

ERSTER ABSCHNITT.

ENTWICKLUNG DER CHEMIE  
VON ROBERT BOYLE BIS LAVOISIER

(1660—1793).

VON E. VON MEYER.

Seitdem die Chemie den Anspruch machen kann, gleich ihrer älteren Einleitung. Schwester, der Physik, zu den exakten Wissenschaften gezählt zu werden, ist die grundlegende Aufgabe, deren Lösung in engerem und weiterem Sinne von der Chemie mit allen Mitteln gesucht wird, die Erforschung der Zusammensetzung aller der Stoffe, die sich einer Untersuchung zugänglich erweisen.

Ehe die Lösung dieser Aufgabe in wissenschaftlichem Sinne in Angriff genommen worden ist, haben jahrhundertlang Männer, die sich Alchemisten oder Chemiker nannten, in ihrer Phantasie Gebilde geschaffen, die von ihnen als die Grundstoffe der vermeintlich daraus zusammengesetzten Substanzen angenommen wurden. Die alten Vorstellungen der vier oder fünf Elemente der Alten (Empedokles, Aristoteles), Feuer, Luft, Wasser, Erde (Äther), die der späteren alchemistischen oder „hermetischen“ Grundstoffe: Quecksilber, Schwefel, Salz, waren solche Erzeugnisse der Einbildungskraft, aber auch des Strebens, eine Reihe von Erscheinungen unter gemeinsame Gesichtspunkte zu bringen.

Hier ist kein Anlaß, dieser Vorgeschichte der Chemie nachzugehen, so verlockend es ist, die Wege nachzuweisen, auf denen man aus dem Reiche der Phantasie ganz allmählich in das der Wirklichkeit gelangt ist. Ein wichtiges Stück Geschichte der Philosophie und der Kultur, zugleich schwerster menschlicher Irrungen, steckt in jenen abenteuerlichen Bestrebungen, die fast 12 Jahrhunderte hindurch die Umwandlung unedler Metalle in edle als ihr Hauptziel betrachtet haben. Das vermeintliche Mittel hierzu, der Stein der Weisen, den so manche Auserwählte, Adepten, gefunden zu haben vorgaben, wurde noch oft mit der wunderbaren Eigenschaft ausgestattet, Krankheiten zu heilen, das Leben zu verlängern u. a.

Trotz der größtenteils schwindelhaften Richtung solcher Bestrebungen, trotz vieler toller Hirngespinnste sind manche praktisch-chemische Kenntnisse von Alchemisten und, besonders seit dem 16. Jahrhundert, von Ärzten gewonnen worden. In dieser Zeit suchten hervorragende Ärzte, Paracelsus an ihrer Spitze, die Chemie für die Heilkunde dienstbar zu machen, als die Kunst, Heilmittel zu bereiten (Zeitalter der Iatrochemie). So wurden viele chemische

Präparate, medizinisch und technisch wichtige, bekannt. Männer wie Libavius, van Helmont, Sennert, Sala, Sylvius de la Boë, Tachenius u. a. versuchten durch geeignete Reaktionen Stoffe nebeneinander zu erkennen. Aber erst mit dem ernstesten Streben, die letzten Bestandteile der zusammengesetzten Stoffe mit chemischen Mitteln, durch Teilung oder Analyse, zu erkennen und wirklich zu fassen, beginnt die Arbeit am wissenschaftlichen Gebäude der Chemie.

Diesen Anfang genau der Zeit nach zu bestimmen, ist sehr schwierig. An schwachen Anfängen zur wissenschaftlichen Behandlung einzelner Fragen nach der chemischen Zusammensetzung hat es zwar vor Robert Boyle nicht gefehlt; jedoch sind dies zusammenhanglose Versuche einzelner Beobachter gewesen. Erst dieser englische Forscher, der alle seine Vorgänger und Zeitgenossen überragte, lehrte mit aller Bestimmtheit als vornehmste Aufgabe der Chemie die Ermittlung der wahren Zusammensetzung der Stoffe durch die Analyse, und als weitere: Versuche anzustellen, aus einfachen Stoffen zusammengesetzte, also durch Synthese zu gewinnen. Hiermit waren bestimmte chemische Probleme aufgestellt.

Eine so bedeutende Umwälzung im Bereiche von Vorstellungen, die sich in den Köpfen der Lehrenden und der Lernenden festgesetzt hatten, konnte sich nicht in kurzem Zeitraume vollziehen. Obwohl es nicht an einzelnen erleuchteten Geistern — ich nenne hier den Rektor Joachim Jungius in Hamburg — gefehlt hatte, die schon vor R. Boyle den Kampf gegen die eingewurzelten aristotelischen und alchemistischen Gedanken aufgenommen hatten, gelingt es doch erst dem vereinten Bemühen Boyles, sowie einiger seiner Zeitgenossen und Nachfolger im Laufe des 17. und 18. Jahrhunderts, solche Vorurteile zu beseitigen, falsche Beobachtungen chemischer Vorgänge zu berichtigen und die bisherigen Deutungen solcher durch bessere zu ersetzen.

Die Angriffe der neueren Naturwissenschaft, besonders der Physik und der Chemie, richteten sich damals gegen den an vielen Universitäten zäh festgehaltenen Formalismus der alten Scholastik und damit gegen ihren auf aristotelischen Schriften und auf kirchlichen Satzungen aufgerichteten, verknöcherten Lehrbetrieb; diese erfolgreichen Kämpfe gingen — was sehr bemerkenswert ist — meist von Männern aus, die nicht solchen Lehrstätten angehörten; man denke an die Leistungen eines Boyle, Jungius, Cavendish, Scheele, Lavoisier.

In diesem Abschnitte, der uns bis ans Ende des 18. Jahrhunderts führt, ist eine derartige Entwicklung antischolastischer Richtung in großen Zügen zu schildern: Die Chemie wird in diesem Zeitraume von etwa  $1\frac{1}{2}$  Jahrhunderten durch eine Fülle wichtigster Beobachtungen und Entdeckungen erweitert und befruchtet; sie kommt der Lösung ihrer Hauptaufgabe, die wahre Zusammensetzung der Stoffe zu ermitteln, erheblich näher. Aber große, entscheidende Fortschritte konnten erst gegen Ende des 18. Jahrhunderts eintreten, nachdem Männer mit scharfem, unbefangenen Blicke die künstlichen Hemmnisse, durch die man sich früher die freie Aus- und Umschau verbaut hatte, fortzuräumen begonnen hatten. — Ohne die Kenntnis dieser Entwicklungszeit der Chemie

ist ein tieferes Verständnis ihres späteren Aufschwunges, der jetzigen großartigen Entwicklung dieser Wissenschaft und ihrer Grenzgebiete nicht zu erzielen.

Robert Boyles Lebenswerk. — Man kann ohne Übertreibung sagen, daß Boyle als bahnbrechender Forscher der Chemie seiner Zeit die Richtung gewiesen hat. Er vermochte dies dadurch, daß er als ausgezeichneter Beobachter streng induktiv und unbefangen auf Grund von Versuchen an die Erklärung von Naturerscheinungen herantrat. Sein wissenschaftliches Programm, das der damals 35jährige Forscher in seinem Hauptwerk, dem „Sceptical Chimist“ (1661), darlegte, verdient als Zeugnis für seine alle Vorgänger und Zeitgenossen überragende Stellung hier wiedergegeben zu werden:

„Die Chemiker haben sich bisher durch enge Prinzipien, die der höheren Gesichtspunkte entbehren, leiten lassen. Sie erblickten ihre Aufgabe in der Bereitung von Heilmitteln, in der Extraktion und Transmutation der Metalle. Ich habe versucht, die Chemie von einem ganz anderen Gesichtspunkte zu behandeln, nicht wie dies ein Arzt oder Chemiker, sondern ein Philosoph tun sollte. Ich habe hier den Plan einer chemischen Philosophie gezeichnet, die, wie ich hoffe, durch meine Versuche und Beobachtungen vervollständigt werden wird. Läge den Menschen der Fortschritt der wahren Wissenschaft mehr am Herzen, als ihre eigenen Interessen, dann könnte man ihnen leicht nachweisen, daß sie der Welt den größten Dienst leisten würden, wenn sie alle ihre Kräfte einsetzten, um Versuche anzustellen, Beobachtungen zu sammeln und keine Theorie aufzustellen, ohne zuvor die darauf bezüglichen Erscheinungen geprüft zu haben.“

Von dieser Zeit ab ist die alles beherrschende Bedeutung des Versuches für die Chemie ernstlich nicht mehr in Zweifel gezogen worden.

Das Leben Boyles, der, einer vornehmen Familie entsprossen (geboren 1626), eine vorzügliche Erziehung genoß, war in der Hauptsache das eines stillen Gelehrten. Ohne irgend eine nach außen gerichtete Betätigung wußte er zuerst in Oxford, dann in London bis zum Lebensende (1691) die englischen Naturforscher um sich zu scharen. Durch seine Anregung entstand die Königliche Gesellschaft der Wissenschaften (Royal Society) in London 1665, deren Präsident er von 1680 bis zu seinem Tode war; in ihren Philosophical Transactions veröffentlichte er zahlreiche Abhandlungen.

Um die schaffende Tätigkeit Boyles zu verstehen, muß man sich vergegenwärtigen, wie unbestimmt und schwankend die damaligen einfachsten chemischen Begriffe waren. Was war unter einem Element, was unter einer chemischen Verbindung zu verstehen? Die landläufigen Annahmen über die Grundstoffe waren Phantasiegebilde; die aristotelischen oder auch die alchemistischen (vgl. S. 1) wurden noch damals ohne jegliche Berechtigung hochgehalten. Boyle sprach als vornehmsten Grundsatz, der heute noch gültig ist, aus, daß nur die nicht zerlegbaren, nachweisbaren letzten Bestandteile der Stoffe den Anspruch machen könnten, als Elemente betrachtet zu werden. Die Chemie müsse Wege finden, aus den in der Natur sich findenden Körpern durch ver-

Corpuscular-  
theorie.

schiedenste Mittel die darin enthaltenen Grundstoffe herzustellen. Boyle erkannte einmal die grundlegende Bedeutung der Analyse für die chemische Forschung; sodann aber sah er voraus, daß eine viel größere Zahl wirklicher, einfachster Grundstoffe nachweisbar sein werde, als bisher angenommen war. Auch bestritt er mit großer Bestimmtheit die einfache Natur mancher elementar angenommener Stoffe.

Auf Grund alter sowie zahlreicher eigener Versuche über die Vereinigung verschiedenartiger Stoffe zu Gebilden ganz anderer Art gelangte ferner Boyle zu bestimmten Vorstellungen über das, was jetzt chemische Verbindungen genannt wird; er betonte die große Verschiedenheit der Verbindungen im Gegensatz zu den sie bildenden einfachen Stoffen und bezeichnete als Ursache der Vereinigung die chemische Verwandtschaft, die sich in sehr wechselnder Stärke betätigt. Aus solchen Gedanken, die durch experimentelle Beobachtungen gestützt wurden, entwickelte Boyle eine zusammenfassende Vorstellung in seiner „Corpusculartheorie“, die als Vorläuferin der chemischen Atomlehre unserer Zeit bezeichnet werden kann. Denn gleichwie nach dieser die kleinsten Teilchen, die Atome, durch Aneinanderlagerung sich zu zusammengesetzten Stoffen von anderen Eigenschaften vereinigen, so die Corpuskeln Boyles. Auch die Zerlegung der Verbindungen durch andere Stoffe: Wirkungen, die man später auf die sogenannte Wahlverwandtschaft zurückführte, erklärte er nach seiner Auffassung in anschaulicher Weise. Bemerkenswert ist seine Neigung zu dem Gedanken, alle Grundstoffe seien auf eine Urmaterie zurückführbar: eine Vorstellung, die sich in den letzten Jahrzehnten vielen Chemikern als unabweisbar aufgedrängt hat. Um die übergroße Mannigfaltigkeit der Stoffe in Einklang mit der Einfachheit dieser Hypothese zu bringen, nahm Boyle an, die Ursache der Verschiedenheiten sei die ungleiche Größe und Gestalt sowie die gegenseitige Lage der Corpuskeln und deren relative Bewegungsgröße innerhalb der daraus zusammengesetzten Stoffe.

Solcher Gedankenreichtum erweckt in der Tat größte Bewunderung, um so mehr, als zunächst Boyle fast allein mit seinen zu großem Aufsehen berechtigenden Ansichten stand. Die Bedeutung der letzteren wurde keineswegs allgemein gewürdigt, sonst hätten nicht phantastische Lehren noch im Laufe des 18. Jahrhunderts entstehen können, die im schroffsten Widerspruch mit seiner gesunden Auffassung standen.

Einen unmittelbar noch größeren Einfluß als die oben geschilderten, durch Versuche gestützten Lehrauffassungen gewannen die experimentellen Arbeiten, die Boyle im Gebiete der früher stark vernachlässigten analytischen Chemie und besonders in dem der Gase ausführte. Hier gelang ihm der Nachweis des bekannten Gesetzes, das Mariotte 17 Jahre später noch einmal entdeckte, daß nämlich die Volume von Gasen dem darauf lastenden Druck bei gleichbleibender Temperatur umgekehrt proportional sind. Die Beschäftigung mit den Gasen führte ihn auch zu der Aufgabe, die schon zu jener Zeit, dann aber noch ein volles Jahrhundert hindurch die Chemiker in Atem hielt: die Erscheinungen der Verbrennung und ähnlicher Vorgänge zu erklären. Die Frage nach der

Natur einer Flamme, somit nach der Ursache und dem Vorgange des Brennens ist schon in alten Zeiten aufgeworfen worden; gelöst wurde sie erst, nachdem man den Stoff entdeckt hatte, der die Verbrennung entzündlicher Substanzen bedingt und unterhält, den Sauerstoff. Schon zu Boyles Zeit war ein junger englischer Arzt, John Mayow\*, der Erkenntnis dieser grundlegenden Tatsachen sehr nahe gekommen. Wenn auch andere Beobachter, J. Rey, R. Hooke, vor Mayow aus Versuchen den Schluß gezogen hatten, daß die Luft einen Gemengteil enthalte, der zur Verbrennung erforderlich sei, so war doch erst dieser Forscher imstande gewesen, mit voller Klarheit auszusprechen, daß der in der Luft enthaltene spiritus igno-aereus in gleicher Weise zur Verbrennung entzündlicher Stoffe, wie zum Atmen erforderlich sei. Ferner folgerte er aus dem Vermögen des Salpeters, Kohle und Schwefel, die mit ihm gemengt sind, zu verbrennen, das Vorhandensein desselben Spiritus, den er auch wegen seines Vorkommens im Salpeter (Nitrum) „nitro-aereus“ nannte. Und endlich sprach er, was vor ihm nur angedeutet war, die Analogie der Verbrennung mit der sogenannten Verkalkung der Metalle bestimmt aus. Es ist erstaunlich, daß die scharfsinnigen Erklärungsversuche Mayows, der damit seiner Zeit fast um ein Jahrhundert vorausgeeilt war, bei seinen Zeitgenossen nicht die größte Beachtung gefunden haben, namentlich bei Boyle, dem Führer der englischen Naturforscher, der sich selbst mit den Verbrennungserscheinungen stark beschäftigte, ferner bei dem durch seine Untersuchungen über den Kreislauf des Blutes bekannten Arzte Willis, dem die Unentbehrlichkeit des spiritus igno-aereus für die Atmung doch sehr einleuchten mußte. Für die weit ausschauenden, viele Vorgänge umfassenden Gedanken Mayows war seine Zeit offenbar noch nicht reif genug. Unwillkürlich drängt sich die Vermutung auf, daß er, der sich als 29jähriger zu seinen bewundernswerten Schlußfolgerungen durchgerungen hatte, wegen seiner Jugend nicht voll gewürdigt worden sei. Er starb schon in seinem 34. Jahre (1679).

Der Mangel an Verständnis für seine Ideen, die bald der Vergessenheit anheimfielen, um erst Ende des 18. Jahrhunderts nach Entdeckung des von ihm vorausgeahnten Sauerstoffes wieder beachtet zu werden, zeigte sich bald in trauriger Weise; denn statt durch Versuche das gemeinsame, die Verbrennung, Atmung, Oxydation, ermöglichende Prinzip aufzufinden, verfiel man auf eine ganz verfehlte Erklärung dieser so außerordentlich wichtigen Erscheinungen. Es kam die Phlogiston-Theorie trotz ihrer völlig irrigen Voraussetzungen nahezu ein Jahrhundert lang zur Herrschaft.

Phlogiston-Theorie. — Man sollte denken, daß eine Lehrmeinung, die eine Reihe der bedeutungsvollsten chemischen Vorgänge durch eine vollständig falsche Hypothese er klärt, auf die Entwicklung der ganzen Chemie sehr ungünstig hätte einwirken müssen. Das war jedoch nicht der Fall, denn in dieser langen, theoretisch so unfruchtbaren Zeit vermehrten sich die tatsächlichen Kenntnisse in den verschiedensten Gebieten der Chemie sehr erheblich, wie an

\* Vgl. Ostwalds Klassiker Nr. 125.

manchen Beispielen ersichtlich sein wird. Aber ein anderer, höherer Schwung und eine zielbewußte Entwicklung der wissenschaftlichen Chemie traten erst in die Erscheinung, als nach Entdeckung des Sauerstoffes die Vorgänge der Verbrennung und analoge Prozesse auf die notwendige Mitwirkung dieses Gases zurückgeführt wurden.

G. E. Stahl. Die bis zu diesem Zeitpunkte allein herrschende Phlogiston-Theorie hat auf alle Naturforscher, nicht nur auf die Chemiker, einen derartigen Einfluß ausgeübt, daß wir nicht an ihr vorübergehen können, man müßte denn darauf verzichten, eine für die Kulturgeschichte wichtige geistige Strömung kennen zu lernen. Die erste Anlage der sogenannten Phlogistontheorie\*, wie sie ihr Hauptbegründer G. E. Stahl nannte, ihr erster Lehrsatz weist einen Grundirrtum auf, auf dem sodann das ganze Gebäude dieser Lehre errichtet worden ist. Um dieses Fundament zu erhalten, wurden in der Folge die verzweifeltsten Anstrengungen gemacht; willkürliche Voraussetzungen zog man heran und verwickelte sich in Widersprüche, aus denen die chemische Welt erst durch Lavoisiers entgegengesetzte, aber den Tatsachen wirklich entsprechende Auffassung herausgerissen wurde. Die Grundvorstellung der Phlogistontheorie, daß allen brennbaren Substanzen ein gemeinsamer Stoff, das Phlogiston, eigentümlich sei, findet sich bei einem hochbegabten, aber in seinem Tun und Treiben sehr unsteten Chemiker J. Becher, der um das Jahr 1670 in seinem Werke „*Physica subterranea*“ die Ansicht aufstellte, in allen brennbaren Stoffen sei eine *terrapinguis* als gemeinsames bei der Verbrennung entweichendes Prinzip enthalten. Diesen Gedanken griff G. E. Stahl auf und führte ihn folgerichtig für eine große Zahl von Erscheinungen durch; er selbst sagte gelegentlich, den Ursprung der Hypothese anerkennend: „*Becheriana sunt quae profero*“. Stahl, geboren 1660, hat übrigens nicht nur durch die Ausgestaltung dieser Lehre, sondern auch als Professor der Medizin und Chemie in Halle seit 1693 und in Berlin seit 1715, bis zu seinem Tode (1734) durch seine höchst anregende Tätigkeit in Wort und Schrift großen Einfluß auf seine Zeitgenossen geübt. Durch seine Schule sind viele namhafte Ärzte und Chemiker gegangen. Stahls Bestreben ging dahin, mit Hilfe der Phlogistonhypothese eine große Zahl von Erscheinungen gleichzeitig zu erklären. Bei allen Vorgängen, die als Verbrennung bezeichnet wurden, sowie bei der Verkalkung der Metalle (später als Oxydation bezeichnet) soll das Phlogiston entweichen. Versuche, dies zu fassen und in Substanz nachzuweisen, scheint man damals für unnötig gehalten zu haben. Man vermeinte in der Deutung vieler chemischer Prozesse mit der gleichen Hypothese einen Beweis für die Richtigkeit der Grundvorstellung zu besitzen. Wäre man nicht davon überzeugt gewesen, so bliebe der Eifer, mit dem die Phlogistonlehre unter Zuhilfenahme der unglaublichsten Annahmen jahrzehntelang hindurch verteidigt wurde, ganz unverständlich.

Stahl hatte noch den glücklichen Gedanken, für eine Reihe von gleichartigen chemischen Vorgängen eine Erklärung zu versuchen, nämlich für die

\* Das Wort φλογιστόν = Brennstoff war schon früher bei Chemikern in Gebrauch.

Reduktion der Metallkalke, d. i. der Metalloxyde. Schon in früheren Zeiten hatte man beobachtet, daß Metallkalke, wie Bleiglätte, Eisen- und Zinnkalk u. a., durch Erhitzen mit Kohle das entsprechende Metall liefern. Solche Prozesse wurden ja auch im großen hüttenmännisch ausgeführt. Da nun die Kohle besonders heftig und fast ohne Rückstand verbrennt, lag es nahe, sie für das fast reine Phlogiston zu halten. Wird nun dieses in Gestalt von Kohle in genügendem Maße den Metallkalcken zugeführt, die ja durch Entweichen von Phlogiston aus Metallen entstanden sein sollten, so müssen nach der Theorie durch die Aufnahme von Phlogiston wieder die Metalle entstehen. Denn in phlogistischem Sinne nahm man folgende Beziehungen an:

Metallkalk = Metall minus Phlogiston

Metall = Metallkalk plus Phlogiston.

Die früher von einzelnen Forschern durch Wägungsversuche bestätigten Beobachtungen, daß die Menge eines Metalles geringer war als die des angewandten Metallkalckes, und umgekehrt der Nachweis, daß die Metalle durch ihre Verkalkung an Gewicht zunahmten, standen freilich mit der Auffassung Stahls in grellestem Widerspruch. Denn wenn ein Metall bei seiner Verkalkung Materie (Phlogiston) verliert, so sollte es doch nach dem gesunden Menschenverstande nicht schwerer werden, und umgekehrt dürfte ein Metallkalk, wenn er bei seiner Reduktion zu Metall Phlogiston aufnimmt, nicht leichter werden. Wie man diese Kluft zwischen Tatsache und Dogma zu überbrücken, also den augenfälligen Widerspruch aus der Welt zu schaffen vermeinte, soll bald gezeigt werden. Hervorzuheben ist schon jetzt, daß man den Gewichtsbestimmungen eine ganz untergeordnete Bedeutung beilegte und dadurch in solche arge Irrtümer verfiel.

Stahl ging, trotzdem ihm selbst derartige Bedenken nicht fernbleiben konnten, seinen Weg weiter und gelangte zu ähnlichen Trugschlüssen auch für andere Stoffe als die Metalle, z. B. für den Schwefel. Da sich dieser durch Reduktion von Schwefelsäure oder schwefelsauren Salzen mit Kohle in starker Hitze bildet, so mußte nach Stahl hierbei ein Hinzutreten von Phlogiston angenommen werden. Er folgerte also, daß der Schwefel aus Schwefelsäure und Phlogiston bestehe. In diesen wie in anderen ähnlichen Fällen führte das zähe Festhalten an einer für richtig erachteten Grundvorstellung zu den unsinnigsten Folgerungen. Denn für die Anhänger der Phlogistontheorie waren die einfachen Stoffe, wie Metalle, Schwefel, Phosphor, zusammengesetzt, chemische Verbindungen aber, wie Metallkalke, Schwefelsäure und andere Säuren, wurden als Elemente angesprochen. Man steht hier vor einem der größten Rätsel, die in der Geschichte menschlicher Irrungen vorgekommen sind, vor der Frage: Wie war eine solche Befangenheit der Geister auf diesem Gebiete möglich, obwohl es an Tatsachen nicht fehlte, die mit der Phlogistonlehre im vollsten Widerspruch standen? Die Erklärung dafür, daß diese Irrlehre sich bis gegen Ende des 18. Jahrhunderts, bei manchen hervorragenden Forschern bis ins 19. Jahrhundert hinein halten konnte, ist wohl zunächst in einem dem menschlichen Denken eigenen Beharrungsvermögen zu suchen. Doch ist in der Geschichte der Naturwissenschaften die Tatsache nicht selten, daß gerade einfache Er-

klärungsweisen sich schwierig Bahn brechen und nur langsam verwickelte irrige Auffassungen verdrängen.

Man erkannte in den Ausführungen Stahls und seiner Schule einen glücklichen Versuch, zahlreiche Erscheinungen durch Anwendung des gemeinsamen Prinzipes zusammenzufassen und zu erklären. Solches von Erfolg begleitetes Bemühen entsprach dem stark ausgeprägten Streben nach systematischer Ordnung chemischer Vorgänge. Daß die gegen die Lehre vom Phlogiston erhobenen und gerade die am besten begründeten Widersprüche auch nach dem Tode Stahls nicht immer beachtet wurden, lehrt das Beispiel des großen russischen Naturforschers Lomonossow um die Mitte des 18. Jahrhunderts. Seine zahlreichen in russischer oder lateinischer Sprache geschriebenen Abhandlungen, in denen er von neuem die Gewichtszunahme der Metalle bei ihrer Verkalkung nachwies und den Grund dieser Vermehrung in der Aufnahme von Luftteilchen erkannte, blieben fast unbekannt oder als Manuskript liegen, und wurden erst in neuester Zeit von Menschutkin ans Licht gezogen.

Die Anhänger der Stahlschen Lehre waren natürlich selbst bemüht, die gegen sie erhobenen Einsprüche mit Gegengründen zu bekämpfen. Daß ihre Argumente zugunsten des Phlogistons ernsthaft aufgenommen wurden, ist kaum anders zu erklären als dadurch, daß die Mehrzahl der Naturforscher, geblendet durch die theoretischen Ausführungen, die einfachen Tatsachen in ihrer Bedeutung nicht mehr zu würdigen vermochten: ein arger Rückfall in die älteste scholastische Denkweise. Die von den Phlogistikern aufgestellten Gegengründe waren in der Tat so erbärmlich, daß man nicht begreift, wie solche, selbst bei tüchtigen Chemikern, Gehör finden konnten. So war ein Schüler Stahls, Junker, der irrigen Meinung, die Metallkalke seien deshalb schwerer, als die Metalle, aus denen sie entstanden, weil sie dichter wären; abgesehen von der Unrichtigkeit dieser letzteren Angabe, war auch sein vermeintlicher Beweis durch eine arge Verwechslung des absoluten mit dem spezifischen Gewichte hinfällig. Fast noch unsinniger war der Versuch, die Phlogistonlehre durch die Annahme zu retten, das bei der Verkalkung der Metalle und ähnlichen Vorgängen entweichende Phlogiston besitze negatives Gewicht, die Produkte, Metallkalke usw. müßten daher schwerer sein. Man begreift nicht, daß Männer von Ansehen wie Guyton de Morveau und Macquer, die sich in anderen Fragen als klar denkende Forscher gezeigt hatten, noch kurz vor dem Sturze des Phlogistons solchem Irrtume verfielen.

Wenn auch die meisten Chemiker im zweiten Drittel des 18. Jahrhunderts solchen Entgleisungen nicht unterlagen, so blieben sie doch aus einer gewissen Bequemlichkeit der Annahme des Phlogistons treu, bemühten sich sogar, freilich ohne Erfolg, diesen vermeintlichen Stoff zu fassen. Manche waren geneigt, ihn in der reinen Kohle, andere im Wasserstoff, der als eigenartiges Gas damals erst entdeckt worden war, zu besitzen.

Wie sich dann alle diese Anläufe als nutzlos erwiesen, wie die ganze Phlogistonlehre durch Lavoisier über den Haufen geworfen wurde, soll im Zusammenhang mit den wichtigen Vorarbeiten von Männern wie Black, Scheele,

Priestley, Cavendish u. a. weiter unten dargelegt werden. Diese und manche vor ihnen wirkende Forscher sind überzeugte Phlogistiker gewesen und haben trotz ihrer irrigen theoretischen Meinungen die Wissenschaft durch Entdeckungen und Beobachtungen bedeutsamer Tatsachen gewaltig gefördert, so daß wir, um den Stand der Chemie zur Zeit der größten Umwälzung, die sie erlebt hat, zu würdigen, die wichtigsten Errungenschaften dieser Vorgänger Lavoisiers in verschiedenen chemischen Gebieten kennen lernen müssen.

Fortschritte der Chemie im phlogistischen Zeitalter. — Schon in der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts hat es an tüchtigen Beobachtern chemischer Tatsachen nicht gefehlt. Die analytische Chemie, die der Zusammensetzung der Stoffe nachspürt, wurde, wie erwähnt, durch Robert Boyle gefördert, der zuerst das Wort *Analysis* für die chemischen Reaktionen gebrauchte, die das Vorhandensein einzelner Körper in Gemengen erkennen lassen. Der planmäßige Nachweis dieser durch die sogenannte qualitative Analyse gelang erst viel später; immerhin waren die Zeitgenossen Boyles schon im Besitz von Hilfsmitteln zur Erkennung vieler Metalle sowie Säuren, so daß der als Arzt wie Chemiker bedeutende Hoffmann (1660—1742), dessen Tropfen, aus Alkohol und Äther bestehend, noch jetzt seinen Namen tragen, gegen das Ende des 17. Jahrhunderts die Hauptbestandteile von Mineralquellen nachweisen konnte und diese in Salz-, Schwefel- und alkalische Quellen einteilen lehrte. Auch der zu gleicher Zeit in Paris lebende Arzt W. Homberg (1652—1715) hat die analytische Chemie gefördert.

Meist waren die damaligen Chemiker mit der Pharmazie in engster Fühlung, gab es doch fast nur Laboratorien in Verbindung mit den Apotheken. Diese Vereinigung erwies sich noch lange Zeit sehr nützlich, da häufig solche Männer, die für sich ohne Anlehnung an die Pharmazie laborierten, der Alchemie anheimfielen. Ein solches Beispiel ist Johannes Kunckel (1630—1702), der unter dem Schutze verschiedener Fürsten dem Problem der Goldmacherei, an die er fest glaubte, nachjagte, dabei aber trotz Vergeudung seiner Kräfte an solches Hirngespinnst die technisch-chemischen Kenntnisse, z. B. im Bereiche der Glasbereitung, erheblich bereicherte.

Im Anfang des 18. Jahrhunderts trat unter den Deutschen, die, wie fast S. Marggraf. alle Chemiker jener Zeit, ihre erste Ausbildung in der Apotheke erhalten hatten, Sigmund Marggraf (1709—1782) hervor. Obgleich bis zu seinem Tode erklärter Phlogistiker, förderte er die analytische und die technische Chemie ganz erheblich durch seine Beobachtungen über die Bildung und das Verhalten der Phosphorsäure, über die bestimmte Unterscheidung der früher miteinander verwechselten Tonerde und Bittererde (Magnesia), über die verschiedene, der Spiritusflamme durch Natrium- und Kaliumsalz erteilte Färbung, besonders durch seine folgenreiche Entdeckung, daß die gleiche Zuckerart im Saft der Runkelrüben enthalten ist wie im Rohrzucker. Er legte zusammen mit seinem Schüler Achard den Grund zu der heute in höchster Blüte stehenden europäischen Zuckerindustrie. Nicht zu vergessen ist, daß ihm bei dieser und bei anderen Entdeckungen das Mikroskop, das er als erster bei chemisch-analy-

tischen Arbeiten verwendete, um die Form der sich ausscheidenden Kristalle zu beobachten, die besten Dienste leistete. Die vor ihm in Berlin wirkenden Schüler Stahls, wie Neumann, Eller, Pott, haben wohl einiges, aber viel weniger als Marggraf zur Erweiterung chemischer Kenntnisse beigetragen.

C. W. Scheele.

Von seinen Zeitgenossen, die in anderen Ländern die Chemie besonders in analytischer sowie technischer Richtung förderten, verdient hier besondere Erwähnung eine Reihe von Männern, von denen einige auch bei der Vorbereitung der durch Lavoisier herbeigeführten Revolution eine hervorragende Rolle gespielt haben. Carl Wilhelm Scheele, 1742 zu Stralsund, das damals schwedisch war, geboren, verbrachte sein kurzes, aber an Großtaten reiches Leben in Schweden, wo er in Köping 1786 starb. Ihm, dem schlichten und über sehr geringe Mittel verfügenden Apotheker, dem eine wunderbare Beobachtungsgabe eigen war, verdankt die Chemie eine Fülle von Entdeckungen, deren Mannigfaltigkeit Staunen erregt. Über seine folgenreichen Funde im Gebiete der Gase, besonders seine Entdeckung des Sauerstoffes, ist im Zusammenhang mit den Beobachtungen anderer Forscher noch zu berichten. Diese zu der sogenannten pneumatischen Chemie gehörenden Arbeiten waren geradezu die Vorbedingung für das neue, mit Lavoisiers Lehren angehende Zeitalter der Chemie. Aus allem, was Scheele anfaßte, wußte er Wertvolles herauszuholen, trotz der so geringfügigen Hilfsmittel, die ihm zu Gebote standen. Schon eine seiner früheren Arbeiten über den Braunstein führte ihn zur Auffindung von vier neuen Stoffen, dem Sauerstoff, dem Chlor, Mangan und Baryt, deren zwei erste für die Entwicklung der fundamentalsten chemischen Ansichten größte Bedeutung erlangten. Mit der ihm eigenen Findigkeit schuf er ferner Klarheit über bisher übersehene charakteristische Verbindungen der unorganischen Chemie, z. B. der salpetrigen Säure, der Arsen-, Wolfram-, Molybdänsäure. Auch in dem bisher fast unerforschten Gebiete der organischen Chemie war Scheele bahnbrechend tätig, indem er eine stattliche Zahl wichtiger Säuren des pflanzlichen und tierischen Organismus, wie Äpfel-, Wein-, Citronen-, Oxal-, Milch-, Schleim-, Harnsäure, entdeckte und noch heute gültige Methoden ihrer Darstellung schuf. An diese Funde schließt sich die ihm zuerst gelungene Gewinnung der Blausäure und des Glycerins.

T. Bergman.

Während die Chemie Scheele eine Bereicherung sondergleichen mit neuen wichtigen Stoffen und mit Methoden ihrer Darstellung verdankt, ist sein Landsmann und Zeitgenosse Torbern Bergman (1735—1784) mit Erfolg bemüht gewesen, seine eigenen und anderer Beobachtungen systematisch zu verwerten, so daß ihm besonders die vortreffliche Ausbildung und zweckmäßige Zusammenfassung analytischer Methoden hoch anzurechnen ist. Auch eine Ordnung der Mineralien auf chemischer Grundlage wurde von ihm versucht. Seine dem Theoretischen zugewandte Gedankenrichtung führte ihn zu den Verwandtschafterscheinungen, die er mit den unvollkommenen Mitteln und dem geringfügigen Beobachtungsmaterial originell zu deuten versuchte. Davon wird noch die Rede sein. Jedenfalls überholte er die früheren Anläufe von Geoffroy und gab einem der bedeutendsten Chemiker der nächstfolgenden Zeit, Berthollet,

Anlaß, sich mit dem Affinitätsproblem zu beschäftigen. Bergman gehörte als Analytiker zu den wenigen, die der genauen Bestimmung des Gewichtes bei chemischen Vorgängen ihre volle Aufmerksamkeit zuwandten. Er gab schon Vorschriften für die sorgsame Ermittlung der Menge einzelner Stoffe. Schon vor ihm hatten einzelne, wie Boyle, Marggraf, Lomonossow, Black, auf die Bedeutung der Gewichtsverhältnisse hingewiesen, aber ihre Stimmen verhallen. Die traurige Folge davon war, daß die Chemie rückständig blieb, bis Lavoisier und seine Mitarbeiter nachdrücklich und systematisch quantitative Bestimmungen durchführten.

In qualitativer Hinsicht hatte es an Beobachtungen wichtigster Art nicht gefehlt. Eine Reihe unserer Elemente, die freilich von den Phlogistikern für zusammengesetzt gehalten wurden, war zu jener Zeit entdeckt: so der Phosphor, dessen schon im Jahre 1669 dem Alchemisten Brand gelungene Auffindung das größte Aufsehen erregte und selbst einen Leibniz in Aufregung versetzte. Gegen Mitte des 18. Jahrhunderts hatten sich dem Phosphor das Nickel, Kobalt, Platin zugesellt.

Entwicklung der „pneumatischen“ Chemie. — Die Entdeckung der gasförmigen Elemente, die besonders in und um das Jahr 1770 fällt, leitet eine neue Zeit der Chemie ein. Die wichtigsten Beobachtungen über diese Stoffe sowie über zusammengesetzte Gase verdanken wir Männern wie Black, Cavendish, Scheele, Priestley, Bayen, die durch die von ihnen sichergestellten Tatsachen den Grund und Boden für die Lehre Lavoisiers geschaffen haben. Die durch letzteren bewirkte Umwälzung der Anschauungen, die Umprägung der wichtigsten chemischen Begriffe konnten nicht allein Folgen einiger vereinzelter Beobachtungen sein, vielmehr erklärt sich diese große Umwälzung eben daraus, daß die mit Feuereifer betriebenen, der Erforschung der Gase zugewandten Arbeiten von den hervorragendsten Chemikern volle Aufklärung brachten über das Problem, das seit Jahrhunderten die Geister in Atem hielt, das der Verbrennungserscheinungen.

Wunderbar ist die Tatsache, daß die Forscher früherer Zeiten es sich mit der Untersuchung von „Luftarten“, „Gasen“ sehr leicht gemacht haben, obwohl alles Lebende auf die Luft angewiesen ist. Die Frage, was darin der Erhaltung des Lebens dient, ob es andere Gase gibt und welcher Art diese sind, hatte zwar manche beschäftigt, namentlich van Helmont (1577—1644), der zuerst die Bezeichnung „Gas“, ein Wort, das sich wahrscheinlich von Chaos ableitet, einführte und wertvolle Einzelbeobachtungen machte. Doch hatte man sich nicht von der allgemeinen Vorstellung freimachen können, daß die gelegentlich beobachteten „Luftarten“, z. B. Wasserstoff, *gas inflammabile*, aus Eisen und Säuren, Kohlensäure, *gas silvestre*, bei der Gärung oder aus Kreide und Säure, Schwefelwasserstoff, nur gewöhnliche Luft mit verschiedenartigen Beimengungen seien.

Den ersten Beweis, daß ein Gas als ein besonderer, von atmosphärischer Luft ganz verschiedener Stoff angesehen werden muß, hat Black durch seine ausgezeichnete Untersuchung der Kohlensäure, der sogenannten „fixen Luft“ erbracht. Er zeigte in wahrhaft klassischer Weise, daß dieses Gas, das er aus

Kalksteinen und aus Pottasche mit Säuren entwickelte, ohne Rest von dem gelöschten Kalk sowie von ätzendem Alkali wieder gebunden wird, um die Ausgangsprodukte, aus denen es durch Säure entbunden wurde, zu liefern, während atmosphärische Luft nicht von Kalk absorbiert wird. Black, der, geboren 1728, in Glasgow und dann in Edinburg als Professor wirkte und 1799 starb, betätigte sich auch als Physiker in hervorragender Weise; verdankt man doch ihm die Entdeckung der latenten Wärme.

H. Cavendish.

Sein Landsmann, H. Cavendish (1731—1810), ein außerordentlich scharfer Beobachter, chemisch und physikalisch gleich gut ausgebildet, hat, obwohl in völliger Abgeschlossenheit, unbeeinflusst durch seine Zeitgenossen arbeitend, einen wahren Schatz von wertvollen chemischen Tatsachen zusammengetragen. Einen besonderen Ruhmestitel bilden seine Untersuchungen über das Wasserstoffgas (*inflamable air*), dessen Eigenart er einwandfrei feststellte. Durch den Nachweis, daß es mit Sauerstoff zu Wasser verbrennt, daß also dieser lange zu den Elementen gezählte Stoff aus den beiden Gasen bestehe, erschütterte er am stärksten die Phlogistonlehre; trotzdem konnte er sich nicht entschließen, diese aufzugeben und die neue Lehre, die den Sauerstoff zum Mittelpunkt erkoren hatte, anzuerkennen. Auch seine Forschungen über Salpetersäure, als deren Bestandteile er Stickstoff und Sauerstoff erkannte, sowie über die von ihm genau ermittelte, konstante Zusammensetzung der Atmosphäre, waren von größter Bedeutung.

Entdeckung des Sauerstoffs. — In jener Zeit war am wichtigsten für die Entstehung und Erstarkung der neuen antiphlogistischen Lehre die Entdeckung des Sauerstoffs, des Elementes, das zur Verbrennung, zur Atmung, zur Verkalkung der Metalle als notwendig erkannt wurde. Unabhängig voneinander haben Scheele und Priestley dieses Gas entdeckt und seine wesentlichsten Eigenschaften richtig erkannt. Auch der Anteil des französischen Chemikers Bayen an dieser Entdeckung ist besonders hervorzuheben. Zeitlich hat Scheele den Sauerstoff früher, und zwar bei verschiedenen Untersuchungen in den Jahren 1771—1773, auch in seinem Verhalten vollständiger beobachtet als Priestley (1774). Infolge des Mangels an einer Gelegenheit, seine Versuche zu veröffentlichen, konnte Scheele nicht verhindern, daß die von Priestley angestellten Versuche, die zur Darstellung dieses Gases führten, zuerst bekannt wurden. Scheeles Priorität ergibt sich aber unzweifelhaft aus seinen Briefen und Laboratoriumsaufzeichnungen, die erst in neuerer Zeit von Nordenskjöld (1892) veröffentlicht worden sind. In neuester Zeit ist die Geschichte der Entdeckung des Sauerstoffs in ausgezeichneter Weise von S. M. Jörgensen behandelt worden (bei Vieweg, Braunschweig).

Priestley (1733—1804), der die Chemie der Gase gleich Scheele außerordentlich beherrschte, war ein phantasivoller, aber höchst exzentrischer Kopf, der seine Geistesgaben nach verschiedenen Richtungen hin, als Theolog, Philosoph, Sprachlehrer, Chemiker, betätigte. Obwohl seine Untersuchungen über Gase dazu beitragen mußten, die Lehre vom Phlogiston zu untergraben, blieb er ihr doch treu bis in das neue Jahrhundert hinein, als schon längst die

antiphlogistische Theorie überall den Sieg errungen hatte. Priestley war in der Gewinnung von Gasen besonders dadurch erfolgreich, daß er zuerst das Quecksilber statt des Wassers zu ihrer Absperrung verwandte; so gelang es ihm, die durch Wasser absorbierbaren oder veränderlichen Gase, wie Ammoniak, Salzsäure, schweflige Säure, Fluorsilicium, zu isolieren.

Wir müssen uns jetzt etwas näher mit der wichtigsten Entdeckung jener Zeit, der des Sauerstoffs, beschäftigen. Wie dieser die Grundlage alles Lebens ist und bleibt, so war er auch bestimmt, zum Fundamente der Chemie, zum Mittelpunkt, um den sie sich dreht, zu werden. Keine Entdeckung irgend eines anderen Elementes hat so weittragende und tiefgreifende Wirkungen für die Entwicklung der chemischen Wissenschaft gehabt, wie gerade die des Sauerstoffes. Vielleicht wird die in die Neuzeit fallende Auffindung des Radiums und seiner ans Wunderbare grenzenden Wirkungen ähnliche Folgen haben.

Wie schon früher von mehreren Beobachtern festgestellt war, enthält die atmosphärische Luft einen Teil, der die Verbrennung und Atmung ermöglicht, sowie bei der unter Einwirkung der Luft sich vollziehenden Verkalkung der Metalle beteiligt ist. Hundert Jahre vor der Zeit, der wir unsere jetzige Betrachtung widmen, hatte dies der scharfsichtige Mayow erkannt (s. S. 5), klarer noch als Boyle. Die Auffassung, daß Luft im Sinne der griechischen Philosophen ein Grundstoff sei, galt vielen schon lange vor Mayow als falsch. So finden sich schon in einer chinesischen Schrift des Mao-Khó'a (um 750 n. Chr.) merkwürdige Äußerungen über zwei Grundprinzipien ganz verschiedener Art, aus denen sich die Luft zusammensetzen soll; und der vielseitige Lionardo da Vinci, dem der Verbrauch eines Teiles der Luft bei der Verbrennung im abgeschlossenen Raum bekannt war, folgerte daraus die Zusammensetzung der Luft aus zwei Bestandteilen. Aber erst als man die Frage löste, was bei der Verbrennung oder Atmung entsteht und was für ein Teil der Luft zurückbleibt, begann es zu tagen. Daß ein Licht in einem abgeschlossenen Luftraum nur eine gewisse Zeit zu brennen vermag und daß nach seinem Erlöschen der annähernd gleiche Gasraum vorhanden ist, auch daß dabei fixe Luft, d. i. Kohlensäure entsteht, war schon vor Scheele und Priestley beobachtet, aber diese zeigten, daß die Menge der dabei gebildeten fixen Luft, durch Absorption mit Alkali bestimmt, gleich groß sei dem Teile der Luft, der zur Verbrennung gedient hat. Das rückständige Gas, der Stickstoff, der unfähig ist, die Verbrennung oder Atmung zu unterhalten, war auf diese Weise als ein besonderes Element entdeckt worden, etwa gleichzeitig auch von Rutherford, 1772. Scheele, der dasselbe „verdorbene Luft“ nannte, zeigte, wie man diesen einen Gemengteil der Atmosphäre, durch Entfernung des Sauerstoffs mit chemisch wirkenden Mitteln, also durch Absorption, rein gewinnen konnte. Inzwischen hatte er den anderen Gemengteil der Luft, der etwa ein Fünftel von ihr ausmacht, aus verschiedenen sauerstoffhaltigen Substanzen, wie Braunstein, Quecksilber- und Silberoxyd, Salpeter, Arsensäure, dargestellt und nach seinem Verhalten gekennzeichnet. Da dieses Gas, wie er beobachtete, die Verbrennung und die Verkalkung von Metallen außerordentlich leicht und lebhaft herbeiführt, so mußte es die gesuchte

„Lebensluft“ sein. Er sprach bestimmt aus: „Die Luft muß aus elastischen Flüssigkeiten von zweierlei Art zusammengesetzt sein.“

Priestley, der ohne Kenntnis der Entdeckung Scheeles am 1. August 1774 den Sauerstoff, den er dephlogistisierte Luft nannte, durch Erhitzen von Quecksilberoxyd erhielt, kam zu demselben Schluß wie Scheele. Beide vermochten aber, befangen in der Phlogistonlehre, die weiteren natürlichen Folgerungen aus ihren grundlegenden Beobachtungen nicht zu ziehen.

Schon vor Priestley, im Anfang des Jahres 1774, hatte der französische Chemiker Bayen das Sauerstoffgas aus Quecksilberoxyd gewonnen und aus seinen Versuchen über die Verkalkung (Oxydation) des Quecksilbers gefolgert, daß hierbei das Metall einen Teil der Luft aufnimmt, den der Quecksilberkalk beim Erhitzen wieder abgibt. So erklärt sich auch die Gewichtszunahme des Quecksilbers nach der Verkalkung. Bayen stellte bestimmt die Aufnahme eines Feuerstoffes in Abrede. Er war der erste erklärte Antiphlogistiker; denn Lavoisier war zu jener Zeit noch nicht zu der Klarheit gekommen, die ihn wenige Jahre später in den Stand setzte, die Phlogistonlehre über den Haufen zu werfen und den Sauerstoff zum Mittelpunkt des neuen, des antiphlogistischen Systems zu machen. Ehe dieser merkwürdige Mann zum Reformator der Chemie wurde, waren von den obengenannten Chemikern durch Versuche die wichtigsten Tatsachen festgestellt, welche die Grundlage der neuen Lehre bilden sollten. Erinnern wir uns besonders der folgenden: Der die Verbrennung, Atmung, Verkalkung ermöglichende Teil der Luft war als eine Gasart gefaßt und in ihrer Eigenart erkannt. Sie verbindet sich mit Quecksilber und anderen Metallen zu deren Kalken, mit Kohle zu fixer Luft usw., muß also in den Verbrennungsprodukten und den Metallkalken usw. enthalten sein. Die Männer, die durch ihre Versuche das reiche Tatsachenmaterial geliefert hatten, Scheele und Priestley insbesondere, waren durch ihr Festhalten am Phlogiston unfähig, diese so einfachen Schlüsse zu ziehen.

Lavoisier und sein Werk. — Lavoisier zog diese Schlüsse mit sicherem Griffe. Man kennt jetzt genau die Umstände, die ihn in den Stand setzten, sein großes Reformwerk zu beginnen. Bevor er von den obigen grundlegenden Entdeckungen Kenntnis erhielt, war er über das Wesen der Verbrennungs- und Verkalkungsvorgänge vollständig im unklaren, obwohl seine eigenen Versuche, wenn sie von chemischen Gesichtspunkten aus richtig gedeutet wurden, schon früher ihm Klarheit verschaffen mußten. Aus seinen glanzvoll abschließenden Leistungen können und müssen wir folgern, daß er vorwiegend infolge seiner ausgezeichneten physikalischen Ausbildung und seines mathematisch geschulten Denkens, weniger durch seine eigenen chemischen Untersuchungen die große Aufgabe gelöst hat, die darin gipfelte, daß er das bisherige Lehrgebäude der Chemie zertrümmerte und ein neues aufrichtete, das in seinen Grundlagen bis in die Gegenwart sich erhalten hat.

Vor Schilderung dieser großen Tat sei einiges aus dem an Erfolgen reichen Leben des großen Mannes, der ein so tragisches Ende finden sollte, mitgeteilt.

A. L.  
in m  
Hilfs  
anreg  
chem  
geleis  
Vorde  
Mitgli  
Geme  
Mitgli  
Unter  
Stoffe  
erken  
erkan  
wagte  
hatte  
solche  
sind s  
seines  
leitend  
Gabe,  
Folgen  
L  
lichen  
heit ge  
Mitbü  
teilt, v  
Fallbe  
de Mo  
tun kö  
B  
geleist  
ausgef  
dienste  
Seine  
gefunde  
der Ar  
gerade  
Lehre  
oben H  
liche V  
und ge  
wertun  
Priest

A. L. Lavoisier, 1743 geboren, erhielt eine treffliche Ausbildung, besonders in mathematisch-physikalischer Richtung, aber auch in den benachbarten Hilfswissenschaften. Seine chemische Erziehung verdankt er dem durch seine anregende Lehrtätigkeit berühmten Rouelle. Seine wichtigsten Arbeiten chemischer Richtung stehen im engsten Zusammenhang mit dem von ihm geleisteten Reformwerk. Schon frühzeitig trat bei ihm das Streben in den Vordergrund, seine Kenntnisse dem Vaterlande zugute kommen zu lassen; als Mitglied der französischen Akademie und vieler Kommissionen leistete er dem Gemeinwohl durch gutachtliche Tätigkeit hervorragende Dienste (z. B. als Mitglied des *Bureau de consultation*, der *Commission des poids et mesures*). Die Untersuchungen über spezifische Wärme und Verbrennungswärme verschiedener Stoffe, über die Schmelzwärme des Eises, lassen ihn als trefflichen Physiker erkennen. Auch an die Erforschung der Zusammensetzung von bis dahin unerkannten organischen Substanzen, ja an physiologisch-chemische Versuche wagte er sich nicht ohne Erfolg. Als sichere Führerin bei chemischen Arbeiten hatte Lavoisier die Wage erkannt, und dem regelmäßigen Gebrauche einer solchen, die eine bis dahin nicht erreichte Genauigkeit der Wägungen verbürgte, sind seine späteren Erfolge gewiß zum großen Teil zuzuschreiben. Auf der Höhe seines Schaffens gelangt, schrieb er 1789 das erste größere, die Neuzeit einleitende Lehrbuch: *Traité élémentaire de Chimie* und zeigte darin seine große Gabe, die vorhandenen Tatsachen zusammenzufassen und aus ihnen allgemeine Folgerungen abzuleiten.

Lavoisiers wissenschaftliche Verdienste und die seinem Vaterlande nützlichen Leistungen wurden ihm schlecht gelohnt. Als einer der in ihrer Gesamtheit gehaßten Generalpächter blieb er nicht vor dem Schicksal vieler seiner besten Mitbürger bewahrt. Auf Grund nichtiger Beschuldigungen zum Tode verurteilt, wurde er zugleich mit 28 anderen Generalpächtern am 8. Mai 1794 durchs Fallbeil hingerichtet. Daß seine einflußreichsten Fachgenossen, ein Fourcroy, de Morveau, die ihm so viel Dank schuldeten, nichts zu seiner Rettung haben tun können, ist eine überaus peinliche und traurige Tatsache.

Bei der Würdigung dessen, was Lavoisier für die Wissenschaft als Chemiker geleistet hat, sind die Urteile der Mit- und Nachwelt sehr verschiedenartig ausgefallen; es ist bemerkenswert, daß viele seiner Landsleute nur seine Verdienste hervorheben, seine offensichtlichen Schwächen aber milde übersehen. Seine Geistesschärfe und Gedankenklarheit haben allseitige Bewunderung gefunden. Seine chemischen Experimentaluntersuchungen dagegen sind nach der Art ihrer Entstehung vielfach als nicht einwandfrei erkannt worden, und gerade diejenigen Arbeiten, die ihn zur Aufstellung der neuen antiphlogistischen Lehre geführt haben, bieten der Kritik manchen Angriffspunkt. Es war schon oben hervorgehoben worden, daß Lavoisier über die Verbrennung und ähnliche Vorgänge zu der Zeit, als Scheele und Priestley den Sauerstoff entdeckt und gekennzeichnet hatten, sich noch im unklaren befand. Bei richtiger Bewertung seiner Veröffentlichungen und unter Benutzung der Aufzeichnungen Priestleys und Scheeles gelangt man nämlich zu folgendem Tatbestand:

Gegen Ende des Jahres 1772 erklärt Lavoisier die Gewichtsvermehrung der Metalle bei Verkalkung sowie des Phosphors bei der Verbrennung durch die Aufnahme einer großen Menge „Luft“, spricht auch von viel Luft, die bei der Reduktion von Bleiglätte mit Kohle entsteht, ohne den großen Unterschied der fraglichen Luftarten hervorzuheben. Ebenso ist er noch im unklaren über die Natur der die Verkalkung herbeiführenden „Luft“, als er im Jahre 1774 ein Experiment Boyles, die Verkalkung von Zinn in einem geschlossenen, luft-erfüllten Gefäß wiederholt. Als wägender Physiker meistert er den Versuch in allen Einzelheiten. Aus dem gleichen Gewichte des Gefäßes vor und nach dem Erhitzen schließt er, daß keine Feuermaterie vom Zinn aufgenommen ist, welchem Irrtum Boyle verfallen war. Beim Öffnen des Gefäßes dringt Luft ein, und nun zeigt sich eine Gewichtszunahme, die für den ganzen Apparat ebensogroß ist wie die, welche das Zinn selbst erfahren hat. Daraus zieht er den Schluß, daß „Luft“ aufgenommen worden ist und sich mit dem Zinn verbunden hat. Aber welcher Teil der „Luft“ es ist, welche Beschaffenheit der hinzugetretene Stoff hat, diese chemische Erkenntnis fehlt ihm völlig. Ja, aus seinem im November 1774 gehaltenen Vortrage über diese Versuche, sowie aus Laboratoriumsaufzeichnungen vom März 1775 ist zu ersehen, daß er immer noch unsicher umhertastete, obwohl inzwischen die Entdeckung des Sauerstoffs ihm von Priestley persönlich mitgeteilt worden war. Es zeigt sich in allem die Bevorzugung, die Lavoisier den physikalischen Umständen zuwandte, während er für die chemische Seite der Vorgänge wenig Interesse hatte.

Schon im Laufe des Jahres 1774 wurde Lavoisier, wie man bestimmt annehmen muß, mit dem Ergebnis der Versuche Bayens bekannt (s. S. 14), die ihm mehr noch als seine eigenen die Erklärung der Verkalkung hätten erschließen müssen. Besonders wichtig aber war der Besuch Priestleys im Oktober 1774 in Paris, denn wie dieser selbst berichtet, hat er dort zum Erstaunen der um Lavoisier versammelten Naturforscher die Mitteilung gemacht, daß durch Erhitzen von Quecksilberkalk und Mennige ein Gas entsteht, in dem ein Licht viel besser brennt als in Luft. Diese „feuernährende“ Eigenschaft des Sauerstoffes hatte Bayen nicht beobachtet. Erst mehrere Monate nach dieser Mitteilung Priestleys, nämlich im März 1775, wiederholte Lavoisier dessen Versuche und die Bayens mit größerer Genauigkeit, besonders unter Berücksichtigung der Gewichtsverhältnisse. Aber auch damals ist er noch nicht im Besitz der vollen Erkenntnis, daß es sich um eine bestimmte Gasart handelt, die einen Teil der Luft ausmacht. Die Änderungen, die er an seiner ersten Veröffentlichung vorgenommen hat, als diese in den Memoiren der Akademie für 1775, aber 3 Jahre später (1778) erschienen, können als Beweis für seine unbestimmte Auffassung dienen. Diesen Umstand, daß frühere Arbeiten Jahre nach ihrer ersten Publikation für die Memoiren eine andere Fassung erhielten, muß man bei der historischen Beurteilung im Auge behalten. Erst im Jahre 1776 kommt Lavoisier, wesentlich angeregt durch Versuche Priestleys, die er wiederholt, und gestützt auf die Beobachtung, daß Phosphor aus der Luft etwa ein Fünftel entnimmt, um eine Säure zu bilden, zur Klarheit und ist

imstande, aus der Summe nun richtig begriffener Tatsachen ein klares Er-  
 abzuleiten: seine Verbrennungs- oder Oxydationstheorie, die er zuerst in  
 „Mémoires sur la combustion en général“ veröffentlichte.

Lavoisiers Oxydationstheorie. — Ihre wichtigsten Sätze sind die  
 folgenden:

„Die Körper brennen nur in reiner Luft (air éminemment pure). Diese wird  
 bei der Verbrennung verbraucht, und die Gewichtszunahme des verbrannten  
 Körpers ist gleich der Gewichtsabnahme der Luft. Der brennbare Körper wird  
 gewöhnlich durch seine Verbindung mit der „reinen Luft“ in eine Säure ver-  
 wandelt, die Metalle dagegen in Metallkalke.“

Die willkürliche Annahme eines Brennstoffes, des Phlogiston, ist verschwun-  
 den, das erlösende Wort gesprochen, das die Geister von dieser Fessel befreit  
 hat. Ehe wir von der Aufnahme der neuen Lehre, die in Frankreich sofort viele  
 einflußreiche Anhänger gewann, bei den Chemikern anderer Länder berichten,  
 muß sich unsere Betrachtung der Entwicklung zuwenden, die sie durch ihren  
 Schöpfer selbst erhielt. Die beiden ersten Sätze bedurften, nachdem sie in wich-  
 tigen Fällen als zutreffend erkannt waren, kaum weiterer Beweise; sie zeigten  
 sich stark genug, den Angriffen einzelner Phlogistiker zu trotzen, die noch ver-  
 suchten, ihre Anschauungen durchzusetzen. Dagegen wurde die im letzten  
 Satz aufgestellte Behauptung der Bildung von Säuren, die demnach stets das  
 „Principe oxygine“ oder „acidifiant“ enthalten sollten, zu einem Stein des  
 Anstoßes für Lavoisier selbst und für seine Nachfolger, die sich von diesem in  
 seiner Allgemeinheit unhaltbaren Lehrsatz nicht zu trennen vermochten. In  
 der Tat hatte Lavoisier recht, zu behaupten, daß durch Verbrennung von Schwefel,  
 Phosphor, Kohlenstoff Säuren entstehen. Auch die Salpetersäure wurde,  
 nachdem Cavendish ihre Bildung aus Stickstoff und Sauerstoff erwiesen  
 hatte, als Verbrennungsprodukt des Stickstoffes erkannt. Aber ebenso sollte  
 die lange bekannte Salzsäure Sauerstoff enthalten: eine unrichtige Annahme,  
 die erst mehrere Jahrzehnte später nach schweren Kämpfen zum Heile der sich  
 kräftig entwickelnden Wissenschaft beseitigt wurde.

Daß durch Verbrennung von Wasserstoff ebenfalls eine Säure entstehen  
 müßte, stand für den Theoretiker Lavoisier fest, und er suchte eifrigst, eine solche  
 als Oxydationsprodukt zu fassen, natürlich ohne Erfolg. Wir wissen ja, daß  
 dabei nur Wasser entsteht. Diese Tatsache erwiesen zu haben, ist allein das  
 Verdienst des Phlogistikers Cavendish. Wenn Lavoisier selbst nicht die  
 Wahrheit fand, so war dies teils die Folge seiner Befangenheit, da er eine Säure  
 finden wollte, teils sein oft erprobter Mangel an chemischem Forschungstalent.  
 Als sehr kleinlich ist das Verhalten Lavoisiers zu bezeichnen, der sich be-  
 müht hat, den Hauptanteil an jener Entdeckung sich selbst zuzuschreiben.  
 Allerdings erwies sich erst in seiner Hand diese von den Phlogistikern in ihrer  
 Art gedeutete grundlegende Beobachtung fruchtbringend, denn ihm war sofort  
 die Zusammensetzung des Wassers aus Wasserstoff und Sauerstoff klar. Ge-  
 stützt auf diese Auffassung, vermochte er ohne weiteres die Zerlegung des Was-  
 sers durch glühendes Eisen, wobei letzteres den Sauerstoff aufnimmt, während

Zusammen-  
 setzung des  
 Wassers.

der Wasserstoff frei wird, richtig zu deuten, ebenso die Bildung von Wasser bei der Reduktion von Metallkalken oder Metalloxyden, wie er sie nannte, zu erklären. Endlich war ihm, nicht ohne die Mitarbeit von Laplace, nun die Entwicklung von Wasserstoff bei der Auflösung mancher Metalle in Säuren klar geworden. Gerade die Erklärung dieser Reaktion entwarfnete die phlogistische Lehre, die einen Hauptbeweis für den Gehalt der Metalle an Phlogiston in dem Entweichen des Wasserstoffes, der mit Phlogiston identisch sein sollte, erblickte. So wurde die Entdeckung der wahren Zusammensetzung des Wassers in vollstem Sinne des Wortes zu einem Grundpfeiler des neuen antiphlogistischen Systems.

Mit dieser im Jahre 1783 gewonnenen Erkenntnis war der Sturz der Phlogistonlehre besiegelt. Die neuen, durch ihre Einfachheit verblüffenden Gedanken, die Lavoisier in seinen Schriften aussprach und die von seinen hervorragenden Mitarbeitern und Anhängern auch in anderen Ländern verbreitet wurden, fegten die morsch gewordene alte Theorie bald hinweg. Eine Wahrnehmung, die man in dieser Zeit, seit Beginn der neuen Lehre 1777 bis zu ihrer Befestigung, etwa 1785, machen kann, ist bemerkenswert: Lavoisier stand in seinem Kampfe gegen die alte Auffassung zunächst fast allein, nur gestützt von einigen hervorragenden Physikern und Mathematikern, besonders Laplace, Monge, Cousin, die sich ihm auch als Mitarbeiter zugesellten. Seine physikalisch-mathematische Denkweise mag diese Geistesgemeinschaft hinreichend erklären. Allmählich traten ihm Chemiker von Bedeutung als Mitkämpfer zur Seite; in erster Linie Berthollet, der sich im Jahre 1786 zur Antiphlogistik bekannte, im nächsten Jahre Fourcroy und Guyton de Morveau. Mit diesen drei Männern hat Lavoisier die erste innere Einrichtung und Ausstattung des Neubaues, die Systematik der antiphlogistischen Chemie in Angriff genommen. Die erste muster-gültige Zusammenfassung dieser gelang ihm in seinem schon erwähnten *Traité de Chimie* (1789).

Ende der Phlogiston-Lehre. — Nur wenige von den namhaften Chemikern jener Zeit blieben der alten Auffassung treu oder suchten sie durch geringfügige Änderungen zu bessern und lebensfähig zu machen, so z. B. in England Cavendish und Priestley, die aber durch ihre wichtigen Versuche gerade die besten Helfer Lavoisiers geworden waren, in Frankreich selbst Bau mé de la Méthérie, Sage, in Deutschland Westrumb, Crell, Wiegleb u. a. Gegen Ende des 18. Jahrhunderts war nun wirklich die neue Lehre in allen Kulturländern siegreich. In Deutschland wirkten dafür durch Wort und Schrift Hermstädt, Girtanner, Klaproth, in England Kirwan, Higgin, in Holland Troostwyk und van Marum, in Italien Brugnatelli u. a.

Ehe wir uns mit der Form beschäftigen, die Lavoisier und seine Mitarbeiter der neuen chemischen Lehre gaben und die längere Zeit für alle Versuche, die chemischen Tatsachen systematisch zu ordnen, maßgebend blieb, sind einige Bemerkungen über Lavoisiers Eigenart am Platz. „Wo viel Licht, da ist auch viel Schatten“, — dies Wort bestätigt sich beim Einblick in seine geistige Werkstatt. Großartig bewährte sich die von ihm planmäßig betriebene Anwendung der Wage, die ihm die klare Erkenntnis der Gewichtsveränderungen bei chemischen

Proze  
seiner  
sprich  
kein S  
misch  
nach d  
So hat  
wiesen  
hat. I  
wußt  
Lomo  
überha  
Wie L  
anmut  
Zeitge  
stofflic  
gängen  
scheide  
Stoff a  
Seine  
bewerte  
legende  
Schee  
sich nic  
Lavoisi  
gewesen  
Bayen  
schon e  
moires  
blatt an  
frühere  
tiven F  
We  
das von  
erhebl  
ungen e  
Entwick  
damals  
wie obe  
als Oxy  
ausgehe  
zur Seit  
unorgan  
„Method

Prozessen erschloß. Vorwiegend Physiker, weiß er mit kühnem Geiste aus seinen Beobachtungen Schlüsse von allgemeinsten Bedeutung zu ziehen: er spricht mit klaren Worten das Gesetz von der Erhaltung des Stoffes aus, wonach kein Stoff in der Welt neu geschaffen oder verloren wird. Die Stoffe, die bei chemischen Vorgängen in Wechselwirkung treten, sind in ihrer Summe vor und nach der Reaktion gleich, ihre Mengen lassen sich daher in Gleichungen bringen. So hat Lavoisier mit hohem Geistesflug künftigen Generationen die Wege gewiesen. Die ganze Chemie fußt auf diesem Grundsatz, den er ausgesprochen hat. Freilich ist die Erhaltung des Stoffes schon vor Lavoisier von vielen unbekannt empfunden, von einigen ausgesprochen worden, am schärfsten wohl von Lomonossow, dessen Schriften Lavoisier sicher nicht gekannt hat, da sie überhaupt auch in Rußland, wo sie entstanden, wirkungslos geblieben waren. Wie Lomonossow auch über die Wärme Vorstellungen hegte, die ganz modern anmuten, so hatte sich auch Lavoisier von dem Vorurteil, das die meisten seiner Zeitgenossen hegten, freigemacht, von der Vorstellung nämlich, daß die Wärme stofflicher Natur sei. Gerade dadurch war er imstande, bei chemischen Vorgängen die Wärmeerscheinungen von den Gewichtsveränderungen streng zu scheiden, während andere dem Irrtum verfielen, mit der Wärme trete auch Stoff aus. Als Physiker steht Lavoisier demnach der Nachwelt groß vor Augen. Seine eigenen Leistungen auf rein chemischem Gebiete sind nicht so hoch zu bewerten, wie schon an anderer Stelle betont ist, denn die Anregung zu grundlegenden Versuchen hatte er von anderen erhalten, besonders von Priestley, Scheele, Cavendish und Bayen, die in ihrer phlogistischen Befangenheit sich nicht zu einer richtigen Deutung der Tatsachen durchzuringen vermochten. Lavoisiers Verhalten gegenüber den Leistungen anderer ist nicht einwandfrei gewesen. Er wurde den Verdiensten eines Marggraf, Black, Cavendish, Bayen nicht gerecht; er verschwieg, ja verdunkelte deren Arbeiten. Auch die schon erwähnte Tatsache, daß er seine Berichte vor der Aufnahme in die *Mémoires de l'Académie française*, die 3—4 Jahre später erschienen, als das Titelblatt angibt, den neueren Erfahrungen gemäß ohne besonderen Hinweis auf die frühere Fassung veränderte, spricht nicht für die Uneigennützigkeit des objektiven Forschers.

Wenn es demnach an Schatten nicht fehlt, so überstrahlt doch das Licht, das von Lavoisier ausging, solche kleinliche Anwandlungen, denen er unterlag, erheblich. Sein umfassender Geist schuf an Stelle einer alten Welt von Anschauungen eine neue Lehre, die ganz und gar sein Gepräge trug und die fortan der Entwicklung der Chemie im 19. Jahrhundert zugrunde gelegt wurde. Diese damals moderne Chemie — Fourcroy nannte sie „*Chimie française*“ — gipfelte, wie oben ausgeführt, in der richtigen Erkenntnis der Vorgänge, die man nun als Oxydationen und Reduktionen bezeichnet. Lavoisier errichtete, davon ausgehend, ein Lehrgebäude, bei dem ihm seine oben genannten drei Mitarbeiter zur Seite standen. In dem *Traité de Chimie*, dem das für die Einteilung der unorganischen Stoffe wichtige, von den vier Forschern herausgegebene Werk „*Méthode de nomenclature chimique*“ 1787 voranging, erstand das erste Lehr-

Gesetz von der  
Erhaltung des  
Stoffes.

buch der antiphlogistischen Lehre, das längere Zeit, bis neue Tatsachen zu einer wichtigen Reform führten, als Muster bestehen blieb.

Systematik der antiphlogistischen Chemie. — Lavoisier nahm zunächst eine große Zweiteilung der Stoffe vor: in Elemente und in Verbindungen. Die ersteren, zu denen er alle bisher nicht zerlegbaren Substanzen zählte, schied er in Unterabteilungen: voran stellte er Wärme und Licht, im Widerspruch mit seiner Annahme, daß sie nicht stofflicher Natur seien; dann in eine besondere Gruppe den Sauerstoff, Wasserstoff und Stickstoff. Zur zweiten Gruppe gehörten die säurebildenden Nichtmetalle: Schwefel, Phosphor, Kohlenstoff, ferner die hypothetischen Radikale der Salz-, Bor- und Flußsäure. Das Bor und Fluor wurden erst später isoliert, während das von Scheele entdeckte Chlor damals nicht als Element, sondern als „oxydierte Salzsäure“ angesehen wurde. Die dritte Klasse unzerlegbarer Stoffe umfaßte die Metalle. Welche Klarheit war hier erzielt gegenüber der phlogistischen Auffassung, nach der alle oxydierbaren Elemente zusammengesetzt waren! Die von Lavoisier anfangs zu den Grundstoffen gerechneten Alkalien und Erden wurden, obwohl damals noch nicht in ihre Bestandteile zerlegt, doch als Oxyde betrachtet, deren Spaltung künftigen Zeiten vorbehalten blieb.

Die Verbindungen werden in binäre und ternäre, also aus zwei oder drei Grundstoffen bestehende, eingeteilt. Zu ersteren gehören namentlich Säuren und Basen: Oxyde der Nichtmetalle und der Metalle, ferner Schwefel- und Phosphorverbindungen (sulfures, phosphures). Die wichtigsten zu den ternären Verbindungen zählenden Stoffe sind die Salze, durch Vereinigung von Basen und Säuren entstanden.

Nomenklatur Lavoisiers. — Die Bezeichnungsweise Lavoisiers, der hierbei besonders von Guyton de Morveau kräftig unterstützt wurde, ist für jene Zeit ein Meisterstück genialen Weitblickes. Für die Grundstoffe werden von ihm meist die alten Namen beibehalten, nur die neuentdeckten Gase erhalten solche, aus denen ihr wichtigstes chemisches Verhalten hervorgeht: Sauerstoff = Oxygène, Wasserstoff = Hydrogène, Stickstoff = Azote oder Nitrogène. Die Säuren werden durch Vorsetzen des Wortes *acide* vor die Namen des echten Elementes so genannt, wie noch heute in französischer Sprache üblich ist: *acide sulfurique, phosphorique, carbonique, azotique*. — Für niedrigere Oxydationsstufen desselben Elementes wird die Endsilbe „eux“ gebraucht, z. B. *acide sulphureux* usw.

Die Basen bezeichnet Lavoisier, ihrer Zusammensetzung entsprechend, als Oxyde, z. B. *oxyde de plomb, de cuivre*. Zur Benennung der Salze werden ihre beiden Bestandteile in folgender Weise benutzt: die Säuren liefern den Gattungsnamen, indem zum Beispiel salpetersaure Salze als *nitrates*, schwefelsaure als *sulfates*, phosphorsaure als *phosphates* bezeichnet werden, während die Namen der in den Salzen enthaltenen Metalle angefügt werden, so daß wir folgende noch heute gebräuchliche Namen finden: *nitrate de plomb, sulfate de baryte* usw.

Der Fortschritt, den diese Einteilung und Bezeichnungsweise unorganischer Stoffe aufwies, war sehr groß. An Stelle der chaotischen Unordnung der früheren

Lehrb  
zum  
der V  
nennu  
die ge  
ausge  
Aufga  
Diese  
bestim  
M  
diener  
noch  
die ne  
tholl  
wissen  
nützig  
Auch  
Chem  
Beson  
die s  
epoch  
Wir w  
zeigt  
stehen  
währe  
Ehren  
Natur  
zu Ar  
frucht  
de la s  
ablege  
A  
wohl a  
gender  
beiget  
des öf  
ziehun  
der hö  
cine, a  
lichen  
Forsch  
zuschre  
allgeme  
Schüler

Lehrbücher der Chemie mit so vielen Trivialbezeichnungen, deren Ursprung zum Teil schwierig festzustellen war und die nichts von der Zusammensetzung der Verbindungen aussagten, trat jetzt übersichtliche Ordnung und klare Benennung der Stoffe. Die noch zu lösende Hauptarbeit stand aber noch bevor: die genaue Ermittlung der wahren, durch die Menge der Einzelbestandteile ausgedrückten Zusammensetzung. Die planmäßige, zielbewußte Lösung dieser Aufgabe hat zur Aufstellung und Ausgestaltung der Atomtheorie geführt. Diese gibt der neuen Zeit, in die wir mit dem 19. Jahrhundert eintreten, das bestimmte Gepräge (siehe den zweiten Abschnitt).

Mitarbeiter Lavoisiers. — Ehe diese Entwicklung zu schildern ist, verdienen die Leistungen der Mitarbeiter Lavoisiers sowie einiger anderer Chemiker noch besondere Beachtung, da sie mehr oder weniger dazu beigetragen haben, die neue Ära vorzubereiten. Unter den französischen Forschern ragt Cl. Berthollet, geboren 1748, gestorben 1822, hervor. Sein Einfluß auf das naturwissenschaftliche Unterrichtswesen Frankreichs, auf die Organisation gemeinnütziger Unternehmungen, und seine Tätigkeit als Lehrer sind hoch zu bewerten. Auch seine chemischen Untersuchungen über wichtige Teile der unorganischen Chemie haben die chemische Erkenntnis vertieft und die neue Lehre gestärkt. Besonders bedeutsam, ja von tiefgreifendem Einfluß waren die Forschungen, die sich auf die Lehre der chemischen Affinität bezogen und die er in einem epochemachenden Werke, „Essai de statique chimique“ (1803), niederlegte. Wir werden seinen Gedankengängen, die sich erst in neuerer Zeit fruchtbar gezeigt haben, nachdem sie zunächst einer gesunden Entwicklung im Wege zu stehen schienen, mehrfach begegnen. Persönlich hat Berthollet, der schon während des Kaiserreiches, aber auch nach der Restauration zu den höchsten Ehren gelangt war, in günstigster Weise auf den Zusammenschluß französischer Naturforscher gewirkt, indem er die namhaftesten derselben in seiner Wohnung zu Arceuil bei Paris regelmäßig zu einer engeren Akademie vereinte, von deren fruchtbarem Wirken inmitten kriegerischer Zeiten zehn Jahre lang die „Mémoires de la société d'Arceuil“ mit ihren vorzüglichen Abhandlungen rühmlichst Zeugnis ablegen.

A. Fr. Fourcroy, geboren 1755, gestorben 1809, hat außer Lavoisier selbst wohl am meisten durch seine umfängliche literarische Tätigkeit sowie als anregender Lehrer zur Verbreitung und Anerkennung des antiphlogistischen Systems beigetragen. Zur Erhöhung dieses Einflusses diente seine Stellung an der Spitze des öffentlichen Unterrichtswesens, das nach seinem Plane unter starker Heranziehung naturwissenschaftlicher Studien umgestaltet wurde. An der Gründung der höheren Lehranstalten, der École polytechnique, École centrale de médecine, an der Gestaltung des naturhistorischen Museums hatte Fourcroy wesentlichen Anteil, und so ist ihm sicher mittelbar die Blüte, zu der die chemische Forschung während der nächsten Jahrzehnte gerade in Frankreich kam, zuzuschreiben. Seine meist physiologisch-chemischen Untersuchungen haben keine allgemeine Bedeutung erlangt, schon eher die, welche er im Verein mit seinem Schüler Vauquelin (geb. 1763, gest. 1829) veröffentlichte, die wohl mehr auf

des letzteren Rechnung zu setzen sind und die Kenntnis wichtiger, bisher unbekannter unorganischer und organischer Stoffe angebahnt haben.

G. de Morveau.

Der dritte im Bunde mit Lavoisier, Guyton de Morveau (1737—1816), ist als origineller Forscher im Gebiete der Experimentalchemie weniger hervorgetreten, als durch seine geschickte, höchst anregende Mitwirkung bei der Einrichtung des neuen Systems, besonders bei der Begründung der neuen Nomenklatur, deren erste Fassung von ihm herrührt. Auch der fruchtbaren Tätigkeit, die von ihm als Lehrer und Organisator ausging, ist zu gedenken.

Im letzten Jahrzehnt des 18. Jahrhunderts standen die Chemiker fast vollständig im Zeichen der von Lavoisier begründeten neuen Richtung. Sein Lehrbuch diente als Führer. Es kamen nicht nur seine theoretischen Anschauungen zur Herrschaft, auch die Anwendung feiner Wagen, die Bestimmung der Gewichtsverhältnisse bei chemischen Vorgängen wurde in ihrer vollen Bedeutung gewürdigt und trug bald treffliche Früchte. Die Untersuchungen von Proust und J. B. Richter über die Zusammensetzung von Oxyden und Salzen gehören hierher und leiten das Zeitalter der Atomtheorie ein. Wegen ihres Zusammenhanges mit dieser sind die Arbeiten der Genannten in dem nächsten Abschnitt behandelt.

Der Altersgenosse Lavoisiers, M. H. Klaproth (1743—1817), der, ursprünglich Apotheker, später in Berlin als Professor der Chemie an der neugegründeten Universität wirkte, ist, nachdem er sich zur neuen Lehre bekannt hatte, auf analytischem und mineralogisch-chemischem Gebiete mit größtem Erfolge tätig gewesen, hat auch die anorganische Chemie durch Entdeckung verschiedener Elemente und Erden bereichert, z. B. des Urans, Titans, der Cererde. In anderen Ländern wies, abgesehen von Frankreich, die Chemie in jener Zeit keine erheblichen Fortschritte auf.

Chemische Unterrichtsmittel. — Betrachten wir noch die allgemeinen Zustände in der Chemie während des 18. Jahrhunderts, so liegt die Frage nahe: Auf welche Weise wurden chemische Kenntnisse vermittelt und verwertet? Die Praxis des Chemikers konnte fast nur in den Apotheken erlernt werden, und so gehen denn auch nahezu alle Chemiker aus den Offizinen hervor. Einen planmäßigen Laboratoriumsunterricht, der einer Anzahl junger Männer zugute kommt, gab es nicht, dazu fehlte auch die Methode. Erst in den letzten Jahrzehnten des 18. Jahrhunderts begann man auf die Gestaltung des Unterrichtes durch Vorlesungen, die in theoretische und experimentale geschieden wurden, namentlich in Frankreich Wert zu legen. Rouelle, der Lehrer Lavoisiers, und später Fourcroy waren durch ihre glänzenden Vorträge, denen auch einige Versuche zur Erläuterung beigegeben wurden, berühmt. Vauquelin versuchte damals neben seinen Vorlesungen im kleinen Maßstabe eine Art Laboratoriumsunterricht strebsamen Studenten zu erteilen. Immer aber waren es nur wenige Auserwählte, die sich solchen Vorzugs erfreuen durften.

Periodische  
Schriften.

Die chemische Literatur nahm ebenfalls gegen Ende des 18. Jahrhunderts einen erheblichen Aufschwung. Früher vermittelten fast nur die selten erscheinenden Berichte einiger gelehrter Gesellschaften die neuen Ergebnisse

der Forschung. Im Jahre 1789 traten an Stelle der *Mémoires de l'académie française* unter Leitung von Lavoisier und seinen Mitarbeitern die *Annales de chimie*, die alle folgenden über Frankreich hereinbrechenden Stürme überdauert haben. In Deutschland kamen etwa zur selben Zeit Crells Chemische Annalen, Scherers Allgemeines Journal der Chemie und die Annalen der Physik von Gren und Gilbert auf, aus denen zum Teil die heutigen Zeitschriften hervorgegangen sind.

Von chemischen Lehrbüchern hatten die von Lemery (*Cours de chimie*)<sup>Lehrbücher.</sup> und von Macquer (*Éléments de chimie théorique et pratique*) lange Zeit die größte Verbreitung, bis Lavoisiers *Traité de chimie* als mustergültiges Werk, das bald in andere Sprachen übertragen wurde, alle früheren in den Schatten drängte.

Am Schlusse dieses ersten Abschnittes ist ein Wort über die gelehrten Gesell-<sup>Akademien.</sup>schaften am Platze, die, seit Mitte des 17. Jahrhunderts entstehend, zur Verbreitung chemischer Tatsachen und Gedanken erheblich beigetragen haben. Daß Boyle sich mit Gesinnungsgenossen zu einem wissenschaftlichen Verein verband, aus dem die *Royal Society* hervorging, wurde oben schon erwähnt. Wie diese nach dem Vorbilde der *Accademia del cimento* in Florenz gegründet war mit dem Ziele, wissenschaftliche Forschungen ohne jeglichen Nebenzweck durchzuführen, so entstanden bald andere, zu hohem Ansehen gelangende Gesellschaften. In erster Linie ist die französische *Académie royale des sciences* (gegründet 1666) zu nennen; fast gleichzeitig wurde die älteste deutsche *Academia caesarea Leopoldina naturae curiosorum* gegründet, und besonders infolge der Bemühungen von Leibniz trat i. J. 1700 die Berliner Akademie ins Leben; ihr folgten andere, so die Petersburger (1725), die schwedische (1739), die dänische (1743) u. a. m. Daß ein besonderer Nutzen der Akademien dem Zusammenwirken und der persönlichen Berührung verschiedener Forscher zuzuschreiben sei, hat in sehr bezeichnender Weise der große Astrophysiker Laplace ausgesprochen: „Während der einzelne Gelehrte sich leicht dem Dogmatisieren hingibt, führt in einer gelehrten Gesellschaft der Zusammenprall dogmatischer Ansichten sehr bald zu ihrer Zerstörung. Der Wunsch, sich gegenseitig zu überzeugen, ruft ferner unter den Mitgliedern die Übereinkunft hervor, nichts anderes als die Ergebnisse der Beobachtung und Rechnung anzunehmen.“

Zur Überleitung in die neue Zeit, an deren Beginn die Atomtheorie Daltons<sup>Rückblick.</sup> steht, ist ein Rückblick auf die letzten Kämpfe und ein Ausblick in die kommenden Zeiten am Platze. Die Schilderung der Leistungen Lavoisiers hat gezeigt, daß er als Chemiker auf den Schultern seiner Vorgänger und bedeutenden Zeitgenossen stand, ohne deren Entdeckungen die neue Lehre kaum in der Gestalt, die der geniale Mann ihr zu geben verstand, zur Erscheinung gelangt wäre. Mit Hilfe seiner Mitarbeiter war es ihm möglich, die bisherige Auffassung der wichtigsten chemischen Vorgänge, besonders der Oxydationsprozesse, durch eine gerade entgegengesetzte Auffassung zu ersetzen. Die schon lange

an Altersschwäche leidende phlogistische Theorie mußte durch die Wucht der mit überzeugenden Tatsachen gestützten Gegengründe zusammenbrechen. Es vollzog sich eine vollständige Umwälzung der Begriffe, eine Neugestaltung der chemischen Lehren.

Alle die wichtigen Vorgänge, bei denen bisher das Entweichen von Phlogiston vorausgesetzt wurde, fanden ihre ungezwungene Erklärung durch die Annahme, daß Sauerstoff von den brennbaren oder oxydierbaren Stoffen aufgenommen wird; und umgekehrt, die durch Zutritt von Phlogiston gedeuteten Vorgänge der Reduktion wurden nun durch die Ausscheidung, also durch Entziehung von Sauerstoff erklärt.

Die Zeit war gekommen, in der die Widersprüche, in die sich die alte Lehre des Phlogistons verwickelt hatte, nur gewaltsam zu lösen waren, denn in keinem Falle konnte die Existenz des hypothetischen Brennstoffes nachgewiesen werden.

Wohin kam dieser bei der Verkalkung des Metalls, oder bei der Verbrennung von Kohlenstoff, Schwefel, Phosphor im geschlossenen Raume? Wie war die erwiesene Zunahme des Gewichtes von Metallen bei ihrer Verkalkung, wie die Abnahme des Gewichtes der Metalloxyde bei ihrer Reduktion mit Kohlenstoff oder Wasserstoff, wie endlich die Bildung von Wasser bei diesem Vorgange zu deuten? Die Annahme des Phlogistons stand bei all diesen Vorgängen in grellestem Widerspruch mit den einfachsten Tatsachen und mußte fallen gelassen werden. Damit war der ganzen Phlogistontheorie das Fundament entzogen. Sie brach in sich zusammen.

Eine Folge der neuen Auffassung, die das Phlogiston als unnützen, dem Reiche der Phantasie angehörigen Stoff beseitigte, war die Umkehrung der Vorstellungen, die man sich von der Zusammensetzung wichtiger Stoffe bisher gemacht hatte: Die Elemente der Phlogistontheorie, wie Metalloxyde, Säuren, wurden als zusammengesetzte Stoffe, die als zusammengesetzt angesehenen Metalle, sowie der Schwefel, Phosphor, nun als Elemente erkannt. In der Tat hatte hier Lavoisier eine vollständige Revolution der chemischen Lehren zustande gebracht. Daß diese gewaltsame Umgestaltung zu einer erfolgreichen Reform wurde, verdankt man dem Umstande, daß in dem Sauerstoff der feste Mittelpunkt erkannt war, welcher der neuen Lehre den sicheren Halt gab.

Schon gegen Ende des 18. Jahrhunderts war das antiphlogistische System zur allgemeinen Herrschaft gelangt. Zu derselben Zeit hatten einige Forscher sich mit der Aufgabe, die nähere Zusammensetzung Sauerstoff enthaltender Verbindungen festzustellen, erfolgreich beschäftigt; besonders war es Jeremias Benjamin Richter, der durch seine Untersuchungen über die Vereinigung von Säuren mit Basen zu Salzen die Lehre von den chemischen Proportionen begründete. Neben und nach ihm ermittelte der Franzose Proust die wechselnden Verbindungsverhältnisse zweier Elemente und erkannte die wichtige Tatsache der sprungweisen Änderung dieser Verhältnisse: eine Beobachtung, die zu den multiplen Proportionen Daltons geführt hat.

Aus diesen Arbeiten erwuchs die an des letzteren Namen geknüpfte Atomtheorie, die in ihrer weiteren Ausgestaltung allen Forschungen chemischer

und physikalisch-chemischer Richtungen als sichere Führerin gedient hat. Ihre Entwicklung soll in dem nächsten Abschnitte geschildert werden.

Die Atomtheorie hat sich dank der Mitarbeit der größten Meister aus schwachen Anfängen zu einem mächtigen Strome entwickelt, der unaufhörlich alle Gebiete befruchtet, die sich ihrem Einfluß unterwerfen lassen. Durch Zuflüsse aus anderen Reichen der Naturforschung, wie der Physik, Mineralogie, Kristallographie, der Biologie, verstärkt, spendet sie seit einem vollen Jahrhundert ohne Unterbrechung und in wachsendem Maße reichste Früchte. Besonders seit ihrer Erweiterung durch Aufnahme molekular-theoretischer Ideen, die schon bald nach ihrer Aufstellung sich bemerklich machten, ist die Atomtheorie erheblich ausgebaut und befestigt worden.

Mit dem Beginn des 19. Jahrhunderts also tritt die Chemie in das Zeitalter der Atomtheorie, die in ihrer unerschöpflichen Schaffenskraft sicherlich noch lange Zeit der Weiterentwicklung der chemischen Wissenschaft und verwandter Gebiete dienen, ja ihr wie bisher so auch weiterhin das eigenartige Gepräge erteilen wird.