

**SAMMLUNG GÖSCHEN BAND 265/265 a**

# **GESCHICHTE DER CHEMIE**

**IN KURZGEFASSTER DARSTELLUNG**

von

**DR. GEORG LOCKEMANN**

Univers.-Professor, Geh. Reg.-Rat

Zweiter Band

## **VON DER ENTDECKUNG DES SAUERSTOFFS BIS ZUR GEGENWART**

Mit 16 Bildnissen



**WALTER DE GRUYTER & CO.**

vormals G. J. Göschen'sche Verlagshandlung. J. Guttentag,  
Verlagsbuchhandlung. Georg Reimer, Karl J. Trübner. Veit & Comp.

**BERLIN 1955**

Alle Rechte, einschl. der Rechte der Herstellung von Photokopien und  
Mikrofilmen, von der Verlagshandlung vorbehalten

## Inhaltsübersicht

- V. Entwicklung der Chemie von der Sauerstoffentdeckung bis zur Mitte des neunzehnten Jahrhunderts. S. 5—57.
1. Umwandlung der Chemie durch Lavoisiers Oxydationstheorie. S. 5—11.
  2. Ausbildung der quantitativen Forschungsweise. Stöchiometrie, Atomtheorie, Gasgesetze. S. 11—21.
  3. Entdeckung neuer Elemente. Weitere Entwicklung der quantitativen Forschungsweise. S. 22—40.
  4. Die drei großen deutschen Forscher: Liebig, Wöhler, Bunsen. S. 41—57.
- VI. Weiterentwicklung der Chemie in Einzelgebieten bis in den Anfang des zwanzigsten Jahrhunderts. S. 57—103.
1. Organisch-chemische Forschung. S. 57—78.
  2. Organisch-chemische Industrie. S. 78—83.
  3. Anorganische u. allgemeine chemische Forschung. S. 83—90.
  4. Entwicklung der physikalischen Chemie. S. 90—99.
  5. Anorganisch-chemische Industrie. S. 99—103.
- VII. Kurzer Überblick über die Entwicklung der Chemie in der ersten Hälfte des zwanzigsten Jahrhunderts. S. 103—134.
1. Allgemeine, physikalische und anorganische Chemie. S. 103—112.
  2. Radioaktivität, Umsturz der Grundanschauungen, künstliche Elemente. S. 112—118.
  3. Organische Chemie in Forschung u. Industrie. S. 118—134.
- Schlufwort. S. 135—136.
- Die Nobelpreisträger für Chemie. S. 137.
- Bücher über Geschichte der Chemie. S. 138—139.
- Personennamenverzeichnis. S. 140—144.
- Schlagwortverzeichnis. S. 144—151.

## **Bildnisse**

1. Antoine Laurent Lavoisier (1743—1794).
2. John Dalton (1766—1844).
3. Jöns Jacob Berzelius (1779—1848).
4. Louis Joseph Gay-Lussac (1778—1850).
5. Michael Faraday (1791—1867).
6. Justus von Liebig (1803—1873).
7. Friedrich Wöhler (1800—1882).
8. Robert Wilhelm Bunsen (1811—1899).
9. Adolf von Baeyer (1835—1917).
10. Emil Fischer (1852—1919).
11. Jacobus Henricus van't Hoff (1852—1911).
12. Svante Arrhenius (1859—1927).
13. Wilhelm Ostwald (1853—1932).
14. Walter Nernst (1864—1941).
15. Maria Skłodowska-Curie (1867—1934).
16. Otto Hahn (geb. 1879).

# Geschichte der Chemie

in kurzgefaßter Darstellung

Zweiter Band

*Von der Entdeckung des Sauerstoffs bis zur Gegenwart*

Durch die Entdeckung des Sauerstoffs wurde für die Chemie ein neues Zeitalter heraufgeführt. Ohne es selbst zu ahnen, gruben die Entdecker Scheele und Priestley der alles beherrschenden Phlogistontheorie, deren gläubige Anhänger sie beide bis an ihr Lebensende blieben, das Grab. Zur vollen Auswertung der experimentellen Befunde fehlte noch die richtige theoretische Deutung, um aus dem immer verworrener gewordenen Gestrüpp der Phlogistik herauszukommen. Die bisher lediglich *qualitativ* betriebene Forschungsweise mußte durch eine strenge *quantitative Methodik* ergänzt werden, für die Maß, Zahl und Gewicht die unbedingte Grundlage bilden. Erst dann konnte sich unter Forträumung mancher überalterter Anschauungen der große Umschwung in der Chemie vollziehen.

## V. Entwicklung der Chemie von der Sauerstoffentdeckung bis zur Mitte des neunzehnten Jahrhunderts

### 1. Umwandlung der Chemie durch Lavoisiers Oxydationstheorie

Diese große Umwandlung, durch die die Sauerstoffentdeckung recht eigentlich erst ganz vollendet wurde, ging nicht von einem Chemiker aus. Wie das auch sonst mehrfach der Fall gewesen ist, kam der große Reformator aus einem benachbarten Gebiete: Lavoisier war *Physiker*; er hat kaum eine irgendwie belangreiche chemische Entdeckung gemacht, aber er verstand es, die experimentellen Befunde anderer mit klarem, nüchternem Verstande richtig zu deuten und sie dadurch ihrer wahren Bedeutung nach erst der Wissenschaft dienstbar zu machen.

Antoine Laurent Lavoisier (1743—1794) war der Sohn eines wohlhabenden Pariser Advokaten, der als „conseillier secrétaire“ in königlichen Diensten den erblichen Adel erhalten hatte. Statt dem väterlichen Berufe zu folgen, widmete sich der Sohn dem Studium der Naturwissenschaften, besonders der Physik; auch hörte er chemische Vorlesungen bei dem berühmten Rouelle (s. Bd. I, S. 102). Frühzeitig machte er sich durch tüchtige Leistungen bemerkbar, so daß er als Einundzwanzigjähriger für eine Preisschrift über die beste Art der Straßenbeleuchtung großer Städte von der Académie des Sciences eine vom König gestiftete goldene Denkmünze erhielt. Nach einer geologischen Forschungsreise bis in die Schweiz wurde er mit 25 Jahren „adjoint chimiste supernuméraire“ der Akademie. Einige Jahre später trat er der „Fermier générale“ (Institution zur Einziehung der indirekten Steuern) bei und heiratete die damals vierzehnjährige Maria Anne Pierette Paulze, Tochter eines anderen schwerreichen Generalsteuerpächters, die ihm in kinderloser Ehe als wissenschaftliche Hilfsarbeiterin wertvolle Dienste leistete und mit ihm bei lebhaftem gesellschaftlichen Verkehr ein großes Haus führte. Seine ungewöhnliche Vielseitigkeit und sein außerordentlicher Arbeitseifer waren der Anlaß, daß er zu der Bearbeitung und Begutachtung der allerverschiedensten Fragen herangezogen wurde (Lebensmittelkontrolle, Wasserversorgung auf Seeschiffen, Mesmerismus, Wünschelrute, Luftballonfahrten usw. usw.). Trotz dieser zersplitternden Beanspruchung konnte er sich durch strenge Zeiteinteilung behaupten, indem er die frühen Morgen- und späten Abendstunden für seine wissenschaftlichen Untersuchungen verwendete. Zu all der Vielgeschäftigkeit kam 1776 noch die Leitung der Pulverfabrikation. In dem Gelände der „Salpêtrière“ stattete er sich das Laboratorium mit den besten und empfindlichsten physikalischen Instrumenten aus und beschäftigte er tüchtiges Hilfspersonal. Bei seiner Neigung zu theatralischem Auftreten pflegte er dort auch allwöchentlich eine Art Schauexperimentieren zu veranstalten, zu dem die hervorragendsten Pariser Gelehrten geladen wurden.

Durch den Erwerb eines Landgutes, Fréchaines, kam Lavoisier auch nicht nur mit der Landwirtschaft, sondern auch mit der Politik in Berührung. Er wurde in die Provinzialverwaltung von Orléans gewählt, und nach Ausbruch der Revolution (1789) wurde er auch Mitglied der Pariser Stadtvertretung und der Verwaltung des königlichen Schatzes. Selbstverständlich war er auch an der Bearbeitung des neuen metrischen Maß- und Gewichts-

system beteiligt. Aber er wurde auch mit in den Strudel der sich immer mehr überstürzenden revolutionären Ereignisse hineingerissen und zusammen mit anderen Generalpächtern im November 1793 verhaftet. Von seinen zahlreichen Freunden wagten nur drei, darunter der Mineraloge Hauy, für ihn einzutreten. „Nous n'avons plus besoin des savants“ war die Antwort des Gerichtspräsidenten. Am 8. Mai 1794 mußte er zusammen mit 28 anderen Generalpächtern das Blutgerüst besteigen und „in den Sack niesen“.

Lavoisiers *wissenschaftliche Arbeiten* liegen eigentlich ganz auf *physikalischem* Gebiete. Gemeinsam mit dem Mathematiker Pierre Simon de Laplace (1749—1827) konstruierte er ein *Eiscalorimeter*, mit dem sie sehr genaue Bestimmungen der spezifischen Wärme und der latenten Schmelzwärme verschiedener Metalle ausführten. Sie machten auch *physiologische Untersuchungen*, indem sie sich bemühten, die durch körperliche sowohl als durch geistige Arbeit entwickelte Wärme zu bestimmen. Die *Unveränderlichkeit des Gewichts* bei chemischen Vorgängen und die *Unzerstörbarkeit des Stoffes* suchte Lavoisier experimentell zu beweisen. Charakteristisch für ihn ist die Art und Weise, wie er die alchemistische Anschauung von der Verwandlung von Wasser in Erde experimentell widerlegte. Während Scheele den Beweis auf chemischem Wege führte (s. Bd. I, S. 126), zeigte Lavoisier, daß das Gewicht des beim Kochen des Wassers entstandenen Niederschlages gleich dem Gewichtsverlust des Glasgefäßes war. Experimentelle Entdeckungen auf chemischem Gebiete sind ihm versagt geblieben. Die von ihm ermittelte *Zusammensetzung des Gipses* aus Kalk, Schwefelsäure und Wasser war bereits 1750 von Marggrafe angegeben (s. Bd. I, S. 98).

Vor allem war es das schon von so manchen Forschern ohne entscheidenden Erfolg bearbeitete *Problem der Verbrennung und Verkalkung, der Gärung und Atmung*, das Lavoisier jahrelang beschäftigte. Die *Gewichtszunahme von Blei und Zinn beim Verkalken* war schon lange bekannt. Bereits 1630 hatte Jean Rey (s. Bd. I, S. 13) in seinen „Essays“ dafür eine Erklärung zu geben versucht. Lavoisier konnte nun zeigen, daß sich bei der Reduktion der Metallkalke durch Erhitzen mit Kohle etwa die tausendfache Volumenmenge von „*fixer Luft*“ entwickelt. Als er den

schon im Jahre 1694 in Florenz von Guiseppe Averani (1662—1738; Prof. d. Jurisprud. in Pisa) und Cipriano Antonio Targioni (1672—1748; Arzt in Florenz) ausgeführten Versuch wiederholte (1772) und im Fokus eines noch von Tschirnhaus (s. Bd. I, S. 97) herrührenden großen Brennspeiegels einen *Diamanten* „verdampfte“, erhielt er dieselbe „fixe Luft“, woraus zu schließen war, daß der Diamant nichts anderes als reiner *Kohlenstoff* sei. — Daß *Phosphor* beim *Verbrennen an Gewicht zunimmt*, hatte bereits H an k ö w i t z, der Laboratoriumsgehilfe von Robert Boyle (s. Bd. I, S. 84), wie auch M a r g g r a f e (s. Bd. I, S. 91) beobachtet. Lavoisier konnte nun auch beim *Verbrennen von Schwefel* dieselbe Erscheinung feststellen; er suchte sich die Priorität dieser beiden Beobachtungen durch Einreichen eines versiegelten Schreibens bei der Akademie der Wissenschaften zu sichern (Oktober 1772).

Mit derartigen Versuchen beschäftigt und eifrigst bemüht, das große Rätsel des Verbrennungs- und Verkalkungsvorganges zu lösen, erhielt Lavoisier im Oktober 1774 eine unverhoffte Hilfe durch Priestley, der mit Lord Shelburn als dessen Sekretär nach Paris gekommen war und zusammen mit mehreren Pariser Gelehrten an der Tafelrunde in Lavoisiers gastlichem Hause teilnahm (s. Bd. I, S. 113). Als Priestley nun von seinen Versuchen mit der aus dem roten „*Praecipitatus per se*“ gewonnenen „*dephlogistierten Luft*“ und deren überraschenden Eigenschaften erzählte, da horchten der Gastgeber und die anwesenden Gäste höchst erstaunt auf. Das mußte dieselbe Luftart sein wie die „*fluide élastique*“, über die vor kurzem Pierre Bayen berichtet hatte (s. Bd. I, S. 134), ohne deren Eigenschaften näher zu prüfen. Auch Scheele hatte von einer „*Vitriolluft*“ oder „*Feuerluft*“ geschrieben (s. Bd. I, S. 127), die er bei Erhitzen einer aus Silberlösung durch Sodazusatz gewonnenen Fällung neben fixer Luft erhalten hatte. Lavoisier erkannte sofort die große Bedeutung des Gehörten und Gelesenen. Sobald es dem Vielbeschäftigten seine Zeit erlaubte, überzeugte er sich von der Richtigkeit durch Wiederholung der Versuche mit den ihm zur Verfügung stehenden reichlichen Mitteln; und im nächsten Frühjahr, am 25. April 1775, hielt er in der Akademie einen Vortrag „*über die Natur des Prinzips, welches sich mit den Metallen bei ihrer Verkalkung verbindet und ihr Gewicht erhöht*“. Aber weder Priestley noch Scheele oder Bayen hat er dabei er-

wähnt. Und in seinem 14 Jahre später (1789) erschienenen Lehrbuch macht er bei der Besprechung des Sauerstoffs die Bemerkung, dieses Gas sei „fast zur gleichen Zeit“ wie von ihm auch von Priestley und Scheele entdeckt worden. Das hat noch im Jahre 1800 den inzwischen nach Amerika ausgewanderten Priestley zu einer geharnischten Gegenerklärung veranlaßt (s. Bd. I, S. 113).

Auch bei einem solch klar denkenden Kopfe wie Lavoisier hat es mehrere Jahre gedauert, bis er sich ganz von den überkommenen Anschauungen losmachen konnte. Er hielt die Feuerluft für eine Verbindung des eigentlichen „*principe acidifiant*“ oder „*principe oxygène*“ mit dem damals in der Physik allgemein angenommenen „Wärmestoff“. Aus dem „*principe oxygène*“ ist dann der einfachere Name „*oxygène*“ geworden, der als „Sauerstoff“ in die deutsche Sprache übergegangen ist. Er wurde als dasjenige Element erkannt, das nicht nur bei der Bildung von Säuren die entscheidende Rolle spielt, das sich vielmehr auch mit den Metallen unter Bildung der „*Kalke*“ oder „*Oxyde*“ verbindet.

Um die Erkenntnis der *chemischen Zusammensetzung des Wassers* hat sich Lavoisier ebenfalls in zahlreichen kostspieligen Versuchen — er soll mehr als 50 000 Livres dafür aufgewendet haben — bemüht, ohne zu einem wirklichen Ergebnis zu gelangen. Erst als er durch den 1783 in Paris weilenden englischen Arzt und Naturforscher Charles Bladgen (1748—1820) von Cavendishs Versuchen unterrichtet wurde, hat er sich in gemeinsam mit Laplace ausgeführten Versuchen davon überzeugt, daß der Sauerstoff bei der Vereinigung mit Wasserstoff nicht, wie er erwartet hatte, eine Säure, sondern einfaches Wasser bildet. Er hat dann in der Akademie wiederum einen Vortrag gehalten, ohne den Namen des eigentlichen Entdeckers anzugeben. Noch heute wird eine *Probe von 45 g synthetischen Wassers*, in ein Glasrohr eingeschmolzen, in Paris als kostbare Lavoisier-Reliquie aufbewahrt. Bei seinen weiteren Versuchen ist ihm jedoch die *Zerlegung des Wassers* durch Überleiten von Wasserdampf über glühendes Eisenpulver gelungen, wobei er allerdings nur das Wasserstoffgas wiedergewinnen konnte.

Im Laufe der achtziger Jahre hatte Lavoisier die Anschauungen über die chemischen Vorgänge so weit geklärt,

daß er die alte Phlogistontheorie für völlig überwunden betrachten und seine neue *Oxydationstheorie* entwickeln konnte. Es wurde alles umgekehrt: Trennung (von Phlogiston) wurde Vereinigung (mit Sauerstoff) und Vereinigung wurde Trennung. Die neue Anschauung konnte sich, auch in seiner nächsten Umgebung, nur langsam durchsetzen. Berthollet (1748—1822) schrieb noch 1785 im phlogistischen System, Fourcroy (1755—1809) nahm erst im Winter 1786—1787, Guyton de Morveau (1737—1816) noch später die neue Lehre an. Als diese dann als die „Theorie der französischen Chemiker“ bezeichnet wurde, betonte Lavoisier, und diesmal mit voller Berechtigung, sein Urheberrecht mit den Worten: „*Elle est la mienne!*“. — Mit den genannten drei Forschern zusammen hat er dann die notwendig gewordene neue Bezeichnungsweise der chemischen Verbindungen und Vorgänge ausgearbeitet und in einer besonderen Schrift „*Méthode de nomenclature chimique*“ 1787 veröffentlicht. Die darin angegebenen Bezeichnungen wie: oxyde de plomb, sulfate de baryte, acide sulfurique, acide sulfureuse usw. sind dann in entsprechender Übersetzung auch in die anderen Sprachen übergegangen. Zwei Jahre später (1789) erschien das von Lavoisier verfaßte zweibändige Lehrbuch „*Traité élémentaire de Chimie, présenté dans un ordre nouveau et d'après les découvertes modernes*“. Obwohl hierin unter den Elementen auch noch *Licht und Wärme als gewichtslose Grundstoffe* aufgeführt werden, kann man mit dem Erscheinen dieses Buches die ganze grundstürzende Umwandlung der Chemie als abgeschlossen betrachten. Die chemische Revolution war beendet, als die politische begann.

Bei seinem Sinn für das Theatralische hat Lavoisier auch nicht versäumt, dieser Tatsache durch eine besondere Veranstaltung Ausdruck zu geben. Auf der Bühne erschien das aus brennbarem Stoff hergestellte „Phlogiston“, vom „Oxygène“ schwerer Verbrechen beschuldigt und von dem als „Advocatus diaboli“ auftretenden Professor Stahl verteidigt; schließlich aber wurde es zum Feuertode verurteilt und verbrannt, wobei Madame Lavoisier selbst als Opferpriesterin auftrat.

Lavoisiers *Abhandlungen* sind größtenteils in den „Mémoires de l'Académie des Sciences“ in den Jahren 1768—1787 erschienen, einige auch in dem „Journal de Physique“ und in den

„Annales de Chimie“. Die Herausgabe seiner *gesamten Werke* verzögerte sich infolge der turbulenten außen- und innenpolitischen Ereignisse während der nächsten Jahrzehnte sehr. Erst in den Jahren 1862—1893 erschienen sie, von Dumas und von Grimmaux herausgegeben, in sechs dicken Bänden unter dem Titel „*Oeuvres de Lavoisier*“.

Die *neue Sauerstofflehre* fand auch allmählich außerhalb Frankreichs Verbreitung. Bereits 1792 erschien eine deutsche Übersetzung von Lavoisiers „*Traité élémentaire*“ von S. F. Hermbstädt (1760—1833; Hofapotheker u. Prof. d. Pharmazie in Berlin). Unter dem Namen „*Antiphlogistik*“ wurde die neue Anschauung gegenüber der alten besonders geltend gemacht. Der aus der Schweiz stammende, später in Göttingen ansässige Arzt Christoph Girtanner (1760 bis 1800) suchte besonders die Ausbreitung der neuen Lehre in Deutschland zu fördern. Seine Schriften „*Neue chemische Nomenclatur für die deutsche Sprache*“ (1791) und „*Anfangsgründe der antiphlogistischen Chemie*“ (1792) enthalten aber neben vielem Guten auch mancherlei Unrichtigkeiten. — Die *letzten Phlogistiker* wurden wohl mit Lorenz Friedrich von Crell (1744—1816, Prof. in Helmstedt und nach Aufhebung der dortigen Universität, 1809, in Göttingen) und mit Scheeles altem Freunde Anders Johann Retzius (1742—1821; Prof. in Stockholm) zu Grabe getragen.

## 2. Ausbildung der quantitativen Forschungsweise

(*Stöchiometrie, Erneuerung der Atomtheorie, Gasgesetze*)

Nachdem durch Lavoisier gleichzeitig mit seiner Oxydationstheorie ganz allgemein auch der Sinn für die Bedeutung von Maß, Zahl und Gewicht geweckt worden war, ergab sich als nächste Aufgabe, die Gewichtsverhältnisse der miteinander reagierenden chemischen Stoffe zu untersuchen und theoretisch zu klären. Die bis dahin fast lediglich qualitativ betriebene chemische Forschung mußte durch *quantitative* Untersuchungs- und Betrachtungsweise ergänzt werden. Die genaue analytische *Waage* wurde eins der wichtigsten Forschungsmittel.

Lavoisiers Mitarbeiter Louis Bernard Guyton de Morveau (1737—1816; ursprünglich Jurist, später Prof. der Chemie in Dijon u. Paris) hatte sich bereits 1787 auf Anregung von Richard Kirwan (1735—1812, ebenfalls Jurist;

später Naturforscher u. Präsid. d. Royal Irish Academy in Dublin) mit der Untersuchung der quantitativen Verhältnisse bei der Umsetzung zweier Salze beschäftigt und festgestellt, daß sich bei der *doppelten Umsetzung* der neutralen Salze *Kaliumsulfat* und *Natriumnitrat* wiederum neutrale Salze, *Natriumsulfat* und *Kaliumnitrat*, bilden, ohne daß von der einen oder der anderen Base oder Säure ein ungebundener Rest bleibt. Aber er hatte diese wichtige Einzelbeobachtung nicht durch weitere Untersuchungen vervollständigt, so daß er daraus ein allgemeines Neutralitätsgesetz hätte ableiten können. In Deutschland hatte sich schon ein Jahrzehnt früher Carl Friedr. Wenzel (1740—1793; erst Buchbinder, dann Chirurg, später Chemiker an der Porzellanfabrik in Meissen und Direktor der Freiburger Hüttenwerke) mit ähnlichen Problemen beschäftigt. In seinen 1777 veröffentlichten *Vorlesungen über die chemische Verwandtschaft der Körper* kommt er zur Erkenntnis der *chemischen Massenwirkung*, indem er zeigt, daß die Reaktionsgeschwindigkeit bei der Einwirkung von Säure auf Metall der Stärke der Säure proportional ist. Er nimmt auch für die „*Mittelsalze*“ (Neutralsalze) ein bestimmtes Gewichtsverhältnis von Säure und Base an, kommt aber infolge gewisser Unstimmigkeiten bei seinen aufs sorgfältigste durchgeführten quantitativen Bestimmungen nicht zur wahren Erkenntnis des Neutralitätsgesetzes. Dieses war einem Manne vorbehalten, der sein ganzes Leben mit bewunderungswürdigem Idealismus der Durchführung der einen Aufgabe widmete, die *Mathematik in die Chemie einzuführen*: Jeremias Benjamin Richter (1762—1807).

In *Hirschberg* in Schlesien geboren, wurde Richter von einem Oheim, der Militär-Ingenieur und Stadtbaumeister in *Breslau* war, frühzeitig gegen eigene Neigung und Fähigkeit veranlaßt, in den Militärdienst einzutreten. Nach sieben völlig ergebnislos verlaufenen Jahren gelang es dem Dreiundzwanzigjährigen, seinen sehnlichsten Wunsch zu erfüllen, indem er sich an der Universität *Königsberg* zum Studium der Mathematik, der Naturwissenschaften und der Philosophie immatrikulieren ließ. In der *Chemie*, mit der er sich schon eingehend theoretisch und praktisch beschäftigt hatte, wurde ihm dort allerdings gar nichts geboten. In der Beziehung war er nach wie vor auf sich selbst angewiesen. Um so größer war der Einfluß des Philosophen Immanuel Kant (1724—1804), der den Satz aufstellte: „In der

Naturwissenschaft ist nur so viel Wissenschaft anzutreffen, als Mathematik darin enthalten ist.“ — Nach vierjährigem Studium promovierte Richter im April 1789 mit der Dissertation „*De usu matheseos in Chemia*“. In dieser Schrift, die geradezu als Programm für die weitere Entwicklung der Chemie zu betrachten ist, weist er nicht nur auf die Bedeutung der Mathematik für die Klärung der chemischen Begriffe und Anschauungen hin, sondern auch auf den großen praktischen Nutzen einer richtigen mathematischen Berechnung für die chemische Technik.

Durch die bittere Not gezwungen, die geplante und begonnene akademische Lehrtätigkeit aufzugeben (1790), schlug sich Richter einige Jahre in seiner schlesischen Heimat als Landmesser und (1795) als „Bergprobierer“ durch, bis er 1798 bei der königlichen *Porzellanmanufaktur in Berlin* als „zweiter Arkanist“ angestellt wurde. Dauernd wissenschaftlich tätig, sowohl experimentell wie schriftstellerisch arbeitend, mußte er sich durch Nebenwerb, z. B. durch Anfertigung genauer *Aräometer* und durch Beschäftigung in den frühen Morgen- und späten Abendstunden, die für seine chemischen Untersuchungen erforderlichen Mittel mühsam verschaffen. Die Nachtstunden auch noch für die Übersetzung französischer Werke zu Hilfe nehmend, verbrauchte er vorzeitig seine Kräfte. Ähnlich wie Scheele opferte er sein Leben seiner Wissenschaft und starb wie dieser in der Blüte seiner Jahre als Fünfundvierzigjähriger.

Unter dem Titel „*Über die neueren Gegenstände der Chemie*“ gab Richter in den Jahren 1791—1802 in 11 Bänden eine Schriftenreihe heraus, der er als Leitspruch die Worte aus der Weisheit Salomonis (Kap. 11, V. 22), „*Alles hat Gott nach Maß, Zahl und Gewicht geordnet*“, in der griechischen Sprache der „Septuaginta“ voransetzte. Sein eigentliches Hauptwerk „*Anfangsgründe der Stöchiometrie oder Meßkunst chemischer Elemente*“ erschien 1792—1793 in drei Bänden. Darin setzt er seine neue Lehre von den stets gleichbleibenden Verbindungsgewichten oder „*Äquivalentgewichten*“ der chemischen Elemente auseinander, indem er sie an zahlreichen Beispielen erläutert. Er ist der eigentliche *Entdecker der chemischen Äquivalenz und des Neutralitätsgesetzes*. Er hat auch das Wort „*Stöchiometrie*“, abgeleitet von dem griechischen Wort „*stoicheion*“ (Grundstoff oder Element), in die Chemie eingeführt. So deutlich ihm selbst alles vor Augen stehen mochte, so wurde doch das Verständ-

nis seiner Schriften durch den Umstand sehr erschwert, daß er sich, noch in phlogistischen Anschauungen befangen, nur wenig verständlich auszudrücken vermochte. Ein weiteres Hindernis bestand darin, daß Richter die Werte der verschiedenen Äquivalentgewichte, nicht auf eine gemeinsame Grundlage bezogen, in ein eigentliches System brachte. Diesen Dienst erwies ihm aber Ernst Gottfried Fischer (1754—1831; Mathematik-Professor am Cöllnischen Gymnasium in Berlin), der gelegentlich seiner deutschen Übersetzung von Berthollets „*Recherches sur les lois de l'affinité*“ (1801) aus Richters Äquivalentzahlen eine einheitliche Tabelle schuf, indem er sie alle, auf Schwefelsäure = 100 bezogen, umrechnete. Dadurch, daß Berthollet diese *Äquivalentsgewichts-Tabelle* in sein 1803 erschienenes Buch „*Essai de statique chimique*“ aufnahm, wurde sie allgemeiner bekannt.

Bei seiner mathematischen Betrachtungsweise erkannte Richter auch gewisse gesetzmäßige Beziehungen der Verbindungsgewichte der verschiedenen Elemente untereinander. Er ordnete die Alkali- und Erdalkalimetalle in eine arithmetrische Reihe und machte damit den ersten Versuch zur Aufstellung eines *periodischen Systems der Elemente*. Dieses Bemühen, das von zwei anderen Forschern erst zwei Menschenalter später zum Erfolg geführt wurde, gereichte ihm infolge eines tückischen Mißgeschickes aber zum Verhängnis. Einer Lücke in seiner Elementenreihe glaubte er mit der von dem Erfurter Pharmazie-Professor Joh. Bartholomaeus Tromsdorff (1770—1837) entdeckten „*Agusterde*“ ausfüllen zu können. Als sich diese dann als nichts anderes als phosphorsaurer Kalk erwies, fiel der von Richter mit genialem Blick unternommene Versuch einer periodischen Anordnung der Elemente der Lächerlichkeit anheim.

Aber nicht nur als Theoretiker hat Richter großes geleistet, auch auf den Gebieten der *analytischen* und *präparativen Chemie* ist er erfolgreich tätig gewesen. Im Laboratorium der Porzellan-Manufaktur arbeitete er ein *Trennungsv erfahren für Kobalt und Nickel* aus sowie eine neue Darstellungart von „*Goldpurpur*“, wobei er die damals noch ganz unbekanntenen Eigenschaften der *kolloidalen Lösungen* näher erforschte.

Über Richter und seinem wissenschaftlichen Werke waltete ein sonderbares Mißgeschick. Unter dem Einfluß seines großen

Lehrers Kant blieb ihm der atomistische Gedanke fremd, dessen Anwendung seine neue Lehre viel verständlicher gemacht haben würde. Erst in seinem Todesjahr (1807) wurde Daltons *Atomtheorie* durch die Veröffentlichung von Th. Thomson (s. S. 17) der Öffentlichkeit bekannt. Und als dann im Zusammenhang damit auch die von Richter mühsam gewonnenen Erkenntnisse Anerkennung fanden, wurde infolge eines Versehens von Berzelius nicht er, sondern Wenzel für den Entdecker des Äquivalenz- und Neutralitätsgesetzes erklärt. Erst ein Menschenalter später (1840) ist durch H. H. Hess (s. S. 92) in Petersburg der verhängnisvolle Irrtum aufgeklärt und Richters wahres Verdienst gewürdigt worden. Eigenartigerweise hat Hess als Begründer der Thermochemie ein ähnliches Schicksal erlitten.

Ganz anderer Ansicht als Richter war der bedeutende französische Chemiker Claude Louis Berthollet (1748 bis 1822; Professor in Paris; Napoleons wissenschaftlicher Begleiter nach Italien und Ägypten; gründete 1807 in seinem Landhaus in Arceuil bei Paris die „*Société d'Arceuil*“, mit eigener wissenschaftlicher Zeitschrift; arbeitete über Ammoniak, Schwefelwasserstoff, Blausäure, Chlor und dessen bleichende Wirkung usw.). Er vertrat den Standpunkt daß die *quantitative Zusammensetzung der chemischen Verbindungen keine konstante* sei, sondern von den jeweils miteinander reagierenden Mengen abhinge. Dieser Anschauung lag der richtige Gedanke des auch von Wenzel (s. S. 12) geahnten *Massenwirkungsgesetzes* zugrunde. Sein Landsmann Joseph Louis Proust (1755—1826; Apotheker in Paris; später als Professor in Spanien (Segovia u. Madrid); in der Kriegszeit völlig ausgeplündert, nach Frankreich zurück, zuletzt in Angers) dagegen suchte durch sorgfältige quantitative Analysen, ähnlich wie Richter, die Konstanz der Zusammensetzung chemischer Verbindungen oder das *Gesetz der konstanten Proportionen* zu beweisen, was ihn in einen jahrelangen heftigen Streit mit Berthollet verwickelte.

Die experimentell gefundenen Gesetzmäßigkeiten wurden erst durch Einführung einer neuen Betrachtungsweise ganz allgemein verständlich. Diesen für die weitere Entwicklung des gesamten Gebietes der Chemie und Physik entscheidenden Fortschritt brachte die Aufstellung der *quantitativen Atomtheorie* durch John Dalton (1766—1844).

Als Sohn eines armen Webers in Eaglesfield in Cumberland geboren, erhielt der junge Dalton einen guten Unterricht in

Mathematik und Naturwissenschaften, und von einem wohlhabenden Freund des Vaters, dem Instrumentenmacher Robinson, wurde er in seiner weiteren Ausbildung sehr gefördert. Frühzeitig regte sich bei ihm ein starker Drang, die erworbenen Kenntnisse anderen belehrend mitzuteilen. Ein geborener Schulmeister; erteilte er schon mit 12 Jahren Unterricht, auch an Schüler, die älter waren als er selbst, und mit 15 Jahren wurde er bereits als Lehrer an der Privatschule eines nahen Verwandten in dem benachbarten Flecken *Kendal* angestellt. Diese belehrende Tätigkeit hat er durch Schulunterricht oder öffentliche Vorträge sein ganzes Leben hindurch mit besonderer Hingabe ausgeübt. Von 1793 ab war er an der *Warrington-Academy in Manchester* tätig, wo auch Priestley einst unterrichtet hatte (s. Bd. I S. 110). Als die Anstalt nach 6 Jahren von Manchester fort verlegt wurde, blieb Dalton dort, seine wissenschaftlichen Forschungen und die unterrichtende Tätigkeit als Privatlehrer fortsetzend. Er wurde Mitglied und von 1817 an Präsident der „*Literary and Philosophical Society*“, in deren Gebäude er sich ein Laboratorium einrichtete. Während neben anderen Zweigen der Naturwissenschaft besonders die *Meteorologie* von Anfang an sein lebhaftes Interesse erregte, fing er erst in Manchester an, sich mit *Chemie* zu beschäftigen. Seine wissenschaftlichen Leistungen fanden allmählich immer mehr öffentliche Anerkennung. Die „*Royal Society*“ ernannte ihn 1822 zu ihrem Mitgliede und verlieh ihm 1826 die große goldene Denkmünze. Die Universitäten Oxford und Edinburgh verliehen ihm die Doktorwürde, und von 1833 ab erhielt er auch eine kleine königliche Pension. An sich selbst entdeckte er die Rot-Grün-Farbenblindheit, die deshalb in England „*Dalton-sickness*“ oder „*Daltonisme*“ genannt wird. Auch als berühmter Mann ist er seiner einfachen, bescheidenen Lebensweise treu geblieben.

Daltons *wissenschaftliche Arbeiten* gingen von der Meteorologie aus und führten ihn bei der Untersuchung der Luft zur Chemie und zur näheren Beschäftigung mit Gasen überhaupt. Indem er alle Vorgänge genau messend verfolgte, entdeckte er, ungefähr gleichzeitig mit Gay-Lussac (s. S. 19) 1802 das *Gesetz der allgemeinen gleichmäßigen Wärmeausdehnung der Gase*; sonderbarerweise fand er denselben Wert ( $0,00375 = 1/266$ ) für den Ausdehnungs-Koeffizienten wie Gay-Lussac; erst sehr viel später ist dieser Wert, wiederum von zwei Forschern unabhängig voneinander, von

dem deutschen Physiker Heinrich Gustav Magnus (1802 bis 1870; Prof. in Berlin) und dem Franzosen Henri Victor Regnault (s. S. 40) auf  $0,00365 = 1/273$  berichtigt worden. Bei seinen genauen Luftanalysen (mit Stickoxyd) stellte Dalton fest, daß der *Sauerstoffgehalt der Luft* unabhängig von der Höhe immer derselbe ist. Er fand, daß bei Gasgemischen jedes einzelne Gas sich so verhält, als ob es allein in dem Raume wäre, daß der *Gesamtdruck des Gasgemisches gleich der Summe der Einzeldrucke* ist. Dabei konnte er die von dem ihm befreundeten Fabrikbesitzer William Henry (1774—1836) 1803 gefundene Gesetzmäßigkeit, daß *die Löslichkeit der Gase in indifferenten Flüssigkeiten dem jeweiligen Druck entsprechend* ist, bestätigen.

Über die Ergebnisse seiner Absorptionsversuche hielt Dalton am 21. Oktober 1803 in der „*Literary and Philosophical Society*“ in Manchester einen Vortrag, dem er zum besseren Verständnis der gefundenen Gesetzmäßigkeiten einige allgemeine theoretische Betrachtungen über die Natur der Gasteilchen anfügte. In diesen beiläufigen Ausführungen, bei denen er nicht mehr als sieben Zuhörer hatte, entwickelte er in kurzen Zügen seine *Atomtheorie* und teilte auch die von ihm ermittelten Werte der „*verhältnismäßigen Schwere der kleinsten Teilchen*“ von 6 Elementen (H, N, C, O, P, S) und 13 chemischen Verbindungen mit.

Diese *erste Atomgewichtstabelle*, deren Werte allerdings noch sehr ungenau sind, wurde 1805 in den „Memoires“ der Gesellschaft abgedruckt, blieb aber zunächst völlig unbeachtet, bis sich Thomas Thomson (1773—1852; eigentlich Arzt, um die Chemie durch zahlreiche Untersuchungen von Mineralien und Pflanzenstoffen sowie durch ausgezeichnete Lehrbücher sehr verdient) der Dalton'schen Lehre mit großem Eifer annahm und sie in der 1807 erschienenen dritten Auflage seines Buches „*A new System of Chemistry*“ veröffentlichte. Daltons eigenes Hauptwerk „*A new System of Chemical Philosophy*“, in dem er in den Abschnitten „Über die Konstitution der Körper“ und „Über chemische Zusammensetzung“ seine Theorie auseinandersetzte und auch eine erweiterte und verbesserte *Atomgewichtstabelle* brachte, begann erst 1808 zu erscheinen.

Dalton dachte sich die *Atome in Kugelgestalt* und bezeichnete sie durch kleine Kreise, die er zur Kennzeichnung der verschiedenen Elemente mit Punkten und Strichen ver-

sah. Während die früheren aus der Alchemistenzeit stammenden Symbole, auch die unter Lavoisiers Einfluß 1787 von Jean Henri Hassenfratz (1755—1827; französischer Berg- u. Hüttenmann, zeitweilig Mitarbeiter von Lavoisier) und Pierre Auguste Adet (1763—1832; Prof. in Paris) vorgeschlagenen Elementarzeichen (Striche, Dreiecke, Quadrate, Halbkreise usw.) nur qualitative Bedeutung hatten, suchte Dalton zum ersten Male eine *quantitative Zeichensprache* einzuführen, bei der jedes Zeichen nicht nur ein bestimmtes Element, sondern *ein Atom von bestimmtem Gewicht* bedeutet. Er setzte auch *Molekularformeln* zusammen, wobei er die einfachste Zusammensetzung annahm, z. B.: Wasser aus einem Atom Wasserstoff und einem Atom Sauerstoff zusammengesetzt ( $\odot\circ$ ), oder Ammoniak aus einem Stickstoff- und einem Wasserstoffatom ( $\text{N}\circ$ ) usw.

Als dann die Daltonsche Bezeichnungsweise bei der Vielzahl der Elemente nicht mehr ausreichte, wurden von anderen statt der Punkte und Striche die Anfangsbuchstaben der Elementnamen in die kleinen Kreise gesetzt. Dies wurde aber, wie überhaupt fast jede von anderen ausgehende Neuerung, von Dalton abgelehnt.

Auf Grund seiner atomistischen Anschauung sprach er 1804 auch das *Gesetz der multiplen Proportionen* aus, dessen Richtigkeit er durch die quantitative Analyse von Methan ( $\text{CH}_4$ ) und Äthylen ( $\text{C}_2\text{H}_4$ ) bestätigte. Im übrigen war er von der Richtigkeit seiner Atomtheorie so fest überzeugt, daß er eine experimentelle Nachprüfung für unnötig hielt. Diese erfolgte dann von anderen Forschern.

Hieran beteiligte sich William Hyde Wollaston (1766 bis 1828; ursprünglich Mediziner, widmete sich dann ganz der chemischen und physikalischen Forschung; er entdeckte z. B. 1804 die Metalle *Palladium* und *Rhodium* und lehrte das *Platin* schmiedbar zu machen, auch wies er (1809) die Identität der neuentdeckten Elemente *Columbium* und *Tantalium* nach). Er bestätigte das Gesetz der *multiplen Proportionen*, indem er nachwies, daß sich der *Kohlenäuregehalt in den neutralen und sauren Carbonaten wie 1:2* verhält. Wollaston führte auch den Namen „*Äquivalent*“ ein. Aber indem er diese Bezeichnung auch im Sinne von Atom benützte, richtete er eine gewisse Begriffsverwirrung an, deren endgültige Aufklärung langer wissenschaftlicher Auseinandersetzungen bedurft hat. Er stellte auch Betrachtungen über