

VI.

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

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

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

¹⁾ Seite 149 ff.

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

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

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

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

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

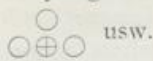
Die übrigen Spekulationen von Dalton, die Atome betreffend, die er der Einfachheit halber als kugelförmig betrachtete, wie seine Annahme, daß die Atome einander nicht berühren, sondern von einer Wärmesphäre getrennt seien, sind den beiden oben angeführten Sätzen gegenüber von sehr untergeordneter Bedeutung.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

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

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

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

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



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

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

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

¹⁾ Seite 149 ff.

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

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

¹⁾ Seite 149 ff.

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

Dalton war dem von Gay-Lussac nachgewiesenen Gesetz gegenüber so vorbehaltlos, daß er sogar an der Richtigkeit der Resultate zweifelte. Auch seine Landsleute *Davy* und *Thomson*¹⁾ legten der gefundenen Gesetzmäßigkeit keinerlei Bedeutung für die atomistische Anschauungsweise bei, oder gaben den Volumverhältnissen eine ganz unrichtige Deutung. So nahmen sie an, daß ein Volumen Wasserstoff nur halb soviel Atome wie ein gleiches Volumen Sauerstoff enthielte.

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

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

¹⁾ Seite 149 ff.

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

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

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

Gesetz von Dulong-Petit. *Dulong*¹⁾ und *Petit*²⁾ hatten aus einigen Versuchen, die zwar mit einem Material ausgeführt worden waren, das in bezug auf Reinheit viel zu wünschen übrig ließ, den Schluß gezogen, daß die spezifische Wärme vieler fester Körper, insbesondere die der Metalle, ihren Atomgewichten nahe proportional sei. Obgleich ihr Verfahren in bezug auf Genauigkeit hochgestellten Anforderungen nicht entsprach, zeigte es sich bei späteren, mit großer Präzision ausgeführten Bestimmungen daß der von Dulong und Petit gezogene Schluß im ganzen berechtigt war. Die Gesetzmäßigkeit, die wenigstens bei den meisten metallischen Grundstoffen gilt, faßten sie folgenderweise zusammen: Die Atome der einfachen Stoffe haben dieselbe Wärmekapazität, oder die Atomwärmen der Elemente sind gleich groß. Die Abweichungen von dieser Regel, die sich bei mehreren Metalloiden geltend machten, haben erst in späterer Zeit ihre Erklärung gefunden in der großen Veränderlichkeit von der spezifischen Wärme dieser Elemente. Die Bedeutung des Gesetzes von Dulong-Petit für das Feststellen der Atomgewichte der Elemente war offenbar. Man brauchte

¹⁾ Seite 149 ff.

Ekcrantz, Chemie.

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

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

¹⁾ Seite 149 ff.

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

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

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

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

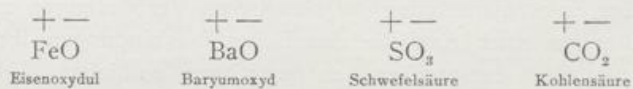
Die chemische Verbindung von Elementen oder einfachen Verbindungen wie Säuren und Basen besteht nach Berzelius in der Attraktion, die ungleichnamige Pole der Teilchen aufeinander ausüben, mit darauffolgendem Ausgleich der Elektrizitäten. Ist bei den ursprünglichen Stoffen die positive Elektrizität vorherrschend,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

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

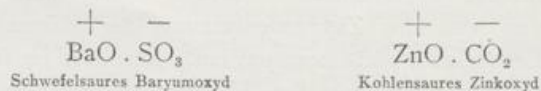
Mit Hilfe seiner elektrochemischen Theorie gelang es Berzelius in befriedigender Weise alle Erscheinungen zu erklären, die innerhalb des damaligen chemischen Erfahrungsgebiets lagen. Die elektrolytischen Prozesse, wie die Wanderung der positiven und negativen Bestandteile einer Verbindung zum negativen,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

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

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



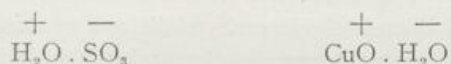
In den Salzen bildet die wasserfreie Base den positiven, die Säure den negativen Bestandteil, wie durch nachstehende Formeln veranschaulicht wird:



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

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

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



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

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

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

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

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

Fall beim Wasserstoff im Wasser HO , bei Chlor in Überchlorsäure ClO_2 und Eisen in Eisenoxyd FeO_3 . Die Ursache dieser Schreibweise war die, daß Berzelius immer von Sauerstoff als Einheit ausging und dieses Element als Maß der Sättigungskapazität anderer Elemente verwenden wollte. Hierdurch wurde Berzelius zur Annahme von als chemische Einheiten wirkenden Doppelatomen genötigt, und als Ausdruck derselben dienten ihm die durchstrichenen Symbole. Später kehrte aber Berzelius zur Annahme von einfachen Atomgewichten, auch für diese Elemente, zurück.

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

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

¹⁾ Seite 149 ff.

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

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

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

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

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

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

usw.

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

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

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

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

¹⁾ Seite 149 ff.

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

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

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

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

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

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

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

¹⁾ Seite 149 ff.

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

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

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

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

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

¹⁾ Seite 149 ff.

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

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

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

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

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

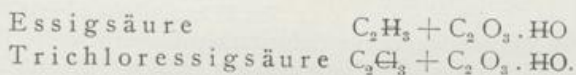
trochemischen Dualismus in folgender Weise zusammen: „Gründet sich“, fragte Dumas, „die elektrochemische Hypothese von der Polarität, die den Atomen der einfachen Körper beigelegt wird, wirklich auf so klar ersichtliche Tatsachen, daß man dieselbe zum Glaubensartikel erheben kann? Oder wenn sie nur als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

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

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

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

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

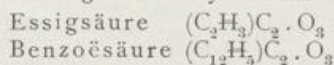


Durch diesen Schritt hatte Berzelius eingeräumt, daß es möglich war, innerhalb des gekuppelten Teiles einer Verbindung Wasserstoff durch Chlor zu ersetzen. Berzelius selbst wurde hierdurch Mitarbeiter an der Entwicklung der Substitutionstheorie. Das Chlor konnte eintreten und eine gleiche Anzahl Wasserstoffatome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

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

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

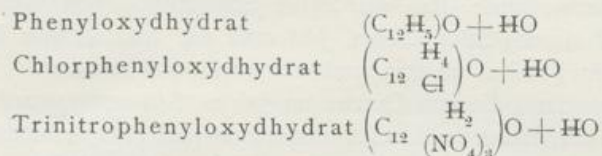
Ein Versuch, die von Berzelius aufgestellten Paarungsformeln mit der Radikaltheorie zu verschmelzen, ist die von Kolbe¹⁾ im Jahre 1848 vorgelegte Theorie der gepaarten Radikale. Nach der Auffassung von Kolbe war die Essigsäure das Oxyd eines Radikales, das die Paarung von Methyl mit Kohlenstoff bildet,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



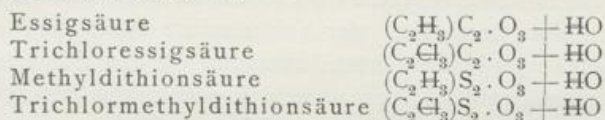
Derartige Radikale wurden zum Unterschied von den einfachen Radikalen gepaarte oder kombinierte Radikale genannt.

¹⁾ Seite 149 ff.

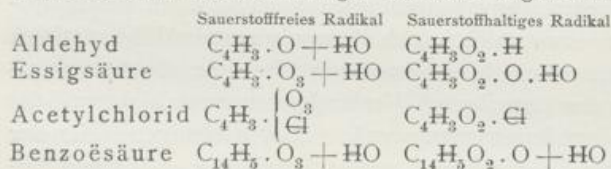
Die Einführung des Substitutionsbegriffes in die Radikaltheorie führte zur Annahme von substituierten Radikalen, z. B.:



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



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



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

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

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

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

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

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

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

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

¹⁾ Seite 149 ff.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

¹⁾ Seite 149 ff.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Die Untersuchungen von Wurtz, Hofmann und Williamson. Von der größten Bedeutung für die festere Gestaltung der Ansichten, die zuletzt ihre Zusammenfassung in der Typentheorie von Gerhardt erhielten, waren die von Wurtz¹⁾ und von

¹⁾ Seite 149 ff.

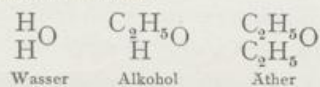
A. W. Hofmann²⁾ gemachten Entdeckungen einiger organischer Ammoniakderivate. Jenem gelang es im Jahre 1849 durch Zersetzung von Cyansäureestern mittels Kaliumhydroxyd die organischen Basen Methylamin und Aethylamin darzustellen. In bezug auf organische, stickstoffhaltige Verbindungen hatte Berzelius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

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

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

¹⁾ Seite 149 ff.

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

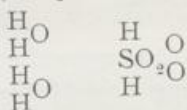


Eine derartige Anschauungsweise benutzte Williamson, um die Zusammensetzung einer Menge organischer und anorganischer Verbindungen zu erklären, und sie trug in der nächsten Zukunft reiche Früchte. Sie führte Gerhardt zur Entdeckung der Säureanhydride und Wurtz zur Erkenntnis des Vorhandenseins von Kohlenwasserstoffradikalen,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

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

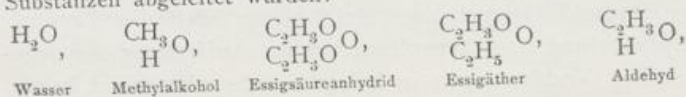
Aus dem Ammoniaktypus leitete man eine große Zahl von stickstoffhaltigen Verbindungen ab, und eine noch größere Anzahl von dem von Williamson eingeführten Wassertypus. Gerhardt vollendete das Werk, indem er diesen beiden Typen den Typus des Wasserstoffes (bzw. des Chlorwasserstoffes) zufügte, und versuchte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

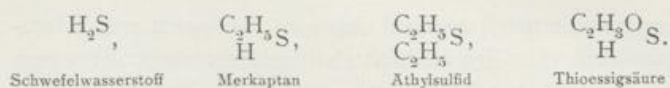
Das schon bei der Radikaltheorie bemerkbare Bestreben, organische Verbindungen mit anorganischen zu vergleichen, hat die Typentheorie noch mehr gekennzeichnet, indem hier anorganische Verbindungen als Typen der Zusammensetzung von organischen Verbindungen dienten. Williamson dehnte die Anwendung des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



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

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

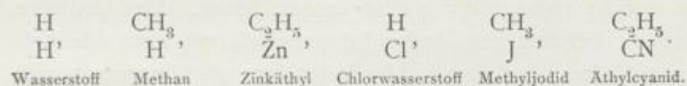




Von dem Ammoniaktypus wurden abgeleitet Amine, Säureamide, Phosphine, Arsine u. a.:



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



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

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

Atomgruppierung, sondern vielmehr Analogien und Metamorphosen. Der Typus dient als Einheit beim Vergleich aller Verbindungen, die eine gleichartige Zersetzung aufweisen oder Produkte von gleichartigen Zersetzungsprozessen sind“.

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

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

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

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

Hervortretende Persönlichkeiten der ersten Hälfte des neunzehnten Jahrhunderts.

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

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

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

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



Jöns Jacob Berzelius.

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

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

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

Ein Forscher kann in vielen, verschiedenen Richtungen

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

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

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

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

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

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

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

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



John Dalton.

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

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



Humphrey Davy.

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

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

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

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



Jean Baptiste Dumas.

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

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

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

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

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

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



Louis Joseph Gay-Lussac.

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

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

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

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



August Wilhelm von Hofmann.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



Justus von Liebig.

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

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

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



Eilhard Mitscherlich.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

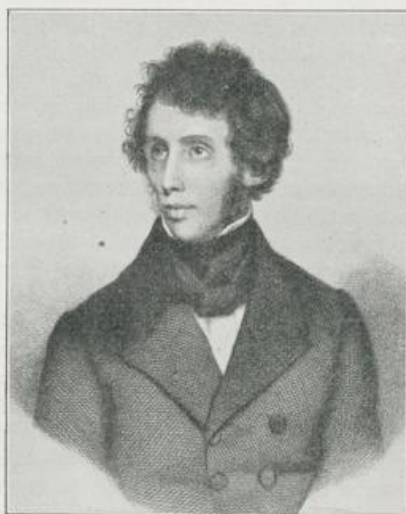
Williamson, Alexander William, englischer Chemiker, geboren 1824, studierte in Gießen unter der einsichtsvollen Leitung Liebig's. Während der Jahre 1849—87 war er als Pro-

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

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

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

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



Friedrich Wöhler.

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

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