Geschichtliche Einleitung.

Bedürfniss und Krankheit nöthigten und lehrten die Menschen, die ihnen von der Natur dargebotenen rohen Substanzen unorganischer wie organischer Beschaffenheit verschiedenen Bearbeitungen zu unterwerfen, um sie zur Befriedigung der Bedürfnisse geeigneter zu machen und um Mittel zur Hebung der Krankheiten aufzufinden. Je mehr nun die Menschen in ihrer geistigen Entwickelung Fortschritte machten, je mehr, im Zusammenhange hiermit, ihre Bedürfnisse sich vermehrten und vervielfältigten, desto häufiger und mannigfaltiger mussten jene Bearbeitungen und Zubereitungen werden. Diese fallen nun zwar ihrem Wesen nach mit denjenigen zusammen, die wir heut zu Tage chemische und pharmaceutische Operationen nennen, indessen blieben die durch dieselben gefundenen Thatsachen lange Zeit hindurch vereinzelt und waren in keiner Weise zusammengefasst; es konnte mithin auch für ihre Kenntniss kein gemeinsamer Name entstehen, der, wie wir sehen werden, einer späteren Zeit angehört.

Die Chinesen scheinen schon sehr früh ein entschiedenes Talent für praktische Beschäftigung entwickelt zu haben, denn es ist gewiss, dass sie seit den frühesten Zeiten viele Kenntnisse in Bearbeitung und Zubereitung der verschiedenartigsten Gegenstände sich erworben haben. So war ihnen die Gewinnung der Metalle aus den Erzen, die Bereitung mehrerer Salze, wie Grünspan, Borax, Alaun, Salpeter, und höchst wahrscheinlich auch die Bereitung des Schiesspulvers bekannt. In der Färbekunst müssen sie gleichfalls schon sehr frühe einen hohen Grad von Ausbildung gewonnen haben, denn von einem ihrer ersten Beherrscher, Hoangti, wird angeführt, dass er die blaue Farbe, als die des Himmels, und die gelbe, als die der Erde, zu den Farben seines Gewandes gewählt habe. In der Kunst der Bereitung des Papiers und

des Porzellans sind die Chinesen bis jetzt fast noch unerreicht geblieben. Aber die von je an beobachtete Abgeschlossenheit dieses Volkes verhinderte die Mittheilung der bei ihm einheimischen Kenntnisse an andere Völker, so dass die Chinesen auf die allgemeine Civilisation keinen Einfluss gehabt haben.

Indien wurde ohne Zweifel nach der grossen Ueberschwemmung, Sündfluth genannt, von den Menschen, die sich auf die Bergketten des Himalayagebirges geflüchtet hatten, zuerst wieder angebaut, und sehr bald scheinen die Bewohner Indiens, die Hindu's, eine hohe Stufe der Cultur erreicht zu haben, wie die noch aus den Urzeiten herstammenden grossen künstlichen Canäle und Wasserleitungen, die überaus grossen, prächtigen, nach dem schönsten Ebenmaasse erbauten und reich verzierten Götzentempel, Pagoden, und ihre so hoch ausgebildete Sprache, die Sanscritsprache, beweisen. Aber auch Indien ist auf den allgemeinen Culturzustand fast von keinem Einflusse gewesen, denn nur im Keime gelangten die Wissenschaften von hier aus nach Aegypten.

In Aegypten kamen mehrere Umstände zusammen, welche eine Entwickelung der Wissenschaften begünstigten. Die ausserordentliche Fruchtbarkeit des Bodens erforderte nur geringe körperliche Arbeit, gestattete demnach viele geistige Beschäftigung. Die jährlichen Ueberschwemmungen des Nils nöthigten zu der Kunst, nach dem Zurücktreten des Wassers den Bebauern wieder das Feld zuzumessen. Ihr religiöser Glaube, nach welchem die unsterbliche Seele des Menschen in einem Zeitraume von 3000 Jahren durch die ganze Thierwelt wanderte, bis sie wieder in einen menschlichen Körper überging, führte die Aegypter wahrscheinlich zum Thierdienste und zu der Kunst, die Leichen der heiligen Thiere und auch der Menschen zu balsamiren. Dies lehrte sie die Lage und Gestalt der innern Theile des Körpers kennen, wodurch der Grund zur Anatomie gelegt wurde. Die fast offen zu Tage liegenden Mineralien forderten gleichsam zur Beobachtung, Unterscheidung und Benutzung auf, und zur Gewinnung der Metalle aus den Erzen sind schon damals Methoden angewandt worden, welche oft wenig von den jetzt gebräuchlichen abweichen. Die gewonnenen Metalle, wie die durch Zusammenschmelzen mehrerer bereiteten Metallgemische wurden zu Waffen, Geräthschaften und Schmucksachen verarbeitet. Die hierbei gewonnenen Kenntnisse und gemachten Erfahrungen wurden nun, wie es scheint, mit dem Namen des Landes bezeichnet, in welchem sie sich fanden, χημία, denn dies ist nach Plutarch's und Anderer Zeugniss der frühere Name Aegyptens gewesen. Die wahrscheinlich von den Phöniziern überkommene Kunst der Glasbereitung wurde von den Aegyptern ungemein vervollkommnet; sie hatten schwarzes Glas, dem natürlichen Obsidian gleich, rothes durchscheinendes Glas, das dem Hyacinth, und grünes, das dem Saphir ähnelte, überhaupt von allen Farben, so dass die falschen Edelsteine

von den ächten schwer zu unterscheiden waren; murrhinisches Glas, das mit Regenbogenfarben spielte *; die alassontischen Kelche waren höher als Gold geschätzt. Auch mehrere Salze, wie Natron, Salpeter, Salmiak etc., sind den Aegyptern bekannt gewesen. Die Kunst des Färbens, die so weit vorgeschritten war, dass man mit Glück zur Färbung von Kleidungsstücken und Schmucksachen die Farben der Vögel und der Blumen nachahmte, lässt die Kenntniss mehrerer hierzu unentbehrlicher Stoffe voraussetzen. Die Aegypter kannten ferner die Bereitung der geistigen Flüssigkeiten und des Essigs durch die Gährung; sie bereiteten nicht nur Wein, sondern auch einen Trank aus Gerste, Zythum genannt, der an Geruch und Geschmack dem Wein nicht viel nachgestanden haben soll. Auch zur Hebung von Krankheiten hat man verschiedene Substanzen anzuwenden versucht. Von metallischen Substanzen waren Bleiglätte, Bleiweiss, Grünspan, Galmei, sowie daraus bereitete Pflaster und Salben als äusserliche Heilmittel in Gebrauch. Der Cypher, aus Myrrha, Spica, Terpenthin, Bdellium und Wachholder zusammengesetzt, dessen sich zuerst die ägyptischen Priester als eines den Göttern angenehmen Räucherwerks bedienten, wurde den giftwidrigen Mitteln zugesetzt, auch beim kurzen Athmen für nützlich gehalten. Der bei Bereitung des Theers gewonnene Holzessig wurde zur Einbalsamirung der Todten benutzt, wozu aber auch eine Mischung von Harzen, deren vorzüglichster Bestandtheil Asphalt war, gebraucht wurde; die so zubereiteten Leichen sind die noch jetzt meistens wohlerhaltenen Mumien.

Diese Kenntnisse wurden jedoch von der Priesterkaste als ihr Eigenthum geheim gehalten und nur den Eingeweihten mitgetheilt, und nur erst in späterer Zeit gelang es wissbegierigen Ausländern, wie den Griechen Demokrit, Solon, Pythagoras, Herodot, Plato u. A., von diesen Mysterien Kenntniss zu erlangen. Auch bei den andern Völkern sehen wir erst dann chemische und physikalische Kenntnisse in einem Anfange von Zusammenfassung sich entwickeln, wenn sie mit Aegypten in Berührung gekommen waren, besonders als nach wiederholtem Umsturz aller bestehenden Ordnung in Aegypten auch die Schranken gefallen waren, welche bis dahin nur wenigen Eingeweihten Einsicht in die Naturgeheimnisse gestattet hatten. Nur unter Symbolen, Hieroglyphen, wurden solche Kenntnisse den Eingeweihten mitgetheilt, und es ist als zweifellos anzunehmen, dass durch dergleichen Bilder physikalische und chemische Lehren ausgedrückt wurden.

---

* Die *vasa murrhina* werden von Einigen für wirkliches Glas, von Andern für chinesisches Porzellan, von noch Andern für natürliche Mineralien, namentlich Flussspath, Sclerolithe, Onyx, Speckstein gehalten. Vgl. DIERBACH im Archiv d. Pharm. 1845. XLIII. S. 57.

Die Phönizier, die durch ihre ausgebreiteten Handelsverbindungen selbst mit entfernteren Gegenden einen lebhaften Verkehr unterhielten, scheinen in technischen Künsten ziemlich hoch gestanden zu haben, namentlich in der Färberei. Man hatte gefunden, dass einige an der Küste von Tyrus ausgeworfene Meerschnecken der Wolle eine schönrothe Farbe mittheilten, und bald wurde der Purpur von Tyrus so berühmt, dass nur Könige und sehr reiche Leute damit gefärbte Kleider tragen konnten. Diese Farbe hat in späterer Zeit durch die Cochenille ihren Werth verloren. Die Kunst der Glasbereitung sollen die Phönizier schon vor Moses's Zeiten, ungefähr 700 Jahre nach der Sündfluth, zufällig erfunden haben. Schiffsleute, die am Ufer des Flusses Belus ihre Speisen kochen wollten, setzten, wie die Sage berichtet, die Kessel auf Stücke von Natron, das sie geladen hatten, und fanden dann das Natron mit dem Sande des Ufers durch die Hitze des Feuers zu Glas zusammengeschmolzen; diese Entdeckung sei dann vorzüglich durch die Bewohner Sidons vervollkommnet worden, so dass diese Stadt 2000 Jahre hindurch grossen Nutzen daraus gezogen habe. Anfänglich wurde das Glas dem Golde gleich geachtet, und lange hielt man den Sand von den Ufern des Belus allein zur Glasbereitung geeignet, so dass er auch noch lange nach Chr. Geb., wie Strabo, Tacitus u. A. berichten, von dort durch Schiffe verführt worden ist.

Auch bei den Chaldäern haben sich die Wissenschaften bis zu einer gewissen Stufe, und zwar nicht weniger frühe als bei den Aegyptern, entwickelt; als ein vorzüglicher Beförderer derselben wird bei ihnen Zoroaster genannt. Bei den Persern wird in gleicher Beziehung Zardust oder Zaradust oder auch Mog genannt, und ihm die Erfindung der Magie zugeschrieben. Bei ihnen findet sich die Gewohnheit, die Metalle mit den Namen der Gestirne zu bezeichnen. Schon seit den frühesten Zeiten hat man den Gestirnen einen Einfluss auf das Irdische zugeschrieben, und dies ist wohl wahrscheinlich die Veranlassung gewesen, die Metalle, als zu unserer Erde gehörige Körper, mit den bis auf unsere Zeiten üblich gewesenen Zeichen der Gestirne zu belegen; doch hat auch wohl das Bestreben, Geheimnisse zu bewahren, mitbeigetragen.

Die Israeliten verdankten ihre Kenntnisse ohne Zweifel den Aegyptern, unter denen sie lange Zeit gelebt und dabei vielfache Gelegenheit gehabt hatten, die ihnen nützlichen Kenntnisse sich anzueignen. Von den Metallen kannten sie Gold, Silber, Kupfer, Zinn, Blei, Eisen; doch scheint die Bekanntschaft mit diesen Gegenständen sich auf die metallurgischen Prozesse beschränkt und überhaupt die chemischen Kenntnisse durch die Israeliten keine Erweiterung erfahren zu haben.

Wenn wir uns nun zu den Griechen wenden, so sind wir hier nicht, wie meistens bei den andern Völkern der alten Welt, auf unzuverlässige und gelegentliche Nachrichten hingewiesen, sondern wir be-

sitzen hier noch genug schriftliche Denkmale von ihren naturwissenschaftlichen Kenntnissen, und zwar von ihren ersten Gelehrten selbst herrührende. Bei den ältesten Griechen, in der Zeit z. B., als Homer schrieb (etwa 1000 Jahre v. Chr.), finden wir keine andern Thatsachen erwähnt, keine andern chemischen Producte genannt, als die schon den Aegyptern oder Phöniziern bekannt gewesen waren. Die metallurgischen Kenntnisse scheinen bei den Griechen jener Zeit geringer gewesen zu sein, als es z. B. bei den Israeliten lange vor ihnen der Fall war, wie man daraus ersieht, dass Metalle, die sich zwar vererzt überall in grosser Menge finden, jedoch nicht so leicht regulinisch daraus gewonnen werden können, wie das Eisen, bei den Griechen nicht so häufig und gebräuchlich waren, wie bei den Israeliten. Noch zu Homer's Zeiten wird das Eisen als ein sehr werthvolles Metall geschildert, und Waffen und Werkzeuge, zu denen das Eisen sich vorzugsweise geeignet erweist, wurden nicht aus diesem, sondern aus mit Zinn legirtem Kupfer angefertigt. Auch später haben die Naturwissenschaften, und namentlich die Chemie, in Folge der Richtung, welche die geistige Bildung dieses Volkes einschlug, keine wesentlichen Förderungen bei den Griechen erfahren. Die Chemie beruht auf praktischer Grundlage; die Griechen waren aber wenig geneigt, ihre speculativen Ansichten, zu denen sie sich vorzugsweise hinneigten, mit empirischer Untersuchungsweise zu vereinigen. Die ganze geistige Kraft, aller wissenschaftliche Fleiss, warf sich auf abstracte Philosophie, auf Redekunst, auf Poësie, auf politische Geschichte und, jedoch seltener, auf Geographie; von den Künsten wurden nur die schönen, und von diesen nur der ästhetische Theil wissenschaftlich betrieben. Zu den in Griechenland am frühesten cultivirten Wissenschaften gehört auch die Medicin, obgleich sich nur wenige ausgezeichnete Kräfte derselben zuwandten; doch sind die chemischen Kenntnisse nicht wesentlich dadurch gefördert worden. Von den ältesten Aerzten her, Chiron, Asklepios, die man in das 13. Jahrh. v. Chr. setzt, bis zu Hippokrates, im 5. Jahrh. v. Chr., beschränkten sich die Arzneimittel grösstentheils auf Pflanzensäfte ohne alle chemische Zubereitung.

Schon bei Aegypten wurde erwähnt, dass dieses Land damals als die Pflanzschule für die Wissenschaften angesehen werden musste, und dass also auch viele Griechen sich hierher wandten, um ihre naturwissenschaftlichen Kenntnisse zu bereichern. Einer der ausgezeichnetsten derselben war ohne Zweifel Demokrit von Abdera in Thracien, ein Zeitgenosse des Hippokrates, der sich durch seine Spottsucht vielfachen Hass und Verfolgungen zuzog, in den Naturwissenschaften aber den damals nicht gebräuchlichen Weg des Experimentirens einschlug und bis an sein Lebensende verfolgte, auch über Handgriffe ein Werk verfasst hat. Im Allgemeinen aber blieb die Richtung zu generalisiren vorherrschend. Bei ihren naturwissenschaftlichen Beschäftigungen ging ihr Be-

streben darauf hin, aus einem einzelnen für wahr angenommenen Satze alle Erscheinungen durch Schlussfolgerungen voraussagen und erklären zu wollen. Dies war denn auch die Ansicht von Aristoteles (384 bis 322 v. Chr.). Hierbei entwickelte sich auch schon frühe die Lehre von den letzten Bestandtheilen der Körper; so nannte Thales (600 v. Chr.) das Wasser den Urstoff aller Körper, wogegen Anaximenes (557 v. Chr.) die Luft, und Heraklit (500 v. Chr.) das Feuer als den Stoff hinstellte, aus welchem alle Dinge des Weltalls entstanden seien. Aristoteles berücksichtigte in seiner Betrachtungsweise nicht sowohl die Bedingungen der Entstehung der verschiedenen Körper, sondern suchte vielmehr nur über die Eigenschaften derselben durch die Annahme einer Mischung Aufschluss zu geben. Die Elemente wurden hiernach nicht als materielle Urbestandtheile, als unzerlegbare Substanzen betrachtet, sondern als supponirte Träger von Grundeigenschaften. Als Ur- oder Elementar-Eigenschaften können aber nur diejenigen gelten, die sich dem Tastsinn offenbaren, wie heiss, kalt, trocken, feucht, schwer, leicht, hart, weich u. s. w. Es sind aber nur die vier ersten als Ureigenschaften anzunehmen, weil die andern theils nicht so allgemein, theils nur secundäre Erscheinungen aus dem Zusammentreffen einiger der vier ersten seien. So kommt Aristoteles zu dem Schlusse, dass es nur die vier Ureigenschaften: heiss, kalt, trocken, feucht, giebt, durch deren Besitz die Elemente, als Träger dieser Elementareigenschaften, charakterisirt werden. Er nimmt nun weiter an, das Zusammentreffen von je zwei solcher Eigenschaften komme einem Elemente zu, und da dasselbe Element nicht zwei geradezu entgegengesetzte Eigenschaften haben kann, d. h. nicht zugleich heiss und kalt, nicht zugleich trocken und feucht sein könne, so bleiben nur vier Combinationen, vier Elementarzustände der Materie, nämlich Feuer, als der Zustand der gleichzeitigen Trockenheit und Hitze, Luft, Hitze und Feuchtigkeit, Wasser, Feuchtigkeit und Kälte, und Erde, Kälte und Trockenheit. Diese vier Elementarzustände der Materie, diese vier Elemente sind es, aus denen nach Aristoteles alle Substanzen zusammengesetzt sind und welche ihnen ihre Eigenschaften verleihen. Ausserdem aber nahm Aristoteles in dem Weltall ein Element von noch höherer, mehr ätherischer, Natur *(οὐσία, essentia)* an, und dieses hat dann bei den späteren Anhängern seiner Lehre als *essentia quinta* eine wichtige Rolle gespielt.

Von praktischen Kenntnissen der Griechen in der Chemie ist nicht viel zu erwähnen. Sie waren bekannt mit der Bereitung der Glasflüsse, mit der Bearbeitung der Metalle, und besonders wurde das auf der Insel Cypern vorkommende Kupfer zu verschiedenen Legirungen benutzt. Die kolossale metallene Bildsäule des Sonnengottes, die als Leuchtthurm über dem Eingange des Hafens von Rhodus diente, ein Kunstwerk des Chares von Lindus, auf dessen Verfertigung innerhalb 12 Jahren an 300 Talente verwendet worden, war 70 Ellen hoch und

hatte Finger von Mannsdicke. Sie stürzte aber bei einem Erdbeben schon nach 56 Jahren ein und blieb fast 900 Jahre an demselben Orte liegen, bis endlich 650 nach Christo die Bruchstücke zerschlagen und 900 Kameele damit beladen wurden. Nimmt man nun an, dass jedes Kameel 800 Pfund zu tragen vermag, so berechnet sich die Summe des Metalls auf etwa 720,000 Pfund. In dem von THEOPHRAST, geb. 371 v. Chr., hinterlassenen, bis zu uns gekommenen Werke finden sich Mittheilungen über einzelne naturwissenschaftliche Erfahrungen, wie über Bereitung der Mennige, des Bleiweisses u. s. w., auch kommt darin die erste Erwähnung der Steinkohlen, des Zinnobers und des Schwefelarsens vor.

Als Griechenland zu Zeiten des THEOPHRAST eine römische Provinz wurde, verfielen die Wissenschaften daselbst und wurden endlich durch die Eroberung der Saracenen fast ganz erstickt.

Bei den Römern war die kriegerische Verfassung derselben der Entwickelung der Wissenschaften wenig günstig, und von naturwissenschaftlichen Kenntnissen bei ihnen ist erst von der Zeit an die Rede, als die Griechen unter die römische Herrschaft kamen und ihre Besieger mit ihren wissenschaftlichen Leistungen bekannt machten. Ja es waltete eine offenbare Abneigung dagegen vor, wie aus den von CATO an seinen Sohn gerichteten Worten erhellt: *et hoc puta, vatem dixisse; Quandocunque ista gens suas literas dabit, omnia corrumpet.* Der erste griechische Arzt in Rom, ARCHAGATES aus dem Peloponnes, erhielt den Namen «Schinder», *carnifex, ob saevitiam secandi et urendi.* Die wissenschaftliche Richtung der Römer war die der Griechen, ohne sie jedoch an Ideenreichthum zu erreichen. Wir besitzen Schriften über Naturwissenschaften aus jener Zeit, welche eine sorgfältige Sammlung von Thatsachen enthalten, aber diese sind oft ohne Sachkenntniss mitgetheilt, stets ohne Originalität und selbstständiges Weiterforschen. Doch erhellt aus ihnen der grosse Zuwachs an Erfahrung seit den Zeiten des ARISTOTELES und THEOPHRAST. Von den Schriftstellern dieser Zeit sind vorzüglich zu beachten unter den griechischen DIOSKORIDES, in der Mitte des ersten Jahrhunderts n. Chr., und unter den römischen PLINIUS der ältere, der, im Jahre 23 n. Chr. zu Verona geboren, im Jahre 79 durch einen Ausbruch des Vesuvs ums Leben kam.

DIOSKORIDES begleitete die römischen Heere auf mehreren Feldzügen in Asien und erwarb sich mancherlei Kenntnisse in chemischen Manipulationen und in der Zubereitung verschiedener Arzeneien, und noch heut zu Tage steht DIOSKORIDES bei den türkischen Aerzten in Ansehen. Bei ihm finden wir zuerst eine Art von Destillation und Anleitungen zu einfachen chemischen Prozessen, wie Rösten des rohen Spiessglanzes, Gewinnung des Quecksilbers aus Zinnober, bei denen schon eine gewisse Kenntniss von Apparaten vorausgesetzt werden muss. Auch

waren ihm mehrere chemische Präparate, wie Kalkwasser, Zinkoxyd, Kupfervitriol, Bleiweiss, bekannt.

Bei Plinius finden wir ungleich mehr Thatsachen, wenn gleich oft ohne eigene Einsicht, zusammengetragen und seine umfassende *Historia naturalis* in 37 Büchern enthält, namentlich im 33. bis 37. Buche, viele Notizen, welche über die chemischen Kenntnisse der damaligen Zeit Aufschluss geben, so dass sein Werk als eins der schätzbarsten Denkmäler des Alterthums über naturwissenschaftliche Kenntnisse dasteht.

Von Metallen werden die schon bei den ältesten Völkern bekannten erwähnt: Gold, Silber, Kupfer, Zinn, Blei, Eisen; hierzu kommt aber noch das Quecksilber, welches sich zuerst in den Schriftstellern des ersten Jahrhunderts angeführt findet, jedoch nicht in der Art, als ob es zu dieser Zeit neu oder auch nur kurz vorher entdeckt worden sei. Plinius theilt Vieles über das geographische Vorkommen dieser Metalle mit, aber nur Weniges und sehr Unvollkommenes über die Gewinnungsweise. Von Metalllegirungen, in welche auch Zink einging, waren verschiedene bekannt und gebräuchlich; eine Auflösung des Goldes in Quecksilber wurde zur Vergoldung angewandt. Man verstand die Metalle verschiedenen Prozessen zu unterwerfen, aus denen neue Producte hervorgingen, ohne jedoch schon zu einer Einsicht hierin gelangt zu sein. So wusste man das Eisen in Stahl zu verwandeln, jedoch waren die hierzu nöthigen Kunstgriffe keineswegs allgemein bekannt. Von mehreren Metallen wurden die Oxyde dargestellt und namentlich in der Heilkunde angewandt, so vom Kupfer, Blei, Zink, sämmtlich durch Erhitzen an der Luft gewonnen; auch der Eisenrost fand medicinische Anwendung, ebenso das Product, welches durch Rösten des Schwefelantimons erhalten wurde. Von salzartigen Verbindungen der Metalle kannten sie das Bleiweiss und den Grünspan, die sie beide nach Methoden darstellten, welche von den jetzt gebräuchlichen sich nur wenig unterscheiden, ferner ein natürlich vorkommendes kohlensaures Kupferoxyd, dessen sie sich unter dem Namen Chrysocolla als Farbe bedienten, kieselsaures und kohlensaures Zinkoxyd, das sie zur Messingbereitung benutzten, schwefelsaures Kupferoxyd und schwefelsaures Eisenoxydul. Von neutralen Salzen kannten sie ausser Kochsalz nur wenige, diejenigen, die wir jetzt Salpeter und Alaun nennen, zuverlässig nicht, obgleich die Namen bei ihnen vorkommen; ihr Nitron war das Natron, neben welchem ihnen die Potasche bekannt war, deren Wirkung sie auch durch Zusatz von gebranntem Kalk zu steigern wussten; ob sie den Salmiak schon kannten, ist sehr zweifelhaft. Ebenso beschäftigten sie sich auch mit Bereitung des Glases und wussten demselben durch Zusatz metallischer Substanzen verschiedene Farben zu geben.

In Hinsicht derjenigen Substanzen, die in das Gebiet der organischen Chemie gehören, waren die Kenntnisse der Alten noch beschränkter.

Den Essig hatten sie nur in dem unreinen und sehr verdünnten Zustande. Seife war zwar den Römern bekannt, auch ihre Bestandtheile im Allgemeinen, aber sie wurde doch wenig bei ihnen bereitet, sondern hauptsächlich aus Germanien nach Italien eingeführt; sie wussten aber nicht, wodurch sich harte und weiche Seife unterscheidet. Aus Fetten wurde mit Bleioxyd ein unserm Bleipflaster ganz entsprechendes Präparat bereitet. Des Zuckers thut Dioskorides Erwähnung. Die Stärkebereitung wurde zu Plinius's Zeiten schon im Grossen betrieben. Geistige Getränke waren wohl bekannt, aber nicht der Weingeist im reinen brennbaren Zustande. Von organischen Farben waren der Saft der Purpurschnecke und der Indigo in Gebrauch; auch wusste man die Farbstoffe an Erden zu binden, also Lackfarben darzustellen. Beizmittel scheinen bei den Römern nicht bekannt gewesen zu sein, indessen deuten einige Aussagen darauf hin, dass diese Kunst in Aegypten gekannt, aber geheim gehalten gewesen sei. Ueber die adstringirenden Stoffe und über den Prozess bei der Zubereitung des Leders findet sich keine Beschreibung bei den Schriftstellern jener Zeit.

Für die nächstfolgenden Jahrhunderte haben wir kein Werk, welches mit gleicher Vollständigkeit einen Ueberblick über die chemischen Kenntnisse gewährt, wie dies die Naturgeschichte des Plinius für das erste Jahrhundert n. Chr. thut. Für das zweite Jahrh. liefert wenigstens einige Anhaltepunkte der bekannte Arzt Claudius Galenus, geb. 121 n. Chr. zu Pergamos in Kleinasien, in Aegypten zum Arzte gebildet. Seine medicinische Theorie ist auch für die Chemie von Wichtigkeit, indem sie von einer andern medicinischen Theorie später bekämpft worden ist, welche auf die Gestaltung der Chemie den grössten Einfluss geäussert hat. Aus diesem Grunde sollen hier die Meinungen Galen's kurz angeführt werden. Sie stützen sich auf die Lehre des Aristoteles von den vier Elementen, und zwar erscheinen dieselben hier geradezu als Qualitäten. Nach Galen giebt es vier Grade der Qualität. Der Zustand, die Gesundheit oder Krankheit, wird bestimmt durch die Mischung und Form der Elemente; sind diese in dem Körper abnorm, ist der Körper zu stark erhitzt, erkältet, gefeuchtet oder getrocknet, so muss durch Arzeneimittel dem entgegengewirkt werden. Wie dies aber erreicht werden soll, ist nicht angegeben, denn wir finden keine Andeutung über die chemischen Eigenschaften der Körper, chemische Wirkung der Arzeneimittel, oder sonstige chemische Thatsachen.

Wenn, wie vorhin erwähnt, vom Ende des ersten bis zu dem vierten Jahrhundert unserer Zeitrechnung uns alle Nachrichten über die Entwickelung der chemischen Kenntnisse fehlen, so tritt jetzt die Chemie in ein neues Stadium, in das der Alchemie, und von dieser Zeit an stehen uns wieder Nachrichten zu Gebote. Dieses neue Zeitalter, nämlich das der Alchemie, erstreckt sich von der Mitte des 4. Jahrhunderts bis etwa zu dem ersten Viertel des 16., von der ersten Aeusserung

alchemistischer Ansichten bis zur Aufstellung der medicinisch-chemischen Ansichten von Paracelsus. Es erhalten sich zwar noch später alchemistische Bestrebungen, aber sie charakterisiren nicht mehr den Zustand der Chemie.

Zuerst bei griechischen Schriftstellern des 4. Jahrhunderts erscheint der Begriff der Metallverwandlung gelegentlich erwähnt, nicht als neu, nicht als ihrem Vaterlande angehörig, sondern als ein bekannter. Wie er entstanden, darüber fehlen genaue Nachrichten. Bei Dioskorides und Plinius im ersten Jahrh. n. Chr. finden wir keine einzige Aeusserung, die darauf schliessen lässt, dass alchemistische Unternehmungen bekannt gewesen seien, es kann daher frühestens im 2. oder 3. Jahrh. der Begriff der Metallverwandlung aufgekommen sein. Die Griechen sind es, die ihn zuerst ausgesprochen haben. Wenn man indessen erwägt, dass Aegypten vom Ende des 4. Jahrh. ab sich als den Centralpunkt der Alchemie erweist, wenn man den Zusammenhang berücksichtigt, in welchem die Alchemie mit andern Künsten stand, die früher als Mysterien in den ägyptischen Tempeln betrieben wurden, so erscheint die Ansicht gerechtfertigt, dass die Alchemie nicht bei den Griechen entstanden, sondern nur von ihnen zuerst, und zwar als etwas ihnen von den Aegyptern Ueberkommenes, ausgesprochen worden sei. Von den ältesten Alchemisten wird der Ursprung der Alchemie weit über die Grenzen aller historischen Kenntniss hinausgesetzt und zu den Geheimnissen gezählt, die nur durch übernatürliche Mittheilungen den Menschen bekannt werden konnten. Später vereinigten sich die Alchemisten dahin, aus Aegypten den Ursprung ihrer Kunst herzuleiten, und als ihren ersten Vorgänger erkennen sie einstimmig einen Hermes Trismegistos an. Es lässt sich indessen durchaus nicht eine nur irgend haltbare Ansicht über die Existenz dieses Hermes aufstellen, indem bei Keinem der Alten von einem Hermes als einer mit Chemie beschäftigten Person die Rede ist. Erst im 3. u. 4. Jahrh. n. Chr. kommt der Hermes Trismegistos als eine solche Person vor, die dann auch von den späteren Lateinern als Mercurius bezeichnet wird. Einige wollen auch unter Hermes einen König Thot oder Theuth verstanden haben, dessen Zeit um 2700 v. Chr. gesetzt wird, noch Andere einen ägyptischen König Siphoas, um 1900 v. Chr. Von dieser Ableitung des Ursprungs erhielt dann auch die Alchemie den Namen: hermetische oder ägyptische Kunst, auch wird sie ganz allgemein als Philosophie bezeichnet, und diejenigen, die sich mit ihr beschäftigten, hiessen im Allgemeinen Alchemisten, Philosophen, von denen man noch diejenigen, welche das Geheimniss der Metallveredlung wirklich zu erforschen gewusst hatten, Adepten (von *adipisci,* erlangen) nannte.

Wenn im 4. Jahrh. nur gelegentlich der alchemistischen Bemühungen erwähnt wird, so sind aus dem 5. Jahrh. schon Schriften vorhanden, welchen das Datum ihres Ursprungs nicht abzustreiten ist und die

zu ihrem hauptsächlichsten Gegenstande die Metallveredlung haben. Diese Schriften, in griechischer Sprache geschrieben, gehören meist Schriftstellern an, die in Aegypten lebten, oder mit diesem Lande, namentlich der berühmten Hochschule in Alexandrien, in Verbindung standen, und diese muss bis um die Mitte des 7. Jahrh. als der Mittelpunkt der alchemistischen Bestrebungen angesehen werden. Dies führt uns denn wieder nach Aegypten.

Aegypten war, als nach dem Tode Alexander's d. Gr. das übergrosse Reich desselben in mehrere Reiche zerfiel, unter die Herrschaft der Ptolomäer gekommen, welche jedoch selbst Pfleger und Beförderer der Wissenschaften waren und die später so berühmt gewordene Alexandrinische Bibliothek gründeten. Gegen Anfang des 7. Jahrh. wurde jedoch Aegypten, damals eine römische Provinz, von den Arabern erobert, welche, den Künsten und Wissenschaften fremd, den Denkmälern und Erzeugnissen derselben wenig Schonung bewiesen, so dass auch die bis auf 700000 Bände angewachsene Alexandrinische Bibliothek zur Heizung der Badstuben verwendet worden sein soll, weil der Khalif Omar die Entscheidung gegeben habe, dass die Bücher, da dieselben entweder das enthielten, was im Koran stehe, in welchem Falle sie überflüssig, oder wenn etwas Anderes in ihnen stehe, wo sie gottlos seien, jedenfalls verbrannt werden müssten. Nach Cuvier ist jedoch diese Bibliothek, schon ehe Aegypten völlig unter die Herrschaft der Römer gekommen, ein Raub der Flammen geworden. Caesar nämlich, von den Einwohnern Alexandriens feindlich angegriffen, habe ihre Flotte in Brand gesteckt, wobei das Feuer sich den Häusern am Hafen und dann auch dem Bibliothekgebäude mitgetheilt habe. Es ist sonderbar, sagt Cuvier, dass Caesar, wo er von dem Brande der Flotte spricht, mit keinem Worte des Brandes der Bibliothek Erwähnung thut, und dass Plutarch, der 200 Jahre später (100 Jahre n. Chr.) lebte, der erste Schriftsteller ist, welcher diesen Umstand anführt. Es scheine indessen nicht Alles verloren gegangen zu sein und die Bibliothek habe wahrscheinlich aus zwei getrennten Gebäuden bestanden, von denen nur eins verbrannte.

Aegypten war unausgesetzt die Pflanzschule der Wissenschaften geblieben, und wenn uns auch für die ersten Jahrhunderte der christlichen Zeitrechnung genauere Nachrichten über die Fortschritte in den Wissenschaften fehlen, so sehen wir doch mit dem 4. Jahrh. n. Chr. durch das Bestreben, Gold und Silber zu machen, gleichsam die Nöthigung herbeigeführt, ihre Beobachtungen und praktischen Erfahrungen zu einem Ganzen zusammenzufassen, für welches nun erst, wie es scheint, der Name Chemie gefunden wird, der dann durch Vorsetzung der Partikel Al in Alchemie umgewandelt wurde, um dadurch vorzugsweise die Kunst der Metallveredlung zu bezeichnen. Der älteste Schriftsteller, bei welchem sich der Name Chemie oder Alchemie findet,

ist Firmicus, der unter der Regierung Constantin's d. Gr. und seiner Söhne lebte (um 340 n. Chr.), wobei er aber schon als bekannt voraussetzt, was man unter Chemie verstehe, denn er giebt keine Erläuterung darüber. Nach Zosimus (um 400) wurde die ganze geheime Wissenschaft, welche den Menschen durch Mittheilung höherer Wesen zukam, worunter auch die Kunst, Gold und Silber zu machen, χήμα oder χημία genannt, d. h. die Kunst des Landes χημία.

Als etwas besonders Bemerkenswerthes aus jener Zeitepoche ist nur die Destillation anzuführen. Es finden sich nämlich erst bei den Alexandrinern des 4. Jahrh. Apparate zur Verdichtung der Dämpfe, Destillations-Apparate, aus 2 Gefässen bestehend, eins zum Verdampfen, das andere zum Condensiren, beschrieben, indem bis dahin nur Sublimationen gebräuchlich waren. Synesius und Zosimus beschreiben Destillations-Apparate, welche den heutigen sehr ähnlich sind. Auf einem Glaskolben oder einem topfähnlichen Gefässe ruht ein Helm, von welchem aus eine oder mehrere Röhren in Recipienten ausmünden. Helm und Blase waren damals immer getrennt. Derselben Geräthschaften haben die Araber und später die Abendländer sich bedient, und erst die Letzteren fingen an, Blase und Helm in einem Stücke zu machen, aus dem ältern Destillir-Apparate die Retorte zu construiren. Dies zeigt schon der Name an, der lateinischen Ursprungs ist; *retorta sc. ampulla*, ein (über den Hals) umgebogener Kolben.

Die Eroberer Aegyptens, die Araber, welche sich im Anfange den Künsten und Wissenschaften, die damals in diesem Lande blühten, sehr wenig geneigt gezeigt hatten, nahmen bald eine andere Stellung ein und wurden aus Verfolgern die eifrigsten Beförderer der Wissenschaften. Aron Raschid, ein Zeitgenosse Karl's d. Gr., pflegte den Umgang mit Gelehrten, und besonders ist der Sohn desselben, Abdalla Almamon, durch seinen Eifer für Künste und Wissenschaften berühmt geworden. Es wurden Schulen und Bibliotheken angelegt, und bereits am Ende des 8. Jahrh. blühte die berühmte Akademie zu Bagdad. So sehen wir jetzt von der Mitte des 8. Jahrh. ab die Araber vorzugsweise mit Chemie und der sich allmählig ausbildenden Pharmazie beschäftigt, und mehrere zum Theil noch gebräuchliche Benennungen, wie Alkohol, Naphtha, Roob, Looch, Julep, Trochisci Alhandal, lassen ihren arabischen Ursprung erkennen. Diese chemischen Beschäftigungen werden ganz in der Art fortgesetzt, wie sie dieselben von den Aegyptern überkommen hatten, sie werden beherrscht durch die Aufgabe der Metallverwandlung, und diese Chemie gelangte von ihnen wieder zu den Spaniern, Franzosen, Deutschen und Engländern, als die Araber 711 in Spanien festen Fuss gefasst hatten. Zweck aller chemischen Arbeiten ist, Mittel zu finden, wodurch unedle Metalle verwandelt werden, auf chemischem Wege ein Präparat, den Stein der Weisen, darzustellen, welches in seiner höchsten Vollkommenheit jedes unedle Metall

beim Schmelzen in Gold, im niedern Zustande der Vollkommenheit aber in Silber verwandelt, welches aber auch als Arzeneimittel gebraucht alle Krankheiten heilt, den Körper verjüngt und das Leben verlängert.

Alle Chemiker dieses Zeitalters sind beschäftigt, die Darstellung dieses Präparats ausfindig zu machen, dessen Möglichkeit im 8. Jahrh. nur besprochen wird, von dem aber die späteren Alchemisten aus eigener Erfahrung sprachen, auch Eigenschaften und Wirkungen mit grosser Zuversicht angaben. Die Möglichkeit, dieses Problem zu lösen, beruht auf der Zusammensetzung der Metalle. Wie man hierauf und auf die Umwandlung der Metalle gekommen, lässt sich nicht genau angeben, wahrscheinlich durch die gelungene Hervorbringung von gold- und silberfarbigen Metallgemischen, nämlich des Kupfers mit Zink (Galmei) und mit Arsen. Man sah nämlich die Metalle als zusammengesetzt an aus Sulphur und Mercurius. Dies sind jedoch nicht die für sich darstellbaren Substanzen Schwefel und Quecksilber, sondern sie haben ganz andere Eigenschaften. Mit Mercurius scheinen die Alchemisten den Begriff des Unzersetzbaren verbunden, ihn als die Ursache des Metallglanzes, der Dehnbarkeit, überhaupt der Metallicität, angesehen zu haben. Sulphur war ihnen dagegen der Begriff der Zersetzbarkeit, der Veränderlichkeit. Diese Begriffe waren ohne Zweifel von dem Verhalten des Quecksilbers und des Schwefels in der Hitze hergenommen. Beide Substanzen finden sich, so nahm man an, in den verschiedenen Metallen in verschiedenen Mengenverhältnissen, in verschiedenen Graden der Reinheit und des Fixirtseins. Letzterer Begriff ist nicht klar entwickelt. Je nach dem Grade der Fixirung des Quecksilbers und des Schwefels in den verschiedenen Metallen ist ihre Schmelzbarkeit verschieden. Die Farbe des Metalls wird von dem darin enthaltenen Schwefel abhängig betrachtet. Bei Geber, dem berühmtesten chemischen Schriftsteller unter den Arabern im 8. Jahrh., finden wir in seinem bis zu uns gekommenen Werke, der *summa perfectionis*, die lange vor ihm bekannt gewesenen Vorstellungen scharf ausgedrückt zusammengefasst. Bei ihm ist z. B. das Gold eine Zusammensetzung von sehr viel Mercurius und wenig Sulphur, beide im Zustande der grössten Reinheit und der stärksten Fixirung; im Zinn ist mehr Sulphur, unrein, wenig fixirt, mit unreinem und nur theilweise fixirtem Mercurius. Um nun diese Unvollkommenheiten in den Metallen zu heben und sie immer mehr und mehr zu veredeln, kommen verschiedene Operationen in Anwendung, und diese sind: die Calcination, die Sublimation, die Decantation, die Auflösung, die Destillation, die Gerinnung, die Fixation und die Zeugung. Die behufs der Reinigung und der Fixation des Mercurius und Sulphur anzuwendenden Mittel sind: die Salze, die Alaune, die Vitriole, das Glas, der Borax, der stärkste Essig und das Feuer. Der Erfolg aber wird bedingt durch eine Medicin der dritten Ordnung, von der er sagt: *Est autem hujus tertii ordinis medicina duplex, scilicet solaris et lunaris,*

et tamen essentia una, wonach sie also die Metalle, je nach den Umständen, in Gold oder in Silber zu verwandeln im Stande ist. Musste nun auch dieses Streben, den Stein der Weisen darzustellen, erfolglos bleiben, so gab es doch Veranlassung zu eifrigem, chemischem Forschen und zu einer grossen Menge von Entdeckungen.

Dem Stein der Weisen wird aber schon frühe, jedoch nicht vor dem 8. Jahrh., ausser der Kraft der Metallveredelung, vielleicht aus einem auf wörtlicher Auffassung bildlicher Redensarten *(medicina, essentia)* beruhenden Missverständniss, auch die zugeschrieben, alle Krankheiten zu heilen; er gilt für eine Universalarzenei. Vom 8. Jahrh. an heissen die unedeln Metalle Kranke, welche man durch die Medicin der dritten Ordnung heilen, d. h. in edle verwandeln will. Diese figürlichen Redensarten werden im 13. Jahrh. ganz wörtlich genommen und weiter ausgeführt. Bei den ersten Alchemisten mag der Glaube an diese Wirkung von dem innerlichen Gebrauche des Steins der Weisen eine Stütze in den Erscheinungen gefunden haben, welche einige damals bekannt werdende Substanzen, wie der Weingeist, auf den menschlichen Organismus ausüben (*est laetificans et in juventute conservans,* nach Geber). Später traten die abentheuerlichsten Behauptungen über die dem Stein der Weisen zukommende Kraft der Lebensverlängerung auf, und noch im 18. Jahrh. fanden solche Erzählungen von künstlicher Erlangung eines hohen Alters unter den Rosenkreuzern willige Gläubige; so wollte z. B. der angebliche Graf. St. Germain, welcher von 1770 bis 1795 von sich reden machte, durch den Gebrauch der Universalarzenei über 350 Jahre alt geworden sein.

Unter Geber's Nachfolgern erreicht Keiner mehr die grosse Bedeutsamkeit, wie jener; es sind Aerzte, die sich nebenbei mit Alchemie beschäftigen. Rhazes, 932 als Arzt in Bagdad gestorben, soll zwölf Bücher über Alchemie geschrieben haben und für die medicinische Anwendung chemischer Präparate besonders thätig gewesen sein. Höher geschätzt bei den Alchemisten ist Avicenna, 978 in der Bucharei geboren. Er war der Verfasser des fünf Jahrhunderte lang als höchste Autorität geltenden medicinischen Werkes, welches, in der lateinischen Uebersetzung unter dem Titel *Canon medicinae* bekannt, die Galenischen Ansichten zur alleinigen Richtschnur der Aerzte dieses Zeitalters machte. Auch verschiedene chemische Schriften, im 16. Jahrh. in lateinischer Sprache gedruckt, tragen seinen Namen. Avenzoar im 11. Jahrh. hat für die Bereitung einzelner Arzeneien Anleitung gegeben. Albukases, in Zahara bei Cordova geboren und in letzterer Stadt 1122 gestorben, und Averrhoes, gleichfalls aus dem Anfange des 12. Jahrh., standen als Aerzte und Alchemisten in grossem Ansehen.

Nach der Mitte des 12. Jahrh. kennen wir keinen arabischen Alchemisten mehr von grosser Bedeutung, und mit dem 13. Jahrh. hört die Reihenfolge der arabischen Schriftsteller über Alchemie ganz auf,

sowie denn überhaupt die wissenschaftliche Bedeutsamkeit dieses Volkes rasch abnimmt. Mit der Eroberung Bagdads, 1258, durch die Mongolen hört die arabische Herrschaft in Asien und jede wissenschaftliche Richtung der Araber in diesen Ländern gleichzeitig ganz auf. In Spanien erhielt sich der blühende Zustand etwas länger, aber auch hier trat Verfall ein, als 1038 das spanische Khalifat in mehrere kleine selbstständige Reiche sich auflöste, welche nun immer heftiger von den benachbarten christlichen Staaten bedrängt wurden. Nach 1200 haben auch hier die Araber für die Wissenschaften überhaupt, und namentlich für die Chemie, keine Bedeutung mehr. Sie hatten aber schon früher ihre geistige Richtung andern Völkern mitgetheilt, so dass nun von dem christlichen Theile Spaniens, von Frankreich, England, Italien und Deutschland die Bestrebungen der Araber weiter entwickelt werden und wir nun zu diesen Ländern übergehen müssen, um die Geschichte der Chemie weiter zu verfolgen.

Europa, zuerst von herumziehenden wilden Völkern überschwemmt, dann unter dem geistigen Drucke der entwürdigten Christuslehre darniederliegend, war aller Kunst und Wissenschaft entfremdet, und nur in den Klöstern hatten sich noch einige spärliche Kenntnisse erhalten, so dass selbst die Kunst des Schreibens eine seltene war und die geistliche Kunst genannt wurde. Erst als die im Jahre 711 in Spanien gelandeten Araber sich den Europäern aufdrängten und selbst die Pyrenäen überschreitend in Frankreich vordrangen, noch bei weitem mehr aber, als durch die Kreuzzüge, gegen Ende des 11. Jahrh., die Berührungen zwischen Arabern und Europäern vermehrt, hierdurch aber auch zugleich ein Aufschwung der Geister in Europa herbeigeführt wurde, um den durch die Kreuzzüge selbst veranlassten Bedürfnissen abzuhelfen, erst da kamen Künste und Wissenschaften allmählig wieder in Aufnahme. Die Klöster blieben aber noch längere Zeit hindurch die einzigen Zufluchtsorte der Wissenschaften, Geistliche also ihre Bewahrer und Beförderer. Daher waren es denn auch meistens Geistliche, welche die Chemie in der Weise, wie sie dieselbe von den Arabern überkommen hatten, d. h. Alchemie, betrieben, womit sie jedoch zum Theil auch medicinische Kenntnisse verbanden. Wie die ersten Keime der Alchemie sich wahrscheinlich unter der geheimnissvollen Pflege der ägyptischen Priester entwickelt hatten, so blieb auch unter den christlichen Völkern der geistliche Stand vorzugsweise der Beschäftigung mit der hermetischen Kunst zugethan. Von Haimo im 9. Jahrh. (gest. 853) bis Basilius Valentinus im 15. Jahrh. existirt fast kein bedeutender Alchemist, der nicht auch die priesterliche Weihe gehabt hätte. Indessen verschafften die lockenden Eigenschaften, welche dem Stein der Weisen beigelegt wurden, der Alchemie nach und nach in allen Ständen Anhänger, und im 14. Jahrh. griff das alchemistische Treiben in allen Klassen so sehr um sich, die damit verbundenen Betrügereien wurden so zahlreich, dass

nicht nur von den weltlichen Mächten Edicte zur Unterdrückung erlassen, sondern auch durch eine päpstliche Bulle die Betreibung der Alchemie verboten wurde. Dies hatte jedoch nur geringen Erfolg, weil nun die Alchemie bei vielen Herrschern selbst Aufnahme fand. Die Zahl der Alchemisten nahm auch im 15. Jahrh. noch immer zu; zu den Geistlichen gesellten sich Liebhaber der Wissenschaft, Aerzte und andere Fachgelehrte, auch Männer der Industrie, selbst Fürsten traten nicht blos als Beschützer, sondern als thätige Laboranten auf, sammelten die Alchemisten um sich und überhäuften sie oft mit Gütern und Ehren, so dass diese auf die Fürsten übergegangene Sucht, Gold zu machen, nicht selten zu einer harten Plage für das Land wurde. Im Anfange des 17. Jahrh. kommen Vereinigungen der Alchemisten vor, um sich über die Fortschritte in ihren Untersuchungen und Arbeiten zu unterhalten und zu belehren, und selbst Leibnitz gehörte der alchemistischen Gesellschaft in Nürnberg an und war in den Jahren 1666 und 67 Secretair des Vereins.

Die alchemistischen Industrieritter liessen sich, wie dies nicht anders sein konnte, vielfache Betrügereien zu Schulden kommen, wofür sie dann oft von harten Strafen betroffen wurden, und zwar um so mehr, als oft die Fürsten selbst die Betrogenen waren, so dass die Strafe bisweilen in Grausamkeit ausartete, z. B. bei der Alchemistin Anna Maria Ziegler, die 1575 auf Befehl des Herzogs von Braunschweig-Lüneburg in einem eisernen Stuhle verbrannt wurde. Gewöhnlicher bestand die Strafe darin, dass die Alchemisten in einem mit Flittergold beklebten Kleide an einem ebenso vergoldeten Galgen aufgehängt wurden. Dennoch wurde durch die vielfachen Beispiele von Betrügereien der Glaube an die Goldmacherkunst keineswegs erschüttert, und dies hatte die Folge, dass diejenigen Alchemisten, die nicht unmittelbar auf Betrug ertappt wurden, als Adepten galten, bei denen man Gefängniss und Tortur anwandte, um von ihnen das Geheimniss von der Bereitung des Steins der Weisen zu erpressen. Zu solchen gefangenen Adepten gehörte auch der Apothekerlehrling Boetticher, der zwar nicht Gold, aber nach vieljähriger Gefangenschaft Porzellan machen lehrte, hierauf seine Freiheit erhielt und als Director der Porzellanmanufactur zu Dresden 1719 starb. Die Privat-Alchemisten starben meist in Armuth, und es passt auf sie sehr gut der damals übliche Wahlspruch: *propter lapidem bona mea dilapidavi.*

Die vorhin gebrauchte Benennung Adepten, von *adipisci,* erlangen, galt von denjenigen Alchemisten, welche glücklich das Ziel ihres Strebens erreicht hatten. Man konnte aber, nach der damaligen Meinung, zu dem Stein der Weisen auf zwei Wegen gelangen, entweder nämlich durch eigene selbstständige Forschung, deren Erfolg jedoch nicht von dem Forscher allein abhing, weil Keiner zu dem Ziele gelangen kann, der nicht dazu prädestinirt, von Gott besonders begnadigt ist, oder

durch Belehrung von einem Andern, worauf sich aber auch nicht mit Sicherheit rechnen liess, in so fern offene Mittheilung des Geheimnisses an solche, die der Gnade Gottes ermangelten, für sündhaft galt. Es konnten daher nur versteckte Andeutungen gegeben werden, die zugleich vortrefflich geeignet waren, die eigene Unwissenheit hinter hochtrabenden Worten zu verstecken, woraus es sich denn hinreichend erklärt, dass die meisten Schriftsteller jener Zeit fast völlig unverständlich sind. Im Widerstreite mit diesem Scheine der Frömmigkeit bei den alchemistischen Arbeiten, die meistens mit Gebeten eingeleitet wurden, nahm man indessen auch seine Zuflucht zur Astrologie, d. i. Kenntniss von dem Einflusse der Gestirne, ferner zu cabbalistischen und magischen Mitteln, selbst zur Anrufung böser Geister. Einige Alchemisten hatten die Dämonen in ihrer Gewalt, wovon Beispiele weiter unten, und führten sie gefangen mit sich herum, wie z. B. Bragadino zwei schwarze Bullenbeisser, die, als ihr Herr 1590 zu München gehängt wurde, gleichfalls nach Urtheil und Recht unter dem Galgen erschossen wurden. Der böse Geist, der dem Adepten Borri bei seinen alchemistischen Operationen guten Rath ertheilte, hörte nur, von seinem Herrn beschworen, auf den Namen *homunculus*, war aber an das Laboratorium gebannt, welches sich Borri vor Kopenhagen erbaut hatte. Als daher Friedrich III, König von Dänemark, diese Anstalt mehr in seiner Nähe haben wollte, musste das ganze Laboratoriumsgebäude durch Maschinen über den Wall gehoben werden. So hatte sich die Cabbala der Juden, d. i. die Wissenschaft verborgener Dinge, fortgepflanzt und die Meinung erzeugt, dass man zu der Bereitung des Steins der Weisen und der Universalarzenei nur durch Benutzung dämonischer Kräfte, nur mit Hülfe der Zauberei gelangen könne. So zogen sich die Alchemisten den Ruf zu, Magier zu sein, den sie zum Theil auch absichtlich begünstigten, wodurch sie sich aber später auch mancherlei Verfolgungen zuzogen, so dass Gefängniss und Scheiterhaufen diejenigen bedrohte, welche durch Anleitung, neue und auffallende Erscheinungen zu bewirken, sich als Bundesgenossen des bösen Geistes bekannten. Diese Neigung zum Wunderglauben, zur Mystik, wurde durch die alchemistische Gesellschaft der Rosenkreuzer noch mehr befördert, deren Treiben sich bis über die Mitte des 18. Jahrh. erstreckt hat. Doch haben alle dergleichen Verirrungen allmählig der bessern Einsicht weichen müssen, und eine Rückkehr zur alten Finsterniss ist durch die nach und nach in allen Ländern Europa's errichteten Lehranstalten, Universitäten und Akademieen unmöglich gemacht worden, welche die Pflege und weitere Fortbildung der freien Wissenschaften übernommen haben.

Was die pharmaceutische Chemie betrifft, so hat sich diese zuerst bei den Arabern mehr entwickelt und unter dem Khalif Almansur, gegen Ende des 8. Jahrh., ist die erste öffentliche Apotheke in Bagdad

errichtet worden. Bald erschienen nun auch, um in diesen Anstalten die Bereitung der Arzeneien zu regeln, Anleitungen, welche die Stelle unserer heutigen Pharmakopöen vertraten. Von den Arabern trugen sich mit ihren chemischen und medicinischen Kenntnissen auch ihre pharmaceutischen auf die Europäer über, zugleich auch die Einrichtung der Apothehen. In das südliche Italien verpflanzte sich am frühesten die Medicinalverfassung der Araber, und zu den ersten medicinischen Schulen gehörten die von Salerno und Monte Cassino, ursprünglich Benedictinerklöster, welche ihrer Lage und Bestimmung nach die vorzüglichsten Zufluchtsörter für die kranken und verwundeten Kreuzfahrer waren. Die erste europäische Pharmakopöe ist das Antidotarium von Nikolaus von Alexandrien, Vorsteher der Schule von Salerno im 12. Jahrh. Die in Gebrauch gezogenen Medicamente, sowie die Art ihrer Zubereitung waren ganz die der Araber. Die Destillation wurde ein nothwendiges Hülfsmittel der Pharmacie und destillirte Wässer fanden vermehrte arzeneiliche Anwendung. Schon im 12. Jahrh. erhielt das Apothekerwesen eine geregeltere Form durch gesetzliche Vorschriften, welche König Roger von Neapel in Bezug hierauf erliess, denen noch genauere Bestimmungen im Jahr 1233 von Kaiser Friedrich II. für seine Königreiche Neapel und Sicilien folgten. Den Aerzten wurde das Dispensiren von Arzeneimitteln untersagt, die Apotheker aber auf gewissenhafte Befolgung der gesetzlichen Vorschriften für die Arzeneibereitung verpflichtet, auch der Gewinn geregelt, den der Apotheker beim Verkauf der Arzeneien nehmen könne. Bis gegen Ende des 15. Jahrh. bestanden aber die Verrichtungen des Apothekers meistens nur in der mechanischen Zubereitung der aus Italien bezogenen Arzeneien; wissenschaftliche Pharmaceuten gab es damals noch nicht. Erst gegen Ende des 15. Jahrh. drang Basilius Valentinus auf Einführung chemischer Präparate als Heilmittel, und forderte chemisches Wissen von den Apothekern. Die vorzüglichsten von ihm vorgeschlagenen Heilmittel waren Spiessglanz- und Quecksilber-Präparate; indessen wurden dieselben von den Aerzten als giftige Substanzen verworfen. Erst durch Paracelsus wurde die Einführung dieser Präparate durchgesetzt; dieselben wurden von seinen Anhängern selbst zubereitet, und hier entwickelte sich der Missbrauch der Geheimmittel, den weder die allgemeinere vorgeschrittene geistige Bildung, noch die zum Bessern entwickelte Medicinalverfassung bis jetzt hat völlig aufheben können.

Nachdem wir nun einen allgemeinen Ueberblick über die Entwickelung der Chemie gewonnen haben, ist es nöthig, etwas näher auf das Specielle einzugehen und diejenigen Männer besonders namhaft zu machen, die auf weitere Fortbildung und Umgestaltung der Wissenschaft Einfluss gehabt haben.

An der Spitze dieser Männer steht Roger Baco, ein englischer Franziskanermönch, der erste chemische Schriftsteller Europa's. Seine

Werke sind um das Jahr 1230 verfasst. Er vereinigte die mannigfaltigsten Kenntnisse, *doctor mirabilis;* er machte sich um das Studium der Sprachen sehr verdient, war ein vorzüglicher Astronom und machte zuerst auf die Fehler des Julianischen Kalenders aufmerksam. Er war ein ausgezeichneter Optiker und Mechaniker und brachte automatische Kunstwerke zu Stande, die als nicht auf gewöhnlichem Wege zu Stande gebracht angesehen wurden und deren Verfertigung man der Wirkung des Teufels zuschrieb. So ist er im Besitze eines Kopfes von Erz gewesen, den er zu Zeiten um Rath fragte. Als Chemiker handelt er die Kunst zu experimentiren ab und räumt der Erfahrung die höchste Stelle ein, führt jedoch auch an, dass vermittelst der Kunst des Experimentirens es gewissen Chemikern gelungen sei, die Vervielfältigung der edeln Metalle zu bewirken und ein Mittel zu entdecken, ihr Leben für mehrere Jahrhunderte zu verlängern; indessen sagt er nicht, dass er selbst diese Kunst besitze. Von einer ihm bekannten explodirenden Mischung sagt er, dass man mit einer Quantität derselben von der Grösse eines Daumens ein Heer vernichten und eine Stadt zertrümmern könne. Die Folge von seinen alchemistischen Beschäftigungen war, dass er als Zauberer von seinen Klosterbrüdern in Oxford ins Gefängniss geworfen wurde. Zwar erhielt er durch Papst Clemens IV., der ihn hochschätzte, bald seine Freiheit wieder, aber unter dem folgenden Papste Nicolaus III. wurde er von Neuem eingekerkert und erhielt erst nach 10jähriger Gefangenschaft seine Freiheit wieder.

Nicht geringer ist der Ruf eines Magiers, welchen Albert von Bollstaedt, gewöhnlich Albertus Magnus genannt, 1205 in Schwaben geboren, hinterlassen hat. Er war Dominicanermönch und wurde später Erzbischof von Köln. Wie viele Gelehrte jenes Zeitalters war er ein Universalgeist, dessen Studien alle Wissenschaften umfassten, so dass man von ihm sagte, er sei *magnus in magia, major in philosophia, maximus in theologia.* In seinem Werke *de mineralibus et rebus metallicis* theilt er die herrschenden Ansichten über die Natur der Metalle und über die Erzeugung derselben, erklärt aber die Verwandlung für um so schwieriger, je mehr das zu verwandelnde Metall und das darzustellende in ihren Eigenschaften verschieden sind. So lässt sich nach ihm aus dem Silber leichter als aus jedem andern Metalle Gold darstellen, da ersteres sich dem letzteren in seiner Mischung sehr nähert, und man braucht in dem Silber nur Farbe und Schwere zu verändern, um Gold zu erhalten. Hiervon abgesehen bewährt er gute Kenntnisse von den chemischen Eigenschaften der Mineralien, der Metalle und Salze, und fügt, in Folge der häufigen Besuche von Bergwerken und metallurgischen Arbeiten, auch eigene Beobachtungen hinzu. Als Magier wurden ihm alle möglichen Zauberkünste beigemessen. So steht ihm nicht mehr blos ein Kopf von Erz, sondern ein vollständiger Mensch, der Androïdes, zu Gebote, den er in schwierigen Fällen um Rath fragt. Bei

einem von ihm mitten im Winter im freien Garten auf einem mehrere Fuss hoch mit Schnee bedeckten Erdboden veranstalteten Mittagsmahle schwindet in dem Augenblicke, als man sich zur Tafel setzt, der Schnee und die Reize des Frühlings umgeben die Gäste, welche aber in dem Augenblicke, wo die Tafel aufgehoben wird, wieder von dem starren Winter verdrängt werden. Dennoch genoss er das damals seltene Glück, sich keinen Verfolgungen ausgesetzt zu sehen, ja er stand sogar im Rufe der strengsten Rechtgläubigkeit, der sich nach seinem Tode bis zu dem der Heiligkeit steigerte.

Arnold von Villanova, geb. 1235, aus dem südlichen Frankreich, als Chemiker zu seiner Zeit nicht minder berühmt als seine beiden Vorgänger, ist im Besitze des Steins der Weisen, theilt auch ein Recept mit, um Gold zu machen, jedoch, wie es üblich und nothwendig war, in unverständlichen Ausdrücken. Er führte mehrere chemische Präparate, wie das *Aurum potabile* und ähnlich gefärbte Flüssigkeiten, in den Heilapparat ein, hob besonders den Nutzen des Destillirens hervor und lehrte einige der wichtigsten dadurch gewonnenen Producte, wie auch die Eigenschaften des Weingeistes kennen. Wegen Astrologie und anstössiger Lehrmeinungen wurde er von dem Erzbischof von Tarent in den Bann gethan und von der Geistlichkeit in ganz Spanien verfolgt. Er flüchtete nach Paris, kam auch hier bald in den Ruf eines Goldmachers, der mit dem Teufel im Bunde stehe, und wurde als Ketzer fortgejagt, worauf er nach Italien floh und nach vielem Umherirren in Sicilien Schutz fand. Bei einem Schiffbruche fand er seinen Tod in den Wellen.

Ein Schüler von Villanova, obgleich in demselben Jahre geboren, war Raymund Lullius, der erleuchtete Doctor, der Erfinder des Athanor und der Universalarzenei. Spanier, auf Majorca geboren, aus einer reichen und edeln Familie entsprossen, verlebte er, wie die übrigen Vornehmen, seine Jugend in Festen und Vergnügungen, bis eine unglückliche Liebe eine völlige Umwandlung in ihm hervorbringt. Er entsagt der Welt, vertheilt seine Güter unter die Armen, um in einem Alter von 30 Jahren in ein Kloster zu gehen. Hier studirt er Theologie, Sprachen, Physik, Chemie und Medicin mit derselben Leidenschaftlichkeit, welche seine Jugendthorheiten bezeichnet hatte. Bald fasst er den Entschluss zu einem Kreuzzuge, durchzieht für dieses Unternehmen fast alle Länder Europa's, setzt sich mit den Fürsten und Grossen in Verbindung, sucht alle berühmten Männer seiner Zeit auf, unterlässt nichts, trotz des geringen Erfolges, was seinem Zwecke — Bekehrung der Völker Algiers und Vernichtung der Sklaverei — förderlich sein könnte. Ein mahomedanischer Sklave, den er, um die Landessprache verstehen zu können, nach Algier mitgenommen hatte, welcher aber seine Bekehrungspläne missbilligte, stiess ihm einen Dolch in die Brust. Lullius entging dem Tode und sein apostolischer Eifer ward dadurch nicht

erkaltet. Er durchzog von Neuem einen Theil Europa's, und da dies auch jetzt keinen Erfolg hatte, entschloss er sich nochmals, allein nach Tunis abzugehen. Hier hielt er öffentlich religiöse Versammlungen, wurde jedoch bald ergriffen, ins Gefängniss geworfen, endlich jedoch auf einem Schiffe nach Italien zurückgebracht, wo er sein abentheuerliches Leben von Neuem begann, ohne aufzuhören, zahlreiche Werke über verschiedene Gegenstände zu schreiben. Endlich kehrte er wieder nach Afrika zurück und begann seine Predigten, wurde aber von der erbitterten Bevölkerung mit Steinwürfen verfolgt und todt am Strande liegen gelassen. Sein entseelter Körper, der Sage nach einen Lichtschein verbreitend, wurde von einigen Seeleuten bemerkt und nach seinem Vaterlande zurückgebracht, wo er als ein Heiliger verehrt wurde. Ungeachtet dieses bewegten Lebens hat er gleichzeitig über Physik, Chemie, Medicin und Theologie viel geschrieben. Den Stein der Weisen suchte er auf nassem Wege zu finden und bediente sich häufig des Destillationsprozesses, wobei er die Chemie mit vielen neuen Beobachtungen bereicherte. Bei ihm hauptsächlich findet sich die Grundlage zur Verbindung des kirchlichen Glaubens mit der Arbeit an dem Stein der Weisen, deren Erfolg durch die Reinheit und Inbrünstigkeit des erstern bedingt werde; bei ihm zeigt sich zuerst der frömmelnde Ton, der die Alchemisten der folgenden Jahrhunderte auszeichnet.

In der zunächst folgenden Zeit wurde allein den Stein der Weisen zu suchen fortgefahren, ohne dass der Chemie daraus eine Förderung erwachsen wäre, bis auf Basilius Valentinus, Benedictinermönch in Erfurt. Von dem Stein der Weisen spricht er aus eigener Erfahrung und versichert, das Geheimniss der Bereitung desselben allen seinen Klosterbrüdern mitgetheilt zu haben. Dabei spricht er noch überspannter als Lullius von der geistigen Verfassung, in welcher die Alchemie betrieben werden muss, wenn der Arbeiter auf glücklichen Erfolg rechnen will. Die Beschäftigung mit der Alchemie gehört für ihn zur Ausübung der Religion und die Erlangung des Steins der Weisen ist eine Verherrlichung und Belohnung inniger Frömmigkeit. In seinen chemischen Ansichten erscheint er bald als schwärmender Phantast, bald aber auch als kalter, besonnener Beobachter. Im Allgemeinen schlug er in der Chemie und in der Medicin, welcher er gleichfalls viele Aufmerksamkeit widmete, einen richtigern Weg ein als seine Vorgänger, indem er Beobachtung an Beobachtung reihte und die Erfahrung über die Wirksamkeit der Arzeneimittel, besonders der auf chemischem Wege von ihm dargestellten, und über ihre Anwendbarkeit entscheiden liess. Er hat viele Metalle und ihre Verbindungen kennen gelehrt, am vollständigsten und wichtigsten aber sind seine Erfahrungen über das Spiessglanz und dessen Präparate, niedergelegt in seinem 1414 herausgekommenen *Currus triumphalis antimonii.* Er entdeckte die Salzsäure und lehrte sie

aus Kochsalz und Eisenvitriol darstellen. Er ist der letzte Chemiker, dessen Richtung eine ausschliesslich alchemistische ist.

Wir kommen jetzt in ein Zeitalter der Chemie, welches wir das der medicinischen Chemie nennen können. Hauptzweck ist jetzt nicht mehr Verwandlung der Metalle, sondern Verschmelzung der Chemie mit der Medicin, Zurückführung der medicinischen Erscheinungen auf chemische Grundsätze, so dass von Vielen die ganze Heilkunde fast nur als ein Theil der angewandten Chemie, als Iatrochemie, betrachtet wird. Die Chemie wird jetzt fast nur in Verbindung mit der Medicin betrieben, fast alle chemischen Leistungen gehören Medicinern an und haben medicinische Anwendung zum nächsten Zwecke. Der Anstoss ging von einem Manne aus, welcher eigentlich mehr den Aerzten als den Chemikern beizuzählen ist und der zahlreiche Nachfolger aus dem ärztlichen Stande nach sich gezogen hat. Dieser Mann war Philippus Aureolus Theophrastus Paracelsus (Bombastus von Hohenheim), 1493 in der Gegend von Zürich geboren. Auf seinen herumschweifenden Reisen durch fast alle Länder Europa's beschäftigte er sich unter andern auch damit, den Leuten die Nativität zu stellen, aus den Sternen wahrzusagen und auf Verlangen Geister zu citiren. Ohne gerade gelehrte Bildung sich angeeignet zu haben, hatte er doch viele Erfahrung in chemischen Operationen und ebenso einen Schatz von praktischer Arzeneiwissenschaft gesammelt. Da er keinen Anstand nahm, neue Arzeneimittel mit Keckheit anzuwenden und sich über ihre Wirkung zu belehren, so darf es nicht wundern, dass er wirklich im Besitze stark wirkender, oft heilsamer Medicinen war und durch glückliche Curen von Krankheiten, welche die meisten Aerzte damals für unheilbar hielten, einen so grossen Ruf erlangte, dass der Rath von Basel 1526 ihm die Stelle eines Professors der Naturgeschichte und der Medicin übertrug. Paracelsus verwarf alle bis dahin anerkannten Autoritäten und verbrannte die Werke derselben, wie Galen's und Avicenna's, vor den Augen seiner Zuhörer. Er stellte die Ansicht auf, dass der Lebensprozess hauptsächlich als ein chemischer zu betrachten sei. In seinen Werken zeigt sich als Grundzug die tiefste Verachtung aller andern Autoritäten und die dünkelhafteste Selbstüberschätzung. Ausserdem wimmeln sie von barocken Behauptungen, von Sätzen, denen Niemand einen Sinn abgewinnen kann, und von neuen, zum Theil ganz barbarischen Wörtern und Ausdrücken. Anderntheils finden sich darin aber auch so viel neue, später als richtig befundene Wahrnehmungen, so viel geistvolle Ideen, dass man bedauern muss, so viel Talent durch Roheit und Sinnlichkeit geschmälert zu sehen. Er soll sehr dem Trunke ergeben gewesen sein.

Wenn Basilius Valentinus sich auf die ärztliche Anwendung hauptsächlich der Präparate eines Stoffes beschränkte, so gebührt Paracelsus

das Verdienst der allgemeineren Einführung von chemischen Präparaten in die Arzeneimittellehre. Er lehrte die innerliche Anwendung von Quecksilber-, mehrern Blei-Präparaten, spiessglanzhaltigen Arzeneien, der Schwefelmilch, des Kupfervitriols und mehrerer Eisenpräparate. Ja, seinem Grundsatze gemäss, dass selbst die gefährlichsten Gifte unter gewissen Umständen als Arzenei wirken können, wandte er sogar das Vitriolöl und den Arsenik an, den letzteren jedoch nur äusserlich. Er ist ferner der Begründer jener Richtung in der medicinischen Chemie, die es für ihre Aufgabe hält, aus den Arzeneistoffen die unwirksamen Substanzen abzusondern und sich allein an die wirksamen zu halten oder ihre Wirksamkeit dadurch zu vermehren. Noch als Anhänger der Lehre des Aristoteles von den vier Elementen bildete er sich eine durch Vereinigung der vier ersteren in ihrer vollkommensten Gestalt entstandene *quinta essentia*, die man selbst oder wenigstens etwas ihr Nahestehendes zu entdecken suchen müsse. So sieht Paracelsus z. B. den Alkohol als die Quintessenz des Weins an. Bei den metallischen Substanzen sei dies freilich nicht angänglich, denn wie sollen wir, sagt Paracelsus, indem er hier das Bild von einem Menschen gebraucht, der sich in seinem Hause verschanzt hat und den wir daher nicht angreifen können, ohne das Haus zu zerstören, wie sollen wir den in den Metallen verborgenen Geist isoliren, ohne Lösungsmittel von zu roher Natur anzuwenden, die ihn verlöschen oder in neuen Hüllen gefangen halten? Aus den Pflanzenstoffen aber lässt sich diese Quintessenz, dieser wirksame Bestandtheil, eher ausziehen, und auf diese Weise wurden Essenzen, Tincturen und Extracte bereitet und als Arcana, Specifica und Elixire ärztlich angewendet, von denen sich das *Elixir proprietatis Paracelsi* bis auf unsere Zeiten im Gebrauche erhalten hat.

Die Ursachen der Krankheiten sind nach Paracelsus meistens von der Art, dass sie auf einer Aenderung der chemischen Mischung im Organismus beruhen. Dies sind aber nur die näheren Ursachen, die entfernteren sind in vielen Fällen die Sterne, durch deren Einfluss die Luft mit Krankheitsstoff inficirt wird, und auch die Constellation der Planeten ist hierauf von Einfluss. Alle Vorgänge im menschlichen Körper sucht Paracelsus zwar auf solche Erscheinungen zurückzuführen, wie sie sich bei chemischen Operationen zeigen, dennoch nahm er auch noch andere Kräfte zu Hülfe, und so bedarf er zur Erklärung des Verdauungsprozesses noch eines besondern geistigen Princips, welches er Archäus nannte. Dieser ist es, welcher im Magen die nahrhaften Theile der Speisen von den unnahrhaften und schädlichen scheidet, die erstern zur Assimilation befähigt, sie in Blut verwandelt und so die Ernährung und Erhaltung des Körpers bedingt. Doch wird die Eigenthümlichkeit der Speisen nicht gänzlich durch den Archäus vernichtet, denn es war Paracelsus nicht entgangen, dass Nahrungsmittel bisweilen dem Harne Eigenschaften ertheilen, welche sie vor dem Genusse besassen.

Auch in der praktischen Chemie war Paracelsus wohl erfahren. Das Bestreben, Gold zu machen, erklärt er zwar für Thorheit, indessen spricht er doch auch von der Verwandlung der Metalle und von unermesslichen Schätzen, die er hinterlassen werde, und noch mehr beschäftigt er sich mit der *Panacea universalis,* d. h. dem Mittel, das Leben ins Unendliche zu verlängern. Die Idee eines allgemeinen Auflösungsmittels, Alkahest genannt *(Alcali est?)*, dessen Vorhandensein Paracelsus nur angedeutet hat, ist erst von seinen Anhängern, namentlich von Helmont, weiter entwickelt, jedoch nichts Belehrendes darüber hinterlassen worden.

Paracelsus gab sein Amt bei der Hochschule in Basel in Folge eines Rechtsstreites auf, indem er, als berühmter Arzt zu einem erkrankten Domherrn berufen, für den Fall der glücklichen Genesung für sich eine reichliche Belohnung stipulirt hatte, die ihm aber verweigert wurde, weil die Genesung in ganz kurzer Zeit durch zwei Opiumpillen bewirkt worden war. Nach der ihm ungünstigen richterlichen Entscheidung gerieth er mit der Obrigkeit in Händel, in deren Folge er sich genöthigt sah, das Land zu verlassen. Ohne Hülfsmittel irrte er jetzt einige Jahre umher und beschloss sein unstätes Leben 1541, also in einem Alter von 48 Jahren, im Hospital zu St. Stephan in Salzburg.

Einer der vorzüglichsten und gelehrtesten Anhänger der iatrochemischen Ansichten ist van Helmont, indem er nicht die rohen Meinungen Paracelsus's als richtig annimmt, sondern mehr geläuterte und auf eigene Erfahrungen gestützte Ansichten aufstellte. Er richtete seine Aufmerksamkeit auf die chemische Beschaffenheit der Flüssigkeiten im menschlichen Körper, d. h. auf die saure oder alkalische Reaction derselben. Die Säure, welche im Magen zuerst die Verdauung der Speisen einleitet, fehlt auch im gesunden Zustande nicht; ihr Uebertreten in die übrigen Organe wird durch die Alkalität der im Duodenum hinzutretenden Galle verhindert. Nur im kranken Zustande kann die Säure so überhand nehmen, dass ihre Neutralisation durch die Galle nicht mehr möglich ist und dann verschiedene Krankheiten hervorbringt, deren Gegenmittel laugensalzhaltige sind. Doch nimmt auch er bei der Verdauung noch den Archäus an.

Glauber, 1604 zu Karlsstadt in Franken geboren, glaubte zwar noch an die Alchemie in ihrem ganzen Umfange, doch scheint er selbst nicht mehr sehr thätig an der Aufsuchung des Steins der Weisen gearbeitet zu haben. Ihm verdanken wir mehrere bemerkenswerthe Entdeckungen in der praktischen Chemie, mehr als irgend einem Andern seiner Zeit. Indem er zuerst statt des Eisenvitriols die Schwefelsäure selbst zur Bereitung der Salzsäure und Salpetersäure anwandte, erhielt er zugleich die schwefelsauren Salze dieser Alkalien. Das schwefelsaure Natron nannte er wegen seiner grossen medicinischen Wirksamkeit *sal mirabile.* Die Zahl seiner Schriften beläuft sich auf 40. Franz

DE LA BOE SYLVIUS kann als der Repräsentant der medicinischen Chemie zur Zeit ihres Höhepunkts betrachtet werden, denn in dem von ihm aufgestellten Lehrgebäude war die Chemie auf den Einfluss gegründet, den sie auf die Medicin ausübt. Athmen und Verbrennen erklärt er für analoge Erscheinungen. Zu den ausgezeichneteren Chemikern jener Zeit gehören ferner CASSIUS und AGRICOLA, Letzterer Verfasser des ältesten Werkes über Metallurgie, welches man kennt, ganz besonders aber NICOLAS LE FEVRE, unter der Regierung LUDWIG'S XIV. Professor der Chemie am Pflanzengarten zu Paris, welcher die schon von POPPIUS gemachte Bemerkung, dass das Antimon, wenn man es vermittelst einer Brennlinse calcinirt, an Gewicht zunimmt, noch bestimmter nachwies, ohne jedoch daraus Folgerungen zu ziehen, sonst noch durch philosophische Auffassung der Chemie berühmt, und NICOLAS LEMARY, Apotheker in Paris, dessen Vorträge über Chemie und dessen Anleitungen zu chemischen Operationen Zuhörer und Schüler aus allen Ständen in ungewöhnlicher Anzahl herbeizogen und dessen *Cours de Chimie* (1675) nicht nur in Frankreich fast jährlich eine neue Auflage erlebte, sondern sich auch bei allen gebildeten Nationen verbreitete und ins Lateinische, Englische, Deutsche, Spanische und Italienische übersetzt wurde. Er überragte durch eine Masse positiver Kenntnisse alle Chemiker seiner Zeit, die beinahe sämmtlich in seiner Schule gebildet wurden. Zu erwähnen sind noch GLASER und HOMBERG, Letzterer ein deutscher Edelmann, der das Verdienst hat, eigene und fremde als Geheimniss bewahrte Erfahrungen, zu deren Kenntniss er durch Austausch gelangt war, zu öffentlicher Kenntniss gebracht zu haben. Von grossem Einflusse auf die Chemie war auch die Erfindung des Luftthermometers durch CORN. DREBBEL (1638), die der sogenannten Gorricellischen Leere von EVANGELISTA GORRICELLI (1643), welche Entdeckung als unser heutiges Barometer von BLAISE PASCAL (1648) zu Wetterbeobachtungen und zu Höhenmessungen benutzt wurde, die der Luftpumpe von OTTO V. GUERIKE, Bürgermeister zu Magdeburg, mit welcher derselbe auf dem Reichstage zu Regensburg (1650) öffentlich Versuche anstellte, und die der Elektrisirmaschine, welche bald darauf derselbe Naturforscher mit einer Kugel von Schwefel construirte.

Durch das eine Zeitlang befolgte einseitige Bestreben, alle Vorgänge im menschlichen Körper als chemische nachzuweisen, hatte sich das iatrochemische System sein Fundament untergraben und es fing allmählig immer mehr und mehr an sich die Ansicht zu befestigen, dass die Erfahrung, das Experiment, die Grundlage und der Prüfstein jeder Theorie in der Chemie sein müsse. Die Chemie hatte schon einen solchen Schatz erfahrungsmässiger Kenntnisse gewonnen, dass Erklärungen, wie sie die Iatrochemiker über unbekannte Säuren und Laugensalze in allen Theilen des thierischen Körpers gaben und welche in der Erfahrung keine Stütze fanden, nicht mehr als gültig angenommen werden konnten.

Man fing daher an, sich davon loszusagen, dass die Chemie allein aus dem medicinischen Gesichtspunkte anzusehen sei, und sie als eine selbstständige Wissenschaft zu behandeln, wodurch denn die Chemie eine ganz andere Gestalt gewinnen musste. Das in den früheren Perioden der Alchemie und der Iatrochemie gewonnene Capital von Kenntnissen drängte gleichsam zu der Aufgabe hin, eine Erkenntniss von der Beschaffenheit und Zusammensetzung der Körper zu gewinnen, die Erscheinungen, unter welchen, und die Gesetze, nach welchen die Zusammensetzungen und Zersetzungen der Körper erfolgen, zu erforschen. Die Beantwortung dieser Fragen wird jetzt dem Chemiker als letztes Ziel gesetzt, und diese Richtung war von jetzt an stets dieselbe. Jedoch bleibt dieses Bestreben, da es lange nur auf Erklärung qualitativer Erscheinungen gerichtet ist, da man mit einer Erklärung der chemischen Prozesse in qualitativer Beziehung allen Anforderungen Genüge zu leisten glaubt, lange Zeit hindurch ein einseitiges. Die Betrachtung der Gewichtsverhältnisse ist auch ohne Einfluss auf die Zulässlichkeit oder Verwerflichkeit einer Theorie. Jene Art der Auffassung zeigt sich besonders deutlich in der in diesem Zeitalter aufgestellten Ansicht über den Verbrennungsprozess. Schon die Alchemisten hatten die Meinung zu erkennen gegeben, dass jeder verbrennliche Körper ein verbrennliches Princip, das Metall z. B. Sulphur, enthalte, und dass bei der Verbrennung aus dem verbrennlichen Körper sich etwas ausscheide, das als Flamme erscheint, und hiernach lag es nahe, den Rückstand von der Verbrennung als den andern Bestandtheil des verbrennlichen Körpers zu betrachten. So sahen schon Sylvius und später Boyle die durch Verbrennung des Schwefels entstehende Säure als einen Bestandtheil des Schwefels an. Auch Kunkel stellte diese Erklärung als eine ausgemachte Wahrheit hin. Viel umfassender fasste Becher die Erklärung dieses Vorganges auf, indem er die Verkalkung der Metalle für eine der Säuerung des Schwefels analoge Erscheinung erklärte und auch in den Metallen ein verbrennliches Princip, seine brennbare Erde, annahm. Noch weiter ausgeführt wurde diese Ansicht von Stahl, der darauf eine Theorie, dem damaligen Zustande der Kenntnisse genügend, gründete. Er fasste die Veränderung aller Körper, der metallischen wie der organischen, durch Feuer als eine und dieselbe Erscheinung zusammen und leitete die allen verbrennlichen Körpern zukommende Eigenschaft der Brennbarkeit von einem allen gemeinsamen Bestandtheile ab, den er Phlogiston nannte. Je anhaltender und heftiger eine Substanz die Verbrennungserscheinung zeigt, um so reicher ist sie an Phlogiston. Die Existenz des Phlogistons beruhte allein auf Supposition. Ein bedeutender Nutzen, den die Phlogistontheorie gestiftet hat, besteht darin, dass sie den schon früher aufgestellten Begriff eines chemischen Elements, als eines für die Chemie unzerlegbaren Körpers, noch schärfer begründete. Stahl definirte die Chemie als die Kunst, zusammen-

gesetzte Körper in ihre Bestandtheile zu zerlegen und aus den Bestandtheilen die Verbindungen wieder zusammenzusetzen. Der anfänglich noch ganz unklare Begriff eines Elements, indem man z. B. noch immer in den Metallkalken ein und dasselbe Element annahm, nach alchemistischen Begriffen, wird allmählig klarer gefasst und dahin entschieden, dass nur solche Stoffe als Elemente zu betrachten seien, welche darstellbar sind und durch chemische Agentien nicht weiter zerlegt werden können. Die blosse Speculation über die Urbestandtheile aller Körper wird als nutzlos aufgegeben. Schwefelsäure, Phosphorsäure, die Metallkalke werden als solche dargestellte und nicht weiter zerlegbare Elemente angesehen. Die nicht unbekannte Gewichtszunahme in den durch das Verbrennen der Metalle erhaltenen Metallkalken wurde als eine den Verbrennungsprozess begleitende Erscheinung betrachtet, die von einem Nebenumstande abhängig sei, den aufzufinden oder erklären zu wollen man sich nicht die Mühe gab, bis sich die grosse Wichtigkeit dieses Nebenumstandes immer mehr und mehr als unabweisbar herausstellte. Von der Alchemie ist die Chemie nicht allein getrennt, sondern sie tritt mit jener in offene Opposition. Das Studium der Chemie ist jetzt nicht wie früher auf Priester und später auf Aerzte beschränkt, sondern wird ein allgemeiner verbreitetes, und wesentlich betheiligen sich Pharmaceuten an der weitern Ausbildung der Chemie. Besonders fördernd sind die gelehrten Gesellschaften.

Gehen wir nun auf das Specielle näher ein, so sehen wir in Robert Boyle, geb. 1626, gest. 1691, den ersten Chemiker, dessen Arbeiten allein auf wirkliche Naturforschung gerichtet sind, wobei von ihm hauptsächlich die Kunst des richtigen Experimentirens ausgebildet wurde. Er zeigte z. B., dass, wenn Blei in einem verschlossenen Raume verkalkt wird, sich das Volum der im Gefässe enthaltenen Luft vermindert; die Gewichtsvermehrung des verkalkten Bleies schrieb er aber nicht einer Luftabsorption, sondern den ponderabeln Theilen der Flamme, einer Feuermaterie, zu. Er wusste, dass Luft zum Verbrennen aller Körper nothwendig sei, dass sich z. B. Schwefel im luftleeren Raume nicht entzünden lasse und dass die Luft durch das Verbrennen wie durch das Athmen verdorben werde. Er war es ferner, der die Frage nach den Elementarbestandtheilen zuerst in dem Sinne auffasste, wie sie heutiges Tages behandelt wird. Man solle, war seine Meinung, ohne sich um die Urbestandtheile der Materie (Feuer, Erde, Luft und Wasser nach Aristoteles, oder Sulphur, Mercurius und Sal nach den Alchemisten) zu bekümmern, seine Aufmerksamkeit auf die Bestandtheile richten, die man abscheiden könne, die für sich darstellbar seien; wenn diese für die Chemie nicht weiter zerlegbar seien, so solle man sie Elemente nennen. Die Zahl der Elemente lasse sich also nicht *a priori* bestimmen. Aber auch die Corpusculartheorie findet sich bei ihm bereits in grosser Ausbildung vorgetragen. Er betrachtet alle Körper als

aus kleinsten Theilchen bestehend; Verbindungen bilden sich durch Aneinanderlagerung der kleinsten Theilchen der Bestandtheile, und so lange die Anziehung, welche sie zusammenhält, nicht überwunden wird, kann keine Zersetzung eintreten. Boyle muss auch als der erste Begründer der analytischen Chemie angesehen werden, indem er statt der bisher allein gebrauchten Prüfung auf trockenem Wege die auf nassem Wege in Anwendung brachte; ihm verdanken wir die erste Einführung der Reagentien. Dieses von Boyle so glänzend aufgestellte Vorbild der Naturforschung wurde nicht sogleich allgemein befolgt; so konnte sich z. B. der deutsche Chemiker Kunkel, dem wir mehrere wichtige Beobachtungen, wie die richtige Bereitung des Phosphors, verdanken, noch nicht von den gangbaren Vorurtheilen losreissen. So ging er 1679 von Wittenberg, an welcher Universität er kurze Zeit Vorlesungen über Experimentalchemie gehalten hatte, nach Berlin, um bei dem Kurfürsten von Brandenburg, Friedrich Wilhelm, die Stelle als geheimer Kammerdiener und Director des alchemistischen Laboratoriums anzunehmen.

Johann Joachim Becher, geb. 1635, hat weniger durch die Wichtigkeit neu entdeckter Thatsachen, als vielmehr durch Zusammenstellung und Erklärung des Bekannten Einfluss auf die Gestaltung der Chemie geäussert; es sind weniger neue und richtigere Ansichten, die er aufstellt, als vielmehr nur neue Namen. Nach ihm sind als einfache Stoffe anzusehen das Wasser und drei besondere Erden. Die Metalle sind sämmtlich Gemische aus den drei Erden, diese sind: die glasartige *(terra lapidea, vitrescibilis, improprie Sal dicta)*, die brennbare *(terra pinguis, improprie Sulphur dicta)*, und die mercurialische *(terra fluida, mercurialis, improprie Mercurius dicta)*. Die Grundstoffe werden durch eine eigenthümliche Kraft zu Verbindungen vereinigt, nach deren Vernichtung die Elemente wieder mit ihren ursprünglichen Eigenschaften hervortreten. Die Salze werden aus einer innigen Mischung der Erden mit Wasser erzeugt, wobei eine Ursäure, *Acidum primigenium*, entsteht, aus welcher alle übrigen Säuren in der Natur abstammen.

Von ganz vorzüglicher Bedeutung tritt George Ernst Stahl auf, geb. 1660 zu Anspach, Professor der Medicin in Halle, dann Leibarzt des Königs von Preussen bis zu seinem Tode 1734. Er unternahm es, Boyle's Ansichten in die praktische Chemie überzutragen, wenn gleich mit Vorsicht, so dass er die alten Begriffe und vagen Speculationen noch nicht ganz und gar verwarf; er fasste jedoch, was wir jetzt chemische Elemente nennen, sehr klar auf, indem er sie als eigenthümliche Körper bezeichnete. Mit einer neuen Ausgabe von Becher's Schriften, von denen er mit Begeisterung spricht, beschäftigt, erweiterte er den Begriff der entzündlichen Erde und definirte dieselbe schärfer als Phlogiston. An dieses reihete er die eigenthümlichen Körper an, aus deren Vereinigung unter einander oder mit Phlogiston er alle übrigen Substanzen gebildet annahm. Stahl fasste viel genauer als einer der

früheren Chemiker die Erklärung der Erscheinungen auf, welche sich beim Erhitzen der Metalle und überhaupt der brennbaren Körper zeigen. In allen muss ein und derselbe Bestandtheil enthalten sein, welcher ihnen die gemeinsame Eigenschaft der Verbrennlichkeit mittheilt. Bei dem wirklichen Verbrennen dieser Substanzen entweicht das Phlogiston in die Luft, phlogistisirt dieselbe, *Aër phlogisticatus,* und macht sie zur Unterhaltung des fernern Verbrennens untauglich. Je weniger Phlogiston die Luft enthält, *Aër dephlogisticatus* (die später entdeckte Lebensluft), desto mehr kann sie davon aufnehmen, desto mehr ist sie geschickt, das Verbrennen und das Athmen zu unterhalten. Ueberhaupt sind die chemischen Eigenschaften der verschiedenen Körper durch das Phlogiston bedingt. Dasselbe ist jedoch für sich nicht darstellbar, sondern nur an den auffallenden Veränderungen zu erkennen, die es in den Körpern hervorbringt, je nachdem es dieselben verlässt, oder sich wieder mit ihnen vereinigt. Es umhüllt die Erden und Säuren und stumpft sie ab; es bildet mit den Metallkalken die Metalle (die verschiedenen Modificationen der mercurialischen Erde), mit der Schwefelsäure den Schwefel, mit der Phosphorsäure den Phosphor u. s. w. Wird Schwefel erhitzt, so wird sein Phlogiston durch die Anziehung der Luft, welche ein Bestreben hat, sich mit Phlogiston zu sättigen, entwickelt, und zeigt nun in seinem ungebundenen Zustande, bevor es nämlich von der Luft aufgenommen wird, seine beiden Bestandtheile, Licht und Wärme, d. h. es erscheint als Feuer, welches nur da Russ absetzt, wo zugleich feste Theile mitverflüchtigt werden. Bei dem Verkohlen organischer Substanzen bleibt das Phlogiston meistens in der Kohle zurück; die Kohle ist daher ein mit Phlogiston gesättigter Körper und demnach am besten geeignet, an andere Körper, z. B. an die Metallkalke, Phlogiston abzutreten, wodurch diese zu Metallen werden, u. s. w.; die Körper, welche ihr Phlogiston verloren haben, besitzen nämlich ein positives Bestreben, sich wiederum Phlogiston anzueignen. Nach Stahl's phlogistischer Theorie ist also überall da eine Verbindung, wo wir jetzt eine Zersetzung sehen. Die verschiedenen Oxydationsstufen der Metalle sind nach Stahl mehr oder minder dephlogistisirte Metalle. Diese sinnreiche Theorie reichte vollkommen aus, die Veränderungen in der Form der Körper zu erklären, wogegen das Gewicht völlig unberücksichtigt blieb, obgleich es Stahl keineswegs unbekannt war, wie es sich damit verhalte. Die Bleiglätte, die Mennige, die Bleiasche, sagt Stahl, wiegen mehr als das Blei, welches sie lieferte, und bei der Reduction sieht man nicht nur dieses überschüssige Gewicht, sondern auch das einer Portion Blei verschwinden. Stahl legt indessen hierauf durchaus kein Gewicht, versucht auch nirgends, sich über diese Thatsache Rechenschaft zu geben, welche mit seiner Theorie unvereinbar erscheinen musste. Als später gerade hiervon die gewichtigsten Einwürfe gegen die phlogistische Theorie hergenommen wurden,

suchten die Anhänger derselben diese Schwierigkeit durch die Erklärung zu heben, dass, da das Phlogiston den Körpern, mit welchen es sich vereinigt, einen Theil ihres Gewichts nimmt, welches sie durch Abscheidung des Phlogistons wiedererlangen, dasselbe nicht wie alle übrigen Körper gegen den Mittelpunkt der Erde zu gravitire, also eine negative Schwere besitzen müsse, woraus folge, dass das Hinzutreten des Phlogistons zu den Körpern sie leichter mache, weil ihr wahres Gewicht um eine dem negativen Gewichte des aufgenommenen Phlogistons gleiche Menge vermindert werden müsse. Wurde nun auch die Frage nach der Grundmischung der Körper schärfer hervorgehoben, so legte man doch darauf nicht grosses Gewicht, zu entscheiden, ob ein bestimmter Körper ein zusammengesetzter oder ein einfacher sei; diese Aufgabe stellte sich erst die nächstfolgende Theorie. Musste nun auch demzufolge Stahl's phlogistische Theorie dem Strome der Zeit unterliegen, so wird doch Stahl's Name niemals in der Wissenschaft untergehen, die er durch Feststellung der wichtigsten Thatsachen auf die glänzendste Weise gefördert hat.

Stahl's phlogistische Theorie war allgemein angenommen worden und mit Eifer und Erfolg wurde das Feld der chemischen Erfahrungen und weitern Ausbildung der Theorie von Herrmann Boerhave, Franz und Joseph Geoffroy, Macquer, Caspar Neumann, Marggraff, Spielmann, v. Scopoli, Wiegleb u. A. angebaut, die, sämmtlich der Hypothese des Phlogistons anhängend, dennoch zur Umgestaltung der Wissenschaft beitrugen. Ganz besonders aber treten durch Entdeckung der wichtigsten Thatsachen hervor: Black, Cavendish, Priestley, Bergmann und Scheele. Black's (geb. 1728) wichtigste Untersuchung ist die über die Causticität der Kalkerde und die Erklärung, wie die Causticität sich auf Alkalien übertragen lasse. Er erklärte zuerst richtig den Unterschied zwischen milden und ätzenden Alkalien. Bis auf Black hatte man die milden Alkalien als einfache Substanzen angesehen, die durch Verbindung mit Feuerstoff ätzend werden, der, von dem Kalke bei dem Brennen aufgenommen, sich von diesem auf die Alkalien übertragen lasse, wobei der Kalk selbst dann wieder mild wird. Black zeigte, dass die Causticität auf Entziehung einer luftförmigen Substanz, von ihm fixe Luft genannt, beruhe, die auch durch Säuren unter Aufbrausen ausgetrieben werde. Black begründete ferner durch seine Forschungen die Lehre von der latenten Wärme, indem er zuerst zeigte, dass eine gewisse Menge Wärme erforderlich sei, um feste Körper (Eis) in den flüssigen Zustand (Wasser) überzuführen, wobei dessen Temperatur nicht erhöht, sondern die aufgenommene Wärme nur zur Veränderung seines Aggregatzustandes verwendet werde. Dasselbe gelte, wenn ein flüssiger Körper luftförmig werde. Er suchte auch die Quantität der hierbei latent werdenden Wärme zu bestimmen. Black war zu seiner Zeit der einzige, der später die Unrichtigkeit der phlogistischen Theorie anerkannte,

gegen welche die von ihm entdeckte Ursache der Causticität stritt, nämlich das Fortgehen einer wägbaren Substanz, nicht Bindung einer unwägbaren, des Feuerstoffs, welches Princip sich später in der antiphlogistischen Theorie nur verallgemeinert zeigte.

Black hatte zuerst gezeigt, dass ein Gas als ein Bestandtheil in eine chemische Verbindung eingehen könne, und hatte dadurch auf das Studium der in den milden Alkalien enthaltenen Luftart und der Luftarten im Allgemeinen hingewiesen. Dieses wurde von Cavendish, 1731 zu London geb., aufgenommen. Er zeigte entschieden, dass es Gase gebe, welche durchaus nicht, wie man annahm, als gewöhnliche Luft mit irgend einer Beimengung betrachtet werden können und dass dieses namentlich von der fixen und der brennbaren Luft gelte. Von beiden Gasen stellte er genaue Untersuchungen über ihre Eigenschaften an, wobei er Rücksicht auf ihre specifischen Gewichte nahm. Die brennbare Luft erklärte er für Phlogiston, das durch die Säure aus den Metallen abgeschieden werde. Die Luft, die sich bei der Weingährung entwickelt, fand er völlig gleich derjenigen, die aus Marmor durch Säuren entbunden wird. Cavendish zeigte ferner, dass die Luft überall und zu allen Jahreszeiten gleich zusammengesetzt und die bisherige Annahme, das ungesunde Klima gewisser Gegenden beruhe auf einer Verringerung des Gehalts an Lebensluft, nur auf ungenauen Versuchen beruhe. Er wies nach, dass sich das Wasser aus brennbarer und aus Lebensluft durch Verbrennen zusammensetzen lasse, und zwar von gleichem Gewichte, als das der Gasarten war, wie auch, dass aus phlogistisirter Luft (Stickstoffgas) und Lebensluft in rechten Verhältnissen durch fortgesetztes Durchschlagen des elektrischen Funkens Salpetersäure gebildet werde. Dies waren Thatsachen, die den Sturz des Phlogistons zur Folge haben mussten, dem Cavendish selbst indessen treu ergeben blieb. Doch räumte er später wenigstens ein, dass sich die meisten chemischen Prozesse auch ohne Annahme des Phlogistons erklären lassen.

Cavendish hatte wenige Gasarten, diese aber gründlich untersucht, und zwar mit Hülfe der von ihm eingeführten, noch jetzt gebräuchlichen pneumatischen Wanne, wobei er sich des Wassers als Sperrmittel bediente. Ein Zeitgenosse von ihm übertraf ihn weit, was die Anzahl der entdeckten gasförmigen Körper betrifft, nicht aber in der scharfen Ausmittelung ihrer Eigenschaften. Dies war Joseph Priestley, am 30. März 1733 zu Fieldhead in England geboren; von seinem Vater, einem Tuchfabrikanten, zum Kaufmannsstande bestimmt, entwickelte er schon auf der Schule grosse Geistesanlagen. Das Studium der Sprachen kostete ihm wenig Mühe, und er lernte mit Leichtigkeit Lateinisch, Griechisch, Hebräisch, dann Deutsch, Französisch und Italienisch, und später, von seinen religiösen Ansichten fortgerissen, um die heilige Schrift noch besser ergründen zu können, Chaldäisch, Syrisch und Arabisch. Er widmete sich dem geistlichen Stande, fand jedoch als Prediger keinen

Beifall. Er gründete eine kleine Schule und verschaffte sich durch seine Sparsamkeit eine Elektrisirmaschine und eine Luftpumpe. 1761 wurde er nach Warington berufen, um die alten Sprachen zu lehren. Auf einer Reise nach London kam er mit Franklin in Berührung, und hier fasste er den Gedanken zu seiner Geschichte der Elektricität, wodurch er zu Anstellung von Versuchen veranlasst wurde. 1767 wurde er Prediger zu Leeds und benutzte eine in der Nähe seiner Wohnung befindliche Brauerei, um Versuche mit der bei der Gährung des Bieres sich entwickelnden Kohlensäure anzustellen. Als er bei Veränderung seiner Wohnung die Kohlensäure künstlich darstellen musste, verbesserte er den Gebrauch der pneumatischen Wanne wesentlich dadurch, dass er als Sperrmittel statt des Wassers sich des Quecksilbers bediente, und nun entdeckte er mit Hülfe dieser Verbesserung die gasförmige Beschaffenheit des Ammoniaks und der Salzsäure, ferner an neuen Gasarten: das Stickstoffoxydgas, das Stickstoffoxydulgas, Schwefelichtsauregas, Kohlenoxydgas, Fluorkieselgas, und endlich am 1. August 1774 das Sauerstoffgas, Lebensluft, aus dem rothen Quecksilberoxyd, und später aus den Pflanzen im Sonnenschein. Im Jahre 1785 leitete er Wasserdämpfe über glühende Eisenfeile und bekam brennbare Luft, wogegen er die Eisenfeile schwach verkalkt fand. Dieser Erfolg schien, in Verbindung mit der von Cavendish 1782 gemachten Entdeckung von der künstlichen Zusammensetzung und Bildung des Wassers, den Beweis vervollständigt zu haben, dass das Wasser aus dephlogistisirter und brennbarer Luft bestehe, allein Priestley selbst bestritt diese Folgerung und erklärte es für wahrscheinlicher, dass das Wasser, ohne eine Zersetzung zu erleiden, in die Luftarten eingehe, sowie überhaupt zum Bestehen jeder Luftart eine gewisse Menge Wasser nöthig sei. In späterer Zeit nahm Priestley seine theologischen Streitfragen mit erneuerter Heftigkeit wieder auf, zog sich aber dadurch solche Widerwärtigkeiten zu, dass er 1794 nach Amerika ging, wo er die ihm angetragene Stelle eines Professors zu Philadelphia ausschlug und sich in Northumberland an den Quellen des Susquehannah niederliess. Er starb im Jahre 1804 in Folge einer zufälligen Vergiftung, der nur allein er, kein anderes Mitglied seiner Familie, unterlag, und zwar als ein treuer Anhänger und Verfechter der phlogistischen Theorie, zu deren Sturze er so wesentlich beigetragen hatte.

Torbern Bergmann, 1735 zu Katharinenberg in Schweden geboren, war zuerst mehrere Jahre hindurch Professor der Mathematik und übernahm dann die der Chemie, zu deren Verbreitung und Förderung er durch sein ungemein eifriges Streben wesentlich beigetragen hat. Wichtige Untersuchungen reiheten sich ununterbrochen an einander. Geübt im Combiniren von Beobachtungen und folgerichtig in seinen Schlüssen liess er sich doch nie von der Sucht, mehr zu erklären, als wozu ihn seine Erfahrungen berechtigten, hinreissen. Vorzüglich folgereich waren

seine Bemühungen, die analytische Chemie auf einen höheren Standpunct zu erheben, und seine Arbeiten gaben das Fundament zu der heutigen Zerlegungskunst der unorganischen Körper. Doch sind seine quantitativen Angaben wenig genau, aber die Anzahl der von ihm analysirten Körper ist sehr gross. Sehr wichtig sind noch seine Arbeiten über die chemische Verwandschaft, wovon dort noch die Rede sein wird. Auch in andern Zweigen, wie in der Mineralogie und Geologie, bewährte sich Bergmann als ein geistreicher Forscher.

Karl Wilhelm Scheele, am 9. December 1742 zu Stralsund geboren, erlernte in Gothenburg die Apothekerkunst, der er sich mit Eifer widmete, wobei er nicht nur die Werke von Lemery, Stahl, Neumann studirte, sondern auch durch fleissiges Experimentiren sich in der Kunst ausbildete, die ihn später die wichtigsten Arbeiten in beschränkter Lage mit wenigem und ärmlichem Apparate ausführen liess. Als Apothekergehülfe durchreiste er Schweden, und kam, 27 Jahr alt, nach Stockholm. Hier fand er nicht von der Akademie der Wissenschaften die gehoffte Förderung in seiner wissenschaftlichen Laufbahn, wodurch er so entmuthigt wurde, dass er dem Umgange mit Gelehrten entsagte, Stockholm verliess, und nach Upsala gieng. Hier, in gleicher Stellung wie früher zu Malmö und Stockholm, nämlich als Apothekergehülfe, zog er durch sein Talent und seine grossen chemischen Kenntnisse zuerst die Aufmerksamkeit auf sich; ein Zufall liess ihn mit Bergmann persönlich bekannt werden. Scheele's Principal hatte bemerkt, dass Salpeter längere Zeit bei nicht zu starker Hitze im Schmelzen erhalten nach dem Erkalten noch neutral war, aber auf Zusatz von Essigsäure rothe Dämpfe ausstiess; weder er, noch der später berühmte Gahn, der damals in Upsala studirte, noch selbst Bergmann wussten über diese Erscheinung Rechenschaft zu geben. Scheele aber, mit dem Hergange bekannt, gab die richtige Erklärung. Nun bildete sich schnell ein freundschaftliches Verhältniss, das ungestört fortdauerte, und dem Scheele viel verdankte, indem er durch Bergmann mit allen Mitteln zur Anstellung seiner Versuche und zur Bekanntmachung seiner Resultate kräftig unterstützt wurde. Scheele blieb bis zum Jahre 1775 in Upsala, dann, ehrenvolle Anträge zu einem ausgedehnteren Wirkungskreise ablehnend, begab er sich nach Köping (einer kleinen Stadt an dem nördlichen Ufer des Mälarsees), um die Verwaltung der dortigen Apotheke anzutreten, welche er 1777 als Eigenthum übernahm. Hier lebte er zurückgezogen, nur der Ausübung seines Geschäfts und dem Studium der Chemie hingegeben; seine beschränkten äusserlichen Mittel, welche in einer jährlichen Unterstützung von der Akademie zu Stockholm nur wenig Vermehrung fanden, wusste er durch Genie und Ausdauer zu steigern und auf diese Art grossartige Entdeckungen zu erzwingen. Im Auslande mehr berühmt als in seiner nächsten Umgebung, endete er sein thätiges und

erfolgreiches Leben schon 1786, als er kaum das 43. Jahr seines Lebens zurückgelegt hatte.

Die erste Abhandlung Scheele's handelte von der Weinsteinsäure, und dies führte ihn zu der Untersuchung der sauren Pflanzensäfte, in denen er eine Anzahl unter sich ganz verschiedener Säuren entdeckte, die er mit Geschicklichkeit zu isoliren wusste. So verdanken wir ihm die Entdeckung und die erste genaue Untersuchung, wie schon angeführt, der Weinsteinsäure, dann der Kleesäure, Aepfelsäure, Citronensäure, Gallussäure. Von der Kleesäure kannte er das Vorkommen in den Pflanzen und auch ihre künstliche Bereitung aus Zucker mittelst Salpetersäure. Mit gleichem Erfolge studirte er die animalischen Säuren, und entdeckte die Harnsteinsäure und die Milchsäure, erkannte auch die aus der Einwirkung von Salpetersäure auf Milchzucker hervorgehende Schleimsäure als einen eigenthümlichen Körper. In dieser Art von Arbeiten hatte er keinen Vorgänger, und er schlug den neuen Weg ein, die Säuren an Basen zu binden, die neugebildeten unlöslichen Salze zu isoliren und aus diesen wieder durch eine stärkere Säure die schwächere Pflanzensäure abzuscheiden. Er lehrte ferner das Oelsüss darstellen. Eben so fruchtbar zeigte sich Scheele auf dem Gebiete der unorganischen Chemie. Er entdeckte die Molybdän- und die Wolframsäure, lehrte zuerst die Arsensäure aus weissem Arsenik durch Königswasser bereiten, wies im Braunstein einen eigenen metallischen Stoff, das Mangan, nach, welches jedoch im regulinischen Zustande darzustellen ihm nicht gelang, entdeckte bei der Behandlung des Braunsteins mit Salzsäure das Chlor, welches er, der phlogistischen Theorie gemäss, dephlogistisirte Salzsäure nannte, und seine Eigenschaften gut beschrieb. Die meisten von Scheele untersuchten Braunsteinarten enthielten Baryt, den er wieder als eine eigenthümliche Substanz erkannte, die er isolirte, auch ihre charakteristischen Merkmale untersuchte, und in ihr ein sichereres Reagens auf Schwefelsäure, als die bisher gebräuchliche Kalkerde, erkannte. Den Flussspath bezeichnete er als eine Verbindung von Kalk mit einer eigenthümlichen Säure, die er Flussspathsäure nannte, die er jedoch in den gläsernen Destillationsgefässen nicht rein darstellen konnte. Seiner Geschicklichkeit im Experimentiren gelang es, den färbenden Stoff aus dem Berlinerblau zu isoliren, als dessen Bestandtheile er Ammoniak, Luftsäure und Phlogiston annahm. In einer grösseren Arbeit über Luft und Feuer wies er nach, dass die atmosphärische Luft aus zwei verschiedenen Bestandtheilen besteht, wovon der eine, von ihm Feuerluft genannt, das Verbrennen und das Athmen unterhält, der andere aber, dem er den Namen verdorbene Luft beilegte, nichts zur Unterhaltung dieser Prozesse beiträgt. Bei diesen Untersuchungen über luftförmige Körper konnte Scheele sich nur der Schweinsblasen bedienen. Das Verhältniss der beiden Bestandtheile der Luft bestimmte er vermittelst

einer Auflösung von Schwefelleber zu ¼ Feuerluft und ¾ phlogistisirter Luft. Er zeigte, dass die Metalle bei ihrer Verkalkung Feuerluft aufnehmen und bei ihrer Reduction wieder davon befreit werden. Er entdeckte gleichfalls, unabhängig von Priestley, das Sauerstoffgas, und wusste dasselbe aus Quecksilberoxyd, Braunstein und andern Metalloxyden, auch aus Salpeter zu gewinnen. Bei einer Untersuchung des Knallgoldes, das er als eine Verbindung von Goldkalk mit Ammoniak erkannte, erklärte er letzteres als aus Stickstoff und Phlogiston zusammengesetzt. Ausserdem hat Scheele eine grosse Menge einzelner Beobachtungen gemacht.

Hiermit schliesst nun das Zeitalter des Phlogistons, und es beginnt das der quantitativen Untersuchungen. Diese Untersuchungen waren bis jetzt vorzugsweise auf die qualitativen Eigenschaften der Körper gerichtet gewesen, indem die eintretenden Gewichtsveränderungen, wenn sie auch bemerkt worden waren, doch unberücksichtigt blieben. Viele Chemiker bekümmerten sich gar nicht um diese Erscheinungen, und überliessen diese den Physikern; andere, wie Rey und Mayow, haben, indem sie die Verkalkung der Metalle in luftdicht verschlossenen Retorten ausführten, nicht nur Luftabsorption deutlich wahrgenommen, sondern auch die richtige Erklärung über den Hergang angedeutet, allein eine solche Meinung blieb unbeachtet. So hatte auch Boyle Blei in einer luftdicht verschlossenen Retorte verkalkt und richtig beobachtet, dass nach Beendigung des Prozesses und wiederhergestellter Communication mit der äusseren Luft diese mit Geräusch in die Retorte hineinströmte, dass also im Innern der Retorte ein Theil Luft verschwunden war; aber er sah in diesem Versuche nur den Beweis, dass während des Verkalkens die Feuermaterie aus der verschlossenen Retorte nicht hatte entweichen können, und dass eben dadurch die Gewichtszunahme an dem Blei bedingt sei. Ueberhaupt lag allen Erklärungen der älteren Chemiker, wie Becher, Lemery, über die ihnen wohlbekannte Thatsache, dass die Metalle bei der Verkalkung an Gewicht zunehmen, die Ansicht zum Grunde, dass das Feuer ein eigenthümlicher mit Gewicht begabter Körper, eine ponderable Substanz, sei. Sie leitete sich ab von der Lehre der früheren Philosophen über die 4 Elemente, wonach auch das Feuer als ein Körper betrachtet wurde, welcher dem Wasser und der Erde vergleichbar sei. Indessen zeigte sich die Annahme von verdichteter Feuermaterie bald unhaltbar, und am nachdrücklichsten erklärte sich Boerhave dagegen; er hatte grosse Massen von Metall kalt und glühend gewogen und keine Veränderung des Gewichts wahrnehmen können, woraus er schloss, dass die Feuermaterie, die sich in dem glühenden Metalle doch in grosser Masse angehäuft befinde, gewichtslos sei. Stahl, der wohl einsah, dass Fixirung von Feuermaterie mit seiner Hypothese von Ausscheidung des Phlogistons in Gestalt von Feuer sich nicht

vereinigen lasse, adoptirte die Ansicht, dass Verbrennung eine Ausscheidung der elementaren Feuermaterie, also eine Zersetzung, sei, und dies bei den Chemikern herrschend gewordene Vorurtheil liess gar nicht die Ansicht aufkommen, dass gerade umgekehrt hier eine Verbindung, und zwar mit der Luft oder einem Bestandtheile derselben erfolge, obgleich die Nothwendigkeit des Zutritts der Luft hierbei seit langer Zeit durch viele Thatsachen constatirt worden war. Stahl erklärte den Antheil der Luft beim Verbrennen von nur passiver Art; die Feuererscheinung ist nach ihm nur ein besonderer Zustand des sich ausscheidenden Phlogistons, wenn sich nämlich die kleinsten Theilchen desselben in einer raschen Bewegung befinden, die Stahl als ein motus verticillaris bezeichnete. Er legte dem Umstande, dass die Metalle, wenn sie ihr Phlogiston verlieren, an Gewicht zunehmen, keine Wichtigkeit bei; er sprach sich über die Ursache dieser Gewichtszunahme gar nicht aus, und versuchte gar nicht, dieselbe zu erklären. Ihm folgten die meisten Chemiker seiner Zeit, die wohl noch das Eingeständniss hinzufügten, dass diese Thatsache jetzt noch nicht erklärt werden könne, und dies nur von der Zeit zu erwarten sei. Diese Zeit wurde herbeigeführt durch die quantitative Untersuchungsweise, deren Wichtigkeit zuerst durch Lavoisier zur Anerkennung gebracht wurde.

Anton Laurent Lavoisier war geboren zu Paris am 16. August 1743. Sein Vater, der sich in Handelsgeschäften ein sehr bedeutendes Vermögen erworben hatte, war selbst ein Freund der Naturwissenschaften, und liess seinem Sohne eine ausgezeichnete Erziehung zu Theil werden. Hierdurch wurde Lavoisier's Neigung zu den Naturwissenschaften schon früh angeregt; in verschiedenen Zweigen derselben sich des Unterrichts der damals ausgezeichnetsten Gelehrten erfreuend, schien es eine Zeit lang unentschieden, welchem Fache er sich vorzüglich hingeben wollte; mit besonderem Eifer trieb er Mathematik und Chemie, ausserdem aber auch Astronomie, Botanik, Mineralogie und Geognosie. Im Jahre 1765 (also im 22. Lebensjahre) legte er das erste Zeugniss seiner wissenschaftlichen Kenntnisse ab durch Beantwortung der von der französischen Regierung gestellten Preisfrage über die vollkommenste und wohlfeilste Strassenbeleuchtung der Stadt Paris. Den ihm zuerkannten Preis von 2000 Livres vertheilte er unter seine drei minder glücklichen Mitbewerber, und erhielt dagegen in der öffentlichen Sitzung der Akademie am 9. April 1766 eine goldene Denkmünze. Im Jahre 1768 nahm ihn die Akademie unter ihre Mitglieder auf. Im Jahre 1770 erschien seine erste chemische Abhandlung, in welcher er die damals wichtige Frage untersuchte, ob das Wasser die Eigenschaft besitze, sich in der Erde zu verwandeln, oder nicht? Behufs dieser Untersuchung liess er sich eine äusserst empfindliche Waage construiren, ein Instrument, welches vor

ihm bei chemischen Untersuchungen in dieser Art noch nicht angewendet worden war, und zeigte nun, nachdem er das Wasser während 101 Tagen hatte destilliren und in einem geschlossenen Apparate circuliren lassen, wobei das Gewicht des ganzen Apparats ungeändert geblieben war, durch abgesondertes Wägen des Gefässes und der Flüssigkeit, dass das erstere 17 Gran an seinem Gewichte verloren hatte, wogegen das Wasser nach dem Abdampfen einen Rückstand von 20 Gran hinterliess. Scheele, der durch einen Zufall sich um dieselbe Zeit mit derselben Untersuchung beschäftigte, kam zu demselben Resultate, aber auf einem andern Wege; er analysirte das Wasser, fand es alkalisch reagirend und in demselben abgeschiedene Kieselerde, also die Bestandtheile des Glases. Seit dieser Zeit wurde die Waage der erste Apparat in Lavoisier's Händen, dessen er sich seitdem fortwährend bediente, weil nach seiner Ansicht sich alle chemischen Erscheinungen auf Verbindung oder Trennung der Körper gründen, nichts verloren geht, nichts ursprünglich erzeugt wird, also bei jedem chemischen Prozesse die entstandenen Producte eben so viel und nicht mehr und nicht weniger wiegen müssen, als die angewendeten Stoffe. Schon 1772 stellte er sodann die Thatsache fest, dass der Schwefel und Phosphor, wenn sie sich in Säuren, und die Metalle, wenn sie sich in Metallkalke verwandeln, an Gewicht zunehmen, und zwar in Folge einer Fixation der Luft. Diesem Gegenstande widmete Lavoisier, immer das vorgesteckte Ziel fest im Auge behaltend, den grössten Theil seiner wissenschafflichen Thätigkeit, häufte in mindestens 40 Abhandlungen, die von 1772 bis 1786 in den Schriften der Akademie erschienen, von ihm beobachtete Thatsachen an, ohne des Phlogistons gerade weiter zu erwähnen, als dass die Annahme desselben zur Erklärung der Erscheinungen entbehrlich sei, und erst im Jahre 1785 bekämpfte er offen die bisherige phlogistische Theorie. Von der Lebensluft zeigte er, dass sie ausser der Eigenschaft, das Verbrennen und das Athmen zu unterhalten, auch die habe, Säuren zu erzeugen, und daher nannte er sie Oxygene. Er schied die Bestandtheile der atmosphärischen Luft ab, und setzte sie wieder zusammen. Er erkannte die Zusammensetzung der Kohlensäure, und bestimmte das Verhältniss ihrer Bestandtheile. Durch Laplace angeregt zeigte er, dass bei der Auflösung des Zinks und des Eisens in verdünnten Säuren Wasser zersetzt werde und den frei werdenden Wasserstoff liefere, indem der Sauerstoff sich mit dem Metalle verbinde, und die Auflösung desselben in der Säure bedinge. In Folge wichtiger Untersuchungen über die Wärme zeigte er, dass dieselbe als ein unwägbares Fluidum betrachtet werden müsse, welches sich unter zwei Formen, nämlich frei oder gebunden, darstelle, und dass das Thermometer für die gebundene Wärme unempfindlich sei. Wenn ein Körper sich in Dampf oder Gas verwandelt, so absorbirt er stets viel Wärme; die Gasarten sind also nichts Anderes, als ursprünglich

feste oder flüssige Körper, welche durch ihre Verbindung mit Wärmestoff den gasförmigen Zustand angenommen haben. Die festen Körper sind umgekehrt Gasarten, welche eines Theils ihrer Wärme beraubt sind. Wenn sich also Sauerstoffgas mit irgend einem Körper verbindet, der es in den festen Zustand überführt, so verliert es diejenige Wärme, welche, mit ihm verbunden, es in dem gasförmigen Zustande erhielt, und diese freiwerdende Wärme ist die Ursache des bei den Verbrennungen entstehenden Feuers. Die hierauf gegründete, der bisherigen gerade entgegengesetzte, Theorie ist die antiphlogistische.

Lavosier hatte sich schon 1771 um eine Stelle als Generalpächter beworben, um sich ein Einkommen zu sichern, hatte sich auch mit der Tochter des Generalpächters Poulze verheirathet. Als solcher machte er zuerst den Vorschlag, einige Auflagen zu erniedrigen, überzeugt, dass dadurch die Einnahme keinesweges vermindert, sondern vermehrt werden würde. Im Jahre 1776 wurde Lavoisier an die Spitze der Salpeter-Regie gestellt; 1787 wurde er zum Mitglied der Provinzial-Versammlung von Orleans ernannt; 1788 ward er an der Generalkasse angestellt, und 1790 wurde er zum Mitgliede der berühmten Commission für Maasse und Gewichte erwählt. In allen diesen Verhältnissen wurde seine Ordnungsliebe, sein Eifer und seine Thätigkeit durch die glücklichsten Erfolge belohnt. Dennoch fiel Lavoisier als ein Opfer der Revolution. Am 2. Mai 1794 legte ein Mitglied des Nationalconvents dieser Versammlung eine Anklageacte gegen alle Generalpächter vor, zu denen auch Lavoisier gehörte, und wenige Tage darauf wurde diese in eine Anklageacte beim Revolutions-Tribunal verwandelt. Am 6. Mai wurde Lavoisier verurtheilt, und am 8. bestieg er, im 51. Jahre seines Alters, das Schaffot.

Unvergänglich für alle Zeiten bleibt die grosse Masse von wichtigen Entdeckungen, welche die Wissenschaft Lavoisier's Scharfsinn verdankt, wenn auch die von ihm gegründete antiphlogistische Theorie wieder hat aufgegeben werden müssen. Zur Verbreitung derselben in Frankreich waren besonders Berthollet, Guyton de Morveau, Fourcroy und Vauquelin thätig, die sich ganz an Lavoisier's Ansichten anschlossen, von denen Morveau sich besonders durch seine Bemühungen für Einführung einer rationellen Nomenclatur in der Wissenschaft Verdienste erworben hat. In Deutschland suchte man lange Stahl's Lehre gegen die andringende Neuerung zu schützen, so dass dieser nur nach und nach Eingang gestattet wurde. Doch fehlte es nicht an Männern, die durch ausgezeichnete Leistungen die Wissenschaft förderten, und wir nennen hier nur Bucholz, Hermbstaedt, Gren, Richter, Trommsdorff, Wenzel, Westrumb, Wiegleb, und durch genaue analytische Untersuchungen besonders Klaproth, wie Bucholz, Hermbstaedt, Trommsdorff und Westrumb dem Apothekerstande angehörig.

Schon bei Lebzeiten Lavoisier's wurde eine zufällige Beobachtung

gemacht, die für die Umgestaltung des wissenschaftlichen Princips in der Chemie von der grössten Bedeutung war, und den Keim zum Umsturze der antiphlogistischen Theorie LAVOISIER's in sich trug. ALOYSIUS GALVANI, Professor der Anatomie zu Bologna, war im Jahre 1791 mit einigen Freunden auf seinem Zimmer mit Versuchen beschäftigt, in welchem zugleich eine Elektrisirmaschine sich befand, und in dem auch zufällig auf einem Tische mehrere enthäutete Frösche lagen. Ohne irgend eine Absicht dabei zu haben, brachte ein Gehülfe die Spitze des Skalpells an die Cruralnerven eines solchen Frosches, und sah mit Erstaunen, dass in demselben Augenblicke die Schenkelmuskeln sich convulsivisch zusammenzogen. Ein Anderer glaubte zu bemerken, dass diese Zuckungen nur dann erfolgten, wenn in demselben Augenblicke aus dem vom Frosche ziemlich entfernten Conductor der Elektrisirmaschine ein Funke gezogen und das Skalpell an der Klinge, nicht aber an dem (schlecht leitenden) knöchernen Griffe gefasst wurde (also nur dann, wenn das den Nerven berührende Metall mit dem Erdboden in leitender Verbindung war). Man eilte, die seltsame Erscheinung GALVANI, der eben das Zimmer verlassen hatte, zu hinterbringen, der sich von der Richtigkeit der gemachten Beobachtung überzeugte. GALVANI sah darin eine Bestätigung seiner Lieblingshypothese von einer den Thieren eigenthümlichen Elektricität, und um den Einfluss der atmosphärischen Elektricität auf die Erzeugung von Zuckungen in den präparirten Fröschen zu prüfen, hing er einige derselben an dem eisernen Gitter des Gartens auf, konnte aber, so lange er auch wartete, nicht die leiseste Zuckung wahrnehmen. Des langen Harrens müde, bog er die Kupferdrähte, welche durch das Rückenmark der Thiere gestochen worden waren, gegen das Gitter zurück, um vielleicht durch dasselbe atmosphärische Elektricität zuzuleiten, und erhielt jetzt in der That starke Zuckungen, die jedoch mit der atmosphärischen Elektricität in keinem Verhältnisse zu stehen schienen. Um sich hiervon zu überzeugen, wiederholte GALVANI in einem wohl verschlossenen Zimmer zu verschiedenen Stunden des Tages diese Versuche, indem er das Froschpräparat auf eine eiserne Scheibe legte und den in das Rückenmark gesenkten Haken mit derselben in Berührung brachte, wo sich dann bei jedesmaliger Berührung lebhafte Zuckungen zeigten. Diese Erfolge leitete er von einer eigenthümlichen thierischen Elektricität ab, indem, ähnlich wie bei der Leidener Flasche durch den leitenden Bogen, hier durch die Berührung der beiden Metalle die Kette geschlossen werde, welches die Zuckungen zur Folge habe. Diese Versuche erregten die Theilnahme der Physiker in hohem Grade, und unter ihnen ALEX. VOLTA's, des geübtesten Elektrikers seiner Zeit Sehr bald erkannte derselbe ihre Beziehungen zu der allgemeinen Elektricität, indem er zeigte, dass der präparirte Frosch der gewöhnlichen Elektricität als Leiter diene, wodurch die Zuckungen hervorge-

bracht wurden, und dass mithin die Annahme einer besondern thierischen Elektricität unrichtig sei. Den Grund der bei Galvani's letzteren Versuchen erregten Elektricität fand er in der Berührung der Metalle, und dass stärkere Zuckungen entständen, wenn der präparirte Frosch an zwei Stellen, gleichviel ob Muskel oder Nerv, mit zwei verschiedenen Metallen berührt werde, die unter sich in Berührung stehen. Diese Berührung zweier verschiedener Metalle wies er als eine neue bisher unbekannte Quelle der Elektricität nach, die später den Namen Contactelektricität erhalten hat. Bald fand nun auch Volta, dass nicht blos bei feuchten thierischen, sondern auch bei andern feuchten Körpern, wie Papier, Tuch, ein ähnlicher Uebergang der durch Contact erregten Elektricität statt finde, und jetzt war nur noch ein Schritt zu thun zur Verstärkung der auf diese Weise hervorgerufenen Elektricität durch leitende Verbindung mehrerer Elektroactoren. Diesen Schritt that Volta im Jahre 1800, und die wichtigste Entdeckung der neueren Zeit, die der Voltaïschen Säule, war gemacht. Wenn auch die Folgen dieser Entdeckung kaum geahnt, viel weniger übersehen werden konnten, so wurde doch durch ganz Europa die Wichtigkeit derselben anerkannt, auch Volta selbst 1801 zu einer Reise nach Paris veranlasst, und von dem damaligen ersten Consul der französischen Republik Napoleon Bonaparte ein jährlich zu ertheilender Preis für die wichtigsten Entdeckungen in diesem neuen Felde des menschlichen Wissens ausgesetzt. Eine Voltaïsche Säule wurde nun ein jedem Physiker und Chemiker unentbehrlicher Apparat; grosse kostbare Apparate wurden zuerst auf Kosten der französischen und der englischen Regierung angeschafft und den Gelehrten zur Benutzung überlassen. Eine ausnehmende Wichtigkeit erlangten bald die chemischen Wirkungen dieser Apparate. Nicholson und Carlisle bemerkten zuerst, dass durch die Voltaïsche Säule das Wasser zerlegt werde, und dass die ausgeschiedenen Bestandtheile desselben sich an den beiden Polen derselben ansammeln. Bei Verfolgung dieses Gegenstandes glaubte man zu entdecken, dass bei Entladung der Säule durch Flüssigkeiten der positive Pol Säuren, der negative aber Alkalien erzeuge, und man vermuthete, dass aus den Bestandtheilen des Wassers an den entsprechenden Polen Salzsäure und Natron gebildet werden könnten. Berzelius und Hisinger zeigten aber 1803, dass aus den zwischen den Polen befindlichen zersetzbaren Substanzen Wasserstoff und die Basen an dem negativen, Sauerstoff und die Säuren aber an dem positiven Pole abgeschieden werden. H. Davy wiederholte diese Versuche mit den ihm zu Gebote stehenden grösseren Apparaten, und bestätigte die Richtigkeit jenes Gesetzes in ausgedehnterem Grade, indem es ihm gelang, die bisher unzerlegten Alkalien und Erden in Sauerstoff und metallische Substanzen zu zerlegen. Dies führte ihn zu dem Schlusse, dass, weil die zusammengesetzten Körper durch elek-

trische Kräfte zerlegt werden, sie auch durch elektrische Kräfte vereinigt sein müssten, was er dadurch bestätigt fand, dass Körper, welche zu einander Verwandschaft haben, Elektricität entwickeln, wenn sie mit einander in Berührung gebracht werden. So entwickelte sich eine neue Theorie in der Chemie, welche die Elektricität als das die chemischen Wirkungen bedingende Agens anerkennt, die elektrochemische Theorie, die später besonders durch Berzelius ausgebildet worden ist.

Elektrochemische Theorie.

Bei einer Erfahrungswissenschaft, wie es die Chemie ist, kann eine zur Erklärung der wahrgenommenen Erscheinungen aufgestellte Theorie nur so lange als richtig angenommen werden, als sie mit den Erscheinungen selbst sich im Einklange befindet; sie muss verlassen werden, sobald Thatsachen ermittelt werden, welche mit jener Theorie nicht mehr in Uebereinstimmung gebracht werden können, oder wohl gar in Widerspruch mit ihr gerathen. So mussten die angestrengtesten Bemühungen der erfahrensten und geistreichsten Chemiker ihrer Zeit, das Phlogiston zu schützen, scheitern, als Lavoisier mit der Waage in der Hand Thatsachen feststellte, welche der auf das Vorhandensein des Phlogistons gegründeten Theorie geradezu widersprachen; so musste aber auch Lavoisier's antiphlogistisches System verlassen werden, als das Prinzip desselben gerade das für dieses System wichtigste Phänomen, nämlich das des Brennens, nicht mehr zu erklären hinreichte. Die Feuererscheinung und Entwickelung der Wärme leitete diese Theorie, wie oben erwähnt, von dem gebundenen Wärmestoffe des Oxygens ab, welcher bei der Verbindung des letzteren mit einem brennbaren Körper, wobei es seine Gasgestalt verliert, frei wird. Mittlerweile lehrten aber Versuche, dass bei dem Verbrennen von Kohle im Sauerstoffgase, wobei eine sehr bedeutende Temperatur-Erhöhung entsteht, das Volumen des Sauerstoffgases gar nicht verändert wird, und dass das durch das Verbrennen entstandene Kohlensäuregas denselben Raum einnimmt, den vorher das Sauerstoffgas inne hatte, dass hier also keine Verdichtung des Sauerstoffgases erfolge. Crawford suchte daher den Grund der Feuererscheinung in einer Veränderung der specifischen Wärme, aber Delaroche und Berard fanden die specifische Wärme des Kohlensäuregases 1,2583, wogegen die des Sauerstoffgases nur 0,9765 ist. Das sich bildende Kohlensäuregas hat also noch Wärme aufgenommen, und es müsste bei dem Verbrennen von Kohle im Sauerstoffgase Kälte entstehen. Noch auffallender ist das Ergebniss von der Verbrennung des Wasserstoffgases. Die specifische Wärme des Wassers wird als Einheit mit 1,000 angenommen; in 100 Th. Wasser sind also 100,000 spec. Wärme enthalten. Die spec.

Wärme des Sauerstoffgases mit einem gleichen Gewichte Wasser verglichen ist 0,2361, die des Wasserstoffgases 3,2936. 100 Th. Wasser bestehen aus 11,1 Wasserstoff, deren spec. Wärme (3,2936.11,1 =) 36,559, und aus 88,9 Sauerstoff, deren spec. Wärme (0,2361.88,9 =) 20,989 ist. Die spec. Wärme, welche den aus der Verbrennung des Wasserstoffgases in dem Sauerstoffgase entstehenden Wasser durch die Gasarten selbst, aus denen es entstanden, zugeführt worden, beträgt demnach 36,559 + 20,989 = 57,548, und das Wasser hat demnach, da die spec. Wärme in 100 Th. Wasser 100,000 ist, 42,452 Wärme aus einer andern Quelle hernehmen müssen. Welches ist nun die Quelle, aus welcher nicht nur die fehlenden 42,452 Wärme dem Wasser zugeführt werden, sondern die auch noch die grosse Hitze, die grösste, die durch chemische Prozesse hervorgebracht werden kann, entstehen lässt?

Es ist aber ferner nicht jede Feuererscheinung von der Verbindung eines brennbaren Körpers mit Sauerstoffgas abhängig, wie Lavoisier's Theorie annimmt, sondern Feuererscheinung zeigt sich auch bei der Verbindung vieler anderer Körper, so, wie schon Kunkel bemerkt hatte, bei der Verbindung der Metalle mit Schwefel. Diese Erscheinung ist aber nicht einmal auf Verbindungen zwischen einfachen Körpern eingeschränkt, sondern sie tritt auch, bisweilen mit grosser Heftigkeit, bei Verbindungen von bereits mit Sauerstoff vereinigten Körpern hervor, wie bei dem Zusammentreffen von wasserleerer Schwefelsäure mit Wasser, der rauchenden Schwefelsäure mit frisch geglühter Magnesia u. s. w. Kurz die Erfahrung hat gelehrt, dass bei jeder chemischen Verbindung, die unter Umständen vor sich geht, welche zum Wahrnehmen von entwickelter Wärme günstig sind, Wärme frei wird, und zwar desto mehr, je stärker die Verwandschaft zwischen den sich verbindenden Substanzen war, so dass die Temperatur selbst bis zur Weissglühhitze steigen kann. In allen diesen Fällen ist die Ursache der Feuererscheinung oder der Temperaturerhöhung dieselbe, welche bei der Verbindung der brennbaren Körper mit Sauerstoff Feuer oder Wärme hervorruft.

Das durch elektrische Entladung hervorgebrachte Feuer ist von gleicher Natur, wie das bei chemischen Verbindungen entstehende. Der elektrische Funke entzündet das Wasserstoffgas, den Aether, überhaupt alle brennbaren Körper, erhitzt, schmelzt, verflüchtigt die Metalle; die anhaltende Entladung der elektrischen Säule erhitzt das Wasser bis zum Kochen und die festen Körper bis zum Glühen; eine im luftleeren Raume durch die elektrische Säule bis zum Glühen erhitzte Kohle ist hinsichtlich der Feuererscheinung in demselben Zustande, wie eine im Sauerstoffgase brennende Kohle. Der Unterschied besteht also nicht in dem Zustande des Glühens, sondern in der Art, durch welche es hervorgebracht wird. Aehnliche Erscheinungen lassen aber a u ähnliche Ursachen zurückschliessen, und wir haben also Grund anzuneh-

men, dass die Vereinigung, die Ausgleichung der entgegengesetzten Elektricitäten eben so die Ursache der Feuererscheinung oder der Temperatur-Erhöhung bei chemischen Verbindungen sei, wie sie es bei dem elektrischen Funken, bei dem elektrischen Feuer ist. Sowie bei schwachen entgegengesetzten Kräften der elektrischen Säule nicht Feuer, kein Funken, sondern nur grössere oder geringere Temperatur-Erhöhung sich zeigt, so zeigt sich auch bei den chemischen Verbindungen Feuererscheinung oder mehr oder weniger wahrnehmbare Wärme, je nachdem die in die chemischen Verbindungen eingehenden Substanzen eine grössere oder geringere Verwandschaft zu einander hatten, und wir müssen bei dem jetzigen Zustande unserer Kenntnisse es als die wahrscheinlichste Erklärung der bei chemischen Verbindungen entstehenden Feuererscheinung oder Temperatur-Erhöhung, gleichviel ob diese in einer Vereinigung brennbarer Körper mit Sauerstoff, in einem Verbrennungsprozesse, oder in irgend einem andern chemischen Prozesse bestehe, anerkennen: dass bei jeder chemischen Verbindung eine Ausgleichung der entgegengesetzten Elektricitäten stattfinde, und dass diese Ausgleichung das Feuer auf dieselbe Weise hervorbringe, wie sie es bei der Entladung der elektrischen Flasche, der elektrischen Säule und dem Blitze erzeugt. Hiernach kann also auch nur da ein chemisches Aufeinanderwirken eintreten und eine chemische Verbindung sich bilden, wo ein elektrischer Gegensatz vorhanden ist, und zwischen Substanzen mit den gleichnamigen Elektricitäten ist keine chemische Verbindung möglich.

Alle Körper also, welche fähig, sich chemisch zu verbinden, sind es nur dadurch, dass sie fähig sind, elektrisch zu werden, und zwar demjenigen Körper entgegengesetzt elektrisch, mit dem sie sich eben verbinden sollen. Diese Fähigkeit der Körper aber, elektrisch zu werden, ist bei den meisten eine relative, d. h. die meisten von ihnen besitzen zwar von Natur eine vorwaltende Neigung zu dieser oder jener Art der Elektricität, zu der positiven oder negativen, wie bei den des Magnetismus fähigen Körpern es solche giebt, bei denen der eine magnetische Pol viel stärker ist, als der andere; indessen können sie auch entgegengesetzt elektrisch werden, wenn sie mit einem Körper in Wechselwirkung kommen, der mit derjenigen Elektricität, die sie selbst gewöhnlich anzunehmen geneigt sind, vorwaltend und überwiegend beladen ist, in welchem Falle sie entgegengesetzt elektrisch werden, oder die entgegengesetzte Elektricität annehmen müssen. Bringen wir z. B. Zink mit Eisen in Berührung, so nimmt das erste die positive, das letztere die negative Elektricität an. Dasselbe Eisen nimmt aber die positive Elektricität an, wenn wir es mit Kupfer oder Silber, welche Metalle sich vorwaltend negativ-elektrisch verhalten, in Berührung bringen. Wenn Schwefel sich mit Metallen verbindet, so

ist er hierbei stets negativ-elektrisch, er wird aber positiv-elektrich, wenn er mit dem absolut negativen Sauerstoffe sich verbinden soll. Es giebt nämlich, wie die Erfahrung gelehrt hat, einige wenige einfache Körper, die nur der einen elektrischen Polarität fähig sind, die also nur elektronegativ oder elektropositiv werden können. So ist der Sauerstoff gewiss, das Fluor höchst wahrscheinlich, absolut elektronegativ, das Kalium absolut elektropositiv, wogegen das elektrische Verhalten aller übrigen elementaren Körper durch das überwiegende elektrische Verhalten desjenigen Körpers, mit dem sie in chemische Berührung kommen, bedingt wird. Dem Sauerstoffe und Fluor gegenüber werden demnach alle Körper positiv-, dem Kalium gegenüber negativ-elektrisch, wogegen dieselben Körper bald positive bald negative Elektricität annehmen werden, je nachdem der andere chemisch auf sie einwirkende Körper vorwaltende negative oder vorwaltende positive Elektricität besitzt. Durch dieses entgegengesetzte elektrische Verhalten der Körper wird also ihre elektrische Anziehung, ihre Neigung, sich mit einander zu vereinigen, d. h. ihre chemische Verwandschaft, bedingt, und eine chemische Verbindung ist demnach nur bei solchen Körpern möglich, zwischen denen ein elektrischer Gegensatz besteht; Körper mit gleichnamiger Elektricität stossen sich ab, und so haben denn auch Sauerstoff und Fluor bis jetzt noch nicht mit einander verbunden werden können. Der Schwefel wird durch die Wärme der Hand so stark negativ-elektrisch, dass die mit gleichnamiger Elektricität sich ladenden Massentheilchen desselben sich mit solcher Gewalt abstossen, dass der Schwefel unter Knistern in Stücke zerspringt. Die Stärke der elektrischen Anziehung, also auch der chemischen Verwandschaft, hängt von der Intensität der entgegengesetzten elektrischen Kräfte ab; je grösser diese ist, mit desto mehr Heftigkeit werden die Körper zur Vereinigung hinstreben, mit desto mehr Gewalt, mit desto deutlicheren Licht- und Feuererscheinungen wird diese selbst erfolgen. In dem elektrischen Funken erfolgt nicht eine Vernichtung, sondern nur eine Ausgleichung der elektrischen Kräfte, wie Säure und Base, wenn sie sich zu einem neutralen Körper verbinden, nicht vernichtet, sondern nur neutralisirt sind; die in dem durch Ueberschlagen des Funkens gebildeten Elektricum ruhenden elektrischen Kräfte können, wie Base und Säure aus dem neutralen Körper, durch zweckdienliche Mittel wieder abgeschieden, d. h. zum Auseinandertreten veranlasst werden. Wenn zwei sich entgegengesetzt elektrisch verhaltende Körper eine chemische Verbindung eingehen, so haben sich die entgegengesetzten elektrischen Kräfte zu dem Elektricum vereinigt, und soll jene chemische Verbindung aufgehoben und die Bestandtheile derselben getrennt werden, so müssen freie elektrische Kräfte darauf einwirken, die stärker sind, als diejenigen waren, welche in Folge jener chemischen Verbindung neutralisirt wurden, und durch Verstärkung jener

einwirkenden elektrischen Kräfte muss es möglich werden, jede chemische Verbindung in ihre Bestandtheile zu zerlegen.

Bei jeder chemischen Verbindung erfolgt also eine Ausgleichung der entgegengesetzten elektrischen Kräfte, durch welche die damit begabten Körper zur Verbindung hingetrieben wurden. Waren diese elektrischen Kräfte von gleicher Stärke, so ist die Ausgleichung vollständig, und der in Folge der chemischen Verbindung gebildete Körper muss indifferent, neutral, sein. So heben sich die negative Elektricität des Sauerstoffs und die positive Elektricität des Wasserstoffs in dem Verhältnisse, wie sie Wasser bilden, so gänzlich auf, dass das Product dieser chemischen Verbindung ein völlig neutrales ist. Hatte aber eine der Elektricitäten der Masse nach das Uebergewicht, oder war bei dem Aufeinanderwirken zweier zur gleichnamigen Elektricität geneigten Körper die schwächere zurückgedrängt und der entgegengesetzte jedoch minder mächtige Pol hervorgerufen, so kann keine vollständige Ausgleichung der elektrischen Kräfte erfolgen, und die chemischen Eigenschaften des aus dieser Verbindung hervorgehenden Körpers werden durch die im Uebergewichte bleibende, nicht zur Ausgleichung gelangte, Elektricität bedingt werden, er wird also bei vorwaltender positiver Elektricität eine Base, bei negativer eine Säure sein. Wenn sich 83 Kalium mit 17 Sauerstoff verbinden, so hat die positive Elektricität des ersteren das Uebergewicht, und das Product ist eine Base; wenn sich Schwefel und Sauerstoff verbinden, so wird durch die mächtige negative Elektricität des Sauerstoffs das gewöhnlich negativelektrische Verhalten des Schwefels zurückgedrängt und der positive Pol in demselben hervorgerufen, welcher jedoch die negative Elektricität des Sauerstoffs nur zum Theil sättigen kann, so dass diese überwiegend bleibt und dem Producte die Eigenschaften einer Säure ertheilt. So entstehen indifferente, basische und saure zusammengesetzte Körper. Sowie aber nur wenige einfache Körper absolut negativ oder absolut positiv sich verhalten, so sind auch nur wenige zusammengesetzte Körper absolut Säuren oder absolut Basen, sondern auch hier wird ihr Verhalten bedingt durch den zweiten Körper, mit dem sie in chemische Berührung gesetzt werden. So sind viele Metalloxyde, wie die vom Silber, Kupfer, Antimon, Zink u. s. w., den Säuren gegenüber Basen, starken Basen gegenüber Säuren, und selbst entschiedene, jedoch schwache Säuren, wie die Borsäure etc., übernehmen, starken Säuren gegenüber, die Rolle einer Base. Absolut indifferente Körper giebt es weder unter den einfachen, noch unter den zusammengesetzten, wenigstens von den ersten Ordnungen. So ist selbst das Wasser keinesweges absolut indifferent, denn es geht chemische Verbindungen ein, und bildet die sogenannten Hydrate, in welchen das Wasser mit einer Säure verbunden, wie im Schwefelsäurehydrat, basisch, mit einer Base verbunden, wie im Kalihydrat, sich wie eine Säure verhält, indem es

im ersteren Falle nur durch eine wirkliche Base, im letzteren nur durch eine wirkliche Säure aus dieser Verbindung ausgetrieben werden kann. Zwischen mehrfach zusammengesetzten Körpern aber hört jede Neigung zu chemischen Verbindungen auf, und diese sind wirklich indifferent.

Dem Obigen zufolge können wir demnach nicht, wie es die elektrochemische Theorie zu fordern scheint, die einfachen Körper in elektrisch positive und negative, und die zusammengesetzten in Basen und Säuren abtheilen, und jeden Körper in eine der beiden Abtheilungen bringen, sondern wir können sie nur nach ihrem Verhalten aneinander reihen, so dass wir bei den einfachen Körpern, nach Berzelius, mit dem absolut negativen Sauerstoff die Reihe anfangen, an diesen die vorwaltend negativ-elektrischen Körper, nach Verhältniss des Vorwaltens, anreihen, und so allmählig zu den Körpern mit vorwaltender positiver Elektricität übergehen, und die Reihe mit dem absolut positiven Kalium schliessen. Für die zusammengesetzten Körper müsste dasselbe leitende Prinzip gelten.

Wir wollen hier die nach Berzelius getroffene elektrische Anordnung der Körper folgen lassen, die aber keinesweges als eine feststehende und unabänderliche anzusehen ist, vielmehr Abänderungen erfahren muss, je richtiger das elektrische Verhalten der Körper ermittelt werden wird. So ist schon von dem Fluor erwähnt, dass das negativ-elektrische Verhalten desselben dem des Sauerstoffs fast gleich zu kommen scheine, wonach es unmittelbar an diesen angereiht werden musste, was wahrscheinlich auch von den andern sogenannten Salzbildern gelten möchte. Folgende ist demnach die Reihenfolge der einfachen Körper, beginnend mit dem absolut und in allen Verbindungen negativ-elektrischen Sauerstoff, vorschreitend zu den positiv-elektrischen Körpern, und endigend mit dem positivsten von allen, dem Kalium:

Sauerstoff	Chrom	Titan	Quecksilber	Zink	Norium
Schwefel	Vanadin	Kiesel	Silber	Mangan	Yttrium
Selen	Molybdän	Wasserstoff	Kupfer	Uran	Beryllium
Stickstoff	Wolfram	Gold	Wismuth	Cerium	Magnesium
Fluor	Bor	Osmium	Zinn	Thorium	Calcium
Chlor	Kohlenstoff	Iridium	Blei	Zirconium	Strontium
Brom	Antimon	Ruthenium	Cadmium	Aluminium	Baryum
Jod	Tellur	Platin	Kobalt	Didym	Lithium
Phosphor	Tantal	Rhodium	Nickel	Lanthan	Natrium
Arsen	Niobium	Palladium	Eisen	Erbium	Kalium.
				Tarbium	

Chemische Verwandschaft. Affinität.

Der Name Affinität wird schon von den Alchemisten gebraucht so sagt z. B. Albertus Magnus: *sulphur propter affinitatem naturae metalla adurit,* und diese Sprachweise ist offenbar aus der damaligen Ansicht hervorgegangen, dass in den Metallen schon an sich Sulphur enthalten sei, und dass also die Verwandschaft des gemeinen Schwefels zu den Metallen auf dem in ihnen schon vorhandenen reinen Sulphur beruhe. Dies wurde dann weiter ausgedehnt, und Becher, in der zweiten Hälfte des 17. Jahrh., stellte den chemischen Grundsatz auf, dass die Möglichkeit der Vereinigung zweier Stoffe nur auf dem Gehalte beider an einem gemeinschaftlichen Prinzipe beruhe. Je grösser dieser Gehalt, desto stärker ihre Verwandschaft. Durch Boerhave wurde eine Aenderung in dem Begriffe der Verwandschaft vermittelt, indem er die Auflösung der Metalle in Säuren gleichfalls der Verwandschaft zuschrieb, also, der Wortbedeutung entgegen, dem Bestreben unähnlicher Körper, sich mit einander zu verbinden, und von Boerhave's Zeit an wurde eigentlich erst der Ausdruck Affinität oder Verwandschaft in der Wissenschaft allgemein angewandt. Die Verwandschaft der Körper unter einander zeigte sich aber nach ihrer verschiedenen Beschaffenheit verschieden, und man suchte nun diese Verwandschaften in Form von Reihen darzustellen. St. F. Geoffroy publicirte zuerst im Jahre 1718 solche Verwandschaftstafeln, die auf eine für die damalige Zeit sehr vollständige und erschöpfende Art ausgeführt waren, denen bald mehrere folgten, bis die im Jahre 1775 von Bergmann herausgegebenen alle früheren verdrängten, indem dieselben in allen Ländern als die richtigsten und vollständigsten allgemein anerkannt wurden. Bergmann berücksichtigte bei der Lehre von der Verwandschaft viel mehr wie seine Vorgänger alle einzelnen Umstände, von welchen die Erfolge abhängen, und besonders den Einfluss der Wärme, und dies gerade war es, was seine Arbeiten über die Affinität von allen früheren unterschied. Von ihm rühren auch, um die verschiedenen Vorgänge bei der Lehre von der Verwandschaft zu bezeichnen, die Benennungen: *attractio electiva simplex, duplex* und *multiplex* her. Guyton de Morveau unternahm es dann, die einzelnen Verwandschaftsgrössen mit Zahlen zu bezeichnen. Dies dient indessen höchstens dazu, um eine Vorstellung zu geben, über die Art, wie Zersetzungen durch doppelte Wahlverwandschaft vor sich gehen, denn der Wirklichkeit entsprechen sie nicht.

Dass wir heutiges Tages die chemische Verwandschaft als in dem entgegengesetzten elektrischen Verhalten der Körper beruhend annehmen, folgt aus dem bei Entwickelung der elektrochemischen Theorie Vorgetragenen. Halten wir dieses Princip streng fest, so muss die chemische Verwandschaft am stärksten sein zwischen den in der

elektrischen Reihe entferntesten Körpern, so dass diese durch näher stehende nicht aufgehoben werden kann. Dieses ist jedoch nicht immer und überall der Fall, vielmehr werden die Erfolge der chemischen Verwandschaft mitbedingt durch die Beschaffenheit der neuen Producte, deren Entstehen wieder sehr häufig von der Temperatur abhängt. Das Kaliumoxyd ist im Allgemeinen die stärkste Base; dennoch muss die Verwandschaft desselben zur Schwefelsäure derjenigen des Bariumoxydes zu derselben Säure weichen, weil in dem Augenblicke, in welchem Bariumoxyd und Schwefelsäure sich zu vereinigen Gelegenheit finden, ein völlig unauflöslicher Körper, Schwerspath, entsteht, der also aus allen Auflösungen, welche die beiden genannten Bestandtheile desselben enthalten, als Niederschlag ausscheidet. Der Kohlenstoff steht dem Sauerstoffe ziemlich nahe, so dass nicht eine starke chemische Verwandschaft zwischen beiden Körpern angenommen werden kann. Dennoch wird allen Metallen, selbst dem Kalium, der mit ihnen chemisch verbundene Sauerstoff entzogen, weil der Kohlenstoff durch seine Vereinigung mit dem Sauerstoffe Producte giebt, welche schon bei der gewöhnlichen Temperatur gasförmig sind, deren Bildung also durch Wärme sehr begünstigt und befördert wird. Im Allgemeinen gilt jedoch bei den Thätigkeits-Aeusserungen der chemischen Verwandschaft Folgendes:

1) Das Hinstreben zur Vereinigung, die chemische Verwandschaft, ist um so stärker, je grösser der elektrische Gegensatz ist, und auf der andern Seite, um so schwächer, je geringere elektrische Kräfte sich entgegenstehen.

2) Die chemische Verwandschaft ist am stärksten zwischen den elementaren Körpern, sie ist noch sehr stark zwischen den zusammengesetzten Körpern der ersten Ordnung, z. B. zwischen Säuren und Basen, sie wird schwächer zwischen den durch die Vereinigung dieser entstandenen chemischen Verbindungen, den Salzen, sie nimmt noch mehr ab bei den zusammengesetzten Körpern der dritten Ordnung, den Doppelsalzen, und scheint endlich über die Verbindungen der vierten Ordnung, wenn die Verbindungen der Doppelsalze mit Doppelsalzen noch Krystallwasser aufnehmen, nicht hinauszugehen.

3) Nur solche Körper, die zu derselben Ordnung gehören, verbinden sich mit einander, also einfache Körper mit einfachen, die zusammengesetzten Körper der ersten Ordnung nur unter einander, u. s. w. Es giebt nur wenige Ausnahmen von dieser Regel.

4) Die Körper sind dann am meisten geneigt, neue Verbindungen einzugehen, wenn sie eben aus ihrer bisherigen ausgeschieden werden, und es giebt zusammengesetzte Körper, die nicht anders entstehen können, als wenn die in die neue Verbindung eingehenden Substanzen sich, wie man es nennt, *in statu nascenti* befinden. So kann Schwefel im Wasserstoffgase geschmolzen und sublimirt werden,

ohne dass sich beide Körper zu Schwefelwasserstoff vereinigen, was jedoch in *statu nascenti* erfolgt, wenn ein Schwefelmetall, wie Schwefeleisen, durch eine Säure, wie Schwefelsäure, zersetzt wird, und der aus dem Schwefelmetalle ausscheidende Schwefel mit dem aus dem hierbei in seine Bestandtheile zerfallenden Wasser freiwerdenden Wasserstoffe im Momente des Ausscheidens zusammentrifft.

5) Die aus diesen chemischen Verbindungen hervorgehenden neuen Körper lassen um so weniger die Eigenschaften derjenigen Körper erkennen, aus denen sie zusammengesetzt sind, je grösser ihre chemische Verwandschaft, je stärker der elektrische Gegensatz war, so dass bei mächtigen Verwandschaftskräften die in die Verbindung eingehenden Substanzen gegenseitig ihre Eigenschaften einbüssen, und diese nicht mehr erkannt werden können, z. B. wenn sich Metalle mit Sauerstoff oder Chlor verbinden, oder wenn Basen und Säuren sich neutralisiren. Von durch schwache Verwandschaftskräfte gebildeten chemischen Verbindungen, in welchen noch die Eigenschaften der darin enthaltenen Körper erkennbar sind, geben die Metalllegirungen Beispiele.

Wenn die chemische Verwandschaft in Wirksamkeit treten soll, so muss wenigstens einer der beiden Körper flüssig oder gasförmig sein; starre Körper können sich nicht chemisch mit einander verbinden. *Corpora non agunt, nisi fluida,* ist ein alter chemischer Lehrsatz. Soll eine Verbindung zwischen den einzelnen polarisirten Theilchen vor sich gehen, so müssen wenigstens die des einen Körpers beweglich sein und mit einer gewissen Leichtigkeit den andern ihre entgegengesetzten Pole zuwenden können. Diese Beweglichkeit findet aber in dem erforderlichen Maasse nur in den Flüssigkeiten statt, so dass in jedem Augenblicke neue Theile zur Thätigkeit gelangen können. Sollen sich also zwei starre Körper mit einander chemisch verbinden, so muss wenigstens einer davon in den flüssigen Zustand versetzt werden, was durch Schmelzen oder durch Auflösen geschehen kann. Alles, was die gegenseitige Berührung befördert, begünstigt auch ihr chemisches Aufeinanderwirken, also Zerkleinern der festen Massen, Durchmischung, äussere Wärme, durch welche die Cohäsionskraft geschwächt wird, u. s. w. Die durch die Wärme verminderte Cohäsion und vermehrte Ausdehnung ist der chemischen Verwandschaft jedoch nur bis zu einem gewissen Grade günstig, weil bei zu grosser Ausdehnung die Theilchen in einen zu grossen Abstand kommen. Wenn demnach die flüssigen Körper sich leicht und fast bei allen Temperaturen verbinden, so bedürfen die gasförmigen dagegen meistens der Beihülfe der Wärme, jedoch tritt bei sehr verdünnten Gasgemengen gar keine elektrochemische Wirksamkeit mehr ein, so dass das leicht entzündliche Gemenge von Sauerstoff- und Wasserstoffgas in einem bis zu einem gewissen Grade verdünnten Zustande durch den elektrischen Funken nicht mehr entzündet wird.

Um die verschiedenen Erfolge, welche durch die chemische Verwandschaft herbeigeführt werden, leichter übersehen zu können, hat man Abtheilungen gemacht und die mischende Verwandschaft, die einfache Wahlverwandschaft, die mehrfache Wahlverwandschaft und die disponirende Verwandschaft unterschieden.

Zu der mischenden Verwandschaft rechnet man die unmittelbare Vereinigung der Körper, ohne dass sie eine frühere Verbindung verlassen müssen, z. B. wenn Quecksilber und Schwefel sich zu Zinnober verbinden, oder Base und Säure, u. s. w.

Die einfache Wahlverwandschaft tritt ein, wenn auf eine aus 2 Körpern bestehende chemische Verbindung AB ein dritter C einwirkt, welcher zu A in einem stärkeren elektrischen Gegensatze steht, näher mit A verwand ist, als B zu A, so dass nun A, gleichsam zwischen B und C wählendt, sich mit C zu AC verbindet, wogegen B ausgeschieden wird. So wird Zinnober in der Hitze durch Eisen zerlegt, nämlich:

Schwefeleisen

Zinnober { A Schwefel C Eisen
B Quecksilber

B Quecksilber.

Die mehrfache Wahlverwandschaft begreift die Fälle, wenn zwei zusammengesetzte Körper, AB und CD, ihre Bestandtheile austauschen, wobei sich A mit C, und meistens auch B mit D verbindet. Hierbei erfolgen also Trennungen und neue Verbindungen.

AC Schwefelsaure Baryterde

Salpetersaure Baryterde { A Baryterde C Schwefelsäure } Schwefelsaures Natron
B Salpetersäure D Natron

BD Salpetersaures Natron.

Die disponirende Verwandschaft vermittelt ungemein häufig chemische Prozesse, Verbindungen wie Zersetzungen, dadurch, dass der eine vorhandene Körper sehr geneigt ist, mit einem Körper sich chemisch zu verbinden, welcher noch nicht existirt, zu dessen Bildung aber die Elemente oder Bestandtheile vorhanden sind, und die nun wirklich sich hierzu vereinigen, damit die Neigung des ersteren vorhandenen Körpers zu einer chemischen Verbindung befriedigt werde. Wenn z. B. mit Wasser verdünnte Schwefelsäure mit metallischem Zinke in Berührung kommt, so disponirt die Verwandschaft der Schwefelsäure nicht zu dem metallischen Zinke, sondern zum Oxyde desselben, um sich mit ihm zu schwefelsaurem Zinkoxyde zu vereinigen, die Bestandtheile des Wassers, Sauerstoff und Wasserstoff, auseinander zu treten, damit durch den Sauerstoff desselben Zinkoxyd gebildet werde, wogegen der Wasserstoff gasförmig entweicht. Stickstoff und

Kohlenstoff vereinigen sich bei dem Glühen thierischer Körper nur dann zu Cyan, wenn ein Körper wie Kalium oder Eisen, mit dem das Cyan grosse Neigung hat chemische Verbindungen einzugehen, vorhanden ist, oder aus andern Verbindungen ausgeschieden werden kann, welches letztere dann, z. B. die Ausscheidung des Kaliums aus der Pottasche durch die Kohle, eben deswegen wieder schon bei niedrigeren Temperaturgraden als für sich allein erfolgt, weil das Cyan, zu dessen Bildung die Elemente vorhanden sind, Verwandschaft zu dem Kalium hat. Stickstoff und Sauerstoff vereinigen sich unter günstigen Umständen leicht zu Salpetersäure, wenn basische Substanzen vorhanden sind, mit welchen die Säure Salze zu bilden strebt.

Isomerie.

Die verschiedenen Eigenschaften der auf der Erde vorkommenden Körper wird bei den einfachen durch ihre elementare Verschiedenheit, bei den zusammengesetzten durch die Verschiedenheit der in die Verbindung eingehenden Körper bedingt. Indessen wird bei gleicher elementarer Beschaffenheit schon durch eine Veränderung in der Anordnung der einfachen oder zusammengesetzten Atome, durch eine losere oder innigere chemische Verbindung, wie bei Diamant und Kohle, bei Zinnober und schwarzem Schwefelquecksilber, bisweilen eine Verschiedenheit in den Eigenschaften der Körper hervorgebracht, die wir mit Berzelius mit dem Namen Isomerie bezeichnen. Isomerische Körper sind demnach solche, die bei gleicher chemischer Beschaffenheit verschiedene Eigenschaften besitzen, und man hat zu denselben ursprünglich auch solche gerechnet, bei denen, wie bei der geglühten und der nicht geglühten Phosphorsäure, später wirkliche chemische Verschiedenheit nachgewiesen worden ist, so dass für die unorganischen Körper kaum noch wirkliche Isomerie angenommen werden kann. Für organische Gebilde muss sie aber, soweit unsere jetzigen Kenntnisse reichen, angenommen werden, dass nämlich die in der belebten Natur herrschende unbekannte Kraft das Vermögen besitze, aus denselben Elementen in völlig gleichen Verhältnissen Gebilde zu schaffen, die hinsichtlich ihres Verhaltens und ihrer Eigenschaften ganz und gar verschieden sind. Sind bei zusammengesetzten Körpern zwar die procentlichen aber nicht die Atom-Verhältnisse gleich, wie z. B. bei den Kohlenwasserstoffverbindungen, CH^2,C^2H^4,C^4H^8,C^8H^{16} u. s. w., so nennt man diese Körper polymerische.

Cohäsion und Adhäsion.

Wir haben diejenige Kraft, durch welche die verschiedenen Körper zur chemischen Verbindung hingetrieben werden, chemische Verwand-

schaft genannt, und den zwischen den Körpern bestehenden elektrischen Gegensatz als das Grundprincip der chemischen Verwandschaft bezeichnet. Wenn nun aber die chemische Verwandschaft befriedigt, der elektrische Gegensatz ausgeglichen ist, so ist das Fortbestehen der neuen chemischen Verbindung als gleichartige Masse nothwendig, damit nicht ein Zerfallen in gleichartige Theile erfolge. Um diesen Erfolg zu erklären, hat man noch eine besondere Kraft, die Cohäsion, angenommen. Unter Cohäsion oder Zusammenhangsverwandschaft versteht man also diejenige Kraft, welche das Bestehen einer gleichförmigen Masse, das Zusammenhalten gleichartiger Theilchen bedingt und möglich macht, und die, wenn sie aufgehoben oder überwunden werden soll, einen gewissen mechanischen Druck oder Stoss erfordert, der um so stärker sein muss, je grösser die Zusammenhangsverwandschaft ist. Dieselbe äussert sich aber nicht allein bei festen, sondern auch bei flüssigen Körpern, die sich in kleinen Massen zu Tropfen gestalten, ja wir haben Gründe, selbst noch bei gasförmigen Körpern Cohäsion anzunehmen.

Der Cohäsion wirkt die Wärme entgegen. Die festen Körper werden im Allgemeinen in der Wärme weich oder flüssig, oder selbst, wie die flüssigen Körper unmittelbar, gasförmig.

Aber auch zwischen ungleichartigen Körpern findet eine gewisse Anziehungskraft statt, die wir Adhäsion nennen. Dieselbe äussert sich durch Vereinigung verschiedenartiger Körper zu einem ungleichartigen Ganzen, dem Gemenge oder mechanischen Gemische. Auch sie zeigt sich bei gasförmigen, flüssigen und festen Körpern. Die atmosphärische Luft ist ein Gemenge gasförmiger Körper von verschiedenem specifischen Gewichte, die aber nicht, wie es das letztere erfordern würde, übereinander gelagerte Schichten, sondern ein durchaus gleichförmiges Gemenge bilden. Oel und Wasser geben beim Durchschütteln ein milchartiges gleichförmiges Gemische, aus dem erst nach einiger Zeit das specifisch leichtere Oel als oben aufschwimmende Schicht sich absondert. Feiner Staub adhärirt auch an umgekehrten Flächen fester Körper.

Stöchiometrie.

Stöchiometrie ist die Lehre von der Gesetzmässigkeit bestimmter Verhältnisse, in welchen die wägbaren Körper sich zu einer chemischen Verbindung vereinigen. Die Philosophen des Alterthums haben zwar schon die Meinung ausgesprochen, dass eine solche Gesetzmässigkeit obwalte, die Ueberzeugung von der Richtigkeit dieser Annahme konnte aber nur auf experimentellem Wege gewonnen werden. Von allen chemischen Verbindungen erkannte man zuerst bei den Salzen

ein constantes Zusammensetzungsverhältniss. Homberg suchte schon im Jahre 1699 auszumitteln, wie viel von verschiedenen Säuren erforderlich sei, um dieselbe Quantität Weinsteinsalz (kohlensaures Kali) zu neutralisiren; er fand jedoch erst spät Nachfolger. Bergmann beschäftigte sich von 1775 an mit der Analyse der Salze, Kirwan von 1780 an mit der Bestimmung ihres Zusammensetzungsverhältnisses, jedoch waren ihre quantitativen Bestimmungen nicht genau genug. Wenzel, 1740 zu Dresden geboren, zeigte sich nicht allein geschickter in der quantitativen Zerlegung der Salze, sondern auch scharfsichtiger in der Erkennung der hierbei obwaltenden Regelmässigkeiten. Wenzel's Untersuchungen waren besonders auf die Erklärung des Phänomens gerichtet, dass zwei neutrale Salze, wenn sie sich gegenseitig zersetzen, Producte geben, welche gleichfalls neutral sind, dass durch die Zersetzung also der Zustand der Neutralität nicht aufgehoben wird. Er wies die Ursache dieser Erscheinung in dem Umstande nach, dass die verschiedenen Mengen der verschiedenen Alkalien oder Erden, welche ein und dasselbe Gewicht einer Säure neutralisiren, auch von jeder andern Säure eine gleiche Menge zur Neutralisation bedürfen; mit andern Worten, dass die relativen Verhältnisse zwischen gewissen Quantitäten von Alkalien oder Erden, welche eine gegebene Menge von einer und derselben Säure sättigen, sich allezeit und bei allen andern Säuren gleichbleiben. Wenzel sah aber auch die hieraus sich ergebenden Folgerungen ein, dass nämlich die Zusammensetzung der neutralen Salze bestimmten Gesetzen unterliege, in der Art, dass man die Zusammensetzung vieler vorausbestimmen könne, dass diese Gesetzmässigkeit eine Controlle bilde für die quantitativen Analysen der neutralen Salze, und dass die Uebereinstimmung zwischen der berechneten und der direct gefundenen Zusammensetzung eine Bürgschaft für die Richtigkeit sei. Wenzel hatte somit den Weg gebahnt, die Zusammensetzung aller Neutralsalze aus der Analyse weniger vorauszubestimmen; seine Untersuchungen gaben bereits den Beweis dafür, dass hierzu nur die genaue Analyse der Salze von einer Base mit allen Säuren, oder von einer Säure mit allen Basen erforderlich sei. Doch wurden seine Arbeiten zu jener Zeit wenig beachtet, welches Missgeschick aber auch seinen nächsten Nachfolger traf, nämlich Jeremias Benjamin Richter, in Berlin, wo er auch 1807 starb. Seine Arbeiten gehören der Zeit von 1789 bis 1802 an; sie fielen also noch in die Zeit, wo die antiphlogistische Theorie, namentlich in Deutschland, der Gegenstand vielfacher Streitigkeiten war, und wo die Chemiker anderweitigen theoretischen Bestrebungen nur wenig Aufmerksamkeit schenkten. Hindernd wirkte aber auch der Mangel an nöthiger Schärfe Hinsichts der experimentellen Angaben Richter's und die Ungenauigkeit der quantitativen Analysen. Richter stellte die relativen Gewichtsmengen, in welchen sich die Säuren und die Basen mit einander verbinden, in Form von Reihen

zusammen. Die Gewichtsmengen aller alkalischen und erdigen Basen, welche einerlei Menge einer gewissen Säure, z. B. 1000 Gewichtstheile Schwefelsäure, neutralisiren, nannte er die Massenreihe oder auch die Neutralitätsreihe der Basen. Eben so suchte er auch die Massenreihe oder Neutralitätsreihe für die verschiedenen Säuren in Bezug auf dieselbe Menge einer Base. Hieraus lässt sich die Zusammensetzung aller aus der Vereinigung dieser Basen und Säuren entstehenden Neutralsalze berechnen. Von Richter ist auch der Name Stöchiometrie, Messkunst chemischer Elemente (von στοιχειον, Grundstoff, und μετρον, Maass), in die Wissenschaft eingeführt worden.

Diese bei den Salzen nachgewiesene Gesetzmässigkeit wurde aber keinesweges als auf diese eingeschränkt betrachtet; vielmehr liefern schon Bergmann's umfassende Arbeiten über die Zusammensetzung der Salze, seine Bemühungen, den Gehalt an Phlogiston in den verschiedenen Metallen zu bestimmen, wobei er zu dem Satze gelangte: *Phlogisti mutuas quantitates praecipitantis et praecipitandi esse inverse proportionales,* nämlich bei der Ausfüllung eines Metalls aus seiner neutralen Lösung durch ein anderes, den Beweis, dass seiner Meinung zufolge sämmtliche chemische Verbindungen nur nach einem einzigen, oder doch nur nach sehr wenigen, aber constanten, Zusammensetzungsverhältnissen der Bestandtheile erfolgen könnten. Auch Lavoisier hat diese Frage nie in Zweifel gestellt, wofür ja seine musterhaften Bestrebungen, die quantitative Zusammensetzung so vieler Körper zu bestimmen, den vollgültigsten Beweis geben. Er betrachtete sogar den Umstand, dass chemische Verbindungen nur in wenigen und bestimmten Proportionen statthaben können, als ein wesentliches Kennzeichen einer chemischen Verbindung, und er unterschied Auflösung *(dissolution)*, welche, die Natur des aufgelösten Körpers verändernd, nur bestimmte und unveränderliche Proportionen zulässt, von der Lösung *(solution)*, welche in allen Verhältnissen statthaben kann.

So schien es um 1800 allgemein, dass sich die Bestandtheile nur in wenigen und bestimmten Proportionen zu chemischen Verbindungen vereinigen, als Berthollet zu zeigen suchte, dass die thätigen Kräfte nicht so zahlreich seien, wie man nach der Mannigfaltigkeit der Erscheinungen voraussetzen könnte, dass vielmehr wahrscheinlich letztere durch die Wirkung einer und derselben Grundkraft hervorgebracht würden, sowie die Kraft, durch welche die Körper von der Erde angezogen werden, dieselbe ist, welche die Planeten in ihren Bahnen um die Sonne erhält. Der vorgebliche Unterschied zwischen Lösung und Auflösung bestehe in nichts anderem, als in den verschiedenen Graden von Kraft einer und derselben Affinität, indem der Grad der ersteren viel schwächer als der der letzteren sei. Die Elemente beobachten nach Berthollet ein Maximum und ein Minimum, über welches hinaus sie sich nicht verbinden können; aber zwischen diesen Grenzen

können sie es in allen Proportionen. Wenn dennoch bestimmte und unveränderliche Grenzen sich zeigen, so hängt dies von andern Umständen, von der Cohäsion, wodurch die Verbindung die Neigung erhält, fest zu werden, und von der Expansion, wodurch sie in den gasförmigen Zustand übergeht, ab. Bertholllet zeigte auf eine entscheidende Weise, dass die Intensität der chemischen Thätigkeit der Körper unter einander nicht allein von dem Grade ihrer Verwandschaft herrühre, sondern dass sie auch von der Quantität des sie ausübenden Körpers, d. h. von der Masse, abhänge. Wenn z. B. der Körper A von 1B mit einer Kraft = 10 angezogen wird, so wird dasselbe A von 2B mit einer Kraft = 20, und von 10B mit einer Kraft = 100, oder überhaupt mit einer Kraft angezogen, welche dem Producte aus der ursprünglichen Verwandschaft in die Gewichtseinheit des Körpers B gleich ist. Dieses Product nennt Bertholllet die chemische Masse, oder das chemische Moment. Durch Vermehrung der mechanischen Masse eines Körpers kann also das ersetzt werden, was ihm an ursprünglicher Verwandschaftsstärke abgeht. Hieraus folgt also, dass zwei mit einander verbundene Körper, A und B, durch einen dritten, C, mag seine Verwandschaft auch zu A noch so gross sein, nicht vollständig getrennt werden können, sondern dass von AB eine dem chemischen Momente von AB angemessene Menge verbunden bleiben muss, und dass vollständige chemische Trennungen wie Verbindungen in bestimmten Verhältnissen nur durch die Cohäsions- und Expansionskraft bewirkt werden. Das Erstere findet in der That statt, wenn die in chemische Wirksamkeit tretenden Körper in der angewandten Flüssigkeit sämmtlich auflöslich sind, also in gegenseitiger Berührung bleiben, z. B. salzsaures Kupferoxyd (Kupferchlorid) und Schwefelsäure, wonach beide, B und C, gegen A elektronegative Körper (Salzsäure und Schwefelsäure) sich untereinander abstossen, sich also gegenseitig hindern an der Vereinigung mit A (Kupferoxyd), und in dem angeführten Beispiele salzsaures und schwefelsaures Kupferoxyd, freie Salzsäure und freie Schwefelsäure, neben einander in der Flüssigkeit bestehen müssen. Wenn Verbindungen durch Auswaschen mit Wasser allmählig zersetzt werden, und wenn Bertholllet hierbei Producte erhielt, in welchen er die Bestandtheile in allen möglichen Verhältnissen vorfand, so sind dies nicht einzelne chemische Verbindungen, sondern Gemenge von mehreren. Mit ganz besonderem Erfolge bekämpfte schon damals Proust, 1755 zu Angers in Frankreich geboren, sehr viele Jahre hindurch als Professor in Madrid lebend, wo für ihn ein prachtvolles Laboratorium mit seltenem Luxus eingerichtet worden war, später in Frankreich in grosses Elend gerathend bis zum Jahre 1816, in welchem er als Mitglied der Akademie der Wissenschaften in Paris aufgenommen wurde, die Ansichten Bertholllet's, und sprach es als seine Ueberzeugung aus, dass alle Naturkörper von einer ewigen Weisheit nach Maass und

Gewicht erschaffen seien. Durch seine Untersuchungen hat Proust es ausser Zweifel gesetzt, dass die Metalle sowohl mit dem Schwefel als mit dem Sauerstoffe nur eine oder zwei Verbindungen in bestimmten und unveränderlichen Proportionen hervorbringen, und dass die Zwischenstufen nur Gemenge seien.

Dalton versuchte dann zuerst, die verschiedenen Mengen des einen Bestandtheils, welcher sich mit einem andern in verschiedenen Verhältnissen zu verbinden vermag, auf eine constante Gewichtsmenge des letzteren zu beziehen, und wurde dadurch der Begründer des Gesetzes von den multiplen Proportionen. Er gab im Jahre 1807 eine Tabelle heraus über die relativen Mengen, in welchen die Körper sich vorzugsweise verbinden, oder über die relativen Gewichte ihrer Atome. Eine vollständigere Ausführung gab er in seinem Neuen System der chemischen Philosophie, 1808 — 1810. Hiernach sind die Körper aus kleinen Theilchen, die keine weitere Zertheilung zulassen, aus Atomen, zusammengesetzt, und eine Verbindung entsteht aus dem Aneinanderlagern sehr weniger Atome eines Bestandtheils an sehr wenige Atome des andern. Als das am häufigsten Vorkommende nahm Dalton an, es verbinde sich 1 Atom des einen Bestandtheils mit 1, dann aber auch mit 2 oder 3 Atomen des andern Bestandtheils. Ebenso kann sich 1 Atom eines zusammengesetzten Körpers mit 1, 2, 3 Atomen eines andern zusammengesetzten Körpers verbinden. Das Zusammensetzungsverhältniss der Bestandtheile in der Verbindung giebt dann die relativen Gewichte von den Atomen der Bestandtheile. Die Atome der einzelnen elementaren Körper sind hiernach durch ihr Gewicht, vielleicht auch durch ihre Gestalt unterschieden. Diese Atome lagern sich, wenn sie Verbindungen bilden, neben einander, und nehmen im Augenblicke der Trennung ihre frühere Eigenschaft wieder an. Dalton theilte auch eine Tafel der Atomgewichte von 37 einfachen Körpern mit, wobei er den Wasserstoff als Einheit annahm. Nach Dalton war es zunächst Thomson, der eine Tafel der Atomgewichte von 23 Säuren und Basen berechnete, die jedoch später durch Berzelius als ungenau nachgewiesen wurde. Viel genauer und reichhaltiger war eine Tabelle, die bald nachher, 1814, von Wollaston zusammengestellt wurde, und die aus den besten damaligen quantitativen Bestimmungen, worunter viele bereits von Berzelius, abgeleitet worden war. Wollaston wich darin von Dalton ab, dass er nicht wie dieser das Atomgewicht des Wasserstoffs als Einheit wählte, sondern das des Sauerstoffs = 10 setzte, und darauf die Atomgewichte der andern Substanzen bezog. Er gebrauchte den Ausdruck Aequivalent, wie H. Davy Proportionalzahl für Atomgewicht.

Auch für die gasförmigen Körper stellte sich eine gleiche Gesetzmässigkeit Hinsichts der Raumverhältnisse heraus, in welchen sie sich miteinander verbinden. Für Sauerstoffgas waren schon früher von

Priestley, Lavoisier, Fourcroy und Vauquelin und Seguin bei ihrer Vereinigung zu Wasser Verhältnisse beobachtet worden, die dem einfachen 1 : 2 sehr nahe kamen; Gay-Lussac wies aber erst 1805, bei einer gemeinschaftlich mit Alexander v. Humboldt unternommenen Arbeit über Eudiometrie, durch entscheidende Versuche nach, dass genau 1 Volum Sauerstoffgas sich mit 2 Volumen Wasserstoffgas zu Wasser verbinden. Bei Fortsetzung dieser Versuche fand Gay-Lussac im Jahre 1808, dass im Allgemeinen, wenn zwei gasförmige Körper sich mit einander vereinigen, dies immer in der Art geschieht, dass die Volume in einem einfachen Verhältnisse zu einander stehen, und dass ferner das Volum des Products einer solchen Verbindung, wenn es gasförmig ist, zu der Summe der Volume der Bestandtheile gleichfalls in einem einfachen Verhältnisse steht, dass es entweder der Summe der Volume der Bestandtheile gleich ist, oder ½ oder ⅓ u. s. w. davon. So vereinigen sich z. B. 1 Vol. Stickstoff- und 1 Vol. Sauerstoffgas zu 2 Vol. Stickstoffoxydgas, 1 Vol. Stickstoffgas und 3 Vol. Wasserstoffgas zu 2 Vol. Ammoniakgas, 1 Vol. Stickstoffgas und 2 Vol. Sauerstoffgas zu 2 Vol. Stickstoffoxydulgas u. s. w. Wenn es nun nach Dalton hinsichtlich der Zusammensetzung nach Gewicht allgemein wahr ist, dass chemische Verbindungen überhaupt nach einfachen Verhältnissen der Atomgewichte ihrer Bestandtheile zusammengesetzt sind, dass in Verbindungen nach mehrfachen Verhältnissen auf 1 Atomgewicht des einen Bestandtheils einfache Multipla des Atomgewichts des andern Bestandtheils enthalten sind, wenn es andrerseits nach Gay-Lussac wahr ist, dass solche Regelmässigkeiten auch für die Verbindungen gasförmiger Körper nach Volumen gelten, so folgt hieraus, dass 1 Vol. eines Gases zugleich 1 Atomgewicht desselben ist, dass gleiche Volume verschiedener Gase im Verhältnisse ihrer Atomgewichte schwer sind, dass also die specifischen Gewichte der Gase auch ihre Atomgewichte sind, oder doch in einem einfachen Verhältnisse dazu stehen.

Vorzüglich war es wieder Berzelius, der durch seine erfolgreichen Untersuchungen diesen Theil der Chemie zu der Höhe erhob, auf dem er sich heutigen Tages befindet, so dass Berzelius als der Schöpfer der heutigen Stöchiometrie zu betrachten ist. Seine hierauf bezüglichen Arbeiten haben aber schon viel früher angefangen, zu denen er zum Theil bei Bearbeitung der ersten Ausgabe seines Lehrbuchs der Chemie, welche 1808 erschien, veranlasst wurde, als er bei dieser Gelegenheit Richter's Schriften durchsah. Er sah ein, dass die erste Grundlage zur Anwendbarkeit der Richter'schen Berechnungsmethode in möglichst scharfen Analysen einiger Salze gesucht werden müsse, und er begann an dieser Feststellung der stöchiometrischen Elemente zu arbeiten, noch ehe Dalton's Entdeckung der multiplen Proportionen, noch Gay-Lussac's Volumverhältnisse zur allgemeineren Kenntniss gekommen

waren. Als dies geschah, war Berzelius schon in dem Besitze von aus seinen Analysen gewonnenen Resultaten, durch welche jene Ansichten auf eine ausgezeichnete Weise bestätigt wurden. Wo dies nicht der Fall war, wo Analyse und Rechnung nicht übereinstimmten, da sah er in jeder noch so kleinen Differenz das Kennzeichen eines begangenen Beobachtungsfehlers, und lernte durch häufige Wiederholung der Versuche nach verschiedenen Methoden die begangenen Fehler kennen und vermeiden. Hierdurch hat Berzelius die analytische Chemie zu einer Stufe der Vollkommenheit erhoben, welche sie ohne diese Controlle, ohne seinen Scharfsinn in der Auswahl der zweckmässigsten Methoden, und in der Auffindung neuer Hülfsmittel, und ohne seine bewundernswürdige Ausdauer nie erreicht haben würde. Auf diese Weise hat sich Berzelius auch dadurch ein unvergängliches Verdienst erworben, dass er die Atomgewichte aller einfachen Körper, alle stöchiometrischen Elemente, möglichst scharf festzustellen suchte, und die hierzu nöthige Reihe von Arbeiten von einer Ausdehnung, wie sie kaum bei Lösung irgend eines andern wissenschaftlichen Problems wieder vorgekommen, ist von ihm mit einer Genauigkeit ausgeführt, dass seine Bestimmungen für immer die leitenden bleiben werden, und die in der neuesten Zeit nöthig gewordenen Berichtigungen einzelner Bestimmungen nicht sehr bedeutend sind.

Wenn wir uns eine Vorstellung von der Ursache der festen Proportionen machen wollen, so müssen wir annehmen, dass die Theilbarkeit der Materie eine gewisse Grenze habe, die sie nicht überschreitet, dass also die Körper aus kleinsten Theilchen, Atomen, zusammengesetzt sind. Wir nennen also Atome die kleinsten, nicht weiter theilbaren Theilchen der Materie, welche für uns nicht mehr wahrnehmbar sind, über deren Grösse und Gestalt wir demnach nichts mehr bestimmen können. Die Grösse der zusammengesetzten Atome indessen muss sehr verschieden sein, nach der Anzahl der elementaren Atome, welche in das zusammengesetzte Atom eingehen, denn das Atom $A + 2B$ muss grösser sein, als das Atom $A + B$. Die zusammengesetzten Atome unterscheiden sich nach der Anzahl der Verbindungen in zusammengesetzte Atome der ersten, zweiten, dritten und vierten Ordnung. Die zusammengesetzten Atome der ersten Ordnung bestehen aus elementaren Atomen, die der zweiten Ordnung aus den zusammengesetzten Atomen der ersten Ordnung, die der dritten aus denen der zweiten, u. s. w. So sind Kali, Thonerde und Schwefelsäure, aus Kalium und Sauerstoff, Aluminium und Sauerstoff, Schwefel und Sauerstoff bestehend, zusammengesetzte Atome der ersten Ordnung. Vereinigen sich Kali und Schwefelsäure zu schwefelsaurem Kali, Thonerde und Schwefelsäure zu schwefelsaurer Thonerde, so sind dies zusammengesetzte Atome der zweiten Ordnung. Gehen schwefelsaures Kali und schwefelsaure Thonerde eine weitere Verbindung ein, um ein

Doppelsalz, schwefelsaures Thonerde-Kali, Alaun, zu bilden, so giebt dies zusammengesetzte Atome der dritten Ordnung. Verbinden sich endlich Doppelsalze, wie schwefelsaures Kupferoxydkali und schwefelsaures Nickeloxydkali, mit einander, so haben wir zusammengesetzte Atome der vierten Ordnung, und über diese hinaus scheint, wenigstens in unsern Laboratorien, keine chemische Verwandschaft mehr statt zu finden.

Wir kommen nun auf die Verhältnisse, in welchen sich einfache und zusammengesetzte Atome in der unorganischen Natur, nach den bisher gemachten Erfahrungen, verbinden.

A. Verhältnisse, nach welchen sich die Atome einfacher Körper verbinden.

1) Ein Atom von einem Elemente verbindet sich mit 1, 2, 3 u. s. w. Atomen eines andern Elements. Welches die höchste Anzahl von Atomen ist, die sich auf diese Weise mit 1 At. verbinden können, ist unbekannt. Bei den am besten untersuchten Sauerstoff- und Schwefelverbindungen geht die Anzahl der Atome nur bis 3, selten bis 4, und noch seltener bis 5; noch höhere Verbindungsstufen kommen nur als Ausnahmen vor. Gewöhnlich ist das elektropositive Element die Einheit, mit welcher sich das elektronegative Element in multiplen Verhältnissen verbindet; jedoch findet auch, wenn gleich selten, das Entgegengesetzte statt. Bei Elementen, zwischen denen eine starke Anziehungskraft waltet, ist die einfache Verbindung von 1 At. jedes Elements gewöhnlich die festeste, z. B. 1 At. Kalium, Natrium, Baryum u. s. w. mit 1 At. Sauerstoff. Bei Elementen, die sich gegenseitig nur schwach anziehen, ist die Verbindung, in welche das negative Element in dem höchsten multiplen Verhältnisse eingeht, gewöhnlich die festeste, z. B. 1 At. Schwefel, 1 At. Selen etc. mit 3 At. Sauerstoff.

2) Zwei Atome eines Elements können sich mit 1, 3, 5 und 7 Atomen eines andern Elements verbinden, und auch hier ist es gewöhnlich das elektronegative Element, welches die 1, 3, 5 und 7 ausmacht, z. B. 2 At. Chlor mit 1, 3, 5 und 7 Atomen Sauerstoff. Nicht immer kommen alle Verbindungsstufen vor, oder sie sind wenigstens nicht bekannt, z. B. 2 At. Phosphor mit 1, 3 und 5 At. Sauerstoff; 2 At. Arsen mit 3 und 5 At. Sauerstoff; 2 At. Aluminium oder Baryllium mit 3 At. Sauerstoff.

Nicht selten kommen jedoch beide unter 1 und 2 angeführten Verhältnisse bei den Verbindungen eines und desselben Elements vor. So verbindet sich 1 At. Mangan mit 1, 2 und 3 At. Sauerstoff zu Manganoxydul, Mangansuperoxyd und Mangansäure, in dem Manganoxyd und der Mangansäure sind aber 2 At. Mangan mit 3 und 7 At. Sauer-

stoff verbunden. Das Eisenoxydul ist eine Verbindung von 1 At. Eisen mit 1 At. Sauerstoff, das Eisenoxyd aber von 2 At. Eisen mit 3 At. Sauerstoff. Dieselben Verhältnisse zeigen sich bei den Verbindungen des Kobalt und Nickel mit Sauerstoff. In den 3 Verbindungsstufen des Antimons mit Sauerstoff sind 2 At. Antimon mit 3, 4 und 5 At. Sauerstoff verbunden zu Antimonoxyd, antimoniger Säure und Antimonsäure.

B. Verhältnisse, in welchen sich zusammengesetzte Atome verbinden.

Wenn sich zwei zusammengesetzte Atome der ersten Ordnung zu einem zusammengesetzten Atom der zweiten Ordnung verbinden, so folgen sie denselben Gesetzen, welche für die einfachen Atome angeführt sind, aber mit Einschränkungen, welche verhindern, dass sie sich in so vielen Verhältnissen verbinden, als ohne jene denkbar wären. Die Einschränkungen rühren davon her, dass, wenn sich zusammengesetzte Atome verbinden, sie entweder den elektronegativen oder seltener den elektropositiven Bestandtheil gemeinschaftlich haben, und die Verhältnisse, in welchen sich dann diese Atome vereinigen, werden von dem gemeinschaftlichen Elemente auf eine solche Weise bestimmt, dass die Quantität des gemeinschaftlichen Elements in dem andern sich auf eine der folgenden Arten verhält:

1) Wie sich 1 verhält zu 1, 2, 3, 4, 5, 6 u. s. w., d. h. das eine ist ein Multiplum mit einer ganzen Zahl von dem andern.

Dieses ist das gewöhnliche Verhältniss, und es findet sich in weit mehr als $^9/_{10}$ der bekannten Fälle. So verhält sich der Sauerstoff in der Base, z. B. im Kali, Natron, Eisenoxydul u. s. w. zu dem Sauerstoffe in der unterchlorichten Säure wie 1 zu 1, in der schweflichten Säure wie 1 zu 2, in der Schwefelsäure wie 1 zu 3, in der Untersalpetersäure (?) wie 1 zu 4, in der Salpetersäure wie 1 zu 5, in der Ueberchlorsäure wie 1 zu 7. Dieses Verhältniss waltet im Allgemeinen bei den neutralen Salzen, die sogleich eine Veränderung Hinsichts der Neutralität erfahren, wenn die Sauerstoffmenge sich ändert, wenn ein neutrales Oxydulsalz, z. B. schwefelsaures Eisenoxydul, Gelegenheit hat, aus der Luft mehr Sauerstoff aufzunehmen. In den basischen und sauren Salzen wird eben wegen der aufgehobenen Neutralität das Verhältniss des Sauerstoffs in der Base zu dem Sauerstoffe in der Säure ein sehr wechselndes, und wird dasselbe durch die Menge der möglichen basischen und sauren Salze bedingt. Hinsichtlich der neutralen Salze wird hierbei angenommen, dass 1 At. Säure von 1 At. Base neutralisirt wird, wodurch die Anzahl der die Säure constituirenden elementaren Atome, und umgekehrt die der Base bestimmt wird. So besteht die unterschweflichte Säure nicht aus 1 At. Schwefel und

1 At. Sauerstoff, sondern aus 2 At. von jedem der beiden Elemente, weil die aus 2 At. Schwefel und 2 At. Sauerstoff zusammengesetzte Säure in den neutralen Salzen 1 At. Base aufnimmt. Aus denselben Gründen kann das Ammoniak nicht aus 1 At. Stickstoff und 3 At. Wasserstoff bestehen, sondern es sind 2 At. des ersteren mit 6 At. des letzteren verbunden.

Für die organischen Säuren und andere wie Säuren sich verhaltende organische Substanzen scheint der Satz, dass 1 At. Säure von 1 At. Base neutralisirt werde, nicht allgemein gültig zu sein, so dass es organische Säuren zu geben scheint, welche 2, 3, 4 und 5 At. Base in den neutralen Salzen mit sich verbinden.

2) Wie sich verhält 2 zu 1, 3 und 5.

Dieses Verhältniss findet sich bei einigen derjenigen Säuren, in welchen 2 At. Radical in den verschiedenen Säuerungsstufen 1, 3 oder 5 At. Sauerstoff aufnehmen, und die 2 At. Sauerstoff in der Base, d. h. 2 At. Base, erfordern, um neutrale Salze zu bilden. So verhält sich der Sauerstoff der Base in den neutralen Salzen zu dem Sauerstoffe der unterphosphorichten Säure wie 2 zu 1, der phosphorichten und arsenichten Säure wie 2 zu 3, der Phosphorsäure und Arsensäure wie 2 zu 5. Bei der Phosphorsäure werden die Gründe dargelegt werden, welche zu der Annahme Veranlassung geben, dass in den neutralen phosphorsauren Salzen 3 At. Base mit 1 At. Säure vereinigt sind, wodurch dann noch ein drittes Verhältniss, nämlich wie 3 zu 5, angenommen werden müsste. Hinsichtlich der basischen und sauren Salze gilt das bei dem vorigen Satze Angeführte gleichfalls.

Mehrere ähnlich zusammengesetzte Säuren, nämlich aus 2 At. Radical mit Sauerstoff, wie die Säuren des Stickstoffs, des Chlors, Broms, Jods, Mangans, befolgen, wenn sie sich mit Basen verbinden, nicht dieses Verhältniss, sondern das erstere.

Was von den zusammengesetzten Atomen der ersten Ordnung angeführt ist, gilt auch, wenn zusammengesetzte Atome der zweiten Ordnung sich zu zusammengesetzten Atomen der dritten Ordnung verbinden.

Wenn dem Bisherigen zufolge bestimmte Proportionen bestehen, in welchen die Atome sich chemisch mit einander verbinden, wenn ferner diese Proportionen durch Zahlen ausgedrückt werden sollen, um dieselben anzuwenden und zu benutzen, so muss nothwendig das Atomgewicht eines elementaren Stoffes als Einheit angenommen werden, um die Atomgewichte der übrigen Stoffe hiermit vergleichbar zu machen. Dalton, der Begründer der multiplen Verhältnisse, nahm den Wasserstoff als Einheit an, was auch noch heut zu Tage von mehreren Chemikern befolgt wird, weil das Atomgewicht des Wasserstoffs das kleinste ist, und einige Erfahrungen darauf hindeuteten, dass die Atomgewichte aller übrigen elementaren Körper Multipla mit einer gan-

zen Zahl seien, z. B. Sauerstoff 8, Kohlenstoff 6. Indessen hat sich diese Annahme als durchgehende Regel bis jetzt keinesweges bestätigt, und die Mehrzahl der Chemiker nimmt nach dem Vorgange von Berzelius den Sauerstoff, ihn mit 100,000 bezeichnend, als Einheit an, weil derselbe als der unter allen Umständen elektronegative, und überhaupt elektronegativste Stoff fast mit allen übrigen Elementen feste Verbindungen eingeht, von denen fast die meisten eine genaue Zerlegung in ihre Bestandtheile gestatten, so dass diese zur unmittelbaren Bestimmung der Atomzahl des mit dem Sauerstoff verbundenen Elements benutzt werden kann.

Wir haben weiter oben gesehen, dass 1 Volum eines Gases zugleich 1 Atomgewicht desselben ist, ferner, dass 1 Volum oder Atomgewicht Sauerstoffgas sich mit 2 Volumen oder Atomgewichten Wasserstoffgas zu Wasser verbindet, endlich aber auch, dass bei Elementen, zwischen denen eine starke Anziehungskraft waltet, die einfache Verbindung von 1 At. jedes Elements gewöhnlich die festeste ist. Eine solche feste Verbindung ist aber unbezweifelt das Wasser, was auch von vielen andern Verbindungen gasförmiger Körper gilt, die, wie der Wasserstoff, niemals als 1, sondern stets als 2 Volume, wie Stickstoff, Chlor u. s. w., in chemische Verbindungen eingehen. Dies nöthigte dazu, bei diesen Körpern 2 Volume erst als 1 At. zu betrachten, wofür Berzelius die Benennung Doppelatom in die Wissenschaft einführte. Da nun die 2 Volume oder das Doppelatom Wasserstoff in seiner Verbindung mit 1 Vol. oder 1 At. Sauerstoff nur eben soviel gilt als 1 At. Kalium, Natrium, so ist jetzt der schon früher in die Wissenschaft eingeführte Name Aequivalent, chemisches Aequivalent, fast ganz allgemein angenommen worden, um die Verhältnisse zu bezeichnen, in welchen sich die Elemente mit einander verbinden. Das Wasser besteht also z. B. aus gleichen Aequivalenten Wasserstoff und Sauerstoff, das Stickstoffoxydul aus gleichen Aequivalenten Stickstoff und Sauerstoff u. s. w., wo Berzelius sich des Ausdrucks Doppelatom Wasserstoff mit 1 At. Sauerstoff, und Doppelatom Stickstoff u. s. w. bediente.

Sollen nun die relativen Gewichte der einfachen Atome und Aequivalente bestimmt werden, so ist es bei den gasförmigen Körpern, deren specifische Gewichte durch genaue Wägungen ermittelt sind, am einfachsten, diese mit einander zu vergleichen. Nach den Versuchen von Dumas und Boussingault ist das specifische Gewicht des Sauerstoffgases, — das spec. Gewicht der atmosphärischen Luft als Einheit angenommen —, = 1,1057, das des Wasserstoffgases 0,0688. Da nun die stöchiometrische Zahl, das Atomgewicht, des einen dieser Stoffe, des Sauerstoffs, bekannt ist, nämlich als Einheit mit 100,000 angenommen wird, so wird die stöchiometrische Zahl, das Atomgewicht, des Wasserstoffs durch die einfache *Regula de tri* gefunden, nämlich wie sich

verhält das spec. Gewicht des Sauerstoffgases zu dem spec. Gewichte des Wasserstoffgases, so verhält sich die stöchiometrische Zahl des Sauerstoffes zu der stöchiometrischen Zahl des Wasserstoffes, also:

$$1,1057 : 0,0688 = 100,000 : 6,222$$

1 Vol. oder 1 At. Wasserstoff wiegt also 6,222; da aber immer 2 Volume Wasserstoff in die chemischen Verbindungen eingehen, so wiegt das Aequivalent Wasserstoff noch einmal soviel, nämlich 12,444. Das spec. Gewicht des Stickstoffgases beträgt gleichfalls nach gemeinschaftlichen Wägungen von Dumas und Boussingault 0,972. Wir erhalten also nach derselben Methode

$$1,1057 : 0,972 = 100,000 : 87,91$$

Ein Atom oder Volum Stickstoff wiegt also 87,91. Da aber 2 Vol. Stickstoff sich mit 1, 2, 3 und 5 Vol. Sauerstoff verbinden, und überhaupt der Stickstoff in alle chemischen Verbindungen als 2 Vol. oder 1 Doppelatom eingeht, so ist die stöchiometrische Zahl für ein Aequivalent Stickstoff noch einmal so gross, nämich 175,82. Bei den nicht gasförmigen Körpern legt man die durch recht genaue Analysen gefundenen Verhältnisse in den Bestandtheilen einer chemischen Verbindung zum Grunde, wobei nur erforderlich ist, dass das Atomgewicht des einen dieser Bestandtheile bereits bekannt, und auch die Anzahl der Atome, welche in die analysirte Verbindung eingehen, aus andern Gründen, wie die Sättigungscapacität ermittelt sei, um die stöchiometrische Zahl des Aequivalents zu bestimmen. Sehr häufig, jedoch nicht immer, werden hierzu die Verbindungen der elementaren Stoffe mit Sauerstoff benutzt. So fand Berzelius durch Reducirung des Kupferoxydes mittelst Wasserstoffgas, dass 100 Kupfer 25,272 Sauerstoff im Kupferoxyde aufgenommen haben, also $25,272 : 100 = 100,000 : 395,695$; nämlich, wie sich verhält die Menge des Sauerstoffs zu der Menge des Kupfers im Kupferoxyde, so verhält sich die stöchiometrische Zahl des Sauerstoffs zu der des Kupfers; 395,695 ist also das Atomgewicht des Kupfers. Eben so sind im Bleioxyde 7,725 Sauerstoff mit 100 Blei verbunden, also $7,725 : 100 = 100,000 : 1294,498$, welche letztere Zahl demnach das Atomgewicht des Bleies bezeichnet. 100 Silber nehmen 32,75 Chlor auf, um 132,75 Chlorsilber zu bilden. Das Atomgewicht des Silbers ist anderweitig bekannt, nämlich 1351,607, und dient nur, um das Atomgewicht des Chlors zu finden, da die Verbindungen des Chlors mit Sauerstoff keine unmittelbare genaue Analyse gestatten; also $100 : 32,75 = 1351,607 : 442,652$, so dass die letztere Zahl die stöchiometrische Zahl des Chlors ist. Diese Zahl ist aber die des Aequivalents nicht des Atoms Chlor, da immer 2 Vol. desselben in die chemischen Verbindungen eingehen, wonach also 1 Vol. oder 1 At. Chlor nur halb soviel, d. h. 221,326 wiegt. Dasselbe gilt von den chemisch ähnlich sich verhaltenden elementaren Körpern Fluor, Brom und Jod, deren Aequivalentzahl doppelt so gross ist, als die Atomzahl. Diese

wenigen Beispiele werden zur Einsicht genügen, auf welche Weise die Atom- und Aequivalentgewichte der einfachen Körper bestimmt werden.

Die verschiedenen Zahlen, welche die Aequivalentgewichte bezeichnen, geben zugleich die Verhältnisse an, in welchen die einfachen Körper zu einem oder mehreren Aequivalenten sich mit einander verbinden. So verbindet sich z. B. 1 Aequivalent Wasserstoff 12,444 mit 1 Aequiv. Sauerstoff = 100, zu Wasser, mit 2 Aeq. Sauerstoff = 200, zu Wasserstoffsuperoxyd; 1 Aeq. Stickstoff 175,82 verbindet sich 1, 2, 3 oder 5 Aeq., d. h. mit 100, 200, 300 oder 500, Sauerstoff zu Stickstoffoxydul, Stickstoffoxyd, salpetrichter Säure oder Salpetersäure. Diese Verhältnisse behalten auch ihre Gültigkeit in den Verbindungen selbst, so dass, wenn z. B. Kupferoxyd mit Schwefelwasserstoff in Wechselwirkung kommen, die Menge des zur Zersetzung des Kupferoxydes nöthigen Schwefelwasserstoffes von dem Verhältnisse bestimmt wird, in welchem sich einerseits der Sauerstoff aus dem Kupferoxyde und der Wasserstoff aus dem Schwefelwasserstoff zu Wasser verbinden, und andrerseits von dem Verhältnisse abhängt, in welchem sich Kupfer und Schwefel zu Schwefelkupfer vereinigen.

Das Aequivalentgewicht der zusammengesetzten Körper wird erhalten durch Addition der Zahlen derjenigen Körper, welche den zusammengesetzten Körper bilden, so dass mit der Zahl der Zusammensetzungen auch die stöchiometrische Zahl des vielfach zusammengetzten Körpers wächst. Das Wasser besteht aus 1 Aeq. Sauerstoff = 100,000 und 1 Aeq. Wasserstoff = 12,444; die stöchiometrische Zahl des Wassers ist demnach 112,444. In der Schwefelsäure ist 1 Aeq. Schwefel = 201,165 mit 3 Aeq. Sauerstoff = 300,000 verbunden; die wasserleere Schwefelsäure erhält also die Zahl 501,165. Wenn hierzu 1 Aeq. Wasser kommt, wie es in dem Vitriolöle der Fall ist, so wird die wasserhaltige Schwefelsäure, das erste Schwefelsäurehydrat mit der Zahl (501,165 + 112,444 =) 613,609 bezeichnet. 1 Aeq. Kalium = 489,916 mit 1 Aeq. Sauerstoff verbunden bildet das Kali 589,916, welches sich mit 1 Aeq. Schwefelsäure 501,165 zu 1 Aeq. schwefelsaurem Kali 1091,081 verbindet. Die Thonerde, aus 1 Aeq. Aluminium 342,334 und 3 Aeq. Sauerstoff bestehend, also mit der Zahl 642,334 zu bezeichnen, bildet, wenn sie sich mit 3 Aeq. Schwefelsäure 1503,495 verbindet, 1 Aeq. schwefelsaure Thonerde 2145,829. Vereinigen sich ferner 1 Aeq. schwefelsaures Kali 1091,081 und 1 Aeq. schwefelsaure Thonerde 2145,829, so entsteht 1 Aeq. wasserleeren Alauns, das die Zahl 3236,910 erhält. Kommen hierzu noch 24 Aeq. Wasser, 2698,656, so entsteht krystallisirter Alaun, dessen Aequivalent 5935,566 wiegt.

Die Kenntniss der Aequivalentgewichte der Körper gewährt in der praktischen Anwendung sehr wesentlichen Nutzen. Kennen wir nämlich

die Aequivalentgewichte aller einfachen Körper, so können wir leicht berechnen:

a) Wieviel ein gegebenes Gewicht eines Körpers von jedem andern zu einer bestimmten Verbindungsstufe bedarf, und wieviel das Gewicht der neuen Verbindung betragen muss? Beispiele: es sollen 20 Pfund Quecksilber in Zinnober verwandelt werden, wieviel Schwefel ist hierzu nöthig? Der Zinnober wird zusammengesetzt aus 1 Aeq. Quecksilber 1265,822 und 1 Aeq. Schwefel 201,165. Wenn demnach 1265,8 Gewichtstheile Quecksilber 201 Gewichtstheile Schwefel erfordern, so fordern 20 Pfund Quecksilber 3,138 Pfund oder 3 Pfund 5 bis 6 Loth Schwefel, nämlich 1265,8 : 201 = 20 : 3,138. 1 Aeq. Schwefel 201,165 nimmt 3 Aeq. Sauerstoff 300,000 auf, um 501,165 wasserleere Schwefelsäure zu bilden, welche in dem Vitriolöl noch 1 Aeq. Wasser 112,444 aufgenommen hat, so dass 201,165 Schwefel 613,609 Vitriolöl geben. Sind nun 100 Pfund Schwefel zur Vitriolbereitung verwendet worden, so muss das Gewicht desselben, wenn nichts verloren gegangen ist, 305 Pfund betragen.

b) Wieviel zur Zerlegung eines zusammengesetzten Körpers vermittelst der einfachen oder doppelten Wahlverwandtschaft von dem zur Zerlegung anzuwendenden Körper erforderlich ist? Beispiele: 100 Th. salpetersaures Kali (Salpeter) sollen durch Schwefelsäure zerlegt, und die abgetrennte Salpetersäure durch Destillation gewonnen werden; wieviel Vitriolöl ist erforderlich? 1 Aeq. Salpeter (aus 1 Aeq. Kali 589,916 und 1 Aeq. Salpetersäure 676,540 bestehend) 1266,456 erfordert 1 Aeq. Vitriolöl 613,609; hiernach erfordern 100 Th. Salpeter 48,5 Vitriolöl, denn 1266,456 : 613,609 = 100 : 48,5. Da jedoch 1 Aeq. Kali 2 Aeq. Schwefelsäure, zur Bildung des sauren schwefelsauren Kali's, zu binden sehr geneigt, und diese Verbindung erst durch hohe Temperaturgrade, bei welcher die aus dem Salpeter ausgeschiedene Salpetersäure zum Theil zerfällt, aufgehoben werden kann, so geht die Destillation bei weitem leichter von statten, wenn man 2 Aeq. Schwefelsäure auf 1 Aeq. Salpeter anwendet, also auf 100 Pfd. Salpeter 96 Pfd. Vitriolöl nimmt. Es sollen 15 Pfd. essigsaures Bleioxyd (Bleizucker) durch schwefelsaures Kali zersetzt werden, um in Wasser lösliches essigsaures Kali und unlösliches schwefelsaures Bleioxyd zu erhalten; wieviel schwefelsaures Kali ist erforderlich? 1 Aeq. essigsaures Bleioxyd (aus 1 Aeq. Bleioxyd 1394,498, 1 Aeq. Essigsäure 643,187 und 3 Aeq. Wasser 337,332 gebildet =) 2375,017 erfordert 1 Aeq. schwefelsaures Kali 1091,081 (nämlich 1 Aeq. Kali 589,916 und 1 Aeq. wasserleere Schwefelsäure 301,165 enthaltend); es erfordern demnach 15 Pfd. Bleizucker 6,9 Pfd. oder 6 Pfd. 28,8 Loth schwefelsaures Kali, dann 2375,017 : 1091,081 = 15 : 6,9.

c) Wieviel ein gegebenes Gewicht eines zusammengesetzten Körpers von jedem seiner Bestandtheile enthält? Beispiele: Bei einer

chemischen Analyse sind 52 Gran kohlensaure Kalkerde erhalten worden; die Kalkerde war aber in der zerlegten Verbindung in einem andern Zustande enthalten, und erst durch den Gang der Analyse wurde sie in kohlensaures Salz verwandelt, so dass es nöthig ist, die Menge der reinen Kalkerde anzugeben. Die kohlensaure Kalkerde besteht aus 1 Aeq. Kalkerde, 356,019 und 1 Aeq. Kohlensäure 276,437. Wenn demnach 1 Aeq. kohlensaure Kalkerde 632,456 1 Aeq. reine Kalkerde 356,019 enthält, so sind in den obigen 52 Granen kohlensaurer Kalkerde 29,32 reine Kalkerde enthalten, nämlich 632,456 : 356,019 = 52 : 29,32. Bei der Zerlegung des schwefelsauren Kali's erhielt Wenzel 54,75 Kali und 45,25 Schwefelsäure. Nehmen wir nun an, dass in dem zerlegten Salze 1 Aeq. Kali 589,916 mit 1 Aeq. Schwefelsäure 501,165 verbunden sei, wodurch das Verhältniss der Bestandtheile in 1091,081, nämlich in 1 Aeq. schwefelsauren Kali's angegeben ist, so finden wir durch Rechnung in 100 Th. Salz: 54,07 Kali und 45,93 Schwefelsäure, denn 1091,081 : 589,916 = 100 : 54,07 und 1091,081 : 501,165 = 100 : 47,93. Derselbe Chemiker fand das krystallisirte Glaubersalz zusammengesetzt aus 19,5 Natron, 24,5 Schwefelsäure und 55,2 Wasser. Nehmen wir an, dass das Salz auf 1 Aeq. Natron 390,897 1 Aeq. Schwefelsäure 501,165 und 10 Aeq. Wasser 1124,444 enthalte, wodurch das Aequivalentgewicht des krystallisirten schwefelsauren Natrons mit 2016,506 bezeichnet werden soll, so erhalten wir nach dem vorigen Beispiele durch stöchiometrische Rechnung in 100 Th. Salz: 19,38 Natron, 24,85 Schwefelsäure und 55,77 Wasser, denn 2016,506 : 390,897 = 100 : 19,38 u. s. w. Wenn die Resultate einer Analyse mit keiner Zusammensetzung des Körpers aus den Bestandtheilen nach Aequivalenten in Einklang zu bringen sind, so war die Analyse fehlerhaft, und muss wiederholt werden. Hierdurch ist die sicherste Controlle gegeben.

Da alle chemischen Verbindungen nach bestimmten jedoch verschiedenen Proportionen erfolgen, so ist es nöthig, diese verschiedenen Verhältnisse, in welchen sich die Körper mit einander verbinden, anzugeben, was dadurch ungemein erleichtert wird, dass wir jedem Körper ein besonderes Zeichen geben, welches das relative Gewicht seines Aequivalents vorstellt. Solche Zeichen gestatten einen allgemeinen Gebrauch, und überheben uns der Beschreibungen. Berzelius hat hierzu den Anfangsbuchstaben der lateinischen Namen der einfachen Körper gewählt. Wenn die Namen mehrerer Körper mit demselben Buchstaben anfangen, so setzt man den ersten Buchstaben hinzu, welchen sie nicht gemeinschaftlich haben. So z. B. bedeutet C = Kohlenstoff, Cl = Chlor, Cr = Chrom, Cu = Kupfer, Co = Kobalt.

Die Anzahl der Aequivalente wird durch Ziffern bezeichnet. Eine Ziffer zur Linken multiplicirt alle Aequivalente, welche derselben bis zum nächsten + Zeichen oder bis zu Ende der Formel zur Rechten

stehen. Eine kleine Zahl zur Rechten oben gestellt, wie ein algebraischer Exponent, oder jetzt häufiger von vielen Chemikern unten gestellt, multiplicirt nur die Aequivalente zur Linken, z. B. S^2O^5 oder S_2O_5 bedeutet 1 Aeq. Unterschwefelsäure, aus 2 Aeq. Schwefel und 5 Aeq. Sauerstoff bestehend; wird der Formel eine 2 vorgesetzt, $2S^2O^5$ oder $2S_2O_5$, so sind dadurch 2 Aeq. derselben Säure bezeichnet. Wenn die elementaren Körper bei ihren chemischen Verbindungen mit andern elementaren Körpern mit 2 Atomen oder als 1 Doppelatom in die Verbindungen eingehen, 1 Aequivalent also 2 Atomen entspricht, wie dies bei dem Fluor, Chlor, Brom, Jod u. s. w. der Fall ist, so bezeichnet man dies nach Berzelius dadurch, dass man durch den Anfangsbuchstaben im untern Drittel desselben einen geraden Strich zieht, z. B. $\underline{F}$, $\underline{Cl}$, $\underline{Br}$, $\underline{J}$ u. s. w.; hiernach ist also $\underline{Hg}\underline{Cl}$ eine Verbindung von 1 Doppelatom Quecksilber mit 1 Doppelat. Chlor, $Hg\underline{Cl}$ aber eine Verbindung von 1 At. Quecksilber mit 1 Doppelat. Chlor; $\underline{Fe}S^6$, $\underline{Fe}S^{26}$, $\underline{Fe}S^3$, $\underline{Fe}S^4$ sind Verbindungen von 1 Doppelat. Eisen mit 1, 2, 3 und 4 At. Schwefel. Diese ältere Bezeichnungsweise der Atome nach Berzelius wird indessen jetzt immer mehr und mehr verlassen, indem man es vorzieht, die Aequivalente zu bezeichnen, wodurch allerdings die Constitution einer chemischen Verbindung noch klarer vor Augen gelegt wird, indessen auch Irrthümer und Verwechselungen herbeigeführt werden können, daher es denn durchaus nöthig ist, sich ausdrücklich des Ausdrucks Aequivalent zu bedienen, andrerseits aber auch, dies nicht zu übersehen. So sind z. B. die älteren Bezeichnungen nach Atomen für Wasser $\underline{H}O$ oder H^2O, für Chlorwasserstoff $\underline{H}\underline{Cl}$, für Alkohol $C^4H^{12}O^2$, für Essigsäure $C^4H^6O^3$ u. s. w., wogegen dieselben Körper nach Aequivalenten mit HO, HCl, $C^2H^6O^2$, $C^4H^3O^3$ u. s. w. bezeichnet werden.

In den Formeln für zusammengesetzte Körper der zweiten Ordnung können die zusammengesetzten Aequivalente der ersten Ordnung durch das + Zeichen verbunden werden, z. B. $KO + SO^3$, schwefelsaures Kali; $Fe^2O^3 + 3SO^3$, schwefelsaures Eisenoxyd u. s. w. Bei den noch weiter zusammengesetzten Körpern werden die Formeln lang und weniger übersichtlich, und da in den bei weitem häufigsten Fällen die zusammengesetzten Aequivalente der ersten Ordnung Oxyde sind, d. h. Sauerstoff enthalten, so hat Berzelius diese Formeln dadurch abgekürzt, dass er die mit einem elementaren Körper verbundenen Aequivalente Sauerstoff durch eben so viele über den Buchstaben des Körpers gesetzte Punkte bezeichnet, z. B. $\dddot{S}$, statt S^2O^5, Unterschwefelsäure, $\dot{H}$, Wasser, $\dot{K}\dddot{S}$, schwefelsaures Kali, $\dddot{\underline{Fe}}\dddot{S}^3$, schwefelsaures Eisenoxyd, $\dddot{\underline{Al}}\dddot{S}^3$, schwefelsaure Thonerde, u. s. w. Das + Zeichen wird dann erst gebraucht, wenn zusammengesetzte Aequivalente der 2. und 3. Ordnung sich zu zusammengesetzten Aequivalenten der 3. und 4. Ordnung vereinigen. Die Formel für den krystallisirten Alaun:

$\dot{K}\dddot{S} + \dddot{Al}\dddot{S}^3 + 24\dot{H}$, giebt in einem Ueberblicke die ganze Zusammensetzung dieses Salzes, nämlich 1 Aeq. schwefelsaures Kali, 1 Aeq. schwefelsaure Thonerde und 24 Aeq. Wasser. Zugleich ersehen wir aber auch daraus, dass das Kali 1 Aeq., die mit demselben verbundene Schwefelsäure aber 3 Aeq. Sauerstoff enthält, dass in der Thonerde 1 Aeq., = 1 Doppelat. Aluminium mit 3 Aeq. Sauerstoff verbunden ist, und dass die mit der Thonerde verbundenen 3 Aeq. Schwefelsäure 9 Aeq. Sauerstoff enthalten, und dass endlich die 24 Aeq. Wasser aus 24 Aeq., = 24 Doppelat., Wasserstoff und eben so viel Aequivalenten Sauerstoff zusammengesetzt sind.

Diese abgekürzte Bezeichnungsweise für die Sauerstoffverbindungen findet jedoch bei den organischen Verbindungen im Allgemeinen keine Anwendung, indem bei diesen alle in die Verbindung eingehenden Atome oder Aequivalente sämmtlich einzeln angegeben werden, und von sehr vielen Chemikern wird dies auch für die unorganischen zusammengesetzten Substanzen befolgt, so dass nicht eine völlige Gleichmässigkeit in der Bezeichnungsweise bei Aufstellung der stöchiometrischen Formeln herrscht. Das Vorgetragene wird indessen zum jedesmaligen Verständniss hinreichen.

Nächst den Sauerstoffverbindungen kommen am häufigsten die Schwefelverbindungen vor, und daher hat Berzelius auch für diese eine abgekürzte Bezeichnung durch einen über dem Buchstaben gesetzten Strich in Anwendung gebracht; so bezeichnet $\acute{K}$ Schwefelkalium, $\dddot{Mo}$ Schwefelmolybdän, in welchem letzteren aber 1 Aeq. Molybdän mit 3 Aeq. Schwefel verbunden ist; $\acute{K}\dddot{Mo}$ ist molybdänschwefliges Schwefelkalium, u. s. w.

Folgendes sind die Zeichen und die Atom- und Aequivalentgewichte der elementaren Körper:

Namen.		Zeichen.	O = 100,000.	H = 1.
Aluminium	*Aluminium*	Al	171,167	13,716
		Al	342,334	27,432
Antimon	*Stibium*	Sb	806,452	64,621
		Sb	1612,904	129,243
Arsen	*Arsenum*	As	469,440	37,555
		As	938,880	75,111
Baryum	*Baryum*	Ba	856,880	68,663
	(Pelouze)	Ba	858,010	—
Beryllium, Glucium	*Beryllium, Glucium*	Be. G	87,124	6,980
		Be. G	174,248	13,961
Blei	*Plumbum*	Pb	1294,645	103,571

Namen.		Zeichen.	O = 100,000.	H = 1.
		Pb	2589,290	207,142
Bor	*Borum*	B	136,204	10,914
Brom	*Bromum*	Br	489,153	39,196
		Br	978,306	78,392
	(Marignac)	Br	999,627	80,000
Cadmium	*Cadmium*	Cd	696,767	55,833
Calcium	*Calcium*	Ca	251,488	20,152
	(Dumas, Erdmann u. Marchand)	—	250,000	20,000
Cerium	*Cerium*	Ce	574,696	46,051
		Ce	1149,592	92,102
	(Beringer)	Ce	576,970	46,460
Chlor	*Chlorum*	Cl	221,326	17,735
		Cl	442,652	35,470
	(Marignac)	Cl	443,210	35,500
Chrom	*Chromum*	Cr	351,815	28,190
		Cr	703,630	56,380
	(Berlin)	Cr	328,390	26,313
Didym	*Didymum*	D	—	—
Eisen	*Ferrum*	Fe	350,320	28,000
		Fe	700,640	56,000
Erbium	*Erbium*	E	—	—
Fluor	*Fluorum*	F	117,718	9,462
		F	235,435	18,835
Gold	*Aurum*	Au	1229,165	98,690
		Au	2458,330	197,380
Jod	*Jodum*	J	790,460	63,284
		J	1580,920	126,567
	(Marignac)	J	1585,500	253,867
Iridium	*Iridium*	Ir	1232,080	98,566
Kalium	*Kalium*	K	489,916	39,258
	(Pelouze)	K	489,300	—
	(Marignac)	K	488,940	39,179
Kobalt	*Cobaltum*	Co	368,991	29,568
Kohlenstoff	*Carbonium*	C	75,120	6,000
	(Erdmann u. Marchand)	C	75,000	6,000
Kupfer	*Cuprum*	Cu	395,695	31,707
	(Erdmann u. Marchand)	Cu	396,000	31,710
Lanthan	*Lanthanum (Choubine)*	La	451,879	—
	(Rammelsberg)	La	454,880	—
Lithium	*Lithium*	L	80,375	6,440
Magnesium	*Magnesium*	Mg	158,140	12,678

Namen.		Zeichen.	O = 100,000.	H = 1.
Mangan	*Manganum*	Mn	345,887	27,716
Molybdän	*Molybdaenum*	Mo	598,520	47,960
Natrium	*Natrium*	Na	290,897	23,310
	(Pelouze)	Na	287,170	—
Nickel	*Niccolum*	Ni	369,675	29,622
Niobium	*Niobium*	Nb	—	—
Norium	*Norium*	No	—	—
Osmium	*Osmium*	Os	1244,487	99,722
Palladium	*Palladium*	Pd	665,899	53,359
Phosphor	*Phosphorus*	P	196,143	15,718
		P	392,286	31,436
	(Pelouze)	P	400,300	—
Platin	*Platinum*	Pt	1232,080	98,566
Quecksilber	*Hydrargyrum*	Hg	1265,822	101,431
		Hg	2531,644	202,862
	(Erdmann u. Marchand)	Hg	1250,900	100,000
Rhodium	*Rhodium*	R	651,387	52,196
Ruthenium	*Ruthenium*	Ru	—	—
Sauerstoff	*Oxygenium*	O	100,000	8,013
Schwefel	*Sulphur*	S	200,750	16,060
	(Erdmann u. Marchand)	S	200,000	16,000
Selen	*Selenium*	Se	494,582	39,631
Silber	*Argentum*	Ag	1350,000	108,000
	(Marginac)	—	1349,010	107,091
Silicium	*Silicium*	Si	277,312	22,221
	(Einbrodt u. Herrmann)	Si	184,874	14,790
Stickstoff	*Nitrogenium*	N	87,625	7,010
		N	175,250	14,020
Strontium	*Strontium*	Sr	547,285	43,853
Tantal	*Tantalum*	Ta	998,365	79,869
Tellur	*Tellurium*	Te	801,760	64,250
Terbium	*Terbium*	Tb	—	—
Thorium	*Thorium*	Th	841,600	67,330
Titan	*Titanium*	Ti	303,662	24,332
Uran	*Uranium*	U	750,000	60,000
Vanadium	*Vanadium*	V	855,846	68,578
Wasserstoff	*Hydrogenium*	H	6,239	0,500
		H	12,478	1,000
	(Dumas u. Erdmann)	H	12,500	1,000
Wismuth	*Bismuthum*	Bi	1330,377	106,600
		Bi	2660,754	213,200

Namen.		Zeichen.	O = 100,000.	H = 1.
Wolfram	*Wolframium*	W	1183,000	94,795
Yttrium	*Yttrium*	Y	402,514	32,254
Zink	*Zincum*	Zn	406,591	32,528
Zinn	*Stannum*	Sn	735,296	58,920
Zirkonium	*Zirconium*	Zr	419,250	33,540

Specifische Volumina.

Specifische Volumina nennt man die Quotienten aus den specifischen Gewichten in die Atomgewichte der Körper.

Einzelne Versuche, die Abhängigkeit einiger physikalischen Eigenschaften der Körper von ihrer chemischen Constitution nachzuweisen, waren schon früher gemacht worden, indessen auf den Stand der Wissenschaft ohne wesentlichen Einfluss geblieben, bis im Jahre 1839 Kopp und demnächst Schroeder diesen Gegenstand zum Vorwurf sehr ausgedehnter wissenschaftlicher Untersuchungen machten, so dass derselbe bereits eine wesentliche Stelle in der Wissenschaft eingenommen hat, und daher auch hier nicht übergangen werden darf.

Der Gegenstand betrifft die Abhängigkeiten, welche zwischen der chemischen Constitution einerseits und dem specifischen Gewichte fester und tropfbar-flüssiger Körper und den Siedepunkten andrerseits nachgewiesen worden sind.

Die chemische Constitution wird bei den einfachen Körpern durch ihre Aequivalent- oder Atomgewichte repräsentirt, bei den chemischen Verbindungen aber geben die Aequivalentgewichte uns die Gewichtsverhältnisse an, in welchen sich die Körper miteinander verbinden (Stöchiometrie). Die Untersuchungen über das specifische Gewicht der Körper im festen oder tropfbar-flüssigen Zustande sind in verschiedenen Richtungen geführt worden. Man untersuchte einerseits, in welcher Weise sich die specifischen Gewichte chemischer Verbindungen ableiten lassen, wenn die Bestandtheile derselben bekannt sind, und andrerseits, in welchem Zusammenhange ganz allgemein die specifischen Gewichte der Körper zu ihren andern Eigenschaften stehen.

Wenn die specifischen Gewichte der Körper bekannt sind, so kann man, da das specifische Gewicht der Körper durch ihr Volumen, und umgekehrt das Volumen durch das specifische Gewicht bedingt wird, natürlich auch angeben, in welchen Volumverhältnissen sie sich vereinigen; man braucht nur mit den specifischen Gewichten in die Aequivalentgewichte zu dividiren, so geben die Quotienten diese Volumver-

hältnisse an. Man nennt dieselben specifische Volumina, Aequivalent-, Atom-, auch Molecularvolumina. So ist die Atomzahl des Schwefels 201, die des Zinks 403; das spec. Gewicht des erstern ist 1,99, das des letzteren 6,95. Das spec. Volumen des Schwefels verhält sich also zu dem specifischen Volumen des Zinks wie $\frac{201}{1,99}$ zu $\frac{403}{6,95}$, oder wie 101 : 58, d. h. 101 Volumina Schwefel verbinden sich mit 58 Volumtheilen Zink zu Schwefelzink.

Die specifischen Volumina geben also die relativen Räume an, welche solche Quantitäten verschiedener Körper einnehmen, die im Verhältnisse der Atomgewichte dieser Körper stehen. Wie die Aequivalentgewichte, so sind auch die specifischen Volumina nur Verhältnisszahlen; die ersteren drücken das Verhältniss der Gewichte je eines Atoms der verschiedenen Körper aus, die letzteren aber nicht das Verhältniss der Volume je eines Atoms der verschiedenen Körper, sondern das Verhältniss der Volume je eines Atoms sammt der es umgebenden Wärmesphäre. Denn die Atome der Körper berühren sich nicht unmittelbar, sondern sie sind durch die sie umgebenden Wärmesphären getrennt, die zwar da nicht berücksichtigt werden dürfen, wo es sich um das relative Gewicht der Atome handelt, wohl aber da, wo es das Volumen derselben betrifft. Man kann also auch das specifische Volum eines Körpers definiren als das relative Volum eines Atoms desselben sammt der es umgebenden Wärmesphäre.

Wie man den Atomgewichtszahlen bestimmte Gewichtseinheiten unterlegen kann, so lassen sich auch die Zahlen für die specifischen Volume in willkührlichem aber deutlicherem Sinne fassen. Man kann sich z. B. die Atomgewichtszahlen auf Grammen bezogen denken, und die Zahlen 201 für Schwefel und 403 für Zink bedeuten alsdann, dass sich 201 Grammen Schwefel mit 403 Grammen Zink chemisch verbinden. Berücksichtigen wir jetzt noch, dass alle Angaben des specifischen Gewichts bei festen und flüssigen Körpern auf das des Wassers als Einheit gehen, dass ferner 1 Cubikcentimeter Wasser 1 Gramm wiegt, dass also die Angabe des specifischen Gewichts eines Körpers ausdrückt, wie viel Grammen 1 Cubikcentimeter desselben wiegt, so zeigen die Angaben des specifischen Gewichts 1,99 für Schwefel, und 6,95 für Zink an, dass 1 Cubikcentimeter Schwefel 1,99, und 1 Cubikcentimeter Zink 6,95 Grammen wiegt. Da nun das specifische Volum durch Division des specifischen Gewichts (des Gewichts eines Cubikcentimeters nach Grammen) in das Atomgewicht (welches wir gleichfalls als Grammen ausdrückend betrachten) erhalten wird, so giebt der Quotient, das specifische Volum, unter diesen Voraussetzungen offenbar an, wie viel Cubikcentimeter eine Quantität eines Körpers gross ist, dessen Gewicht nach Grammen durch sein Atomgewicht angezeigt ist. Die Angaben: Atomgewicht 201, und specifisches Volum = 101 für

Schwefel, ferner Atomgewicht = 403, und specifisches Volum = 58 für Zink, lassen sich also auch auf folgende Weise verständlich machen: 201 Grammen Schwefel erfüllen einen Raum von 101 Cubikcentimetern, und 403 Grammen Zink einen Raum von 58 Cubikcentimetern.

Sowie das specifische Volum eines Körpers durch Division des specifischen Gewichts, wenn dieses bekannt ist, in das Atomgewicht erhalten wird, so lässt sich auch umgekehrt, wenn das specifische Volum eines Körpers bekannt ist, durch Division desselben in das Atomgewicht das specifische Gewicht des Körpers bestimmen. So ist z. B. das Atomgewicht des Broms 489, das specifische Volum desselben 160, also $\frac{489}{160} = 3{,}056$, welche letztere Zahl also das specifische Gewicht des Broms angiebt, welches durch directe Versuche 2,966 gefunden worden ist. Atomgewicht des Quecksilbers = 1266, spec. Volum desselben = 93; $\frac{1266}{93} = 13{,}6$; das spec. Gewicht des Quecksilbers durch Versuche 13,568 gefunden, wird also gleichfalls durch die Rechnung bestätigt.

Die specifischen Volume der Elemente folgen aus den Dichtigkeitsbeobachtungen, welche an den Elementen unmittelbar angestellt worden sind, in chemischen Verbindungen sind aber einige Elemente mit einem andern specifischen Volum, als sie im isolirten Zustande haben, enthalten; man nennt daher das erstere zur Unterscheidung: das ursprüngliche specifische Volum.

Das specifische Volum eines Körpers ändert sich mit der Temperatur. Da durch Erhitzung die Zwischenräume zwischen den Atomen, die Wärmesphären der Atome, vergrössert werden, so muss bei höherer Temperatur das specifische Volum eines Körpers, d. h. das relative Volum eines Atoms desselben, sammt der es umgebenden Wärmesphäre, grösser sein, als bei niedriger Temperatur.

Chemisch ähnliche Körper haben häufig gleiche specifische Volume. So haben Chrom, Wolfram und Molybdän dasselbe specifische Volum (= 69); auch Eisen, Kobalt, Mangan, Nickel und Kupfer (= 44), ebenso Iridium, Osmium, Palladium, Platin und Rhodium (= 57), ferner Chlor, Brom, Jod und Cyan (= 160). Von den Gliedern einer jeden dieser Gruppen nehmen also aequivalente Gewichtsmengen gleich grosse Räume ein. Das Atomgewicht des Chroms (spec. Gew. = 5,10) ist 352, das des Molybdäns (spec. Gew. 8,68) ist 599, das des Wolframs (spec. Gew. 17,1) ist 1183. 352 Grammen Chrom erfüllen einen Raum (spec. Volum) von 69 Cubikcentimetern; denselben Raum erfüllen 599 Grammen Molybdän, und ebenso 1183 Grammen Wolfram. Das Atomgewicht des Chlors ist 221, das des Broms 489, das des Jods 789, das des Cyans 165; 221 Grammen flüssiges Chlor (spec. Gew. 1,33) nehmen denselben Raum ein, nämlich 160 Cubikcentimeter, wie 489

Grammen Brom (spec. Gew. 2,966), wie 789 Grammen Jod (spec. Gew. 4,948) oder wie 165 Gr. flüssiges Cyan (spec. Gew. 0,9).

Alle isomorphen Körper haben gleiche specifische Volumina. Dieses lässt sich auch noch auf folgende Weise ausdrücken: bei isomorphen Körpern verhalten sich die specifischen Gewichte wie die Atomgewichte, oder: äquivalente Mengen isomorpher Körper erfüllen einen gleich grossen Raum. Das wasserfreie schwefelsaure Natron z. B. ist mit dem schwefelsauren Silberoxyd isomorph; das Atomgewicht des ersteren ist 892, und das spec. Gew. 2,44; das Atomgewicht des letzteren ist 1953 und das spec. Gew. 5,34. Es verhält sich 892 : 1953 wie 2,44 : 5,34, oder 892 Gr. schwefelsaures Natron erfüllen denselben Raum wie 1953 Gr. schwefelsaures Silberoxyd, nämlich 366 Cubikcentimeter.

Dieses Gesetz gilt jedoch in seiner ganzen Strenge nur da, wo der Isomorphismus vollkommen ist, d. h. wenn Verbindungen von analoger Atomconstitution absolut gleiche Krystallgestalt haben. Zeigen analog zusammengesetzte Verbindungen nur annähernd gleiche Krystallgestalt, so gilt das obige Gesetz auch nur annähernd; ihre specifischen Volumina stimmen dann um so näher mit einander überein, je vollkommner der Isomorphismus bei ihnen ist.

Der Isomorphismus zweier Körper bedingt zwar eine entsprechende Uebereinstimmung ihrer specifischen Volume, aber nicht umgekehrt bedingt die Uebereinstimmung der specifischen Volume zweier Körper auch den Isomorphismus derselben. Es muss zwar, wo Isomorphismus statt findet, auch annähernde Gleichheit der specifischen Volume vorhanden sein, letztere kann aber auch vorhanden sein, ohne dass Isomorphismus statt findet. Wie zwei verschiedene Körper von analoger Constitution bei gleicher Krystallgestalt gleiches specifisches Volum haben, so besitzt auch eine und dieselbe chemische Verbindung bei verschiedenen Krystallgestalten verschiedenes specifisches Volum. Eine Substanz, welche dimorph ist, hat in jeder ihrer Modificationen ein besonderes specifisches Gewicht, und somit auch ein besonderes specifisches Volum. Der kohlensaure Kalk hat als Kalkspath das spec. Volum = 232, als Arragonit = 215; die Titansäure als Rutil das spec. Volum = 120, als Anatas = 132, die Verbindung $\dot{C}a^3\dddot{S}i + \ddot{A}l\dddot{S}i$ als Vesuvian das spec. Volum = 843, als Granat = 789, u. s. w. Somit kann man sagen, dass bei dimorphen Körpern keine völlige Gleichheit in der Zusammensetzung statt findet; sie sind zwar dem Gewichte nach gleich zusammengesetzt, aber nicht dem Volum nach; in der einen ihrer Modificationen enthält ein bestimmtes Volum von ihnen eine andere Quantität von Bestandtheilen, als in der anderen, wodurch zugleich mit die Verschiedenheit ihrer specifischen Gewichte bedingt ist.

Wenn zwei nicht gasförmige Körper sich mischen oder zu einer

chemischen Verbindung sich vereinigen, so zeigt in den meisten Fällen das entstehende Product nicht mehr dasselbe Volum, welches vorher die einzelnen Bestandtheile zusammengenommen hatten. Am häufigsten tritt hierbei eine Verdichtung ein, so dass das Volum der chemischen Verbindung kleiner ist als die Summe der Volume der einzelnen Bestandtheile; selten findet eine Ausdehnung statt.

Wenn eine Verbindung ein anderes Volum einnimmt, als die Summe der Volume ihrer Bestandtheile beträgt, so ist eine verschiedene Auffassung des Vorganges denkbar. Man kann die Volumsänderung als auf die ganze entstehende Verbindung gehend betrachten, oder als auf die Bestandtheile einzeln gehend. So bilden z. B. 2 Volume Wasserstoffgas und 1 Volum Sauerstoffgas 2 Volume Wassergas. Dies drückt man gewöhnlich so aus: das aus der Verbindung von 2 Vol. Wasserstoffgas und 1 Vol. Sauerstoffgas entstehende Wassergas verdichtet sich zu 2 Vol. Wassergas. Allein man kann den Vorgang auch so betrachten, als ob nur die 2 Vol. Wasserstoffgas sich auf 1 Vol. verdichten, welches mit 1 Vol. Sauerstoffgas 2 Vol. Wassergas bildet; oder man kann auch die Verdichtung auf beide Bestandtheile einzeln gehend sich denken, dass etwa die 2 Vol. Wasserstoffgas auf 1½, und das 1 Vol. Sauerstoffgas auf ½ Vol. condensirt sich vereinigen, und so 2 Vol. Wassergas gebildet werden. Es wird hierdurch wohl klar, was man darunter versteht, wenn man sagt, es gehe die bei einer Verbindung statthabende Condensation auf die Verbindung selbst, oder sie gehe auf die Bestandtheile einzeln. Im ersteren Falle nimmt man an, die Bestandtheile bilden mit unverändertem Volum die Verbindung, und erst nach der Entstehung dieser trete die Condensation ein; im zweiten Falle nimmt man an, beide Bestandtheile, oder mindestens einer von ihnen, ändern das Volum, ehe sie in die Verbindung eingehen, und das Volum der Verbindung sei die Summe der Volume der Bestandtheile in den Zuständen, wie sie in die Verbindung eingegangen sind. Für den letzteren Fall wird dann die Frage wichtig, mit welchem Volum ein jeder Bestandtheil in die Verbindung eingehe.

In dem ersteren Sinne betrachtete man von Anfang an diejenigen Condensationen und auch Dilatationen, welche am besten studirt sind, nämlich diejenigen, welche bei der Vereinigung gasförmiger Bestandtheile zu gasförmigen Verbindungen statt haben, und man thut dieses noch, wogegen für die andern Verbindungen die zweite Betrachtungsweise, zuerst von Schroeder aufgestellt, sich als die wahrscheinlichere herausgestellt hat.

Eine andere gleichfalls für die Theorie der specifischen Volume der unorganischen Verbindungen sehr wichtige, von Schroeder gemachte Beobachtung besteht darin, dass, wenn man von den specifischen Volumen analoger Verbindungen die specifischen Volume der entsprechenden Bestandtheile abzieht, für

das Volum des gemeinsamen Bestandtheils in vielen Fällen ein gleicher Rest bleibt. So ist z. B. das spec. Volum des Bleioxydes 146, das des Bleies 114; das spec. Volum des Kupferoxydes ist 76, das des Kupfers 44; zieht man im ersteren Falle 114 von 146, und im zweiten Falle 44 von 76 ab, so bleibt in beiden Fällen 32 als das spec. Volum des Sauerstoffs übrig.

Hieraus lassen sich für andere analoge Verbindungen wahrscheinliche Ansichten über die Frage ableiten, welche specifische Volume man den in ihnen enthaltenen Bestandtheilen beizulegen hat?

Denken wir uns wieder die Atomgewichte als Grammen bedeutend, so wiegt 1 Atom Blei 1294 Gr., und der Raum, welchen es einnimmt, beträgt 114 Cubikcentimeter (spec. Vol.). Verwandelt man diese Quantität Blei in salpetersaures Bleioxyd, so treten die Elemente von N^2O^6 $(O + \ddot{N})$ zu dem Blei hinzu; das Blei nimmt dabei um 777 Gr. an Gewicht, und um 358 Cubikcentimeter an Volum zu. (Das Atomgewicht des salpetersauren Bleioxydes ist nämlich 2071, das spec. Gew. 4,40, mithin sein spec. Volum $\frac{2071}{4,40} = 472$; zieht man hiervon das spec. Volum des Bleies = 114 ab, so bleiben wie oben 358). Das Atomgewicht Silber ist 1352 Grammen schwer, und sein Volum beträgt 130 Cubikcentimeter. Wird es in salpetersaures Silberoxyd verwandelt, wobei ihm gleichfalls die Atome N^2O^6 mit einem Gewichte von 777 Gr. zutreten, so nimmt sein Volum gleichfalls um 358 Cubikcentimeter zu. (Das Atomgewicht des salpetersauren Silberoxydes ist 2128, das spec. Gew. 4,36, mithin sein spec. Volum $\frac{2128}{4,36} = 488$; zieht man hiervon wieder das spec. Volum des Silbers = 130, ab, so bleiben 358).

Diese Erscheinungen lassen sich einfach in die Annahme zusammenfassen, dass das spec. Volum des Bleies und des Silbers in den salpetersauren Salzen ungeändert bleibe, wie es die genannten Metalle auch in dem isolirten Zustande besitzen, und dass das spec. Volum der Elemente N^2O^6 zusammengenommen, durch deren Zutritt ein Metall zu salpetersaurem Salze wird, in den salpetersauren Salzen = 358 sei.

1 Atomgewicht Blei (1294 Gr.) ist 114 Cubikcentimeter gross; bei der Oxydation zu Bleioxyd, wobei 1 At. = 100 Gr. Sauerstoff aufgenommen werden, vergrössert sich das Volum um 32 Cubikcentimeter. Dieselbe Vergrösserung des Volums tritt ein, wenn sich 1 At. Kupfer (396 Gr., 44 Cubikcentim.) oder 1 At. Quecksilber (1266 Gr.; 93 Cubikcentim.) gleichfalls durch Aufnahme von 100 Gr. Sauerstoff oxydiren. Wenn 1 At. Titan (304 Gr.; 57 Cubikcentim.) durch Aufnahme von 2 At. = 200 Gr. Sauerstoff zu Titansäure oxydirt wird, so vergrössert sich das Volum um 2mal 32 = 64. Werden 2 At. Eisen (678 Gr.,

88 Cubikcentim.) durch 3 At. = 300 Gr. Sauerstoff in Eisenoxyd umgebildet, so vergrössert sich das Volum um 3mal 32 = 96.

Diese Erscheinungen lassen sich in der Annahme zusammenfassen, dass das specifische Volum der angegebenen Metalle in diesen Oxyden noch dasselbe sei, wie das, welches sie im isolirten Zustande haben, und dass, da 100 Gr. Sauerstoff in diesen Oxyden den Raum von 32 Cubikcentim. erfüllen, das specifische Volum von 1 At. Sauerstoff = 32 sei.

Die Annahme, dass das spec. Volum der Metalle in ihren Verbindungen mit Sauerstoff ungeändert bleibe, hat Kopp bestätigt gefunden bei Antimon, Blei, Cadmium, Chrom, Eisen, Kobalt, Kupfer, Mangan, Molybdän, Nickel, Quecksilber, Silber, Titan, Wismuth, Wolfram, Zinn, Zink, kurz bei den schweren Metallen mit Ausnahme des Arsens. Die Metalle der Alkalien und Erden sind aber in ihren Verbindungen mit einem andern als ihrem ursprünglichen specifischen Volume enthalten, welches indessen in allen Verbindungen, z. B. in allen Salzen, für jedes Metall ein constantes zu sein scheint. Hinsichts der Verbindungen der schweren Metalle mit Sauerstoff ist jedoch noch zu bemerken, dass in einigen Oxyden das specifische Volum des Sauerstoffes nicht zu 32 angenommen werden kann. Wenn 1 Atomgewicht Zinn zu Zinnoxyd, SnO^2 oxydirt wird, so verursachen die zutretenden 2 At. Sauerstoff nur eine Volumszunahme von 32 Cubikcentim., wonach also 1 At. Sauerstoff (100 Gr.) in diesem Oxyde nur einen Raum von 16 Cubikcentim. erfüllt. Auch für SbO^3 und Cr^2O^3 ist anzunehmen, dass in ihnen der Sauerstoff mit dem spec. Volum 16 enthalten sei. Für die Oxyde Cu^2O, AgO, HgO und MoO^3 ist endlich anzunehmen, dass in ihnen der Sauerstoff das spec. Volum 64 habe.

Man ist früher der Meinung gewesen, dass zwei Bestandtheile selbst isomorph sein müssten, wenn ihre analogen Verbindungen isomorph sind. So schloss man z. B. auf den Isomorphismus der Elemente, wenn ihre analogen Verbindungen isomorph sind. Eine directe Controlle für solche Schlussfolgerungen war schwierig, insofern die meisten Elemente in Formen des regulären Systems krystallisiren; es kommen aber Körper, welche in keiner Art analog und gar nicht als isomorph zu betrachten sind, in ganz gleichen Formen des regulären Systems vor, so dass auch umgekehrt gleiche Krystallgestalt in diesem Systeme nicht als Beweis für Isomorphismus gelten kann. Auf der andern Seite lernte man Beispiele kennen, dass elementare Körper nicht isomorph zu sein brauchen, obgleich die analogen Verbindungen von ihnen isomorph sind. Dies gilt z. B. für viele analoge Verbindungen von Phosphor und Arsen, obgleich der Phosphor selbst eine reguläre, das Arsen aber eine hexagonale Krystallform hat. Wenn man berücksichtigt, dass nach den am sichersten constatirten Fällen von Isomorphismus mit dem Statthaben desselben stets vollkommene oder

annähernde Gleichheit des specifischen Volums verbunden ist, wenn man ferner die Resultate berücksichtigt, welche sich als die wahrscheinlichsten für die Zusammensetzung der Verbindungen nach Volumen hersausgestellt haben, so überzeugt man sich leicht, dass die entsprechenden Elemente isomorpher analoger Verbindungen nicht nothwendig selbst isomorph zu sein brauchen, kann sich aber auch davon Rechenschaft geben, wie aus Bestandtheilen, deren specifische Volume zu verschieden sind, als dass für sie Isomorphismus statthaben könnte, doch analoge Verbindungen sich bilden können, deren specifische Volume sich hinlänglich nahe sind, um Isomorphismus zuzulassen.

Zwei Körper können z. B. im isolirten Zustande ganz verschiedene specifische Volume haben, und doch analoge Verbindungen bilden, welche isomorph sind, und deren specifische Volume sich dem Verhältnisse der Gleichheit nähern, in der Art, dass der eine Körper mit einem andern specifischen Volum in die Verbindung eingeht, als sein ursprüngliches ist. Ist das geänderte specifische Volum dieses Körpers demjenigen nahe gleich, mit welchem der andere Körper in seinen Verbindungen enthalten ist, so müssen durch Vereinigung mit denselben Volumen anderer Bestandtheile analoge Verbindungen entstehen, deren specifische Volume nahe gleich sind. Auch in der Art können isomorphe analoge Verbindungen nicht isomorpher Bestandtheile entstehen, dass der gemeinschaftliche Bestandtheil in beiden Verbindungen mit verschiedenem specifischem Volum enthalten ist. Chrom und Eisen sind an und für sich nicht isomorph; das specifische Volum des ersteren ist 69, das des letzteren 44, also keinesweges gleich. Aber in das Chromoxyd geht der Sauerstoff mit dem specifischen Volum 16, in das Eisenoxyd mit dem specifischen Volum 32 ein; das specifische Volum des Chromoxydes, Cr^2 ($= 69 . 2 = 138$) $+ O^3$ ($16 . 3 = 48$) ist 186, das des Eisenoxydes Fe^2 ($= 44 . 2 = 88$) $+ O^3$ ($32 . 3 = 96$) ist 184, welche Zahlen fast vollkommen gleich sind, die Verbindungen des Chromoxydes und des Eisenoxydes können also isomorph sein, wie es auch in der That der Fall ist. Noch häufiger bilden Körper, welche selbst nicht isomorph sind, analoge isomorphe Verbindungen in der Art, dass sie sich mit überwiegenden Mengen derselben andern Bestandtheile vereinigen. Titan (spec. Volum $= 57$) hat ein von dem des Eisens (spec. Vol. $= 44$) sehr abweichendes specifisches Volum; wenn aber 1 At. Titan (spec. Vol. 57) und 1 At. Eisen (spec. Vol. 44) sich mit 3 At. Sauerstoff (spec. Vol. $32 . 3 = 96$) vereinigen, so entsteht eine Verbindung, deren specifisches Volum ($57 + 44 + 96$) $= 197$ ist; das specifische Volum des Eisenoxydes Fe^2O^3 ist aber 184; die Zahlen 197 und 184 nähern sich aber dem Verhältnisse der Gleichheit soweit, dass die Verbindungen, denen sie angehören, isomorph sein können. Wahrscheinlich geschieht es auf diese Art, dass Körper, welche gar keine Analogie und an und für sich gewiss keinen Isomorphismus

zeigen, doch analoge isomorphe Verbindungen bilden können, wenn sie nur mit überwiegend viel von denselben andern Bestandtheilen verbunden sind. Wenn analoge überchlorsaure und übermangansaure Salze isomorph sind, so ist hiervon als Ursache nicht eine Aehnlichkeit zwischen Chlor und Mangan anzunehmen, sondern es erklärt sich dadurch, dass in beiderlei Salzen 8 Atome Sauerstoff enthalten sind, der also hier in solcher Menge vorwaltet, dass die Verschiedenheit der in geringerer Menge darin enthaltenen andern Körper überwogen wird. Je geringer die Verschiedenheit dieser Körper ist, in desto geringerer Menge wird das Zutreten des gemeinschaftlichen Bestandtheils erforderlich sein, wie z. B. oben bei Titan und Eisen.

Wenn wir nun zu dem specifischen Volum der Flüssigkeiten übergehen, so sind hier besonders Verbindungen aus der organischen Chemie Gegenstand der Untersuchungen gewesen. Diese haben um so mehr Interesse, als sich bei ihnen klarer herausgestellt hat, wie die bekannte Aenderung der specifischen Volume durch die Temperatur aufzufassen ist, welche Berücksichtigung bei der Untersuchung der festen Verbindungen nur unvollkommen möglich ist.

Kopp fand, dass analoge flüssige Verbindungen gleiche Differenzen ihrer specifischen Volume haben, dass z. B. das specifische Volum jeder Aethylverbindung um 234 grösser ist, als das der entsprechenden Methylverbindung, das specifische Volum jedes Säurehydrats um 534 kleiner, als das der Verbindung der Säure mit Aethyloxyd, und um 300 kleiner, als das der Verbindung der Säure mit Methyloxyd, und dass solche Regelmässigkeiten für alle analoge Flüssigkeiten gelten. Ein Paar Beispiele werden dies erläutern:

Substanz.	Atomgewicht.	Spec. Gewicht.	Spec. Volum.	Differenz.
Aethyljodid	1942	1,907	1018	234
Methyljodid	1766	2,253	784	
Essigsaures Aethyloxyd	1100	0,886	1241	234
Essigsaures Methyloxyd	925	0,919	1007	
Benzoësaures Aethyloxyd	1875	1,054	1779	234
Benzoësaures Methyloxyd	1700	1,100	1545	

Die Constanz der Differenz gilt aber nur für gleich weit von den Siedepuncten abstehende Temperaturen.

Die specifischen Volume der Flüssigkeiten dürfen zur Vergleichung nicht bei Temperaturen gemessen werden, welche durch dieselben Temperaturgrade bestimmt sind, sondern bei Temperaturen, wo die Wärme gleichen Einfluss auf die Flüssigkeit ausübt, d. h. wo die Dämpfe derselben gleiche Spannkraft haben. Solche Temperaturen nennt man correspondirende. Die Siedepuncte der Flüssigkeiten, wie sie sich bei demselben Luftdrucke ergeben, sind z. B. solche correspondirende Temperaturen zur Betrachtung der specifischen Volume

derselben. Eine Temperatur von 57° für den Alkohol ist correspondirend mit einer von 16° für den Aether, weil bei diesen Wärmegraden die Dämpfe der beiden Flüssigkeiten gleiche Spannkraft haben.

Nur für wenige Flüssigkeiten sind die Spannkräfte der Dämpfe für viele verschiedenen Wärmegrade, und somit die correspondirenden Temperaturen genau ermittelt. Um auch für die andern Flüssigkeiten diese mindestens annähernd zu haben, setzt man mit Dalton voraus, dass die Spannkräfte der Dämpfe verschiedener Flüssigkeiten bei gleich weiten Abständen von den Siedepuncten annähernd gleich seien, und braucht als correspondirende Temperaturen die gleichweit von den Siedepuncten abstehenden.

Sowohl Kopp als Schroeder haben dann durch genaue Vergleichung der specifischen Volume flüssiger organischer Verbindungen bei correspondirenden Temperaturen die specifischen Volume zu bestimmen gesucht, mit welchen Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff in organischen Verbindungen enthalten sind, um das specifische Volum und somit die Dichtigkeit jeder aus diesen Elementen bestehenden flüssigen Verbindung, deren atomistische Zusammensetzung und Siedepunct bekannt sind, für jede Temperatur in grosser Uebereinstimmung mit den Beobachtungen berechnen zu können. Kopp gelangte auf diese Weise zu der Wahrnehmung, dass für correspondirende Temperaturen 1 Atomgewicht (100 Gewichtstheile) Sauerstoff in einer flüssigen Verbindung denselben Raum einnimmt, wie 2 Atomgewichte (12,5 Gewichtstheile) Wasserstoff. Alkohol $C^4H^{12}O^2$, und Essigsäurehydrat $C^4H^8O^4$, weichen in ihren Formeln dadurch von einander ab, dass der erstere 4 At. Wasserstoff mehr und 2 At. Sauerstoff weniger enthält, als das letztere, so dass also 4 At. Wasserstoff in dem ersteren durch 2 At. Sauerstoff in dem letzteren vertreten sind. Da nun das specifische Volum von 4 At. Wasserstoff dem von 2 At. Sauerstoff gleich ist, so haben Alkohol und Essigsäurehydrat bei correspondirenden Temperaturen gleiches specifisches Volum.

Bezeichnen wir das specifische Volum des Sauerstoffes durch O, das des Wasserstoffes durch H, so ist $O = 2H$. Das specifische Volum des Wassers, H^2O, bei dem Siedepuncte desselben ist aber den Beobachtungen zufolge $= 117$, wovon die eine Hälfte auf $O = 58,5$, die andere Hälfte aber auf $2H = 58,5$ kommt, woraus 29,25 für H folgt. 58,5 ist also das specifische Volum für O, und 29,25 für H, mit welchen Sauerstoff und Wasserstoff in flüssigen Verbindungen bei den Siedepuncten derselben enthalten sind.

Es ist nun noch nöthig, das specifische Volum des Kohlenstoffs, C, zu suchen. Nach Beobachtungen ist das specifische Volum des Aethers, $C^4H^{10}O$, bei dem Siedepuncte desselben $= 663$. Dieses ist die Summe von $4C + 10H + O$. Die specifischen Volume von $H = 29,25$ und $O = 58,8$ sind bekannt; also $10H = 292,5 + 58,8 = 351$.

Ziehen wir diese 351 von 663 ab, so bleiben für 4C 312, und hiervon giebt der vierte Theil, also 78, das spec. Volum von 1 At. Kohlenstoff an, mit welchem derselbe in flüssigen Verbindungen bei den Siedepuncten derselben enthalten ist.

In dem Vorhergehenden ist gezeigt, in welcher Weise der Einfluss der Temperatur bei der Betrachtung der specifischen Volume der Flüssigkeiten zu berücksichtigen ist. Schwieriger ist es anzugeben, in welcher Weise eine solche Berücksichtigung für feste Körper zu nehmen ist, welche Temperaturen für diese als correspondirende zu betrachten sind. Untersuchungen über diesen Gegenstand machen es wahrscheinlich, dass hier gleich weit von den Schmelzpuncten abstehende Temperaturen als correspondirende betrachtet werden können. Wir kennen aber die Ausdehnung durch die Wärme für die festen Körper, welche hierauf untersucht worden sind, nur für geringe Temperaturgrenzen mit Sicherheit, und es lassen sich noch nicht die specifischen Volume aller festen Körper für gleich weit von ihren Schmelzpuncten abstehende Temperaturen genauer angeben. Für solche Körper, welche nahe gleiche Schmelzpuncte haben, bezeichnen dieselben Thermometergrade auch correspondirende Temperaturen, und für solche hat sich ergeben, dass die Zunahmen ihrer specifischen Volume durch gleiche Temperaturerhöhung dieselben sind, oder in einfachen Verhältnissen stehen. So vergrössert sich durch Erwärmung von 0 bis 100° ein specifisches Volum Zink um nahe gleich viel wie ein specifisches Volum Wismuth, oder ein specifisches Volum Zinn. Dieselbe Temperaturerhöhung vergrössert um nahe gleich viel ein specifisches Volum Gold, und ein specifisches Volum Kupfer, oder ein specifisches Volum Platin, oder ein specifisches Volum Palladium. Das specifische Volum des Goldes bei 0° zu 65 gesetzt, ist das des Kupfers 44; durch Erwärmung um 100° wird das erstere zu 65,23, das letztere zu 44,23.

Schlüsslich ist noch zu erwähnen, dass eine Abhängigkeit des Siedepunctes flüssiger Verbindungen von der atomistischen Constitution unzweifelhaft vorhanden ist, wenn gleich die von verschiedenen Seiten hierüber angestellten Untersuchungen nicht zu völlig übereinstimmenden Resultaten geführt haben. Schroeder ist zu dem Resultate gekommen, dass die Kohlenwasserstoffverbindung C^2H^4 durch ihr Hinzutreten zu einer flüssigen Verbindung sehr häufig den Siedepunct derselben um 21° erhöht, wogegen Kopp nur eine Erhöhung von 19° durch mehrere Beispiele nachweist. Ferner hat Schroeder zahlreiche Fälle nachgewiesen, in welchen durch das Hinzutreten von C^2O^2 zu der Elementarzusammensetzung einer Substanz der Siedepunct derselben um 57 bis 61° erhöht wird. Da dieser Gegenstand jedoch in das specielle Studium der Lehre von den specifischen Volumen gehört, hier aber nur ein allgemeiner Ueberblick mitgetheilt werden sollte, so würde hier ein weiteres Eingehen in denselben zweckwidrig sein.

Substitution oder Metalepsie. (μεταληψις, die Nachfolge).

Es ist eine in der Chemie sehr wohl bekannte und begründete Thatsache, dass die sogenannten Salzbilder, Fluor, Chlor, Brom und Jod, ausser in der Eigenschaft, mit den Metallen Salze zu bilden, auch in ihrer grossen Verwandschaft zum Wasserstoff übereinkommen, mit welchem sie die sogenannten Wasserstoffsäuren bilden. Diese Verwandschaft ist bei den mächtigeren Salzbildern so stark, dass sie auch aus einem zusammengesetzten Körper den in ihm enthaltenen Wasserstoff auszuscheiden und mit sich zu verbinden streben, wie denn bekanntlich im Wasser, unter Mitwirkung des Sonnenlichtes, dem Sauerstoffe durch Chlor der Wasserstoff entzogen wird, so dass in dem vom Sonnenlichte getroffenen Chlorwasser Chlorwasserstoffsäure entsteht. Fast alle organischen Substanzen, des Thierreichs wie des Pflanzenreichs, enthalten aber, mit sehr wenigen Ausnahmen, als wesentlichen Bestandtheil Wasserstoff, und zwar weniger fest gebunden, welcher daher leicht von den auf organische Substanzen einwirkenden Salzbildern gänzlich oder auch nur zum Theil abgeschieden wird, um mit letzteren neue chemische Verbindungen einzugehen. Hierauf beruht die zerstörende Wirkung, welche das Chlor auf Thier- und Pflanzenkörper ausübt.

Hierbei wird aber nicht allein der Wasserstoff aus der organischen Verbindung durch das Chlor zum Theil oder gänzlich ausgeschieden, sondern letzteres tritt auch Aequivalent für Aequivalent in die Stelle des Wasserstoffes ein, ohne, nach Dumas, den chemischen Charakter der chemischen Verbindung *wesentlich* zu verändern, und hierauf hat Dumas seine Theorie der Substitutionen oder Metalepsie gegründet. Als erstes Beispiel von Substitution führte Dumas die von ihm dargestellte sogenannte Chloressigsäure an. Wird nämlich Essigsäure $C^4H^3O^3$ anhaltend mit Chlor behandelt, so nimmt dieses nicht nur die 3 Aeq. Wasserstoff weg, sondern es treten auch nur 3 Aeq. Chlor in deren Stelle in die Verbindung ein, die dadurch zu $C^4Cl^3O^3$ wird, und, da der Charakter der Verbindung dadurch nicht wesentlich verändert worden ist, Chloressigsäure genannt werden muss.

Die Wichtigkeit dieser Theorie ist einleuchtend, denn, wenn der elektropositive Wasserstoff durch das mächtig negativelektrische Chlor in einer chemischen Verbindung ersetzt werden kann, ohne dass die Eigenschaften derselben eine wesentliche Veränderung erleiden, so können diese nicht durch das elektrische Verhalten der in die Verbindung eingehenden Elemente bedingt sein, worauf doch die elektrochemische Theorie gegründet ist. Daher hat sich denn auch Berzelius gegen die Substitutionstheorie erklärt, und nicht nur die bedeutenden Verschiedenheiten in den Eigenschaften beider Säuren hervorgehoben,

sondern auch eine Erklärung des Prozesses nach den Grundsätzen der elektrochemischen Theorie gegeben. Zuerst geht nämlich das Bestreben des negativelektrischen Chlors allein dahin, sich mit dem ihm elektrisch entgegengesetzten Wasserstoffe zu verbinden, und die daraus resultirende Chlorwasserstoffsäure geht gasförmig davon; ist dann aber kein Wasserstoff mehr vorhanden, so wird das noch weiter zugeleitete Chlor seine Angriffe auf den Kohlenstoff richten müssen, welcher nun zur Hälfte von den beiden mächtig negativen Körpern Sauerstoff und Chlor angezogen wird, so dass die neue Verbindung, welcher man immerhin den Namen Chloressigsäure lassen kann, um ihre Abstammung anzudeuten, aus Chlorkohlenstoff und Chlorsauerstoff besteht, also $C^2Cl^3 + C^2O^3$ ist, wie die Essigsäure als aus Kohlenwasserstoff und Kohlensauerstoff, als $C^2H^3 + C^2O^3$, betrachtet werden kann. Beide Säuren sind also, wie Berzelius sie nennt, gepaarte Säuren, in welchen einmal C^2Cl^3, das andere mal C^2H^3 der Paarling von C^2O^3, d. h. von Oxalsäure, ist. Diese Erklärungsweise hat Berzelius festgehalten, und findet sie für alle fast zahllosen chemischen Producte zulässig und genügend, welche fortwährend von den jetzt nicht nur und ganz besonders in Frankreich, sondern in fast allen Ländern sehr zahlreich gewordenen Anhängern der Substitutionstheorie dargestellt worden sind, und für die Richtigkeit dieser Theorie sprechend angeführt werden.

Es kann hier nicht die Aufgabe sein, eine Meinung für die Richtigkeit der einen oder der andern Erklärungsweise der experimentel festgestellten Thatsachen abzugeben, sondern nur den wissenschaftlichen Standpunkt in dieser Beziehung zu bezeichnen, und es wird genügen, noch einige jener Thatsachen anzuführen.

In den bei weitem meisten hierher gehörigen Fällen findet eine Substitution des Wasserstoffs durch Chlor und demnächst durch Brom statt, es können aber auch andere einfache Körper, wie das Platin, ja, nach einer weiteren Ausdehnung dieser Theorie, selbst zusammengesetzte Körper, wie die Untersalpetersäure, NO^4, für den Wasserstoff eintreten, ohne dass der Character der chemischen Verbindung verändert wird. Dies gilt ferner nicht allein für Säuren, sondern auch für chemische Verbindungen von neutralen und selbst von basischen Eigenschaften, nur dass diese letzteren in demselben Verhältnisse schwächer werden, in welchem der Wasserstoff durch den substituirten elektronegativen Körper verdrängt wird, bis sie dann ganz verschwinden.

Beispiele von Säuren.

Die Benzoësäure . . . . . $C^{14}H^5O^3 + \dot{H}$

liefert bei der Behandlung mit Chlor . . . . . $C^{14}\begin{matrix}H^4\\Cl\end{matrix}O^3 + \dot{H}$,

liefert bei der Behandlung mit Salpetersäure . . . . . $C^{14}\begin{matrix}H^4\\NO^4\end{matrix}O^3 + \dot{H}$,

in der ersteren erhaltenen Säure ist also 1 Aeq. Wasserstoff durch 1 Aeq. Chlor, in der zweiten durch 1 Aeq. Untersalpetersäure ersetzt.

Die Salicylsäure $C^{14}H^5O^5 + \dot{H}$

giebt Chlorsalicylsäure $C^{14}\underset{Cl}{H^4}O^5 + \dot{H}$.

- Bromsalicylsäure $C^{14}\underset{Br}{H^4}O^5 + \dot{H}$.

- Nitrosalicylsäure $C^{14}\underset{NO^4}{H^4}O^5 + \dot{H}$.

Die Pikrinsalpetersäure, Kohlenstickstoffsäure, $C^{12}H^3N^3O^{14}$, welche Berzelius als eine gepaarte, unveränderte Salpetersäure enthaltende, Säure, als $(C^{12}H^2NO^3)\,\dddot{N} + \dot{H}\dddot{N}$, betrachtet, lässt sich als eine Verbindung denken von . . . . . $C^{12}\underset{(NO^4)^3}{H^2}O + \dot{H}$,

d. h. als ein einfaches Substitutionsproduct von $C^{12}H^5O + \dot{H}$, nämlich der von Runge im Steinkohlentheeröl entdeckten, und später von Laurent unter dem Namen Phenylhydrat entdeckten Verbindung, in welchem 3 Aeq. Wasserstoff durch 3 Aeq. Untersalpetersäure vertreten sind.

Beispiele von basischen und neutralen Verbindungen.

Ammoniumoxyd NH^4O.

Platinammoniumoxyd $N\underset{Pt}{H^3}O$, welches Berzelius als $Pt + NH^3$ bezeichnet, d. h. als eine Verbindung von *Platinoxydul mit Ammoniak*.

Anilin $C^{12}H^7N$.

Nitranilin $C^{12}\underset{NO^4}{H^6}N$.

Das Nitranilin ist, nach Muspratt und Hofmann, zwar eine schwache Base, aber es verbindet sich mit Säuren zu krystallisirbaren Salzen, welche dieselbe Constitution besitzen, als die correspondirenden Anilinverbindungen, wogegen das Nitrodibromanilin $C^{12}\overset{H^4}{(NO^4)}N$ Br^2 schon vollkommen neutral ist, und sich weder mit Säuren noch mit Basen verbindet.

Dasselbe gilt für die folgenden Verbindungen, in welchen auf gleiche Weise die basischen Eigenschaften desto schwächer werden, und endlich ganz verschwinden, je mehr Wasserstoff verdrängt und eine elektronegative Substanz substituirt wird.

Chloranilin $C^{12}\underset{Cl}{H^6}N$.

Dichloranilin $C^{12}\underset{Cl^2}{H^5}N$.

Trichloranilin $C^{12}\begin{matrix}H^4\\Cl^3\end{matrix}N.$

Bromanilin $C^{12}\begin{matrix}H^6\\Br\end{matrix}N.$

Dibromanilin $C^{12}\begin{matrix}H^5\\Br^2\end{matrix}N.$

Tribromanilin $C^{12}\begin{matrix}H^4\\Br^3\end{matrix}N.$

Chlorodibromanilin $C^{12}\begin{matrix}H^4\\Cl\\Br^2\end{matrix}N.$

Fernere neutrale Substitutionsproducte von Anilin sind:

Schwefelkohlenstoffanilin $C^{12}\begin{matrix}H^6\\S\end{matrix}N.$

Kohlenoxydanilin $C^{12}\begin{matrix}H^6\\CO\end{matrix}N.$

Die Formeln der zusammengesetzten Körper sollen eine Anschauung geben, wie wir uns die in die Verbindung eingehenden Elemente geordnet zu denken haben. Ob diese Anschauungsweise, ob diese Formel, der Wirklichkeit entspricht oder nicht, lässt sich gewöhnlich mit völliger Gewissheit nicht entscheiden, und wir müssen uns meistens mit Wahrscheinlichkeiten begnügen, die aus dem chemischen Verhalten dieser Körper hergenommen sind. Wie viel Wahrscheinlichkeit also für die nach der Substitutionstheorie entworfenen Formeln vorhanden sei, lässt sich nur aus einem ins Einzelne gehenden Studium dieser und ähnlicher Körper beurtheilen. Hier kam es nur darauf an, eine kurze Darstellung der sogenannten Substitutionstheorie zu geben, die in einem geschichtlichen Ueberblick der heutigen Chemie nicht mit Stillschweigen übergangen werden konnte. Kaum ist es endlich nöthig zu erwähnen, dass sämmtliche Substitutionsformeln in die der elektrochemischen Theorie entsprechenden Formeln umgesetzt werden können, wie oben an einigen Beispielen gezeigt worden ist. Diese letzteren Formeln und mit ihnen die elektrochemische Theorie als ungenügend und unrichtig zu verwerfen, ist für jetzt wohl noch kein hinreichender Grund vorhanden, und es müssten entscheidendere Gründe vorgebracht werden, um uns zu der an sich wenig wahrscheinlichen Annahme zu nöthigen, dass z. B. 1 Aeq. Wasserstoff durch einen aus 5 Aeq. zweier davon chemisch wesentlich verschiedener Elemente zusammengesetzten Körper, wie es die Untersalpetersäure, NO^4, ist, überhaupt vertreten werden könne, und zwar ohne dass dieses einen wesentlichen Einfluss auf die Eigenschaften der chemischen Verbindung äussere.
