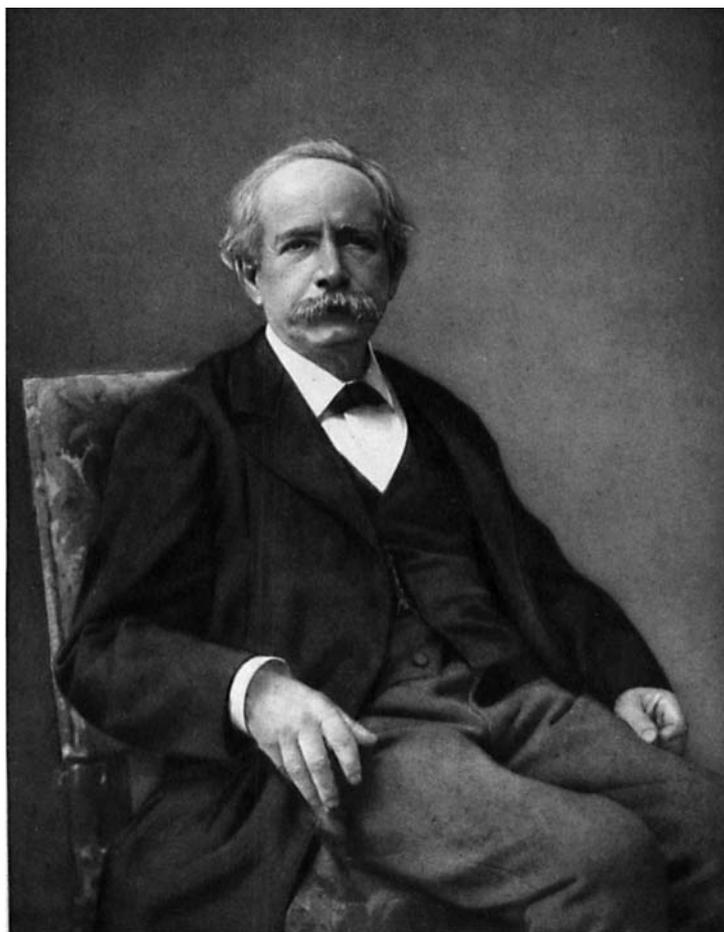


MARCELIN BERTHELOT.

Pierre Eugène Marcelin Berthelot wurde am 27. Oktober 1827 in Paris geboren und starb daselbst am 18. März 1907. Abgesehen von Reisen hat er sein ganzes, an Arbeit und Ruhm so reiches Leben in seiner Vaterstadt zugebracht. Über seinen Vater, den Doktor Jacques Martin Berthelot, teilt er in der Vorrede zu der *Correspondance entre Renan et Berthelot* mit, daß er der Sohn eines Landmanns von den Ufern der Loire war, daß er sich dem Studium der Medizin widmete und in einem der armen Quartiere von Paris, in der Nähe de la tour Saint-Jacques als Arzt niedergelassen habe. Voll von Wohlwollen für die Armen und sehr besorgt um seine Kranken, habe er sich kein Vermögen erwerben können. Doch hat er, wie uns Renan mitteilt, seinem Sohne es möglich gemacht, bis zu einem Alter von über 30 Jahren eine wissenschaftliche Laufbahn zu verfolgen, ohne genötigt zu sein, eine gewinnbringende Beschäftigung zu ergreifen. Renan schildert Berthelots Vater als einen vortrefflichen praktischen Arzt, einen ausgezeichneten Charakter und von sehr liberalen politischen Ansichten, die sich auf den Sohn übertrugen, welcher denselben durch sein ganzes Leben treu blieb. Berthelots Mutter war von Abstammung Pariserin. Er hatte nur eine Schwester, die unverheiratet blieb, aber keinen Bruder.

Seinen eigenen Berichten nach war Berthelot in jungen Jahren von schwächlicher Gesundheit, und trotz der Liebe seiner Eltern ist ihm von den Tagen seiner Jugend eher eine trübe, als eine glückliche Erinnerung geblieben. Schon früh war er von einem ängstlichen Gefühl beim Gedanken an die Unsicherheit des Lebens geplagt. Auch hat er es wiederholt in seinen Briefen ausgesprochen, daß ihn diese Stimmung durch sein Leben begleitet hat. So schrieb er im Jahre 1861 an Renan: »Ich habe mich nie ruhig dem Schicksal hingeben können, es ist in mir ein Element der Unruhe und Ungeduld« und ebenso 31 Jahre später: »Sie wissen, daß ich immer eine besorgte Natur war.« Trotz all' seinen großen Erfolgen, einem über-



M. Berthelot

aus glücklichen Familienleben, und trotzdem er mit Ehren überhäuft wurde, wie kaum je ein anderer Forscher, sagt er in der Vorrede zu dem Briefwechsel mit Renan: »Ich habe nie die Gegenwart vollständig genossen, da ich fortwährend bestrebt war, in die Zukunft zu sehen und meinen Willen anzuspannen, um die Hindernisse, denen ich begegnen würde, im voraus zu erkennen und ihnen die Stirn zu bieten.« Und in bewegten Worten fügt er hinzu (Berthelot hatte inzwischen eine Tochter verloren): »Der Schmerz über den Verlust von Kindern und von Verwandten, von hinweggegangenen Freunden, der Abscheu über Verrat und Enttäuschungen, sowie die Unmöglichkeit, ein absolutes Ziel, welches den Grund jeder menschlichen Existenz bildet, zu erreichen, erlauben nicht mehr, in meinem Alter mich dem vollen Lebensgenuß hinzugeben.« Doch geht auch aus Berthelots Schritten hervor, daß er in hohem Maße das Heilmittel gegen diese Stimmungen in sich trug: es war die Freude an der Arbeit, welche er als eine wesentliche Bedingung menschlichen Glücks ansah. Auch betont er, als er seine Studien begann, daß er volles Vertrauen in seine Energie und Arbeitskraft hatte, und beides ist ihm nie verloren gegangen.

Berthelot zeichnete sich schon früh durch eine hervorragende Begabung, große Arbeitskraft und eisernen Fleiß, aber auch zugleich durch großes Selbstbewußtsein aus. Er besuchte das Collège Henri IV und sagt mit Stolz, er sei einer der glänzendsten Schüler desselben gewesen, was auch von anderen bestätigt wird. Bei seinem Cinquantenaire scientifique hat sein früherer Schulkamerad, Fouqué, in seiner Ansprache als Präsident der Académie des Sciences darauf hingewiesen, daß Berthelot schon als Schüler das Bewußtsein von seiner großen wissenschaftlichen Zukunft hatte, und daß nicht nur seine Lehrer, sondern auch seine Mitschüler davon überzeugt waren. Bei dem allgemeinen Wettbewerb zwischen allen Lyceen Frankreichs erwarb er 1846 den Ehrenpreis der Philosophie.

Als sich Berthelot, um seine Schulstudien zum Abschluß zu bringen, für einige Zeit in einer Pension in der Rue de l'Abbé-de-l'Épée, dessen Bewohner das Lyceum besuchten, eingemietet hatte, machte er die für sein ganzes Leben ebenso bedeutungsvolle wie glückliche Bekanntschaft des vier Jahre älteren Ernest Renan. Nachdem der letztere aus dem Séminaire St. Sulpice ausgetreten war und sich entschlossen hatte, ganz der theologischen Laufbahn zu entsagen, nahm er in der gleichen Pension eine bescheidene Stellung an. Dasselbst lernten sich die beiden begabten jungen Männer kennen und sofort gegenseitig schätzen. Es entwickelte sich trotz des Altersunterschieds, des verschiedenen Bildungsgangs und des so sehr verschiedenen Milieus, in

dem sie aufgewachsen waren, eine durch das ganze Leben dauernde und nie getrübt Freundschaft. Renan entwirft in seinen *Souvenirs d'enfance et de jeunesse* folgende Schilderung von Berthelot aus der Zeit, als er ihn kennen lernte:

»Er war 18 Jahre alt, und schon waren der philosophische Geist, der konzentrierte Eifer, die Leidenschaft für das Wahre, die Erfindungsgabe, welche später seinen Namen berühmt machte, deutlich sichtbar. Unser Eifer, zu lernen, war gleich, unsere Geistesentwicklung aber sehr verschieden.«

Aus der Korrespondenz der beiden großen Männer, sowie aus mehreren Stellen ihrer Werke zeigt sich, von welchem großen geistigen Förderung der Verkehr für jeden derselben war. In der an Berthelot gerichteten Widmung seiner *Dialogues et fragments philosophiques* sagt Renan: »Es geschah mir mehr als einmal, als ich diese Seiten durchblättert, daß ich gewissen Ideen begegnete, über die wir unzählige Male mit einander gesprochen hatten. Ich fragte mich oft, ob sie mir oder Ihnen entsprungen; so sehr sind unsere Gedanken seit 30 Jahren in einander verwebt, und so unmöglich scheint es mir bei unserem engen Verkehr zu unterscheiden, was von mir, was von Ihnen stammt.« Doch darf man wohl annehmen, daß Berthelot in höherem Maße der Gebende wie der Empfangende war. Louguinine berichtet, als er mit Berthelot zusammen thermochemische Arbeiten ausführte, daß Renan häufig ins Laboratorium kam, um sich bei seinem Freunde über naturwissenschaftliche Fragen zu unterrichten. Berthelot entwarf in präziser Form eine Reihe von Schilderungen, die in ihrer Gesamtheit einen Überblick über die Naturwissenschaft lieferten. Louguinine fand dann bei der Lektüre von Renans *Dialogues* in denselben eine Zusammenstellung der Vorträge, die er bei der Ausführung thermochemischer Bestimmungen mit angehört hatte¹⁾.

Die auf gegenseitige Hochachtung begründete Freundschaft, der rege persönliche und schriftliche Verkehr dauerte ununterbrochen bis zu dem im Jahre 1892 erfolgten Tod Renans. Auf den Wunsch von Renans Wittve veröffentlichte Berthelot die beiderseitige Korrespondenz, welche eine reiche Fundgrube zur Beurteilung beider Männer bildet.

¹⁾ Hr. Professor Louguinine hatte die Güte, für mich Erinnerungen aus seinem Verkehr mit Berthelot, mit dem er während vieler Jahre befreundet war, zusammenzustellen und mir deren Benutzung zu gestatten. Für diesen wertvollen Beitrag zu diesem Nekrolog sage ich ihm auch an dieser Stelle besten Dank.

Gleich begabt für die Naturwissenschaften wie für die philosophischen und philologischen Fächer, neigte Berthelot infolge der im väterlichen Hause empfangenen Eindrücke zu den ersteren hin. Doch hatte er durch seine gründliche klassische Bildung eine Vorliebe für die alte Literatur beibehalten. Er las mit Leichtigkeit Plato im griechischen Text und zwei aus seiner Schülerzeit stammende Ausgaben von Tacitus und von Lucretius nahm er mit sich, wenn er einige Zeit auf dem Lande zubrachte; als drittes Bändchen fügte er die *Divina commedia* von Dante hinzu, und zwar gleichfalls in der Originalsprache ¹⁾.

In den ersten Jahren seiner Studienzeit hat er Medizin studiert. Doch kam er häufig nach dem Collège de France, an welchem sein Freund Renan die Vorträge von Burnouf über Sanskrit hörte. Er nahm häufig an den Gesprächen dieses Gelehrten mit seinen Schülern und an seinen Vorlesungen über *le Lotus de la bonne loi* teil. Nach seinen Angaben haben dieselben mit dazu beigetragen, seinen Geist zu entwickeln, seine Gedanken zu erweitern und zu befreien ²⁾. Dann wandte er sich ganz der Chemie zu. Beeinflussend für seine wissenschaftliche Richtung wurden die Vorlesungen von Pelouze, der bis 1850, als Vorgänger von Balard, Professor der Chemie am Collège de France war, sowie diejenigen von Dumas, und dann der persönliche Verkehr mit Männern wie Biot, Claude Bernard und vor allem mit Regnault. Wie aus seinen theoretischen Ansichten hervorgeht, hat ihn Dumas in Bezug auf organische Chemie am meisten beeinflusst. Doch hat er später in den Rückblicken auf sein Leben wiederholt hervorgehoben, daß er sich nie einer der offiziellen oder partikularistischen Schulen angeschlossen, sondern seine Ziele nach eigener Inspiration verfolgt habe.

Im Jahre 1850 arbeitete er bei Pelouze, der ein privates Unterrichtslaboratorium eingerichtet hatte, dann wurde er 1851 Assistent von Balard am Collège de France. Die Worte, mit denen dieser seinen Antrag, ihn zum préparateur zu ernennen, begründete: Alles erlaubt zu hoffen, daß Marcelin Berthelot es verstehen werde, die Stellung, für welche ich ihn empfehle, zur Förderung der Wissenschaft zu nützen« sind glänzend in Erfüllung gegangen und sicherlich viel glänzender, als es Balard damals ahnen konnte. In dieser bescheidenen Stellung blieb Berthelot neun Jahre und hatte sich während dieser Zeit des größten Wohlwollens von Balard zu erfreuen, der

¹⁾ Diese drei Bändchen zeigte mir Hr. Professor Daniel Berthelot, dem ich auch eine Reihe interessanter und wichtiger Mitteilungen über seinen Vater verdanke, wofür ich ihm meinen besten Dank sage. C. Graebe.

²⁾ Science et Libre Pensée, 50.

jüngere Kollegen gerne zu fördern suchte und auch ihm reichlich Zeit ließ, eigene Arbeiten auszuführen. Wenn er auch später angab, die Anfänge seiner Laufbahn seien lang und mühsam gewesen, so hat er es doch anerkannt und in einem Artikel über Claude Bernard, der ebenfalls Assistent am Collège de France war, auch ausgesprochen, daß diese bescheidenen Stellungen für junge Männer, die es verstehen, die ihnen zur Verfügung gestellten materiellen wie geistigen Mittel zu nützen, außerordentlich vorteilhaft sind. Auch in einem von Heidelberg 1858 an seinen Freund Renan geschriebenen Brief kommt er auf Grund von Unterhaltungen mit den Privatdozenten zu der Ansicht, daß er das französische System der wissenschaftlichen Karriere bevorzuge, da die Stellung der Privatdozenten in Heidelberg sowohl in pekuniärer Beziehung wie namentlich in Anbetracht der Arbeitsmittel weniger günstig sei. In Bezug auf die Professoren hält er es für fraglich, ob das regelmäßige Unterrichten einer großen Zahl von Schülern in denselben Manipulationen auf die wissenschaftliche Tätigkeit nicht (benso ungünstig wirke, wie in Paris die vielen Examina und die doppelten Stellungen. Den Namen von Bunsen erwähnt er nicht, ebensowenig wie den von Kekulé, den er aber damals in Heidelberg in seinem Laboratorium besucht hatte.

Wie vortrefflich Berthelot die Hilfsmittel in Balards Laboratorium zu benutzen wußte, und wie erfolgreich seine ganze Tätigkeit während der Zeit seiner Assistentenstellung war, zeigen die vielen damals ausgeführten Arbeiten, die zu seinen hervorragendsten gehören, wie diejenigen über Glycerin und einen wesentlichen Teil seiner Synthesen. Mit Genugtuung, aber in seinen Ansprüchen zu weit gehend, sagt er in der 1898 geschriebenen Vorrede zu der Korrespondenz mit Renan in Bezug auf diese Assistentenzeit: »J'étais absorbé par les découvertes qui ont constitué la chimie organique sur une nouvelle base, celle de la synthèse«.

Seinen damaligen Leistungen verdankt es Berthelot, daß ihm im Dezember 1859 die neugegründete Professur für organische Chemie an der École supérieure de pharmacie übertragen wurde, und von diesem Tage an hat sich seine fernere Laufbahn in glänzender Weise entwickelt.

Jetzt gründete er auch bald ein eignes Heim. Im Mai 1861 hat er sich mit Sophie Niaudet verheiratet. Seine im Jahre 1837 geborene Frau stammt aus einer alten Protestantenfamilie, die nach Widerrufung des Edikts von Nantes ausgewandert, aber unter Ludwig XIV. wieder nach Frankreich zurückgekehrt war; ihr Vater war ein Verwandter und Associé des bekannten Konstrukteurs von Präzisionsinstrumenten Breguet. In dem Gratulationsschreiben von Renan,

der in Palästina war, als ihm Berthelot seine bevorstehende Heirat anzeigte, sind folgende schöne Worte enthalten: »Ihr Glück ist für mich keine Frage, denn Ihre Natur ist eine von denen, die man um so mehr liebt, je näher man sie kennt«. Dies hat sich in vollem Maße bewahrheitet. Mit seiner Frau hat er lange Jahre, fast 46, in glücklichster Ehe gelebt, bis der Tod sie an demselben Tage erreichte. Frau Berthelot, eine hervorragende Schönheit und von vortrefflichem Charakter, hatte vom Tage ihrer Verheiratung ihr Streben dahin gerichtet, ihrem Manne das Leben schön und glücklich zu gestalten. Die Brüder de Goncourt, welche Berthelot 1867 in Sèvres besuchten, wo er häufig die Sommer- und Herbstmonate verlebte, und wo er im angenehmsten Verkehr mit seinen Nachbarn, wie Ch. Edmond, J. Bertrand, Renan, Laboulaye, Hetzel und anderen stand, haben uns von der damals 30-jährigen Frau ein poesievolles Bild überliefert, dessen eigentümlicher Reiz nur in der Sprache, in der es entworfen ist, sich vollkommen erkennen läßt¹⁾:

Madame Berthelot une beauté singulière, inoubliable: une beauté intelligente, profonde, magnétique, une beauté d'âme et de pensée, semblable à ces créations de l'extra-monde de Poë. Des cheveux à larges bandeaux presque détachés, à l'apparence d'un nimbe, un calme front bombé, des grands yeux pleins de lumière dans l'ombre de leur cernure, un corps un peu plat avec dessus une robe de séraphin maigre. Et une voix musicale d'éphèbe, et un certain dédain dans la politesse d'une femme supérieure.

Bald darauf war es Berthelot beschieden, an das Collège de France zurückzukehren. Bisher hatte an demselben nur eine Professur der Chemie bestanden. Auf Balards Initiative beantragte das Professorenkollegium die Errichtung eines zweiten Lehrstuhls und zwar für organische Chemie und speziell für Berthelot. Derselbe wurde ihm 1864 provisorisch und dann 1865 definitiv übertragen. Von dieser Zeit bis zu seinem Tode hat er dem Collège de France ununterbrochen angehört. Seine Professur an der École de pharmacie hat er noch bis zum Jahre 1876 beibehalten, sich aber schon vorher einige Mal durch seinen späteren Nachfolger Jungfleisch vertreten lassen.

Die Stellung am Collège de France, welches, seiner ganzen Organisation nach, mehr zur Forschung als zum Unterricht geschaffen ist, war für Berthelots Neigung und Charakter besonders geeignet. Dieses 1530 von François I. gegründete Institut nimmt den Universitäten gegenüber eine unabhängige Stellung ein. Es verfolgt wesentlich den Zweck, neue und im Aufblühen befindliche Zweige der Natur- und

¹⁾ Journal des Goncourt, Bd. 2, S. 174.

Geisteswissenschaften zu fördern und zu entwickeln. Kein Programm regelt die Vorlesungen; diese sind unabhängig von beruflicher Ausbildung, jedem zugänglich und unentgeltlich. Sie richten sich daher auch mehr an Zuhörer, die ihre Studien vollendet haben, als an Studierende. Jeder Professor hält im Laufe des Jahres vierzig Vorlesungen, und zwar wöchentlich zwei von einer Stunde, freilich von einer geschlagenen Stunde ohne unser akademisches Viertel. Diese Vorlesungen sind in zwei Semester von Anfang Dezember bis gegen Ende Juli verteilt. Der Umstand, daß am Collège de France keine Examina stattfinden, war für Berthelot vor allem erwünscht, da er das Abhalten derselben als einen bedauerlichen Zeitverlust ansah. In einem Brief an Renan sprach er sich darüber in folgender Weise aus. »Es ist eine der albernsten Ideen, Männern von Bedeutung und Initiative ihre Zeit zu rauben, damit sie Anfänger Dummheiten sagen lassen.«

Am 2. Februar 1864 hat Berthelot in seiner neuen Stellung seine Vorlesungen begonnen und als Gegenstand die méthodes générales de synthèse en chimie organique gewählt, welche also die Arbeiten, die seinen Ruhm wesentlich begründet hatten und mit denen er gerade beschäftigt war, betreffen. Dieser Zyklus umfaßt 32 Vorträge und ist noch in demselben Jahre in Buchform erschienen. In der ersten Vorlesung hat er aufs dankbarste und schönste seines Lehrers Balard gedacht, dem er in erster Linie seine Stellung verdankte. Im darauffolgenden Jahr trug er über Thermochemie vor, welche er auch in der Folge abwechselnd mit Gasanalyse, allgemeinen Methoden der Reduktion häufig zum Gegenstand seiner Vorträge machte, in denen er seinen Zuhörern gerne die ersten Früchte seiner Untersuchungen mitteilte. Auch legte er Wert darauf, ausführlich die Methoden, die er bei seinen Arbeiten benutzte, zu entwickeln, seine Apparate vorzuzeichnen und deren Anwendung zu demonstrieren. So ging er ganz eingehend auf die Anfertigung und Benutzung zugeschmolzener Röhren, sowie die dabei notwendigen Vorsichtsmaßregeln ein. Abgesehen von einigen Vertretungen, hatte er die Vorlesungen am Collège de France bis 1898 beibehalten; von diesem Moment an ließ er sich dauernd vertreten. Das Auditorium, welches von den beiden Professoren der Chemie gemeinschaftlich benutzt wurde und auch jetzt noch benutzt wird, ist nicht sehr groß, war aber geräumig genug, da bei den Vorlesungen, die ja keinem bestimmten Studienplan entsprachen, die Zahl der Zuhörer nie eine große war und sein konnte.

Sein Laboratorium hatte Berthelot in Räumen eingerichtet, die zum Teil von Balard abgetreten waren, und die später etwas vermehrt wurden; doch erfuhr es in den 42 Jahren, in denen er in demselben

arbeitete, keine wesentliche Verbesserung, obwohl es nicht als zweckmäßig und genügend bezeichnet werden konnte. Die Zimmer in der unteren Etage, in denen die Schüler arbeiteten, waren beschränkt und düster. Die in der ersten Etage befindlichen Räume, namentlich derjenige, in dem Berthelot seine thermochemischen Arbeiten ausführte, waren hell und geräumig. Doch wurden nach Louguinine die Messungen durch die unzureichende Heizung erschwert.

Der Besuch der Laboratorien des Collège de France ist nur solchen Personen gestattet, die von den betreffenden Professoren dazu ausdrücklich autorisiert werden. Berthelot war in der Wahl derjenigen, die er in sein Laboratorium aufnahm, sehr vorsichtig. Er wählte unter den Schülern, die sich um Plätze bewarben, die tüchtigsten aus, um ihm als Mitarbeiter bei seinen Untersuchungen behilflich zu sein. Hierbei unterstützte ihn seine große Fähigkeit, Menschen zu beurteilen. Bei Ausländern zog er häufig brieflich Erkundigungen ein, ehe er einen Platz vergab. Die Zahl der Praktikanten war immer eine kleine. Die Arbeiten beschränkten sich ausschließlich auf Berthelots eigenes Untersuchungsgebiet. Er gab nicht nur die Ideen, sondern meist auch alle Details der Ausführung an. Eine Schule der Chemie in dem Sinne wie die von Würtz, in der sich um den Meister auch fortgeschrittene Chemiker gruppieren, die nach eigenen Ideen Arbeiten ausführen und gegenseitig anregend auf einander wirken, hat Berthelot nicht begründet. Es entsprach dies auch nicht seinen Neigungen wie seinem Charakter. Er war seiner Natur nach viel mehr Forscher als Lehrer. Im Verkehr mit denen, die mit ihm arbeiteten, soll er nicht gerade liebenswürdig, doch stets vollkommen gerecht gewesen sein; auch hätte er immer gesucht, diejenigen, welche er für fähig hielt, zu fördern und ihre Karriere zu erleichtern.

In den Ferien hat Berthelot häufig Reisen gemacht, sowohl in Frankreich selbst wie nach Italien, der Schweiz, Deutschland und in späterer Zeit nach England, Holland, Norwegen und Schweden. Im Jahre 1869 gehörte er zu den Gelehrten, die zur Eröffnungsfeier des Suezkanals eingeladen waren. Von französischen Chemikern befanden sich außer ihm unter den Teilnehmern Balard, Paul Thenard und Würtz. Er war unter denselben der jüngste. Aus der Einladung geht hervor, wie hoch er schon damals in Ansehen stand. Dieser Besuch Egyptens, sowie der Verkehr mit den hervorragenden Egyptologen hat auf ihn einen wichtigen Einfluß ausgeübt; er hat ihn veranlaßt, sich mit den Anfängen unserer Wissenschaft zu beschäftigen und so den Anstoß zu seiner späteren großartigen Tätigkeit als Forscher auf dem Gebiet der Geschichte der Chemie gegeben.

Ein reger persönlicher Verkehr brachte ihn nicht nur in nähere Beziehungen mit seinen wissenschaftlichen Kollegen, sondern auch mit

den hervorragendsten künstlerischen und literarischen Kreisen. So nahm er von 1864 an häufig an den berühmten diners Magny teil, welche Gavarin und Sainte-Beuve begründet hatten. In dem auf dem linken Seineufer gelegenen, aber jetzt nicht mehr bestehenden Restaurant Magny vereinigten sich alle 14 Tage, außer den Genannten, eine Reihe hervorragender Männer, wie Taine, Flaubert, Theophile Gautier, Charles Edmout, Renan, Schérer, die beiden Goncourt, zu denen im Laufe der Jahre sich noch viele andere bedeutende Persönlichkeiten hinzugesellten. Wie aus dem »Journal des Goncourt« hervorgeht, wurden alle große Fragen des menschlichen Lebens und Wissens aufs eifrigste und auch manches Mal leidenschaftlich besprochen. Berthelot nahm sofort in diesem Kreis eine hervorragende Stellung ein und zeichnete sich durch Originalität und Kühnheit seiner Ideen aus. Gleich nach seinem ersten Erscheinen bezeichnen die de Goncourt ihn als einen grand et brillant imagineur d'hypothèses, und eine Reihe von Jahren später sagt Edmond de Goncourt von Berthelot, daß er ihn zu den drei sehr großen Geistern und den drei sehr großen Erzeugern wirklich origineller Gedanken, die er im Leben kennen gelernt habe, hinzuzähle.

Auch aus sonstigen Urteilen geht hervor, daß er auf diejenigen, welche ihn kennen lernten, sofort einen bedeutenden Eindruck machte. Er war mittlerer Größe, hatte eine gewaltige Stirn, graue, glänzende und durchdringende Augen. Louguinine, der ihn 1869 in seinem Laboratorium aufsuchte, schildert dies folgendermaßen: »Berthelot machte auf mich einen außerordentlich bedeutenden Eindruck; er war im kräftigsten Mannesalter, ging jedoch schon damals stark gebückt, war aber voll von Leben und Energie. Er besaß einen ungeheuren Reichtum an allgemeinen Ideen und Methoden, um die Schwierigkeiten zu überwinden, die sich im Laufe der Arbeiten zeigten.« Daß er durch sein ganzes Leben hindurch bis in sein hohes Alter auch von seinen wissenschaftlichen Kollegen in der gleichen Weise beurteilt wurde, ist unter anderem auch von dem berühmten Mathematiker Darboux in einem Nekrolog¹⁾ in folgender Weise ausgesprochen worden: »Ich war während mehr als 20 Jahren sein Amtsgenosse an der Académie des Sciences, während fast 7 Jahren sein Mitarbeiter als ständiger Sekretär; wir haben zusammen an den Sitzungen unzähliger Kommissionen teilgenommen. Überall und immer konnte ich mich nicht enthalten, das Persönliche und wirklich Neue in der Art und Weise, in der Berthelot die allerverschiedenartigsten Fragen auffaßte, zu bewundern. Aber sein Gedächtnis war es nicht allein,

¹⁾ Journal des Savants, 1907.

welches ihm diente; sein mächtiges Gehirn erlaubte ihm, lange im voraus eigene und originelle Theorien zu bilden, welche er gerne entwickelte und die ihm als Führer in den Einzelfällen dienten. Alles interessierte ihn, alles zog ihn an.«

Schon in jungen Jahren war Berthelot als überzeugter Republikaner viel mit bedeutenden liberalen Politikern in Verkehr getreten und hatte große Hoffnungen auf die Februar-Revolution gesetzt. Nach der Errichtung des Kaiserreichs hat er sich eng an Gleichgesinnte wie Ferdinand Héroid, Emile Olivier, Ernest Picard, Clamagran angeschlossen. In seinen Gedächtnisreden hat Berthelot dieser freundschaftlichen Beziehungen gedacht.

Nach dem Sturz des Kaiserreichs nahm er dann einen hervorragenden Anteil an dem öffentlichen Leben. Er hatte, ehe Paris eingeschlossen war, seine Kinder in der Provinz untergebracht, war aber dann mit seiner Frau nach der Hauptstadt zurückgekehrt, um seinem Vaterland sein Wissen und sein Können zur Verfügung zu stellen. Berthelot wurde Präsident des am 2. September 1870 gebildeten Comité scientifique pour la défense de Paris, welchem als Mitglieder d'Almeida, Breguet, Fremy, Jamin, Ruggieri und Schützenberger angehörten. In einem Artikel: *les savants pendant le siège de Paris*¹⁾ hat er die Tätigkeit dieser Kommission geschildert und namentlich ausführlich die Versuche besprochen, die den Zweck verfolgten, die eingeschlossene Hauptstadt mit dem übrigen Frankreich in Verbindung zu setzen. Er selbst nahm den regsten Anteil an dem Plan, das Wasser der Seine zu benutzen, um durch elektrische Zeichen von außerhalb Nachrichten nach Paris zu bringen. Nachdem derselbe entworfen war, verließ der Physiker d'Almeida mittels Ballon die Hauptstadt; obwohl er mit der größten Energie und Hingabe alle Schwierigkeiten zu überwinden suchte, gelang es ihm nicht, rechtzeitig seine Apparate in Tätigkeit zu setzen. Eine wichtige Frage, mit der sich Berthelot speziell als Chemiker beschäftigte, betraf die Möglichkeit, bei Mangel an Schießpulver, innerhalb der Wälle von Paris Salpeter zu gewinnen. Den interessanten Bericht hierüber, sowie die daran geknüpften historischen Schilderungen hat er während der Belagerung der Société chimique vorgelegt, und ebenso hat er während dieser Zeit sich eingehend mit dem Studium der Explosivstoffe befaßt und seine Resultate in einer Reihe wichtiger Abhandlungen der Akademie des Sciences mitgeteilt, die, auch während Paris eingeschlossen war, regelmäßig ihre Sitzungen abgehalten hatte.

Auf diese Epoche zurückblickend und mit Bezugnahme auf seine bisher rein wissenschaftliche Tätigkeit sagt Berthelot: depuis 1870 mes

¹⁾ Science et Philosophie, 416.

visées se sont élargies par suite de la nécessité de remplir de nouveaux devoirs à l'égard de la patrie vaincue et abaissée¹⁾. Auch in dem Briefwechsel mit Renan zeigt sich seit dem Sturz des Kaiserreichs ein stärkeres Hervortreten des politischen Interesses. Während früher neben dem rein Persönlichen in erster Linie allgemein wissenschaftliche und kulturhistorische Gegenstände den Hauptinhalt der Briefe ausmachen, nehmen jetzt die Angelegenheiten Frankreichs, seine Regierung und Zukunft einen wesentlichen Teil ein. Obgleich ihm nun eine Reihe wichtiger staatlicher Funktionen anvertraut wurden, so zeigt doch sein intensiv wissenschaftliches Forschen keine Abnahme. Im Jahre 1876 wurde ihm die einflußreiche Stellung eines Inspecteur général de l'enseignement supérieur übertragen, und gleichzeitig wurde er Präsident der section des sciences physiques de l'École des Hautes Etudes. Das Collège de France wählte ihn zum Mitglied des Conseil supérieur de l'Instruction publique, dessen Vizepräsident er dann wurde.

Infolge seiner Untersuchungen über Explosivstoffe schlug ihn die Académie des Sciences als Mitglied einer konsultativen Kommission zur Beurteilung der Schießpulver vor, und dann wurde er 1878 Präsident der Commission des substances explosives.

Der Senat erwählte ihn 1881 zu seinem lebenslänglichen Mitglied; er schloß sich der Gruppe der Union républicaine an. Als Senator hat er wiederholt an den Diskussionen teilgenommen, welche den Unterricht betreffen, den er immer bestrebt war, zu fördern und von allen klerikalischen Einflüssen zu befreien.

So wurde er im ungefähren Alter von fünfzig Jahren in Frankreich eine der einflußreichsten Persönlichkeiten in Bezug auf Unterricht und Wissenschaft. Er verdankt dies in erster Linie seiner hervorragenden Persönlichkeit, seinem ungewöhnlichen enzyklopädischen Wissen, seiner Arbeitskraft und Arbeitsfreudigkeit, aber auch seiner politischen Stellung, als großer Patriot, überzeugter Republikaner und Freidenker. Seine politischen Ansichten hatten ihn mit den hervorragendsten Staatsmännern, die nach der definitiven Befestigung der Republik, die Gesetze Frankreichs leiteten, in regen und intimen Verkehr gebracht. Inbetreff der Chemie nahm Berthelot von dieser Zeit an, und namentlich nach dem Tode von Würtz, dieselbe Stellung ein, die in einer früheren Epoche, und vor allem unter dem zweiten Kaiserreich, Dumas inne hatte. In seinem Namen konzentrierte sich gewissermaßen die Chemie Frankreichs. Er war ihr berufenener Vertreter geworden. Diese Stellung brachte naturgemäß auch Nachteile hervor. Da Berthelot lange Zeit ein Gegner der Atom-

¹⁾ Science et Morale, IV.

theorie blieb, so konnten die neueren Ansichten der Chemie nur viel schwieriger und erst später in die französischen Schulen und Lehrbücher eindringen, als in anderen Ländern.

Um diese Zeit ging ein alter Lieblingswunsch von Berthelot in Erfüllung. Am Schlusse seiner *Chimie organique fondée sur la synthèse* hat er 1860 die Ansicht ausgesprochen, daß es für die Zukunft eines der wichtigsten Probleme der Chemie sei, in den Pflanzen selbst die Vorgänge, welche die Bildung der in ihnen vorhandenen Substanzen bedingen, zu studieren. Da derartige Versuche in einem mitten in einer großen Stadt gelegenen Laboratorium nicht möglich sind, so hatte er die nötigen Schritte getan, daß ihm ein dazu geeignet gelegenes Institut errichtet werde. Im Januar 1883 wurde ihm ein 4 $\frac{1}{2}$ Hektar großes Grundstück, welches zu dem 1870 zerstörten Schloß von Meudon gehörte, und noch einige Hektar Wald zur Verfügung gestellt. Auf dem herrlich gelegenen Terrain, einem der höchsten Punkte in der unmittelbaren Umgebung von Paris, mit prachtvoller Aussicht auf das Seinethal und die Stadt hat Berthelot die *Station de chimie végétale* als Annex des Laboratoriums der organischen Chemie des Collège de France errichtet. Dieselbe besteht aus zwei im Stil einfachen, aber geschmackvoll und zweckmäßig gebauten Häusern. Das erste enthält das chemische Laboratorium für den Direktor und zwei Assistenten mit einer Reihe von Nebenräumen und der Bibliothek. In dem zweiten Gebäude befindet sich eine geräumige Wohnung des Direktors und damit zusammenhängend ein großes Laboratorium für elektrische Versuche und Photographie. In einiger Entfernung befindet sich ein 28 m hoher Turm, der für das Studium des Einflusses der atmosphärischen Elektrizität auf die Vegetation bestimmt war, und von dem man einen ausgedehnten Überblick über die ganze Gegend hat. Ein Teil des Grundstücks wurde für die verschiedenartigsten Kulturen hergerichtet und in der Mitte derselben noch ein kleines Wohngebäude für den Gärtner erbaut.

Seit der Vollendung dieser Station hat dann Berthelot mit seiner Familie die Sommermonate in dem von Paris leicht zu erreichenden Meudon zugebracht, was jedenfalls viel dazu beigetragen hat, ihn bis ins hohe Alter so geistig regsam und trotz gebückten Ganges auch körperlich frisch zu erhalten. Von dem Moment an, wo die Gebäude in Meudon hergestellt waren, hat er dann weniger als früher große Reisen unternommen, war dagegen im Herbst gern zu Besuch zu Freunden gekommen. So war er mit seiner Frau 1904 einige Wochen bei Louguinine oberhalb Bex im Rhonetal zu Gast und unternahm, obwohl 77 Jahre alt, in voller Frische fast alle Tage Partien in die Berge, bei denen der um 8 Jahre jüngere Louguinine nicht im

Stande war, ihm zu folgen. Auch war er, nach Louguinines Bericht, noch geistig vollkommen frisch, und seine Unterhaltung, die er auf die verschiedenartigsten Gegenstände zu lenken wußte, in hohem Maße interessant und lebhaft. Noch am Tage vor seinem Tode hatte er Meudon besucht und den Weg von der Station Bellevue bis zur Höhe, wie immer, zu Fuß zurückgelegt. So hatte er auch in Paris es möglichst vermieden, zu fahren; um sich durch Gehen frisch zu erhalten.

In politischer Hinsicht war seit seiner Ernennung zum Senator sein Einfluß noch gestiegen, und so wurde ihm im Ministerium Goblet die Stellung als Minister des öffentlichen Unterrichts übertragen, welche er, so lange dies Kabinet dauerte, vom 11. Dezember 1886 bis zum 30. Mai 1887, inne hatte. Er blieb aber während dieser Zeit in der Wohnung, welche ihm, schon ehe er ständiger Sekretär wurde, die Académie des Sciences in ihrem Gebäude zur Verfügung gestellt hatte; auch behielt er seine Professur bei. Er ließ sich für die Vorlesungen vertreten, kam aber, sowie es seine Stellung erlaubte, wenn auch meist nur für kurze Zeit, ins Laboratorium. Ebenso verfuhr er, als er später zum zweiten Male Minister wurde. In das Kabinet Bourgeois trat er am 1. November 1895 als Minister des Äußern ein. Daß er die Leitung der auswärtigen Angelegenheiten übernahm, denen er doch seinem bisherigen Lebensgang nach ferne stand, zeigt, welches große Vertrauen er in seine Fähigkeiten und in seine Arbeitskraft setzte, beweist auch zugleich, in welchem hohen Ansehen er bei seinen politischen Freunden stand. Am 2. März 1896 zog er sich aber von dieser Stellung zurück, da seine Ansichten nicht mehr die Zustimmung seiner Kollegen fanden.

Im Laufe seines Lebens ist Berthelot in reichem Maße mit Ehren überhäuft worden. Im Jahre 1863 wurde er zum Mitgliede der Académie de médecine in Paris ernannt, dann ernannte ihn auf Liebig's Vorschlag als erste ausländische Akademie die von München 1869 zu ihrem auswärtigen Mitglied. 1873 wurde er Mitglied der Pariser Académie des Sciences in der Abteilung für Physik. Jetzt folgten diesen Beispielen in großer Zahl die anderen Akademien und viele wissenschaftliche Gesellschaften. Unserer Deutschen Chemischen Gesellschaft gehörte er seit 1894 als Ehrenmitglied an. Die Académie des Sciences ernannte ihn an Stelle von Pasteur, der aus Gesundheitsrücksichten zurücktrat und der ihn selbst vorschlug (1889), zum lebenslänglichen Sekretär. 1900 wurde ihm die Ehre zuteil, auch von der Académie française unter die Zahl ihrer Mitglieder aufgenommen zu werden. Die Französische Chemische Gesellschaft, deren Präsident er wiederholt war, ernannte ihn 1900 zu ihrem Ehrenpräsidenten.

Im Alter von 34 Jahren wurde er *chevalier de la Légion d'honneur*, erhielt dann im Laufe der Jahre die höheren Grade dieses Ordens und 1896 die höchste Auszeichnung: seine Ernennung als *grand' croix*.

Im neuen Jahrhundert wurde dann Berthelot eine Ehrung von ganz besonderer Großartigkeit und Bedeutung zuteil. Als der Zeitpunkt herannahte, an dem er vor 50 Jahren seine erste wissenschaftliche Arbeit publizierte, bildete sich unter dem Vorsitz von Darboux ein Komitee, um diesen Tag zu einem feierlichen zu gestalten. Die Einladung, sich an dieser Huldigung zu beteiligen, begegnete in Frankreich wie in den übrigen Ländern freudigem Widerhall. Am 24. November 1901 fand die Feier statt, und ihr Verlauf war in jeder Beziehung ein imposanter. Der große Saal der Sorbonne, der auf 3500 Personen berechnet ist, war so überfüllt, daß die Zahl der Anwesenden 3800 erreichte. Wohl nie zuvor hat das Meisterwerk von Puvis de Chavanne, der heilige Hain, auf eine so auserlesene Versammlung herabgeblickt. Unter dem Vorsitz des Präsidenten der Republik, Hrn. Loubet, hatten alle Minister, die Vertreter des Senats und des Hauses der Abgeordneten, die hohen staatlichen Würdenträger, die Mitglieder der Akademien, die ausländischen Delegierten, die Professoren der Universität und der hohen Schulen, viele Senatoren und Deputierte im Saale Platz genommen. Für Frau Berthelot und ihre Familie waren in demselben gleichfalls Plätze reserviert. Auf den Tribünen hatten sich 3000 Eingeladene eingefunden. Der damalige Unterrichtsminister Leygues ergriff zuerst das Wort, dann folgten Darboux, Fouqué, Moissan, Gaston Paris, Guyon, Chauveau, Bouchard. Von fremden Vertretern wurden von Emil Fischer, Ramsay, Gladstone, Reynolds, Lieben und Guareschi Ansprachen gehalten oder Adressen verlesen. Nachdem noch Troost die Namen der ausländischen Gesellschaften, welche Adressen gesandt hatten (die Gesamtzahl aller Adressen belief sich auf 140) mitgeteilt, erhob sich unter jubelndem Beifall Berthelot. Nach bewegten Worten des Dankes schildert er in erhabener Weise die Bedeutung der Wissenschaft und des wissenschaftlichen Forschens und faßte dies in den Ausspruch: *La Science est la bienfaitrice de l'humanité* zusammen.

Darauf überreichte ihm der Präsident der Republik die herrliche von Chaplains Meisterhand geschaffene Plakette, welche in künstlerisch vollendeter Weise uns ein Bild des Jubilars liefert und durch die Nebenfiguren und die Inschriften aufs zutreffendste seine größten Leistungen auf dem Gebiete der Wissenschaften, wie die Ideale, denen er nachstrebte, veranschaulicht. Unter dem herrlich modellierten Kopfe auf der Vorderseite stehen die Worte: »*La Synthèse chimique*« und »*la Science guide l'humanité*«. Auf der wundervollen Rückseite er-

blicken wir Bertholet in sitzender Stellung und sinnend den Blick ins Weite gerichtet; er erscheint uns in einem Moment, indem offenbar seine Gedanken sich zu bedeutenden Ideen kondensierten. Neben ihm schweben zwei Frauengestalten, die Wahrheit, die vor ihm ihren Schleier lüftet, und das Vaterland, das ihm den Lorbeerkranz reicht; unten befindet sich die Inschrift: *Pour la Patrie et la Vérité*. Auf dem Tisch vor ihm stehen die Apparate, welche seine größten Entdeckungen repräsentieren: in unmittelbarer Nähe der Apparat zur Synthese des Acetylens, dicht dabei, doch etwas zurück, die calorimetrische Bombe und dann mehr im Hintergrunde eine der Röhren, die er bei der Einwirkung stiller Entladungen benutzte. In einem reich ausgestatteten Werke, *Cinquantenaire de M. Berthelot*, in dem alle Reden und Adressen ausführlich veröffentlicht sind, ist auch die Plakette abgebildet. Ferner zeigen eine Reihe von Bildern den Jubilar in verschiedenem Lebensalter, vom jungen, aber schon berühmten Assistenten bis zum bejahrten Gelehrten in charakteristischem, etwas nachlässigem Anzug inmitten seiner Kulturen in der Nähe des Turms des Instituts von Meudon.

Der Verlauf von Berthelots Familienleben war ein ebenso reicher wie glücklicher. Seine Söhne, die alle in schöne Lebensstellungen gelangten, haben sich in der Wahl ihres Berufs gewissermaßen in die Fächer, welche ihr Vater in der Gesamtheit mit der Chemie vereinigt hatte, geteilt. Speziell Chemiker ist keiner geworden. Der älteste Sohn André hatte Geschichte studiert, wurde *Maître de Conférences* an der *École des Hautes Études*, wandte sich dann der Politik zu, wurde *Deputierter* und ist jetzt *Administrateur délégué des Métropolitain* in Paris. Sein zweiter Sohn, der Physiker Daniel Berthelot, ist Professor der Physik an der *École de Pharmacie* und seit seines Vaters Tod zugleich mit O. Müntz Direktor der Agronomischen Station in Meudon. Der dritte Sohn, Philippe, hat sich der diplomatischen Laufbahn gewidmet und ist jetzt Direktor im Ministerium des Auswärtigen. Der jüngste Sohn, René, hat die Philosophie zu seinem Fache erwählt, war Professor in Bruxelles, ist aber nach Paris zurückgekehrt, um daselbst seine Karriere zu verfolgen. Beide Töchter haben sich mit Gelehrten von Ruf verheiratet; die älteste mit dem jetzigen Rektor Lyon der Universität Lille und die zweite mit dem Professor Langlois an der Sorbonne. Der erste schwere Schicksalsschlag, der die so glückliche Familie betraf, war der Tod der Frau Lyon, die im Jahre 1895 nach kurzer Krankheit starb. 9 Jahre später verunglückte der 19 Jahre alte Sohn der verstorbenen Tochter bei einem Eisenbahnunfall. Der 77jährige Großvater, getragen von seinem stoischen Mut, war selbst nach der Totenhalle geeilt, um die stark verstümmelte

Leiche seines Enkels zu erkennen; aber die Erinnerung blieb auf ihm lasten. Dieser neue harte Schlag wirkte zerstörend auf Frau Berthelots bis dahin so vortreffliche Gesundheit; im Jahre 1905 zeigte sich eine Herzkrankheit, die gegen 1906 sich verschlimmerte, und dies wirkte auf ihren Gatten zurück.

Folgende Schilderung des tragischen Todes beider Ehegatten hat der Nationalökonom Levasseur als Administrator des Collège de France in seiner Gedächtnisrede entworfen. »Den 18. März 1907 teilte Berthelot seinen Kindern mit, daß ihre Mutter den Tag nicht überleben werde. Was wird aus meinem Manne, wenn ich nicht mehr da bin, fragte häufig die Kranke. Seinerseits sagte Berthelot zu seinen Kindern: ich fühle, daß ich Eure Mutter nicht überleben werde. Als Frau Berthelot den letzten Seufzer ausgestoßen hatte, verließ ihr Gatte das Zimmer und legte sich im Salon auf ein Sofa; einige Augenblicke nachher nahm ihn einer seiner Söhne bei der Hand, um mit ihm zu sprechen; Berthelot lebte nicht mehr«. Der große Schmerz hatte auch sein Herz zum Stillstehen gebracht.

Der unter so tragischen Umständen erfolgte Tod beider Ehegatten brachte in ganz Frankreich einen tiefen Eindruck hervor. Die französische Regierung wünschte, um Berthelot die größten Ehren, über die sie verfügt, zu erweisen, daß seine sterblichen Überreste im Panthéon beigesetzt würden. Da nun die Familie nicht wünschte, daß die Ehegatten, welche der Tod nicht getrennt hatte, im Grabe getrennt würden, so beschloß die Regierung zum ersten Male auch einer Frau die Ehre zu erweisen, im Panthéon beigesetzt zu werden. Am 25. März erfolgte die große öffentliche Beerdigungszeremonie aufs feierlichste, doch Berthelots Ansichten als Freidenker entsprechend ohne Mitwirkung der Geistlichkeit. Nun ruhen Marcelin und Sophie Berthelot in demselben Grab in dem Ehrentempel der Nation. Die Stadt Paris hat als Zeichen ehrenden Andenkens dem Platz vor dem Orte des wissenschaftlichen Wirkens des dahingegangenen Forschers, vor dem Collège de France, den Namen Marcelin Berthelot gegeben. Auf demselben, den die Statue Claude Bernards schmückt, soll auch ein Monument von Berthelot errichtet werden. Die Straße, die in Bellevue von der Avenue du Château sich abzweigend, nach der Station agricole führt, hat den Namen Avenue Marcelin Berthelot erhalten.

Wenn man versucht, sich ein Bild von dem, was Berthelot gearbeitet und geleistet hat, zu entwerfen, so kann man nur staunend und bewundernd sich fragen, wie war es möglich, daß ein und der-

selbe Mann eine solche Fülle vielseitiger und großer Untersuchungen und Werke geschaffen hat. Wie er es selbst, fast siebzig Jahre alt, in der Einleitung zu *Science et Morale* ausgesprochen, hat er während seines ganzen Lebens immer seine volle Energie aufgeboten, um das Maximum der ihm möglichen Leistungen zu erreichen. Unterstützt wurde dies Bestreben durch ein phänomenales Gedächtnis und durch eine außerordentlich methodische Art des Arbeitens. Während des Vormittags, meist von $\frac{1}{2}$ 8 Uhr an, widmete er sich seiner schriftstellerischen Tätigkeit. Ungestört in seinem Studienzimmer entwarf er dann auch die Pläne zu seinen experimentellen Untersuchungen oder verfolgte im Geiste seine Probleme. Vor dem zweiten Frühstück ging er meist nur auf kurze Zeit ins Laboratorium, um sofort nachher, zwischen 1—2 Uhr, seine experimentellen Arbeiten in Angriff zu nehmen, die er dann manches Mal bis spät am Abend verfolgte. In höherem Alter hat er die Zeit, die er im Laboratorium verbrachte, mehr eingeschränkt, dafür aber um so länger am Schreibtisch gearbeitet. Er las außerordentlich viel und zugleich sehr aufmerksam und häufig noch in die Nacht hinein. Bis in die Mitte der siebziger Jahre hat er regelmäßig die chemische Literatur verfolgt und von dem, was er las, kurze Notizen auf einzelne Blätter gemacht und diese sorgfältig in kleine Pappetuis geordnet, deren Zahl nach und nach zu einer ganzen Bibliothek angewachsen ist. Ebenso methodisch hat er seine Laboratoriumshefte geführt. Diese zeigen, wie vielerlei Probleme er gleichzeitig in Angriff nahm. In kleiner Schrift und mit vielen Abkürzungen verzeichnet (er die Experimente und fügte dann hinzu, ob sie fortgesetzt, vollendet oder ohne Resultat geblieben, redigiert und wo sie publiziert sind, was er meist nur durch einen Buchstaben ausdrückte. Alle seine Abhandlungen und Werke hat er eigenhändig geschrieben, soweit er nicht bei späteren Publikationen Ausschnitte aus früher gedruckten benutzen konnte, wovon er, wie aus seinen Abhandlungen und Werken hervorgeht, sehr häufig Gebrauch machte.

Wie ausdauernd und intensiv Berthelot noch im hohen Alter imstande war zu arbeiten, geht u. a. daraus hervor, daß er für die im Jahre 1897 publizierte Thermochemie nach einer in der Vorrede enthaltenen Angabe sich der Mühe unterzogen hatte, alle Berechnungen der calorimetrischen Werte auf Grundlage der Originalarbeiten zu wiederholen. Seine Rechnungen, die er mit großer Leichtigkeit durchführte, erforderten ganze Stöße von Papier. In hohem Maß bewundernswert ist es, daß er, bald sechzig Jahre alt, neben seinen vielerlei naturwissenschaftlichen Arbeiten, historische Forschungen in Angriff nahm, und daß es ihm gelungen ist, das gewaltige Material, welches in seinen Werken über Alchemie enthalten ist, zu bewältigen.

Die Gesamtheit seiner Publikationen zeigt eine Universalität des Wissens, wie sie nur ganz auserlesenen Geistern möglich ist. Hieraus ist nun auch die große allgemeine Bewunderung, die ihm dargebracht wurde, entsprungen. Seine Bedeutung als Forscher beruht aber auf seinen chemischen Untersuchungen. Doch ist Berthelot immer bestrbt gewesen, sie mit philosophischem Geiste zu durchdringen, und sein Streben ist stets dahin gegangen, die beobachteten Erscheinungen zu verallgemeinern und allgemein gültige Gesetze und Methoden aufzufinden. Von diesem Gesichtspunkt muß man ausgehen, wenn man seine Arbeiten gerecht beurteilen will. Die einzelnen chemischen Individuen interessieren ihn meist nur, insofern sie als Bausteine für seine Probleme dienen. Daher hat er bei seinen experimentellen Untersuchungen nicht den Grad der Genauigkeit erstrebt und erreicht, der in vielen Fällen wünschenswert gewesen wäre. Häufig hat er es bei den organischen Arbeiten unterlassen, die Identität oder Zusammensetzung der von ihm erhaltenen Verbindungen durch Analysen zu belegen. Vertrauend auf seinen großen Scharfblick, hat er sich gerne auf qualitative Reaktionen beschränkt, und es ist bewunderungswert, daß er meist das Richtige traf. Auch bei seinen physikochemischen Untersuchungen legte er in erster Linie einen großen Wert darauf, große Gesetze von allgemeiner Gültigkeit aufzustellen.

Der Flugweite seines Genies folgend, hatte Berthelot sich ein großes Lebensziel gesetzt. Er wollte für das neunzehnte Jahrhundert das werden, was Lavoisier im achtzehnten war. Auch von ihm sollte eine Reform der Chemie ausgehen, welche er auf Synthese und im Anschluß an dieselbe auf die chemische Mechanik und die Thermochemie begründen wollte. Er suchte sie also wesentlich durch seine Arbeiten und seine Anschauungen zu verwirklichen. Da er nun eine ebenso geniale wie selbstbewußte Persönlichkeit war, mit deren großen Vorzügen, aber auch mit deren Fehlern, so stand er den von anderen Forschern ausgehenden Gedanken und Theorien meist fremd oder ablehnend gegenüber. Es erklärt dies, daß er bei Inangriffnahme eines Arbeitsgebiets sofort durch hervorragende und originelle Untersuchungen in hohem Maße fördernd wirkte, später aber auf denselben Gebieten, infolge zu langen Festhaltens an Ansichten, welche die fortschreitende Wissenschaft überwunden hatte, keinen ausschlaggebenden Einfluß mehr ausübte, vielleicht auch manches Mal der weiteren Entwicklung hindernd im Wege stand. Die hohe Meinung, die er mit Recht von seinen Untersuchungen hatte, ist wohl die Ursache, daß er häufiger, als es ein Forscher, dem so große Anerkennung zu teil wurde, nötig hatte, seine eigenen Leistungen hervorhob, während er die Arbeiten anderer nicht oder nur ungenügend erwähnte und ihnen auch nicht

immer gerecht wurde. Dieser Umstand hat dann auch wiederholt Reklamationen und Kontroversen zur Folge gehabt.

Auf allen Gebieten der Chemie hat Berthelot Untersuchungen ausgeführt und auf allen ist er zu hervorragenden Entdeckungen gelangt. Die Arbeiten über organische Verbindungen dürfen wir aber als die bedeutendsten ansehen, ihnen reihen sich dann die über chemische Mechanik und die thermochemischen an. Bewundernswert ist es zu sehen, mit welcher Leichtigkeit er von einem chemischen Gebiet auf ein anderes übergeht. Wenn es bei oberflächlicher Betrachtung scheinen kann, daß diese Übergänge unvermittelt erfolgten, so lehrt doch ein näheres Studium, daß, mit wenigen Ausnahmen, alle Untersuchungen derselben Quelle entstammen. Sie haben sich in logischer Weise aus den ersten Arbeiten auf organischem Gebiete entwickelt. Es gewährt nun einen besonderen Reiz, diesen Zusammenhang zu verfolgen, was durch die eigenen Angaben Berthelots sehr erleichtert wird.

Zur Gewinnung einer leichteren Übersicht, soll im Folgenden der Versuch gemacht werden, sein fast 60 Jahre umspannendes Lebenswerk in Perioden einzuteilen, obwohl bei dem ununterbrochenen Fortschreiten der Untersuchungen es nicht möglich ist, ganz scharfe Grenzen zu ziehen. Jeder dieser Zeitabschnitte läßt sich wohl am besten durch das Arbeitsgebiet charakterisieren, welches in denselben das vorherrschende ist oder, wie in der letzten Periode, als neu hinzutritt. Wie sich dann die übrigen Untersuchungen in die einzelnen Abteilungen einschalten, oder in welchem Zusammenhang sie mit den vorangehenden stehen, kann erst die ausführlichere Besprechung zeigen.

1. Die erste organische Periode 1850—1860. In ihr bilden die Untersuchungen über Alkohole und speziell die mehratomigen, sowie die über Synthese der Kohlenwasserstoffe und der Alkohole den wesentlichen Grundpfeiler. Die Veröffentlichung des großen Werkes über Synthese im Herbst 1860 kann als ihr Abschluß angesehen werden.

2. Zweite organische Periode von 1861—1869. Sie ist in erster Linie charakterisiert durch die Untersuchung und die Synthesen des Acetylens, des Benzols und der kohlenstoffreicheren Teerbestandteile. Zu ihr gehören ferner die Arbeiten von Berthelot und Péan de Saint-Gilles über Bildung und Zersetzung der Ester, welche die Brücke von den Untersuchungen auf dem Gebiete der organischen Chemie zu dem der physikalischen bilden. Der Schluß dieses Zeitabschnitts entspricht den Reduktionsversuchen organischer Verbindungen durch Jodwasserstoff.

3. Hauptperiode der Thermochemie 1869—1885. Außer den thermochemischen Untersuchungen nehmen, im Zusammenhang mit denselben, diejenigen über Explosivstoffe die hervorragendste Stellung ein. Ferner gehören dieser Zeit auch die mittels stiller Entladung erhaltenen Entdeckungen, wie des Überschwefelsäure-Anhydrids, an.

4. Periode der Agrikulturchemie und der Geschichte der Chemie 1885—1907. Zu der Fortsetzung thermochemischer Arbeiten treten die über Agrikultur- und Pflanzenchemie, sowie die geschichtlichen Forschungen hinzu. Auch hat Berthelot in dieser Periode die Werke veröffentlicht, in denen er Aufsätze verschiedenen Inhalts, über Philosophie, Bedeutung der Wissenschaft, Reden und biographische Notizen zusammengestellt hat.

1850—1860.

Nachdem Berthelot 1850 eine Arbeit über Ausdehnung von Flüssigkeiten und Kondensation von Gasen veröffentlicht hatte, erschien 1851 seine erste Untersuchung auf organischem Gebiete, die Zersetzung von Alkohol und Essigsäure bei Rotglut, also über eine Reaktion, mit der er sich in der Folge häufig befaßte. Es war schon früher wiederholt beobachtet worden, daß bei Einwirkung hoher Temperatur auf Alkohol eine krystallinische Substanz entsteht, von der Reichenbach nachwies, daß sie mit Naphthalin identisch ist. Berthelot zeigte, daß auch Benzol und Phenol auftreten, und daß Essigsäure beim Durchleiten durch eine glühende Röhre Naphthalin und Benzol liefert. An diese Beobachtung knüpft er Bemerkungen, die für seine spätere Entwicklung sehr charakteristisch sind und schon das große Ziel zeigen, welches er zu erreichen strebte. Nach denselben führt der Versuch mit Essigsäure zu der besonders wichtigen Schlußfolgerung, daß die Synthese, d. h. die theoretische Bildung von Naphthalin und Benzol und wahrscheinlich auch des Phenols aus den Elementen, als Tatsache angesehen werden kann, da sich nach Kolbe aus Schwefelkohlenstoff die Trichloressigsäure und aus dieser nach Melsens die Essigsäure selbst erhalten läßt. Hervorzuheben ist noch, daß diese Abhandlung¹⁾ zu den ersten²⁾ gehört, in welchen der Ausdruck Synthese für die Bildung organischer Verbindungen in Anwendung gekommen ist.

¹⁾ Ann. chim. phys. [3] 33, 295 [1851].

²⁾ Williamson hatte schon die Bildung von Äthylmethyläther aus Natriumäthylat und Jodmethyl als eine Synthese bezeichnet, Phil. Mag. [3] 37, 350 [1850]; Ann. d. Chem. 77, 41 [1851].

Dann folgen 1852 die Untersuchungen über Terpentinöl, welche sofort zu wichtigen und grundlegenden Beobachtungen führten. Es war seit langer Zeit bekannt, daß das Terpentinöl sich mit Salzsäure zu einem Chlorhydrat, $C_{10}H_{16}, ClH$, verbindet. Berthelot fand nun, daß bei lang dauernder Einwirkung von Chlorwasserstoff auf in Alkohol oder Äther gelöstes Terpentinöl ein Dichlorhydrat entsteht, und daß dieses mit dem aus Citronenöl identisch ist. Einige Zeit später entdeckte er die erste isomerische Umwandlung des Terpentinöls, die Bildung des von ihm Isoterebenthen genannten Kohlenwasserstoffs und dann 1858 das Camphen beim Erwärmen des Terpenchlorhydrats mit Seife oder benzoesaurem Natrium. Auch beobachtete er schon damals, daß das Camphen durch Einwirkung des Sauerstoffs der Luft bei Gegenwart von Platinschwarz in eine mit Campher identische oder sehr ähnliche Substanz übergeht. 1870 gab er dann bestimmt an, daß bei der Oxydation des Camphens sich wirklich Campher bildet, und zwar reichlich bei Anwendung von Chromsäure. Dieser Vorgang wurde in Berthelots Laboratorium von Riban genauer studiert. So beruht die seit einigen Jahren erfolgreich durchgeführte industrielle Darstellung des Camphers auf jener jetzt vor genau 50 Jahren veröffentlichten Jugendarbeit Berthelots.

Kurze Zeit nach den ersten Mitteilungen über Terpentinöl erschienen jene Untersuchungen, welche sofort seinen Ruf als Forscher begründet haben; es sind dies die klassischen Untersuchungen über Glycerin, und zwar speziell über die Verbindungen, welche aus demselben durch Einwirkung von Säuren entstehen. Bekannt waren damals nur die von Pelouze aufgefundene Glycerinschwefelsäure und Glycerinphosphorsäure, das von Pelouze und Gelis aus Glycerin und Buttersäure erhaltene Butyrin, sowie das von Sobrero entdeckte Nitroglycerin.

Die in den Jahren 1853—1854 veröffentlichten Abhandlungen bilden eine wesentliche Grundlage unserer Kenntnisse über die Derivate des Glycerins. Berthelot zeigte, daß aus demselben durch Erhitzen mit Stearinsäure, Palmitinsäure und Ölsäure die natürlichen Fette aus ihren Spaltungsprodukten wieder aufgebaut werden können, und lieferte den Nachweis, daß sie auf 1 Molekül Glycerin 3 Moleküle Säure enthalten. Zugleich entdeckte er, daß aus Glycerin, je nachdem es bei höherer oder niedriger Temperatur mit Säuren erhitzt wird, drei Reihen von Estern entstehen, und zog aus seinen Versuchen die wichtige Schlußfolgerung, »daß das Glycerin dem Alkohol gegenüber dieselbe Beziehung zeigt, wie die Phosphorsäure der Salpetersäure gegenüber«¹⁾. Damit legte er das Fundament zur Theorie der

¹⁾ Compt. rend. 38, 668 [1854].

mehratomigen Alkohole. Weniger glücklich war die Ergänzung obigen Satzes durch den Vergleich der drei Reihen der Glycerinester mit den neutralen Salzen der Phosphorsäure, der Pyrophosphorsäure und der Metaphosphorsäure.

Mit Bezugnahme auf diese Untersuchungen¹⁾ und im Anschluß an eine Mitteilung von Williamson über Nitroglycerin bezeichnete 1855 Würtz das Glycerin als dreisäurigen Alkohol und veranschaulichte dies durch eine der Typentheorie entsprechende Formel. Berthelot, der damals nur Bruttoformeln in Anwendung brachte, bevorzugte die Bezeichnung »driatomiger« Alkohol und verallgemeinerte diese zu dem Begriff der mehratomigen Alkohole, den er sofort auf Mannit und die Zuckerarten anwandte. Eingehend hat er, um dieses zu ermitteln, die Ester des Mannits untersucht und ist dabei auch zur Entdeckung des Mannitans gelangt; er zeigte, daß von diesem die von ihm dargestellten Mannitester sich ableiten. In der ausführlichen Abhandlung hat er den Ausdruck *alcools polyatomiques* zuerst in die Wissenschaft eingeführt¹⁾.

Angeregt durch die Erkenntnis, daß das Glycerin als dreiwertiger Alkohol aufzufassen ist, macht Würtz 1856 die für die Theorie der mehratomigen Alkohole wichtige Entdeckung der Glykole. So haben sich die Arbeiten der beiden großen Rivalen, die in Frankreich die Hauptvertreter der sich gegenüber stehenden theoretischen Ansichten waren, aufs glücklichste ergänzt. Berthelot hat dies in der schönen biographischen Notiz auf Würtz, die er zwei Tage nach dessen am 12. Mai 1884 erfolgten Tod geschrieben hatte, ausdrücklich hervorgehoben²⁾.

Wir verdanken Berthelot die Entdeckung einer Reihe wichtiger Glycerinderivate, wie der drei Chlorhydrine, des Epichlorhydrins, der Bromhydrine und des Allyljodids, welches er in Gemeinschaft mit de Luca 1854 auffand. Bis dahin war die Kenntnis der Allylverbindungen auf die im Pflanzenreich vorkommenden, auf die des Senföls und des Knoblauchöls, sowie einiger aus denselben dargestellten Substanzen beschränkt. Die gleichzeitig von Berthelot und der Luca und von Zinin durchgeführte Synthese des Senföls mittels des damals noch als Jodpropylen bezeichneten Glycerinabkömmlings lieferte den Beweis für den Zusammenhang dieses Jodids mit den natürlichen Allylverbindungen. Eine große Zahl neuer Körper wurde nun mit Hilfe des Allyljodids von Berthelot und de Luca selbst, von Cahours und Hofmann, die den Allylalkohol entdeckten, und anderen Chemikern dargestellt. Es bildete fast ausschließlich das

¹⁾ Ann. chim. phys. [3] 47, 297 [1856]. ²⁾ Science et Philosophie, 249.

Ausgangsmaterial für die Allylgruppe, bis es Tollens und Henninger gelang, direkt Allylkohol aus Glycerin darzustellen. Die Auffindung des Allyljodids hatte Berthelot und de Luca auch zu einer geeigneten Darstellungsmethode des früher schwer zu gewinnenden Propylens geführt.

Im ganzen Verlauf der funfziger Jahre hat sich Berthelot wiederholt mit den Zuckerarten beschäftigt. Er wies nach, daß Sorgho- und Ahornzucker, ebenso der im Johannisbrot enthaltene Zucker mit Rohrzucker identisch sind. Aus der Trehalamanna isolierte er eine Zuckerart, die er Trehalose nannte, aus den jungen Trieben des Lärchenbaums, der sog. Manna von Briançon, die Melezitose und aus der australischen Manna die Melitose. Auch ist er nochmals 1860 auf die Verbindungen zurückgekommen, welche aus verschiedenen Zuckerarten durch Einwirkung der Säuren entstehen, und durch die er seine Ansicht, daß die Zucker zu den mehratomigen Alkoholen gehören, begründete.

Die Esterbildung hat Berthelot auch benutzt, um von einigen Verbindungen den Alkoholcharakter festzustellen. Er zeigte, daß Borneol, Cholesterin und Mekonin beim Erhitzen mit Säuren Ester bilden und daher als Alkohole zu betrachten sind. In der ausführlichen Abhandlung hierüber¹⁾ hat er nun für Alkohole eine Definition gegeben, welche von der gebräuchlichen sich dadurch unterscheidet, daß sie keinen Hinweis auf die Konstitution enthält, während in den damaligen Werken, je nach den von den betreffenden Chemikern bevorzugten Konstitutionsformeln, die Alkohole als Hydrate organischer Oxyde oder als Verbindungen vom Wassertypus, in dem die Hälfte des Wasserstoffs durch Alkoholradikale ersetzt ist, bezeichnet wurden. Nach ihm sind Alkohole alle aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff zusammengesetzten neutralen Substanzen, welche mit Säuren unter Elimination von Wasser neutrale Verbindungen bilden, die fähig sind, unter Wiederaufnahme der Elemente des Wassers die Substanzen zu regenerieren, aus denen sie entstanden waren.

Fast gleichzeitig mit dieser großen Reihenfolge von Untersuchungen über Alkohole sind die Arbeiten über die eigentliche Synthese erschienen. Als wichtiges Anfangsglied ist die Reproduktion von Alkohol aus Äthylen zu bezeichnen. Faraday hatte zuerst beobachtet, daß Äthylen von Schwefelsäure absorbiert und in eine Säure übergeführt wird. Hennell wies nach, daß diese Säure mit Äthylschwefelsäure identisch ist, und daß aus derselben wieder Alkohol regeneriert werden kann. Schon 1828 sprach er es bestimmt aus, daß

¹⁾ Ann. chim. phys. [3] 56, 51 [1859].

so ein Weg gegeben sei, um vom Äthylen zum Alkohol zu gelangen. Liebig nahm aber auf Grund der Wiederholung dieser Versuche an, daß Faradays Äthylen eine Beimengung von Äther oder Alkohol enthalten habe. So kam es, daß die Resultate von Hennell in den meisten Hand- oder Lehrbüchern nicht erwähnt oder nicht als sicher angesehen wurden, obwohl man nach Faradays Originalabhandlung annehmen muß, daß derselbe mit Äthylen aus Ölgas gearbeitet hat. Daher war es sicherlich von der größten Wichtigkeit, daß diese Frage endgültig festgestellt wurde. Dies erfolgte 1855 durch Berthelot, der bestimmt nachwies, daß reines Äthylen sich mit Schwefelsäure verbinden läßt, und daß die Absorption durch heftiges Schütteln befördert wird; so wurde nun die Umwandlung von Äthylen in Äthylschwefelsäure und also auch in Alkohol als eine sicher ermittelte Tatsache in die Literatur wieder aufgenommen. Berthelot erkannte sofort, von welcher großen Bedeutung diese Reaktion für den synthetischen Aufbau der Alkohole aus den Kohlenwasserstoffen ist, und suchte sie daher zu verallgemeinern. So fand er, daß Propylen gleichfalls und viel leichter als Äthylen durch Schwefelsäure absorbiert wird und sich in analoger Weise in einen Alkohol überführen läßt, den er als Propylalkohol bezeichnete, obwohl er den Siedepunkt 15° niedriger als Chancel gefunden hatte. Auffallend ist es, daß er dies nicht hervorhob. Doch ist er, seiner auf Auffindung allgemeiner Methoden gerichteten Geistesrichtung entsprechend, nicht auf das nähere Studium der von ihm dargestellten Verbindung eingegangen. Erst die Entdeckung des Isopropylalkohols durch Friedel klärte die Verschiedenheit der Siedepunkte auf und führte zum Resultat, daß aus Propylen nicht der Gährungspropylalkohol, sondern der sekundäre Alkohol entsteht.

Eine zweite allgemeine Methode der Alkoholsynthese aus Äthylen und dessen Homologen wurde kurz darauf von Berthelot aufgefunden. Er zeigte, daß die Olefine sich durch Addition mit den Halogenwasserstoffsäuren verbinden, und daß aus den so erhaltenen Chloriden, Bromiden oder Jodiden entweder direkt beim Erhitzen mit Wasser oder durch vorheriges Überführen in die Ester der Essigsäure oder der Benzoesäure die Alkohole sich erhalten lassen.

Die Überführung von Äthylen in Alkohol hat ihn dann zu einer seiner wichtigsten Entdeckungen auf synthetischem Gebiete geführt. Von der Überlegung ausgehend, daß das Kohlenoxyd zu der Ameisensäure in derselben Beziehung steht, wie das ölbildende Gas zum Alkohol, stellte er sich die Aufgabe, die der Gleichung $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} = \text{CH}_2\text{O}_2$ entsprechende Reaktion zu verwirklichen. Es gelang ihm im Jahre 1856, das Kohlenoxyd bei siebzestündigem Erhitzen mit schwach befeuchtetem Kalihydrat in ameisen-saures Kalium zu ver-

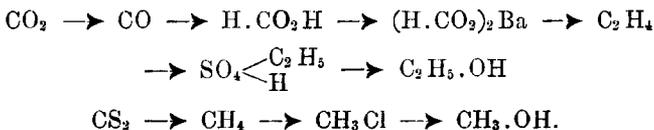
wandeln. Als Darstellungsmethode hat er diese Synthese nicht ausgearbeitet, dies geschah erst später durch Merz und Tibiriçá, und seit 1894 ist sie die Grundlage der technischen Gewinnung der Ameisensäure geworden. Berthelot hat fast gleichzeitig auch diejenige Bildung der Ameisensäure aufgefunden, die seit 50 Jahren zur Darstellung dieser Säure im kleinen angewandt wurde und auch heute noch im Laboratorium die bequemste ist. In der Hoffnung, das Kohlenoxyd im Entstehungszustand direkt mit Wasser ohne Zuhilfenahme von Alkali verbinden zu können, wählte Berthelot als Ausgangsmaterial die Oxalsäure, von der es bekannt war, daß sie beim Erhitzen teilweise in Kohlenoxyd und Kohlendioxyd zerfällt. Seine Versuche führten ihn zu dem Resultat, daß beim Erwärmen mit Glycerin die Oxalsäure fast ganz glatt in Kohlensäureanhydrid und Ameisensäure gespalten wird, die sich auf die Weise leicht gewinnen läßt.

Das Studium der Ameisensäure ergab nun neue Tatsachen auf dem Gebiet der Synthese. Bei der trocknen Destillation von ameisen-saurem Barium beobachtete Berthelot das Auftreten von Grubengas, Äthylen und Propylen. Aus den Bromadditionsprodukten der beiden letzteren erhielt er beim Erhitzen mit Jodkalium und Wasser Äthan und Propan. Die trockne Destillation essigsaurer Salze lieferte ihm neben Grubengas, Äthylen, Propylen, Butylen und Amylen. Ferner hat Berthelot noch die interessante Bildung von Methan beim Überleiten von Schwefelkohlenstoff und Schwefelwasserstoff über glühendes Kupfer aufgefunden. Das Methan hat er dann im Jahre 1857 in Methylalkohol übergeführt und so auch die Synthese des einfachsten Alkohols verwirklicht, dessen Bildung nach den oben besprochenen allgemeinen Methoden nicht möglich ist. Er benutzte dasselbe Verfahren, welches schon zwei Jahre früher es Cannizzaro möglich gemacht hatte, vom Toluol ausgehend zum Benzylchlorid und dann zum Benzylalkohol zu gelangen. Die Überführung von Methan in Methylchlorid und darauf in Methylalkohol ist die erste Synthese dieser Art in der Gruppe der aliphatischen Verbindungen. Daß der aus Grubengas und Chlor entstehende Körper CH_3Cl mit dem Methylchlorid von Dumas und Peligot identisch ist, wurde in derselben Arbeit nachgewiesen. Gerhardt hatte früher Verschiedenheit angenommen. Alle diese Resultate hat dann Berthelot in der ausführlichen Abhandlung¹⁾: *sur la synthèse des carbures d'hydrogène* zusammengefaßt, in der er sein ganzes Prinzip der Synthese entwickelt. Er weist darauf hin, daß bisher die Chemie wesentlich auf Analyse beruhe, sie sei aber auch eine Wissenschaft der Synthese.

¹⁾ Ann. chim. phys. [3] 53, 69 [1858].

Da nun Methan, Äthylen, Propylen, Butylen, Amylen, Äthan und Propan, sowie Benzol und Naphthalin sich aus Ameisensäure, Schwefelkohlenstoff oder Essigsäure erhalten lassen, so sei deren Synthese aus den Elementen selbst möglich, sie sei demnach eine vollständige. »Le point de départ de la synthèse des composés organiques est donc assuré«. Als zweiten Schritt bezeichnet er die Synthese der Alkohole: »il n'est resté plus qu'à remonter des carbures d'hydrogène aux composés oxygénés. C'est ce que j'ai réalisé en transformant les carbures d'hydrogène dans les alcools correspondants«. Dadurch ist dann auch die vollständige Synthese der zahllosen Verbindungen verwirklicht, die sich aus den Alkoholen darstellen lassen: »réaliser la synthèse totale des carbures d'hydrogène et des alcools est donc réaliser la synthèse d'un nombre infini de combinaisons organiques tant naturelles qu'artificielles au moyen des corps simples qui les constituent«.

Die Grundlagen dieses ganzen synthetischen Systems lassen sich, unter Benutzung unserer jetzigen Schreibweise, durch folgende Formeln veranschaulichen:



Nachdem Berthelot durch diese schönen Resultate zu einem ersten Abschluß seiner synthetischen Untersuchungen gelangt war, unternahm er es, ein Bild der ganzen organischen Chemie vom Standpunkt der Synthese in seiner Chimie organique fondée sur la synthèse zu entwerfen. Die unter der Vorrede angebrachten Daten: Juni 1859 bis August 1860 deuten an, daß er das große, zwei Bände umspannende Werk in außerordentlich kurzer Zeit verfaßt hat. Den Zweck des Buches bezeichnet er in folgender Weise: »In diesem Werke beabsichtige ich zu zeigen, wie die organischen Substanzen durch Synthese sich bilden lassen, d. h. mit Hilfe der Elemente, aus denen sie zusammengesetzt sind, und durch die alleinige Wirkung chemischer Kräfte«. In der Einleitung setzt er, auf Lavoisier zurückgreifend, auseinander, daß die Chemie bisher eine Wissenschaft der Analyse gewesen sei, doch wäre diese Definition unvollständig; die Analyse sei nur der Ausgangspunkt, und die Chemie sei auch die Wissenschaft der Synthese. Vor seinen Arbeiten sei aber dieses Problem nicht systematisch verfolgt worden; dieser Aufgabe habe er sich nun seit zehn Jahren unterzogen. Bisher seien die Beispiele der Synthese so selten, so isoliert und so wenig fruchtbar gewesen, daß die meisten Forscher geneigt waren, alle Hoffnung,

die organischen Substanzen in allgemeiner Weise aus den Elementen aufzubauen, als eine Schimäre anzusehen. Auch später hat sich Berthelot wiederholt in ähnlicher Weise geäußert, z. B. in der Einleitung zu der im Jahre 1875 publizierten *Synthèse chimique* sagt er, daß die Probleme der Synthese kaum vor seinen Arbeiten aufgeworfen seien, was dann bei seinem *Cinquantenaire scientifique* zu dem Ausspruch führte, daß er überhaupt erst die organische Synthese geschaffen habe. Dies ist nun nicht richtig; es sind schon vor ihm von einer Reihe von Forschern wichtige Entdeckungen in dieser Richtung gemacht worden.

Wöhler hatte schon 1824, also vier Jahre vor seiner epochemachenden Entdeckung der künstlichen Bildung des Harnstoffs, eine im Pflanzenreich vorkommende Säure, die Oxalsäure, aus Cyan erhalten. Diese Synthese hat wohl geschichtlich nicht die richtige Wertschätzung erlangt, weil Wöhler sie nicht unter dem Titel einer künstlichen Bildung, wie er es beim Harnstoff getan hatte, veröffentlichte. Pelouze hatte 1831 die Ameisensäure aus Blausäure erhalten. Es sind dies alles Synthesen vom Kohlenstoff aus, da ja Scheele schon aus Kohle, kohlenurem Calcium und Salmiak Cyankalium erhalten hatte. 1843 stellten Pelouze und Gélis das erste künstliche Fett, das Butyrin, aus Buttersäure und Glycerin dar. Kolbe hatte 1845 die Umwandlung von Schwefelkohlenstoff in Trichloressigsäure und also auch in Essigsäure aufgefunden; auch war dadurch die vollständige Synthese der aus Essigsäure erhaltenen Verbindungen, wie z. B. von Methan, schon verwirklicht. Zwei Jahre später hatten Kolbe und Frankland den Aufbau der Säuren mittels der Alkylcyanüre entdeckt. Die Milchsäure war 1850 von Strecker aus Aldehyd erhalten worden. In dem Jahre 1853, in dem Berthelot seinen Aufbau der Fette mitteilt, aber einige Zeit vorher, hatte Dessaignes gezeigt, daß man Hippursäure aus ihren Spaltungsprodukten regenerieren kann. Auch war schon vor Berthelot die Bedeutung der künstlichen Darstellung organischer Verbindungen erkannt und darauf hingewiesen worden, daß kein prinzipieller Unterschied zwischen organischen und unorganischen Verbindungen mehr anzunehmen ist. Kolbe hob 1845 ¹⁾ in Bezug auf die von ihm aus Schwefelkohlenstoff dargestellten Körper hervor, »daß es bei diesen und anderen Fällen unmöglich wird, zwischen organisch und unorganisch eine Grenze zu ziehen.« In seinem Handbuch der organischen Chemie sagt Gmelin ²⁾: »Berücksichtigt man, daß die Kunst aus unorganischen Materialien einige organische Verbindungen zu erzeugen vermag, und daß es bis-

¹⁾ Ann. d. Chem. 54, 145 [1845].

²⁾ Band I, 38 [1848].

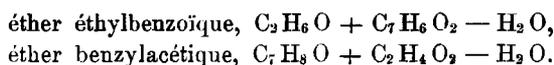
weilen gelingt, in gegebenen organischen Verbindungen die Zahl der Kohlenstoffatome zu erhöhen, so erscheint es nicht unmöglich, daß man dereinst viele oder alle natürlich vorkommenden organischen Verbindungen auch künstlich wird erzeugen können.« Auch Gerhardt, der früher die Ansicht ausgesprochen hatte, daß nur die Lebenskraft durch Synthese wirke, sagt 1853 in seinem *Traité de chimie organique* (Bd. I, S. 3): »Die natürlichen Verbindungen und die künstlichen Produkte unserer Laboratorien sind die Glieder derselben Kette, welche dieselben Gesetze zusammenhalten, wie dies genügend die zahlreichen künstlichen Bildungen, die wir der modernen Wissenschaft verdanken, beweisen.« Ähnlich sprach sich Kolbe in seinem 1854 veröffentlichten Lehrbuch aus. In demselben Jahre beginnt Strecker¹⁾ seine Abhandlung über Taurin mit den Worten: »Die künstliche Bildung der in der Natur sich findenden Stoffe kann man als das Ziel ansehen, nach welchem die organische Chemie strebt« und fügt hinzu, daß schon manche Produkte des Tier- und Pflanzenlebens aus der Hand des Chemikers hervorgegangen sind. Er bezieht sich dabei auf Harnstoff und Milchsäure.

Es muß aber voll und ganz anerkannt werden, daß Berthelot durch seine schönen und planmäßig ausgeführten Experimentaluntersuchungen die organische Synthese in hohem Maße gefördert und bereichert hat, und daß er der erste war, der es unternahm, systematisch die ganze organische Chemie auf das Prinzip der Synthese aufzubauen. Durch sein großes Werk hat er in dieser Beziehung zweifellos einen sehr anregenden Einfluß ausgeübt. Ein äußeres Zeichen bietet der Umstand, daß das Wort »Synthese«, von dem Jahre 1860 an, immer mehr die älteren Bezeichnungen wie »künstliche Bildung« oder »Reproduktion« verdrängt hat. Auch sind die beiden Bände seines umfangreichen Werks reich an interessanten Betrachtungen und reich an kühnen Ausblicken. In Anlage und Ausführung trägt es einen spezifisch persönlichen Stempel. Es gibt uns ein Bild, wie sich um das Jahr 1860 Berthelot die ganze organische Chemie auf Grundlage seines Nachdenkens und wesentlich auch seiner eigenen Untersuchungen zurecht gelegt hat. Dagegen nahm er an der großen Bewegung, welche die Gerhardt'schen Ansichten und die Kekulé'sche Lehre von der Vierwertigkeit des Kohlenstoffs hervorgerufen hatten, keinen Anteil. Berthelot hatte, wie er es selbst hervorgehoben, vom Beginn seiner Studien an das Bestreben, ganz unabhängig von irgend welcher Schule, nur auf eigene Kraft gestützt, seine Ziele zu erreichen. Deshalb hatte er sich wohl

¹⁾ Ann. d. Chem. 91, 97 [1854].

auch nicht an dem denkwürdigen, auf Kekulé's Anregung im September 1860 in Karlsruhe zusammengetretenen Chemiker-Kongreß beteiligt, zu dem eine große Zahl der bedeutendsten französischen Chemiker mit Dumas an ihrer Spitze erschienen waren, und der den Zweck hatte, zu einer Verständigung über die Begriffe von Atom, Äquivalent und Molekül zu gelangen.

Berthelot hat sich in seinem Werk energisch gegen die Annahme von Radikalen, die er wiederholt als êtres imaginaires oder fictifs bezeichnete, ausgesprochen; durch dieselben sei eine gewisse Scholastik in die Wissenschaft gekommen. Er hat sich daher fast ausschließlich auf die Benutzung von Bruttoformeln beschränkt, dadurch aber auch ein wichtiges Hilfsmittel aus der Hand gegeben, die Beziehungen der Verbindungen zu einander und namentlich die Isomerien in einfacher Weise zu veranschaulichen. Um die Anwendung von Radikalen zu umgehen, benutzte er in den Fällen, in denen die Bruttoformeln nicht ausreichen, eine Schreibweise, welche er als Bildungsgleichungen (équations génératrices) bezeichnet, wie folgendes Beispiel zeigt:



Im Original entsprechen die Ziffern noch den alten Äquivalenten.

Im letzten Paragraphen seines großen Werkes steht der oft zitierte Satz: *La chimie crée son objet. Cette faculté créatrice, semblable à celle de l'art lui-même, la distingue essentiellement des sciences naturelles et historiques. Les derniers ont un objet donné d'avance et indépendant de la volonté et de l'action du savant.*

Ein so eigenartiges Werk wie das über die Synthese rief, neben vielen anerkennenden, auch ablehnende Kritiken hervor. Berthelot schrieb am 8. November 1860 an Renan, daß Chevreul den Zweck und die allgemeine Idee angreifen werde, und »Biot behauptet, ich hätte in meinem Interesse besser getan, die Fortsetzung der Experimente mitzuteilen, ohne die allgemeine Idee getrennt zu geben«. Berthelot bemerkt dazu, »dies sei eine kleine Politik, welche vielleicht für die Personen nützlich, aber der Wahrheit und den großen Fortschritten der Wissenschaft schädlich sei«. Auch dieser Ausspruch zeigt, wie hoch Berthelot das Streben, allgemeine Anschauungen zu entwickeln, einschätzte. Im Ausland hat gleichfalls das Werk sofort die Aufmerksamkeit auf sich gezogen. Schon kurz nach dem Erscheinen hat im Oktober 1860 zwischen Lothar Meyer und Kekulé ein eingehender brieflicher Gedankenaustausch stattgefunden, in dem sich ersterer über dasselbe günstig aussprach, während Kekulé, dem es wenig sympathisch ist, sich darüber beklagt, daß die breitstielige

Schreibweise die Lektüre sehr erschwere¹⁾. Im Interesse der Leser wäre es sicher zu wünschen gewesen, wenn das Werk über Synthese sowie auch einige der anderen großen Bücher und manche der ausführlichen Abhandlungen durch Vermeidung von Wiederholungen und durch Kürzung eine Einschränkung erfahren hätten. Immerhin ist es begreiflich, daß Berthelot bei der Leichtigkeit, mit der er seine Gedanken zu Papier brachte, sie niederschrieb, wie sie in reicher Entwicklung sich ihm aufdrängten, und daß ihm nachher bei seiner großen Produktivität die Zeit und wohl auch die Lust fehlte, seine Manuskripte durch Umarbeitung zu kürzen.

Infolge seiner Untersuchungen über Zuckerarten hat Berthelot schon früher dem Phänomen der Gärung ein großes Interesse entgegen gebracht und sich experimentell mit demselben beschäftigt. Auch auf diesem Gebiete gelangte er zu einer wichtigen Entdeckung. Im Gegensatz zu Pasteur, der damals der Ansicht war, daß das Auftreten von Invertzucker bei der Gärung des Rohrzuckers etwas Nebensächliches sei und durch Säuren, speziell durch Bernsteinsäure, bewirkt werde, suchte er zu beweisen, daß ein von der Hefe erzeugtes lösliches Ferment diesen Vorgang hervorbringe. Durch Zerreiben von Bierhefe mit Wasser und Versetzen des Filtrats mit Alkohol gelang es ihm, dieses Ferment, welches er als ferment glucosique bezeichnet, im Jahre 1860 zu isolieren. Der Name Invertin ist erst später von Donath vorgeschlagen worden. Für Berthelots philosophische Auffassung der chemischen Vorgänge war dieses Resultat von großer Bedeutung. In dem zweiten Band der Synthese, in der er ausführlich die Gärung bespricht, hat er dann für die alkoholische Gärung als wahrscheinlichste Hypothese die Ansicht ausgesprochen, daß die Hefezellen auch in diesem Falle das betreffende Ferment, welches er als ein unlösliches ansah, hervorbringen und nicht direkt die Alkoholbildung bewirken. Im Zusammenhang hiermit formuliert er auf Seite 656 seine Auffassung der chemischen Vorgänge in der Natur folgendermaßen: »Der Zweck unserer Forschung ist, das Leben aus allen Erklärungen, die die organische Chemie betreffen, zu verbannen.« Auch in den Fragen der Gärung hat sich wieder der Scharfblick Berthelots hervorgetan. Aber es sollten noch 37 Jahre vergehen, bis es E. Buchner gelang, den Nachweis zu führen, daß ein spezifisches Enzym der Alkoholgärung existiert, und zu zeigen, wie es isoliert werden kann.

¹⁾ Ich entnehme dies Briefen, die mir Hr. Professor R. Anschütz freundlichst zur Einsichtnahme überließ; diese Briefe selbst werden in der Kekulé-Biographie von Anschütz seinerzeit veröffentlicht werden.

Das große Interesse, welches Berthelot immer für die Beziehungen zwischen Chemie und Physik hatte, zeigt sich auch schon in diesem Zeitraum. Im Jahre 1856 veröffentlichte er eine Abhandlung, *Remarques sur quelques propriétés des corps conjugués*, in der er Betrachtungen über Siedepunkte, spezifisches Volum, spezifische Wärme, Verbrennungswärme und Lichtbrechungsvermögen organischer Verbindungen und speziell der Ester bespricht, also über Körper, die in seinen damaligen Arbeiten eine so wichtige Rolle spielten.

1861—1869.

Obwohl Berthelot im Dezember 1860 an Renan geschrieben hatte: »Ich bin leidend und unfähig zu energischer Arbeit, ich habe durch die Anstrengung in den Monaten Juni und Juli meine Kräfte überschritten,« was sich auf die Fertigstellung seines großen Werkes bezieht, so zeigen doch seine Publikationen, daß keine bemerkbare Verzögerung in seiner Tätigkeit eingetreten ist. Im Jahre 1861 erschien die erste Mitteilung über die hervorragenden Untersuchungen, die er in Gemeinschaft mit seinem Freunde Péan de Saint-Gilles bis zu dessen all zu frühem Tode ausgeführt hat, und die ausführlich 1862 und 1863 unter dem Titel: *Recherches sur les affinités: de la formation et de la décomposition des éthers*, erschienen sind. Sie können mit ebenso großem Recht der organischen wie der physikalischen Chemie zugeteilt werden. Kopp und Will haben sie in ihrem Jahresbericht der Chemie unter die organischen Arbeiten aufgenommen, während sie in den *Comptes rendus* unter der Rubrik »chimie générale« veröffentlicht sind.

Nach dem Ziele, welchem Berthelot zustrebte, sollten diese Untersuchungen als Ergänzung seiner Synthese dienen. Einige Jahre später spricht er dies in seiner ersten großen Abhandlung¹⁾ über Thermochemie in folgender Weise aus: »In einer Reihe seit mehreren Jahren veröffentlichter Arbeiten war ich bestrebt, auf experimentellem Wege die Entstehung organischer Verbindungen und die der anorganischen in Zusammenhang zu bringen und die allgemeinen Methoden der Synthese zu formulieren. Um meine Untersuchungen weiter zu führen, erschien es mir zweckmäßig, den Mechanismus dieser Vorgänge zu studieren. Meine Versuche über die Gesetze, welche die Bildung der Ester bestimmen, waren in dieser Absicht unternommen.« Mit klarem Blick hatte er erkannt, daß die Ester sich zu diesem Zwecke besonders gut eignen. Berthelot und Péan de Saint-Gilles führten ihre zahlreichen und mustergültigen Versuche mit Gemischen von Alkohol

¹⁾ Ann. chim. phys. [4] 6, 292 [1865].

und Säuren oder von Estern und Wasser in zugeschmolzenen Röhren bei gewöhnlicher Temperatur, im Wasserbad oder in dem von Berthelot konstruierten Ölbad aus. Die Menge der bei der Esterbildung nicht in Reaktion getretenen oder bei der Verseifung der Ester durch Wasser in Freiheit gesetzten Säure wurde durch Titrieren mit Barytwasser bestimmt, ein Verfahren, durch das sie den Weg zeigten, wie derartige Untersuchungen auszuführen sind. In betreff der Vereinigung einer Säure mit einem Alkohol gelangten sie zu folgenden Schlußfolgerungen: 1. Die Verbindung erfolgt progressiv. 2. Sie ist nie vollständig. 3. Die gebildete Estermenge strebt nach einer Grenze. In analoger Weise verläuft die Zersetzung der Ester durch Wasser. Bei Anwendung gleicher Äquivalente von Säuren und Alkohol oder der entsprechenden Mengen von Ester und Wasser ist der Grenzzustand derselbe und entspricht 66.5% des gebildeten oder des nicht zersetzten Esters. Die beiden Forscher fanden, daß die Geschwindigkeit der Esterbildung in hohem Maße von der Temperatur abhängt, daß aber der Grenzwert von derselben fast unabhängig ist. Eine Röhre, die gleichmolekulare Mengen Essigsäure und Alkohol enthielt, hatte Berthelot, um dies auch für gewöhnliche Lufttemperatur nachzuweisen, während 16 Jahren aufgehoben. Die Untersuchung ergab, daß der Grenzwert fast erreicht war; es hatten sich 65% Ester gebildet, während früher unter den gleichen Bedingungen nach 198 Tagen nur 50% entstanden waren. Bei 200° war dagegen der Grenzzustand nach 22 Stunden schon vollständig eingetreten. Der Einfluß der chemischen Beschaffenheit von Säure und Alkohol ergab sich für den Grenzwert als unwesentlich. Dagegen hatten Berthelot und Saint-Gilles schon beobachtet, daß beim Borneol die Geschwindigkeit der Esterbildung auffallend langsam war, eine Erscheinung, die erst durch Menschutkins Untersuchungen aufgeklärt wurde.

Berthelot und Péan de Saint-Gilles haben durch ihre Forschungen den Begriff der begrenzten Reaktionen (*réactions limitées*) und den der umkehrbaren (*réiproques*) als neu in die Wissenschaft eingeführt, und nach Wilhelmy gehören sie zu den ersten, welche eingehende Studien über Reaktionsgeschwindigkeit in Angriff genommen hatten.

Im Anschluß hat dann Berthelot noch den für die damalige Zeit ungewöhnlichen Versuch gemacht, die erhaltenen Resultate mathematisch zu verwerten. Er gelangte zu dem wichtigen Ergebnis, daß in jedem gegebenen Zeitpunkt die gebildete Estermenge dem Produkt der Massen der Reaktive, die im Gemenge frei geblieben sind, proportional, dagegen umgekehrt proportional dem eingenommenen Raum ist.

Welche große Wichtigkeit die Arbeiten der beiden Chemiker für die neuere Entwicklung der Affinitätslehre hatten, zeigt der Einfluß, den sie auf die Untersuchungen von Guldberg und Waage ausübten. Diese sagen ¹⁾ in den im Jahre 1864 der wissenschaftlichen Gesellschaft in Christiania vorgelegten Studien über Affinität: »Wir fühlen uns gedrungen zu erklären, daß die im Sommer 1862 veröffentlichten Arbeiten von Berthelot und Saint-Gilles über die Esterifikation zum wesentlichsten Teil uns veranlaßt haben, gerade diese Methode zu wählen.« Es bezieht sich dies auf die von den beiden norwegischen Forschern gewählte Methode zur Bestimmung der Wirkung der Affinität. Ebenso bilden 15 Jahre später die Arbeiten von Berthelot und Saint-Gilles das experimentelle Fundament der berühmten Abhandlung von van't Hoff »die Grenzebene, ein Beitrag zur Ätherbildung.«

Berthelot hat die bei der Bildung der Ester nachgewiesenen Gesetzmäßigkeiten auf Wein, Branntwein und Essig angewandt. In den Jahren 1863—1865 hat er teils allein, teils mit de Fleurieu eine Reihe von Arbeiten veröffentlicht, die sich eingehend mit Entstehung und Zusammensetzung des Weines befassen. Er war der erste, der es unternahm, quantitativ die Estermengen zu ermitteln. Auch die bekannte Methode von Berthelot und de Fleurieu zur Bestimmung von Weinstein und Weinsäure, welche die Grundlage der heute benutzten Verfahren ist, wurde zu diesem Zwecke ausgearbeitet. Die Versuche über Umwandlung des Traubensafts in Wein wurden auf die Veränderungen ausgedehnt, welche dieser durch den Sauerstoff der Luft, sowie beim Aufbewahren erleidet.

In dieser zweiten Periode nehmen vor allem die Untersuchungen über Acetylen eine hervorragende Stellung ein. Diesen Kohlenwasserstoff hatte schon Ed. Davy 1836 entdeckt; er erhielt ihn aus einem Kaliumcarbür, welches sich im Rückstand der Kaliumdarstellung befindet, beim Behandeln mit Wasser. Er ermittelte seine Zusammensetzung, beschrieb die charakteristisch leuchtende Flamme, sowie das Entzünden beim Vermischen mit Chlor und hat ihn als Doppeltkohlenwasserstoff bezeichnet, während Gmelin ihn unter dem eigentümlichen, von Kalium abgeleiteten Wort Klume in sein Handbuch aufnahm. Die charakteristisch rote Kupferverbindung des Acetylens hatte zuerst Quet 1858 beobachtet, als er die bei der Einwirkung elektrischer Funken oder der Hitze auf Alkohol erhaltenen Gase durch eine ammoniakalische Kupferchlorürlösung leitete. Mit Hilfe desselben Reagens erhielt 1859 Böttcher die Kupferverbindung aus einem an schweren Kohlenwasserstoffen reichen Leuchtgas. Doch hatten beide

¹⁾ Ostwalds Klassiker, Nr. 104, 3.

Chemiker den Zusammenhang mit dem Davyschen Kohlenwasserstoff nicht erkannt. Auch Berthelot hat in seinen älteren Mitteilungen Davy nicht erwähnt. Seine Arbeiten haben dann wesentlich die Chemie des Acetylens begründet. Die erste Mitteilung erschien 1860 noch vor Abschluß des Werkes über Synthese. 1862 hat dann Berthelot seine Publikationen fortgesetzt und in diesem Jahr auch seine berühmte Synthese entdeckt. Etwas später, aber noch in demselben Jahre, hatte Wöhler aus dem Kohlenstoffcalcium einen gasförmigen Kohlenwasserstoff erhalten, von dem er angibt, daß er mit dem von Davy entdeckten und von Berthelot sowohl durch Zersetzung verschiedener organischer Stoffe in der Glühhitze als auch direkt aus Kohle und Wasserstoffgas dargestellten Acetylen identisch ist. Der Name Acetylen rührt von Berthelot her; bei dieser Wortbildung, wie auch später bei Acenaphthen und Acetylpropylen (C_5H_8) benutzte er die Bezeichnung Acetyl im Sinne der älteren Radikaltheorie für den Atomkomplex C_2H_2 und nicht in dem Gerhardt'schen für das Radikal der Essigsäure.

Berthelot hatte zuerst das Acetylen beim Durchleiten von Alkohol oder von Äther durch eine glühende Röhre dargestellt und die Kupferverbindung zum Isolieren benutzt. In der Absicht, Kohlenstoff und Wasserstoff direkt zu verbinden, um so den synthetischen Aufbau der Kohlenwasserstoffe zu vervollständigen, hatte er Kohle in einem Wasserstoffstrom auf Rotglut, dann auf intensive Weißglut erhitzt und schließlich als Wärmequelle das durch eine große Linse konzentrierte Sonnenlicht benutzt, doch ohne Erfolg. Endlich gelang es ihm, die Vereinigung beider Elemente mittels des elektrischen Flammenbogens, zu dessen Hervorbringung er eine Batterie von fünfzig Bunsen-Elementen anwandte, zu bewirken. In einer mit zwei Tubulaturen versehenen Glaskugel, durch welche Wasserstoff hindurch strömte, ließ er den Flammenbogen zwischen zwei Kohlenstäbchen durchschlagen. Es hatte sich Acetylen gebildet, welches durch den Kupferniederschlag erkannt wurde. Diese Versuche zeigen, mit welcher Zähigkeit und welcher experimentellen Begabung Berthelot seine Probleme verfolgte.

Er entdeckte dann noch eine Reihe anderer Bildungsweisen des Acetylens; er erhielt es beim Überleiten von Chloroform über glühendes Kupfer, bei der Einwirkung des Induktionsfunken auf Grubengas, Äthylen und auf ein Gemenge von Cyan und Wasserstoff, sowie bei der unvollständigen Verbrennung organischer Verbindungen. Wir verdanken ihm den ebenso eleganten wie einfachen Vorlesungsversuch, die Bildung des Acetylens beim Verbrennen von Äther innerhalb eines Zylinders zu veranschaulichen.

Durch Reduktion verwandelte Berthelot das Acetylen in Äthylen und Äthan, durch Oxydation in Essigsäure und Oxalsäure. Alle diese Reaktionen nehmen dann in dem System der Synthese, wie er es in der Folge weiter entwickelte, eine wichtige Stelle ein.

Da Acetylen beim Zusammenbringen mit Chlor in den meisten Fällen explodierte, so wandten Berthelot und Jungfleisch Antimonchlorid an, um die beiden Additionsprodukte darzustellen. Das Dichlorid und das Tetrachlorid des Acetylens werden jetzt auf Grundlage der von denselben erhaltenen Resultate technisch gewonnen.

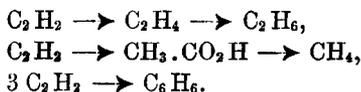
Das Studium des Acetylens hat dann Berthelot in ein neues großes Arbeitsgebiet, in das der pyrogenen Kohlenwasserstoffe, hinübergeführt. Als carbures pyrogénés bezeichnet er diejenigen Hydrüre des Kohlenstoffs, welche bei beginnender Rotglut, von 400—500° an, bis zur Weißglühhitze entstehen. Im Jahre 1866 zeigte Berthelot, daß bei mäßigem Glühen das Acetylen polymerisiert wird; hierbei tritt Benzol als Hauptprodukt auf. Durch diese berühmte Benzolsynthese wurde zum ersten Male gezeigt, daß es möglich ist, mittels einer einfachen Reaktion den Übergang von den aliphatischen Verbindungen zu den aromatischen zu bewerkstelligen. Vom Benzol ausgehend, hat dann Berthelot gleichfalls auf pyrogenem Wege eine Reihe wichtiger Kohlenwasserstoffe, deren Synthese freilich zum Teil schon auf andere Art erreicht war, aufgebaut. Aus Benzol erhielt er das Biphenyl, aus Toluol Anthracen. Die Anwendung von Kohlenwasserstoffgemengen erlaubte es, die pyrogenen Synthesen zu vermehren. Beim Durchleiten durch glühende Röhren lieferten Benzol und Methan die Homologen des Benzols; aus Benzol und Äthylen wurden Styrol und Naphthalin, aus Naphthalin und Äthylen das Acenaphthen gewonnen. Diese 1866 publizierten Resultate haben in interessanter Weise dazu beigetragen, die Reaktionen, welche bei der Gasfabrikation in den Retorten erfolgen, aufzuklären. Sie haben zugleich in hohem Maß anregend gewirkt, so daß auch von anderer Seite pyrogene Versuche aufgenommen wurden, welche zu neuen Synthesen führten.

Berthelot hat darauf die Zersetzung der Kohlenwasserstoffe durch Hitze studiert und dann den Versuch gemacht, die Gesamtheit der Bildungen und des Zerfallens auf umkehrbare und begrenzte Reaktionen zurückzuführen. Doch sind alle diese Vorgänge zu komplizierter Natur, um dies möglich erscheinen zu lassen.

Die pyrogenen Synthesen haben Berthelot veranlaßt, Untersuchungen über die im Steinkohlenteer enthaltenen Kohlenwasserstoffe auszuführen, wobei es ihm vor allem darauf ankam, seine Ansichten über deren Aufbau aus Benzol und Äthylen oder

Grubengas einer experimentellen Prüfung zu unterziehen. In dem nicht mit Schwefelsäure behandelten Teer konnte er Styrol und Naphthalinhydrüre nachweisen, was mit seiner Theorie über die Bildung pyrogener Kohlenwasserstoffe übereinstimmt. Von dem Kohlenwasserstoff $C_{10}H_{14}$, den er als Cymène beschreibt, vermutet er mit richtigem Urteil, daß er einem Tetramethylbenzol entspreche. Gleichzeitig entdeckte er 1867 die beiden neuen und interessanten Teerbestandteile, das Fluoren und das Acenaphthen.

Nachdem es ihm gelungen war, direkt aus Kohlenstoff und Wasserstoff das Acetylen zu erhalten und dieses in Äthylen, Äthan, Methan und Benzol zu verwandeln, wählte er in der Folge das Acetylen als den wichtigsten Ausgangspunkt seines ganzen synthetischen Systems. Die wesentliche Erweiterung, welche die Grundlagen desselben dadurch gewonnen hatten, läßt sich im Anschluß an die weiter oben benutzten Formeln, in folgender Weise veranschaulichen:



Während er früher fast nur Bruttoformeln benutzte, hat er im Laufe [der sechziger Jahre die theoretischen Anschauungen, die er sich über die organischen Verbindungen gebildet hatte, mitgeteilt; zuerst in einem vor der Chemischen Gesellschaft in Paris 1864 gehaltenen Vortrag über Isomerie. Dann hat er sie auf die aromatischen Verbindungen und später auf die Terpene ausgedehnt¹⁾. Dieselben Theorien hat er auch seinen Vorlesungen an der École de Pharmacie zugrunde gelegt, wie aus seinem 1872 erschienenen Lehrbuch hervorgeht. Während nun seine experimentellen Untersuchungen, sowie die allgemeinen Gesichtspunkte über Synthese außerordentlich fördernd und anregend wirkten, so läßt sich von seinen Betrachtungen über Konstitution nicht dasselbe sagen, obwohl sie in einheitlicher und durchaus origineller Weise entwickelt sind. Die wesentliche Ursache ist wohl der Umstand, daß Berthelot seine Anschauungsweise nur auf die Synthese aufbaute und zu wenig das Verhalten der Verbindungen, ihre Zersetzungen und den Abbau in Betracht zog. Auch nahm er keine Rücksicht auf die gewaltige Entwicklung, in der die Strukturlehre begriffen war, und hatte noch die alten Äquivalente beibehalten. Immerhin ist es interessant zu studieren, wie ein so bedeutender Forscher jene chemischen Verbindungen, die er durch eigene Arbeiten

¹⁾ Sur la théorie des corps polymères et sur la série aromatique, Ann. chim. phys. [4] 12, 64 [1867] und Théorie de la série camphénique, Bull. soc. chim. [2] 11, 187 [1896].

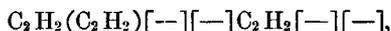
genau kannte, aufgefaßt hatte. Sein leitender Gedanke war, die Anwendung der Radikale, wie Methyl, Äthyl, Hydroxyl, Carboxyl usw. zu vermeiden und zur Formelbildung nur wirklich bekannte Körper zu benutzen. Seine Formeln sollten an die Substanzen erinnern, aus denen die Verbindungen direkt oder indirekt erhalten werden.

Berthelot geht von der Unterscheidung der Kohlenwasserstoffe in carbures d'hydrogène complets und incomplets, d. h. in gesättigte und ungesättigte aus und wählt dazu folgende Schreibweise¹⁾:

Äthan, C_2H_6 , carbure complet,
 Äthylen, C_2H_4 (—), carbure incomplet,
 Acetylen, C_2H_2 (—) (—), carbure incomplet du 2^{me} ordre.

Die beiden letzteren Formeln bezeichnete er als »formules avec des vides«, was an den früher von Rochleder gebrauchten Ausdruck der lückenhaften Verbindungen erinnert. Aus den einfachen Kohlenwasserstoffen baut Berthelot die komplizierten durch Polymerisation oder durch Kondensation gleichartiger oder ungleichartiger Moleküle auf. Eine Ausnahme machte er von seinem Prinzip, nur die Formeln bekannter Körper zu benutzen, indem er das Methylen, dessen Darstellung nicht gelungen ist, mit zum Aufbau hinzuzieht. Verbindet sich nach Berthelot ein ungesättigter Kohlenwasserstoff mit einem gesättigten, so entsteht ein gesättigter $C_2H_4(CH_4)$; die Lücke wird ausgefüllt. Treten aber zwei Äthylene oder zwei Amylene zusammen, so wird das erste gesättigt, das zweite bleibt ungesättigt, $C_2H_4(C_2H_4)[—]$. Aus Acetylen bildet sich durch Ausfüllen einer Lücke durch Wasserstoff Äthylen und durch Ausfüllen beider Lücken Äthan.

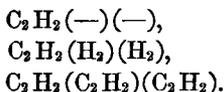
Vom Benzol sagt dann Berthelot, daß es von zwei Gesichtspunkten aufgefaßt werden kann. Infolge seiner Bildung aus Acetylen wäre es ein unvollständiger Kohlenwasserstoff vierter Ordnung:



und dieser Auffassung entsprächen einige Reaktionen, wie der Übergang von Benzol in Hexan. In den meisten Fällen verhalte sich aber Benzol wie ein gesättigter Kohlenwasserstoff. Um dies zu erklären, nimmt Berthelot an, daß eins der Acetylenmoleküle, welche das Benzol bilden, eine besondere Rolle spiele, und daß sich die beiden anderen unterordnen, so daß die Tendenz der letzteren, sich zu sättigen, nur in Ausnahmefällen hervortrete. Er nennt dies das Prinzip der rela-

¹⁾ Die im Folgenden benutzten Formeln entsprechen den jetzigen Atomgewichten und stimmen mit denen überein, die Berthelot beim Wiederabdruck seiner früheren Abhandlungen in dem Werke: Les carbures d'hydrogène benutzt hat. In den Originalen beziehen sie sich noch auf die Äquivalente.

tiven Sättigung (saturation relative) und vergleicht den Übergang von Acetylen in Benzol mit der Reduktion desselben zu Äthan:



Obwohl er die Kekulé'sche Theorie der aromatischen Verbindungen als eine geistreiche bezeichnet und anerkennt, daß ihr eine große Zahl von Arbeiten zu verdanken sei, sagt er 1876 in seiner *Synthèse chimique* (S. 232): die Fundamentalhypothese von Kekulé sei unnötig, auch habe sie den Nachteil, in die Wissenschaft gewisse mystische Erwägungen einzuführen, die vielleicht ihrem Erfolg nicht ganz fremd sind. Berthelot fügt hinzu, daß das neue und bestimmte Prinzip der relativen Sättigung nicht nur für das Benzol, sondern überhaupt für die pyrogenen Kohlenwasserstoffe die Hauptreaktionen besser als jede andere Hypothese erkläre. In ähnlicher Weise hat er dann seine Theorie auf die Camphenreihe angewandt; er nimmt für dieselbe einen Kohlenwasserstoff, $C_5H_8(-)(-)$, der mit dem Isopren von Williams identisch oder isomer sei, als Grundsubstanz an. Für Camphen und seine Isomeren hat er die Formel $C_5H_8(C_5H_8)[-][-](--)$ ausführlich erörtert.

Von den Kohlenwasserstoffen hat Berthelot die übrigen Verbindungen gleichfalls nach dem Prinzip, nur die Formeln realer Körper zu verwenden, abgeleitet. Die Formeln, welche er aufstellt, erinnern an die früheren von Dumas. Auch vermeidet er das Wort Atom.

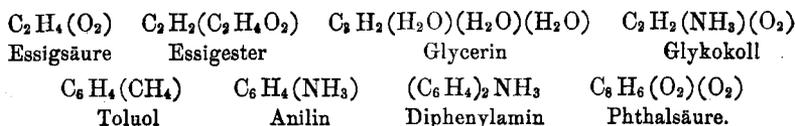
Die Synthese der Alkohole faßt er allgemein als den Ersatz von Wasserstoff durch Wasser entsprechend gleichen Gasvolumen auf:



Bei der Bildung von Chlormethyl wird im Methan ein Volum Wasserstoff durch ein Volum Chlorwasserstoff ersetzt und bei der Synthese des Methylalkohols werden die Elemente der Salzsäure weggenommen und dafür die Elemente von Wasser eingeführt:



Folgende Formeln mögen noch zeigen, wie er sein Prinzip auch auf andere Verbindungen angewandt hat:



Dieselben Formeln nehmen auch in der zweiten und dritten Auflage des Lehrbuchs (1881 und 1886) die erste Stelle ein, doch haben auch die Strukturformeln schon Berücksichtigung gefunden. Nachdem

Berthelot 1891 die neuen Atomgewichte angenommen hatte, adoptierte er dann in dem 1897 veröffentlichten Werk über die Thermochemie auch die vollkommen entwickelten, jetzt gebräuchlichen Konstitutionsformeln. Nur an einzelnen Stellen, wie bei Reaktionen des Äthylens und Acetylens, greift er auf seine frühere Formelgebung zurück. Einzelne Beispiele zeigen auch, daß er die Strukturformeln nicht kritiklos kopierte, sondern auch zuweilen eine abweichende Anschauung zur Geltung bringt, und da ist es interessant zu sehen, daß dann die synthetischen Bildungsweisen die ausschlaggebenden sind. So nimmt er für Benzoin die Konstitution $C_6H_5 \cdot CH(OH) \cdot C_6H_4 \cdot COH$ an, um durch dieselbe auszudrücken, daß dessen Bildung der des Aldols analog sei. In der vierten Auflage des Lehrbuchs der organischen Chemie, die wie die beiden vorhergehenden wesentlich von seinem Mitherausgeber Jungfleisch bearbeitet wurde, hat Berthelot seine früheren Ansichten ganz fallen gelassen und vollkommen den neueren Ergebnissen der Forschung Rechnung getragen.

Die letzte größere Untersuchung Berthelots auf dem Gebiete der organischen Chemie betrifft seine Versuche über Reduktion mittels Jodwasserstoff, welche er als *Méthode universelle d'hydrogénation* bezeichnete. Seine Resultate hat er in den Jahren 1867—1869 in den *Comptes rendus*, dann in dem *Bulletin der Französischen Chemischen Gesellschaft* und nachher noch ausführlicher in den *Annales de chimie et physique* (1870) mitgeteilt. Berthelot betrachtet seine Methode als eine Fortsetzung der 1855 von ihm aufgefundenen Überführung von Äthylenbromid beim Erhitzen mit Jodkalium und Wasser in Äthan. Inzwischen war jedoch die Jodwasserstoffsäure als wichtiges Reduktionsmittel durch Lautemann in die organische Chemie eingeführt worden. Mit Hilfe derselben hatte dieser 1860 die Milchsäure zu Propionsäure reduziert. Bald darauf wurde in analoger Weise Bernsteinsäure aus Weinsäure und Äpfelsäure, Hexyljodid aus Mannit und Butyljodid aus Erythrit erhalten. Diese partiellen Reduktionen, welche wesentlich zur Aufklärung der Konstitution der betreffenden Verbindungen beigetragen hatten, wurden bei relativ nicht hohen Temperaturen, bei 120—130°, und mit der gewöhnlichen, konzentrierten Jodwasserstoffsäure ausgeführt. Berthelot hatte sich nun das Ziel gesteckt, eine allgemein anwendbare Methode zu schaffen, um ein vollständiges Zurückführen ganzer Klassen von organischen Verbindungen bis zu den gesättigten Kohlenwasserstoffen möglich zu machen. Er arbeitete daher mit bei 0° gesättigten Lösungen von Jodwasserstoff und bei hohen Temperaturen, meist bei 280°. Er zeigte, daß durch dieses Verfahren die meisten Körper der aliphatischen Reihe sich bis zu den Kohlenwasserstoffen der Grubengas-Reihe reduzieren lassen. Aus Alkohol, Aldehyd und

Essigsäure erhielt er Äthan, aus Glycerin und Aceton Propan, aus Buttersäure und Bernsteinsäure Butan. Methylamin lieferte Methan, Äthylamin, sowie Dicyan Äthan.

Er dehnte dann seine Versuche auf die aromatische Reihe aus. Hierbei waren nun die Resultate weniger bestimmt.

Berthelot nahm zwar an, daß es ihm gelungen sei, vom Benzol, vom Phenol und einigen anderen Benzolderivaten zum Hexan zu gelangen. Doch sind in dieser Beziehung seine Angaben nicht beweisend; es geht vielmehr aus den späteren Versuchen anderer Chemiker, wie von Wreden und Kijner hervor, daß die Reduktion nicht über die Bildung von Cyclohexan und dessen Umlagerungsprodukt, das Methylcyclopentan, hinausgegangen ist. Dagegen hat Berthelot das Verdienst, zuerst gezeigt zu haben, daß sich Benzol und seine Homologen, sowie Naphthalin, Anthracen, Acenaphthen und andere Kohlenwasserstoffe direkt mit Wasserstoff verbinden lassen; daher haben diese Versuche auch in hohem Maße anregend gewirkt und eine große Zahl von Darstellungen aromatischer Hydroverbindungen veranlaßt. Bei seinen Untersuchungen hat er eine Reihe von Zwischenprodukten zwischen den aromatischen Kohlenwasserstoffen und ihren wasserstoffreichsten Reduktionsprodukten aufgefunden, aber meist ihre Zusammensetzung nicht endgültig festgestellt. Er hat sich hierbei, wie zum Teil auch bei einigen Teerprodukten, z. B. den Naphthalinhydrüren, zu sehr auf seinen großen chemischen Scharfblick verlassen und keine Beleganalysen mitgeteilt. Auch haben wohl schon damals die großen Probleme der Thermochemie, die er gleichzeitig in Angriff nahm, ihn mehr angezogen. Im Anschluß an die Mitteilung seiner Reduktionsversuche hat Berthelot durch thermochemische Betrachtungen die Leichtigkeit, mit der die Jodwasserstoffsäure reduzierend wirkt, erklärt. Dieselben bilden eine weitere Brücke zu der thermochemischen Periode.

Nach diesen Untersuchungen über seine Reduktionsmethode, hat er kein neues zusammenhängendes Arbeitsgebiet der organischen Chemie mehr in Angriff genommen. Seine späteren Mitteilungen betreffen dann wesentlich Ergänzungen seiner früheren Untersuchungen, wie die schöne, in Gemeinschaft mit Bardy (1872) veröffentlichte Synthese des Acenaphthens aus Äthyl-naphthalin. Alle diese in den ersten 20 Jahren seines Forschens ausgeführten Arbeiten gehören zu seinen hervorragendsten Leistungen. Wie sehr sie bei ihrem Erscheinen gewertet wurden, zeigen die Worte, mit denen Liebig 1869, also gerade am Schluß dieses Zeitabschnitts, seine Ernennung zum auswärtigen Mitglied der bayerischen Akademie der Wissenschaften begründete¹⁾.

¹⁾ Cinquantenaire scientifique de M. Berthelot, S. 51.

»Berthelot muß zu den Chemikern der gegenwärtigen Zeit gerechnet werden, welche den größten und entscheidendsten Einfluß auf die Entwicklung der organischen Chemie ausgeübt haben; er bereichert sie noch täglich beinahe mit neuen und bewunderungswürdigen Entdeckungen.«

Im Laufe der sechziger Jahre hat Berthelot die im Collège de France über Synthese und über Thermochemie gehaltenen Vorträge veröffentlicht; ferner sind auch in den wertvollen Leçons de Chimie, welche die Société chimique de Paris herausgegeben hat, drei sehr interessante Konferenzen über Synthese, über die Zuckerkörper und über Isomerie enthalten, in denen er in präziser Form seine Anschauungen entwickelt hat. Aus dem Vortrag über die Zuckerarten (1862) sei die klare Besprechung der Oxydationsprodukte mehratomiger Alkohole, sowie die Prägung einiger neuer und sehr gut gewählter Bezeichnungen, wie alcool-aldehyde, alcool-acide und aldéhyde-acide hervorgehoben. Diese 3 Klassen von Körpern gehören zu denen, welche er als corps à fonctions mixtes zusammenfaßt. Als Beispiel eines Alkoholaldehyds hat er im Vortrag das Helicin bezeichnet und dann in einem Nachtrag, infolge der inzwischen von Linnemann erschienenen Mitteilung, daß aus Invertzucker durch Reduktion Mannit entsteht, die Vermutung ausgesprochen, die Glucosen seien Alkoholaldehyde, während Linneman noch die Ansicht vertrat, die Zucker $C_6H_{12}O_6$ gehörten zu den ungesättigten Verbindungen¹⁾. Berthelot sagt, eine der alkoholischen Funktionen des Mannits sei in eine Aldehydfunktion verwandelt, sodaß nur fünf der ersteren überbleiben. Die Milchsäure bezeichnet er als eine Alkoholsäure. Er gehört mit Kekulé, Perkin und Wislicenus zu den Chemikern, die zuerst, und wohl unabhängig von einander, es mit klaren Worten ausgesprochen haben, daß die Milchsäure gleichzeitig ein Alkohol und eine Säure sei. Auch hat die Berthelotsche Benennung derselben als eine Alkoholsäure die weniger glückliche, von Würtz vorgeschlagene Bezeichnung als einbasisch-zweiatomige Säure, immer mehr verdrängt. Als Beispiel einer Aldehydsäure führt Berthelot in seinem Vortrag die Opionsäure an.

Für sein Bestreben, die Erscheinungen der anorganischen und der organischen Chemie unter allgemeine Gesichtspunkte zusammen zu

¹⁾ Auch Kekulé hat in seinem Lehrbuch die Zucker noch unter die ungesättigten Verbindungen aufgenommen, doch hatte er schon früher, Ann. d. Chem. 117, 128 [1861], die freilich mit einem Fragezeichen versehene Formel $C_6H_7O \left. \begin{array}{l} \\ H_5 \end{array} \right\} O_5$ für Zucker als fünfatomigen Alkohol gegeben. Die erste Konstitutionsformel, welche der Idee, ein Zucker sei zugleich Alkohol und Aldehyd entspricht, hat bekanntlich Baeyer 1870 aufgestellt.

fassen, ist die Vorlesung über Isomerie (1864) äußerst interessant. In dem zweiten Teil bespricht er ausführlich die Allotropie, welche er aus den bei den organischen Verbindungen gewonnenen Anschauungen zu erklären sucht. Er bezeichnet sie direkt als Isomerie der einfachen Körper und spricht die Ansicht aus, daß jetzt das Wort Allotropie unnötig geworden sei. Der Dimorphismus des Schwefels entspricht der physikalischen Isomerie in der organischen Chemie, Sauerstoff und Ozon dagegen der Polymerie. Ebenso betrachtet er den Schwefel in Dampfform bei 500° und bei 1000° als polymer. Die beiden Modifikationen des Phosphors entsprechen der eigentlichen Isomerie, und er nimmt auf Grund Berzeliusscher Versuche an, daß aus beiden verschiedene Schwefelverbindungen erhalten werden. Er entwickelte ferner die Ansicht, daß Elemente, wie Sauerstoff, Schwefel, Selen und Tellur mit den Äquivalenten, 8, 16, 40 und 64, Beziehungen derselben Art zeigen, wie die polymeren Verbindungen Amylen, Diamylen usw. Vor kühnen Hypothesen nicht zurückschreckend, sagt er, diese Analogien führten zu dem Gedanken, daß diese vier einfachen Körper vielleicht nichts anderes sind, wie ein und dasselbe Element, nur verschieden kondensiert.

In betreff der Allotropie hat sich Berthelot nicht darauf beschränkt, seine theoretischen Anschauungen mitzuteilen, eine große Reihe experimenteller Untersuchungen hat er seit 1857 über Schwefel, dann über Kohlenstoff, über Ozon usw. ausgeführt.

1869—1885.

Obwohl Berthelot schon in seiner Anfangszeit als Forscher sich mit thermochemischen Problemen beschäftigt hat, so darf man doch das Jahr 1869 als den eigentlichen Beginn der thermochemischen Periode ansehen, da er in diesem Jahre seine ersten experimentellen Untersuchungen auf diesem Gebiete veröffentlichte. Sie enthalten die in Gemeinschaft mit Louguinine ermittelten Werte für die Wärmeentwicklung bei Einwirkung von Wasser auf die Chloride, Bromide, Jodide und Anhydride der Säuren und speziell der Essigsäure. Diese Mitteilungen wurden vollständig in den Comptes rendus abgedruckt, obwohl ihr Umfang erheblich den festgesetzten Raum überschritt. Das Jahr 1869 hat für die Thermochemie noch die Bedeutung, daß damals Julius Thomsen seine seit 15 Jahren unterbrochenen Publikationen über thermochemische Untersuchungen wieder aufgenommen hat. Von diesem Moment an datiert also die großartige neuere Entwicklung der Thermochemie, welche diese beiden hervorragenden Rivalen durch ihre unermüdlichen und mustergültigen Arbeiten begründet haben. Durch die gegenseitige Kontrolle hat das außerordentlich reiche Material ihrer

Messungen einen ungewöhnlichen Grad von Zuverlässigkeit erhalten, wie dies 10 Jahre später Berthelot sehr schön in dem Vorwort zu seiner *Mécanique chimique* mit folgenden Worten hervorgehoben hat: »Diese Experimente haben seit 1869 fast ganz meine Zeit in Anspruch genommen. Zu derselben Zeit hatte durch ein ebenso glückliches, wie in der Geschichte der Wissenschaften seltenes Zusammentreffen der gelehrte dänische Professor J. Thomsen seinerseits, aber von anderen Gesichtspunkten ausgehend, eine Reihe numerischer Bestimmungen ausgeführt, die in vielen Punkten den meinigen parallel waren. Dieser Umstand hat den übereinstimmenden Resultaten, d. h. fast der Gesamtheit der von den beiden Seiten erhaltenen Werte einen außerordentlichen Grad der Zuverlässigkeit gegeben. Ich habe übrigens von dieser unerwarteten Kontrolle den Nutzen gezogen, meine Methode zu vervollkommen und einige meiner früheren Angaben zu verbessern.« Die Anfänge von Berthelots thermochemischen Publikationen können wir jedoch bis in das Jahr 1856 zurück verfolgen. Im Zusammenhang mit seinen organischen Arbeiten hatte er zuerst darauf hingewiesen, daß die Verbrennungswärme eines Esters fast genau gleich der Summe der Verbrennungswärme des Alkohols und der Säure ist, aus der er entsteht. Ebenso wies er darauf hin, daß gleiche Äquivalente von Äthylen, Alkohol und Äther nahezu gleiche Verbrennungswärmen liefern. Diesen Betrachtungen hatte Berthelot die von Favre und Silbermann ermittelten Werte zugrunde gelegt, wobei er die von diesen Forschern für je 1 g berechneten Verbrennungswärmen auf den Äquivalenten entsprechende Gewichtsmengen umrechnete, um sie zu seinen Betrachtungen benutzen zu können. Im Jahre 1865 hatte dann Berthelot, wie schon oben erwähnt, die Thermochemie im Collège de France zum Gegenstand seiner Vorlesungen gewählt und gleichzeitig seine erste ausführliche, aber rein theoretische, thermochemische Abhandlung publiziert. Daß diese noch ganz aus dem Boden der organischen Chemie hervorgewachsen ist, ergibt sich aus seinen eigenen Worten: »Heute beabsichtige ich, die calorischen Probleme, welche die Bildung und Zersetzung organischer Verbindungen bedingen, zu studieren.« Die Betrachtungen stützen sich auf die von älteren Forschern, namentlich Favre und Silbermann, veröffentlichten experimentellen Daten. Ihre Hauptgrundlage bildet das Prinzip der Äquivalenz zwischen Wärmeentwicklung und chemischer Umwandlung. Berthelot entwickelt dann den Satz, daß, wenn keine äußere Arbeit stattfindet, der Wärmeeffekt eines chemischen Vorgangs nur vom Anfangs- und Endzustand abhängt. Erst später hat er dann diese Prinzipien in zwei getrennt und sie als: Principe des travaux moléculaires und Principe de l'état initial et de l'état final bezeichnet.

Letzteres entspricht dem früher von Heß aufgestellten Gesetz der konstanten Wärmesummen. In dieser Abhandlung begegnen wir zum ersten Male den so glücklich geprägten und daher bald allgemein adoptierten Worten, exothermisch und endothermisch. Sie sind hier als Überschriften zweier Abhandlungen gegeben, die er erst später veröffentlichte.

Das berühmte dritte Berthelotsche Prinzip hat er dann in der 1869 erschienenen zweiten ausführlichen Abhandlung entwickelt, doch noch nicht in der Fassung, in der es später allgemein bekannt wurde. Diese teilte er zuerst 1873¹⁾ in folgender Form mit: »Jede chemische Umwandlung, welche sich ohne Dazwischenkunft einer fremden Energie vollzieht, strebt nach Erzeugung desjenigen Stoffes oder des Systems von Stoffen, welche die meiste Wärme entwickeln.« Auch die geschickt gewählte Bezeichnung: *Principe du travail maximum* kommt in diesen Publikationen zum ersten Male vor.

Mit Recht hat dann J. Thomsen darauf hingewiesen, daß er dieses Gesetz schon 1853 aufgestellt habe. Freilich ist die von diesem Forscher gegebene Fassung: »Jede einfache oder zusammengesetzte Wirkung von rein chemischem Charakter ist von einer Wärmeentwicklung begleitet«, in der Form etwas abweichend und auch vorsichtiger. Sie fordert überhaupt eine Wärmeentwicklung und nicht die größte, welche möglich ist.

Berthelot ist in seinen Abhandlungen in eine ausführliche Erörterung aller der Erscheinungen eingetreten, welche mit seinem Prinzip nicht in Einklang zu stehen schienen. Alle Hilfsmittel seines reichen Geistes hat er aufgeboten, um die allgemeine Gültigkeit seines Gesetzes von der größten Arbeit zu beweisen, um alle Widersprüche zu beseitigen, und um dessen Vorzüge vor den älteren Gesetzen, wie denjenigen von Berthollet, hervorzuheben. Auch eine große Zahl seiner experimentellen Arbeiten sind aus diesem Bestreben hervorgegangen, wodurch sich für die Wissenschaft der Vorteil einer großen Bereicherung des thermochemischen Materials ergab.

Unermülich war Berthelot bemüht, seine Methoden zu vervollständigen und zu verbessern, und da hat er auch auf diesem Gebiet seine Meisterschaft als geschickter und erfindungsreicher Experimentator bewährt. Von Anfang an hatte er die Unsicherheit des Quecksilber-Calorimeters erkannt und daher das Wasser-Calorimeter gewählt und Reaktionskammern aus Platin angewandt. Dann hat er seine gläserne Reaktionskammer, die ein bequemes Beobachten gestattet und für solche Substanzen allein anwendbar ist, welche Platin angreifen,

¹⁾ Bull. soc. chim. [2] 19, 160 [1873] und Ann. chim. phys. [5] 4, 52 [1873].

sowie eine Reihe von Hilfsapparaten, seinen bekannten schraubenförmigen Rührer usw. konstruiert.

Nachdem Berthelot während 10 Jahre seine Untersuchungen im Laboratorium fortgesetzt hatte, schien ihm der richtige Zeitpunkt gekommen, das, was er erforscht und erdacht, in einem Werke zusammenzustellen, genau so wie er es, nach gleichfalls zehnjährigem Arbeiten, auf organischem Gebiete früher getan hatte. Im Jahre 1879 veröffentlichte er sein großes Werk über Thermochemie unter dem Titel: *Essai de Mécanique chimique fondé sur la thermochemie*. In dem ersten Band bespricht er die Regeln und Methoden der chemischen Calorimetrie, beschreibt ausführlich die von ihm bisher benutzten Apparate, sowie die Ausführung der Versuche und stellt dann die von ihm und anderen ermittelten numerischen Resultate zusammen. Der zweite Band behandelt die allgemeinen Bedingungen der Bildung und Zersetzung chemischer Verbindungen und dann in dem letzten Teil die chemische Statik. Diese entwickelt er nun ganz auf der Basis des Prinzips der größten Arbeit, auf welche er alle Reaktionen zurückzuführen sucht.

Die Tatsache, daß dieses Prinzip eine sehr große Zahl chemischer Reaktionen befriedigend erklärt und auch den Verlauf vieler vorauszusagen gestattet, das große Ansehen, in dem Berthelot stand, sowie die kurze präzise Fassung des Prinzips, und auch wohl bis zu einem gewissen Grad der geschickt gewählte Name, haben dazu geführt, daß zur Zeit der Publikation des *Essai de Mécanique chimique* das Prinzip der größten Arbeit fast von allen Chemikern als ein allgemein gültiges Gesetz von hervorragendem Wert anerkannt wurde.

Gleichzeitig mit der neuen Thermochemie hatte sich, wenn anfangs auch etwas langsamer, ein jüngeres, wichtiges Glied physikalisch-chemischer Forschungen, die Thermodynamik, infolge der Arbeiten von Horstmann, Helmholtz, Gibbs und van't Hoff entwickelt. Durch die Ergebnisse derselben wurde dann die erste Bresche in die Annahme, daß das dritte Prinzip ein allgemein gültiges Gesetz sei, gelegt, wie dies aus Horstmanns Veröffentlichungen aus dem Jahre 1881 und der gleichzeitigen, sehr lesenswerten Kritik des Berthelot'schen Werkes von Rathke¹⁾ und auch aus den Publikationen von Helmholtz hervorgeht. Berthelot, dem es immer sehr schwer fiel, Ansichten, zu welchen er gelangt war, aufzugeben oder zu modifizieren, kämpfte nun mit einem ungeheuren Aufwand von Scharfsinn für das von ihm aufgestellte Gesetz, und es entspann sich zwischen ihm und einer Reihe von Forschern eine große Zahl eingehender Diskussionen, deren Geschichte aber wesentlich der nächsten Periode angehört.

¹⁾ Abhandl. d. Naturf. Ges. zu Halle 15, 197 [1882].

Auch nach Abfassung der beiden die Thermochemie betreffenden Bände hat Berthelot mit der gleichen Energie seine experimentellen Untersuchungen fortgesetzt. Seit 1880 hatte er die Verbrennungswärme von Gasen in hermetisch verschlossenen Bomben bestimmt, in denen er das Gemisch der Gase mit Sauerstoff durch elektrische Funken zur Detonation brachte. Es sind dies die Anfänge seiner berühmten calorimetrischen Bombe. Die älteren Apparate hatte er in Gemeinschaft mit Vieille so verbessert, daß sie auch für flüssige und feste Substanzen anwendbar wurden. Bei der neuen Bombe kam das Prinzip in Anwendung, die Substanzen in stark komprimiertem Sauerstoff zu verbrennen; es wurde in der Folge ein Druck von 20—25 Atmosphären benutzt. Die erste Beschreibung erschien 1884 in den *Comptes rendus*. Mit Hilfe dieser calorimetrischen Bombe konnte nun Berthelot die Verbrennungswärmen mit einer Genauigkeit bestimmen, wie es vorher nicht möglich war. Auch wurde durch diese Methode eine überraschend gute Übereinstimmung der von verschiedenen Forschern erhaltenen Werte erzielt. Nicht nur für die Wissenschaft hatte er ein Instrument von unschätzbarem Werte geschaffen, sondern auch für die Industrie. In der Form der Mahlerschen Bombe¹⁾, in der das teure Platin, welches das Innere der Stahlbombe bedeckt, durch Emaille ersetzt ist, bildet sie ein unentbehrliches Hilfsmittel der Brennstoffuntersuchungen.

Louguinine, den Berthelot eingeladen hatte, den Versuchen mit der calorimetrischen Bombe beizuwohnen, schreibt darüber: »Ich war von den Experimenten, denen ich beiwohnte, in höchstem Grade entzückt, und ich bestellte daher sofort bei dem Konstrukteur Goulay eine calorimetrische Bombe, aber auf Berthelots Rat von etwas kleineren Dimensionen, um mit derselben in vergleichender Weise unter Anwendung derselben Substanzen, die Bestimmungen zu wiederholen. Es ergab sich eine Übereinstimmung bis auf Bruchteile von Prozenten.«

Zu den ersten, die den großen Wert der neuen Methode erkannt hatten, gehört Stohmann. Er kam 1887 nach Paris, um sich daselbst gleichfalls eine Bombe konstruieren zu lassen, und um unter Berthelots Augen deren Anwendung kennen zu lernen. Doch traf er in einem unglücklichen Moment ein; infolge der Schnaebelé-Affäre herrschte in Paris große Aufregung. Berthelot kam ihm auf freundlichste entgegen, hatte aber, für ihn Unannehmlichkeiten befürchtend, Bedenken, ihn in das Collège de France, welches in einem unruhigen Quartier liegt, aufzunehmen. Er vermittelte es daher, daß Stohmann zuerst in Louguinines Privatlaboratorium, welches in

¹⁾ *Compt. rend.* 118, 774 [1891].

einem ruhigeren Stadtteil gelegen war, sich mit der calorimetrischen Bombe vertraut machte. Nachdem sich die Stimmung in Paris beruhigt hatte, siedelte Stohmann ins Collège de France über, indem er mit der inzwischen für ihn angefertigten Bombe noch einige Bestimmungen ausführte. In der Folge kamen eine Reihe fremder Gelehrten nach Paris, um an der Quelle die neue thermochemische Methode kennen zu lernen.

Auch auf den übrigen Gebieten der Thermochemie hat Berthelot, unterstützt durch viele Mitarbeiter, unermüdlich weiter gearbeitet. Die Wissenschaft verdankt ihm und seinen Schülern eine große Zahl von Bestimmungen der spezifischen Wärme, der Lösungswärme, der Wärmetönungen bei den mannigfaltigsten chemischen Reaktionen, bei Neutralisation, Substitution, Isomerisation. Nicht nur die Thermochemie organischer Verbindungen, denen er in erster Linie sein Interesse zugewandt hatte, auch die der organischen ist durch ihn außerordentlich gefördert worden.

Noch auf einem anderen Gebiet der physikalischen Chemie ist Berthelot als Pfadfinder aufgetreten und zwar in derselben Zeit, in der er schon mit seinen experimentellen Arbeiten über Thermochemie beschäftigt war. In Gemeinschaft mit seinem früheren Schüler und späteren Nachfolger an der École de Pharmacie, wie jetzt am Collège de France, Emile Jungfleisch, hat er in den Jahren 1869 und 1872 Untersuchungen über die Verteilung eines Stoffes zwischen zwei Lösungsmitteln ausgeführt und die Resultate unter dem Titel: »Sur les lois qui président au partage entre deux dissolvants« veröffentlicht. Sie zeigten, daß die Verteilung unabhängig von dem Volumverhältnis der beiden Lösungsmittel, aber abhängig von der Konzentration und von der Temperatur ist. Dieses Verhältnis wurde von den beiden Chemikern als Teilungskoeffizient (coefficient de partage) bezeichnet. Ihre Arbeiten sind die ersten, welche das für die physikalische Chemie so wichtige Problem des Verteilungssatzes, den dann Nernst 22 Jahre später theoretisch weiter entwickelte, in Angriff genommen hatten.

Wesentlich veranlaßt durch die Belagerung von Paris, hat Berthelot sich mit den Problemen der Explosivstoffe beschäftigt. Wie schon oben erwähnt, war an ihn als Präsident des wissenschaftlichen Komitees zur Verteidigung der Hauptstadt, die Frage herangetreten, ob bei Pulvermangel es möglich sei, innerhalb der Mauern von Paris Salpeter zu fabrizieren. Mit großem Eifer unterzog sich Berthelot dieser Aufgabe, und in kurzer Zeit war sein Bericht fertiggestellt, den er dann am 10. November zusammen mit den zu diesem Zweck unternommenen historischen Studien in einer Sitzung der Französischen

Chemischen Gesellschaft mitteilte. In der sehr interessanten Abhandlung: »l'extraction du salpêtre en France avant le dix-neuvième siècle« berichtet er über die älteren Verfahren der Salpetergewinnung und über die gesetzlichen Bestimmungen. Die älteste Verfügung, welche er in den Archiven auffand, datiert aus dem Jahre 1540. Der größte Ertrag von in Frankreich gewonnenem Salpeter betrug unter Ludwig XIII. jährlich $3\frac{1}{2}$ Millionen Pfund, dann fiel er allmählich, erreichte vorübergehend nochmals 1789 die Menge von 3 Millionen, um dann zur Zeit der Restauration durch den Salpeter aus Ostindien und Chili verdrängt zu werden. Auf Grundlage der älteren Erfahrungen und eingehender Erkundigungen gelangte die Kommission zur Ansicht, daß es möglich sei, innerhalb der Mauern der belagerten Stadt, aus dem Boden, den Auswitterungen und dem Bauschutt, mehrere hunderttausend Kilogramm Salpeter zu gewinnen. Sollte diese Extraktion notwendig werden, so müßte die ganze Bevölkerung zu dem patriotischen Werke aufgefordert werden, sich an zu bestimmenden Tagen der Sammlung der salpeterhaltigen Materialien, ihrer Auslaugung und Konzentration zu unterziehen. Ebenso müßte mit der Holzasche verfahren werden. Die Laugen sollten dann durch dazu Angestellte abgeholt und weiter verarbeitet werden.

Noch während der Belagerung hat sich Berthelot so eingehend mit Studien über die Explosivstoffe beschäftigt, daß er schon im Laufe des Monats November 1870 der Akademie drei Abhandlungen einreichen konnte, welche in den Comptes rendus unter der Rubrik Art militaire in Anbetracht ihrer Bedeutung vollständig abgedruckt wurden, obwohl sie den vorschrittmäßigen Umfang erheblich überschritten. Diese Studien stehen nun in direktem geistigen Zusammenhang mit seinen thermochemischen. Auf Grund der Versuche von Bunsen und Schiskoff, sowie der von verschiedenen Forschern ermittelten calorimetrischen Daten hatte Berthelot gezeigt, wie man die Kraft explosiver Stoffe berechnen kann. Diese Abhandlungen erschienen 1871 in Buchform unter dem Titel: sur la force de la poudre et des matières explosives. Sie bilden eine der wichtigsten Grundlagen dieses ganzen Gebietes. Berthelot hat dann in der Folge Untersuchungen in großer Zahl angestellt, teils allein, teils mit seinen beiden vortrefflichen Mitarbeitern Sarrau und Vieille; es sind dies die Bestimmungen der Bildungswärme der Salpetersäure, der Nitrate, der Gemische von Salpetersäure und organischen Stoffen. Auch hierbei hat er sich nicht nur als ausgezeichnete, sondern auch als unerschrockene Experimentator bewährt. 1883 zeigten Berthelot und Vieille, daß bei Knallgasgemischen die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Explosion unabhängig ist vom Drucke, vom Durchmesser und Material der Röhren, in denen sich die Gase befinden, und ge-

langten so zu dem wichtigen Resultat, daß für jedes Gasmisch eine bestimmte charakteristische Konstante existiert, welche sie als Explosionswelle (onde explosive) bezeichnen. In demselben Jahre hat dann Berthelot die seit 1870 erhaltenen Resultate zusammengestellt und ein für die Theorie und Praxis der Explosivstoffe grundlegendes und unentbehrliches Werk geschaffen. Es ist in zwei Bänden unter dem Titel: »Sur la force des matières explosives d'après la Thermo-chimie« als dritte Auflage der oben erwähnten Broschüre erschienen. Vor den Werken über Synthese und Thermochemie hat es den großen Vorteil, ein ausführliches alphabetisches Register zu besitzen. Der Vergleich der kleinen ersten und der großen dritten Auflage zeigt, mit welcher Energie und welchem Erfolg Berthelot neben seinen anderen Untersuchungen während der 12 Jahre seine Arbeiten über Explosivstoffe weiter geführt hat.

In weniger direktem Zusammenhang mit der Thermochemie stehen eine Reihe von Berthelots Entdeckungen, die er mit Hilfe stiller elektrischer Entladungen erhalten hatte, und doch geht aus der Reihenfolge der Publikationen hervor, daß sie in Bezug auf experimentelle Durchführung durch die ersteren beeinflußt wurden. Unter den Apparaten, die Berthelot für Bestimmung von Wärmetönungen konstruierte, gehört sein Ozonateur, den er 1877 in den *Annales de chimie* und auch in der *Mécanique chimique* (I, 222) beschrieben hat. Wie bei dem Ozonapparat von A. Thénard, läßt er die dunklen elektrischen Entladungen statt durch Metallflächen zwischen zwei Flüssigkeiten durchschlagen.

Mit Hilfe dieses Apparats, den er in der Folge häufig anwandte, hat er seine bedeutendste Entdeckung auf anorganischem Gebiete, die des Überschwefelsäureanhydrids, gemacht. Bei der Einwirkung stiller elektrischer Entladungen auf ein Gemenge von Schwefeldioxyd und Sauerstoff haben sich nach Verlauf von 8—10 Stunden auf den Glaswänden Krystalle angesetzt, die an Schwefelsäureanhydrid erinnern, sich von diesem aber dadurch unterscheiden, daß sie undurchsichtig sind und aus viel feineren Nadeln bestehen. Berthelot wies nach, daß diese neue Verbindung, welche er »acide persulfurique« benannte, der Formel S_2O_7 entsprechend zusammengesetzt ist. Gleichzeitig zeigte er, daß eine wäßrige Lösung dieser Säure bei der Elektrolyse ziemlich konzentrierter Schwefelsäure entsteht. So bereicherte er die Chemie durch Auffindung dieser theoretisch interessanten Säure, deren Salze sich dann als wichtige Oxydationsmittel bewährten.

Schon vorher (1876) hatte er die merkwürdige Beobachtung gemacht, daß unter der Einwirkung stiller elektrischer Entladungen organische Stoffe, wie Benzol, Terpentinöl und Cellulose, befähigt werden, den freien gasförmigen Stickstoff zu absorbieren, wobei Sub-

stanzen entstehen, welche beim Glühen mit Kalk Ammoniak entwickeln. Von welcher Bedeutung diese Beobachtung wurde, ergibt sich später aus der Besprechung der agrikulturchemischen Untersuchungen.

In dieser Periode hat Berthelot in betreff der organischen Verbindungen sowie der Atomtheorie noch streng an seinen früheren Ansichten festgehalten und ist, sowie sich die Gelegenheit bot, für dieselben eingetreten. Als Lothar Meyer 1872 im Schlußworte zur zweiten Auflage seiner »Modernen Theorien der Chemie«, den Ausspruch tat: »Die Hypothesen von Avogadro und von Dulong und Petit sind als die Grundlagen der Atomgewichtsbestimmung allgemein anerkannt worden; die Gmelinschen Äquivalente sind aus der Literatur verschwunden«, da hat er der Zeit vorgegriffen und Sainte-Claire Deville und vor allem Berthelot vergessen. In den Jahren 1877—1878 wurde in den Sitzungen der Akademie in Paris mit großem Scharfsinn und Eifer ein Streit ausgefochten, zu der eine Arbeit von Alex. Naumann die Veranlassung gegeben hatte. Dieser war auf Grund von Dampfdichtebestimmungen zu dem Resultat gelangt, daß das Chloralhydrat nicht unzersetzt flüchtig ist. Troost suchte das Gegenteil zu beweisen, und nun übernahm Würtz, wie A. W. Hofmann¹⁾ ausführlich in dessen Nekrolog mitgeteilt hat, die Verteidigung der Atomtheorie. Die Streitfrage beschränkte sich nicht auf das Chloralhydrat, sondern erweiterte sich zu einer allgemeinen Erörterung über Moleküle, Atome und Äquivalente, die in den Comptes rendus nicht weniger wie 30 Mitteilungen umfaßt. Berthelot, als einer der Chemiker, die den alten Äquivalenten treu geblieben waren, nahm mit Eifer an der Polemik teil. Als dann Marignac 1877 in den Archives des Sciences über den Verlauf der Diskussion berichtete und darauf hinwies, daß man fast überall durch die allmählich erfolgte Zustimmung der Majorität der Chemiker ohne Kampf dazu gekommen sei, die Atomformeln (formules atomiques) an Stelle der älteren einzuführen, nur nicht in Frankreich, nahm auch Berthelot diesen Handschuh auf und verteidigte in einem sehr verbindlichen Briefwechsel²⁾ die Ansicht, daß die Festsetzung der Atomgewichte unsicher, dagegen die Definition der Äquivalente ein klarer Begriff sei. Marignac erwiderte, daß Berthelot unglücklicherweise diese Definition nicht gegeben habe, denn er selbst kenne keine. Obwohl nach allgemeiner Ansicht die Atomtheorie aus diesem Streit siegreich hervorgegangen ist, erfolgte nochmals, gelegentlich einer Arbeit von Bouty über die Leitfähigkeit von Salzlösungen, im Jahre 1884 eine Diskussion über dieselben

¹⁾ Diese Berichte 20, Ref. 974 [1887].

²⁾ Oeuvres de Marignac, II, 659.

Fragen zwischen Würtz und Berthelot. Letzterer vertrat die Ansicht, daß das Faradaysche Gesetz weniger klar und komplizierter werde, wenn man es mit Hilfe der neuen Atomgewichte ausdrücke. Diese Diskussion war dann die letzte im Schoß der Französischen Akademie über den Gegenstand. Ganz fremd waren wohl auch der langen Dauer dieser Kontroversen die persönlichen Gegensätze nicht. Interessant in dieser Beziehung, wie auch in betreff der allgemeinen philosophischen Anschauungen Berthelots ist ein Gespräch zwischen ihm und Naquet aus der Mitte der achtziger Jahre, als beide Mitglieder des Senats waren; Naquet¹⁾ hat darüber in folgender Weise berichtet: Auf die Frage von Naquet, warum Berthelot darauf beharre, $O = 8$ zu setzen, da er doch in allen seinen Formeln eine paare Anzahl von Sauerstoffatomen annehme, antwortete dieser: »Ich will nicht, daß die Chemie zu einer Religion degeneriere und man an die Existenz der Atome glaube, wie der Christ an die Gegenwart von Christus in der Hostie glaubt.« Auf die Entgegnung von Naquet, daß die Atomtheorie nur ein Hilfsmittel des Geistes sei und niemand daran denke, unsere Atome als wirkliche Wesen anzusehen, antwortete Berthelot kurz: *Würtz les a vu*. Dem periodischen System gegenüber, welches sich mit den Äquivalenten nicht entwickeln läßt, verhielt er sich gleichfalls ablehnend. Noch bis zum Jahre 1891 hat er in seinen Publikationen die alten Äquivalente beibehalten, dann im Laufe dieses Jahres zum ersten Male in einer der Akademie eingereichten Mitteilung die gebräuchlichen Atomgewichte adoptiert und ausschließlich benutzt.

Auch die Lehren der Stereochemie hat er bekämpft; als Gegenbeweis gegen die von Le Bel und van't Hoff vertretenen Ansichten hielt er daran fest, daß Styrol aktiv sei. Die verschiedenen Modifikationen der Weinsäure und der Milchsäure suchte er (1875) durch Atombewegungen zu erklären, ohne aber dies begründen zu können. Noch 1887 konnte van't Hoff in seinen »*Dix années dans l'histoire d'une théorie*« sagen, daß die Opposition gegen die Theorie des asymmetrischen Kohlenstoffs in Deutschland seit dem Tode von Kolbe verschwunden sei, und nur noch in Frankreich in der Person Berthelots sich erhalte.

Der Umstand, daß er zu Anfang der achtziger Jahre noch den Lehren der Atomtheorie als Gegner gegenüberstand, veranlaßte ihn 1880 und 1881 den Versuch zu machen, die bei den Dampfdichtebestimmungen des Jods erhaltenen Resultate in anderer Weise wie V. Meyer zu erklären. Statt eine Spaltung der Moleküle bei hoher Temperatur anzunehmen, bevorzugte er die Ansicht, daß für die

¹⁾ *Moniteur scientifique* 1900, 185.

Haloide die Gesetze von Mariotte und von Gay-Lussac nicht mehr gültig sind.

Anerkennenswert ist es, daß in hohem Alter Berthelot nicht nur von dieser Opposition zurücktrat, sondern dies auch öffentlich dadurch dokumentierte, daß er in seiner Thermochemie und in der vierten Auflage seines Lehrbuchs die heutigen Ansichten in betreff der erwähnten Punkte rückhaltlos annahm.

1885—1907.

Ununterbrochen hat auch während der letzten 22 Jahre seines Lebens Berthelot sich eingehend mit der Thermochemie befaßt. Ein reicher Strom von experimentellen Arbeiten ist aus seinem Laboratorium hervorgegangen. Im Jahre 1897 hat er dann, 70 Jahre alt, die zwei großen Bände der »Thermochemie« herausgegeben. Schon weiter oben ist darauf hingewiesen worden, welcher außerordentlich mühevollen Rechnungsarbeit er sich dabei unterzogen hat. In diesem Werk hat er alle von ihm, seinen Schülern und Mitarbeitern während 28 fleißiger Jahre ermittelten thermochemischen Daten, sowie diejenigen anderer Forscher zusammengestellt. Man könnte es wohl als eine zweite Auflage seiner »Mécanique chimique« ansehen, wenn nicht zu wesentliche Unterschiede im allgemeinen Plan und den theoretischen Entwicklungen darin zum Vorschein kämen. Die thermochemischen Methoden sind von Berthelot nicht mehr in das neuere Werk aufgenommen worden, da er sie schon 1893 in zweckmäßiger Weise in einem vortrefflichen kleinen Buch »Traité pratique de calorimétrie chimique«, von dem 1905 eine zweite Auflage erschienen ist, beschrieben hat. Wesentlich unterscheidet sich das neuere Werk von dem älteren dadurch, daß das Prinzip der größten Arbeit nicht mehr so beherrschend wie früher in Anwendung kommt. Schon 1894 hat Berthelot in der Abhandlung: *le principe du travail maximum et l'entropie*¹⁾, sein drittes Gesetz wesentlich eingeschränkt, indem er die Vorgänge der Dissoziation von demselben ausschließt. Andere unter Wärmeabsorption verlaufende Reaktionen sucht er, wie auch schon früher, durch Änderung des physikalischen Zustands zu erklären. So erscheint nach seiner Auffassung die Bildung des Acetylens aus den Elementen als eine exothermische, wenn man die Wärmemenge in Betracht zieht, welche, ehe die Verbindung eintritt, erforderlich ist, um den festen polymeren Kohlenstoff in gasförmigen zu verwandeln. Ebenso wäre in anderen Fällen das Schmelzen, der Einfluß der Lösungsmittel usw. in Rechnung zu ziehen. Im Laufe der Jahre ist

¹⁾ Compt. rend. 118, 1378 [1894].

Berthelot noch wiederholt auf derartige Gesichtspunkte zurückgekommen. Die Bildung der Stickoxyde aus den Elementen führt er auf elektrische oder strahlende Energie zurück. Wie aus vielen späteren Abhandlungen hervorgeht, hat er doch im großen und ganzen daran festgehalten, daß sein Prinzip der maximalen Arbeit einem allgemein gültigen Gesetz entspricht. Wenn nun in seiner Allgemeinheit dies heute nicht mehr anerkannt wird, so verbleibt doch dem Satz von Berthelot der große Wert einer Regel, welche in den meisten Fällen und namentlich bei niederer Temperatur dem Verlauf der Reaktionen entspricht und auch mit Wahrscheinlichkeit voraussagen läßt. Nernst hat in den verschiedenen Auflagen seines Lehrbuchs seine Ansicht hierüber in folgender Weise ausgesprochen: »Diese Regel, die wir als ein unbedingtes Naturgesetz durchaus verwerfen mußten, trifft in der Tat denn doch gar zu häufig ein, als daß wir sie gänzlich ignorieren dürften; die unbedingte Anerkennung wäre daher nicht verkehrter, als ihre gänzliche Außerachtlassung. Man zweifelt ja nirgends in der Naturforschung daran, daß in einer Regel, die in vielen Fällen stimmt, im einzelnen freilich versagt, ein richtiger Kern enthalten ist, der nur harrt, aus einer verschleiernden Hülle herausgeschält zu werden, und gerade in unserem Falle scheint es sehr wohl möglich, daß in geklärter Form Berthelots Prinzip einst wieder zur Geltung kommt.« An einer anderen Stelle sagt derselbe Forscher: »Dem Prinzip der maximalen Arbeit liegt ein Naturgesetz versteckt zugrunde, dessen weitere Klarstellung höchste Wichtigkeit besitzt.« Auch in den Fragen der Thermochemie dürfte sich dann Berthelots großer Scharfblick bewährt haben.

Schon 1882 hatte Berthelot Versuche über Detonation von Acetylen angestellt und gefunden, daß es weder beim Erhitzen, wobei es sich polymerisiert, noch unter dem Einfluß elektrischer Funken explodiert, daß aber durch Knallquecksilber eine Explosion erfolgt, wobei das Acetylen in Kohlenstoff und Wasserstoff zerfällt. Bald nach der Anwendung des Acetylens als Beleuchtungsmittel waren bei Versuchen mit flüssigem Acetylen heftige und gefährliche Explosionen erfolgt; die ersten im Jahre 1896. Es war daher nicht nur wissenschaftlich, sondern auch industriell sehr wichtig, genau über das Verhalten des Acetylens in dieser Beziehung sich zu unterrichten. Berthelot und Vieille haben 1896 ihre erste Arbeit über die explosiven Eigenschaften des Acetylens veröffentlicht und diese kühnen und hervorragenden Versuche in den folgenden Jahren fortgesetzt. Sie haben die Umstände angegeben, unter denen das flüssige Acetylen gefährlich werden kann, und welche zu vermeiden sind. Immerhin darf man wohl aus diesen Versuchen die Schlußfolgerung ziehen, daß flüssiges Acetylen überhaupt nicht verwendet werden sollte. Sie haben ihre Versuche auf

Lösungen des Acetylens und auf Mischungen mit anderen Gasen ausgedehnt. Bei ihren früheren Versuchen über die Explosionswelle der Gasgemische hatten sie auch diejenigen von Acetylgemischen mittels eines Chronometers nach den Intervallen des Zerreißen eines elektrischen Stroms bestimmt. Berthelot und Le Chatelier haben dann 1899 die Fortschrittggeschwindigkeit der Explosion des reinen Acetylens nach einem photographischen Verfahren ermittelt, welches erlaubt, aus dem auf der Platte festgehaltenen Bild diese Geschwindigkeit zu berechnen. Die Versuche beweisen den ungeheuer brisanten Charakter der mit Knallquecksilber hervorgebrachten Detonation. Bei reinem Acetylen widerstanden die Glasröhren höchstens auf eine Länge von einem Meter, während bei Gasgemischen von Acetylen und Sauerstoff, wie von Wasserstoff und Sauerstoff sie meist stand gehalten hatten.

Berthelot hat auch noch Versuche gemacht, um die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Explosion fester und flüssiger Stoffe zu ermitteln. Sie zeigen, mit welcher Unerschrockenheit er sein Problem verfolgte.

In seiner ersten großen, thermochemischen Abhandlung hatte Berthelot im Jahre 1865 Fragen über die tierische Wärme mit in den Kreis seiner Betrachtungen und Berechnungen gezogen; 1899 hat er dann experimentell ein sehr interessantes Resultat ermittelt. Durch direkte calorimetrische Bestimmungen hat er gefunden, daß bei der Absorption des Sauerstoffs durch den Blutfarbstoff sich eine recht erhebliche Wärmemenge entwickelt. Dieselbe entspricht für 32 g Sauerstoff 15.2 Cal., also ungefähr einem Siebentel derjenigen, welche die gleiche Gewichtsmenge Sauerstoff bei der Verbrennung des amorphen Kohlenstoffs liefert. Gleichzeitig weist Berthelot darauf hin, daß dieser Wärmeproduktion in der Lunge ein Verlust gegenübersteht, der durch Übergang der im venösen Blut enthaltenen Kohlensäure in den gasförmigen Zustand und durch den ausgeatmeten Wasserdampf bedingt ist. Seinen Rechnungen nach kann dieser Wärmeverlust je nach der Lufttemperatur und der Sättigung mit Wasserdampf kleiner oder größer sein, wie der durch die Sauerstoffabsorption bedingte Gewinn. Diese Versuche, die Berechnungen und eine Reihe einschlagender calorimetrischer Daten, hat Berthelot 1899 in zwei kleinen Bändchen: »Chaleur animale« veröffentlicht. Seine letzte, der Akademie am 4. März 1907 übergebene Mitteilung betrifft Bestimmungen, die für die tierische Wärme von Bedeutung sind, die mit Ph. Landrieu ermittelten Verbrennungs- und Bildungswärmen von Hämatin, Hämoglobin und Bilirubin.

Auch auf dem zweiten großen Arbeitsgebiete dieser Periode, auf dem der Pflanzen- und Agrikulturchemie ist es Berthelot gelungen,

neue Lorbeeren zu pflücken und, in Gemeinschaft mit seinem lang-jährigen unermüdlichen Assistenten und Mitarbeiter G. André, ein reiches experimentelles Material zu sammeln.

Seit dem Anfang des vorigen Jahrhunderts ist die für Wissenschaft und Praxis gleich bedeutungsvolle Frage, ob der freie Stickstoff der Atmosphäre den Pflanzen als Nahrung dienen kann, wiederholt Gegenstand von Untersuchungen und Kontroversen gewesen. Während Igenhous die Ansicht vertrat, daß alle Pflanzen den freien Stickstoff assimilieren können, kam de Saussure 1804 auf Grund seiner Vegetationsversuche zur Ansicht, nur der gebundene, im Kulturboden enthaltene Stickstoff käme den Pflanzen zugute. In den fünfziger Jahren führte dieser Gegenstand zu einer langen und hochinteressanten Diskussion zwischen George Vile und Boussingault. Ersterer war auf Grund seiner Versuche, die er in den Jahren 1850—1857 publizierte, zu der Schlußfolgerung gelangt, daß der freie Stickstoff der Atmosphäre den Pflanzen als Nahrung dienen kann. Boussingault dagegen vertrat infolge seiner Untersuchungen die Ansicht, daß der freie Stickstoff bei der Entwicklung der Pflanzen nicht assimiliert wird. Obwohl eine von der französischen Akademie gewählte Kommission, deren Berichterstatter Chevreul war, sich für die Richtigkeit der Villeschen Versuche aussprach, wurde fast allgemein Boussingaults Ansicht, der sich auch die bedeutenden englischen Agronomen Lawes, Gilbert und Pugh anschlossen, als richtig angesehen. Nicht nur die große Autorität Boussingaults hatte dies bewirkt, sondern auch der Umstand, daß Vile seine Versuche nicht immer scharf präzisiert hatte, und er vor allem den Unterschied in der Rolle der Leguminosen und der übrigen Kulturpflanzen nicht klar erkannte, und es ihm daher nicht möglich war, die Widersprüche aufzuklären.

Die Frage, woher es komme, daß Wiesen und Wälder, denen häufig Stickstoff ohne Ersatz entzogen wird, ihre Fruchtbarkeit nicht verlieren, blieb unbeantwortet. Ebenso hatten die Beobachtungen, daß bei gewissen Kulturen sich ein Stickstoffzuwachs ergibt, der nicht auf den Stickstoffgehalt des Bodens oder dem im Regenwasser enthaltenen gebundenen Stickstoff zurückgeführt werden kann, keine Erklärung gefunden. Berthelot hatte dann zuerst 1876 in den Abhandlungen über die durch organische Substanzen unter dem Einfluß stiller elektrischer Entladungen bewirkte Absorption des atmosphärischen Stickstoffs, die Vermutung ausgesprochen, daß vielleicht ähnliche Vorgänge in der Natur eine Anreicherung an gebundenem Stickstoff bewirken und die durch Verwesung und Verbrennung bedingten Verluste ersetzen. Nach der Gründung der Agronomischen Station in Meudon hat er es unternommen, diese Frage experimentell weiter zu verfolgen.

Diese Versuche haben ihn nun zu der äußerst wichtigen Entdeckung geführt, daß im unbepflanzten Boden der freie Stickstoff infolge der Gegenwart von Mikroorganismen fixiert werden kann.

Tonhaltige Erdproben wurden unter verschiedenen Bedingungen der Einwirkung der Luft ausgesetzt. Die Gesamtstickstoffmenge wurde zu Anfang der Versuche und nach verschiedenen Zeitintervallen bestimmt; dabei ergab sich eine fortschreitende Zunahme des im Boden in gebundener Form enthaltenen Stickstoffs. Bei Kontrollversuchen mit den vorher auf 100° erhitzten Erdproben war dagegen keine Anreicherung an Stickstoff eingetreten. In der am 25. Oktober 1885 der Akademie gemachten Mitteilung entwickelte Berthelot die wichtige Schlußfolgerung, daß durch niedere Organismen die Fixation des freien atmosphärischen Stickstoffs im Boden bewirkt werde.

Auch von anderer Seite war die Kenntnis der Stickstoffassimilation der Pflanzen seit den fünfziger Jahren gefördert worden. Denkende und vorwärts strebende Landwirte hatten die schon von den Römern gemachte Beobachtung, daß der Anbau der Leguminosen auf die darauf folgenden Kulturen von Getreide fördernd einwirkt, weiter ausgebaut. Schultz-Lupitz hatte auf diese Erfahrungen sein eigenartiges Wirtschaftssystem der Kali- und Phosphatdüngung und des Stickstoffersatzes durch Anbau der Leguminosen begründet und seine Resultate 1881 mitgeteilt. In klarer Weise hat er die Leguminosen als Stickstoffsammler, die Getreidearten als Stickstofffresser bezeichnet. Aber der Mechanismus war noch aufzuklären. Dies ist nun durch Hellriegel geschehen. Auf Grund mehrjähriger Versuche gelangte er zu seiner epochemachenden Entdeckung, daß die Leguminosen die Fähigkeit besitzen, den Stickstoff der Luft für ihr Wachstum zu benutzen, wenn die Mikroorganismen vorhanden sind, welche die Wurzelknöllchen bilden. Er hat seine erste, großes Aufsehen erregende Mitteilung auf der Naturforscherversammlung in Berlin im September 1886 gemacht. Die ausführliche Abhandlung von Hellriegel und Wilfarth: Untersuchungen über die Stickstoffnahrung der Gramineen und Leguminosen, erschien zwei Jahre später.

Diese beiden Entdeckungen, die von Berthelot über die Stickstoffbindung im unbepflanzten Boden, und die von Hellriegel über die Stickstoffaufnahme der Leguminosen, welche von verschiedenen Gesichtspunkten aus vollkommen unabhängig von einander gemacht wurden, bilden wichtige Marksteine für die Pflanzenchemie und für die wissenschaftliche Erkenntnis des Kreislaufs des Stickstoffs in der Natur. Die Berthelotsche Mitteilung ist, wie aus obigen Daten hervorgeht, früher als die von Hellriegel erfolgt. Beiden Forschern dürfen wir jedoch das große Verdienst zuschreiben, gezeigt zu haben,

wie durch Mitwirkung niederer Organismen es dem Pflanzenreich möglich gemacht wird, den freien Stickstoff der Atmosphäre zu ihrem Aufbau zu benutzen. Für die Landwirtschaft ist aber die Bindung dieses Elements durch Symbiose in den Leguminosen die wichtigere.

Berthelot hat in den folgenden Jahren noch zahlreiche Versuche über Stickstoffaufnahme im un bebauten, wie auch mit Leguminosen bepflanzten Boden ausgeführt. Auch haben auf diesem neu erschlossenen Gebiet eine Reihe hervorragender Chemiker und Biologen mit Erfolg weiter gearbeitet und die ersten Ergebnisse in ihrer Allgemeinheit bestätigt und in Einzelheiten berichtigt und ergänzt.

Berthelots Versuche über Stickstoffbindung durch stille elektrische Entladungen erlauben es aber bisher nicht, mit Bestimmtheit zu erkennen, wie hoch ihre Rolle im Haushalt der Natur für die Fixierung des Stickstoffs zu bewerten ist. Er hat daher auch mit Recht in dem vierbändigen Werk: *Chimie végétale et agricole*, in dem er die in den Jahren 1884—1899 in Meudon ausgeführten und schon in einzelnen Abhandlungen publizierten Untersuchungen zusammenstellte, der durch Mikroben bewirkten Stickstoffbindung die erste Stelle eingeräumt, obwohl geschichtlich die Versuche mit stillen elektrischen Entladungen früher begonnen haben. Der 1. Band, der ganz der Stickstoff-Assimilation gewidmet ist, enthält als Einleitung noch eine kurze Beschreibung des Instituts in Meudon. Im 2. und 3. Band sind die während vieler Jahre fortgesetzten Arbeiten von Berthelot und André — die *Recherches générales* und die *Recherches spéciales sur la végétation* — enthalten. Ein außerordentlich reiches Material gewichtsanalytischer Bestimmungen über die Entwicklung einer Reihe von Pflanzen in ihrer Gesamtheit wie der einzelnen Teile, der Wurzeln, Stiele, Blätter und Früchte, bilden die ersten Kapitel. Dann folgen die Untersuchungen über das Verhältnis der Elemente Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff in den Pflanzen und das Vorhandensein und die Rolle von Schwefel, Phosphor, Aluminium und Nitraten in denselben. Einen großen Platz nehmen die interessanten Untersuchungen über Vorkommen und Entstehung der Oxalsäure ein. Schon 1886 hatten die beiden Forscher gefunden, daß die Oxalsäure sich bei *Rumex acetosa* viel reichlicher in den Blättern, als in den übrigen Teilen bildet, und daß die Blätter dieser Pflanze auch besonders reich an Albuminoiden sind. Sie gelangten daher zu der Ansicht, daß der synthetische Aufbau der Eiweißkörper in den Pflanzen in einem direkten Zusammenhang mit dem Auftreten der Oxalsäure stehe. Andere Untersuchungen betreffen das Vorkommen von Carbonaten und Kohlensäure in den Pflanzen, Zersetzung des Zuckers durch Säuren, die Arabinose usw. Der 4. Band enthält

die von Berthelot und André ausgeführten Studien über den Ackerboden, dessen unorganische und organische Bestandteile, und im Anschluß an den Humus auch über die künstliche Huminsäure.

Alle diese in den 4 Bänden enthaltenen Arbeiten betreffen landwirtschaftlich wie botanisch wichtige Fragen. Zu bedauern ist es, daß Berthelot nicht mehr dazu kam, aus dem überreichen Zahlenmaterial die gewonnenen Resultate in kurzer, übersichtlicher Form herauszuziehen. Ein wesentlich gekürztes Werk hätte namentlich in den agrikulturchemischen Kreisen außerhalb Frankreichs eine allgemeinere Verbreitung gefunden.

In den drei letzten Bänden der Pflanzenchemie hat Berthelot noch andere, meist ältere Arbeiten über chemische Wirkung des Lichts, über Oxydationsvorgänge und seine Untersuchungen über den Wein mit aufgenommen. Auch die Abbildung eines merkwürdigen, zugeschmolzenen Glasgefäßes, dessen Alter auf 15 oder 16 Jahrhunderte geschätzt wird, findet sich im letzten Band. Den in demselben enthaltenen Wein, dessen Alkoholgehalt nur 4.5 % betrug, hatte Berthelot schon 1877 analysiert.

Während dieser ganzen Periode hat Berthelot ununterbrochen Analysen antiker Gegenstände veröffentlicht, die weiter unten erwähnt sind. Aus den Publikationen der letzten 15 Jahre geht auch die interessante Erscheinung hervor, daß sich Berthelot neben allen übrigen Arbeiten sehr für die neuesten großen Errungenschaften der anorganischen Chemie interessierte, und daß diese ihn zu eigenen Versuchen führten. So hat er in den Jahren 1891 und 1892 Mitteilungen über Nickelcarbonyl, dann über Argon und Helium und zuletzt über Radium veröffentlicht. Noch in der allerletzten Zeit seines Lebens hatte er sich mit der Untersuchung dieses so überaus interessanten Elements beschäftigt und auf dieselbe die größte Hoffnung gesetzt.

Im Jahre 1901 hat Berthelot in 3 Bänden unter dem Titel: *Les carbures d'hydrogène* seine sämtlichen Untersuchungen über Kohlenwasserstoffe zusammengestellt, wobei er meist nur die endgültigen Texte aus den *Annales de Chimie* gewählt hat. Abgesehen von einigen Anmerkungen und wenigen Änderungen unterscheidet sich der Wiederabdruck von den Originalen nur dadurch, daß den Formeln an Stelle der Äquivalente die Atomgewichte zugrunde gelegt sind. Der 1. Band umfaßt die Arbeiten über Acetylen und die Synthese der Kohlenwasserstoffe, der 2. die Abhandlungen über die pyrogenen Kohlenwasserstoffe, über die Allyl-, Terpen- und Camphenreihe. Im 3. Band sind die Reduktionsvorgänge mit Jodwasserstoff, sowie die Verbindung der Kohlenwasserstoffe mit Sauerstoff und den Elementen des Wassers, also die Synthese der Alkohole, enthalten. Mit Ausnahme der Ar-

beiten über Glycerin, über die mehratomigen Alkohole und die Ester sind alle bedeutenden organischen Untersuchungen Berthelots in diesem Werke reproduziert.

Das letzte chemische Werk, welches er verfaßt hat, ist sein *Traité pratique de l'analyse des gaz* (1906). Die Gasanalyse war für Berthelot bei vielen seiner Untersuchungen, bei der Synthese der Kohlenwasserstoffe, bei den pyrogenen Reaktionen, bei den Reduktionen mittels Jodwasserstoff, bei den Analysen des Leuchtgases ein wichtiges und von ihm mit Meisterschaft gehandhabtes Hilfsmittel. Wiederholt hat er über die von ihm benutzten Methoden berichtet und die Gasanalyse häufig zum Gegenstand seiner Vorträge gewählt. Seine reichen Erfahrungen auf diesem Gebiete, die von ihm im Laboratorium und Auditorium angewandten Verfahren, die experimentellen Vorschriften, sowie die Beschreibung der Apparate hat er in vortrefflicher Weise in diesem Buche zusammengestellt. Eine erschöpfende Wiedergabe der von anderen Forschern benutzten Verfahren und die Schilderung des jetzigen Standes der Gasanalyse enthält es nicht, dagegen ein überaus wertvolles Material eigener Beobachtungen.

Wie auf allen seinen Reisen, so hatte auch Berthelot 1869 auf der Fahrt nach Ägypten sein volles Interesse der Kulturentwicklung des Volkes und des Landes entgegengebracht; die reichen Eindrücke, die ihm zuteil wurden, veranlaßten ihn, sich mit den ägyptischen Ursprüngen unserer Wissenschaft zu beschäftigen. Neben den Werken von H. Kopp und Höfer war es besonders die große Abhandlung von Lepsius über die ägyptischen Metalle, welche 1877 für die Bibliothek des Hautes Études übersetzt wurde, die ihm, wie er in der Vorrede zu seinem Buch über die Anfänge der Alchemie mitteilte, die ersten Einblicke verschaffte. Seine Studien dann weiter verfolgend, dachte er daran, sie zu Papier zu bringen, und auf Anregung von Frau Adam schrieb er die beiden Artikel, welche 1884 in der *Nouvelle Revue* erschienen sind. Dann veröffentlichte er im folgenden Jahre sein erstes größeres Buch: »*Les origines de l'alchimie*«, welches den Ursprung der Alchemie nach griechisch-ägyptischen Quellen eingehend und in sehr gelehrter Weise bespricht. Es beginnt mit den oft zitierten Worten: *Le Monde est aujourd'hui sans mystère*, denen er erläuternd hinzufügt, daß jetzt, im Gegensatz gegen früher, das Wunder und das Übernatürliche aus dem wissenschaftlichen Denken verschwunden sei. Dieses Buch stimmt fast ganz mit dem ersten Band des monumentalen Werks: »*Collection des anciens alchimistes grecs*« überein, welches unter Mitwirkung des Bibliothekars Ruelle in den Jahren 1887—1888 in drei umfangreichen Quartbänden erschienen ist. Es umfaßt die Interpretation, Herausgabe und Übersetzung einer Sammlung griechischer

Manuskripte, welche von Bedeutung für die Chemie und speziell die Technologie der Metalle sind. Sie stammen aus den Bibliotheken von Paris, Venedig, Berlin und Leyden. André Berthelot hat für seinen Vater diejenigen in Gotha, Leipzig, München und Weimar, welche wesentlich Kopien des berühmten Manuskripts der Bibliothek von San Marco sind, einem Vergleich mit diesem unterzogen. Wie außer H. Kopp bisher kein anderer Forscher war Berthelot infolge seiner gründlichen Sprachkenntnis und seiner fachmännischen Autorität geeignet, eine derartig großartige und schwierige Arbeit zu unternehmen. Der erste Band, den er selbst geschrieben hat, enthält die Geschichte der alchemistischen Theorien, die Interpretation der Dokumente und viele wertvolle Notizen über Metallurgie und Mineralogie der Ägypter, über Etymologie und Bedeutung der gebrauchten Ausdrücke. Der zweite Band umfaßt die von Ruelle besorgte Publikation der Originaltexte und der dritte die von diesem verfaßte Übersetzung, bei deren endgültiger Feststellung und bei dem Hinzufügen vieler wichtiger Fußnoten Berthelot teilgenommen hat.

Die größte Bedeutung für die Erkenntnis des Ursprungs der Alchemie hat nach Berthelot ein der Bibliothek von Leyden gehörender Papyrus, der in Theben gefunden wurde und dem dritten Jahrhundert unserer Zeitrechnung angehört. Er hat denselben selbst aus dem Griechischen übersetzt und diese Übersetzung in den 1889 erschienenen »Introduction à l'étude de la Chimie des anciens et du moyen-âge«, welche für solche, die nicht die Zeit oder die Kenntnisse haben, die Texte zu lesen, die Einleitung des großen Werkes reproduziert, veröffentlicht. Nach seiner Ansicht entspricht dies Manuskript dem Rezeptenheft eines Goldschmieds, der nicht nur allerlei Legierungen fabrizierte, sondern wesentlich Gold und Silber imitierte und auch verfälschte; eine seiner Vorschriften schließt mit der Bemerkung, daß selbst ein geübter Arbeiter dies nicht erkennen werde. Dieser Papyrus X von Leyden enthält 100 Rezepte, von denen 90 sich auf Metalle und ihre Färbungen beziehen, 30 davon betreffen die Imitation oder Vermehrung des Asem, d. h. einer ägyptischen Silber-Gold-Legierung. Die anderen Vorschriften behandeln das Purpurfärben von Stoffen, doch nur mit pflanzlichen Produkten, mit Orcanette (Anchusawurzel) oder Flechten.

Eine sorgfältige Vergleichung hat ergeben, daß diese Rezepte dieselben sind wie die des Pseudo-Demokrits und der griechisch-ägyptischen Alchemisten. Nach Berthelots Ansicht sind es nun diese Verfahren, welche, unterstützt durch gewisse Sprüche und Beschwörungen, von den Alchemisten als geeignet angesehen wurden, um zu der Transmutation der Metalle zu gelangen. Die Anfänge der Alchemie

beruhen also nach Berthelot nicht ausschließlich auf eingebildeten Vorstellungen, sondern wesentlich auf den positiven Versuchen derjenigen, die Gold oder Silber nachmachten. Die Fabrikanten täuschten häufig das Publikum, zuweilen täuschten sie auch sich selbst. Die Alchemie ist als teils reelle, teils eingebildete Wissenschaft aus den Verfahrensweisen der ägyptischen Goldschmiede und Metallurgen hervorgegangen. In dem Grundgedanken begegnen sich daher die Anschauungen von Berthelot mit denen von H. Kopp, welcher schon früher die Ansicht aussprach, daß die Alchemie mißverstandenen, empirischem Wissen entwuchs¹⁾.

Im weiteren Verlauf seiner Studien hat dann Berthelot das große Verdienst, den Übergang der antiken Alchemie auf das Mittelalter durch Herausgabe wichtiger Texte und deren Besprechung in hohem Maße gefördert zu haben. Bisher wurde meist angenommen, daß dieser Übergang ausschließlich durch die Schriften der Araber bewirkt worden sei. Berthelot ist dagegen zu dem Resultat gelangt, daß auf zwei verschiedenen Wegen die alten ägyptischen Kenntnisse und Theorien sich von Alexandrien nach Europa übertragen haben. Erstens durch die praktischen Erfahrungen, die in technischen Schriften von Ägypten nach Byzanz und Rom gelangten, ins Lateinische übersetzt wurden und auch nach dem Untergang des römischen Reichs nicht verloren gingen, sondern zugleich mit theoretischen und mystischen Vorstellungen erhalten geblieben sind. Andererseits waren es die Werke der Araber, welche die Kenntnisse und namentlich die theoretischen Ideen der alten Alchemisten nach Europa verpflanzt haben, mit welchen sie aber nicht direkt durch die griechisch-ägyptischen Schriften, sondern wesentlich durch die von den Syrern verfaßten Übersetzungen bekannt wurden. Diese beiden Arten der Übertragung sind nach Berthelot nicht unabhängig von einander geblieben, sondern haben beide zu der Abfassung der großen alchemistischen Werke des dreizehnten Jahrhunderts beigetragen.

In drei umfangreichen Quartbänden, welche sich den früheren anreihen, hat er unter dem Titel: »La Chimie au moyen-âge« (1893) die Resultate seiner Forschungen veröffentlicht. In dem ersten Band bespricht er zuerst ausführlich die »Traditions techniques des arts et metiers« an der Hand einer Reihe lateinischer Manuskripte. In Anbetracht der vielen technischen Details ist in demselben auch das Werk von Marcus Graecus: »Über das Feuer« in der Originalsprache und in Übersetzung abgedruckt und mit einem Kommentar versehen. Ferner ist ein bisher nicht veröffentlichtes Manuskript aus der Pariser

¹⁾ Beiträge zur Geschichte der Chemie, S. 25 (1869).

Bibliothek, das »Liber sacerdotum« in demselben herausgegeben. In dem zweiten Teil des ersten Bandes hat Berthelot nachgewiesen, daß die bisher Geber zugeschriebenen lateinischen Schriften nicht von demselben herrühren können. Von der bedeutendsten derselben, der »Summa perfectionis magisterii«, nimmt Berthelot an, daß der unbekannt gebliebene Verfasser es in der Mitte des 13. Jahrhunderts geschrieben und es unter den Schutz des verehrten Namens von Geber gestellt habe, wie früher die antiken Alchemisten den Namen von Demokrit benutzten.

Der zweite Band des Werkes über die Chemie des Mittelalters enthält drei syrische Manuskripte aus den Bibliotheken des British Museums und der Universität Edinburg, deren Herausgabe und Übersetzung Rubens Duval besorgt hat. Diese bisher nicht veröffentlichten Texte sind nach Berthelot besonders wichtig, um die Frage zu beurteilen, wie die alchemistischen Ideen sich von Alexandrien nach Europa verbreitet haben. Er hat die Übersetzung mit vielen Fußnoten versehen und zu dem Band eine Einleitung zur Geschichte der syrischen Alchemie geschrieben. Die obigen Manuskripte gehören dem 7., 8. oder 9. Jahrhundert an und reproduzieren die alten alchemistischen Zeichen und Symbole der Griechen. Sie enthalten Übersetzungen eines großen Teils der Werke von Zosimos, deren griechisches Original verloren ist und von dem Pseudo-Demokrit. Nach Berthelot kam daher die Wissenschaft der syrischen Gelehrten von den Griechen, und durch ihre Vermittlung hat sich die griechische Lehre auf die Araber übertragen.

Nachdem so eine neue Stufe in der Geschichte des Übergangs der antiken Chemie errichtet war, unternahm er das Studium der arabischen Alchemie und veranlaßte Hrn. Professor Houdas zur Übersetzung und Herausgabe einer Reihe unpublizierter arabischer Manuskripte, welche sich in den Bibliotheken von Paris und von Leyden befinden. Die Texte in der Originalsprache und der Übertragung ins Französische bilden den dritten Band obigen Werkes. Sie liefern eine sichere Kenntnis der wirklichen arabischen Alchemie und speziell der von Geber. In sechs Manuskripten ist Djâber ben Hajjân als Autor angegeben. Von den vermeintlichen lateinischen Werken von Geber sind sie aber wesentlich verschieden.

Gleichzeitig mit diesen gelehrten Untersuchungen hat Berthelot begonnen, auch als Experimentator die Kenntnis der antiken Metallurgie zu fördern. Wir verdanken ihm die Analyse vieler antiker Gegenstände, und zwar wesentlich solcher aus Metall. Durch dieselben wollte er ein Hilfsmittel für archäologische und historische Studien schaffen, und er legte daher den Hauptwert darauf, daß von

den betreffenden Gegenständen der Fundort genau bekannt sei und die Zeit der Darstellung sich möglichst scharf bestimmen lasse. Bei seiner hervorragenden Stellung wurden ihm von den bedeutendsten Sammlungen und Forschern in reichem Maße solche Gegenstände anvertraut. Eingehend hat er dabei auch die allmähliche Veränderung der Metalle, sowie auch anderer Gegenstände und organischer Substanzen unter dem Einfluß von Luft und Wasser studiert. Seine im Laufe der Jahre schon in den chemischen Zeitschriften veröffentlichten experimentellen Untersuchungen hat er in dem 1906 erschienenen Quartband: »Archéologie et Histoire des Sciences« zusammengestellt und als Ergänzung früherer Publikationen eine große Zahl von Notizen über Geschichte der Chemie im Altertum, in Persien, Indien, China, hinzugefügt. Unermüdlich hat er seine vielseitigen Beziehungen benutzt, um von allen Seiten her Erkundigungen einzuziehen, und um Material zu sammeln.

Zwei Dokumente hat er wegen der Bedeutung, die er ihnen zuerteilt, in diesen Band mit aufgenommen. Erstens den griechischen Text des Papyrus X von Leyden, des ältesten bekannten Dokuments unserer Wissenschaft, und die von ihm selbst angefertigte Übersetzung, die so abgedruckt sind, daß ein leichter Vergleich beider möglich ist. Ferner ein bisher unveröffentlichtes, anonymes, lateinisches Manuskript aus der Pariser Nationalbibliothek, das »Liber de septuaginta«, von dem er annimmt, daß wir in demselben die einzige lateinische Übersetzung eines authentischen Geberschen Werkes besitzen. Zu dieser Ansicht gelangte er durch den Vergleich des Inhalts mit den Titelangaben eines arabischen Werkes von Geber, welche erhalten und in dem dritten Band der »Chimie au moyen-âge« veröffentlicht sind, während das Schriftstück selbst verloren ist.

So hat Berthelot in den sieben Bänden ein für die Geschichte der Chemie, wie für die Kulturentwicklung außerordentlich reiches und wichtiges Material gesammelt und durch seine Erklärungen und Anmerkungen in hohem Maße wertvoll gemacht. Unglaublich erscheint es, daß er diese große Arbeit gleichzeitig mit seinen umfangreichen thermochemischen und agrikulturchemischen Untersuchungen ausführen konnte. Sie hätte reichlich genügt, um der vollen Leistungsfähigkeit eines Gelehrten zu entsprechen; für ihn war sie eine Ausspannung von den anderen Arbeiten. Berthelot gehörte zu den selten begabten Naturen, die sich von einer Arbeit durch eine andere ausruhen können, und die dabei frisch und leistungsfähig bleiben.

Wie erstaunenswert fest er das, was er einmal erfaßt hatte, in seinem Gedächtnis zurückbehielt, beweist nicht nur, daß er in höherem Alter noch alte griechische Manuskripte übersetzen konnte, sondern

daß er auch versuchte, ein aus Fez stammendes, hebräisches, alchimisches Schriftstück mit Hilfe eines Wörterbuchs, welches aus der Zeit stammt, als er mit Renan zusammen Hebräisch trieb, zu lesen. Doch war das Manuskript in zu reichem Maße mit arabischen Wörtern durchsetzt.

In dem Zeitraum von 1886—1905 hat Berthelot eine Reihe von philosophischen, naturwissenschaftlichen und geschichtlichen Aufsätzen, die zum Teil schon in verschiedenen Revuen erschienen waren, sowie Reden und Nekrologe in vier Bänden: »Science et Philosophie«, »Science et Morale«, »Science et Education« und »Science et Libre Pensée« veröffentlicht. Wie das in allen Titeln gemeinschaftliche Wort Science zeigt, zieht sich durch alle vier Bücher ein und dieselbe dominierende Idee. Sie sind alle dem Kultus der Wissenschaft geweiht. Diese Werke geben uns in ihrer Gesamtheit und namentlich in den Einleitungen eine Selbstbiographie von Berthelots vielseitigen Bestrebungen und geistigen Interessen.

Der erste Artikel: »La Science idéale et la Science positive«, den er in Briefform im Jahre 1863 an seinen Freund Renan adressiert hatte, nimmt aber nicht weniger als vierzig Druckseiten ein. Er entwickelt in demselben seine philosophischen Ansichten, welche man als positive bezeichnen kann, doch sind sie ganz persönlich und unabhängig von August Comte. In der Vorrede zu dem zweiten Band: »Science et Morale« entwirft er rückblickend auf seinen Lebenslauf in beredten Worten ein Bild seines Strebens und seiner Ideale und schildert begeistert die Wissenschaft, wie auch die bedeutende Rolle des wissenschaftlichen Forschers. Er führt alle Fortschritte der Menschheit auf die Einwirkung der Wissenschaft zurück und erwartet auch von ihr alle weitere Entwicklung. Wir finden in derselben Aussprüche wie: »C'est la science qui amènera les temps bénis de l'égalité et de la fraternité de tous devant la sainte loi du travail« und »la science domine tout; elle rend seule des services définitifs«. Freilich sagt er selbst, man werde wohl finden, daß er seine Ideen zu sehr bis in die äußersten Konsequenzen verfolgte. So ließ er vor Fachleuten in einer Rede an einem Bankett der »Chambre syndicale des produits chimiques« seiner Phantasie freie Zügel. Er¹⁾ entwarf ein farbenreiches Bild, wie unter dem Einfluß der Wissenschaft und vor allem der Chemie die Verhältnisse auf der Erde sich aufs herrlichste entwickeln werden. Doch hat er den Zeitpunkt für seine Utopien etwas nahe gewählt; er hat seiner Rede den Titel »Im Jahre 2000« gegeben. Die Zukunft der Chemie werde bis dahin noch größer sein

1) Science et Morale, 508.

als bisher. Die Industrie hätte neue, unerschöpfliche Energiequellen in der Sonnenwärme oder der inneren Erdwärme erschlossen und dadurch die Chemie instand gesetzt, mit Hilfe der synthetischen Methoden aus Kohlensäure, Wasser und Luft alle Nahrungs- und Genußmittel künstlich darzustellen. Um dieses Gemälde zu vollenden, fügt er hinzu, daß es keinen Bergbau und keine Landwirtschaft mehr geben werde, die Erde sei in einen großen Garten verwandelt, in dem die Menschheit in Überfluß und Freude, wie in der sagenhaften goldenen Zeit, leben werde. Doch ergänzt er es, seiner ganzen Lebensauffassung entsprechend, mit dem Ausspruch: »die Menschheit werde nicht in Trägheit ihr Leben verbringen, denn Arbeit gehöre zum Glück. Es werde immer wahr sein, daß das Glück durch Tätigkeit erworben werde, und zwar durch die unter dem Einfluß der Herrschaft der Wissenschaft bis zur höchsten Intensität getriebene Tätigkeit.«

In dem zweiten und dritten Buch sind die Fragen des Unterrichts in mehreren Artikeln und Reden besprochen. Berthelot ist immer dafür eingetreten, denselben von allen klerikalen Einflüssen zu befreien, und dann hat er eine bessere Berücksichtigung naturwissenschaftlichen Unterrichts angestrebt. Doch war er in dieser Beziehung nicht einseitig; er wollte den klassischen Unterricht nicht verdrängen. In einem größeren Aufsatz in »Science et Morale« hatte er es als erstrebenswertes Ziel hingestellt, eine Zweiteilung des höheren Schulunterrichts in eine klassische mit einer gewissen naturwissenschaftlichen Kultur und eine naturwissenschaftliche mit neueren Sprachen einzurichten; beide mit denselben Vorrechten.

Bis zuletzt hat sich Berthelot, so auch in den in »Science et Libre pensée« enthaltenen Reden und Aufsätzen als Freidenker bekannt, aber in anerkennenswerter Weise auch wiederholt und energisch für Toleranz ausgesprochen: »la Libre Pensée doit rester la pensée libre«. Jeder solle die Freiheit zu denken haben, welches auch sein persönlicher Glauben sei. Dagegen dürfe der Staat sich keiner klerikalen Beeinflussung unterwerfen. In Anbetracht der liberalen Bewegung der protestantischen Kirche Frankreichs hatte Berthelot seine Kinder protestantisch werden lassen.

Hervorragenden Forschern und Freunden sind in den vier Bänden viele interessante und schön geschriebene Artikel und Gedenkreden gewidmet.

Im ersten Buch finden wir diejenigen auf Balard, Regnault, H. Sainte-Claire-Deville, Würtz und den Politiker Héroid, im zweiten auf Pasteur, Claude Bernard, Paul Bert, Frédéric André, im dritten auf J. Bertrand, Milne-Edwards, J. Decaisne,

Mallard, Brown-Séguard, Naudin, Voltaire et Rousseau, Lavoisier und in dem vierten auf Renan, Clamageran, Chevreul und Daubrée.

Berthelot hatte 1889 bei der Enthüllungsfeier des Lavoisier-Denkmal in Paris die Festrede gehalten und wurde dadurch veranlaßt, dem Andenken des großen Reformators der Chemie eine Biographie: »La Révolution chimique: Lavoisier« (1890) zu widmen, in der er auf Grundlage der großen, von Grimaux verfaßten Biographie, eine kurze Lebensbeschreibung entwirft und dann ausführlich den Werdegang und die Bedeutung von Lavoisiers Entdeckungen und wissenschaftlichen Ideen bespricht. Er hat dreizehn große, bisher unveröffentlichte Laboratoriumsregister desselben seinem Buche hinzugefügt. Diese ehrwürdigen Monumente unserer Wissenschaft gestatten interessante Einblicke in die Arbeits- und Denkweise des großen Forschers. Berthelot hat diese Publikation noch in dankenswerter Weise mit Erläuterungen versehen.

Das große Interesse, welches Berthelot allen Fragen des öffentlichen Lebens entgegenbrachte, zeigt sich auch in seinem letzten Aufsatz, der ein Monat vor seinem Tod in der Revue des deux Mondes am 15. Februar 1907 erschienen ist. Es handelte sich um die damals viel besprochene Frage der Reform der Orthographie. In dem ausführlichen, 41 Seiten umfassenden Artikel entwirft er zuerst ein Bild von der historischen Entwicklung der geschriebenen französischen Sprache von ihren ersten Anfängen im 9. Jahrhundert bis zur Errichtung der Université impériale unter Napoleon I. Auch in diesem Artikel zeigt er, welch' vielseitiges Wissen ihm zur Verfügung stand. Dann bespricht er ausführlich die Bestrebungen, die Orthographie auf dem Wege der Verordnung zu verbessern und in die Schule einzuführen. In Übereinstimmung mit dem Motto: »Die Vervollkommnung der Orthographie muß durch die freie Zustimmung des Gebrauchs und nicht durch den Zwang eines Reglements bewirkt werden«, vertritt er die Ansicht, keine Behörde, weder die Akademie, noch der Minister des öffentlichen Unterrichts, oder eine von den Professoren und Lehrern gewählte Kommission, habe das Recht, die Orthographie festzustellen und für obligatorisch zu erklären. Die beste Lösung des Problems sei: die freie Umwandlung der Sprache zu erleichtern. Dann werde, wie in der Vergangenheit, von Zeit zu Zeit eine freiwillige Übereinkunft der Schriftsteller erfolgen.

Seine wissenschaftlichen Untersuchungen hat Berthelot zuerst in den Comptes rendus de l'Académie des Sciences mitgeteilt und dann noch zum größten Teil in dem Bulletin de la Société chimique de France und in den Annales de chimie et de physique veröffentlicht.

Eine große Reihe von Artikeln hat er in verschiedenen Revuen, der Revue des deux Mondes, la nouvelle Revue, dem Journal des Savants usw. und ferner in der Grande Encyclopédie erscheinen lassen. Die Menge aller dieser Publikationen ist eine unheimlich große; sie dürfte die Zahl von 1800 erreichen. Hr. Professor Jungfleisch hat die verdienstvolle, wie mühsame Arbeit unternommen, eine vollständige Bibliographie von allem, was Berthelot veröffentlicht hat, zusammenzustellen. Dieselbe wird in Kürze im Bulletin de la Société chimique erscheinen.

Außerdem hat Berthelot eine große Zahl von Werken in Buchform herausgegeben, die in folgender Liste in chronologischer Reihenfolge aufgezählt sind.

- 1860. Chimie organique fondée sur la synthèse, 2 vol.
- 1864. Leçons sur les méthodes générales de synthèse en chimie organique.
- 1872. Traité élémentaire de chimie organique¹⁾.
- 1873. Vérification de l'aréomètre de Beaumé, brochure.
- 1876. La synthèse chimique (8. Auflage 1897).
- 1879. Essai de Mécanique chimique, 2 vol.
- 1883. Sur la force des matières explosives d'après la Thermochemie, 2 vol.
- 1885. Les origines de l'Alchimie.
- 1886. Science et Philosophie.
- 1887—1888. Collections des anciens Alchimistes grecs, 3 vol. in-4°.
- 1889. Introduction à l'étude de la Chimie des Anciens et du moyen-âge.
- 1890. La Révolution chimique: Lavoisier.
- 1893. Traité pratique de Calorimétrie (zweite Auflage 1905).
- 1895. La Chimie au moyen-âge, 3 vol. in-4°.
- 1897. Thermochemie: données et lois numériques, 2 vol.
- 1897. Science et Morale.
- 1898. Renan et Berthelot, Correspondance.
- 1899. Chaleur animale, 2 vol in-16°.
- 1899. Chimie végétale et agricole, 4 vol.
- 1901. Les Carbuers d'Hydrogène, 3 vol.
- 1901. Science et Education.
- 1905. Science et Libre-pensée.
- 1906. Archæologie et Histoire des Sciences, in-4°.
- 1906. Traité pratique de l'analyse des gaz.

¹⁾ Die folgenden, wesentlich vermehrten Auflagen sind von Berthelot und Jungfleisch publiziert und hauptsächlich von letzterem bearbeitet. II. Auflage 1881, III. 1886, IV. erster Band 1898, zweiter Band 1904. Den ersten Band der vierten Auflage mit vielen Ergänzungen hat Hr. Professor Jungfleisch 1908 neu herausgegeben.

Bei den Werken, bei denen keine Bandzahl angegeben, ist das betreffende Buch in einem Bande erschienen. Ferner ist nur in den Fällen, wo das Format ein anderes wie Oktav ist, dies hinzugefügt. Die in der französischen Chemischen Gesellschaft gehaltenen Vorträge über Synthèse en chimie organique (1860), über Les principes sucrés (1862) und über Isomérisation (1864) sind in den von dieser Gesellschaft herausgegebenen Leçons de Chimie enthalten.

Frankfurt a. M., Januar 1909.

C. Graebe.
