

## JULIUS THOMSEN.

Hans Peter Jürgen Julius Thomsen wurde am 16. Februar 1826 zu Kopenhagen als das zweite von acht Kindern geboren. Seine Eltern waren beide aus Schleswig gebürtig und stammten aus alten Bauerngeschlechtern. Der Vater hatte in Kiel studiert, war darauf eine kurze Zeit Feldmesser und kam dann nach Kopenhagen, wo er als Nationalbankrevisor 1862 starb. Die Umgebung, in der Thomsen seine Kindheit verlebte, war kleinbürgerlich und an geistigen Interessen nicht reich. Das Leben stellte frühzeitig seine Ansprüche an ihn, da er arbeiten mußte, um seinen Eltern ökonomisch zu helfen. So war er von seinem 15.—17. Jahre auf den Rat des berühmten Physikers Örsted Gehilfe für den damaligen Professor der Chemie Scharling. Nichts desto weniger bestand Thomsen schon im Alter von siebzehn Jahren die Eintrittsprüfung für die polytechnische Lehranstalt, und zwanzig Jahre alt absolvierte er die abschließende Prüfung in der angewandten Naturwissenschaft mit dem Zeugnis »Laudabilis«. Thomsen zeigte somit frühzeitig seine guten Anlagen.

Gleich nach seinem Examen wurde Thomsen Assistent im chemischen Laboratorium der polytechnischen Lehranstalt bei Prof. Forchhammer, und in dieser Stellung blieb er bis 1853. Die Jahre in dieser Stellung waren für den jungen Thomsen bedeutungsvoll und inhaltsreich. Denn während dieser Zeit entwickelten sich in ihm die leitenden Ideen seiner späteren Wirksamkeit.

### Thermochemische Jugendarbeiten.

Im Jahre 1850 fing Thomsen an, sich mit thermochemischen Arbeiten zu beschäftigen, und nach einem Jahre konnte er über seine vorläufigen Resultate auf der Naturforscherversammlung in Stockholm sprechen. Hier teilte er seine thermochemische Zeichensprache mit, die sich schnell Bürgerrecht im Dienst der Wissenschaft verschaffte und erst in den achtziger Jahren durch die Ostwaldsche verdrängt wurde. Thomsen bezeichnete einfach die Wärmeentwicklung bei der



James Thomson

Bildung der Verbindung  $X_a Y_b Z_c$  aus ihren Bestandteilen  $aX$ ,  $bY$  und  $cZ$  als ( $X^a$ ,  $Y^b$ ,  $Z^c$ ). Seine ausführlichen Resultate wurden 1852 in den Schriften der Kgl. Dänischen Gesellschaft der Wissenschaften unter dem Titel: »Beiträge zu einem thermochemischen System« gedruckt. Für diese denkwürdige Abhandlung erhielt Thomsen die silberne Medaille der Gesellschaft, und um ihn zur Fortsetzung der Arbeit aufzumuntern, wurden 50 Taler zu seiner Verfügung gestellt für die Anschaffung von genauer ausgeführten Geräten. Wir wollen auf den Inhalt dieser wichtigen Abhandlung etwas näher eingehen.

Aus dem Prinzip über die Erhaltung der Energie entwickelt Thomsen zuerst, daß »die Wärmetönung<sup>1)</sup> bei der Trennung einer chemischen Verbindung gleich und entgegengesetzt derjenigen ist, die bei ihrer Bildung hervortritt«, und daß »die totale Wärmetönung bei der Bildung einer Verbindung immer dieselbe ist, sei es, daß sie direkt, oder daß sie sukzessive aus ihren Bestandteilen dargestellt wird«. Diese beiden thermochemischen Hauptsätze waren freilich schon vorher bekannt. Der erste war von Lavoisier und Laplace als selbstverständlich aufgestellt, und den zweiten hatte Heß auf experimentellem Wege gefunden.

Viel bedeutsamer als die Entwicklung dieser Sätze aus der Wärmetheorie war daher ein neues Prinzip, welches hier zum ersten Male hingestellt wurde, und nach dem wir in der Wärmeentwicklung ein Maß für die chemische Affinität haben. Thomsen äußert sich hierüber in folgender Weise: »Wenn man die große Menge von chemischen Wirkungen überblickt, kann es unmöglich der Aufmerksamkeit entgehen, daß man unter Hunderten von Fällen, in welchen die Wirkung von einer Wärmeentwicklung begleitet ist, kaum einen antrifft, in welchem eine Wärmeabsorption stattfindet.« Und weiter: »Wenn ein Körper fällt, entwickelt er einen gewissen mechanischen Effekt, welcher im Verhältnis zu seinem Gewicht und dem durchlaufenen Raum steht. Bei den chemischen Wirkungen, die in der gewöhnlichen Wirkungsrichtung stattfinden, tritt ebenfalls ein gewisser Effekt hervor; dieser zeigt sich aber hier als Wärmeentwicklung. In der Wärmeentwicklung haben wir ein Maß für die bei der Wirkung entwickelte chemische Kraft.« Und als Grundgedanken seines Systems spricht er schließlich aus: »Jede rein chemische Wirkung, welche allein durch die den Körpern innewohnenden Kräfte hervorgerufen wird, ist

<sup>1)</sup> Das Wort »Wärmetönung« hat Thomsen gebildet, um ein Wort zu haben, das sowohl Wärmeentwicklung als Wärmeabsorption bezeichnen konnte.

im ganzen genommen von einer Kraftentwicklung begleitet, die gewöhnlich als eine Wärmeentwicklung hervortritt.«

Wir sehen hieraus, daß Thomsen zu seiner berühmten Affinitätshypothese sowohl durch die Erfahrung, als durch theoretische Spekulationen geführt wurde.

In derselben Abhandlung gibt Thomsen sogleich eine Reihe interessanter Anwendungen, welche zeigen, daß er sich der großen Tragweite seiner Hypothese durchaus bewußt war. Nach ihr sollte z. B. Zink das flüssige Wasser zerlegen können, Eisen aber nicht; denn nur das erste Metall wird zu Hydroxyd oxydiert unter Entwicklung einer Wärmemenge, welche die Bildungswärme des Wassers übersteigt. Daß man gewöhnlich nicht die wasserzersetzende Wirkung des Zinks beobachtet, schreibt Thomsen der schützenden Wirkung des Zinkoxyds zu. Schon Berzelius gibt aber an, daß fein verteiltes Zink mit Wasser Wasserstoff entwickelt. Dagegen liegt die Grenze für die Wasserdampf zersetzenden Metalle zwischen Eisen und Blei; denn die Bildungswärme des Eisenoxyds ist größer als die des Wasserdampfes, wogegen diejenige des Bleioxyds kleiner ist. Und auch dies stimmt mit der Erfahrung.

In ähnlicher Weise berechnet Thomsen aus den vorliegenden thermochemischen Daten, wie die Metalle sich gegenüber Chlorwasserstoff und gegen wäßrige Säuren verhalten. Ja, sogar den Unterschied in der Wirkung der verdünnten und der konzentrierten Säuren konnte Thomsen durch seine Hypothese berechnen und durch seine Versuche bestätigen.

Wir wissen jetzt, daß die Thomsensche Affinitätshypothese nicht richtig ist. Sie ist nur eine Annäherung an die Wirklichkeit — eine Annäherung, die jedoch um so besser wird, je niedriger die Temperatur ist. Nur beim absoluten Nullpunkt ist die Hypothese exakt. Aber dennoch ist sie von sehr großem Nutzen gewesen, und noch jetzt ist sie brauchbar. Sie war durch eine lange Reihe von Jahren das einzige, vielfach benutzte Mittel der Chemiker zur Vorausberechnung chemischer Affinitäten, d. h. zu Voraussagen über die Möglichkeit einer chemischen Reaktion.

Berthelot hat später (1869) dieselbe Hypothese aufgestellt. Im Jahre 1873 gab er ihr folgende Form: »Jede chemische Umwandlung, welche sich ohne Dazwischenkunft einer fremden Energie vollzieht, strebt nach Erzeugung desjenigen Stoffes oder desjenigen Systems von Stoffen, welches die meiste Wärme entwickelt.« In den späteren Jahren wird diese Hypothese fast immer das »Berthelotsche Prinzip« oder »principe du travail maximum« genannt, trotzdem

deren Vaterschaft ohne jeden Zweifel Thomsen gebührt. Dies steht sicher damit in Zusammenhang, daß Thomsen im Gegensatz zu Berthelot sogleich willig war, die unvollständige und ungenaue Natur der Hypothese zuzugestehen, als die Versuchsergebnisse sich nicht ohne Zwang ihr unterordnen ließen. So schreibt Thomsen 1873<sup>1)</sup>: »In den verschiedenen Zweigen der Naturwissenschaft werden oft scheinbar sehr einfache Gesetze entdeckt; eine genaue Prüfung derselben durch die Erfahrung führt dann aber bald zu Anomalien, deren Ursachen teils in fehlerhaften Beobachtungen, teils in Unvollständigkeit der Gesetze zu suchen sind. So ist es mir in diesem Falle gegangen.« Worin die Unvollständigkeit seiner Affinitätshypothese lag, — das zu finden gelang Thomsen nicht. Es war die junge, anwachsende, jetzt alles überschattende Thermodynamik, die in den Jahren um und nach 1880 zeigte, daß wir ein Maß für die Affinität nicht in der ganzen, vom chemischen Prozeß gelieferten Energiemenge haben, sondern in der als mechanische Arbeit lieferbaren Energiemenge, d. h. in der sogenannten freien Energie.

In den Jahren 1853—1854 veröffentlichte Thomsen die Resultate seiner Arbeit in etwas erweiterter Form in Poggendorffs Annalen. Die Arbeit wurde namentlich durch eine interessante Untersuchung über die Zersetzung von Salzen durch Säuren vermehrt. Thomsen zeigt hier, daß es möglich ist, durch Messung der Wärmetönung bei der Einwirkung einer Säure auf ein Salz die zersetzende Wirkung der Säure zu bestimmen. Er zeigt, daß Schwefelsäure und Salpetersäure einander nicht vollständig aus ihren Salzen austreiben, und daß sie nach Maßgabe ihrer Masse wirken, indem der Zersetzungsgrad des Salzes von der Menge der zugesetzten Säure abhängig ist. Diese Untersuchung hat ihr großes Interesse, da sie die erste Verfolgung eines beweglichen Gleichgewichts zwischen gelösten Stoffen durch physikalische Messungen ist.

Thomsen schreibt, daß es seine Absicht sei, in einer Reihe von Abhandlungen, von denen diese die ersten sind, den Versuch eines thermochemischen Systems zu geben. Es dauerte indessen vierzehn Jahre, ehe er dieses Versprechen zu erfüllen anfang. Im Jahre 1853 gab Thomsen seine Assistentenstellung auf, um eine längere Studienreise zu unternehmen, und nach seiner Heimkehr trat er in Stellen ein, welche ihm keine geeigneten Räumlichkeiten zur Ausübung thermochemischer Versuche darboten. 1861 hat er indessen eine erneute Darstellung seines thermochemischen Systems gegeben<sup>2)</sup>. Wir finden

<sup>1)</sup> Diese Berichte **6**, 428 [1873].

<sup>2)</sup> Oversigt over det Kgl. danske Vid. Selskabs Forh. **1861**, 100.

hier ein neues Prinzip ausgesprochen, das Thomsen folgendermaßen formuliert: »Die entwickelte Wärmemenge ist gewöhnlich ein Minimum. Wenn nämlich zwei oder mehrere Prozesse möglich sind, verlaufen gewöhnlich erst derjenige oder diejenigen, welche die geringste Wärmeentwicklung geben.« Diesem Thomsenschen Prinzip liegt augenscheinlich derselbe Gedanke zugrunde, der später Ostwald zu seinem Gesetz der Reaktionsstufen geführt hat. Und wie Ostwald zeigt schon Thomsen, daß die Einwirkung des Chlors auf Kali, welche unter intermediärer Bildung von Hypochlorit, Chlorat, Perchlorat sich abspielt und in der Entstehung von Kaliumchlorid und Sauerstoff endigt, mit diesem Prinzip in Übereinstimmung ist.

Wir wissen nicht mit Sicherheit, wodurch Thomsen zu seinen thermochemischen Spekulationen geführt worden ist. Einen Fingerzeig zum Verständnis ihres Entstehens können wir aber vielleicht darin finden, daß Thomsen ein Freund desjenigen Colding war, der in den vierziger Jahren mit Versuchen über die Umwandlung von Arbeit in Wärme beschäftigt war. Im Jahre 1853 hat Thomsen zusammen mit Colding eine Arbeit über Cholera geschrieben, in der sie zu zeigen versuchten, daß die Cholera in Kopenhagen namentlich dort hauste, wo der Erdboden schlecht war. (Vergl. die spätere Pettenkofer'sche Theorie.)

#### Kryolith-Industrie.

Gleichzeitig mit seinen hochwichtigen thermochemischen Arbeiten hatte Thomsen Untersuchungen von ganz anderer Art angefangen. Im Winter 1849—1850 war er zufälligerweise in den Besitz einer Probe des damals wenig bekannten grönländischen Minerals Kryolith,  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ , gekommen. Bei der Untersuchung dieses Minerals entdeckte er nun (1852), daß es sich mit Leichtigkeit durch Kalk und Calciumsalze sowohl auf dem nassen, als auf dem trocknen Wege zersetzen ließ. Er erkannte bald die technische Bedeutung dieser Entdeckung, und im Januar 1853 erwarb er ein Monopol auf sein darauf gegründetes Verfahren zur Herstellung von Soda und schwefelsaurer Tonerde. Nach Überwindung vieler Schwierigkeiten — solche erwachsen namentlich seitens der dänischen Regierung, die die Erlaubnis zur Förderung des Kryoliths in Grönland zu erteilen hatte — gelang es Thomsen im Jahre 1858, die Kryolithsoda-Fabrik Öresund in Kopenhagen in Gang zu setzen, und in den Jahren darauf wurden ähnliche Fabriken nach den Thomsenschen Plänen in Harburg, in Goldenschmieden (Schlesien), in Warschau, in Natrona (Pennsylvanien 1864) und in Philadelphia gebaut.

Die 1864 begonnene Solvaysche Ammoniak-soda-Fabrikation setzte indessen im Laufe der siebziger Jahre den Preis der Soda so stark herab, daß es sich nicht mehr lohnen konnte, Soda aus Kryolith darzustellen; aber noch 1898 wurde doch in den amerikanischen Fabriken Kryolith zu Natriumbicarbonat und Tonerdesulfat verarbeitet, indem der Fabrikation in Amerika durch einen hohen Schutzzoll geholfen wurde.

Die Überwindung der Kinderkrankheiten der Kryolithsoda-Fabrikation brachte Thomsen eine bedeutende Arbeit, der er sich vollständig gewachsen zeigte, indem er sehr praktische Apparate für die Fabrikation schuf. Hierbei hatte er einen guten Mitarbeiter in dem Ingenieur Howitz.

Die Kryolith-Minen- und Handelsgesellschaft, welche das Monopol auf die Förderung des Kryoliths in Grönland hatte, und in welcher Thomsen bis zu seinem Tode technischer Direktor war, hat ihre Wirksamkeit unberührt vom Aufhören der Kryolithsoda-Fabrikation fortsetzen können, da der Kryolith andere Anwendungen fand (Milchglas, emaillierte Töpfe, Aluminiumdarstellung). Und Thomsen wurde durch seine Wirksamkeit in der Kryolith-Industrie ein wohlhabender Mann. Bis zum Jahre 1898 wurden in Grönland 334 000 t Kryolith gefördert, und der größte Teil davon ist zu Soda verarbeitet worden.

Ehe wir zur Besprechung der späteren Thomsenschen Arbeiten übergehen, wollen wir nun seine Persönlichkeit und seine Lebensverhältnisse näher betrachten.

#### Persönlichkeit.

Thomsen wird von einem seiner Jugendkameraden (Prof. Howitz) als ein junger, lebendiger Mensch geschildert, der fröhliche Gesellschaft liebte, wenn er auch gewöhnlich in Bezug auf Lustigkeit zu den passiveren Mitgliedern des Kreises gehörte. Im Hause seiner Eltern sammelte sich um ihn ein heiterer Kreis von jungen Leuten. Seine geistigen Fähigkeiten waren derart, daß andere Menschen sich im Vergleich mit ihm als Schwachköpfe fühlten, und seine Arbeitskraft war unermüdlich. Ein von ihm hinterlassenes Reisetagebuch von 1853—1854 zeichnet ein Bild von ihm, das mit dieser Beschreibung im Einklang ist. Wir können hier lesen, daß er sich in Gesellschaft mit guten Freunden zu vergnügen verstand, sehen aber auch, daß seine Versuche, humoristisch zu sein, ziemlich banal und gekünstelt ausfallen. Mit den Jahren wurde Thomsen aber mehr und mehr verschlossen. Es wird gesagt, daß die Schwierigkeiten ihn verbitterten, die die Regierung ihm bei der Förderung des Kry-

liths machte. Auch der Tod seines einzigen Sohnes im Jahre 1883 war für ihn eine schwere Fügung. In seinen späteren Jahren, als er eine anerkannte Stellung gewonnen hatte, versammelte Thomsen in seinem Hause bei seinen Gesellschaften viele der interessantesten und einflußreichsten Leute von Kopenhagen. Selbst seine näheren Freunde besaßen aber nicht seine Vertrautheit. Thomsen stand in seinem Leben wie in seiner Wissenschaft allein. Dazu trug wohl auch sein schon in der Jugend großes Selbstvertrauen bei, das natürlich mit der Zeit, als er aus seiner Arbeit reiche Früchte erntete, noch wuchs.

Und doch war Thomsen kein kalter Verstandesmensch. Er hatte ein tiefes Gemüt, er interessierte sich für Musik und Kunst und er konnte im Theater, wo er sein ganzes Leben hindurch ein fleißiger Gast war, oft zu Tränen gerührt werden.

Thomsen war eine hitzige und kratzbürstige Natur. Er konnte seinen Gegner ganz ohne Selbstbeherrschung anfahren, und es war nicht immer angenehm, sein Vorlesungsassistent zu sein. Aber kurze Zeit nach dem Gewitter war er wieder ruhig und freundlich. Es war nur die Sache, die Thomsen eifrig machte. Er war zwar starrsinnig, respektierte aber auch bei anderen eine feste Meinung; man mußte bisweilen zornig werden, um Thomsen endlich zu überzeugen. Aber er war immer ohne Falsch.

Im Oktober 1853 trat Thomsen eine große einjährige Reise an, auf welcher er sich namentlich in Berlin, in Paris und in München längere Zeit aufhielt. Er studierte auf dieser Reise sowohl Wissenschaft als auch Technik. In Berlin verkehrte er mit Poggendorff und den beiden Brüdern Rose. Über Heinrich Rose schreibt Thomsen in seinem Tagebuch: »H. Rose ist lang und ziemlich schmal, genial und ultradeutsch. Er wiederholt immer: »Leider, daß Sie ein Däne sind.« Thomsen versäumte auch nicht, auf der Reise sich durch Natureindrücke erfreuen zu lassen, und er erwarb eine ihn später nie verlassende Begeisterung für das Reisen in den Bergen. Seine vielen späteren Reisen waren wesentlich Ferienreisen, auf welchen er sich an den landschaftlichen Schönheiten der Schweiz, des Harzes oder Norwegens erholte. Thomsen pflegte auf seinen Reisen von Freunden oder Mitgliedern seiner Familie begleitet zu sein; für diese war er ein ausgezeichnete Führer, der alles arrangierte und über alles erzählen konnte. Er konnte die Höhen der Berge nennen und Vorträge über ihre geologische und mineralogische Natur halten. Auf seinen Reisen mußte er immer derjenige sein, der die Bestimmungen traf. Wenn er z. B. in den Sommerferien mit seinem Freunde, dem Oberlehrer Corfixen aus Sorö reisen wollte, schrieb er kurz vor dem Anfang der Ferien an Corfixen, an welchem Tage er reisen würde,

und daß er alles geordnet hätte. Wenn der Zug nun Sorö passierte, stieg Corfixen ein, und erst jetzt erzählte Thomsen ihm, wohin die Reise diesmal ging.

Auf seinen Reisen führte Thomsen nicht nur Tagebuch, sondern er hatte immer auch sein Skizzenbuch mit sich und zeichnete — oft sehr niedlich — alles ab, was seine Begeisterung erweckte.

Im Jahre 1857 verheiratete sich Thomsen mit Elise Hansen, einer Pächtertochter aus Langeland. Sie war eine stille, religiöse Natur, die aber wegen ihres ganz geraden Charakters einen bedeutenden Einfluß auf ihren tatkräftigen Mann ausübte. Thomsen selbst war ein Zweifler, aber kein Spötter. Er konnte den Wert einsehen, den die Religion für gläubige Menschen haben kann. Thomsen hatte fünf Kinder. In seinem Familienleben huldigte er patriarchalischen Prinzipien, und das Verhältnis der Kinder zu ihm wurzelte mehr in Ehrfurcht und Gehorsamkeit, als in Freundschaft und Vertraulichkeit.

#### Lehrtätigkeit.

Nachdem Thomsen 1854 von seiner Reise heimgekehrt war, nahm er die Lehrtätigkeit wieder auf. In den Jahren 1856—1859 war er jedoch Eichmeister in Kopenhagen; 1859 wurde er Lehrer für Physik an der Königl. Militär-Hochschule und 1866 Professor der Chemie an der Universität. Diesen Posten bekleidete er, bis er sich 1901, im Alter von 75 Jahren, zurückzog.

Thomsen hat in seinem langen Leben fast ausschließlich über elementare Chemie gelesen. Als der anerkannte Führer der Thermochemie hat er aus der ganzen Welt Bitten um die Erlaubnis empfangen, unter seiner Leitung Thermochemie zu studieren. Er wünschte aber nie, wissenschaftliche Schüler oder Mitarbeiter zu haben, und so hat er keine thermochemische Schule in Kopenhagen gegründet.

Die Vorlesungen von Thomsen waren mit vielen schönen Versuchen ausgestattet. Er war ein mutiger Experimentator, der kräftige Effekte liebte; und wenn die Atmosphäre des Auditoriums durch seine Versuche verpestet wurde, erzählte er seinen Zuhörern, daß Chemiker sich an solches gewöhnen müßten. Er war einer von jenen geborenen Experimentatoren, unter deren Händen selbst ein mißlungener Versuch interessant wird. Die Vorlesungsversuche von Thomsen waren vielfach originell. Diejenigen über Reduktion und nachherige Oxydation von Kupferoxyd und über reziproke Verbrennung hat er selbst beschrieben <sup>1)</sup>. Um die Massenwirkung zu demonstrieren, zeigte Thomsen den Einfluß der Verdünnung auf die Zeit, in welcher Permanganat in

<sup>1)</sup> Diese Berichte 3, 930 [1870].

salpetersaurer Lösung von Oxalsäure entfärbt wird und nach welcher Schwefel aus angesäuerter Thiosulfat-Lösung ausgeschieden wird. Auch als geschickter, populärer Redner und Schriftsteller war Thomsen namentlich in seinen jüngeren Jahren vielfach tätig. Im Jahre 1862 gründete er zusammen mit seinem Bruder August eine dänische Zeitschrift für Physik und Chemie, für welche er viele interessante, gemeinverständliche Übersichtsartikel geschrieben hat.

Wir nehmen nunmehr die Schilderung von Thomsens wissenschaftlicher Arbeit wieder auf.

### Wissenschaftliche Tätigkeit.

Die experimentell-wissenschaftliche Tätigkeit Thomsens zieht sich fast ununterbrochen durch sein ganzes Leben, denn er besaß einen unüberwindlichen Drang nach Prüfung seiner Ideen. Er verstand die Bedeutung der Einzelheiten für eine exakte Untersuchung und hatte Freude sowohl in der Überwindung kleiner experimenteller Schwierigkeiten wie in der Verwirklichung seiner weitschauenden Ideen. Er ähnelt in seiner Fähigkeit zur Ausführung genauer Messungen zwei älteren berühmten dänischen Naturforschern, Tycho Brahe und Ole Römer.

Man kann in seiner wissenschaftlichen Tätigkeit vier Perioden unterscheiden. Die erste, die Jugendzeit, ist schon besprochen. In der zweiten Periode (1855—1866) beschäftigt Thomsen sich hauptsächlich mit einer Reihe physikalischer Probleme. Die dritte Periode (1866—1886), die in sein kräftigstes Mannesalter fällt, umfaßt seine berühmten, systematischen, thermochemischen Messungen; und als diese plangemäß durchgeführt worden waren, trieben Spekulationen über die Einheit der Materie ihn in seinen letzten Jahren zur Anstellung genauer Atomgewichtsbestimmungen.

### Physikalische Arbeiten (1855—1866).

Als Thomsen nach seiner großen Reise wieder Zeit zu wissenschaftlicher Arbeit fand, führte er eine Untersuchung aus, deren Resultate er 1856 auf der Naturforscherversammlung in Christiania mitteilte und 1858 unter dem Titel: »Die elektromotorische Kraft, in Wärmeeinheiten gemessen«, veröffentlichte<sup>1)</sup>. In der Einleitung zu dieser Abhandlung schreibt Thomsen: »Könnte man erst bestimmen, wieviel Elektrizität zur Erzeugung der chemischen Wirkungen des elektrischen Stroms notwendig ist, so wäre hierdurch ein

<sup>1)</sup> Det Kgl. danske Videnskabernes Selskabs Skrifter. 5. R. math.-naturv. Afd. Bd. 5, 153 [1858].

neues Mittel zur Bestimmung der Größe der chemischen Kräfte herbeigeschafft.« Und er schreibt später, daß in einem galvanischen Apparat die elektromotorische Kraft der Ausdruck für die Elektrizität ist. Thomsen wird somit von dem Gedanken geleitet, daß wir in der elektromotorischen Kraft ein Maß für die Affinität haben können. Bekanntlich hat es sich in neuerer Zeit wirklich gezeigt, daß die elektromotorische Kraft ein exaktes Maß für die Affinität gibt.

Um seine Gedanken zu prüfen und um den Wert der elektromotorischen Kraft in seinem thermischen Affinitätsmaß ausdrücken zu können, unterwirft Thomsen das Daniellsche Element einer näheren experimentellen Prüfung und findet, »daß die ganze Kraftmenge, die unter gewöhnlichen Umständen als Wärme entwickelt wird, wenn Kupfer durch Zink aus seinen Lösungen gefällt wird, im Daniellschen Apparate zuerst den Zustand Elektrizität durchläuft.« Er schließt hieraus, daß wir bei diesem Element in der elektromotorischen Kraft wirklich ein Maß für die Affinität haben, und sieht übrigens eine Stütze für dieses Resultat in der Reversibilität des Elements. Wir wissen jetzt, daß dieses Zusammentreffen zufällig ist; nach den heutigen Anschauungen schließen wir umgekehrt, daß wir in der Wärmetönung des im Daniellschen Element verlaufenden chemischen Prozesses zufälligerweise ein genaues Maß seiner Affinität haben.

Im Jahre 1880 hat Thomsen eine Arbeit über galvanische Elemente veröffentlicht, die indessen hauptsächlich eine genauere und erweiterte experimentelle Ausarbeitung der früheren ist.

Um die gewöhnlichen galvanischen Elemente zu verbessern, schlug Thomsen 1860 vor, das Zink mit Kupfer zu vertauschen und in dieser Weise ein beim Nichtgebrauch völlig haltbares Element zu erhalten. Größere Bedeutung hatte indessen seine Erfindung der Polarisationsbatterie.

In den Jahren nach 1860 herrschte, namentlich in dem Telegraphenwesen, ein großes Bedürfnis nach einfachen Stromquellen mit größerer Spannung, als von den einzelnen galvanischen Elementen geboten wurde; denn man mußte oft große lästige Batterien, aus vielen Elementen zusammengestellt, benutzen. Es erregte daher bedeutendes Aufsehen, als Thomsen 1865 die Erfindung seiner Polarisationsbatterie veröffentlichte, durch welche er mit Hilfe eines einzigen Elementes völlig konstante Ströme mit hoher Spannung herstellen konnte. Die Batterie fand sogleich Verwendung im Telegraphenwesen und wurde preisgekrönt auf den Industrieausstellungen in Stockholm und Paris.

Aber wie bei der Kryolithsoda war Thomsen auch bei dieser Erfindung so unglücklich, daß bessere Erfindungen kurze Zeit darauf der

seinigen die Bedeutung nahmen. Die Dynamomaschinen machten bald die Polarisationsbatterien überflüssig. In neuerer Zeit ist die entgegengesetzte Aufgabe aktuell geworden: aus einem schwachen, hoch gespannten Strom einen starken, niedrig gespannten herzustellen, und dieser Aufgabe hat Thomsen ebenfalls eine Lösung in einem galvanischen Transformator gegeben (1898), der indessen keine praktische Anwendung gefunden zu haben scheint.

Auch über das mechanische Äquivalent des Lichtes hat Thomsen gearbeitet: Im Jahre 1863 veröffentlichte er eine Arbeit, in welcher er zeigte, daß in den damals benutzten Lampen nur ca. 0.3 % der Verbrennungswärme des Brennstoffes in Form von Lichtstrahlen ausgesendet wurden. Durch diese kolossale Verschwendung angeregt, unternimmt er eine Untersuchung der gebräuchlichen Gaslampen und zeigt, wie sie am besten benutzt werden können.

Wir sehen an diesen verschiedenen Arbeiten, daß Thomsen seine technische Ausbildung nicht verleugnet. Technische Probleme besaßen das ganze Leben hindurch sein lebendiges Interesse. Ich will in diesem Zusammenhang erwähnen, daß er 1878 ein sehr empfindliches Manometer konstruierte. Es war seine Hoffnung, daß es zur Bestimmung der Gasmengen, die in jedem Augenblick die Hauptleitungen der Gaswerke passieren, Anwendung finden könnte.

#### Systematisch durchgeführte thermochemische Untersuchungen.

1866—1886.

Nachdem Thomsen 1866 Professor ordinarius geworden war und in dem damals neu errichteten chemischen Laboratorium der Universität günstige Gelegenheit zur Ausführung thermochemischer Messungen bekommen hatte, ging er mit der größten Energie an die Durchführung der Arbeit, die er 15 Jahre früher angefangen hatte: die Bestimmung der Wärmetönung bei allen wichtigeren chemischen Prozessen.

Die Resultate dieser Untersuchungen hat Thomsen zuerst in Poggendorffs Annalen oder in Kolbes Journal veröffentlicht. In den Jahren 1882—85 sammelte er sie in Buchform: »Thermochemische Untersuchungen von Julius Thomsen« — ein Werk in vier großen Bänden. Im Vorwort zu diesem berühmten Werk beschreibt der Verfasser das Werden seiner Arbeiten mit folgenden Worten: »Schon beim Beginn dieser Arbeiten war es meine Absicht, dieselben über das ganze Gebiet der Chemie auszudehnen, und, dem damals zugrunde gelegten Plane getreu, untersuchte ich die ausgewählten typischen Reaktionen gruppenweise in der vorher bestimmten

Ordnung.« Und am Schluß des Werkes schreibt er: »Die experimentellen Untersuchungen des vorliegenden Werkes haben bei fast täglicher mehrstündiger Arbeit 20 Jahre meines Lebens in Anspruch genommen. So konnte ich denn auch das jetzt abgeschlossene Werk mit etwa 3000 calorimetrisch durchgeführten Messungen ausstatten, ungerechnet die äußerst zahlreichen, vorbereitenden oder nach verbesserter Methode wiederholten Versuche.« Der glänzend entworfene Plan und die genauen Voruntersuchungen des Werkes haben den Versuchen eine große Gleichförmigkeit verliehen; dadurch sind die Resultate vergleichbar geworden, was von der größten Bedeutung ist, wenn mehrere experimentelle Werte die gemeinschaftliche Grundlage für theoretische Untersuchungen bilden sollen; z. B. sind die Versuche alle in einem Zimmer, dessen Temperatur bei 18° gehalten wurde, ausgeführt worden. In dieser Beziehung ist das Thomsensche Werk der Arbeit des anderen großen Thermochemikers, Berthelot, weit überlegen.

In seinem Werke sammelte und benutzte Thomsen nur eigene calorimetrische Bestimmungen, und dadurch konnte er eine große Zuverlässigkeit erreichen. Seine Meinung über die Angaben der Literatur erhellt daraus, daß er seinen Assistenten anriet, die eingehenden Literaturstudien erst nach der experimentellen Arbeit zu machen, weil man durch die Literatur allzu leicht zu verkehrten Anschauungen geführt würde. Thomsen gehörte nicht zu den Gelehrten, die durch Lesen auf allen Gebieten bewandert sind. Er konzentrierte sich auf die Gebiete, auf welchen er selbst tätig war, und konnte bisweilen große Unkenntnis in anderen chemischen Verhältnissen enthüllen.

Es ist Thomsen gelungen, ein System von thermochemischen Messungen zu schaffen, das in den vergangenen 25 Jahren nichts an Bedeutung verloren hat. Im Jahre 1905 veröffentlichte er in dänischer Sprache eine durch Weglassen der Versuchsmethoden verkürzte Zusammenstellung der numerischen und theoretischen Resultate seiner thermochemischen Untersuchungen (472 S.). Und das Interesse für dieses Buch zeigte sich so groß, daß es im Laufe kurzer Zeit von I. Traube ins Deutsche und auf Veranlassung von W. Ramsay ins Englische übersetzt wurde.

Es ist wohl von allen Seiten anerkannt, daß die Thomsenschen calorimetrischen Messungen mit Ausnahme seiner Bestimmungen der Verbrennungswärmen der flüchtigen, organischen Stoffe in Bezug auf Genauigkeit unübertroffen dastehen. Es scheint, als ob Thomsen bei der Bestimmung der Verbrennungswärmen der organischen Stoffe

systematische Fehler begangen hat; er behauptet aber<sup>1)</sup>, und wahrscheinlich mit Recht, daß seine Zahlen wegen ihrer großen Vergleichbarkeit ein größeres Interesse besitzen, als die mit der Berthelotschen Bombe gewonnenen Zahlen, die große unregelmäßige Abweichungen unter einander aufweisen.

Eine nicht ganz unberechtigte Beschwerde gegen die Thomssenschen Untersuchungen bezieht sich darauf, daß er die Darstellung und die Reinheit seiner Stoffe nur selten bespricht. Man muß sich gewöhnlich hier ganz auf seine Zuverlässigkeit verlassen.

»Der Zweck der quantitativen, thermochemischen Untersuchungen ist nun«, schreibt Thomsen in der Einleitung zu den »Thermochemischen Untersuchungen«, »in erster Linie eine Messung derjenigen Wärmemengen, welche bei chemischen Prozessen gebunden oder entbunden werden . . . aber sie (die Wärmemengen) bilden das Material für theoretische Untersuchungen; denn das höhere Ziel der Thermochemie ist die Feststellung der dynamischen Gesetze der chemischen Prozesse und die Gewinnung eines Einblicks in das geheimnisvolle Gebiet der Konstitution der chemischen Verbindungen, d. h. der Moleküle.«

Es ist in vielen Beziehungen Thomsen gelungen, diesen höheren Zielen näher zu rücken. Nach der Lektüre des 4. Bandes der Thermochemischen Untersuchungen schrieb Lothar Meyer an Thomsen: » . . . Hätten Ihre Versuche über Massenwirkung, über Neutralisation usw. schon klar gezeigt, daß die Thermochemie doch zu etwas anderem da ist, als um negative Wärmetönungen à la Berthelot so lange umzurechnen, bis sie positiv werden, so eröffnen jetzt Ihre Konstitutionsforschungen einen sehr weiten Ausblick, den auch die dicksten aromatischen Farbennebel nicht werden verschleiern können.«

Wir wollen die wichtigsten seiner theoretischen Resultate kurz besprechen.

Er hat gezeigt, daß die Änderung der Wärmetönung mit der Temperatur durch die spezifischen Wärmen genau nach dem Kirchhoffschen Gesetz bestimmt ist. Er hat durch Untersuchungen über die Neutralisationswärme nachgewiesen, daß die normalen Sulfide und die normalen Orthophosphate in wäßriger Lösung vollständig in freie Base und saure Salze gespalten sind, daß Metaphosphorsäure in Lösung unbeständig ist, daß Fluorsilicate in alkalischer Lösung zersetzt werden, daß Kieselsäure in wäßriger Lösung keine bestimmten Salze bildet, daß Flußsäure wahrscheinlich zweibasisch ist usw.

Durch Untersuchungen über die Wärmetönungen bei der partiellen Zersetzung von Salzen durch Säuren hat er uns ein Maß für

<sup>1)</sup> Ztschr. f. physik. Chem. 51, 657 [1905].

die Stärke der Säuren gegeben. Das Streben, mit welchem die Säuren die Neutralisation zu erreichen suchen, bezeichnet Thomsen als Avidität. In der folgenden Tabelle, die einen Auszug der Thomsenschen Zahlen enthält, geben die Aviditätszahlen das Verhältnis an, nach welchem eine Basis (NaOH) sich zwischen der fraglichen Säure und Salzsäure teilt, wenn von allen drei Körpern äquivalente Mengen zugegen sind.

| 1 Äquiv. | Säure                 | Avidität |
|----------|-----------------------|----------|
| 1 Møl.   | Salpetersäure         | 1.00     |
| 1 >      | Bromwasserstoffsäure  | 0.89     |
| 1/2 >    | Schwefelsäure         | 0.49     |
| 1 >      | Trichloressigsäure    | 0.36     |
| 1 >      | Orthophosphorsäure    | 0.25     |
| 1 >      | Fluorwasserstoffsäure | 0.05     |
| 1 >      | Essigsäure            | 0.03     |
| 1 >      | Cyanwasserstoffsäure  | 0.00     |

Ebenso wichtig wie diese zahlenmäßige Angabe der Stärke der Säuren war es, daß Thomsen durch dieselbe Untersuchung nachwies, daß die Zersetzung durch wechselnde Mengen Säure nach dem Massenwirkungsgesetz geschieht (1869). Wir verdanken ihm hierdurch die erste vollständige Bestätigung dieses Gesetzes.

Hervorzuheben ist auch, daß seine Messungen der Bildungswärmen von den Salzhydraten zeigten, daß die einzelnen Wassermoleküle oft verschieden gebunden sind.

Ferner hat Thomsen uns Regeln zur Vorausberechnung der Verbrennungswärmen organischer Moleküle gegeben. Dagegen haben die Schlüsse, die er aus der Verbrennungswärme der organischen Verbindungen auf ihre Konstitution gezogen hat, keine allgemeine Anerkennung gefunden. Von bleibender Bedeutung war jedoch sein Nachweis, daß wir im Benzol nicht drei Doppelbindungen haben, da die Verbrennungswärme des Benzols nur mit der Anwesenheit von neun einfachen Bindungen in Einklang zu bringen war.

Um seine calorimetrischen Bestimmungen anstellen zu können, mußte Thomsen eine große präparativ-chemische Arbeit ausführen. Er hat durch diese Arbeit in vielerlei Weise unsere chemischen Kenntnisse erweitert. Ich nenne seine Darstellung von Kaliumplatochlorid aus Kaliumplatinchlorid durch Reduktion mit Cuprochlorid, seine Untersuchungen über die Chloride und Bromide des Goldes, seine schöne Methode zur Bereitung von Selensäure aus Silberselenit und Brom und seine Darstellung von krystallisierter unterphosphoriger Säure. Zu seinen rein chemischen Arbeiten gehört die Darstellung einer Reihe von isomeren anorganischen Verbindungen

im Jahre 1868. Er gewann Verbindungen,  $M.(NH_3)_4.PtCl_4$  ( $M = Cu, Zn, Ni, Cd, 2 Ag$ ), die mit den Bucktonschen Verbindungen  $Pt(NH_3)_4.MCl_4$  ( $M = Hg, Cu, Pb, Zn, Sn$ ) isomer waren.

Nach der Herausgabe des 4. Bandes seiner thermochemischen Untersuchungen (1886) hat Thomsen keine calorimetrischen Arbeiten mehr ausgeführt. Seine späteren thermochemischen Abhandlungen sind nur polemischer Art. Thomsen war immer ein eifriger und tüchtiger Polemiker. Er hatte kräftige Ausdrücke gern; durchgehends war er aber in seinem Rechte, wenn er sie benutzte. Namentlich mit Berthelot hat Thomsen oft gekämpft; und es ist menschlich, daß eine gewisse Bitterkeit im Laufe der Zeit sich Berthelot gegenüber bei Thomsen ansammelte. So wurde die Berthelotsche Bombe in das Thomsensche Laboratorium nie eingeführt.

#### Arbeiten über die Einheit der Materie.

1886 — 1909.

Im Jahre 1865 hatte Thomsen eine interessante Arbeit: »Über die Natur der sogenannten Grundstoffe« geschrieben, in welcher die Meinung verteidigt, daß unsere Grundstoffe von zusammengesetzter Natur sind. Im Universitätsprogramm von 1887 nimmt er diese Spekulationen wieder auf, und sie führen ihn 1894 zur Aufstellung einer Hypothese, nach welcher die Abweichungen der Atomzahlen von ganzen Zahlen Multipla einer und derselben Größe sind. Diese Hypothese wird auf Grund der vorliegenden Atomgewichtsbestimmungen ausgesprochen. Schon seit mehreren Jahren aber hatte Thomsen selbst Bestimmungen von Atomgewichten ausgeführt.

Seine erste Arbeit dieser Art erachtete Thomsen selbst nicht als hinreichend genau. Er bestimmte hier das Atomgewicht des Wasserstoffs durch Messung des Gewichtsverhältnisses zwischen äquivalenten Mengen Ammoniak und Chlorwasserstoff<sup>1)</sup>. Im Jahre 1895 hat er uns aber eine schöne Bestimmung des Atomgewichtsverhältnisses von Wasserstoff und Sauerstoff gegeben. Seine Methode war sehr sinnreich und originell. Er stellte sich die Aufgabe, beide Bestandteile des Wassers dem Gewichte nach zu bestimmen und zwar in der Weise, daß keine Messung oder Wägung der Bestandteile im gasförmigen Zustande erforderlich wurde. In einer ersten Versuchsreihe löste

<sup>1)</sup> Schon 1870 hat Thomsen übrigens bei Gelegenheit seiner thermochemischen Untersuchungen das Verhältnis  $H:O$  zu  $1:15.963$  bestimmt.

er ein bekanntes Gewicht Aluminium in Kalilauge in einem besonderen Apparat und bestimmte durch den Gewichtsverlust des Apparates das Gewicht des entbundenen Wasserstoffs. Danach wurde in einer zweiten Versuchsreihe die mittels eines bekannten Gewichts desselben Aluminiums entwickelte Wasserstoffmenge durch Sauerstoffzuführung in einem kleinen Verbrennungsraum zu Wasser verbrannt; nun gab ihm die Zunahme des Gewichts des gesamten Apparats das gebundene Gewicht Sauerstoff. Er fand auf diese Weise:

$$\text{H} : \text{O} = 1 : 15.8690 \pm 0.0022.$$

Durch seine mit äußerster Sorgfalt ausgeführten Versuche fand Morley  $\text{H} : \text{O} = 1 : 15.879$ , und in neuester Zeit hat Noyes durch ebenso exakte Versuche  $\text{H} : \text{O} = 1 : 15.875$  gefunden. Die Abweichung zwischen Thomsen und Noyes ist nur wenig größer als diejenige zwischen Noyes und Morley. Gleichzeitig mit der Ausführung dieser Arbeit bestimmte Thomsen auch die Dichten von Wasserstoff und Sauerstoff. Seine Werte seien hier mit den Morleyschen zusammengestellt:

|                         | Thomsen                 | Morley                   |
|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Dichte von $\text{H}_2$ | $0.089947 \pm 0.000012$ | $0.089873 \pm 0.0000027$ |
| Dichte von $\text{O}_2$ | $1.42906 \pm 0.00004$   | $1.42900 \pm 0.000034$   |

Im Jahre 1897 berechnete Thomsen aus seinen oben angegebenen Versuchen das Atomgewicht des Aluminiums zu 26.992 ( $\text{O} = 16$ ). Der jetzige internationale Wert ist 27.1 mit Unsicherheit in der Dezimale.

Im gleichen Jahre veröffentlichte er eine neue Form für das periodische System und sagte die Existenz einer Reihe inaktiver Grundstoffe mit den Atomgewichten 4, 20, 36, 84, 132, 212 vorher. Argon war damals eben entdeckt; und wir kennen bekanntlich jetzt Helium, Neon, Argon, Krypton, Xenon und die Radiumemanation mit den Atomgewichten: 4, 20, 39.9, 81.2, 128, ca. 200. 1898 fand Thomsen, daß eine gewisse Art grönländischen Flußspats beim Erhitzen unter Licht- und Wärmeentwicklung Helium abgibt, und er brachte dieses Phänomen mit einem Gehalt von seltenen Erden in Verbindung.

In seinen letzten Jahren suchte Thomsen durch synthetische Darstellung von Argon zu beweisen, daß es eine chemische Verbindung sei. Seine, wie er meinte, positiven Resultate hat er jedoch nicht veröffentlicht. Leider gilt dasselbe nicht von einer Arbeit über die Darstellung von Kohlenstoffmonosulfid aus dem Jahre 1902. Denn da es später unmöglich gewesen ist, diese Arbeit zu wiederholen, müssen wir annehmen, daß sich Fehler in sie eingeschlichen haben.

Ein vollständiges Verzeichnis aller seiner vielen Abhandlungen hat Thomsen in *Oversigt over det Kgl. Danske Videnskabernes Selskabs Forhandling* 1805, 489—503 gegeben.

Schon im Dezember 1869, als Thomsen noch kaum sein Hauptwerk angefangen hatte, war er so anerkannt, daß von Leipzig aus an ihn geschrieben wurde, ob er möglicherweise unter günstigen Bedingungen daran denken würde, eine Professur in Leipzig zu übernehmen; man wünschte dort einen Physikochemiker, hatte aber keinen geeigneten Vertreter im Lande selbst. Aber erst nach Vollendung seiner »Thermochemischen Untersuchungen« stand Thomsen auf dem Höhepunkte seines Ansehens. Das dieser Biographie beigefügte Porträt ist eine Reproduktion nach einem Gemälde aus dieser Zeit (1883), gemalt von Carl Bloch. Im Jahre 1883 empfing Thomsen die Davy-Medaille und in diesen Jahren und den folgenden wurde er zum Mitglied der meisten bedeutenderen gelehrten Gesellschaften der Welt ernannt. Ich will besonders erwähnen, daß er im Jahre 1907 zum Ehrenmitglied der Deutschen Chemischen Gesellschaft erwählt wurde.

#### Administrative Tätigkeit.

Im Voranstehenden ist die wissenschaftliche, technische und pädagogische Wirksamkeit von Julius Thomsen geschildert worden. Man kann indessen keinen richtigen Eindruck von seiner Persönlichkeit gewinnen, wenn man nicht auch seine umfassende administrative Tätigkeit in Betracht zieht. Seine bedeutenden Fähigkeiten in dieser Richtung wurden in hohem Maße von seinem Vaterlande verwertet. Er war Mitglied einer Unzahl von Kommissionen.

Im Jahre 1861 wurde Thomsen zum Stadtverordneten für Kopenhagen erwählt, und ununterbrochen wurde er bis 1894 wiedergewählt. Für diese öffentliche Wirksamkeit interessierte er sich mit Leib und Seele, und er opferte eine sehr bedeutende Zeit für das Wohl seiner Stadt. Einer seiner Kollegen in der Bürgerrepräsentation, Direktor Hagemann, hat seine Leistung mit folgenden Worten charakterisiert: »Die Sachkunde saß zum wesentlichen Teil in der Bürgerrepräsentation, und bis zu der Anstellung von Amt war der Magistrat wenig technisch wissend. Und die Sachkunde hieß viele Jahre hindurch Julius Thomsen. Die Gas- und Wasserwerke und die Kanalisation der Stadt sind seine kommunalen Denkmäler.«

In den Jahren 1882—1903 war Thomsen Direktor der Polytechnischen Lehranstalt in Kopenhagen, und unter seiner Leitung

blühte diese Anstalt auf und kam auf gleiche Höhe mit den besten ausländischen technischen Hochschulen. Hier mag auch hervorgehoben werden, daß das neue Gebäude des Chemischen Universitätslaboratoriums 1889—1891 nach seinen Plänen gebaut und eingerichtet wurde.

Der große Einfluß, den Thomsen auf seine Umgebung ausübte, stand sicher damit in Zusammenhang, daß er immer genau wußte, was er wollte, und früher als die anderen seine Pläne fertig hatte.

Im Laufe der Zeit wurde Thomsen vom dänischen Staat mit den höchsten Ehrenbezeichnungen belohnt.

---

Es war ein in seltenem Maße tätiges Leben, das mit Thomsens Tod am 13. Februar 1909 abgeschlossen wurde. Der Thomsensche Wahlspruch »Arbeit macht das Leben wertvoll« war nicht nur ein Wort, zu welchem er sich bekannte, sondern umfaßte für ihn die Erfahrungen eines langen Lebens. Dänemark verlor in ihm einen seiner besten Söhne.

Köbenhavn, Dezember 1909.

*Niels Bjerrum.*