aber statt der zahlreichen Absorptionslinien sieht man im Spectrum nur einen homogenen Schatten.

IV. Fluorescenz und Disgregation.

§ 7. Eine grosse Reihe von Körpern fluorescirt in Lösung, dagegen in festem Zustande für sich nicht. Durch Lösung des Farbstoffes in Gelatine dagegen erhält man leicht Schichten von Fluoresceïn, Magdalaroth, Tetrabromfluoresceïn, Dichlortetrajodfluoresceïn, Phenosafranin etc., welche lebhaft fluoresciren, auch wenn sie völlig erhärtet sind. Präparate, die über einen Monat alt sind, zeigen die Erscheinung in unveränderter Weise. Man wird den Schluss machen dürfen, unter Berücksichtigung des für verschiedene Lösungen Gesagten, dass ein und derselbe Körper um so leichter fluorescirt, je kleiner seine physikalische Molekel ist. Dass bei Lösungen von Fluoresceïn, Eosin, Magdalaroth mit steigender Concentration die Stärke des Fluorescenzlichtes anfangs wächst, später aber bis zu Null abnimmt, wird dadurch seine Erklärung finden, dass die physikalische Molekel bei hoher Concentration complicirter ist als in verdünnter Lösung.

§ 8. Mit diesen Andeutungen muss ich mich vorläufig begnügen und muss eine genauere Untersuchung der Beziehung zwischen der Grösse der physikalischen Molekel und dem Absorptionsspectrum der Zukunft überlassen.

Da ich selbst in der nächsten Zeit keine Zeit finden werde, die Untersuchung fortzuführen, habe ich mir erlaubt, die wenigen oben angeführten Versuche mitzutheilen.

Phys. Institut der Univ. Strassburg i. E., im Jan. 1888.

II. *Ueber Knallgasexplosion;* *von A. von Oettingen und A. von Gernet.*

(Hierzu Taf. VII.)

Im Jahre 1867 hat Bunsen den Vorgang einer Knallgasexplosion einer eingehenden experimentellen und theoretischen Untersuchung unterzogen und auf Grund seiner Resultate das Princip successiver Partialexplosionen

aufgestellt, welches wir mit neuen Methoden experimentell zu prüfen unternahmen. Besteht nämlich wirklich ein Vorgang der Bunsen'schen Auffassung entsprechend, so schien es nicht aussichtslos, mittelst der bekannten Methode des rotirenden Spiegels das gesammte Phänomen zu analysiren. Wir glauben, unseren Zweck erreicht zu haben, und können nach Ueberwindung mancher Schwierigkeiten Bilder von dem Explosionsvorgange vorlegen, die eine der Bunsen'schen Auffassung entsprechende Deutung fordern. Da gegen Bunsen die umfangreichen Untersuchungen von Berthelot und Vieille, sowie ein Theil der Arbeiten von Mallard und Le Chatelier zu sprechen scheinen, so sei es gestattet, zuerst mit einem kurzen Ueberblick über die erwähnten drei Untersuchungsreihen den Stand der Frage zu kennzeichnen.

1. Einleitung.

Zur Berechnung des Maximums der Temperatur, welches bei der Explosion erreicht werden könnte, setzt Bunsen¹⁾ eine Gleichung an, in welcher der Druck, den das verbrennende Gas erzeugt, die bekannte Verbrennungswärme des Wasserstoffes und die specifische Wärme der Verbrennungsproducte eingehen. In dieser Relation soll der Druck experimentell ermittelt und dann die Verbrennungstemperatur berechnet werden. Das Explosionsgefäß von 8,15 cm Höhe und 1,7 cm Lumen war mit einem starken aufgeschliffenen Glase bedeckt, welches durch einen Hebelarm gegen das Gefäß gedrückt wurde. Durch verschiedene Belastung des Hebels wurde der Druck variirt. Bei 8 Atmosphären ward der Verschluss durch die Explosion fortgeschleudert, bei zwölf nicht mehr, und die Explosion erfolgte lautlos. Durch Aenderung der Gewichte und Einschränkung der Grenzen konnten 9,5 Atmosphären als Druck für Wasserstoffknallgas festgestellt werden. — Andererseits versuchte Bunsen die Geschwindigkeit, mit welcher die Explosion sich fortpflanzt, zu bestimmen: Unter hohem Druck liess er das Knallgas ausströmen aus einer Oeffnung von nur 1,2 mm. Der Gasstrom, entzündet, brannte in freier Luft. Nun wurde der

1) Bunsen, Pogg. Ann. 131. p. 161. 1867.

Druck und mithin die Geschwindigkeit des Ausströmens langsam vermindert, bis die Flamme in den Cylinder zurückschlug. Die jetzt berechnete Strömungsgeschwindigkeit setzte Bunsen gleich der Explosionsgeschwindigkeit und fand so 34 m pro Secunde.

Die gemessenen Druckwerthe führten zur Kenntniss der erreichten Maximaltemperatur. Aus dieser erschliesst Bunsen, dass unmöglich die gesammte Masse auf einmal explodiren könne, sondern nur so viel, als der aus dem Druck berechneten Temperaturerhöhung entspreche, d. h. $\frac{1}{3}$ des Ganzen, der Rest des Gases bleibe unverbrannt, aber bei hoher Temperatur. Nach einiger Zeit, wenn durch Abkühlung und Strahlung die Temperatur gesunken sei, verbrenne wiederum ein Theil (und zwar die Hälfte des Restes) und so fort. Kurz gesagt, es gäbe nur „eine discontinuirliche, gleichsam stufenweise erfolgende Verbrennung“. ¹⁾

Berthelot und Vieille²⁾ in ihren umfangreichen hochinteressanten Versuchen behaupten gegen Bunsen, die spezifische Wärme der Gase wachse beträchtlich mit der Temperatur. Um annäherungsweise die mittlere spezifische Wärme zu erfahren, wurden folgende Betrachtungen angestellt: Es sei k das verbrannte Gasvolumen als Bruchtheil des Ganzen, g das Contractionsverhältniss (Verhältniss des verbrannten zum dissociirt gedachten Volumen, für $H_2O = \frac{2}{3}$), so muss statt des beobachteten Anfangsdruckes p_0 vielmehr $p_0(1 - k + kg)$ in Rechnung gebracht werden. Es wird:

$$(1) \quad t = 273 \left(\frac{p}{p_0} \cdot \frac{1}{1 - k + kg} - 1 \right).$$

Gesetzt, die Verbrennung sei eine vollständige, so wird $k = 1$ und:

$$t_1 = 273 \left(\frac{p}{p_0} \cdot \frac{1}{g} - 1 \right).$$

1) Bunsen, l. c. p. 176.

2) Berthelot u. Vieille, Compt. rend. **93**. p. 18 u. 613. 1881; **94**. p. 101. 149. 822. 1882; **95**. p. 151 u. 199. 1882; **96**. p. 672. 1186. 1883; **98**. p. 5. 545. 601. 646. 770. 852. 1884; **99**. p. 1097. 1884. Besonders Ann. de chim. et de phys. (5) **12**. p. 302. 1877; (6) **4**. p. 13. 1885.

Bei Voraussetzung vollständiger Dissociation dagegen $k = 0$ und:

$$t_2 = 273 \left(\frac{p}{p_0} - 1 \right).$$

Zwischen t_1 und t_2 muss die wahre Endtemperatur liegen. Weiter findet Berthelot eine untere Grenze für k , indem er den Werth der specifischen Wärme c bei 0° benutzt und:

$$(2) \quad k' = \frac{c t_2}{Q}$$

annimmt. Dieser Werth von k' gibt, in Gl. (1) eingesetzt, einen neuen Werth t_3 . Letzterer, in Gl. (2) verwerthet, gibt wieder ein k'' , welches, in (1) eingesetzt, t_4 liefert. Endlich wird:

$$t = \frac{t_1 + t_4}{2}$$

angenommen, wobei unklar bleibt, weshalb der angenäherte Werth t_4 und der Maximalwerth t_1 mit gleichem Gewicht eintreten. Endlich wird aus t die mittlere specifische Wärme:

$$\gamma = \frac{Q}{t}$$

gesetzt und so gross gefunden, dass Berthelot ein Erreichen der Dissociationstemperatur bei der Verbrennung für unwahrscheinlich hält. Mit Bestimmtheit also wird das Factum von ihm nicht geleugnet.¹⁾

Gegen Berthelot sei es gestattet, nur darauf hinzuweisen, dass, falls Dissociationen statthaben, γ einem sehr complicirten Begriffe entsprechen würde.

Weiter hat Berthelot die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Explosion gemessen und durch seine Resultate eine ganz neue Auffassung des Phänomens begründet. Ein eisernes Rohr von 5 m Länge mit 8 mm Durchmesser war an einem Ende mit Electroden versehen, am anderen Ende mit einem seitlichen Ansatz, der in einer Durchbohrung einen Metallstift trug, vor welchem eine berusste Trommel rotirte.

1) Doch sagt Berthelot wörtlich: „Les expériences de M. Bunsen ne procurent donc aucune donnée certaine, ni même probable, relativement au degré, à la nature, ou même à l'existence de la dissociation; car il n'est point permis, dans l'état présent de science, d'en tirer des conclusions déterminées.“ Ann. de chim. et de phys. (5) 12. p. 308. 1877.

Ein electrischer Punkt markirt den Anfang, der Stift das Ende der Explosion. Die Messung ergab so bedeutende Werthe der Fortpflanzungsgeschwindigkeit, dass dieselbe offenbar einem ganz anderen Processe entsprach, als dem, den Bunsen zu messen geglaubt hatte. In der nachfolgenden Tabelle übersieht man in der vorletzten Columnne die vom Anfang an gemessene mittlere Geschwindigkeit der Explosion. Bei diesen Versuchen waren die Marken durch Verpuffen von Knallquecksilber erzeugt, welches einen an verschiedenen Stellen des Explosionsrohres angebrachten Stanniolstreif zerriss und dadurch eine galvanische Leitung unterbrach. Der Zeitraum zwischen zwei solchen Durchbohrungen ergab die Geschwindigkeit für die Zwischenstrecke.

Für unsere Versuche ist ausser dem absoluten Werthe der gefundenen Geschwindigkeiten die Behauptung von Wichtigkeit, dass die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Explosion anfangs klein sei, dann rasch zunehme bis zu einem höchsten Werthe, der für Wasserstoffknallgas 2880 m betrug.

**Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Explosionen
nach Berthelot und Vieille.**

Entfernung vom Entzündungsfunken in Metern	Beobachtete Zeitdauer in Secunden	Mittlere Geschwindigkeit in Metern	
		vom Anfang an	in jedem Intervall
0,02	0,000 275	72	72
0,05	0,000 342	146	448
0,50	0,000 541	924	2261
5,25	0,002 108	2491	3031
20,19	0,007 620	2649	2710
40,43	0,015 100	2679	2706

Die von Berthelot gefundenen Druckwerthe stimmen gut mit denen Bunsen's überein. Wenn das Rohr einen engen Durchmesser hat, oder wenn fremde Gase beigemischt sind, kann statt der Explosion (*mode de détonation*) eine langsame Verbrennung eintreten (*régime de combustion*). Offenbar hat Bunsen letzteren Verbrennungsmodus gehabt, als er die Geschwindigkeit zu messen unternahm; die enge Oeffnung von 1,7 mm hinderte die Explosion. Berthelot

findet die Geschwindigkeit der Explosion nahe gleich der des Schalles.¹⁾

Eine weitere umfangreiche Arbeit wurde von den Herren Mallard und Le Chatelier publicirt.²⁾ Die ersten Mittheilungen betreffen nur die langsame Verbrennung. Später wurden wirkliche Explosionen untersucht, auf die wir hier näher eingehen müssen. Es sind das die mit einem Bourdon'schen Metallmanometer angestellten Druckmessungen nebst Registrirung des zeitlichen Verlaufes.³⁾ Mit dem geräumigen Explosionsgefäß communicirt eine gewundene metallene Hohlspirale, die am entgegengesetzten Ende verschlossen und mit einer rechtwinklig angebrachten Zeigernadel versehen war.

Der durch die Explosion hervorgerufene Druck theilt sich der in der Spirale enthaltenen Flüssigkeit (Glycerin) mit, wodurch eine rotatorische Bewegung des Zeigers entsteht. Auf einer rotirenden Trommel wird der Druck registrirt. Die Curve steigt von 0 an auf und erreicht stets (wohl zu beachten) nach 0,03 Secunden ein Maximum, um dann allmählich zu fallen, entsprechend der Abkühlungsgeschwindigkeit des Gases. Der berechnete absolute Maximaldruck stimmt gut mit Bunsen's und Berthelot's Resultaten überein.

Mallard und Le Chatelier schliessen nun aus ihren Curven, dass bei H_2O -Knallgasexplosionen keine Dissociation statthabe, wie Bunsen glaubt; aber — wie sie ausdrücklich betonen — wenigstens nicht, nachdem der höchste

1) Berthelot setzt in die Clausius'sche Formel $29,345 \sqrt{T/q}$, $T = 3000^\circ C.$ und $q =$ der Dichte des Gases. Die kinetische translatorische Bewegung nimmt proportional der Temperatur zu, die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Gasmoleculé muss also proportional der Wurzel aus der absoluten Verbrennungstemperatur sein. Die Entzündung pflanzt sich von Schicht zu Schicht fort. „Es scheint die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Explosion und der Molecularbewegung, wenn nicht identisch, so doch nahe verwandt zu sein.“

2) Mallard u. Le Chatelier, *Compt. rend.* **93.** p. 145 u. 962. 1881; **95.** p. 599 u. 1352. 1882; **96.** p. 1014 u. 1076. 1883. Ferner aber und sehr ausführlich, mit Copieen photographischer Abbildungen in *Ann. de mines.* (8) **4.** p. 272. 1883 mit Taf. VIII bis XVIII.

3) Mallard u. Le Chatelier, *Ann. de mines.* (8) **4.** Taf. XVIII.

Druck bereits erreicht ist. Anders bei CO-Knallgas, sofern bei höheren Drucken keine einfache Abkühlung stattfindet, daher eine Dissociation im Sinne der Bunsen'schen Auffassung wohl wahrscheinlich sei. — Auf die oben angeführten Zahlen bei den Druckmessungen kommen wir später zurück.

Nach dieser Darlegung der vorliegenden Frage wenden wir uns unseren eigenen Versuchen zu, die eine der Bunsen'schen Theorie entsprechende Deutung zu verlangen scheinen.

2. Methode der Versuche.

Um ein Bild von den Vorgängen während der Explosion zu erhalten, wandten wir den rotirenden Spiegel an. Statt des von W. Feddersen mit so grossem Erfolg angewandten Hohlspiegels, kehrten wir zum Wheatstone'schen Planspiegel zurück, combinirten aber mit demselben, um reelle Bilder zu entwerfen, die photographische Camera.¹⁾ Diese Methode, die, wie es scheint, noch nicht angewandt worden ist, gestattet, eine beliebige Verkleinerung der Bilder mit grosser Schärfe zu verbinden. Ersteres erscheint durchaus nothwendig, wenn man die Explosionserscheinung in einer etwa 400 mm langen Eudiometerröhre wiedergeben will.

In Fig. 2 sei A ein Querschnitt durch das Eudiometerrohr, das man sich senkrecht zur Papierebene vorstelle, st der Spiegel, $s't'$ eine andere Stellung desselben, mithin CB die virtuelle Bildbahn. OP repräsentire das photographische Objectiv, v die Bildweite, die Entfernung $AS = CS = BS$ sei $= r$, der Drehungswinkel des Spiegels sei $\frac{1}{2}\varphi$. Ferner werde $BMC = \psi$ gesetzt; GF die photographirte reelle Bildbahn. Alsdann ist, wenn noch $SM = k$ gesetzt wird:

$$(1) \quad v = \frac{(k+r) \cdot f}{k+r-f},$$

$$MC \cos \psi = k + r \cdot \cos \varphi, \quad MC \sin \psi = r \sin \varphi, \quad \text{also:}$$

1) Vgl. Centralztg. für Optik u. Mechanik. 1887. S. Nr. 20 u. 23, wo die ganze Methode von einem von uns ausführlich dargestellt ist, und die Vortheile derselben erläutert worden sind. Damit das Bild G von C auf G falle, muss $r = f$ gewählt werden, und damit y genau proportional φ werde, muss ausserdem $k = 2r$ sein (s. ob. Gleichung (4)).

$$(2) \quad \operatorname{tg} \psi = \frac{r \cdot \sin \varphi}{k + r \cos \varphi},$$

$$(3) \quad y = v \cdot \operatorname{tg} \psi = \frac{(k + r) \cdot f}{k + r - f} \cdot \frac{r \sin \varphi}{k + r \cos \varphi}, \quad \text{also:}$$

$$(4) \quad y = \frac{r \cdot f}{k + r - f} \cdot \varphi \left\{ 1 + \frac{2r - k}{k + r} \cdot \frac{\varphi^2}{6} \right\}.$$

In erster und hinreichender Annäherung darf:

$$(5) \quad y = \frac{r \cdot f}{k + r - f} \cdot \varphi$$

gesetzt werden. Eine leichte Schätzung lehrte, dass bei den von uns gewählten Dimensionen ein Maximalfehler von 1 Proc. begangen werden könnte.

Das Eudiometer, eine vortreffliche Arbeit von Greiner und Friedrichs in Stützerbach, bestand aus einem dicken Glasrohr von 480 mm Länge mit einem inneren Radius von 10 mm (s. Fig. 10). Die Wandungen waren gleichfalls 10 mm dick. An beiden Enden war das Rohr durch gut eingeschliffene Glashähne verschlossen, welche zum Einfüllen des Gases mit einer Durchbohrung versehen waren. Die Entfernung von Hahn zu Hahn betrug 400 mm. An drei Stellen waren Electrodenpaare von der Seite her eingekittet in zuvor gebohrte Löcher, so zwar, dass die 2 mm dicken Platinelectroden nur die Glaswand durchsetzten, ohne ins Innere des Rohres hineinzuragen. Dadurch war eine gründliche Reinigung des Inneren leicht möglich. Electrodenpaare befanden sich am Anfange des Rohres, in der Mitte und in $\frac{1}{4}$ der Rohrlänge vom Anfange. Auswendig wurde das ganze Eudiometer mit schwarzem Papier beklebt, nur ein 3 mm breiter Spalt über die ganze Rohrlänge ward ausgespart. Auch gewöhnliche Endiometer, besonders kurze, von 145–300 mm Länge wurden benutzt, indess sprangen dieselben gar häufig bei Explosion reinen Knallgases.¹⁾

1) Die beschriebenen Eudiometer mit Glashähnen halten jede Explosion aus. Man hüte sich nur, die Glashähne gar zu fest hineinzudrücken, denn die dadurch hervorgerufene Spannung bewirkt, dass während der Explosion viel leichter das Eudiometer zertrümmert wird.

Das Wasserstoffknallgas wurde electrolytisch dargestellt und aus dem Gasometer direct ungetrocknet ins Eudiometer übergeführt, bald durch langes Durchstreichenlassen, bald durch Verdrängung von zuvor eingefültem Quecksilber. Der rotirende Planspiegel war 100 mm breit und 80 mm hoch. Ein Gewicht von 20 kg setzte das Räderwerk in Bewegung, sodass pro Secunde 6—7 Umdrehungen erfolgten. Dass diese Geschwindigkeit genügte, war ein günstiger Umstand, denn der Spiegel hatte ein beträchtliches Gewicht. Zudem war er mit einem 170 mm langen Metallzeiger verbunden, der gleichfalls stark die Bewegung hemmte. Durch die Länge des Zeigers erreicht man aber eine sehr präzise Anfangsstellung des zu entwerfenden Bildes. Bei jedem Versuche wurde die Rotationsgeschwindigkeit gemessen. Ein electrischer Entladungsfunke entzündete stets das Gas in dem Momente, wo das Bild auf die photographische Platte fiel, wie solches schon von Wheatstone und Feddersen erreicht war. Fig. 10 zeigt die Versuchsanordnung. Eine Holtz'sche Influenzmaschine ladet von *C* aus die Flasche *A*, deren äussere Belegung zur Erde abgeleitet war. Unterdess rotirt bereits der Spiegel sammt dem Zeiger *c*. Man senkt nach einiger Zeit den Fallarm *e*, dadurch reicht das Potential der Flasche bis zum Knopfe *b* hin. — Einen Augenblick später kommt *c* heran, die Entladung geht durch *c* nach Metal'theilen des Spiegels und weiter von *g* nach der Eudiometerelectrode *k'*, erzeugt den Funken *kl* und erreicht die negative Belegung bei *n*. Das Bild der Explosion erscheint in *O* reell und konnte photographisch fixirt werden.

Die Strecke *r* betrug 1000 mm, *k* = 145 mm, *f* = 137 mm. Das angewandte Objectiv war ein Voigtländer Aplanat von 13 cm Brennweite.

Bei subjectiver Beobachtung zeigte sich eine vielgegliederte Lichterscheinung, die unmöglich präzise gedeutet werden konnte. Das Licht der Explosion ist intensiv gelb, spectral liess sich nur die Natronlinie erkennen, zuweilen auch Calcium. Es ist deshalb nicht auffallend, dass auch die empfindlichste Beernaert-Platte kaum eine Spur der Wirkung zeigte. Das Behandeln mit Cyanin gibt zwar Gelbempfindlich-

keit, doch auch nicht hinreichend. Auch mit Azalinplatten ward kein Resultat erzielt.¹⁾

Schliesslich fielen die Versuche mit Eastman's Negativpapier günstig aus. Aber auch jetzt waren die Bilder schwach und gestatteten keine sichere Deutung. Endlich versuchten wir, die Gasexplosion durch Zusatz leichtzersetzlicher Salze zu färben.²⁾ Die mit Salmiak, Chlormagnesium, Zinkoxyd, Zinnoxid, Chlorthallium und Kupferchlorür angestellten Versuche waren sämmtlich brauchbar und lehrreich, das Kupfersalz ergab aber die besten Bilder. Mag nun auch ein Theil der Wärme von den beigemengten Salzen absorbirt werden, diesen Fehler wird man gern hinnehmen, wenn nur etwas Bestimmtes sichtbar wird. Ausserdem consumiren die Glaswände doch auch Wärme, was aus dem Leuchten in Natriumlicht hervorgeht, daher das Kupfersalz kaum das Wesentliche der Erscheinung beeinträchtigt.

Um eine gleichmässige Salzschrift zu erhalten, wurde das Rohr inwendig befeuchtet, das Salz hineingestreut und nach tüchtigem Schwenken das nicht haftende Pulver ausgeschüttet, dann das Rohr im Trockenschrank getrocknet und schliesslich mittelst Watte die Stelle im Inneren des Rohres wieder gereinigt, wo der Papierspalt sich befand. Für jeden Versuch mussten diese zeitraubenden Manipulationen wiederholt werden.

Um Schleier zu vermeiden, wurde der Oxalatentwickler bis zur Hälfte mit Wasser verdünnt, dann von Zeit zu Zeit concentrirter Entwickler hinzugefügt. Die Entwicklung musste oft eine ganze Stunde fortgesetzt werden.

Die Bilder sind Negative, sodass die Schwärzen Lichtwirkung bedeuten. Es wurde versucht, Copieen anzufertigen, dabei schien indess doch von der Prägnanz der Wirkung manches verloren zu gehen.

3. Deutung der Versuche.

Wir sehen auf allen Bildern (Fig. 1 bis 8) an der linken Seite den Entzündungsfunken. Er tritt bald am oberen

1) Unterdeß sind neue Sensibilisirungsmethoden erfunden worden.

2) Ein ähnliches Verfahren schlugen Dewar und Liveing ein. S. Beibl. 8. p. 644. 1884.

Ende des Eudiometers, bald in der Mitte (Fig. 8), bald auf $\frac{1}{4}$ der Rohrlänge auf, (Fig. 6), je nachdem, welches der oben beschriebenen Electrodenpaare benutzt wurde. Den Funken begleitet eine verticale Lichtlinie, die nur dem Reflex electrischen Lichtes angehört. Weiter rechts, durch eine leer-gebliebene Strecke getrennt, folgt das Hauptlichtbild, welches drei Arten von Lichtwirkungen zeigt:

1) Eine durch das Eudiometer mehrere mal hin und her gehende Lichtlinie, die wir Hauptwelle nennen wollen. In Nr. 3, 5 und 6 sehen wir sie dreimal, in Nr. 8 viermal, in Nr. 2 siebenmal auf und ab gehen.

2) Eine oder mehrere Nebenwellen, welche der Hauptwelle nahe parallel laufen. In Nr. 5 eine starke und eine viel schwächere zwischen zwei Hauptwellen, in Nr. 8 links oben deren vier nebeneinander, in Nr. 3 bei genauer Betrachtung (besonders am Originale im durchscheinenden Licht einer Lampe) eine grössere Zahl von Nebenwellen, die der Hauptwelle das Ansehen eines breiten continuirlichen Lichtbandes ertheilen. Unten heben sie sich deutlicher voneinander ab.

3) Zahlreiche kürzere sinusöide Wellen, die niemals ein Rohrende erreichen, nur eine kurze Strecke des Rohres einnehmen, besonders schön in Nr. 2, 3 und 8.¹⁾

Sind nun sämmtliche sichtbare Wellen ein Bild des Explosionsverbrennungsprocesses selbst? Wir müssen diese Frage verneinen. Wir halten alle Bilder für Compressionswellen in den Verbrennungsproducten nach vollendeter Explosion. Die Explosion selbst ist unsichtbar.

Die Entstehung der Hauptwelle denken wir uns folgendermassen: Die Explosion durchheilt das Rohr, etwa so, wie Berthelot solches discutirt hat. Am Ende des Rohres tritt

1) Horizontale gerade weiss gebliebene Strecken (Fig. 5 und 8) sind nur Folge der zufälligen Trübung des Eudiometerspaltes, analog den schwarzen Spectrumstreifen bei unreinem Spalt. Es mögen während der Explosion oder auch vorher unreine Stellen sich gebildet haben, die dem Licht den Durchgang verwehren. — Die weiss gebliebenen Ecken in Nr. 8 oben und unten, und in Nr. 7, sind die Stellen, wo die Cassettenstützen das photographische Papier verdeckten.

ein Reflex ein, es kehrt eine Stosswelle zurück, um oben wieder reflectirt zu werden, und so fort. Wie man erkennt, sind die ersten Wellen dieser Art durchaus dunkel. Auch subjectiv betrachtet, hat der Anfang der Explosion keine Leuchtkraft. Relativ spät nach 0,001 Secunden ungefähr beginnt das Aufleuchten, und zwar in einem gewissen Wellenzuge, bald von unten, bald von oben her (vgl. 1, 2, und 3, oder wie in Nr. 5, wo gleichzeitig die von unten und oben herkommenden Stosswellen sich kreuzen). Das relativ späte Aufleuchten hängt offenbar damit zusammen, dass das explodirende Knallgas gar nicht leuchtet, ferner damit, dass die Metallsalze ca. 0,001 Secunden Zeit gebrauchen, um eine zum Aufleuchten nöthige Temperatur zu erhalten. Ueberhaupt ist festzuhalten, dass bei unserem Knallgas nur die Metalltheile Leuchtkraft haben, und dieser Punkt ist der wesentlichste zur richtigen Beurtheilung der Erscheinung.

Es lässt sich überall ein Mitreißen der Metalltheilchen durch die Hauptwelle beobachten. Infolge der Trägheit der Materie bleiben die leuchtenden Theile hinter der Stosswelle zurück und verursachen die eigenthümliche Gestalt einer Federfahne (s. Fig. 5, 6, 7). — Sobald eine rückkehrende Stosswelle die fliegenden Metalltheilchen trifft, werden sie in der Richtung des neuen Stosses beschleunigt (s. Fig. 2, 3 und 8). Dadurch entstehen die oben sub 3 erwähnten sinusoiden Wellen, deren Form von der Trägheit des Metalles, seiner momentanen Geschwindigkeit und von jeder neuen Beschleunigung abhängt.

Bei genauer Betrachtung dieser Wellen finden wir eine Störung im regelmässigen Verlauf der Curven, dieselben erscheinen polygonal, und zwar bemerkt man leicht den Einfluss der sub 2 erwähnten Nebenwellen. Eine jede dieser letzteren ertheilt den Metalltheilchen plötzlich eine Beschleunigung, dadurch erzeugt jede Nebenwelle einen Knick in der Curve. Der Betrag dieser Knickung wird wiederum sowohl von den momentan bereits vorhandenen Geschwindigkeiten der Metalltheilchen, wie von der Intensität der Stosswelle abhängen. In Fig. 8 ertheilt die Hauptwelle stets sofort eine neue Richtung den Theilchen, dieselben keh-

ren in spitzem Winkel ihre Bewegung um, scheinbar ohne Zeitverlust. Dasselbe zeigt Fig. 5. Besonders schön zeigt Nr. 3 (mit TiCl) eine polygonale Gestalt, allen Nebenwellen gehorchend. In Fig. 8 links oben sind, kurz vor dem reflectirenden Rohrende, alle auf- und absteigenden Wellen kenntlich, während die beiden mittleren polygonalen Curven von von unten herkommende starke Stosswellen verrathen. Das Fortbestehen der Nebenwellen kann man in Fig. 8 bis in den 3. Zug hinein verfolgen, während Knickungen noch im 4. und 5. Zuge deutlich auftreten.

Man könnte geneigt sein, stark markirte Wellen, wie in Nr. 5, für Explosionswellen zu halten; allein gerade dieses Beispiel lehrt, dass wir es mit Stosswellen in einem bereits völlig verbrannten Gase zu thun haben. Hierfür spricht erstens der Umstand, dass die in das Rohr hinabfahrende Welle bei ihrer Umkehr sofort eine ebenso hohe Temperatur erzeugt, wie auf dem Hingange. Beruhte das Phänomen an dieser Stelle auf Explosion, so wäre nicht abzusehen, wie eine so hohe Temperatur wiederholt hervorgebracht werden könnte, wenn soeben die Verbrennung an derselben Stelle stattgehabt hatte. Noch entscheidender sind die Durchkreuzungsstellen in Nr. 5. — Zwei Stosswellen können sich offenbar durchdringen, und eine jede wird ungestört ihren Weg fortpflanzen, von Verbrennungswellen liesse sich dasselbe wohl nicht behaupten.

Woher aber stammen die Nebenwellen? Sie treten überall auf, besonders deutlich da, wo die Explosion in der Mitte des Rohres begann, wie in Nr. 8. Zunächst jedoch wählen wir andere Figuren als Ausgangspunkt der Betrachtung, wie Nr. 3 und 5, bei welchen die Explosion am oberen Rohrende beginnt. — Hier finden wir keine andere Deutung, als dass von den Electroden aus folgeweise Explosionen stattgefunden haben, gerade in dem Sinne, wie solches in genialer Weise von Bunsen erschaut wurde. Wir wüssten keinen anderen Grund ausfindig zu machen für die in kurzen Intervallen sich folgenden Nebenwellen.

Nehmen wir mit Bunsen an, es sei eine Dissociationstemperatur von der ersten Explosionswelle erzeugt worden.

so wird dieser Welle nach kurzer Zeit (etwa 1—2 zehntausendstel Secunde) eine zweite Explosionswelle folgen. Wenn sie uns sichtbar wäre, sie müsste dicht neben dem electrischen Funken oben im Rohr anheben und nahe parallel dem Bilde der Hauptwelle hinunterlaufen. Sie müsste der reflectirten ersten Welle begegnen und von hier an als Stosswelle zum unteren Ende sich fortpflanzen, wenn sie nicht noch explosivem Gase später unten begegnet. Nachdem sie unten reflectirt worden, kehrt sie sofort als reine Stosswelle zurück, da das Gas soeben der Explosion unterlag und wegen zu hoher Temperatur momentan noch nicht explosiv ist. Der ersten Nebenwelle folgt von oben her eine zweite Explosionswelle, die nunmehr zweien Stosswellen begegnet, später bis zum Boden des Eudiometers Explosion hervorrufen kann, um dann wieder als Stosswelle zurückzukehren. Wir hoffen, diese Deutung durch selbstleuchtende Knallgase prüfen zu können. In dieser Richtung angestellte Versuche mit CS_2 haben leider noch keine Entscheidung herbeigeführt. Nicht immer verlaufen die Wellen so regelmässig, wie etwa in Fig. 8. — Zum Beispiel in Fig. 5 laufen zwei Wellen hinunter, nähern sich beständig und treffen beim Hinaufgehen zusammen, sodass sie oben als eine Welle anlangen.

Eine wichtige Frage ist noch zu erörtern. Wann beginnt der Verbrennungsprocess? Beginnt er sofort mit dem Entzündungsfunken, oder erleidet er eine Verzögerung, sodass er durch die erste sichtbare Welle dargestellt wird? Die oben versuchte Deutung der Abbildungen setzt bereits ersteres voraus. Jetzt soll diese Annahme aus den Bildern selbst erschlossen werden. Wir finden nämlich noch Anhaltspunkte im Intervalle zwischen electrischem Funken und Lichtbild für das Vorhandensein mehrerer nichtleuchtender Anfangswellen, und zwar in Fig. 6 und 8. Vom Funken aus verfolgt man einen unregelmässig gewellten Lichtstreif, fast senkrecht zur verticalen Lichtlinie, die der electrische Funke erzeugte. An diesen Stellen sind die Metalltheilchen durch den Funken bereits in hohe Temperatur versetzt. Die Gluth wird dauernd erhalten dadurch, dass die Explosionstemperatur hinzukommt. Das electrische Funkenbild wird ja nur durch

den verticalen Strich repräsentirt, ohne jegliche sichtbare Seitenausbreitung, denn bei der Kürze der angewandten Batterieschliessung und bei der geringen Rotationsgeschwindigkeit des Spiegels wird das Bild des electrischen Funkens noch nicht ausgebreitet.¹⁾ Die besprochene Linie gehört also Metalltheilchen an, und sie wäre ganz gerade, wenn keine Ursache zu Richtungsänderungen vorhanden wäre. Statt dessen finden wir die Linie an mehreren Stellen geknickt. Hieraus folgt (s. besonders Fig. 6), dass unsichtbare Wellen ihren Weg von einem Ende des Rohres zum anderen genommen haben, das glühende Metall fortstossend und dem Lichtstreif analog den sinusoïden Wellen eine polygonale Gestalt verleihend. Wir müssen uns daher dafür entscheiden, dass die Explosion sofort durch den Funken erfolgt, und dass der Wasserstoff, ohne zu leuchten, verbrennt, trotz der hohen Temperatur von ca. 3000 Grad.

Endlich wäre noch hervorzuheben, dass im weiteren Verlaufe die Abstände zwischen zwei Wellen beständig zunehmen; daraus folgt, dass eine Verlangsamung im Bewegungsprocesse der Stosswellen stattfindet. Es wird offenbar durch Leitung und Strahlung eine Abkühlung eintreten. Infolge dessen vermindert sich die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Stosswellen, und andererseits erglhen die Metalltheilchen mit immer geringerer Intensität.

Nach diesen Deductionen sei es gestattet, noch einmal auf die Versuche von Mallard und Le Chatelier zurückzukommen. Diese Herren haben nicht Explosionen photographirt, sondern langsame Verbrennungen explosiver Gemische mit Beimengung hemmender Gase. Das dort gebotene Material ist deshalb unserem Gegenstande ferner abliegend. Andererseits ist es zu umfangreich, um in Kürze genügend berücksichtigt werden zu können. Wir erlauben uns daher nur einige Andeutungen, sofern letztere mit der Deutung von Versuchen dieser Art direct unsere Auffassung berühren. Es wurden dort die Verbrennungen mittelst einer Linse auf

1) Die gesammte oscillatorische Entladung der Flasche *A* ist von so kurzer Dauer, dass von successiven Zündungen vom Funken her nicht gesprochen werden kann.

eine rotirende Trommel projecirt, welch letztere mit photographisch sensiblem Papier überzogen war und in Rotation versetzt werden konnte. Man überlegt leicht, dass diese sonst schöne Methode keine Analyse grosser Geschwindigkeiten gestattet. Einer Rotation der Trommelaxe entsprach eine Bildbahn von ca. 30 cm, während wir eine Bildbahn von 960 cm bei jeder einzelnen Rotation des Spiegels erhielten. Aber die Deutung der schönen Abbildungen¹⁾ von Mallard und Le Chatelier scheint uns keine ganz richtige zu sein. Die Verbrennung hat nämlich auch dort das Ansehen, als ob glühende Theilchen mit beträchtlicher Amplitude hin und her oscilliren. Beigemengte Metalltheile gab es aber dort nicht, da Schwefelkohlenstoffverbrennungen (mit 3NO_2) untersucht wurden.

Es scheint uns, dass dort nur die hohe Temperatur immer neue Gastheile zum Leuchten bringe. Dass die scheinbaren Amplituden denselben Gastheilchen angehören sollen, darüber fehlt gänzlich der Nachweis, ja die Möglichkeit des Aufleuchtens neuer Theile wird in der Discussion nicht einmal erwähnt. — Im Sinne unserer Auffassung gewinnen jene Abbildungen vielleicht sogar eine erhöhte Bedeutung.²⁾

4. Quantitative Verwerthung der Beobachtungen.

Die nachstehende Tabelle gibt zunächst alle Grössen wieder, die bei den Versuchen Fig. 1—8 gemessen wurden. Die Ueberschriften erklären hinreichend die Bedeutung der Zahlen.

1) Mallard u. Le Chatelier, Ann. d. mines (8) 4. Taf. Xa.

2) Um den Gegensatz schärfer zu präcisiren, geben wir eine Stelle (p. 332) wörtlich wieder: „Dans les tubes de 0,03 m de diamètre, cette amplitude maxima a varié de 0,50 m à 1,10 m (Planche 10. Fig. 1, 2, 3) c'est à dire, qu'elle a pu atteindre dans certains cas plus du tiers de la longueur totale du tube. Nous ferons remarquer en passant que les oscillations de la flamme étant précisément celles des tranches gazeuses en combustion (?), nos expériences donnent pour la première fois une idée précise de l'amplitude des mouvements vibratoires d'une masse gazeuse qui émet un son.“

Ebensowenig wie wir die Amplituden als solche der Gastheilchen zugeben können, ebensowenig vermögen wir die angeblichen Obertöne des tönenden Flammenrohres (1., 2., 3., 4. und 6. Oberton) aus den photographischen Abbildungen zu erschliessen.

Nr. der Fig.	Dimensionen des Eudiometers		Fär- bende Substanz	Entfer- nung r des Eudio- meters vom Spiegel	Zeitwerthe, ent- sprechend einem Millimeter des photogr. Bildes in $1/10^7$ Sec.
	Länge	Durchm.			
	mm	mm			
1	145	13	ZnO	630	884
2	245	13	CuCl ₂	630	884
3	300	13	TiCl ₃	630	884
4	295	13	Sn(OH) ₂	900	976 ¹⁾
5	400	10	CuCl ₂	900	976
6	400	10	CuCl ₂	900	946 ²⁾
7	400	10	CuCl ₂	900	880 ³⁾
8	400	10	CuCl ₂	900	880 ⁴⁾

Bemerkungen. 1) Anfangspunkt fehlt. 2) Funken in $\frac{1}{4}$ Rohrlänge. 3) Anfang nicht sichtbar. 4) Funke in der Rohrmittle.

Um einigermaßen die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Explosion sowohl, wie die der Stosswellen zu messen, versuchten wir die Fig. 6 einer Deutung entsprechend dem Schema Fig. 6_b zu unterziehen.

$fg = 8,7$ mm und $gi = 13$ mm. Diesen Grössen entspricht die doppelte Eudiometerlänge, also 800 mm. — Diese Strecke wurde zurückgelegt in $8,7 \times 0,000\,0946 = 0,000\,823$ Sec. Ebenso gi entsprechend $0,001\,228\,9$ Sec. Daraus ergibt sich eine mittlere Geschwindigkeit für fg von 972 m, für gi von 651 m. Dieselbe Rechnung auf Nr. 5 angewandt, gibt 1200 und 730 m.

Aehnliche Resultate geben alle Bilder. Die grösste Vorsicht im Verfolgen einer Linie muss beobachtet werden, da Kreuzungen und Verschmelzungen vorkommen. — Die vorstehend gefundenen Zahlen sind nahe ums Doppelte verschieden. Das hängt damit zusammen, dass sämtliche Wellen mit einer continuirlich abnehmenden Geschwindigkeit sich geltend machen. Leider sind die ersten Wellen nicht sichtbar. Wir wollen versuchen, aus Nr. 5 und 6 Schlüsse zu ziehen. In Nr. 6 hat der Punkt von Anfang an die Metalltheilchen in Gluth versetzt. Während aber sonst die Funkenstelle sofort wieder erlischt, hat hier offenbar die Explosion die hohe Temperatur aufrecht erhalten. Wir deuten die bezügliche Stelle im Sinne der schematisch entworfenen Fig. 6_b. Die von unten reflectirte Explosionswelle hat zuerst die

Theilchen hinaufgeworfen. Bei *b* wurden dieselben durch eine Welle, die gleichzeitig mit der nach unten verlaufenden begann, aber nach oben lief und dort reflectirt wurde, zurück nach unten geworfen. Dieselbe Welle wird unten bei *c* reflectirt und gibt wieder einen mächtigen Stoss hinauf. Vor der Rückkehr von *d* aus hat übrigens eine Nebenwelle die Theilchen schon zur Umkehr gezwungen bei *x*. Der Stoss bei *b* entspricht einem Moment nach 600 mm Weg (d. h. zweimal $\frac{3}{4}$ der Rohrlänge). Die Welle vor *b* kann, als gar zu unsicher, kaum benutzt werden. Ausmessungen mit dem Zirkel an dem Original gaben folgende Tabelle für die mittleren Geschwindigkeiten.

Ermittelung der Explosions- und Stosswellengeschwindigkeiten für die Abbildung Nr. 6
(graph. Fig. 11).

Strecke nach Schema 6b	Bild- strecke in mm	Zurückgelegte Strecke			Ver- brauchte Zeit in 1/10 ^e Sec.	Abscisse Wegstelle	Geschwin- digkeit Meter pro Sec.
		Länge	von	bis			
<i>ac</i>	3,3	800	0	800	293	400	2550
<i>de</i>	5,8	800	1100	1900	548	1500	1480
<i>fg</i>	8,7	800	1500	2300	823	1900	972
<i>eh</i>	11,4	800	1900	2700	1078	2300	742
<i>gi</i>	13,0	800	2300	3100	1229	2700	651

Zur Verwerthung dieser Zahlen in graphischer Darstellung wurde in siebenter Rubrik die Abscisse gleich dem mittleren Ort in einer Strecke, letztere gerechnet vom Anfang der Explosion, gesetzt, die Ordinaten sind die zugehörigen Geschwindigkeiten. Beispielsweise verläuft die Strecke *de* zwischen 1100 und 1900 mm vom Anfang, daher auf den Ort 1500 die gefundene Geschwindigkeit 1538 bezogen wurde.

Aehnlich ward das Schema Nr. 5_b gebildet für die Haupt- und für eine Nebenwelle. Uebrigens bleibt die Unterscheidung solcher Wellenarten gleichgültig, wenn man nur die Wellenzüge verfolgen kann. Verlängert man *en* bis oben bei *a*, so trifft man sicher noch nicht den Funken. Gewiss aber kann bis *p* nur noch eine Erschütterung von oben nach

unten, bis d , und hinauf, bis p , angenommen werden. Ebenso lässt die andere Welle sich verfolgen, hn bis unten verlängert, gibt k . Diese Welle halten wir für eine Dissociations- oder Nebenwelle, die oben neben p ihr Bild begonnen hätte. Endlich bemerke man noch, dass bf schneller gelaufen ist, als die nachfolgende Welle hl , da letztere bei l reflectirt wird und bei i fast gleichzeitig mit c eintrifft. So erhalten wir eine sichere Welle $pdaebfcg$, die andere $khli$. In folgender Tabelle ist der der Rechnung zu Grunde liegende Weg stets 800 mm lang.

Explosions- und Stosswellengeschwindigkeiten
zu Nr. 5_b.

Strecke nach Schema 5 _b	Bild- strecke in mm	Zurückgelegte Strecke			Ver- brauchte Zeit in 1/10 ⁶ Sec.	Wegstelle Abscisse	Geschwin- digkeit Ordinate Met.pr.Sec.
		Länge	von	bis			
ba	3,2	800	0	800 mm	312	400	2560?
de	4,0	800	400	1200	390	800	2050?
ab	4,8	800	800	1600	468	1200	1710
ef	7,0	800	1200	2000	683	1600	1200
bc	8,8	800	1600	2400	859	2000	930
fg	11,2	800	2000	2800	1093	2400	730
kl	6,2	800	400	1200	605	800	1300
hi	10,0	800	800	1600	976	1200	820

Ähnlich wie vorhin wurden die Resultate graphisch auf Fig. 11 eingetragen. Der Beginn der Curve bleibt hier wie früher eine unsichere Schätzung.

Berthelot und Vieille glauben, dass auf der ersten Strecke die Geschwindigkeit ganz allmählich wachse. Indess wurden bei ihren Versuchen die Zeitdauern durch Bewegung eines Metallstiftes registriert. Wahrscheinlich ist hierbei eine beträchtliche Verspätung der betreffenden Marke eingetreten. Unsere eigenen Versuche in dieser Richtung haben unzweifelhaft dargethan, dass selbst das Fortschleudern eines kleinen Papierblättchens am Ende der Explosionsröhre eine merkliche Verspätung verursacht. Bei 40 m Rohrlänge wird ein solcher Fehler kaum das Resultat trüben, für solche Strecken fand nämlich Berthelot 2830 m Geschwindigkeit. Dagegen soll bei nur 0,02 m vom Anfang die Zeitdauer 0,00027 Sekunden

betragen, ein Resultat, welches von unseren Versuchen durchaus widerlegt wird.

Mallard und Le Chatelier wenden sich gegen Bunsen's Theorie successiver Partialexplosionen auf Grund ihrer hochinteressanten Versuche mit einem Bourdon'schen Metallmanometer. Auch hier aber kann für die eigentliche Explosion gar nichts erschlossen werden. Die Drehung der dort angebrachten Zeigernadel, und somit auch die entsprechende Curve, erreichen ein Maximum des Druckausschlages stets nach 0,03 Secunden. Aber nach unseren Untersuchungen ist der Explosionsprocess bereits in 0,001 Secunden beendet und in etwa 0,004 Secunden sind die Druckwellen bereits so geschwächt, dass sie kein Leuchten der Metalltheilchen mehr hervorrufen.

Hieraus ist zu schliessen, dass jene Bourdonfeder viel zu träge ist, um diese Zeitmessungen zu gestatten, wenigstens gilt dies für die Periode der Explosion. Der Druck während des Abkühlungsprocesses, der weit langsamer verläuft, kommt dagegen dort sehr gut zur Darstellung.

Die Abbildung Nr. 4 ist wenig brauchbar. Wir brachten sie nur wegen der auffallenden Parallelität und gleichbleibenden Geschwindigkeit zweier sich unmittelbar folgenden und schön sich kreuzenden Stosswellen. Der Anfang der Explosion hat das Papier nicht getroffen.

Die schöne Abbildung Nr. 8 gibt direct messbare Geschwindigkeiten bis 1600 m pro Secunde. Bei dieser Explosion findet eine auffallend langsamere Abkühlung statt. Das Gas scheint länger warm zu bleiben, wenn die Explosion nicht am Ende beginnt, wie in Nr. 5, sondern in der Mitte, wie in Nr. 8 oder in $\frac{1}{4}$ bei Nr. 6. — Deutlich sieht man die Amplituden der Metalltheilchen abnehmen von Anfang bis gegen Ende der Lichterscheinung.

Die graphische Darstellung findet man in derselben Fig. 11. Die Curve ist viel weniger steil, das Gas kühlt sich langsam ab, oder es behält längere Zeit die hohen Geschwindigkeiten. In der Berechnung wurden nur die Stosswellen einer Art benutzt. Die sehr deutlichen Nebelwellen lassen sich wohl nur in dem Gebiete df nach eg deutlich verfolgen,

Explosions- und Stossgeschwindigkeiten zu Nr. 8.

Strecke nach Schema S _b	Bild- strecke in mm	Zurückgelegte Strecke			Ver- brauchte Zeit in Sec.	Wegstelle Abscisse	Geschwin- digkeit Ordinaten
		Länge	von	bis			
<i>pa</i>	0,9 ?	200 mm	0	200	0,000 079	100	2530 ?
<i>pb</i>	3,2 ?	600	0	600	0,000 281	300	2140 ?
<i>ac</i>	5,0	800	200	1000	0,000 440	600	1820
<i>bd</i>	5,8	"	600	1400	0,000 510	1000	1570
<i>ce</i>	6,5	"	1000	1800	0,000 572	1400	1400
<i>df</i>	7,0	"	1400	2200	0,000 616	1800	1300
<i>eg</i>	7,5	"	1800	2600	0,000 669	2200	1215
<i>fh</i>	8,1	"	2200	3000	0,000 713	2600	1120
<i>gi</i>	8,7	"	2600	3400	0,000 766	3000	1045
<i>hk</i>	9,3	"	3000	3800	0,000 810	3400	977
<i>il</i>	10,0	"	3400	4200	0,000 880	3800	901
<i>km</i>	10,8	"	3800	4600	0,000 950	4200	842

können mithin nicht zu Messungen benutzt werden. — Die Figuren 1, 2 und 3 markiren sehr deutlich die Hauptwelle, welche Geschwindigkeiten von 1500 m an abwärts mit sehr langsamer Abkühlung verräth. Die sinusoiden Wellen dagegen verrathen sehr deutlich das Vorhandensein von Nebenwellen, besonders Nr. 3 mit Thallium gefärbt und Nr. 1 mit ZnO. Bei Nr. 3 beginnt das Aufleuchten der Thalliumtheilchen auffallend spät.

Einige Versuche in einem längeren Gummischlauche wurden angestellt. Ein kurzes Eudiometer wurde mit solchem Schlauch versehen und das andere Ende des letzteren über ein Glasrohr gesteckt, dessen unteres Ende verschlossen war. Die Gesamtlänge betrug 2250 mm. Die Röhren wurden einander gegenüber aufgestellt, so wie Fig. 9_b es zeigt. Die Explosion begann bei *a*, durchheilte das Gummirohr, drang bei *c* in das zweite Glasrohr und erreichte das Ende desselben bei *d*. — Es wurde die Abbildung Fig. 9 erhalten, trotzdem dass während der Explosion das Gummirohr absprang. Man sieht, dass der Schlauchansatz einen Reflex veranlasst hat. Denn im Glasrohr *ab* bemerkt man oscillatorische Bewegungen mit deutlichen Haupt- und Nebenwellen, während geraume Zeit später die Explosion im anderen Glasrohre angelangt ist. Hier tritt nur ein kräftiger Stoss auf,

der wahrscheinlich nicht der ersten Explosionswelle, sondern schon einem später auftretenden Stosse entspricht. Die Berechnung ergibt eine Geschwindigkeit von wenigstens 1500 m. Dieser Werth entspricht nämlich der Voraussetzung, die Explosion sei in dem photographisch fixirten Momente im zweiten Rohre angelangt.

Resultate.

Fassen wir zum Schluss unsere Resultate zusammen:

1. Die Knallgasexplosion (Wasserstoff) geht lichtlos vor sich. Durch die hohe Temperatur wird das Glas des Eudiometers soweit angegriffen, dass ein Aufleuchten von Natrontheilchen beginnt.

2. Durch Hinzufügen von Metallsalzen erhält man Abbildungen, die einen Schluss auf den Hergang der Explosion und auf die Geschwindigkeiten gestatten.

3. Drei Arten von Wellenbewegungen lassen sich unterscheiden:

a) eine Hauptwelle, die man der Berthelot'schen Entdeckung gemäss die Berthelot'sche Welle nennen könnte.

b) dieser mehr oder weniger parallel laufende Nebenwellen.

c. geknickte polygonale Wellen geringerer Amplituden.

4. Sämmtliche Abbildungen gehören wahrscheinlich einem Zustande nach vollendeter Explosion an, ausgenommen die Versuche in sehr kurzen Röhren.

5. Das Leuchten nach jedem Reflex am festen Eudiometerende, sowie das ungestörte Fortleuchten beim Durchkreuzen zweier Wellenzüge führte zu der Erkenntniss, dass nur Stosswellen vorliegen.

6. Die Nebenwellen liessen sich nur im Lichte der Bunsen'schen Theorie als Reflexe der aufeinander folgenden, von der Funkenstelle ausgehenden Explosionen deuten und könnten deshalb Bunsen'sche Wellen genannt werden.

Wenn dem Knallgase indifferente Gase beigemischt werden, wird sich die Zahl der Nebenwellen verringern, und

schliesslich werden dieselben wahrscheinlich ausbleiben. Die experimentelle Bestätigung dieser Vermuthung steht noch aus.

7. Die polygonalen Wellen verrathen die wahren Bewegungen der glühenden Metalltheilchen und geben untrüglichen Ausweis über die Wirkung der Stosswellen. Daraus geht hervor, dass dieselben keineswegs ein Abbild der Amplituden glühender Gastheilchen darbieten.

8. Das Funkenbild gestattet eine angenäherte Messung der Geschwindigkeit der Explosion, sowie eine Anschauung von der Geschwindigkeit der Abkühlung der heissen Gasmasse. Die gefundenen Werthe gehören in die Kategorie der von Berthelot gemessenen Grösse von 2800 m per Secunde, während die Abnahme der Stosswellenfortpflanzungsgeschwindigkeit bis 600 m sich constatiren liess.

9. Während Berthelot und Vieille ihre Aufmerksamkeit auf Druck und Geschwindigkeit, und ferner auf die davon abzuleitenden Grössen, Temperatur und specifische Wärme der Gase concentrirten, hatten wir uns speciell auf die Prüfung der Bunsen'schen Theorie beschränken wollen. Nur in Bezug auf den Beginn und den Vorgang der Explosion befinden wir uns im Widerspruch zu Berthelot.

10. Mallard und Le Chatelier haben im letzten Theile ihrer Abhandlung den Explosionsvorgang untersucht und Druckwerthe für den Abkühlungsprocess gemessen. Ihre photographischen Abbildungen — auf einer rotirenden Walze — bezogen sich auf langsame Verbrennung (Geschwindigkeit von 1 bis 2 m). Bei den geringen von ihnen angewandten Rotationsgeschwindigkeiten konnte auch nur die langsame Verbrennung, nicht aber der Explosionsvorgang dargestellt werden, doch ist das letzte Ende ihrer Figur 6 Taf. XI im Sinne unserer Haupt- und Nebenwellen zu deuten. Speciell in Bezug auf Wasserstoffknallgas befinden wir uns auch mit diesen Herren nicht im Widerspruch, insofern dieselben eine Dissociationstemperatur als Hemmung der stetigen Explosion während der ersten Oscillation ihrer Bourdonfeder als möglich einräumen; da die Schwingungsdauer der letzteren 0,03 Secunden betrug, so konnte der Vorgang der Explosion, die nach unseren Versuchen mit

allen Partialexplosionen zusammen in 0,001 Secunde beendet ist, unmöglich registriert werden.

Versuche über Explosion von Schwefelkohlenstoffknallgas sind ohne färbende Substanz bereits gelungen und weisen einen dem geschilderten ähnlichen Vorgang auf.

Dorpat, December 1887.

III. *Ueber electromotorische Gegenkräfte in galvanischen Lichterscheinungen*¹⁾; von *Ernst Lecher*.

(Hierzu Taf. VI Fig. 1—5.)

Edlund hat in den Jahren 1867 und 1868 zwei Arbeiten²⁾ veröffentlicht, in welchen er den Nachweis zu erbringen sucht, dass sowohl im electrischen Funken, als auch im galvanischen Lichtbogen eine electromotorische Gegenkraft wirksam sei. Nun lässt sich aber zeigen, dass diese Versuche und ihre Ergebnisse auch erklärt werden können, ohne die physikalisch schwer plausible Vorstellung einer Gegenkraft heranzuziehen. Es sind schon die Ueberlegungen, von welchen ausgehend Edlund diese Gegenkraft sucht, nicht stichhaltig. Die mechanische Arbeit nämlich, die eine electrische Entladung in der Luft beim Aufreissen der Pole leistet, soll eine electromotorische Kraft und infolge dessen einen nach rückwärts verlaufenden Disjunctionsstrom erzeugen.³⁾ Nun ist diese Zerreibung der Pole nichts weiter, als eine mechanische Arbeit, die der Strom im Funken sowohl als auch im Lichtbogen leistet. In einer electrolytischen Zersetzungs- zelle leistet der Strom allerdings gleichfalls Arbeit durch

1) Diese Arbeit enthält der Hauptsache nach mit einigen Kürzungen und Erweiterungen Resultate, welche in zwei getrennten Abhandlungen in den Wien. Ber. 95. p. 628 u. p. 992. 1887 erschienen sind.

2) Edlund, Bulletin (Oversigt) des travaux de l'Acad. roy. des sc. de Suède pour 1868. Pogg. Ann. 134. p. 250. 1868. Phil. Mag. (4) 36. p. 352. 1868. Ann. de chim. et de phys. (4) 13. p. 450. 1867 u. Pogg. Ann. 131. p. 586. 1867.

3) Vgl. auch G. Wiedemann, Electricität 4. p. 855.
Ann. d. Phys. u. Chem. N. F. XXXIII.

Fig. 1.

Fig. 2.

Fig. 3.

Fig. 4.

Fig. 5.

Fig. 6.

Fig. 7.

Fig. 8.

Fig. 9.

Fig. 5b.
Schema der Explosion N° 5.

Fig. 6b.
Schema der Doppelexplosion N° 6.

Fig. 8b.
Schema der Doppelexplosion N° 8.

Wasserstoffknallgas-
Explosions- u. Stosswellen-
Geschwindigkeiten
Meter 2800
p. Secunde

Fig. 11.

Fig. 10.

Fig. 9b.

Fig. 12.