2. *Darstellung der Lamellentöne;* *von Victor Hensen.*

In der Arbeit über die Lamellentöne¹⁾ war ich schuldig geblieben, Aufnahmen der Wellenformen zu geben. Da sich findet, dass diese unentbehrlich für eine eindringendere Analyse des Vorganges sind, erlaube ich mir, dieselben jetzt zu bringen. Es handelt sich also darum, mit Hülfe des Lichtes gleichsam zu belauschen, was geschieht, wenn sich die Massenschwingung eines Gases auf ein anderes Gas überträgt, wie die Massenschwingung selbst gestaltet ist, und wie sie durch die Dazwischenkunft einer continuirlich fliessenden Gaslamelle erzeugt wird.

Der Druck des Brenngases hat auf die Tonhöhe wenig Einfluss. Man kann dessen Zuleitung comprimiren, ohne die Tonhöhe erheblich zu ändern. Das Flackern der Flamme verändert deren Ton, aber der Vorgang ist langsam und in dem kleinen, 45 cbm fassenden Raum, in dem experimentirt wurde, war es meistens nicht störend. Wenn die Flamme in engem Raum eingeschlossen wird, zerstört die Hitze, die je nach der Tonhöhe verschieden stark entsteht, die Constanz des Tones. Der Luftstrom der Lamelle wurde aus einem 2 cbm fassenden Separatgasometer im Keller des physiologischen Institutes entnommen. Von dort ging er durch ein Rohr von etwa 1 cm Lichtendurchmesser in einen festen Behälter von 0,5 cbm Inhalt, dann weiter durch feste Röhren und schliesslich durch einen weiten kurzen Kautschukschlauch zu dem Spaltrohr. Die variometrischen, durch vorüberziehende Wolken und Aehnliches verursachten, kurzen Schwankungen des Luftdruckes können auf

1) V. Hensen, Ann. d. Phys. 2. p. 719. 1900.

die schwere Glocke des Gasometers keinen Einfluss haben, derart, dass im Laufe weniger Secunden der Luftstrom irgend hätte schwanken können. Die Vorsicht war unnötig weit getrieben, denn es zeigte sich, dass die Tonhöhe immer noch sehr stark, an einigen Tagen um eine Terz in ein oder zwei Secunden schwankte. Diese Schwankungen mussten also von Einwirkungen im Zimmer herrühren. Sie waren stark, wenn das Variometer der hiesigen Wettersäule unruhig war, es fanden sich auch Zeiten, wo der Ton unverändert blieb, sogar einmal eine Stunde lang sich völlig hielt. Die Störungen müssen daher auf Beeinflussung der ausfliessenden Lamelle durch kleinste variometrische Schwankungen der Hauptsache nach bezogen werden. Ich habe bereits angegeben¹⁾, dass der Schneidenton bei 46,16 m Geschwindigkeit der blasenden Luftlamelle 3520 Schwingungen, bei 5,3 m unter sonst gleichen Verhältnissen 456 Schwingungen ergab. Der Druck einer Luftsäule von 110 m und von 1,4 m Höhe würde diesen Geschwindigkeiten äquivalent sein. Die Tonhöhe wird sich um eine Schwingung ändern, wenn die Höhe jener Luftsäulen sich um 3,58 cm ändert. Um die entsprechende Druckänderung in dem Zimmer hervorzurufen, muss sich die Luftmasse des Zimmers um 0,14 g oder 108 ccm ändern. Ein schwacher Windstoss gegen die Fensterwand muss mehr als genügen, diese Aenderung fast augenblicklich zu erzeugen. Wenn diese Rechnung annähernd zutrifft, erklärt sich die grosse variometrische Empfindlichkeit der Flamme.

Wenn in einem anderen Raum eine Thür ging, änderte sich momentan die Tonhöhe. Die Flamme ist sehr empfindlich gegen Geräusch, ob nun von diesem, ob von begleitender Druckschwankung, vielleicht von beiden, jene Tonschwankung abhängt, habe ich nicht geprüft, wollte aber doch auf diese Störungsursache aufmerksam machen.

Die Momentaufnahmen, an sich schwierig wegen des Intensitätsunterschiedes des Lichtes in den Flammenbezirken, wären wohl unmöglich gewesen, wenn nicht der Stimmgabelton auch seinerseits die Flamme beeinflusst hätte. Es kommt bei

1) l. c. p. 785.

sehr schwachem, einige Millimeter Wasser betragenden Winddruck vor, dass die Flamme aufhört zu tönen, sich also ein Gleichgewichtszustand zwischen Lamelle und Flamme einstellt. Dann tönt die Flamme, sobald und solange die Stimmgabel stark schwingt. Sind die variometrischen Störungen, bei richtig eingestellter Flamme gering, so zwingt die erklingende Gabel ruhigen Ton, meist wohl in bestimmter Phasenstellung, wenn die Entfernung nicht verändert wird. Stark ist dieser Einfluss nicht.

Fig. 1.

Der meistens gebrauchte Apparat ist in Fig. 1 bei $3\frac{1}{2}$ maliger Verkleinerung abgebildet. Die gezeichnete Art der Aufstellung dient zur Uebertragung des Schneidentones auf das *daneben* fließende Flammengas. Man sieht an der Flamme des Schnittbrenners die kleine Spitze, die den Entstehungsort der ersten Welle anzeigt. Infolge paralactischer Verschiebung erscheint die Spitze im Bilde tiefer stehend, als dem Sachverhalt entsprach. Rechts hinter der Flamme sieht man das eine der reflectirenden Prismen auf der Gabel. Diese

selbst sieht man nicht, wohl aber den Fuss und den Tisch, auf dem sie steht. Die Einlage in die Luftlamelle ist geknickt, um ihre Erwärmung möglichst zu vermeiden. Das mit Spiralfeder umwundene Rohr ist das Spaltrohr, der geteilte Schraubenkopf auf ihm dient dazu, den Spalt zu erweitern. Der geteilte Schraubenkopf oben hinter der Einlage dient dazu, diese zu heben. Die beiden hinter dem Rohr sichtbaren Schrauben dienen dazu, die Schraube zur Hebung der Einlage genau in Richtung des Luftstromes zu stellen. Ein hier nicht sichtbarer Schlitten gestattet die Vor- und Rückbewegung der Einlage. Das Spaltrohr wird von einer Stange getragen, die unten, wo ein für andere Zwecke angebundenes Rohr hängt, einen Schraubenkopf trägt, der eine Hebung und Senkung der Luftlamelle gegen die Flamme gestattet. Links an dem Tisch, der das Spaltrohr trägt, findet sich ein Schraubenkopf, der einen Schlitten regiert, mit dem der blasende Apparat der unabhängig aufgestellten Flamme genähert werden kann. Für die angeblasene und tönende Flamme wird das Spaltrohr senkrecht gestellt und dessen Einlage entfernt.

Die Stimmgabeln machten 155,5 und 311 Schwingungen. Die erstere hat 10 mm dicke Branchen bei 18 cm Länge. Wenn sie das 225 mm entfernte Object um 12 mm verbreitert, hat das Prisma eine Elongation von etwa 2 mm, sodass sich der Krümmungsradius zu etwa 75 mm berechnet. Die höhere Gabel hat eine Länge der Branchen von 20 cm, die Dicke vorn ist 14 mm, hinten 23 mm. Diese Form wählte Hr. R. König auf meinen Vorschlag. Die Gabel klingt gut und andauernd, aber der Krümmungsradius ist gegen 140 mm lang, was für die hier verfolgte Absicht ungünstig ist.

Uebertragung der Bewegung.

Die Fig. 2¹⁾ oben links giebt die Flamme vor der mit 155,5 Schwingungen tönenden aus CO₂ bestehenden La-

1) Alle Figuren dieser Arbeit sind, soweit nichts anderes erwähnt wird, in natürlicher Grösse. Fig. 2 ist $\frac{1}{6}$ unter natürlicher Grösse.

melle, analysirt durch unison schwingende, horizontal stehende Gabel. Man sieht vier Wellen, die etwas spitz zulaufen, auch ist die erste klein. Ich erlaube mir, diese Abbildung zu

Fig. 2.

geben, obgleich sie in gewissem Sinne eine Fälschung enthält. Sie giebt nämlich nur das Bild der einen Extremstellung der Gabel, also etwa der Stellung in $\cos 0^\circ$, in allen anderen Positionen war die Flamme durch die CO_2 in ihrer Leucht-

kraft so beeinträchtigt, dass die Photographie sie nicht mehr zeigt. Das Bild darunter zeigt den Ton in Luftlamelle mit unisono schwingender Gabel von 311 Doppeltvibrationen. Die Abbildung giebt wegen der geringeren Durchbiegung der höheren Gabel nur eine schmale Verdoppelung der Wellenlinie. Diese ist für Phase $\cos 180^\circ$ deutlich genug, aber für $\cos 0^\circ$ ist sie kaum zu erkennen. Nur der Wellenberg dieser Phase, der auf das Wellenthal der anderen Extremlage fällt, bildet einen deutlichen hellen Fleck. Das Bild oben rechts ist Schwingung 155 *in Luft* mit Unisonogabel analysirt. Vor der Schneide liegt gerade ein Wellenthal. Man sieht die Wellen beider Extremstellungen der Gabel, Thal der einen Stellung gegen Berg der anderen. Die dazwischen liegenden hellen Linien geben die Wellenumkehrpunkte, $\sin 90^\circ$ und 270° zur Zeit der übrigen Phasen der Gabel. Die letzte Figur endlich zeigt das Aussehen oder vielmehr den Abdruck der Schwingung 311 analysirt durch Gabel 155,5. Diese Bilder, deren mir natürlich eine viel grössere Auswahl vorliegt, ergeben Folgendes. 1. Die Wellenamplituden nehmen rasch ab, mehr als fünf Wellen habe ich nicht erhalten. 2. Der abstehende Rand der die Bewegung aufnehmenden Flamme kommt nicht mit in sichtbare Schwingungen. Es dürften von dem Wellenrande aus nach allen Seiten hin Molecularschwingungen gehen, deren Kugelflächen am anderen Rande so sehr übereinander greifen, dass sichtbare Vorbuchtungen nicht entstehen. 3. Die Wellenlängen sind innerhalb der untersuchten Grenzen, bei denen zur Erzielung des höheren Tones der Luftbewegung in der Lamelle grössere Geschwindigkeit gegeben werden musste, **unabhängig** von der Tonhöhe. Die Wellen der beiden unteren Figuren sind nur wenig und durchaus nicht halb so kurz, wie die der oberen, eine Octav tiefer klingenden Wellen. Die *Thatsache der Unabhängigkeit der Tonhöhe von der Wellenlänge* überraschte mich, indessen ist sie nicht neu. Wenn man durch die Scheibe einer, mit constanter Geschwindigkeit laufenden Sirene stark und schwach bläst, bleibt der entstehende Ton gleich hoch, trotzdem die Abstände der einzelnen Luftballen verschieden sein müssen.

Bewegungsart in den tönenden Flammen.

Die Fig. 3, *A*, zeigt die Flamme von 155,5 Schwingungen, analysiert durch seitlich stehende, horizontal stark

Fig. 3.

schwingende Unisonogabel. Es sieht so aus, als wenn die Flamme aus Ballen bestände, das ist aber eine Missdeutung des Bildes. *In der Richtung von vorn nach hinten schwingt die Flamme wellenförmig*, der äussere Contour links giebt die Form der Welle zur Zeit 0° , wenn der Contour rechts die Form zur Zeit π giebt. Die inneren Contouren des hellen Randes geben die Gestalt der Flamme etwas weniger genau wieder, weil die ganze Flamme in etwas verschiedener Phase zweimal darüber hin gelaufen ist, immerhin kann man auch diese in der

Photographie gut erkennen, in der Reproduction leider nicht. Das Licht zwischen den inneren Rändern rührt von allen übrigen Phasen der Gabel her, hier liegt um so weniger Licht, je stärker die Gabel schwingt und je weiter die Flammen auseinander geworfen sind. Wenn sie sich, wie in der Phase der Wellenthäler, aufeinander zu bewegt haben, wird der dann schmale Zwischenraum sehr hell. Man erkennt, dass namentlich das Verglühen des Gases eine gewisse Rolle spielt, die Spitzen verdünnen sich, während die Welle sich doch vielleicht verbreitern sollte, weil ihre einzelnen Moleküle nicht einander parallel gerade nach oben, sondern etwas divergent verlaufen. Das Gas scheint ziemlich plötzlich gelbglühend zu werden und *glüht dann während etwa 0,01 Sec.*¹⁾ Es wäre ja möglich, dass während dieser Zeit sich die glühenden Gas-
 teilchen immer wieder ergänzten, indessen scheint es mir nach Bildern mit vertical schwingender Gabel, dass die Teilchen des Wulstes, der sich unter der anblasenden Lamelle bildet, bis zur Flammenspitze hin verfolgt werden können und ein Austausch unter diesen ist wenig wahrscheinlich. Die Fig. 3, *B* giebt den Ton 311 mit Unisonogabel. Die Flammenbilder sind hier weniger weit auseinander gezogen, die Wellenthäler greifen ineinander und geben leuchtende Flecke, zwischen den Wellenbergen finden sich weniger leuchtende Streifen. Man erhält den zwingenden Eindruck, dass die Flammenbilder sich umeinander winden, und wenn der Ton nicht genau stimmt, sich umeinander drehen. Die Entstehung dieser Figur wird durch das Constructionsbild Fig. 10, III, IV, p. 57 erläutert. Fig. 3, *D* giebt einen harmonischen Ton der tieferen Gabel, ich glaubte zu hören, dass es die Sext sei, aber ich kann die Tonhöhe an der Figur nicht erkennen. Fig. 3, *C* giebt die Octave des Flammentones, mit der tieferen Gabel analysirt. Die tiefere Gabel giebt das Grenzbild halb so häufig, als die Unisonogabel, die Mittelpartien des Bildes sind daher heller, sonst zeigt sich kein Unterschied gegen Fig. 3, *B*. Im Ganzen sind die Wellen an der angeblasenen (rechten) Seite etwas höher, als an der linken Seite. Dies kommt, weil die Lamelle

1) Angereichert durch Benzin ist ihre Glühzeit etwas länger.

nicht so tief in die Flamme eindringt und daher auf deren ihr zugewandte Seite stärker einwirkt, als auf deren abgewandte Seite. Ausserdem sind die Wellen etwas gegen einander verschoben. Dabei wirken verschiedene Factoren. Die Flamme stellt sich ein wenig schief nach hinten, während die Gabel bei diesen Bildern horizontal stand, ausserdem liegt der Flammenwulst hinten höher als vorne, vgl. Fig. 6, B, p. 51. Die Töne dieser Flammen waren schwach, sie waren in 7 bis 9 m Entfernung gerade noch hörbar. Die folgende Fig. 4 giebt die Analyse der Flammenbewegung durch vertical schwingende Gabel.

A B C

Fig. 4.

Die beiden ersten Bilder (Fig. 4) sind in Seitenansicht, das dritte etwas verkleinerte in Ansicht von der Rückseite aufgenommen. Man sieht bei diesen Unisonoaufnahmen deutlich, dass sich die Flamme in der Richtung von vorn nach hinten *windet*, während sie seitlich nur unbedeutende Wulstungen zeigt. Bei diesen Aufnahmen kommt es, wie die Construction Fig. 10 zeigt, darauf an, dass die Elongation des Bildes eine halbe Welle,

oder deren vielfaches beträgt. Die Construction des Bildes in Fig. 10 giebt einen sehr ungünstigen Fall, man braucht aber nur die punktirte Welle I um etwas nach II hin verschoben zu denken, um zu erkennen, dass die Wellenform bei günstiger Longitüde sehr scharf hervortreten muss, wobei dann die Buchten durch die Bilder der mittleren Phasen der Gabel ausgefüllt werden. Diese Art der Analyse hat den Vortheil, dass man an kurzen Figuren das obere und das untere Ende der Figur nur in einer Phase erhält, doch müsste

Fig. 5.

im Bilde die jedesmalige Elongation kenntlich gemacht sein. Dies wurde leider bei der Aufnahme verabsäumt, doch hat die Elongation des Bildes etwa 5 mm betragen. In der dritten Figur ist die Wulstung gerade bis an die Spitze der Flamme gekommen; bei der Beobachtung sieht man die ganz spitz endende Flamme, durch den, bei Tonschwankungen auftretenden Phasenunterschied veranlasst, zur Spitze hinaufkriechen. Die Vorgänge an dem Entstehungsort des Tones sieht man gleichfalls bei dieser Analyse am deutlichsten, doch laufen die Dinge meistens zu schnell, um ganz befriedigend studirt werden zu können.

Die beigegebene Fig. 5 giebt die Flamme vor horizontal und stark schwingender Gabel von der *Rückseite* gesehen. Man sieht hier deutlich, dass die Flamme in der Querrichtung aufgewulstet ist. Namentlich unten, dicht über der angeblasenen Stelle ist die Flamme links verdünnt, rechts verdickt.¹⁾ Weiter nach oben scheint die Wulstung sich sogar zu verstärken. Zugleich erkennt man, dass hier Wulst gegen Thal steht, was nur möglich ist, wenn *Ballen* längs der Welle verlaufen. Es complicirt sich also der Vor-

1) Leider in der Reproduction zu undeutlich.

gang; in der einen Richtung eine wellig gebogene Flamme und senkrecht dazu eine in Ballen aufwärts eilende Flammenmasse.

Die Entstehung der periodischen Massenbewegung.

Die Bildung der Periode — ohne bemerkbare Wirbel — durch zwei continuirlich fließende Gasströme in den Einzelheiten zu studiren, erwies sich mir besonders schwierig. Vielleicht war die Witterung zu ungünstig. Ich kann wohl Abbildungen des Vorganges geben, aber ich bin nicht ganz sicher, ob in dem Augenblick der photographischen Aufnahme nicht

A

B

Fig. 6.

doch eine kleine Phasenverschiebung in der Welle stattgefunden hat, denn so genau kann die Bewegung durch den zweiten Spiegel nicht überwacht werden, auch schwingt die Stimmgabel während der Aufnahme fortwährend ab, oder wenn man während derselben streicht, ist vielleicht die Bogenführung nicht tadellos. Ich gebe zunächst Fig. 6 der nicht analysirten Flamme in Seiten- und Vorderansicht.

Die angeblasene Stelle tritt in dieser Form nur auf, wenn die Flamme ziemlich hoch oben angeblasen wird, sie zeigt aber den Raum, innerhalb dessen die Entstehung der periodischen Bewegung erfolgt. Bei der Seitenansicht (Fig. 6, *B*) tritt ein doppelter Wellenberg hervor, bei der Ansicht von vorne (Fig. 6, *A*) sieht man die Verbreiterung der Flamme, die unten durch eine etwas schärfere, oben durch eine etwas weniger scharfe helle Leiste begrenzt erscheint. Die Flamme ist etwas unsymmetrisch geformt, woran wohl ein kleiner Fehler im

Fig. 7.

Spalt oder im Brenner die Schuld tragen wird. Es verwickeln sich die Bilder nicht nur dadurch, dass der eingeblasene Sauerstoff die Leuchtkraft der Flamme modificirt, sondern auch wegen der Zurückbiegung der Flamme und deren schräger Wulstung, die namentlich für die Seitenansicht störend wirken. Die beiden Figuren sind übrigens etwas verkleinert.

Die Figg. 7, *A*, *B* und *C* zeigen die Flamme von vorn gesehen vor horizontal schwingender Gabel. Man sieht die Be-

wegung des Wulstes der Fig. 6, *A*, der in der Analyse natürlich nur einfach gesehen werden kann, recht deutlich. Bei allen Flammen dieses Abschnittes kommt die *Phase* der Schwingungen in Betracht. Die Phasen der Gabel, $\cos 0^\circ$ und $\cos 180^\circ$ geben den rechten und linken Rand der beiden entsprechenden Flammenbilder gut. Die Phasen der Flamme sind nicht identisch mit den Phasen der Gabel, wenn *diese* die Flamme feststellt. Die Wellenlänge des Tones in Luft beträgt etwa 2,19 m, die Gabel stand 0,225 m von der Flamme ab, der Luftdruck einer Gabelphase erreicht die Flamme erst, nachdem die Gabel $\frac{37}{360}$ ihrer Bewegung durchlaufen hat. Steht also z. B. die Gabel in $\cos 0^\circ$, so steht die Flamme in der Phase $\cos 360 - 37^\circ$, wenigstens angenähert; auf genaue Bestimmung kommt es noch nicht an.

Fig. 7 *A* zeigt den Verlauf der Bewegung des Wulstes recht gut. Der Wulst erscheint in einiger Breite, weil er sich gleichzeitig vom rechten und vom linken Rand der Flamme erhebt; schiebt man sich, der Wirklichkeit entsprechend, die beiden Flammenbilder zusammen, so erkennt man, dass es sich um einen linearen Wulst, wie ihn die Fig. 4, *C* zeigt, handelt. Im weiteren Verlauf verbreitert sich der Wulst und rundet sich zugleich mehr ab. Auffallend erscheint mir, dass der Wulst beim Aufsteigen in der Zeit der ersten Halbwelle fast gerade, dann aber deutlich sinusoid gekrümmt verläuft, in den Umkehrphasen stark in die Höhe gehend, dazwischen wellig geschweift. Solche Linie muss ein mit gleichmässiger Geschwindigkeit steigender Leuchtpunkt annehmen, wenn die Gabel mit ihrer Pendelbewegung sein Bild projicirt, eine gerade Linie kann er nur beschreiben, wenn er auch seinerseits eine pendelartige Bewegung nach oben vollführt. Die Figur zeigt, dass die Flammen nach der Spitze zu schmaler werden, weil das Gas sich verzehrt, während die Amplitude der Welle sich nicht zu vermindern scheint. Die Fig. 7, *B* zeigt eine ganz ähnliche Flamme, nur höher brennend und stärker auseinander gezogen. Ich lese sie so wie Fig. 7, *C* an. Den unter dem Wulst liegenden Teil der Flamme giebt das Negativ wegen geringer Leuchtkraft dieses Teiles so schwach, dass er leider in der Reproduction nicht gekommen ist. Der

Wulst hat sich zur Gabelzeit 0 noch nicht gebildet, dann aber tritt er bald hervor und verstärkt sich bis zur Zeit π , darauf oder sehr bald danach steigt er auf und bildet zur Zeit 2π eine starke Vorrangung, geht dann weiter nach 3π , wo er schon ziemlich ausgeglichen anlangt. Von da aus scheint sein Steigen sich zu verlangsamen.

Fig. 8.

Weit schwieriger ist die Lesung der Flamme bei Seitenansicht (Fig. 8).

Die Flammen von 155,5 v. d. sind stark rückwärts gebogen, zeigen starke Windungen und ausserdem Verdickungen, daneben auch noch ein starkes Aufleuchten. Fig. 8, *A* leuchtet an der Wurzel sehr wenig, ich deute sie so, dass erst das Stadium π zur Ansicht gekommen ist, so sieht man sie meistens. Die Ansicht Fig. 8, *B* ist günstiger, ich lese sie so, wie die

Fig. 8, *C* zeigt. Bei *O* ist die Flamme tief eingeblasen, also verdünnt, indessen ist schon unter der blasenden Lamelle eine Gasanhäufung entstanden. Die Flamme verdünnt sich weiter, der Wulst steigt aber schon auf und nimmt, wie mir scheint, die blasende Lamelle, soweit sie innerhalb der Flamme liegt,

Fig. 9.

mit nach oben. Dann geht der Wulst hinüber nach 2π , aber hat sich namentlich nach oben hin schon etwas ausgeglichen, bei 3π und 4π ist die Ausgleichung schon weit fortgeschritten. Meine Durchzeichnung ist nach dem Negativ verfertigt, an dem man etwas mehr erkennen kann, als an dem Positiv.

Die Fig. 9, *A*, giebt den Ton 311, analysirt durch Unisonogabel. Die Deutung wird durch die geringe Biegung

dieser Gabel erschwert. Die Fig. 9, *B* giebt meine Lesung. Das Stadium *O* ist nicht herausgekommen, das Stadium 2π ragt etwas in die Einbuchtung des vorhergehenden Stadiums hinein, weil erst hier die Flamme sich zurückbiegt. Die Rückbiegung geht in der Diagonale der beiden Bewegungen, man sieht, dass das Brenngas rascher strömt, als die Luft der in sie eintretenden Lamelle. Die sonderbare Lücke zwischen 2π und 3π kann ich nicht anders erklären.

Der Vorgang der Tonentstehung ergibt sich also in der Weise, wie ich in der früheren Arbeit angab, nur wusste ich nicht, dass die angeblasenen Gasmassen sich neben der Ballung auch noch winden. Selbstverständlich läuft das einzelne Gasmolekül in der Diagonale der Kräfte, die auf sie einwirken, geradlinig weiter, aber diese Diagonale liegt für verschiedene Zeiten, also auch für verschiedene Moleküle, wie sie gerade in die Wirkungssphäre der anblasenden Lamelle eintreten, verschieden. Zur Zeit *O* bläst die Lamelle normal gegen den Gasstrom und buchtet diesen ein. Dieser Zustand dauert an während der Periode einer halben Schwingung, aber das Gas sammelt sich (durch Zurückprallen?) mehr und mehr unter der Lamelle an. Zur Zeit π drängt sich der Gaswulst nach oben, teils wohl die Lamelle durchsetzend, teils sie nach oben ablenkend. Dabei ist meines Erachtens auch noch ein photographisch nicht wirksamer Mantel der Flamme beteiligt. Zur Zeit 2π ist die Durchsetzung vollendet und nun schreitet der Gaswulst in der Periode bis 3π besonders rasch vorwärts, während Wulst sich zu einem Wellenberg abrundet.

Es kann ja erforderlich werden, noch mehr Flammenphasen festzulegen, was nach der weiterhin zu gebenden Anweisung leicht sein wird, aber vorerst dürfte genügen, was hier nachgewiesen worden ist.

Es möge noch kurz die Wirkung der Stimmgabel, die einfach ist, aber doch ihre besondere Eigentümlichkeit und meiner Ansicht nach auch ihren besonderen Vorteil hat, dargelegt werden (Fig. 10). Bei *C* liege das Centrum des Krümmungsradius einer Branche. 1 und 2 seien die beiden Spiegelstellungen, die Spiegel stehen gegen den Radius im Winkel von 45° . *L* und *L'*

sich um die Bestimmung der Winkel zwischen den reflectirten Strahlen und der optischen Axe, also $< \omega$ und $< u$,

$$\vartheta + \eta = \vartheta' + \eta' = 90^\circ. \begin{cases} \vartheta = 45^\circ + \beta, & \eta = 45^\circ - \beta, \\ \vartheta' = 45^\circ - \beta, & \eta' = 45^\circ + \beta. \end{cases}$$

Es seien $K1$ und $K2$ die Richtungsstrahlen, die von dem Punkt der Welle bei K auf die Mitte des Spiegels hinlaufen, $n\lambda$ und $n\lambda + \mu$ die Entfernungen zwischen K und dem O -Punkt, der bei H über der Mitte des Spiegels 1 liegen möge. Es ist

$$\frac{\pm n\lambda}{h} = \operatorname{tg} o, \quad \frac{\pm n\lambda \pm \mu}{h_1} = \operatorname{tg} p.$$

Die Einfallswinkel ε und ε' bestimmen sich zu

$$\varepsilon = \vartheta - o = 45^\circ + \beta - o, \quad \varepsilon' = \vartheta' - p = 45^\circ - \beta - p,$$

daher

$$\omega = \eta - \varepsilon = o - 2\beta,$$

$$u = \eta' - \varepsilon' = 2\beta + p.$$

Für $-n\lambda$ wird

$$\omega = -(2\beta + o),$$

$$u = 2\beta - p.$$

Die Lichtbrechung im Prisma ist vernachlässigt, die paralactische Verschiebung durch μ hat wenig Bedeutung. Vergrößerung von h hat nur insofern Einfluss, als dadurch die Wirkung der $< \beta$ mehr hervortritt. Auf diese Winkel kommt es vor allem an, daher ist ein relativ *möglichst kurzer Krümmungsradius der Stimmgabel zu erzielen*. Die Projectionen der Wellen sind bei I., II., und bei I., II. gezeichnet, die beiden Phasen liegen wegen grosser β etwas weit auseinander. Verkleinerung des $< \beta$ bringt die beiden Wellen näher zusammen und giebt etwa das Bild III und IV.

Die photographische Analyse der Tonentstehung wäre vollständig, wenn noch die blasende Lamelle dargestellt worden wäre. Darauf muss ich verzichten. Auch sie wäre, wie mir scheint, wünschenswert. Armirung einer Stimmgabel mit zwei ovalen, grossen und schräg gestellten Metallspiegeln würde den Moment der Photographie sehr kürzen. Wie ich leider zu

spät finde, lässt sich die Flamme in der Tonhöhe recht gut fesseln, wenn man eine *zweite*, unisono tönende Gabel dicht neben sie hält. Die Molecularschwingung der Luft wirkt auf die Massenschwingung der Flamme so ein, dass die Wulstbildung unter der blasenden Lamelle durch die Molecularschwingungen in der Luft verzögert oder beschleunigt wird.

Hr. Dr. Deetjen hat mir auch bei dieser Arbeit ausdauernd geholfen.

(Eingegangen 13. October 1900.)

Die Figuren 2, 8 und 9 liessen sich durch Autographie nicht klar genug herstellen, sie sind daher lithographirt worden.