

Graphische Darstellung der Vokale.

Von Dr. A. Samojloff,

Priv.-Docent der Physiologie an der Kaiserlichen Universität zu Moskau.

Vor einiger Zeit war ich mit Versuchen über die akustische Natur der Vokale beschäftigt. Eine ausführliche Beschreibung dieser Versuche wurde im Arch. f. die gesammte Physiologie Bd. 78, p. 1 mitgetheilt. An dieser Stelle möchte ich nur die methodologische Seite und kurz die Hauptresultate anführen.

Ich benutzte bei meinen Versuchen eine Membran, gegen die gesprochen wurde und deren Schwingungen auf einer beweglichen, lichtempfindlichen Platte aufgezeichnet wurden.

Der Vorschlag, eine Membran mit einem Spiegelchen zu versehen, um auf diese Weise durch einen vom Spiegel reflectirten Lichtstrahl die Schwingungen der Vokalklänge in Form einer Kurve zu erhalten, wurde schon 1883 von zwei französischen Autoren, Rigollet und Chavanon¹⁾, gemacht. Allerdings haben diese die Vokalkurven nicht photographirt; sie beobachteten die Kurven auf dem Projektionsschirme, indem sie den vom Spiegelchen reflectirten Lichtstrahl auf einen König'schen rotirenden Spiegel fallen liessen. Ihre Membran wurde aus Kollodium bereitet, das Spiegelchen drehte sich um eine Achse, die aus einem an den Spiegel angeklebten Kokonfaden bestand. Es ist klar, dass sowohl die Wahl der Membran, wie die Art der Befestigung des Spiegels sehr unzuweckmässig sind, denn es wird hierbei nur für die leichte Beweglichkeit des ganzen Systems gesorgt, während der nöthige Grad der Dämpfung unberücksichtigt bleibt.

Später wurde dieser Apparat von dem Physiker P. Lebedeff²⁾ in Moskau verändert und verbessert. Lebedeff kam auf den Gedanken, die Membran aus Kork zu bereiten, und so weit meine Erfahrungen reichen, muss ich sagen, dass eine Korkmembran im Vergleich zu anderen für akustische Versuche bestimmten Membranen das Beste leistet. Hermann, der eine ganze Reihe verschiedener Membranen aus Eisen, Glimmer, Glas, Karton, Holz u. A. auf ihre Leistungsfähigkeit im Sinne der getreuen Uebertragung von Schallschwingungen vergleichend untersuchte, hält nur die starren Membranen für zweckentsprechend und hat den grössten Theil seiner «a-Versuche» mit Glimmer- und Glasplatten ausgeführt. Es scheint mir aber, dass die nicht elastischen, leicht biegsamen, aus Seide, Tuch u. dgl. geschnittenen Membranen

¹⁾ Journal de physique 1883 (2) t. 2 p. 553.

²⁾ Journal der russischen physikalisch-chemischen Gesellschaft, 1894, Bd. 26 S. 290 (russisch).

den Vorzug verdienen, da sie keinen ausgesprochenen Eigenton besitzen. Es ist bekannt, dass Edison bei der Konstruktion seines Phonographen von Anfang an eine Seidenmembran angewandt hat. Der Nachtheil dieser biegsamen Membranen besteht nur darin, dass man sie nicht sicher genug, behufs Uebertragung der Schwingungen, mit einem Spiegel resp. mit einem Hebel verbinden kann. Spannt man sie, um ihnen einen festen Halt zu geben, sehr stark, so verlieren sie ihre Vorzüge und werden ebenso unbrauchbar wie gespannte Gummimembranen. Der Kork vereinigt gewissermassen die hier in Betracht kommenden Eigenschaften der starren und leicht biegsamen, keinen ausgesprochenen Eigenton besitzenden Membranen. Dass eine Korkmembran in der That sich besser eignet zur getreuen Uebertragung von Schallschwingungen, geht schon aus Folgendem hervor.

Hermann ¹⁾ bemerkte, dass dünne, grosse, leicht ansprechende Membranen auf verschiedene Vokale mit den gleichen Sinuskurven antworten, wenn sie nicht sorgfältig gedämpft sind. Dass solche Membranen schlecht funktionieren, kann man auch daraus schliessen, dass sie beim Besingen ein Schwirren und Schlottern hören lassen. Von der Richtigkeit dieser Bemerkung kann man sich leicht überzeugen. Ein besonders starkes Schlottern mit einem sehr intensiven klirrenden Geräusch geben Glasmembranen. Befestigt man dagegen eine Korkmembran von ziemlich grosser Oberfläche, z. B. ein kreisrundes Stück von 5 cm im Durchmesser, so ist eine solche Membran durch Besingen ausserordentlich leicht in Schwingungen zu versetzen, ohne dass man hierbei das geringste Schwirren wahrnimmt. Verbindet man dieselbe Membran, ohne dieselbe zu dämpfen, oder sogar unter möglicher Vermeidung irgend einer Dämpfung, mit einem Spiegelchen, so kann man sich leicht überzeugen, dass sie für verschiedene Vokale verschiedene Kurven liefert, allerdings ohne Hervortreten der hohen Töne der Vokale *E* und *I*; eine Glasmembran schwingt unter denselben Bedingungen bloss in Sinuskurven. Ich zog deshalb die Korkmembranen vor und bediente mich ausschliesslich derselben. Ich benutzte diejenige Korkmasse, die aus gepresstem Korkpulver besteht und im Handel unter dem Namen Suberit bekannt ist; man bekommt sie fertig in Plattenform von verschiedener Grösse und Dicke. Meine Membranen, 1 mm dick, wurden immer in eine Fassung, bestehend aus zwei 2 cm breiten Ringen, mit Filzunterlage eingeklemmt; der den Luftschwingungen ausgesetzte Theil der Membran hatte im Durchmesser 3 cm.; ist die Membran noch kleiner und wird sie ausserdem noch gedämpft, so verliert sie sehr an Empfindlichkeit; man muss dann beim Besingen die Sprachorgane anstrengen, was ich durchaus vermeiden wollte, deshalb blieb ich bei der angegebenen Grösse stehen.

Die Befestigung des Spiegelchens und die Art der Verbindung desselben mit der Membran sind von grosser Bedeutung. Sämmtliche Theile des ganzen Systems müssen leicht sein, ausserdem muss ihre Beweglichkeit durch Einführung von Widerständen gehemmt werden. Hermann hat diese Aufgabe in der Weise gelöst, dass er an die Mitte der Membran senkrecht zu derselben ein kleines Holzstäbchen anklebte; dieses Holzstäbchen war verbunden mit einem

¹⁾ Pflüger's Archiv Bd. 47 S. 349.

dünnen, mit einem Spiegelchen versehenen Glimmerplättchen, welches parallel der Membranfläche lief und am Rande der Fassung befestigt war. Bei diesem Verfahren bekommt man aber sehr kleine Kurven, was entschieden ein Nachtheil ist, wenn man die Kurven auf photographischem Wege registirt, denn will man sie später unter dem Mikroskop messen, so wird die Linie zu dick. Allerdings lassen sich die Exkursionen dadurch vergrössern, dass man die Platte stärker besingt; andererseits kann man auch die Entfernung zwischen dem Spiegel und der photographischen Platte sehr gross nehmen, aber beides ist unzweckmässig. Ich führte deshalb eine zwei- bis dreifache Hebelvergrösserung ein. Aus der schematischen Zeichnung Fig. 1 ist die Einrichtung des ganzen von mir zusammengestellten Apparates ersichtlich. Die Korkmembran (*p*) ist in die metallische Fassung (*F*) eingeklemmt. An die Mitte der Membran ist ein kleines Korkstäbchen (*k*) ange kittet. Vom oberen Theil der Fassung geht ein metallischer Stab, der in einer Hülse mittels der Schraube *a* eingeklemmt ist und sich weiter in zwei Arme theilt, von denen man nur den vorderen, mit der Achsschraube *c*, sieht. Zwischen den beiden Armen läuft eine feine, spitz auslaufende Achse. Diese Achse wird vor dem Einschrauben in die Achsenlager durch ein rhombisches, scharfkantig zugeschnittenes Korkstückchen, an welches das Spiegelchen angeklebt ist, durchgeführt. Vor dem Anziehen der Schraube *a* wird der Stab *A* so weit nach unten ge-

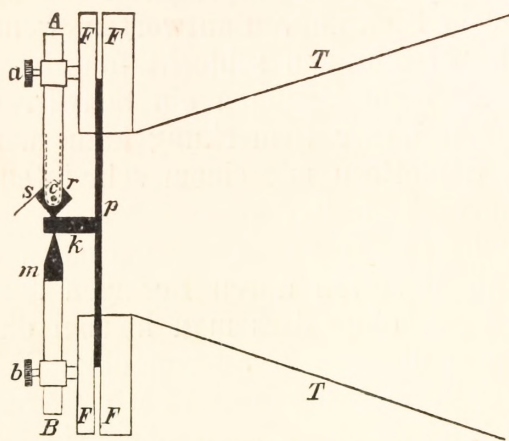


Fig. 1.

schoben, bis die scharfe Kante des Rhombus (*r*) an das Korkstäbchen (*k*) sich anstemmt; die Kante ist ebenso lang, wie das Korkstäbchen breit. Schon in dieser Form funktioniert der Apparat sehr gut. Um aber eine noch bessere Dämpfung zu erzielen, wurde das zentrale Korkstäbchen auch von unten an die scharfe Kante des Korkprisma *m* angestemmt. Die Membran muss also bei ihren Bewegungen ausser *k* noch *r* mit dem Spiegelchen *s* und *m* mitbewegen und grosse Widerstände überwinden. Die sämtlichen die Bewegung mitmachenden Korktheile waren freilich nur von einem geringen Gewichte; das Spiegelchen besass die Dicke eines gewöhnlichen Deckgläschens und hatte eine Länge von 7 mm und eine Breite von 5 mm. Zwischen dem oberen und unteren Stab und der Membran wurde Watte hineingeschoben. Die Fassung war auf einem Stativ (in der Zeichnung nicht angegeben) mittels eines Charniers mit horizontaler Achse verbunden, so dass der ganze Apparat und mit ihm das Spiegelchen sich beliebig neigen liess.

Zur photographischen Aufzeichnung der Kurven benutzte ich anfangs Trommeln mit lichtempfindlichem Papier, habe aber bald davon Abstand genommen. Die gewöhnlichen Uhrwerke ertheilen den Trommeln nicht die gewünschte Geschwindigkeit; man muss folglich die Trommel entweder mit der Hand treiben oder mit einem Motor verbinden, ausserdem muss man dafür

Tafel I.

Vok. A.

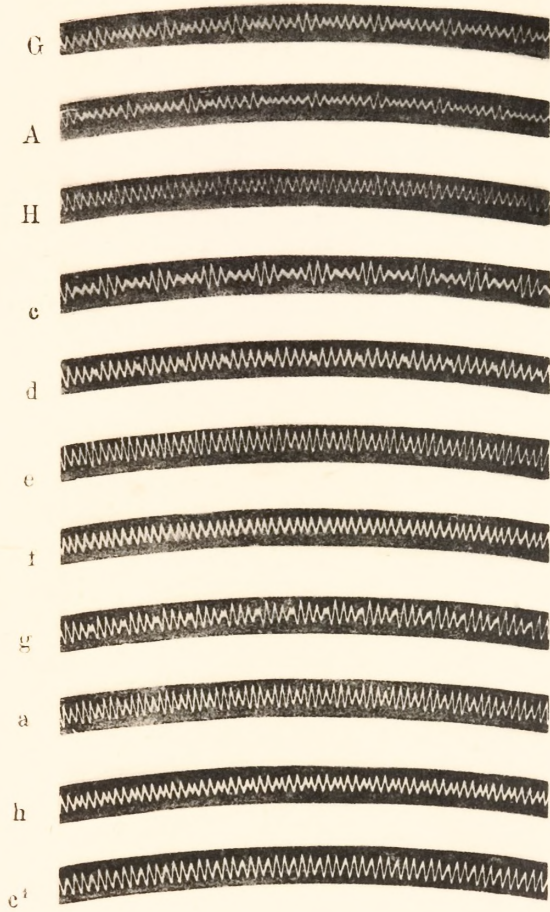


Fig. 1.

Vok. A.

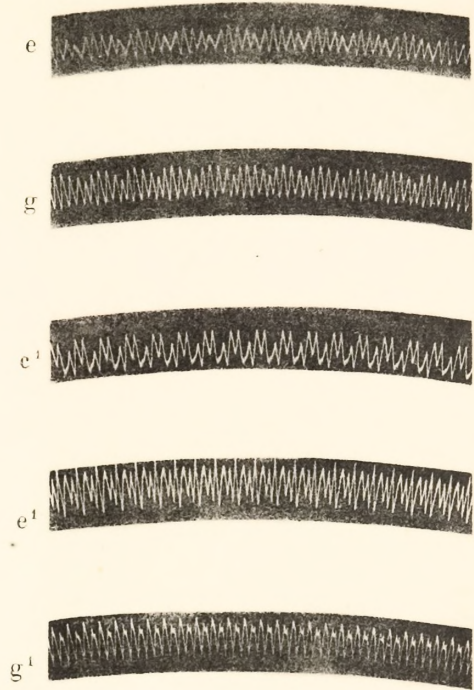


Fig. 2.

Vok. E.



Fig. 3.

Vok. I.

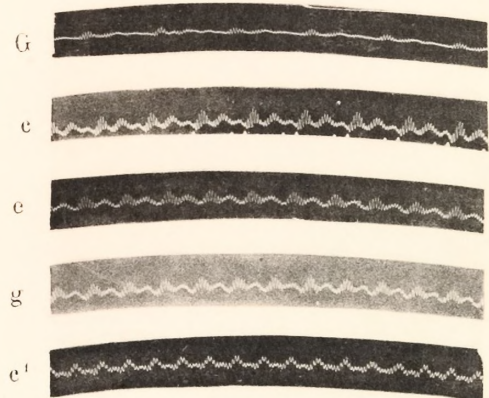


Fig. 4.

T a f e l II.

Vok. O

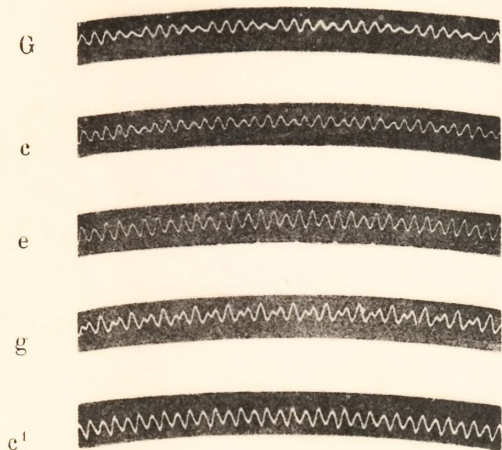


Fig. 5.

Vok. U.

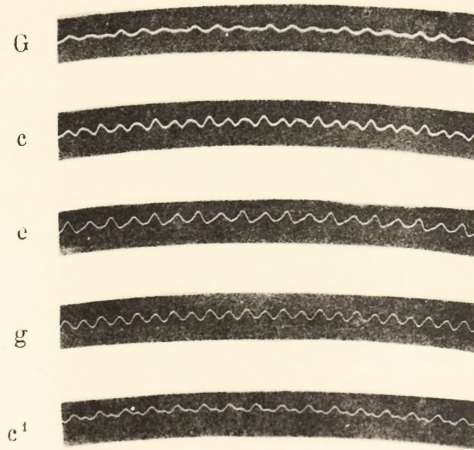
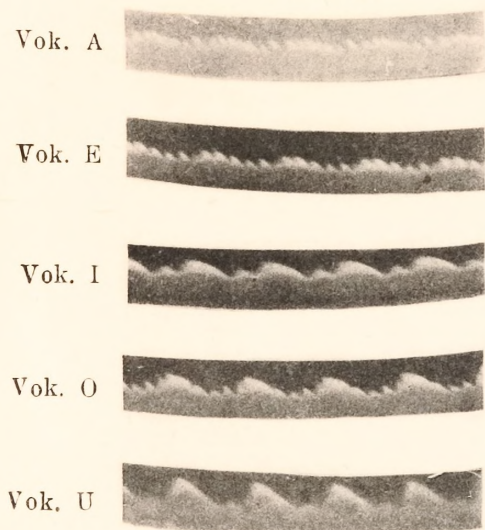


Fig. 6.



Fig. 7.

NOTE G.



Фиг. 8.

NOTE C.

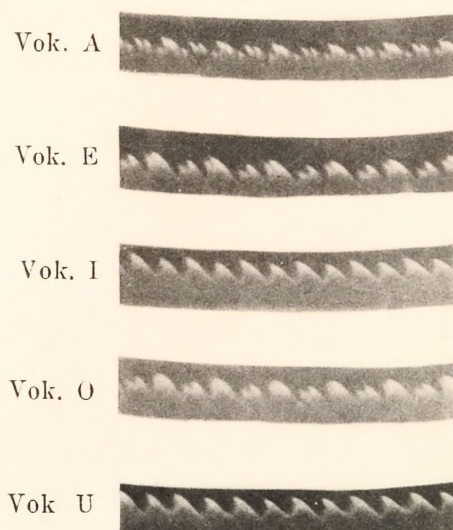


Fig. 9.

sorgen, dass das Papier nur während *eines* Umlaufes der Einwirkung des Lichtes ausgesetzt wird. Alles das macht die Sache komplicirter und die Hilfe eines Assistenten unentbehrlich. Ich ging über zu dem von Prof. Morochowetz konstruirten Apparate, der für viele Zwecke ausgezeichnete Dienste leistet und in meinem Falle ganz besonders werthvoll war. (S. dieses Heft, p. 51).

Das Photographiren gestaltet sich somit folgendermassen. Die elektrische Bogenlichtlampe, das Stativ mit der Membrankapsel und der Kasten mit dem Pendel werden alle auf einem Tische im Dunkelzimmer aufgestellt. Zwischen der Bogenlichtlampe und der Membran, dicht vor ihrem Spiegelchen, befindet sich eine Linse, mit der man ein reelles, verkleinertes und somit ein sehr helles Bild des horizontalen Spaltes der Lampe auf den Kasten entwirft. Das horizontale Spaltbild muss begreiflicher Weise den vertikalen Spalt des Kastens in der Mitte unter rechtem Winkel schneiden. Es wird also durch gekreuzte Spalten, wie sie Hermann bei seinen Versuchen einführte, in Innern des Kastens ein feiner heller Punkt entworfen; man öffnet die hintere Wand des Kastens, führt anstatt der photographischen Platte eine Mattscheibe ein, und stellt scharf ein. Bei den Bewegungen des Spiegelchens um seine horizontale Achse muss sich der leuchtende Punkt in vertikaler Richtung bewegen.

Der Spalt des Kastens wird mit einem schwarzen Schirm, auf welchem entsprechend der Lage und der Höhe des Spaltes eine weisse Linie mit Skalentheilung aufgezeichnet ist, zugedeckt. Will man eine Aufnahme machen, so wird der Schirm abgehoben, ein Vokal in den Trichter hineingesprochen und der das Pendel festhaltende Haken vermittels Griff nach unten gezogen; man hört dann sofort das Anschlagen der Pendelspitze an den anderen Haken, jetzt deckt man den Spalt mit dem Schirm wiederum zu und führt das Pendel in die ursprüngliche Lage über. Um auf derselben photographischen Platte noch eine Aufnahme zu machen, braucht man nur die Fassung mit der Membran um die horizontale Achse des Stativs ein wenig zu drehen, man verschiebt auf diese Weise das horizontale Spaltbild auf eine andere Theilung der Skala. Ich machte gewöhnlich auf einer Platte 3 bis 4 Aufnahmen. Allerdings wird durch diese Verschiebung des Spaltbildes der Radius desjenigen Kreises verändert, auf welchem die Kurve geschrieben wird, das hat aber keine besonderen Nachtheile.

Um die Schnelligkeit der Bewegung der Platte zu ermitteln, wurde folgender Versuch gemacht. Vor dem Spalt der Bogenlichtlampe wurde eine elektromagnetisch getriebene Stimmgabel von 200 V.D. aufgestellt. An den Zinken der Gabel waren zwei leichte Aluminiumplättchen befestigt, die bei jeder Schwingung der Stimmgabel sich näherten und das Licht der Bogenlampe abblendeten; unter diesen Umständen schreibt der Lichtpunkt auf der photographischen Platte eine unterbrochene Linie, wobei der Abstand zwischen zwei Unterbrechungen 0,005 Sekunden entspricht. Aus der auf diese Weise gewonnenen unterbrochenen Linie in Fig. 2 ist zu ersehen, dass die Bewegung der Platte beim Durchgang durch die Mittellinie mit einer genügenden Gleichmässigkeit geschieht,—ohne Messung kann man überhaupt keinen Unterschied in der Entfernung zwischen zwei benachbarten Punkten im mittleren Theil der Linie und an ihren Enden erkennen.

Bevor ich zur Besprechung der gewonnenen Vokalkurven übergehe, möchte ich noch kurz einige Versuche anführen, die zur Beurtheilung des Dämpfungsgrades der Membran auf graphischem Wege angestellt wurden. Derartige Versuche wurden bereits von Hensen¹⁾ an seinem Sprachzeichner vorgenommen. Hensen übte durch einen Faden mit angehängtem Gewicht einen Zug auf den Schreibhebel seines Apparates aus, und während geschrieben wurde, schnitt er den Faden mit der Scheere durch; der Hebel schrieb danach 6 bis 7 Schwingungen, aus denen man die Abstimmung der Membran feststellen konnte. Die Messungen ergaben im Mittel aus drei Versuchen: die Ablenkung

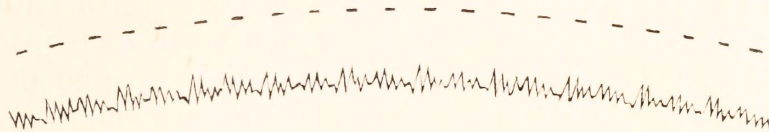


Fig. 2.

von der Ruhelage = 11. die halbe Elongation der ersten halben Welle = 5,1, die halbe Elongation der dritten halben Welle = 2. Pipping²⁾ wiederholte dieselben Versuche an dem vervollkommeneten Sprachzeichner und bekam nach dem Abschneiden des Fadens nur eine geringe Anzahl von Wellen, die auch noch sehr niedrig waren.

Ich versuchte das Abklingen der Korkmembran in der Weise zu prüfen, dass ich auf dieselbe einen kurzen Schlag ausübte und die darauf folgenden Schwingungen photographisch registrierte. Es wurde dazu der Trichter von der Fassung abgenommen und vor der Membran an einem Stativ ein Pendel aus einem kurzen Faden und einem Stückchen Kork angebracht. Wird das Pendel abgelenkt und dann losgelassen, so schlägt das Korkstückchen an die Mitte der Membran an; die Schläge wiederholen sich dann einige Mal mit abnehmender Stärke (s. Taf. II Fig. 7 B, C, D). Es machte manche Schwierigkeiten, die Membran in demselben Moment anzuschlagen, in welchem die photographische Platte ihre Bewegung ausführte. In einer grösseren Anzahl von Versuchen fanden sich aber immer an den Platten Linien, die durch Kurven der abklingenden Membran unterbrochen waren. In der Taf. II Fig. 7. A ist eine derartige Kurve angegeben; diese wurde von einer Membran erhalten, an der die Dämpfung vermittels des Theils B (Fig. I) fehlte. Man sieht aus der Kurve, dass die Membran 5—6 Schwingungen mit abnehmender Amplitude ausführte; eine Periode ist also deutlich ausgesprochen. Es wurde gemessen die ganze Länge zwischen dem Punkte der grössten durch den Schlag bewirkten Ablenkung und dem Umkehrpunkt der Kurve wiederum nach oben (auf der Zeichnung), dann der entsprechende parallel verlaufende Theil in der zweiten Periode u. s. w. Die erhaltenen Zahlen waren

7,8 3,8 1,9 1,0 0,5

¹⁾ Zeitschrift für Biologie, 1887, Bd. 23 S. 298.

²⁾ Zeitschrift für Biologie, 1890, Bd. 27 S. 15.

Das Verhältniss der Amplitudengrössen ist danach

2,05 2,0 1,9 2,0.

Es ist also das Dämpfungsverhältniss hier deutlich ausgesprochen. Der Dämpfungsgrad entspricht demjenigen, welchen Hensen an seinem Apparate bestimmt hat; bei Hensen sind die Verhältnisse der abnehmenden Amplituden 2,16 und 2,5.

Wird der Dämpfer *B* (Fig. I) eingeführt, so erhält man eine Kurve, die in Taf. II, Fig. 7, *B* dargestellt ist. Die Messungen ergeben hier:

5,3 1,5 1,2 1,0.

Die Verhältnisse der Amplitudengrösse sind danach:

3,54 1,25 1,2.

Der Dämpfungsgrad ist hier bedeutend grösser. Man sieht aber aus der Zeichnung und aus den Zahlen, dass die Membran nach der ersten Schwingung in eine Anzahl von kleinen Schwingungen von einem selbständigen Typus und Dämpfungsverhältniss geräth. Man kann an irgend eine zufällige Entstehungsursache dieser Schwingungen denken. Bei wiederholten Versuchen zeigte sich immer der grosse Unterschied zwischen der ersten Schwingung und den folgenden. Eine Erschütterung des ganzen Apparates musste aus vielen Gründen ausgeschlossen werden. Befestigt man eine dünne Glasmembran, anstatt der Korkmembran, so bekommt man unter denselben Bedingungen auch einen grossen Unterschied in der Amplitude der ersten grossen Schwingung und den nachfolgenden kleinen, die Zahl der letzteren ist aber grösser, 10 bis 12. Es ist möglich, dass durch den Schlag an die Mitte der Membran letztere nicht nur in toto schwingt, sondern dass hier auch Wellen vom Zentrum nach der Peripherie mit Reflexionen Platz finden. Es ist jedenfalls anzunehmen, dass ein Schlag auf die Membran anders wirken muss wie ein plötzlicher Anprall einer Verdichtungswelle, und es ist deshalb wohl möglich, dass auch Platten des Telephons und des Phonographen nach einem kurzen Schlag an die Mitte eine abklingende Periode zeigen.

An der Tafel I—II sind die erhaltenen Vokalkurven, Fig. 1—6, angeführt. Es wurden die Curven gemessen und die charakteristischen Höhen der einzelnen Vokale bestimmt. Die Resultate sind mit den Angaben anderer Autoren für die Vokale *A*, *O*, *U*, *E* und *I* in der kleinen Tabelle angegeben.

Vokal	A	O	U	E	I
Pipping	cis^2-d^3	?	c^1, a^2	c^1, d^4	d^1-f^1, e^4-d^4
Boeke	e^3-cis^3	$>c^3$	$<d^2$	$<fis^4$	$>d^4$
Hermann (a-Versuche)	e^2-gis^2	cis^2-e^2	e^2-f^2	h^3-c^1	d^4-g^4
Hermann (Phonogr. Versuche)	e^2-gis^2	e^2-dis^2	c^1-f^1, d^2-e^2	d^2-e^2, ais^2-h^3	e^4-f^4
Samojloff	g^2-a^2	h^1-des^2	c^1-g^1, e^2-e^2	$(h^1-des^2)?$ h^3-des^4	$(e^1-g^1, e^2-e^2)?$ d^4-e^4

Vor Allem sieht man, dass meine Werthe mit denen von Hermann und namentlich mit denjenigen, die er vermittels des Phonographen gewonnen hat, in guter Uebereinstimmung sich befinden. Trotz vieler Einwände, die gegen die Phonographenmethode gemacht sind, besitzt dieselbe einen mit anderen Instrumenten unerreichbaren Vorzug der Kontrolle der Richtigkeit der Kurven mit dem Ohre, und es ist deshalb ihre Zuverlässigkeit ausser jedem Zweifel. Es müssen die Werthe für die charakteristische Höhe des A von Pipping und Boeke als zu hoch bezeichnet werden. Die Unterschiede auf die Eigenschaften der Aussprache beziehen könnte man nur dann, wenn man besondere auf diesen Punkt gerichtete Versuche anstellte. Uebrigens hat auch Pipping in einer späteren Arbeit ein Verstärkungsgebiet in der Höhe gis^2 gefunden. Für den Vokal U finden auch Hermann und Pipping zwei charakteristische Höhen; meine Werthe stimmen mehr mit Hermann's Angaben überein, die Pipping'sche zweite Höhe a^2 ist wahrscheinlich zu hoch; in einer späteren Arbeit von Pipping liegt das zweite Gebiet sogar bei d^3 . Ich muss aber Pipping vollständig beistimmen, wenn er für E, sowie für I ein tieferes charakteristisches Gebiet findet; die tieferen charakteristischen Höhen konnte ich aus früher angegebenen Gründen nur unter Fragezeichen aufstellen.

Ich habe im Verein mit Dr. W. Nagel (l. c.) ein Verfahren ausgearbeitet, nach welchem man ohne jede Schwierigkeit am Kopfe eines frisch getödteten Thieres die Membrana tympani und das Mittelohr als eine König'sche Kapsel verwenden kann. Man führt eine Kanüle, die mit der Leuchtgasleitung verbunden ist, durch die Tuba Eustachii ins Mittelohr; dann trepanirt man in die Bulla ossea resp. Proc. mastoideus ein rundes Loch, führt in dieses ein

Gummirohr ein und verbindet dasselbe mit einem Platinkegel, der an seiner Spitze eine kleine Oeffnung, durch welche das Leuchtgas ausströmt, besitzt. Zündet man das Leuchtgas an und betrachtet die Flamme im rotirenden Spiegel, während man in den äusseren Gehörgang des Präparates Töne resp. Vokale hineinsingt, so sieht man Flammenkurven. Dieses Verfahren hat vor der König'schen Kapsel den Vorzug, dass man hierbei das Trommelfell selbst als schwingende Membran verwendet. Ich versuchte die Flammenkurven zu photographiren, um dieselben mit den auf anderem Wege gewonnenen Vokalkurven vergleichen zu können. Nach einigem Probiren gelang es uns vollständig.

Was die Zuverlässigkeit meiner Flammenkurven anbetrifft, so muss ich zugeben, dass trotz des ausgezeichneten Aufnahmeapparates, d. h. des natürlichen, unbeschädigten Gehörorganes, der dazu verwendet wurde, die Kurven dennoch von einem in vielen Beziehungen wenig bekannten Faktor beeinflusst sein können, nämlich von der Flamme. Ich habe mich vielfach überzeugt, dass eine 3—4 cm. hohe Flamme nicht empfindlich genug für hohe Töne ist; je kleiner man die Flamme macht, desto mehr Feinheiten lassen sich in der Kurve wahrnehmen. Ich benutzte immer eine Flamme, die kaum 1 cm lang war; um die Leuchtkraft zu verstärken, wurden dem Leuchtgas Benzindämpfe beigemischt. Photographirt wurde nicht auf Papier, sondern auf photographischen Platten, die vermittels des oben beschriebenen Apparates von Prof. M o r o c h o w e t z bewegt wurden. In der vorderen Wand des lichtdichten Kastens des Apparates, entsprechend der Höhe der Platte, war ein Ausschnitt gemacht, in welchem eine konvexe Linse befestigt werden konnte. Man erhält auf diese Weise ein stark verkleinertes, ziemlich lichtstarkes, umgekehrtes Bild der Flamme. Das Flammenbild war sehr schmal, und man konnte deshalb von der Anwendung eines Spaltes, der in diesem Falle wenig nützt und viel Licht raubt, absehen. Betrachtet man die Kurven, so sieht man, dass dieselben für die Vokale *A* und *O* dieselben Resultate ergeben, wie die auf anderem Wege gewonnenen. Die Periode des Grundtones ist kaum angedeutet, die Ordnungszahl des charakteristischen Tones für *A* auf Note *G* ist 7—8, auf Note *c* 6, für *O* auf Note *G* 5—6, auf Note *c* 4. Was die Vokale *E* und *I* anbetrifft, so sind die hohen Töne der drei- und viergestrichenen Oktave nicht wiedergegeben, was auf die Insufficienz der Flamme schwachen und sehr hohen Tönen gegenüber zu beziehen ist. Der tiefere Ton des *E* liegt in der Höhe des charakteristischen Tones *O*, der tiefere Ton des *I* in der Gegend des tieferen charakteristischen Tones des Vokals *U*. Wenn man also von der einzigen Ausnahme, dem Fehlen der hohen Töne bei *E* und *I*, absieht, so entsprechen die Ergebnisse der Versuche mit dem natürlichen Trommelfell denjenigen, die in der früher geschilderten Weise erhalten sind und bestätigen demnach die oben angeführten Bestimmungen der charakteristischen Höhen der Vokale.