Max Planck Research Group
Epistemes of Modern Acoustics

Sound & Science: Digital Histories

Hermann, Ludimar. “Phonophotographische Untersuchungen III.“ Archiv für die gesammte Physiologie des Menschen und der Thiere 47, no. 1 (1890): 347-391.

https://acoustics.mpiwg-berlin.mpg.de/node/375

Scan licensed under: CC BY-SA 3.0 DE | Max Planck Institute for the History of Science

MAX PLANCK INSTITUTE
FOR THE HISTORY OF SCIENCE

Kaiser Wilhelm-Institut für Arbeitsphysiologie zu Berlin

ARCHIV

FÜR DIE GESAMMTE

PHYSIOLOGIE

DES MENSCHEN UND DER THIERE.

HERAUSGEGEBEN

VON

Dr. E. F. W. PFLÜGER,

ORD. ÖFFENTL. PROFESSOR DER PHYSIOLOGIE AN DER UNIVERSITÄT UND DIRECTOR DES PHYSIOLOGISCHEN INSTITUTES ZU BONN.

SIEBENUNDVIERZIGSTER BAND.

MIT 9 TAFELN UND 66 HOLZSCHNITTEN.

BONN, 1890.

VERLAG VON EMIL STRAUSS.

MAX-PLANCK-INSTITUT FÜR WISSENSCHAFTSGESCHICHTE Bibliothek

Inhalt.

Seite

Beiträge zur Hämodynamik. Vierte Abhandlung:

1. Ueber eine neue Form des Kymographions 1
2. Ueber eine Vorrichtung zum feinen und gleichmässigen Berussen des Papiers 3
3. Abänderungen am Federmanometer und an der Aufspannungsvorrichtung zum Gummimanometer 5
4. Experimentelle Prüfung der Manometer in Bezug auf die Darstellung grosser, rasch erfolgender Druckänderungen . 8

Hierzu Tafel I u. II und 2 Holzschnitte.

Fünfte Abhandlung:

Ueber den Ursprungsort der sekundären Wellen der Pulscurve 17

Hierzu Tafel III und 2 Holzschnitte.

Von Dr. Karl Hürthle, Privatdocent und Assistent am physiologischen Institut zu Breslau. (Aus dem physiologischen Institut zu Breslau.)

Ueber die Folgen der Durchschneidung des Hirnbalkens. Von Dr. Alexander v. Korányi. (Aus dem physiologischen Institut zu Strassburg i. E.) 35

Ueber das Verhalten der Vocale am neuen Edison'schen Phonographen. Von L. Hermann. (Aus dem physiologischen Institut zu Königsberg i. Pr.) 42

Phonophotographische Untersuchungen. II. Von L. Hermann. (Aus dem physiologischen Institut zu Königsberg i. Pr.) . . 44

Ueber die Entstehung des ersten Herztones. Von Dr. med. A. Kasem-Bek, Privatdocent an der Universität zu Kasan. Mit 3 Holzschnitten. (Experimentelle Untersuchung aus dem Laboratorium von Prof. Joh. Dogiel zu Kasan.) 53

Seite

Zur Lehre über die physiologische Wirkung des Curare. Von Wl. Nikolski und Joh. Dogiel in Kasan. Hierzu Tafel IV—VI und 4 Holzschnitte 68

Ein Beitrag zur Physiologie der Niere. Von Manfred Bial, cand. med. Mit 3 Holzschnitten. (Aus dem physiologischen Institut zu Breslau.) 116

Ueber einige physiologische Eigenschaften dünn- und dickfaseriger Muskeln bei Amphibien. Von Karl Bonhöffer, cand. med. aus Stuttgart. Mit 1 Holzschnitt 125

Noch einmal das galvanische Wogen des Muskels. Von L. Hermann in Königsberg i. Pr. 147

Nachweis der Metaphosphorsäure im Nuclein der Hefe. Von Leo Liebermann in Budapest 155

Exstirpation der Thyreoidea an Tauben. Von Prof. J. Rich. Ewald und Dr. John Rockwell aus Norwich (U. S. A.). Mit 1 Holzschnitt. (Aus dem physiologischen Institut der Universität Strassburg.) 160

Zur Kenntniss der Strychninwirkung. Von Dr. Karl Schlick. (Aus dem physiologischen Institut zu Jena.) 171

Ueber die Verbindung des Glutins mit Metaphosphorsäure. Von Dr. Richard Lorenz, Assistent am chem. Univ.-Laboratorium zu Göttingen. (Aus dem Institut für Pharmakologie und physiologische Chemie zu Rostock.) 189

Zur Physiologie des Flimmerepithels bei Wirbelthieren. Von Heinrich Kraft, cand. med. aus Ulm. Hierzu 4 Holzschnitte. 196

Eine Methode zur Beobachtung des Simultancontrastes. Von E. Hering, Professor an der deutschen Universität in Prag . 236

Zur Lehre von der elektrischen Erregung quergestreifter Muskeln. Von W. Biedermann. (Aus dem physiologischen Institut in Jena.) Hierzu Tafel VII 243

Zur Theorie des Farbensinnes bei indirektem Sehen. Von A. Fick in Würzburg. Hierzu 3 Holzschnitte 274

Seite

Erwiderung auf die Abhandlung E. N. v. Regéczy's (d. Arch. Bd. XLVI, S. 478). Von Dr. E. Münzer 286

Untersuchungen zur vergleichenden Physiologie der Iris. Von Dr. Eugen Steinach, erstem Assistenten am physiologischen Institute der deutschen Universität in Prag.
Erste Mittheilung: Ueber Irisbewegung bei den Wirbelthieren und über die Beziehung der Pupillarreaction zur Sehnervenkreuzung im Chiasma 289

Das binoculare Perimikroskop. Von Professor Aubert in Rostock. Mit 2 Abbildungen 341

Phonophotographische Untersuchungen. Von L. Hermann. III. (Aus dem physiologischen Institut zu Königsberg i. Pr.) Hierzu Tafel VIII 347

Weitere Untersuchungen über den Heliotropismus der Thiere und seine Uebereinstimmung mit dem Heliotropismus der Pflanzen. (Heliotropische Krümmungen bei Thieren.) Von Dr. J. Loeb, Assistent am physiologischen Institut zu Strassburg i. E. Hierzu Tafel IX und 2 Holzschnitte 391

Prüfung der sogenannten Farbendreiecke mit Hülfe des Farbensinns excentrischer Netzhautstellen. Von E. Hering, Professor der Physiologie an der deutschen Universität Prag. Hierzu 7 Holzschnitte 417

Ueber die Blutbewegung in den menschlichen Arterien. Von Dr. J. L. Hoorweg in Utrecht. (Fortsetzung.) Hierzu 9 Holzschnitte 439

Ueber den Einfluss der Muskelarbeit auf die Eiweisszersetzung bei gleicher Nahrung. Von Dr. Otto Krummacher. (Aus dem physiologischen Institut zu Bonn.) Hierzu 1 Holzschnitt. 454

Ueber die Harnsäure- und Stickstoff-Ausscheidung bei Leukaemie. Von Dr. Carl Bohland und Dr. Heinrich Schurz. (Aus der medicinischen Klinik zu Bonn.) 469

Ueber die Einwirkung des künstlichen Magensaftes auf Essigsäure- und Milchsäure-Gährung. (Preisgekrönt von der medicinischen Fakultät der Universität Strassburg.) Von Dr. E. Hirschfeld. 510

Seite

Ueber Nasen- und Mundathmung. Von Dr. Richard Kayser in Breslau. Mit 1 Holzschnitt 543

Ueber die physiologische Wirkung des Cocains. Eine experimentelle Kritik der Arbeiten über den Mechanismus seiner Wirkungsweise. Von Dr. Ugolino Mosso. (Aus dem physiologischen Institute der königl. Universität zu Turin.) Hierzu 12 Holzschnitte 553

Zur Kenntniss der Erregbarkeit des Athemcentrums. Von Dr. A. Loewy. (Aus dem thierphysiologischen Laboratorium der landwirthschaftlichen Hochschule zu Berlin.) Hierzu 9 Holzschnitte 601

Ueber Zuckerbestimmung im Blute. Von Dr. Fritz Schenck. (Aus dem physiologischen Laboratorium zu Bonn.) . . . 621

Berichtigung.

In dem Aufsatze von L. Hermann: „Nochmals das galvanische Wogen des Muskels“ ist durch Versehen des Setzers Seite 150, Zeile 10 von unten, folgende für den Sinn wesentliche Stelle weggeblieben. Hinter „Electrotransfusion“ muss es heissen „im Muskel bei denjenigen Stromstärken, welche für das Wogen genügen, schon nachweisbar ist, ferner, dass die Electrotransfusion . . . . “.

(Aus dem physiologischen Institut zu Königsberg i. Pr.)

Phonophotographische Untersuchungen.

Von

L. Hermann.

III [1]).

Hierzu Tafel VIII.

Der Einfluss der Membran auf das Phonogramm.

Unter den etwa 4000 mir vorliegenden Photophonogrammen der 8 Hauptvocale *A*, *E*, *I*, *O*, *U*, *Ae*, *Oe*, *Ue* sind zur Analyse und zu physicalischen Schlussfolgerungen nur diejenigen brauchbar, welche mit sehr steifen und nicht zu grossen Membranen gewonnen sind. Diese zeigen nämlich unter einander eine sehr gute Uebereinstimmung der characteristischen Curvenformen.

Einen guten Fingerzeig für das, worauf es ankommt, geben die Membranen des Telephons und des neuen Edison'schen Phonographen. Bei ersterem, welches die Vocale allerdings weniger vollkommen wiedergiebt, ist die Membran aus Eisenblech und ziemlich gross; die Beweglichkeit der Telephonmembran ist durch die magnetische Zwangsstellung derselben, offenbar zum Vortheil bezüglich der Treue ihres Mitschwingens, sehr gering. Beim neuen Phonographen, welcher die Vocale vorzüglich wiedergiebt, ist die noch steifere Membran eine zwischen zwei Gummiringen eingezwängte Glasplatte von etwa $^1/_8$ mm Dicke und 33 mm Durchmesser [2]). Die Treue der Aufnahme wird vermuthlich beim Pho-

1) S. dies Archiv Bd. 45, S. 582, und Bd. 47, S. 44.

2) Die Glasmembran des Sprechorgans am Phonographen hat gleiche Grösse, ist aber etwa $^1/_4$ mm dick. Beide Glasmembranen des Phonographen standen mir durch die Güte des Herrn Wangemann, der sie mir im September 1889 in Berlin mitgab, in mehreren Exemplaren zu Gebote.

nographen durch die ungemein starke Dämpfung gefördert, welche das eingrabende Arbeiten des mit der Membran verbundenen Hohlmessers auf dem Wachscylinder mit sich bringt.

Mit den Originalmembranen des Phonographen, für welche ich mir eine passende Fassung anfertigen liess, ferner mit gleich grossen ziemlich dicken Glimmer- und Eisenmembranen, erhielt ich bei weitem die besten Resultate. Nächstdem stellten sich als brauchbar heraus stark gespannte Membranen aus feiner Goldschlägerhaut. Dieselben wurden in dem bekannten Spannring des König'schen Phonautographen befestigt, unter die Membran aber ein rund ausgeschnittenes und gegen die Membran am Rande des Ausschnitts gewulstetes Blech gelegt, so dass der frei schwingende Theil der Membran nur einen Durchmesser von 27 mm hatte (die Originalfassung bedingt eine freie Membranfläche von 60 mm Durchmesser). Später spannte ich auch solche Membranen über eine Fassung von 33 mm Durchmesser, und legte unter die Membran eine starke Platte, deren Ausschnitt, und somit der frei schwingende Theil der Membran, nur 11 mm Durchmesser hatte. Jedoch spricht gegen umfassenderen Gebrauch der thierischen Membranen ihre grosse Veränderlichkeit durch die unvermeidliche Behauchung.

Ausser diesen Membranen habe ich noch ungemein viele andere Materialien und Grössen durchprobirt, z. B. sehr dünne Glimmerblätter, geöltes Papier, sehr dünne Holzblätter, Gummimembranen u. dgl., jedoch ohne sie bewährt zu finden; sie wurden theils im Mundstück des älteren Phonographen (schwingende Fläche 50 mm Durchmesser), theils im Spannring des König'schen Phonautographen, theils in der oben erwähnten Fassung für die Edison'schen Glasplatten angebracht. Endlich sei erwähnt, dass ich auch rechteckige Glimmerblätter, welche zungenartig über einer rechteckigen Oeffnung angebracht waren, und auf welche das Spiegelchen direct aufgeklebt wurde, mit ziemlichem Erfolge benutzt habe, sobald der bewegliche Theil des Blattes sehr klein und steif war; sie scheinen namentlich für Consonanten geeignet.

Zum Ansingen diente bei der kleinen Fassung für die Edison'schen und ähnlichen Platten eine rohrförmige Verlängerung von 30 mm lichter Weite und 180 mm Länge, welche mit einem plattgedrückten Trichter von einer für den Mund passenden Form endete. Die Membranen des König'schen Phonautographen wur-

den durch Einstecken des Kopfes in das grosse Paraboloid des Apparates angesungen, endlich die Membranen im Mundstück des alten Phonographen durch directes Ansetzen des Mundes.

Bei allen Membranen, auch bei den steifsten, ist eine Dämpfungsvorrichtung zur Gewinnung guter Resultate unentbehrlich. Dieselbe wurde in folgender Art hergestellt. Vom Rande der Fassung her ragt ein sehr dünnes schmales Glimmerblatt radial bis gegenüber der Mitte der Membran vor, in einem Abstande von etwa 4 mm von derselben schwebend. Dieser Glimmersteg, dessen Spitze wie schon früher erwähnt mit der Mitte der Membran durch ein winziges Holzstäbchen mittels einer Spur von Siegellack verbunden ist, trägt nahe der Spitze das Spiegelchen [1]). Zwischen diesen Steg und die Membran schiebe ich nun einen dichten Wattebausch so ein, dass er einen beträchtlichen Druck auf den Steg ausübt.

Versucht man grosse, dünne, und in Folge dessen sehr leicht ansprechende Membranen ebenfalls durch Watte zu dämpfen, so erlangt man zwar einigermaassen brauchbare Curven, d. h. dieselben sind von den einfachen Sinuscurven, welche diese Membranen ohne Dämpfung für alle Vocale geben, wesentlich verschieden, aber die Curven wechseln bei gleichem Vocal und gleicher Note schon durch die geringfügigste Aenderung in Lage und Druck des Dämpfers sehr ihre Gestalt. Schon hierin zeigt sich, dass diese Curven zur Erkennung der Characteristik des Vocals keine Garantie bieten, mehr noch darin, dass sie die feinen Zacken der hohen characteristischen Töne des *E*, *J*, etc. nicht erkennen lassen. Ausserdem entsteht beim Ansingen solcher Membranen häufig ein hörbares Schwirren und Schlottern.

Selbst bei den geeignetsten Membranen ist ein gewisser Einfluss der Membran auf das Phonogramm unverkennbar. Um denselben unmittelbar zu controlliren, habe ich seit dem Beginn meiner Versuche (Anfang 1889) folgendes einfache Verfahren an-

1) Da die mit Silber belegte und lackirte Rückseite der Spiegelchen beim directen Aufkleben leicht lädirt wird, wenn man sie von der Unterlage zu trennen hat, so ist es zweckmässig, das Spiegelchen auf ein äusserst dünnes quadratisches Glimmerblättchen ein für allemal aufzukleben, und das Glimmerblättchen auf die Unterlage mit einigen Tröpfchen Schellackfirniss aufzukitten; es kann dann ohne jede Verletzung des Spiegelchens wieder abgetrennt werden.

gewandt. Auf jedes Blatt, welches, wie schon früher erwähnt, für 17 Phonogramme Platz hat, wurde als erstes Phonogramm der Klang derselben Siemens'schen Telephontrompete aufgenommen (die Note derselben liegt zwischen h^1 und c^2, nahe bei h^1). Mit ganz ungeeigneten Membranen giebt dieselbe eine einfache Sinuscurve, mit den brauchbaren zeigt die Curve in jeder Periode 3—4 Spitzen, aber in sehr mannigfach variirender Anordnung, von welcher die Tafel einige Beispiele bietet (vgl. Blatt 1, 2, 4, 5, 6, 8; ein Beispiel mit 4 Spitzen liefert Blatt 7). Man sieht, dass von den Einzelschwingungen bald nur eine, bald zwei gleiche über die anderen hervorragen, dass die kleinen Zacken bald oben bald unten, oder auch die eine oben und die andere unten erscheinen. Der bedenklichste Umstand ist offenbar, dass dasselbe Instrument mit einer Membran drei, mit der andern vier Partialschwingungen auf die Periode geben kann. Besondere Versuche zeigen, dass die Stärke des Anblasens hierfür nicht maassgebend ist. Es kann also nur eine Eigenschaft der Membran sein, welche einmal den dritten und einmal den vierten Oberton besonders begünstigt.

Auch bei den Vocalen zeigt sich ein entschiedener Einfluss der Membran, so dass Untersuchungen mit nur einer einzigen Membrangattung über die Natur der Vocale keinen vollständigen Aufschluss geben konnten. Um so werthvoller sind diejenigen characteristischen Eigenschaften der Vocale, welche unverändert sich an allen brauchbaren Membranen zeigen, mögen dieselben den Trompetenklang mit 3 oder mit 4 Zacken wiedergeben. Aus diesen constanten Vocaleigenschaften werden daher im Folgenden fast ausschliesslich Schlüsse gezogen werden.

Bezüglich des Ganges der Untersuchung ist noch zu erwähnen, dass in der Regel derselbe Vocal auf alle Scalennoten im Bereich der Stimme des Untersuchenden, also durch etwa 2 Octaven durchgesungen wurde. Jeder solche Versuch hat auf einer Tafel Platz. Die Stahlharmonica, nach welcher gesungen wurde, brachte es mit sich, dass die Scala sich durchweg in *G-dur* bewegte. Meine eigene Stimme erwies sich als sehr brauchbar, und zwar hauptsächlich von G bis d^1. Für höhere Lagen stellte mir mein Assistent Herr Dr. Ehrenthal seine Tenorstimme zur Verfügung. Auch Kinder- und Frauenstimmen kamen gelegentlich zur Verwendung.

In vielen Versuchsreihen (ein Beispiel s. auf Blatt 7 der Tafel) wurden umgekehrt auf dieselbe Note sämmtliche Vocale hintereinander durchgesungen, und dann erst zu einer anderen Note übergegangen. Für abtastende Versuche wurde auch vielfach jeder Vocal nur durch Accorde durchgesungen, also auf *G*, *H*, *d*, *g*, *h*, d^1 u. s. w.

Zwischendurch wurden auch vielfach die Klänge musicalischer Instrumente (Pfeifen, Geige, Klarinette, Tuba), ferner sämmtliche Consonanten aufgenommen. Die Resultate dieser letzteren, noch nicht abgeschlossenen Versuche sollen später mitgetheilt werden.

Gesungen wurde in der Regel möglichst piano. Es zeigte sich, dass die durch leises Ansingen steifer Membranen gewonnenen Curven die brauchbarsten sind.

Die Characteristik der Vocalcurven.

Die von mir gewonnenen Vocalcurven unterscheiden sich wesentlich von allen früheren, soweit sie mir bekannt sind. Vor Allem lassen sie bei *E*, *J*, *Ue*, u. s. w. die Schwingungen der hohen characteristischen Töne, welche soviel ich weiss, bisher in phonautographischen Aufzeichnungen dieser Vocale noch nie hervorgetreten sind, auf das Deutlichste und Eleganteste erkennen und auszählen.

Als allgemeinster Character der Vocalcurven lässt sich hinstellen, dass dieselben einen characteristischen Oberton periodisch oder in periodischer Verstärkung enthalten und dass die Periode diejenige des Stimmtones ist, oder kurz gesagt: Der Character der Vocale besteht in einem im Tempo des Kehltons in seiner Amplitude oscillirenden Mundton. Die Vocalcurven haben eine unverkennbare Aehnlichkeit mit Schwebungscurven, ganz besonders bei *A* und *O*.

Betrachten wir zunächst eine Tafel mit dem Vocal *A*, durch die *G-dur*-Scala durchgesungen, z. B. Blatt 1 der Tafel. Man erkennt sofort eine Gruppe von Schwingungen, welche bei allen Noten wiederkehrt, aber in mit zunehmender Höhe des Stimmtons immer kleiner werdenden Abständen. Der Zwischenraum zwischen diesen Gruppen, welcher ebenfalls immer kleiner wird, dann verschwindet, und endlich gewissermassen negativ wird, indem jetzt

die Zahl der Schwingungen einer Gruppe selber abnimmt, ist mit kleinen, anscheinend unregelmässigen Schwingungen ausgefüllt, welche vielleicht überhaupt nur nachzitternde Eigenschwingungen der Membran sind. Während jene Hauptgruppe bei den verschiedensten Membranen sehr constant ist, fallen die kleinen Zwischenschwingungen sehr verschieden aus (vgl. Blatt 1, 8, 10 etc.).

Sehr ähnlich der *A*-Curve ist die des Vocals *O* (Beispiele s. Blatt 5, 7, 9, 10). Bei *U* tritt die Hauptperiode (Stimmperiode) kaum, und oft gar nicht, hervor; man sieht meist nur die Mundtonschwingungen mit schwachem Oscilliren ihrer Amplitude (Beispiele Blatt 3, 7, 10).

Bei *E* und *I* geht die rasche Schwingung eines sehr hohen Tones durch die ganze Periode hindurch, erleidet aber wiederum, und zwar bei *E* beträchtliche, periodische Verstärkungen im Tempo des Kehltons. Ausserdem erscheint häufig die frequente Schwingung auf eine langsamere Partialschwingung innerhalb der Periode aufgesetzt. Beispiele für *E* s. Blatt 2, 4, 7, für *I* Blatt 2 mit Schluss auf Blatt 3 (die Schwingungen bei den tiefsten Noten waren hier zu schwach), besser auf Blatt 4 und 7.

Ae (Beispiel Blatt 6) zeigt ein merkwürdig inconstantes Verhalten, so dass ich der Meinung bin, dass meine Versuche über diesen Vocal noch keinen endgültigen Aufschluss geben. Mit Glasmembranen erhalte ich Curven die dem *A*, mit Glimmermembranen solche welche dem *E* am nächsten stehen, aber doch von den genannten wesentliche Unterschiede zeigen. Vermuthlich würden wir mit Trommelfellen, welche den beiden Membranarten entsprechen, das *Ae* mangelhaft hören, mit dem einen fast wie *A*, mit dem andern fast wie *E*, und eine Membran, welche das *Ae* richtig aufnimmt, wäre hiernach noch zu finden.

Die Curven des *Oe* und *Ue* (Beispiele Blatt 3 und 9) stehen denjenigen des *E*, resp. *I* insofern nahe, als sie sehr frequente Oscillationen enthalten; die im Tempo des Stimmtons erfolgende Amplitudenschwankung ist aber hier viel geringer; die Schwingung erfüllt namentlich beim *Ue* (ähnlich wie beim *U*) den grössten Theil der Periode ziemlich gleichmässig, und zeigt nur periodische Schwächungen; eine Annäherung an dies Verhalten zeigt schon das *I*.

Versucht man nun weiter, die erhaltenen Curven in ihre harmonischen Partialschwingungen zu zerlegen, so sieht man sofort, dass dies bei den Curven mit sehr hohen Obertönen wie *E*, *I*, *Ue*

nur mit einer sehr grossen Anzahl von Ordinatenmessungen möglich wäre; wir werden aber sehen, dass hiervon kein dem ungeheuren Zeitaufwand entsprechender Gewinn zu erwarten wäre, der sich nicht auf ungleich kürzerem Wege erreichen liesse. Ja sogar bei *A* und *O* lässt sich ungefähr soviel wie durch die zeitraubenden Analysen, wie wir sehen werden, bequemer ermitteln.

Der Vocal *A*.

Ich habe nach dem von mir beschriebenen Verfahren (vgl. Bd. 47, S. 45 ff.), welches vermöge seiner sehr vereinfachenden Kunstgriffe eine Messung sammt Analyse in etwa 3 Stunden durchzuführen gestattet, eine sehr grosse Anzahl von Curven vollständig analysirt.

Als Beispiel gebe ich zunächst die analytischen Resultate aus den auf einer Tafel (No. 228) befindlichen Curven[1]) für den Vocal *A* auf die Noten von *G* bis d^1. Geschrieben war mit der starken Edison'schen Glasplatte bei starker Dämpfung. Um den Leser in den Stand zu setzen, die Genauigkeit der Analyse zu controliren, gebe ich zuerst die Ordinatenmessungen selbst.

Tabelle 1. Ordinaten für Vocal *A*, in Zehntel-Millimetern.

Note *G*.

0	4	12	13	7	2	2_5	7_5	10_5	9	4	3	4	8_5	9_5	5	4_5	6	7	6_5
5_5	6_5	7_5	7_5	7	7	7	7_5	7	6	6	7	7_5	7	6	5	5	9	10_5	7

Note *A*.

0	4_5	13_5	17_5	13_5	9	4	4	9	13	14	10	6	5	8	10_5	10_5	8_5	7_5	8
9	8_5	9	8_5	8_5	9	9	8	8	8_5	9	9	9	8_5	7_5	6	8	12	13	7

Note *H*.

0	5	13	20	18	14	8	3	4_5	10	15_5	18	14_5	7_5	3	6_5	13	16_5	11_5	8
9	10	10_5	11_5	10_5	8_5	10	10_5	11	10_5	10_5	10	9_5	8	9	11_5	16_5	15_5	7_5	2

Note *c*.

0	3	8_5	12	11	9	7	3	0	2	7	12	12_5	9	5	2	2_5	4_5	8	9_5
7	5	4_5	5	6	7	6	5	5	5	5_5	6	5_5	3_5	3	5	9	10	6	2

1) Leider konnte ich die analysirten Curven nicht reproduciren lassen, weil dieselben sämmtlich auf Papier sind, und die Blätter behufs der Messung meist zerschnitten werden mussten (vgl. Bd. 47, S. 46).

Note *d*.

0	5	11	17	16	13_5	11	7_5	4_5	3	6	11	14	15	13	9_5	6	4_5	6	10
12	12	10	8	8_5	9	9	9_5	9	9_5	10	9	7	6	8_5	12	15	14	10	3

Note *e*.

0	3_5	10	16	19_5	17_5	15	14_5	11	7	4	4_5	8	13	16_5	17_5	15	11	7	6
8	10	12	13_5	12	10	10	11	12	11_5	9	6	6	9	13_5	18	19_5	15	8	2

Note *fis*.

0	2_5	7_5	13	16	17	15	13	10_5	7	3_5	1	2_5	6_5	11_5	14_5	15_5	12_5	10_5	8
7	5	6	7	9_5	11	11	9_5	8_5	7	7	7	7_5	9_5	11_5	14	15	11_5	8	4

Note *g*.

0	1_5	5	8	10_5	11	10_5	10	9	7_5	5_5	2	0	1_5	4_5	9	12	12_5	10	7
5	3_5	3	3_5	5	6_5	8	8	6	4_5	3	3	5	7	9	9_5	9	6_5	4	2

Note *a*.

0	2	5	8_5	11	13_5	13	12	10_5	9_5	8	6_5	4	2_5	3	4_5	7	9_5	11	13
11_5	10	8_5	7	6	5_5	5_5	5_5	5_5	5_5	6	8	10	12	13_5	12_5	10_5	8	5	2

Note *h*.

0	1	3	5	7	9	10_5	11	10	8_5	7	5_5	4	2	1	2	3	4_5	7	9
10	10_5	9	7_5	6	5	3_5	2_5	1_5	1	3_5	6	9	11	13_5	12	9_5	5_5	3	1

Note c^1.

0	1	3_5	6	8_5	10_5	12	11	10_5	9_5	10	10	9_5	9	7	4_5	2	0	1	2
5	7_5	9_5	11_5	12_5	11_5	10_5	8	5_5	4_5	4_5	5_5	7	8_5	10	11	10	8	5	2

Note d^1.

0	1	2	5	7	9	10_5	11	10_5	10	9	8_5	8_5	8	8	7	6	5	3_5	3
2_5	4	4_5	5_5	7	7_5	7_5	8	9	9	9_5	9_5	10	9_5	9	8_5	7	5_5	3_5	1

Aus diesen Ordinaten berechnen sich folgende Werthe der Cosinus- und Sinus-Amplituden (a_r und b_r, vgl. Bd. 47 a. a. O.) der Partialtöne, wobei zu bemerken ist, dass a_0 als unwesentlich fortgelassen ist, und dass die angegebenen Werthe mit 200 zu dividiren sind, um die wirklichen Amplituden in Millimetern zu erhalten.

Tabelle 2. (Vocal *A*.)

Ordnungszahl:		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Note *G*	a	3	3	3	−7	1	−7	−44	−43	−4	−14	−2	−3	−4	−1
	b	−3	8	1	2	2	12	8	−26	−13	−4	−9	2	−2	−8
„ *A*	a	3	0	2	0	−17	−53	−47	−11	−15	−13	−5	−5		
	b	7	8	2	9	15	4	−33	−13	−1	−2	3	−3		
„ *H*	a	−5	−8	−17	−19	−62	−89	−1	−15	−5	8				
	b	9	4	8	16	40	−15	−20	26	−1	4				
„ *c*	a	1	4	3	−7	−66	−18	−9	−7	−11	−2				
	b	14	6	−2	23	12	−43	16	9	6	−4				
„ *d*	a	1	−1	−5	−38	−85	−13	−28	−2	−10	−3				
	b	7	4	−5	31	−25	−6	12	7	0	−6				
„ *e*	a	2	−4	−22	−107	−44	−26	−12	−6	1	6				
	b	8	3	14	−3	−33	38	6	−4	−7	−1				
„ *fis*	a	5	−1	−37	−97	−10	−18	−18	6	−2	0				
	b	3	6	35	−35	−6	6	0	−6	−4	−2				
„ *g*	a	−3	0	−42	−52	0	−12	−1	1	4	−1				
	b	13	−5	25	−45	26	7	−10	0	−2	−1				
„ *a*	a	2	−2	−96	−22	−19	−10	2	1	4	−3				
	b	1	3	4	−11	15	−7	−6	0	3	−2				
„ *h*	a	3	−4	−95	−21	−7	7	1	1	2	−1				
	b	−2	2	−32	10	16	2	2	1	−4	−4				
„ c^1	a	0	−42	−25	−46	−13	0	−3	2	−5	−3				
	b	2	29	−62	19	−6	−2	4	3	3	−2				
„ d^1	a	−1	−74	−32	−27	0	−4	2	−2	−2	1				
	b	1	3	−5	−3	−7	2	−1	−1	2	2				

Endlich ergiebt die Verwandlung dieser Cosinus- und Sinusschwingungen in einfache Sinusschwingungen folgende Amplituden ($c = \sqrt{a^2 + b^2}$) und Phasen ($q = \text{arc } tg\ a/b$) derselben:

Tabelle 3. (Vocal *A*.)

Ordnungszahl:			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Note *G*	Amplituden	c[1]	4,2	8,5	3,2	7,3	2,2	13,9	44,7	50,2	13,6	14,6
	Phasen	q[2]	−45°	22°	72°	−74°	27°	−31°	−80°	60°	17°	74°
„ *A*		c	7,6	8,0	2,8	9,0	22,7	53,1	58,3	17,0	15,0	13,1
		q	22	0	45	0	−48	−86	54	40	86	81
„ *H*		c	10,3	8,9	18,8	24,8	73,8	90,3	20,0	30,0	5,1	8,9
		q	−29	−63	65	−50	−57	80	3	−31	79	63
„ *c*		c	14,0	7,2	3,6	24,0	67,1	46,6	18,4	11,4	12,5	4,5
		q	4	33	−56	−17	−80	23	−29	−39	−61	27
„ *d*		c	7,0	4,1	7,1	49,0	88,6	14,3	30,5	7,3	10,0	6,7
		q	8	−14	45	−51	74	65	−67	−16	−90	27

1) In Zweihundertstel Millimetern.

2) In Graden.

	Ordnungszahl:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Note *e*	Amplituden c	8,2	5,0	26,1	107,0	55,0	46,0	13,4	7,2	7,1	6,1
	Phasen q	14	−53	−58	88	53	−60	−63	56	−8	−81
„ *fis*	c	5,8	6,1	50,9	103,1	11,7	19,0	18,0	8,5	4,5	2,0
	q	59	−9	−47	70	59	−72	−90	−45	27	0
„ *g*	c	13,3	5,0	48,9	68,8	26,0	13,9	10,0	1,0	4,5	1,4
	q	−13	0	−59	49	0	−60	6	90	−63	45
„ *a*	c	2,2	3,6	96,1	24,6	24,4	12,2	6,3	1,0	5,0	3,6
	q	63	−34	−88	63	−52	55	−18	90	53	56
„ *h*	c	3,6	4,5	100,2	23,3	17,5	7,3	2,2	1,4	4,5	4,1
	q	56	−63	72	−46	24	74	27	45	−27	14
„ c^1	c	2,0	51,0	66,9	49,8	14,3	2,0	5,0	3,6	5,8	3,6
	q	0	−55	22	−67	55	0	−37	34	−59	56
„ d^1	c	1,4	74,1	32,4	27,2	7,0	4,5	2,2	2,2	2,8	2,2
	q	−45	−88	81	84	0	−63	−63	63	−45	27

Die unter *q* angegebenen Phasenverschiebungen der Partialtöne haben zunächst kein ersichtliches Interesse; sie sind nur der Vollständigkeit halber und auf ganze Grade abgekürzt verzeichnet.

Unser Interesse concentrirt sich auf die unter *c* angegebenen Amplitudenverhältnisse der Partialtöne. Man sieht auf den ersten Blick, dass der stärkste Partialton keine constante Ordnungszahl hat, sondern mit zunehmender Notenhöhe auf immer niedrigere Ordnungszahlen rückt.

Bedenkt man, dass die wahre Amplitude nur $^1/_{200}$ der unter *c* angegebenen Zahlen beträgt, dass aber die Ordinatenmessung nur auf $^1/_{20}$ mm genau ist, so ergiebt sich ohne Weiteres, dass alle Werthe von *c*, welche kleiner sind als 10, vernachlässigt werden müssen, weil sie im Bereich der Fehlergrenzen liegen. Deshalb sind auch in der Tabelle überhaupt nur die 10 ersten Partialtöne berücksichtigt, weil in den höheren (ich habe bis zu 20 berechnet) keine über 10 liegenden Amplitudenwerthe vorkommen.

Ferner ist zur vollständigen Uebersicht der Resultate noch zu berücksichtigen, dass die Originalcurven naturgemäss etwas verschiedene Höhe haben; dieselbe ergiebt sich direct aus den Maximalordinaten jeder Note in der ersten Tabelle (z. B. für *G* 13, für *A* 17,5, für *H* 20 Zehntel-mm, u. s. f.). Es wird daher gut sein, alle überhaupt in Betracht kommenden Amplituden auf gleiche Intensitäten der Gesammtcurve, und zwar auf 2 mm zu reduciren. So entsteht die folgende Tabelle, welche die in Betracht kommenden Amplituden, und zwar für gleiche Intensitäten der Gesammt-

curven, also in jeder Hinsicht unter einander vergleichbar, in mm angiebt. Man erhält sie, wie man leicht einsieht, indem man dividirt: die Werthe der G-Reihe mit $\frac{20}{12 \,.\, 200}$, d. h. mit 120, die der A-Reihe mit $\frac{20}{17{,}5 \,.\, 200}$, d. h. mit 175, die der H-Reihe mit 200, u. s. f.

In der Tabelle ist ferner unter jeden in Betracht kommenden Partialton seine Note gesetzt worden.

Tabelle 4. (Vocal *A*.)

	Ordnungszahl: 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Note G	.	.	.		.	0,12 d^2	**0,37** $\langle$**f**^{2}	**0,42** **g**^{2}	0,11 a^2	0,12 h^2
„ A	.	.	.	.	0,13 cis^2	**0,30** **e**^{2}	**0,33** $\langle$**g**^{2}	0,10 a^2	0,09 h^2	0,08 cis^3
„ H	0,05 H	.	0,09 fis^1	0,22 h^1	**0,37** **dis**^{2}	**0,45** **fis**^{2}	0,10 $\langle a^2$	0,15 h^2	.	.
„ c	0,11 c	.	.	0,19 c^2	**0,54** **e**^{2}	**0,38** **g**^{2}	0,16 $\langle ais^2$	0,09 c^3	0,10 d^3	.
„ d	.	.	.	**0,29** **d**^{2}	**0,52** **fis**^{2}	0,08 a^2	0,18 $\langle c^3$	.	0,06 e^3	.
„ e	.	.	0,13 h^1	**0,55** **e**^{2}	**0,28** **gis**^{2}	0,24 h^2	0,07 $\langle d^3$	.	.	.
„ fis	.	.	**0,30** **cis**^{2}	**0,61** **fis**^{2}	0,07 ais^2	0,11 cis^3	0,11 $\langle e^3$	.	.	.
„ g	0,11 g	.	**0,39** **d**^{2}	**0,55** **g**^{2}	0,21 h^2	0,11 d^3	0,08 $\langle f^3$	.	.	.
„ a	.	.	**0,71** **e**^{2}	0,18 a^2	0,18 cis^3	0,09 e^3	.	.	.	.
„ h	.	.	**0,74** **fis**^{2}	0,17 h^2	0,13 dis^3	.	.	.	.	.
„ c^1	.	**0,41** **c**^{2}	**0,54** **g**^{2}	**0,40** **c**^{3}	0,11 e^3	.	.	.	.	.
„ d^1	.	**0,71** **d**^{2}	**0,31** **a**^{2}	0,26 d^3	.	.	.	.	.	

Amplitude und Note des stärksten Partialtons ist überall mit fetter, die des zweitstärksten Partialtons mit halbfetter Schrift angegeben. Man sieht auf diese Weise sogleich, dass der prävalirende Partialton durchweg zwischen e^2 und g^2 liegt.

Eine noch genauere Lagebestimmung des characteristischen Tons für A lässt sich unter der Voraussetzung ermitteln, dass der-

selbe nicht nothwendig ein harmonischer Oberton des Stimmtones ist, während die Fourier'sche Analyse selbstverständlich nur harmonische Obertöne ergeben kann. Nehmen wir an, dass ein nicht nothwendig harmonischer Ton auf die Obertöne des Stimmklanges einwirke, so wird er die ihm nächstliegenden am meisten verstärken. Unter dieser Voraussetzung wird sich seine Lage annähernd in folgender Weise bestimmen lassen. Wir denken uns die Reihe der Obertöne als äquidistante Punkte auf einer graden Linie, verlegen in jeden dieser Punkte eine Masse, deren Grösse der Amplitude des betr. Partialtones entspricht, und suchen den gemeinsamen Schwerpunkt dieser Massen. Dies geschieht einfach dadurch, dass wir jede Amplitude mit ihrer Ordnungszahl multipliciren, und die Summe dieser Producte durch die Summe der Amplituden selbst dividiren. Auf diese Weise erhält man z. B. für die Note G (mit Weglassung der Kommata):

$$\frac{6.12 + 7.37 + 8.42 + 9.11 + 10.12}{12 + 37 + 42 + 11 + 10} = 7{,}67,$$

d. h. der characteristische Ton würde am wahrscheinlichsten die 7,67fache Schwingungszahl des Grundtons G (98), d. h. $7{,}67 \cdot 98 = 752$ haben, würde also wenig über fis^2 (746) liegen. In dieser Weise durchgeführt ergiebt die Rechnung:

Tabelle 5. (Vocal *A*.)

Note.	Characteristischer Ton		
	Ordnungszahl	Schwingungszahl	Note
G 98	7,67	752	$\rangle fis^2$ (740)
A 110	6,96	766	$\rangle fis^2$ (740)
H 123,5	5,35	661	$\rangle e^2$ (659,3)
c 130,8	5,47	715	$\rangle f^2$ (698,5)
d 146,8	5,34	784	g^2
e 164,8	4,66	768	$\langle g^2$ (784)
fis 185	4,27	790	$\rangle g^2$ (784)
g 196	3,97	778	$\langle g^2$ (784)
a 220	3,70	814	$\langle gis^2$ (830,6)
h 246,9	3,41	842	$\rangle gis^2$ (830,6)
c^1 261,7	3,14	822	$\langle gis^2$ (830,6)
d^1 293,7	2,65	778	$\langle g^2$ (784)

Die relativ constante Lage des characteristischen Tones geht aus dieser Betrachtung noch überzeugender hervor. Das allmäh-

liche Ansteigen desselben mit der Stimmnote muss als ein blosser Zufall betrachtet werden, da es sich bei anderen Analysen, und auch bei anderen Vocalen, nicht zeigt. Wir dürfen also schliessen:

Der Vocal *A* ist characterisirt durch einen (in der Periode des Stimmtones in seiner Intensität oscillirenden, s. oben) Mundton, welcher zwischen e^2 und gis^2 liegt.

Die trotz aller von mir in der vorigen Abtheilung beschriebenen Erleichterungen sehr erhebliche Arbeit, welche eine vollständige Analyse nach Art der vorstehend durchgeführten erfordert, kann glücklicherweise erspart werden; um sie für eine grosse Anzahl von Tafeln durchzuführen, müsste man immerhin ein förmliches Bureau von Rechnern zur Verfügung haben.

Der characteristische Ton, zu dessen Ermittelung die Rechnung schliesslich führt, drückt sich in den Curven mit solcher Deutlichkeit unmittelbar aus, dass der Gedanke nahe liegt, ihn unmittelbar durch Ausmessung des Verhältnisses zwischen der Dauer der characteristischen Schwingung und der ganzen Periode auszumitteln.

Dies geschieht einfach folgendermaassen. Da die Geschwindigkeit des Cylinders, wie man sich erinnert, eine etwas beschleunigte ist, so misst man am besten die Länge zweier successiver Perioden (in summa), und zwar so, dass die zu messende Gruppe kleiner Schwingungen grade in der Mitte der gemessenen Länge liegt. Von den kleinen Schwingungen misst man nun ebenfalls die Länge einer Doppelperiode, und zwar in der Höhe der Axe. Dann wird sehr genau, wenn n die Schwingungszahl der Stimmnote, L die Länge einer Doppelperiode, l diejenige einer doppelten kleinen Schwingung ist, die gesuchte Schwingungszahl der letzteren sein:

$$x = \frac{L}{l} n.$$

Diese Messungen, welche ich im Folgenden kurz als „Proportionalausmessung" bezeichnen werde, lassen sich recht genau unter dem Miscroscop mittels Triebes und Fadenkreuzes ausführen, viel rascher aber, und fast ebenso genau, mittels eines sehr feinen Anlegemassstabes.

Als Beispiel führe ich eine auf diese Weise ausgeführte Messung derselben Tafel für den Vocal *A* an, deren vollständige Analyse oben gegeben worden ist.

Tabelle 6. (Vocal *A*.)

Note	*L* mm.	*l* mm.	Characteristischer Ton	
			Schwingungszahl	Note
G 98	18,5	2,4	756	$\rangle fis^2$ (740)
A 110	16,3	2,5	717	$\rangle f^2$ (698,5)
H 123,5	14,9	2,6	708	$\rangle f^2$ (698,5)
c 130,8	13,6	2,55	698	f^2
d 146,8	11,6	2,4	710	$\rangle f^2$ (698,5)
e 164,8	10,9	2,3	781	$\langle g^2$ (784)
fis 185	9,8	2,5	725	$\langle fis^2$ (744)
g 196	9,1	2,5	714	$\rangle f^2$ (698,5)
a 220	8,2	2,5	714	$\rangle f^2$ (698,5)
h 246,9	7,3	2,6	693	$\langle f^2$ (698,5)
c^1 261,7	6,8	?	?	
d^1 293,7	6,2	?	?	

Bei den beiden letzten Curven liess sich die kleine Schwingung nicht mehr sicher genug heraustrennen, um eine Messung zu vollziehen.

Bei der ungemeinen Verschiedenheit der Ermittlungsweise ist die Uebereinstimmung in den Ergebnissen der letzten und der vorletzten Tabelle genügend, um bei Curven dieser Art die letztere Behandlungsweise an Stelle der Fourier'schen Analyse treten lassen zu können, falls nicht letzterer ein besonderer Werth deswegen beizumessen ist, weil sie mehrere hervorragende Partialtöne ergiebt.

Ich glaube nun, dass grade im Gegentheil die wahre Characteristik der Vocalcurve aus der Fourier'schen Analyse am wenigsten erkennbar wird. Niemand würde z. B. in den Ergebnissen der Tabelle 3 solche schwebungsartigen Gestalten der Curven erkennen können, wie dieselben sie besitzen. Auch ist ja leicht einzusehen, dass 1. annähernd oder ganz schwingungslose Partien in der Periode sich nur durch ein complicirtes System von Partialtönen, welche sich grade in der betr. Periodenstrecke compensiren, ausdrücken können, und dass umgekehrt aus diesem System Niemand die schwingungslose Strecke herauserkennen wird; dass 2. wenn der characteristische Ton ein unharmonischer ist, wie es in der grossen Mehrzahl der Curven in der That der Fall ist, dieser Ton durch die Analyse gar nicht zum Vorschein kommen kann, weil dieselbe nur harmonische Partialtöne als Componenten ergeben kann.

Ich werde daher auch von den zahlreichen von mir ausgeführten Fourier'schen Analysen keine weiter mittheilen, sondern nur directe Messungen des characteristischen Tones, wie sie nach dem letztangeführten Verfahren gewonnen sind.

Der Vocal *O*.

Ich führe zunächst die Proportional-Ausmessung einer Tafel von über 2 Octaven (No. 229) an.

Tabelle 7. (Vocal *O*.)

Note	*L* mm.	*l* mm.	Characteristischer Ton: Schwingungszahl	Characteristischer Ton: Note
G 98	17,2	2,8	602	$< dis^2$ (622,3)
A 110	15,4	2,7	627	$> dis^2$ (622,3)
H 123,5	14,9	2,7	541	$< cis^2$ (554,4)
c 130,8	13,6	2,9	613	$< dis^2$ (622,3)
d 146,8	12,4	2,7	666	$> e^2$ (659,3)
e 164,8	11,4	2,9	648	$< e^2$ (659,3)
fis 185	10,0	3,0	617	$< dis^2$ (622,3)
g 196	9,3	2,9	629	$> dis^2$ (622,3)
a 220	8,5	2,9	645	$< e^2$ (659,3)
h 246,9	7,5	3,0	617	$< dis^2$ (622,3)
[1] c^1 261,7	7,4	3,3	587	d^2
d^1 293,7	6,3	2,9	638	$> dis^2$ (622,3)
e^1 329,7	5,5	(2,6)	(697)	$(< f^2)$ (698,5)
fis^1 370	4,8	(2,4)	(740)	(fis^2)
g^1 392	4,5	(2,25)	(784)	(g^2)
a^1 440	4,0	(2,0)	(880)	(a^2)

Sehen wir zunächst von den letzten, in Klammern eingeschlossenen Werthen ab, so springt in die Augen, dass der Vocal *O* einen zwischen den Noten d^2 und e^2 liegenden, vielleicht auch bis cis^2 herabgehenden characteristischen Ton hat. Der Ton von *O* liegt also etwa um eine Terz tiefer als derjenige von *A*.

Bei den höchsten gesungenen Noten steigt der Ton scheinbar rasch in die Höhe, und bildet einfach die Octave des Grundtons. In der That bestehen, wie dies auch die beigegebene Tafel

1) Von c^1 ab sang Herr Dr. Ehrenthal, und ich drehte den Cylinder, und zwar, wie sich aus der Rubrik *L* ergiebt, schneller als er bis dahin gedreht worden war.

zeigt, die Curven bei den höchsten Noten aus blossen regelmässigen Doppelschwingungen. Ich bemerke ausdrücklich, dass hier auch die Fourier'sche Analyse die Octave als allein hervorragenden Theilton ergiebt.

Indessen ist es wahrscheinlich, dass hier nur Unvollkommenheiten der Membran die Ursache sind, welche vermuthlich nicht die Schwingungen in a^1 440 mit der Schwingung in dis^2 622 vereinigen kann, und sich gegenüber dieser Einwirkung mit der Schwingung in a^1 und a^2 abfindet, während sie die unharmonische Schwingung in dis^2 mit jeder hinreichend langen Periode, wie die Tafeln zeigen, sehr wohl vereinbaren kann.

Der Vocal *U*.

Wie schon oben (S. 352) bemerkt, begegnet die Ausmessung der *U*-Curven wegen der oft schwach ausgeprägten Periodik gewissen Schwierigkeiten. Trotzdem habe ich eine Anzahl derselben bearbeitet, und gebe folgende Beispiele, welche verschiedenen Tafeln entnommen sind.

Tabelle 8. (Vocal *U*.)

Tafel	Note	*L*	*l*	Characteristischer Ton	
				Schwingungszahl	Note
216 (Eisen)	d 146,8	10,8	2,9	547	$\langle cis^2$ (554,4)
„	g 196	7,5	2,8	595	$\rangle d^2$ (587,4)
„	h 246,9	6,7	3,0	551	$\langle cis^2$ (554,4)
219 (Eisen)	d^1 293,7	5,6	2,8	587	d^2 (587,4)
221 (Glas)	d 146,8	10,0	2,4	612	$\langle dis^2$ (622,3)
„	g 196	8,1	2,8	567	$\rangle cis^2$ (554,4)
„	h 246,9	6,75	2,5	529	$\rangle c^2$ (523,3)
„	d^1 293,7	5,6	2,8	587	d^2 (587,4)
244 (Glimmer)	fis 185	6,4	1,8	658	$\langle e^2$ (659,3)

Von tieferen Noten als d besitze ich zwar zahlreiche Curven, aber keine, bei der sich die grosse Periode mit genügender Sicherheit herauserkennen lässt. Wenn aus den vorliegenden Messungen ein Schluss gestattet ist, so würde der characteristische Ton von *U* noch ein wenig (etwa 1 Tonstufe) tiefer liegen als derjenige von *O*. Ausserdem ist aber für *U* die Geringfügigkeit der Amplitudenschwankung höchst wahrscheinlich characteristisch.

Der Vocal *E*.

Hier ist die Proportional-Ausmessung des characteristischen Tones fast durchweg sehr leicht und sicher. Meist gehen, wie schon oben (S. 352) angeführt, die kleinen Schwingungen mit constanter Länge, aber wechselnder Höhe, durch die ganze Periode hindurch, so dass es in vielen Fällen genügt, sie einfach auszuzählen. Enthält z. B. eine *E*-Curve auf die Note *H* 16 kleine gleich lange Schwingungen, so ist offenbar der entsprechende Ton der 16. Partialton (15. Oberton) von *H*, d. h. h^3. Für solche Zählungen leistet eine Obertontabelle, die man sich für alle Töne anlegt, vortreffliche Dienste, also z. B.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12 etc.
C	*c*	*g*	c^1	e^1	g^1	$\langle ais^1$	c^2	d^2	e^2	f^2-fis^2	g^2 . .
Cis	*cis*	*gis*	cis^1	f^1	gis^1	$\langle h^1$	cis^2	dis^2	f^2	fis^2-g^2	gis^2. .
D	*d*	*a*	d^1	fis^1	a^1	$\langle c^2$	d^2	e^2	fis^2	g^2-gis^2	a^2 . .
Dis	*dis*	u. s. w.									

u. s. w.

Auf diese Weise habe ich eine ungemein grosse Zahl von *E*-Curven der verschiedensten Noten ausgezählt, und durchgängig h^3—c^4 als characteristischen Ton gefunden.

Genauer als das Auszählungsverfahren, welches voraussetzt, dass die in die Periode fallenden kleinen Schwingungen unter einander gleiche Länge haben, — was nicht immer der Fall ist, — ferner dass sie eine ganze Zahl ausmachen, was ebenfalls nicht stets zutrifft, ist die eigentliche Proportional-Ausmessung. Ueberdies bildet diese das einzige Mittel, wenn, wie es bei den tiefsten Noten *G*, *A*, *H*, *c* oft der Fall ist, die Curve aus graden Linien besteht, welche nur im Abstande einer Periode je 4—6 feine Zacken des hohen Tones zeigen, entsprechend dem schwebungsartigen Character, den auch die *E*-Curven durchweg zeigen. Nebenbei sei bemerkt, dass die *E*-Curven (besonders die Originaltafeln) zu den zierlichsten gehören, die man überhaupt erhält.

Ich gebe nunmehr auch hier einige Beispiele von Proportional-Messungen. Auch hier bedeutet *L* die Länge von 2 grossen, und *l* diejenige von 2 kleinen Perioden, jedoch habe ich von den letzteren, grösserer Genauigkeit halber, meist 4 oder auch 6 gemessen, was hier möglich ist, da meist so viel gleiche auf einander folgen, und das Resultat durch 2, resp. 3 dividirt. Ferner ist zu bemer-

ken, dass die Messung der kleinen Perioden aus naheliegenden Gründen stets wie bei den früheren Vocalen in der Gegend ihres Amplitudenmaximums erfolgte, weil hier sicher der characteristische Ton vorhanden ist, während in dem niedrigeren Theil der Curve wie schon bemerkt die Länge der kleinen Oscillationen nicht immer dieselbe ist wie im Maximum.

Tabelle 9. (Vocal *E*.)

Tafel	Note	*L*	*l*	Characteristischer Ton	
				Schwingungszahl	Note
230 (Eisen)	*G* 98	17,0	0,85	1960	< h^3 (1975)
	A 110	16,2	0,9	1980	> h^3 (1975)
	H 123,5	13,9	0,85	2020	> h^3 (1975)
	c 130,8	12,2	0,85	1995	> h^3 (1975)
	d 146,8	11,9	0,8	2055	< c^4 (2093)
	e 164,8	10,8	0,85	2094	c^4
	fis 185	10,5	0,9	2159	> c^4 (2093)
	g 196	9,5	0,9	2069	< c^4 (2093)
	d 220	8,2	0,9	2004	> h^3 (1975)
	h 246,9	7,4	0,85	2149	> c^4 (2093)
	c^1 261,7	7,0	?	—	—
	d^1 293,7	6,2	0,85	2142	> c^4 (2093)
	e^1 329,7	5,6	0,9	2052	< c^4 (2093)
	fis^1 370	4,7	?	—	—
	g^1 392	4,6	?	—	—
	a^1 440	4,0	?	—	—
243 (Glimmer)	*H* 123,5	9,8	0,6	2017	> h^3 (1975)
	c 130,8	9,1	0,6	1983	> h^3 (1975)
	d 146,8	8,8	0,6	2153	> c^4 (2093)
	e 164,8	7,5	0,6	2060	< c^4 (2093)
	fis 185	6,4	0,6	1973	h^3
	g 196	5,1	0,5	1999	> h^3 (1975)
163 (Glimmer)	*G* 98	18,4	0,9	2004	> h^3 (1975)
	d 146,8	13,0	0,9	2120	> c^4 (2093)
	h 246,9	7,8	0,9	2140	> c^4 (2093)
249 (Glimmer)	*H* 123,5	16,2	0,95	2106	> c^4 (2093)
	c 130,8	13,5	0,85	2077	< c^4 (2093)
	d 146,8	13,0	0,9	2072	< c^4 (2093)
	e 164,8	12,5	0,95	2169	< cis^4 (2218)
	fis 185	10,0	0,85	2177	< cis^4 (2218)
	g 196	10,5	0,95	2167	< cis^4 (2218)
	a 220	8,5	0,85	2200	< cis^4 (2218)
	h 246,9	8,5	0,95	2209	< cis^4 (2218)

Der Vocal *I*.

Um gute Curven von *I* zu erhalten, ist es noch mehr als bei *E* nöthig, die beiden Spalte so eng wie möglich, das Licht mässig, dagegen das Papier diesen Umständen gemäss höchst empfindlich zu machen, wozu ich die Mittel bereits angegeben habe (vgl. Bd. 47, S. 45). So war es mir möglich eine grosse Anzahl äusserst zierlicher *I*-Curven zu erhalten, in denen die feinen Zacken des hohen Obertons mit überraschender Schärfe erkennbar sind.

Von *E* unterscheidet sich das *I*, etwa in ähnlicher Weise wie *O* von *U*, durch geringeres Hervortreten der periodischen Amplitudenschwankung; so kommt es, dass bei den tiefsten Tönen, wie *G* und *A*, fast nur eine fortlaufende Reihe kleiner Oscillationen ohne Erkennbarkeit der Notenperiode erhalten wird. Von *H* ab tritt aber die Periodik unzweideutig, wenn auch schwach, hervor, wie auch das beigegebene Beispiel zeigt.

Jeder Sachkenner wird einsehen, dass bei solchen Curven eine Fourier'sche Analyse eine ganz unnütze Arbeit sein würde, selbst wenn man, wie es hier erforderlich wäre, 80—100 Ordinaten mässe. Dagegen führt sowohl das Auszählungs- wie auch das Proportional-Messungsverfahren mit Leichtigkeit zu brauchbaren Resultaten; für die Details des Verfahrens gilt genau das bei *E* Gesagte. Der characteristische Ton des *I* liegt in der 4. Octave.

Folgende Beispiele werden genügen.

Tabelle 10. (Vocal *I*.)

Tafel	Note	*L*	*l*	Characteristischer Ton	
				Schwingungszahl	Note
249 (Glimmer)	*H* 123,5	15,0	0,6	3087	$< g^4$ (3136)
	c 130,8	14,4	0,7	2691	$> e^4$ (2637)
	d 146,8	12,9	0,7	2705	$> e^4$ (2637)
	e 164,8	10,7	0,65	2713	$> e^4$ (2637)
	fis 185	10,1	0,7	2669	$> e^4$ (2637)
	g 196	9,8	0,75	2561	$< e^4$ (2637)
	a 220	8,5	0,75	2491	$> dis^4$ (2489)
	h 246,9	6,4	0,55	2873	$< fis^4$ (2960)
163 (Glimmer)	*G* 98	19,0	0,75	2483	$< dis^4$ (2489)
	d 146,8	12,5	0,8	2294	$< d^4$ (2350)
	h 246,9	7,8	0,8	2407	$> d^4$ (2350)

Anscheinend hat der characteristische Ton des *I* eine grössere Schwankungsbreite als derjenige des *E*; in den obigen Beispielen variirt er zwischen d^4 und g^4; ich besitze aber ziemlich viele Beispiele von Herabgehen bis c^4 und Hinaufgehen bis gis^4. Indess glaube ich, dass diese Schwankungsbreite nur scheinbar ist, wofür schon ihre Regellosigkeit spricht. Die kleinen Oscillationen sind nämlich in verschiedenen Theilen der Periode nicht von genau gleicher Länge, so dass das Resultat ziemlich von der willkürlichen Wahl der Maassstrecke abhängt; ihr Werth hat aber sehr grossen Einfluss auf das Resultat; setzt man z. B. in der Tabelle für H $l = 0{,}65$ statt 0,6, so erhält man als characteristischen Ton 2850, d. h. $\rangle f^4$, statt 3087. Vielleicht wäre das Auszählungsverfahren (s. oben S. 363) hier principiell richtiger, weil es gleichsam einen Mittelwerth der kleinen Schwingungsdauer liefert. Es ist von Interesse, die Resultate des Auszählungs- und des Proportionalmessungsverfahrens unmittelbar zu vergleichen, und ich gebe daher hier noch die Auszählung der in der vorigen Tabelle gemessenen *I*-Curven der Tafeln 249 und 163.

Tabelle 11. (Vocal *I*.)

Tafel	Note	Zahl der kleinen Oscillationen in der Periode	Characterist. Ton (*n*-ter Partialton zur Grundnote)
249	*H*	$n = 21$	$\rangle dis^4$
	c	19—20	dis^4—e^4
	d	18	e^4
	e	16	e^4
	fis	14—15	e^4—f^4
	g	12—13	d^4—e^4
	a	11—13	e^4—f^4
	h	12	g^4—gis^4
163	*G*	n=25	$\langle dis^4$
	d	16	d^4
	h	14	dis^4

Die Umlaute *Ae*, *Oe*, *Ue*.

Betreffs der Umlaute, namentlich des *Ae*, habe ich schon oben S. 352 bemerkt, dass mich meine Curven von denselben noch nicht befriedigen. Ich unterlasse es daher vorläufig, Messungs-

resultate über diese Laute mitzutheilen, obgleich ich auch von ihnen eine Anzahl Curven vorlege.

Schlussbemerkungen über die Gestalt der Vocalcurven.

Ich habe im Vorstehenden nur die hauptsächlichsten Charactere der von mir gewonnenen Vocalcurven angeführt. Die Frage, ob diese Charactere schon an sich das Wesentliche des Vocals ausmachen, wird weiter unten erörtert werden.

Kurz zusammengefasst würden die bisherigen Resultate lauten:

Die 5 Hauptvocale bestehen in einem relativ festen Mundton, welcher in der Periode des Stimmtones schwebungsartig in seiner Intensität oscillirt. Die Lage dieser Töne ist, nach der Höhe geordnet:

bei *U* c^2—d^2
„ *O* d^2—e^2
„ *A* e^2—gis^2
„ *E* h^3—c^4
„ *I* d^4—g^4.

Die Amplituden-Oscillation ist am stärksten bei *A*, dann *O*, am geringsten bei *I* und *U*; *E* steht in dieser Hinsicht in der Mitte.

Im Einzelnen ist nun noch folgendes zu bemerken. Die Art des Oscillirens der Amplitude scheint bei *A* und *O* etwas verschieden zu sein: oft bestehen die hervortretenden Gruppen bei den tiefen Tönen, d. h. innerhalb längerer Perioden, bei *A* aus einer etwas grösseren Zahl von Schwingungen als bei *O*; doch kann hierüber keine ganz bestimmte Regel aufgestellt werden; es fragt sich also, ob es sich um eine wesentliche Characteristik handelt. Ferner zeigt die Curve von *A*, *O* und *U* mit gewissen, und zwar gerade mit sehr steifen Membranen, zuweilen ausser ihrer schon angegebenen Characteristik, noch eine sehr grosse Anzahl aufgesetzter sehr feiner Zacken (vgl. Blatt 8 und 9 der Tafel), deren Auszählung einen sehr hohen Partialton, zwischen fis^4 und h^4 ergiebt. Da aber diese Erscheinung meistens fehlt, so vermuthe ich, dass es sich um Eigenschwingungen der Membran handelt. Endlich erscheint mit weniger steifen Membranen die characteristische Schwingungsfrequenz des *E* nicht einfach schwebungsartig in der Amplitude oscillirend, sondern auf eine gröbere Theilschwingung aufgesetzt, welche z. B. auf Tafel

210 für G 5, für H 4, für g 3mal in jeder Periode erfolgt, d. h. beziehungsweise den Partialtönen h^1, h^1, d^2 entsprechen würde. Auf Taf. 187 dagegen erfolgt sie bei H nur 3mal, bei g nur 2mal, entspricht also beziehungsweise fis^1 und g^1. In der beigegebenen Tafel liefert Blatt 2 ein Beispiel (3mal auf g, d. h. d^2). Da diese Erscheinung bei den steifsten Membranen ausbleibt, z. B. bei den dicken Edison'schen Glasplatten, so muss ich auch ihre Wesentlichkeit bezweifeln, zumal sie durchaus keine einigermaassen constanten Töne aufweist. Möglich wäre es auch, dass diese Oscillationen vom Timbre des Kehlklanges herrühren.

Untersuchung des Werthes der gewonnenen Aufzeichnungen.

Die peinlichste Prüfung erfordert offenbar die Frage, ob die erhaltenen Curven die Natur des Vocals überhaupt, und ob sie dieselbe vollständig wiedergeben.

Der nächstliegende Verdacht, welcher entstehen muss, wenn man beim Singen eines Vocals durch zwei Octaven hindurch eine sehr nahe constant bleibende Oscillation sieht, ist der, dass dieselbe den Eigenton der Membran, und nicht den characteristischen Ton des Vocals darstelle, zumal ja die Einmischung von Eigenschwingungen der Membranen schon wiederholt, und namentlich in den unmittelbar vorhergehenden Bemerkungen, behauptet worden ist. Allein dieser Verdacht wird sofort durch zwei Umstände vollständig beseitigt. Erstens ist die constante Oscillation eines bestimmten Vocales von den Dimensionen, dem Material, und der Spannung und Steifigkeit der Membran, wie hundertfältige Erfahrung zeigt, in hohem Grade unabhängig, sobald überhaupt die Membran zur Gewinnung brauchbarer Curven geeignet ist. Zweitens sind die characteristischen Schwingungen der verschiedenen Vocale, auch wenn sie auf dieselbe Membran gesungen, und auf derselben Tafel verzeichnet werden, gänzlich verschieden. Die Schwingungen wechseln also, kurz gesagt, nur mit dem Vocal, und nicht mit der Membran, können demnach nicht Eigenschwingungen der letzteren sein.

Ein zweites, weit erheblicheres Bedenken liegt darin, dass der Grundton des Vocalklanges so wenig ausgeprägt ist. A priori würde man wohl Schwingungsformen erwartet haben, in welchen

die Nebenerscheinungen innerhalb der Periode gegenüber dieser selbst sich unbedeutend ausprägen. Auch bei der Fourier'schen Analyse der Vocalcurven zeigt sich der Grundton, wie man aus den Tabellen S. 355 f. ersieht, verschwindend schwach vertreten, und doch hören wir ihn ja bei weitem stärker als alle Obertöne. Man wird geneigt sein anzunehmen, dass die Membranen wegen ihrer Steifigkeit die tiefen Partialtöne weit schlechter aufnehmen als die hohen, und daher unnatürliche Curven geben, welche von dem wahren Vorgange, den z. B. das Trommelfell unzweifelhaft in aller Strenge, oder wenigstens in maassgebendster Weise zur Darstellung bringt, wesentlich abweichen. In der That wird diese Auffassung scheinbar dadurch unterstützt, dass beim Singen auf sehr hohe Noten die Grundschwingung entschieden deutlicher hervortritt.

Diese Betrachtung habe ich mir beständig vorgehalten, bin aber immer wieder durch die unzweifelhafte Thatsache daran irre und für die Treue meiner Curven eingenommen worden, dass das Telephon, und ganz besonders der Phonograph, mit ihren mindestens ebenso steifen Membranen, doch die Vocalcharactere vollkommen wiedergeben, und dabei doch, wie das Phonogramm eines gesungenen Liedes zeigt, auch der Notenhöhe, d. h. dem Grundton, vollkommen Rechnung tragen.

Controllversuche mit dem neuen Edison'schen Phonographen.

Entscheidend würde es sein, wenn man das Phonophotogramm gewissermaassen zum Tönen bringen könnte, wenn etwa die Curve ausgeschnitten, durch eine König'sche Wellensirene auf ihre acustische Wirkung untersucht werden könnte. Da hieran vorläufig nicht zu denken ist, so habe ich gewissermaassen den umgekehrten Weg eingeschlagen, nämlich die Schwingungen der Hörplatte des neuen Phonographen, unter gleichzeitiger Controlle ihrer Wirkung auf das Ohr, photographisch aufgenommen.

Zu diesem für meine Untersuchung äusserst wichtigen Versuch miethete ich auf zwei Tage einen Edison'schen Phonographen (Patent von 1888), welcher hier öffentlich vorgeführt worden war, und besang zunächst einen Cylinder mit sämmtlichen Voca-

len (und einigen anderen Lauten) auf die Note *G*, und überzeugte mich von deren tadelloser Wiedergabe. Jeder Vocal nahm etwa 20—25 Umgänge des Cylinders ein, unter Einhaltung regelmässiger Zwischenräume zwischen je zwei Vocalen. Die grösste Schwierigkeit machte demnächst die Aufstellung des Apparates in derjenigen Stellung, welche für die photographische Aufnahme erforderlich war. Die Glasplatte des Hörorgans musste nämlich für meine Zwecke annähernd vertical stehen, während sie am Phonographen eine stark geneigte Stellung hat (vielleicht 45° gegen den Horizont; leider habe ich versäumt, mir den Winkel zu merken). Der ganze Phonograph musste demnach sehr stark gekippt (und zugleich erhöht) aufgestellt werden. Nun wird aber die Hörplatte sammt ihrem Läufer beim neuen Phonographen durch eine in einem Charnier aufgehängte schwere Platte („Falle") gegen den Cylinder gedrückt, und durch das Kippen des Apparats verminderte sich das wirksame Moment dieser Falle, und würde bei völliger Verticalstellung der Glasplatte geradezu Null geworden sein. Es musste daher, unter beständiger Controlle mittels des Hörschlauches, eine Stellung gesucht werden, bei welcher die Falle noch genügend Moment hatte um die Vocale gut hören zu lassen, und doch die Glasplatte soweit vertical stand, als es für den optischen Theil des Versuches unumgänglich nöthig war. Zum Glück wurde eine solche Compromissstellung gefunden.

Die Hörfassung der sog. Brille des Phonographen hat einen ziemlich engen Stutzen zum Ansatz des Hörschlauches. Dieser musste entfernt werden, da der Eintritt und die Zurückwerfung des Lichtstrahls eine weite Oeffnung erfordert. Statt dieses Theiles wurde ein dafür angefertigter Ring eingesetzt, der den radialen Glimmersteg sammt Spiegelchen trug, und die Spitze des Steges wurde wie gewöhnlich mit der Mitte der Membran durch einen Holzsplitter verbunden. Auch jetzt noch konnte durch blosses Anlegen der Fassung des Hörschlauchs jederzeit die Hörbarkeit des Phonogramms controlirt werden.

Eine weitere Schwierigkeit erheblicherer Art bestand darin, dass die Brille, also mit ihr das Spiegelchen, beim Abhören des Phonogramms sich längs des Cylinders fortbewegt, während bei den gewöhnlichen Versuchen das Spiegelchen still steht. Man muss also nicht allein während des Versuches beständig mit der Lampe dem Spiegel folgen, sondern es bewegt sich auch das Spaltbild-

chen auf dem Horizontalspalt fort, so dass die Curven auf dem Papier etwas ansteigen. Die vor dem Spiegelchen befindliche Convexlinse wurde einfach auf der Fassung der Brille mit Klebwachs befestigt; auf die Collectivlinse am Spalt (s. Bd. 47, S. 45) musste begreiflicherweise verzichtet werden. Die Trittvorrichtung des Phonographen[1]) wurde mit der Hand bewegt.

Trotz dieser Häufung von Schwierigkeiten gelang es schliesslich, zwar nicht elegante, aber doch in der Hauptsache genügende Phonophotogramme der Hörplatte zu erhalten. Herr Dr. Ehrenthal leistete mir bei diesen mühevollen Versuchen wesentlichen Beistand. Von jedem Vocale wurden 2—3 Curven gezeichnet (die von *O* misslangen zufällig sämmtlich).

Diese Curven zeigen nun ganz denselben schwebungsartigen Character wie die früher beschriebenen. Zu genauen Messungen sind dieselben der Mehrzahl nach nicht geeignet. Jedoch sieht man ganz deutlich, dass die Zahl der auf die Periode fallenden Oscillationen bei *E*, *I*, *Ae* weit grösser ist als bei *A*. Bei einer *A*-Curve liess sich durch Proportionalmessung feststellen, dass die kleine Periode sich zur grossen wie $1 : 8^1/_2$ verhält, was als characteristischen Ton *gis*^{2} ergeben würde, also in hinlänglicher Uebereinstimmung ist mit den früheren Resultaten.

Noch erfreulichere Uebereinstimmung ergab die microscopische Untersuchung des Phonogramms selbst. Ich habe im Institut zwei mit Vocalen besungene Wachscylinder[2]) zurückbehalten, darunter auch denjenigen, mit welchem der eben erwähnte Versuch angestellt war. Schiebt man einen solchen Cylinder auf ein Rundholz, das in einem Stativ horizontal eingeklemmt ist, und befestigt man über demselben den Tubus eines Microscops, so kann man bei geeigneter Beleuchtung mit schwacher Vergrösserung das Phonogramm genau betrachten. Es besteht z. B. bei *A* in länglich runden Eingrabungen von regelmässigem Abstande, an das bekannte „Eierschnur-Ornament" erinnernd,

1) S. dies Archiv Bd. 47, S. 43.

2) Der Ausdruck Wachscylinder soll natürlich nur die Composition kurz bezeichnen, aus der die Cylinder bestehen. Meine Cylinder sind chocoladenbraun, während die Cylinder des von mir in Berlin gesehenen Phonographen aus einer gelblich-weissen Masse bestehen und tiefere Furchen des Phonogramms besitzen.

welche periodisch zu seichteren längeren Furchen verschmelzen [1]). Bei *E* und *I* sind die Eingrabungen kleiner, rund und dichter gedrängt (perlschnurartig), am dichtesten bei *I*, und auch hier sieht man auf das deutlichste periodische Unterbrechungen der perlschnurartigen Bilder.

Behufs genauerer Messungen bemühte ich mich zuerst vielfach, aber vergebens, brauchbare Vergrösserungen auf photographischem Wege herzustellen. Die Versuche scheiterten, obwohl ich electrische Beleuchtung zu Hülfe nahm, an der Unmöglichkeit, ein hinreichend langes Stück der Phonogrammlinien mit gleichmässiger Beleuchtung in den Focus zu bringen. Die Wölbung des Cylinders bietet zu grosse Schwierigkeiten.

Dagegen gelang es mir, zur Messung brauchbare Abgüsse, welche sich in der Ebene aufrollen lassen, herzustellen. Ich verwende dazu eine 10procentige Gelatinelösung, welche warm mit etwas Lösung von Methylenblau versetzt wird. Sobald die Masse soweit abgekühlt ist, dass sie dem Gelatiniren nahe ist, wird sie auf die Oberfläche des horizontal (s. oben) befestigten Cylinders dick aufgegossen, und einen Tag lang ruhig stehen gelassen. Nach vollständigem Eintrocknen bildet sie dünne blaue Membranen, welche sich fast von selbst ablösen, und jedenfalls mit Leichtigkeit abgezogen werden können. Man kann die zu untersuchenden Stücke dieser Membranen leicht auf einen Objectträger eben aufkleben (mit einigen Klebwachstupfen am Rande der Membran). Natürlich muss die dem Cylinder zugewandte Seite, welche die Eindrücke des Phonogramms als Buckel zeigt, nach oben sehen. Photographische Vergrösserungen konnte ich auch von diesen Membranen nicht herstellen. Dagegen sind sie zur micrometrischen Messung bei auffallendem Licht (auf schwarzer Unterlage) gut brauchbar.

Schliesslich zerbrach ich den Cylinder und legte kleinere Stücke desselben auf den micrometrischen Objecttisch, den ich früher beschrieben habe. Auch hier war eine Messung trotz der Wölbung gut möglich. Die Resultate dieser und der Abgussmessungen stimmten sehr genau überein.

---

1) Genauer kommen im Phonogramm des *A* auf jede Periode zwei solche Verschmelzungen, von denen die eine eine und die andere zwei Oscillationen unterdrückt.

Für den Vocal *A* betrug z. B. bei einer solchen Messung die Länge der Perioden im Durchschnitt vieler Einzelmessungen 3,65 mm, der Abstand der Mitten je zweier Kuppen ebenso 0,45 mm. Die Länge der Periode beträgt also wenig über 8 mal diejenige der Obertonperiode, woraus der characteristische Ton sich zu etwas über g^2 ergiebt.

Für den Vocal *E* war die Periodenlänge ebenfalls im Durchschnitt 3,65 mm, der Abstand der kleinen runden Kuppen 0,19 mm, woraus sich als characteristischer Ton ein zwischen ais^3 und h^3 gelegener ergiebt, also ziemlich nahe dem durch die photographischen Versuche gefundenen.

Die Periodenlänge stimmt übrigens sehr gut zu derjenigen, welche sich aus dem Gange des Phonographen berechnet. Der Cylinder hat einen Durchmesser von 53 mm, und machte beim Besingen 130 Umdrehungen p. min. Der Stift legte also in einer Secunde den Weg $53.130.\pi/60$ und während einer Schwingung von *G* den Weg $130.53.\pi/60.98 = 3{,}68$ mm zurück.

Diese Versuche mit dem Phonographen machen es wie mir scheint zweifellos, dass die phonophotographischen Curven das Wesentliche des Vocalcharacters wirklich genügend darstellen.

Hiermit muss ich mich vor der Hand begnügen. Es unterliegt aber keinem Zweifel, dass noch viele Feinheiten des acustischen Vorgangs existiren, welche das Phonogramm entweder nicht wiedergiebt, oder welche aus ihm vorläufig nicht herauszulesen sind. Das Timbre des Stimmklanges müsste im Phonogramm doch ebenfalls seinen Ausdruck finden und möglicherweise liegt hierin der Hauptwerth der vollständigen Fourier'schen Analysen, welche ausser dem characteristischen Ton noch zahlreiche schwache Partialtöne aufweisen. Aber erst die Vergleichung zahlreicher Analysen von demselben Vocal, derselben Note, aber verschiedenen Stimmen könnte darüber Aufschluss geben, was von den Partialtönen etwa noch zur Characteristik des Vocals an sich gehört. An diese Aufgabe wird man aber erst herantreten können, wenn man eine nach Art des Trommelfells absolut treu registrirende Membran gefunden haben wird. Zunächst, glaube ich, muss man zufrieden sein, wenn die wichtigsten Characteristica der Vocale in erster Annäherung festgestellt sind.

Beziehung der Ergebnisse zu den bisherigen Vocaltheorien. Neue Vocaltheorie.

Vor Allem bestätigt die vorliegende Untersuchung die zuerst von Helmholtz 1863 aufgestellte Behauptung, dass das Wesentliche der gesungenen Vocale in festen oder relativ festen Tönen liegt, welche mit dem Stimmklange sich verbinden[1]). Jedoch sind die von mir gefundenen characteristischen Töne zum Theil sehr verschieden von den Mundtönen, welche andere Untersucher durch directes Prüfen der Mundhöhle auf ihre stärkste Resonanz gefunden haben. Ich stelle diese Töne im Folgenden übersichtlich zusammen:

Vocal	Graphisch festgestellte charact. Töne (Hermann)	Mundtöne nach Donders[2])	Helmholtz[3])	König[4])	Auerbach[5])
A	e^2—gis^2	b^1	b^2	b^2	f^2
E	h^3—c^4	cis^3	f^1, b^3	b^3	a^1($-g^1$)
I	d^4—g^4	f^3	f, d^4	b^4	f^1
O	d^2—e^2	d^1	b^1	b^1	a^1
U	c^2—d^2	f^1	f	b	f^1

Hierzu ist zu bemerken, dass die Resultate Auerbach's durch Percutiren des Kehlkopfs bei Vocalstellung des Mundes gefunden sind, und die bei *E* und *I* von Helmholtz gefundenen

1) Die Lehre von den Tonempfindungen etc. Braunschweig 1863. Schon die Abhandlung in den Annalen der Physik Bd. 108. S. 280. 1859 enthält (S. 287 f.) die Andeutung der Characteristik durch feste Partialtöne, während ein Schreiben von Helmholtz an Donders, im Arch. f. d. holländ. Beitr. Bd. 1, S. 354. 1858, noch das Wesentliche der Vocale in Relativverhältnissen der Partialtöne sieht. Für die Schwierigkeit des Gegenstandes giebt es wohl kaum eine bezeichnendere Thatsache, als dass ein Forscher wie Helmholtz nach einander drei verschiedene Ansichten über die Natur der Vocale direct oder indirect (die Arbeit von Auerbach ist unter Leitung von Helmholtz ausgeführt) ausgesprochen hat.

2) Arch. f. d. holländ. Beitr. Bd. 1, S. 157. 1858.

3) Tonempfindungen S. 166 ff.

4) Comptes rendus 1870, 25. April. Fast ebenso genau ist nach ihm die Reihe der c ($^1/_2$ Ton höher); vgl. König, Quelques expériences d'acoustique. Paris 1882. p. 44.

5) Ann. d. Physik, N. F. Bd. 3, S. 154. 1878.

hohen Töne, weil sie dem vorderen Mundraum angehören, bei diesem Verfahren nicht zur Wahrnehmung gelangen können.

Meine Untersuchungen stimmen hinsichtlich des *E* und *I* sehr gut zu den Angaben von Helmholtz und von König. Beim *E* liegt das von beiden angegebene b^3 mitten in dem von mir gefundenen Bereich h^3—c^4. Beim *I* erreicht das Helmholtz'sche d^4 grade die untere Grenze meiner Strecke d^4—g^4, während das König'sche b^4 ziemlich oberhalb dieser Strecke liegt. Die Existenz characteristischer tiefer Töne für *E* und *I*, wie sie Helmholtz und Auerbach finden, muss ich für die lauten Vocale bezweifeln (vgl. S. 367 f.); auch König findet sie nicht. Ausserdem stimmen die Angaben von Helmholtz und Auerbach in diesem Punkte sehr wenig unter einander überein. Es scheint mir überhaupt schwer zu beweisen, dass die so ungemein lauten und leicht zu constatirenden Töne beim Auerbach'schen Versuch für die Entstehung der Vocale wirklich Bedeutung haben.

Was die Vocale *A*, *O*, *U* betrifft, so stimmt die von mir gefundene Tonhöhe e^2—gis^2 gut zu der Angabe von Auerbach (f^2) und leidlich zu derjenigen von Helmholtz und König (b^2). Dagegen liegen meine Töne für *O* und *U* sehr viel höher als die Angaben von Helmholtz, Auerbach und König, welche übrigens unter einander wiederum die grössten Abweichungen zeigen.

Principiell wird festzuhalten sein, dass, wenn auch das Wesentliche des Vocals in relativ festen Mundtönen liegt, doch die Art, wie die Mundhöhle zum Tönen gebracht wird, auf die Höhe ihres Tones von Einfluss sein muss, besonders wenn die verschiedenen Theile des complicirten Hohlraumes verschiedene Eigentöne haben, dass daher nur solche Versuche mit den lauten Vocalen in unmittelbaren Vergleich gestellt werden dürfen, bei welchen der Mund durch einen exspiratorischen Luftstrom angeblasen wird. Die Resonanz der Mundhöhle gegen vorgehaltene Stimmgabeln (Helmholtz, König) oder gegen Erschütterungen der Kehlkopfknorpel (Auerbach) kann, meine ich, ganz andere Töne ergeben als das Anblasen beim Flüstern oder Singen von Vocalen. Die einfache Bestimmung der Tonhöhe geflüsterter Vocale scheint mir daher die allein massgebende, wenn auch relativ ungenaue Methode.

Nach dieser Methode, welche bekanntlich besonders von Donders benutzt worden ist, habe ich vielfach die Tonhöhe der

geflüsterten Vocale *A*, *O* und *U* zu bestimmen gesucht. (*E* und *I* sind hierzu weniger geeignet; auch ist hier die Frage durch die Uebereinstimmung meiner photographischen Ermittelungen mit den Resonanztönen von Helmholtz genügend entschieden.) Ich bediente mich einer Labialpfeife mit verschiebbarem Stopfen, welche von a^1 bis etwas über c^3 reicht. Ganz unbefangene Personen von gutem musikalischem Gehör wurden, während ich abwechselnd den Vocal flüsterte und beständig veränderte Pfeifentöne erzeugte, gefragt, bei welchem Pfeifenton die Uebereinstimmung am grössten war. Die Ergebnisse waren häufig in ganz überraschender Uebereinstimmung mit meinen oben angegebenen Befunden (d. h. die Töne für *A* und *O* fielen in den Anfang der zweiten Octave, während sie in anderen Fällen tiefer angegeben wurden. Jedenfalls kann in den Mundtönen beim Flüstern kein Einwand gegen die Ergebnisse der Curven gefunden werden.

Ueber die zahlreichen Arbeiten, welche das Characteristische des Vocals in Verhältnissgrössen der Partialtöne finden, wie die von Schneebeli, v. Qvanten, Preece und Stroh[1]), werde ich mich hier nicht verbreiten. Dieser Standpunkt scheint mir nunmehr nach meinen Versuchen definitiv unhaltbar, und es hat wenig Nutzen, die Ursachen, welche zu diesen Resultaten geführt haben, näher zu untersuchen.

Auch verweise ich auf meinen Versuch mit variirten Geschwindigkeiten am Edison'schen Phonographen[2]), welcher diesen Standpunkt ebenfalls ferner unmöglich macht.

Es wären nun noch diejenigen Arbeiten zu erwähnen, welche sowohl absolute wie relative Partialtöne bei der Erzeugung des Vocals eine Rolle spielen lassen. Die Untersuchung von Grassmann[3]) beruht auf der meiner Ueberzeugung nach unsichersten Methode, nämlich auf der Analyse lauter Vocalklänge mit dem unbewaffneten Ohre. Selbst bei so ausgezeichnetem musikalischen Gehör, wie es offenbar Grassmann besitzt, könnten die Ergebnisse doch nur dann überzeugend wirken, wenn sie mit denjenigen anderer objectiverer Methoden einigermaassen übereinstimmten,

1) Vgl. auch oben die Anmerkung zu S. 374.

2) Vgl. dies Archiv Bd. 47, S. 42.

3) Ann. d. Physik, N. F. Bd. 1. S. 606. 1876. (Abriss der älteren Arbeit von 1854.)

was aber durchaus nicht der Fall ist. Ausserdem leidet die Grassmann'sche Vocallehre trotz ihrer scheinbaren Exactität an gewissen Uebelständen. Nach Grassmann besteht die Characteristik des *A* in der Entwicklung vieler Obertöne (etwa die ersten 8), dagegen die von *U*, *Ue*, *I* in dem Hervortreten eines einzigen Obertones, dessen Lage mit Veränderung des Vocalcharacters variirt. Für *U* characteristisch seien Obertöne unterhalb c^3, für *Ue* solche zwischen c^3 und e^4, für *I* solche über e^4. Auf die Note *c* kann man hiernach 7 verschiedene Arten von *U*, 12 verschiedene Arten von *Ue* und eine fast unbegrenzte Zahl von *I* singen. Ist soweit die Lehre wenigstens klar und auf einfache Beobachtungen gegründet, so wird sie complicirt und sehr willkürlich hinsichtlich der Zwischenvocale *O*, *Oe*, *E*, welche Grassmann nach dem bekannten Schema des älteren du Bois-Reymond

O_U
A_Oe_Ue
E_I

annimmt. Bei diesen Zwischenvocalen sollen diejenigen Obertöne der Stimmnote verstärkt sein, welche von den dieser Note entsprechenden Obertönen des *A*, und dem Oberton des andern Vocals (*U*, *Ue*, *I*) gleich weit abstehen (in Wirklichkeit ist die Berechnung eine etwas complicirtere, s. die citirte Abhandlung S. 615 f.). Dies Verhalten erscheint recht schwer begreifbar, widerlegt sich aber meiner Ansicht nach schon dadurch, dass die Anzahl der möglichen *O* auf die Note *c* nach Grassmann's Berechnung sehr klein ausfallen würde[1]), während die Anzahl der *U* auf *c* nach ihm 7 ist. Nun ist aber in Wirklichkeit, wie Jeder zugeben wird, die Anzahl der *O*-Arten, die man auf eine Note singen kann, doch mindestens ebenso gross, wenn nicht grösser als die der *U*-Arten; denn alle Arten des *Ao* würden ebenfalls hierher zählen.

---

1) Die genaue Ausrechnung nach Grassmann's Vorschriften ergiebt Folgendes. In der obersten Querreihe stehen die 7 *U*, die auf die Note *c* möglich sind; der Index stellt den characteristischen Ton dar. Die Verticalreihen enthalten die danach berechneten Töne für die entsprechenden *O*-Laute; hierin heisst *i* ein Intervall von $^1/_2$ Ton. Diejenigen Töne, welche Obertöne sind, sind stark angegeben. Man sieht, dass es nur 2 von den betr. *U* verschiedene *O* auf die Note *c* geben würde. (Siehe umstehend.)

Lahr[1]) hat unter Leitung von Sohncke Versuche nach verschiedenen Methoden angestellt, welche die Grassmann'sche Lehre nach der Meinung des Verfassers im Wesentlichen bestätigen. Bezüglich der Versuche mit der Resonanz von Stimmgabeln vor dem Munde verweise ich auf die oben gemachte Bemerkung, dass diese Methode, wie auch Lahr zugiebt, für die Lehre von den lauten Vocalen wenig maassgebend ist.

Die Hauptarbeit hat Lahr, wie schon vor ihm Jenkin und Ewing[2]), auf die Uebertragung der Stanniolеindrücke des älteren Phonographen in Curven verwandt, die er in die Fourier'schen Partialschwingungen zerlegte (mit nur 16, dann 24 Ordinatenmessungen, wohl eine zu geringe Zahl). Er bediente sich zur Uebertragung

U_{c_1}	U_{g_1}	U_{c_2}	U_{e_2}
$c_1 = \mathfrak{c}_1$	$g_1 = \mathfrak{g}_1$	$c_2 = \mathfrak{c}_2$	$e_2 = \mathfrak{e}_2$
$c_1+3^1/_2 i$	$g_1+2^1/_2 i$	$c_2+2i = d_2$	$e_2+1^1/_2 i$
$c_1+6i = fis_1$	$g_1+4^1/_2 i$	$c_2+3^1/_2 i$	$e_2+3i = \mathfrak{g}_2$
$c_1+3i = gis_1$	$g_1+6i = cis^2$	$c_2+5i = f_2$	$e_2+4i = gis_2$
$c_1+9^1/_2 i$	$g_1+7^1/_2 i$	$c_2+6i = fis_2$	
$c_1+11i = h_1$	$g_1+8^1/_2 i$		
$c_1+12i = \mathfrak{c}_2$			

U_{g_2}	U_{b_2}	U_{c_3}
$g_2 = \mathfrak{g}_2$	$b_2 = \mathfrak{b}_2$	$c_3 = \mathfrak{c}_3$
$g_2+1^1/_2 i$	$b_2+i = h$	
$g_2+2^1/_2 i$		

Nun deutet zwar Grassmann an, dass der Zwischenpartialton auch anders als in der Mitte zwischen den Partialtönen von *U* und *A* liegen könnte; aber selbst mit dieser ziemlich willkürlichen Annahme gelangt man zu einer zu kleinen Anzahl von *O*-Lauten im Vergleich zu der Zahl der *U*-Laute.

1) Ann. d. Physik, N. F. Bd. 27, S. 94. 1886.

2) Nature Bd. 18, S. 340, 394. 1878; Transactions Roy. Soc. Edinb. Bd. 28. S. 745, Taf. 34—40. 1879. Die Curven von Jenkin u. Ewing sind, wie ich auf Grund der meinigen behaupte und wie es nach der Methode gar nicht anders zu erwarten war, nur unvollkommene Wiedergaben des Vocalcharacters. Für *E* und *I* sind von diesen Autoren gar keine Curven gewonnen, wenigstens keine veröffentlicht worden.

des Marey'schen Tambours; indessen vermisst man Angaben über die Zuverlässigkeit dieses Verfahrens, da beide in Betracht kommende Membranen höchst wahrscheinlich sich mit Eigenschwingungen einmischen. Jedenfalls können die Ergebnisse nicht concurriren mit Versuchen, bei denen nur Eine Membran direct schreibt, während hier nicht weniger als drei Membranen im Spiele sind. Lahr giebt an, dass seine Curven denjenigen von Jenkin und Ewing nicht nachstehen; letztere aber sind, soweit mitgetheilt, nichts weniger als zuverlässige Wiedergaben der Vocale [1]).

Auerbach hat in seiner bekannten Arbeit [2]), in welcher er die Vocalklänge mit Resonatoren zu analysiren suchte, die Helmholtz'sche Lehre dahin modificirt, dass ausser absoluten Tonhöhen auch relative Verhältnisse der Partialtöne für den Vocal maassgebend sind. Die ersteren steigen nach ihm in der Reihenfolge *U*, *O*, *A*, *E*, *I* von etwa 400 bis 1000 Schwingungen, d. h. von g^1 bis c^3. Hinsichtlich der Relativwerthe findet er, dass bei allen Vocalen der Grundton am stärksten ist, und verschieden rasch mit steigender Nummer der Partialtöne die Intensität abnimmt. In der Raschheit dieser Abnahme ist der erste Vocal *U*, dann folgen wiederum *O*, *A*, *E*, *I*. Die Vocaltheorie würde, wenn diese Resultate richtig wären, eine grosse Complicirtheit annehmen. Ich selber stosse mich hauptsächlich an der Behauptung, dass der erste Partialton stets der stärkste ist; ich selber habe ihn (s. oben) durchgehends verschwindend schwach gefunden. Auch von der Auerbach'schen Methode, welche auf der doch gewiss äusserst unsicheren quantitativen Abschätzung des Intensitätsverhältnisses,

---

1) Nachträgliche Anmerkung. Die soeben erschienene sorgfältige Arbeit von Eichhorn (Ann. d. Physik, N. F. Bd. 39. S. 148. 1890) berichtet über angeblich befriedigende Versuche mit Production von Vocalen mittels einer Wellensirene, deren Bleche Curven besassen, die nach den numerischen Angaben von Lahr, Jenkin und Ewing und von Schneebeli berechnet waren (offenbar wäre es viel fehlerloser gewesen, die Originalcurven zu benutzen, welche z. B. in der Jenkin-Ewing'schen Arbeit publicirt vorliegen). Dass die Ergebnisse des Vfs. die Grassmann'sche Theorie bestätigen sollen, wird, sobald man die colossal summirten Umwege des Versuches in Betracht zieht, kaum einen überzeugenden Eindruck machen.

2) Ann. d. Physik. Ergänzungsband 8, S. 177. 1876.

in welchem Resonatoren hörbar werden, beruht, muss ich urgiren, dass sie mit rein objectiven Methoden nicht concurriren kann.

Nach dieser kurzen Uebersicht scheint mir von den bisherigen Vocaltheorien nur die Helmholtz'sche als in der Hauptsache richtig übrig zu bleiben; d. h. die Vocale werden ausschliesslich durch feste, oder nur in sehr engen Grenzen sich verschiebende Töne characterisirt. In Bezug auf die Lage dieser Töne weichen meine Befunde allerdings von den Helmholtz'schen in einzelnen Punkten wesentlich ab, wie oben angegeben worden ist, und mehr noch darin, dass ich durchgängig nur Einen Ton für jeden Vocal finde, also auch für *E* und *I*, für welche Helmholtz je zwei Töne findet; der hohe dieser beiden wird durch meine Versuche bestätigt.

Aber in einem wesentlichen Punkte bringen meine Versuche gegenüber den Helmholtz'schen etwas Neues und Abweichendes. Nach Helmholtz machen sich bei den gesungenen Vocalen die characteristischen Töne des Mundes dadurch geltend, dass sie durch Resonanz der Mundhöhle den ihnen entsprechenden Partialton des Stimmklanges verstärken, während die übrigen Partialtöne im Gegentheil gedämpft werden, um so stärker, je enger die Mundhöhle geschlossen ist [1]). Die Vocale sollen am besten auf solche Noten gesungen werden können, deren zweiter oder dritter Partialton der characteristische Ton ist. Bei Noten, zu welchen der letztere unharmonisch ist, scheint Helmholtz eine Verstärkung der nächst liegenden harmonischen Partialtöne anzunehmen.

Nach meinen Untersuchungen dagegen tritt der characteristische Ton weit selbstständiger auf, und nur seine Intermittenz oder Amplitudenschwankung im Tempo des Kehltons macht ihn zum Vocal und bestimmt dessen Notenhöhe. *A* ist also bei mir nur ein intermittirender oder oscillirender Mundton f^2; erfolgt die Oscillation 131mal in der Secunde, so hat das *A* die Note *c*.

Das Wesentliche des Vocals wäre nach meinen Versuchen ein intermittirendes oder oscillirendes Anblasen des Mundtones durch die Stimme. Wenigstens genügt dies zur Characteristik des Vocals, und das Genügende, d. h. Nothwendigste festzustellen, muss unsere erste Aufgabe sein. Welchen Einfluss Stimmklang und sonstige Eigenschaften des Sängers auf seine

1) Tonempfindungen. 1. Aufl. S. 173.

Vocalproduction haben, steht erst in zweiter Linie. Für die Unterscheidung von *O* und *U*, deren Mundtöne nach meinen Versuchen nur sehr wenig verschieden sind, trägt vielleicht die Art des Oscillirens, welche bei *U* weit weniger ausgeprägt ist als bei *O* (vgl. S. 352, 362), wesentlich bei.

Dass ein intermittirendes Anblasen überhaupt eintritt, scheint mir nicht unverständlich. Wir haben es vermöge der Schwingung der Stimmbänder mit einem intermittirenden Exspirationsstrom zu thun, welcher anblasend wirkt. Die Theorie der Resonatoren ist noch nicht genügend entwickelt um übersehen zu können, unter welchen Umständen intermittirendes oder oscillirendes Anblasen ein continuirliches, und unter welchen es ein oscillirendes Tönen hervorbringt, und namentlich sind bekanntlich die Eigenschaften starrer und regelmässig geformter Resonatoren nicht ohne Weiteres massgebend für die complicirte Form und die weichen dicken Wände des Mundresonators, der vielleicht viel stärker gedämpft ist.

Thatsache ist, dass der Mundton bei *A* und *O* nur immer auf ganz kurze Zeit in jeder Periode der Stimmnote erklingt, vermuthlich auf das Maximum des exspiratorischen Stromes fallend. Bei tiefen Tönen nimmt dieses Erklingen mit seinen 3 bis 6 Schwingungen zuweilen nur einen ganz kleinen Theil der ganzen Periode in Anspruch; zuweilen füllt es den grösseren Theil. Bei höheren Stimmnoten reducirt sich die Klingzeit mit abnehmender Periodendauer immer mehr, bis schliesslich kaum 2 Schwingungen übrig bleiben. Man sollte meinen, dass, sobald nur eine einzige Schwingung in der Periode Platz hat, der Vocalcharacter des *A* und *O* nicht mehr erkennbar sein wird.

Der Rest der Periode neben der Klingzeit wird beim *A* und *O* in sehr mannigfacher Weise durch kleine Schwingungen, vielleicht Eigenschwingungen der Membran, ausgefüllt (vgl. oben S. 352). Begreiflicherweise kommt es unter solchen Umständen durchaus nicht darauf an, ob die Periode des Stimmtons einen genauen Bruchtheil der grossen Periode ausmacht oder nicht, mit andern Worten, ob der Mundton zum Kehlton harmonisch ist. Hiermit ist eine bekannte, von den Gegnern der Helmholtz'schen Theorie hervorgehobene Schwierigkeit der letzteren beseitigt.

Beim *U*, *E* und *I* erstreckt sich die Klingzeit des Mundtons so ziemlich über die ganze Stimmperiode, die Intermittenz ver-

wandelt sich in eine blosse Amplitudenschwankung, welche bei *E* am stärksten, bei *U* am schwächsten ist. Ueber die Ursache dieses von *A* und *O* abweichenden Verhaltens würde ich höchstens Vermuthungen aussprechen können; jedenfalls liegt keine principielle Schwierigkeit darin verborgen. Dass es bei der Höhe des *E*- und *I*-Tons, obwohl sie die ganze Periode erfüllen, keinen merklichen Einfluss haben kann, ob sie dem Stimmton harmonisch sind oder nicht, liegt auf der Hand.

Ich besitze übrigens auch *A*- und *O*-Curven, bei welchen die Mundschwingung nicht intermittirt, sondern in der Amplitude oscillirend die ganze Periode ausfüllt. (Von den mitgetheilten Beispielen ist dies in Blatt 10 der Fall, wenn auch nicht so eclatant wie auf vielen meiner Papierblätter.) In solchen Fällen war die grosse Periode ein genaues Vielfaches der kleinen, d. h. beide Töne harmonisch.

Schliesslich bemerke ich, dass eine nur wenig abweichende Ansicht von den Vocalen, wie die hier vorgetragene, schon von Willis[1]) ausgesprochen worden ist, wenn auch auf einer wenig zureichenden Basis. Auf Grund der Schallempfindungen, welche man hat, wenn man eine Stahlfeder gegen ein rotirendes Zahnrad streichen lässt (wobei also zwei Oscillationen entstehen, die intermittirende Eigenschwingung der Feder, und die Stösse der Zähne), sowie der von Willis ähnlich gedeuteten Klänge beim Ansetzen von Hohlräumen an Zungenpfeifen, erklärt er (S. 417) den Vocallaut für „nichts anderes als die rasche Wiederholung eines kurzen musikalischen Tones". Ich lernte diese Ansicht von Willis erst beim Niederschreiben dieser Arbeit kennen, und das Zusammentreffen der Ergebnisse zweier so gänzlich verschiedenen Methoden bestärkte mich nicht wenig in dem Vertrauen auf ihre Richtigkeit.

Die Frage des Hörens der Vocale. Vorläufige synthetische Versuche.

Beim ersten Blick auf die hier entwickelte Vocaltheorie erscheint es als grösste Schwierigkeit, dass wir beim Singen eines Vocals auf die Note *c* den Ton *c* bei weitem am stärksten hören,

1) Ann. d. Physik Bd. 24, S. 397. 1832. (Uebersetzt aus Transact. of the Cambridge phil. soc. III. p. 231).

während er bei der Fourier'schen Analyse des Phonogramms so gut wie vollkommen fehlt. Schon oben S. 368 f. habe ich auf diesen Punkt hingewiesen, aber daselbst auch hervorgehoben, dass die Thatsachen zu unzweideutig sprechen, um theoretische Schwierigkeiten als entscheidende Hindernisse erscheinen zu lassen.

Die theoretische Schwierigkeit liegt nun wesentlich in der allgemein verbreiteten Helmholtz'schen Lehre von den Tonempfindungen, nach welcher wir lediglich die Partialtöne jedes Klanges wahrnehmen. Meine Darstellung der Vocale wäre leicht verständlich, wenn das Ohr jede Art von Periodik mit einer Tonempfindung beantwortete, also auch das schwebungsartige Intermittiren eines Tones als einen Ton von der Schwingungszahl des Intermittirens hörte. Mir scheint nun, dass meine Erfahrungen an den Phonophotogrammen und am neuen Phonographen grade dies letztere bestimmt beweisen, und ich neige mich daher sehr zu der neuerdings wieder von vielen Autoren vertretenen Ansicht, dass auch die Schwebungen bei genügender Frequenz Töne erzeugen können, die gewöhnlichen Differenztöne also subjectiver Natur sind.

Denken wir uns eine schwebungsartig auf und nieder oscillirende einfache Schwingung, so wird diese im einfachsten Falle durch die Gleichung

$$(1) \qquad y = k . \sin \pi \frac{t}{h} . \sin q \pi \frac{t}{h}$$

dargestellt werden können, welche besagt, dass der oscillirende Ton die Schwingungsdauer h/q, seine Amplitudenschwankung aber die Periode h hat. Aus der Natur der Function geht ferner hervor, dass die Amplitude während jeder Periode zweimal ihr Maximum erreicht, so dass also zwischen je zwei Maximis $^1/_2 q$ ganze Schwingungen erfolgen.

Versucht man nun diese Gleichung nach dem Fourier'schen Lehrsatz in einfache Sinus- und Cosinusfunctionen zu zerlegen, so dass

$$y = {}^1/_2 A_0 + A_1 \cos \pi \frac{t}{h} + A_2 \cos 2\pi \frac{t}{h} + \ldots$$

$$+ B_1 \sin \pi \frac{t}{h} + B_2 \sin 2\pi \frac{t}{h} + \ldots,$$

worin

$$A_n = \frac{k}{h} \int_{-h}^{h} \sin \pi \frac{t}{h} \cdot \sin q\pi \frac{t}{h} \cdot \cos n\pi \frac{t}{h}\, dt$$

$$B_n = \frac{k}{h} \int_{-h}^{h} \sin \pi \frac{t}{h} \cdot \sin q\pi \frac{t}{h} \cdot \sin n\pi \frac{t}{h}\, at,$$

so findet man, dass (unter der Voraussetzung, dass q eine ganze Zahl ist) alle Werthe von B verschwinden, und ebenso alle Werthe von A bis auf diejenigen mit den Indices $n = q-1$ und $h = q+1$, welche den Werth annehmen

$$A_{q-1} = \frac{k}{2} \text{ und } A_{q+1} = -\frac{k}{2},$$

so dass wir also erhalten

$$(2)\quad k \cdot \sin \pi \frac{t}{h} \cdot \sin q\pi \frac{t}{h} = \frac{k}{2}\left(\cos(q-1)\pi \frac{t}{h} - \cos(q+1)\pi \frac{t}{h}\right).$$

Wie man sieht, ist dies nichts Anderes als der bekannte trigonometrische Satz, dass

$$\sin a \sin b = \frac{1}{2}\left(\cos(a-b) - \cos(a+b)\right).$$

Genau dasselbe Resultat erhält man, wenn man statt nach der Periode $\pi t/h$ nach der Periode $q\pi t/h$ entwickelt, wie ja überhaupt jede Function nur in einer einzigen Form zu einer Fourier'schen Reihe entwickelt werden kann. Man erkennt auch leicht, dass die rechte Seite der Gleichung 2 eine wahre Fourier'sche Reihe ist, da q eine ganze Zahl ist, die Argumente der cos also nach ganzen Vielfachen von $\pi t/h$ fortschreiten; nur ist diese Reihe auf zwei Glieder reducirt.

Eine in einfacher Periodik auf- und niederschwankende pendelartige Schwingung lässt sich also nur in einer einzigen Art in zwei reguläre pendelartige Schwingungen zerlegen, nämlich in diejenigen beiden einfachen Töne, welche durch ihre Schwebung jene Periodik erzeugen würden. Setzen wir z. B. $h = {}^1/_{220}$ sec., und $q = 4$, so würde Gleichung 1 bedeuten, dass der Ton a^2 (4.220 Schw.) in der Periode des Tons a (220 Schw.) oscillirt. Gleichung 2 besagt nun, dass die Interferenz der Töne e^2 (3.220 Schw.) und cis^3 (5.220 Schw.) dieselbe Erscheinung ist wie die in Gleichung 1 dargestellte Bewegung. In der That bewirkt diese Interferenz Schwebungen oder einen Combinationston von 2.220 Schw., d. h.

a^1, und der durch die Interferenz erzeugte Ton ist das arithmetische Mittel zwischen e^2 und cis^3, d. h. a^2.

Nach der Helmholtz'schen Lehre von den Tonempfindungen müsste man beim gleichzeitigen Angeben der beiden reinen Töne e^2 und cis^3 ausschliesslich diese beiden Töne hören, während, wenn das Ohr jede regelmässige Periodik mit einer Tonempfindung beantwortet, man neben diesen beiden Tönen, oder vielleicht sogar statt derselben, a^1 und a^2 hören müsste. Umgekehrt müsste man, wenn es gelänge den Ton a^2 in der Periode des Tones a^1 nach dem Sinusgesetz seine Amplitude wechseln zu lassen, nach der Helmholtz'schen Theorie weder a^2 noch a^1, sondern die beiden ganz fremden Töne e^2 und cis^3 hören; dies letztere wird man, wenn es nicht experimentell bewiesen wird, schwerlich für wahrscheinlich halten.

Die Versuche über diese Fragen fallen mit den auf Grund meiner Ergebnisse naheliegenden synthetischen Vocalbildungsversuchen nahezu zusammen.

Ich habe auf die verschiedensten Arten versucht den Vorgang nachzuahmen, welcher nach meinen Resultaten der Bildung von *A* und *O* zu Grunde liegt. Zunächst versuchte ich einen constanten Ton von der Höhe f^2 oder fis^2 in rascher Intermission dem Ohre zuzuleiten. Dies geschah auf zwei Arten. Einmal wurde eine Röhrenleitung hergestellt, welche am einen Ende einen Trichter hatte, vor welchem eine Labialpfeife f^2 angeblasen wurde, und am anderen Ende in den Gehörgang mündete. An einer Stelle war diese Leitung unterbrochen und hier eine Pappscheibe mit 18 Löchern von 16,5 mm Durchmesser so eingeschaltet, dass beim Rotiren der Scheibe die Röhrenleitung abwechselnd offen und geschlossen war. Hierbei trat in der That eine freilich sehr unreine durch das Geräusch der rotirenden Scheibe stark gestörte *A*-artige Schallempfindung auf, und zwar in dem tiefen Tone, welcher der Anzahl der Löcherdurchgänge entsprach, während der hohe Ton der Pfeife beim raschen Rotiren gar nicht zur directen Wahrnehmung gelangte. Das zweite Verfahren bestand darin, dass zwei in von einander entfernten Zimmern befindliche Telephone durch eine Leitung verbunden wurden. Vor dem einen Telephon wurde wieder die Pfeife geblasen, am anderen gehört. In dem Zimmer des ersten Telephons war nun ein Unterbrechungsrad in die Leitung eingeschaltet, welches mittels eines Wassermotors in schnelle Rotation

versetzt wurde. Während der Rotation hörte man wiederum den Pfeifenton nicht mehr, sondern ein Geräusch, dessen Höhe der Unterbrechungszahl entsprach; ein Vocalcharacter konnte aber an diesem Geräusch (welches übrigens natürlich wegfiel, wenn die Pfeife nicht geblasen wurde) nicht constatirt werden.

Eine andere Reihe von Versuchen wurde mit einem System Savart'scher Zahnräder angestellt, welche anfangs durch Abziehen einer Schnur, später durch Wirtel und Schnurlauf mittels des Wassermotors, in schnelle Rotation versetzt wurden. Die 4 Räder hatten 80, 60, 50, 40 Zähne. An dem Rade mit 80 Zähnen wurden nun von je 8 Zahnlücken in regelmässigem Abstande je 2 durch Klebwachs geschlossen, so dass also der Rotationston bei jeder Umdrehung 10 mal unterbrochen wurde. (Zum Anstreichen diente der Rand einer spitzen Düte aus dünnem Papier.) Hierbei entstand ein sehr rauhes, entschieden an A erinnerndes Geräusch, sobald die Umdrehungszahl etwa 10 pro Secunde betrug, und zwar war dasselbe sehr tief; es entsprach offenbar der Unterbrechungszahl (100 p. sec. = ca. G), und nicht dem Zahnton, welcher bei dieser Geschwindigkeit ca. 800, d. h. g^2—gis^2 war. Bei der grossen Unreinheit des Geräusches bin ich weit entfernt, dem Umstande, dass gerade bei g^2—gis^2, also ganz meiner Theorie entsprechend, eine Art A gehört wurde, erhebliche Bedeutung beizulegen. Weit wichtiger scheint mir, dass man bei solchen Versuchen stets den tiefen Unterbrechungston und nie den Zahnton hört. Dies kann mit grösster Sicherheit behauptet werden. Der Apparat kann leicht bis zu 50 Umdrehungen p. sec. gebracht werden. Hierbei giebt die erste Scheibe (genau bei 52,3 Umdr.) ein schönes klangvolles c^5 (4186). Mit den Wachseinlagen aber giebt sie bei gleicher Rotationsgeschwindigkeit ein fast ebenso schönes a^2 (523). Noch beweisender ist folgender einfache Versuch. Bringt man auch auf der zweiten Scheibe 10 Wachsunterbrechungen an (je 2 Lücken auf 6), so geben nun beide Scheiben bei schneller Rotation denselben tiefen Ton, nämlich bei 52,3 Umdrehungen c^2, während sie ohne die Wachseinlagen ganz verschiedene Töne (im bezeichneten Falle c^5 und g^4) geben. Diese Versuche wurden auch mit den anderen Scheiben mannigfach variirt stets mit demselben Ergebniss angestellt. Lässt man die Unterbrechungsscheiben auslaufen, so kommt bei stark verminderter Geschwindigkeit der relativ hohe Zahnton allmählich zum

Durchbruch, und die Unterbrechungen machen sich nun als schwebungsartige Stösse geltend. Es ist also ganz offenbar, dass das Ohr periodische Unterbrechungen eines Tones, wenn dieselben eine genügende Frequenz haben, als besonderen, und zwar in der Stärke überwiegenden Ton wahrnimmt.

Weitere, auf demselben Princip beruhende Versuche wurden mit Lochsirenen von Carton angestellt. Das Institut besitzt hierzu geeignete Blätter mit concentrischen lithographirten Punktkreisen von nach innen abnehmender Punktzahl. Mit einer Lochzange brachte ich in solchen Kreisen Löcher an mit regelmässigen Lücken, oder ich liess auch mittels verschiedener Einsätze der Lochzange die Grösse der Löcher periodisch wechseln. Indess gelang es auf diese Weise nicht, vocalartige Klänge hervorzubringen, anscheinend weil die durch Anblasen solcher Sirenen erzeugten Töne zu schwach und geräuschartig unrein sind. Die mit den Zahnrädern constatirte Thatsache, dass die Tonhöhe bei rascher Rotation nicht der Lochzahl, sondern der Periodenzahl der Unterbrechungen entspricht, bestätigte sich jedoch auch hier, und ist mit ähnlichen Vorrichtungen schon von früheren Autoren (König, Dennert) constatirt worden.

Die grösste Zahl von Versuchen verwandte ich jedoch auf das Verfahren, periodische Schwankungen hoher Töne, wie sie nach meiner Ansicht den Vocalen entsprechen, durch wirkliche Interferenz zweier Töne hervorzubringen. Nach dem oben Gesagten musste es möglich sein, ein A auf die Note c annähernd hervorzubringen, durch Angeben zweier Töne, deren Schwebungszahl, d. h. Schwingungsdifferenz, gleich der Schwingungszahl von c, und deren arithmethischer Mittelton der characteristische Ton von A, d. h. etwa fis^2 ist. Ist also n die Schwingungszahl der Note, auf die das A angegeben werden soll, und p diejenige des characteristischen Tons von A, so bestimmen sich die beiden gesuchten Töne durch die Gleichungen

$$y - x = n \text{ und } \frac{1}{2}(y+x) = p,$$

woraus folgt

$$x = p - \frac{n}{2} \text{ und } y = p + \frac{n}{2}.$$

Hieraus berechnet sich, wenn wir für A $p = 740$ annehmen (fis^2 als Mitte des Bereichs $e^2 - gis^2$), für

A auf die Note c $x = 674{,}6$ $(e^2 - f^2)$ und $y = 805{,}4$ $(g^2 - gis^2)$
„ „ „ „ g^2 „ „ 642 $(dis^2 - e^2)$ „ „ „ 838 $(> gis^2)$
„ „ „ „ c^1 „ „ 609,2 $(d^2 - dis^2)$ „ „ „ 870,8 $(< a^2)$
„ „ „ „ g^1 „ „ 544 $(c^2 - cis^2)$ „ „ „ 936 $(> ais^2)$
„ „ „ „ c^2 „ „ 478,4 $(ais^1 - h^1)$ „ „ „ 1001,6 $(h^2 - c^3)$

Je höher also der Vocal angegeben werden soll, um so weiter müssen die beiden Töne auseinandergehen.

Ein Theil solcher Versuche wurde mit zwei singenden Flammen angestellt, deren Röhren gewechselt, oder durch verschiebbare Papierhülsen auf und nieder gestimmt werden konnten. Ich übergehe das Nähere, weil diese Versuche unbefriedigende Resultate geben. Die Töne scheinen zu stark und gellend zu sein.

Bessere Resultate lieferten Versuche mit zwei neben einander auf dem Blastisch montirten Labialpfeifen mit verschiebbarem Stopfen, deren Töne von a^1 bis über c^3 reichten. Bei den oben angegebenen Combinationen hört man den Differenzton in einem recht deutlichen A, wenn man das Ohr genügend nahe hält, während der Ton Einer Pfeife für sich Nichts davon hören lässt.

Noch bessere Resultate gibt die Helmholtz'sche Doppelsirene. Oeffnet man z. B. die Löcherreihe 12 und zieht, nachdem die Sirene eine erhebliche Umdrehungsgeschwindigkeit erlangt hat, die Reihe 18 intermittirend auf, während man die Geschwindigkeit beständig wachsen lässt, so hören ganz unbefangene Personen [1]) bei einer gewissen Geschwindigkeit mit Oeffnung von 18 nicht allein den Differenzton (6), und zwar als überwiegenden Ton, sondern dieser Differenzton hat nun ganz deutlich den Character des Vocals O, bei etwas grösserer Geschwindigkeit Ao, und bei noch grösserer den eines unzweifelhaften A. Bestimmt man jedesmal die Geschwindigkeit mittels

1) Diese Versuche wurden durch die Freundlichkeit meines Collegen Herrn Prof. Pape im physicalischen Institut der Universität angestellt, weil das physiologische Institut zur Zeit die zum guten Antreiben der Doppelsirene erforderlichen Vorrichtungen (rotirendes Gebläse, durch Motor getrieben) noch nicht besass. Sowohl Herr Prof. Pape, wie auch der mit acustischen Untersuchungen beschäftigte und mit sehr gutem musikalischem Gehör begabte Herr stud. phil. Stern konnten sich von der deutlichen Vocalnatur der erzeugten Combinationstöne bestimmt überzeugen. Augenblicklich besitzt auch das physiologische Institut die oben erwähnten Vorrichtungen, und mit denselben sind die Versuche mit überzeugendstem Erfolge wiederholt worden.

des Zählwerks, oder aus der Tonhöhe der einen Löcherreihe, so ergeben sich folgende Resultate:

Löcherreihen 12 und 18.

O erscheint bei ca. 40 Umdrehungen p. Sec.
Ao „ „ „ 46 „ „ „
A „ „ „ 55 „ „ „

Löcherreihen 12 und 16.

O erscheint bei ca. 44 Umdrehungen p. Sec.
Ao „ „ „ 50 „ „ „
A „ „ „ 60 „ „ „

Hieraus berechnet sich:

Löcherreihen	*O*	*Ao*	*A*
12, 18	ca. 480, 720 d. h. ⟨h^1, f^2—fis^2	ca. 552, 828 d. h. cis^2, gis^2	ca. 660, 990 d. h. e^3, h^2
Diff.-Ton	240 (ais—h)	276 (cis^1)	330 (e^1)
Charact Ton	**600** (**d^2—dis^2**)	**690** (⟨**f^2**)	**825** (⟨**gis^2**)
12, 17	ca. 528, 792 d. h. ⟩c^2, ⟩g^2	ca. 600, 900 d. h. d^2-dis^2, a^2-ais^2	ca. 720, 1080 d. h. f^2—fis^2, c^3—cis^3
Diff.-Ton	264 (⟩c^1)	300 (d^1—dis^1)	360 (⟨fis^1)
Charact. Ton	**660** (e^2)	**750** (⟩**fis^2**)	**900** (**a^2—ais^2**)

Bis zu Geschwindigkeiten, wie sie für die Vocale *E* und *I* erforderlich wären, liess sich die Doppelsirene nicht auftreiben[1]). Die erlangten Resultate bezüglich *O* und *A* stimmen, wie man sieht, ziemlich befriedigend zu der von mir aufgestellten Theorie. Noch weit bessere Ergebnisse, d. h. reinere, den gesungenen noch näher kommende Vocale, werden voraussichtlich zu erlangen sein, wenn es gelingt, zwei vollkommen einfache und dabei doch kräftige Töne von der erforderlichen Höhe hervorzubringen; denn die Sirenentöne sind sehr stark mit Obertönen behaftet.

So wenig meine bisherigen Versuche, die Vocale (zunächst *A* und *O*) synthetisch zu erzeugen, als abgeschlossen gelten können, sind sie doch ermuthigend in Bezug auf die von mir aufgestellte Erklärung des Vocalcharacters. Uebrigens können meine synthetischen Vocale sehr wohl den Vergleich aushalten mit dem, was

1) Mit den Löcherreihen 12 und 18 erhielt ich, wenn erstere h^2—c^3 gab, also letztere fis^3—gis^3, ein ziemlich deutliches *Ac*. Ueber c^3 konnte ich die 12 löchrige Scheibe nicht bringen, d. h. nicht über 87 Umdr. p. sec.

ich bisher von Synthesen auf anderem Wege kennen zu lernen Gelegenheit hatte, z. B. mit auf Pfeifen aufgesetzten Resonatoren, oder mit dem Appunn'schen aus offenen und gedeckten Pfeifen bestehenden Vocalapparat, welchen ich in meinem Laboratorium in Zürich zur Verfügung hatte. Den grossen Helmholtz'schen electrischen Stimmgabelapparat freilich habe ich nie in Thätigkeit kennen gelernt, und habe daher kein Urtheil über die Treue, mit welcher er die Vocale wiedergiebt.

Schliesslich wäre noch zu bemerken, dass die Theorie der Tonempfindung sich mit der Thatsache abzufinden haben wird, dass jede Periodik, auch wenn sie nur in der periodischen Amplitudenschwankung einer Schwingung besteht, als Ton empfunden wird. Mit der sonst in jeder Beziehung so befriedigenden Helmholtz'schen Hypothese, dass die Tonempfindung auf dem Mitschwingen von Resonatoren im Ohre, und der dadurch hervorgerufenen Erregung zugehöriger Einzelfasern des Hörnerven beruht, erscheint diese Thatsache unvereinbar, soweit man aus der mathematischen Theorie des Mitschwingens übersehen kann. Ich denke, in einer späteren Arbeit auf diesen Gegenstand zurückzukommen[1]).

Erklärung zu Tafel VIII.

Die einzige Möglichkeit, einem grösseren Leserkreise eine absolut treue, d. h. mechanische Wiedergabe der Photo-Phonogramme vorzulegen, bestand darin, besondere Versuche statt auf Papier, auf durchscheinender Unterlage anzustellen (Anthony's Films, vgl. Bd. 47, S. 45), und diese Curven durch irgend ein Lichtdruckverfahren zu vervielfältigen. Versuche mit gewöhnlichem Lichtdruck, mit Photolithographie, Photozinkographie erwiesen sich theils nicht ausreichend, theils von vorne herein unausführbar. Nur auf dem Wege der Photogravure (Kupferlichtdruck) gelang es, einigermaassen das Gewünschte zu erreichen. Das sehr umständliche Verfahren verzögerte die Veröffentlichung nicht unbedeutend. Ferner musste ich bei der ausserordentlichen Kostspieligkeit dieses Verfahrens, für welches der Herr Verleger dieser Zeitschrift mit dankenswerther Bereitwilligkeit grosse Opfer brachte, mich auf eine relativ geringe Zahl von Curvenblättern beschränken; ferner beschränkte ich mich darauf, von jeder (18 cm breiten) Tafel nur einen kleinen Theil von 4 cm Breite reproduciren zu lassen. Nur von Blatt 1 wurde ein grösserer Theil (9 cm) wiedergegeben, damit der Leser den Grad der Ge-

1) Die Ergebnisse vorstehender Untersuchung wurden der biologischen Gesellschaft zu Königsberg i. Pr. am 10. März 1890 ausführlich mitgetheilt.

schwindigkeitszunahme während der Umdrehung beurtheilen könne. Alle Tafeln sind Umkehrungen der Originale und gehen daher von rechts nach links.

Ausdrücklich bemerke ich, dass die eigentlichen direct auf Papier hergestellten Phonogramme ungleich eleganter und klarer sind, als die auf Umwegen hergestellten der Tafel. Ich bin gern bereit, Instituten und Fachgenossen auf Verlangen Original-Papierphonogramme zur Verfügung zu stellen.

Der Cylinder wurde in den Versuchen für die Tafel stets mit der Hand gedreht, so dass die Geschwindigkeiten der einzelnen Curven, auch auf derselben Tafel, stets verschieden sind. Da jedoch die Tonhöhe angegeben ist, kann der Leser jede Geschwindigkeit selbst ermitteln.

Die Bedeutung der Curven ist aus der Schriftbezeichnung genau ersichtlich; auf die wesentlichen Erscheinungen ist im Texte Bezug genommen. Alle Curven, soweit nichts vermerkt ist, rühren von meiner eigenen Stimme her; nur auf Blatt 1, 5 und 6 sind die 6 untersten Curven von der Tenorstimme des Herrn Dr. Ehrenthal geliefert. Alle Noten gehören der *G-dur*-Tonleiter an (vgl. oben S. 350).

Weitere Untersuchungen über den Heliotropismus der Thiere und seine Uebereinstimmung mit dem Heliotropismus der Pflanzen.

(Heliotropische Krümmungen bei Thieren.)

Von

Dr. **J. Loeb,**

Assistent am physiologischen Institut zu Strassburg i. E.

Hierzu Tafel IX und 2 Holzschnitte.

In einer früheren Arbeit habe ich nachgewiesen, dass die Abhängigkeit thierischer Bewegungen vom Licht die gleiche ist, wie die Abhängigkeit pflanzlicher Bewegungen von derselben Reizursache[1]). Ich zeigte, dass das von Sachs für den Heliotropis-

1) Der Heliotropismus der Thiere und seine Uebereinstimmung mit dem Heliotropismus der Pflanzen. Würzburg, 1890. Verlag von Georg Hertz.

Vgl. ferner: Loeb, Die Orientirung der Thiere gegen das Licht (Thie-