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

Bemerkungen zur Vocalfrage.

Von

L. Hermann.

Ziemlich gleichzeitig mit meiner Arbeit über die Vocale¹⁾ erschien eine Arbeit über denselben Gegenstand, welche der Philologe H. Pipping aus Helsingfors mit dem Hensen'schen Sprachzeichner ausgeführt hat²⁾. Diese Arbeit enthält 24 Analysen von Vocalcurven, aus welchen sich, in höchst erfreulicher Uebereinstimmung mit meiner eigenen Untersuchung, ergibt, dass die Höhe der hervorragenden Partialtöne der Vocale sich mit der Notenhöhe nicht wesentlich ändert.

Anstatt nun, wie ich, sich dieser Uebereinstimmung zweier von einander unabhängiger Untersuchungen in einem Jahrzehnte lang und bis in die letzten Monate hinein streitigen Punkte zu freuen, und die Erledigung der relativ unbedeutenden Differenzen der beiderseitigen Weiterarbeit zu überlassen, hat Pipping zu meiner Ueberraschung mit ganz ungewöhnlicher Eile einen ziemlich heftigen Angriff gegen meine Arbeit veröffentlicht³⁾. Derselbe würde mir wegen seiner gänzlichen Haltlosigkeit kaum Anlass zu einer besonderen Beantwortung bieten, wenn nicht Hensen ausdrücklich für ihn die Verantwortung übernommen hätte. Letzteres bedaure ich um so mehr, als ich glaube, dass Hensen und Pip-

1) Phonophotographische Untersuchungen III. Dieses Archiv Bd. 47, S. 347.

2) Zeitschr. f. Biologie Bd. 27, S. 1.

3) Zeitschr. f. Biologie Bd. 27, S. 433.

ping nur durch ein ganz unbegreifliches Missverständniß zu ihrem Vorgehen veranlasst worden sind, indem sie in meiner Arbeit eine „Kritik des Hensen'schen Sprachzeichners“ zu finden glaubten¹⁾. Sie sehen dieselbe, wie ich auf Anfrage bei Herrn Pipping zu meiner Ueberraschung erfahren habe, in den Eingangsworten des 1. Theils meiner phonographischen Untersuchungen²⁾, dass „die graphische Aufzeichnung von Stimm- und Sprachlauten bisher wesentlich mit zwei Schwierigkeiten zu kämpfen gehabt hat“, nämlich Eigenschwingungen der Membran, und Eigenschaften des schreibenden Hebels. Es gehört wirklich viel Phantasie dazu, um in dieser harmlosen und unanfechtbaren Bemerkung über eine bekannte „Schwierigkeit“ eine Kritik der Erfolge zu sehen, welche eine einzelne der unzähligen phonographischen Methoden etwa in der Bekämpfung dieser Schwierigkeiten gehabt hat. Ich brauche kaum zu versichern, dass ich beim Schreiben jener Zeilen an den Hensen'schen Sprachzeichner nicht einmal gedacht habe. Ferner scheint meine Bemerkung, dass die hohen Partialtöne der Vocale E, I, Ue vor mir meines Wissens noch Niemand graphisch dargestellt hat, Pipping's Unwillen erregt zu haben, denn er sieht darin einen Beweis einer „sehr oberflächlichen“ Kenntnissnahme von Hensen's Sprachzeichner. Es gehörte nur wenig guter Wille dazu, um aus meiner Bemerkung ganz einfach zu schliessen, dass ich die betr. Leistung des Sprachzeichners beim Schreiben derselben überhaupt gar nicht kannte, und dann wäre das stark tadelnde Wort „oberflächlich“ vermieden worden. Pipping hatte unbestrittenes Recht, hervorzuheben, dass er schon vor mir E- und I-Curven mit jenen Oscillationen in seiner schwedischen Dissertation vom Januar 1890 abgebildet hat, von der ich aber, obgleich er sie mir zugesandt hat, der Sprache wegen absolut keine Notiz genommen habe, zumal er mir anzeigte, dass die deutsche Bearbeitung im Drucke sei. So lernte ich diese Curven erst kennen, als letztere, wenige Tage vor meiner Arbeit, erschien, sonst hätte ich sie selbstverständlich erwähnt, wie ich auch in der Fortsetzung meiner Untersuchungen diesen Prioritätspunkt der Publication, nicht des Findens³⁾, sofort berichtigt haben würde. Das Wort „oberfläch-

1) S. den Nachtrag zu Pipping's Arbeit, a. a. O. S. 78.

2) Dieses Archiv Bd. 45, S. 582.

3) Ich habe die betr. Eigenschaft meiner E- und I-Curven schon im

liche Kenntnissnahme“ war also eine ungerechtfertigte Unfreundlichkeit.

Mehr als eine solche — um das Persönliche gleich zu erledigen — ist die ernst zu rügende Bemerkung Pipping's: „Seite 356–357 verwechselt Hermann die Amplituden und die Intensitäten.“ Seite 356 sowohl wie 357 handelt es sich stets nur um Curven und um Amplituden; es steht auch überall Amplituden, und nur zweimal (in einem identischen Passus) Intensitäten; da man Tonintensitäten nicht in mm. ausdrücken kann, so war nicht der mindeste Zweifel, was gemeint ist. Dass Acustiker die Höhe einer Curve Intensität nannten, wo eine Verwechslung mit Tonintensität nicht zu fürchten war, wird gewiss schon oft vorgekommen sein. Der Vorwurf einer „Verwechslung“ wäre also nur am Platze gewesen, wenn ich auf Intensitäten einen Schluss gegründet hätte, der nur für Amplituden richtig ist. Es ist üblich, Niemand ohne den zwingendsten Grund grobe Unwissenheit zuzumuthen.

Die sachlichen Einwände Pipping's entspringen sämmtlich einem physicalischen und einem mathematischen Missverständniss.

Das erstere besteht in Folgendem. Ich habe auf Grund meiner Curven die Vocale als eine Schallerscheinung besonderer Art erklärt, nämlich als feste Töne, welche intermittirend oder oscillirend im Tempo der Kehlkopfnote hervorgebracht werden, wobei es gleichgültig ist, ob jene Töne zum Kehilton harmonisch sind oder nicht. Ohne auf diese Aufstellung einer bisher unbekannten Art von Schallerscheinung irgendwie Rücksicht zu nehmen, verlangt Pipping von den Vocalen, wie ich sie mir denke, lauter Wirkungen, welche solche Schalle physicalisch schlechterdings nicht haben können.

So wendet er ein, dass die unharmonischen Töne mit Resonatoren nicht vernommen werden können, und bedenkt nicht, dass dies ganz unmöglich ist. Ein gewöhnlicher Resonator wird dadurch zum Mitschwingen gebracht, dass ihn Stösse in gleicher

Sommersemester 1889 in hiesigen Vereinen vorgezeigt, und im gleichen Jahre Exemplare derselben an verschiedene Fachgenossen, darunter Hensen, zur Ansicht versandt.

Phase seiner Eigenschwingung stets gleichsinnig treffen, während meine unharmonischen Töne in jeder neuen Periode eine Phasenverschiebung haben, und nur in Bezug auf die Perioden selbst stets in gleicher Phase auftreten. Uebrigens möchte ich fragen, ob Pipping solche Versuche mit Resonatoren überhaupt angestellt hat, und mit welchem Rechte er ihr negatives Resultat behauptet.

Ebenso falsch ist es, wenn Pipping sagt, die unharmonischen Töne müssten, da sie individuell verschieden sind, bei mehrstimmigem Gesang unangenehme Schwebungen geben. (Auch hier kann man fragen, ob die Bemerkung, dass solche Schwebungen nicht auftreten, ein blosses *Aperçu* ist oder auf Beobachtung beruht, die mir ungemein schwierig scheint.) Allein Schwebungen können nur entstehen, wenn zwei Töne sich mit der Zeit regelmässig gegen einander in ihren Phasen verschieben. Dies kann aber bei meinen Vocalen, wo die Töne in jeder Periode selbständig auftreten, begreiflicherweise nie der Fall sein. Pipping macht sich zwar selbst diesen naheliegenden Einwand, klammert sich aber daran, dass ich wirkliche annähernde Intermittenzen des charakteristischen Tones nur bei A und O, nicht bei E, I etc. nachgewiesen habe. Es kommt aber, wie man leicht sieht, gar nicht auf die Intermittenz, sondern nur auf die Incommensurabilität zwischen Mund- und Stimmtönen an, und diese tritt selbstverständlich weit deutlicher hervor, wenn die Mundperiode ein grosser, als wenn sie wie bei E, I etc. ein kleiner Bruchtheil der Stimmpériode ist. Daher wird auch bei E, I die Unharmonie sehr schwer sicher zu constatiren sein.

Pipping's Einwände fallen also von selbst dahin, wenn er sich für dieselben, wie er es zu thun vorgiebt, wirklich auf den Standpunkt meiner Befunde über die Vocale stellt. Viel consequenter wäre es gewesen, wenn er von vornherein die Unmöglichkeit solchen Schalles, wie ich ihn in den Vocalen sehe, behauptet hätte. Das hat er aber mit Recht nicht gewagt, vielleicht weil er wie ich das Gefühl hatte, dass der Vocal in der That eine Schallerscheinung ist, die von den sonst bekannten musikalischen Klangerscheinungen ganz fundamental verschieden ist, so dass unsre Schulbegriffe hier nicht ausreichen.

Weit schlimmer als das physicalische ist das mathematische Missverständniss Pipping's, indem er schon in seiner Arbeit selbst behauptet, nachgewiesen zu haben: die Vocale enthalten keine un-

harmonischen Theiltöne, und in der Kritik sich meinem Nachweis gegenüber auf seine Arbeit stützt.

Ich habe bereits (S. 360 meiner Arbeit) nachdrücklich darauf hingewiesen, dass die Fourier'sche Analyse schlechterdings nur harmonische Bestandtheile nachweisen kann, oder richtiger, diese Analyse ist eine völlig willkürliche Art der Zerlegung der Periode, nämlich nach harmonischen Sinus- und Cosinusfunctionen, deren jede wie immer beschaffene begrenzte oder periodische Curve fähig ist.

Wie kann nun Pipping, welcher sich lediglich und ganz mechanisch auf diese Analyse stützt, behaupten, dass die Vocalcurven keine unharmonischen Bestandtheile enthalten? Das ist genau so, als wenn jemand, weil auch ein Ellipsenbogen, ein Kreisbogen sich in harmonische Functionen entwickeln lässt, behaupten wollte, der Bogen enthalte nur Sinusfunctionen und keine Ellipsenbestandtheile; oder, noch drastischer, als wenn jemand einen bunten Teppich nur durch ein rein blaues Glas betrachtet hat, und daraufhin behaupten wollte, er enthalte kein Roth.

Etwas hiervon sieht auch Pipping ein, meint aber, wenn unharmonische Bestandtheile zugegen wären, so müsste die Fehlerrechnung dies herausgestellt haben. „Wenn unharmonische Theiltöne vorhanden wären“, sagt er, „hätte ich nicht so kleine Werthe für $\Sigma \delta_{\mu}^2$ finden können, ohne wenigstens fast ebenso viele Constanten zu bestimmen, wie Ordinaten gemessen worden sind.“ Pipping meint also, denn ein anderer Sinn lässt sich nicht unterlegen, dass bei unharmonischen Bestandtheilen die Fourier'sche Reihe viel weniger convergent sein würde, als ohne solche. Vor Allem ist es verwunderlich, dass Pipping seine Werthe von $\Sigma \delta^2$ klein nennt, obgleich unter seinen im Ganzen 24 Vocalanalysen $\Sigma \delta^2$ 3 mal die grösste Amplitude überschreitet, 2 mal bis auf das 2—3 fache. In solchen Fällen musste doch Pipping selbst nach seiner Theorie unharmonische Bestandtheile argwöhnen, welche ich ja selber nicht als nothwendig, sondern nur als häufig vorhanden erklärt habe. Nachgewiesen habe ich sie sogar nur für A und O, und grade von Pipping's 4 A-Analysen haben 2 jenen enormen Werth von $\Sigma \delta^2$ 1).

1) Pipping irrt, wenn er sagt, er berechne so viele Theiltöne, dass der mittlere Fehler „seinen kleinsten Werth erhielt“. Der kleinste Werth, nämlich

Aber Pipping's Theorie ist ganz falsch. Nichts spricht dafür, dass die Convergenz etwas über die Natur der Curve aussagt. Im Gegentheil kann man leicht aus einer Anzahl distanter und wenig in der Amplitude verschiedener harmonischer Schwingungen sich eine Curve zusammensetzen, deren Analyse eine wenig convergente Reihe giebt, und umgekehrt kann die Analyse eines ganz beliebigen Curvenzuges sehr convergente Reihen geben, wie die Theorie der gezupften Saiten lehrt¹⁾.

bei richtiger Rechnung Null (formell $\frac{0}{0}$, wahrer Werth 0), wird erreicht, wenn so viele Constanten berechnet werden, wie Ordinaten gemessen sind. Die richtige, von Bessel (Astronomische Nachrichten Bd. 6, S. 333 ff., 1828) gegebene Vorschrift, welche auch ganz richtig in Hensen's und Pipping's vermuthliche Quelle, nämlich Ligowski's Taschenbuch der Mathematik, übergegangen ist, lautet vielmehr dahin, so viele Constanten zu berechnen, dass die Summe der Fehlerquadrate hinreichend klein ist. Auch das hat übrigens Pipping nicht immer gethan; in den im Texte erwähnten Fällen hätten noch mehr Constanten berechnet, oder Rechenfehler vermuthet werden müssen, vor denen Pipping bei weitem weniger sicher war, als ich bei meiner mechanischen Einrichtung des Verfahrens. Bei Curve XIV (Vocal E) hat Pipping die Rechnung sogar mitten in einem „Verstärkungsgebiete“ abgebrochen, obgleich die Summe der Fehlerquadrate noch relativ sehr gross war, nämlich weit über die Hälfte der grössten vorkommenden Amplitude.

1) Auch die in der vorigen Note erwähnte grundlegende Arbeit von Bessel erwähnt Nichts von einem Einfluss unharmonischer Bestandtheile auf die Convergenz der Reihe, obwohl bei Bessel's Beispiel, nämlich dem jährlichen Gang der Temperatur in Königsberg, solche Bestandtheile (einen solchen würde z. B. eine n tägige Periode darstellen, wenn n nicht zufällig einen ganzen Bruchtheil der Länge des Jahres ausmacht) sehr wohl möglich sind. Als concretes Beispiel, wie grundfalsch Pipping's Meinung ist, habe ich eine Curve analysirt, welche den offenbarsten unharmonischen Bestandtheil enthält, nämlich je eine ganze Sinusschwingung von 30 Einheiten Länge, abwechselnd mit graden in der Axe liegenden Linien von 10 Einheiten Länge. Die Sinusschwingung ist hier ganz unharmonisch zur Periode, von der sie $\frac{3}{4}$ ausmacht. Trotzdem ergibt die Näherungs-Analyse, dass die Summe der Fehlerquadrate schon nach der zweiten Partialschwingung fast verschwindet; die dritte ist schon ausserordentlich klein. Dasselbe ergibt auch die genaue Analyse einer solchen Curve, wie ich sie mittels Integration ausgeführt habe. Verlegt man den Nullpunkt in die Mitte der Sinusschwingung, nennt deren halbe Periode π und die Länge der halben gradlinigen Strecke k (so dass $f(x) = \sin x$ von $-\pi$ bis $+\pi$, und $f(x) = 0$ von $-(k+\pi)$ bis $-\pi$ und von

Pipping's Bemerkung ferner, dass die Oscillationen und Intermissionen des Mundtons sich auch aus der Interferenz harmonischer Bestandtheile erklären lassen (S. 435), ist ganz überflüssig, da dasselbe schon in meiner Arbeit S. 360 gesagt ist. Auch hier ist ferner die Heranziehung der Grösse $\Sigma \delta^2$ irrtümlich.

Pipping hat sich überhaupt nicht klar gemacht, durch welche Mittel unharmonische Beimengungen in Curven nachgewiesen werden können. Eine von dem periodischen Vorgange unabhängige unharmonische Beimengung würde zur Folge haben, dass die Perioden nicht mehr gleich sind, oder vielmehr die wahre Periode soviel scheinbare Perioden umfasst, wie zwischen zwei Coincidenzen fallen. Diese Ungleichheit würde sich bei hinreichend vielen Perioden schon durch den Anblick, bei geringerer Zahl vielleicht nur durch den verschiedenen Ausfall der Analysen zu erkennen geben. Da aber Pipping nirgends zwei Perioden derselben Curve, geschweige denn zwei distante Perioden analysirt hat, so hätte ihm selbst eine unabhängige unharmonische Beimengung völlig entgehen müssen¹⁾. Vollends kann ein in jeder Periode ganz gleichartiger, d. h. in seiner Phase zur Periode constant bleibender unharmonischer Bestandtheil, wie ich ihn nachweise, durch die Fourier'sche Analyse unter keinen Umständen entdeckt werden, sondern es wird sich nur ein „Ver-

π bis $k+\pi$), so verschwinden alle a -Coefficienten, und die b -Coefficienten werden

$$b_r = 2(\pi+k) \cdot \frac{\sin\left(r \cdot \frac{\pi^2}{\pi+k}\right)}{(\pi+k)^2 - r^2 \pi^2}.$$

Setzt man hierin, der obigen Annahme entsprechend, $k = \frac{1}{3}\pi$, so wird $b_1 = 0,772$, $b_2 = 0,382$, $b_3 = -0,083$, $b_4 = 0$, $b_5 = 0,026$, $b_6 = -0,025$, $b_7 = 0,013$, $b_8 = 0$, $b_9 = -0,008$, $b_{10} = 0,009$, $b_{11} = -0,005$, $b_{12} = 0$, $b_{13} = 0,004$, $b_{14} = -0,004$, $b_{15} = 0,003$, $b_{16} = 0$ u. s. w., und in der That kann man sich leicht durch Construction überzeugen, dass schon die Zusammensetzung der beiden ersten Partialschwingungen die vorgelegte Curve sehr annähernd wiedergibt.

1) Einmal (S. 69) hat Pipping eine „langsam vor sich gehende Veränderung der Configuration“ in seiner Curve bemerkt (ohne Analyse), aber nicht einmal diese Andeutung als Fingerzeig einer etwaigen unabhängigen unharmonischen Beimengung, sondern ohne Weiteres als Folge wechselnder Reinheit des Vocals betrachtet. Auch geht er über die Angabe von Helmholtz bezüglich des Auftretens hörbarer unharmonischer Partialtöne (die freilich von der meinigen ganz verschieden ist) zu leicht hinweg.

stärkungsgebiet“ der harmonischen Partialtöne seiner Umgegend zeigen, wie es meine und Pipping's Analysen in der That ergeben.

Ich habe in solchen Fällen die Lage des verstärkenden unharmonischen Tones nach einer Art Schwerpunktsconstruction annähernd berechnet (S. 358), gegen welche Pipping den sehr unüberlegten Vorwurf macht, dass ich die harmonischen Partialtöne als äquidistant betrachte, während ihre Abstände mit zunehmender Höhe abnehmen. Pipping hat in der Eile ganz übersehen, dass ich nur von Schwingungszahlen rede, mit Schwingungszahlen rechne, und Schwingungszahlen ausrechne. Die Schwingungszahlen der harmonischen Partialtöne sind aber genau äquidistant, Pipping's Einwand also ganz unberechtigt.

Bei dem verkehrten Standpunkte Pipping's in Bezug auf den Nachweis unharmonischer Bestandtheile darf es nicht Wunder nehmen, wenn er behauptet, ich hätte diesen Nachweis nicht geliefert. Selbst in den relativ mangelhaften Reproduktionen meiner Tafel ist dieser Nachweis enthalten, noch viel schärfer in den Original-Photogrammen, welche meinen Berechnungen zu Grunde liegen. Man muss eben die Curven nicht bloss analysiren, sondern sie auch anderweitig untersuchen. Wie will Pipping aus der Fourier'schen Reihe, in die sich ein Kreisbogen entwickeln lässt, den Kreis herauserkennen? Nun sieht Jeder z. B. in den 8 obersten Curven auf Blatt 5 meiner Tafel (No. 237, Vocal O), event. unter Zuhülfenahme einer feinen Abscissenaxe mit härtestem Bleistift, in jeder Periode eine kurze in sich periodische Gruppe, deren Periodenlänge kein ganzer Bruchtheil der ganzen Periode ist, und es auch bei kleinen Verschiebungen der Abscissenaxe nicht wird. Dies ist ein vollgültiger Nachweis, dass die Curven unharmonische Bestandtheile haben, und nähere Untersuchung ergibt, 1. dass dieselben in jeder Periode von Neuem in gleicher Phase zur Periode auftreten, 2. dass der unharmonische Bestandtheil bei allen Tonhöhen des Vowals annähernd constante Schwingungsdauer hat. Ich bin begierig, wie Pipping diese Curvenformen auf seine Art erklären will, ohne die unmöglichsten Zufälligkeiten anzunehmen. Unter diesen Umständen ist auch die von mir angewandte, und von Pipping getadelte „Proportionalmessung“ für den Zweck, für den ich sie benutze, völlig gerechtfertigt. Selbstverständlich mache ich, wie aus dem Wortlaut meiner Arbeit hervorgeht, keinen

Anspruch, die charakteristischen Töne in ihrer Höhe mehr als annähernd festzustellen. Pipping freilich kennt diese Höhen schon vor jeder Untersuchung ganz genau; denn er nimmt, indem er sich ausschliesslich auf die Analyse einzelner Perioden stützt, a priori an, dass seine Curven nur harmonische Bestandtheile enthalten.

Pipping's Bemerkung über meine „mathematische Darstellung der Amplitudenschwankung“ ist ebenfalls irrthümlich. Er meint, es gehe nicht an, die Schwingung *sinnat singnat* so zu deuten, dass der Ton n mit der Frequenz $\frac{1}{2}q$ in seiner Intensität oscillirt; er sieht nämlich in der grossen Periode nicht q , sondern $q+1$ „Zacken“. Diese überschüssige „Zacke“, welche durch den Vorzeichenwechsel der $\sin$ -Function entsteht, ist mir keineswegs entgangen, und doch bleibt es richtig, dass die Curve den Ton qn und nicht $(q+1)n$ darstellt, denn sie enthält isochrone Oscillationen von der Frequenz qn , allerdings mit regelmässigen Phasenwechseln behaftet. Die Höhe eines Tones hängt doch nicht schlechtweg von der Zahl der „Zacken“, sondern von dem Zeitabstande der äquidistanten Einwirkungen ab. Wenn Pipping seine Zeichnung für grössere Werthe von q als 4, z. B. für $q=8$ oder 9 entwirft, so wird ihm dies vollkommen klar werden. Die von ihm urgirte überzählige Zacke erfolgt eben nicht in dem regelmässigen gegenseitigen Abstände aller übrigen, und die Curve lässt eine Schwingung von der Frequenz $(q+1)n$ eben nicht erkennen, sondern zeigt regelmässige Vorgänge von der Frequenz n und qn , ganz wie ich es gesagt habe, und lässt auch nur diese Töne, namentlich den ersteren, hören, und nicht die aus der Analyse hervorgehenden Töne $(q-1)n$ und $(q+1)n$.

Höchst seltsam ist Pipping's Einwand gegen meine Synthese des Vocals A. Er meint, die Klänge seien keine einfachen Töne gewesen, und daher bewaise das Auftreten des Vocals Nichts. Pipping giebt aber keinen einzigen Grund an, wieso die Obertöne der Klänge den Vocal hervorgebracht haben sollten, und es wäre auch schwer, solche Gründe zu finden. In Wirklichkeit lautet also Pipping's Einwand, der Vocal sei zufällig nebenbei aufgetreten! Ueber diesen Einwand ist wohl kein Wort zu verlieren, nachdem der Vocal regelmässig unter den berechneten Umständen aufgetreten ist. Die Obertöne der verwendeten Klänge habe ich grade im Gegentheil, und gewiss mit

mehr Recht, als Störungen des Versuchs betrachtet, und die Vermuthung ausgesprochen (S. 389), der Versuch würde mit einfachen Tönen noch schönere Resultate geben.

Bei dieser Gelegenheit möchte ich erwähnen, dass ich erst dieser Tage einem Musiker von Fach den Sirenenversuch vorgeführt habe, ohne ihm vorher zu sagen, um was es sich handle. Derselbe erklärte, als die betr. Drehgeschwindigkeit erreicht war, sofort den Vocal A, und zwar auf eine Note zu hören, welche genau die des Differenztones beider angegebenen Töne war. Ich bin jetzt beschäftigt, meine Curven mittels der König'schen Wellensirene zu prüfen, und werde die Resultate seinerzeit mittheilen.

Endlich bleibt noch derjenige Einwand zu erledigen, welchen mir Hensen selbst gemacht hat. Ich hatte bemerkt, es scheine mir „nicht unverständlich“, dass der oscillirende Expirationsstrom der Stimme die Mundhöhle oscillirend, resp. intermittirend anblase; es sei möglich, dass der Mundresonator, dessen Eigenschaften wegen seiner unregelmässigen Gestalt und weichen Wände theoretisch nicht übersehbar seien, hierzu genügende Dämpfung besitze. Hensen meint nun, ein so stark gedämpfter Mundresonator würde die Stimme überhaupt nicht hören lassen. Allein erstens erfolgt die Verstärkung der Stimme wesentlich durch die Resonanz des Brustkastens, zweitens heisst Dämpfung nicht schwaches, sondern rasch abklingendes Mittönen, und aus der Theorie der Resonanz ist es bekannt, dass grade starke Dämpfung mit grossem Ansprechbereich verbunden ist, also auch Töne, welche vom Eigenton weit abstehen, verstärkt werden. Dieser Einwand ist daher gewiss nicht ausreichend, meine Theorie der Vocale als „irrig und irreführend“ zu bezeichnen. Mit ungleich mehr Recht könnte ich wohl Pipping's übereilte und verfehlte Kritik so nennen.

Zum Schluss noch einige Bemerkungen über die beiderseitigen Untersuchungsmethoden. Es lag mir, wie schon bemerkt, völlig fern, den Hensen'schen Sprachzeichner, den ich nicht aus eigener Anschauung kenne, zu kritisiren, ich werde aber durch Pipping und Hensen jetzt dazu genöthigt, da dieselben ihre Resultate als ungleich zuverlässiger erklären, denn die meinigen. Hensen scheint sich hauptsächlich darauf zu stützen, dass sein Sprachzeich-

ner das Trommelfell nachahme. Diese Nachahmung ist aber doch eine sehr oberflächliche, da sie nur darin besteht, dass eine Membran durch einen auf ihre Mitte wirkenden Zug gespannt wird, und mit dem spannenden Hebel schreibt. Beschaffenheit, Dicke, Spannung, Grösse der Membran und Angriffsweise des Hebels¹⁾ sind so wesentlich verschieden von den Eigenschaften des Trommelfells, und worauf es bei den letzteren eigentlich ankommt, wissen wir alle so wenig, dass mir die Aufzeichnungen des Sprachzeichners vor der Hand nicht mehr Vertrauen zu verdienen scheinen, als diejenigen irgend einer anderen von gröberen Eigenschwingungen freien Membran oder Platte. Pipping legt ferner grossen Werth auf die dämpfende Rückwirkung des zeichnenden Hebels auf die Membran; aber grade diese Rückwirkung ist sehr fraglich, zumal der Hebel nur mit Durchbiegung schreibt. Es wäre möglich, dass das microscopische Schreiben zwar die Eigenschwingungen des ziemlich massigen Hebels, aber nicht diejenigen der Membran dämpft.

Ich selber habe mich bei der Construction meines Apparats mehr durch die Erfahrung als durch aprioristische Ansichten leiten lassen, indem ich die Membran des neuen Edison'schen Phonographen möglichst nachahmte, welche zwar vom Trommelfell äusserst verschieden ist, aber die Sprache in unübertrefflicher und durch das Gehör erprobter Vollkommenheit aufnimmt. Dass hier die Dämpfung durch das eingrabende Zeichnen eine wesentliche Rolle spielt, habe ich bereits in meiner Arbeit (S. 348) stark hervorgehoben. (Die Rückwirkung derselben auf die Membran ist hier, abweichend vom Hensen'schen Apparat, ganz unmittelbar und daher zweifellos.) Ich suchte die Dämpfung durch einen zwischen Membran und Glimmersteg straff eingezwängten Wattebausch zu ersetzen. Im übrigen glaubte ich, dass es wesentlich auf Kleinheit der Schwingungen ankommt und hierin stimmt mein Verfahren mit dem Hensen'schen überein. Bei mir wie bei ihm sind die Schwingungen *microscopisch*. Er zeichnet sie unvergrössert auf, und betrachtet sie mit dem Microscop; ich zeichne sie vergrössert auf, indem ich einen langen, aber gewichts-

1) Fick hat z. B. einen radial befestigten Steg mit mindestens eben so grossem Rechte für das Wesentliche erklärt.

losen Hebel, nämlich den Lichtstrahl, verwende. Beides wird auf dasselbe hinauskommen.

Ich sehe also nicht den geringsten Grund, warum meine Curven weniger zuverlässig sein sollen, als die des Sprachzeichners, behaupte aber vorläufig auch nicht das Gegentheil. Ueberhaupt können, wie ich in meiner Arbeit wiederholt hervorgehoben habe, phonautographische Aufzeichnungen den natürlichen Vorgang in der Luft nur annähernd wiedergeben, und ich habe ausdrücklich constatirt, dass ich mich damit begnügen muss, die wesentlichsten, d. h. unterscheidendsten Merkmale des Vocals festzustellen. Die anscheinend grosse Illusion, der sich Pipping bezüglich der Treue seiner Curven hingiebt, scheint mir wesentlich davon herzuführen, dass er überhaupt nur mit einer einzigen Art und Grösse von Membran gearbeitet hat, also gar nicht bemerken konnte, wieviel die Membran selber hinzuthut. Ich habe so viel verschiedene Stoffe, Grössen, Steifigkeiten erprobt, dass ich in meinen Schlüssen sehr vorsichtig wurde, und nur stets wiederkehrende Charactere für massgebend hielt. Während ich also den Einfluss der Membran nicht nur „eingestehe“, sondern hervorhebe, hält Pipping alles, was er zeichnet, für richtig, und seine Curven für genau genug, um Rechnungen mit 5—7 stelligen Logarithmen daran zu knüpfen und die Phasen der Partialtöne bis auf Minuten genau auszurechnen¹⁾. Nicht einmal diejenige Prüfung hat er angestellt, — wenigstens würde er es anführen, wenn es geschehen wäre, — ob die folgenden Perioden derselben Curve bei der Analyse dieselben Verhältnisszahlen und Phasenwerthe ergeben, ob nicht letztere, die auf Minuten ausgerechnet sind, um ganze Grade, ja 10 oder 100 Grade verschieden ausfallen! Er hat überhaupt nur einzelne Perioden analysirt, und bildet auch nur je eine ab, sein verwerthetes Ma-

1) Diese scheinbare Genauigkeit wird um so seltsamer, wenn man sieht, dass die Originalcurven zum Theil nur eine Höhe von 0,006 mm haben! Auch Pipping's Vorwurf, dass ich die gesungenen Tonhöhen nicht besonders controllirt habe, zeigt, dass derselbe nicht weiss, dass der verlangte Grad der Genauigkeit stets nach dem Zwecke abzumessen ist. Wenn ich um $\frac{1}{16}$ Ton falsch singe, so verschieben sich alle Obertöne und Schlüsse aus den Curvenmessungen ebenfalls um $\frac{1}{16}$ Ton, was vorläufig ganz irrelevant ist, so lange meine Angaben über die Höhe der charakteristischen Töne um ganze Töne und mehr schwanken.

terial ist sehr wenig umfangreich im Vergleich zum meinigen, auch in Bezug auf die Zahl der Noten, auf welche der Vocal hintereinander von derselben Stimme gesungen wurde. Wenn ich, wie Pipping, hauptsächlich Kritik üben, und nicht mich auf Vertheidigung gegen seine Angriffe beschränken wollte, so hätte ich auch noch Manches zu bemerken über die oft sehr geringe Uebereinstimmung der wenigen Curven, welche für denselben Vocal vorliegen, über das Durcheinandergehen der „Verstärkungsgebiete“ von E und I, über das auffallend häufige Zusammentreffen der unteren „Verstärkung“ mit dem Grundton u. s. w. Aber ich begnüge mich gezeigt zu haben, wie wenig Grund vorliegt, etwa Pipping's Resultate für befriedigender zu halten als die meinigen. Befriedigend sind nur die Uebereinstimmungen beider Arbeiten, deren es zum Glück wesentliche giebt.

Auf Pipping's Bemerkungen über „Eleganz“ der beiderseitigen Curven gehe ich nicht ein; darüber lohnt es sich nicht zu richten; auch habe ich nur das Urtheil Anderer über meine Curven wiedergegeben. Wenn er aber, weil ich ihm ein blindlings herausgegriffenes Blatt nach Helsingfors geschickt habe, meinen Messungen Mangel an Schärfe vorwirft, so hätte er sich doch sagen sollen, dass er die von mir gemessenen Curven niemals gesehen, also über ihre Beschaffenheit kein Urtheil hat.

Ich stehe also auf dem Standpunkte, dass vor allem die Vocalfrage dadurch wesentlich gefördert scheint, dass zwei mit wesentlich verschiedenen Mitteln ausgeführte Untersuchungen im wesentlichsten Punkte, nämlich der annähernden Constanz der charakteristischen Töne, zu einem übereinstimmenden, und die Helmholtz'sche Lehre von 1863 bestätigenden Ergebniss gelangt sind. Die Differenz beider Arbeiten besteht hauptsächlich darin, dass bei Hensen und Pipping die verstärkten Schwingungen wesentlich auf den Grundton aufgesetzt, bei mir die charakteristischen Schwingungen ganz unabhängig und in ihrer Amplitude (in der Periode des Stimmtens) oscillirend erscheinen, bei mir also meist auch bei jeder Schwingung des charakteristischen Tones selbst die Membran durch ihre Gleichgewichtslage geht. Wer hinsichtlich dieser Differenz Recht behalten wird, das können nur fortgesetzte Untersuchungen, aber kein Raisonnement entscheiden.

Dass endlich die charakteristischen Töne auch unharmonisch zum Stimmtone sein können, habe ich in meinen Curven nachgewiesen, während Pipping diese Frage gar nicht untersucht, sondern a priori negativ beantwortet hat.

Erst in zweiter Linie im Vergleich zu meinen thatsächlichen Ergebnissen steht meine Theorie des Vocalcharakters und der Vocalbildung. Bei der Beurtheilung der Richtigkeit oder zunächst Möglichkeit derselben, möchte ich aus Gründen, welche sich später herausstellen werden, davor warnen, sich durch irgend eine Hypothese über die Natur des Hörens leiten zu lassen, am wenigsten freilich durch diejenige ganz neue, welche Pipping (S. 435 seiner Kritik) aufstellt.

Berichtigungen zum III. Theile meiner phonophotographischen Untersuchungen: Bd. 47, S. 371, unterste Zeile, muss es statt „Eierschnur-Ornament“ heissen: „Eierstab-Ornament“. Ferner S. 375, Zeile 5 von oben, muss es statt „mitten in“ selbstverständlich heissen „unmittelbar neben“.