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

Weitere Untersuchungen über das Wesen der Vocale.

(Unter Mitwirkung des Herrn H. Hirschfeld.)

Von

L. Hermann.

(Hierzu Tafel V und VI.)

1. Vorbemerkung und Methodisches.

Die fortschreitende Vervollkommnung meines Verfahrens, die Eindrücke des Edison'schen Phonographen auf photographischem Wege in Curven umzusetzen, liess es wünschenswerth erscheinen, die Curven der 9 Hauptvocale in möglichst vollkommener Form zu gewinnen, um sie durch treue Reproduction jedem, der sich für den Gegenstand interessirt und selbstständig Messungen zu machen wünscht, zugänglich zu machen. Ausserdem lag mir daran, auch von den kurzen Vocalen (wie in *Ann*, *Enn*), welche ich bisher nur gelegentlich berührt habe¹⁾, vollständige Analysen zu gewinnen.

Ich habe daher in den letzten Monaten eine grössere Anzahl Blätter ausschliesslich für diesen Zweck angefertigt. Erfahrungsgemäss sind sehr grosse Curven für genaue Ausmessung weniger bequem, als solche, deren Messung auf dem von mir beschriebenen Wege²⁾ unter dem Microscop micrometrisch erfolgen kann. Der vor einigen Jahren von R. Fuess in Steglitz bei Berlin für das Institut angefertigte vorzügliche micrometrische Messtisch gestattet ohne Hilfslinien Curven zu messen, deren Abscissenlänge nicht über 36 mm, und deren Ordinatenlängen nicht über 16 mm gehen; grössere

1) Dies Archiv Bd. 58. S. 260.

2) Dies Archiv Bd. 47. S. 46. Ueber Ausmessung grösserer Curven s. Bd. 58. S. 265.

Dimensionen können noch gemessen werden, wenn eine mit einer feinen Nadel auf das Papier eingekratzte Hilfsaxe und nöthigenfalls auch eine Hilfsordinate benutzt wird. Der Objecttisch besitzt eine Micrometerschraube, deren Knopftheilung Vierhundertstel mm direct abzulesen gestattet. Diese Schraube wird benutzt, um die Periodenlänge zu messen und die Curve, welche zwischen 2 Glasplatten befestigt ist, genau um Vierzigstel der Periodenlänge zu verschieben. In derselben Richtung wirkt auch eine Triebbewegung verschiebend, deren Theilung mit Nonius Zehntel mm abzulesen erlaubt. Diese Bewegung dient zur Ergänzung der Weglänge der Schraubenbewegung. Die Ordinatenmessung erfolgt mittels einer zur Axenrichtung senkrechten Triebbewegung, deren Theilung und Nonius auf Zehntel mm genau ist. Die Messungen erfolgen mit einem Fadenkreuz.

Das Institut besitzt zwei Accumulatoren, der eine von 6, der andere von 30 Elementen, beide im Sou terrain aufgestellt, und durch ein 3-Leiter-System unabhängig von einander in den verschiedenen Institutsräumen benutzbar. Der kleinere Accumulator dient zur Bewegung des Phonographen beim Abdrehen, Besingen und Abhören, der grössere zum Betrieb der Bogenlampe für die Curvenaufnahmen. Bei den letzteren wird der Phonograph mittels eines Eichens'schen Uhrwerkes äusserst langsam gedreht, mit einer Geschwindigkeit, welche nur $\frac{1}{800}$ bis $\frac{1}{450}$ der zum Besingen verwendeten ist.

Zur Ueberführung der Eindrücke in Bewegungen des photographirenden Lichtstrahls steht eine stärkere und eine schwächere Hebelvergrösserung zur Verfügung, die erstere mit 3, die letztere mit nur 2 Hebelaxen. Die beiden, allmählich sehr verbesserten Apparate sind schon früher schematisch abgebildet, der erstere Bd. 58. Tafel II. Fig. 1, der zweite Bd. 55. Tafel I. Fig. 5 und 6. Für Vocaleurven von zur microscopischen Messung bequemen Dimensionen wird stets der letztere Apparat benutzt. Ein anderes Mittel zur Beherrschung der Ordinatenhöhen ist die Länge des reflectirten Lichtstrahls, d. h. der Abstand des Spaltbildes vom Spiegelchen. Diese Länge, und mit ihr die Ordinatengrösse, ist um so geringer: 1. je weiter der an der electrischen Lampe angebrachte beleuchtete Spalt vom Phonographen entfernt ist, 2. je stärker die vor dem Spiegelapparat angebrachte Convexlinse (1 bis $1\frac{1}{2}$ Dioptrien).

Die Periodenlängen der Curven sind bei gegebener Tonhöhe um so grösser: 1. je langsamer die Reproductivdrehung des Phonographencylinders im Verhältniss zur Drehung beim Besingen, 2. je schneller die Drehung des Baltzar'schen Cylinders, auf dem das Bromsilberpapier befestigt ist.

Aus vorstehenden Bemerkungen ergeben sich die Mittel, welche zur Verfügung stehen, um Curven von gewünschten Dimensionen zu erhalten.

Für die Vocalcurven der neuen Serie wurde auf selbstthätige Axenverschiebung des Baltzar'schen Cylinders verzichtet, hauptsächlich damit die Abscissenaxen der Curven den Papierrändern genau parallel verlaufen. Nach jedem Umgange des Cylinders wird derselbe mittels der Kurbel soweit verschoben, wie nöthig ist, damit sich die Curven nirgends überdecken.

Um den Cylinder nach jedem Umgange, oder nach jedem halben oder viertel Umgange, sicher zum Stehen zu bringen, was sehr wichtig ist, habe ich folgende einfache Vorrichtung angebracht. Der bekannte Baltzar'sche Cylinder hat an seinen beiden Grundflächen je 4 platte Speichen. In jede der Speichen derjenigen Grundfläche, welche der Verschiebungskurbel zunächst steht, und dicht am Verschiebungsarm vorbeigeht, wurde ein feines Loch gebohrt, in welche ein kurzer geknöpfter Vorstecker hineinpasst. Mittels dieses Vorsteckers, welcher beim Rotiren des Cylinders schliesslich sich am Verschiebungsarm fängt, kann man dem Cylinder nach Belieben ganze, halbe oder viertel Umdrehungen freigeben. Das Umschalten des Vorsteckers sowie die Kurbeldrehungen erfolgen nach Auslöschen des electrischen Lichtes und Kleinstellen der Gaslampe unter Lüften des die Schutzkammer bedeckenden Sammettuches.

Das ganze Verfahren ist in allen seinen Theilen so sicher, dass ein Missrathen eines Blattes schon seit langer Zeit nicht mehr vorkommt.

2. Die Anaperiodicität der unharmonischen Formanten.

Die erste Aufgabe, welche ich mir stellte, war die Untersuchung, ob die unharmonischen Bestandtheile der Vocalklänge sich in jeder Periode unabhängig einsetzend wiederholen, oder ob sie eine in der Phase fortlaufende und nur mit jeder Stimmperiode unterbrochene Schwingung darstellen. Im letzteren Falle

müsste die unharmonische Schwingung sich gegen die Stimmp perioden noniusartig verschieben. Der Kürze halber werde ich im folgenden den ersten Fall als einen anaperiodischen, den zweiten als einen autoperiodischen unharmonischen Bestandtheil bezeichnen. Von Anfang an habe ich es aus dem blossen Anblick der Curven für wahrscheinlicher gehalten, dass die unharmonischen Formanten anaperiodisch auftreten¹⁾, aber wiederholt darauf hingewiesen, dass dies nur durch Analyse mehrerer Perioden derselben Curven entschieden werden kann²⁾. Allerdings zeigen längere Vocalcurven nicht selten kleine Verschiedenheiten im Aussehen der einzelnen Perioden, und diese Verschiedenheiten stellen sich allmählich in einer gewissen Entwicklungsreihe ein. Aber die Ursache hiervon braucht nicht in autoperiodischer Disharmonie, sondern kann ebensogut in leichtem Detoniren der Stimmnote liegen. Die Analyse muss jedenfalls hierüber Aufschluss geben. Ist nämlich der Formant autoperiodisch, so müssen sich die hervorragenden Partialtöne in der Phase regelmässig verschieben, ist er dagegen anaperiodisch, so wird dies nicht der Fall sein, auch wenn die Stimme detonirt.

Unterdessen hat Pipping in einer neueren Arbeit³⁾, auf welche ich unten zurückkomme, dieselbe Frage bearbeitet, wenn auch, da er keine unharmonischen Formanten zugiebt, von etwas anderem Gesichtspunkte. Er ist zu dem Resultat gelangt, dass keine Phasenverschiebungen vorkommen, welche nicht auf Detoniren des Stimmklanges bezogen werden könnten.

Die, auf die vorliegende Frage bezüglichen Messungen und Analysen sind auf meine Veranlassung von Herrn H. Hirschfeld vorgenommen worden. Zu denselben wurden Curven verwendet, welche sich über die ganze, 50 cm betragende Länge des Papierblattes erstreckten, und je nach der Tonhöhe 26 bis 52 Perioden enthielten. Es wurden natürlich nur solche Curven verwendet, welche die oben angedeuteten leichten Variationen der Periodenformen zeigten, und es wurden solche Perioden analysirt, in welchen diese Verschiedenheiten ihr Maximum erreicht hatten. Gewöhnlich wurden nur 10 Partialschwingungen berechnet, auch wo die restiren-

1) Vgl. dies Archiv Bd. 47. S. 381; Bd. 48. S. 183 f., 187; Bd. 58. S. 275.

2) Dies Archiv Bd. 48. S. 187, Anm.; Bd. 58. S. 275.

3) Zeitschr. f. Biologie Bd. 31. S. 524. Genaueres in Acta societ. scient. Fennicae Bd. 20. No. 11. Helsingfors 1894.

den Glieder noch ziemlichen Betrag hatten, da es hier eben nicht auf vollständige Analysen ankam. Ich theile im Folgenden einige Beispiele mit. Auch wo mehr als 10 Glieder berechnet worden sind, setze ich hier nur die ersten 10 her. Alle Amplituden sind auf gleiche Curvenhöhen, nämlich 10 mm reducirt, und bedeuten Zehntel-mm, also Procente der maximalen Curvenhöhe zwischen den untersten und den obersten Culminationen.

Die Phasen sind so umgerechnet, dass der hervorragendste Partialton mit der Phase 0 einsetzt, und auf volle Grade abgerundet.

Vocal A, Note c. Tafel 270.

		Amplituden.									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Periode	2.	1 ₈	1 ₃	0 ₈	4 ₄	16 ₀	19 ₀	9 ₇	5 ₄	1 ₄	1 ₉
"	12.	1 ₅	2 ₄	1 ₉	8 ₅	20 ₁	15 ₉	5 ₅	7 ₁	1 ₄	3 ₁
"	23.	1 ₃	1 ₅	0 ₄	12 ₅	18 ₁	14 ₉	2 ₆	4 ₀	3 ₅	5 ₉
		Phasen (in Graden).									
"	2.	-93	89	121	43	0	-45	-125	104	43	54
"	12.	-23	97	15	31	0	-54	-169	106	160	74
"	23.	3	36	-4	48	0	-61	-167	113	157	71

Vocal A, Note e. Tafel 271.

		Amplituden.									
Periode	2.	6 ₀	3 ₁	7 ₈	30 ₀	12 ₉	7 ₇	1 ₇	8 ₇	8 ₅	3 ₁
"	30.	4 ₁	4 ₆	3 ₇	30 ₁	13 ₈	10 ₈	3 ₆	8 ₅	7 ₄	4 ₄
		Phasen.									
"	2.	-143	-10	50	0	-61	113	+180	81	1	-153
"	30.	166	91	56	0	-69	97	161	73	-6	151

Vocal A, Note c¹. Tafel 271.

		Amplituden.									
Periode	11.	8 ₇	32 ₁	12 ₃	7 ₃	6 ₁	5 ₄	2 ₆	2 ₀	0 ₈	1 ₂
"	37.	8 ₁	33 ₉	18 ₀	6 ₄	6 ₂	4 ₁	2 ₉	1 ₂	1 ₅	0 ₄
		Phasen.									
"	11.	109	0	-169	44	-97	64	-86	125	-64	172
"	37.	113	0	-174	-54	121	20	174	53	109	28

Vocal O, Note c. Tafel 269.

		Amplituden.									
Periode	3.	18 ₄	19 ₂	20 ₃	21 ₆	3 ₅	3 ₅	3 ₅	2 ₉	2 ₁	1 ₄
"	20.	12 ₉	22 ₉	18 ₁	22 ₇	18 ₄	5 ₆	5 ₂	2 ₈	5 ₃	1 ₆
		Phasen.									
"	3.	-86	-162	153	0	120	-82	-160	16	124	-104
"	20.	-82	-151	172	0	76	-92	-110	17	127	-113

Wie man sieht, sind die Analysen mehrerer Perioden desselben Vocalklanges, trotz des etwas verschiedenen Aussehens derselben, sowohl in den Amplituden wie in den Phasen ziemlich übereinstimmend. Wo grosse Abweichungen vorkommen, betreffen dieselben Partialtöne, welche wenig hervorragen. Jedenfalls ist der Schluss gerechtfertigt, dass eine regelmässige Verschiebung, wie sie ein autoperiodischer unharmonischer Formant verursachen würde, nicht vorkommt, so dass also die von mir nachgewiesenen unharmonischen Bestandtheile als anaperiodisch zu betrachten sind.

Unter den zahlreichen, noch zu beleuchtenden Einwänden, welche H. Pipping neuerdings gegen meine Vocaluntersuchungen erhoben hat¹⁾, figurirt auch von Neuem der schon von ihm und Hensen gemachte, und trotz meiner Zurückweisung²⁾ von Auerbach wiederholte, dass die von mir behaupteten unharmonischen Formanten beim vocalisirten Gesang jeden Kunstgenuss unmöglich machen würden. Da Pipping jetzt selber einsieht, dass dieser Einwand nur dann zutreffend sein würde, wenn die unharmonischen Formanten autoperiodisch wären (S. 529)³⁾, so kann ich mir seinen Einwand nur aus dem Missverständniss erklären, dass ich die letztere Ansicht ausgesprochen hätte. Bei aufmerksamem Lesen würde er gefunden haben, dass ich stets nur anaperiodische Disharmonie behauptet, und nur die Möglichkeit autoperiodischer durch besondere Untersuchung ausgeschlossen zu sehen gewünscht habe. Der Einwand fällt also in Nichts zusammen.

3. Neue Curven langer Vocale (Tafel V) und Principien der Untersuchung.

Zu dem eingangs angegebenen Zwecke gebe ich auf Taf. V eine Anzahl möglichst treuer Copien von Vocaleurven in denjenigen Dimensionen, wie sie in der letzten Zeit hauptsächlich zu unseren Messungen gedient haben. Sehr gern hätte ich photographische Reproductionen gegeben, aber die Originalcurven erwiesen sich

1) Zeitschr. f. Biologie Bd. 31. S. 524.

2) Dies Archiv Bd. 48. S. 184.

3) Anstatt der Worte: „Es freut mich, wenigstens in diesem Punkte Prof. Hermann beistimmen zu können“ hätte der Verf. besser gesagt: „es drängt mich meinen irrigen Angriff zurückzunehmen.“

dazu im Allgemeinen als zu fein; es musste daher wieder zum Pausverfahren gegriffen werden. Von der Glätte und Eleganz der Originale geben die Reproduktionen keine Vorstellung, jedoch sind sie bis auf einige Härten in der Wiedergabe feiner Details so correct, dass sie zur Analyse benutzt werden können.

Aus den meist 50 oder 25 cm langen Originalcurven (s. oben S. 171) sind nur Stücke von 8 cm wiedergegeben; nur 3 Curven sind fast in ganzer Länge des Originals (45 von 50 cm) reproduciert, um eine Vorstellung davon zu geben, wie die Perioden allmählich in Einzelheiten sich verändern. Auch zu den kurzen Curvenstücken sind, wo Veränderungen im Verlaufe der Curve bemerkbar waren, mit Vorliebe solche Strecken ausgewählt, in welchen die Veränderung sichtbar ist.

Durchweg ist links Vocal und Note, rechts in Haarschrift und eingeklammert die Blatt-Nummer angegeben. $\bar{A}$, g bedeutet: langes A auf Note g gesungen. Die Stimmung ist die sog. mathematische, d. h. $c = 128$, $e = 160$, $g = 192$, $c^1 = 256$ ganze Schwingungen p. Sec. Von einigen Vocalen habe ich mehrere Beispiele für dieselbe Note aus bestimmten Gründen darstellen lassen. Alle Curven rühren von meiner Stimme her, für welche, wie man sieht, die Kraft einer Reihe von Vocalen (E , I , Ae , Oe , Ue) deutlich von c bis c^1 zunimmt (dasselbe gilt für die entsprechenden kurzen Vocale, s. Taf. VI).

Die Wiederholung einer anaperiodisch unharmonischen Schwingung in jeder Periode springt besonders bei den Vocalen $\bar{A}$ und Ao jedem Unbefangenen sofort in die Augen. Dass es sich hier nicht um willkürliche Auffassung handelt, ergibt sich besonders beim Vergleich der Curven Nr. 1, 4, 5, 6, welche sämtlich Vocal $\bar{A}$ auf Note c darstellen und verschiedenen Blättern entnommen sind. In 5 sind jedesmal nur 2, in 1, 4, 6 dagegen 3 ganze Schwingungen des Formanten in jeder Periode enthalten; der Rest der Periode ist nahezu schwingungslos. Deutlicher kann die Selbstständigkeit des Formanten gegenüber der alten Lehre von der Verstärkung harmonischer Stimmpartialtöne gewiss nicht bewiesen werden. Auch Nr. 3 und 10 (Ao , Note c) zeigen sehr schön eine selbstständige schwebungsartig unterbrochene und zugleich evident unharmonische, aber anaperiodische Formantschwingung. Dass der unmittelbare Anblick der Curven hier Dinge lehrt, welche in der

Analyse niemals zu Tage treten können, wird Jeder zugeben, der nicht in theoretischer Voreingenommenheit befangen ist.

Den letzteren Vorwurf muss ich Pipping machen, dessen sonst schätzenswerthe und fleissige Untersuchung (Citat s. oben) durch diese Voreingenommenheit unfruchtbar wird. Er macht mir die seltsame Vorhaltung, dass ich die Curven auch mit dem Auge betrachte, während „unsere Gesichtseindrücke für die Gehörwahrnehmung in keiner Weise massgebend sind“, und dass ich „bei der Beurtheilung der Klangcurven die Empfindungen des Auges und die des Ohres nicht streng auseinander halte“. Als ob die Klangcurve etwas anderes wäre, als eine optische Darstellung der Schallbewegung, eben dazu gemacht, um mit allen Hilfsmitteln des Gesichtssinnes studirt zu werden! Zunächst kommt es darauf an, festzustellen, welche Art von objectiver Bewegung der Vocalklang ist. Ein zweites, selbstständiges Problem ist es, wie das Gehörorgan auf diesen Vorgang reagirt, eine Frage, auf welche ich weiter unten eingehe. Pipping betrachtet die Vocalfraße nur vom Standpunkt des Ohres, und noch dazu vom Standpunkt einer Hypothese, die er fälschlich als Gesetz bezeichnet (s. unten S. 201), obwohl er sie, wie wir sehen werden, selber in einem wesentlichen Punkte umzustossen sucht. Was zu dieser Hypothese nicht passt, ist er sehr geneigt, einfach als falsch anzusehen.

Ich kann nur wiederholen¹⁾: die Curve ist der vollkommenste objective Ausdruck der vorliegenden Bewegung; wie wir die Curve lesen, ist willkürlich; die Auflösung in harmonische Theilschwingungen ist eine der Arten sie zu lesen, aber nicht die einzige.

Pipping freilich behauptet stets von Neuem, dass sie die einzige sei, obwohl er zu meiner Freude von einer ganzen Reihe schwerer Irrthümer seines ersten eiligen Angriffes in Folge meiner Beleuchtung desselben zurückgekommen ist. Er macht mir nicht mehr wie früher²⁾ den Einwand, dass seine Analysen die Abwesenheit unharmonischer Formanten ergeben, weil die Curven sich ohne Fehler in harmonische Reihen auflösen lassen³⁾, ja er hat sogar

1) Vgl. dies Archiv Bd. 58. S. 273. Diese am 16. October 1894 erschienene Arbeit war Pipping bei der Abfassung seines Angriffes noch unbekannt. Ich bin genöthigt, einiges dort schon Gesagte kurz zu reproduciren.

2) Zeitschr. f. Biologie Bd. 27. S. 433.

3) Noch immer ist übrigens Pipping über die Bedeutung seiner

den von mir hervorgehobenen Umstand, dass diese Zerlegung eine willkürliche ist¹⁾, jetzt endlich auch aus Helmholtz herausgelesen. Er macht mir auch nicht mehr den Einwand, dass meine unharmonischen Formanten mit Resonatoren nicht nachweisbar sind, sondern gesteht zu (S. 531 Anm.), dass ich Recht hatte diesen Nachweis bei anaperiodischen Formanten für unmöglich zu erklären²⁾. Ich hätte nur gewünscht, dass ein Autor, der mich zum zweiten Male angreift, die Irrthümer seines ersten Angriffes ausdrücklich widerrufen hätte; der Leser merkt diese Widerrufe aus der Darstellung nicht.

Der jetzige Vorwurf Pipping's gegen meine Aufstellung anaperiodisch unharmonischer Formanten, dass nämlich diese Aufstellung auf einer anderen Betrachtungsweise als der analytischen beruht, ist also gar kein Einwand, da die analytische Betrachtung diese Frage niemals entscheiden kann.

Ein zweiter Einwand gegen meine „Lehre“ ist nach Pipping der Widerspruch zwischen derselben „und den bekanntesten Thatsachen der Acustik“. Was meint wohl hier der Vf.? Dass ein Schall, wie ich ihn annehme, physikalisch undenkbar sei, wird doch selbst Pipping nicht behaupten wollen. Dass ein solcher, wie Pipping auf Grund eines unten zu besprechenden Versuches von Hensen irrthümlich schliesst, nicht auf die Weise zu Stande kommen könnte, wie ich es als möglich hingestellt habe, würde, wenn es wahr wäre, ebenfalls kein Einwand gegen meine objective Auffassung der Vocalcurven und ebensowenig ein Widerspruch gegen bekannte Thatsachen der Acustik sein. Pipping sollte überhaupt so starke Ausdrücke auf einem Gebiete, das mir wohl ebenso bekannt ist wie ihm, nicht ohne die sorgfältigste Prüfung gebrauchen. Wie mir scheint, versteht Pipping unter den „bekanntesten That-

Fehlerrechnung nicht völlig im Klaren; denn er sagt (S. 550), er habe mit derselben die Genauigkeit seiner „Messungen“ viel sorgfältiger geprüft, als irgend ein Anderer. Die Messungen werden aber durch die Fehlerrechnung absolut nicht controlirt, sondern nur erstens die Richtigkeit der analytischen Rechnung, zweitens, wieweit die berechneten Glieder ausreichen, die durch die gemessenen Ordinaten, mögen dieselben richtig oder falsch sein, gegebene Curve erschöpfend in Partialschwingungen auszudrücken.

1) Dies Archiv Bd. 48. S. 185.

2) Bd. 48. S. 183.

sachen der Acustik“ wieder nur die Hörhypothesen, in die er sich eingelebt hat, und die er mit Thatsachen verwechselt.

Ein dritter und neuer Einwand Pipping's gegen meine unharmonischen Formanten ist der allbekannte Helmholtz'sche Klavierversuch. Da anaperiodisch unharmonische Formanten die ihrem Ton entsprechende Saite nicht in Mitschwingung versetzen können, so könnten, wie Pipping meint, die Vocale, wie ich sie auffasse, nicht aus dem Klavier nachhallen, während sie es doch thun. Glaubt Pipping wirklich, dass ich einen so naheliegenden und (wenn er zutreffend wäre) schlagenden Einwand mir nicht selbst längst gemacht haben würde? In der That habe ich schon vor 5 Jahren, zur Zeit meiner ersten Vocalarbeit, den Klavierversuch, den ich jedes Jahr meinen Zuhörern vorführe, und der auch mir im ersten Moment mit meiner Auffassung unvereinbar schien, sorgfältig erwogen, aber bei näherer Ueberlegung sofort gefunden, dass dies kein Einwand ist. Und Pipping hätte ebenfalls, ehe er mit einem so wohlfeilen Einwand mich widerlegen zu können glaubte, die Sache genauer überlegen sollen. Sie ist nämlich ganz einfach. So gut wie sich jede Periode, auch mit einem anaperiodischen unharmonischen Formanten, in eine Fourier'sche Reihe entwickeln lässt — und ich selbst habe in meinen Arbeiten viele solche Entwicklungen mitgetheilt ¹⁾ —, so muss auch ein solcher Schall in einem möglichst vollständigen Resonatorensystem seine Vertretung finden, also auch sich durch Nachhall reproduciren. Ob der Formant selbst eine Saite ansprechen kann, wie es der Fall ist, wenn er mit einem Partialton des Stimmklanges zusammenfällt, oder ob dies, wie gewöhnlich, nicht der Fall ist, ist für den Erfolg völlig gleichgültig. Auch dieser Einwand Pipping's fällt also in Nichts zusammen. Auf den Klavierversuch komme ich unten nochmals zurück.

Pipping's neuere Analysen²⁾, welche an den angegebenen

1) Dies Archiv Bd. 48. S. 186, Anm.; Bd. 53. S. 46 ff.; Bd. 58. S. 276 ff.

2) Die in diesen Analysen steckende Arbeit unterschätze ich keineswegs, zumal Pipping, da er Nichts davon erwähnt, es offenbar verschmäht hat, sich des von mir erfundenen so ungemein bequemen Mittels der Schablonen (Bd. 47. S. 51) zu bedienen. Diese Schablonen lassen sich natürlich ebenso leicht für 48, wie für meine 40 Ordinaten anfertigen. Pipping hat sich sehr viel vermeidbare Arbeit gemacht. — Eine weitere Genauigkeitsprobe

Stellen mitgetheilt sind, enthalten mehrere erfreuliche Annäherungen an meine Ergebnisse, obwohl bei der Verschiedenheit unserer Sprachen genug Differenzen unvermeidlich bleiben werden. Vor Allem findet er jetzt für *A* ein früher nicht hervorgetretenes unteres Verstärkungsgebiet in der Gegend von *gis*², also sehr nahe meinem Befunde. Für *Ae* geht die Uebereinstimmung noch weiter. Auch für *U* ist die Uebereinstimmung grösser als ich früher meinte, da der von Pipping früher gefundene untere Formant bei *c*¹, und nicht, wie ich in Folge eines Druckfehlers bei ihm meinte, bei *c* lag, bei mir bei *c*¹ bis *f*¹, und in Pipping's neuerer Angabe bei *d*¹ bis *f*¹. Den oberen Formanten von *U*, dessen „Entdeckung“ sich Pipping zuschreibt, und den ich gleichzeitig mit ihm „entdeckt“ habe, finde ich bei *d*²—*e*², Pipping legte ihn früher bei *a*², jetzt bei *d*³ (als Mittellagen)¹). Gross sind und bleiben die Abweichungen besonders bei *O*, *Oe*, *Ue* und *I*, deren tiefere von Pipping angegebene Formanten in meinen Analysen nicht auftreten. Dies hängt möglicherweise mit dem Umstande zusammen, dass in Pipping's Analysen im Allgemeinen die Grundton-Amplituden stärker hervortreten als in den meinigen, woraus Annahmen tiefer Formanten hervorgegangen sein können, zu welchen ich keine Veranlassung habe. In Pipping's älteren Analysen war allerdings das Hervortreten der Grundtöne noch viel stärker, wie folgende Zusammenstellung zeigt:

meines Schablonenverfahrens (vgl. auch Bd. 53. S. 44) hat Herr Hirschfeld auf meine Veranlassung ausgeführt. Es wurden nämlich in der Productentabelle eines Analysenbogens die 4 obersten Reihen weggenommen und unten angehängt, d. h. der Nullpunkt der Periode in der Rechnung um 36° verschoben. Die nunmehrige Bestimmung der Amplituden stimmte ausgezeichnet zu der ersten; die Phasen aber waren natürlich gänzlich verändert, und zwar betrug, wie es sein muss, die Phasenverschiebung des ersten Partialtons 36°, die des zweiten 2.36 = 72°, die des dritten 3.36 = 108° u. s. w.

1) Dass ich den unteren, schon von Helmholtz behaupteten Formanten in meinen α -Versuchen nicht gefunden habe, beruhte auf einem Mangel derselben, den ich selbst bereits hervorgehoben habe (Bd. 53. S. 18, 34 etc.), was Pipping, nach der Art seiner Aeusserung zu schliessen, übersehen zu haben scheint.

	Zahl der Fälle mit Amplituden- maximum beim Grundton	Zahl der Fälle mit Amplituden- maximum bei einem höheren Partialton
in Pipping's ersten Analysen	14	9
in Pipping's neuen Ana- lysen ¹⁾	29	39
in meinen ersten Analysen ²⁾ (α -Vers., Bd. 47)	—	12
in meiner zweiten Reihe (Bd. 53)	7	36
in meiner dritten Reihe (Bd. 58)	2	36

Pipping hat sich also meinen Befunden bezüglich des Grundtones erheblich genähert, und betrachtet sogar den von mir zuerst, im Gegensatz zu den älteren Arbeiten, nachdrücklich hervorgehobenen merkwürdigen Umstand, dass die Vocalklänge auffallend schwache Grundtöne haben, jetzt wie eine bekannte Thatsache (S. 535). Trotzdem ist aber der Unterschied in unseren Resultaten in dieser Hinsicht noch recht beträchtlich. Ein Grund hiervon mag in der im Allgemeinen höheren Lage von Pipping's Vocalnoten liegen. Aber zum Theil liegt der Grund vielleicht auch in den verwendeten Membranen. Pipping erhebt (S. 557) „Protest“ dagegen, dass ich schon früher vermuthet habe, die Abweichungen möchten nur zu einem kleinen Theile auf Verschiedenheit der Aussprache beruhen. Ich muss aber meine Vermuthung aufrecht erhalten; grade für diesen einigermaßen principiellen Punkt kann die Aussprache gar nicht in Betracht kommen. Mein Verfahren muss ich nach wie vor als das zuverlässigere erklären, weil das Abhören der Eingrabungen am Edison'schen Phonographen jederzeit über die Treue derselben Aufschluss giebt, eine Controle, welche beim Sprachzeichner nun einmal unmöglich ist. Wenn letzterer etwa bei gewissen Vocalen die Grundschiwingung besonders begünstigte, so wäre die Verschiedenheit der Ergebnisse erklärlich. Allerdings sucht Pipping meine Methode zu verdächtigen. Nachdem er nämlich die längst bekannte Thatsache constatirt hat, dass der

1) Es sind in dieser Uebersicht nur die gesungenen Vocale berücksichtigt.

2) Nur Vocal A betreffend.

Phonograph nur dann treu die Vocale wiedergibt, wenn man mittels der Ohrschläuche hört, schliesst er nicht etwa, wie man erwarten sollte, dass schlechte Wiedergabe an sich noch Nichts gegen die Treue der Eindrücke beweist, sondern umgekehrt (S. 555 f.): „Trotz der guten Wiedergabe der Vocale müssen wir uns deswegen sehr hüten, die Richtigkeit der Eindrücke auf dem Wachscylinder als direct controlirt zu betrachten.“ Pipping scheint es also für denkbar zu halten, dass falsche Eingrabungen durch Behorchen mit einem Schlauch zu richtigen Vocaleindrücken führen! Unendlich näher liegt doch die Erklärung, dass die Vocaleingrabungen richtig sind, beim Behorchen ohne Schlauch aber nicht so genau mit allen ihren Specialitäten auf das Ohr wirken, als mit Schlauch¹⁾.

Pipping's „Verstärkungsgebiete“ erstrecken sich zum Theil über Bereiche von einer vollen Octave und mehr. Da diese enorme Ausbreitung ausschliesslich die tiefsten Gebiete betrifft, deren Mittelpunkte in die 1-gestrichene Octave fallen, so könnte das Hervorragen der Grundtöne an Pipping's Schlüssen wesentlichen Antheil haben.

Zur genaueren Ermittlung der Centren seiner Verstärkungsgebiete hat sich Pipping jetzt meiner Idee einer Schwerpunktsberechnung angeschlossen, aber dieselbe zu einer logarithmischen umgestaltet. Sind p_1, p_2, p_3 die Amplituden für die Ordnungszahlen n_1, n_2, n_3 etc., so rechne ich als resultirende (unharmonische) Ordnungszahl:

$$n = \frac{p_1 n_1 + p_2 n_2 + p_3 n_3 + \dots}{p_1 + p_2 + p_3 + \dots},$$

Pipping dagegen rechnet²⁾:

$$\log n = \frac{p_1 \log n_1 + p_2 \log n_2 + p_3 \log n_3 + \dots}{p_1 + p_2 + p_3 + \dots},$$

woraus folgen würde:

$$n = \frac{(p_1 + p_2 + p_3 + \dots)}{\sqrt{p_1 p_2 p_3 \dots}} \sqrt[n_1 n_2 n_3 \dots]{}$$

1) Die frühere, vom Sprachzeichner hergenommene Ansicht, dass der Sprechschlauch ungünstig wirke, ist hoffentlich, nachdem Pipping den Phonographen näher kennen gelernt hat, von ihm aufgegeben.

2) Statt der Ordnungszahlen nimmt Pipping die entsprechenden Schwingungszahlen, was aber im Resultat auf das Gleiche herauskommt.

Seine Begründung läuft darauf hinaus, dass der intervallmässig mittlere Ton zwischen zwei Tönen nicht beim arithmetischen, sondern beim geometrischen Mittel der Schwingungszahlen liegt. Das ist ganz richtig; nur hat Pipping versäumt, nachzuweisen, dass es hier auf Intervallverhältnisse im musikalischen Sinn, und nicht auf einfache lineare Abstände der Schwingungszahlen ankommt.

Will man der Sache physikalisch auf den Grund gehen, so wäre das nächstliegende, einen einigermaßen analogen übersehbaren Fall zu untersuchen, z. B. in welchem Amplitudenverhältniss ein irgendwie gelegener Ton eine Reihe von Resonatoren, deren Schwingungszahlen sich wie die ganzen Zahlen verhalten, anspricht. Diese Aufgabe ist theoretisch vollkommen lösbar, und ich gebe hier kurz die Resultate der von mir ausgeführten Berechnung.

Für einen Resonator von der Eigenschwingungszahl k für 2π sec. und dem Dämpfungsverhältniss ε (die Masse = 1 gesetzt), auf welchen ein Ton von der Amplitude λ und der Schwingungszahl m (für 2π sec.) einwirkt, lautet die Differentialgleichung:

$$\frac{\partial^2 x}{\partial t^2} + 2\varepsilon \frac{\partial x}{\partial t} + k^2 x = \lambda \sin mt.$$

Das Integral dieser Gleichung ist, wenn die mit der Zeit schnell verschwindenden Glieder weggelassen werden, auf eine Sinusschwingung reducirt:

$$x = \frac{\lambda}{\sqrt{(k^2 - m^2)^2 + 4m^2\varepsilon^2}} \sin \left(mt - \arctg \frac{2m\varepsilon}{k^2 - m^2} \right).$$

Der vor dem sin-Zeichen stehende Factor ist die Amplitude, mit welcher der Resonator antwortet, und wenn eine Reihe von Resonatoren von den Schwingungszahlen $k, 2k, 3k, 4k$ etc. vorliegt, so wirkt der Ton m in dem Verhältniss

$$\frac{1}{\sqrt{(k^2 - m^2)^2 + 4m^2\varepsilon_1^2}}, \quad \frac{1}{\sqrt{(4k^2 - m^2)^2 + 4m^2\varepsilon_2^2}}, \text{ etc.}$$

auf sie ein, worin $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ etc. die Dämpfungsverhältnisse sind.

Wenn nun Pipping's Begründung seines Verfahrens eine tiefere Bedeutung hätte, so müssten zwei Resonatoren, z. B. von der Schwingungszahl $2k$ und $3k$, annähernd gleich angesprochen werden durch einen Ton, der dem geometrischen Mittel von $2k$ und $3k$ entspricht, d. h. von $m = \sqrt{6} \cdot k$. Meine Schwerpunktsberechnung dagegen würde voraussetzen, dass diese beiden Resonatoren annähernd gleich angesprochen werden durch den Ton vom arith-

metischen Mittel, d. h. $m = 2,5 k$. Nehmen wir die ε -Werthe so klein an, dass ihre Quadrate gegen die übrigen Glieder vernachlässigt werden dürfen, so spricht der nach Pipping berechnete Ton die beiden Resonatoren im Verhältniss von 3:2, der nach mir berechnete im Verhältniss von 11:9, also weit gleichmässiger, an. Man sieht also, wie wenig fundirt Pipping's Aperçu ist¹⁾.

Aber Pipping hätte eine noch viel näher liegenden Probe machen können, wenn er nachgesehen hätte, wie sich seine Rechnungsweise an völlig übersehbaren Beispielen analysirter Curven bewährt. In einem Anhang zu Theil IV meiner Arbeit (dies Archiv Bd. 53. S. 46–51) habe ich zur Prüfung meiner Schwerpunktsberechnung, welche ich ausdrücklich stets (u. A. S. 51) als eine blossе Annäherung betrachtet habe, eine Anzahl Fälle von Perioden mit unharmonischen Bestandtheilen rechnerisch analysirt, in 3 Tabellen die Amplituden der Theilschwingungen dargestellt, und (S. 50) die unharmonischen Bestandtheile mit den Schwerpunktsermittelungen verglichen. Hier hätte Pipping ohne jede Mühe exactes Material zur Prüfung seines Aperçu's gefunden. Ich habe es mich die Mühe nicht verdriessen lassen, Pipping's Berechnung auf diese Beispiele anzuwenden. Es kommt heraus:

Tabelle Nr.	$m =$	Berücksichtigte Amplituden	Wahrer Werth	Werth nach meiner Schwerp.-Ber.	Werth nach Pipping's Schwerp.-Ber.
1	2	4, 5, 6	5,0	4,94	4,88
	3	4, 5, 6	5,0	4,95	4,90
	4	4, 5, 6	5,0	4,97	4,93
2	2	4, 5, 6	4,8	4,87	4,71
	3	4, 5	4,8	4,58	4,55
	4	4, 5	4,8	4,68	4,65
	4,8	4, 5, 6	4,8	4,91	4,88 a
3	2	3, 4, 5	4,5	4,09	4,09 b
	3	4, 5	4,5	4,47	4,52 c
	4	4, 5	4,5	4,47	4,44
	4,5	4, 5	4,5	4,53	4,50 d

1) Ich bemerke ausdrücklich, dass auch für andere Annahmen bezüglich ε die lineare Schwerpunktsberechnung meist richtigere Werthe liefert als Pipping's logarithmische. Ich habe in vielen Beispielen die Amplitudenverhältnisse für ein gegebenes m ausgerechnet, und aus ihnen m nach beiden Verfahren zu bestimmen gesucht.

Wie man sieht, führt Pipping's sehr umständliche Rechnung in 7 von 11 Fällen auf unrichtigere Ergebnisse als die meinige, in 1 Falle (b) auf gleiches Ergebniss, und nur in 3 Fällen (a, c, d) auf ein um 0,01 bis 0,03 richtigeres. Es existirt also weder ein theoretischer, noch ein practischer Grund, meiner einfachen Rechnung eine complicirtere und in der grossen Mehrzahl der Fälle geringere Annäherung ergebende Rechnung vorzuziehen; Pipping war und ist auch hier mit seinem Angriff im Unrecht, und hat sich überflüssige Mühe mit seiner Rechnung gemacht.

4. Curven und Analysen kurzer Vocale (hierzu Taf. VI).

Zum ersten Male gebe ich auch eine Sammlung von Curven kurzer Vocale (wie in *Ann*, *Em* u. s. w.). Bei der kurzen Dauer derselben können im Allgemeinen auch nur kurze Periodenreihen gewonnen werden. In der Regel benutzte ich zur Aufzeichnung nur Viertel-Umdrehungen des Cylinders (mittels des S. 171 erwähnten Vorsteckers), gewann also Curven von $12\frac{1}{2}$ cm Länge. Selbst in diesen kurzen Strecken sieht man die Vocalperioden meist in Veränderung begriffen. Es liegt anscheinend in der Natur des kurzen Vitals, seinen Character gegen das Ende, wo er fast stets in einen Consonanten, oder (zur Diphthongenbildung) in einen anderen Vocal übergeht, zu ändern; der Mund macht offenbar schon während des Vitals Vorbereitungen zum Uebergang in die Stellung für den folgenden Laut, was nicht ohne Einfluss auf den Vocalcharacter bleiben kann. Die kurzen Vocale sind deshalb eine weniger constante Erscheinung als die langen, und auch in den Analysen mehrerer Perioden desselben Vitals zeigt sich geringere Uebereinstimmung der Resultate. Von anderen Autoren mit Ausnahme Boeke's¹⁾ sind bisher meines Wissens die kurzen Vocale von den entsprechenden langen nicht unterschieden worden. In Pipping's analysirten Vocalen scheinen sich, nach den angeführten Wortbeispielen (a. a. O. S. 558) zu schliessen, sowohl lange als kurze zu befinden.

Dass manche kurzen Vocale, obwohl sie mit demselben Zeichen geschrieben werden, ganz andere Laute sind als die ent-

1) Dies Archiv Bd. 50. S. 307 f.

sprechenden langen, habe ich schon in früheren Mittheilungen kurz erwähnt. Namentlich ist das kurze *E* in *Helm* offenbar dem *Ae* ungleich näher stehend als dem (langen) *E*; dies bestätigt auch der Anblick der Curven, und die Unmöglichkeit, einen Unterschied der Worte *Hälm* und *Helm* zu hören, wenn man nicht absichtlich einen solchen hervorzubringen sucht. Ebenso ist das kurze *O* in *Wort* dem *Ao* ungleich verwandt als dem (langen) *O*. Der Unterschied des kurzen *I* (in *Bild*) vom langen *I* ist mir noch früher an dem Aussehen der Curven aufgefallen als durch das Gehör, obwohl er auch so deutlich ist. Und auch bei *U*, *Oe*, *Ue* ist der kurze Laut wesentlich verschieden vom langen; das kurze *Oe* (in *können*) entspricht einer Art von langem *Oe*, welche im Deutschen ungebräuchlich, dagegen im Französischen sehr gewöhnlich ist. Unter allen Vocalen scheint *A* am wenigsten durch die Kürze verändert zu werden; doch nähert es sich bei den meisten Personen etwas dem *Ao*.

Auf Tafel VI gebe ich Curven aller hier genannten kurzen Vocale auf die Noten *c*, *e*, *g*, *c*¹, wiederum in 8 cm langen Abschnitten. *E* und *Ae* sind nicht unterschieden, ebensowenig *Ao* und *O*.

Herr Hirschfeld hat eine Reihe von Analysen der kurzen Vocale ausgeführt, deren Resultate ich im Folgenden mittheile. Wie immer bedeuten die Zahlen die Amplituden der Partialschwingungen in Procenten der maximalen Curvenhöhe.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Note c.														
	<i>c</i>	<i>c</i> ¹	<i>g</i> ¹	<i>c</i> ²	<i>e</i> ²	<i>g</i> ²	$\langle a i s^2 \rangle$	<i>c</i> ³	<i>d</i> ³	<i>e</i> ³	<i>f-fis</i> ³	<i>g</i> ³	<i>gis-a</i> ³	$\langle a i s^3 \rangle$	$\langle h^3 \rangle$
$\bar{A}$ (273)	1 ₉	1 ₉	5 ₆	11 ₉	14 ₇	14 ₅	6 ₈	1 ₇	2 ₁	3 ₈	.	.	.	.	.
$\bar{O}$ od. $\bar{Ao}$ (280)	8 ₉	6 ₅	16 ₈	31 ₇	4 ₄	4 ₉	0 ₇	2 ₅	0 ₅	0 ₆	.	.	.	.	.
$\bar{E}$ od. $\bar{Ae}$ (277)	7 ₄	8 ₄	10 ₄	23 ₂	6 ₃	4 ₇	3 ₅	2 ₅	1 ₃	0 ₇	1 ₀	1 ₇	1 ₃	1 ₃	0 ₇
$\bar{Oe}$ (277)	8 ₈	10 ₅	13 ₆	23 ₈	9 ₃	4 ₁	3 ₁	4 ₇	4 ₅	0 ₉	2 ₀	1 ₇	1 ₅	0 ₄	1 ₂

	Note e.														
	<i>e</i>	<i>e</i> ¹	<i>h</i> ¹	<i>e</i> ²	<i>gis</i> ²	<i>h</i> ²	$\langle d^3 \rangle$	<i>e</i> ³	<i>fis</i> ³	<i>gis</i> ³	<i>a-ais</i> ³	<i>h</i> ³	<i>c-cis</i> ⁴	$\langle d^4 \rangle$	$\langle gis^4 \rangle$
$\bar{A}$ (273)	11 ₈	3 ₇	19 ₈	28 ₈	5 ₁	9 ₀	4 ₀	6 ₄	4 ₆	5 ₆	1 ₁	2 ₀	1 ₈	2 ₃	0 ₈
$\bar{O}$ od. $\bar{Ao}$ (274)	12 ₂	3 ₄	26 ₅	16 ₀	4 ₄	3 ₅	5 ₉	4 ₁	1 ₇	1 ₄	1 ₀	1 ₆	0 ₉	.	.
$\bar{U}$ (275)	38 ₈	22 ₄	10 ₉	6 ₆	4 ₄	3 ₉	2 ₄	1 ₇	1 ₀	0 ₆	.	.	.	.	.
$\bar{E}$ od. $\bar{Ae}$ (275)	11 ₆	10 ₃	33 ₈	3 ₀	1 ₉	4 ₄	1 ₁	1 ₅	0 ₄	1 ₉	1 ₇	1 ₃	1 ₂	0 ₈	.
$\bar{Oe}$ (275)	13 ₇	20 ₁	21 ₇	7 ₉	2 ₃	1 ₄	1 ₂	2 ₃	1 ₀	0 ₃	.	.	.	.	.

Note *g*.

	<i>g</i>	<i>g</i> ¹	<i>d</i> ²	<i>g</i> ²	<i>h</i> ²	<i>d</i> ³	$\langle f^3$	<i>g</i> ³	<i>a</i> ³	<i>h</i> ³	<i>c-cis</i> ⁴	<i>d</i> ⁴	<i>dis-c</i> ⁴	$\langle f^4$
$\tilde{A}$ (273)	19 ₂	6 ₅	30 ₇	10 ₃	13 ₄	1 ₆	4 ₅	6 ₄	0 ₉	2 ₅	2 ₁	2 ₃	0 ₉	.
$\tilde{O}$ od. $\tilde{A}o$ (274)	14 ₄	14 ₈	31 ₅	6 ₂	5 ₂	8 ₉	3 ₁	2 ₇	3 ₆	1 ₄	2 ₅	1 ₇	0 ₅	0 ₃
$\tilde{U}$ (275)	38 ₀	20 ₆	19 ₁	7 ₇	5 ₄	3 ₆	2 ₇	1 ₆	0 ₅	0 ₈	.	.	.	.
$\tilde{E}$ od. $\tilde{A}e$ (275)	25 ₉	16 ₃	25 ₄	2 ₅	1 ₁	4 ₅	3 ₁	2 ₁	3 ₅	2 ₆	0 ₉	0 ₆	.	.
$\tilde{O}e$ (278)	11 ₃	24 ₀	19 ₄	9 ₁	3 ₆	4 ₄	2 ₁	2 ₃	2 ₃	1 ₁	0 ₈	0 ₅	.	.

Note *c*¹.

	<i>c</i> ¹	<i>c</i> ²	<i>g</i> ²	<i>c</i> ³	<i>e</i> ³	<i>g</i> ³	$\langle ais^3$	<i>c</i> ⁴	<i>d</i> ⁴	<i>e</i> ⁴
$\tilde{A}$ (273)	10 ₀	43 ₃	9 ₄	10 ₀	6 ₉	2 ₃	1 ₃	1 ₂	0 ₅	0 ₄
$\tilde{U}$ (275)	15 ₃	31 ₂	15 ₃	2 ₈	3 ₂	2 ₁	0 ₅	0 ₄	0 ₃	0 ₃
$\tilde{E}$ od. $\tilde{A}e$ (263)	11 ₀	41 ₀	8 ₅	5 ₉	2 ₀	0 ₄	0 ₇	2 ₃	0 ₉	0 ₆

Aus diesen Analysen folgt zunächst, dass $\tilde{U}$ von den übrigen Vocalen und auch von $\tilde{U}$ dadurch abweicht, dass die Partialamplituden von der tiefsten beständig und sehr gleichmässig abnehmen. Nur auf Note *c*¹ lässt sich ein bei *c*² liegender Formant herauslesen, von welchem auch auf Note *g* eine Andeutung sich findet, da die dritte Amplitude (*d*²) von der zweiten kaum verschieden ist, während sonst die Amplituden gleichmässig abnehmen. $\tilde{U}$ scheint also ein gewissen musikalischen Klängen sich annähernder Klang zu sein, in welchem ein bei *c*² liegender Formant wenig hervorragt.

$\tilde{A}$ hat einen deutlichen Formanten in der zweiten Octave, wie $\tilde{A}$, aber entschieden etwas tiefer. Die Schwerpunktsberechnung¹⁾ ergibt seine Lage

für Note	<i>c</i> :	$\rangle e^2$
„ „	<i>e</i> :	es^2
„ „	<i>g</i> :	$\langle dis^2$
„ „	<i>c</i> ¹ :	<i>c</i> ²

$\tilde{O}$ ($\tilde{A}o$) hat ebenfalls einen deutlichen Formanten, welcher tiefer liegt, als diejenigen von $\tilde{A}o$ und $\tilde{O}$, nämlich nach der Schwerpunktsberechnung

für Note	<i>c</i> :	b^1-h^1
„ „	<i>e</i> :	$\rangle cis^2$
„ „	<i>g</i> :	$\rangle c^2$

1) Ueber die Regel für die dazu auszuwählenden Amplituden s. dies Archiv Bd. 53, S. 50.

$\tilde{E}$ ($\tilde{Ae}$) zeigt ganz ähnlich aussehende Curven wie $\tilde{Ae}$; die Analysen zeigen die Uebereinstimmung in geringerem Grade. Für Ae lagen die Formanten im Anfang der 2. und in der Mitte der 3. Octave. Für $\tilde{E}$ ergeben sich solche

für Note c : c^2 und $g^3 - a^3$ (schwach)
 „ „ e : h^1 , h^2 und fis^3
 „ „ g : d^2 , dis^3 und a^3
 „ „ c^1 : c^2 , c^4 .

Formanten von $\tilde{Oe}$ ergeben sich aus den Analysen

für Note c : c^2 , cis^3 , g^3
 „ „ e : gis^1 , e^3
 „ „ g : h^1 , d^3 .

Der höhere Formant von $\tilde{Oe}$ lässt sich besser durch Proportionalmessung ermitteln, und liegt nach zahlreichen solchen in der Gegend von e^3 bis fis^3 .

Für $\tilde{Ue}$ ergeben die Proportionalmessungen einen Formanten zwischen fis^3 und gis^3 .

Endlich für $\tilde{I}$ ergibt sich auf demselben Wege aus sehr zahlreichen Proportionalmessungen ¹⁾ gut übereinstimmend ein Formant bei ais^3 .

Schliesslich mögen die von mir für die langen und kurzen Vocale gefundenen Formantlagen übersichtlich zusammengestellt werden.

	langer Vocal	kurzer Vocal
A	Mitte der 2. Octave ($f^2 - a^2$)	$c^2 - es^2$
E	Anfang d. 2. u. Ende d. 3. Octave	Anfang d. 2. u. Mitte d. 3. Octave
I	Mitte d. 4. Octave	ais^3
O	Anfang „ 2. „	} $b^1 - cis^2$
$ Ao$	„ „ „ (etw. höher)	
U	Anfang der 1. und der 2. Octave	$c^2?$
Ae	„ „ 2. u. Mitte d. 3. Octave	Anfang d. 2. u. Mitte d. 3. Octave
Oe	Mitte der 3. Oct. (etw. tiefer als Ae)	$e^3 - fis^3$
Ue	Ende der 3. Octave	$fis^3 - gis^3$

Im Allgemeinen liegen also die Formanten der kurzen Vocale, besonders die höheren, tiefer

1) Vom kurzen I besitze ich eine ungemein grosse Zahl von Curven, weil dieser Vocal in meinen Consonantuntersuchungen überwiegend als Silbengbildner verwendet wird (vgl. dies Archiv Bd. 58. S. 260).

als diejenigen der entsprechenden langen Vocale. Dieses Ergebniss bestätigt sich vollkommen auch beim Flüstern der langen und kurzen Vocale.

5. Zur Theorie der Vocalbildung.

Nachdem durch meinen Geschwindigkeitsversuch am Phonographen¹⁾ und kurz darauf durch meine und Pipping's von einander unabhängige Curvenanalysen die lange Zeit offene Frage, ob die Vocalformanten feste oder bewegliche Lagen haben, im Sinne der Helmholtz'schen Ansicht von 1863 entschieden war, trat die zweite Frage in den Vordergrund, wie die festen Formanten sich mit den variirenden Stimmklängen abfinden.

Helmholtz hatte diese Frage dahin beantwortet, dass der Mundresonator, dessen Eigenton der Formant ist, die dem letzteren zunächst liegenden Partialtöne des Stimmklanges verstärke, und diese Ansicht hat neuerdings in Pipping einen eifrigen Vertreter gefunden. Ursprünglich²⁾ hatte er Helmholtz's Annahme, dass die Verstärkungsgebiete sich über eine Octave und mehr (2 Quinten) erstrecken können, bestritten, jetzt³⁾ geht er sogar über diese weite Ausdehnung hinaus.

Abgesehen davon, dass bei dieser Sachlage der Vocal mit besonderer Vollkommenheit auf diejenigen Noten sich singen lassen müsste, mit deren Obertönen der Formant übereinstimmt, habe ich gegen die Verstärkungstheorie bereits eingewendet⁴⁾, dass, besonders bei Männerstimmen, die Formanten vieler Vocale auf viel zu hohe Partialtöne des Stimmklanges fallen, als dass man annehmen könnte, dass dieselben überhaupt vertreten sind, also verstärkt werden können. So ist der so sehr ausgeprägte Formant des langen Vocals *I* (f^4)

bei Note *G* der 28.—29. Partialton,

„ „ *c* „ 21.—22. „

„ „ *g* „ 14. „

Dieser Einwand scheint mir schon genügend, um die Theorie unmöglich zu machen.

1) Dies Archiv Bd. 47. S. 42.

2) Zeitschr. f. Biologie Bd. 27. S. 75.

3) Ebendasselbst Bd. 31. S. 573, 583.

4) Dies Archiv Bd. 58. S. 274.

Ferner wende ich ein, dass die auf diese Theorie gegründeten Vocalsynthesen misslingen, während die auf die meinige gegründeten den frappantesten Erfolg haben (s. unten). Wer je versucht hat, durch Aufsetzen von Resonatoren von der Tonhöhe f^2 bis gis^2 auf eine Zungenpfeife den Vocal A zu produciren, wird zugeben müssen, dass dies nicht gelingt, geschweige denn dass sich auf diesem Wege E oder I hervorbringen liessen. Ferner müsste nach Pipping's Theorie der Vocal A beim Helmholtz'schen Klavierversuch auch dann als solcher nachhallen, wenn man statt die Dämpfer mittels des Pedals sämmtlich abzuheben, nur die Saiten g^2 oder gis^2 oder selbst alle Saiten des „Verstärkungsgebietes“ durch Niederhalten ihrer Tasten von den Dämpfern befreit. Nie hört man so den Vocal. Ebensowenig hört man ihn, wenn man die Tasten sämmtlicher Obertöne der gesungenen Note, soweit sie vertreten sind, niedergedrückt hält. Alle diese leicht zu bestätigenden Thatsachen sind unüberwindliche Schwierigkeiten für die Verstärkungstheorie. Zur Reproduction der Vocale müssen schlechterdings alle Saiten sammt ihren Obertönen frei sein, damit alle Töne, welche aus der Analyse der Periode mit anaperiodischer Theil-schwingung hervorgehen, ihre Vertretung finden können (s. oben S. 178). Wie sehr es übrigens bei diesem Versuch nicht bloß auf die Grundtöne, sondern auch auf die Obertöne der Saiten ankommt, geht aus folgenden von mir beobachteten Thatsachen hervor. Erstens gelingt der Versuch auch sehr gut an einem total absichtlich verstimmten Klavier. Zweitens gelingt er ziemlich gut auch dann, wenn man das Pedal erst im Augenblick des Aufhörens des gesungenen Vocals niedertritt; letzteres kann nur darauf beruhen, dass auch die gedämpften Saiten noch Partialschwingungen ausführen können, welche sich nachher durch Abheben des Dämpfers etwas verstärken.

Weiter habe ich bereits früher gegen die Verstärkungstheorie (und für meine Auffassung) den Umstand angeführt, dass bei der telephonischen und microphonischen Uebertragung die Vocale sich ganz anders verhalten als sonstige Klänge¹⁾. Unter solchen Umständen, dass die Amplitudenverhältnisse durch Multiplication oder Division mit den Ordnungszahlen oder sogar mit den höheren Potenzen derselben, sich total ändern, werden, wie ich gezeigt habe, die Klänge gänzlich deformirt, die Vocale behalten aber ihren Character,

1) Dies Archiv Bd 48. S. 543.

und zwar weil trotz jener Veränderungen des Amplitudenverhältnisses die Grundform der Vocaleurve erhalten bleibt. Ich schloss hieraus, dass es für den Vocalcharacter eben auf diese charakteristische Eigenschaft, nämlich die Wiederholung einer bestimmten Oscillationsgruppe in jeder Periode, und nicht auf das Amplitudenverhältniss der Partialtöne ankommt wie bei musikalischen Klängen, deren Character sich bei diesen Versuchen in unbeschreiblichem Grade ändert.

Mit diesen Thatsachen sucht sich Pipping einfach dadurch abzufinden, dass er meint, die nach meiner Rechnung sich ergebenden Aenderungen der Amplitudenverhältnisse seien gar nicht so besonders gross, um den Klang wesentlich zu ändern; insbesondere bleibe das „Verstärkungsgebiet“ immer noch prominent genug. Er glaubt dies an einem Beispiel, das er ausgerechnet hat, nachweisen zu können. Wer die Zahlen dieses Beispiels unbefangen betrachtet, wird sich vermuthlich über Pipping's Urtheil wundern. Noch deutlicher treten die Aenderungen hervor, wenn man in den verglichenen Zahlen nicht die Summe, sondern die hervorragendste Formant-Amplitude = 100 setzt. Ich habe das erste beste Beispiel aus meinen Analysen, nämlich das zweite *A* auf Note *c* in der Zusammenstellung in diesem Archiv Bd. 53. S. 22 (das erste *A* habe ich, weil es auf 15 Amplituden analysirt war, nicht gewählt), in dieser Weise ausgerechnet, gewiss nicht grade das günstigste für das, was zu zeigen ist, und stelle die Zahlen hier zusammen:

	A. <i>p</i>	B. <i>n p</i>	C. <i>n² p</i>	D. <i>p/n</i>
1	22,0	4,4	0,9	110,1
2	29,5	11,8	4,7	73,7
3	7,5	4,5	2,7	12,5
4	27,2	21,8	17,4	34,0
5	100,0	100,0	100,0	100,0
6	53,0	63,6	76,3	44,2
7	20,5	28,7	40,2	14,7
8	28,0	44,8	71,6	17,5
9	17,2	30,9	55,6	9,5
10	6,7	13,4	26,9	3,4

Die Verticalcolumnne *A* entspricht den Amplitudenverhältnissen des ursprünglichen Vocals, *B* einer einfachen telephonischen Ueber-

tragung bei relativ grossem Widerstand, *C* einer telephonischen Uebertragung mit eingeschalteter Induction, ebenfalls bei grossem Widerstande, *D* der gewöhnlichen Uebertragung mit Microphon, Inductionsspule und Telephon bei relativ kleinem Widerstande. Bei *C* und *D* bleibt der Vocal gleich gut erkennbar. Wer die Zahlen unter *C* und *D* vergleicht, wird mit mir schliessen, dass es auf die Amplitudenverhältnisse nicht ankommt, sondern nur auf das Vorhandensein einer bestimmten Schwingung, nämlich derjenigen des Formanten. Pipping's entgegengesetzter Schluss ist mir unverständlich, zumal er viel auf die Intensitäten giebt, und in diesen die Entstellung durch Microphon und Telephon noch viel grösser wird. Es wäre zu wünschen, dass Pipping meine Versuche über Telephon etc. wiederholte; er würde dann sich überzeugen, wie ungeheuer verschieden der Einfluss auf musikalischen Klang und auf Vocale ist.

Von ähnlicher Bedeutung wie die Microphon- und Telephonversuche sind für meine Auffassung der Vocalnatur gewisse am Phonographen von mir häufig gemachte Beobachtungen. Arbeitet nämlich der Recorder beim Singen etwas zu seicht auf dem Wachscylinder, so graben sich nur die hervorragendsten Theile der Schwingung ein, und bei den Zurückweichungen der Glasmembran bleibt das Wachs unverletzt. Die Curven solcher Eingrabungen, von denen ich sehr viele besitze, zeigen dann statt der unteren Gipfel gradlinige horizontal abschneidende Linien. Trotzdem hört man beim Reproduciren solcher Eingrabungen die Vocale *A*, *Ao*, *O* mit unverminderter Deutlichkeit; man sieht also, dass es bei den Vocalen eben nur auf die Abstände der Gipfel ankommt. Natürlich geben solche Curven bei der Analyse eine wesentlich andere Amplitudenvertheilung, ohne aber die Formantenhervorragung zu verwischen. Um hiervon ein deutliches Bild zu erhalten, habe ich von Herrn Hirschfeld eine bereits von ihm gemessene und analysirte Curve dadurch in eine von der beschriebenen Art verwandeln lassen, dass die oberen Gipfel abgeschnitten wurden; einfach dadurch dass alle einen bestimmten Grenzwert übererschreitenden Ordinaten (die Nulllinie lag an den unteren prominentesten Gipfeln) auf diesen Grenzwert vermindert wurden. Die so veränderten Ordinatenwerthe wurden nun der Analyse unterworfen, wobei sich das erwartete Resultat zeigte.

Man kann sich übrigens solche unvollständige Eingrabungen

wie die bezeichneten auch künstlich herstellen, indem man einen Cylinder mit vollständigen Vocaleingrabungen soweit abdreht, dass nur noch die tiefsten Stellen der Eingrabung bestehen bleiben. Lässt man einen solchen Cylinder mittels des Reproducurs sprechen, so hört man viele Vocale, namentlich *A*, und auch die energischeren Consonanten, ungemein deutlich. Ich ziehe aus allen diesen Erfahrungen, welche sich mir bei meinen Arbeiten von selber aufgedrängt haben, denselben Schluss, wie aus meinen Telephon- und Microphonversuchen, dass nämlich für die Sprachlaute Stösse, welche in gewisser Zeitfolge eintreten, massgebender sind, als die Gesamtheit des Klanges, wie er sich in der Analyse nach harmonischen Partialtönen darstellt.

Meine eigene Auffassung von der Natur der Vocale erblickt in den Vocalen eine ganz specifische Art von Schall, deren Natur erst zu ergründen ist, und nie ergründet werden wird, wenn man mit aller Gewalt ihr die geläufigen Begriffe der Instrumentalmusik oder gar die anscheinenden Erfordernisse einer Hörhypothese aufzwingen will. Ist es nicht bemerkenswerth, dass wir die nächsten Analoga der Vocale nicht in der Musik, sondern in der Welt der Geräusche finden, dass zahlreiche Geräusche, wie Knattern, Schmettern, Donnern, Klirren ihre Benennung von Anklängen an Vocale erhalten haben, und zwar in allen Sprachen? Welches musikalische Instrument klingt dagegen *A*-artig? Und doch sollte man dies wenigstens für gewisse Notenlagen bei irgend einem erwarten, wenn es blos auf Amplitudenverhältnisse der Partialtöne ankäme.

Ich sehe nun in den Curven anaperiodische Schwingungsgruppen von grosser Selbstständigkeit, welche von der Stimmnote unabhängig sind, und höchstens mit ihr ein klein wenig in die Höhe gehen. Diese Gruppen sind im Allgemeinen unharmonisch zur Stimmperiode, und nur ausnahmsweise, gleichsam zufällig, harmonisch. Sobald ich künstlich einen ähnlichen Vorgang erzeuge, z. B. auf dem Wege der Interferenz, oder der Intermittenz, höre ich Vocale so frappant, wie mit keiner anderen mir bekannten Productionsmethode. Ich kann nur bedauern, dass Pipping nicht meinen hier so Vielen gezeigten Vocalversuch an der Doppelsirene wiederholt hat, obwohl ihm doch sicher, sei es in Kiel oder in

Helsingfors, die Mittel dazu zu Gebote standen, und obwohl er früher nichtssagende Einwände dagegen erhoben hat¹⁾. Selbst den weit unvollkommneren Zahnradversuch hat er nicht angestellt, obwohl er, um mich anzugreifen, mit Zahnradern eifrig gearbeitet hat (s. unten). Wenn eine Betrachtung so spielend leicht zu einer früher unbekannten Art Vocale nachzuahmen geführt hat, so verdient sie mehr Beachtung, als ihr Pipping widmet.

Zu seiner Entschuldigung lässt sich anführen, dass er einem Versuch von Hensen zu grosse Bedeutung beigelegt hat, der sich gegen eine Idee von mir, wie die Vocale entstehen könnten, wendet. Pipping stellt diesen Versuch sogar unter seinen Gegengründen in die erste Linie, ohne zu bedenken, dass es sich nur um eine von mir mit aller Reserve hingestellte Möglichkeit handelt. Selbst wenn diese Möglichkeit zurückzuweisen wäre, und wenn ich absolut nicht erklären könnte, wie die von mir behauptete Vocalerscheinung zu Stande kommt, wäre doch diese Erscheinung damit nicht bestreitbar. Seit wann bezweifeln wir z. B. morphologische Erscheinungen deswegen, weil wir sie nicht zu erklären vermögen?

Ich hatte in meiner ersten Vocalarbeit gesagt²⁾: „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. . . . Dass ein intermittirendes Anblasen überhaupt eintritt, scheint mir nicht unverständlich. Wir haben es vermöge der Schwingung der Stimmbänder mit einem intermittirenden Expirationsstrom 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“³⁾.

1) Vgl. hierüber dies Archiv Bd. 48. S. 189.

2) Dies Archiv Bd. 47. S. 380, 381.

3) Wie ich aus der mir erst später zu Gesichte gekommenen 4. Ausgabe

Gegen diese, wie man sieht mit aller Reserve ausgesprochene Hypothese vom Zustandekommen der Vocale, in welcher namentlich in den gesperrten Worten (im Original nicht gesperrt) auf die unbekannten Eigenschaften des Mundresonators Gewicht gelegt wird, hat Hensen einen Versuch mit einem gewöhnlichen starren Resonator producirt¹⁾, der für Pipping's neuen Angriff die wesentliche Stütze bilden soll. Ich habe es bisher unterlassen mich zu dieser Hensen'schen Mittheilung zu äussern, weil der Herr Verfasser so freundlich war, einen Theil der darin enthaltenen Angriffe zurückzunehmen²⁾, und ich es vorzog, das nicht Zurückgenommene auf sich beruhen zu lassen. Auch heute beschränke ich mich auf den in Rede stehenden Versuch.

Bekanntlich lässt sich ein Hohlkörper, z. B. eine Flasche, ein Kugelresonator, zum kräftigen Tönen bringen, wenn man einen Luftstrom aus einer passend gestellten Spalte über die Mündung streichen lässt. Hensen bringt nun mit der oberen Oeffnung einer Zungenpfeife ein Spaltrohr in Verbindung und lässt die aus letzterem ausströmende Luft auf einen Resonator wirken; derselbe tönt nicht, wenn die Zunge schwingt, wohl dagegen, wenn die Luft durch die Zunge geht, ohne dieselbe zum Schwingen zu bringen. Hensen schliesst hieraus, dass eine tönende Luftlamelle einen Resonator nicht anblasen kann.

Ich zweifle nicht an der Richtigkeit der Hensen'schen Beobachtung, wohl aber an ihrer Allgemeingültigkeit, und an der Richtigkeit des gezogenen Schlusses. Mir ist bei zahlreichen Wiederholungen und Modificationen des Hensen'schen Versuches nur zuweilen ein ähnliches Resultat begegnet. Jedenfalls ist es sehr leicht, sich vom Gegentheil des Hensen'schen Satzes durch die einfachsten Versuche zu überzeugen.

Der Resonator mit Spaltrohr ist nämlich ein relativ unbequemes und unsicheres Mittel zur Hervorbringung eines Tones, wir haben aber in jeder Labialpfeife einen genau nach demselben Princip wirkenden ungleich bequemerem Apparat. Auch hier wird am Labium Luft durch einen Spalt an der Mündung eines Hohlraums vor-

der „Tonempfindungen“ (1877. S. 182) erschen habe, schreibt schon Helmholtz den Mundresonatoren eine ungewöhnlich starke Dämpfung zu.

1) Zeitschr. f. Biologie Bd. 28. S. 39.

2) Ebendasselbst S. 227.

beigeblasen; nur ist der Hohlraum hier in sehr passender Weise fest mit dem Spalt verbunden, indem die bewegte Luftlamelle längs einer schiefen Ebene geleitet wird, und ferner ist der Hohlraum meist parallelepipedisch oder cylindrisch statt kuglig. Bringt man nun eine Labialpfeife mit ihrem Mundstück luftdicht auf die Mündung einer Zungenpfeife, so wird sie mit Leichtigkeit jedesmal mit zum Tönen gebracht, wenn die Zunge tönt. Dabei ist es gleichgültig, ob die Labialpfeife offen oder gedeckt ist, und in welchem Verhältniss ihre Note zu derjenigen der Zunge steht. Sind beide Noten einander nahe genug, so entstehen die schönsten Schwebungen beider Töne.

Hensen behauptet auch, dass man den Resonator durch ein Spaltrohr nicht zum Tönen bringen kann, wenn man letzteres mit dem Munde anbläst, und gleichzeitig die Stimme wirken lässt, wohl aber, wenn das Anblasen stimmlos erfolgt. Auch hier zeigt die Labialpfeife das entgegengesetzte Verhalten; sie tönt, mit dem Munde angeblasen, stets, gleichgültig ob mit oder ohne Stimme.

Hensen's Satz, dass eine schwingende Luftlamelle einen Hohlraum nicht anblasen kann, ist also unrichtig, wie er auch theoretisch unverständlich sein würde; und damit fällt sein und Pipping's Einwand gegen meine Idee von der Vocalbildung.

Freilich ist bei den Versuchen mit der Labialpfeife der Ton derselben völlig continuirlich, und giebt demgemäss auch dem Zungenklänge keine Annäherung an den Vocalcharacter, wenn man die Labialpfeife in der Note des Vocalformanten wählt. Wer hierin einen Einwand gegen meine Idee von der intermittirenden oder oscillirenden Anblasung der Mundhöhle erblicken will, mag es thun. Aber es ist doch gewiss näherliegend, zu erwägen, dass weder die Klänge der Zunge mit derjenigen des menschlichen Kehlkopfs identisch sind, noch der starrwandige Hohlraum eines Resonators oder einer Pfeife verglichen werden kann mit dem dick- und weichwandigen und unregelmässig geformten Munde, über dessen Dämpfungsgrad wir Nichts wissen (s. oben S. 193 f.) und dass vor Allem in den hier in Rede stehenden Versuchen eine Spalte zwischen Zunge und Resonanzraum angebracht ist, welche bei der Vocalbildung kein Analogon hat. Dass aber Spalten die vorhandenen Druckoscillationen zu amortisiren geeignet sind, darüber kann kein Zweifel sein.

Bis auf Weiteres ist also meine Idee, dass die Oscillationen

des phonischen Expirations- (oder Inspirations-) Stromes den Mundraum zu oscillirenden Tönen bringen, nicht widerlegt. Ich wiederhole, dass ich auf dieselbe keinen grossen Werth lege und dass am wenigsten meine Auffassung der Vocale mit derselben steht und fällt.

Für die Theorie, dass der Mundresonator durch den Stimmklang continuirlich angeblasen wird, führt Helmholtz in der 4. Ausgabe seiner „Tonempfindungen“ (1877, S. 184) folgendes an. Bei der Einwirkung eines Tones auf einen Resonator antwortet dieser nach der Theorie zuerst neben dem einwirkenden Tone mit seinem Eigentone, welcher aber wegen des Factors $e^{-\epsilon t}$, worin ϵ die Dämpfungsconstante, schnell erlischt. Helmholtz giebt nun an, dass man beim scharfen Einsetzen eines Vocals wirklich anfangs den Mundton deutlich heraushört. Ich habe mir viele Mühe gegeben, diese Beobachtung zu bestätigen; es war mir aber nicht möglich.

6. Zur Theorie des Hörens der Vocale.

Die drei Fragen des objectiven Wesens der Schallbewegung bei den Vocalen, der Entstehung derselben, und endlich ihrer Wirkung auf das Ohr, dürfen nicht, wie Pipping es fortwährend thut, durcheinander geworfen werden. Die Lösung der ersten Frage ist, wie im vorigen Abschnitt hervorgehoben worden ist, unabhängig von derjenigen der zweiten, und ebenso der dritten.

Wenn wir das Hören der Vocale, wie ich sie auffasse, nicht erklären könnten, so müssten wir uns eben bescheiden, da wir die Leistungen des Ohres nur oberflächlich kennen, und am wenigsten kann ein ernster Einwand gegen meine Auffassung daraus entnommen werden, wenn es nicht gelingt, das Hören der Vocale aus einer verbreiteten Hypothese zu erklären.

Aus der schwachen Vertretung des Grundtons in den Vocalklängen hatte ich geschlossen, dass das Hören derselben sehr analog sei demjenigen der Unterbrechungstöne. Das Ohr nimmt die Periodik des Auftretens der anaperiodischen Oscillationen als vorherrschenden Ton wahr, und verleiht diesem Ton den Vocalcharacter, indem ausserdem der Ton der Oscillationen selbst eine Einwirkung ausübt, auch wenn er fortwährend seine Phase ändert¹⁾.

1) Vgl. dies Archiv Bd. 56. S. 485 ff.

Dass übrigens eine anaperiodisch unharmonische Schwingung auch nach der Helmholtz'schen Tonempfindungslehre das Ohr in ihrem spezifischen Character erregen muss, unterliegt gar keinem Zweifel; denn eine solche Schwingung ist, wie ich schon beim Klavier-versuch hervorgehoben habe (S. 178), stets durch eine Fourier'sche Reihe darstellbar. Dass aber die vorherrschende Empfindung die Note des in der Reihe kaum vertretenen Grundtons hat, ist aus der Helmholtz'schen Hypothese nicht erklärbar, wenn man nicht solche Annahmen hinzufügt, wie ich sie zur Erklärung der Intermittenz- und Schwebungstöne gemacht habe.

Pipping macht nun auch gegen meine Auffassung der Intermittenztöne eine Reihe von Einwänden. Gegen die, übrigens nicht zuerst von mir, sondern schon von König vertretene Idee, dass das Ohr jede Art von Periodik als Ton empfindet¹⁾, macht er die höchst befremdende Bemerkung (S. 539): „Hermann hat übersehen, dass überall, wo eine Periode von der Schwingungszahl n vorhanden ist, ebenfalls Perioden von den Schwingungszahlen $n/2$, $n/3$. . . da sind. Nach seinem Gesetze müsste jeder Ton von allen seinen Untertönen begleitet sein.“ Ich kann unmöglich glauben, dass dieser Einwand ernst gemeint ist. Unter Perioden sind doch hier ganz offenbar nur regelmässige Wiederholungen gleichartiger Vorgänge, die in der Zwischenzeit nicht oder anders sind, zu verstehen. Pipping's Einwand ist genau so, als wenn Jemand behauptete, in der Tagesperiodik sei auch die Zweitagsperiodik, die Dreitagsperiodik etc. mit enthalten, und der Mensch, welcher die Tagesperiodik wahrnimmt, müsse auch ebenso unmittelbar die Wochenperiode empfinden!

Pipping selbst macht sich die Erklärung der Unterbrechungstöne ungemein leicht. Er stellt nämlich folgenden neuen Lehrsatz auf: wenn wir eine Reihe von Obertönen hören, zu welchen der Grundton fehlt, so hören wir einen Klang von der Note des Grundtons. Nichts kann der Helmholtz'schen Hypothese, welche

1) In meiner ersten Vocularbeit, Bd. 47. S. 383, 390 habe ich diese Idee ausgesprochen ohne zu wissen, dass dieselbe schon von König geäussert worden ist (vgl. z. B. S. P. Thompson, Proceed. R. Soc. 1890. 13. Juni, p. 14. In einer späteren Arbeit, Bd. 56. S. 493 habe ich König als Vertreter dieses Gedankens ausdrücklich genannt. Uebrigens haben schon die älteren Physiker, welche die Differenztöne von Schwebungen herleiten, damit stillschweigend dieselbe Annahme gemacht.

Pipping im Uebrigen auf das Hartnäckigste verfißt, mehr widersprechen als dieser Lehrsatz. Dieser Widerspruch gegen eine Hypothese würde ihn freilich für mich keineswegs umstossen; aber die von Pipping beigebrachten Beweise, welche theils auf den bekannten Täuschungen um Octaven, theils auf einem Versuch am Klavier beruhen, scheinen mir bei weitem nicht ausreichend. Wenn übrigens Pipping bemerkt, dass der Grundton in Wirklichkeit selten fehlt, weil er als Differenzton der Obertöne auftritt, so dreht er sich etwas im Kreise; denn die Differenztöne sind eben Schwebungstöne, die es zu erklären gilt; als objective Erscheinungen könnten sie selbst von Jemand, der meine betr. mathematische Beleuchtung¹⁾ gänzlich ignorirt, bei so schwachen Primärtönen wie die Obertöne eines Klanges unmöglich betrachtet werden. Jedenfalls hat Pipping seiner eigenen Behauptung, dass die Vocalklänge nur nach dem Princip der Fourier'schen Analyse betrachtet werden dürfen, den Boden entzogen.

Bei diesem Anlass polemisirt Pipping auch gegen meine Zahnradversuche, durch welche ich die Wahrnehmbarkeit eines fortwährend seine Phase wechselnden Tones dargethan habe²⁾, obwohl diese Frage mit der Vocalfrage nur in ziemlich lockerem Zusammenhang steht. Ich bin genöthigt, auch diesen Theil der Pippingschen Arbeit zu beleuchten.

Meine Zahnräder hatten ganz gewöhnliche Zähne, wie jedes Savart'sche Zahnrad; gegen die Zähne wurden beim Rotiren die Ränder dünner Papierdüten, selten Cartonblätter, gehalten. Der Zweck des Savart'schen Rades ist bekanntlich nur, dem Papierblatt Stösse in bestimmten Intervallen zu geben. Pipping will nun die Zahnradversuche verfeinern, indem er den Scheibenrand in Form von Sinuscurven ausschneidet, und gegen diese Curven Kartenblätter hält; er will also gewissermassen das Princip der Wellensirene verwirklichen und erwartete allen Ernstes, dass das Kartenblatt sich nach dem Gesetze der Curve bewege. Natürlich hat er hier, wie vorausszusehen war, nur Enttäuschungen erlebt; seltsam aber ist, dass er meint, auch ich hätte an meinen Zahnrädern eine ähnliche Erwartung gehabt, denn er fragt (S. 542) nach der Steilheit meiner Curven, während ich gar keine Curven, sondern eben nur Zähne, nicht wesentlich anders gestaltet als in

1) Dies Archiv Bd. 49. S. 502.

2) Dies Archiv Bd. 56. S. 489 ff.

meiner schematischen Abbildung, benutzt habe, und die dünnen Papierränder nicht in die Tiefen der „Curven“ eingreifen, sondern nur die Zahnspitzen ganz leicht streifen liess. Was Pipping (S. 545) „zeigen wollte“, dass nämlich wellenförmige Einschnitte eines Scheibenrandes nicht dem Kartenblatt und der Luft ihr Gesetz mittheilen, hätte man voraussagen können.

Pipping's Zahnradversuche sind aus diesem Grunde mit den meinigen nicht gut vergleichbar; denn grade auf Stösse des Papierblattes und nicht auf Hin- und Herführung desselben kann hier viel ankommen. Pipping's Resultate weichen von den meinigen sowohl bei den *A*-Scheiben, d. h. mit Phasenwechsel, wie bei den *B*-Scheiben, d. h. ohne Phasenwechsel, ab. Ich gebe an, dass bei beiden Scheiben ausser dem Unterbrechungston, welcher dominirt, der Zahnton gehört wird; Pipping bestätigt dies nur für die *B*-Scheibe, nicht für die *A*-Scheibe; vielmehr hört er bei letzterer statt des Zahntones, der bei ihm 90 Schw. pro Umdr. hat, nur den Ton von 84 und unsicher von 96 Schw., welche der 7. und 8. Theilton des Unterbrechungsklanges sein würden. Ich hatte angegeben, dass der Zahnton der *A*-Scheiben besonders leicht gehört wird, wenn man die Sirene auslaufen lässt, oder so langsam dreht, dass der Unterbrechungston nicht mehr zu Stande kommt. Hier hat ihn nun auch Pipping offenbar gehört (S. 545), verschantzt sich aber hinter der Behauptung, dass beim Auslaufen die Zahnsirene nicht mehr gleichmässig gehe. Woher weiss er denn das? Meine in trefflich gearbeiteten Spitzenlagern gehende Zahnsirene hat eine Schwungscheibe von fast 2 Kilo Gewicht und 14 $\frac{1}{2}$ cm Durchmesser; wer diesen Apparat in Bewegung gesehen hat, wird lächeln, dass derselbe beim Auslaufen (die Bewegung nimmt wegen der geringen Reibung und des hohen Trägheitsmoments ungemein langsam ab) durch ein dünnes Papierblatt zu so ungleichmässigem Gange gebracht werden soll, dass man nicht die Töne zweier aufgesetzter Zahnräder durch alternirendes Berühren vergleichen kann. Ausserdem habe ich ausdrücklich angeführt, dass dieselbe Erleichterung für das Hören des Zahntones nicht nur durch das Auslaufen, sondern auch durch langsameren Motorenbetrieb erreicht werden kann.

Ich muss auch nach wiederholten Versuchen meine Angabe vollkommen aufrecht erhalten, und habe mich schon das erste Mal nicht ausschliesslich auf mein eigenes Ohr verlassen, sondern Hrn.

Dr. Neisser, damals hier Privatdocent und Assistent an der med. Klinik, welcher ein sehr feines musikalisches Gehör besitzt, hinzugezogen. Bei meinen *A*-Scheiben hat der Zahnton wie bei Pipping die $7\frac{1}{2}$ -fache Zahl der Unterbrechungen; Pipping behauptet nur den 7. und den 8. Oberton des Unterbrechungstones gehört zu haben, welche beide um $\frac{1}{2}$ Tonstufe vom Zahnton abliegen. Genau so waren die Verhältnisse bei mir, auch ich strich, wie ich ausdrücklich angegeben habe, die gleichzeitig rotirenden Räder alternierend an, und um sich um einen halben Ton zu irren, dazu gehört schon viel. Bei meiner *C*-Scheibe vollends würde der Irrthum nicht einen halben, sondern einen ganzen Ton betragen haben, und das wird selbst Pipping mir nicht zutrauen.

Trotzdem hielt ich die abweichende Angabe Pipping's für wichtig genug, um die Frage noch einmal mit vollkommeneren Hilfsmitteln zu untersuchen. Ich besitze eine Scheibe nach dem Schema *A*₃ (dies Archiv Bd. 56. S. 492, und Fig. 6, S. 490), welche 12 Perioden von je 8 Zähnen mit Phasenwechsel hat. Der Zahnabstand beträgt 4° (d. h. gleichmässig herumgehend würde die Scheibe 90 Zähne haben), der Periodenabstand nur 2° . Diese Scheibe gab bei meinen früheren Versuchen ausser dem Unterbrechungston (oder Phasenwechselton) 12 sehr deutlich den Ton 90, wie die auf derselben Axe befindliche Normalscheibe von 90 Zähnen. Der Fall ist genau der Pipping'sche; Pipping behauptet aber mit aller Bestimmtheit nur die Töne 84 und (weniger sicher) 96, d. h. Obertöne des Grundtons 12 gehört zu haben. Strich er nach einander eine Scheibe mit 96 Zähnen, dann eine Scheibe mit 90 (oder eine dieser Zahl entsprechende *B*-Scheibe); und endlich die Versuchsscheibe *A* an, so will er deutlich eine absteigende chromatische Tonleiter gehört haben, worin er einen besonders sicheren Beweis sieht, dass die Versuchsscheibe den Ton 84 lieferte. Ich liess nun zwei Normalscheiben mit 84, resp. 96 Zähnen anfertigen, und brachte sie mit der *A*-Scheibe zusammen auf die Axe (welche zugleich die Normalscheibe 90 wie immer trug). Nie und nimmer hörte ich oder hörten andere beim Anstreichen der *A*-Scheibe eine Uebereinstimmung mit der 84- oder 96-Scheibe, sondern immer nur mit der 90-Scheibe, und wenn man successive die 84-, die *A*-, und die 96-Scheibe berührt, so hört man die überzeugendste und zweifelloseste chromatische Tonleiter, die man jeden Augenblick, indem man statt der *A*-Scheibe die

90-Scheibe anstreicht, mit der reinen durch keinen Intermittenzton gestörten chromatischen Tonleiter vergleichen kann. Ganz besonders überzeugend, und für jedes Ohr leicht zum Urtheil führend, wird der Versuch, wenn man geringere Geschwindigkeiten nimmt, oder das Auslaufen der Sirene abwartet, wie ich schon früher hervorhob. Der Unterbrechungston ist nämlich dann viel weniger hervortretend.

Ich hoffe, Pipping wird den Versuch in dieser Form wiederholen, und sich überzeugen, dass er sich geirrt hat. Da er von vornherein Alles was dem „Ohm'schen Gesetz“¹⁾ widerspricht, für unmöglich zu erklären geneigt ist — denn er benutzt Abweichung von diesem Gesetz als Einwand gegen thatsächliche Angaben (S. 541) — so halte ich es nicht für ausgeschlossen, dass er bei diesen Versuchen befangen war, und sich selbst durch die anscheinend auch von ihm erhaltene Bestätigung meiner Angabe an der auslaufenden Sirene nicht überzeugen liess, sondern einen ganz unzureichenden Ausweg suchte.

Bei den *B*-Scheiben mussten die Perioden etwas ungleich gemacht werden, um ohne Phasenverschiebung die gleiche Zahl von Unterbrechungen bei gleichem Zahnabstand herzustellen. Hier soll ich nach Pipping mir selber widersprechen, weil ich nicht den Unterbrechungston der wirklichen, aus je 2 etwas ungleichen Theilen bestehenden Periode, sondern nur den der längeren Theilperiode gehört habe. Welchen Unterbrechungston hier Pipping selbst gehört hat, ist nicht klar zu ersehen, jedenfalls nicht den der ganzen Perioden. In der That drängen sich die Eindrücke der frequenteren Unterbrechungen bedeutend vor, und dass von den beiden entsprechenden, um $\frac{1}{2}$ Ton verschiedenen Unterbrechungseindrücken der tiefere dominirt, ist Thatsache. Von einem Widerspruch kann ich hier Nichts finden, vielmehr liefert die Erscheinung einen Beitrag zu dem noch wenig bekannten Verhalten des Ohres gegenüber Unterbrechungen von wechselndem Intervall. Pipping thut so, als wenn eine Unterbrechung, welche nicht genau in der Mitte zwischen zwei sonst gleichartigen Unterbrechungen liegt, ganz wirkungslos

1) Man kann es allenfalls als „Gesetz“ bezeichnen, dass das Ohr aus den Klängen die Partialtöne heraushört; dass es aber den Schall nur in der Weise wahrnimmt, dass es ihn harmonisch zerlegt, ist bloss (Helmholtz'sche) Hypothese.

wäre. Offenbar werden sich diese Unterperioden um so kräftiger geltend machen, je näher sie einander gleich sind; dass Pipping, der sie absichtlich viel ungleicher machte als ich (2:3, bei mir 7:8), etwas genug Anderes hören musste als ich, liegt für jeden Ueberlegenden auf der Hand.

Ich hatte in der Frage der Klangwahrnehmung auch die Baumgarten'schen sog. „Reflexionstöne“ herangezogen¹⁾, welche einen Widerspruch gegen die einfache Zerlegungstheorie darstellen. Pipping hat mich hier missverstanden, wenn er meint, ich hätte diesen Widerspruch nach Pfaundler citirt; ich spreche hier meine eigene Meinung aus, und habe Pfaundler und W. Kohlrausch²⁾ nur wegen ihrer Versuche citirt, welche beweisen, dass ein Stosspar, auch in unregelmässigen Intervallen wiederholt (s. das Schema in meinem Lehrb. d. Physiologie Cap. 12 bei Gehörorgan; 10. Aufl. S. 508, Fig. 94), den dem Paare entsprechenden Ton erzeugt. Die Art wie Pipping mit dem Baumgarten'schen Phänomen umspringt, ist ungewöhnlich oberflächlich. Dem Wasserfallgeräusche könne, meint er, „mit grosser Wahrscheinlichkeit die dem gehörten Tone entsprechende Sinusbewegung als Bestandtheil zugesprochen werden“. Wer das schreibt, weiss offenbar nicht, um was es sich eigentlich handelt; warum man grade den von der Reflexionszeit abhängigen Ton hört³⁾, mag er auch neben unzähligen anderen mit im Geräusch enthalten sein, warum nach Pipping's Vorstellungen grade der Ohrresonator dieses Tones vorwiegend angesprochen wird, das gilt es zu erklären. Dass ich selbst später auf Grund meiner Hypothese der Zählzellen eine Erklärung zu geben versucht habe⁴⁾, scheint Pipping übrigens entgangen zu sein.

Bekanntlich ist es ausserordentlich schwer, wenn nicht unmöglich, die Vocalformanten unmittelbar, oder mit Resonatoren herauszuhören. Wäre die Verstärkungstheorie richtig, so müsste

1) Dies Archiv Bd. 53. S. 36.

2) Die den Gegenstand nur tangirende Kohlrausch'sche Mittheilung, die ich meinte, und die Pipping in Folge eines irrthümlichen Citats von mir nicht finden konnte, steht in Wiedemann's Annalen Bd. 7. S. 335.

3) Vgl. auch Müller-Pouillet's Lehrb. d. Physik. 9. Aufl. v. Pfaundler. Bd. 1. S. 731, 732.

4) Dies Archiv Bd. 56. S. 496.

dies im Gegentheil sehr leicht sein. Auch müsste dann ein Vocal zum Vorschein kommen, wenn man neben dem Grundton einen dem Mundton entsprechenden Ton erklingen lässt; nie aber gelingt es auf diesem Wege künstlich Vocale zu produciren. Auch die vielfach empfohlene Methode auf eine Pfeife einen Resonator von der Höhe des Vocalformanten zu setzen, wird Niemand befriedigen. Dies Alles spricht entschieden gegen die Verstärkungstheorie. Die Vocalformanten erklingen, wie die Curven zeigen, stets nur intermittirend, und fast stets mit anaperiodischem Phasenwechsel. Obwohl in der Phase wechselnde Töne vernehmbar sind, treten sie doch sehr zurück, und wirken mehr modificirend auf den Gesamteindruck, als sie zu einer selbstständigen Tonempfindung Anlass geben. Die wahre Characteristik des Vocals liegt eben in der anaperiodischen Erneuerung einer Formantschwingung; hierdurch entsteht ein specifischer Gehöreindruck, der sich durch Nachahmung dieses Vorganges, z. B. durch den Versuch mit der Doppelsirene, künstlich erzeugen lässt. Ob der Ton des Formanten dabei wirklich zur Wahrnehmung kommt, erscheint fraglich; die Zergliederung des Gesamteindrucks in tonartige Elemente ist kein Postulat, von dessen Erfüllung die Zulässigkeit der vorgetragenen Vorstellung irgendwie abhängen könnte.

7. Schlussbemerkungen.

Auf das linguistische Gebiet, besonders auf Versuche, die Vocale nach ihrer Verwandtschaft zu gruppiren, speciell auf die von Pipping versuchte Gruppierung¹⁾, gehe ich vorläufig nicht ein. Dem genannten Autor gegenüber halte ich mich überhaupt streng in der Defensive, was ich ausdrücklich hervorheben muss, weil schon meine erste ruhige und sachliche Vertheidigung zu meiner grenzenlosen Ueberraschung als ein „heftiger Angriff“ bezeichnet worden ist²⁾.

Ebensowenig bin ich schon jetzt im Stande, auf die Frage der geflüsterten Vocale, und auf die interessante Theorie von Lloyd³⁾ einzugehen, da ich hoffe, dass auch von dieser Erscheinung

1) In der citirten Arbeit in den Acta soc. Fennicae.

2) Zeitschr. f. Biologie Bd. 28. S. 41.

3) Phonetische Studien Bd. 3. S. 251, Bd. 4. S. 37, 183, 275.

sich mittels des Phonographen analysirbare Curven gewinnen lassen werden.

Bezüglich der lauten Vocale sei noch bemerkt, dass die sinnreiche Methode von Raps¹⁾, welche auf einer Idee von Boltzmann und Töpler beruht, die Möglichkeit in Aussicht stellt, die Sprachlaute ohne jede Benutzung einer vibrirenden Platte oder Membran in Curven darzustellen; dies wäre das Ideal eines Untersuchungsverfahrens. Die bisher auf diesem Wege gewonnenen Curven sind leider für exacte Messung noch nicht scharf genug. Immerhin freue ich mich constatiren zu können, dass die Ergebnisse von Raps, welche übrigens nur auf Auszählung oder Proportionalmessung beruhen, in Bezug auf *A* genau mit den meinigen übereinstimmen, für *U* nahezu, für *O* nicht. Andere Vocale sind vom Vf. nicht untersucht.

1) Ann. d. Physik. N. F. Bd. 50. S. 193. Auch als Habilitationsschrift, Berlin 1892.