

sinn bei den Männchen von *Endrosa* eine Rolle spielt, und dass die Bewegungen des Weibchens dazu dienen, die Aufmerksamkeit der Männchen auf die versteckt sitzende Genossin zu lenken.

Dass das dritte Weibchen von den Männchen nicht beachtet wurde, soll hier nicht als beweisend dafür ins Feld geführt werden. Es führte zwar keine Bewegungen aus, aber hier kann der Geruchssinn in gleicher Weise gewirkt haben. Denn bekanntermaßen findet sich post copulam kein einziges Männchen mehr bei dem Weibchen ein, so viel ihrer auch vorher herumschwärmten.

Aber das scheint mir für meine Ansicht beweisend zu sein, dass kein Männchen an ein Weibchen herankam, wenn es dasselbe nicht sehen konnte oder nicht vorher gesehen hatte. Wenn ich das Weibchen mit Hut oder Papierkästchen bedeckte, so fand sich kein Männchen in seiner Nähe ein; und Männchen, die ich fing und in nächste Nähe des Weibchens setzte, flogen sämtlich wieder fort, ohne sich um jenes zu kümmern, das sie mit dem Geruchssinn wohl hätten wahrnehmen können. Da sie nicht knackten, so bewegte sich das Weibchen nicht und konnte nicht gesehen werden.

Beide Geschlechter arbeiten also ineinander, um ein Zusammenkommen zu ermöglichen: das Männchen fliegt knackend niedrigen Fluges über die Halde; das Weibchen hört dieses Geräusch und führt zitternde Bewegungen mit Leib und Flügeln aus; das Männchen sieht diese und lässt sich in der Nähe des Weibchens nieder, flatternd und knackend kommt es dem zitternden Weibchen entgegen, bis die Copula stattfindet.

Alle Sinne arbeiten zusammen, um die Erhaltung der Art zu garantieren; in unserem Fall ist beim Männchen besonders der Gesichtssinn beteiligt, beim Weibchen sicher der Gehörsinn.

Über das Wesen des Vokalklanges.

Von Privatdozenten Dr. Paul v. Liebermann (Erlangen).

Die Frage nach dem Wesen des Vokalklanges, die lange Zeit Gegenstand heftigen Streites gewesen war, ist durch Untersuchungen der jüngsten Zeit wesentlich geklärt worden. Obwohl noch eine ganze Reihe von Einzelfragen unbeantwortet ist und durch die neuen Entdeckungen auch ganz neue Probleme geschaffen worden sind, ist die Lehre andererseits doch soweit abgeschlossen, dass eine Übersicht wohl gegeben werden kann. Dies soll im folgenden geschehen.

Inhalt:

1. Vokalität und Klangfarbe. Vokalität durch feste Töne bestimmt.
2. Die Vokalreihe *u* bis *i* und die Prinzipalvokale. Die Vokalität einfacher Töne.

3. Die Rolle der vokalbestimmenden Töne im Stimmklang. Die Stellung der Vokalität unter den drei Grundeigenschaften der Tonempfindung.
4. Verstärkungstheorie und Anblasungstheorie. Das Zusammenwirken der Vokalitäten. Oszillationstheorie.

1. Vokalität und Klangfarbe. Vokalität durch feste Töne bestimmt.

Singe ich denselben Ton auf verschiedene Vokale, so muss die Verschiedenheit dieser Klänge auf ihrer verschiedenen Zusammensetzung beruhen. Man hat deshalb immer gefragt, wie sich zwei Klänge in ihrer Zusammensetzung unterscheiden müssen, wenn der eine etwa wie ein *o*, der andere etwa wie ein *i* klingen soll. Man ist dabei zu einer Reihe richtiger Ergebnisse gekommen, ohne doch das Wesen des Vokalklages erkannt zu haben. Das lag daran, dass in der obigen Fragestellung ein Vorurteil steckt: dass der Klang, um wie ein Vokal zu klingen, ein zusammengesetzter sein müsse. Dieses Vorurteil war dadurch nahegelegt, dass die Klänge, bei denen wir auf „Vokalität“ am meisten zu achten pflegen, die unserer Stimme sind, denn bei diesen kommt es uns, der Sprache wegen, auf die Vokalität an; da nun die Stimmlaute zusammengesetzte Klänge sind und ihre Vokalunterschiede wirklich auf verschiedener Zusammensetzung beruhen, war man von vornherein auf die Zusammensetzung hingewiesen, und erst in jüngster Zeit fand sich, dass man bei der Untersuchung der Vokaleigentümlichkeit von einfachen Tönen ausgehen muss. Doch wollen wir bei der historischen Folge bleiben; das ist zwar für die Darstellung des heutigen Standes der Fragen nicht der einfachste Weg, bietet aber, wie immer, besonderes Interesse.

Das Vorurteil, dass Vokalklänge stets zusammengesetzt sein müssten, wurde durch einen psychologischen Irrtum unterstützt. Man hatte sich gewöhnt, mit Helmholtz drei und nur drei Eigenschaften an den Tönen zu unterscheiden: Höhe, Stärke, Klangfarbe. Da in diesem Schema für weitere Empfindungsmerkmale kein Platz ist, dachte niemand daran, die Vokalität als besondere Eigenschaft neben die anderen zu stellen und zählte sie daher zur Klangfarbe. Helmholtz selbst spricht sich ganz deutlich so aus¹⁾. Da er nun festgestellt hatte, dass die Unterschiede der Klangfarben auf Unterschieden der Zusammensetzung beruhen, so musste er schließen, dass dies auch für die Vokalitätsunterschiede gelte. Und da es für die Klänge der Stimme tatsächlich zutrifft, so begreifen wir, wie die fundamentalen Tatsachen der Vokalität einfacher Töne so lange unbemerkt, und wenn bemerkt, unbeachtet bleiben konnten.

1) Tonempfindungen, 4. Aufl., S. 31 und an vielen anderen Stellen. Schon aus der Einteilung des 5. Abschnittes: Von den Unterschieden der musikalischen Klangfarben geht diese Ansicht hervor, da er hier die Klänge der Vokale an die der verschiedenen Instrumente anreihet.

Freilich hätte eine naive psychologische Betrachtung vor solch einem Vorurteil schützen müssen. Fragen wir den naiven Beobachter, ob sich *a* von *o* in derselben Weise unterscheide wie Geige von Fagott, so wird er das ohne Besinnen verneinen. Zwischen Geige und Fagott ist der Unterschied von derselben Art wie zwischen einem von ihnen und der menschlichen Stimme; *a* und *o* aber sind Unterschiede innerhalb der Klangfarbe der menschlichen Stimme. Gesang müsste eine klägliche Art von Musik sein, wenn wir die Vokalität nicht ändern könnten, ohne auch die Klangfarbe wesentlich zu ändern. Man stelle sich nur vor, in Schubert's *Der Tod und das Mädchen*



Gib deine Hand, du schön und zart Ge- bild

klänge jedes *d* in anderer Klangfarbe, als wenn verschiedene Instrumente abwechselten!

Diese Beobachtung kann uns nun schon auf den Gedanken bringen, dass die Vokalität durch andere physikalische Eigenschaften des Klanges bestimmt sein möchte als die Klangfarbe; beruht die Klangfarbe auf dem Amplitudenverhältnis der Teiltöne nach ihrer Ordnungszahl²⁾, so kann man vermuten, dass die Vokalität auf etwas anderem beruhen wird. Man kann das aber zunächst höchstens vermuten, und es wäre ein arger Fehler, aus dieser Überlegung einen wirklichen Schluss zu ziehen. Einer einzigen Variablen im Physikalischen kann eine ganze Anzahl im Psychischen entsprechen, wie das noch genau zu erörtern sein wird.

Dennoch wird dieser Schluss bei etwas genauerem Zusehen möglich und unvermeidlich. Beruhte nämlich die Vokalität auf dem Stärkeverhältnis der Teiltöne nach ihrer Ordnungszahl, so wie die Klangfarbe, so wäre doch erstens zu erwarten, dass jeder Klang in irgendeiner Vokalität erscheine, wie jeder in irgendeiner Klangfarbe erscheint; jedermann weiß, dass das keineswegs der Fall ist. Zweitens könnten Klangfarbe und Vokalität nicht unabhängig veränderlich sein, wie sie es doch tatsächlich sind, wie das Notenbeispiel oben zeigt und der Gegenversuch, den Vokal konstant zu lassen und die Klangfarbe zu ändern (etwa indem man Brust- und Fistelstimme abwechseln lässt).

Demnach ist die Vokalität eines zusammengesetzten Klanges durch etwas anderes als das Stärkeverhältnis der Teiltöne nach ihrer Ordnungszahl physikalisch bestimmt. Was dies ist, lässt sich nach den verschiedensten Methoden prüfen, und wir wollen sogleich hervorheben, dass all diese Methoden zu demselben Resultat geführt

2) D. h. auf den Verhältnissen $c_1 : c_2 : c_3$ u. s. f., wo C_n die Amplitude des n -ten Teiltones.

haben. Wenn es doch lange Zeit Meinungsverschiedenheiten gab, so lag das nur an falscher Deutung der Resultate.

Man kann die Methoden in zwei Hauptgruppen teilen: analytische und herstellende, d. h. solche, die einen gegebenen Vokalklang zerlegen und solche, die ihn herstellen. Wir beginnen mit den analytischen.

Der Mund nimmt für die verschiedenen Vokale verschiedene Stellungen ein: Form und Dimensionen der Mundhöhle sind je nach dem Vokal verschieden. Da dies einen akustischen Effekt haben soll, so fragen wir, was sich an den akustischen Eigenschaften der Mundhöhle ändert, wenn wir ihr verschiedene Formen und Dimensionen geben, und die Antwort heisst: ihr Eigenton. Die Luft in der Mundhöhle ist ein schwingungsfähiger Körper. Wir werden sehen, dass sie als Pfeife oder als Resonator wirken kann; ob sie bei ihrer Funktion, die Vokale zu bestimmen, als das eine oder als das andere wirkt, ist aber zunächst gleichgültig, jedenfalls wirkt sie dadurch, dass sie schwingen kann, und die nächste Frage ist die nach ihrem Eigenton.

Der Eigenton eines Hohlraumes wie der Mundhöhle hängt von Volum und Öffnung ab; er bestimmt sich nach den Formeln, die von Helmholtz und anderen angegeben worden sind³). Diese Formeln sind der quantitative Ausdruck für den Satz, dass der Eigenton mit zunehmendem Volum sinkt, mit zunehmender Öffnung steigt. Wie verhält er sich nun bei den einzelnen Vokalen?

Singen wir die Tonleiter auf einen Vokal, so können wir die fundamentale Tatsache feststellen, dass die Mundhöhle dabei ihre Einstellung nicht ändert oder wenigstens nicht zu ändern braucht. Daraus folgt, dass der betreffende Vokal immer durch den konstanten Eigenton der Mundhöhle bestimmt ist, unabhängig davon, auf welchen Grundton wir ihn singen. Singen wir z. B. den Vokal *i* nacheinander auf *c*, *d*, *e*, *f* u. s. f., so rührt die *i*-Artigkeit aller dieser Klänge von dem konstanten Eigenton der Mundhöhle her. Da dieser konstante Ton bei Änderungen des Grundtones seine Ordnungszahl als Teilton ändert, so sehen wir, dass nicht ein Teilton bestimmter Ordnungszahl, sondern ein Ton bestimmter Schwingungszahl hervortreten muss, wenn der Klang wie ein bestimmter Vokal klingen soll.

Dies unser erstes Hauptergebnis: schon von Willis gefunden⁴), wurde es von Helmholtz eingehend begründet⁵). Helm-

3) Tonempfindungen, Beilage II.

4) Transactions of the Cambridge Philosoph. Soc. Vol. III., p. 231. Poggen-dorff's Ann., 24. Bd., S. 397.

5) Lehre von den Tonempfindungen, 5. Abschnitt, Punkt 7. Helmholtz gibt an, dass die Theorie von Wheatstone zuerst entwickelt worden ist. The London and Westminster Review 1837.

holtz kam zu diesem Resultat, obwohl er psychologisch Vokalität und Klangfarbe nicht unterschied — gewiss merkwürdig. Dass die Vokale durch feste Töne bestimmt sind, wurde dann vielfach bestätigt, mit verschiedenen Methoden. Über diesen Satz kann also nicht der mindeste Zweifel sein. Es ist deshalb zu bedauern, dass manche Autoren immer noch die Bedeutung des „relativen Momentes“ (Stärkeverhältnis der Teiltöne) neben dem „absoluten Moment“ hervorheben, was den nicht orientierten Leser zu der Vorstellung führen muss, als wirkten diese beiden „Momente“ irgendwie in mystischer Weise zusammen. Dass das Stärkeverhältnis der Teiltöne nicht ohne Einfluss sein kann, ist ohne weiteres klar, denn der feste Ton muss hervortreten, wenn er dem Klang die bestimmte Vokalität erteilen soll; dass er das nicht kann, wenn er von den anderen erdrückt wird, liegt auf der Hand. Das ist aber eine Selbstverständlichkeit, die mit dem Wesen der Vokalität nichts zu tun hat⁶⁾.

Unsere Aufgabe ist nun mehrfach. Zunächst werden wir noch einige von den Methoden anzuführen haben, die den Grundsatz nachweisen, dass die Vokalität von festen Tönen bestimmt ist. Dann gehen wir über zu der Frage, welche Töne dies für die einzelnen Vokale sind — dabei wird in einem auch der Nachweis des Grundsatzes selbst vervollständigt werden. Weiter werden wir die Frage zu behandeln haben, wie es der charakteristische Ton fertig bringt, den Klang zum Vokal zu machen. Die Besprechung dieser Frage wird von allgemeineren Erörterungen über die Stellung der Vokalität unter den Eigenschaften der Tonempfindungen nicht zu trennen sein. Endlich bleibt uns dann eine physikalische Seite des Gegenstandes zu betrachten: die Art, wie die Mundhöhle es macht, dem Stimmklange den charakteristischen Ton beizufügen.

Ein eleganter Versuch, der die Bedeutung des festen Tones zeigt, ist die Reproduktion am Phonographen in verändertem Tempo. Lässt man den Apparat bei der Reproduktion langsamer oder schneller laufen, als er bei der Aufnahme lief, so ändert man dadurch die Höhe jenes Partialtones um dasselbe Intervall, nämlich um das Verhältnis der beiden Drehgeschwindigkeiten. Das Amplitudenverhältnis der Partialtöne nach ihrer Ordnungszahl bleibt dabei unverändert; hingen die Vokale von diesem ab, so müssten auch sie unverändert bleiben, wie es die Klangfarbe bleibt. Sie werden jedoch verändert, wie Hermann gezeigt hat: manche verwandeln sich in andere, manche verlieren nach seinen Angaben die Vokalität

6) Grassmann hat bemerkt, dass das „absolute Moment“ zur Erklärung deshalb nicht ausreichen könne, weil wir die Mannigfaltigkeit der Vokale auf einer Linie nicht vollständig darstellen können. Felix Auerbach stimmt ihm hierin zu. S. darüber S. 751, Anm. 37.

überhaupt. Welche Verwandlungen eintreten, ist keine ganz einfache Frage; es mag an diesem allgemeinen Hinweise genügen⁷⁾.

Die Bedeutung der festen Töne lässt sich ferner durch die Analyse von Vokalkurven zeigen — ein im einzelnen leicht irreführendes Verfahren, das bei der Feststellung, welches die charakteristischen Töne sind, große Verwirrung angerichtet und zu vielen falschen Resultaten geführt hat. Der allgemeine Satz von den festen Tönen ließ sich dennoch auch auf diesem Wege verifizieren; von den vielen Untersuchern seien hier nur Hermann, Pipping, Boeke genannt. Es ist hier nicht der Ort, auf Einzelheiten der Methode einzugehen; das Prinzip besteht bei den meisten Methoden darin, die Luftschwingung des Vokalklanges von einer Membran aufnehmen zu lassen und die Schwingung dieser zu registrieren. Die Zwischenschaltung einer Membran ist vermieden bei der Methode von Raps, die auf dem Prinzip von Boltzmann beruht, zwei Lichtstrahlen zur Interferenz zu bringen, von denen der eine durch ruhende, der andere durch tönende Luft geht. Eine Zusammenstellung der Methoden findet sich in Auerbach's Handbuch der Akustik, III. Abschn., Punkt 3.

Die Kurven werden nach Fourier analysiert; man erhält dann die Gleichung der Kurve bekanntlich in der Form $y = c_1 \sin(x + \vartheta_1) + c_2 \sin(2x + \vartheta_2) + c_3 \sin(3x + \vartheta_3) + \dots$, worin c_1 die Amplitude der Grundtonschwingung, c_2 die der Oktave, c_3 die der Duodecime u. s. w. bedeutet. Es zeigt sich nun, dass die Koeffizienten mit steigendem Index im allgemeinen nicht monoton abnehmen, sondern gewisse Maxima aufweisen, meist ein besonders hervorstechendes; und es findet sich, dass dieses auf eine Teilschwingung um so kleinerer Ordnungszahl fällt, je höher der Grundton, auf den man einen bestimmten Vokal singt; und zwar bleibt es annähernd bei Teilschwingungen von derselben Schwingungszahl — was zu beweisen war. Man kann die Intensitätsmaxima auch subjektiv aufsuchen; durch Heraushören mit dem unbewaffneten Ohre oder mit Resonatoren, wie es besonders Auerbach, ursprünglich auf Anregung von Helmholtz, ausgeführt hat⁸⁾. Alle diese Methoden führen zu dem angegebenen Resultat.

2. Die Vokalreihe und die Prinzipalvokale. Die Vokalität einfacher Töne.

Gehen wir nun zu der Frage über, welches der charakteristische Ton für jeden einzelnen Vokal ist. Wir müssen uns dabei immer vor Augen halten, dass es nicht eine beschränkte Anzahl von Vo-

⁷⁾ Hermann, Pflüg. Arch., Bd. 47, S. 42, 53, S. 8 u. 139, S. 1.

⁸⁾ F. Auerbach, Inauguraldissert. Berlin 1876. Ann. d. Phys., Ergzbd. 8, 1878, S. 177—225. S. auch sein Handbuch der Akustik, S. 691 ff.

kalen gibt, sondern unendlich viele, und dass daher die Frage nur dann erschöpfend zu beantworten sein kann, wenn es zunächst gelingt, die Vokale in ein System zu bringen — zu zeigen, dass sie eine wohlgeordnete Menge bilden, eine Mannigfaltigkeit also, in der jeder Vokal seinen bestimmten Platz hat, so wie dies bei den Farbenempfindungen der Fall ist.

Tatsächlich finden wir, dass sich die Vokale in Reihen ordnen lassen, ebenso wie die Farben. Eine psychische Qualitätsreihe heisst nach G. E. Müller⁹⁾ eine Reihe von Empfindungen, in der sich die Qualität stetig und geradläufig ändert. Der Ausdruck geradläufig bezieht sich dabei auf den unmittelbaren Eindruck. Stellen wir die Reihe her: Rot — Orangetöne — Gelb — Gelbgrüne Töne — Grün, so haben wir den Eindruck der geradläufigen Änderung von Rot bis Gelb, dann von Gelb bis Grün. Bei Gelb jedoch ändert sich die Richtung der Qualitätsänderung. Solche Punkte nennen wir ausgezeichnete. Es gibt deren unter den Farbenqualitäten bekanntlich vier: Rot, Gelb, Grün und Blau¹⁰⁾: zwischen je zweien erstrecken sich die Reihen der Zwischenfarben.

Als Prinzipalvokale müssen wir nun U, O, A, E und I bezeichnen. Zwischen U und O liegen die sogen. offenen¹¹⁾ U-Laute, zwischen O und A die offenen O und geschlossenen A, das sind die â-Laute, wie sie im Deutschen in Diphthongen vorkommen (Haus), aber auch aus den oberdeutschen Dialekten, ferner aus dem Englischen bekannt sind (paw); im Ungarischen ist jeder kurze a-Laut ein â. Zwischen A und E liegen die Ae-Laute, zwischen E und I die offenen I.

Aus diesem System fehlen also außer den „Halbvokalen“ die Ü- und Ö-Vokale, deren Stellung noch genauerer Untersuchung bedarf¹²⁾.

Beim Aufsuchen der charakteristischen Töne werden wir zunächst die für die Prinzipalvokale U, O, A, E und I zu finden

9) Zur Psychophysik der Gesichtsempfindungen. Kap. I. § 7. Zeitschr. f. Psychologie, Bd. 10, S. 33.

10) Die Sonderstellung dieser „Prinzipalfarben“ ist zunächst rein psychologischer Art; sie hat nichts zu tun mit der besonderen Stellung der „Grundfarben“, wie sie die Young-Helmholtz'sche Theorie annimmt; diese geht von physiologischen Tatsachen aus.

11) Im Deutschen finden wir die Prinzipalvokale in den langen Silben. In den kurzen dagegen wir das U O-artig, das O A-artig, das A O-artig, das E A-artig, das I E-artig.

Bei vielen Menschen sind diese Unterschiede schon beim Sprechen deutlich bemerkbar. Sie werden schlagend, wenn man im Gesang auch die kurzen Silben zu dehnen hat. Da nun ein O-artiges U bei offenerem Munde entsteht als ein reines U, nennt man wohl das reine Ü (Prinzipal-U) ein geschlossenes; ebenso heisst das reine O ein geschlossenes, auch das reine E und I, während beim A der reine Vokal der offene ist, das geschlossene A aber O-artig wird.

12) Von den „Halbvokalen“ hat das *m* seine Stelle bereits erhalten. S. S. 741.

trachten. Für die Zwischenvokale gibt es dann zwei physikalische Möglichkeiten: sie könnten entstehen durch zwischenliegende Töne oder durch Tönmischungen. Wie es sich damit verhält, wollen wir, soweit es beim heutigen Stand unserer Kenntnisse möglich ist, an geeigneter Stelle besprechen.

Wir beginnen mit den analytischen Methoden. Erteilt man der Mundhöhle die Stellung, die dem zu prüfenden Vokale entspricht, so kann man den Eigenton der Mundhöhle feststellen, indem man aus einer Reihe von Stimmgabeln die sucht, deren Ton durch die Mundhöhle am meisten verstärkt wird. Diese einfache Methode gibt recht scharfe Ergebnisse; mit ihrer Hilfe haben Helmholtz und König¹³⁾ die charakteristischen Töne bestimmt. König's Ergebnis lautet:

u	o	a	e	i
b	b ¹	b ²	b ³	b ⁴
225	450	900	1800	3600.

Helmholtz fand dasselbe für O, A und E; für I fand er einen viel zu tiefen Ton (d⁴), da er keine genügend hohen Gabeln hatte; für U gibt er wohl f an, doch bemerkt er selbst, dass es eine große Reihe U-artiger Vokale gebe, und dass bei der Stellung des Mundes, wo die Gabel f¹ anspricht, der Vokal immer noch ein U, und zwar ein O-artiges sei: Helmholtz weicht hier nur deswegen von König ab, weil er das zu bestimmende U nicht scharf genug definiert hatte. Es ist also schon deswegen der König'schen Angabe der Vorzug zu geben. Es fällt aber auch in die Augen, dass das merkwürdige Oktavenverhältnis der Töne der Hauptvokale so gewahrt bleibt, was für die König'sche Angabe einnehmen muss, da es eine Gesetzmäßigkeit ist. Dieses Verhältnis nehmen wir einstweilen zur Kenntnis; wir kommen noch ausführlich darauf zurück.

Über die objektive Methode der Zerlegung haben wir noch folgendes zu bemerken. Die Untersucher meinten, dass sich diese nicht nur zum allgemeinen Nachweis der Bedeutung der absoluten Höhen, sondern auch zur Bestimmung der charakteristischen Töne würden verwenden lassen. Es brauchte ja nur bestimmt zu werden, welchen Schwingungszahlen die erwähnten Amplitudenmaxima zugehören. Obschon nun der Gedanke an sich richtig ist und tatsächlich auch auf diesem Wege einige richtige Ergebnisse gefunden worden sind, so müssen wir doch betonen, dass die Methode an dem prinzipiellen Fehler leidet, eine indirekte zu sein. Wie sich dieser Mangel im speziellen äußert, wird besser erst nach Besprechung der herstellenden Methoden und ihrer Ergebnisse ausgeführt; hier nur so viel, dass bei diesen Zerlegungsverfahren stets der un-

13) Compt. rend. de l'Acad. des Sciences de Paris. Tome 70. Quelques expériences d'acoustique, p. 47.

mittelbare Nachweis fehlt, dass der gefundene Ton wirklich der vokalbestimmende war.

Besser entspricht dieser Anforderung ist eine andere analytische Methode, die der Interferenz. Grützner und Sauberschwarz haben sie zuerst angewendet¹⁴⁾. Man leitet den Klang durch einen Interferenzapparat und sucht, auf welche Wellenlänge dieser eingestellt werden muss, d. h. welche Teilschwingung ausgelöscht werden muss, damit er seine Vokalität verliere¹⁵⁾.

Aber auch diese Methode steht an Sicherheit, und wie wir sehen werden, auch an Einfachheit und Eleganz weit hinter der herstellenden von W. Köhler zurück¹⁶⁾.

Vokalsynthesen sind nichts Neues. Willis stellte schon Vokalklänge zusammen, und berühmt sind besonders die Synthesen von Helmholtz geworden; er stellte die Vokale bekanntlich aus Stimmgabeltönen her. Dennoch haben diese Methoden keine vollständige Klarheit geschafft, weil alle Untersucher an der psychologischen Hauptfrage vorbeigegangen sind, die allein es schließlich ermöglicht hat, das herstellende Verfahren genügend einfach zu gestalten.

W. Köhler ging von der Frage aus: wie fängt es der charakteristische Ton an, den Klang zum Vokal zu machen? Steckt in ihm eine mystische *virtus alterandi*, eine Fähigkeit, dem Klange Vokalität zu verleihen, von der aber gar nichts zu merken ist, solange wir den Ton allein hören? Sollen wir etwa Hermann glauben, dass der charakteristische Ton intermittieren müsse, wenn diese Fähigkeit sich zeigen soll¹⁷⁾? Liegt es nicht viel näher, anzunehmen, er sei selbst der Vokal?

Diese Annahme lässt sich natürlich ohne weiteres prüfen. Man braucht ja nur einen einfachen Ton anzuhören. Die ganze Technik reduziert sich darauf, reine Sinusschwingungen herzustellen. In aller Strenge leistet das der Interferenzapparat. Aber mit großer Annäherung leisten es Töne mancher Stimmgabeln, Töne von Flaschen, und bei den höchsten Tönen alle Instrumente, selbst die in der Tiefe und Mitte so obertonreiche Geige.

Man höre nun solche einfache Töne an und man wird finden, dass jeder, wenigstens im Bereich von c^1 bis c^5 , wie irgend ein Vokal klingt.

14) Sauberschwarz, Pflüg. Arch. 61.

15) Nämlich die, die er hatte. Es braucht dabei nicht jede Vokalität überhaupt verloren zu gehen; sie kann sich in eine andere verwandeln. Die Beurteilung der Resultate wird erschwert durch den Umstand, dass beim Tilgen einer Teilschwingung ihre ungeraden Vielfachen mit getilgt werden.

16) Akustische Untersuchungen I und besonders II. Zeitschr. f. Psychologie, Bd. 54 u. 58, 1909 u. 1911.

17) Diese Hermann'sche Theorie wird im 4. Abschnitt besprochen werden.

Man wird auch finden, dass verschiedene Schwingungszahlen verschiedene Vokale ergeben, und zwar ohne Ausnahme. Aus dem Stetigkeitsprinzip folgt schon, dass der Reihe der Schwingungszahlen eine stetige Reihe von Vokalen entsprechen muss, und wir werden uns nicht wundern, die oben rein psychologisch gefundene Reihe U-offene U-O- \hat{A} -A-Ae-E-offene I-I hier als psychophysische wiederzufinden. Ebenso wenig wird es uns überraschen, dass sich für die Prinzipalvokale annähernd dieselben Schwingungszahlen finden, die Helmholtz und König nach der Mundtonmethode gefunden hatten. Warum nicht ganz genau, wird sich leicht erklären lassen, wenn wir bedenken, wie bei der Köhler'schen Herstellungsmethode die Prinzipalvokale gefunden werden. Sie sind die ausgezeichneten Punkte der Vokalreihe, und werden durch Vorführung der Reihe festgestellt. Dem Beobachter sind also alle Vergleichen stets in der Empfindung möglich: er sucht den Vokal der Reihe, der nach keinem anderen Hauptvokal neigt, also etwa das *a*, das weder nach *o* noch nach *e* neigt. Dass dies außerordentlich erleichtert wird, wenn er fortwährend mit den Nachbarn vergleichen kann, davon wird man sich nach dem ersten Versuch überzeugen. Und die auch so noch bleibende Unsicherheit, die darin steckt, dass das Urteil, den Hauptvokal gefunden zu haben, ein negatives ist (der Vokal ist rein, d. h. weder *o*- noch *e*-artig), wird behoben, wenn man die Aufgabe so stellt: es werde der Punkt gesucht, von dem aus die eben merkbare Änderung nach der einen Seite zu *o*-artigem, nach der anderen zu *e*-artigem Klange führt. Wenn Farbvorstellungen geläufig sind, mag sich's ins Optische übersetzen; die Analogie ist vollkommen.

Es leuchtet also ein, dass diese Methode, die sich der Stetigkeit der Reihe und der Verschiedenheit der Nachbarn bedient, um den Hauptvokal zu finden, diesen Punkt am allerschärfsten von allen Methoden finden wird; schärfer jedenfalls als die Mundtonmethode, wenn sie so geübt wird, dass man der Mundhöhle aus dem Gedächtnis die Stellung gibt, die man ihr zu geben pflegt, wenn man etwa das reinste *a* sprechen will, das man zu sprechen oder zu singen gewohnt ist. Wenn dieses z. B. *o*-artig ist, etwa wegen mundartlicher Besonderheiten oder aus gesangsästhetischen Rücksichten (ein ganz reines *a* klingt grell), so muss die Schwingungszahl etwas anders gefunden werden, als nach der Köhler'schen Methode. Allerdings glaube ich, dass sich auch die Mundtonmethode viel schärfer gestalten ließe, wenn man erst die Vokalreihe spräche oder sänge, so den Prinzipalvokal aufsuchte und dann erst die ihm zugehörige Mundstellung beibehaltend, die übereinstimmende Gabel suchte. Jedenfalls wird es uns nun verständlich, dass Köhler für die Prinzipalvokale statt der *b*-Töne

die c-Töne (nach hoher Stimmung) fand, u bei 263 Schwingungen, die anderen in den entsprechenden Oktaven¹⁸⁾.

u	o	a	e
c^1	c^2	c^3	c^4
263	521	1053	2097

Von der Genauigkeit der Methode zeugt der sehr kleine Wert der mittleren Variation; sie betrug in Köhler's Versuchen zwischen 1 und 2% der Schwingungszahl, meist aber wenig über 1%. Die angeführten Zahlen sind Mittel aus den Mittelwerten von 4 Beobachtern. Die Schwingungszahl für i ließ sich nicht so genau feststellen, da sich kein geeignetes Instrument fand. Doch wurde gefunden, dass 4000 noch nach e klang, während 4800 kein gutes i mehr war und als jenseits dieses liegend bezeichnet wurde. Der Oktavensatz lässt keinen Zweifel über die wirkliche Lage (c^5).

Aus der Stetigkeit der Reihe folgt, dass die Töne, die sich an c^1 nach unten und an c^5 nach oben anschließen, auch noch u - resp. i -artig klingen müssen. Die Töne der kleinen Oktave klingen wie verhüllte u , m -artig, die u -Artigkeit verschwindet bei c^0 . Die fünfgestrichenen Töne zeigen eine Beimengung des Konsonanten s , sie klingen als $i-s$.

Die Tatsache, dass einfache Töne Vokale sind, ist nicht Köhler's Entdeckung. Schon für Willis „hat es den Anschein, als sei in einfachen Tönen ein jeder Vokallaut unzertrennlich von einer gewissen Tonhöhe“ (l. c. S. 415), worin „einfacher Ton“ allerdings nicht im heutigen Sinne steht. Ähnliche Bemerkungen, wenn auch von weit geringerer Schärfe, finden sich mehrfach in der Literatur. Am merkwürdigsten ist es, dass Helmholtz selbst diese Tatsache bemerkt hat, ohne ihre Tragweite zu erkennen; er erwähnt bei ganz anderer Gelegenheit, dass eine auf b gestimmte Flasche ein u , eine auf b^1 gestimmte ein o gibt (Tonempf. S. 104) — was ihm um so mehr hätte auffallen müssen, als er selbst b und b^1 als „charakteristische Töne“ für die gesungenen Vokale O und U gefunden hatte. Aus dem Zusammenhang der zitierten Stelle ergibt sich klar, dass es die Verwechslung mit der Klangfarbe war, die ihn hinderte, die Bedeutung seiner Beobachtung wahrzunehmen.

Nicht lange bevor Köhler seine Ergebnisse mitteilte, hat v. Wesendonk wieder die „Entdeckung“ gemacht. Dennoch gehört das Verdienst ausschließlich Köhler, nicht weil er die Erscheinungen dank einer klaren Fragestellung unabhängig von seinen Vorgängern gefunden hat, sondern weil er erkannte, dass damit die Lösung des Vokalproblems gegeben ist, dass es sich hier um eine Grundeigenschaft der Tonempfindungen handelt. Darum war er auch der erste, der seine Entdeckung systematisch verfolgt und ausgewertet hat.

3. Die Rolle der vokalbestimmenden Töne im Stimklang. Die Stellung der Vokalität unter den drei Grundeigenschaften der Tonempfindung.

Mit den Ergebnissen der Köhler'schen Arbeit wäre nicht nur der schlagendste Beweis für die Bedeutung der absoluten Schwin-

¹⁸⁾ Es ist auffallend, dass die Helmholtz'sche Methode, obgleich sie andere Töne ergeben hat als die Köhler'sche, doch den Oktavensatz der Vokale erkennen ließ. Der Unterschied der Ergebnisse kann also nicht auf bloßer Ungenauigkeit der älteren Methoden beruhen.

gungszahlen gegeben, wenn es eines solchen nach dem bisherigen noch bedürfte, sondern es ist damit auch die Bestimmung, welche Schwingungszahlen die charakteristischen für die einzelnen Vokale sind, in einfachster und exaktester Weise erledigt. Die früheren analytischen und synthetischen Arbeiten sind aber damit nicht gegenstandslos geworden. Nur erscheinen sie in ganz anderem Lichte — und ihre Fortsetzung hat in Zukunft die Fragen ganz anders als bisher zuzuspitzen. Denn darauf, wie es der charakteristische Ton fertig bringt, den Klang zum Vokal zu machen — „Formant“ zu sein (Hermann's Ausdruck) —, hat Köhler die Antwort schon gegeben: indem er selbst der Vokal ist; aber es entsteht sofort die Frage: wie bringt er denn diese seine Eigenschaft zur Geltung, wenn er mit anderen Schwingungen zusammen erklingt, wenn er nur Teilschwingung eines Klanges ist — wir wir es bei den Vokalklängen der Stimme hören?

Ist der Formant einfach der stärkste unter den Teiltönen und dominiert deswegen?

Dass es damit weit verwickelter steht, zeigt der einfachste Versuch. Es ist ja eine Ausnahme, dass wir einen Vokal auf die Note seines Formanten singen — beim Sprechen, wo die Grundtonhöhe gleitet, kann dies gar nur für einen Augenblick — vorübergehend — vorkommen. Der Formant des Vokales E (c^4) liegt an der äußersten Grenze der Sopranstimme, und der des I (c^5) ist unserer Stimme als Grundton überhaupt nicht zugänglich. Im allgemeinen singen wir einen Vokal also auf einen Ton, der ganz verschieden ist vom Formanten des Vokales. Beachten wir wohl, wie merkwürdig dies ist. Einen Vokal, etwa I, auf die Note c^1 zu singen, heisst doch nichts anderes, als ihn so zu singen, dass dieser gesungene Ton musikalisch die Rolle eines c^1 spielt. Seine Vokalität ist aber nicht die, die dem c^1 entspräche — das wäre U —, sondern sie entspricht dem Teiltone c^5 . Musikalisch dominiert im Klange c^1 , der Vokalität nach c^5 .

Es wird uns dadurch klar, dass die Frage, welcher Ton im Klange der stärkste sei, nicht eindeutig ist. Der stärkste kann er zunächst in physikalischem Sinne sein — dann aber kann er im psychologischen Sinne der stärkste sein, seinen musikalischen Eigenschaften oder seiner Vokalität nach — ja man muss sogar eine physiologische Intensität unterscheiden, die sich gar nicht in der Empfindung zu äußern braucht¹⁹⁾.

Man kann also, wenn gefragt wird, warum im Versuch vorhin die Note c^1 als I klang, zunächst nur sagen, weil im Klange der

19) Töne oberhalb der Hörgrenze geben doch subjektive Kombinationstöne (schon von König beobachtet); ich konnte es neuerdings bestätigen. Sie sind also physiologisch wirksam, trotz psychischer Intensität Null.

Teilton e^5 seiner Vokalität nach dominierte — was natürlich keine befriedigende Erklärung ist. Die experimentelle Prüfung hat die Aufgabe, die Bedingungen festzustellen, unter denen dieser oder jener Teilton seiner Vokalität nach entscheidend wird — eine Aufgabe, zu deren Lösung in den bisherigen analytischen und synthetischen Beobachtungen schon einiges Material niedergelegt ist. Von dessen Zergliederung sehen wir jedoch ab, da diese älteren Beobachtungen nicht genau auf die hier präzierte Frage zugescharft waren, und daher doch noch vielfacher Ergänzung bedürfen werden. Dagegen müssen wir der Tatsache, dass in den Klängen der Stimme ein Ton mit der Vokalität eines andern erscheint, noch einige Worte widmen, da dies eine psychologische Merkwürdigkeit ist. Wir müssen offen gestehen, dass wir für diese „Zuteilung“ der Vokalität vorderhand keine Erklärung geben können und uns damit begnügen müssen, auf eine ähnliche Erscheinung bei den Klangfarben aufmerksam zu machen. Die Tatsache, dass in den zusammengesetzten Klängen der Instrumente die Obertöne für gewöhnlich nicht als solche bemerkt werden, sondern die Empfindung des Grundtones modifizieren, ist eine Sonderbarkeit von derselben Art. Es ist dabei wohl zu beachten, dass die Obertöne durch besondere Richtung der Aufmerksamkeit herausgehört werden können, dass aber die ersterwähnte Art, den Klang aufzufassen, die naive ist. Der ungelehrte Hörer weiß nichts von Obertönen, er weiß nur, dass ein f auf der Geige anders klingt als auf der Flöte, ebenso, dass es anders klingt, wenn es auf o als wenn es auf i gesungen wird. Wir können auf die nähere Analyse dieser Verhältnisse nicht eingehen und möchten nur noch das eine bemerken, dass diesen „Zuteilungen“ keine elementaren psychophysischen Prozesse zugrunde liegen können, da die Aufmerksamkeit darauf Einfluss hat.

Wir wollen endlich den Gegenstand noch von einer ganz anderen Seite betrachten, die allgemeine sinnesphysiologische Bedeutung hat. Wir werfen die Frage auf, welche physiologische Stellung die Eigenschaft Vokalität unter den akustischen Eigenschaften der Töne einnimmt; insbesondere ob ihr physiologisches Substrat — das materielle Korrelat der psychologischen Eigenschaft — mit den physiologischen Substraten der musikalischen Eigenschaften untrennbar verknüpft ist. Diese Frage ist zu verneinen.

G. Révész hat kürzlich gezeigt, dass an den Tonempfindungen zwei Eigenschaften zu unterscheiden sind, die ihre Rolle im melodischen und harmonischen Zusammenhang bestimmen; offenbar gehört die Vokalität nicht zu diesen, da wir ein Lied in eine andere Sprache übersetzen können²⁰⁾. Es handelt sich vielmehr um die Eigen-

20) Es wird damit nicht behauptet, dass die Vokaleigenschaft für die musikalische Wirkung eines gesungenen Tones gänzlich gleichgültig wäre. Doch kann

schaften, die mit den musikalischen Namen der Töne bezeichnet werden. Wenn man angibt, ein Ton sei gis^2 , so besteht ja diese Bezeichnung aus Namen und Index. Man hat das wohl als bloße Bequemlichkeit angesehen, da es umständlich wäre, für alle musikalisch gebräuchlichen Töne besondere Namen einzuführen. Nun konnte freilich die große Ähnlichkeit, die zwischen den Tönen gis^1 , gis^2 u. s. w. besteht, der Beobachtung nicht entgehen; aber sie wurde im Anschluss an Helmholtz als „sekundäre“ Eigenschaft angesehen, die von der Klangzusammensetzung abhängig sei. Brentano hatte allerdings die entgegengesetzte Ansicht geäußert, doch fand seine Anschauung keine Beachtung, außer von Stumpf, der sie zwar stets bemerkenswert fand, ihr aber in seiner Tonpsychologie doch eine ablehnende Kritik zuteil werden ließ. Die ausführliche Untersuchung, die nun Révész unabhängig von Brentano's Idee durchgeführt hat und auf die hier nicht eingegangen werden kann²¹, ergab als sicheres Ergebnis, dass in der Bezeichnung gis^2 der Name *gis* allein tatsächlich eine besondere Eigenschaft angibt, die allen *gis*-Tönen gemeinsam ist. Révész nennt dies die musikalische Qualität²²) des Tones. Sie kehrt in der Tonreihe periodisch wieder, in der Periode der Oktave. Die andere musikalische Eigenschaft ist die, die uns veranlasst, die Töne als hoch und tief zu unterscheiden; sie ist nicht periodisch, sondern ändert sich geradläufig mit der Änderung der Schwingungszahl. Für sie kann zweckmäßig das alte Wort Höhe beibehalten werden. Zu diesen beiden musikalischen Eigenschaften gesellt sich nun noch die Vokalität. **Es gehört also jeder Schwingungszahl eine musikalische Qualität, eine Tonhöhe und eine Vokalität zu.**

Die Schwingung 523 z. B. erzeugt eine Tonempfindung, deren musikalische Qualität *c*, deren Höhe c^2 und deren Vokalität *o* ist. Wir müssen nun fragen, ob dieser Schwingung unter allen Umständen diese drei Toneigenschaften entsprechen, und wenn nicht, ob sie sich etwa nur zusammen verändern können, so dass nun die Empfindung genau der entspräche, die sonst von einer Schwingung anderer Frequenz erzeugt wird; die andere Möglichkeit wäre ja die, dass die Eigenschaften unabhängig wären und sich daher unter Umständen auch unabhängig verändern könnten. Wir werden sogleich sehen, dass tatsächlich das letztere zutrifft, und wir kommen da-

sie verändert werden, ohne dass damit Melodie und Harmonie geändert würde, darum zählen wir sie nicht zu den musikalischen Eigenschaften im engeren Sinne.

21) Eine kurze Zusammenfassung der demnächst ausführlich mitzuteilenden Untersuchungen Zur Grundlegung der Tonpsychologie, Leipzig 1913, findet sich in den Nachrichten der K. Gesellsch. d. Wissensch. zu Göttingen, Math. phys. Kl., 1912.

22) Der Ausdruck Qualität schlechthin darf nur da gebraucht werden, wo kein Missverständnis zu befürchten ist, denn W. Köhler hat diesen Namen für die Vokalität in Anspruch genommen.

durch zu dem Schlusse, dass die physiologischen Substrate der einzelnen Toneigenschaften verschieden sind.

Zunächst betrachten wir nochmals die Tatsache, dass auf e^1 , z. B., alle Vokale gesungen werden können. Wie oben ausgeführt, bedeutet dies, dass in einem Klange der Vokalität nach nicht notwendig der Ton der stärkste sein muss, der es seinen musikalischen Eigenschaften nach ist. Es ist also in einem Klange nicht notwendig ein Ton der schlechthin stärkste. Dies legt den Gedanken nahe, dass den drei Toneigenschaften verschiedene psychophysische Prozesse entsprechen. Auf dasselbe weist eine Bemerkung von Révész hin: dass in den meisten Instrumentalklängen gar keine Vokalität deutlich ist (weil keine hervortritt), während musikalische Qualität und Höhe ganz ausgesprochen sind. Wir vermuten also, dass das Paar der musikalischen Eigenschaften unabhängig ist von der Vokalität²³⁾ und verstehen nun auch, warum wir im Stimmklange die Vokalität und die musikalischen Eigenschaften unabhängig verändern können, wie wir es tun, wenn wir etwa die Tonleiter auf einen Vokal singen, oder umgekehrt auf einem Ton den Vokal wechseln lassen.

Wir hätten damit, so könnte es scheinen, auch die unabhängige Veränderlichkeit gefunden, nach der wir oben fragten. Das haben wir aber noch nicht; denn wenn wir auf einem Ton singend, den Vokal variieren, tun wir ja weiter nichts als dass wir einmal diesen, einmal jenen Partialton des zusammengesetzten Stimmklanges stark werden lassen. Wir haben oben etwas anderes gefragt: ob es vorkomme, dass sich an einem einfachen Tone die drei Eigenschaften unabhängig verändern?

Auch dies ist möglich, wie die Pathologie gelehrt hat. Ein Fall von Falschhören war es zunächst, der den Beweis lieferte. Die Anomalie bestand darin, dass im oberen Teil der Tonreihe, vom unteren Ende der zweigestrichenen Oktave an aufwärts, die Töne ihre musikalische Qualität verändert hatten²⁴⁾. Köhler konnte nun feststellen, dass der pathologische Prozess die Vokalität der Töne gänzlich unberührt gelassen hatte. Dies war schon daraus zu ersehen, dass der Kranke die Sprache wohl verstand und auch einzeln vorgeführte gesungene oder gesprochene Vokale richtig erkannte. Es wurden nun einfache Töne geprüft. Die Töne der zweigestrichenen Oktave erschienen, wie beim Normalen, als verschiedene Abstufungen des \bar{a} . Um zu entscheiden, ob die Vokalitäten genau normal waren, machte sich Köhler die Tatsache der ausgezeichneten Punkte in der Vokalreihe zu nutze und ließ

23) Vgl. hierüber das in Anm. 21 zitierte Werk von Révész: Zur Grundlegung der Tonpsychologie. Kapitel: Vokalität und die beiden musikalischen Eigenschaften.

24) v. Liebermann und Révész: Über Orthosymphonie, Zeitschr. f. Psychol., 1908. Dieselben: Experimentelle Beiträge zum Falschhören und zur Orthosymphonie. Zeitschr. f. Psychol. 1912.

das reine A aufsuchen. Es ergab sich, dass seine Schwingungszahl unverändert war, da es, wie normalerweise, beim dreigestrichenen c lag. Dabei hatte dieser Ton zur Zeit der Prüfung die Qualität gis²⁵).

Es gibt also pathologische Prozesse, die die musikalische Qualität der Töne angreifen, ihre Vokalität aber unberührt lassen. Folglich sind die physiologischen Korrelate dieser beiden Eigenschaften der Tonempfindungen verschieden.

Die Prüfung der dritten Eigenschaft, der Höhe, ergab, dass auch diese normal geblieben war²⁶). Dies könnte uns auf den Gedanken bringen, dass Höhe und Vokalität zusammengehörten, physiologisch untrennbar wären, und nur die musikalische Qualität ihr eigenes Korrelat hätte. Allein bei der Betrachtung der Stimmklänge haben wir gesehen, dass dort der Grundton in musikalischer Beziehung schlechthin, d. h. nach Qualität und Höhe dominierte, während ein Oberton für die Vokalität bestimmend war. Wir vermuten also für die beiden Eigenschaften Höhe und Vokalität zwei verschiedene psychophysische Prozesse.

Auch dies wird durch einen pathologischen Fall am schlagendsten bewiesen. Ich hatte Gelegenheit, einen Patienten zu prüfen, der die höheren Töne, von e² ab, überhaupt nicht hört. Da also der höchste Ton, den er (eben noch) hören kann, ein mehr o-artiges ä ist, so müssten ihm alle gesungenen oder gesprochenen Vokale als u, ü oder o, bestenfalls als ö erscheinen. Dies trifft nun keineswegs zu. Als ich ihm die verschiedenen Vokale in undurchsichtigem Wechsel vorsang (sämtlich auf c⁰), erkannte er das reine a ohne Ausnahme richtig. Es machte also der Teilton c³ seine Vokalität geltend, obwohl er, allein vorgeführt, gänzlich unhörbar war. Ein schärferer Beweis für die physiologische Trennbarkeit der Toneigenschaften ist nicht denkbar.

Der Fall hat aber noch tiefere Bedeutung. Er beweist, dass der physiologische Prozess, dem als psychisches Korrelat die Vokalität zugehört, von den psychophysischen Prozessen der beiden musikalischen Toneigenschaften trennbar ist. Andererseits aber hat sich dieser Prozess in diesem Falle unselbständig gezeigt. Ging nicht gleichzeitig ein „musikalischer“ Prozess im Gehirn vor, so blieb der Vokalitätsprozess, sofern er überhaupt zustande kam, latent, ein bloßer physiologischer Vorgang. Zum manifesten, psychophysischen Vorgang wurde er erst, sobald er die ihm entsprechende

25) Die noch nicht ausführlich veröffentlichten Versuche sind auf dem 5. Kongress f. exper. Psychol., Berlin 1912, mitgeteilt worden.

26) S. die oben zitierte Arbeit von Révész und mir: Exper. Beitr., etc. sowie das Buch von Révész, Zur Grundlegung der Tonpsychologie. Der Schwingung 1046 entsprach also in diesem Falle eine Tonempfindung von der musikalischen Qualität gis, der Höhe c³ und der Vokalität A. Die Höhe ist hier, wie ersichtlich, durch den gebräuchlichen Namen der Tonempfindung angegeben, die normalerweise diese Höhe hat.

Vokalität einem Tone zuteilen konnte — sei es seinem „eigenen“, wie bei den einfachen Tönen, sei es, wie in den Stimmlängen, einem anderen. Das Wesen der Zuteilung ist damit von psychophysischer Seite dem Verständnis näher gerückt.

In diesem Zusammenhange müssen wir noch an die merkwürdige Erscheinung der geflüsterten Vokale erinnern. In diesen treten bei sehr deutlicher Vokalität die musikalischen Eigenschaften außerordentlich zurück. Die nähere Untersuchung verspricht wertvolle Aufschlüsse. —

Wir sehen nun deutlich, warum Vokalität und Klangfarbe so scharf gesondert werden müssen. Vokalität ist eine von den Elementareigenschaften der Tonempfindung, Klangfarbe dagegen ist, wenigstens ohne einschränkende Definition, gar kein einheitlicher Begriff, wie das Stumpf in seiner Tonpsychologie, Bd. II, § 28. II ausgeführt hat. Sie steht mit den Erscheinungen des Zusammenklanges in Verbindung, doch ist vielfach betont worden, dass das Amplitudenverhältnis der Partialtöne im Zusammenklang nicht das einzig bestimmende sei, insbesondere dass die Schwingungszahl („die absolute Höhe“) des Grundtones nicht gleichgültig sei, indem bei gleicher relativer Zusammensetzung die Klangfarbe hoher Töne der von tiefen nicht gleich ist. Wir haben das oben der Klarheit wegen unerwähnt gelassen.

Die strenge psychologische Scheidung von Vokalität und Klangfarbe findet sich schon bei Willis (l. c. S. 401). Sie ist dann leider bis in die letzte Zeit hinein verwischt worden. Hermann hat in verdienstvoller Weise den Unterschied der physikalischen Bedingungen hervorgehoben, so in einer Arbeit über die Übertragung der Vokale durch das Telephon und Mikrophon (Pflüg. Arch. 49), wo bestätigt wird, dass durch Veränderung des Amplitudenverhältnisses der Teiltöne die Klangfarben ungemein verändert werden können, bei unveränderter Vokalität. Der fundamentale psychologische Unterschied jedoch wird nicht mit gebührender Schärfe herausgearbeitet, obschon ihn Hermann wohl bemerkt hat (S. 558).

4. Verstärkungstheorie und Anblasungstheorie. Das Zusammenwirken der Vokalitäten. Oszillationstheorie.

Wir kommen zu einer ganz anderen Frage: wie entsteht der Vokalklang physikalisch? Wir müssen fragen, wie der Formant in den Stimklang hineinkommt. Wir wissen schon, dass die Mundhöhle das macht, indem sie eine Größe und Gestalt annimmt, bei der ihr Eigenton der Formant ist. Aber wie wirkt die Mundhöhle akustisch? Wird sie vom Luftstrom angeblasen, als Pfeife, oder wirkt sie nur als Resonator, indem sie Teiltöne des Stimmbandklanges verstärkt, die ihrem Eigenton nahe liegen?

Diese Alternative ist von besonderem Interesse. Wir haben gesehen, dass jedem Vokal eine und nur eine Schwingungszahl entspricht; diese Schwingungszahl müsste also der Formant haben, wenn der gewünschte Vokal erzeugt werden soll. Ein Ton von dieser Schwingungszahl ist aber nur von einer beschränkten Anzahl von Klängen Teilton; in der Mehrzahl der Klänge, die wir singen²⁷⁾ können, kommt er gar nicht vor. Wirkt nun der Mund als Reso-

27) Beim Sprechen schwankt die Grundtonhöhe kontinuierlich, so dass da der Formant wenigstens vorübergehend stets Teilton sein wird, zumal da wir auf tiefen Tönen zu sprechen pflegen.

nator und nicht als Pfeife, so könnte man also nicht auf jede beliebige Note jeden beliebigen Vokal singen.

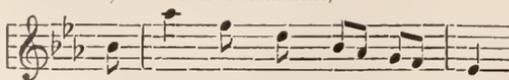
Es ist nun eine etwas missliche Sache, diesen Gegenstand zu behandeln, ehe durch sorgfältige Versuche diese Frage selbst entschieden ist, ob man denn alle Vokale auf alle Noten singen kann. Das ist oft bestritten worden; Helmholtz selbst gibt an, dass die Charakterisierung der „tiefen“ Vokale leidet, wenn sie auf hohe Noten gesungen werden²⁸⁾. Obwohl nun eine systematische Untersuchung hierüber fehlt, können wir doch so viel mit Sicherheit sagen, dass wir die verschiedenen Vokale jedenfalls auf weit mehr und weit verschiedenere Noten singen können, als es nach der bisher vorgetragenen Theorie möglich wäre, — vorausgesetzt, dass der Mund als Resonator wirkt.

Wir wollen sehen, ob uns dies veranlassen muss, den Mund stets als Pfeife zu denken, so also, dass der Eigenton der Mundhöhle dem Stimmbandklange unabhängig beigefügt würde oder ob auch die Resonanztheorie imstande ist, durch eine Ergänzung die Schwierigkeit zu lösen.

Hermann ist es besonders gewesen, der mit aller Entschiedenheit gegen die Resonanztheorie („Verstärkungstheorie“) auftrat. Er legt großes Gewicht zunächst darauf, dass auf sehr tiefen Tönen alle Vokale sehr deutlich zu geben sind; wird der Formant durch Verstärkung wirksam, so müsste der Stimmbandklang Teiltöne sehr hoher Ordnungszahl enthalten. Singt man z. B. den Vokal *i* auf groß *F*, so wäre der charakteristische Ton (c^5) der 48. Partialton. Hermann hält es für undenkbar, dass solche Teiltöne im Stimmbandklange enthalten seien. Diese Behauptung ist jedoch nicht bewiesen, sie widerspricht sogar der Erfahrung, dass sich tatsächlich Zungenklänge von so reicher Zusammensetzung finden²⁹⁾.

Viel wichtiger wäre das umgekehrte Argument: dass man Vokale mit tiefen Formanten auf Grundtöne singen könne, die höher als der Formant sind. Leider ist gerade dies noch nicht hinlänglich untersucht. Doch wird man sich wohl eines *u* auf sehr hohen Tönen von guten Sängern besinnen können. Jedenfalls schreiben die besten Komponisten unbedenklich so, — in Schubert's Ode Dem Unendlichen heisst es:

Den, dankend entflammt,



kein Ju- bel ge- nug be- singt

Wenn man nun da wirklich *u* hört, so kann freilich Suggestion

28) Tonempfindungen, S. 184.

29) Vgl. Köhler, a. a. O., S. 76.

mitspielen — obschon man sich hüten muss, ihren Einfluss zu überschätzen; sollten systematische Untersuchungen zeigen, dass wirklich ein u auf as^2 gesungen werden kann³⁰), so müssten wir uns wenigstens in diesen Fällen vorstellen, dass der auf c^1 eingestellte Mund durch den Luftstrom angeblasen wird. Der Leser möge beachten, dass auf as^2 nicht nur kein reines u , sondern nicht einmal ein u -artiger Zwischenvokal gesungen werden könnte, ja nicht einmal ein o ; das „dumpfeste“, was da hervorzubringen wäre, müsste ein sehr a -artiges \hat{a} sein. Ein solches durch Suggestion als u aufzufassen, dürfte doch nicht leicht fallen.

Sehr merkwürdig gestaltet sich die Frage für die Fälle, wo der Formant mit keinem Partialton zusammenfällt, aber zwischen zweien liegt. Nehmen wir den Fall, es solle ein o auf fis^1 gesungen werden. Die beiden ersten Partialtöne sind fis^1 und fis^2 , fis^1 ist ein \hat{u} , fis^2 ein \hat{a} . Stellt man den Mund auf c^2 ein (reines o), so werden, wenn die Mundhöhle als Resonator wirkt, fis^1 und fis^2 noch merklich verstärkt werden können³¹). Kommt nun dabei ein o zustande, so müssen wir annehmen, dass sich die o -heiten dieser beiden Töne summieren, während die u - und die a -Artigkeit nicht zur Geltung kommt³²).

Ich glaube, dass die Vokalitäten verschiedener Töne in dieser Weise zusammenwirken können. Man lese die Beschreibung von Helmholtz über seine Syntheseversuche³³), und die neueren von K. v. Wesendonk³⁴), und betrachte die vielen Einzelangaben vom hier bezeichneten Gesichtspunkte aus: man wird überrascht sein, wie gut die Ergebnisse mit unserer Auffassung harmonieren. Tatsächlich gibt v. Wesendonk an, aus f^1 und f^2 ein o gemischt zu haben. Helmholtz fand, dass er kein ganz reines a herstellen konnte, als die Stimmgabelserie seines Vokalsyntheseapparates nur bis b^2 reichte; später, als ihm höhere zur Verfügung standen, setzte er noch d^3 zu und erhielt so ein gutes a . Auch hier liegt der reine a -Ton (c^3) zwischen den Teiltönen b^2 und d^3 .

30) Die bisherigen Versuche reichen zur Entscheidung nicht aus.

31) Die Mundhöhle hat, da ihre Schwingungen stark gedämpft sind, ziemlich breite Resonanz, d. h. sie verstärkt Töne auch dann noch merklich, wenn sie ihrem Eigentone nicht ganz nahe liegen. Vgl. Helmholtz, Tonempfindungen, S. 182.

32) Helmholtz hat bemerkt, dass bei plötzlichem kräftigem Ansetzen des Tones der Eigentone der Mundhöhle auch dann ansprechen muss, wenn er mit keinem Partialton des Stimmklanges zusammenfällt. Er verklingt dann allerdings rasch, „blitzt aber doch als kurzer Tonstoß auf“. „Dadurch wird der Vokal im Moment des Einsetzens deutlich charakterisiert werden können, selbst wenn er beim längeren Forttönen unbestimmt werden sollte“ (Tonempfindungen, S. 184—185). Da aber die Vokale deutlich auf den betreffenden Tönen ausgehalten werden können, genügt diese Erklärung allein nicht.

33) Tonempfindungen S. 200—201.

34) Physikal. Zeitschr., 10. Bd., S. 313.

Jeder Leser wird sich erinnern, im Lohengrin in der Grals-
erzählung an der Stelle



Es heisst: der Gral

einen schönen reinen a-Vokal gehört zu haben. Die ersten Teil-
töne von a^1 sind a^1 , a^2 , e^3 . Der A-Ton liegt also wieder zwischen
zwei Tönen, von denen der eine o-artig, der andere e-artig klingt
($a^2 = \hat{a}$, $e^3 = ae$). Offenbar geben diese beiden zusammen eine reine
Vokalität A. Es ist leicht, sich davon durch Synthese zu über-
zeugen: An zwei Stern'schen Tonvariatoren³⁵⁾ stelle man a^2 und e^3
ein. Es ist nicht nötig, a^1 an einer dritten Tonquelle besonders
zu erzeugen, da dieser Ton beim gleichzeitigen Klingen der beiden
hohen Töne als starker Kombinationston entsteht. Man kann sich
nun zunächst die Einzelvokalitäten der beiden hohen Töne vor-
führen, indem man jeden für sich anbläst. Lässt man sie dann
gleichzeitig tönen, so erscheint a^1 , und zwar mit der Vokalität
eines A.

Durch die Annahme also, dass die Vokalitäten zweier ver-
stärkter harmonischer Partialtöne in der eben dargelegten Weise
zusammenwirken, kann die Resonanztheorie davon Rechenschaft
geben, dass ein Vokal auch auf solche Grundtöne gesungen werden
kann, unter dessen Obertönen sein charakteristischer Ton nicht
vorkommt.

Einige weitere Fragen des Zusammenwirkens der Vokalitäten
sollen hier noch kurz erwähnt werden. Wir haben eben von den
Fällen gesprochen, wo die beiden Töne zu beiden Seiten eines
reinen Vokales liegen. Nicht minder interessant ist die Frage, was
sich ergibt, wenn sie innerhalb einer Qualitätenreihe liegen³⁶⁾.
Am lehrreichsten wird es wohl sein, zunächst die Endglieder der
Reihen zu verbinden, also etwa e^2 mit e^3 in verschiedenen Stärke-
verhältnissen zusammen erklingen zu lassen. Die Analogie mit den
Farben lässt vermuten, dass dabei die Vokalitäten der zwischen-
liegenden Schwingungszahlen, die verschiedenen Arten des \hat{a} heran-
kommen werden. Doch bedarf das alles noch der Untersuchung.
Wir wissen auch noch nicht, ob das Konsonanzverhältnis für die
Mischbarkeit von Bedeutung ist, obschon v. Wesendonk angibt,
dass die Töne gut verschmelzen müssen, wenn die Synthesen ge-
lingen sollen.

35) Gedeckte Orgelpfeifen (Flaschen) mit kontinuierlich veränderlicher Ton-
höhe. Sie geben annähernd einfache Töne, so dass ihre Vokalität recht deutlich ist.

36) Qualitätenreihe im engen Sinn: das Wort soll nach G. E. Müller nur
eine geradläufige Strecke bedeuten. Also von e^1 bis e^3 , d. h. von u bis o, von e^2
bis e^3 , d. h. von o bis a u. s. f.

Durch Mischungsversuche wird auch die Stellung des *ö* und *ü* im System schärfer bestimmt werden müssen³⁷⁾.

Nach dieser Abschweifung kehren wir zu der physikalischen Frage nach der Entstehung des Formanten zurück, um eine Anschauung zu würdigen, die unter dem Namen der Hermann'schen Vokaltheorie bekannt ist. Ihr Grundgedanke findet sich schon bei Willis, l. c. S. 414ff. Wir können sie Oszillationstheorie nennen.

Hermann's Theorie versucht Rechenschaft zu geben von zwei merkwürdigen Tatsachen, die wir schon ausführlich behandelt haben: erstens von der weitgehenden Unabhängigkeit der Vokalitäten vom Grundton, zweitens davon, dass es der Grundton ist, der als Vokal erscheint. Um das erste zu erklären, verwirft er die Resonanztheorie (Verstärkungstheorie) und nimmt den Pfeifenmechanismus an (Anblasungstheorie). Wir haben schon gesehen, dass diese Annahme für manche Fälle nicht zu umgehen ist — soweit wir sehen können — für andere aber durch die Mischungshypothese entbehrlich wird. Die zweite Merkwürdigkeit, dass es der Grundton ist, den wir in der Vokalität hören, die der Formant bestimmt, versuchte Hermann durch seine Theorie vom intermittierenden Formanten zu erklären³⁸⁾. Hermann nimmt an, dass die Mundhöhle durch den Luftstrom periodisch angeblasen werde. Der Luftstrom ist ja bei der Stimmerzeugung von periodisch schwankender Intensität, mit der Periode des Grundtones, wie sie von der Stimmbandschwingung bestimmt ist. Dieser intermittierende Luftstrom soll nun nach Hermann die Mundhöhle anblasen und dadurch den Mundton intermittierend erzeugen.

Dass es der Mundton ist, der die Vokalität für den Klang hergibt, war längst entschieden. Wie er aber diese Rolle spielt, war Hermann's Frage. Und er meinte sie dadurch zu beantworten, dass er annahm, jenes Intermittieren seiner Intensität sei es, das ihm diese Fähigkeit erteilt; an die Möglichkeit, dass er selbst schon der Vokal sei, dachte er gar nicht. Das ist verständlich, da es ja der Grundton ist, nicht der Mundton, der als Vokal erscheint; der Gedanke, dass ein hoher Partialton eigentlich die Vokalität besäße und sie einem viel tieferen Ton zuteile, lag gar zu fern. Hermann glaubte also, dass der Mundton dadurch,

37) Sind *ö* und *ü* Mischvokale, so folgt, dass ihre verschiedenen Abstufungen vom Stärkeverhältnis der Komponenten abhängen müssen. Bedenken wir nun, dass die *ü*-Vokale vielleicht die Reihe zwischen *u* und *i* schließen, die *ö*-Vokale dagegen keinesfalls in der *u*-*i*-Reihe untergebracht werden können und hiermit die vollständige Darstellung der Vokalqualitäten auf einer Linie unmöglich wird, so ist ersichtlich, dass Auerbach aus dieser Unmöglichkeit wirklich mit Recht schließen konnte, dass das Stärkeverhältnis der Teiltöne im Klange irgendeine Bedeutung für die Vokalitäten haben müsse. Vgl. S. 735.

38) Phonographische Untersuchungen III, Pflüg. Arch. Bd. 47. Siehe besonders S. 380ff.

dass er intermittiert, zum Formanten, d. h. zum Vokalbildenden werde und dass der Ton die Vokalität erhalte, in dessen Periode die Intermittenz stattfindet.

Es ist klar, dass diese Anschauung, wenn sie zu Recht bestünde, tatsächlich das leisten würde, was sie verspricht. Die Unabhängigkeit der Vokalität vom Grundton wird durch den Anblasemechanismus verständlich, da dieser keine harmonische Beziehung zwischen Grundton und Formant erfordert, und die Frage, woher die Merkwürdigkeit stamme, dass die Vokalität auf dem Grundton zu sitzen scheint, wird durch eine entsprechend merkwürdige Hypothese beantwortet: wenn ein Ton x in der Periode eines anderen y intermittiert, so kommt ein Vokalklang zustande, und zwar erscheint y in einer Vokalität, die durch die Schwingungszahl von x bestimmt ist.

Hermann ist zu seiner Anschauung durch das Aussehen seiner Vokalkurven geleitet worden³⁹⁾.

Eine solche Kurve lässt sich, wie der Anblick lehrt, als Schwebungskurve betrachten. Wenn zwei starke harmonische Partialtöne, etwa die, die dem Eigenton der Mundhöhle benachbart sind, miteinander schweben, so muss eine solche Kurve resultieren. Der Abstand zweier Minima muss der Wellenlänge des Grundtones gleich sein, da die Schwebungszahl gleich ist der Differenz der Schwingungszahlen der beiden benachbarten Partialtöne, also der Schwingungszahl des Grundtones. So sind diese Kurven bis Hermann stets aufgefasst worden. Hermann meint nun, diese Auffassung sei unnatürlich. Der Hauptsache nach sehen wir hier, nach seiner Auffassung, eine Schwingung, deren Amplitude periodisch wechselt. Misst man die Länge dieser Periode, so findet man sie gleich der Wellenlänge des Grundtones. Hermann meinte nun, in dieser Tatsache stecke die Lösung der ganzen Frage nach der Natur der Vokale. Die intermittierende Schwingung ist nach ihm die des Formanten, dieser intermittiert also in der Periode des Grundtones; wir hören den Grundton in der Vokalität des Formanten. Der Grundton selbst wäre ein sogen. Unterbrechungston⁴⁰⁾. Hermann kam so zu dem Schlusse, dass es auf diese Beziehungen wirklich ankomme: dass wir einen Vokal dann hören, wenn der Formant intermittiert und dass wir ihn in der Tonhöhe der Intermittenzperiode hören. Mit dem intermittierenden Anblasen wäre natürlich auch völlige Unabhängigkeit der Vokalität vom Grundtone möglich.

39) Man vergleiche hiezu Hermann's Tafeln in seinen phonographischen Untersuchungen III u. IV, Pflüg. Arch. 47 u. 53, und in den Weiteren Untersuchungen etc., Bd. 61. Nicht alle Kurven entsprechen genau dem hier besprochenen Typus. Typisch ist z. B. Kurve 3 auf Tafel 1 im letztgenannten Bande.

40) Durch periodisches Unterbrechen von Tönen oder Geräuschen kann man Töne erhalten, deren Schwingungszahl die Unterbrechungszahl ist.

Hermann glaubte eine wesentliche Bestätigung seiner Ansicht zu finden in Synthesversuchen von der Art, wie wir sie vorhin bei der Erzeugung des Vokales A auf a' aus zwei Pfeifentönen erwähnt haben; er führte derartige Versuche an der Helmholtz'schen Doppelsirene aus⁴⁰). Die Versuche schienen ihm und anderen eine schlagende Bestätigung der Theorie zu liefern, so lange man den Differenzton als *Intermittenzton* auffasste. Bekanntlich hat ja der erste Differenzton eine Tonhöhe, die der Schwingungszahl $h - t$ (Hoch minus Tief) entspricht. Da dies auch die Anzahl der Schwebungen ist, die die beiden Töne miteinander geben, so hatte schon Young angenommen, dass der Differenzton durch Verschmelzung der Schwebungen entstehe. Auch Hermann war früher dieser Ansicht, dass der D. T. ein „Schwebungston“ sei. Da er zudem annahm, dass beim gleichzeitigen Erklängen der beiden Töne ein Mittelton entstehe, dessen Schwingungszahl (bei gleicher Amplitude der primären Töne) das arithmetische Mittel der erzeugenden Schwingungszahlen wäre, und dieser es nun sei, der in der Schwebungsperiode intermittierte, so glaubte er die in seiner Theorie angenommenen Verhältnisse realisieren zu können, wenn er die beiden Töne so wählte, dass $\frac{h+t}{2} = f$ wurde, wo f die Schwingungszahl des Formanten. Dann entstünde der Mittelton und intermittierte; es entsteht in einem auch der Differenzton, dessen Schwingungszahl der Intermittenzperiode entspricht. Dann muss also nach seiner Theorie der Ton ($h - t$) in der Vokalität erscheinen, die durch die Zahl $\frac{h+t}{2}$ bestimmt ist. Dies war nun tatsächlich so zu hören.

Der Versuch behält natürlich seinen Wert, wie wir ihn denn auch oben, in ganz anderem Sinne, verwertet haben. Hermann's Deutung können wir aber heute nicht mehr gelten lassen. Einen *Zwischenton* hört man überhaupt nur bei kleinen Intervallen (bis zur kleinen Terz⁴¹). Der Differenzton entsteht nicht aus der Verschmelzung von Schwebungen, wie unter anderen Hermann selbst später hervorgehoben hat.

Das Intermittieren hat also nicht die Bedeutung, die ihm Hermann zugeschrieben hatte. Weder wird die Vokalität erst durch Stärkeschwankungen erzeugt, noch können wir sagen, dass sie stets dem Unterbrechungston zugeteilt werde⁴²).

40) Pflüger's Arch. Bd. 47, S. 387 ff.

41) Stumpf, Beobachtungen über Kombinationstöne, Beiträge zur Akustik und Musikwissenschaft, Heft 5. S. 83. Freilich käme es nach Hermann gar nicht darauf an, dass der Mittelton als Ton auch wirklich zu hören sei. Wir kommen auf diesen Punkt noch zu sprechen.

42) Helmholtz ließ b und b' zusammen erklingen und hörte b mit der Vokalität O, also den tiefern Ton mit der Vokalität der höhern. Immerhin ist es

Obschon es nun also aufs Intermittieren nicht ankommt, und somit der Versuch, für die besondere psychologische Beziehung von Formant und Grundton (Zuteilung) eine physikalische Besonderheit aufzuweisen, misslungen ist, so bleibt doch die Hermann'sche Hypothese, dass der physikalische Vorgang von dieser Art sei, immer noch möglich, und die Ansicht, dass die Mundhöhle als Pfeife wirke, immer noch beachtenswert, weil sie die Unabhängigkeit des Vokales vom Grundton erklärt.

Ehe wir aber hierauf eingehen, müssen wir ausführlich einen Einwand besprechen, der von vielen Autoren erhoben worden ist (Hensen, Pipping⁴³), und der zu einem der merkwürdigsten Streite geführt hat — der jedenfalls die größte Konfusion in der Lehre von den Vokalen angerichtet hat und eine Zeitlang sogar die Klarheit der ganzen Lehre von den Tonempfindungen zu gefährden schien. Es handelt sich um die Frage, ob die Vokalklänge der Stimme nur solche Teiltöne enthalten, die zum Grundton harmonisch sind, also die Reihe 1, 2, 3 etc.

Hermann hatte es, wie erwähnt, als eine der hauptsächlichsten Leistungen seiner Theorie betrachtet, die Unabhängigkeit der Vokale vom Grundton zu erklären. Sobald der Eigenton des Mundes die Vokalität dadurch erzeugt, dass er selbständig erklingt, indem er angeblasen wird, ist natürlich zwischen den beiden Perioden (Kehlkopf- und Mundtonperiode) gar keine besondere Beziehung nötig. Will ich z. B. ein reines *o* auf B singen, so stelle ich den Mund auf c^2 ein⁴⁴) und blase ihn in der Periode des B, also etwa 117mal in der Sekunde, an; c^2 intermittiert dann in dieser Periode, und

wohl möglich, dass durch die Anordnung, einen schwingungsfähigen Körper intermittierend erklingen zu lassen, günstige Bedingungen für zugeteilte Vokalitäten entstehen können; dass der intermittierend angesprochene Körper eine Vokalität, die seinem Eigentone entspricht, dem Tone von der Schwingungszahl der Intermissionsfrequenz erteile. Ein Versuch von Willis (l. c. S. 417) sowie die erfolgreichen weiteren Syntheseveruche von Hermann (Pflüg. Arch. 91 und 141) sprechen hierfür. Die Hermann'sche Ansicht jedoch, dass der Grundton im Stimmklang nur ein subjektiver Unterbrechungston sei, können wir nicht aufrecht erhalten. Hermann meinte, der Grundton sei im Stimmklange als Schwingung kaum vertreten — so sprachen seine Kurven. Doch muss das an den aufnehmenden Membranen gelegen haben, die wohl auf die tiefen Töne nicht gut ansprachen, eine sehr naheliegende Vermutung, die Hermann selbst natürlich nicht entgangen ist. Denn Resonatoren, die auf den Grundton gestimmt sind, werden vom Grundton kräftig erregt (Auerbach). Eine Aufnahme einer einfachen Schwingung von der Schwingungszahl der tiefen Stimmnoten würde jeden Zweifel heben; ich vermisste sie in den Tafeln Hermann's. Die sinnreiche Art der Klangaufnahme, durch die Hermann die Treue seiner Kurven akustisch kontrolliert, gibt keine genügende Kontrolle. Dies kann hier nicht ausgeführt werden.

43) Hensen, Zeitschr. f. Biol. 28, besonders S. 46—47. Pipping, Ebenda 27, besonders S. 40.

44) Dass Hermann andere Töne für *o* annimmt, ist hier unwesentlich und beruht auf der irreführenden graphischen Methode.

wir hören den Ton B mit der Vokalität o. Dass unter den harmonischen Obertönen von B das c^2 nicht vorkommt, wäre dann gänzlich irrelevant.

Nun haben aber alle klanganalytischen Methoden ohne Ausnahme ergeben, dass in den gesungenen Klängen keine anderen Teiltöne enthalten sind als die harmonischen Obertöne des Grundtones⁴⁵⁾. Auch Hermann's Kurvenanalysen haben zu diesem Resultat geführt. Seine Kurven haben nämlich alle die Periode des Grundtones. Daraus folgt, dass sich bei ihrer Fourier-Analyse nur solche Sinuswellen ergeben, deren Länge in der Wellenlänge der Grundtonschwingung aufgeht; es finden sich also im Klang der Stimme nur solche Sinusschwingungen, deren Schwingungszahlen Multipla der Schwingungszahl des Grundtones sind.

Soll sich nun, um bei unserem Beispiele zu bleiben, die intermittierende Schwingung c^2 als Teilton im Klange geltend machen, obwohl sie nicht als Sinusschwingung darin steckt, so heisst das, dass als Teilschwingungen physiologisch nicht immer die Sinusschwingungen betrachtet werden müssen, dass die Fourier'sche Art der Zerlegung nicht immer die einzige ist, die physiologische Bedeutung hat.

Hermann hat sich tatsächlich so ausgesprochen: es sei sehr wohl möglich, dass von den Teilwellen, die die Vokalkurven aufweisen, etwa die physiologisch maßgebend würden, die man bei unmittelbarer Betrachtung erkennt — in einfachen Fällen könne man z. B. einfach durch Auszählung der Kurvenzacken die Frequenz der physiologisch maßgebenden Teilschwingung finden.

Die Tatsache, dass sich bei der physiologischen Klanganalyse die Fourier'sche Reihe ergibt, dass also das Ohr die Töne aus einem Klange heraushört, die den Gliedern dieser Reihe entsprechen, hat Hermann nicht irre gemacht; er hielt es durchaus für vereinbar damit, von unharmonischen Tönen im Vokalklang zu sprechen. Dass war deswegen möglich, weil die Definition von Ton nicht scharf gegeben war. Es wird dies sogleich deutlich werden, wenn wir die Hermann'sche Ansicht nochmals kurz zusammenfassen⁴⁶⁾. Wirkt auf das Ohr eine Schwingung, deren Stärke periodisch schwankt, so hören wir einen Ton, der nach Höhe und musikalischer Qualität durch die Periode der Stärkeschwankung bestimmt ist und als Vokal erscheint; die Vokalität ist durch die Wellenlänge der schwankenden Schwingung bestimmt.

Auf die Form dieser Schwingung kommt es nicht an. Sie braucht durchaus keine Sinusschwingung zu sein. Es ist auch

45) Vgl. z. B. die Beobachtungen von Grassmann, Wiedemann's Annalen Bd. I, S. 613.

46) Sollte der Leser durch das bisherige eher verwirrt als aufgeklärt worden sein, so hat er ein richtiges Bild von dem Stande dieser alten Polemik bekommen.

durchaus nicht nötig, dass ein Ton aus dem Klange herausgehört werden könne, der dieser Schwingung entspräche. Sie macht sich vielmehr dadurch geltend, dass sie einem anderen Tone eine bestimmte Vokalität erteilt.

Der Leser wird nun sehen, dass es unmöglich ist, auf die Frage zu antworten, ob im Vokalklang unharmonische Töne enthalten seien, ehe genau gesagt ist, in welchem Sinne „Ton“ verstanden werden soll. Man sollte meinen, dass hier kein Missverständnis möglich wäre; es könne nur heissen: ist eine Teilschwingung da, der die Empfindung eines zum Grundton unharmonischen Teiltone entspricht? Allein die Geschichte des Streites zeigt, dass es Hermann nicht so gemeint hat. Für ihn war „Ton“ vielmehr eine Teilschwingung, die geeignet ist, dem Grundtone Vokalität zu verleihen, einerlei, ob im Klang ein Ton gehört werden kann, der ihrer Frequenz entspricht, oder ob ein solcher nicht herauszuhören ist. Und da seiner Ansicht nach eine solche Teilschwingung gar nicht sinusförmig sein muss, so konnte er sagen: die Fourier-Analyse ergibt nur harmonische Teilschwingungen, zu hören sind im Vokalklang nur harmonische Töne und doch enthält der Vokalklang einen unharmonischen Formanten. Er dachte es sich also so, dass die Schwingung des Vokalklanges auf verschiedene Arten zerlegt werden kann: nach Fourier, dann kommen die Sinusteilschwingungen heraus, deren Wellenlängen die heraushörbaren Teiltöne bestimmen — oder anders, z. B. so, dass man die Schwingung als intermittierend auffasst und zusieht, welche Wellenlänge die Schwingung hat, deren Amplitude schwankt; dann bekommt man nichts Heraushörbares, aber man hat die Frequenz der für die Vokalität maßgebenden Schwingung. Wem diese Betrachtung Schwierigkeiten machen sollte, der denke an die Schwebungskurve zweier benachbarter Töne. Zerlegt man sie nach Fourier, so bekommt man zwei Sinusschwingungen von konstanter Amplitude; sieht man sie an, so erscheint sie als eine in ihrer Amplitude schwankende Schwingung von zwischenliegender Wellenlänge⁴⁷⁾. Wenn man diese nicht sinusförmige Schwingung, der nichts Heraushörbares entspricht, einen Teilton nennt, dann kann man allerdings sagen, der Vokalklang enthalte unharmonische Töne.

Der Streit um die „Harmonie in den Vokalen“ ist damit erledigt, da man ja weiter nur noch ums Wort streiten könnte. Aber zur Hermann'schen Ansicht über den Mundhöhlenmechanismus haben wir damit noch nicht Stellung genommen. Die Annahme, dass die Mundhöhle angeblasen werde, und zwar intermittierend, muss für sich diskutiert werden, wobei das eben gewonnene Ergebnis über die Natur des resultierenden Klanges zu verwerthen ist.

47) Über die Länge dieser resultierenden Welle vgl. Stumpf, Über zusammengesetzte Wellenformen, Beiträge zur Akustik und Musikwissenschaft, Heft 4.

Wir können an dieser Stelle nicht auf alle Argumente eingehen, mit denen Hermann die Verstärkungstheorie als unmöglich nachzuweisen sucht⁴⁸), da dies in polemisches Detail führen würde. Vielmehr wollen wir die Darstellung vereinfachen, indem wir uns auf seinen Standpunkt stellen und zeigen, dass dies zu keinem Widerspruch mit der von uns vertretenen Anschauung führt.

Auf den ersten Blick scheint sich nämlich ein solcher zu ergeben. Wenn wir die Mundhöhle auf einen Ton einstellen, der kein harmonischer Oberton des Stimmtones ist und sie nun mit dem tönenden Luftstrom anblasen, so muss doch wohl ein Klang mit einem unharmonischen Bestandteil erscheinen?

Das ist nicht der Fall. Die Hypothese führt, indem sie intermittierendes Anblasen annimmt, zu dem Ergebnis, dass nur harmonische Teiltöne resultieren, und zwar aus folgendem Grunde. Intermittierendes Anblasen ist nur bei starker Dämpfung des angeblasenen Körpers möglich. Eine gedämpfte Schwingung nun ist aus einfachen geometrischen Gründen niemals eine genaue Sinusschwingung, und bei sehr starker Dämpfung, wo also die Amplitude sehr rasch abnimmt, wird die Abweichung beträchtlich⁴⁹). Ist die Dämpfung so stark, dass die Schwingung in strengem Sinne intermittiert, dass also ihre Amplitude in jeder Periode des anblasenden Tones einmal auf Null herabsinkt, so hat die so erzeugte Schwingung die Periode des anblasenden Tones, ihre Zerlegung in Sinusschwingungen muss also harmonische Obertöne des anblasenden Tones geben. Es ergibt sich also in dieser Beziehung dasselbe als wenn der Hohlraum als Resonator gewirkt hätte; der Unterschied besteht nur darin, benachbarte Sinusschwingungen nach dem Anblasungsmechanismus entstehen, nach dem Resonanzmechanismus verstärkt werden. Der akustische Effekt ist derselbe: die benachbarten Sinusschwingungen bestimmen durch das Zusammenwirken der zugehörigen Vokalitäten die Vokalität des Klanges.

Der mathematische Teil dieser Betrachtung ist selbstverständlich und fällt daher mit Hermann's Darstellung zusammen. In der Deutung des akustischen Effektes hat Hermann geirrt, indem er die gedämpfte Schwingung selbst akustisch wirksam dachte.

Unsere Stellung zur Unterbrechungstheorie ist also folgende.

1. Dass Tonempfindungen ihre Vokalität durch ein Intermittieren von Bestandteilen der erregenden Schwingung erhielten, ist unrichtig.

48) S. die Zusammenstellung in seinen Neuen Beiträgen zur Lehre von den Vokalen und ihrer Entstehung, Pflüg. Arch. 141, S. 24 ff.

49) Vgl. Auerbach, Handbuch der Akustik, S. 60.

2. Dass Tonempfindungen mit der Eigenschaft der Vokalität durch intermittierendes Ertönen schwingungsfähiger Körper entstehen können, ist richtig.

3. Dass der Mechanismus bei den Klängen der Stimme dieser sei, ist möglich.

4. Die Vokalität rührt auch bei diesem Mechanismus von den einfachen Tonempfindungen her, die den sinusförmigen, zum Grundton harmonischen Teilschwingungen des Klanges entsprechen.

5. Die Unabhängigkeit der Vokalität vom Stimmtone erklärt sich daraus, dass die Vokalitäten dieser Bestandteile zusammenwirken.

Dezember 1912.

Über Resistenzänderungen der roten Blutkörperchen gegen hypotonische Salzlösungen bei Krankheiten und unter dem Einfluss verschiedener Gifte.

Von Prof. L. v. Liebermann (Budapest).

Wenn es richtig ist, dass die roten Blutkörperchen keine toten Gebilde sind, sondern Körperzellen, die wichtige Aufgaben erfüllen, und wenn man andererseits annehmen darf, dass sich Zellen und Gewebe normaler Individuen von denen vulnerabler, schwächerer oder kranker, in ihrem Bau oder auch in ihrer chemischen Struktur unterscheiden, da anderenfalls die so sehr verschiedene Resistenz gegen schädliche Einwirkungen bezw. die Disposition zu Erkrankungen nicht zu verstehen wäre: so ist man auch berechtigt, zu erwarten, dass solche Unterschiede auch in dem Verhalten der Erythrocyten zum Ausdruck kommen, dass also schwächliche oder kranke Individuen irgendwie anders geartete Blutkörperchen besitzen als kräftige, bezw. gesunde. Auch wäre zu erwarten, dass sich der Einfluss gewisser Gifte in einer Veränderung der Resistenzverhältnisse der Erythrocyten gegen Einflüsse, die diese direkt schädigen, zu erkennen geben dürfte.

Es fragt sich nun, wie solche Unterschiede zu erkennen sind?

Solange es an Anhaltspunkten, bestimmten Beobachtungen fehlt, die der Untersuchung der Blutkörperchen ganz bestimmte Richtungen geben könnten, tut man am besten, eine Methode zu wählen, die Änderungen der osmotischen Verhältnisse der Erythrocyten erkennen lässt; denn in diesen Änderungen besitzen wir ein sehr feines Reagens für Verschiedenheiten des chemischen Gefüges im allgemeinen, wenn sie auch über die Details der chemischen Veränderungen noch keinen Aufschluss geben können. Bestimmt man also z. B., wie es Verfasser dieser Zeilen getan hat, die Konzentration jener Kochsalzlösung, die die Erythrocyten normaler, gesunder Menschen während einer bestimmten Versuchsdauer noch

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Biologisches Zentralblatt](#)

Jahr/Year: 1912

Band/Volume: [32](#)

Autor(en)/Author(s): Liebermann Paul von

Artikel/Article: [Über das Wesen des Vokalklanges. 731-758](#)