

mit welcher einerseits die Konsonanzgrade, andererseits die Einheitlichkeit der Konsonanzen und die Schwierigkeit ihrer Analyse zu- und abnehmen.

Das psychologische Problem der Konsonanz zerfällt in mehrere Fragen. Man muß das Intervallurteil von dem unmittelbaren Bewußtsein der Konsonanz und Dissonanz unterscheiden und hierin wieder die Empfindungsmerkmale und die zugehörigen Gefühle auseinanderhalten. Verf. verbreitet sich hierüber des näheren im zweiten Abschnitt seiner vorliegenden Abhandlung, der auf die Frage hinausläuft, wie sich der Konsonanz- resp. Dissonanzcharakter eines Zusammenklanges von dem einer Tonfolge unterscheidet. Das unmittelbare Bewußtsein der Konsonanz oder Dissonanz ist bei gleichzeitigen Tönen bestimmter und schärfer ausgeprägt als bei sukzessiven; darüber, meint K., seien wohl alle neueren Akustiker einig. Er selbst geht noch einen Schritt weiter und behauptet, bei der Tonfolge bestehe gar kein unmittelbares sondern nur ein abstraktes Bewußtsein der Konsonanz. Zunächst ist aber die Frage zu stellen, wodurch sich ein konsonanter Zweiklang von einem dissonanten für die bewußte Wahrnehmung unterscheidet. Zu ihrer Beantwortung wird die grundlegende Bedeutung der Differenztöne für Konsonanz und Dissonanz ins Feld geführt. Die genauere Erörterung dieses Gegenstandes wird in der zu erwartenden weiteren Publikation des Autors enthalten sein. Vorerst weist K. nach historisch-kritischen Bemerkungen über die Kombinationstonbildungen darauf hin, daß schon PREYER einen Versuch gemacht habe, die Erklärung der Konsonanz auf Verhältnisse der Differenztöne zu gründen, was Veranlassung zu einer gedrängten Darstellung der PREYERSchen Theorie und ihrer Mängel gibt. Die Abhandlung schließt mit einer Rekapitulation der wichtigsten Ergebnisse der früheren Untersuchungen des Verf. über die Kombinationserscheinungen bei Zweiklängen und einer schematischen Konstruktion der Differenztöne.

SCHAEFER (Berlin).

FRANZ LINDIG. **Über die verstimzte Oktave bei Stimmgabeln und über Asymmetrietöne.** *Annalen der Physik*, 4. Folge, 11, 31. 1903.

Werden zwei Stimmgabeln, die annähernd das Intervall der Oktave bilden, zusammen erregt, während sie auf ihren Resonanzkästen stehen, so hört man dabei leise, schwebungsartige Klangveränderungen. Da es nach den Ergebnissen der Elastizitätstheorie ausgeschlossen ist, daß eine Stimmgabel die Oktave als Oberton geben kann, so hat man diesen Versuch dahin gedeutet, daß hier zwei reine Töne, d. h. solche Töne, von denen der eine den anderen nicht als Oberton enthält, miteinander interferieren, und die Phasenungleichheiten der beiden Töne durch das Ohr direkt wahrgenommen werden. Eine solche Erklärungsweise steht indes in vollem Widerspruch zu den Untersuchungen von HELMHOLTZ, HERMANN und LINDIG, aus denen hervorgeht, daß die Phase, welche zwei verschiedene Töne miteinander bilden, ohne Einfluß auf den entstehenden Klang ist. Danach müßte es für den mit dem Ohre wahrgenommenen Klang ganz gleichgültig sein, ob die Zinken der Grundtonstimmgabel bei obigem Versuche zu gleicher Zeit die Ruhelage passieren wie die der Oktavenstimmgabel, d. h. in gleicher Phase schwingen, oder ob nicht. Sind also Grundton und Oktave gegeneinander etwas verstimmt, so daß abwechselnd Phasengleich-

heit und Phasenungleichheit beider Töne eintritt, so dürfte, wenn das zuletzt erwähnte Gesetz von der Phasenunabhängigkeit der Klänge richtig ist, keine Klangschwebung beim Zusammentönen eintreten. Darin, daß nun doch eine Klangschwebung beim Tönen beider Stimmgabeln eintritt, sehen LORD KELVIN und R. KÖNIG einen Beweis für die Unrichtigkeit des Gesetzes von der Phasenunabhängigkeit der Klänge. Dem entgegen erklärt HELMHOLTZ die Klangschwebung durch Zusammenwirken des ersten Differenztones mit der Oktavenstimmgabel. Nun treten die HELMHOLTZschen Kombinationstöne ihrer Theorie gemäß nur immer dann auf, wenn die verwendeten kombinierten Töne so stark sind, daß auch „die Quadrate der Verschiebungen einen merklichen Einfluß auf die Größe der Bewegungskräfte erhalten“. Da die Klangschwebung indes auch bei ganz schwach tönenden Stimmgabeln auftritt, muß diese Erklärungsweise nicht ganz stichhaltig erscheinen. Eine andere Erklärungsweise des vorliegenden Phänomens gründet sich auf die Annahme, die Stimmgabeln hätten harmonische Obertöne, darunter die Oktave. Dieser Oberton bilde also mit der verstimmtten Oktavengabel Schwebungen des Einklangs. Solche Erklärung gibt HERMANN. Diese Lösung des Rätsels wäre freilich die einfachste. Nur müssen wir uns Rechenschaft davon geben können, wie die Oktave in der Stimmgabelschwingung zustande kommt. Nach dem gleichen Bewegungsprinzip wie der Grundton kann die Oktave nicht zustande kommen, das spräche offenbar allen bisher über die Bewegung frei schwingender Stäbe bekannten Gesetzen Hohn! HERMANN gibt für die Oktave keine Erklärung, sondern beruft sich nur darauf, daß solche vielfach beobachtet sei, zuletzt von STUMPF. Der Verfasser wiederholte die Versuche von STUMPF und führte dieselben weiter aus, indem er zwei KÖNIGSche Stimmgabeln neuester Konstruktion, c' und c'' , die sehr lang andauernde Töne gaben, mit dem Stil nach oben an Kautschukschläuchen aufhing. Auf diese Weise hing Verfasser die Grundton- und Oktavenstimmgabel, c' und c' , nebeneinander auf und führte zwischen beide Stimmgabeln ein kleines Glasröhrchen von 6 mm Durchmesser ein, von dem aus ein 1 m langer Schlauch zum Ohr führte. In dieser Weise beobachtet kam der Charakter der Klangveränderung viel deutlicher zu Gehör. Er erkannte, daß die Veränderung darin bestand, daß in dem Takte, wie die Oktavengabel c'' verstimmt war, jedesmal die Oktave des Klanges einmal schwächer und stärker wurde, daß der Grundton c' dagegen immer seine anfängliche Stärke behielt. Nachdem dies festgestellt war, wurde zur wichtigsten Aufgabe geschritten, das Auftreten der Oktave bei Stimmgabeln physikalisch, und zwar durch Experiment und Theorie, genau zu analysieren. Der erste Schritt zur Lösung war festzustellen, in welcher Phase die Oktave der Stimmgabel zu ihrem Grundton steht. Zu dieser Untersuchung liefs der Verfasser die c' - und c'' -Stimmgabeln gleichzeitig schwingen und beobachtete mittels eines Vibrationsmikroskops, mit welchem Schwingungszustand das mittels des beschriebenen Glasröhrchens wahrgenommene Schwächerwerden der Oktave koinzidierte. Er variierte die Versuchsbedingungen dahin, daß er ein Doppelröhrchen benutzte, mit dem einen die c'' -Gabel und dem anderen die c' -Gabel an den verschiedensten Stellen der schwingenden Zinken abhörte, daß er ferner mit dem Doppelröhrchen die c' -Gabel allein untersuchte und schließlic

mit demselben die Phasen der Oktave an zwei gleichgestimmten Gabeln an allen Stellen bestimmte. Auf die Details dieser sehr sorgfältig ausgeführten Versuche hier näher einzugehen, würde zu weit führen. Das Resultat war folgendes: An welcher Stelle vor den Zinken der Stimmgabel auch immer der Klang der Grundtongabel in das Glasröhrchen eintrat, immer ergab sich als Phase des Druckes zwischen deren Grundton und Oktave die Phase Null, d. h. überall beginnt mit dem positiven Druck des Grundtones auch positiver Druck der Oktave. Dann muß also auch die Oktave zu derselben Zeit überall in derselben Phase sein. Dies bedeutet, es geht z. B. Verdichtung von den Zinken gleichzeitig nach allen Seiten aus. Die Zinken müßten sich also, falls diese selbst die Oktavenbewegung transversal ausführten, im Oktaventakte zugleich nach innen und außen bewegen. Dies ist ein Unding. Folglich kann die Oktave kein aus der transversalen Schwingungsbewegung der Zinken sich ergebender Oberton der Stimmgabel sein. Die einzige Möglichkeit, die übrig bleibt, ist die, daß die Oktave erst in der Luft, durch deren Schwingung, erzeugt wird. Die Erklärung, welche der Verfasser für die Entstehung der Oktave gibt, kommt, was die Differentialgleichungen betrifft, auf die HELMHOLTZsche Erklärung zurück. Der Unterschied zwischen beiden Theorien liegt darin, durch welche Hypothesen beide zu den Differentialgleichungen gelangen. HELMHOLTZ nimmt an, daß bei größeren Elongationen der Stimmgabel die elastische Kraft nicht mehr proportional der Amplitude ist, und in die Kraftgleichung ein quadratisches Glied einzuführen ist. Berechnet man mit der neuen Kraftgleichung, welche Obertöne bei der elastischen Schwingung entstehen, so findet man, daß neben dem Grundton auch alle Obertöne auftreten müssen, auch die Oktave. Die Theorie des Verfassers unterscheidet sich von der HELMHOLTZschen nur dadurch, daß er das erwähnte quadratische Glied in die Kraftgleichung aus einem ganz anderen Grunde eingeführt wissen will. Wäre die HELMHOLTZsche Hypothese richtig, so dürfte bei schwachem Tönen der Stimmgabeln, wobei die elastische Kraft proportional der Amplitude ist, keine Oktave auftreten. Dies widerspricht der Erfahrung. Verfasser umgeht diese Schwierigkeit, indem er den Schwingungszustand eines in der Nähe der Stimmgabeln befindlichen Luftteilchens ins Auge faßt. In bezug auf die Schwingungsbewegungen der Stimmgabel kann man diese Luftteilchen nur als unsymmetrisch gelagert ansehen und infolgedessen nicht voraussetzen, daß die elastischen Druckkräfte der Luft genau proportional der Amplitude der Stimmgabelschwingung sind, sondern muß quadratische und eventuell noch Glieder höherer Ordnung in die Kraftgleichung einführen. Durch Einführung des quadratischen Korrektionsgliedes kommt Verfasser, wie schon erwähnt, zu denselben Differentialgleichungen wie HELMHOLTZ, deren Auswertung außer dem Grundton alle harmonischen Obertöne desselben ergeben. Da Verfasser die Entstehung der Obertöne durch die unsymmetrische Lagerung der Luft erklärt, nennt er diese Töne *Asymmetrietöne*. Die Resultate der Berechnung stehen im einzelnen mit der Erfahrung in vollem Einklang. (Es wird schwer halten, sich davon eine anschauliche Vorstellung zu bilden, wie die Stimmgabel Luftschwingen erzeugt, die sie selbst gar nicht ausführt, dadurch, daß die elastischen Kräfte nicht mehr proportional den Amplituden sind.

Es liegt diese Schwierigkeit der Veranschaulichung in der analytisch mathematischen Natur der LINDIGSchen Theorie, indem es nichts Seltenes ist, daß analytische Beziehungen zwischen physikalischen GröÙen der einfachen Anschauung schwer zugänglich sind. Indes dürfte es nicht schwer sein, sich vorzustellen, daß eine schwingende Stimmgabelzinke senkrecht zur Schwingungsrichtung Schallwellen aussendet, deren Schwingungszahl doppelt so groß ist wie die der Zinke selbst. Zur bequemeren Erläuterung stellen wir uns vor, wir strecken Arm und Hand steif horizontal aus und bewegen die Hand und den Arm im Schultergelenk von rechts nach links und wieder zurück, indem die Handfläche selbst senkrecht ist. Wir schieben durch diese Bewegung mit der Hand die Luft in demselben Rhythmus hin und her, und die dabei entstehenden minimalen Verdichtungen und Verdünnungen werden sich als Schall mit Schallgeschwindigkeit fortpflanzen. Dies ist der einfache Fall, daß die Stimmgabelzinke in ihrer Schwingungsrichtung eine Schallwelle aussendet von gleicher Tonhöhe. Wie kann nun durch die einfache Schwingung die Schallwelle von doppelter Tonhöhe ausgesendet werden? Strecken wir Arm und Hand wieder aus wie vorhin, stellen nun aber vor die Fingerspitzen ein Licht. Bewegen wir jetzt die Hand nach rechts, so weht das Licht uns zu. Bewegen wir die Hand wieder zurück, so wird das Licht so lang von uns fortgeweht, bis die Fingerspitzen dem Licht gegenüberstehen. Bewegen wir die Hand weiter nach links, am Licht vorbei, so wird jetzt das Licht wieder uns zugeweht. Kehren wir jetzt wieder die Bewegungsrichtung des Armes um, so wird das Licht wieder fortgeblasen, bis die Fingerspitzen dem Licht wieder gegenüberstehen. Wir haben also gesehen, daß, wenn wir die Hand einmal von rechts nach links bewegen, das Licht zwei Bewegungen ausführt, zuerst von uns weg- und darauf zu uns hergeblasen wird. Da sich auch hier die den Luftbewegungen entsprechenden Druckänderungen mit Schallgeschwindigkeit fortpflanzen, so pflanzt sich, wenn wir die gemachte Erfahrung auf die Stimmgabel übertragen, die einfache Bewegung der Stimmgabelzinke senkrecht zur Schwingungsrichtung als Schallwelle von doppelter Schwingungszahl fort. Die nur im Grundton schwingende Stimmgabel versetzt die vor den Zinken unsymmetrisch gelagerten Luftteilchen in Schwingungen der Oktave. Dieser Versuch der Veranschaulichung ist vom Verfasser nicht gegeben. D. Ref.) Zum Schluss macht Verfasser darauf aufmerksam, daß zur Erzeugung reiner Töne, d. h. reiner Sinusschwingungen der Luft, es durchaus nicht genügt, eine Tonquelle mit reinen Sinusschwingungen zu haben; denn die beschriebenen Asymmetrieverhältnisse treten bei allen bekannten Tonquellen dort auf, wo die Abgabe der Schwingungen von der Quelle an die Luft stattfinden soll, also werden dort auch überall Asymmetrietöne zu erwarten sein. Somit darf hier die Behauptung aufgestellt werden, daß das Problem, reine Töne darzustellen, überhaupt noch nicht gelöst ist.

GAEDE (Freiburg i. B.).

V. HÖSSLIN. **Über die Bestimmung der Schmerzempfindlichkeit der Haut mit dem Algesimeter.** *Münch. Med. Wochenschr.* S. 250—253. 1903.

Mit dem vom Verf. angegebenen Algesimeter kann man bis auf $\frac{1}{100}$ mm bestimmen, wie weit die zur Untersuchung gebrauchte Nadel in die Haut