

Ueber das Abklingen von Tonempfindungen.

Von

OTTO ABRAHAM.

(Im Anschluß an die vorstehende Abhandlung.)

Die folgenden theoretischen Betrachtungen sollen ein Versuch sein, die Resultate der mit Dr. SCHAEFER gemeinsam ausgeführten Untersuchungen zu erklären.

Das auffallendste Ergebniss derselben war, daß die Trillerschwelle für alle Töne von der großen bis zur viergestrichenen Octave dieselbe war, ca. 30σ ($= 0,03$ Sec.) für den einzelnen Ton betrug. Es ist dies um so auffallender, weil die Dauerschwelle des einzelnen Tones nach den Untersuchungen, die ich mit Dr. BRÜHL ausgeführt hatte¹, im Wesentlichen eine Function der Schwingungsdauer ist. Um diesen Unterschied zu erklären, müssen wir streng unterscheiden zwischen einem physikalischen und physiologischen Ton. Ein physikalischer Ton braucht, wie in der eben erwähnten Arbeit gefunden wurde, nur 2 Schwingungen, um einen Nervenprocess hervorzurufen; damit ist aber noch nichts gesagt über die Dauer des Nervenprocesses selbst. Wie auch die Endorgane unseres Hörnerven beschaffen sein mögen, ob sie Resonatoren sind oder nicht, wie auch der Nervenprocess und die Function des betreffenden Gehirnthells erklärt werden möge, das Eine steht jedenfalls fest, daß eine Empfindung nicht völlig synchron mit dem Reiz anfängt und aufhört. Die Tonempfindung klingt an, wächst bis zu einer bestimmten Intensität an, bleibt in dieser eine Zeit lang bestehen und klingt dann ab. Für unsere Untersuchungen scheint mir die Eigenschaft des Abklingens die wesent-

¹ OTTO ABRAHAM und LUDWIG J. BRÜHL. Wahrnehmung kürzester Töne und Geräusche. *Zeitschr. f. Psych.* 18, S. 201.

liche Rolle zu spielen und mit dieser will ich mich zunächst ausschliesslich beschäftigen.

Während bei den Versuchen über die Dauerschwelle des einzelnen Tones das Abklingen unberücksichtigt blieb — denn die Wiederholung des (einzelnen) Tones erfolgte zu einer Zeit, in der das Abklingen des ersten Tones nicht mehr in Betracht kam —, ist es für unsere jetzigen Versuche sehr wesentlich. Zwei verschieden hohe Töne folgen physikalisch unmittelbar auf einander. Der erste Ton ruft eine Tonempfindung hervor, die noch nicht abgeklungen ist, wenn die Empfindung des zweiten Tones beginnt; wir hören daher während dieser Zeit des Abklingens beide Töne, d. h. einen Zusammenklang. Machen wir uns diesen Vorgang graphisch klar.

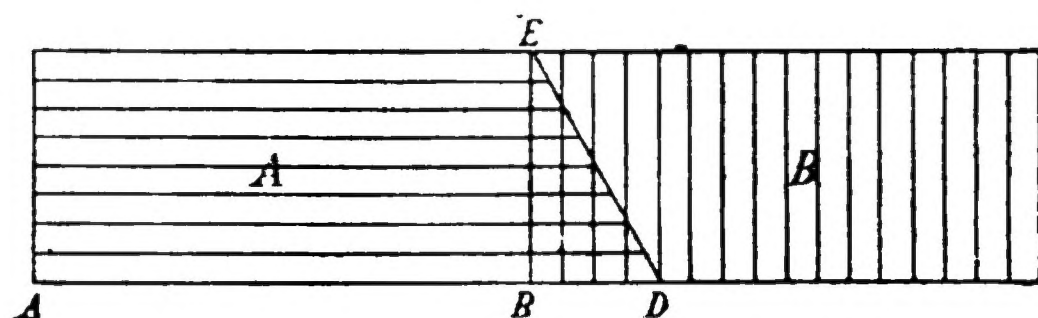


Fig. 1.

In Fig. 1 seien die den physikalischen Tönen entsprechenden Tonempfindungen dargestellt; ich will in dieser Figur absehen von dem unwesentlichen Anklingen, mich auch nicht kümmern um die Form der Abklingecurve, wie sie der Wahrscheinlichkeit entspricht, sondern den einfachsten Fall annehmen, daß die Tonempfindung proportional der Zeit abklinge, d. h. in der Figur in der Form einer geraden Linie (andere Curvenformen werden sich dann auf diese beziehen lassen). Der Ton klingt dann von *E* bis *D* ab, und man sieht an dem Dreieck *BED*, daß ein Vermischen der beiden Töne stattfinden muß. Man müßte also eigentlich erst den Ton *A* hören, dann einen kurzen Accord *AB* und dann Ton *B* allein; es ist jedoch nicht notwendig, daß der Accord zur bewußten Empfindung gelangt; er kann zu kurz dauernd sein und kann aus anderen Gründen von dem Ton *B* völlig verdeckt werden.

In Wirklichkeit hören wir (s. vorstehende Abhandlung), sobald die physikalischen Töne 30 σ dauern, beide Töne deutlich getrennt als Triller. Das kann nur daran liegen, daß die Zeit, in welcher Ton *B* allein in der Empfindung klingt, sehr groß

ist im Verhältniß zur Dauer des Accordes d. h. zur Zeit des Abklingens.

Lassen wir jetzt dieselben Töne, die eben 30 σ dauerten, nur z. B. 3 σ dauern, dann bleibt zwar die Zeit des Abklingens von dieser Aenderung unbeeinflusst, aber jetzt fällt der ganze 2., ja der 3., 4. etc. Ton noch in die Abklingezeit des 1. Tones.

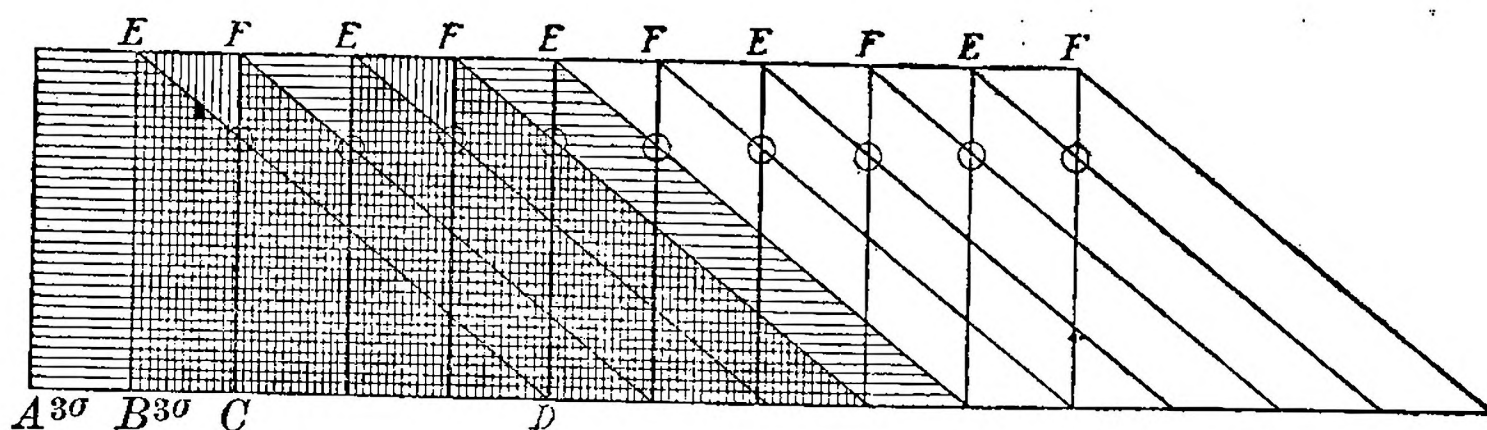


Fig. 2.

Man hört also nur einen Accord, denn ein zeitliches Ueberwiegen des einzelnen Tones *B* über den Accord ist überhaupt nicht vorhanden, und das Intensitätsübergewicht derselben, ausgedrückt durch die Dreiecke *EFO*, das sich in allen folgenden Tönen wiederholt, ist nur sehr gering und kann keineswegs die Accordintensität *BEOC* verdecken. Das Stück *EFO* besteht eigentlich in einem Qualitätswechsel der Accordempfindung, entstanden durch die Intensitätsabnahme des einen Accordtones. Es entsteht durch diesen Intensitätswechsel die Rauigkeit, wie sie sich bei unseren Versuchen gezeigt hat (s. vorst. Abhandlung).

Nach dieser graphischen Darstellung erklären sich unsere Versuche folgendermaassen: Wir hören unmittelbar aufeinanderfolgende Töne deutlich getrennt als Triller, sobald die Abklingezeit verschwindend klein ist im Verhältniß zur Dauer der Töne; wir hören unmittelbar aufeinanderfolgende Töne als rauhen Zusammenklang, wenn die Abklingezeit in einem zu großen Verhältniß steht zur Dauer der Töne. Das Auffallende bei unseren Versuchen war aber, daß für alle Töne von der großen bis zur viergestrichenen Octave dieselbe Zeit ca. 30 σ für den Trillerton erforderlich war, um eine deutliche Trillerempfindung zu bewirken. Ich glaube daher zu dem Schluß berechtigt zu sein, daß alle Töne, unabhängig von ihrer Höhe, dieselbe Abklingezeit haben. Ich wage es, diesen Satz auszusprechen, obwohl die allgemeine musikalische Erfahrung

dem gegenüberzustehen scheint, daß auf dem Clavier und anderen Musikinstrumenten ein Triller in tieferen Tonlagen schon bei geringerer Geschwindigkeit zu einer undeutlichen Accordempfindung verschmilzt als in höheren Lagen. Noch widersprechender aber scheinen meiner Behauptung die Resultate ALFRED MAYER's zu sein.¹ Dieser ließ einen bestimmten continuirlichen Ton durch eine rotirende mit Oeffnungen versehene Scheibe dringen und berechnete die Zahl der Tonunterbrechungen, welche bei verschiedenen Tonhöhen nöthig war, damit die intermittirende Tonempfindung zu einer continuirlichen wurde. Daraus berechnete er die Zeit des Abklingens und fand für die einzelnen Töne folgende Werthe, die er in Form einer Tabelle zusammenstellte:

$$C = \frac{1}{25} \text{ Secunde}$$

$$c = \frac{1}{45} \quad "$$

$$c_1 = \frac{1}{70}$$

$$g_1 = \frac{1}{102} \quad "$$

$$c_2 = \frac{1}{130} \text{ Secunde}$$

$$e_3 = \frac{1}{153} \quad "$$

$$g_2 = \frac{1}{166} \quad "$$

$$c_3 = \frac{1}{180} \quad "$$

Aehnliche Resultate erhielt bei anderer Versuchsanordnung URBANTSCHITSCH², der die Zeit der Pause berechnete, die eben genügte, um den Tonempfindungen einen intermittirenden Charakter zu geben. Dieser Unterschied der Berechnung ist der Grund, daß die Zahlen URBANTSCHITSCH's größer sind als die Zahlen MAYER's; im Wesentlichen stimmen aber beide Autoren darin überein, daß für die Unterbrechungsschwelle die Pausendauer eine Function der Schwingungsdauer d. h. der Tonhöhe ist.

Diese Versuche scheinen mit unseren Versuchen und meinen Schlußfolgerungen daraus in krassem Widerspruch zu stehen. Ich prüfte deshalb zunächst in etwas veränderter Form die MAYER'schen Versuche nach und konnte die MAYER'schen Resultate vollauf bestätigen. Die Differenzen waren nur geringfügig. Da nun also an der Richtigkeit der Ergebnisse, der MAYER'schen

¹ *American Journal of Science and Arts* 8, 244; 9, 2; 47, 14.

² Ueber das An- und Abklingen akust. Empfindungen. PFLÜGER's *Archiv für Physiologie* 25, 328.

sowohl als der unsrigen, nicht zu zweifeln ist, muß entweder für unsere oder für M.'s Resultate eine andere Erklärung gesucht werden. Der Grund für unsere Trillerschwelle wie für die Schwelle des Unterbrochenklingens bei MAYER muß im Wesentlichen im Abklingen zu suchen sein. Der Unterschied zwischen beiden Versuchsanordnungen ist aber der, daß MAYER denselben Ton nach kurzer Pause wiederholte, wir zwei verschieden hohe Töne physikalisch unmittelbar aufeinanderfolgen ließen. MAYER und URBANTSCHITSCH sagen nun, daß der Moment, in dem die discontinuirliche Tonempfindung gerade in eine continuirliche übergeht, maßgebend sei für das Abklingen des Tones. Diesen Schluß wage ich zu bezweifeln; denn, falls auch der 1. Ton noch nicht völlig abgeklungen ist, wenn der 2. Ton derselben Höhe einsetzt, so braucht dadurch doch noch keine continuirliche Tonempfindung erzeugt zu werden, denn der Intensitätsunterschied des abklingenden Tones und des neu beginnenden, zu welchem sich noch die Intensität des abklingenden zum Theil addirt, ist es, der die Intermittenz, die Rauigkeit veranlaßt. Und hier ist zu bedenken, daß bei wechselnden Intensitäten mit genügender Differenz stets die schwächere völlig $= 0$ erscheint. Die völlige Zeit des Abklingens ist also durch die MAYER'schen Versuche ebenso wenig wie durch die Versuche URBANTSCHITSCH's gefunden.

Man mache den bekannten Versuch, den man in der Kindheit so oft gemacht hat; man lasse einen continuirlichen Ton spielen und verstopfe und öffne mit der Fingerbeere rhythmisch beide Gehörgänge. Dann hört man den Ton nur bei geöffnetem Gehörgang, bei geschlossenem eine Pause, d. h. bei schnellem Oeffnen und Schließen einen intermittirenden Ton; läßt man dagegen die Gehörgänge continuirlich verschlossen, dann hört man einen continuirlichen leisen Ton, der bei dem rhythmischen Zumachen gar nicht vernommen wird. Genau diesem Versuch scheinen mir die Versuche MAYER's und URBANTSCHITSCH's zu entsprechen, und ich glaube, daß man trotz der größten Uebung und Aufmerksamkeit nicht berechtigt ist, zu sagen, die eine Intensität sei $= 0$, wenn sie mit einer anderen weit größeren Intensität schnell hintereinander wechselt. In seiner letzten diesbezüglichen Abhandlung¹ sagt MAYER selbst, daß seine Unter-

¹ MAYER, *Researches in Acoustics. Amer. Journ. of Science* 47. 1894, S. 3.

suchungen nicht „the total duration of the after-sensation of a sound“ bestimmen, sondern „that duration in which the after-sensation of a sound does not perceptibly diminish in intensity“. Das wäre meinen Ausführungen analog, wenn MAYER nicht stillschweigend angenommen hätte, daß die Empfindungsintensitäten bei gleicher Reizstärke dieselben wären; wenn sie aber ungleiche sind, dann läßt sich nach den MAYER'schen Versuchen weder über die ganze noch über einen Theil der Abklingezeit etwas aussagen, da die Differenzen der Intensitäten dann eine Function der Empfindungsintensitäten sind. (Die Aenderungen der Reizstärke, die MAYER vornahm, tangiren diese Behauptung nicht.)

Nun haben aber hohe Töne bei gleicher Reizstärke eine größere Empfindungsintensität als tiefe Töne. Dies ist allerdings bisher nur eine Hypothese, aber die Erfahrung hat ihr eine Anzahl Stützpunkte verschafft. HELMHOLTZ (Lehre v. d. Tonempf.) glaubte einen Beweis darin zu finden, daß der Ton einer Sirene bei gleichmäßigem Druck des Blasebalges mit der Höhe an Stärke bis zur Unerträglichkeit zunimmt. Eine Stimmgabel *c*, welche Zinken von gleicher Dicke und Breite hat, und mit derselben Amplitude 1 mm vibriert wie eine Stimmgabel *C*, kann man etwa doppelt so weit vom Ohre entfernen als diese, bis die Grenze der Hörbarkeit erreicht ist.¹ Diese Erfahrungsthatfachen sprechen sehr für die Annahme der Hypothese; allerdings beweist ein constanter Druck des Blasebalges und gleiche mathematische Anordnung bei Stimmgabeln noch nicht, daß auch der Ton physikalisch genau die gleiche Stärke hat. Die Intensität des physikalischen Tones hängt ab von dem Luftdruck des Tones d. h. der Amplitude der Lufttheilchen. Wenn man also die Empfindungsstärken bei gleichen Reizstärken untersuchen will, muß man auch wirklich gleiche Reizstärken herstellen; es müßte also ein Apparat construirt werden, der in einem bestimmten Raumpunkte den Druck der einzelnen Töne mißt; er braucht dies für unsere Frage nicht in absoluten Maassen zu thun, sondern nur in relativen. Einen solchen Apparat glaube ich in dem Phonographen gefunden zu haben: der Stift des Phonographen wird durch das Schwingen der mit ihm verbundenen Membran in die Wachsmasse der

¹ R. KOENIG, Pogg. *Annal.* 157. — STUMPF, *Tonpsychologie* I, 370.

Walze eingedrückt, und zwar ist die Gröfse der Vertiefung proportional der Amplitude des Tones. Nehme ich einen beliebigen Ton auf der Walze auf, dann kann ich durch langsamere resp. schnellere Bewegung der Walze bei der Wiedergabe die Tonhöhe variiren. An meinem Apparat¹ gelingt dies um zwei Octaven. Die Gröfse der Vertiefungen auf der Walze bleibt davon natürlich unbeeinflusst, d. h. physikalisch haben die Töne dieselbe Intensität. Ich kann also auf dem Phonographen Töne derselben physikalischen Intensität auf ihre Empfindungsintensität hin vergleichen. Es zeigte sich nun deutlich, dafs der Ton in der Tiefe viel schwächer erscheint als in der Höhe. Man könnte nur vielleicht entgegenhalten, dafs der Stift bei der Wiedergabe nicht stets die ganze Grube ausnutzt. Aber natürlich kann er sie mehr ausnutzen bei langsamerem Hindurchgleiten als bei schnellerem; es müfsten also, wenn diese mechanische Bedingung in Betracht käme, die tieferen Töne noch lauter erklingen als die hohen. Da das nicht, sondern das Gegentheil der Fall ist, scheint dies mechanische Moment gar nicht in Betracht zu kommen. Ich untersuchte, um Klangfarbenänderung zu vermeiden, möglichst obertonlose Stimmgabeltöne, wieder mit demselben Resultat, dafs sie in der Höhe bei gleicher Amplitude stärker erscheinen als in der Tiefe. Genauere Versuchsreihen werde ich später veröffentlichen.

Jedenfalls halte ich die Hypothese für genügend gestützt, um weitere Schlüsse darauf aufbauen zu können. Ein solcher Schluß ist die obige Erklärung der MAYER'schen Versuche. Wenn höhere Töne eine gröfsere Empfindungsstärke haben als tiefe Töne, dann ist bei ihrer schnellen Aufeinanderfolge auch die Differenz der Empfindungsintensitäten des abklingenden und des neuen Tones gröfser; ich kann daher höhere Töne schneller aufeinander folgen lassen, um dieselbe Differenz der Intensitäten zu erhalten, und wenn eine Minimaldifferenz erreicht ist, dann klingt der Ton continuirlich. Ich habe hierbei immer eine geradlinige Abklingecurve vorausgesetzt, doch würden sich diese Erörterungen auch auf andere Curvenformen anwenden lassen. — So glaube ich die MAYER'schen Versuche in Einklang bringen zu können mit meiner Annahme, dafs alle Töne eine gleiche Ab-

¹ Durch die Güte des Curatoriums der Gräfin-Luise-Bose-Stiftung ist mir ein vortrefflicher EDISON'scher Phonograph zur Verfügung gestellt worden.

klingezeit haben. Auf eine Prüfung der Frage bei verschiedener Reizintensität habe ich vorläufig aus Mangel an Meßinstrumenten verzichtet, so daß ich es dahingestellt sein lasse, welche Beziehung zwischen physikalischer Tonstärke und Abklingen besteht.

Viel leichter glaube ich den zuerst erwähnten Einwand, der gegen den Satz „alle Töne klingen gleich schnell ab“, gemacht werden könnte, widerlegen zu können, nämlich die Erfahrungsthat-sache der Musiker, daß bei Instrumentaltönen Triller und Figuren in der Tiefe bei einer Geschwindigkeit schon verschwommen klingen, bei der sie in höheren Tonlagen noch deutlich getrennt empfunden werden. Der Unterschied von Instrumentaltönen und unseren Sirenentönen beruht erstens darin, daß unsere Töne physikalisch nicht nachklingen, zweitens daß sie resonanzlos sind. Nehmen wir nun einen Claviertriller, dann ist es klar, daß die Nachschwingungen der einen Saite noch nicht aufgehört zu haben brauchen, wenn die zweite Saite angeschlagen und zum Schwingen gebracht wird. Nun richtet sich die Dauer des Nachklingens nach der Länge der Saite. Längere Saiten schwingen länger nach als kürzere, somit dauern tiefe Töne auf dem Clavier bei gleicher Anschlagsdauer länger als hohe Töne. Das hat also mit dem physiologischen Abklingen gar nichts zu thun, und es liegt kein Grund vor, aus diesen physikalischen Unterschieden auf Dämpfungsunterschiede im inneren Ohr zu schließen.¹

Wie mit dem Clavier verhält es sich bezüglich der Saiten-nachschwingungen mit allen Anschlagsinstrumenten, Harfe, Zither u. s. w. Auch bei den Streichinstrumenten kommen sie bei Saitenübergängen, zwar nicht für den Triller, aber doch für musikalische Figuren in Betracht.

Auch der Resonanzraum der Musikinstrumente bewirkt einen Unterschied der Töne gegen unsere resonanzlosen Klänge: Ein größerer Resonanzraum klingt ebenfalls länger nach als ein kleiner, so daß auch dadurch der Triller von Instrumentaltönen in tieferen Tonlagen eher verschwommen klingt als in höheren.

¹ S. HELMHOLTZ, Tonempfind., S. 212.

(Eingegangen am 20. März 1899.)
