

# Ueber die Reactionszeit und Perceptionsdauer der Klänge.

Von

**Dr. Götz Martius**

in Bonn.

Mit 2 Figuren im Text.

---

Im Folgenden sollen neue Versuche über die Zeit der Reaction auf Klänge verschiedener Höhe mitgetheilt werden. Es hängt die Frage nach der Verschiedenheit der Reactionszeit bei Klängen und deren Erklärung aufs engste zusammen mit der Frage nach der Perceptionsdauer derselben. Es sei gestattet, vor der Berichterstattung über die eigenen Versuche den Stand dieser Fragen kurz zu erörtern.

Nach einer neueren Mittheilung hat Mach<sup>1)</sup> bereits im Jahre 1873 gefunden, dass ein Ton von 128 Schwingungen, den man durch einen kleinen Ausschnitt einer großen, langsam rotirenden Scheibe hört, zu einem kurzen, trockenen Schlage (oder schwachen Knall) von sehr undeutlicher Tonhöhe zusammenschumpft, wenn seine Dauer auf 2 bis 3 Schwingungen reducirt wird, während bei 4 bis 5 Schwingungen die Höhe noch ganz deutlich ist. Vermuthlich beruht es auf dieser Angabe Mach's, wenn Dennert<sup>2)</sup> in einer neueren Untersuchung über das Geräusch von der Annahme ausgeht, dass »nur wenige Schallwellen, 4 bis 5, schon genügen, um eine Gehörsempfindung zu bewirken«.

---

1) Mach, Beiträge zur Analyse der Empfindungen. Jena 1886, S. 117.

2) Akustisch-physiologische Untersuchungen und Studien. Archiv für Ohrenheilkunde. 1889. Bd. XXIX, S. 76.

Ein anderes Ergebniss hatte eine ungleich bekannter gewordene Untersuchung Exner's<sup>1)</sup>. Dieser leitete den Ton einer Stimmgabel vermittelst eines Schlauches in die Ohren eines in getrenntem Zimmer sitzenden Beobachters. Durch eine geeignete Vorrichtung vermochte der Experimentator den Stimmgabelton beliebig zu unterbrechen und aus der verflossenen Zeit die jedesmalige Anzahl von Schwingungen, die vergangen waren, zu bestimmen. Es ergab sich, dass ein Ton von 128 Schwingungen nach 17,1 Schwingungen »die erste Spur einer Tonempfindung erzeugte« (S. 233 a. a. O.), und dass ein Ton von 64 Schwingungen nahezu ebenso viel, nämlich 16,8 Schwingungen nöthig hatte. In Zeitwerthe umgerechnet würde das heißen, dass zur Entstehung einer Tonempfindung in dem einen Falle (128 Schw.)  $133 \sigma^2$ , im andern Falle  $266 \sigma$  nöthig waren. Exner fügt aber hinzu: »Wenn ich hier von der Empfindung des betreffenden Tones spreche, so ist damit natürlich nicht gemeint, dass nicht nur eine Gehörsempfindung überhaupt zu Stande kommt, sondern dass eben dieser Ton in seiner bestimmten Höhe erkannt wird«. Es handelt sich also hier um die Zeit, die bis zur vollen Apperception des Tones verging, wenn nicht gar auch noch die Zeit der Wiedererkennung eingeschlossen war. Nach Exner stimmen die Versuche besonders gut zu der Helmholtz'schen Theorie des Mitschwingens. Denn nach dieser kann nicht wohl der einzelne, die gesammten Fasern erregende Luftstoß eine Empfindung verursachen, sondern eine solche kann erst in Folge einer Reihe von Luftstößen entstehen, die mit den Eigenschwingungen der betreffenden Faser übereinstimmen und deren Summirung erst die Elongation der specifischen Faser bis zu der die Schwelle übersteigenden Größe bringt. Im Unterschied dazu würde ein Geräusch, wie das eines überspringenden elektrischen Funkens, durch eine einmalige kurze Einwirkung auf die Schneckenfasern zu Stande kommen, die sich zu jener Art verhält, wie ein scharfes Reißen zu einem langsamen Ziehen.

Zu ähnlichen Ergebnissen, wie Exner, sind v. Kries und

---

1) Zur Lehre von den Gehörsempfindungen. In Pflüger's Archiv Bd. XIII, 1876, S. 228 ff.

2)  $1 \sigma = 1/1000$  Sec.

Auerbach<sup>1)</sup> gelangt, aber auf anderm Wege. Von ihnen stammen die, soviel mir bekannt, bisher einzigen Versuche über die Reactionszeit verschieden hoher Töne. Ihre Methode war die graphische (Kymographiontrommel). Die beiden Reihen von Versuchen, welche die beiden Forscher mitgetheilt haben, sind von sehr verschiedenem Werthe. Zuerst benutzten sie Glockentöne, die ungefähr im Quintenverhältniss standen. Da aber die Entstehung des Schalles nicht gleichzeitig mit der die Schreibvorrichtung in Bewegung setzenden Stromunterbrechung stattfand, auch beim Glockenanschlag ein Nebengeräusch entstand, sind die erhaltenen Werthe unbrauchbar<sup>2)</sup>. Anders steht es um die zweite Versuchsreihe. Hier wurden die auf die Reactions- und Unterscheidungszeit untersuchten Töne durch Stahlplättchen hervorgebracht, welche von Elektromagneten festgehalten werden konnten. Im Augenblick des Loslassens der Plättchen entstand der Ton, und die Schreibvorrichtung notirte zu gleicher Zeit diesen Augenblick. Die Töne hatten 640 und 400 Schwingungen, standen also im Verhältniss einer kleinen Sexte; ein dritter Ton lag »ungefähr« zwischen diesen beiden. Zur Vergleichung wurde jedesmal auch auf das durch einen überspringenden elektrischen Funken entstehende Geräusch reagirt. Die sich ergebenden Reactionszeiten waren:

	Funke	höchster Ton	mittlerer Ton	tiefster Ton
A.	132	142	151	157
K.	129	139	157	158

Aus den Zahlen wird zunächst gefolgert, dass die Reactionszeit mit wachsender Tonhöhe abnimmt, während sie beim elektrischen Funken am kleinsten ist. Der Grund wird mit Exner darin gesucht, dass die Fasern des Corti'schen Organs eine gewisse Anzahl von Schwingungen benöthigen, bis sie »die zur Erregung des Nerven nöthige Excursion« erlangt haben. Die Bestimmung dieser Zahl

1) v. Kries und Auerbach, Ueber die Zeiten der einfachsten psychischen Prozesse. Du Bois-Reymond, Archiv f. Physiologie 1877.

2) C. Stumpf (Tonpsychologie I, S. 215 ff.) hat sie trotzdem herangezogen. Irrthümlich sind dabei die Hundertstel als Tausendstel angegeben. Auch in der mit I bezeichneten Reihe der Unterscheidungszeiten auf S. 216 ist das Komma um eine Stelle nach rechts zu rücken. Die Länge der Unterscheidungszeit der beiden Glockentöne erklärt sich mit v. Kries und Auerbach unbefangen aus der Aehnlichkeit derselben in Folge der Obertöne.

erhält man, wenn man die Differenz der Reactionszeit des elektrischen Funkens und des betreffenden Tones (mit der Schwingungszahl des letzteren multiplicirt. Es ergeben sich die folgenden sechs Zahlen:

A.	6,4	9,5	10,0
K.	6,4	14,0	11,6

Aus allen diesen von zwei verschiedenen Versuchspersonen herührenden und schlecht genug übereinstimmenden Zahlen wurde das Mittel gezogen und geschlossen, dass 9 bis 10 Schwingungen vergehen müssen, »bis überhaupt eine Empfindung entsteht«; es ist damit, wie auch aus der oben angezogenen Stelle hervorgeht, gemeint, bis überhaupt eine Erregung entsteht. Denn zu der durch die 9 bis 10 Schwingungen beanspruchten Zeit tritt ja noch die auch vom elektrischen Funken benötigte Zeit der Fortpflanzung der Erregung durch die Nerven und das Centralorgan. Es wird unten die Frage aufgeworfen werden, wieweit diese ganze Anschauung haltbar erscheint.

v. Kries und Auerbach haben ferner bei der Untersuchung der Unterscheidungszeit derselben zwei Töne gefunden, dass diese ebenfalls beim tieferen Tone länger war, als bei dem höheren. Die Zahlen sind in tausendstel Secunden:

tiefer Ton	hoher Ton
K. 54	49
A. 35	19

Man sieht, eine in Betracht kommende Differenz weisen nur die Zahlen des einen Beobachters (A) auf. Nichtsdestoweniger wurden auch hier wieder die Differenzen 5 und 16 der beiden Beobachter zusammengefasst und ihr Mittel (10) benutzt, um durch eine an sich einwandfreie Rechnung die Anzahl Schwingungen zu bestimmen, welche vergehen müssen, bis eine eingeleitete Ton-erregung zu einer vollen, in ihrer Höhe erkannten oder erkennbaren Tonempfindung (appercipirten Empfindung) führt. Ist nämlich  $x$  diese gesuchte Zahl, sind ferner  $n_t$  und  $n_r$  die Schwingungszahlen der untersuchten Töne,  $U_t$  und  $U_r$  die gefundenen Unterscheidungszeiten und endlich  $y$  die überall gleiche nicht von der Schwingungsdauer abhängige Zeit des eigentlichen psychischen Vorganges, so hat man

$$\frac{x}{n_t} + y = U_t$$

$$\frac{x}{n_r} + y = U_r,$$

also:

$$\frac{x}{n_r} - \frac{x}{n_t} = U_r - U_t.$$

Mit Einsetzung der bekannten Größen ergibt sich, so zu sagen, als Apperceptionsschwelle die Zahl von 10 bis 11 Schwingungen, zusammengenommen mit den zur Erregung nöthigen 10 Schwingungen (Erregungsschwelle), also fast dieselbe Zahl, welche Exner direct für die Apperception eines Tones als nothwendig gefunden hatte. Wenn nur das benutzte Zahlenmaterial übereinstimmender gewesen wäre, und wenn nur nicht die Unterscheidungszeit des einen (tieferen?) Tones und des Geräusches unmittelbar darauf als unter sich und mit dem höheren der vorhin genannten Töne gleich groß gefunden wäre! Wichtig für uns ist, und deshalb musste genauer auf die Sache eingegangen werden, die auch hier hervortretende Grundanschauung, dass der zur Perception und Apperception führende Gesamtprocess in allen Fällen an sich gleich viel Zeit gebraucht, also gleich schnell verläuft; die Zeitunterschiede für hohe und tiefe Töne werden theils auf Rechnung der Zeit der Erregung der Perceptionsorgane gesetzt, theils wird für den Fortschritt der percipirten bis zur appercipirten Empfindung eine längere Dauer des in stets gleicher Schnelligkeit verlaufenden Processes angenommen. Es muss hinzugefügt werden, dass die angeführten Schlussfolgerungen v. Kries' und Auerbach's in der ursprünglichen Abhandlung mit allem Vorbehalt auftreten. Dieselben sind aber später, wenigstens von Auerbach, in ihrem ganzen Umfange aufrecht erhalten worden<sup>1)</sup>.

Wieder auf directem Wege hat Pfaundler »die geringste Anzahl von Schallimpulsen, welche zur Hervorbringung eines Tones nöthig ist«, zu bestimmen versucht<sup>2)</sup>. Er benutzte, wie Mach,

1) Auerbach, Ueber die absolute Anzahl von Schwingungen, welche zur Erzeugung eines Tones nöthwendig sind. Poggendorff's Annalen, N. F. VI, 1879.

2) Pfaundler, Ueber die geringste Anzahl von Schallimpulsen u. s. w. Wiener Berichte 1877. Math. nat. Cl. 76. Bd., II. Abth.

eine Sirene. Durch Anbringen von zwei Blaseröhren auf derselben Löcherreihe, von denen das eine feststand, während das andere beweglich war, gelang es den dem jedesmaligen Abstand der beiden Blaseröhren entsprechenden Ton hörbar zu machen. So wurde eine Scheibe mit 4 Löchern im Abstände je eines Quadranten durch die beiden Blaseröhren angeblasen. Dabei hört man einen Ton mit der Schwingungszahl  $4n$ , wenn  $n$  die Anzahl der Scheibendrehungen in der Secunde bedeutet, und einen veränderlichen, der von bedeutender Höhe im Anfang, wenn die beiden Blaseröhren sich nahe nebeneinander befinden, bis zu  $8n$  herabfällt, wenn das bewegliche Blaserohr um die Hälfte des Löcherabstandes ( $45^\circ$ ) fortbewegt ist, um dann bei weiterer Annäherung an die zum ersten Blaserohr rechtwinklige Stellung wieder zu steigen; ist diese erreicht, so tritt ein Ton  $= 4n$  ein, der variable Ton fällt mit dem constanten zusammen. Pfaundler zieht den Schluss, »dass im Minimum zwei Schallimpulse auf die mitschwebenden Theile des Ohres genügen können, um die Empfindung eines Tones hervorzurufen, und dass diese Empfindung durch rasche Wiederholung zum Bewusstsein gebracht werden kann«. In der That sind es ja immer nur zwei Impulse, welche auf einmal dem Ohre zugeführt werden; aber die beiden Impulse wiederholen sich viermal bei jeder Umdrehung des Rades. Wenn man also auch in Folge dieser Thatsache zugeben will, dass zwei Impulse eine Erregung des Perceptionsorgans hervorzubringen im Stande sind, so ist damit noch nichts für die nothwendige Zahl der Impulse für die Entstehung einer Empfindung bewiesen. Pfaundler setzt auch selbst die Nothwendigkeit der raschen Wiederholung jener zwei Impulse für die Entstehung der bewussten Empfindung voraus. Eine Empfindung übrigens, die erst »zum Bewusstsein gebracht werden« müsste, ist — wenigstens für den Psychologen — keine Empfindung, sondern eine Erregung, so oft auch die Verwechslung zwischen Reiz- oder Erregungsvorgang und Empfindungsvorgang gemacht ist und in Zukunft gemacht werden wird.

Endlich hat Kohlrausch<sup>1)</sup> die Frage zu beantworten gesucht,

1) Kohlrausch, Ueber Töne, die durch eine begrenzte Anzahl von Impulsen erzeugt werden. Wiedemann's Annalen d. Phys. 1880, Bd. X.

wie viel Impulse nöthig sind, um die Höhe eines Tones zu erkennen, welcher durch das Ueberstreichen eines mit Zähnen versehenen Pendels über ein Kartenblatt entstand, und den er direct mit einem Monochordton verglich. Er fand, dass die Zähne des Pendels bis auf zwei entfernt werden konnten, ohne dass die Erkennbarkeit der Tonhöhe, wenigstens bis auf ein Intervall von  $\frac{24}{25}$ , aufhörte; und er fand ferner, dass die größte Genauigkeit in der Auffassung der Höhe des Pendeltones schon bei 16 vorhandenen Zähnen, denen 16 Impulse entsprechen, erreicht war. Danach würden also 2 Schwingungen nicht blos für die Erregung der Faser, sondern auch für die Hervorbringung einer bewussten Empfindung ausreichen. Es fragt sich nur, ob diese an dem Tone des Kartenblattes gemachte Erfahrung auch für andere Töne als verbindlich angesehen werden kann.

Es lassen sich nach dem Mitgetheilten zwei Richtungen der Ansichten über unsern Gegenstand unterscheiden. Die einen, zugleich in dem Bestreben, die Helmholtz'sche Theorie des Mitschwingens möglichst sinnlich auszumalen, nehmen eine Zahl von ungefähr 10 Schwingungen bei jedem Ton als für die Erregung des Organs nöthig an und eine gleich große zur Steigerung der Erregung bis zu einer »charakterisirten« Empfindung. Die andern halten eine viel geringere Zahl (2 bis 5) Schwingungen zur Entstehung einer Erregung oder auch einer Empfindung für ausreichend. Uebereinstimmend wird das Geräusch als auf einer einmaligen Erregung des Organs beruhend aufgefasst. Die Dauer und Geschwindigkeit der durch den Nerven und das Gehirn fortschreitenden psychophysischen Erregung wird, soweit sich aus den besprochenen Ansichten ein Rückschluss darauf machen ließ, überall als in allen Fällen gleich vorausgesetzt.

Was die Reactionszeit auf Töne betrifft, so würde aus der Richtigkeit der ersten Ansicht nothwendig folgen, dass dieselbe mit dem Anwachsen der Tonhöhe stetig sinken muss bis zur kürzesten Zeit der Reaction auf ein Geräusch. Ist die zweite Ansicht richtig, so kann die Reactionszeit offenbar für alle Töne und Gehörseindrücke jedweder Art in weiten Grenzen nahezu gleich sein. Dass sie es ist, dass überhaupt die Reaction auf Eindrücke desselben Sinnesgebietes für dieselbe Person und unter denselben

Bedingungen eine stets gleiche sei, ist zur Zeit die vorherrschende Ansicht. So sagt Wundt<sup>1)</sup>, nachdem er hervorgehoben, dass die sehr erheblichen Reactionszeitunterschiede bei verschiedenen Geruchs- und Geschmacksstoffen in rein physiologischen Bedingungen (Reizverhältnissen) und nicht in psychophysischen ihren Grund haben: »Dagegen sind bei den drei Sinnen, bei denen allein die Reactionszeit die zureichende Regelmäßigkeit darbietet, um eine sichere Untersuchung solcher Einflüsse (nämlich der Qualität) zuzulassen, keinerlei constante Unterschiede bei qualitativ verschiedenen Reizeinwirkungen beobachtet worden. Jedenfalls sind also diese Unterschiede so klein, dass sie gegenüber den sonstigen Einflüssen nicht in Betracht kommen.« Es musste bei der principiellen Wichtigkeit der Sache von Interesse sein, die Reactionszeit auf Töne oder Klänge in einem ausgedehnteren Theile der Scala zu untersuchen, als es bisher geschehen. Denn abgesehen von sonstigen Bedenken konnte die durch v. Kries und Auerbach angestellte Prüfung einer kleinen Sexte unter keinen Umständen für die vorliegende Frage von allgemein verbindlicher Entscheidung sein.

Die sogleich mitzutheilenden Versuche wurden von mir in dem eben verflossenen Sommersemester angestellt. Es beteiligten sich an denselben mit anerkennenswerthestem Eifer die Herren stud. phil. H. von Protz, der bereits im Reagiren vorzüglich geübt war, und stud. philos. Marbe, welcher in besonderen Versuchen zu dem Zwecke eingeübt wurde. Auch Herr stud. theol. Hesse ist mehrfach als Assistent bei den Versuchen thätig gewesen.

Ich gehe zur Versuchsanordnung über. Zuerst erschien es mir möglich, den Tonreiz durch eine einfache Einrichtung an einem Pianino in einer für das zu benutzende Hipp'sche Chronoskop geeigneten Weise herzustellen. Nach Fortnahme der vor den Tasten liegenden Leiste wurde eine mit der elektrischen Leitung in Verbindung gebrachte und vorn mit einem Stift versehene Feder (federndes Kupferblechplättchen) in der Weise unter die Taste geschoben, dass der Stift beim Anschlag der Taste in ein den Strom schließendes, verstellbares Quecksilbernäpfchen eintauchte. Trotz

---

1) Wundt, Phys. Psychologie, 3. Aufl., Bd. II, S. 284.

vorsichtigster Einstellung dieses Näpfchens und trotz sonstiger Vorsichtsmaßregeln (so wurde das Niederdrücken der Tasten durch ein Gewicht bewirkt, um alle Druckunterschiede zu vermeiden), gelang es indessen bei der verwickelten Hebeleinrichtung des Pianinos und der Unregelmäßigkeit der Filzunterlage der Tasten nicht, den Ton gleichmäßig mit dem Schlusse der Leitung und der damit verbundenen Auslösung des Uhrwerkes zu erzeugen. Schon während dieser vergeblichen Vorversuche war eine Anordnung des Versuches ins Auge gefasst, welche das von vornherein als das denkbar richtigste erscheinende Princip zu verwirklichen geeignet war, nämlich die Zeiger des Chronoskops durch den Ton selbst im Augenblick seiner Entstehung in Bewegung setzen zu lassen. Das Hipp'sche Chronoskop in seiner neueren Form gestattet, nicht blos, wie das alte, mit Schluss und Oeffnung, sondern auch unter Benutzung des unteren Elektromagneten mit Oeffnung und Oeffnung zu arbeiten; es lässt überhaupt alle möglichen Fälle, also außer den genannten auch Schluss-Schluss und Oeffnung-Schluss, zu. Leitet man nun einen Strom durch die zur Erregung des jedesmaligen Tones zu benutzende Saite in der Weise, dass mit dem Augenblicke der physikalischen Entstehung des Tones, also mit dem Augenblicke des Loslassens der Saite und ihrer ersten Schwingung, der Strom geöffnet wird, und ist die unmittelbare Folge dieser Oeffnung die Bewegung der Uhrzeiger, die durch die Reaction wieder in Stillstand gerathen, so sind offenbar die Bedingungen für eine richtige Messung der Reactionszeit bei verschieden hohen Tönen oder Klängen in befriedigendster Weise erfüllt.

Es führte dies zu der aus der nebenstehenden Abbildung (Fig. 1) leicht zu verstehenden Versuchsanordnung. *B* ist die Batterie; es wurden acht große Meidinger'sche Ballonelemente benutzt. *W* ist der Stromwender. Von ihm gehen zwei Stromkreise aus; dieselben seien im Folgenden in Uebereinstimmung mit der Zeichnung als innerer und äußerer bezeichnet. Der innere geht durch den Rheostaten (*Rh*), das Chronoskop (*Ch*) in das durch ein großes Zimmer von dem ersten getrennte Reagentenzimmer zum Reactionstaster (*T*), Controlhammer (*Ctrh*), elektrischen Hammer (*H*) und endlich zurück in den Stromwender; der zweite (äußere) Kreis geht vom Stromwender sofort in das Reagentenzimmer, durch den

gleich zu beschreibenden Tonerzeuger (*Tonerz.*) und wieder zurück zum Stromwender.

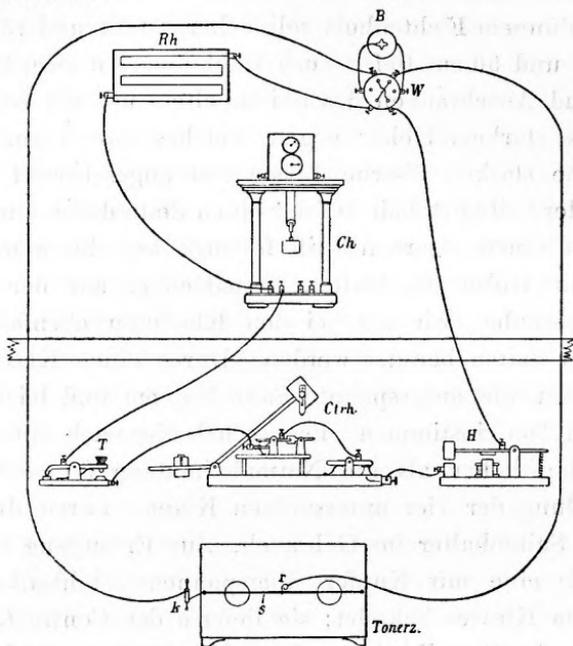


Fig. 1.

Figur 2 veranschaulicht den Tonerzeuger. Durch die selbständige und zeitraubende Ueberwachung der Construction und

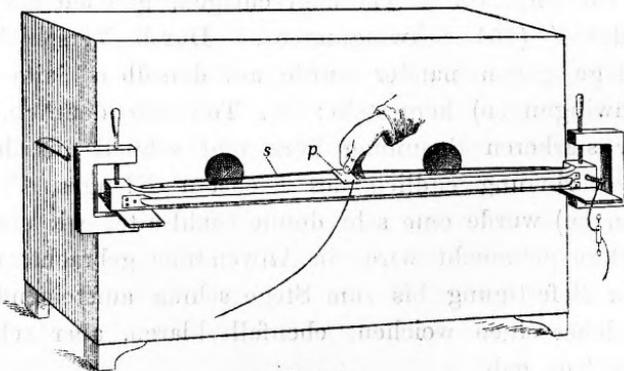


Fig. 2.

Ausführung desselben hat sich der mitarbeitende Herr Marbe ein besonderes Verdienst um diese Arbeit erworben. Der Apparat

besteht, wie man sieht, im wesentlichen aus zwei Theilen, einem Resonanzkasten und einem Saitenhalter. Der erstere war aus trockenem, dünnem Fichtenholz solide hergestellt und 130 cm lang, 90 cm hoch und 50 cm tief. Vorn trägt derselbe zwei Bretter zum Auflegen und Anschrauben des Saitenhalters mit der Saite. Dieser bestand aus starkem Holz, gegen welches zur Vermeidung der Biegung eine starke, eiserne Leiste fest angeschraubt war. Das Befestigen der Saite geschah auf der einen Seite durch eine Schlinge, die sich um einen eisernen Stift festzog, auf der anderen durch eine in dem Holze des Halters festsitzende, auf der Zeichnung sichtbare Schraube, wie sie bei den Klavieren ebenfalls zur Befestigung der Saiten benutzt werden. Durch einen Klavierschlüssel ließ sich somit die aufgespannte Saite bequem und leicht auf den gewünschten Ton einstimmen. Es geschah dies nach einem Pianino, das ein wenig höher als die Normalstimmung ( $a^1 = 440$ ) stand. Zur Herstellung der vier untersuchten Klänge waren drei der beschriebenen Saitenhalter im Gebrauch. Zur Erzeugung des tiefsten Tones diente eine mit Kupfer überspinnene Stahlsaite, wie sie sich in jedem Klavier befindet; sie lieferte das Contra- $C$  ( $C' = 33$  Schwingungen). Dasselbe klang in Folge des Resonanzkastens voll und kräftig, mindestens wie von einer guten Bassgeige. Die zweite Saite, ebenfalls Klaviersaite von Stahl, aber nicht überspinnen, diente zur Herstellung der folgenden zwei Klänge; in einer Ausdehnung von ungefähr 45 cm angeschlagen, gab sie ein schönes, aushaltendes  $c'$  (264 Schwingungen). Durch Verschiebung der beiden Stege gegeneinander wurde auf derselben Saite auch  $c'''$  (1056 Schwingungen) hergestellt; der Ton war deutlich, aber in Folge der stärkeren Spannung kurz und schnell ausschwingend. Zur Hervorbringung endlich des höchsten Klanges ( $c'''' = 2112$  Schwingungen) wurde eine sehr dünne Stahlsaite, wie sie von den Zitherspielern gebraucht wird, in Anwendung gebracht, und zwar das an der Befestigung bis zum Stege schräg aufsteigende, kurze Stück, welches einen weichen, ebenfalls klaren, aber schnell ausklingenden Ton gab.

Vermittelt einer Klemmschraube (wie in Fig. 2) oder durch sorgfältige Verschlingung wurde nun das eine Ende der Saite in die äußere der beiden Leitungen eingeschaltet. Der Schluss dieses

Stromkreises, der bei der Wiederöffnung die Tonerregung vermitteln musste, wurde auf zweierlei Art bewirkt. Bei der tiefsten (umgespannenen) Saite war die Herstellung desselben eine andere, als in den übrigen Fällen. Wie Fig. 2 zeigt, war an den Saitenhalter in der Mitte desselben eine Messingplatte ( $p$ ) fest angeschraubt. Die eine der dabei benutzten Schrauben hielt zugleich den auch auf der Zeichnung angedeuteten Leitungsdraht. Wenn also die Saite ( $s$ ) fest an diese Platte gedrückt wurde, war der Schluss der äußeren Leitung ein vollständiger. In dem Augenblick, wo die Hand die Saite losließ, entstand zu gleicher Zeit der gewünschte Ton, sowie die Oeffnung des Stromkreises. In der Regel wurden beim Andrücken der Saite, was eine ziemlich starke Anspannung erforderte, beide Hände benutzt, nicht, wie die Zeichnung der Deutlichkeit wegen angibt, nur die eine. Die Hände waren mit weichen wollenen Handschuhen bekleidet. Auf diese Weise gelang es, einen kräftigen, schönen Ton zu erzeugen, ohne irgend welche nennenswerthe Nebengeräusche. Allerdings darf nicht verschwiegen werden, dass wenigstens für den Verfasser der erste Oberton ( $C = 66$ ) fast ebenso laut zu hören war als der Grundton, besonders beim Beginn des Schwingens, also gerade zu der in Betracht kommenden Zeit; bei längerem Aushalten drang schließlich der Grundton stärker durch.

In den anderen Fällen wurde die Saite mittelst eines metallenen Ringes angeschlagen, wie ihn die Zitherspieler benutzen. An denselben war ein Drath angelötet, der dann mit der Leitung direct verknüpft werden konnte. In der schematischen Zeichnung (Fig. 1) ist dies Verfahren angedeutet. Der dort gezeichnete Ring ( $r$ ) befand sich bei Ausführung der Versuche auf dem Daumen des betreffenden Herrn, der den Tonerzeuger bediente. Der Stift des Ringes wurde so lange fest gegen die Saite gedrückt, bis der Ton erklingen sollte; so lange war dann also auch wiederum der äußere Stromkreis geschlossen. Hier musste sorgfältig Acht gegeben werden, dass nicht durch zu heftiges Anschlagen der Saite ein momentanes Nebengeräusch entstand. Mit der nöthigen Vorsicht ließ sich dies in ausreichendem Maße vermeiden.

Nach dem Vorausgeschickten ist der Ablauf des einzelnen Versuches unmittelbar verständlich. So lange die Saite mit ihrem

Contacte (Messingplatte oder Zitherring) in Verbindung steht, sind beide Stromkreise geschlossen; in Folge des Widerstandes im inneren Kreise geht der Strom aber durch die äußere Bahn, also durch den Tonerzeuger und nicht durch das Chronoskop; die Zeiger des letzteren stehen still. Im Augenblick der Entstehung des Tones und gleichzeitigen Oeffnung des äußeren Kreises muss der Strom durch die innere Bahn, der untere Elektromagnet des Chronoskops tritt in Function; die Zeiger setzen sich in Bewegung. Nach vollzogener Reaction sind beide Kreise geöffnet; die Zeiger stehen wieder still. Es waren also stets drei Personen thätig, eine vor dem Chronoskop, die andere am Tonerzeuger und die dritte als Reagent.

Jedem Versuche ging ein doppeltes Signal voraus. Das erste bestand in vier schnell aufeinander folgenden Glockenschlägen. Es war das Zeichen, dass der Contact am Tonerzeuger hergestellt werden sollte. Ob dies geschehen, konnte der am Chronoskop sitzende Experimentator an der Stellung der beweglichen Zeigerachse genau controliren. Nachdem dann die mechanische Arretirung des Chronoskops entfernt war, folgte das zweite Signal, ein einmaliger Glockenschlag. Diesem hatte der am Tonerzeuger sitzende Assistent die Hervorbringung des Tones genau anzupassen nach dem bekannten günstigen Intervall von etwas über 1 sec. In demselben Intervall wurde auch möglichst die Aufeinanderfolge des ersten und zweiten Signals gehalten, was nur in den Fällen, wo die Chronoskopfeder nicht gleich richtig ansprach, nicht vollständig erreicht werden konnte. Durch diese Maßregel wurde also für eine möglichst genaue Vorbereitung der Aufmerksamkeit Sorge getragen.

Die folgende Tabelle enthält die Zusammenstellung der Versuchsergebnisse;  $n$  bedeutet die Anzahl der Einzelversuche, aus denen das unter  $R$  angegebene Mittel gewonnen ist.

Tabelle I.

a) Reagent *G. M.*

Dat.	Ton	$R$	$mV$	$n$	Controlz.	$mV$
31. VII.	$C'$	155,9	12,7	18	124,2	0,76
»	$c'$	145,0	6,8	12	»	»
»	$c'''$	139,4	4,4	13	»	»
1. VIII.	$c''''$	127,1	11,2	18	»	»
31. VII.	Hammer	109,1	8,8	15	»	»

b) Reagent *v. Pr.*

Dat.	Ton	<i>R</i>	<i>mV</i>	<i>n</i>	Controlz.	<i>mV</i>
24. VII.	<i>C'</i>	150,3	5,8	14	123,1	1,7
»	<i>c'</i>	138,3	7,7	18	»	»
»	<i>c'''</i>	125,5	7,7	17	»	»
»	<i>c''''</i>	116,8	8,2	12	»	»
»	Hammer	117,3	8,4	19	»	»

c) Reagent *Mb.*

Dat.	Ton	<i>R</i>	<i>mV</i>	<i>n</i>	Controlz.	<i>mV</i>
23. VII.	<i>C'</i>	142,3	12,2	19	124,2	1,0
»	<i>c'</i>	139,3	8,9	18	»	»
»	<i>c'''</i>	119,7	8,8	16	»	»
»	<i>c''''</i>	104,0	8,3	14	»	»
»	Hammer	109,2	8,0	18	»	»

In Tab. I, a fehlt für den einen Werth vom 1. VIII. leider die Controlzeit; da dieselbe Wochen lang nahezu constant war, hat dies nichts auf sich. Wohl aber lässt sich ein anderer Einwand gegen die unmittelbare Vergleichbarkeit der in den Tabellen enthaltenen Werthe machen. Wie man sich erinnert (vergl. Fig. 1), war der elektrische Hammer sowohl, wie der Controlhammer, in den inneren Kreis eingeschaltet; bei den Controlversuchen und den Hammerreactionen wurde also nur dieser benutzt (Schluss-Oeffnung). Daraus lässt sich der Einwand erheben, dass der Controlhammer wohl die Verhältnisse bei der Hammerreaction ausreichend controlirt habe, aber nicht die bei der Tonreaction in Betracht kommenden Umstände. Denn die Einschaltung der Saiten in den äußeren Stromkreis könnte die gesammten Intensitätsverhältnisse des benutzten Stromes in einer Weise beeinflussen, welche für das Resultat nicht unberücksichtigt bleiben dürfe. Kurz, der Controlhammer gäbe dann wohl eine Gewähr für die Regelmäßigkeit der Function der Uhr und die Unversehrtheit der Versuchseinrichtung, biete aber nicht die »elektromagnetische Correction«. Um diesem Einwande, der sich mir erst zuletzt aufdrängte, zu begegnen, musste also der Einfluss der verschiedenen in den äußeren Kreis eingeschalteten Saiten auf die Controlzeit nachträglich ermittelt werden.

Es ließ sich dies auch mit dem Controlhammer selbst in einfacher Weise erreichen. Derselbe besitzt eine Einrichtung, die ihn geeignet macht, zum zweimaligen Oeffnen zu dienen, wie dies unsere Versuchseinrichtung verlangte. Der obere Hebel, welcher durch den herabfallenden Hammer gegen die von einer Feder gestützte Platte gedrückt wird, wobei er für gewöhnlich den Strom schließt, drückt die ganze Platte nach abwärts und öffnet dadurch zugleich einen seitlichen Contact derselben mit einer über sie übergreifenden und mit einer Klemmschraube für die Drahtleitung versehenen zweiten Platte. Diese Oeffnungseinrichtung wurde also für unseren inneren Kreis benutzt, während der äußere Kreis in die für den aufschlagenden Hammer auch sonst vorhandene Oeffnungsvorrichtung eingeschaltet wurde. Die Spiralfeder, von welcher die Genauigkeit des jetzt benutzten Contactes der Platte abhängt, war kurz vorher von mir erneuert worden. Mit dieser Neueinrichtung wurde nun für jede benutzte Saite die Controlzeit ermittelt, und zwar unter denselben Umständen wie bei den Reactionsversuchen, indem also ein Assistent den Schluss des äußeren Kreises auf die gewöhnliche Weise am Tonerzeuger herstellte. Da nach der Einrichtung des Controlhammers der Schluss durch den Contacthebel früher eintritt als die erst nach Ueberwindung des wenn auch geringen Federwiderstandes mögliche Oeffnung, war von vornherein zu erwarten, dass die Zeiten bei der neuen Anordnung um ein wenig kürzer ausfallen würden. In der That erhielten wir bei der Einschaltung der Stahlsaite ( $c'$  u.  $c'''$ ) die Controlzeit 118,2 ( $mV = 0,75$ ), und bei den beiden anderen Saiten ( $C'$  u.  $c''''$ ) übereinstimmend die Zahl 113,5 ( $mV = 0,75$  und  $1,0$ ), während der Durchschnitt der Controlzeit in der alten Anordnung 123,8  $\sigma$  betrug. Nehmen wir an, was wohl kaum gewagt sein dürfte, dass der Unterschied von 5,6  $\sigma$  zwischen den Zahlen 118,2 und 123,8 auf die durch die Veränderung der Versuchsanordnung beruhende geringe Verkürzung der gemessenen objectiven Zeit zurückzuführen sei, dass also die bei diesen beiden Controlzeiten erhaltenen Reactionszeiten unmittelbar vergleichbar sind, so bleibt nur noch übrig, die bei der Controlzeit 113,5 erhaltenen Werthe auf die Zeit 118,2 zu reduciren, um überall genau vergleichbare Werthe zu besitzen. Auf diese Weise erhalten wir als endgültiges Zahlenmaterial die in

Tabelle II zusammengestellten drei Reihen. Bei der Berechnung sind die Bruchtheile der benutzten Zahlen fortgelassen.

Tabelle II.

<i>R</i>	<i>C'</i>	<i>c'</i>	<i>c'''</i>	<i>c''''</i>	Hammer
<i>G. M.</i>	165,6	145,0	139,4	131,5	109,1
<i>v. P.</i>	155,3	138,3	125,5	121,1	117,3
<i>Mb.</i>	146,9	139,3	119,7	107,6	109,2

Fassen wir das unmittelbar in die Augen fallende Resultat der Tabelle in einem Satze zusammen, so würde derselbe lauten:

Die Reactionszeit auf die innerhalb der sechs Octaven zwischen *C'* und *c''''* liegenden Klänge nimmt mit Zunahme der Schwingungszahl derselben stetig ab und erreicht in der Gegend des *c''''* die Kürze der Reactionszeit der Geräusche.

Wichtig für die Beurtheilung dieser Ergebnisse ist zunächst die befolgte Reactionsweise. Da es sich um einfache Reactionen handelte, lag es nahe, die muskuläre Art der Reaction ausschließlich zu bevorzugen. Es stellte sich dies jedoch als schwierig heraus. Vergleichende Vorversuche hatten das unerwartete Ergebniss, dass die muskuläre Reaction einerseits von den Reagenten überhaupt schwer ausgeführt werden konnte, andererseits mehrfach zu höheren Beträgen führte, als die sensorielle in der von mir neulich beschriebenen Form <sup>1)</sup>. Die Neuigkeit der Reize lenkte offenbar die Aufmerksamkeit so stark auf sich, dass die Vorschrift, die Aufmerksamkeit auf die Bewegung zu richten, nicht andauernd und streng befolgt werden konnte. Es hätte zu weit geführt, dieses eigenthümliche Verhalten weiter zu verfolgen und festzustellen, wie schnell der störende Einfluss der neuen Verhältnisse auf die Reactionsform überwunden wäre. In Folge dessen wurde bei den weiteren Versuchen ausschließlich die Aufmerksamkeit auf den Reiz gerichtet, dabei aber möglichst schnell reagirt, so dass von einer Apperception des Eindrucks keine Rede sein konnte. Sobald einmal eine längere Apperception stattfand, hatte der Reagent dies zu

1) Vergl. diesen Band der Studien S. 212.

bemerkten und der Werth wurde gestrichen. Auffallend dabei war wieder die Sicherheit der Selbstbeobachtung der Reagenten; ich sah darin eine Bestätigung der Ansicht, dass die subjective Zeitschätzung solcher kleiner Zeitwerthe direct von der Klarheit der betreffenden Vorstellungen abhängig ist, jedenfalls mit davon abhängig ist. Es ist nicht unmöglich, dass von dieser Beobachtung aus für den ganzen Zeitsinn und die Frage nach dem Wesen desselben eine weitere Aufklärung gewonnen werden könnte.

So stellen sich denn die Zeitdifferenzen, die aus den Versuchen sich ergeben, als Unterschiede der Perceptionsdauer der Klänge dar und zwar in Abhängigkeit von den Unterschieden ihrer Schwingungszahlen. Dass diese Abhängigkeit besteht, folgt einmal aus der Stetigkeit, mit welcher die Reactionszeit bei wachsender Schwingungszahl abnimmt, sodann aus dem Umstande, dass die Schwingungszeiten die einzig variablen Elemente des sonst durchaus gleichartigen Reactionsvorganges sind.

So ergibt sich denn anscheinend eine Bestätigung der ersten der beiden oben geschilderten Ansichten über den Perceptionsvorgang der Töne, welche eine größere, aber bestimmte Anzahl von Schwingungen als nothwendig für die Erregung des Perceptionsorgans ansah. Um dies zu verfolgen, haben wir zunächst die Differenzen der Zeiten der Klangreaction mit den Zeiten der Hammer- oder Geräuschreaction zu bilden. Wir erhalten so Tabelle III.

Tabelle III.

<i>N</i>	<i>C'</i>	<i>c'</i>	<i>c''</i>	<i>c'''</i>	<i>R</i>
1	56,5	35,9	30,3	22,4	<i>G. M.</i>
2	38,0	21,0	8,2	3,8	<i>v. Pr.</i>
3	37,7	30,1	10,5	-1,6	<i>Mb.</i>

Berechnet man dann aus diesen Zeitwerthen die Anzahl der Schwingungen, welche zur Erregung des Perceptionsorgans bei den einzelnen Klängen nöthig sind, indem man die gefundenen Zeiten in die Schwingungszahlen multiplicirt, so ergeben sich die folgenden Reihen, welche also nicht mehr Zeiten, sondern Schwingungszahlen bedeuten:

Tabelle IV.

<i>N</i>	<i>C'</i>	<i>c'</i>	<i>c''</i>	<i>c'''</i>	<i>R</i>
1	1,9	9	31	47	<i>G. M.</i>
2	1,3	5,5	8,7	8,0	<i>v. Pr.</i>
3	1,2	7,9	11,6	-3,4	<i>Mb.</i>

Die drei Reihen bieten ein ganz unerwartetes Bild. Sollte die Theorie sich bewahrheiten, so hätten die Zahlen annähernd sämtlich gleich ausfallen müssen. Dass es nicht möglich ist, aus diesen Zahlen einen Durchschnittswerth zu bilden und diesen als die Anzahl der zur Erregung nöthigen Schwingungen anzusehen, dürfte keiner weiteren Begründung bedürfen, obschon durch einen artigen Zufall die Durchschnittszahl 8,4 sein, also mit der durch v. Kries und Auerbach gefundenen auffallend gut übereinstimmen würde. Auch dass die Zahl der das Perceptionsorgan in volle Erregung setzenden Schwingungen mit der Höhe des zu erzeugenden Tones ansteigt, lässt sich nicht aus der Tabelle folgern, so sehr auch die Reihe 1 (*G. M.*) hierauf hinzuweisen scheint. Es widersprechen die beiden andern Reihen. Hier wächst die gefundene Anzahl zwar ebenfalls von 1 bis zu einem bei *c''* liegenden Maximum, fällt aber sogleich wieder ab, und zwar zeigt Reihe 2 (*v. Pr.*) gerade den Beginn des Abnehmens, während wir in Reihe 3 bereits eine negative Zahl für den Klang *c'''* erhalten haben. Das Erscheinen dieser negativen Zahl muss über die Theorie, nach welcher sie gefunden ist, den Stab brechen, sobald wir voraussetzen, dass sie nicht auf Zufall beruht, dass vielmehr auch bei den andern Reagenten, wie dies nach Tabelle II durchaus nicht unwahrscheinlich ist, die Differenz der Klang- mit der Geräuschreaction gleich Null oder negativ geworden wäre, falls wir nur die Versuche mit höheren Tönen als *c'''* fortgesetzt hätten. Denn eine Tonempfindung, die um die Zeit einer gewissen Anzahl von Schwingungen früher entsteht, als der Beginn der Saitenschwingungen, auf welchen sie beruhen soll, kann es schlechterdings nicht geben. Ferner wäre es nicht gerade wahrscheinlich, dass die tiefen Töne weniger Schwingungen zur Erregung des Organs nöthig haben sollten, als die höheren. Es würde an diesen Verhältnissen auch nichts geändert, falls wir für das Contra-*C* (*C'*) in der Berechnung

das große *C* einsetzen, was in der That der Natur des benutzten Klanges nicht widersprechen würde. Alle diese Umstände vereinigen sich, um den Schluss zu ergeben, dass nach den mitgetheilten Versuchen und unter Voraussetzung von deren Gültigkeit die auf der Theorie des Mitschwingens fußende Annahme, dass eine bestimmte größere Anzahl von Schwingungen vergehen muss, ehe eine Erregung zu Stande kommt, nicht richtig sein kann. Und dieses Ergebniss folgt aus Versuchen, welche die Verschiedenheit der Reactionszeiten in den verschiedenen Theilen der Tonscala bestätigt haben, während doch diese Verschiedenheit gerade die vornehmste Stütze jener Theorie zu sein schien.

Wie erklärt sich dann aber die Verschiedenheit der Reactionszeiten und die daraus folgende Verschiedenheit der Perceptionsdauer der Klänge? Die innere Folgerichtigkeit der entwickelten Gedanken führt zu dem Schluss, dass, wenn der Grund des Zeitunterschiedes nicht in der für die Erregung des Organs nothwendigen mit der Schwingungszahl variablen Zeit liegt, er nur in der Natur des gesammten Erregungsprocesses gesucht werden kann; es ist dann die Annahme nicht abzuweisen, dass die Geschwindigkeit des psychophysischen Erregungsvorganges bei den verschiedenen Tönen verschieden ist. Diese Folgerung wäre, ebenso unerwartet wie sie war, doch ebenso weittragend. Jedwede Erregung einer Faser würde zu einer Erregung des gesammten Mechanismus der Leitung und des Centrums führen, würde den Molekülen der Leitungs- und Centralsubstanz eine Bewegung von bestimmter Art und Geschwindigkeit mittheilen. Schon nach zwei Schwingungen würde eine Stetigkeit des specifischen Bewegungszustandes erreicht sein. Es könnte verlockend erscheinen, die sich so ergebende Anschauungsweise zu verfolgen und auszumalen. Die Unterschiede der Intensität würde man nach Analogie der Saitenschwingungen in größerer Weite der Bewegung des Einzelmoleküls suchen oder auch in dem Betheiligtein einer größeren Anzahl von Molekülen unter Beibehaltung der Geschwindigkeit der Fortpflanzung des Bewegungsvorgangs von Molekül zu Molekül. Die Unterschiedsschwellen für Qualität und Intensität würden sich aus dem Widerstand, welchen der eine Bewegungszustand dem Uebergang in einen neuen entgegengesetzt, von selbst erklären. Licht und Schall würden sich nicht

nur im Augenblick des Reizungsvorganges, sondern im ganzen Verlauf des ihnen zu Grunde liegenden psychophysischen Geschehens verhalten wie chemischer und physikalischer Bewegungsprocess. Vielleicht ließe sich aus dem gebotenen oder noch zu gewinnenden Zahlenmaterial auch der Versuch einer mathematischen Behandlung des Problems machen, wie es jüngst von Ebbinghaus<sup>1)</sup> in Betreff der Lichtempfindungen und der ihnen zu Grunde liegenden Vorgänge geschehen ist.

Jedoch wir verzichten vor der Hand auf diese Speculationen, um noch einige Bedenken zu besprechen, welche sich den gezogenen Folgerungen entgegenstellen können. Diese stützten sich auf die Voraussetzung, dass in Tab. III, 3 hervorgetretene negative Vorzeichen bei Fortsetzung der Versuche mit höheren Klängen auch in den übrigen Reihen zum Vorschein gekommen sein würde. Sehen wir jetzt von dieser Voraussetzung ab und schieben die Erscheinung des negativen Werthes auf Rechnung der gewöhnlichen Schwankungen der Reactionszeiten, so entsteht die Frage, ob nicht auch unter der Annahme, dass nur zwei bis höchstens fünf Schwingungen vergehen, bis eine Tonempfindung entstehen kann, die gefundenen Differenzen der Reactionszeiten sich erklären lassen, so dass also die zweite der oben unterschiedenen Ansichten bestätigt würde. Wir müssen dann als abzuziehen für den Erregungsvorgang die Dauer von 1 bis 4 Schwingungen rechnen; denn die letzte Schwingung bringt die Empfindung hervor, leitet damit den Reactionsvorgang ein, wie es auch der Geräuschreiz thut, und darf mithin nicht mitberechnet werden. Tabelle V bietet einen bequemen Ueberblick über die für 1 bis 4 Schwingungen der benutzten Töne nöthigen Zeiten.

Tabelle V.

<i>S</i>	<i>C'</i>	<i>C</i>	<i>c'</i>	<i>c''</i>	<i>c'''</i>
1	30	15	4	0,9	0,5
2	60	30	7	1,8	0,9
3	90	45	11	2,7	1,4
4	120	60	15	3,6	1,9

1) Ebbinghaus, Ueber den Grund der Abweichungen vom Weber'schen Gesetz bei Lichtempfindungen. Pflüger's Archiv Bd. XLV.

Unter  $S$  ist die Anzahl der Schwingungen angegeben, deren Zeiten in den übrigen Reihen enthalten sind; die Einheit ist wieder 0,001 sec. Man sieht, dass für  $c''''$  und auch für  $c'''$  die Dauer selbst von 4 Schwingungen so kurz ist, dass sie gegenüber der gesammten Reactionszeit verschwindet, dass also auch bei Geltung der nunmehrigen Annahme in dieser Höhe der Tonscala die Reactionszeit für Geräusch und Klang einander sich nähern müssten. Man sieht ferner, dass die Zahlen der Tabelle V mit denen der Tabelle III verglichen noch am besten übereinstimmen, wenn man 2 Schwingungen für die Perceptionsschwelle rechnet, also 3 Schwingungen als für die Entstehung einer Empfindung nöthig ansieht. Es kommt hinzu, dass die Zahlen der Tabelle III möglicher Weise nach größerer Uebung sich noch verkürzen würden. Die schon von v. Kries und Auerbach gemachte Beobachtung, dass der Einfluss der Uebung bei Tonreactionen ein bedeutender ist, bestätigte sich auch bei uns. Die mitgetheilten Zahlen sind die dritten von uns gewonnenen. Die ersten waren ein gut Theil höher, wenn auch von Anfang an ihr Verhältniss die gleiche Gesetzmäßigkeit aufzeigte. So betrug, um nur den extremsten Fall zu nennen, für v. Pr. die zuerst erhaltene Reactionszeit auf  $C'$  200,96, die auf  $c''''$  130,60 bei einer normalen Hammerreactionszeit von 122,1  $\sigma$ . Somit mag zugegeben werden, dass die Annahme, dass 3 Schwingungen für die Hervorbringung einer Tonempfindung nöthig sind, einen Widerspruch mit den von uns gefundenen Thatsachen nicht einschließt. Auf keine Weise ließe sich dieselbe aber aufrecht erhalten, falls sich eine bestimmte, nur innerhalb individueller Anlagen variable Grenze herausstellte, von der an alle Tonreactionszeiten kleiner wären als die Zeiten der Reaction auf ein Geräusch.

Zu einem anderen allgemeinen Bedenken könnte der Umstand Veranlassung geben, dass es sich in unsern Versuchen um Klänge und nicht um Töne handelte. Einmal könnte man daraus folgern, die ganzen Versuche seien nicht beweiskräftig; denn thatsächlich sei ja nicht auf die Töne mit den angegebenen und zur Berechnung benutzten Schwingungszahlen reagirt, sondern auf eine ganze Reihe von Tönen mit den entsprechenden Vielfachen der Schwingungszahlen; sodann könnte man gegen die Theorie von der verschie-

denen Geschwindigkeit der psychophysischen Erregungsvorgänge einwenden, dass sie den Widerspruch einschliesse, dass die Theiltöne eher in der Empfindung vorhanden seien, als die Grundtöne. Diese Einwände werden in den Augen des Physikers, vielleicht auch in denen des Physiologen, ein größeres Gewicht haben, als in denen des Psychologen. Die ersteren halten sich an das, was sie durch äußere Beobachtung oder Rechnung erfahren, dieser an das, was er im Bewusstsein vorfindet; jene sind geneigt, in den äußeren Bewegungsvorgängen, diese in den inneren Bewusstseinsvorgängen das Wesentliche und einzig Wirkliche zu sehen, während in Wahrheit die Wirklichkeit, die Natur im vollen Sinne des Wortes, beide Welten, die bewusste und unbewusste gleichmäßig einschließt. Nun bleiben die Theiltöne als solche in der Regel, wenn sie nicht eine besondere Stärke besitzen, unbewusst; für den Psychologen wird also ihre physikalische oder physiologische Existenz nicht ausschlaggebend sein. Ihm ist zur Einleitung der Reactionsbewegung die bewusste Empfindung eine nothwendige Bedingung. Ein Reiz, der so schwach ist, dass er keine Empfindung auszulösen im Stande ist, vermag auch nicht der Anlass einer Reactionsbewegung zu werden; also kommen die Theiltöne nur in Betracht, wenn sie eine außergewöhnliche Stärke besitzen. Und in ähnlicher Weise ist auch auf den zweiten Einwand zu antworten. Es ist ganz wohl denkbar, dass die psychophysischen Erregungen, welche die hohen Theiltöne erzeugen, schneller verlaufen, als die der zugehörigen Grundtöne. Die Beobachtungen an tiefen Klängen mit starken Theiltönen scheinen dies sogar direct zu bestätigen. Das hindert nicht die Entstehung des bekannten Gesamteffects des Klanges; denn die psychophysischen Erregungen, welche die Theiltöne hervorbringen, dauern an, so lange die Erregung andauert, welche den Grundton begleitet; jener Gesamteffect entsteht also erst, wenn die langsameren Erregungen durch den Grundton die schnelleren des Theiltones so zu sagen eingeholt haben.

Wir fassen die Ergebnisse dieser Arbeit in den folgenden Sätzen zusammen:

- 1) die Reactionszeiten auf Klänge nehmen mit wachsender Höhe derselben, soweit sich die bisherige Untersuchung erstreckt hat, stetig ab.

- 2) Die auf die Arbeiten Exner's, v. Kries' und Auerbach's sich stützende Ansicht, dass zur Entstehung einer Tonempfindung ca. 10 Schwingungen nöthig seien, welches auch die Höhe des Tones sein mag, ist unhaltbar.
- 3) Die Perceptionsdauer der Töne ist in weitem Umfange der Tonscala (C' bis c''') eine Function ihrer Schwingungszahlen. Es bleibt zu entscheiden, ob der Grund darin zu suchen ist, dass erst nach ungefähr drei Schwingungen die Erregung des Perceptionsorgans oder der Centralsubstanz die Schwelle überschritten, oder ob der Grund in der verschiedenen, von der Geschwindigkeit der Impulse abhängig zu denkenden Geschwindigkeit des leitenden und centralen Erregungsvorgangs selbst angenommen werden muss.

Zum Schluss eine persönliche Bemerkung. Diese Arbeit ist im hiesigen psychologischen Laboratorium angefertigt. Dasselbe, zur Zeit Privatsache, befindet sich in Räumen des hiesigen physikalischen Instituts, welche dem Verfasser von dem derzeitigen Director, Herrn Prof. Dr. Heinr. Hertz, in entgegenkommendster Weise überwiesen worden sind. Es ist mir eine angenehme Pflicht, demselben auch an dieser Stelle dafür meinen verbindlichsten Dank auszusprechen.

---