

Ueber die Unterschiedsempfindlichkeit für Tonhöhen.

Von
Eduard Luft.

Bei der fundamentalen Stellung, die dem Weber'schen Gesetze von Anfang an im Tongebiete angewiesen wurde, musste es von höchster Wichtigkeit erscheinen, dieses Gebiet hinsichtlich der Gültigkeit des psychophysischen Gesetzes einer eingehenden Untersuchung zu unterwerfen und hierbei besonders die Fechner'sche Fundamentalformel

$$di = K \frac{d\beta^*}{\beta}$$

zu erproben. In der Formel bedeutet $d\beta$ einen unendlich kleinen Reizzuwachs zum ursprünglichen Reize β , K eine Constante und di die dem Reizzuwachs entsprechende Empfindungsänderung. In anderen Sinnesgebieten war man zur Prüfung des genannten Gesetzes zumeist nicht von der logarithmischen Integralform desselben

$$i = K \log \text{nat} \frac{\beta}{b}$$

(unter b die Integrationsconstante verstanden) ausgegangen, sondern hatte die Verification der erstgenannten Formel versucht. Dass dahinzielende Versuche im Tongebiet ziemlich lange auf sich warten ließen, hatte zum großen Theile seinen Grund darin, dass die unmittelbar vorliegende Thatsache, nach welcher wir die Tonintervalle nicht nach absoluten, sondern nach relativen Unterschieden der Schwingungszahlen abmessen, eine Gewähr für die Gültigkeit

1) Fechner, Elemente der Psychophysik II, pag. 10.

des Weber'schen Gesetzes zu geben schien. Und so nahm Fechner bei Begründung der Psychophysik das Gesetz auf dem Gebiete der Tonqualitäten als bewiesen an, wenn er sagt¹⁾: »Inzwischen bedarf es zur Bestätigung des Gesetzes in dieser Hinsicht, d. h. vermittelt der Prüfung der eben merklichen Unterschiede, nicht erst besonderer Versuche, da es eine einfache und so zu sagen notorische Aussage des musikalischen Gehörs ist, dass gleichen Verhältnissen der Schwingungszahlen eine als gleich groß empfundene Tondifferenz entspricht, so dass man das Gesetz hier directer als sonst irgendwo und zwar auch für große Unterschiede erwiesen halten kann.« Der andere Grund einer unbedingten Annahme der Gültigkeit des Gesetzes für das Tongebiet lag in der einfachen Erfahrungsthat- sache, dass für hohe Töne die Unterschiedsschwellen viel größer sind als in den niederen Tonlagen. Was nun zuerst diesen Punkt anlangt, so ist die darin ausgesprochene Beobachtung durchaus noch nicht beweiskräftig genug für die Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes, denn wenn auch wirklich mit zunehmender Höhe der Töne die Unterschiedsschwellen wachsen, so braucht doch dieses Wachstum noch nicht nach dem Weber'schen Gesetze zu erfolgen. In gleicher Weise ist auch nicht die Fähigkeit, zwei Töne in den verschiedenen Tonlagen nach Intervallen zu schätzen, für das Weber'sche Gesetz zu verwerthen, denn als vollständig ausreichender Grund derselben lässt sich die Gemeinsamkeit begleitender Obertöne und das harmonische Verhältniss zu den erzeugten Combinationstönen ansehen. Wenn hierbei eingewandt werden möchte, außer diesem Factor könnte immer noch der andere bestehen, dass wir in unserm Bewusstsein ein unmittelbares Maß für Tonintervalle haben, welches dem Weber'schen Gesetze folge, so ist die Existenz dieses Factors wegen mangelnder Versuche doch nicht als erwiesen anzusehen.

War hier die Gültigkeit des Gesetzes für beliebige endliche Unterschiede einigermassen in Frage gestellt, so geschah dies in noch viel höherem Maße für eben merkliche Unterschiede durch die von Preyer²⁾ im Jahre 1875 ausgeführten Versuche, wobei

1) Fechner, Elemente I, pag. 182.

2) Preyer, Ueber die Grenzen der Tonwahrnehmung.

derselbe auch ähnliche, früher von Delezenne, Seebeck und Anderen gewonnene Resultate benutzte.

Preyer bediente sich zu seinen sehr eingehenden und sorgfältigen Untersuchungen eines nach seinen Angaben verfertigten Tondifferenzapparates, nämlich einer Reihe abgestufter Metallzungen, bei welcher sich die einzelnen Töne um $\frac{1}{10}$ Schwingung unterschieden. Ein größerer Blasebalg füllte ein Luftreservoir, von dem aus durch Herausziehen kleiner Schieber die einzelnen Zungen in Schwingungen versetzt wurden. Die Versuchsperson hatte nun die Punkte obiger Tonreihe zu bestimmen, bei welchen jedesmal ein Unterschied zweier nach einander angeschlagener Töne bemerkbar war. Auf diese Weise fand Preyer für seine Person bei 500 Schwingungen einen bestimmt bemerkbaren Unterschied, sobald die Töne um 0,4 oder 0,3 Schwingungen differirten, während bei 1000 Schwingungen sich 0,5 oder 0,6 als äußerste Unterschiedsgrenzen ergaben. Bei seinem Mitarbeiter Appunn, der eine vieljährige Uebung des Gehörs besaß, zeigte sich ebenfalls, dass derselbe bei 1000 und 1000,5 noch bestimmt einen Unterschied constatirte, bei 1000 und 1000,25 und ebenso 500 und 500,2 Schwingungen jedoch kein unbedingt sicheres Urtheil mehr abzugeben im Stande war. Daher nahm Preyer an, dass im Durchschnitt bei 500 0,3 und bei 1000 0,5 Schwingungen als absoluter eben merklicher Unterschied anzusehen seien, und stellte dieses Resultat mit den früher von Delezenne und Seebeck für Tonhöhen von 120 und 440 Schwingungen gefundenen Daten zu folgender Tabelle zusammen:

Schwingungszahl	Absol. Unterschiedsempfindlichkeit	Eben merkl. Differenz	Relative Unterschiedsempfindlichkeit
n	$a = \frac{1}{d}$	d	$e = \frac{n}{d}$
120	2,39	0,418	287
440	2,75	0,363	1212
500	3,33	0,300	1666
1000	2,00	0,500	2000

Gestützt auf diese Versuche stellte Preyer die Sätze auf: Die absolute Unterschiedsempfindlichkeit nähert sich im Allgemeinen in den verschiedenen Tonlagen der Constanz. Im Besondern ergeben die angeführten Zahlen, dass die absolute Unterschieds-

empfindlichkeit in der Tonlage $n = 440$ Schwingungen am größten ist und nach beiden Seiten innerhalb des beobachteten Tongebiets um ein wenig abnimmt. In den höheren Tonlagen sowohl wie in den tieferen nimmt die absolute Unterschiedsempfindlichkeit sehr schnell ab, so dass z. B. bei einer Tonhöhe von 16 000—20 000 Schwingungen selbst von den Geübtesten Unterschiede von 1000 Schwingungen nicht mehr wahrgenommen werden. Die relative Unterschiedsempfindlichkeit nimmt dagegen innerhalb des beobachteten Tongebietes beständig zu. Aus allem diesen musste folgen, dass das Weber'sche Gesetz, wonach die relative Unterschiedsempfindlichkeit constant wäre, innerhalb des Tonbereiches von 120—1000 Schwingungen vollständig ungültig sei.

Doch sind diese Versuche Preyer's nicht in allen Stücken einwurfsfrei. So gibt Fechner¹⁾ vorzüglich Folgendes dabei zu bedenken: »Die Bestätigungen des Weber'schen Gesetzes für die Abhängigkeit der Stärke der Licht- und Schallempfindung von der Schwingungsweite a sind im Allgemeinen bei Constanz der Schwingungszahl n gefunden. Es ließe darnach sich auch denken, dass die Bestätigung des Gesetzes für die Abhängigkeit der Tonhöhen und der Farbenempfindung von der Schwingungszahl n umgekehrt nur bei entsprechender Constanz der Schwingungsweite a zu finden wäre, für welche Constanz die Preyer'schen Versuche keine Gewähr bieten«. Aus diesem Grunde scheinen Fechner die Preyer'schen Versuche für oder gegen die Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes bei gleich erhaltener Amplitude und veränderlicher Schwingungszahl n nicht beweiskräftig zu sein. Dem ist jedoch entgegenzuhalten, dass sich der hier gemachte Vorwurf eben so gut den Versuchen über Empfindungen der Schallintensitäten, für welche ja das Weber'sche Gesetz als gültig erwiesen wurde, machen lässt. Denn wenn es richtig ist, dass die Intensität eines Schalles eine Function der lebendigen Kraft, also von a^2n^2 ist, so wird zwar bei verändertem n sich auch die Intensität etwas verändern, umgekehrt ist aber a priori nicht zu entscheiden, ob sich bei veränderter Intensität mit der lebendigen Kraft nicht allein a sondern auch n ändert. Und in der That scheinen mannigfache Beobachtungen darauf hin-

1) Fechner, Revision der Hauptpunkte der Psychophysik S. 173.

zudeuten. Lässt man, wie es zur Verification des Weber'schen Gesetzes auf dem Gebiete der Schallintensitäten¹⁾ geschah, eine Kugel auf eine harte Unterlage fallen, so nimmt mit vergrößerter Fallhöhe nicht allein die Intensität des erzeugten Fallgeräusches zu, sondern dasselbe scheint auch in seiner Qualität sich zu verändern und zwar zu erhöhen. Der Grund dieser Erscheinung liegt darin, dass in Folge der gesteigerten Bewegung der Theilchen die höheren Partialtöne mitklingen. Noch größer ist selbstverständlich die Verschiedenheit der Schallqualität bei Anwendung von Kugeln verschiedenen Gewichts. Ist diese qualitative Aenderung bei der Schallintensität aber irrelevant für die Frage, ob unsere Empfindung dem Weber'schen Gesetze folgt oder nicht, so ist wohl anzunehmen, dass auch etwaige geringe Schwankungen der Intensität bei Prüfung der Schallqualität das Resultat nicht merklich beeinflussen. Immerhin dürfte es sich empfehlen, nach dem Vorschlage Fechner's Versuche mit möglichst einfachen Tönen zur Lösung der Frage vorzunehmen, ob die Empfindungsunterschiede, welche bestimmten geringen Höhenunterschieden der Töne entsprechen, bei variabler Intensität derselben constant sind. Trotzdem hat sich auch im letzteren Falle das Weber'sche Gesetz im Allgemeinen bestätigt gefunden. Andererseits ist auch noch Folgendes zu beachten: Das Weber'sche Gesetz soll seinem ganzen psychophysischen Charakter nach die Beziehung zwischen der Empfindung und dem äußeren Reize oder wenigstens einer Seite des letzteren ausdrücken. Handelt es sich also darum, die Aenderung der Empfindung bei Veränderung von nur einer Eigenschaft eines Reizes, z. B. der Höhe des Tones, zu erforschen, so wird es weniger darauf ankommen, dass die physikalischen Bedingungen der sonstigen Eigenschaften des Reizes, z. B. der Intensität constant sind, als dass die subjectiven Wirkungen derselben, also ihre Empfindungseffecte unverändert bleiben. Dieser Bedingung konnte aber wenigstens bei dem Preyer'schen Tondifferenzapparate genügt werden, da dort schon im voraus darauf Bedacht genommen wurde, dass die verschieden hohen Töne hinsichtlich ihrer Intensität für die Empfindung vollständig gleich waren.

1) Vergl. Tischer: Ueber Unterscheidung von Schallstärken. Philos. Stud. I, S. 4 u. 5. Starke: Die Messung von Schallstärken. Philos. Stud. III, S. 264.

Wenn daher durch den eben erwähnten Einwurf die Beweiskraft der Preyer'schen Versuche kaum erschüttert wird, so doch ungleich mehr durch die folgenden weiteren Bedenken¹⁾. Die Zusammenstellung ganz verschiedener, wenn auch musikalisch geübter Beobachter, von denen jeder nur eine resp. zwei Tonlagen (Delezenne Töne von 120, Seebeck solche von 440 und Preyer Töne von 500 und 1000 Schwingungen) untersuchte, gibt uns keine Gewähr für ein gleiches Unterscheidungsvermögen der genannten Beobachter. Ebenso war die Fragestellung bei den einzelnen eine sehr verschiedene. So sagte Seebeck²⁾ mit Bezug auf seine Mitarbeiter, dass dieselben bei einer Schwingungsdifferenz von 0,363 Schwingungen niemals im Unklaren waren, welcher von beiden Tönen der höhere war, während Preyer nur den Punkt bestimmte, bei welchem in allen Urtheilen die Töne als verschieden empfunden wurden. Dass dabei eine Anzahl Urtheile mit unterlaufen konnte, bei welchen der thatsächlich tiefere Ton für den höheren und umgekehrt gehalten wurde, ist wohl anzunehmen, wie denn auch Preyer eine erheblich höhere Schwingungsdifferenz erhielt, sobald er bei den einzelnen Schätzungen eine Entscheidung darüber verlangte, welcher Ton der höhere sei. Ferner möchte wohl auch an den Preyer'schen Versuchen auszustellen sein, dass sie bei dem Mangel einer streng durchgeführten Methode ein Maß für die Unterschiedsempfindlichkeit lieferten, welches mit den auf anderem Wege gefundenen nicht wohl vergleichbar ist. Ueberdies sind die einzelnen Versuche mit ganz verschiedenen Instrumenten ausgeführt worden, bei Delezenne mit Saiten, bei Seebeck mit Stimmgabeln, bei Preyer mit Metallzungen, sodass auch die verschiedene Klangfarbe der einzelnen Instrumente auf die Unterscheidbarkeit der Töne von Einfluss sein konnte.

Die Frage über die Unterschiedsempfindlichkeit für Töne wurde weiterhin durch Stumpf³⁾ aufgenommen. Während aber Preyer seine Versuche an musikalisch besonders Geübten anstellte, führte Stumpf seine Beobachtungen an völlig Unmusikalischen aus. Zu

1) Vergl. Wundt, *Physiol. Psychologie* 2. Aufl. S. 398. Müller, *Zur Grundlegung der Psychophysik* S. 291.

2) *Poggendorff's Annalen* 1846, Bd. 68, S. 462.

3) Stumpf, *Tonpsychologie*, S. 313 ff.

diesem Zwecke schlug er theils auf dem Clavier theils auf der Orgel in drei verschiedenen Regionen ($F_1—F$, $g—g^1$, $f^3—f^4$) successiv je zwei Töne an, die entweder eine Quinte, große oder kleine Terz, große oder kleine Secunde von einander entfernt waren, und ließ die Versuchspersonen ein Urtheil darüber abgeben, welcher Ton der höhere sei. Dabei zeigte sich aus dem Verhältniss der richtigen zur Gesammtheit der abgegebenen Urtheile die überraschende Thatsache, dass die Zuverlässigkeit Unmusikalischer im Beurtheilen zweier Töne selbst bei größeren Distanzen doch eine geringe ist, und zwar ergab sich das Verhältniss 3:4, d. h. auf 4 abgegebene Urtheile kamen 3 richtige. Dies Verhältniss scheint zugleich für einen grösseren Theil der Menschen zutreffend zu sein, als man von vorne herein anzunehmen geneigt wäre; denn die zu obigen Versuchen verwendeten Personen nahm Stumpf ohne längeres Suchen aus seinem Zuhörerkreise.

Jedoch erscheint es nicht zweckmäßig, die Urtheile über ganz verschiedene Distanzen zusammenzuwerfen, wie Stumpf es gethan hat, da sich doch in Bezug auf die den einzelnen Intervallen entsprechenden Urtheile nicht unbeträchtliche Unterschiede zeigen. Und wenn Stumpf im weitern Verlaufe die gefundenen Zuverlässigkeitswerthe der einzelnen Tondifferenzen als direct abhängig von der Unterschiedsempfindlichkeit ansieht, so musste natürlich einer grösseren Tondistanz eine größere Unterschiedsempfindlichkeit entsprechen, und ein Zusammenwerfen der einzelnen Zuverlässigkeitswerthe um so weniger statthaft sein. Ueberdies sind auch für die einzelnen Distanzen nicht gleich viel Versuche vorhanden, so dass vor Allem die Quinte, deren Zahlen am meisten von den andern abweichen, mit doppelt so viel Versuchen bedacht ist, als die übrigen Intervalle. Wenn aber eine Abstufung in Bezug auf die Anzahl der Versuche für die einzelnen Distanzen gemacht werden soll, so müsste dies doch wenigstens irgendwie begründet werden. Insbesondere aber kann der Zuverlässigkeitswerth 3:4 nicht mit dem von Preyer gefundenen 3:5 verglichen werden, indem Preyer in den hierher gehörigen Versuchen¹⁾ nur Tondifferenzen untersuchte, die eben sicher als verschieden erkannt wurden, also ein für die Empfindung einheitliches Maß zu Grunde legte.

1) Preyer, Die Grenzen der Tonwahrnehmung. S. 37.

Stumpf sucht ferner die geringe Unterscheidungsfähigkeit Unmusikalischer dadurch zu erklären, dass bei ihnen die Differenzirung der Gehörsfasern im Gehörorgan eine geringere sei, als bei den musikalisch Gebildeten. Doch steht dem entgegen, dass die Zuverlässigkeitswerthe bei einer 2., 3. und 4. Versuchsreihe immer größer wurden, was sich mit der gemachten Annahme schwer in Einklang bringen lässt. Viel mehr Wahrscheinlichkeit hat der zweite Grund, den Stumpf auch anführt, dass nämlich die mangelhafte Uebung im Auffassen der Töne, die Unfähigkeit einer vollkommenen Concentration der Aufmerksamkeit Tonempfindungen gegenüber bei den betreffenden Personen die Ursache sei.

Das Hauptergebniss der Stumpfschen Versuche aber liegt in den verschiedenen Zuverlässigkeitswerthen in den einzelnen Tonregionen, und zwar stellt sich heraus, dass die Zuverlässigkeit bei den tieferen Regionen am geringsten ist, dann in ziemlich starkem Maße steigt, in der Gegend des c^2 ein Maximum erreicht und nach oben hin bis c^4 oder c^5 wieder ein wenig abnimmt. Stumpf sucht dies daraus zu erklären, dass die Zuverlässigkeitswerthe für die einzelnen Regionen in gewisser Weise von der relativen Unterschiedsempfindlichkeit abhängig seien, daher umgekehrt aus obigen Versuchen ein Urtheil sich bilden lasse über die Unterschiedsempfindlichkeit der Versuchspersonen in den verschiedenen Tonlagen. Es würde also auch die Unterschiedsempfindlichkeit von den tieferen Regionen zu den mittleren zunehmen, analog den obigen Zuverlässigkeitswerthen. Doch auch darüber hinaus fände nach seinem Dafürhalten noch eine Zunahme der Unterschiedsempfindlichkeit bis ungefähr c^3 statt. Und wenn dies Maximum nicht mit demjenigen obiger Zuverlässigkeitswerthe übereinstimme, so liege dies daran, dass das Maximum der letzteren durch die vorhandene größere Uebung der Individuen im Beurtheilen der mittleren Tonlagen (c^2) etwas nach der Mitte heruntergedrückt werde.

Vorausgesetzt aber, dass wirklich die Unterscheidungsfähigkeit im Auffassen endlicher Tondinstanzen in einem gewissen Abhängigkeitsverhältniss, z. B. in Proportionalität zur relativen Unterschiedsempfindlichkeit, also zum Quotienten aus der eben merklichen Reizänderung in die Reizgröße steht, so wird doch gerade bei Unmusikalischen dieses Verhältniss durch einseitige Uebung in

gewissen Tonregionen, vor allem in den mittleren, verschoben und verwischt. Dass in den mittleren Tonlagen die Zuverlässigkeitswerthe am größten waren, ist nicht zu verwundern. Wird doch das im alltäglichen Leben bei weitem am häufigste Vorkommen von Tönen der mittleren Region auch dem Unmusikalischen zu einer gewissen Sicherheit in der Schätzung dieser Töne verhelfen. Wenn ferner auch in den höher gelegenen Regionen die Höhe der Zuverlässigkeitswerthe nur wenig abnimmt, so hat dies ebenfalls nichts Befremdendes, denn bis c^3 reicht der Kindergesang und gerade dieser ist für den Einzelnen eine Quelle mannigfacher Uebung. Zugleich wird besonders die im Kindesalter empfangene Schulung für die Sinnesthätigkeit des Individuums auch für spätere Zeiten von hervorragendem Einfluss sein. Bei den höheren Tonlagen c^4 — c^5 kommt noch ein weiterer subjectiver Factor in Betracht. Es ist dies die in Folge der Resonanz im Gehörapparat hervorragende Empfindungsstärke dieser Töne, die eine verhältnissmäßig genaue Unterscheidung zulässt. Die Töne aber über c^5 hinaus kommen im allgemeinen so selten vor und sind für gewöhnlich so wenig intensiv, dass das Ohr kaum Gelegenheit zur Uebung in diesen Tonlagen findet.

Welche Bedeutung aber im vorliegenden Falle die Uebung für die einzelnen Versuchspersonen hatte, zeigen die immer größer werdenden Zuverlässigkeitswerthe in den verschiedenen zeitlich auf einander folgenden Versuchsreihen. Die vorliegenden Versuche werden daher weniger einen Schluss auf die relative Unterschiedsempfindlichkeit als auf die vorhandene Uebung des betreffenden Individuums in den verschiedenen Tonregionen gestatten. Des Weiteren folgt aber auch, dass zur Lösung der Frage: Wie ändert sich die Unterschiedsempfindlichkeit mit zunehmender Tonhöhe, die Versuche an ganz Unmusikalischen kein genügend sicheres Resultat ergeben, dass es sich vielmehr empfiehlt, die Versuche an Personen anzustellen, die zwar nicht hervorragend musikalisch geschult, jedoch in der Apperception von Gehörseindrücken so weit vorbereitet sind, dass eine etwa vorhandene einseitige Uebung in den einzelnen Tonlagen sich in nicht allzu langer Zeit durch die Versuche selbst ausgleicht.

Nach dem Vorangegangenen musste es wünschenswerth erschei-

nen als Ergänzung zu obigen Daten neue Versuche anzustellen, bei welchen die erwähnten Mängel möglichst abgestellt und neue thunlichst vermieden wurden. Zu diesem Zwecke wurde im Jahre 1884—86 auf Veranlassung des Herrn Prof. Wundt und unter der dankenswerthen Unterstützung des Herrn Dr. v. Tschisch und einiger anderer Mitglieder des psycho-physischen Seminars vom Verfasser dieses ein größerer Tonbereich einer eingehenden Untersuchung unterworfen. Zur Erzeugung der Töne wurde eine Reihe von Stimmgabeln auf abgestimmten Resonanzräumen benutzt, da diese vor anderen Tonquellen den Vorzug haben, möglichst einfache, wenigstens für die unmittelbare Empfindung einfache Töne zu geben, obgleich nach weiteren Versuchen Preyer's die Existenz gewisser Obertöne auch hier nicht außer Frage gestellt ist¹⁾. Die benutzten Gabeln hatten die Schwingungszahlen 64, 128, 256, 512, 1024 und 2048 und stammten zum Theil von G. Appunn in Hanau, zum Theil (64, 1024 und 2048) aus der hiesigen Adiaphonfabrik von Fischer und Fritzsich. Die niedrigste der Gabeln war verhältnissmäßig klein und hatte ziemlich dünne Schenkel, war aber durch Bleistücke, die an den Enden festgelöthet waren, auf die erwähnte Tiefe gebracht worden. Die tieferen Töne mittelst solcher Gabeln zu erzeugen, war durchaus nicht von Nachtheil auf die Wirkung des Tones derselben. Im Gegentheil war derselbe ein überaus voller und kräftiger. Die Erregung der Gabeln von 64, 128 und 256 Schwingungen geschah durch Anschlag mit einem mit Kautschuk gepolsterten Hammer, bei den Gabeln von 512 Schwingungen durch Anstreichen mit einem Violinbogen und bei den übrigen wiederum durch Anschlagen mit kleinen mit Filz belegten Hämmerchen, wie

1) Preyer, Akustische Untersuchungen S. 44. Das Vorhandensein von Obertönen wurde hier durch das Mitschwingen genau abgestimmter und äußerst empfindlicher Gabeln constatirt. Doch ist dieses Mitschwingen noch kein Beweis für das Vorhandensein von Obertönen. Es scheint im Gegentheil sehr wohl denkbar, dass die abgestimmten Gabeln auch durch Töne in Schwingungen versetzt wurden, deren Schwingungszahlen zu denjenigen der Gabeln in einem einfachen Verhältniss standen. Wenigstens brachte Verf. dieses z. B. Gabeln von 2048 Schwingungen, deren Schenkel sich zwischen Elektromagneten befanden, sofort ohne besonderen Anschlag zum Tönen, wenn er in den Stromkreis eine Helmholtz'sche Unterbrechungsgabel von 512 Schwingungen einschaltete. Die kleine Gabel erhielt also hier immer erst bei der vierten Schwingung einen erneuten Anstoß. Vergl. Phys. Psych. 2. Aufl. S. 409.

solche in Klavieren verwendet werden. Die eine von zwei zusammengehörigen Gabeln gleicher Tonlage trug zwei gleich große Gewichte, die, mit einer Feder oder Schraube versehen, auf den Gabelarmen über einer Millimetertheilung hin und her verschoben werden konnten, so dass dadurch eine beliebig abgestufte Erhöhung oder Vertiefung des Tones bis zu mehreren Schwingungen zu ermöglichen war. An den Gabeln von 1024 und 2048 Schwingungen waren an Stelle der Laufgewichte kleine ca. 30 mg schwere Aluminiumringe aufgesetzt, die sich mit Reibung auf den Schenkeln hin und her bewegen ließen. Um bei den größeren Gabeln möglichst wenig durch das Anschlagsgeräusch gestört zu sein, wurde erst nach dem Anschlagen die Gabel mit dem Resonanzraum in Verbindung gebracht. Zu diesem Zwecke befand sich bei jeder der Gabeln von 128, 256 und 512 Schwingungen auf einem gleichen Gestelle mit derselben in entsprechender Höhe eine Resonanzröhre aus Pappe, die auf dem Gestelle hin und her geschoben und so der Gabel beliebig nahe gebracht werden konnte. Damit ferner die Resonanz der Röhre eine möglichst vollkommene wurde, bestand die letztere aus zwei in einander verschiebbaren Theilen, die es ermöglichten, die Röhre genau auf den betreffenden Ton abzustimmen. An der der Gabel zugekehrten Seite war eine Klappe angebracht, die sich geräuschlos öffnen und schließen ließ. Die Einrichtung der Apparate stimmte im wesentlichen mit der von Helmholtz¹⁾ angegebenen überein. Da bei den Gabeln von 64 Schwingungen die Luft der über 1 m langen Resonanzröhren nur sehr schwer in Schwingungen zu versetzen war, so vertraten hier die Stellen der Röhren entsprechend große Resonanzkästen, auf welche die Gabeln nach dem Anschlagen aufgesetzt wurden. Diejenigen von 1024 und 2048 Schwingungen, bei denen wegen der kurzen Schwingungsdauer ein nachträgliches Aufsetzen auf einen Resonanzboden nicht wohl angängig war, waren mit den entsprechenden Kästchen fest verbunden.

Die Versuchsanordnung war nun folgende: Während der Beobachter in einer Entfernung von 2—3 m mit dem Rücken gegen die Apparate gekehrt saß, schlug der die Stimmgabeln Bedienende

1) Helmholtz, Tonempfindungen 1. Aufl. S. 184.

dieselben kurz an und öffnete nacheinander die betreffenden Resonanzröhren, indem er Sorge trug, dass sowohl die Stärke als auch die Zwischenzeit zweier aufeinander folgender Töne dieselbe blieb. Bei den Gabeln von 64 Schwingungen wurden nach schnellem beiderseitigem Anschlag dieselben nacheinander auf den Resonanzboden aufgesetzt. Die Gabeln von 1024 und 2048 Schwingungen dagegen wurden überhaupt nur nach einander angeschlagen, was auch ohne Störung für den Beobachter geschehen konnte, da das Anschlagen mit den kleinen Filzhämmerchen nur sehr wenig Nebengeräusch verursachte. Dass man die Gabeln nicht ausklingen ließ, sondern sie zu rechter Zeit dämpfte, um eine gegenseitige Störung der Töne zu vermeiden, braucht nicht erst erwähnt zu werden. Sofort nach jeder Beobachtung gab die Versuchsperson ihr Urtheil ab, respective notirte dies hinter die Zahl des betreffenden Einzelversuchs.

Was ferner die Versuchsmethode anlangt, so wurde die von Herrn Prof. Wundt eingeführte, auf einer Erweiterung der Methode des eben merklichen Unterschieds beruhende Methode der Minimaländerungen angewandt, welche sich darauf gründet, dass nicht allein der Punkt des eben merklichen Unterschieds, sondern auch die Stelle gesucht wird, wo beide anfänglich verschiedenen Töne durch allmähliche Abstufung des einen für die Empfindung des Beobachters wieder gleich werden. Zu diesem Zwecke ging der Experimentator von dem im Anfange bestimmten Gleichheitspunkte (Nullpunkte) aus und verschob die Laufgewichte der einen Gabel in beliebigen, während einer Versuchsreihe jedoch gleich großen und dem Beobachter natürlich unbekanntem Schritten, während die andere Gabel in ihrem Tone constant blieb. Der Beobachter, der vor dem Versuche darüber unterrichtet worden war, welcher Ton der Zeit nach im Verlaufe der Versuchsreihe eine Erhöhung resp. Vertiefung erfahren sollte, gab nach Schluss der Versuchsreihe an, bei welchem Theilversuche ein Unterschied beider gehörter Töne constatirt werden konnte. Die Anzahl der einzelnen Stufen bis zu einem eben merklichen Unterschiede betrug gewöhnlich 4—8, da sie wegen der nicht immer gleichen Größe der einzelnen Schritte und wegen der verschiedenen Dimensionen der Gabeln, ebenso wie in Folge der individuellen Schwankungen der Disposition des Beobach-

ters natürlich etwas variiren musste. Darauf wurden, um bei Bestimmung des Punktes für Gleichheit der Töne eine analoge Zahl von Theilversuchen zu erhalten, vor dem Zurückgehen die Gewichte noch etwas über den Punkt des eben merklichen Unterschiedes hinaus verschoben und nun dasselbe Verfahren wieder rückwärts bis zu dem Punkte, wo die Töne eben gleich erschienen, eingeschlagen. Im weiteren Verlaufe des Versuchs geschah dann das Verschieben der Gewichte nach der anderen Seite bis zum eben merklichen Unterschiede und wieder zurück.

Dieses eben beschriebene Verfahren bot den Vortheil, dass der Beobachter eine ganze Reihe annähernd gleich abgestufter Töne erhielt, von dem Tonpaare vollständigster Gleichheit bis zu denen vollster Verschiedenheit, wodurch es ihm verhältnissmäßig leicht werden musste, den Punkt des Grenzübergangs einigermaßen genau zu bestimmen. Um nun ein etwa vorhandenes ungleichmäßiges Verhalten unseres Bewusstseins bei anfänglich gleichen und dann verschiedenen Reizen zu constatiren, gegenüber solchen, die von der Verschiedenheit zur Gleichheit übergehen, wurde nicht allein der Ebenmerklichkeitspunkt, sondern auch der Untermerklichkeitspunkt (Gleichheitspunkt) gesucht. Dadurch ferner, dass man die Gewichte nicht nur nach der einen Seite, sondern auch nach der andern vom Nullpunkt aus verschob, wurden etwa vorhandene Unterschiede in der Zeitlage beider Töne eliminirt. Denn angenommen, es würde z. B. der zweite Ton immer höher geschätzt, als er in Wirklichkeit ist, so müssten bei dem Versuche, bei welchem der zweite Ton durch das Verschieben der Gewichte eine Vertiefung erfährt, die Gewichte zu weit verschoben und also die Unterschiedsschwelle zu groß werden. Wenn nun aber bei einem darauf folgenden Versuche die Gewichte auch nach der anderen Seite verschoben werden, so würde in diesem Falle die Unterschiedsschwelle ebensoviel zu klein werden, als sie vorher zu groß geworden war. Das Mittel aus beiden Werthen würde also die richtige Zahl ergeben. Damit auch die Reihenfolge der Gabeln ohne Einfluss auf das Endresultat war, wurden diese bei den verschiedenen Versuchen ebenfalls variirt.

Bezeichnet man nun die Richtung von dem Gleichheits-(Null-)punkte der Gabeln nach beiden Seiten hin mit v (vorwärts), die entgegengesetzte Richtung mit r (rückwärts), ferner diejenige von

dem Stiele der Gabel nach den Enden der Arme hin mit o und die umgekehrte mit u , so zerfiel ein Gesamtversuch in 4 Einzelversuche und ergab 4 Punkte bezeichnet mit

$$v_o \quad r_o \quad v_u \quad r_u$$

wobei v_o und v_u die Punkte der eben merklich verschiedenen Töne, r_o und r_u aber die Punkte bezeichneten, bei welchen die Töne wieder gleich geschätzt wurden. Zum Schlusse der Versuche wurde für diese einzelnen Punkte, die von dem Beobachter nur durch die Nummer des betreffenden Theilversuchs bezeichnet worden waren, die wirkliche Verschiedenheit der Töne vermittelt der Schwebungen bestimmt. Eine Ausnahme davon machten nur die Versuche mit den Gabeln von 1024 und 2048 Schwingungen, bei welchen wegen der Kleinheit der Gabeln und der Leichtigkeit der Gewichte der vorher angegebene Punkt sich nachträglich kaum wiederfinden ließ, so dass hier unmittelbar nach Constatirung der Verschiedenheit resp. Gleichheit der Töne von Seiten des Experimentators die Zählung der Schwebungen vorgenommen wurde. Es versteht sich von selbst, dass nach jedem Versuche eine erneute Bestimmung des Nullpunktes stattfand. Bezeichnen wir nun noch die Gabel ohne Gewichte als die Normalgabel (N), diejenige mit Gewichten dagegen als Vergleichsgabel (V) und mag NV andeuten, dass zuerst die Normalgabel und dann die Vergleichsgabel erklang, so erhielt der Verf. für seine Person (L) folgende Einzelwerthe für den Ton $n=64$:

$$n = 64$$

NV				VN			
v_o	r_o	v_u	r_u	v_o	r_o	v_u	r_u
0,19	0,23	0,31	0,09	0,28	0,11	0,33	0,08
0,17	0,13	0,20	0,07	0,33	0,05	0,10	0,16
0,13	0,07	0,25	0,13	0,22	0,05	0,19	0,14
0,23	0,13	0,21	0,07	0,20	0,10	0,17	0,11
0,23	0,13	0,29	0,07	0,14	0,06	0,27	0,11
0,13	0,17	0,13	0,00	0,22	0,11	0,11	0,06
0,13	0,07	0,21	0,10	0,20	0,11	0,19	0,11
0,17	0,09	0,15	0,07	0,15	0,11	0,11	0,11

Hierbei bedeuten die einzelnen Zahlen die Unterschiede der Töne in Schwingungen während einer Secunde. Bezeichnen wir nun die Tonhöhe, bei welcher sich Unterschied und Gleichheit fand,

mit h' und h'' , die ursprüngliche Tonhöhe mit h , so findet sich die Unterschiedsschwelle durch die Formel

$$\Delta_o = h - \frac{h' + h''}{2} \text{ und ebenso nach der andern Seite } \Delta_u = \frac{h''' + h''''}{2} - h$$

Nun ist $h' = h - v_o$, $h'' = h - r_o$, $h''' = h + v_u$, $h'''' = h + r_u$, also ist $\Delta_o = \frac{v_o + r_o}{2}$, $\Delta_u = \frac{r_u + v_u}{2}$.

Daher folgt aus obigen Werthen sofort folgende neue Tabelle:

$n = 64$

NV		VN	
Δ_o	Δ_u	Δ_o	Δ_u
0,210	0,200	0,195	0,205
0,150	0,135	0,190	0,130
0,100	0,190	0,135	0,165
0,180	0,140	0,150	0,140
0,180	0,180	0,100	0,190
0,150	0,065	0,165	0,085
0,100	0,155	0,155	0,150
0,130	0,110	0,130	0,110

Daran reihen sich für die verschiedenen Tonlagen unter Weglassung der Tabelle der Rohversuche folgende weiteren:

$n = 128$

NV		VN	
Δ_o	Δ_u	Δ_o	Δ_u
0,175	0,125	0,165	0,145
0,170	0,100	0,240	0,180
0,180	0,125	0,125	0,135
0,090	0,125	0,190	0,180
0,060	0,205	0,200	0,170
0,165	0,190	0,165	0,240
0,080	0,080	0,250	0,230
0,065	0,145	0,265	0,115
0,140	0,155	0,285	0,145
0,160	0,055	0,190	0,145

$n = 256$

NV		VN	
Δ_o	Δ_u	Δ_o	Δ_u
0,300	0,335	0,425	0,300
0,200	0,270	0,175	0,300
0,150	0,200	0,275	0,370
0,150	0,175	0,250	0,300
0,150	0,135	0,250	0,370
0,190	0,195	0,150	0,260
0,190	0,235	0,150	0,260
0,150	0,235	0,080	0,235

Betrachten wir zuerst die Tabelle der Rohversuche, so fällt vor Allem eine ziemlich große Verschiedenheit der Werthe der Columnen v_o und v_u von denjenigen der Columnen r_o und r_u auf, und zwar zeigen die ersteren, welche die Differenzen angeben, bei denen die

$n = 512$

NV		VN	
Δ_o	Δ_u	Δ_o	Δ_u
0,200	0,360	0,250	0,270
0,235	0,280	0,200	0,280
0,275	0,180	0,250	0,200
0,200	0,300	0,260	0,280
0,270	0,170	0,125	0,280
0,270	0,280	0,300	0,170
0,230	0,300	0,125	0,350
0,275	0,280	0,210	0,370

 $n = 1024$

NV		VN	
Δ_o	Δ_u	Δ_o	Δ_u
0,100	0,200	0,480	0,155
0,065	0,265	0,260	0,135
0,160	0,050	0,345	0,115
0,180	0,185	0,320	0,070
0,180	0,140	0,455	0,105
0,180	0,105	0,400	0,170
0,340	0,480	0,205	0,370
0,260	0,100	0,170	0,220

 $n = 2048$

NV		VN	
Δ_o	Δ_u	Δ_o	Δ_u
0,400	0,005	0,290	0,355
0,250	0,215	0,445	0,815
0,120	0,285	0,340	0,210
0,215	0,250	0,270	0,160
0,420	0,410	0,525	0,275
0,475	0,365	0,875	0,475
0,710	0,610	0,310	0,240
0,200	0,540	0,230	0,550
0,310	0,135		

Töne als verschieden empfunden wurden, im Durchschnitt erheblich größere Werthe als die letzteren, welche die Punkte subjectiver Gleichheit enthalten. Dieser Umstand hängt eng zusammen mit der Methode der Minimaländerungen, wonach erst eine Anzahl uns qualitativ gleich erscheinender Partialversuche vorausgehen muss, bis wir zu dem entscheidenden Versuche gelangen, bei welchem ein Unterschied zu constatiren ist, und umgekehrt erst mehrere vorhergehende Versuche mit objectiv verschiedenen und auch subjectiv als verschieden empfundenen Tönen gemacht werden, um schließlich auf den Punkt subjectiver Gleichheit zu kommen. Es geschah sogar bei einigen Versuchen, dass beim Uebergang von der Verschiedenheit zur Gleichheit der objective Nullpunkt überschritten wurde und die beiden Töne als gleich geschätzt wurden, obgleich sie schon eine wenn auch geringe Verschiedenheit im entgegengesetzten Sinne aufwiesen. Unser Bewusstsein scheint eben geneigt,

auf einander folgende qualitativ unmerklich verschiedene Eindrücke einander zu assimiliren und also mit einer gewissen Trägheit an den einmal empfangenen Empfindungen festzuhalten. Hierher gehören auch die Phänomene der Nachwirkungen, wenn dieselben auch zum großen Theil dadurch bedingt sind, dass mit dem Aufhören eines Sinnesreizes die physiologischen Wirkungen auf die einzelnen Organe nicht sofort erlöschen. So glauben wir z. B. einen, wenn auch schwachen, aber doch länger andauernden und dann verklingenden Ton noch kurze Zeit weiter zu hören, obgleich die physiologische Nachwirkung dabei nur unbedeutend sein kann. Hier sucht auch das Bewusstsein kleine, zufällig vorhandene Empfindungen mit den vorhergegangenen in Verbindung zu bringen und sie diesen ähnlich zu machen.

Ferner weisen die einzelnen Zahlen einer Columne nicht unbedeutende Unterschiede auf. Doch erscheinen diese in einem wesentlich anderen Lichte, wenn man daran denkt, dass die einzelnen Größen nur Bruchtheile einer Schwingung bedeuten, dass sie also selbst einen sehr kleinen Werth ausmachen im Verhältniss zu der Schwingungszahl des Tones, für den sie gefunden sind. Ebenso lässt sich von vornherein annehmen, dass die nicht immer gleiche Disposition des Beobachters bei den einzelnen Versuchen von gewissem Einfluss sein musste, ein Einfluss, der sich natürlich nicht eliminiren ließ.

Nehmen wir jetzt die Werthe der \mathcal{A}_o , die sich nur durch die Aufeinanderfolge der Gabeln unterscheiden, zusammen und nennen den Mittelwerth D_o und den entsprechenden Mittelwerth der \mathcal{A}_u D_u , so ergibt sich folgende neue Tabelle:

	$n = 64$	$n = 128$	$n = 256$	$n = 512$	$n = 1024$	$n = 2048$
D_o	0,151	0,168	0,202	0,230	0,256	0,376
D_u	0,147	0,150	0,261	0,272	0,179	0,347

und ebenso erhalten wir als Tabelle der mittleren Variationen V_o u. V_u :

	$n = 64$	$n = 128$	$n = 256$	$n = 512$	$n = 1024$	$n = 2048$
V_o	0,027	0,047	0,061	0,040	0,101	0,144
V_u	0,032	0,035	0,052	0,046	0,081	0,158

Die entsprechenden Mittelwerthe D_o und D_u weichen oft in

nicht ganz unerheblicher Weise von einander ab. Am wenigsten ist dies der Fall für $n = 64$, am erheblichsten für $n = 1024$ mit 0,08 Differenz. Dann folgen die Zahlen für $n = 256$ und $n = 512$, aber im andern Sinne als die vorhergehenden. Da sich kein genügender Grund für dieses gegensätzliche Verhalten finden lässt, so ist anzunehmen, dass diese Unterschiede nur aus Zufälligkeiten resultiren und in der Unvollkommenheit der Apparate etc. ihren Grund haben können, so dass wir je 2 entsprechende D_o und D_u zusammennehmen und den Mittelwerth mit D bezeichnen. Dann erhalten wir für

	$n = 64$	$n = 128$	$n = 256$	$n = 512$	$n = 1024$	$n = 2048$
D	0,149	0,159	0,232	0,251	0,218	0,362

Die Unterschiedsschwellen zeigen ein langsames Anwachsen von den Tönen 64 bis zu denen von 512 Schwingungen, darauf eine kleine Abnahme, um bei dem Ton von 2048 Schwingungen sofort um ein Bedeutendes wieder zu steigen. Doch ist diese Zunahme von einer Octave zur andern, mit Ausnahme der letzten, äußerst gering, kann wenigstens durchaus nicht mit der nach dem Weber'schen Gesetze geforderten in Vergleich gebracht werden. Denn nehmen wir z. B. an, die Unterschiedsschwelle betrüge für den Ton $n = 64$ 0,15 Schwingungen, so würde sich nach dem genannten Gesetze für die anderen Octaven folgende Tabelle ergeben:

$n = 64$	$n = 128$	$n = 256$	$n = 512$	$n = 1024$	$n = 2048$
0,15	0,3	0,6	1,2	2,4	4,8

Ein Vergleich beider Reihen zeigt zur Genüge die Unmöglichkeit einer auch nur annähernden Uebereinstimmung. Die Werthe der Unterschiedsschwellen lassen im Gegentheil innerhalb des Intervalls von 64—1024 Schwingungen eine so geringe Abweichung von einander erkennen, dass wir sie eher als constant ansehen können. Noch mehr ist die Abweichung vom Weber'schen Gesetze ersichtlich, wenn wir für die einzelnen Tonlagen die Werthe der absoluten und relativen Unterschiedsempfindlichkeit bilden, also $\frac{1}{D}$ und $\frac{R}{D}$, wo D die Unterschiedsschwelle und R den zugehörigen Reiz bedeutet.

	$n = 64$	$n = 128$	$n = 256$	$n = 512$	$n = 1024$	$n = 2048$
$\frac{1}{D}$	6,711	6,289	4,310	3,984	4,587	2,762
$\frac{R}{D}$	430	805	1103	2040	4697	5657

Die Zahlen der ersten Reihe mit Ausnahme der letzten schwanken nicht allzusehr um einen gewissen Durchschnittswerth (ungefähr 5), diejenigen der 2. Reihe dagegen nehmen mit wachsender Schwingungszahl in ganz außerordentlichem Maße zu, während sie doch nach dem Weber'schen Gesetze constant bleiben müssten. Daraus aber ist folgender Schluss zu ziehen: Auf das Gebiet der Tonqualitäten findet innerhalb der untersuchten Region von 64—1024 Schwingungen das psychophysische Gesetz, wonach relativen Reizunterschieden absolute Empfindungsunterschiede entsprechen und also die relative Unterschiedsempfindlichkeit constant sein muss, keine Anwendung. Die Unterschiedsschwellen nähern sich im Gegentheil innerhalb des genannten Intervalls der constanten Durchschnittsgröße von 0,2 Schwingungen.

Der Ton von 2048 Schwingungen zeigt dagegen schon eine verhältnissmäßig große Unterschiedsschwelle, was mit der Erfahrung übereinstimmt, dass jenseits dieses Tones die eben merklichen Unterschiede mit zunehmender Schwingungszahl wachsen, um in den höchsten Tonlagen in ganz außerordentlichem Maße zu steigen. Dass sich die Töne unter 64 Schwingungen ähnlich verhalten, werden wir später sehen. Die relative Unterschiedsempfindlichkeit wächst mit zunehmender Schwingungszahl, und zwar erfolgt die Zunahme der ersteren zuerst schnell, verringert sich dann etwas, um darauf in gleich hohem Maße wie vorher zu steigen und zum Schluss bei den Tönen von 1024—2048 Schwingungen sich wieder zu verlangsamen. Weshalb in der Region des c bis c' ein langsamerer Wachsen der relativen Unterschiedsempfindlichkeit stattfindet, ist aus den Versuchen nicht klar zu erkennen. Sollte für diese Tonlage unser Bewusstsein eine wenn auch nur geringere Fähigkeit haben, die Töne zu unterscheiden? Oder hat der genannte Umstand seinen Grund in einem etwaigen Mangel der Versuchstechnik? Die Schwierigkeit einer Entscheidung liegt eben in den Versuchen selbst; denn bei den psychophysischen Versuchen lassen sich nicht immer, wie dies bei den physikalischen in so hohem Grade der Fall ist, alle vorhandenen Bedingungen in Rechnung ziehen und beliebig neue einführen. Möglicherweise mag auch der Umstand von Einfluss

gewesen sein, dass die Gabeln von 512 Schwingungen im Gegensatz zu den anderen durch Streichen mit einem Violinbogen erregt worden sind.

Dagegen scheint die mäßige Zunahme der relativen Unterschiedsempfindlichkeit in den höheren Tonlagen von 1024 und 2048 Schwingungen wirklich darauf hinzudeuten, dass hier die Unterschiedsempfindlichkeit einem bestimmten Maximum zustrebt. Das Verhalten derselben jenseits der genannten Region ist bis jetzt noch keiner genaueren Untersuchung unterworfen worden. Wahrscheinlich ist, dass nach oben zu, jenseits c^5 , die relative Unterschiedsempfindlichkeit sehr schnell abnimmt¹⁾.

Bei Bildung der mittleren Variationen erhielten wir für

	$n = 64$	$n = 128$	$n = 256$	$n = 512$	$n = 1024$	$n = 2048$
V_o	0,027	0,047	0,061	0,040	0,101	0,144
V_u	0,032	0,035	0,052	0,046	0,081	0,158

Diese Werthe nehmen im allgemeinen mit steigendem n zu, im Anfang jedoch nur in geringerem Maße. Auffällig sind die verhältnissmäßig großen Zahlen für $n = 1024$ und noch mehr für $n = 2048$. Doch mag dies, wie die Versuche zeigten, daran liegen, dass diese hohen Töne vermöge ihres scharfen und durchdringenden Charakters auf unser Ohr viel leichter ermüdend wirken als die tiefer gelegenen. Aus obigen Werthen der mittleren Variationen folgt also, dass die Sicherheit, mit der wir die gefundenenen Schwingungsdifferenzen in den untersuchten Tonregionen als eben merklich erkennen, bei den Tönen von 64—512 Schwingungen mit steigender Schwingungszahl ziemlich constant ist, oder sich wenigstens nur in geringem Grade vermindert. Sie nimmt dagegen in stärkerem Grade ab bei den darauf folgenden Tönen von 1024 und 2048 Schwingungen. Dieses Verhalten finden wir auch im allgemeinen in einer Zusammenstellung der größten Werthe der Unterschiedsschwellen bestätigt, die sich bei den einzelnen Versuchen ergaben. Es fanden sich für

$n = 64$	$n = 128$	$n = 256$	$n = 512$	$n = 1024$	$n = 2048$
0,21	0,285	0,425	0,37	0,48	0,875

Auch hier nehmen die Werthe mit einer Ausnahme zu, besonders stark aber in den höheren Tonlagen.

1) Preyer, Ueber die Grenzen der Tonwahrnehmung S. 36.

Vergleichen wir jetzt die gefundenen Resultate mit den Preyer'schen, so finden wir, dass sie im Großen und Ganzen eine Bestätigung derselben sind. Auch Preyer hatte ja eine annähernde Constanz der Unterschiedsschwellen erhalten. Allerdings zeigte sich in dessen Versuchen bei dem Tone von 500 Schwingungen der kleinste Werth des eben merklichen Unterschieds, der dann nach beiden Seiten hin zunahm. Doch ist diese Zunahme nach der Seite der tieferen Töne hin so gering, dass sie eben so gut in der Verschiedenheit der Beobachter, der Methode, der angewandten Tonquellen u. s. w. ihren Grund haben kann und daher eine Constanz des eben merklichen Unterschieds anzunehmen, wohl nicht unberechtigt ist. Auffallend mag es erscheinen, dass die obigen von uns gefundenen Werthe um ein Bedeutendes kleiner sind als diejenigen von Preyer, Seebeck etc. Doch liegt dies vor allem an der Verschiedenheit der bei den Versuchen angewandten Fragestellung. Seebeck bestimmte den Punkt, bei welchem nicht nur die Verschiedenheit der Töne, sondern auch das Verhältniss derselben zu einander erkannt, also zugleich die Frage: »Welcher Ton ist höher?« entschieden wurde. Diese letzte Forderung musste die Unterschiedsschwellen um ein Bedeutendes größer machen. Da Preyer ferner die Differenz zu ermitteln suchte, bei welcher die Töne bei jedem Versuche als verschieden erkannt wurden, so musste er die ersteren genügend verschieden von einander nehmen, um auch alle zweifelhaften Urtheile daraus zum Verschwinden zu bringen. Die dabei gefundene Schwingungsdifferenz kann aber nicht mit der unsrigen übereinstimmen, denn diese letztere ist nicht allein das Mittel aller Werthe, bei welchen die Töne eben verschieden waren, sondern zugleich auch derjenigen, bei welchen die Töne wieder als gleich erkannt wurden. Ferner musste das Einschalten von Vexirversuchen, wie es Preyer that, den Beobachter in gewissem Grade in seinem Urtheil befangen machen und ihn vor allem zur Vorsicht gegenüber zu kleinen Tondifferenzen mahnen. Doch liegt das Wesentliche der beiden Untersuchungen nicht in dem Ergebniss der absoluten Zahlen, sondern in dem Verhältniss derselben zu einander in den verschiedenen Tonlagen. Denn die absoluten Zahlen werden sich ohnehin um Bedeutendes ändern, sowohl bei den ver-

schiedenen Individuen als auch in den verschiedenen Stadien der Uebung eines Beobachters.

Der außerordentliche Einfluss der Uebung machte sich sehr deutlich während des Verlaufs dieser Untersuchung bemerkbar. Es war daher nöthig, die einzelnen Octaven einer zweimaligen, ja eine sogar einer dreimaligen Prüfung zu unterziehen, bis man hoffen konnte, den aus der einseitigen Bevorzugung einzelner Octaven sich ergebenden Fehler zu eliminiren. Dabei geschah die Wiederholung der Versuche einer bestimmten Octave nicht sofort, sondern es wurden dazwischen erst die anderen Octaven oder wenigstens der größere Theil derselben in Angriff genommen. Die Versuche gliederten sich daher in mehrere Gruppen. Die Zusammenstellung derselben für *L* zugleich mit denjenigen für Dr. v. Tchisch (*T*.) ergibt folgende Tabelle.

L.*T*.

Schwingungszahl	D_o	D_u	V_o	V_u	D	D_o	D_u	V_o	V_u	D	
I. { 128	0,822	0,878	0,331	0,411	08,50						
II. {	64	0,448	0,397	0,093	0,116	0,423					
	128	0,291	0,308	0,051	0,083	0,300	0,505	0,753	0,136	0,128	0,629
	256	0,339	0,480	0,070	0,089	0,410	0,319	0,359	0,125	0,150	0,339
	512	0,355	0,368	0,161	0,136	0,362	0,372	0,277	0,129	0,130	0,325
	1024	0,249	0,192	0,064	0,092	0,221					
III. {	64	0,151	0,147	0,027	0,032	0,149	0,459	0,406	0,108	0,135	0,433
	128	0,168	0,150	0,047	0,035	0,159	0,300	0,366	0,075	0,084	0,333
	256	0,202	0,261	0,061	0,052	0,232	0,196	0,261	0,056	0,052	0,229
	512	0,230	0,272	0,040	0,046	0,251	0,219	0,247	0,039	0,056	0,233
	1024	0,256	0,179	0,101	0,081	0,218	0,202	0,201	0,073	0,096	0,202
2048	0,376	0,347	0,144	0,158	0,362						

Zuerst zeigt sich, dass die Unterschiedsschwellen, sowohl die einzelnen Werthe der D_o und D_u als auch deren Mittelwerthe, von Gruppe zu Gruppe durchgängig kleiner werden, und zwar ist dies bei beiden Beobachtern der Fall. Eine kleine Ausnahme findet sich für $n = 1024$, bei welchem eine geringe Aenderung der Unterschiedsschwelle im entgegengesetzten Sinne wahrzunehmen ist. Doch erstreckt sich dieser nur auf die Hundertel, ist also zu vernachlässigen. Wenn damit bewiesen ist, dass mit zunehmender Uebung sich auch die Unterscheidungsfähigkeit für die einzelnen Tonlagen

außerordentlich steigert, so geht andererseits auch damit eine zunehmende Sicherheit in Appercipiren von Tonhöhen parallel, wie sich aus den einzelnen Werthen der mittleren Variationen ergibt. Auch diese nehmen von der zweiten zur dritten Gruppe in den entsprechenden Zahlen, einzelne Ausnahmen abgerechnet, ganz merklich ab.

Ungleich aber ist das Verhalten der einzelnen Tonlagen. Die größte Abnahme der Unterschiedsschwellen von einer Gruppe zur anderen ist bei den tieferen Tönen, also bei denen mit 128 und 64 Schwingungen bemerkbar. Hier springt die betreffende Unterschiedsschwelle in den einzelnen Stadien von 0,85 auf 0,3, um schließlich den sehr kleinen Werth 0,159 anzunehmen. Ebenso ist bei dem Tone $n = 64$ der Sprung von 0,423 auf 0,149 ein sehr bedeutender. Hier ist recht deutlich zu erkennen, dass eine anfänglich geringere Unterscheidungsfähigkeit für die tieferen Tonlagen nur in einer geringeren Uebung gegenüber den im täglichen Leben mehr begünstigten Tönen mittlerer Region ihren Grund hat. In unserem Falle kam für die Octave von 128 Schwingungen noch hinzu, dass dieselbe überhaupt zuerst untersucht wurde, und dass die in langen Resonanzröhren erzeugten Töne wegen ihres dumpfen Toncharakters nur außerordentlich schwer ein Erfassen und Behalten der Tonhöhe im Gedächtniss zuließen.

Ganz anders verhalten sich die höheren Töne, also besonders die Tonregion von 1024 Schwingungen. Hier ist von einer Gruppe zur anderen fast gar keine Zunahme der Unterschiedsempfindlichkeit vorhanden, eine Thatsache, deren Grund darin zu suchen ist, dass diese Töne wegen ihrer größeren Empfindungsstärke durch das Bewusstsein von Anfang an schärfer und dauernder appercipirt werden.

Ueberblickt man die Tabelle, so macht sich die Tendenz bemerkbar, dass bei anfänglich ziemlich großen Differenzen der Unterschiedsschwellen für die einzelnen Tonregionen sich diese Unterschiede mit zunehmender Uebung des Beobachters verringern und die Schwellenwerthe in asymptotischer Annäherung einem constanten Werthe zusteuern.

Vergleicht man noch die früher nicht mit berücksichtigten Werthe des Beobachters Tschisch mit einander, so zeigen sie ein analoges Verhalten; doch sind die einzelnen Differenzen der Schwel-

lenwerthe für die verschiedenen Tonlagen auch in der letzten Gruppe noch ziemlich groß, was daraus resultirt, dass die betreffenden Octaven von *T.* nur einer einmaligen Prüfung unterzogen worden waren. Dies ist auch der Grund, weshalb diese Versuche bei der vorangegangenen Besprechung weggelassen wurden.

Im übrigen aber lassen die entsprechenden Werthe beider Beobachter bei gleich oft wiederholter Prüfung der einzelnen Octaven nicht allzu große Verschiedenheiten bemerken. Die Bedingungen für die Apperception von Tönen mögen bei Beiden auch annähernd gleich gewesen sein, da sich *L.* früher etwas mit Musik und Gesang beschäftigt hatte und *T.* als Arzt in der Bestimmung kleiner Gehörsunterschiede besonders geübt war. Im allgemeinen ist zwar die Unterscheidungsfähigkeit von Tönen bei den verschiedenen Individuen eine sehr verschiedene, wie schon die Erscheinungen des täglichen Leben zeigen, doch sind diese Verschiedenheiten weniger in der verschiedenen Beanlagung als vielmehr in dem höheren oder geringeren Maße der vorhandenen Uebung begründet.

Ist so die Uebung von ziemlichem Einfluss auf die Versuchsergebnisse gewesen, so war es nicht minder die eintretende Ermüdung der Versuchspersonen, auf welche Rücksicht zu nehmen war. Es konnten daher nur mit Einschaltung angemessener Pausen und selten länger als 1 Stunde Versuche angestellt werden, um durch angestrenzte und anhaltende Aufmerksamkeit einigermaßen genaue Resultate zu erhalten. Vorzüglich galt dies bei den höheren Octaven, die wegen ihrer großen Empfindungsstärke auf das Ohr ganz besonders ermüdend einwirkten.

Schließlich mag noch des Umstandes gedacht sein, dass es sehr darauf ankam, bei den einzelnen Versuchen die beiden Töne genau gleich stark zu machen, da sich bei den Beobachtern die durchgängige Neigung zeigte, den stärkeren Ton auch für den qualitativ höheren zu schätzen.

Kurz vor Abschluss dieser Arbeit wurden auch noch Gabeln von 32 Schwingungen der Schätzung unterworfen. Dieselben stammten aus der hiesigen Adiaphonfabrik und waren, gleich den Gabeln von 64 Schwingungen, durch Bleistücke, die an den Enden der Schenkel angelöthet waren, auf die erwähnte außerordentliche Tiefe

gebracht worden. Zur Resonanz diente ein an der Aufsatzstelle mit Tuch überzogener Resonanzkasten von ca. 2 m Länge, 70 cm Breite und 50 cm Höhe. Der durch denselben verstärkte Ton unserer Gabel war sehr deutlich zu vernehmen und bei richtigem Aufsetzen derselben auf den Kasten frei von jedem Nebengeräusch. Auf das Ohr wirkten diese tiefen Töne weniger erregend und in geringerem Grade ermüdend, als die früher untersuchten hohen Töne. Bei den einzelnen Versuchen wurden die Gabeln kurz angeschlagen und in entsprechenden Zwischenzeiten auf den Resonanzboden gesetzt.

Aus 7 Versuchsreihen, die nach der Methode der Minimaländerungen gemacht wurden, ergab sich für *L.* als Mittelwerth der Unterschiedsschwellen 0,44 Schwingungen. Um aber vor Täuschungen sicher zu sein, wie solche bei der schweren Apperception von dergleichen tiefen Tönen durch das Gehör sehr leicht vorkommen können, wurde noch vermittelt der Methode der richtigen und falschen Fälle die Grenze bestimmt, für welche alle Urtheile auf die Frage »welcher Ton ist höher« richtig waren. Es ergaben sich folgende Zahlen:

Unterschied in Schwingungen	richtig	zweifelhaft	falsch	gleich	Gesamtzahl
0,66	17	7	1	—	25
0,50	16	6	3	—	25
0,40	5	3	8	9	25

d. h.: es wurde im ersten Falle bei einer Schwingungsdifferenz von 0,66 Schwingungen bei 25 Urtheilen in 17 Fällen richtig und in 1 Falle falsch geschätzt. In 7 Fällen war der Beobachter zweifelhaft. Bei der Differenz von 0,5 Schwingungen hatten die richtigen Urtheile um 1 ab-, die falschen um 2 zugenommen. Dagegen finden sich bei der Schwingungsdifferenz von 0,4 Schwingungen nur noch 5 richtige gegenüber 8 falschen Urtheilen. Auch zeigt sich eine große Anzahl (9) von Gleichheitsurtheilen. Ziehen wir die zweifelhaften Urtheile nicht mit in Rücksicht, da sie sachgemäßer Weise besonders in Rechnung gebracht werden müssten, so ergeben sich bei einer Schwingungsdifferenz von 0,66 Schwingungen auf die Frage »welcher Ton höher« bei 18 Urtheilen 17 rich-

Hier enthält die erste Columnne den Unterschied beider Gabeln in Bruchtheilen einer Schwingung, die zweite gibt an, welche Gabel die höhere war, ob die Vergleichsgabel (*V*) oder Normalgabel (*N*). Die nächsten fünf Columnnen beziehen sich auf die wirklich verschiedenen Töne und enthalten die Angabe darüber, wie viel von je 50 Versuchen richtig, falsch und gleich geschätzt wurden oder in welchen Fällen das Urtheil ein zweifelhaftes war. Die letzten vier Columnnen geben die analogen Daten für die wirklich gleichen Töne (Vexirversuche).

Aus obiger Tabelle folgt mit Hinweglassung der wenigen Versuche mit wirklich gleichen Tönen, ebenso des einen Versuchs, der ein zweifelhaftes Urtheil ergab, und mit gleichmäßiger Vertheilung der Gleichheitsfälle unter die richtigen und falschen:

	richtig	falsch	Gesamtzahl
für <i>L</i> .	111	38	149
für <i>T</i> .	60,5	39,5	100

Bei einer Differenz von 0,3 Schwingungen wurde also die überwiegende Mehrzahl der Versuche richtig geschätzt. Für kleinere Höhenunterschiede als 0,3 wurden folgende Zahlen gefunden:

		Verschiedene Töne					Gleiche Töne					
Unterschied in Schwingungen	Höherer Ton	richtig	falsch	gleich	zweifelhaft	Gesamtzahl	gleich	verschieden	Gesamtzahl			
0,28	<i>V</i>	95	93	86	74	50	2	400	26	14	40	} <i>L</i> .
0,27	<i>N</i>	52	43	28	43	27	7	200	2	18	20	
0,26	<i>N</i>	41	43	13	21	30	2	150	5	10	15	
0,25	<i>N</i>	22	37	29	24	35	3	150	6	9	15	
0,22	<i>V</i>	36	67	86	54	54	3	300	12	18	30	
0,28	<i>V</i>	100	134	91	69	6		400	22	18	40	} <i>T</i> .
0,27	<i>N</i>	55	59	40	30	16		200	12	8	20	
0,26	<i>N</i>	47	50	21	21	11		150	5	10	15	
0,25	<i>N</i>	42	42	29	33	4		150	6	9	15	
0,22	<i>V</i>	61	95	76	58	10		300	13	17	30	

Hierbei sind mehrere Columnnen noch einmal gegliedert und zwar zeigen in derjenigen der richtigen Urtheile die zuerst stehenden Zahlen an, wie oft bei den hierher gehörigen Versuchen der erste Ton höher war. Ebenso lassen in der Verticalreihe der falschen Urtheile die Zahlen an erster Stelle erkennen, wie viel Mal

bei den hier in Frage kommenden Versuchen der zuerst angegebene Ton der wirklich höhere war. Diese Gliederung war deshalb noch eingeführt worden, um einen etwaigen Einfluss der Zeitlage zu constatiren, wie er ja bei den Empfindungen der Schallintensitäten thatsächlich auftritt. Dort wird die zweite von zwei objectiv gleichen Schallintensitäten immer als die stärkere geschätzt. Findet nun auf dem Gebiete der Tonqualitäten etwas Analoges statt, schätzt man also den zweiten von zwei gleichen Tönen höher, so wird bei unseren nur sehr wenig von einander verschiedenen Tönen das Urtheil häufiger ein richtiges sein, wenn der zweite Ton thatsächlich höher ist, als umgekehrt, da doch in diesem Falle die aus der Reihenfolge der Töne sich ergebende Verschiedenheit beider Empfindungen sich zu der aus der wirklichen Verschiedenheit der Töne folgenden addiren würde. Dementsprechend dürften auch die meisten falschen Urtheile vorkommen, wenn der zweite Ton thatsächlich tiefer ist, da in diesem Falle der aus der Zeitlage der Töne folgende subjective Factor auf die Verschiedenheit der beiden Tonempfindungen vermindern wirkt. Darnach müssten in der Columne der richtigen Urtheile die an zweiter Stelle stehenden Zahlen, in der Columne der falschen Urtheile dagegen die an erster Stelle stehenden Zahlen die größeren im allgemeinen sein.

In der Tabelle für *L.* findet sich für den Unterschied von 0,28 Schwingungen in der Columne der richtigen Urtheile eine nahezu gleiche Anzahl beider Fälle, in derjenigen der falschen Urtheile dagegen zeigt sich eine kleine Verschiedenheit der Urtheile in dem oben angenommenen Sinne. Für die Differenz 0,27 und 0,26 würde sich die Annahme nicht bestätigen, dagegen bei 0,25 und in hervorragendem Maße bei dem Unterschiede 0,22. Analoges zeigt sich bei den Versuchen von *T.* mit dem einzigen Unterschiede, dass die Urtheile im wesentlichen noch mehr für die gemachte Annahme sprechen, ausgenommen die Zahlen der falschen Urtheile für die Differenz 0,25, bei welchen die zweite Zahl die größere ist. Allerdings sind die einzelnen Zahlen oft nur unbedeutend von einander verschieden oder wohl auch gleich. Besonders auffällig aber sind auch hier wiederum die großen Verschiedenheiten der einzelnen Zahlen je einer Columne für die Differenz 0,22 als dem geringsten Unterschied in dem der Annahme entsprechenden Sinne. Wenn

daher die Zahl obiger Versuche überhaupt zur Lösung der Frage ausreicht, ob die Zeitlage der Töne für die Empfindung hinsichtlich der Tonqualität irgendwie von Einfluss ist, so würde aus Vorliegendem der Schluss zu ziehen sein, dass wir im allgemeinen geneigt sind, bei zwei objectiv gleichen Reizen den zweiten für den höheren zu halten. Doch würde in unserem Falle die aus der Zeitlage beider Töne resultirende Empfindungsänderung nur eine äußerst geringe sein. Eine Erklärung dieses Phänomens lässt sich darin finden, dass von zwei gleich hohen Tönen der intensivere höher geschätzt wird¹⁾. Es ergibt sich daher dieser Einfluss der Zeitlage unmittelbar aus dem Einfluss der letzteren auf die Intensität der Empfindung. Uebrigens scheinen einzelne Beobachtungen von Stumpf²⁾ mit dem obigen Ergebniss nicht übereinzustimmen. Stumpf suchte 15 Darmsaiten gleich zu stimmen und zwar so, dass er immer die vorhergehende zum Ausgangspunkt für die nachfolgende nahm und fand, dass die letzte im Vergleich zu der ersten um ca. $\frac{1}{8}$ Ton zu hoch war. Daraus würde sich im Gegentheil eine Tieferschätzung des zweiten Tones ergeben. Demnach sind noch weitere Beobachtungen zur Entscheidung dieser Frage wünschenswerth.

Bezeichnen wir jetzt mit r die richtigen, mit m die Gesamtzahl der in Betracht kommenden Fälle und bilden den Quotienten $\frac{r}{m}$, indem wir die zweifelhaften Fälle, sowie die Versuche mit den wirklich gleichen Tönen weglassen und die Gleichheitsfälle unter den richtigen und falschen gleichmäßig vertheilen, so findet sich für

	$L.$	$T.$
Schwingungsdifferenz	$\frac{r}{m}$	$\frac{r}{m}$
0,28	0,54	0,59
0,27	0,56	0,61
0,26	0,67	0,68
0,25	0,52	0,57
0,22	0,44	0,54

Diese Zahlen geben ein ziemlich deutliches Bild für die Abnahme der Zahl der richtigen Urtheile bei Verringerung des Höhen-

1) Vergl. pag. 534.

2) Stumpf, Tonpsychologie pag. 303.

unterschieds beider Töne. Doch findet noch bei dem Unterschied von 0,26 Schwingungen eine kleine Erhöhung der Zahlen statt, die jedenfalls nur mehr zufälliger Natur ist. Die Werthe für *T.* zeigen im allgemeinen ein günstigeres Verhältniss der richtigen Urtheile zur Gesamtzahl. Welches Verhältniss nun aber dem nach der Methode der Minimaländerungen gefundenen Schwellenwerthe entspricht, lässt sich schwer entscheiden, da sowohl die Principien der beiden Methoden als auch die bei der Anwendung dieser Methoden auftretenden subjectiven Bedingungen der Versuchspersonen viel zu verschiedenartig sind, als dass a priori für einen durch das eine Verfahren gefundenen Schwellenwerth ein bestimmtes Verhältniss der richtigen Urtheile zur Gesamtzahl aller angenommen werden kann. Immerhin müsste eine systematische Durchführung der Versuche vermittelst der Methode der richtigen und falschen Fälle unter Annahme eines für alle Tonstufen gleichen Verhältnisses der richtigen zur Gesamtzahl der Urtheile auch auf diesem Wege den gewünschten Aufschluss über die Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes für Tonqualitäten geben. Um aber diese Frage nach allen Seiten hin einer endgültigen Lösung entgegenzuführen, wäre es wünschenswerth, die Untersuchung auch auf beliebige endliche und größere Tondistanzen auszudehnen.
