

## Untersuchungen über die Empfindlichkeit des Intervallsinnes.

Von

Iwan Schischmánow.

---

Den ersten Anstoß zur Untersuchung der Unterschiedsempfindlichkeit für Intervalle gab der heftige Streit, der gegen das Ende des vorigen Jahrhunderts zwischen Marpurg und Kirnberger, den Anhängern der gleichschwebenden und der ungleichschwebenden Temperatur, entbrannte<sup>1)</sup>.

Bekanntlich ist dieser Streit noch lange nicht geschlichtet. Die beste, allen theoretischen und praktischen Anforderungen entsprechende musikalische Temperatur lässt noch heute auf sich warten; hat doch die Ueberzeugung, mit den gewöhnlichen musikalischen Hilfsmitteln eine angemessene Temperatur hervorzubringen, sogar zu Versuchen geführt, mit Hilfe einer sehr erheblichen Vermehrung der Töne innerhalb der Octave dem Ideal einer absolut reinen Stimmung nahe zu kommen<sup>2)</sup>. Immerhin sind die Vorschläge zur Auffindung einer richtigen Temperatur im gewöhnlichen Sinne noch keineswegs definitiv erschöpft, aber längst hat der Streit ruhigere Bahnen eingeschlagen, die Heftigkeit der Polemik ist billigerweise der objectiven wissenschaftlichen Erörterung gewichen.

Wie ganz anders zu der Zeit, als Marpurg noch nicht zu

---

1) Vgl. Kirnberger, »Die Construction der gleichschwebenden Temperatur«. Berlin 1760. Von demselben: »Die Kunst des reinen Satzes«, Berlin, 1774 bis 1779. 2 Bde. Marpurg, »Versuch über die Temperatur«. Breslau, 1776.

2) Vgl. Helmholtz, »Die Lehre von den Tonempfindungen« III. Ausgabe, S. 496 fg. Ebenda S. 631, Beilage XVIII.

entschiedenerem Ansehen gelangt war, als die von ihm verfochtenen Grundsätze der Musik selbst von Männern wie Euler ungünstig beurtheilt wurden. Wie heftig die Meinungen aufeinander platzten, wie bitter sich die Parteien bekriegten, davon gibt uns reichlich kund die ausgiebige Literatur, die sich an jenen Streit knüpft. Es herrschte ein vollständiger Antagonismus zwischen den beiden musiktheoretischen Lagern, und die Verwirrung wurde dadurch noch heillos, dass die Vertreter der ungleichschwebenden Temperatur selbst uneinig waren über die beste zu befolgende Theorie.

Das System der gleichschwebenden Temperatur war seiner Natur nach streng abgeschlossen und konnte, einmal festgesetzt, keine Umänderung seines Gefüges dulden. Nicht so das System der ungleichschwebenden Temperatur. Hier war der Speculation und der Willkür freier Raum gegeben, und jeder konnte eine eigene Temperatur ersinnen, ein Umstand, der die ungeheure Anzahl ungleichschwebender Temperaturen aus jener Zeit leicht erklärlich macht. Aber freilich wurden nur wenige dieser »Systeme« einstimmig für gut anerkannt, obwohl beinahe jeder Erfinder einer Temperatur die seinige für die beste zu halten geneigt war und dieselbe für die einzig natürliche erklärte.

Wie dem sei, bei der eminent praktischen Bedeutung der Temperaturfrage war es undenkbar, den aufgeworfenen Streit auf rein speculativem Boden auszutragen. Die erfundenen Systeme mussten sich doch, wenn sie nicht für müßige Hirngespinnste gelten wollten, der Praxis anpassen und zunächst ihre Sanction vom Instrumentenverfertiger oder dem praktischen Musiker erhalten. Es galt nicht allein auf eine mathematisch correcte Abmessung der Intervalle Bedacht zu nehmen, sondern auch den Grenzen der musikalischen Technik und gleichzeitig den Forderungen des musikalischen Gehörs gebührend Rechnung zu tragen, so dass diejenigen Theoretiker, die sämtliche Seiten der Frage berücksichtigten, natürlich die größten Aussichten auf Erfolg hatten, dagegen solche, die sich nur auf Speculation stützten und sich sonst wenig um die thatsächlichen Verhältnisse kümmerten, Gefahr liefen, vollständig ignorirt zu werden, freilich oft über das gebührende, wie beispielsweise Euler, der es nur diesem Umstande verdankt, dass sein in mancher Beziehung grundlegendes Werk »Tentamen novae theo-

riae musicae« seinerzeit von den Musikern so ungünstig beurtheilt wurde, als ein Werk, das mehr mathematische Speculation, als musikalisch Brauchbares enthalte<sup>1)</sup>.

So musste denn nach und nach bei der Erörterung der Frage der besten Temperatur auch die Erfahrung mitzusprechen anfangen. Schon ältere musikalische Werke enthalten zerstreut manche triftige Bemerkung über die Schätzungsfähigkeit für dieses oder jenes Intervall. Freilich waren diese gelegentlichen Notizen höchst dürftig, fragmentarisch und nur zu oft aus der Luft gegriffen, aber trotz der Mängel, die ihnen anhaften, besitzen sie doch einen gewissen Werth, insofern sie hier und da als Anknüpfungspunkte zu weiteren Prüfungen gedient haben, so dass man selbst in jenen spärlichen Angaben älterer Autoren über die Unterschiedsempfindlichkeit für Intervalle die Entwicklung unseres Problems bis zu Delezenne mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit verfolgen kann.

Wir sehen natürlich hier ab von den Anticipationen späterer Resultate, wie sie sich in den Speculationen mancher Theoretiker über die Unterschiedsempfindlichkeit für Intervalle im Zusammenhang mit den Verhältnisszahlen der Töne darbieten, obwohl nicht selten auch diese Speculationen sich auf die Erfahrung berufen, und werden nur wenige Belege aus der älteren musikalischen Literatur anführen, die auf eine experimentelle Untersuchung der Frage, um die es sich hier handelt, hinweisen oder hindrängen.

»Ich glaube mit Recht behaupten zu können«, führt Chladni<sup>2)</sup>

1) Hier eine Stelle aus dem »Plus-Ultra« des Matheson (S. 545), der Euler's Werk einer scharfen Kritik unterzogen hat. Ich führe sie nicht allein wegen ihrer Originalität an, sondern weil sie wirklich bezeichnend ist für die Stimmung gewisser Kreise seiner Zeit gegen die Uebertreibung der Bedeutung der Mathematik auf dem Gebiete der musikalischen Theorie: »Den Satz aber, dass ein richtiges, nämlich ein vernünftiges (!) Gehör allein und nicht die Mathematik sowohl den ersten als letzten Ausspruch in allen musikalischen Dingen thun muss, den sollen mir stehen und fest bleiben lassen die pythagorische, ptolemäische, euklidische und alle anderen altmathematischen Schulen; auch alle neuen Zahl-, Mess- und Gewichtskrämer mit ihren Tabellen, Generalbassmaschinen und Gerüsten; alle versunkene Algebraisten, erstarrte Contrapunktisten, steife Canonisten, schulfüchsige Proportions-, Leiter- und Rationshändler, Verhältnissfechter, kahle Temperaturflicker, ohnmächtige Melodienspinner, gesanglose Hümpfer und Stümper, hölzerne Notenkleckser, nüchterne Pedalritter, abgeschmackte Grillenfänger etc.«

2) »Die Akustik«, Leipzig 1802. S. 51 fg.

aus, »dass vielleicht niemand im Stande sein möchte, eine Octave, ja nicht einmal zwei Töne in Einklang für sich vollkommen rein abzustimmen. Will man sich von dieser Behauptung, die vielleicht mancher Stimmmeister nicht wird zugeben wollen, für die ich aber, wenn es nöthig wäre, Autoritäten vorzüglicher Tonkünstler anführen könnte, durch die Erfahrung überzeugen, so stimme man auf einem Instrumente, wo sich die Töne aushalten lassen (wie auf einer Orgel, einer Harmonika, einem Bogenflügel), das eingestrichene *c* nebst seinem großen Dreiklange so richtig als möglich, so dass die große Terz *e* ein wenig erhöht und die Quinte *g* ein wenig erniedrigt ist, und dieser Dreiklang eine gute Wirkung auf das Gehör thut; sodann stimme man das zweigestrichene *c-e-g*, jedes für sich allein, als Octave des tieferen, aber ohne einen anderen Ton zu Hilfe zu nehmen, oder im Gedächtnisse behalten zu haben, und gebe sodann die Töne  $\overline{c-e-g}$  zusammen an, so wird man meistens finden, dass sie nicht recht zusammenpassen und bei einem und dem anderen noch ein wenig muss nachgeholfen werden. Die Ursache liegt darin, weil das Gehör bei einem Intervalle öfters eine sehr kleine Abweichung von der Reinigkeit nicht bemerkt, und z. B. ein Intervall wie  $\frac{1,0001}{1,0000}$  oder  $\frac{0,9999}{1,0000}$  gewiss für einen Einklang, und  $\frac{2,0001}{1,0000}$  oder  $\frac{1,9999}{1,0000}$  für eine Octave halten würde.«

Dem gegenüber behauptet der Verfasser des Artikels »Consonanz« in Sulzer's »Allg. Theorie der schönen Künste«<sup>1)</sup>: »Das Verhältniss 99 : 100, oder noch mehr 999 : 1000 macht ein ganz unerträgliches Geschwirre, welches, sobald das Verhältniss in die Gleichheit (1000 : 1000) übergeht, sich in die angenehmste Consonanz auflöst.«

Wir sehen hier ganz deutliche Ansätze zu einer experimentellen Behandlung unserer Frage. An diese Zeugnisse schließen sich an die Zeugnisse der Praktiker. So manche »Anweisung, wie man Claviere stimmen könne«, oder wie all' die Handbüchlein betitelt wurden, bieten interessante, wenngleich sehr allgemein gehaltene Angaben über die Schätzung der Intervallenreinheit. In dieser Beziehung konnten selbst solche Behauptungen, welche den allgemeinen Annahmen widersprachen, anregend wirken.

1) Erster Theil. (Leipzig 1778.) S. 306.



So fand, um ein Beispiel anzuführen, Türk<sup>1)</sup> in folgender Ausführung eines „praktischen Stimmers einen merkwürdigen Widerspruch zu seiner Behauptung, dass die Octave das fasslichste Verhältniss habe und gar keine Abweichung von der ihr zukommenden Reinigkeit vertrage: »Die Stimmung bloß nach Octaven ist, so viel ich gefunden, die schwerste, und, weil sie die stärkste Ausweichung und Veränderung, ohne dass es das Gehör merklich wahrnimmt, leidet, zugleich die betrüglichste. Man kann hiervon nicht besser überzeugt werden, als wenn man auf zweien neben einander stehenden Clavieren einen Fundamentton völlig rein und gleichlautend, hierauf aber die Octaven eines jeden Claviers nacheinander, ohne den Fundamentton gegen die anderen Octaven zu hören, besonders stimmt, und nach geschehener Arbeit die gestimmten oberen Octaven auf beiden Clavieren zugleich anschlägt u. s. w., wo man einen großen Unterschied zwischen beiden Tönen bemerken wird.«

Wohl am interessantesten unter allen diesen Anzeichen einer angehenden, sich allmählich vorbereitenden experimentellen Behandlung unseres Problems bleiben jedoch die Herausforderungen, welche die sich feindlich gegenüberstehenden Anhänger der gleichschwebenden und der ungleichschwebenden Temperatur gegeneinander richteten. — Es wimmelt in älteren musiktheoretischen Streitschriften von kühnen Provocationen:

»Wer kann sich rühmen nur eine Quinte nach dem Gehöre so zu stimmen, dass sie gerade um die Kleinigkeit, die die gleichschwebende Temperatur (ein Zwölftel des diatonischen Commas) abwärts schwebe?« ruft pathetisch ein Anhänger der Kirnberger'schen Theorie aus<sup>2)</sup>.

Hiergegen antwortet ein Anhänger der gleichschwebenden Temperatur<sup>3)</sup> nicht minder zuversichtlich: »Wer kann sich rühmen eine Quinte nach dem Gehör so zu stimmen, dass sie gerade um  $5\frac{1}{2}$  Zwölftel des diatonischen Commas abwärts schwebe, wie dies die Kirnberger'sche Temperatur erfordert?«

So spitzte sich also die Frage zu, es schien, als wolle man

1) Anleitung zu Temperaturberechnungen, Halle, 1808, S. 321 Anm.

2) Sulzer, Op. cit. Artikel Temperatur. Bd. II. S. 283.

3) Türk, Op. cit. S. 316 Anm.

nichts mehr auf Treu und Glauben annehmen, ja, es hatte selbst an Versuchen nicht gefehlt, die gleichschwebende Temperatur theoretisch zu rechtfertigen<sup>1)</sup>, aber im Allgemeinen zog man es doch vor, sich in letzter Instanz »auf die außerordentlich zweckmäßige und wohlthätige Unvollkommenheit des Gehörs zu berufen, welche einzig und allein die Existenz einer brauchbaren Musik ermögliche«.

Es ist wirklich zu verwundern, dass bei einem solchen Stande der Dinge unser Problem nicht in Deutschland zuerst aufgegriffen wurde. Schien doch hier der Boden zu seiner Entwicklung durch den theoretischen Streit längst vorbereitet, hier und da waren selbst Anfänge einer experimentellen Prüfung gemacht worden.

Der erste, der die Unterschiedsempfindlichkeit für die Intervalle zum Gegenstande einer systematischen Untersuchung machte, war aber Delezenne, ein französischer Gelehrter, und auch dieser wurde zu seiner Arbeit einzig und allein durch die Frage der musikalischen Temperatur angeregt.

Anlass zu seiner Untersuchung gab ihm zunächst der französische Musiktheoretiker Galin, durch eine in seinem 1818 erschienenen Werke: »Exposition d'une nouvelle méthode pour l'enseignement de la musique« aufgestellte Behauptung, dass die Intervalle der nämlichen Art innerhalb der Octave vollkommen gleich seien, dass es also unberechtigt sei, einen Unterschied zwischen dem Intervalle  $c-d$  und  $d-e$  anzunehmen, und dass folglich alle Theoretiker, die einer solchen Annahme gehuldigt haben oder huldigen, sich im Irrthum befänden.

Mit dieser ketzerischen Behauptung nicht zufrieden ging Galin noch weiter, er leugnete überhaupt, dass man exacte Kenntniss von der Länge der Saiten, welche die Töne der Scala erzeugen, haben könne. Um diese Behauptungen zu widerlegen, rief Delezenne das Experiment zu Hilfe. »A des assertions et des hypothèses je tacherai de répondre par le raisonnement aidé de l'expérience.« Es hatte wahrlich lange gebraucht, bis die Erkenntniss von der Nothwendigkeit des Experimentes auf unserem Gebiete gereift war.

1) Vgl. Herbart, »Psychologische Untersuchung zur Tonlehre«. Werke, Bd. VII, S. 1 ff. Ebenso Galin a. a. O.

Die Ergebnisse seiner Untersuchung legte Delezenne nieder in einer Denkschrift an die Lille'er »Société des sciences, de l'agriculture et des arts« unter dem Titel »Mémoires sur les valeurs numériques des notes de la Gamme.«<sup>1)</sup>.

Nicht alles, was in diesem Mémoire ausgeführt wird, bietet ein gleiches Interesse für uns. Das Hauptbestreben Delezenne's ging ja weniger dahin, die Empfindlichkeitsgrenze für die einzelnen Intervalle genau zu bestimmen, sondern vielmehr im Allgemeinen die große Empfindlichkeit des musikalischen Gehöres für die Abweichung von der Reinheit der Intervalle nachzuweisen, sodann zu zeigen, dass die geübten Violinspieler niemals einen Fehler von einem Comma vernachlässigen, um auf Grund dieser Ergebnisse die praktische Forderung einer eigenen Temperatur für die Streichinstrumente, denen er vorzüglich seine Aufmerksamkeit widmet, zu stellen.

Seine Thesen resumieren sich in folgendem:

a) »C'est à tort que la généralité des maîtres et des amateurs soutiennent et repètent que dans la pratique l'oreille est absolument insensible au comma  $\frac{81}{80}$ , et qu'il faut abandonner ces misères aux pédans, aux mathématiciens«<sup>2)</sup> und

b) »Il est temps de compléter par des expériences directes la preuve que les bons artistes sont plus pédans, plus mathématiciens qu'on ne le pense.«<sup>3)</sup>

Wir haben natürlich nur jene Seite von Delezenne's Untersuchung zu berücksichtigen, welche direct auf unser Problem Bezug nimmt. In dieser Hinsicht erstreckte sich dieselbe nur auf Töne von 90—180 Schwingungen und auf folgende 4 Intervalle: Quinte, Octave, gr. Terz und gr. Sexte, die auch mit ziemlicher Ausführlichkeit in seiner Denkschrift abgehandelt sind.

Dass neben diesen auch die Quarte einer experimentellen Prüfung unterzogen worden sei, geht aus folgender knapp gehaltenen Bemerkung hervor: »Je me suis d'ailleurs assuré par l'expé-

1) Erschienen in dem »Recueil des travaux de la société des sciences, de l'agriculture et des arts de Lille« Année 1826 et 1<sup>r</sup> Semestre de 1827. S. 1—56.

2) Op. cit. S. 52.

3) Op. cit. S. 53.

rience que l'oreille ne tolère pas sur lui (das Intervall der Quarte) une erreur plus grande qu'un tiers de comma.«<sup>1)</sup> Nähere Angaben über Versuchsverfahren etc. liegen leider nicht vor.

Delezenne ist somit der erste, der nicht bloß die ebenmerkliche Abweichung von der Reinheit des Einklangs bestimmte, sondern auch von anderen Intervallen.

Indessen trotz des Interesses, welches die von ihm geförderten Resultate boten, trotz der hohen Bedeutung der behandelten Frage für die Fundamentallehren der Kanonik blieb Delezenne lange Zeit wenn nicht ganz unbekannt, so doch der einzige Forscher auf dem neuerschlossenen Gebiete der Tonpsychologie.

Gewisse Ergebnisse seiner Untersuchung standen außerdem zu sehr in Widerspruch mit manchen festgewurzelten Annahmen, um allseitig Anklang zu finden. So namentlich wurde seine Behauptung, dass der geübte Violinist oder Cellist in der Durscala den großen und kleinen Ton unterscheiden, also in der That reine Scala spielen und sich fast von aller Temperatur freihalten können, mit Misstrauen aufgenommen; stand sie doch in völligem Gegensatz zu der damals überwiegenden, wo nicht allgemein angenommenen Ansicht von der Geltung der gewöhnlichen gleichschwebenden Temperatur auch für die Streichinstrumente.

Aber gerade diese paradox scheinenden Behauptungen mussten endlich den Wunsch rege machen, Delezenne's in mancher Beziehung interessante Versuche aufzugreifen. So schrieb Drobisch noch im Jahre 1855: »Eine Wiederholung und Erweiterung seiner Versuche wäre . . . äußerst wünschenswerth, da sich zuletzt nur auf experimentalem Wege wird feststellen lassen, welcher gleichschwebenden Temperatur sich das Spiel auf jenen Instrumenten (es handelt sich zunächst um die Streichinstrumente) am meisten nähert, und unter welchen Umständen etwa der Spieler von ihr zu Gunsten der Reinheit abweicht.«<sup>2)</sup>

Von einem anderen Standpunkte sprach sich Fechner für eine baldige Verification von Delezenne's Versuchen aus:

1) Op. cit. S. 13.

2) Abhandlungen der mathematisch-physischen Classe der königl. sächs. Ges. der Wiss. II. Bd. 1855. »Ueber musikalische Tonbestimmung und Temperatur«. S. 7.

»Obwohl diese Versuche mit großem Fleiße und mit Sorgfalt angestellt scheinen, fehlt doch leider eine eigentlich exacte Methode dabei, so dass man der Vergleichbarkeit der gefundenen Zahlen nicht zu viel Zutrauen schenken kann. Es wäre daher sehr zu wünschen, dass diese für die musikalische Ausübung wie für die Theorie der musikalischen Empfindung gleich wichtigen Bestimmungen theils nach der Methode der richtigen und falschen Fälle, theils der mittleren Fehler, unter jedesmaliger genauer Wahrung der Vergleichbarkeit mit verschiedenen Personen von schlechtem und gutem Gehör wiederholt würden, da die vom Verfasser angewandte Methode der ebenmerklichen Unterschiede oder der Grenzfeler kein hinreichend scharfes Resultat gewähren kann.«<sup>1)</sup>

Trotz ihrer Dringlichkeit blieben jedoch diese Wünsche lange unerfüllt.

Seebeck, der unmittelbar in Delezenne's Fußstapfen trat, obgleich er dessen Resultate nur aus einer kurzen Notiz in Fechner's »Repertorium der Physik« (Bd. I. S. 341) kannte, beschränkte seine Untersuchung lediglich auf die Prime und vernachlässigte gänzlich die Prüfung der übrigen Intervalle. Hinsichtlich dieser letzteren begnügt er sich nur zu bemerken, dass man bei ihnen im Allgemeinen eine geringere Fähigkeit, kleine Fehler der Stimmung zu erkennen, vermuthen darf, wobei natürlich die Uebung einen großen Einfluss haben müsse.<sup>2)</sup>

Die von Fechner und Drobisch geforderte Revision sämtlicher Resultate von Delezenne's Untersuchung erfolgte erst fünf Decennien nach dem Erscheinen der oben citierten Denkschrift. Es war Preyer,<sup>3)</sup> der sich als erster dieser Aufgabe unterzog. Wohl mit verschiedenen Mitteln ausgerüstet, aber sich im Grunde der nämlichen Methode bedienend, nahm er die Prüfung folgender Intervalle der ungestrichenen Octave vor: Octave, Quinte, Quarte, große und kleine Terz, große und kleine Sexte und Secunde.

1) Elemente der Psychophysik. 1. Aufl. Leipzig 1860. 1. Theil. S. 261.

2) Pogg. Annalen der Physik und Chemie. Bd. LXVIII (1846) »Beiträge zur Physiologie des Gehör- und Gesichtssinnes. S. 449—465. S. 462: Ueber die Fähigkeit des Gehörs, sehr kleine Unterschiede der Tonhöhe zu erkennen.

3) Physiologische Abhandl. 1. Reihe. 1. Heft. Jena 1876. S. 38 bis 65: »Die Empfindlichkeit des Intervallensinnes«.

Bedauerlicherweise blieb auch Preyer's Untersuchung unvollständig. Von den angeführten Intervallen sind streng genommen nur die vier ersten mehr oder weniger erschöpfend geprüft, dagegen konnten die übrigen aus näher zu erörternden Gründen einer genaueren Untersuchung nicht unterzogen werden.

So war es denn geboten, das Problem des Intervallsinnes<sup>1</sup> von neuem gründlich vorzunehmen. Die Aufgabe, eine endgültige Lösung desselben zu versuchen, fiel diesmal dem psychologischen Seminar zu Leipzig zu. Aus einer kurzen Notiz, die ich beim Beginne meiner Untersuchung im Archiv des Seminars vorfand, ersehe ich, dass die Prüfung des Intervallsinnes zum erstenmal von Herrn Martin während des Sommers 1886 begonnen wurde. Dieselbe beschränkte sich auf eine größere Reihe von Versuchen mit der großen Terz ( $C = 255 \cdot 49$ ,  $e = 319 \cdot 36$ ) und der Quinte ( $C = 356$ ,  $g = 384$ ). Die gewonnenen Resultate waren jedoch unzureichend und unsicher. Es konnte nur soviel festgestellt werden, dass bei der Terz öfters sehr schlechte Schätzungen vorkamen, während die Quinte auffallend gut erkannt wurde. Ein Semester später wurde diese Untersuchung von den Herrn Peisker und Dr. O. Külpe aufgenommen und auch bis zur Gewinnung einiger fester Grenzwerthe gefördert. Es liegen mir als Resultat dieser sorgfältigen und in jeder Hinsicht zuverlässigen Untersuchung einige Tabellen vor, die ich bei Besprechung meiner Ergebnisse zu berücksichtigen gedenke.

Aber auch diesesmal vereitelte der Zufall die Zuendeführung der angefangenen Untersuchung. Herr Peisker sah sich gezwungen seine Arbeit noch vor Abschluss aufzugeben, und da es ihm weiterhin nicht möglich wurde, zu derselben zurückzukehren, blieb nichts anderes übrig, als die Untersuchung von neuem aufzunehmen.

Mit der Leitung derselben wurde diesmal von Herrn Prof. Wundt der Verfasser betraut, wobei ihm als Versuchspersonen die Herren stud. phil. K. Krestov und stud. phil. F. Pfohl an die Seite gestellt wurden. Diesen beiden und ganz vorzüglich meinem Landsmanne und Collegen Krestov, der bei diesen langwierigen und ermüdenden Versuchen treu bis zu Ende ausharrte, statte ich meinen innigsten Dank ab. Zu besonderem Danke verpflichtete



mich auch Herr Dr. O. Külpe dadurch, dass er mir seine Erfahrungen auf diesem Gebiete bereitwilligst mittheilte.

Bevor ich nun an die Darstellung der Resultate meiner Untersuchung schreite, die von mir selbständig, ohne Rücksicht auf Peisker's Ergebnisse, aufgenommen und durch 2 Semester (W. S. 1887 und S. S. 1888) für folgende 10 Intervalle der eingestrichenen Octave durchgeführt wurde: Octave, Quinte, Quarte, große und kleine Terz, gr. und kl. Sexte, gr. und kl. Septime und Secunde, erachte ich es für ersprießlich, über die bei meinen Versuchen angewandten Tonquellen, Versuchsanordnung und Methode mit steter Berücksichtigung meiner Vorgänger eingehender zu berichten.

---

Als Tonquellen dienten mir eine Reihe von Stimmgabeln, die auf einem auf ihren Grundton abgestimmten, an der einen Seite offenen Resonanzraum aus Holz befestigt sind und theils von R. König in Paris ( $d = 288$ ,  $f = 341.3$ ,  $a = 426.6$ ,  $h = 480$ ), theils von G. Appunn in Hanau herrühren ( $e = 320$ ,  $es = 3072$ ,  $g = 384$ ,  $c = 512$ ); sie wollen wir, so weit sie bis jetzt aufgezählt, kurzweg Intervallgabeln nennen, zum Unterschiede von der Vergleichsgabel und der Normalgabel, 2 tieferen Appunn'schen  $c$ -Gabeln (256), von denen die erste durch die Verschiebung zweier an ihren Armen angebrachter Laufgewichte beliebig verstimmt werden konnte, die letztere dagegen unveränderlich war und nur zur Ermittlung des Consonanzpunktes und der Schwebungen diente.

Für die kleine Sexte und für die kleine Septime standen mir keine eigenen Gabeln zu Gebote, sodass die Prüfung derselben mit den König'schen Gabeln  $h$  und  $a$  vorgenommen werden musste, wobei die  $c$ -Gabel entsprechend erhöht wurde.

Bisher waren zu unserem Zwecke nur Monochord, Tonmesser und Tondifferenzapparat angewendet worden, ersteres von Delezenne, die beiden letzteren von Preyer.

Die Metallsaite des Monochords, welche vor dem Gebrauche noch auf ihre Dichtigkeit und ihren Durchmesser auf das genaueste geprüft wurde, hatte zwischen den beiden feststehenden Stegen eine Länge von 1147 mm und konnte durch einen untergestellten



beweglichen Steg, der zugeschärft und durch eine andere scharfe Kante gegen die Saite gedrückt war, vollkommen genau nach dem Verhältniss der untersuchten Intervalle abgetheilt werden. Die Empfindlichkeitsgrenze wurde durch geringe Verschiebungen des beweglichen Steges nach rechts oder links vom genau bestimmten Theilungspunkte ermittelt.

Ungeachtet mancher Vorzüge, die ein so einfaches Instrument, wie das Monochord, zu bieten vermag, scheint mir dessen Verwendung zu unseren Versuchen doch im Allgemeinen unzweckmäßig; denn es lässt die Metallsaite in ihrer Spannung bei längerem Gebrauche immer etwas nach, sodann ist der Contact des beweglichen Steges mit der daraufliegenden Saite schwer zu regeln, und drittens ist eine minimale Aenderung der Reize durch eine größere Anzahl von Stufen unmöglich.

Preyer gebrauchte vorzugsweise einen Tonmesser, den er selbst stimmte, und nur in einem Falle (bei der Prüfung der Octave) wandte er auch den Tondifferenzapparat an. Der erstere gab von 128 zu 256 Schwingungen um je 4 Schwingungen fortschreitend 33 Zungentöne, sodass leicht wenig verminderte und übermäßige Terzen und kleine Sexten und Quartan, sowie einige Quinten hergestellt werden konnten.

Wohl mögen diese Apparate im Einzelnen diesen oder jenen Vortheil bieten —, aber dass sie gerade zu so delicaten Experimenten sich am besten eignen, dass sie den höchsten Grad von objectiver Zuverlässigkeit zu bieten im Stande seien, dies wird wohl schwerlich jemand behaupten wollen, der selbst nur indirect durch Preyer's Beschreibung mit ihrer Leistungsfähigkeit vertraut geworden ist. Abgesehen davon, dass Zungenklänge nicht die zu unseren Versuchen wünschenswerthe Einfachheit besitzen, dass der Temperatureinfluss auf Metallzungen viel größer ist als auf Stimmgabeln, namentlich aber bleibender, da Stimmgabeln mit der Wiederkehr derselben Temperatur wieder zur selben Schwingungszahl zurückkehren, Metallzungen wegen der dabei stattfindenden Nebenbedingungen aber nicht, litt speciell der eine Apparat, der Tonmesser, an technischen Unvollkommenheiten, die ihn zu exacten Bestimmungen vielfach untauglich machten. Nur dem unzureichenden Umfange der Tonquellen ist es zu verdanken, dass

Preyer einige wichtige Intervalle entweder gar nicht oder nur ungenügend einer experimentellen Prüfung unterziehen konnte.

Es ist nur zu bedauern, dass Preyer, wenn er schon den Stimmgabeln abhold war, nicht wenigstens den seitdem von H. Appunn construirten umfangreicheren Tonmesser von 129 Zungen, welche von 2 zu 2 Schwingungen fortschreiten, benutzen konnte. Gewiss hätten seine Resultate dadurch an Präcision gewonnen; wie sie uns jetzt vorliegen, tragen sie leider nur allzusehr das Gepräge der Quelle, der sie entstammen.

Was Preyer gegen den Gebrauch unserer Tonquellen einwendet, verliert viel von seiner Schärfe, wenn man Obiges in Betracht zieht und Vortheile und Nachtheile beider Arten von musikalischen Hilfsmitteln auch nur summarisch abwägt. Merkwürdiger Weise ist die Veränderlichkeit der Stimmgabeln unter dem Einflusse der Temperatur der einzige Grund, welcher Preyer bestimmt hat, sich um einen neuen Apparat für seine Versuche umzusehen. Nun ist aber die von Preyer behauptete Unempfindlichkeit der Metallzungen für Temperaturunterschiede — wie schon oben angedeutet wurde — eine sehr bedingte, andererseits bietet die Regelung der Temperaturunterschiede im Versuchszimmer so wenig Schwierigkeiten, dass man wahrlich nicht wohl daran thut, sich noch all der übrigen Vortheile der Klangeinfachheit, der bequemeren, leichteren Handhabung der Instrumente und ganz vorzüglich der genaueren Abstufung der Reizintensitäten zu begeben, um seine Fragen an Apparate zu richten, die oft entweder gar keine oder nur unvollkommene Antworten geben und zur Bildung eines sicheren Urtheils den Beobachter wenig befähigen.

Stimmgabeln sind und bleiben demnach, trotz allem, was man gegen sie einwenden mag, von allen bisher gebrauchten Tonquellen die sichersten, aber freilich müssen bei ihrer Anwendung die Bedingungen der Zuverlässigkeit auf das Strengste beobachtet, und alles, was der Objectivität des Urtheils irgendwie nachtheilig sein könnte, soviel als möglich ferngehalten werden.

Hauptsächlich muss für ein gleichmäßiges Anschlagen der zu vergleichenden Stimmgabeln gesorgt werden.

Wie sehr die Stärkeschwankungen die Zuverlässigkeit des qualitativen Urtheiles beeinträchtigen können, und wie wichtig es daher

ist, durch langanhaltende Uebung eine gewisse Geschicklichkeit und untrügliche Sicherheit in der Erzeugung gleicher Tonstärken zu erlangen, bevor man an die Gewinnung einigermaßen genauer Werthe schreiten kann, erhellt am deutlichsten aus der Unsicherheit, die in der Beantwortung der Frage, »ob unter zwei qualitativ unmerklich verschiedenen Tönen der stärkere für den höheren gehalten wird oder umgekehrt«, unter den Gelehrten noch immer herrscht.

Während Stumpf<sup>1)</sup>, gestützt auf eigene Beobachtung, glaubt eher annehmen zu müssen, dass bei falschen Urtheilen vorwiegend der stärkere Ton für höher gehalten wird, beziehungsweise die Verstärkung als Erhöhung, dagegen die Schwächung als Vertiefung vom Gehör aufgefasst werde, führt Mach<sup>2)</sup> Zeugnisse verschiedener zuverlässiger Beobachter an, welche die Frage ganz im entgegengesetzten Sinne entscheiden. Ich kann mich hier auf Weiteres nicht einlassen. Wie man sich diese Erscheinung auch erklären mag, sicher ist, dass Schwankungen in der Intensität des Reizes höchst nachtheilig für die Beurtheilung der erregten Empfindungen sein können, und dass man daher beim Experimentiren den größten Bedacht auf eine Gleichmäßigkeit der einwirkenden und zu vergleichenden Reize nehmen muss. Speciell Stimmgabeln und unter ihnen die tieferen sind ja ziemlich empfindlich für Stärkeschwankungen. Die Richtung, nach welcher diese Veränderung bei uns vor sich zu gehen pflegte, war die von Mach bezeugte: jede bedeutende Verstärkung wurde als eine Vertiefung wahrgenommen, jede Schwächung des Reizes als eine Erhöhung. Täuschungen dieser Art verschwinden jedoch leicht noch im Laufe der ersten Vorübungen. Die Hand gewinnt mit der Zeit eine erstaunliche Sicherheit in dem Gebrauch der Instrumente, und selbst die geringste unwillkürliche Abweichung von der normalen Intensität wird sogleich gefühlt.

Zum Anschlagen der Gabeln bedienen wir uns eines kleinen eisernen, mit Kautschuk und Leder überzogenen Hammers.

1) Tonpsychologie. I. Bd. Leipzig 1883. S. 237.

2) Ueber einige der physiolog. Akustik angehörige Erscheinungen. Sitzungsberichte der Wien. Akad. der Wiss. 1864. Vgl. auch Aberle, Die Täuschungen in der Wahrnehmung der Entfernung der Tonquellen. Dissert. Tübingen 1868. S. 11 fg.

Um die genaue Vergleichung der geweckten Empfindungen und somit die Sicherheit der Urtheilbildung zu ermöglichen, wurde selbstverständlich auch auf eine ausreichende und regelmäßige Dauer der Reize und ebenso auf eine genügende und genau abgemessene zeitliche Distanz (Zwischenpause) gesehen, was durch ein rechtzeitiges Dämpfen der Gabeln mit der flachen Hand genau geregelt werden kann.

Für die Elimination solcher Fehler, welche aus der Verschiedenheit der Zeitlage folgen, ist durch die hier in Anwendung gebrachte und näher zu erörternde Methode genügend gesorgt.

Die Versuchsperson saß gewöhnlich mit dem Rücken gegen den Experimentator und trachtete womöglich in der nämlichen Lage während der ganzen Versuchsreihe zu verharren.

Jede Ablenkung der Aufmerksamkeit durch äußere Umstände ist natürlich bei so heiklen Versuchen zu verhüten.

Wenn zufällig irgend eine Störung eintrat, wurde die ganze Versuchsreihe, falls sich keine Ermüdung eingestellt hatte, wiederholt.

Die Dauer einer einzelnen Versuchsreihe betrug gewöhnlich 20—25 Minuten. Es wurden niemals mehr als 2 Reihen an einem Tage ausgeführt, um eine Ermüdung des Gehörs zu verhindern. Durch die zureichende Zahl der Beobachter war es möglich, eine außerordentlich zweckmäßige Gruppierung der Versuche einzuführen, sodass der Experimentator niemals noch in der nämlichen Stunde als Versuchsperson zu fungieren brauchte.

Durch den jähen Austritt eines der Mitbeobachter, Herrn Pfohl, war ich leider gezwungen, diese Vorsichtsmaßregel aufzugeben, da es aus triftigen Gründen nicht rätlich schien, einen Ersatz für den austretenden Theilnehmer zu suchen.

So ist denn die Untersuchung des Intervallsinnes im weiteren Verlaufe nur von mir unter Mitwirkung meines Landsmannes K. Krestov weiter geführt und beendet worden.

Der Einfluss der Uebung hat sich auch bei uns deutlich bemerkbar gemacht, insofern bei einer späteren Wiederholung der auf dasselbe Intervall bezüglichen Versuche eine größere Feinheit der Unterschiedempfindlichkeit hervortrat, jedoch änderte sich dadurch das Verhältniss der einzelnen Intervalle in Bezug auf ihre Stellung innerhalb der Empfindlichkeitsreihe nicht im geringsten.

Was unsere individuellen Gehörsanlagen anbetrifft, habe ich zu bemerken, dass ich selbst mit ziemlicher Uebung Violine spiele und namentlich in der Stimmung des Instruments geübt bin, dagegen ist Krestov ohne jede musikalische Uebung und hat nie ein Instrument gespielt.

Die Versuchspersonen meiner Vorgänger auf diesem Gebiete hatten sich fast ausschließlich aus der Mitte der musikalisch Gebildeten recrutirt und zeichneten sich durchwegs durch eine ungewöhnliche Feinheit des Unterscheidungsvermögens aus.

Den Experimenten Delezenne's unterzogen sich zwar auch »plusieurs personnes absolument étrangères à la théorie et à la pratique de la musique«, auch einige ganz Ungeübte, allein maßgebend waren ihm doch die Urtheile einiger Künstler und Virtuosen, Rebier, Baumann, Laurens, Delannoy, »qui ont la juste reputation d'avoir l'oreille extrêmement delicate et juste«<sup>1)</sup>. Ebenso fußt auch Preyer's Untersuchung fast ausschließlich auf den Beobachtungen ausgezeichneter Musiker. Die von ihm für die einzelnen Intervalle zusammengestellten Tabellen beziehen sich einzig und allein auf die Aussagen zweier vorzüglicher Musiker, die sich durch einen seltenen Intervallsinn auszeichneten, nämlich der Herren G. Appunn in Hanau und Michael von Davidoff aus Moskau, Meister des Violinspiels<sup>2)</sup>. Es ist klar, dass weder Delezenne noch Preyer methodisch in der Wahl ihrer Beobachter verfahren sind.

Die bevorzugte Verwendung musikalisch Gebildeter hat zwar nicht zu unterschätzende Vortheile; unleugbar werden durch eine passende Auslese die mühevollen und langwierigen Vorversuche aus der Rechnung gebracht, aber wo es gilt allgemeinere Sätze aufzustellen, wird man denn doch auch dem unbefangenen Urtheil eines minder Geübten ebensoviel Aufmerksamkeit widmen müssen, wie dem Urtheile eines sehr Geübten.

Ich huldige zwar nicht mit G. E. Müller<sup>3)</sup> der Meinung, dass, je größer die musikalische Bildung des Beobachters, desto weniger auf ein Urtheil desselben über die Gleichheit oder Ungleichheit zweier übermerklicher Höhenunterschiede zu legen sei, muss es aber

1) C. c. p. 9.

2) Zu unterscheiden von dem berühmten Violoncellospieler Karl Davidoff.

3) Zur Grundlegung der Psychophysik. 2. Ausg. S. 289.

wenigstens dahingestellt sein lassen, ob das Urtheil solcher Beobachter von ihrer musikalischen Erfahrung, die oft sehr einseitig ausgebildet sein kann, in allen Fällen vollkommen unbeeinflusst bleibt.

Die ausschließliche Verwendung einer Kategorie von Versuchspersonen ist also unzweckmäßig. Den größten Vortheil bietet selbstverständlich ein Verfahren, welches alle Kategorien urtheilsfähiger Beobachter einschließt, etwa Musiker von Fach, musikalisch Geübte (Dilettanten) und minder Geübte — eine Combination, wie sie auch bei unseren Versuchen geplant war und nur durch den zu frühen Austritt des Vertreters der ersten Kategorie vereitelt wurde.

Einige Worte noch über die hier angewandte Methode.

Delezenne hatte die Methode der ebenmerklichen Unterschiede oder der Grenzfehler befolgt.

Dass dieselbe sich wenig zu Untersuchungen auf dem Gebiete des Intervallsinnes eigne und durch eine andere, schärfere Resultate gewährende Methode zu ersetzen sei, war schon von Fechner in der ersten Auflage seiner »Elemente der Psychophysik« ausdrücklich hervorgehoben worden.

Es ist nur zu bedauern, dass Preyer diesen unzweideutigen Wink nicht beherzigt und es im Großen und Ganzen vorgezogen hat, das Verfahren Delezenne's beizubehalten.

So können weder Preyer's noch Delezenne's Experimente mehr als den Werth von Vorversuchen beanspruchen, die wohl im allgemeinen eine Orientirung über das untersuchte Gebiet ermöglichen, aber im einzelnen näher geprüft werden müssen. Insofern Preyer nicht von einem unbestimmten größeren Vergleichsreiz, sondern vom Gleichheitspunkte ausgeht, hat sein Verfahren zwar einen bedeutenden Vortheil über jene psychophysischen Maßmethoden, welche, ihren Ausgangspunkt von einem sicher übermerklichen Vergleichsreiz nehmend, oft das Sinnesorgan und die Aufmerksamkeit ermüden, aber dieser Vortheil wird andererseits stark aufgewogen durch den Mangel einer vollkommen stetigen Abstufung der Reize, einen Mangel, der freilich seinen Hauptgrund in der Unzulänglichkeit der gebrauchten Apparate hat.

Die Einzelwerthe differiren oft bei Beginn gleich um eine Schwingung. Von dem fast reinen Intervall der kleinen Sexte



139·62:223·48 (Differenz 0·088 Schw.) wird gleich ein Sprung zu dem übermäßigen Intervall 131·60:211·65 (Differenz 1·090) gemacht, oder von 167·68:223·48 (Differenz 0·093) zu 183·53:243·35 (Vermind. Quarte, Diff. 1·356); dann aber wird plötzlich zurückgekehrt von 199·59:223·48 (Diff. 1·058) auf 135·63:151·80 (Verm. Secunde. Diff. 0·783) etc.

Durch das Sprunghafte des Verfahrens ist natürlich auch eine genauere Bestimmung der Schwellenwerthe durch eine Mittelziehung unmöglich gemacht. Noch mehr werden aber die Chancen der Sicherheit beeinträchtigt durch die unzureichende oder ungleichmäßige Anzahl der vorhandenen Urtheile beider Beobachter, so z. B. liegen von Davidoff 20 Bestimmungen für die Quarte vor, dagegen von Appunn nur 11.

Auch war es nicht rathsam, die Urtheile beider Beobachter ohne Rücksicht auf die individuellen Verschiedenheiten als gleichwerthig zu behandeln und aus ihnen Schlüsse zu ziehen, die sich bei genauerer Prüfung nur für den einen Beobachter als gültig erweisen, keineswegs aber bestimmend für den zweiten sein können. So finde ich Preyer's Behauptung, dass die kleine Sexte fraglos den letzten Platz unter den von ihm untersuchten Intervallen einnehme und die kleine Terz den vorletzten nur für den einen der Beobachter, für Davidoff bestätigt, während für Appunn die Empfindlichkeitsreihe sich etwas anders gestaltet.

Die bei meinen Versuchen eingehaltene Methode ist die von Prof. Wundt eingeführte und im ersten Bande der »Philosophischen Studien« eingehend dargestellte Methode der Minimaländerungen.

Speciell für die Untersuchung der Unterschiedsempfindlichkeit für Tonhöhen ist sie neuerdings von E. Luft mit Erfolg in Anwendung gebracht und beschrieben worden in dem IV. Bde. ebend.

Ich verweise für das Nähere auf diese beiden Abhandlungen und will mich hier mit einigen kurzen Andeutungen begnügen.

Bekanntlich unterscheidet sich die Methode der Minimaländerungen von der ihr zu Grunde liegenden älteren Methode der ebenmerklichen Unterschiede erstens durch den Ausgangspunkt der Vergleichung, sodann aber durch eine reich variierte Combination



der Theilversuche, welche eine Elimination der vorhandenen Fehler in hohem Maße sichert.

Um jedes tastende Verfahren in der Feststellung der Ebenmerklichkeitspunkte zu beseitigen, wird der Vergleichsreiz nicht so gewählt, dass er sicher die Grenze des Ebenmerklichen überschreitet, sondern er wird dem Normalreiz gleich gemacht.

Es galt daher bei unseren Versuchen zunächst die zu vergleichenden Gabeln auf ihren Gleichungspunkt zu stimmen. Dies geschah durch das simultane Anschlagen der Normalgabel ( $N$ ), der Vergleichsgabel ( $V$ ) und der jeweiligen Intervallgabel ( $J$ ).

Im weiteren gestalteten sich unsere Versuche nach der bezeichneten Methode folgendermaßen. Nachdem die Richtung, in der die Veränderung des Intervalles zu geschehen hatte, dem Beobachter angegeben (nach oben, d. h. nach den Gabelenden, oder nach unten, nach dem Griff) und der objective Gleichungspunkt gut eingepägt war, wurden die Laufgewichte der Vergleichsgabel nach der vorherbestimmten Richtung um je 1 mm verschoben, bis zu dem Punkte, wo das Intervall ebenmerklich unrein (eben zu tief, eben zu hoch) geschätzt wurde. Dieser Punkt wurde aufgezeichnet, aber noch um einiges überschritten, bis der Unterschied deutlich wurde (deutlich tief oder hoch); dann ging es in der nämlichen Weise zurück bis zu dem Punkte, wo das Intervall für das subjective Empfinden den Consonanzpunkt erreicht. Das nämliche Verfahren wurde nach der entgegengesetzten Richtung eingehalten.

Jede Versuchsreihe lieferte demnach entsprechend den 4 Theilversuchen 4 Bestimmungen, die je nach der Zeitlage und der befolgten Richtung etwas von einander abweichende Werthe repräsentiren.

Dieser Umstand gewährt eine erschöpfende und regelmäßige Variation der Versuche.

In dieser Beziehung bieten unsere Tonquellen folgende Möglichkeiten:

- I. Die Vergleichsgabel wird zuerst angeschlagen ( $VJ$ ).
- II. Die Intervallgabel wird zuerst angeschlagen ( $JV$ ).
- III. Die Vergleichsgabel wird wesentlich erhöht ( $u$ ).
- IV. Die Vergleichsgabel wird wesentlich vermindert ( $o$ ).

Wir haben demnach folgende Versuchsreihen:

$VJ_o$  und  $JV_o$

mit den primären Werthen  $t$  (tief) und  $g_o$  (gleich nach oben) und den secundären  $h$  (hoch) und  $g_u$  (gleich nach unten) und ebenso

$JV_u$  und  $VJ_u$

mit  $h$  und  $g_u$  (primär) und  $t$ ,  $g_o$  (secundär).

Diese 4 verschiedenen Reihen ( $VJ_o$ ,  $VJ_u$ ,  $JV_o$ ,  $JV_u$ ) wurden mit jedem Beobachter für jedes Intervall je 3mal vorgenommen, sodass die Prüfung eines Tonverhältnisses nur nach 12, resp. 24 Versuchsreihen als abgeschlossen betrachtet wurde.

Die weitere Anwendung der Methode mag wohl am passendsten an einem Beispiele gezeigt werden. Ich wähle zu diesem Zwecke die Octave meiner Schätzung und bemerke, dass die einzelnen Werthe der Rohversuchstabelle die Schwingungsdifferenzen der verglichenen Töne (256 und 512) in einer Secunde für jeden Eben- und jeden Untermerklichkeitspunkt, wie sie genau vermittelt der Schwebungen bestimmt wurden, repräsentiren.

$VJ_o$				$JV_o$			
$t$	$g$	$h$	$g$	$t$	$g$	$h$	$g$
0·655	0·333	0·453	0·200	0·333	0·333	0·200	0·200
0·332	0·332	0·199	0·199	0·334	—	0·200	—
0·333	—	0·200	—	0·332	—	0·199	—
$VJ_u$				$JV_u$			
$h$	$g$	$t$	$g$	$h$	$g$	$t$	$g$
0·435	—	0·335	0·335	0·451	0·198	0·909	0·332
0·200	—	0·333	—	0·200	—	0·333	—
0·198	—	0·330	—	0·198	—	0·330	—

Die Verarbeitung der Rohwerthe geschieht wie folgt:

I. Durch Mittelziehung aus den Werthen von je 3 entsprechenden Punkten und sodann aus  $t + g_o$ , wie  $h + g_u$  werden  $\Delta_o$  und  $\Delta_u$ , die obere und die untere Unterschiedsschwelle für  $VJ_o$ ,  $JV_o$ ,  $VJ_u$  und  $JV_u$  einzeln ermittelt.

	$VJ_o$	$VJ_u$	$JV_o$	$JV_u$
$\Delta_o$	0·330	0·233	0·222	0·317
$\Delta_u$	0·208	0·142	0·132	0·174

II. Werden die Fehler eliminiert, welche aus der Verschiedenheit der Zeitlage resultiren, durch Mittelziehung aus den zusammengehörigen Werthen der Versuchsordnungen  $VJ_o$  etc., wobei folgende Combinationen eingehalten werden:

$$VJ_o + VJ_u;$$

$$JV_o + JV_u;$$

$$VJ_o + JV_o;$$

$$VJ_u + JV_u$$

	$VJ_o + VJ_u$	$JV_o + JV_u$	$VJ_o + JV_o$	$VJ_u + JV_u$
$\Delta_o$	0·284	0·269	0·274	0·277
$\Delta_u$	0·175	8·153	0·170	0·158

III. Suchen wir noch das Mittel aus den  $\Delta_o$  und  $\Delta_u$  sämtlicher obiger Rechengruppen. Die so festgestellten Werthe mögen mit  $D_o$  und  $D_u$  bezeichnet werden.

$$D_o = 0·276$$

$$D_u = 0·164$$

Und schließlich werden

IV.  $D_o$  und  $D_u$  zusammengenommen und daraus der endgültige Mittelwerth  $D$  bestimmt.

$$D = 0·220.$$

Diese Operation wurde bei der Bestimmung der Empfindlichkeitsgrenze sämtlicher untersuchten Tonverhältnisse in allen ihren Punkten streng eingehalten.

Bevor wir nun zu den einzelnen Intervallen übergehen, muss ich noch erwähnen, dass wir uns vor einem naheliegenden Fehler der Beurtheilung zu hüten gesucht haben. Es zeigte sich nämlich eine gewisse Neigung, die Unterschiede des Intervalls bloß auf die

Veränderung der variablen Gabel zu beziehen, also nicht eine unmittelbare Schätzung der Intervallgröße, sondern eine solche der einfachen Qualitätsänderung an der Vergleichsgabel vorzunehmen. Selbstverständlich musste eine derartige Verschiebung unserer eigentlichen Aufgabe vermieden werden, und dass uns dies gelungen, bezeugen die Verschiedenheiten, welche wir trotz der nämlichen Vergleichsgabel bei den verschiedenen Intervallen erhalten haben.

Die Octave.  $2/1 = 2.000$ .

Die Frage, ob dieses Intervall geringere Fehler vertrage als die Quinte, war selbst nach Delezenne und Preyer infolge der widersprechenden Resultate ihrer Untersuchung unentschieden geblieben. Ohne mich in unbedingten Gegensatz zu dem ersteren zu stellen, glaube ich dennoch auf Grund meiner Versuche der Octave in Uebereinstimmung mit Preyer die erste Stelle innerhalb der Empfindlichkeitsscala mit folgenden Schwellenwerthen anweisen zu müssen:

Sämmtliche Reihen.

		Sch.	Kr.				
$D_o$		0.276	0.408				
$D_u$		0.164	0.305				
$D$		0.220	0.356				
		$VJ_o$	$VJ_u$	$JV_o$	$JV_u$		
Sch.	$\mathcal{A}_o$	0.230	0.238	0.222	0.317		
	$\mathcal{A}_u$	0.208	0.132	0.142	0.174		
Kr.	$\mathcal{A}_o$	0.383	0.434	0.543	0.274		
	$\mathcal{A}_u$	0.320	0.199	0.287	0.426		

Doch nicht allein durch die relativ kleinsten Schwellenwerthe zeichnet sich die Octave als das bestunterscheidbare Intervall aus, sondern auch dadurch, dass bei ihr am öftesten subjectiver und

objectiver Gleichungspunkt zusammentrafen. Von 24 Bestimmungen wichen bei mir nur 9 nach der positiven oder negativen Seite ab, bei Krestow etwas mehr, sonst wurde der Consonanzpunkt genau geschätzt. Bei weitem nicht so günstig ist dieses Verhältniss bei den übrigen Intervallen.

Wie angedeutet, weicht Delezenne in der Bestimmung der Unterschiedsempfindlichkeit für die Octave von mir und Preyer ab. Er fand, dass, wenn die Saite eines Monochords genau nach dem Verhältniss 1:2 getheilt war, der Steg mindestens um 1 mm nach rechts oder links verschoben werden musste, damit die Abweichung von der Reinheit der Octave den musikalisch Geübten jedesmal merklich werde. Demnach änderte sich das Verhältniss der Octave bei der Verschiebung nach links wie folgt:

$$\frac{\frac{2}{3} 1147 + 1}{\frac{1}{3} 1147 - 1} = 2.00787,$$

nach der entgegengesetzten Seite:

$$\frac{\frac{2}{3} 1147 - 1}{\frac{1}{3} 1147 + 1} = 1.99217.$$

Die Unreinheit der Octave wurde also erkannt, sobald die absoluten Schwingungszahlen der beiden verglichenen Töne sich wie 180.47:89.88, beziehungsweise 179.53:90.12 verhielten. Dies gibt eine absolute Schwingungsdifferenz von 0.710 Doppelschwingungen in der Secunde, sowohl für die Erhöhung als für die Verminderung des Intervalles (die reine Octave zu einem Grundton 89.88 wäre 179.76 und zu 90.12 180.24) — ein exorbitanter Werth, sobald man die für die Quinte angegebenen Fehler in Betracht zieht (0.265 und 0.225).

Ein genauer Vergleich mit unseren Schwellenwerthen lässt sich selbstverständlich wegen der Verschiedenheit der angewandten Methode und der differenten Tonlage, in der experimentirt wurde, nicht anstellen. Wenn man nur die Resultate der Rohversuche berücksichtigte, so würde man auch bei uns mehr als einen Werth finden, der hart an 0.710 streift, ja sogar diesen übertrifft, aber die einzelnen Fälle sind für uns nicht maßgebend. Preyer konnte infolge des unzureichenden Umfangs seiner Tonquellen, wie schon

einmal bemerkt, die Octave nicht eingehender untersuchen; doch selbst die wenigen Urtheile, die ihm vorlagen, schienen ihm in dem Maße überzeugend, dass er sich berechtigt glaubte, die Behauptung Delezenne's von der Priorität der Quinte umzustossen und dafür jene der Octave zu vertheidigen. Mit Hülfe des Tonmessers konnte er zunächst nur soviel feststellen, dass selbst Ungeübte das Intervall  $127.6:251.23$  (Diff.  $3.97$ ) unrein fanden. Geübten genügte eine Abweichung von  $0.100$  Schwingungen in der Secunde ( $127.6:255.3$ ) um sofort die Dissonanz wahrzunehmen. Die weitere Prüfung nahm Preyer mit dem Tondifferenzapparat vor, doch auch diesmal konnte er einen bestimmten Grenzwert wegen der vielen unterlaufenen falschen Urtheile nicht feststellen.

Peisker und Külle schätzten die Octave mit großer Sicherheit:

	<i>P.</i>	<i>K.</i>
$D_o$	0.584	0.593
$D_u$	0.441	0.267
$D$	0.512	0.430

Die relativ höheren Werthe, welche bei diesen Beobachtern  $D_o$  und  $D_u$  aufweisen, entsprechen der verhältnissmäßig geringeren Empfindlichkeit beider für Intervallunterschiede, die sich auch in der Schätzung der übrigen Tonverhältnisse bekundet.

Die Quinte.  $\frac{3}{2} = 1.500$ .

Für dieses Intervall stellte ich folgende Empfindlichkeitsgrenzen fest:

Sämmtliche Reihen.

	<i>Sch.</i>	<i>Kr.</i>
$D_o$	0.414	0.408
$D_u$	0.253	0.341
$D$	0.332	0.374

		$VJ_o$	$VJ_u$	$JV_o$	$JV_u$
<i>Sch.</i>	$\mathcal{A}_o$	0·294	0·370	0·628	0·380
	$\mathcal{A}_u$	0·304	0·188	0·306	0·216
<i>Kr.</i>	$\mathcal{A}_o$	0·534	0·473	0·290	0·333
	$\mathcal{A}_u$	0·198	0·409	0·397	0·353

Die Differenz in der Unterschiedsempfindlichkeit beider Beobachter ist hier nicht so beträchtlich wie bei der Octave. Bemerkenswerth ist, dass Krestow's  $\mathcal{A}_o$  unverändert geblieben ist. Die geringere Schätzungsfähigkeit documentirt sich nur durch einen geringen Zuwachs des  $\mathcal{A}_u$ .

Delezenne fand, dass Musiker und musikalisch Gebildete die Abweichung von der Reinheit des Intervalles wahrnahmen, sobald der Steg nur um  $\frac{1}{2}$  mm nach rechts oder links verschoben wurde.

Gemäß dem Verhältniss der Seitenlängen

$$\frac{\frac{3}{5} 1147 - \frac{1}{2}}{\frac{2}{5} 1147 + \frac{1}{2}} = 1\cdot4972$$

und

$$\frac{\frac{3}{5} 1147 + \frac{1}{2}}{\frac{2}{5} 1147 - \frac{1}{2}} = 1\cdot5027, \text{ statt } 1\cdot5$$

machten die beiden Töne 100·072 und 149·837 Schwingungen bei der Verschiebung des Steges nach rechts und 99·927, 150·160 bei der Verschiebung nach links. Im ersten Falle haben wir eine Verminderung des Intervalles um 0·265 Schwingungen (die reine Quinte zu 149·072 beträgt 150·105) — im zweiten eine Erhöhung desselben um 0·225. Minder Geübte und Unmusikalische nahmen die Dissonanz wahr, sobald der Steg um 1 mm verschoben wurde. Die Abweichung von der Quinte 100:150 wurde somit erkannt, sobald der eine Ton 100·145, der andere 149·670 Schwingungen machte. Der wahrgenommene Fehler betrug 0·540 (für die Verminderung).

Preyer konnte das Intervall nicht genauer untersuchen, weil die unreinen Quinten, die ihm zur Verfügung standen, sämtlich übermerklich unrein waren und er nicht durch Schaben an den Zungen die Prüfung der anderen Intervalle beeinträchtigen wollte.



Soviel ließ sich jedoch feststellen, dass Ungeübte einen Fehler von 1·810 und 3·835 Schwingungen auf die verminderte Quinte und 2·190 und 3·690 auf die übermäßige jedesmal wahrnahmen. Von den 6 fast reinen Quinten des Tonmessers, die er seinen Beobachtern Davidoff und Appunn zur Prüfung vorlegen konnte, und die um 0·020, 0·080, 0·145, 0·190, 0·220 und 0·290 Schwingungen von der absoluten Consonanz abwichen, wurden mit Ausnahme einer sämtlich für vollkommen rein erklärt. Nur Appunn schätzte die Quinte, repräsentirt durch die Schwingungszahlen 151·80 und 222·78, »eine Spur zu tief«. Der Fehler beträgt 0·220 Schwingungen.

Auch Peisker und Külpe zeigten eine geringere Empfindlichkeit für die Quinte im Vergleich zur Octave:

	<i>P.</i>	<i>K.</i>
<i>D<sub>o</sub></i>	0·633	0·638
<i>D<sub>u</sub></i>	0·436	0·380
<i>D</i>	0·534	0·509

Die Differenz der einzelnen Schwellenwerthe beider Intervalle ist bei ihnen nicht so ausgesprochen wie bei mir. In dieser Hinsicht nähern sie sich mehr Krestow, dem Octave und Quinte fast gleichwerthig erschienen. Die Quinte der gleichschwebenden Temperatur in dieser Tonlage kann als gut bezeichnet werden ( $1·5 = 1·498307$ ). Die Verstimmung beträgt nur 0·434 Schwingungen.

Die Quarte.  $\frac{4}{3} = 1·333$ .

Die Schwellenwerthe dieses Intervalls sind sämtlich größer als die der Quinte, aber kleiner als jene der Terz.

	<i>Sch.</i>	<i>Kr.</i>
<i>D<sub>o</sub></i>	0·577	0·435
<i>D<sub>u</sub></i>	0·262	0·371
<i>D</i>	0·419	0·403

		$VJ_o$	$VJ_u$	$JV_o$	$JV_u$
<i>Sch.</i>	$\Delta_o$	0·593	0·438	0·651	0·629
	$\Delta_u$	0·232	0·374	0·091	0·352
<i>Kr.</i>	$\Delta_o$	0·584	0·142	0·394	0·622
	$\Delta_u$	0·274	0·507	0·239	0·466

Auch Preyer weist der Quarte (mit Umgehung der Secunde) unmittelbar die Stelle nach der Quinte an, wohl nicht ganz mit Unrecht, obgleich die absoluten Schwingungsdifferenzen uns eines anderen zu belehren scheinen. Vergleicht man seine Bestimmungen für die Quarte und die Terz, so wird man finden, dass diese letztere durch erheblich kleinere Werthe vertreten ist; sie müsste folglich an die Stelle der Quarte treten — auch mit Recht, wenn sonst den relativ kleineren Zahlen im allgemeinen eine größere Sicherheit in der Schätzung des Intervalls entsprochen hätte, was nicht der Fall war. Im Gegentheil wies keines von den übrigen geprüften Tonverhältnissen so viele falsche Urtheile auf, wie die Terz. Es ist fast unglaublich, dass so ausgezeichnete Musiker wie Davidoff und Appunn sich in dem Maße täuschen konnten, der erstere, indem er 2mal eine übermäßig erhöhte Terz für vermindert erklärte (die Differenz betrug im ersten Falle 0·990, im zweiten sogar 2·050 Schwingungen), und ebenso Appunn, der bei der Schätzung des übermäßigen Intervalls 139·62:195·59 angab, den 2. Ton »etwas zu tief« zu hören (Diff. 1·005).

Peisker und Külpe weichen in der Schätzung der Quarte von uns ab. Was die Stellung des Intervalls innerhalb der Empfindlichkeitsscala anbetrifft, so ist sie bei beiden Beobachtern eine nicht übereinstimmende.

	<i>P.</i>	<i>K.</i>
$D_o$	0·974	0·763
$D_u$	0·490	0·759
$D$	0·732	0·761

Die Quarte der gleichschwebenden Temperatur ( $1.33484 = 1.3$ ) schwebt in dieser Tonlage um  $0.419$  Schwingungen in die Höhe ( $256 : 341.719 = 256 : 341.333$ ). Die geforderte Verstimmung erreicht gerade den Werth, den ich für  $D$  habe.

Die Terz.  $\frac{5}{4} = 1.250$ .

Während wir bis jetzt gleichen Schritt hielten, gehen unsere Urtheile bei diesem Intervalle auseinander und zwar so, dass bei Krestow unmittelbar an die Quarte sich die große Sexte anschließt, bei mir dagegen die Ordnung: Octave, Quinte, Quarte, große Terz eingehalten wird.

		Sch.	Kr.				
	$D_o$	0.644	0.656				
	$D_u$	0.326	0.462				
	$D$	0.485	0.559				
		$VJ_o$	$VJ_u$	$JV_o$	$JV_u$		
Sch.	$\mathcal{A}_o$	0.857	0.373	0.736	0.618		
	$\mathcal{A}_u$	0.326	0.449	0.232	0.309		
Kr.	$\mathcal{A}_o$	0.714	0.525	0.771	0.617		
	$\mathcal{A}_u$	0.573	0.375	0.406	0.493		

Delezenne und Preyer fanden die Unterschiedsempfindlichkeit für dieses Intervall ziemlich niedrig, aber während der erstere ganz bestimmt die Terz der Sexte voranstellt, kann Preyer nicht sicher angeben, ob die große Terz oder die große Sexte der Quarte zunächst liege.

Delezenne führt in Betreff der Terz folgendes aus: »L'expérience souvent répétée m'a rarement donné 2 millimètres d'erreur, Il m'est souvent arrivé au contraire de trouver le chevalet au point de division. Cette consonnance est beaucoup moins tranchée que celle de quinte, sans doute parce qu'elle se rapproche d'avantage de l'unisson. Il faut une attention soutenue pour la bien saisir. Accor-

dons cependant un mouvement d'un millimètre vers la gauche. On aura ainsi par l'erreur inaperçue:

$$\frac{\frac{5}{9} 1147 + 1}{\frac{4}{9} 1147 - 1} = \frac{5}{4} \left(\frac{81}{80}\right)^{0.284}$$

c'est à dire un peu plus d'un quart de comma<sup>(1)</sup>.

Vorstehende Angaben sind bei weitem nicht so bestimmt, wie die über die Octave und die Quinte. Delezenne begnügt sich diesmal nur die Grenze zu bezeichnen, bis zu welcher das Intervall noch als rein aufgefasst wird, ohne das Maß der Verschiebung für beide Richtungen (links und rechts) anzugeben. Jedenfalls kann die Verschiebung von 2 mm nicht als die normale angesehen werden.

Entsprechend dem Verhältniss  $\frac{\frac{5}{9} 1147 + 1}{\frac{4}{9} 1147 - 1} = 1.2544$ , statt 1.25 blieb noch der Unterschied des Intervalles 107.83:135.26 unmerklich (Diff. 0.473).

Bei der Verschiebung von 2 mm würde sich das Verhältniss

der beiden Töne folgendermaßen gestalten:  $\frac{\frac{5}{9} 1147 + 2}{\frac{4}{9} 1147 - 2} = 1.2588$  und

$\frac{\frac{5}{9} 1147 - 2}{\frac{4}{9} 1147 + 2} = 1.2412$  (107.66:135.52 und 108.21:134.31 statt 108:135).

Die Differenz beträgt im ersten Falle 0.952, im zweiten 0.645. Wir dürfen die wahre Grenze zwischen 0.473 und 0.645 suchen.

Nach Peisker verhalten sich  $\mathcal{A}_o : \mathcal{A}_u = 0.750 : 0.646$  ( $P$ ) und  $0.816 : 0.653$  ( $K$ ).

Die Empfindlichkeit des ersteren Beobachters für dieses Intervall war geringer als für die Sexte. In dieser Hinsicht stimmt er vollkommen überein mit Krestow, dagegen schätzte er umgekehrt die Terz besser als die Sexte und hier traf sein Urtheil mit meinem zusammen.

Die Terz der gleichschwebenden Temperatur ist für unsere Lage und selbstverständlich für unser Gehör ganz schlecht (1.259921 = 1.2500). Der Fehler beträgt 2.539 Schwingungen (256:322.539 = 256:320).

1) Op. cit. S. 10.

Die große Sexte.  $\frac{5}{3} = 1.666$ .

Für dieses Intervall ließen sich folgende Schwellenwerthe ermitteln.

		Sch.	Kr.			
	$D_o$	0.659	0.604			
	$D_u$	0.345	0.409			
	$D$	0.502	0.506			
		$VJ_o$	$VJ_u$	$JV_o$	$JV_u$	
Sch.	$\Delta_o$	0.811	0.467	0.871	0.487	
	$\Delta_u$	0.261	0.447	0.352	0.316	
Kr.	$\Delta_o$	0.890	0.257	0.585	0.685	
	$\Delta_u$	0.213	0.642	0.427	0.356	

Delezenne bemerkt: »Si je recommence en reculant le che-valet d'un millimètre vers la gauche ou de 1.5 vers la droite, l'erreur devient sensible. En faisant vibrer les deux cordes à la fois, j'ai à très-peu près les mêmes limites d'erreur. Ces erreurs en sense contraire et auxquelles l'oreille est sensible sont donc

$$\frac{\frac{5}{8} 1147 + 1}{\frac{3}{8} 1147 - 1} = \frac{5}{3} \left( \frac{81}{80} \right)^{0.299}$$

et

$$\frac{\frac{5}{8} 1147 - 1.5}{\frac{3}{8} 1147 + 1.5} = \frac{5}{3} \left( \frac{80}{81} \right)^{0.441}$$

L'oreille ne peut donc être trompée d'un demi-comma sur l'inter- valle de sitte<sup>1)</sup>.

Reduciren wir diese Angaben auf unser Maß, so ergibt sich für die übermäßige Sexte (Verschiebung des Steges um 1 mm nach

1) Op. cit. S. 15.

links) eine Schwingungsdifferenz von 0·651, nämlich  $\frac{\frac{5}{8} 1147 + 1}{\frac{3}{8} 1147 - 1} = 1·6728$ , demnach 95·866:160·37, statt 96:160 — für das verminderte Intervall (Verschiebung um 1·5 mm nach rechts) 0·829, nämlich  $\frac{\frac{5}{8} 1147 - 1·5}{\frac{3}{8} 1147 + 1·5} = 1·6576$ ; 96·202:159·44.

Preyer konnte die Empfindlichkeit für dieses Intervall nicht genau ermitteln, jedoch selbst aus der kleinen Anzahl von Urtheilen, die ihm vorlagen, konnte er ersehen, dass die große Sexte der gleichschwebenden Temperatur für seine Tonlage schlecht sei.

Peisker's Tabellen zeigen folgende Schwellenwerthe für die große Sexte:

	<i>P.</i>	<i>K.</i>
<i>D<sub>o</sub></i>	0·795	0·974
<i>D<sub>u</sub></i>	0·487	0·740
<i>D</i>	0·641	0·857

Die gleichschwebende Sexte unserer Region verlangt eine Erhöhung um 3·873 Schwingungen ( $1·681793 = 1·666$ ), die ungleichschwebende Kirnberger's etwas weniger: 2·848, aber immerhin noch zuviel, wenn man unsere Empfindlichkeitsgrenzen als Maß nimmt.

Die Secunde.  $\frac{9}{8} = 1·125$ .

Die Unterschiedsempfindlichkeit für dieses Intervall ist bei mir und Krestow eine ziemlich differente, sie weicht auch ganz beträchtlich von der Empfindlichkeit, welche Preyer für seine Beobachter angibt, ab. Auf diese auffallenden Differenzen in der Schätzung der Secunde kommen wir noch einmal zurück.

	<i>Sch.</i>	<i>Kr.</i>
$D_o$	0·697	0·832
$D_u$	0·399	0·600
$D$	0·548	0·716

		$VJ_o$	$VJ_u$	$JV_o$	$JV_u$
<i>Sch.</i>	$\Delta_o$	0·790	0·695	0·909	0·398
	$\Delta_u$	0·214	0·432	0·461	0·492
<i>Kr.</i>	$\Delta_o$	0·710	1·075	0·819	0·725
	$\Delta_u$	0·452	0·595	0·480	0·875

Die Secunde der gleichschwebenden Temperatur ( $1·122462 = 1·125$ ) schwebt nur um 0·606 Schwingungen nach der Tiefe. Sie kann demnach als gut gelten.

Die kleine Terz.  $\frac{6}{5} = 1·200$ .

Preyer's Behauptung, dass nächst der kleinen Sexte die kleine Terz bezüglich ihrer Reinheit am schwersten zu beurtheilen sei, wird durch unsere Versuche nur theilweise bestätigt, insofern sich bei Krestow zwischen diese beiden Intervalle noch die Secunde einschleibt.

	<i>Sch.</i>	<i>Kr.</i>
$D_o$	0·822	0·779
$D_u$	0·392	0·502
$D$	0·607	0·640

		$VJ_o$	$VJ_u$	$JV_o$	$JV_u$
<i>Sch.</i>	$\Delta_o$	0·928	0·978	0·974	0·410
	$\Delta_u$	0·266	0·499	0·212	0·592
<i>Kr.</i>	$\Delta_o$	0·644	1·186	0·843	0·444
	$\Delta_u$	0·553	0·538	0·431	0·483



Die kleinen Terzen der gleichschwebenden Temperatur sind sehr schlecht. Eine Verstimmung um 2·764 Schwingungen ( $1·189207 = 1·200$ ) in unserer Tonlage dürfte selbst einem ungeübten Ohr wahrnehmbar sein.

Die kleine Sexte.  $\frac{8}{5} = 1·600$ .

In der Schätzung dieses Intervalles stimmen zum erstenmale wieder unsere Beobachtungen mit denen Preyer's zusammen.

Das Ergebniss unserer Versuche ist folgendes:

		<i>Sch.</i>	<i>Kr.</i>		
	$D_o$	0·846	0·854		
	$D_u$	0·498	0·626		
	$D$	0·672	0·740		

  

		$VJ_o$	$VJ_u$	$JV_o$	$JV_u$
<i>Sch.</i>	$\Delta_o$	0·920	0·735	1·035	0·696
	$\Delta_u$	0·262	0·623	0·552	0·563
<i>Kr.</i>	$\Delta_o$	0·716	1·105	0·722	0·877
	$\Delta_u$	0·658	0·616	0·692	0·540

Die kleinen Sexten der gleichschwebenden und der ungleichschwebenden Temperatur sind sämtlich schlecht. Die erste verlangt für unsere Tonlage eine Verstimmung nach der Tiefe von 3·361 Schwingungen ( $1·587401 = 1·600$ ), die letztere gar von 5·270 (Kb.  $1·58024 = 1·600$ ).

Kleine Septime.  $\frac{9}{5} = 1·800$ .

Ueber dieses wie über das folgende Intervall liegen in den nachstehenden Bestimmungen die ersten Angaben über die Unterschiedsempfindlichkeit für Septimen vor.

Preyer konnte diese Tonverhältnisse wegen ihres zu großen Umfanges nicht untersuchen.

	<i>Sch.</i>	<i>Kr.</i>
$D_o$	0·854	0·867
$D_u$	0·501	0·660
$D$	0·678	0·763

		$VJ_o$	$VJ_u$	$JV_o$	$JV_u$
<i>Sch.</i>	$\mathcal{A}_o$	0·905	0·796	1·023	0·695
	$\mathcal{A}_u$	0·510	0·582	0·188	0·727
<i>Kr.</i>	$\mathcal{A}_o$	0·819	0·951	0·991	0·709
	$\mathcal{A}_u$	0·663	0·628	0·561	0·791

Die erzielten Schwellenwerthe sind durchweg größer als jene der übrigen bisher besprochenen Intervalle, dennoch erreichen selbst die Rohwerthe bei weitem nicht die Fehler, welche die gleichschwebende und die ungleichschwebende Temperatur voraussetzen.

Große Septime.  $^{15}/_8 = 1·875$ .

Dieses Intervall darf unstreitig als das schwerstunterscheidbare bezeichnet werden. Die geringe Schätzungsfähigkeit bekundet sich sowohl in den relativ höchsten Schwellenwerthen, als auch in der großen Unsicherheit des Urtheils. Kein Intervall zeigt erheblichere Schwankungen in den einzelnen Bestimmungen.

	<i>Sch.</i>	<i>Kr.</i>
$D_o$	1·104	1·047
$D_u$	0·619	0·757
$D$	<b>0·861</b>	<b>0·902</b>

		$VJ_o$	$VJ_u$	$JV_o$	$JV_u$
<i>Sch.</i>	$\mathcal{L}_o$	1·307	0·887	1·569	0·654
	$\mathcal{L}_u$	0·376	0·889	0·437	0·772
<i>Kr.</i>	$\mathcal{L}_o$	1·015	1·082	1·060	1·032
	$\mathcal{L}_u$	0·473	0·968	0·729	0·692

Nichtsdestoweniger ist die große Septime der gleichschwebenden Temperatur schlecht.

Der höchste Werth, den unsere Rohversuche aufweisen, ist 1·722, Marpurg verlangt aber eine Erhöhung um 3·265 Schwingungen.

Als Endergebniss unserer Betrachtung dürfen wir nun auf Grund der vorangegangenen Einzeluntersuchungen folgende Scalen der Unterschiedsempfindlichkeit für musikalische Intervalle bei successiver Auffassung der Töne aufstellen:

Für Schischmánow:

Octave, Quinte, Quarte, große Terz, große Sexte, Secunde, kleine Terz, kleine Sexte, kleine Septime und große Septime.

Für Krestow:

Octave, Quinte, Quarte, große Sexte, große Terz, kleine Terz, Secunde, kleine Sexte, kleine Septime und große Septime.

Wie man sieht, beschränkt sich die Uebereinstimmung dieser Reihen bloß auf 6 Glieder — auf die 3 bestunterscheidbaren und die 3 schlechtesten Intervalle, nämlich einerseits auf Octave, Quinte und Quarte, andererseits auf kleine Sexte, kleine und große Septime; dagegen zeigt das Gebiet zwischen Quarte und kleiner Sexte bei beiden Beobachtern eine etwas verschiedene Anordnung der inbegriffenen Intervalle.

Die Schätzungsdifferenzen sind zwar nicht sehr erheblich, aber

ignorirt dürfen sie nicht werden. Denn dass es überhaupt unmöglich ist, hier ein festes Schema aufzustellen, das beweisen zur Genüge auch die Untersuchungen meiner Vorgänger.

Nach Delezenne folgen sich die Intervalle, soweit sie von ihm untersucht wurden, in nachstehender Ordnung:

Quinte, Octave, große Terz, Quarte, große Sexte.

Nach Preyer:

a. Davidoff: Octave, Quinte, Secunde, Quarte, große Terz, große Sexte, kleine Terz, kleine Sexte.

b. Appunn: Octave, Quinte, Quarte, Secunde, große Terz, kleine Terz, große Sexte, kleine Sexte.

Nach Peisker:

Octave, Quinte, große Sexte, große Terz, Quarte.

Nach Külpe:

Octave, Quinte, große Terz, Quarte, große Sexte.

Eine annähernd vollkommene Uebereinstimmung zeigen in ihren Reihen nur der Verfasser und Davidoff. Die übrigen Beobachter weichen in diesem oder jenem Intervall von ihnen ab.

Auffallend ist dies vorzüglich bei Delezenne's Versuchspersonen, die sämmtlich eine größere Empfindlichkeit für die Quinte als für die Octave zeigten. Sonst beziehen sich die Differenzen auf das nämliche Gebiet, das auch bei uns durch eine größere Freiheit der Stufenanordnung ausgezeichnet ist, nämlich auf Secunde, Sexte und Terz, und es kommt noch hinzu die Quarte.

Dieses verschiedene Verhalten in der Auffassung der Intervalle wird seinen Grund wahrscheinlich nur in der verschiedenen individuellen Anlage der Beobachter haben und in noch höherem Maße in dem differenten Grade ihrer musikalischen Uebung.

Im allgemeinen dürfte aber der Satz, dass wir die Reinheit der harmonischen Intervalle nach der Coincidenz der Partialtöne beurtheilen, seine Gültigkeit behaupten<sup>1)</sup>.

Die Reihenfolge der Intervalle in den Empfindlichkeitsreihen der Beobachter Davidoff, Schischmánow und Krestow ist mit Ausschluss der Secunde und Terz die nämliche, die wir auch

1) Wundt, *Physiol. Psychol.* 3. Ausgabe. 1. Bd. S. 433.

in Bezug auf die Consonanz finden: Octave, Quinte, Quarte, große Sexte, große Terz, kleine Terz, kleine Sexte, kleine Septime, (Secunde,) große Septime.

Die Reihen der übrigen Beobachter schließen sich zwar etwas freier dieser Anordnung an, aber die Abweichungen, die wir hier in der Schätzung einiger Intervalle antreffen, beweisen nur gegen G. E. Müller<sup>1)</sup> und Helmholtz<sup>2)</sup>, dass wir auch unabhängig von der Auffassung der Obertöne die Fähigkeit der messenden Vergleichung endlicher Empfindungsunterschiede besitzen, was schon zum Theil aus der Beschaffenheit unserer wesentlich obertonfreien Tonquellen hervorleuchtet.

Besonders auffallend ist in dieser Hinsicht die Stellung des nichtharmonischen Intervalls der Secunde. Kein Intervall zeigt eine so große Schwankung innerhalb der Empfindlichkeitsscala, eine so hohe Beeinflussung durch die musikalische Uebung. Man könnte die Secunde geradezu als charakteristisch für die Unterschiedsempfindlichkeit der verschiedenen Beobachter betrachten. Je größer die musikalische Uebung, desto höher die Empfindlichkeit für dieses Intervall.

So fand Preyer bei seinen musikalisch sehr gebildeten Versuchspersonen Davidoff und Appunn eine außergewöhnliche Feinheit in der Schätzung desselben. Es geht sowohl aus den Bestimmungen für die verminderte Secunde als auch aus den wenigen Urtheilen über die Erhöhung des Intervalles hervor, dass dasselbe sowohl für Appunn als auch für Davidoff unmittelbar nach der Quinte zu stellen ist.

Die Empfindlichkeit für die Secunde überstieg bei diesen Beobachtern um ein Beträchtliches jene für die große Terz. Nicht so bei uns. Bei mir schiebt sich die Secunde zwischen große Sexte und kleine Terz. Krestow schätzt sie sogar schlechter als die kleine Terz — und es kann aus dem Vorhergehenden mit der größten Wahrscheinlichkeit geschlossen werden, dass sie bei Ungeübteren noch weiter zurückstehen wird.

Kann auf diese Weise selbst ein nichtharmonisches Intervall durch die Uebung in eins der bestunterscheidbaren umgewandelt

1) Op. cit. p. 285.

2) Lehre von den Tonempfindungen. 3. Aufl. S. 321, 451.

werden, so sind wir auch nicht mehr berechtigt, Delezenne's Behauptung, dass die Quinte geringere Schätzungsfehler vertrage als die Octave, in Zweifel zu ziehen. Wir haben vor allem keinen genügenden Grund, seine Bestimmungen zu verwerfen, zumal sie an und für sich nichts Befremdliches bieten. Die absoluten Schwingungsdifferenzen 0·225 und 0·265 sind nicht gerade sehr klein zu nennen.

Preyer's Vermuthung, dass diese kleinen Unterschiede durch die Schwebungen percipirt werden, da die Saitenstücke des Monochords sowohl successiv als simultan erklangen, findet ihre Widerlegung in dem, was Delezenne von der Octave bemerkt: »L'erreur est alors évidente (wenn der Steg um 1 mm verschoben wird), mais elle est moins sensible dans la simultanéité des sons.«<sup>1)</sup> Was für dieses Intervall gilt, muss in noch höherem Maße für die Quinte gelten, bei der die Abweichung vom Theilungspunkte eine viel geringere war.

Der Einwand, dass die Prüfung der Quinte von Delezenne nicht mit der nothwendigen Sorgfalt vorgenommen worden sei, wäre ebenfalls nicht triftig. Eher hat er die übrigen Intervalle zu Gunsten der Quinte vernachlässigt, und vielleicht ist es nur diesem Umstande zu verdanken, dass die Octave mit einem so großen Werth ausging.

Wenn überhaupt ein Grund für die bessere Schätzung der Quinte bei Delezenne angegeben werden soll, so ist es billiger, denselben in der individuellen Uebung der Beobachter zu suchen.

Erinnern wir uns, dass die Versuchspersonen Delezenne's sämmtlich ausgezeichnete Violinisten und Cellisten waren.

Es ist daher höchst wahrscheinlich, dass diese zu der beträchtlich größeren Empfindlichkeit in der Schätzung der Quinte allein durch die Uebung im Stimmen ihrer Instrumente gelangt waren.

---

Zum Schluss kann ich nicht umhin, auf eine Erscheinung aufmerksam zu machen, die bis jetzt wenig oder gar nicht gewürdigt worden ist.

---

1) L. c. p. 7.

Einem jeden wird wohl bei der Prüfung unserer Resultate aufgefallen sein, dass zwischen den Werthen der unteren und oberen Unterschiedsschwelle, zwischen  $\mathcal{A}_o$  und  $\mathcal{A}_u$  eine nicht unerhebliche Differenz besteht.

Zur besseren Uebersicht dieser Thatsache mögen hier die betreffenden Werthe für beide Beobachter zusammengestellt werden.

		Octave	Quinte	Quarte	Gr. Sexte	Gr. Terz
<i>Sch.</i>	$D_o$	0·276	0·414	0·577	0·659	0·644
	$D_u$	0·164	0·253	0·262	0·345	0·326
<i>Kr.</i>	$D_o$	0·408	0·408	0·435	0·604	0·656
	$D_u$	0·305	0·341	0·371	0·409	0·462
		Kl. Terz	Kl. Sexte	Kl. Sept.	Secunde	Gr. Sept.
<i>Sch.</i>	$D_o$	0·822	0·846	0·854	0·697	1·104
	$D_u$	0·392	0·498	0·501	0·399	0·619
<i>Kr.</i>	$D_o$	0·779	0·854	0·867	0·832	1·047
	$D_u$	0·502	0·626	0·660	0·600	0·757

Setzen wir überall  $\mathcal{A}_u$  als Einheit, so bekommen wir für die oberen Schwellenwerthe folgende Verhältnisszahlen:

	Schischmánow	Krestow
Octave	1·682	1·337
Quinte	1·636	1·196
Quarte	2·204	1·172
Große Terz	1·975	1·419
Große Sexte	1·910	1·476
Secunde	1·746	1·386
Kleine Terz	2·096	1·551
Kleine Sexte	1·698	1·364
Kleine Septime	1·704	1·313
Große Septime	1·783	1·383



Angesichts dieser befremdenden Erscheinung wäre man nicht ungeneigt mit Luft<sup>1)</sup> anzunehmen, dass obige Differenzen vielleicht nur aus Zufälligkeiten resultiren und ihren Grund in der Unvollkommenheit der Apparate haben. Ich muss gestehen, dass auch ich anfänglich dieser Ansicht huldigte. Doch bei der größten Sorgfalt, die ich in der Verschiebung der Laufgewichte anwandte, bei allen Versuchen nach oben um größere Distanzen vorzurücken als nach unten, immer stellte sich die obige Erscheinung ein, der vermeintliche Fehler blieb constant.

Auch Peisker's und Külpe's Resultate bestätigen in der vollkommensten Weise die Regelmäßigkeit desselben.

		Octave	Quinte	Quarte	Gr. Terz	Gr. Sexte
P.	$D_o$	0·584	0·633	0·974	0·750	0·795
	$D_u$	0·441	0·436	0·490	0·646	0·487
K.	$D_o$	0·593	0·638	0·763	0·816	0·974
	$D_u$	0·267	0·380	0·759	0·653	0·740

Analog scheinen sich auch die Unterschiedsschwellen der Prime zu verhalten.

Man vergleiche bei Luft<sup>2)</sup> die Columnen für  $\Delta_o$  und  $\Delta_u$ , wo erstere bei weitem durch größere Werthe repräsentirt sind, und ebenso die Mittelwerthe aus den  $\Delta_o$  und  $\Delta_u$  beider Zeitlagen  $NV$  und  $VN$ :

	$n = 64$	$n = 128$	$n = 256$	$n = 512$	$n = 1024$	$n = 2048$
$D_o$	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

Die Abweichungen, die wir für  $n = 256$  und  $n = 512$  antreffen, fallen weniger in die Wagschale, insofern sie einigermaßen durch

1) Philos. Stud. IV. Bd. S. 528.

2) Philos. Stud. IV. Bd. S. 524—527.

unsere Versuche, die sich gerade auf diese Region beziehen, eine Correctur erfahren.

Mit unserer Erscheinung steht ferner im Einklange, was C. Lorenz<sup>1)</sup> in Bezug auf den Einfluss der Zeitfolge bei der Schätzung der Tonmitte zwischen zwei constant bleibenden Tönen  $t$  und  $h$  constatirte, nämlich dass man bei aufsteigender Folge ( $t m_v h$ ) geneigt ist, die tiefer liegenden variablen Töne relativ tiefer, und die höher liegenden höher zu schätzen, als bei absteigender ( $h m_v t$ ).

Ebenso kann die Thatsache, dass selbst vortrefflich geschulte Violinisten geneigt sind, die absteigenden, d. h. die zur Tonica zurückkehrenden Töne tiefer zu greifen als die aufsteigenden — also tiefer zu schätzen, unserer Erscheinung subsumirt werden.

Fassen wir dies allgemein, so können wir sagen: Die Unterschiedsempfindlichkeit für die Verminderung der Intervalle ist größer als für die Zunahme derselben.

Dieser Satz fordert jedoch eine Einschränkung, insofern er zunächst nur für solche Fälle festgestellt ist, wo, wie bei unseren Versuchen, der tiefere Ton der variable ist; ob er auch auf solche bezogen werden kann, bei welchen umgekehrt der höhere Ton variiert wird, wage ich nicht zu entscheiden. Diese Einschränkung scheint mir umsomehr gerathen, als ich mich nicht der Vermuthung verschließen kann, dass es sich bei der uns beschäftigenden Erscheinung vielleicht im letzten Grunde weniger um Eigenthümlichkeiten der Intervalle selbst, als um Eigenthümlichkeiten der einzelnen Töne handeln wird.

Es ist nicht ausgeschlossen, dass eine weitere Prüfung den oben aufgestellten Satz in folgenden allgemeineren überführt: Jede Erhöhung eines Tones wird leichter aufgefasst als die Vertiefung desselben.

Die Abweichungen von der obigen Regel, die uns in Preyer's Ergebnissen entgegneten, scheinen zum großen Theile auf dieser vor der Hand nur vermuthungsweise ausgesprochenen Eigenthümlichkeit der Töne zu beruhen.

Zu einem durchweg gegensätzlichen Verhalten kommt es jedoch auch bei Preyer's Beobachtern nicht, und der Behauptung, dass

1) Vgl. Wundt, Phys. Psychol. III. Aufl. 1. Bd. S. 429.

die Empfindlichkeit für die kleine Sexte bei Erhöhung ein wenig größer sei, als bei Verminderung<sup>1)</sup>, steht die nicht minder sichere Thatsache gegenüber, dass Appunn die kleine Terz umgekehrt bei Erhöhung schlechter schätzte als bei Verminderung.

In Anbetracht dieses Schwankens in der Beantwortung der Frage, ob die Verminderung eines Intervalles leichter geschätzt wird als die Vergrößerung oder umgekehrt, wäre es vielleicht angezeigt, unsere Versuche auch in der Weise umzukehren, dass nun die Intervallgabeln als Vergleichsgabeln benutzt werden. Erst nach diesen Versuchen wird es sich mit Bestimmtheit angeben lassen, worin der Grund des verschiedenen Verhaltens in der Schätzung der Verminderung und Vergrößerung der Intervalle bei mir und Preyer und zugleich der Grund der behandelten Erscheinung überhaupt zu suchen ist.

---

Und nun zuletzt ein Wort über die praktische Bedeutung unserer Untersuchung.

Es wurde gleich anfangs auf die enge Verknüpfung des hier ausgeführten Gegenstandes mit dem Problem der besten musikalischen Temperatur hingewiesen, und es entsteht nun die Frage, ob denn unsere Resultate etwas zur Lösung jener viel behandelten Aufgabe beitragen können.

Wir glauben dies bejahen zu müssen, obgleich wir die optimistische Ansicht Preyer's, als ob hier alles Heil von einer im wahren Sinne des Wortes physiologischen Temperatur zu erwarten wäre, nicht in ihrem ganzen Umfange zu theilen vermögen.

Die Empfindlichkeit des menschlichen Gehörorganes für Tonhöhenunterschiede ist, wie die bisherigen Versuche gelehrt haben, so außerordentlich hoch entwickelt, dass man sich kaum getrauen darf an den praktischen Instrumentenverfertiger das Ansinnen zu stellen, sich bloß nach den für jedes Intervall experimentell ermittelten Empfindlichkeitsgrenzen zu richten, »dieselben nicht oder möglichst wenig zu überschreiten«. <sup>2)</sup>

---

1) Op. cit. S. 51.

2) Preyer, Op. cit. 61.

Dies würde ihm wohl schwerlich für alle Tonlagen und alle Intervalle in gleichem Maße gelingen.

Allein diese Einschränkung benimmt uns keineswegs das Recht zu verlangen, dass fürderhin bei der Entscheidung der Frage: welche Temperatur die bestmögliche sei, nicht ausschließlich auf die mathematische Speculation das Hauptgewicht gelegt werde, sondern dass auch das Experiment in gleichem Maße zur Geltung gelange, mag es immerhin nicht bestimmend, sondern corrigierend eingreifen.

---