

Beobachtungen an Zweiklängen.

Von

Felix Krueger.

Mit 1 Figur im Text.

Helmholtz' berühmte Theorien des Hörens und der Consonanz erfreuten sich lange Zeit einer beinahe allgemeinen Zustimmung. Von Vielen werden sie noch heute zu den werthvollsten und gesichertsten Besitzthümern der Physiologie und Sinnespsychologie gerechnet. Aber die Sicherheit dieses Besitzes beginnt an mehr als einem Punkte zu wanken. Die Resonanztheorie wurde verschiedentlich durch weitgehende Zusätze modificirt¹). In neuester Zeit haben mehrere Akustiker jene glänzende, physikalisch so einleuchtende Hypothese ganz aufgegeben; und in den letzten sechs Jahren wurden zu ihrem Ersatze nicht weniger als drei neue, von einander völlig abweichende Theorien aufgestellt²). Eine dieser neuen Hörtheorien, die physiologische Hypothese Ewald's, beansprucht, gleichzeitig mit dem Hören überhaupt die Consonanz besser zu erklären als Helmholtz. Die Helmholtzische Auffassung der Consonanz und Dissonanz ist weniger original als seine Theorie des Hörens und war von Anbeginn zahlreicherer Angriffen ausgesetzt. Stumpf, der auf tonpsychologischem Gebiete sozusagen das Erbe Helmholtzens angetreten hat, empfand die Erklärung aus den Obertönen und Schwebungen stets als un-

1) So namentlich von Wundt in der Abhandlung: Ist der Hörnerv direct durch Tonschwingungen erregbar? Philos. Stud. VIII (1893). Man vergleiche ferner Max Meyer, Ueber Combinationstöne u. s. w. Ztschr. f. Psych. u. Phys. d. Sinnesorg. 11 (1896). — Die von R. Koenig im Jahre 1876 angedeutete theoretische Position (Pogg. Ann. 157) ist die alte des Th. Young (1800).

2) Hermann, Beiträge zur Lehre von der Klangwahrnehmung, Pflüger's Archiv 56 (1894). — Max Meyer, Zur Theorie der Differenztöne und der Gehörsempfindungen überhaupt, Ztschr. f. Psych. 16 (1898). — J. R. Ewald, Eine neue Hörtheorie, Pflüg. Arch. 76 (1899).

befriedigend. Er hat sie kürzlich ¹⁾ in eingehender Polemik gänzlich abgelehnt. Ein bekannter Musikgelehrter ²⁾ stimmte, wie andere Kritiker, dieser Ablehnung lebhaft zu und knüpfte daran den Wunsch, die Theoretiker der Consonanz möchten endlich aufhören, Zusammenklänge aus nur zwei Tönen ihren Erörterungen zu Grunde zu legen, und jetzt alsbald den musikalischen Accorden, zunächst den Dreiklängen sich zuwenden. Nun ist es ja glücklicherweise in keiner Wissenschaft ganz ausgeschlossen, dass complicirtere Erscheinungen in haltbare begriffliche Zusammenhänge gebracht werden, ehe noch die elementaren hinreichend klar gestellt sind. Aber den Vorschlag Riemann's halte ich in dieser Allgemeinheit für verfrüht. Beim Studium der jüngsten Litteratur bemerkte ich auf Schritt und Tritt, dass Thatsachenfragen von großer theoretischer Tragweite noch ungeklärt sind, die nur an einfachen Zweiklängen sich mit der nothwendigen Genauigkeit bearbeiten lassen. Auf keinem Sinnesgebiete können wir, schon objectiv, von der Seite der Reize, das Zusammengesetzte so leicht in seine Elemente zerlegen, wie im Reiche der Töne. Der Zusammenklang zweier Töne ist psychologisch der einfachste Complex, der bestimmte, nur den Zusammenklängen zukommende und für alle Klangwahrnehmung höchst bedeutsame Eigenschaften und Elemente noch besitzt. An ihm müssen wir daher in erster Linie alle die Erscheinungen studiren — und sie sind noch keineswegs genau genug bekannt —, die aus dem gleichzeitigen Vorhandensein einer Mehrheit von Tönen sich ergeben ³⁾.

Helmholtz erkannte bereits einen großen Theil der Schwierigkeiten, die seiner Theorie des Hörens aus den Interferenzerscheinungen erwachsen. Seit den 70er Jahren behaupten seine Kritiker immer entschiedener, diese Erscheinungen, besonders die Differenztöne würden von ihm nicht zureichend erklärt. Der Einwand wiegt schwerer als alle anderen, neuerdings daneben erhobenen. Hier

1) Beiträge zur Akustik und Musikwissenschaft I. Consonanz und Dissonanz (1898), wo auch eine Uebersicht der Litteratur zu finden ist.

2) H. Riemann, Ztschr. f. Psych. 17, 456 ff.

3) Der berechtigige Kern der Riemann'schen Ausführungen, auf den ich noch zurückkommen werde, scheint mir darin zu bestehen, dass jeder zusammengesetztere Complex neue Eigenschaften enthält, über diejenigen seiner Theile und Theilcomplexe hinaus. Stumpf vernachlässigt gelegentlich diese psychologische Wahrheit.

scheint die in der Resonanztheorie versuchte einfache Synthese zwischen physikalischen Gesetzen und dem anatomischen Befunde in der That nicht auszureichen. Um so genauer sollten die widerstreitenden Thatsachen beobachtet und festgestellt werden. Die theoretische Discussion dreht sich, wie man weiß, nicht bloß um das Dasein und die Möglichkeit gewisser Interferenzerscheinungen, sondern mehr noch um ihre Zahl, ihre Deutlichkeit und andere specielle Eigenschaften, besonders um ihre absolute und relative Intensität. Aber der Umfang und die Genauigkeit der bisher vorliegenden rein thatsächlichen Ermittlungen stehen in gar keinem Verhältniss zu der theoretischen Wichtigkeit dieser Fragen. Viele Akustiker beschränken sich noch immer auf mathematisch-physikalische Ueberlegungen. Dabei ist unsre gesicherte Kenntniss von den physikalischen oder gar den chemischen Vorgängen im inneren Ohre nahezu gleich Null. Trotzdem hat Stumpf neuerdings sogar für die Unterschiede der Consonanz und Dissonanz eine rein physiologische Erklärung als die einzig mögliche gefordert. An diesem Punkte werden, wie ich glaube, die Interferenzerscheinungen von der neuesten Akustik zu wenig berücksichtigt. In Wahrheit kennt man sie nicht genau genug, weder um ihre psychologische Bedeutung für den Zusammenklang endgültig beurtheilen, noch um Hypothesen darauf gründen zu können über die der unmittelbaren Beobachtung nicht zugänglichen physiologischen Vorgänge.

Lässt man auch nur zwei Töne zusammen erklingen, so pflegen daraus bekanntlich verschiedene secundäre Erscheinungen zu entstehen: Schwebungen, Combinationstöne und deren Relationen. Aber wir können vorläufig nur in seltenen Fällen sicher und genau voraussagen, was neben zwei gegebenen primären Tönen im Einzelnen zu hören ist. Beobachtungen hierzu finden wir seit der Mitte des 18. Jahrhunderts an sehr zahlreichen Orten niedergelegt. Seit den 30er Jahren des 19. Jahrhunderts, seit Hällström und Scheibler wurden die Combinationerscheinungen zuweilen systematisch untersucht. Fast alle diese Beobachtungen, selbst die technisch einwandfreien leiden an zwei Mängeln. Einmal beschränkte man sich vorwiegend oder ausschließlich auf die musikalischen Intervalle und namentlich die Consonanzen. Das führte zur Vernachlässigung zahlreicher Verhältnisse, die nur mit musikalisch ungebrauchlichen

Zweiklängen festzustellen sind, und zu falschen Verallgemeinerungen, von denen einige noch jetzt in Geltung stehen. Ferner ging man gewöhnlich bei der Untersuchung wie beim Beschreiben der Beobachtungen von einem physikalisch-objectivistischen Standpunkt aus, trotzdem es sich, wie jetzt feststeht, bei den meisten um rein psychophysiologische Thatsachen ohne »objectiv«, d. h. in der Luft nachzuweisende Aequivalente handelt. Man unterschied nicht hinreichend das im wahrnehmenden Bewusstsein wirklich Vorgefundene von den mitgebrachten Ansichten über das objectiv Vorhandene oder Nothwendige. Dieser zweite Vorwurf muss auch gegen R. Koenig erhoben werden, dem wir die umfassendste experimentelle Arbeit über den Zusammenklang zweier Töne verdanken¹⁾. Beweis genug ist die mathematische Uebereinstimmung aller von ihm mitgetheilten Zahlen mit den rechnerischen Consequenzen seiner Theorie. Max Meyer ging bei seinen sorgfältigen Untersuchungen mehr als Psycholog zu Werke. Er erkannte deutlich das Missliche, das darin liegt, bestimmte Verhältnisse als objectiv nothwendig schon vorauszusetzen. Aber er achtete im wesentlichen nur auf solche Erscheinungen, die ihm typisch oder für die Theorie der Differenzttöne unmittelbar entscheidend zu sein schienen. Seine eigenen weitgehenden Hypothesen und die meisten seiner zusammenfassenden Sätze stützen sich meines Erachtens auf ein zu geringes Beobachtungsmaterial. In jedem Falle finden sich bei Meyer wie bei Koenig viele werthvolle Angaben. Auch andere historisch vorliegende Beobachtungen und Ansichten über unseren Gegenstand sind höchst beachtenswerth. Aber sie wurden auf so verschiedenen Wegen gewonnen und weichen vielfach so weit von einander ab, dass ich es für einfacher halte, darauf erst in einem theoretischen Zusammenhange einzugehen und vorher über meine eigenen Versuche zu berichten.

Bei der ausschlaggebenden Bedeutung der Combinationsercheinungen für die Theorie des Hörens und wahrscheinlich auch der Consonanz — Consonanz und Dissonanz kann man ja in gewissem Sinne selbst als Combinationsercheinungen, vermuthlich von complexer Beschaffenheit, bezeichnen — erschien es mir nothwendig, eine möglichst große Zahl von Zusammenklängen einfacher Töne so genau

1) a. a. O. und *Quelques expériences d'acoustique* (1882) S. 87 ff.

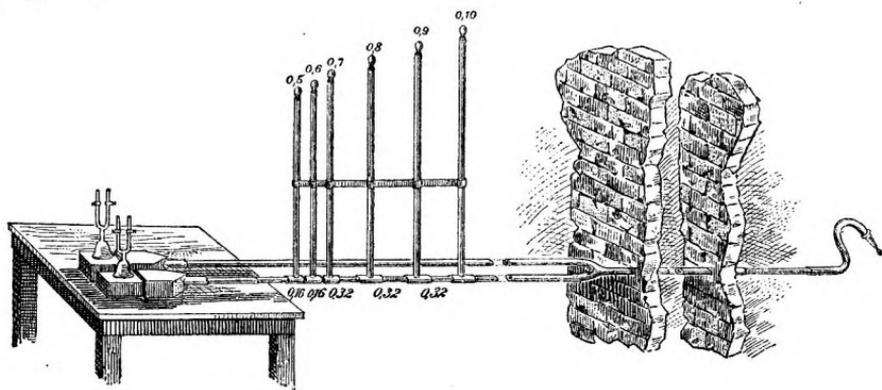
wie möglich zu analysiren. Es galt zunächst, unabhängig von allen theoretischen Vermuthungen das rein Thatsächliche festzustellen. Weil, in dem vorhin angegebenen Sinne, der Zweiklang das Element aller Toncombinationen ist, beschränkte ich die Untersuchung auf möglichst verschiedene Intervalle von zwei gleichzeitigen Tönen. Alle Combinationserscheinungen hängen, wie ich mich bald überzeugte, so innig mit einander zusammen, dass es nicht angeht, einige von ihnen außer Betracht zu lassen. Deshalb stellte ich mir die Aufgabe ganz allgemein dahin: die aus dem Zusammenklange zweier Töne resultirenden Erscheinungen auf Grund der Beobachtung möglichst vollständig und einfach zu beschreiben. Durch diese Beobachtungen hoffte ich 1) über alle psychologischen Eigenschaften der Zweiklänge so weit ins Klare zu kommen, dass eine weitere Zurückführung der Unterschiede von Consonanz und Dissonanz möglich würde; 2) für die allgemeine Theorie des Hörens an einem entscheidenden Punkte einige sichere Erfahrungsgrundlagen zu gewinnen.

I. Die Einrichtung der Versuche.

Die Experimente wurden in den Jahren 1898/9 im Leipziger psychologischen Institute angestellt. Der Director des Instituts, Herr Professor Dr. Wundt, hat mich durch sein wohlwollendes Entgegenkommen zu großem Danke verpflichtet.

Die drei mir zur Verfügung stehenden Räume lagen in einer Flucht am einen Ende des Laboratoriums. Sie waren nach der äußeren Seite durch eine Hauptmauer begrenzt. Das mittlere Zimmer war schon beim Bau des Instituts zweckmäßig als »stilles Zimmer« für akustische Versuche eingerichtet worden und hatte an allen vier Wänden nach innen eine 12 cm starke Füllung aus Bauschutt; es hatte eine Länge von 4 m und war 2,80 m breit. Nach verschiedenen Vorversuchen legte ich dieses ganze Zimmer zwischen den Beobachter und die Tonerzeuger. Von dem Tonerzeugungszimmer wurde es außer der Schuttfüllung durch eine 56 cm starke Hauptmauer getrennt. Die gegenüberliegende, 30 cm dicke Wand war die einzige des stillen Zimmers, die von einer Thür durchbrochen war. Diese war eine Doppelthür, die nach außen aus einer 7,5 cm dicken,

ebenfalls mit Schutt gefüllten Holzhthür, nach innen aus einer gepolsterten Matratzenthür bestand und in den Raum des Beobachters führte. Die beiden zuletzt erwähnten Wände hatten an gegenüberliegenden Punkten, 1,50 m über dem Fußboden je eine kreisrunde Oeffnung zum Durchlegen der Schalleitung. Das Mittelzimmer hatte außer diesen Oeffnungen und der Doppelhthür keine Verbindung mit den Nebenräumen. Die runden Löcher wurden ganz ausgefüllt von den Leitungsrohren und den sie umgebenden Wattepackungen, die sich an jeder Seite der beiden Wände zu großen Bäuschen erweiterten. Das Beobachterzimmer ging mit einem einzigen Doppelfenster auf einen ruhigen Hof, dessen Geräusche bei der drei Stockwerke hohen Lage des Instituts nicht zu hören waren. Der diesem und dem stillen Zimmer parallel benachbarte Raum wurde während der Beobachtungen auch anderweitig nicht benutzt. — Die Temperatur lässt sich in allen Räumen des Leipziger Instituts durch Luftheizung gut reguliren.



Die vorstehende Figur soll die äußere Anordnung der Versuche in ihren wesentlichen Theilen verdeutlichen. Als Tonerzeuger dienten Stimmgabeln auf Resonanzkästen. Die Kästen standen auf kleinen Gummifüßen und wurden mit der offenen Seite in platte Aufnahmetrichter geschoben, die aus starker Pappe gearbeitet, innen mit glattem Papier überzogen und außen an allen Seiten von einer 1 cm dicken Filzschicht umgeben waren. Aus diesen Schalltrichtern trat der Ton jeder Gabel in ein Messingrohr von 1 cm Durchmesser. Die beiden Rohre vereinigten sich mit sanfter Biegung nahe vor der ersten Wand. Von da ging ein geradliniges, den vorderen gleiches

Rohr durch die beiden Wände des stillen Zimmers und endete im Beobachterzimmer in einem Schlauch von gleichem Durchmesser. Dieser ca. 1 m lange Gummischlauch umgab an der anderen Seite das Ende einer kurzen Röhre, die in ein kleines, birnenförmiges Hörstück aus Kautschuk auslief. Die beiden Röhren im Tonerzeugungszimmer waren kurz hinter den Schallaufnahmekästen ausziehbar, ebenso das Ende der Leitung im Beobachterzimmer. Im Durchschnitt der Versuche hatte die ganze Leitung von den Stimmgabeln bis zum Ohre des Beobachters eine Länge von 8 m. Im stillen Zimmer und ebenso im Tonerzeugungsraum waren die Röhren durch eiserne Träger gestützt und ruhten in verstellbaren, gepolsterten Klammern.

Die Gabelung und Zweitheilung der Leitung wurde mit Rücksicht auf jederzeit einzuschiebende Interferenzversuche eingeführt. Diesen Versuchen diente der in der Figur angedeutete, in das vordere Leitungsrohr eingeschaltete Interferenzapparat, dessen Einrichtung ich bei der Beschreibung der damit angestellten Versuche erläutern werde.

Als Tonerzeuger benutzte ich Stimmgabeln mit Laufgewichten, weil sie sich genauer und dauernder abstimmen lassen, als die Instrumente, deren Töne annähernd ebenso einfach sind, die Lippenpfeifen und die angeblasenen Flaschen. Der jüngst verstorbene verdienstvolle Hanauer Akustiker Anton Appunn baute mir nach eingehender Correspondenz sechs verschiedene Stimmgabeln, mit denen ich durch Verschiebung von Laufgewichten eine ununterbrochene Tonskala von 192 bis 1700 Schwingungen herstellen konnte. Gabel I gab den Ton c^1 256, wenn die Laufgewichte unten standen, Gabel II denselben Ton bei der höchsten Stellung der Läufer; diese ließ sich also von c^1 nach oben, jene nach unten verstimmen. Ebenso gingen die Gabeln III und IV von c^2 512, V und VI von c^3 1024 aus. Die hier folgende Tabelle enthält die Schwingungsbereiche der einzelnen Stimmgabeln, sowie ihre Gewichte und die Ausmessungen der Zinken. Die dritte Rubrik bezeichnet das Gesamtgewicht einer jeden, von dem Resonanzkasten losgenommenen Gabel mit den zugehörigen Laufgewichten. Die danebenstehende Spalte gibt das Gewicht des normalen Läuferpaares an.

Tabelle I. Hauptstimmgabeln.

Gabel	Schwin- gungen	Gesamt- gewicht	Lauf- gewichte	B r a n c h e n -		
				Länge	Breite	Stärke
I	256—188	210 g	59 g	115,2 mm	12,1 mm	5,1 mm
II	256—412	188 g	58 g	99 mm	11,9 mm	5,1 mm
III	512—400	175 g	57 g	76 mm	12,1 mm	5,1 mm
IV	512—804	160 g	57 g	65 mm	12 mm	5,1 mm
V	1024—800	130 g	37 g	53,6 mm	12 mm	5 mm
VI	1024—1700	125 g	37 g	45,6 mm	12 mm	5 mm

Dabei ist zu bemerken, dass Gabel II von 392 Schwingungen aufwärts und Gabel IV ebenso von 748 an durch die Laufgewichte der VI. Gabel verstimmt wurden. Für diese kleinste Gabel benutzte ich zwischen 1500 und der oberen Grenze ein paar kleine Läufer von je 3 g Gewicht. Ich erkannte indessen bald, dass Stimmgabeln für genaue Beobachtungen mit Tönen über 1500 Schwingungen ungeeignet sind, weil sie von hier ab zu rasch verklingen. Im allgemeinen beschränkte sich die Untersuchung auf die Intervalle des mittleren und gebräuchlichsten Tongebietes, von 256 bis 1500 Schwingungen.

Zu Interferenzversuchen und zum Vergleichen von Tonhöhen standen mir im Laboratorium noch verschiedene andere, theils Appunn'sche, theils Koenig'sche Stimmgabeln von 64 bis 2048 Schwingungen zur Verfügung.

Die sechs Hauptgabeln reichten mit ihren massiven Stielen durch einen Holzsockel ein kleines Stück in ihren Resonanzkasten hinein, wo sie von unten festgeschraubt wurden. Die Schraubenmutter wie der hölzerne Sockel waren von dem durchbohrten Brette des Resonanzkastens durch Flanellstückchen isolirt. Jede Stimmgabel erhielt auf der einen Schmalseite über beide Branchen hinweg eine Millimeterscala, die in der Zimmermann'schen Werkstatt sehr genau ausgeführt wurde. Den Laufgewichten ließ ich auf der zugehörigen

Seite nach unten scharf zulaufende Kanten geben. Bei einiger Uebung ist so ein Einstellen der Gewichte und Ablesen des Scalenerthes bis auf Viertelmillimeter genau möglich; in nächster Nähe der Theilstriche kann man noch darüber hinaus die Einstellung variiren und sicher wiederfinden. Vor Beginn der Versuche wurden alle Gabeln nach den schon von Wolfe und Lorenz benutzten, in Wundt's Lehrbuch¹⁾ beschriebenen Tonmessern abgestimmt. Diese Appunn'schen Zungenapparate haben ihre Stimmung so gut gehalten, dass ich durch Zählen von Schwebungen verschiedener Klänge nirgends einen Fehler von mehr als 1 Schwingung feststellen konnte. Sie enthalten alle Töne zwischen 32 und 1024 Schwingungen in Abständen von 4, für die beiden tieferen Octaven von 2 Schwingungen. Die Abstimmung meiner höchsten Gabel musste daher mit Hülfe der tieferen Octave vorgenommen werden. Hier beschränkte ich mich im allgemeinen auf Abstände von 8 Schwingungen. Die übrigen Stimmgabeln wurden von 4 zu 4 Schwingungen, entsprechend den Zungen des Tonmessers abgestimmt. Außerdem verglich ich die Stimmgabeltöne unter einander durch Zählen der Schwebungen bei Primen und Octaven. Die Scalentabellen, die auf diese Weise entstanden, controllirte ich sämmtlich durch unabhängige Beurtheilung meiner geübtesten Versuchspersonen, und zwar wiederholt im Laufe der Versuche.

Die Resonanzkästen hatten nach dem Vorschlage Appunn's am offenen Ende je eine thürartig in Angeln drehbare Holzklappe, die für die tiefsten Töne jeder Gabel am weitesten geöffnet und, wenn man mit den Laufgewichten hinuntergeht, mehr und mehr (aber natürlich niemals ganz) geschlossen wird. Uebrigens verschlechtert sich die Resonanz bei gleicher Stellung nur sehr langsam mit dem Verstimmen der Gabeln; innerhalb ziemlich weiter Grenzen bemerkten wir nicht sowohl Unterschiede der Tonstärke, als der Fülle oder Hohlheit. Die Pappkästen zur Aufnahme des Schalls wurden in 5 verschiedenen Größen so hoch gearbeitet, dass die einzelnen Resonanzkästen bequem darin stehen konnten, und so lang und weit, dass sie auch bei weitester Oeffnung der Klappe bis zur Mitte, wo der Sockel der Stimmgabel saß, sich hineinschieben ließen,

1) *Physiol. Psychologie* 4 I, 461 f.

ohne irgendwo anzustoßen. Ein größter Papptrichter bot für zwei nebeneinanderstehende Gabeln Raum, wurde jedoch nur im Anfange der Versuche benutzt, weil die vorhin beschriebene Zweitheilung der Röhren und die Interferenzvorrichtung sehr bald in Function traten. Interferenzversuche waren es auch, die die Filzhüllung der Aufnahmekästen und andere Maßregeln zur Isolirung der beiden gleichzeitigen Klänge nöthig machten.

Die Erregung der Stimmgabeln geschah durch langsames Streichen mit Violinbögen. Elektromagnetische Bewegung ist vorzuziehen, wenn es auf beliebig lange Klangdauer ankommt; auch ist damit innerhalb bestimmter Grenzen eine recht genaue Abstufung der Tonstärke möglich. Aber alle elektromagnetisch armirten Gabeln, die ich hörte, hatten sehr erhebliche Nebengeräusche, und das Princip des Mitschwingens hätte für meine Zwecke zu geringe Tonstärken ergeben. Naturgemäß wird auch der Gebrauch der Laufgewichte durch eine elektromagnetische Armatur beschränkt. Bei der Herstellung meiner Gabeln wurde das Hauptgewicht auf möglichste Freiheit von Obertönen gelegt, wozu Herr Appunn sich nicht verpflichten wollte, wenn die Branchen die für elektrischen Betrieb nöthige Länge hätten erhalten sollen. Thatsächlich gaben schon für das directe Hören die Stimmgabeln einen überaus einfachen, reinen und weichen Ton. Näheres zu der Frage der Obertöne folgt bei Besprechung der Interferenzversuche. Das gleichzeitige Streichen mit beiden Armen erfordert einige Uebung. Ich fand es am zweckmäßigsten, die Gabeln ca. 50 cm von einander entfernt zu halten und so in die Kästen einzuschrauben, dass ihre dem Streichenden zugewendeten Breitseiten einen sehr stumpfen Winkel bildeten, parallel etwa zu den seitlich ausgestreckten, aber ein wenig nach vorn geneigten Armen eines Menschen. Der Bogen fasste stets nur eine Zinke der Gabel an; diese aber mit seiner ganzen Fläche. Um einen an Stärke und Qualität gleichmäßigen Ton zu erzielen, muss man ähnliche Regeln befolgen, wie der Violinspieler. Die Bögen müssen auch dicht und gleichmäßig behaart sein; von Zeit zu Zeit muss der Bezug erneuert werden. Ich erzielte schon nach den Vorversuchen einen recht guten gleichen Ton, und durch die vieltausendfache Uebung gelang es mir auch bald, die Tonstärke der beiden gleichzeitig gestrichenen Gabeln ziemlich fein abzustufen. Das Reibegeräusch der Bögen wurde immer

geringer und war am Ende der Schalleitung im Beobachterzimmer bald nicht mehr zu bemerken.

Die Tonstärke wurde nicht, wie Koenig von seinen Versuchen berichtet, maximal gewählt. Extreme Intensität der Primärtöne ist für die Beobachtung aller Combinationserscheinungen ungünstig; die leiseren und wenig deutlichen werden dadurch leicht ganz übertäubt. Die kleinsten Gabeln muss man relativ stärker streichen, soll ihr Ton, wie ich es nach Möglichkeit zu erreichen suchte, dem der tieferen an Stärke gleichkommen. Vor allem bemühte ich mich, die beiden zusammen erklingenden Töne jeweils gleich stark zu erzeugen, soweit nicht ausnahmsweise die Wirkung eines anderen Verhältnisses untersucht wurde. Bei allen Intensitätsbeobachtungen wurde die Stärke der primären Töne besonders regulirt, indem ich sie erst einzeln angab und vergleichen ließ, nöthigenfalls die Druckvertheilung änderte und durch Verschieben der Gabeln mit den zugehörigen Röhren, auch wohl durch Einlegen von Watte in einen der Schalltrichter nachhalf. Bei verschiedener Leistungsfähigkeit der beiden Arme empfiehlt es sich, eine von Hause aus schwächer klingende Gabel mit der stärkeren und gewandteren Hand zu bedienen.

Die Klangdauer meiner Hauptgabeln war nicht so groß, wie die der schlankeren, aber auch obertonreicheren Koenig'schen Gabeln. Ich wartete niemals, bis einer der Töne ausklingend merklich in die Höhe ging, sondern dämpfte kurz vorher beide Gabeln zugleich. Auf diese Weise verminderten sich die Klangzeiten für die beiden größten Stimmgabeln auf durchschnittlich 8, für Gabel III und IV auf 6, für die kleinsten auf 4 Secunden. Jeder Klang wurde in kurzen Zwischenzeiten so lange wiederholt, wie es der Beobachter wünschte.

Der Experimentator konnte, auch ohne seinen Platz zu verlassen, sich jederzeit der Versuchsperson verständlich machen, indem er in einen der Schalltrichter hineinsprach; in umgekehrter Richtung war eine solche Verständigung nur ganz unvollkommen möglich. Daher bedienen wir uns im wesentlichen der Methode schriftlicher Protokolle, die für akustische Versuche noch besondere Vorzüge vor mündlichen Aussagen hat. Der Beobachter schrieb mit vereinbarten Abkürzungen, was er auf die ihm vorher vorgelegten oder nach und nach zugerufenen Fragen zu bekunden wusste. Für die am häufigsten wiederkehrenden und theilweise den Fortgang der Versuche be-

stimmenden Mittheilungen (ja; nein; stärker; schwächer; Frage beantwortet; Intervall erledigt; Klang wiederholen und dergl.) wurden Signale verabredet. Im Anfang halfen wir uns damit, dass der Beobachter verschieden oft mit einem harten Gegenstande an das Schallrohr klopfte, bis ich die beiden Zimmer durch eine Klingelleitung verband. Der Contactknopf befand sich in nächster Nähe des Beobachters, sodass dieser ihn von seinem Sitze aus erreichen konnte. Der Sitz war der Höhe nach verstellbar. Rings um den Beobachter standen, z. Th. auf Tischen, theilweise auf einem großen Windkasten sämtliche Appunn'sche Tonmesser, zum Vergleichen und Bestimmen der herausgehörten Töne. Die Bestimmung nach Stimmgabeln ist in mancher Beziehung exacter, natürlich aber viel umständlicher und nur in beschränktem Maße durchführbar.

Es wurde niemals mit mehreren Versuchspersonen gleichzeitig gearbeitet.

Als Beobachter stellten sich mir im ganzen neun Mitglieder des Instituts zur Verfügung. Es waren die Herren (die in Klammern beigefügten Buchstaben sind die für die Namen im Folgenden benutzten Abkürzungen; die Zahlen bedeuten die Anzahl der auf jeden kommenden Versuchsstunden): Privatdocent Dr. phil. Buch (B, 119), Dr. phil. Möbius (Mö, 85), Professor Dr. phil. Melati (Me, 54), Dr. phil. Alexieff (A, 39), Privatdocent Dr. phil. et med. Störing (St, 34), cand. paed. Blumenstein (Bl, 11), cand. med. Förster (F, 9), Dr. phil. v. Voss (v. V, 9), Dr. phil. Vida (V, 2)¹⁾.

Ueber die Bethheiligung der Beobachter an den einzelnen Versuchsreihen wird bei deren Darstellung berichtet werden. Individuelle Eigenschaften und Unterschiede werde ich bei zahlreichen Gelegenheiten zu erwähnen haben.

Was die Methode der Versuche angeht, bediente ich mich grundsätzlich und für die überwiegende Mehrzahl der Beobachtungen des ganz unwissentlichen Verfahrens. Mit der einschlägigen Litteratur war außer dem Experimentator nur Herr B genauer vertraut. Niemals erfuhren die Beobachter die gegenseitige Uebereinstimmung oder Nichtübereinstimmung der Aussagen. Alle blieben

1) Allen diesen Herren sage ich auch an dieser Stelle für ihre theilweise recht mühevollen Mitarbeit meinen Dank.

bis zum Abschluss der Untersuchung völlig unbekannt mit den Ergebnissen. Bei deren Mannigfaltigkeit war es dem Einzelnen unmöglich, über etwa hervorgetretene Regelmäßigkeiten zu reflectiren, zumal da das Schwingungsverhältniss der primären Töne niemals mitgetheilt wurde. Nur die Tonhöhen der möglicher Weise vorhandenen Combinationstöne wurden einigen Versuchspersonen, den unmusikalischsten, mehr oder weniger genau bezeichnet, zum Vergleich mit den Zungen der Tonmesser. Hierauf komme ich im Folgenden mehrfach zurück.

Das Hören geschah durchweg mit einem Ohre. In den Versuchen ergab sich bei einigen Theilnehmern ein merklicher Unterschied in der Leistungsfähigkeit der beiden Ohren; da wurde das tüchtigere für die Folge beibehalten. Alles übrige blieb den Versuchspersonen überlassen; jeder richtete sich im einzelnen so ein, wie es ihm am bequemsten war, und wie er es für die gerade in Frage stehende Beobachtung erprobt hatte. Erhebliche Unterschiede im äußeren Verhalten bei den Beobachtungen waren zwischen den einzelnen Theilnehmern nicht zu bemerken. Alle fanden es zweckmäßig, das Hörrohr nicht fest in den Gehörgang einzupressen, sondern, im allgemeinen etwa $\frac{1}{2}$ cm tief, lose einzuführen. Des Näheren, um dies gleich vorweg zu nehmen, wurde regelmäßig für die leisesten und vor allem für die tiefsten Combinationstöne das Rohr am weitesten ins Ohr hineingeführt. Die Summationstöne umgekehrt traten gewöhnlich am besten hervor, wenn das Hörstück dem Ohre nur genähert oder auch ein wenig daneben gehalten wurde.

Wegen der technischen Schwierigkeiten des Streichens konnte ich leider nur selten meinen Platz mit dem der Versuchspersonen vertauschen und im Beobachterzimmer an der Leitung urtheilen. Wo daher im Folgenden meine eigenen Beobachtungen angegeben werden, handelt es sich, wenn nichts anderes bemerkt wird, um den direct an den Gabeln gewonnenen Eindruck. Ueber die mehrfach verglichenen beiden Arten des Hörens sei gleich hier bemerkt, dass regelmäßige qualitative Unterschiede dazwischen nicht hervortraten. Aber in der Regel konnten die Beobachter am Ende der Leitung, das Hörstück im Ohre, mehr und leisere Theilerscheinungen bemerken als direct neben den Gabeln. Die Ursache schien uns vor

allem darin zu liegen, dass Nebengeräusche und störende Eindrücke aller Art dort besser ausgeschlossen waren.

Die Beobachtungsdauer, d. h. die Zahl der Wiederholungen eines Klanges war, wie schon erwähnt, im allgemeinen unbegrenzt. Wenn es galt, ein Intervall vollständig, nach allen seinen Theilen und Eigenschaften zu analysiren, so dauerte das zuweilen $\frac{3}{4}$, im Maximum 1 Stunde. Länger als 60 Min. arbeitete ich nur ausnahmsweise mit einem Beobachter an demselben Tage. Die Herren B, Me und Mö widmeten den Versuchen zuweilen zwei Stunden eines Tages. Dann wurden die beiden Stunden durch Pausen von 10 bis zu 120 Min. getrennt.

Nicht selten wurden größere Reihen von Intervallen nur mit Rücksicht auf einen oder wenige Punkte untersucht. Da indessen fast alle Theilerscheinungen zu einander in nahen Beziehungen stehen, kommt man mit geübteren Beobachtern im ganzen rascher zum Ziele, wenn man zunächst eine vollständige Analyse jedes Klanges fordert, wobei naturgemäß auch das unwissentliche Verfahren sich reiner durchführen lässt. Ich ließ daher in der Mehrzahl der Fälle alles notiren und möglichst genau beschreiben, was die Versuchspersonen überhaupt in dem Tongemisch entdecken konnten. Dabei schritt die Untersuchung des einzelnen Complexes, entsprechend den natürlichen Bedingungen der Analyse, regelmäßig in folgender Reihenfolge fort: Gesamteindruck und Gefühlscharakter — Schwebungen. Geräusche, Rauigkeit — Theiltöne nach Qualität, Intensität, nach besonderen Eigenschaften oder Beziehungen. Schließlich: Ergebnisse der Selbstbeobachtung mit Bezug auf die Vorgänge des Analysirens und Vergleichens.

Die Darstellung der Aussagen versuchte ich zunächst für jeden Beobachter ganz getrennt zu halten, wie es natürlich in der ersten Verarbeitung des Protokolls geschah. Aber bei dem Umfang des Materials ließ sich das auf dem mir zu Gebote stehenden Raume nicht überall durchführen. Alle wichtigen, d. h. die größeren und die regelmäßigen Abweichungen von Person zu Person werden trotzdem zu ihrem Rechte kommen. Für ein mittleres, in mancher Beziehung der Analyse besonders günstiges Intervallgebiet werde ich die Ergebnisse am ausführlichsten mittheilen, mit vollständiger Trennung der einzelnen Beobachtungen (Anhang, Tabelle III und IV).

Im Texte geht die Darstellung zuerst mehr ins Einzelne und später mehr auf das Allgemeine. Die Reihenfolge, in der die verschiedenen Intervallgebiete beschrieben werden, entspricht im ganzen dem Fortgange der Versuche. Nur dass alle Versuchsgruppen mehr oder weniger in andere übergriffen. Mit einem neu hinzutretenden Beobachter kehrte ich vielfach zu vorläufig schon erledigten Intervallen zurück. Im Durchschnitt kamen allen Intervallgebieten gleiche Uebungsverhältnisse zu gute. Die Beobachtungen jeder einzelnen Versuchsperson wurden, wenn nicht auf das ganze, so auf ein möglichst großes Intervallgebiet gleichmäßig vertheilt. Innerhalb jeder Intervallperiode werde ich bei der Darstellung das Material nach sachlichen Gesichtspunkten ordnen, im Sinne einer möglichst übersichtlichen Beschreibung.

Die Berechnung eines mittleren Beobachtungsfehlers halte ich bei meinen Versuchen für sinnlos. Die das Urtheil bestimmenden, vielfach einander entgegenwirkenden Factoren sind zu mannigfaltig und nach dem gegenwärtigen Stande der Akustik z. Th. gar nicht berechenbar. Ich erwähne nur die Zwischentöne, deren »richtige« Höhe in keinem Falle sicher feststeht; den Einfluss der verschiedenen starken harmonischen Verschmelzung; der Vergleichsrichtung; die Klangfarbenunterschiede der verglichenen Töne, besonders auch aller Combinationstöne und der zu ihrer Bestimmung verwendeten Appunnischen Zungen. Dazu kommen die unvermeidlichen Fehler der Einstellung der Laufgewichte und der Abstimmung überhaupt. Auch eine mittlere Variation der Bestimmungen ließ sich kaum einwandfrei berechnen. Zahlreiche Intervalle habe ich zwar 10 mal und öfter verschiedenen Beobachtern vorgelegt; andere aber wurden seltener, einige nur einmal vollständig untersucht. Im ganzen scheinen mir Fehlermethoden auf die Gegenstände meiner Untersuchung wenig anwendbar zu sein. Man müsste denn die Zahl der Versuche ins Unermessliche steigern. Die sehr bald hervorgetretenen Regelmäßigkeiten hätten sich aus noch so oft wiederholten Analysen einiger weniger Klänge nur zum geringsten Theile ergeben. Sie erstrecken sich vielmehr vor allem auf den Wechsel der Erscheinungen von Intervall zu Intervall. Ich untersuchte daher innerhalb des durchmessenen Tongebietes möglichst verschiedene Zweiklänge und verglich möglichst zahlreiche mit einander.

II. Die Ergebnisse der Versuche.

Um die Ergebnisse vergleichbarer zu gestalten, variierte ich innerhalb einer jeden Versuchsgruppe nur den einen der zusammenklingenden Töne, und zwar den höheren. Die große Mehrzahl der Intervalle hatte zum Grundton das eingestrichene c^1 (256 Schwingungen) oder dessen Octaven: c^2 512 oder c^3 1024. Gelegentliche Versuche mit anderen Grundtönen führten zu keinen wesentlich abweichenden Resultaten.

A. Intervalle innerhalb einer Octave ($n:n$ bis $n:2n$; erste Periode).

a) Eingestrichene Octave (Grundton c^1 256).

Innerhalb der Octave mit dem Grundton c^1 256 untersuchte ich alle Intervalle, deren Schwingungsdifferenz ganze Vielfache von 4 p. s. beträgt. Als Beobachter unterstützten mich hier die 5 Herren A, Bl, B, F und Mö. Einem jeden hat jedes Intervall, und zwar die meisten wiederholt, vorgelegen. Bl ist als unmusikalisch zu bezeichnen; er war auch allgemein in psychologischen Beobachtungen wenig geübt. A, B und F standen musikalisch ungefähr auf gleicher, etwa mittlerer Stufe; alle drei hatten ziemlich viel Musik gehört, B namentlich als Kind, aber ohne sonderlichen Erfolg. Bei Schwingungsdifferenzen bis zu 2 p. s. war ihr Urtheil über relative Tonhöhen noch durchaus sicher. In exacten Beobachtungen waren sie sämmtlich geübt. F hatte bereits an zahlreichen experimentellen Untersuchungen theilgenommen. B hatte speciell auf akustischem Gebiete selbständig gearbeitet: seine inzwischen veröffentlichten Verschmelzungsversuche waren bereits abgeschlossen. Als Eigenthümlichkeit dieses Beobachters ist noch zu bemerken, dass er in seinem Urtheil besonders vorsichtig war, vorsichtiger als alle anderen Theilnehmer an meinen Versuchen, mit Ausnahme des später zu erwähnenden Herrn St. Diese beiden Herren entschlossen sich relativ schwer, einen zweifelhaften Thatbestand überhaupt zu beurtheilen, und bestimmten ihre Aussage durch genaue Angabe der Urtheilssicherheit. Herr Mö hatte als Assistent des Instituts viel Uebung im Beobachten. Musikalisch war er (neben v. V) allen Theilnehmern überlegen. Sein Violin- und Klavierspiel wurde von Fachmusikern geschätzt. Leider

war er zur Zeit meiner Untersuchung ein wenig neurasthenisch und daher nicht immer gleich gut disponirt. Was mich selbst angeht, so hatte ich bereits bei einer größeren Zahl verschiedener Versuchsreihen als Beobachter mitgewirkt. Seit früher Kindheit habe ich mich am Klaviere, einige Jahre hindurch auch als Geiger im Streichquartett und als Sänger in Chören und Quartetten regelmäßig geübt. Beim Abstimmen der Gabeln wurde ich gewöhnlich von Herrn Mö unterstützt, der wegen seines feinen Gehörs bekannt war und dadurch auch während meiner Versuche bei vielen Gelegenheiten auffiel. Ich konnte nicht finden, dass die Genauigkeit oder Sicherheit meines Intervallurtheils hinter der seinigen zurückgestanden hätte. Meine Hörschärfe hat sich bei vergleichenden Beobachtungen meistens als »übernormal« herausgestellt.

1. Der Zwischenton und die primären Töne bei engen Intervallen.

Bis zu einer Intervallweite von 8 Schwingungen wurde überall und von jedem nur ein Ton gehört, der zwischen den Primärtönen [im Folgenden: P] und stets dem tieferen [n] näher lag. Bei den nächstweiteren Intervallen wurden die Urtheile über die Lage dieses (von Stumpf zuerst bemerkten) Zwischentones [Z] allmählich schwankender, ohne dass zwischen den Versuchspersonen regelmäßige Verschiedenheiten des Urtheils bestanden. Nur Bl verlegte noch bis 256 + 280 den Z in nächste Nähe des Grundtons (»ganz wenig höher als n ; viel tiefer als n^1 «); er konnte ihn bis + 276 von dem allein erklingenden Grundtone überhaupt nur unsicher unterscheiden.

Die Analyse der vom Einklang aus verstimmtten Intervalle wird besonders durch die starken Schwebungen erschwert (vergl. Abschn. 4); ferner durch das unklare Hervortreten von immer zahlreicheren nahe benachbarten Theiltönen, worauf sogleich einzugehen ist.

Der Z lag noch bei 256 + 268 für die Mehrzahl der Beobachter — 6 mal in 9 Fällen — dem Grundton näher, jedoch schon etwas weiter von ihm entfernt, nach der Mitte hin; zweimal wurde er unsicher nach oben über die Mitte hinausverlegt (B: ? — F: Z näher n^1 und ein Ton nahe n). Für die beiden nächsten Intervalle vertheilen sich die Aussagen über die Lage des Z , auch diejenigen eines

und desselben Beobachters an verschiedenen Versuchstagen, gleichmäßig auf die Gruppen: näher n , Mitte, näher n' . Von + 280 ab wurde das erste dieser Urtheile nur in ganz vereinzelt Fällen (Bl, A) abgegeben. Fast durchgängig schien der Z bei diesem und den folgenden Klängen dem höheren Pr näher, zuweilen (bis + 292) von n und n' gleich weit entfernt zu liegen. Nicht selten änderte sich hier das Urtheil je nach der Reihenfolge, in der die primären Töne einzeln im Wechsel mit dem Zusammenklang zu Gehör kamen, und zwar gewöhnlich zu Gunsten des zuletzt für sich gehörten Tones.

Die absolute Tonhöhe des Z nahm stetig zu. Von etwa + 280 an wurde er schwächer und undeutlicher, was die Beurtheilung seiner Tonlage erschwerte. Jenseits der gr. Secunde [+ 288] trat er merklich hinter die Pr zurück, war bei + 300 nur noch für die Minderheit der Beobachter und weiterhin nur ausnahmsweise wahrnehmbar. Zum letzten Male constatirte F bei + 312 einen schwachen Ton zwischen den Pr .

Die Zweiheit des Klanges machte sich zuerst für F, Mö und K (den Experimentator, auch an der Leitung) bemerklich. Sie hatten zum ersten Male bei + 268 den Eindruck eines verschwommenen Zweiklanges; während Bl am spätesten, erst bei + 284 eine »Spur von Zweiheit« wahrnahm. Für alle anderen Beobachter wurde bei + 276 und + 280 im Vergleich mit + 272 die Zweiheit des Klanges noch einmal undeutlicher: wegen der hier besonders aufdringlichen Schwebungen.

Als dominirend wurde fast durchgängig bis zur gr. Secunde und zuweilen (auch für Mö bei »passiver Aufmerksamkeit«) noch ein wenig darüber hinaus, ein Ton empfunden, und zwar der Zwischenton. Von + 272 an trat immer häufiger neben ihn der höhere Pr . Er war bei diesem und den folgenden Klängen nicht stetig zu hören, sondern kam und verschwand entweder unregelmäßig oder (Mö wiederholt) im Rhythmus der Schwebungen. Der Grundton wurde erst jenseits der gr. Secunde ebenso häufig und sicher herausgehört. Der folgende Abschnitt hat einen Einfluss von Differenztönen auf die Wahrnehmung der Pr zu erwähnen.

Von + 280 (+ 284, Bl) ab hatten alle Beobachter stets den Eindruck der gestörten Einheit oder der Zwiespältigkeit, der mehr oder weniger deutlichen Tonmehrheit. Diese Mehrheit war zunächst, bis

etwa + 284, nur successive wahrnehmbar. Wo es in dieser Gegend zeitweise gelang, zwei Töne neben einander zu hören, wurde das Urtheil erheblich sicherer, wenn die Aufmerksamkeit sich den beiden Tönen einzeln nach einander zuwandte. Werden die herauszuhörenden Töne vorher für sich gegeben und eingeprägt, so erleichtert das bekanntlich die Analyse. — Als Beispiel für viele ähnliche Aussagen diene die Beschreibung, die B^{24} [ein solcher Index soll die Ordnungszahl der Versuchsstunde bezeichnen] von den Pr des Intervalls + 284 gab: »Ihre Zweiheit deutlicher geworden [als bei + 280]; wie zwei parallele, nahe bei einander gelegene Schienen, die aus einer Wasser- oder Sandfläche eben herausragen, theilweise auch noch bedeckt sind und nur als Anschwellung des Grundes erscheinen. Man hört (neben dem Z) zwei Töne, aber nicht jeden klar für sich. Die Schwebungen beherrschen den Gesamteindruck.« — Von + 300 an waren beide Pr stets deutlich neben einander zu hören.

Soweit die Primärtöne noch andere, und sofern sie bei weiteren Intervallen überhaupt Eigenschaften aufweisen, die aus dem Zusammenklängen resultiren, sind diese Eigenschaften auf Schwebungen oder Differenztöne zurückzuführen.

2. Differenztöne.

Die Differenztöne werden zweckmäßig vor den Schwebungen beschrieben, weil sie, wie sich zeigen wird, alle überhaupt constatirbaren Schwebungen mitbedingen und für die große Mehrzahl die alleinige Ursache sind.

In allen von mir untersuchten Intervallgebieten waren mit Sicherheit vier, stellenweise fünf verschiedene Arten Differenztöne festzustellen. Ueber ihre Bezeichnungsweise sei ein für alle mal Folgendes festgesetzt.

Als Differenzton erster Ordnung (D_1) betrachte ich, wie es allgemein üblich ist, den Ton, dessen Schwingungszahl als Differenz der Schwingungszahlen der Pr sich ergibt. Mit D_2 bezeichne ich nur den Ton, der der Differenz aus den Schwingungszahlen des Grundtones und des D_1 entspricht. Die Differenztöne höherer Ordnung sind bisher wenig untersucht und noch weniger einheitlich bezeichnet worden. Fassen wir zunächst nur die Intervalle innerhalb einer

Octave, also die 1. Periode ($n : n$ bis $n : 2n$) ins Auge, so empfiehlt es sich nach meinen Erfahrungen, als Differenzton 3. Ordnung (D_3) den Ton aufzufassen, dessen Schwingungszahl die Differenz der Zahlen für D_1 und D_2 bildet. D_4 endlich ergibt sich zunächst aus der Combination von D_1 und D_3 . Jenseits der Quinte fällt dieser Werth mit dem des D_2 zusammen. Hier, also zwischen Quinte und Octave, bezeichne ich als D_4 den Ton, der der Differenz der Schwingungszahlen von D_2 und D_3 entspricht (welcher Werth unterhalb der Quinte mit dem des D_1 zusammenfällt). Diese Art der Bezeichnung folgt dem einfachen, auch über der Octave, also bei jeder beliebigen Intervallweite von mir festgehaltenen Principe, dass jeweils ein Differenzton nächst höherer Ordnung aus der Combination der schon vorhandenen Theiltöne kleinster Schwingungszahlen entspringe. Damit soll über die Entstehung und die physiologische Natur der Differenztöne nicht das geringste präjudicirt werden. Nur darum handelt es sich, für die beobachteten und jederzeit wieder zu beobachtenden Thatssachen einfache Bezeichnungen zu gewinnen.

Aus dem Gesagten ergeben sich für die theoretischen Schwingungszahlen der vier bis jetzt unterschiedenen Differenztöne folgende Formeln (wobei ich, wie auch im Weiteren, die Töne und ihre Schwingungszahlen mit den gleichen Buchstabensymbolen benenne):

$$\left. \begin{aligned} D_1 &= n^1 - n \\ D_2 &= \pm (n - D_1) \end{aligned} \right\} \text{ bei jeder Intervallweite.}$$

Bei Intervallen innerhalb einer Octave:

$$D_2 = n - D_1 = 2n - n^1.$$

$$D_3 = \pm (D_2 - D_1); \text{ d. h. für die Klänge zwischen Prime und Quinte:}$$

$$= D_2 - D_1 = 3n - 2n^1,$$

zwischen Quinte und Octave:

$$= D_1 - D_2 = 2n^1 - 3n.$$

$$D_4 = \pm (D_3 - D_1) \text{ bis zur Quinte; und zwar zwischen Prime und Quarte:}$$

$$= D_3 - D_1 = 4n - 3n^1,$$

zwischen Quarte und Quinte:

$$= D_1 - D_3 = 3n^1 - 4n.$$

Zwischen Quinte und Octave:

$$= \pm (D_2 - D_3); \text{ und zwar zwischen Quinte und gr. Sexte:}$$

$$= D_2 - D_3 = 5n - 3n',$$

zwischen gr. Sexte und Octave:

$$= D_3 - D_2 = 3n' - 5n.$$

Auf den Differenzton 5. Ordnung (D_5) gehe ich bei Gelegenheit seines ersten Hervortretens ein.

Wo zwei oder mehrere Differenztöne, oder ein D und ein Pr in ihren theoretischen Schwingungszahlen einander nahe kommen, da beobachtete ich überall ganz analoge Erscheinungen, wie bei nahe benachbarten primären Tönen; vor allem: Töne, die ihrer Höhe nach als Zwischentöne der betreffenden (vielfach noch daneben gehörten) Theiltöne sich darstellen; sie waren auch in ihrem Charakter den bei zwei primären Tönen von geringem Schwingungsunterschied beobachteten Zwischentönen unverkennbar verwandt. Die Bezeichnung dieser » ZD « oder » $Z(n + D)$ -Töne« soll wiederum keine Erklärung oder Hypothese in sich schließen.

In der Octave mit dem Grundton c^1 256 machten meine Mitarbeiter und ich zuerst bei 12 Schwingungen Intervallweite mehrfach eine Beobachtung, die auf die Mitwirkung eines Differenztones schließen lässt: B^3 und F^3 z. B. hörten bei + 268 völlig spontan, der eine neben dem Z der Pr , der andere im Wechsel damit einen Ton, der etwas tiefer schien als der Grundton für sich allein. Noch deutlicher wird dieser Eindruck bei Klängen von etwas größerem Höhenunterschiede der Pr . Die gleiche Erscheinung in höheren Tonlagen (worüber weiter unten wird berichtet werden) und das bei zunehmender Erweiterung des Intervalls deutliche Hervortreten der hohen D -Töne drängen zu der Vermuthung, dass hier ein Z aus dem Grundton und D_2 [244] gehört wurde. Ebenso erklärt sich der auffallende Unterschied in der Bestimmbarkeit und Deutlichkeit der beiden primären Töne. Innerhalb der breiten Zone, wo sie bereits sich geltend machen, aber doch nicht deutlich neben einander erkennbar sind, tritt, wie bereits erwähnt, zuerst (+ 272 bis + 284) nur der höhere Pr sporadisch oder dauernd neben den dominirenden Z . Weiterhin erklären die Beobachter immer wieder mit großer Einstimmigkeit: der Grundton ist nur mit Mühe heraushörbar, schwieriger als n^1 (niemals das Gegentheil). Und noch bei + 300 scheint zuweilen n^1 als Ton zu überwiegen, klarer hervorzutreten.

Dabei ist zu bemerken, dass die Intensität der *Pr* in der angegebenen Weise sorgfältig gleich gehalten wurde, und dass höhere Töne im Zusammenklange mehr geschwächt zu werden pflegen als tiefe. Der Grundton erscheint, soweit er überhaupt für sich erkennbar ist, in der Regel auch hier im Zusammenklange als der stärkere *Pr*; aber durchgängig ist er in dieser Gegend weniger deutlich und schwerer herauszuhören. Man hat bei diesen verschwommenen Zweiklängen den Eindruck, dass der tiefere Theil des Toncomplexes stärker, breiter und massiger, aber undeutlicher und verworren, der höhere klarer und bestimmter ist. Bekanntlich werden nicht nur von nahe benachbarten primären Tönen, sondern auch von Differenztönen mit einander oder mit einem Primärton Schwebungen erzeugt. Ebenso gewiss ist die (durch meine Versuche überall bestätigte) Thatsache, dass Schwebungen von gleicher Frequenz stärker zu einem unanalysirbaren Ganzen verschmelzen bei tieferer Lage der schwebenden Töne — und, innerhalb weiter Grenzen, bei geringer Intensität. Dasselbe gilt für die Verschmelzung zweier Töne zu einem Zwischenton. Nach alledem ist die beobachtete relative Undeutlichkeit des tieferen *Pr* bei engen Intervallen auf die Mitwirkung unanalysirter, schwebender *D*-Töne zurückzuführen.

Bis zur gr. Secunde + 288 waren diese hohen Combinations-töne nicht für sich zu hören, sondern verursachten eine Vertiefung des Grundtons überall, wo dieser überhaupt gesondert neben dem *Z* oder *n*¹ hervortrat. A⁴ constatirte zum ersten Male bei + 292 (selbständig) einen *D* neben beiden *Pr*, etwas tiefer als *n*, ohne jedoch seine Tonhöhe genauer bestimmen zu können. Bei dem nächsten Intervall hörten drei andere Beobachter (B, F, K) einen hohen *D* und bestimmten viermal (F⁴; ⁵; B¹⁷; ²⁵) seine Tonhöhe auf 200 Schwingungen [*D*₂ 216; *D*₃ 176]. Man ist geneigt, das beinahe reine Quintenverhältniss zum höheren *Pr* [296] für diese Bestimmungen verantwortlich zu machen. Helmholtz weist gelegentlich darauf hin, dass die Beurtheilung disharmonischer Theiltöne eines Klanges besonders schwierig sei: das Urtheil werde in der Richtung der Harmonie abgelenkt. In der That werden uns noch mehrfach qualitative Bestimmungen der *D*-Töne begegnen, die auf harmonische Angleichungen hinzuweisen scheinen. Indessen lassen sich derartige Angaben meist auch durch die Mitwirkung eines

dritten, nahe gelegenen Theiltönen, d. h. als Z -Urtheile begreifen; und diese Erklärung ist jedesmal dann zu bevorzugen, wenn, wie es bei geübten Beobachtern die Regel ist, die scheinbare Urtheil-täuschung durch Vergleich mit den theoretisch erwarteten Tönen nicht weichen will. So war es auch im vorliegenden Falle. Die Bestimmung des gehörten D geschah selbständig an einem Tonmesser, dessen Zungen Abstände von nur 2 Schwingungen darboten; und der Vergleichston 216 wurde mit Bestimmtheit für zu hoch erklärt. Wir müssen demnach eine Mitwirkung des D_3 176 annehmen, höchstens secundär eine Begünstigung des ZD_{2+3} durch jenes Quintenverhältniss. Einmal bemerkte übrigens F^5 bei diesem Klange einen höheren, mit dem Grundtone stark verschmelzenden D , der wahrscheinlich als D_2 oder $Z(D_2 + n)$ aufzufassen ist. Bei $+ 300$ ist der Ton 200 als reine Quinte zu n^1 harmonisch noch mehr begünstigt; hier wurde ebenso oft wie jener (B^{17} ; 18 ; 25 : 200; 200 ?), und noch sicherer (F , $Mö$, K) 212 gehört: D_2 [212] ist hier von D_3 [168] und von n schon weit genug entfernt, um für sich zur Geltung zu kommen. Alle Beobachter dieses Klanges nahmen in 7 verschiedenen Versuchsstunden einen D 212 oder um 200 deutlich wahr.

Von $+ 300$ bis nahe an die Octave heran konnten gesonderte D -Töne bei jedem Abstände der Pr festgestellt werden. Bis zur gr. Terz ($+ 320$) war stets ein hoher D vorhanden, der am häufigsten mit D_2 identificirt wurde und dann mit der Erweiterung des Intervalls als zunehmend stärker und deutlicher erschien; auch die Zahl dieser Urtheile wuchs stetig. Zuweilen lässt die Höhenbestimmung (tiefer) auf einen ZD_{2+3} , hin und wieder (um $+ 308$; höher) auf einen $Z(n + D_2)$ schließen; und in diesen, immer seltener werdenden Fällen scheint umgekehrt die Deutlichkeit und Stärke des Tones geringer zu werden: theoretisch wird der Abstand zwischen n , D_2 und D_3 immer größer.

Anderseits trat bei $+ 300$ zum ersten Male ein sehr tiefes und leises Brummen auf [D_4 44], das bis zur gr. Terz zusehends tonartiger, lauter und deutlicher wurde und bald gar nicht mehr zu überhören war. A und Bl waren die einzigen Theilnehmer an dieser Versuchsgruppe, die sich gewöhnlich außer Stande fühlten, einen herausgehörten Combinationston ganz selbständig am Tonmesser

zu bestimmen. Im unwissentlichen Bemerken der *D*-Töne, im allgemeinen Feststellen ihrer Existenz stand *Bl* nur wenig, *A* gar nicht hinter den übrigen Beobachtern zurück. Beide vermochten ziemlich gut (*A* sicherer) einen *D* am Tonmesser zu identificiren oder zu finden, wenn seine Lage ihnen auch nur ungefähr, im Umkreis von 20—30 Schwingungen bezeichnet wurde. Tiefe *D*-Töne fielen ihnen im allgemeinen mehr auf als hohe; am leichtesten der eben erwähnte tiefe Brummtton. Die ersten genaueren Bestimmungen dieses tiefen *D* (60—62 bei + 312) lassen ihn bereits als einen *Z* aus *D*₁ [56] und *D*₄ [88] erscheinen. Diese beiden theoretischen *D*-Töne rücken mit Annäherung der *Pr* an die gr. Terz rasch auf einander zu, um bei der reinen Terz zusammenzufallen. Hier wird denn auch der tiefere Differenzton (*D*₁ = *D*₄) auffallend stärker und deutlicher (64), während der höhere zum ersten Male merklich gegen ihn zurücktritt.

Jenseits der gr. Terz nimmt *D*₂ stetig weiter ab. Hinsichtlich der Tiefe werden die Urtheile zunächst unsicherer. Die theoretischen Werthe für *D*₄ rücken von denen des *D*₁ sprunghaft nach unten ab, während der langsam höher werdende *D*₁ auf *D*₃ zuschreitet. Schon bei + 324 constatirte *Mö* neben *D*₁ und *D*₂ einen Ton 84, der als *ZD*₁₊₃ [68; 120] aufzufassen ist. Diese Urtheile mehren und befestigen sich im weiteren, während *D*₂ bei der nach unten verstimmtten Quarte zuweilen gar nicht mehr aufzufinden ist. Er tritt bei der reinen Quarte wieder unverkennbar hervor, steht aber erheblich hinter dem sehr starken und deutlichen *D*₁ = *D*₃ (84—86), seiner tieferen Octave zurück.

Die vergrößerte Quarte lässt neben einem *Z* aus den wieder von einander tretenden *D*₁ und *D*₃ zunächst einen hohen *D* hören, der mit dem theoretischen *D*₂ gut übereinstimmt. Jener *Z* wird mit zunehmender Entfernung seiner Nachbartöne unklarer und schwächer, während *D*₂ sich insofern ziemlich gleich bleibt. Rascher noch als *D*₁ sich von *D*₃ entfernt, nähert sich diesem (tiefer werdenden) von unten her *D*₄. Bei + 352 [*DD* 96; 160; 64; 32] wurde neben *D*₂ (160) sowohl ein *ZD*₁₊₃ (*B*²¹: ca. 94; *K* etwas tiefer) als ein brummender *ZD*₃₊₄ (*A*, *B*, *K*: 50—60) gehört; *D*₁, der immer genauer mit dessen höherer Octave zusammenfällt, löst sich von *D*₃ los und tritt mit zunehmender Klarheit für sich hervor. Der Triton

5 : 7 ist dadurch ausgezeichnet, dass hier D_3 und D_4 zusammenfallen, D_1 die höhere Octave dieses D , und D_2 die Quinte des D_1 bildet. Beim reinen Tritonus (256 + 358, auch 250 + 350) war der tiefste D lauter und deutlicher als bei den benachbarten Intervallen; auch seine höhere Octave [D_1] und Duodecime [D_2] waren leicht und sicher festzustellen.

Beim wenig verstimmtten Tritonus 256 + 360 [D_3 48; D_4 56] wurde ein tiefer ZD_{3+4} ganz allgemein gehört und auf ca. 50 bestimmt; ebenso deutlich waren jedoch ein bis zwei höhere D -Töne, von denen der eine sehr genau mit dem theoretischen D_1 [104] (B^6 ; 24 , Mö⁴⁷, K: 104), der andere, schwieriger bestimmbare mit D_2 [152] übereinstimmte; ferner wurde hier zweimal neben D_2 mit Sicherheit ein ZD_{2+1} (A^{10} : 136; Mö⁴⁴: 144) wahrgenommen. Weiterhin überwog eine Strecke weit D_1 , von dem zunächst seine tiefere Octave schwer zu scheiden war. Bis + 368 konnten alle Beobachter den D_1 unwissentlich sehr genau bestimmen. Er blieb bis etwa + 372 [116] gesondert neben D_2 [140] wahrnehmbar. Beim nächstfolgenden Intervall [D_1 120; D_2 136] trat der bis dahin ziemlich undeutlich gebliebene ZD_{1+2} durchaus in den Vordergrund (ca. 126, zwiespältig); nur Mö⁴⁷ konnte hier noch zwei D -Töne bestimmen (134 deutlicher als ca. 120, beide nur nach einander). Bei + 380 [D_1 124; D_2 132; D_4 116] wurde von allen nur ein (zwiespältiger) D wahrgenommen und auf 126 oder 122—124 bestimmt. Inzwischen ist D_3 unter die Grenze der Hörbarkeit hinabgesunken; er war bei + 368 [32] noch bemerkbar. D_4 macht sich in dieser Gegend zuweilen undeutlich geltend, rückt jedoch rasch zu nahe an D_1 heran, um für sich allein hervortreten zu können. In nächster Nähe der Quinte ist nur ein starker D zu hören.

Die reine Quinte enthält als einzigen D nur die tiefere Octave des Grundtons. Dieser von n schwer zu unterscheidende Differenzton erscheint, wenn man ihn einmal bemerkt hat, als ganz besonders laut und bestimmt.

Zwischen Quinte und Octave vertauschen die beiden ersten D -Töne ihre Werthe, indem der weiter aufsteigende D_1 in entgegengesetzter Reihenfolge den von D_2 bisher zurückgelegten Weg durchläuft, und umgekehrt. D_3 und D_4 halten in symmetrischer Form die von ihnen selbst bisher beschriebenen Bahnen inne.

Dementsprechend sind die D -Töne der nach oben verstimmten Quinten von denen der verminderten Quinte wenig verschieden. Der zunächst allein hörbare D wird bald unklar und mehrheitlich, spaltet sich dann in zwei (ZD_{2+1} ; D_1) und von $+400$ ab in drei nahe benachbarte Töne: ZD_{2+1} oder ZD_{1+2} , bald ein wenig höher, bald etwas tiefer als 128), ZD_{2+4} (104—108) und D_1 (146—148, leise und undeutlich, mehr beim Ausklingen). Das nächste Intervall ließ wiederholt einen dem D_2 genau entsprechenden Ton 108 vernehmen; er ist stärker, aber weniger bestimmt als D_1 148, wahrscheinlich wegen der Mitwirkung eines dritten und tiefsten Tones $ZD_{4+3} = \text{ca. } 60$. Wir befinden uns hier in der Nähe der kleinen Sexte [$+409,6$], wo D_3 und D_4 zusammenfallen. Ein ZD_{3+4} war auch bei $+408$ und $+412$ zu constatiren; er ist hier relativ laut, aber von kürzerer Dauer als der am leichtesten hörbare D_2 , mit dem er als seiner höheren Octave leicht verschmilzt. Der höchste D (D_1) ist in dieser Gegend erheblich leiser als die beiden tieferen und schwieriger heraus zu analysiren.

Neben den genannten Tönen macht sich bei $+412$ bereits ein Z (84—86) aus D_2 [100] und D_3 [56] geltend. Dieser Ton bleibt im Folgenden auffallend constant in seiner Tonhöhe, F um 85, und wird nach der großen Sexte hin immer aufdringlicher; in demselben Maße tritt D_2 zurück; D_4 scheint von seinem Octavenverhältniss zu dem tiefen Z zu profitiren.

Bei der großen Sexte [$5:8$; $256 + 426,6$] geht D_1 fast vollständig in seiner tieferen Octave $D_2 = D_3$ auf. Darüber hinaus erscheint wieder ein ZD_{2+3} und überwiegt, wiewohl rasch undeutlicher werdend, den jetzt wieder etwas besser hörbaren D_1 . Bei $+440$ nimmt ZD_{2+3} (bald auf 96, bald auf 80—86 bestimmt) vorübergehend noch einmal zu; er ist hier von dem eben heraufkommenden D_4 [40] schwer zu trennen. D_4 ist schon jetzt dem D_2 [72] nahe genug, um mit ihm in einen ziemlich undeutlichen Z (60—64) zusammenzufließen. Das folgende Intervall beherrscht ein deutlicher ZD_{2+4} , ein wenig tiefer als 64.

Bei der natürlichen Septime [$4:7$; $256 + 448$] ist $D_2 = D_4$ (64, die tiefere Doppeloctave des Grundtons). Er verschmilzt stark mit anderen Theiltönen des Klanges, ist jedoch auffallend laut, merklich lauter als bei jeder Verstimmung des Klanges. D_1 , der hinter dem

ZD_{2+4} etwas zurückgetreten war, wird anscheinend durch die ungewöhnlich einfachen Verhältnisse zwischen den Theiltönen der verminderten Septime begünstigt; ebenso der, jenseits dieses Intervalls endgültig verschwindende ZD_{2+3} (92—96).

Nach der Octave zu werden die gesondert heraus zu hörenden D -Töne unklarer und leiser, die Höhenbestimmungen schwankender. Am deutlichsten hebt sich von dem schwer analysirbaren Klanggemisch der stetig tiefer werdende D_2 ab; er verliert allmählich seinen Toncharakter und macht sich zum letzten Male noch bei + 492, wo ihm der Werth 20 entspricht, als tiefes Geräusch bemerkbar. Die größere Sicherheit in der Feststellung dieses D ist nicht auf relative Stärke, sondern einmal auf seinen unterschiedlichen, zunehmend geräuschartigen Charakter, besonders aber darauf zurückzuführen, dass er von allen übrigen Theiltönen rasch abrückt und schließlich ganz isolirt dasteht. Im Gegensatz dazu treten die anderen D -Töne immer näher an einander und — höher werdend — an den Grundton heran. D_1 ist hier durchgängig sehr leise. Bei + 460 kommen ihm noch einmal die harmonischen Verhältnisse der D -Töne [204; 52; 152; 100] zu statten; hier wird übrigens zum letzten Male ein Z aus D_2 und D_4 (94), zuweilen auch D_4 für sich gehört. D_4 ist nur noch bis etwa + 468 gesondert zu bemerken. Bei + 472 war mit Sicherheit ein leiser Ton 204 festzustellen, der als ZD_{4+3} [216; 176] aufzufassen ist. Hier beginnt zugleich ein Z aus n und D_1 dadurch sich geltend zu machen, dass der Grundton im Zusammenklange vertieft erscheint. Die gleiche Erscheinung kann bei allen Klängen zwischen + 472 und + 500 wahrgenommen werden. Außer diesem Z , dem tiefen D_2 und dem bei + 480 noch einmal gehörten ZD_{3+1} (204), trat in der Gegend der gr. Septime sporadisch ein ZD_{3+4} auf: bei + 472 (164) und + 488 (202). Ferner enthielt der Klang + 460 einen durch harmonische Verhältnisse begünstigten D_3 (148—152). Auch die gr. Septime (+ 480) ließ gelegentlich bei subjectiv vertieftem Grundton, neben D_2 und ZD_{3+1} , einen D erkennen, der mit dem theoretischen D_3 192 genau übereinstimmte; aber dieser harmonisch wiederum ausgezeichnete Ton klang dem Beobachter (Mö⁵³) »genau wie ein Zwischenton« und scheint demnach ein Mischproduct aus D_4 [160] und D_1 [224] bzw. ZD_{3+1} (204) darzustellen. Endlich ist bei + 496 der tiefste der höheren D -Töne:

D_4 leise wahrnehmbar. Die um weniger als 16 Schwingungen verminderte Octave lässt naturgemäß keinen D , sondern nur noch eine Vertiefung des zugleich verstärkten Grundtons hören. Je mehr man sich von hier aus der reinen Octave [+ 512] nähert, um so auffallender ist die durch die hohen D -Töne bedingte Verstärkung des Grundtons.

Bei der Beschreibung der Schwebungen muss vielfach auf die D -tonbeobachtungen wieder eingegangen werden. Was außerdem über die Differenztöne, besonders über ihre relative Stärke noch zu sagen ist, wird mit den Erfahrungen in höherer Tonlage zusammengestellt werden.

3. Summationstöne.

Diese Combinationstöne [$n + n'$] sind fast immer sehr leise, durchschnittlich viel leiser als die D -Töne, weshalb denn auch die fortschreitende Uebung auf sie einen größeren Einfluss hat. In einiger Entfernung (etwa 1 Meter) von der Tonquelle bezw. von der Schalleitung sind sie am besten hörbar, ja ein Theil der Beobachter konnte sie nur so bemerken. Auch traten sie gewöhnlich erst beim Ausklingen der Stimmgabeln deutlicher hervor. Wahrscheinlich werden sie sonst von den starken Primärtönen übertönt.

Wegen ihres geringeren theoretischen Interesses, und um die Aufmerksamkeit der Beobachter nicht zu zersplittern, habe ich diese Töne nicht so systematisch verfolgt, wie die D -Töne. Nur wo einer spontan einen höher als n' gelegenen Ton wahrzunehmen angab, wurde das im Protokoll vermerkt, nachdem festgestellt war, dass der Ton nur beim Zusammenklingen beider Gabeln auftrat. Eine genaue Höhenbestimmung wurde nicht regelmäßig gefordert; vielfach erschien sie wegen der Undeutlichkeit des Tones als unausführbar, und fast niemals erlangte das Urtheil dieselbe Sicherheit wie bei den D -Tönen.

Von + 288 bis + 496, also von der gr. Secunde bis nahe an die Octave wurden Su -Töne bei der Hälfte aller Klänge festgestellt; mehr als die Hälfte dieser Töne wurde am Tonmesser bestimmt. A bemerkte sie (wie auch Mö) besonders leicht und vermochte zuweilen — was ihm von seiner 10. Versuchsstunde an auch bei deutlicheren D -Tönen gelang — sie völlig selbständig zu bestimmen. Unter den Beobachtern war keiner, der nicht gelegentlich einen Su

sicher wahrgenommen hätte. Im großen und ganzen schien die Mercklichkeit dieses Tones mit der Erweiterung des primären Zweiklanges zuzunehmen. Die Bestimmung seiner Höhe gelang am besten und häufigsten zwischen Quarte und Quinte, wo der *Su* von es^2 nach e^2 steigt, und zwischen der natürlichen Septime und der Octave, wo er von etwa f^2 auf g^2 zuschreitet. Bei + 372 bestimmte A unwissentlich den *Su* auf 624—632, bei + 440 auf ca. 696, also genau den theoretischen Werthen [628 und 696] entsprechend. Mö notirte bei + 472 den Ton 1456 statt 728, seiner tieferen Octave. Abgesehen von dieser Octaventäuschung wichen die Bestimmungen durchschnittlich um 7 Schwingungen von den theoretischen Schwingungszahlen ab.

4. Schwebungen.

Von den Intervallen der c' -Octave ließ die weitaus überwiegende Mehrzahl Schwebungen von größerer oder geringerer Deutlichkeit erkennen. Nur 9 Zweiklänge innerhalb der Octave, Klänge von relativ einfachem Schwingungsverhältniss, dürfen als schwebungsfrei gelten: die Prime und die Octave, die gr. Terz, die Quarte, der Triton [5 : 7], die Quinte, die beiden Sexten und die natürliche Septime [4 : 7]. Diese und die nächstbenachbarten Intervalle wurden besonders genau und häufig untersucht; ich gab dabei vielfach auch solche Zweiklänge zum Vergleich, die um weniger als 4 Schwingungen Intervallweite verschieden waren. Alle Beobachter beurtheilten bei sorgfältiger Abstimmung der Gabeln die genannten Klänge unwissentlich als schwebungsfrei und erkannten ebenso bei ihrer zunehmenden Verstimmung mit Sicherheit eine zunehmende Anzahl von Schwebungen. Die Vergleichsurtheile über die Zu- und Abnahme der Zahl oder Schnelligkeit der Schwebungen, zusammen mit den Urtheilen über ihre Tonhöhe (die Höhe der schwebenden Töne) zwingen dazu, verschiedene Arten von Schwebungen zu unterscheiden, die man als Primen-, Terzen-, Quarten- u. s. w. -Stöße bezeichnen kann. Bei jedem der angeführten consonanten Klänge fallen, wie wir sahen, zwei oder mehr *D*-Töne mit einander, bei der Prime und Octave auch mit dem Grundton zusammen. Werden die Intervalle nach oben oder nach unten verstimmt, so rücken jene Theiltöne von einander ab und beginnen zu schweben; die Zahl der *S* wächst mit zunehmendem Abstand der schwebenden Töne.

In Kürze sei hier bemerkt, dass diese sogleich näher zu beschreibenden Erscheinungen von Obertönen, die man zunächst dafür verantwortlich machen dürfte, gänzlich unabhängig waren. Neben anderen Kriterien bewiesen das vor allem zahlreiche besondere Versuche mit Interferenz, worüber ich im Zusammenhange berichten werde. Nach dem gegenwärtigen Stande der einschlägigen Litteratur und mit Rücksicht auf die Bedingungen meiner Versuche hatte ich selbst nur bei der verstimzten Prime, allenfalls noch Octave und Quinte Schwebungen erwartet. Die verschiedenen Arten von Schwebungen beobachtete ich fast sämmtlich schon beim Streichen der Gabeln ohne genauere Analyse der Klänge; erst später erkannte ich die Nothwendigkeit, mehr als 2 Arten von Differenztönen zu unterscheiden.

Die Schwebungen des verstimzten Einklangs [S_1] sind unter sonst gleichen Bedingungen erheblich stärker und erstrecken sich über ein weiteres Intervallgebiet als alle anderen Arten von Schwebungen. Mit jeder Schwingung, um die das primäre Intervall erweitert wird, nimmt die Zahl der Primenstöße nur um 1 zu. Die S_1 bieten daher bei Aenderungen ihrer Frequenz die größte und am leichtesten zu beobachtende qualitative Mannigfaltigkeit dar.

Bis zu etwa 8 p. Sec. [+ 264] sind die S überall gut einzeln wahrnehmbar und (zuletzt weniger gut) zählbar; sie erscheinen wogend, wiegend, abgerundet, sanft rollend¹⁾; die Intensität des Eindrucks nimmt stetig ab und zu. Einigen Beobachtern erscheint die Abnahme etwas schneller als die Zunahme. Der Unterschied zwischen Minimum und Maximum der Intensität wird mit steigender Zahl der S geringer. Bei + 268 gelingt es auch mit der Secundenuhr nur noch ganz annähernd, die absolute Zahl der S [12 p. Sec.] zu schätzen. Die Zunahme der Intensität erfolgt hier ebenso schnell wie die Abnahme, beides discontinuirlicher; die S sind weniger wogend und rund, mehr stoßartig oder rollend. Allen drängt sich das Bild einer Wellenlinie auf, deren Curven (vom Einklang ab) immer eckiger, spitzer, steiler und zugleich niedriger werden²⁾. Der

1) Die zur Charakteristik der Schwebungen von den verschiedenen Beobachtern gebrauchten Ausdrücke stimmten gut mit einander überein und werden im Texte thunlichst beibehalten.

2) Ueber die optischen Associationen wird weiter unten Näheres mitgetheilt.

Gesamteindruck, für alle merklich unangenehmer, wird jetzt als unklar, stachlig, flimmernd, ängstlich bezeichnet. Für die meisten Beobachter (F war dagegen besonders empfindlich) treten hier und bei den nächstfolgenden Intervallen unangenehme Tastempfindungen im Ohre, namentlich merkbare Erschütterungen des Trommelfelles auf; ferner Geräusche, die unmittelbar an den *S* zu haften scheinen. Bei + 272 sind die [16] *S* noch gehackter; der Eindruck ist prasselnd, nach F quellend oder wie ein Lichtgeflimmer; für M_ö ist das Ganze lauter und wie das Gurren einer Taube. Die *S* werden noch von allen deutlich gesondert wahrgenommen; die Zunahme ihrer Zahl ist von hier ab weniger auffallend als bisher. Tastempfindungen im Ohre machen sich deutlich bemerkbar; für F sind sie hier in einiger Entfernung des Ohres von der Schallmündung — ca. 30 cm in der Richtung der Leitung — am stärksten. Der Klang + 276 [20 *S*] zeigt einen fast ganz discontinuirlichen Wechsel der Intensität. Der Unterschied zwischen größter und geringster Schallstärke hat sich weiter vermindert. Versucht man — was immer schwieriger wird — die einzelnen *S* für sich zu erfassen, so stellen sich die kurzen dazwischenliegenden Phasen beinahe als leere Pausen dar. Trotz dieser Zunahme der Discontinuität im Einzelnen wird das Ganze jetzt mehr und mehr continuirlich, verschwommen, ineinander fließend, weniger gegliedert. M_ö vergleicht den Eindruck mit einem sehr schnellen Triller. Die »Wellen« sind kleiner und zahlreicher, aber im Gesamteindruck runder. Einige Beobachter finden, dass eine geringe Entfernung des Ohres — etwa 10 cm vom Rohrende — der Auffassung und Beurtheilung der *S* in dieser Gegend am günstigsten sei. Näher ist der Klang betäubend geräuschvoll und von starken Trommelfellempfindungen begleitet. Bei + 280 [24 *S*] sind die Tastempfindungen im Ohre noch deutlicher, die *S* noch stoßender, polternd; die Curven der (nicht mehr so regelmäßig sich aufdrängenden) Wellenlinie kleiner und flacher. Zwischen + 280 und + 284 sind die *S* am aufdringlichsten und, als Gesamterscheinung, am deutlichsten. Die begleitenden Tastempfindungen und besonders die Geräusche sind in dieser Gegend am stärksten. Hier liegt zugleich ein Maximum der Unlust¹⁾. Bei + 284 [28 *S*]

1) Vom Gefühlseindruck handeln der folgende Abschnitt 5 und, zusammenfassend, Abschnitt 5 des Kapitels D.

gelingt die gesonderte Wahrnehmung der Schwebungen nicht mehr regelmäßig; sie verschwimmen mehr und mehr, verlieren die deutliche Gliederung. Ihr Charakter ist schwirrend, surrend, *r*-artig, schnurrend geworden. Von hier ab werden die *S* in jedem Sinne undeutlicher. Die Zunahme ihrer Frequenz kann noch bis + 292 [36 *S*] von 4 zu 4 sicher festgestellt werden. Weiterhin wird das Urtheil, zunächst bei kleinen Frequenzänderungen unsicher. Das Intervall + 296 war das erste, bei dem die Zahl der *S* einmal (F^4 nach + 292) fälschlich als abnehmend beurtheilt wurde.

In dieser Gegend verschiebt sich allmählich auch die Tonhöhe der Schwebungen. Anfangs ist jeder Beobachter geneigt, als ihren Träger »das Ganze« anzusprechen. Aber einer genaueren Analyse hält dieses Urtheil nur bei den engsten Intervallen stand, die nicht mehr als einen (Zwischen-) Ton erkennen lassen. Weiterhin tritt, wie früher erwähnt, zunächst der höhere Primärton neben dem *Z* deutlich hervor. Er (n^1) wird fast ausnahmslos als glatt und unbetheiligt an den *S* beurtheilt. Von dieser Regel weichen nur die ungebühtesten Beobachter ab, und auch sie nur so lange, bis mit steigender Uebung und mit der Erweiterung des Intervalls eine Mehrheit von Theiltönen ihnen ganz klar erkennbar wird. Der Zwischen-ton, der bis zur gr. Secunde an Stärke und Deutlichkeit überwiegt, erscheint zugleich als einziger oder als Hauptträger der *S* auch da, wo es bereits zeitweilig gelingt, neben ihm den Grundton herauszuhören. Dieser (n) scheint nicht ebenso regelmäßig und nicht so stark an den Schwebungen betheilig. Indem jenseits der Secunde der *Z* mehr und mehr zurücktritt, machen sich die hohen Differenzöne D_2 , D_3 , D_4 , in zunehmendem Maße geltend. Diese *D*-Töne und der Grundton schweben theoretisch sämmtlich paarweise in der gleichen Phase. Von + 300 an werden die *S* häufig in die Gegend der hohen *D*-Töne verlegt.

In ihrem Charakter gleichen sie hier einem Summen oder schnellen Schwirren. Weiterhin überwiegt eine mehr und mehr continuirliche Rauhigkeit. Aber nirgends in dieser Gegend verschwindet völlig das Bewusstsein einer Mehrheit von schnellen Intensitätsschwankungen oder Intermittenzen. Zuweilen scheinen um + 300 diese raschen Intermittenzen und eine continuirliche Rauhigkeit an verschiedene Theile des Eindrucks gebunden, »neben einander« zu bestehen.

Allein die Rauhigkeit an einem bestimmten Tone zu localisiren gelingt besonders schwer; sie erscheint hier meistens (die S nur vor der genaueren Analyse) als Eigenschaft des Gesamteindrucks, häufig allerdings so, als hafte sie vorzugsweise an dem tieferen Theile des Toncomplexes.

Die Schwebungen des Intervalls $+ 308$ [$52 S_I$] wurden im Vergleiche mit $+ 300$ [$44 S_I$] noch als schneller, im Vergleiche mit $+ 316$ [16 Schwebungen der verstimmten gr. Terz, von D_4 und D_4 gebildet] ebenfalls als schneller empfunden. Hier grenzen offenbar die Gebiete der S_I und der S_{III} [48 bei $+ 308$; D_4 100, D_4 52] an einander.

Nach der gr. Terz zu werden gesonderte S zusehends besser wahrnehmbar; ihre Zahl nimmt, auch für die ganz unwissentliche Beobachtung, unverkennbar wieder ab, und sie scheinen vorzugsweise, in nächster Nähe der gr. Terz ausschließlich, auf dem tiefen ZD_{4+4} zu ruhen. Daneben ist an den höheren D -Tönen noch eine Strecke weit der Einfluss primärer Schwebungen als (immer feiner werdende) Rauhigkeit zu bemerken.

Wie denn überhaupt innerhalb der eingestrichenen Octave die Gebiete der verschiedenartigen S mehrfach übereinandergreifen; dadurch trübt sich leicht das Bild namentlich der Schwebungen um den Tritonus [5 : 7] und um die kl. Sexte, deren Gebiete wegen der sprungweisen Zu- und Abnahme der Schwebungsfrequenz und wegen der tiefen Lage der beteiligten D_3 und D_4 ohnehin besonders klein sind. Der Grundton 256 ist wegen der irrationalen Verhältnisse der Schwingungszahlen für die Untersuchung dieser S nicht recht geeignet, wenn der höhere Pr nur von 4 zu 4 Schwingungen verändert wird. Für den Tritonus und seine Verstimmungen schaltete ich deshalb noch eine besondere Versuchsreihe mit dem Grundton 250 ein (und ebenso in der c^2 Octave eine mit dem Grundton 500; vgl. Tab. IV, im Anhang, am Schluss dieser Abhandlung). Um $250 + 350$ waren die Schwebungen des starken ZD_{3+4} nach beiden Seiten mit Sicherheit bis zu einer Frequenz von 30 [bei $+ 344$ und $+ 356$] zu verfolgen.

In ganz analoger Weise ergab sich aus zahlreichen Beobachtungen aller Versuchspersonen mit Sicherheit die gesetzmäßige Ab- und Zunahme besonderer Schwebungen bei den Verstimmungen der Quinte, der kl. Sexte, der gr. Sexte, der verm. Septime 4 : 7 und der Octave.

Trotz der in der Natur der Sache liegenden Schwierigkeiten solcher Beobachtungen traten die im Anfang dieses Abschnittes bezeichneten gesetzmäßigen Verhältnisse der *S* in den vergleichenden Urtheilen über ihre Zahl und denen über ihre Tonhöhe unverkennbar und ohne erhebliche individuelle Unterschiede hervor. An die zunächst ungewöhnliche isolirende Betrachtung und Vergleichung der Schwebungen als solcher gewöhnen sich die musikalisch ungeübten Beobachter im allgemeinen rascher als die ausgesprochen Musikalischen (cf. unten Abschn. D3). Die vorhin als schwebungsfrei bezeichneten Klänge waren bei der Abstimmung um so schwieriger von langsamen Schwebungen ganz frei zu erhalten, je rascher die zusammenfallenden Theiltöne des Intervalls bei seiner Verstimmung auseinandertreten. Durch willkürliche Verstimmungen eines jeden dieser Intervalle wurde die gesetzmäßige Ab- und Zunahme der Schwebungsfrequenz sicher festgestellt. Die dabei beobachteten Aenderungen im Charakter und der Deutlichkeit der *S* entsprechen überall dem Typus der eingehend beschriebenen Primenstöße. Alle diese Unterschiede lassen sich um so genauer und über ein um so größeres Intervallgebiet verfolgen, je geringer bei jeder Verstimmung eines Klanges die Frequenzänderung der zugehörigen Schwebungen ist. Innerhalb weiter Grenzen nimmt auch mit der Stärke der *S* die Sicherheit und Leichtigkeit ihrer Beurtheilung zu. Auf die Intensitätsverhältnisse komme ich später zurück (S. 362 f. und Abschn. D3).

Die genannten Factoren beeinflussen naturgemäß auch die Feststellung der schwebenden Töne. Diese Bestimmungen setzen einige Uebung im Analysiren von Toncomplexen voraus. Man ist überall zuerst geneigt, das Ganze als schwebend aufzufassen. Was vorhin über die den verschiedenartigen Schwebungen zu Grunde liegenden Theiltöne gesagt wurde, beruht nicht auf rechnerischen Ueberlegungen, sondern auf thatsächlichen, vielfach controllirten Beobachtungen. In der Beschreibung der Differenzttöne wurde hervorgehoben, dass überall, wo von den vier sicher unterscheidbaren *D*-Tönen zwei oder mehr theoretisch zusammenfallen, thatsächlich ein verstärkter Ton von entsprechender Höhe herauszuhören ist. Die in dieser Weise ausgezeichneten Intervalle sind identisch mit den als schwebungsfrei beurtheilten. Bei ihrer Verstimmung tritt stets ein Zwischenton zwischen den theoretisch jetzt von einander gerückten, aber benach-

barten Theiltönen auf: dieser Zwischenton ist der Träger der gleichzeitig hervortretenden Schwebungen. Allgemein gilt der Satz: Alle diese Zwischentöne tragen Schwebungen. Nur in gewissen Grenzfällen wird dieser Thatbestand zuweilen zweifelhaft, nämlich da, wo die theoretisch einen Z bedingenden Nachbartöne bereits weit genug von einander entfernt sind, um selbst deutlich hervorzutreten und den Z in den Hintergrund zu drängen. Aber auch in diesem Falle, also an der Grenze seiner Wahrnehmbarkeit, erscheint ein solcher Z niemals ganz glatt, sondern stets zum mindesten mehr oder weniger rauh. In der c^1 -Octave grenzen, wie die Darstellung der D -Töne zeigt, die Gebiete der verschiedenen Zwischentöne unmittelbar aneinander, ja sie überdecken sich z. Th. an den Grenzen. Dem entspricht es, dass innerhalb dieser Octave fast ausschließlich Zwischentöne die Träger der Schwebungen sind. Sehen wir von der bereits erörterten Prime ab, so ergab sich aus den Beobachtungen Folgendes über die Tonhöhe der Schwebungen. Die Stöße nahe der gr. Terz [S_{III}] haften ausschließlich an einem ZD_{1+4} . Bei der um 8 Schwingungen erweiterten gr. Terz + 328 [DD 72; 184; 112; 40] sind nach den vergleichenden Urtheilen über die Frequenz neben den S_{III} bereits Quartenstöße vorhanden; die Angaben über die Tonhöhe der S (68, 70, 76) weisen hier z. Th. — näher um die Quarte übereinstimmend — auf einen ZD_{1+3} hin. Die nach oben verstimmte Quarte ließ Schwebungen von zunehmender Frequenz bis + 356 [DD 100; 156; 56; 44] verfolgen; sie werden hier bald auf 100 [D_1], bald auf 86 [ZD_{1+3}] localisirt. Der Klang + 356 enthält anderseits einen ganz tiefen, von D_1 100 schwer zu trennenden ZD_{3+4} , der als schnarrend beurtheilt wird. Diesen tiefen ZD kann man schon bei dem nächst engeren Intervall + 352 neben dem schwebenden ZD_{1+3} , etwas feiner, schnarren hören. Wir befinden uns also hier im Schwebungsgebiete des Tritonus oder der verminderten Quinte [5 : 7]. Bei noch geringerer Verstimmung dieses Intervalls, wobei die S langsamer werden, tritt der ZD_{3+4} ganz deutlich als ihr Träger hervor. Jenseits ließ sich die Zunahme dieser S_{V-} bis + 364 [DD 108; 148; 40; 68] feststellen; ein ZD_{3+4} war jedoch hier von der Octave D_1 nicht sicher zu unterscheiden. Außerdem ergibt dieser Klang (wie schon der nächstengere) deutliche Quintenstöße, deren Höhe auf 104, 106, 104—108 [D_1], auch auf ca. 140 [ZD_{3+4}] bestimmt wird. Diese

starken S_V ruhen weiterhin stets auf einem ZD_{1+2} , bei der stark verstimmt Quinte noch außerdem auf einem ZD_{2+4} . Das weiteste Intervall, bei dem Quintenschwebungen mit Sicherheit festzustellen sind, ist + 404 [DD 148; 108; 40; 68]. Sie werden hier auf 148 [D_1] und 108 localisirt; dieser zweite Ton ist nach seinem Charakter (stark, aber geräuschartig und unklar) nicht als reiner D_2 , sondern als Verschmelzungsproduct aus D_1 , D_2 und vielleicht auch D_4 aufzufassen. Neben ihm lässt sich ein tiefer, schwirrender ZD_{4+3} vernehmen, um 60, tiefer als 64; seine Wahrnehmung ist von Tastempfindungen im Ohre begleitet. Demnach liegt der Klang + 404 zugleich schon in der Zone der S um die kl. Sexte. Weiterhin erscheint noch deutlicher ein tiefster ZD_{3+4} als Träger der in ihren Frequenzänderungen gut zu beobachtenden S_6 . Bei + 416 [DD 160; 96; 64; 32] berühren sich die Gebiete der kl. und der gr. Sexte. Zwei Töne werden als schnarrend oder schwirrend befunden: ein stärkerer 84 [ZD_{2+3}] trägt offenbar die S der gr. Sexte, ein schwer bestimmbarer »tiefer«, von seiner höheren Octave D_2 (100—104) kaum zu scheidender ZD_{3+4} undeutlichere S_6 . Die verstimmt gr. Sexte gestattet sehr genaue Angaben über ihre Schwebungen, die durchgängig auf einem ZD_{2+3} ruhen. + 440 [DD 184; 72; 112; 40] ist die obere Grenze dieser S_{VI} , deren Lage hier auf 96 [ZD_{3+2}] bestimmt wird; dieses Intervall begrenzt gleichzeitig das Schwebungsgebiet der verminderten Septime: ein »sehr tiefer« Ton, ca. 60 [ZD_{2+4}] klingt wie eine schwirrende Saite. Weiterhin erscheint bis + 460 überall ein Z aus D_2 und D_4 als schwebend. Daneben treten von + 452 an [DD 196; 60; 136; 76] Octavenstöße; sie werden hier wiederholt auf ca. 94 [ZD_{4+3}] localisirt, vielleicht schwebt auch 196 [D_4]. Deutlicher sind zunächst die S_{VII-} (auf 64 [D_{2+4}]). Sie lassen sich, wie gesagt, bis + 460 [DD 204; 52; 152; 100] sicher verfolgen, wo ihre Tonhöhe auf 64 [ZD_{2+4}], 51 [D_2], 102 [D_4], zuweilen auch auf 94 [ZD_{4+2} , leise rasselnd] bestimmt wird. Die Lage der Octavenschwebungen verschiebt sich bei fortschreitender Annäherung an die reine Octave nach den höheren D -Tönen und dem Grundton hin, ähnlich wie es bei den Primenstößen zu beobachten ist. Auch lässt die verstimmt Octave nächst der verstimmt Prime die größte Mannigfaltigkeit im Charakter der Schwebungen erkennen. Um + 460 sind Geräusche und Tastempfindungen im

Ohre deutlich zu verspüren. Hier beginnt auch der vertiefte Grundton rauh zu werden. Er oder vielmehr der $Z(n + D_1)$ ist weiterhin überall der Hauptträger der Rauhigkeit und der Schwebungen; aber alle hohen D -Töne und ihre Zwischentöne bleiben, solange sie hörbar sind, an den S beteiligt. Von $+ 492$ ab wächst die Neigung, »das Ganze« als schwebend zu beurtheilen. Die S beherrschen mehr und mehr den ganzen Klang. Nur der höhere Primärton ist überall völlig glatt und schwebungsfrei zu hören. Alle Beobachter stimmten hierin unwissentlich überein. Verstärkung des Grundtons hat meistens auch eine Verstärkung der S und größere Discontinuität des Eindrucks zur Folge; nicht so ein stärkeres Streichen der höheren Gabel. Diese von den Beobachtern immer wieder spontan bemerkte Thatsache untersuchte ich mit dem neben Mö. geübtesten, Herrn B. besonders bei allen Intervallen zwischen $+ 452$ und 512 . Nur in einem Falle, bei $+ 480$, schienen einmal die starken S_{VIII} auch auf n' zu liegen, als der Grundton sehr leise und n' sehr laut gegeben wurde. Aber sobald man den Eindruck genauer analysirte, erkannte man bei jedem Intensitätsverhältniss der Pr den höheren als ganz rein und glatt.

Tabelle II gibt die Grenzen der verschiedenen Schwebungen an, d. h. diejenigen Schwingungszahlen des höheren Primärtons, bis zu denen Schwebungen einer bestimmten Art — durch Beurtheilung ihrer Tonlage und ihrer relativen Frequenz — als solche sicher festgestellt werden konnten. Daneben sind die zugehörigen Frequenzzahlen der S angegeben. Die Zonen bloßer Rauhigkeit reichen noch weiter; so hörte Dr. Mö. in seiner 44. Versuchsstunde schon bei $+ 352$ eine auf $[64] S_V$ zurückzuführende Rauhigkeit eines $ZD_{1,+2}$. Die starken und weithin sich erstreckenden Schwebungen der Prime, Octave und Quinte erschwerten eine genaue Abgrenzung der benachbarten Schwebungszonen. Die obere Grenze der S_{III} war dadurch mit bedingt, dass bei dem nächst weiteren Intervall ($+ 332$) D_4 bereits auf den Werth 28 sinkt. Ganz ähnlich steht es um die untere Grenze der S_{VII-} . Als »betheiligte Töne« sind in der Tabelle die jeweils in Betracht kommenden Theiltöne ohne ihre Zwischentöne angeführt. Die Zahlen unter »0« bedeuten die Schwingungszahlen des höheren Primärtons, bei denen die schwebenden Töne zusammenfallen, ihre S daher gleich 0 werden. Die vierte Rubrik gibt an,

Tabelle II. Schwebungen.

Grundton e^1 256. Erste Periode.

Art der S	Betheiligte Töne	0 bei +	Zunahme bei Verstimmung der Pr um 1 Schwingung	Grenzen der S		Zahl der S an der	
				untere	obere	unteren Grenze	oberen Grenze
S_I	$Pr D_2 D_3 D_4$	e^1 256	1		308		52
S_{III}	$D_1 D_4$	e^1 320	4	312	328	32	32
S_{IV}	$D_1 D_3$	f^1 341,3..	3	328	356	40	44
S_{V-}	$D_3 D_4$	ges^1 - 358,4	5	352	364	32	28
S_V	$D_1 D_2 D_4$	g^1 384	2	360	404	56	40
S_6	$D_3 D_4$	as^1 409,6	5	404	416	28	32
S_{VI}	$D_2 D_3$	a^1 426,6..	3	416	440	32	40
S_{VII-}	$D_2 D_4$	b^1 - 448	4	440	460	32	48
S_{VIII}	$D_1 D_3 D_1 n$	e^2 512	1	452		60	

um wieviel p. Sec. die Zahl der verschiedenartigen Schwebungen zunimmt, oder um wieviele Schwingungen die beteiligten Töne von einander abrücken, wenn das primäre Intervall um eine Schwingung verstimmt wird.

5. Gefühlseindruck.

Wie zu erwarten war, machten die consonanten Klänge durchweg einen angenehmeren Eindruck als die Dissonanzen. Maxima der Annehmlichkeit stellten vor allem die reine Quinte, gr. Terz und Octave dar; auch der Triton, die Quarte, die beiden Sexten und die natürliche Septime waren vor allen Dissonanzen in diesem Sinne ausgezeichnet; aber in geringerem Grade. Zwischen diesen Intervallen, wenn die dort zusammenfallenden Theiltöne mehr und mehr aus einander treten, senkt sich regelmäßig die Lustcurve, um so rascher, je schneller dabei die Zahl der Schwebungen wächst. Besonders unangenehm sind alle die Intervalle, bei denen zwei oder mehr Theiltöne benachbart und doch weit genug von einander entfernt sind,

um ein erhebliches Rasseln oder Schwirren hören zu lassen. Die Unlust pflegt ein Maximum zu erreichen, wo zahlreiche Schwebungen als rasche Intensitätsschwankungen noch so deutlich wahrgenommen werden, dass der Klang dadurch einen stark discontinuirlichen Charakter gewinnt. Die unangenehmsten Intervalle sind gewöhnlich von besonders auffallenden Geräuschen und tactilen Empfindungen begleitet; sie liegen den Grenzen der verschiedenen Schwebungszonen ein wenig näher als den zugehörigen schwebungsfreien Intervallen (die zwischen jenen Grenzen, der unteren und oberen, jeweils etwa in der Mitte liegen).

Bei der verstimmtten Prime ergeben die Aussagen aller Beobachter eine stetige Zunahme der Unlust bis zur Intervallweite + 284. In dieser Gegend scheint ein absolutes Maximum der Unlust zu liegen, das nur bei der stark verstimmtten Octave annähernd, nirgends jedoch ganz wieder erreicht wird. Die anderen Schwebungsgebiete zeigen innerhalb ihrer engeren Grenzen einen analogen Verlauf der Unlustcurve wie die Zonen der Prime und Octave. Ganz geringe Verstimmmungen eines consonanten Intervalls bedingen keine merkliche Unlust oder Abnahme der Annehmlichkeit. Drei Beobachtern (B, Mö, K) machte vielmehr eine leicht (bis zu 5 Schwebungen per Secunde) verstimmtte Prime, Quinte oder Octave einen »interessanteren« und daher erfreulicheren Eindruck als die relativ »langweiligen« reinen Consonanzen.

b. Zweigestrichene Octave (Grundton c^2 512).

Als ich zu den Intervallen der c^2 -Octave übergang, musste ich auf die Mitwirkung der Herren Bl und F verzichten; sie verließen bald danach Leipzig. Die Herren A., B. und Mö. nahmen mit unverminderter Ausdauer auch an diesen Untersuchungen Theil; vom Januar 1899 ab standen mir dabei noch drei vorzügliche Beobachter zu Seite: die Herren Me., St. und v. V. Professor Me. (Philosoph von Fach, Violinspieler) widmete längere Zeit hindurch allwöchentlich 4 bis 6 Stunden den Versuchen. Der Privatdocent der Philosophie und Psychiater Dr. St. bezeichnete sich als vollkommen unmusikalisch und war beinahe ohne jede musikalische Erfahrung; er stand hierin dem ausscheidenden Herrn Bl am nächsten, zeigte jedoch eine größere Uebungsfähigkeit, namentlich im vergleichenden Urtheil über Ton-

höhen, und erreichte für qualitative Bestimmungen in ziemlich kurzer Zeit etwa die Stufe des Herrn A. Für alle Quantitäts- und Intensitätsbeurtheilung war er von Anfang an hervorragend brauchbar. Er unterstützte mich bis zum Abschluss meiner Untersuchung regelmäßig zweimal in der Woche. Der musikalisch hoch entwickelte Dr. v. V. (als Geiger künstlerisch ausgebildet) stand in vielen Beziehungen Herrn Mö. nahe; seine Mitwirkung erstreckte sich leider nur auf 9 Versuchstage.

Die zweigestrichene Octave lässt alle aus dem Zusammenklange der Töne resultirenden Erscheinungen besonders deutlich und mannigfaltig erkennen. Es wurden wiederum in Abständen von höchstens 4 Schwingungen sämtliche Intervalle untersucht, also im ganzen ungefähr doppelt so viele, wie in der tieferen Octave. Dagegen wurde, wie auch in den folgenden Versuchsgruppen, jedes einzelne Intervall durchschnittlich nur halb so oft vollständig analysirt, mit Rücksicht auf die beschränkte Zeit und andererseits auf die hohe Zuverlässigkeit aller Beobachter.

Die Versuchsergebnisse in der c^2 -Octave theile ich am ausführlichsten mit. Die als Anhang abgedruckten Tabellen III und IV enthalten alle Beobachtungen einzeln, in wenig verkürzter Form. Ganz fortgelassen sind nur solche Aussagen, die in mehr als einer Versuchsstunde sich genau wiederholten. Die Tabelle gibt in der ersten Spalte die Schwingungszahlen des höheren Primärtons an. In der zweiten Columne ist den Anfangsbuchstaben der 6 Beobachter jeweils die Zahl ihrer Versuchsstunde hinzugefügt. Alle vorkommenden Abkürzungen wurden schon im Vorangehenden eingeführt, bis auf »R« = Rauhigkeit. Die dritte Spalte der Tabelle gibt an, welches Intervall dem gerade vorliegenden unmittelbar vorherging, worauf also die Comparative und anderen vergleichenden Urtheile sich beziehen. Ein »—« bezeichnet den betreffenden Klang als den ersten einer Versuchsstunde. Die theoretischen Schwingungszahlen der Combinationstöne und alles, was nicht unmittelbares Ergebniss der Beobachtung ist, sondern die Aussagen erläutern oder in Zusammenhang bringen soll, ist in eckige Klammern [] eingeschlossen. Unter den »Theiltönen« sind die primären da, wo sie durch ihr Zusammenklängen nicht verändert waren, fortgelassen. Die Reihenfolge, in der die Combinationstöne jedesmal aufgeführt werden, ist dieselbe, in der

die Beobachter sie notirten. Der zuerst bemerkte Combinationston wird häufig, wie in den Protokollen, als solcher besonders bezeichnet. Wo die Reihenfolge von der willkürlichen Richtung der Aufmerksamkeit unabhängig und objectiv bedingt zu sein schien, ist das ausdrücklich angedeutet (vgl. hierüber im Folgenden S. 374 ff.). Die große Mehrzahl der Beobachtungen geschah hier wie überall vollkommen selbständig und unwissentlich. Nur die möglichen Tonhöhen der Combinations-töne wurden einigen Versuchspersonen in der schon erwähnten Weise genau oder annähernd mitgetheilt: den Herren A. und St. regelmäßig, wenn es sich um ihre genauere Feststellung handelte; Herrn Me. dann, wenn vorzugsweise andere Eigenschaften der Töne, wie ihre Stärke oder ihre Betheiligung an Schwebungen in Frage standen. Meine eigenen, meist unmittelbar an den Gabeln gemachten Beobachtungen (K) sind in der Tabelle vielfach in Parenthese angeführt, regelmäßig da, wo sie von den anderen Aussagen abwichen. Sie waren von diesen durchweg unabhängig und wurden meistens schon notirt, ehe noch die Versuchspersonen ihre Feststellungen beendet hatten. Keiner Versuchsperson wurden meine Beobachtungen mitgetheilt, ebensowenig wie die der übrigen Theilnehmer.

Tabelle IV berichtet über eine kleine Anzahl von Versuchen, die, bei dem günstigeren Grundton 500, sich auf die Differenz-töne und Schwebungen des reinen und verstimmten Tritonus bezogen.

Im Folgenden stelle ich den Hauptinhalt der beiden Tabellen kurz zusammen, wobei ich ausführlicher nur auf solche Thatbestände eingehe, die in der Darstellung der tieferen Octave bloß angedeutet wurden oder dort gar nicht zu verzeichnen waren.

1. Zwischenton und primäre Töne bei engen Intervallen.

So lange die Zweiheit der Primärtöne völlig unerkant bleibt, liegt der gehörte Ton ausnahmslos dem tieferen *Pr* näher. Mit der Erweiterung des Klanges rückt er allmählich in die Höhe, scheint aber bis etwa zur kl. Secunde dem Grundton näher zu bleiben. Darüber hinaus werden die Urtheile schwankend und unsicher. Hier ist der *Z* von den dicht neben ihm bereits hervortretenden Primärtönen und von dem zunächst sehr nahe bei *n* gelegenen hohen Differenzton schwer zu unterscheiden; seine Existenz neben den *Pr*

kann nicht mehr von allen Beobachtern sicher constatirt werden. Sie wird bei der gr. Secunde von einigen ausdrücklich verneint.

2. Differenztöne.

Wie man die Zweiheit der Primärtöne in der zweigestrichenen Octave schon bei musikalisch engeren Intervallen erkennt, als in der eingestrichenen, so kann in der höheren Tonlage auch ein Differenzton von dem nahe gelegenen n früher deutlich unterschieden werden. v. V. hörte zum ersten Male bei einer Verstimmung der Prime um nur 24 Schwingungen einen hohen D neben den Pr , was in der c^1 -Octave erst jenseits der gr. Secunde gelang. Musikalisch weniger geübte Beobachter empfanden noch bei den nächstfolgenden Intervallen häufig nur eine Vertiefung des Grundtones. Wo hier ein hoher D selbständig hervortrat, war er kurz, leise und schwer bestimmbar. Die Versuche, ihn qualitativ zu bestimmen, weisen wieder, wie in der vorigen Octave, zunächst auf einen tiefer als D_2 , in der Gegend des theoretischen D_4 und D_3 gelegenen Ton hin. Zwei hohe D -Töne wurden schon bei + 568 zum ersten Male bemerkt. Von der kl. Secunde an wird ein hoher D immer allgemeiner und sicherer beobachtet und als zunehmend an Deutlichkeit, Stärke und Dauer beurtheilt¹⁾. Das gleiche gilt von dem tiefen D_1 , der schon bei einer Intervallweite von 48 Schwingungen (c^1 -Octave: 44) erscheint. Zwischen der gr. Secunde und der kl. Terz waren neben dem tiefen 2 bis 3 hohe D -Töne zu constatiren; von diesen überwogen zunächst die tieferen: D_4 , ZD_{3+4} , D_3 , ZD_{3+2} an Intensität über D_2 . Der höchste D scheint jedoch absolut und relativ stetig stärker zu werden. Mehr noch der tiefe D_1 ; er kommt schon unterhalb der kl. Terz dem lautesten der hohen D -Töne gleich und übertrifft in der Gegend der beiden Terzen durchschnittlich alle anderen Combinationstöne an Intensität und Aufdringlichkeit. Bei + 604 und 608 macht sich ein etwas höherer Ton geltend, der wohl als Differenzton 5. Ordnung

1) Wegen der günstigen Versuchsumstände, besonders wegen der relativen Klarheit und Isolirtheit aller Theiltöne, ließ ich in dieser Tonlage die D -Töne regelmäßig auch nach ihrer Deutlichkeit und Stärke vergleichen. Diese Beobachtungen, sowie einige andere, wofür die tiefere Octave weniger günstig war, stelle ich in den Vordergrund des gegenwärtigen Berichtes.

(hier = $D_4 - D_1$) aufzufassen ist¹⁾; D_5 fällt bei der kl. Terz theoretisch mit D_4 zusammen und rückt dann rasch von D_4 nach der Tiefe ab. Inzwischen tritt D_1 mehr und mehr zu D_4 in Beziehung. Die Stärke des tiefsten D scheint zwischen den Terzen absolut wie relativ ein wenig abzunehmen, wächst dann wieder und erreicht ein zweites Maximum bei der gr. Terz, wo D_1 und D_4 zusammentreffen; weiterhin sinkt wiederum die Intensität des D_1 und wird von der gleichfalls, aber langsamer abnehmenden des D_2 eine Strecke weit merklich übertroffen. In der Mitte zwischen gr. Terz und Quarte prävalirt der tiefe abgesonderte D_4 . Dann tritt ein ZD_{1+3} hervor und behauptet immer entschiedener die erste Stelle (bei + 676). Bei der Quarte, wo $D_1 = D_3$, erreicht der tiefste D ein neues und höchstes Maximum. Weiterhin wird er wieder undeutlicher und schwächer; schon bei einer Verstimmung der Quarte um 10 Schwingungen treten D_1 und D_3 für sich hervor, D_1 stärker. Um + 700 überwiegt D_2 vorübergehend die tieferen Theiltöne. Darüber hinaus macht sich ein ZD_{3+4} mit zunehmender Stärke und Deutlichkeit geltend und beherrscht die Klänge in der nächsten Umgegend des Tritonus, wo D_3 und D_4 zusammenfallen. Dann halten sich eine kurze Strecke weit alle D -Töne das Gleichgewicht. Bei + 372 erscheint zum ersten Male ein ZD_{1+2} . D_3 tritt, tiefer werdend, mehr und mehr hinter die hohen D -Töne zurück und verschwindet bei + 752 als leises C_4 . Der folgende Klang lässt gelegentlich einen D_5 hören (nahe D_4 ; im weiteren war ein D_5 nur noch bei folgenden 9 Intervallen angedeutet: + 784, 884, 924, 928, 980, 984, 996, 1008, 1016). Bis dicht an die Quinte heran ergeben sich aus D_1 , D_2 , D_4 überall zwei nahe bei einander gelegene Töne. Die reine Quinte hat, wie es nicht anders sein kann, nur einen starken D .

Zwischen Quinte und Octave sind die D -Töne durchschnittlich leiser und weniger deutlich als in der ersten Hälfte der Periode.

Die Quinte muss nach der Höhe stärker verstimmt werden, als nach unten, um mehr als zwei D -Töne sicher hören zu lassen. Von den beiden zunächst allein vorhandenen überwiegt im allgemeinen der tiefere. Bei + 792 ist neben ZD_{1+2} ein ZD_{4+2} oder D_4 und außerdem leise der wieder heraufkommende D_3 [48] zu vernehmen.

1) Nach dem S. 326 aufgestellten Grundsatz; vergl. im Folgenden S. 352 f.

Von + 808 an fließen D_4 und D_3 zusammen. Dieser Z nimmt bis zur kl. Sexte [819,2; $D_3 = D_4$] zu, ohne jedoch den in dieser Gegend im allgemeinen überwiegenden D_2 an Stärke merklich zu übertreffen. Bei + 832 wird er von einem ZD_{3+2} abgelöst, der allmählich lauter und deutlicher wird, die Klänge in der Gegend der gr. Sexte [853,3; $D_2 = D_3$] beherrscht und weiterhin wieder zurücktritt. Im Umkreise der gr. Sexte sind, wie bei der Quarte, nur zwei D -Töne als, mehr oder weniger reine, Octave $f - f^{\flat}$ hörbar; der tiefere ist merklich lauter als der tiefste D der kleinen Sexte. Die um etwa 20 Schwingungen nach oben verstimmte gr. Sexte enthält wieder einen tiefen D_4 als Theilton. Bei + 884 taucht als tiefster D vorübergehend ein D_5 auf. Der nächste Klang lässt einen ZD_{2+4} von verhältnissmäßig großer Stärke und Deutlichkeit hören, und dieser Ton nimmt relativ wie absolut zu bis + 896 [natürliche Septime 4 : 7], wo D_2 und D_4 auf einander fallen. D_3 bildet hier die höhere Octave des tiefen und deutlich überwiegenden D [$D_2 = D_4$], die tiefere Octave von n und ist schwer herauszuhören; etwas deutlicher ist D_1 , die Duodecime des vorherrschenden D . Weiterhin werden alle D -Töne stetig leiser. Um + 916 tritt der höchste D_1 in den Vordergrund, zwischen + 920 und 940 der tiefste D [D_2 , zuweilen D_{2+5}] und D_4 , der hier zum tiefsten und anderseits zu n annähernd im Verhältniss der Octave steht. D_5 , der im Gebiete der kl. Septime [+ 921,6] zu D_2 die gleiche Beziehung hat, wie bei der kl. Terz zu D_1 , macht sich hier besonders deutlich bemerkbar. Bei + 936 erscheint n zum ersten Male vertieft, also mit D_1 in Verbindung getreten, und diese Vertiefung des Grundtons wird bis nahe an die Octave heran immer deutlicher. Die Stärke und gesonderte Wahrnehmbarkeit der hohen D -Töne nimmt stetig ab. Bei + 944 sind D_1 und D_3 , D_3 und D_4 nahe genug aneinandergerückt, um Zwischentöne zu ergeben. In dieser Gegend überwiegt vorübergehend der tiefe D_2 ; er ist mit 52 Schwingungen [+ 972] zum letzten Male hörbar. Die zunehmende »Unreinheit« der Klänge, die Schwebungen und die Verschmelzung der nahe an einander rückenden leisen D -Töne machen genaue Bestimmungen der Tonhöhen immer schwieriger. Nahe der Octave sind von den hohen D -Tönen die tieferen bevorzugt. Zuweilen (+ 980, 984, 996) scheint ein D_5 betheilig zu sein. Noch bei der um nur 8 Schwingungen verstimmtten Octave war, undeutlich, ein D zu hören. —

Der Vergleich zwischen diesen *D*-Ton-Beobachtungen und den in der tieferen Octave angestellten zeigt im wesentlichen weitgehende Uebereinstimmung. Die gesetzmäßigen Veränderungen in der Höhe und Zahl der Theiltöne, auf Grund deren 4 Arten von *D*-Tönen unterschieden werden müssen, lassen sich auch in der zweigestrichenen Octave, ja hier besonders genau verfolgen und feststellen. Die empirischen Höhenbestimmungen der gesondert herausgehörten *D*-Töne zeigen zwar vielfach etwas größere Abweichungen von den theoretischen Schwingungszahlen — in der *c*¹-Octave waren diese Abweichungen im allgemeinen auffallend gering —; aber die analogen Regelmäßigkeiten ergeben sich zwanglos und unverkennbar aus den Beobachtungen, und jene Abweichungen erklären sich zur Genüge aus den Schwierigkeiten und Fehlerquellen der Untersuchung. Schon der unvermeidliche Fehler in der Einstellung der Laufgewichte musste hier größer sein als bei den längeren Gabeln der tieferen Octave.

Naturgemäß sind in der *c*²-Octave auch sämtliche Differenz-töne eine Octave höher als bei den entsprechenden Intervallen mit dem Grundton 256; sie sind bei gleichem Verhältniss der primären und ihrer eigenen Schwingungszahlen um die doppelte Schwingungszahl von einander und von den Primärtönen entfernt. Nun sind, wie wir sahen, in der höheren Octave die Primärtöne schon bei musikalisch engeren Intervallen, als in der tieferen, gesondert neben einander hörbar, nämlich bei ungefähr der gleichen absoluten Differenz der Schwingungszahlen. Dasselbe gilt, wie zu erwarten war, von den Differenztönen, und dies ist der einzige wesentliche Unterschied in den *D*-Ton-Verhältnissen der beiden Octaven. Die Intervallgebiete, in denen zwei Theiltöne restlos zu einem Zwischenton zusammenfließen, sind in der höheren Tonlage durchgängig relativ weniger ausgedehnt. Die Zonen, wo neben einem solchen Zwischenton auch die bedingenden Theiltöne für sich hervortreten, sind größer. So ergibt sich für die Klänge der höheren Octave allgemein eine größere Mannigfaltigkeit von deutlich neben einander vernehmbaren Theiltönen. Und weil das Gesagte auch für die beiden Grenzgebiete der ganzen Periode zutrifft, d. h. für die verstimmte Prime und Octave, wo die höchsten *D*-Töne dem Grundton nahe liegen, lassen sich *D*-Töne in der *c*²-Octave überhaupt weiter verfolgen.

Mit den soeben hervorgehobenen Thatsachen hängt es zusammen,

dass erst in der höheren Octave ein Differenzton 5. Ordnung sich bemerklich machte. In der c^1 -Octave lassen nur ganz vereinzelt Bestimmungen möglicherweise auf einen D_5 schließen; besonders zwei, die ich hier nachtrage. Bei 256 + 368 [theoretische DD 112; 144; 32; 80; 48] hörte Mö⁴⁷ neben 108 [D_4] und 148 [D_3] mit Bestimmtheit einen Ton 54, der bei tieferem Einführen des Hörrohrs sogar am meisten hervortrat; andere Beobachter gaben einen »ganz tiefen«, genauer nicht bestimmbar D zu Protokoll. Bei dem großen Abstände zwischen D_3 und D_4 liegt es nahe, jenen Ton als einen an $108 = 2 \cdot 54$ angeglichenen D_5 oder ZD_{5+4} aufzufassen. Und B¹⁴ vernahm bei 256 + 456 [DD 200; 56; 144; 88; 32?] einen tiefen Ton, der nicht genau zu bestimmen sei, sicher aber tiefer liege als 56. In der höheren Octave erhielt ich ähnliche Angaben, wie die Tabelle zeigt, häufiger und bestimmter; am eindeutigsten im Gebiete der kleinen Septime. Trotzdem würde ich bei der Schwierigkeit einer genauen Höhenbestimmung leiser D -Töne nicht wagen, die verstreuten Beobachtungen dieser Art im Sinne eines D_5 zu deuten, wiesen nicht, analog wie bei den anderen D -Tönen, die Aussagen über die Schwebungen nach derselben Richtung¹⁾.

Theoretisch bewegt sich der (nach dem früher angegebenen Princip aus den Tönen niederer Ordnung berechnete) D_5 folgendermaßen durch die Periode: Er fällt bei der Prime mit dem Grundton und D_2 , D_3 , D_4 zusammen, wird dann stetig tiefer, deckt sich bei der kleinen Terz mit $D_1 = \frac{n}{5}$ und erreicht bei der großen Terz den Werth 0. Weiterhin wieder zunehmend, begegnet er bei der übermäßigen Terz (7 : 9) dem $D_4 = \frac{n}{7}$ und erreicht bei der Quarte den Werth $\frac{n}{3} = D_1 = D_3$. Bis zum Triton (5 : 7) sinkt er wieder auf 0, beim Intervall 8 : 11 die Bahn des D_4 ($= \frac{n}{8}$) kreuzend. Zwischen Triton und Quinte steigt er bis zur Schwingungszahl $\frac{n}{2}$, fällt beim Intervall 7 : 10 mit $D_3 = \frac{n}{7}$, bei der Quinte mit D_1 , D_2 und D_4

1) Vgl. den übernächsten Abschnitt. — Noch durchsichtiger waren diese Schwebungsverhältnisse in der c^3 -Octave (kl. Terz; cf. S. 370f.).

zusammen. Jenseits der Quinte, bis zur Octave beschreibt D_5 die gleiche Bahn in umgekehrter Richtung. Er ist beim Intervall $7:11 = D_3 = \frac{n}{7}$; bei der kleinen Sexte $= 0$; bei $8:13 = D_4 = \frac{n}{8}$; bei der großen Sexte $= D_2 = D_3 = \frac{n}{3}$; sinkt dann wieder, bis zum Intervall $7:12$ auf $\frac{n}{7} = D_4$, und weiter bis zur verminderten (natürlichen) Septime $4:7$ auf 0 . Von hier ab nimmt seine Tonhöhe stetig zu, erreicht bei der kleinen Septime ($5:9$) den Werth $\frac{n}{5} = D_2$ und bei der Octave $n = D_1 = D_3 = D_4$.

Durch diese rechnerische Ueberlegung und durch die Erfahrungen über nahe benachbarte tiefe Töne wird es begreiflich, dass ein Differenzton 5. Ordnung, namentlich in tieferen Tonlagen, nur an vereinzelten Punkten der Periode für sich zur Geltung kommen kann: wo seine theoretischen Werthe nicht unterhalb der Hörgrenze sich bewegen, liegen sie meist zu nahe bei denen anderer Theiltöne. Die thatsächlichen Beobachtungen, die auf das Dasein eines D_5 hinzuweisen scheinen, betreffen ausschließlich 1) das Gebiet zwischen Prime und kleiner Terz, 2) Intervalle zwischen Septime und Octave, 3) zum geringsten Theile verstimmt Quinten. Diese Intervallgebiete sind zugleich diejenigen, in denen der D_5 theoretisch die größte Tonhöhe erreicht, und in denen er am häufigsten relativ isolirt steht, während von den D -Tönen niederer Ordnung relativ wenige gesondert hervortreten können. Nahe der Octave ist der D_5 vielleicht dadurch begünstigt, dass die anderen D -Töne dort besonders leise und undeutlich werden.

Einige wenige Beobachtungen, namentlich an schwach verstimmt Octaven ($+ 1008$, $+ 1016$), sind möglicherweise durch Differenztöne 6. oder noch höherer Ordnung bedingt, verdienen jedoch wegen ihrer Unbestimmtheit keine Berücksichtigung.

Die vergleichenden Aussagen über Stärke und Deutlichkeit der D -Töne stimmen aufs beste mit den Beobachtungen in der c^1 -Octave überein. Hier wichen die Aussagen an keinem Punkte wesentlich von denen in den höheren Tonlagen ab; nur waren sie im allgemeinen weniger sicher, die Verhältnisse weniger durchsichtig.

Bekanntlich muss bei einzelnen Tönen die subjective Intensität

oder Stärke von der Klarheit und Deutlichkeit wohl unterschieden werden. Ich ersuchte natürlich auch bei den Combinationstönen meine Beobachter, nach Möglichkeit jene beiden Eigenschaften auseinander zu halten. Das war jedoch einigen fast niemals, anderen nur ziemlich selten möglich. In der Mehrzahl der Fälle erschien ein lauterer Theilton zugleich als deutlicher, und umgekehrt; dementsprechend bedeutet in der Tabelle ein $>$ oder $<$ -Zeichen, ohne weiteren Zusatz, jedesmal ein Mehr bzw. Weniger an Stärke und Deutlichkeit. Ein Auseinandergehen dieser beiden Merkmale zeigt sich im allgemeinen nur in folgenden drei Fällen: Die tiefen, brummenden *D*-Töne und besonders die stark schwebenden Zwischentöne sind nicht selten relativ stark und dabei undeutlich, unklar, der Höhe nach schwer bestimmbar. Umgekehrt sind die höchsten *D*-Töne gewöhnlich sehr klar und bestimmt, ohne besonders laut zu sein. Damit hängen gewisse Unterschiede der Dauer zusammen, worauf später zurückzukommen ist.

Töne von größerem Höhenunterschiede nach ihrer relativen Stärke zu beurtheilen, ist keine leichte Aufgabe. Diese Aufgabe wird erschwert, wenn die zu vergleichenden Töne noch andere Unterschiede — der Dauer, des Charakters — aufweisen, wie das für die Differenztöne in weitem Umfange zutrifft. Die tiefen *D*-Töne, bis zu etwa 60 Schwingungen, haben durchweg etwas rauhes, brummendes, geräuschartiges, dumpfes und sind im allgemeinen kürzer als die höheren, die an Reinheit, Glätte und Weichheit vielleicht alle anderen Gehörseindrücke übertreffen, — wo nicht benachbarte Theiltöne ihren ruhigen Abfluss stören. Wird das Vergleichen zweier Combinationstöne schon dadurch nothwendig erschwert, dass neben den zu beurtheilenden Theiltönen stets noch andere, vor allem die starken Primärtöne gehört werden, so erhöht sich die Schwierigkeit noch dann, wenn ein solcher dritter Ton einem der beiden fraglichen nahe liegt. In der *c'*-Octave — und erst recht in tieferen Tonlagen — enthält die überwiegende Mehrzahl der Klänge Zwischentöne von *D*-Tönen. Diese *ZD*-Töne lassen sich wegen ihres rauhen oder intermittirenden, meist auch »zwiespältigen« und verschwommenen Charakters mit einfachen *D*-Tönen schlecht vergleichen. Endlich erschwert ein harmonisches, besonders Octaven- oder Quinten-Verhältniss gleichzeitiger Theiltöne ihre Intensitätsbeurtheilung.

Trotz dieser unvermeidlichen Fehlerquellen zeigten die Beobachtungen in den bisher betrachteten Tonlagen folgende Regelmäßigkeiten (die auch in der c^3 -Octave, soweit die Untersuchung dort reichte, sich bestätigten): Die Differenztöne der Klänge zwischen Quinte und Octave sind durchschnittlich leiser und undeutlicher als die in der ersten Hälfte der Periode zu hörenden. Der bei der reinen und wenig verstimmtten Quinte allein vernehmbare $D[D_1 = D_2 = D_4 (= \frac{n}{2})$ bzw. $ZD_{1+2+4}]$ zeichnet sich durch ungewöhnliche Stärke aus; die reine Quinte ergibt den lautesten überhaupt hörbaren Combinationston. Auch da, wo nur $2D$ -Töne zusammenfallen, ist ein verstärkter D zu hören, und diese Verstärkung wird in abnehmendem Grade auch den Zwischentönen nahe benachbarter D -Töne zu Theil. Mit wachsendem Abstände solcher D -Töne wird ihr Z regelmäßig schwächer, besonders dann, wenn neben ihm die entsprechenden D -Töne bereits gesondert zur Geltung kommen (wie das auch bei dem Z zweier Primärtöne zu constatiren ist). So zeichnen sich also die consonanten Intervalle durch relativ starke D -Töne aus. Bei der Prime und Octave bewirkt der gleiche Factor — das Zusammenfallen mehrerer Theiltöne — eine auffallende Verstärkung des tieferen Primärtons. Neben den 9 mehrfach erwähnten schwebungsfreien Klängen erwiesen sich in der c^2 -Octave noch die kleine Terz und die kleine Septime als in gleichem Sinne ausgezeichnet. Bei diesen beiden Intervallen trifft ein D_5 mit D_4 bzw. D_2 zusammen. Die Mitwirkung des D_5 sowie die Intensität und Höhe des tiefsten D in diesen Intervallgebieten lassen sich nur bei höherer Tonlage der Pr genauer feststellen. Es soll indessen nicht unerwähnt bleiben, dass auch in der eingestrichenen Octave einige Male ein Anschwellen des tiefsten Differenztones bei schrittweiser Annäherung der Pr an die kleine Terz und an die kleine Septime beobachtet wurde. In der c^2 -Octave ergibt sich unverkennbar die angedeutete Sonderstellung der Intervalle von relativ einfachen Schwingungsverhältnissen. Nach übereinstimmenden Beobachtungen in beiden Octaven (auch über die Intensität der Schwebungen¹⁾)

1) Soweit die Beobachtungen in der dreigestrichenen Octave reichten, bestätigten sie durchaus diesen Thatbestand.

nimmt mit Annäherung der *Pr* an jene Schwingungsverhältnisse die Stärke und Deutlichkeit des tiefsten Differenztones regelmäßig zu; und zwar nicht in gleichem Maße bei allen Klängen dieser Gruppe. Vielmehr ist die Zunahme wie die absolute Stärke des charakteristischen *D* bei der Quinte am größten; geringer bei der Quarte und großen Sexte; noch etwas geringer bei der großen Terz und verminderten Septime; wesentlich geringer beim Tritonus und bei der kleinen Sexte; am geringsten und als Zunahme sogar vielfach kaum nachweisbar bei der kleinen Terz und kleinen Septime. Bei denjenigen von diesen Klängen, die mehr als einen Differenzton hören lassen, also mit Ausnahme der Quinte bei allen, übertrifft der charakteristische tiefste auch die gleichzeitig neben ihm gehörten *D*-Töne an Stärke und Deutlichkeit. Die verhältnissmäßig seltenen Aussagen, die dieser Regel widersprechen, erscheinen begreiflich, wenn man die Schwingungsverhältnisse der gleichzeitigen Theiltöne berücksichtigt. Die höheren *D*-Töne sind bei allen jenen Intervallen stark harmonisch zu dem tiefsten und zu den *Pr*. Dadurch ist die vergleichende Beurtheilung der zusammenklingenden Töne in jedem Falle erschwert. Außerdem nehmen bei den hierher gehörigen Klängen vielfach auch die höheren *D*-Töne an Stärke zu. Die meisten abweichenden Aussagen betreffen naturgemäß Intervalle vom Ende der eben aufgestellten Reihe, nämlich die kleine Septime, kleine Terz und kleine Sexte. Für die kleine Sexte ließen sich die dem Tritonus analogen Verhältnisse sicherer in der *c*¹-Octave feststellen. Hier traten auch beim Vergleich der verschiedenen Consonanzen hinsichtlich der Stärke ihrer tiefsten *D*-Töne die angeführten Verhältnisse mit großer Regelmäßigkeit hervor.

Bei zunehmender Verstimmung eines jeden dieser bevorzugten Klänge nimmt, wie erwähnt, die Stärke und Deutlichkeit des dann zu hörenden *ZD* ab. Weiterhin erscheinen die bisher verschmolzenen *D*-Töne gesondert, und zwar zunächst leise und undeutlich, mit wachsendem Abstände von einander, klarer und kräftiger. Allgemein scheint die subjective Intensität und Aufdringlichkeit eines Theiltones durch seine relativ isolirte Stellung im Toncomplex gesteigert zu werden.

Sieht man von den Intervallgebieten ab, wo ein Differenzton durch einen oder mehrere gleich hohe oder benachbarte verstärkt

wird, so sind D_1 und D_2 den D -Tönen höherer Ordnung an Stärke und Deutlichkeit durchschnittlich überlegen.

Von anderen wechselnden Eigenschaften der Differenzöne seien hier noch zwei erwähnt: ihre relative Dauer und die zeitliche Folge ihres Auftretens im Zusammenklange. Tabelle III enthält, wie alle meine Protokolle, zahlreiche Angaben hierüber. Diese Beobachtungen stimmen durchgängig in so hohem Maße überein, dass es genügt, sie später für alle untersuchten Tonlagen zusammenzufassen: Man sieht leicht, wie solche zeitlichen Unterschiede der Töne auch das Urtheil über ihre Stärke und Deutlichkeit beeinflussen können. Innerhalb weiter Grenzen sind kurze und plötzlich an- oder abklingende Theiltöne auch bei mäßiger Intensität relativ auffallend, ebenso wie besonders isolirte oder tiefe, geräuschartig brummende und rauhe oder unangenehm schwebende Töne.

3. Summationstöne.

Wie in der c^1 -Octave wurden auch hier Su -Töne bei der überwiegenden Mehrzahl der Klänge und gelegentlich von allen Beobachtern gehört; am häufigsten von Mö., der als fleißiger Violinspieler an Töne von dieser Höhe wohl am meisten gewöhnt war. Er konnte fast überall, wo er überhaupt darauf achtete, einen Su sicher feststellen, und dieser war für ihn an Stärke und Deutlichkeit nicht selten einem zugleich gehörten mittelstarken, ja zuweilen dem stärksten D gleich. Die anderen Beobachter (A, B, Me) empfanden in der Regel den Su als den leisesten Combinationston. Mir erschien er häufig trotz relativ geringer Intensität wegen seiner isolirten Lage besonders deutlich. Die Herren St. und V. bemerkten auch zuweilen einen Su , fühlten sich aber durch seine nähere Untersuchung so beschwert und abgelenkt, dass ich sie bat, diese hohen Töne unbeachtet zu lassen. Wie St. war auch A. in vielen Fällen außer Stande, die Tonhöhe des Su zu bestimmen; er gab ihn nur da zu Protokoll, wo er sich ihm unwillkürlich aufdrängte.

Da die Appunn'schen Tonmesser nur bis zur Schwingungszahl 1024 reichen, mussten die Bestimmungen hier sämmtlich durch Zungenöne der tieferen Octave, ja einigemale, als der höchste Tonmesser nicht verfügbar war, durch solche der tieferen Doppeloctave erfolgen.

Derartige Tonurtheile setzen einige musikalische Uebung voraus; natürlich vergrößert sich dabei die mittlere Abweichung von den theoretischen Werthen. Um so überzeugender sind die zahlreichen Fälle, in denen namentlich Mö vollkommen unwissentlich einen Ton angab, der genau oder nahezu mit dem erwarteten *Su* übereinstimmte.

Im allgemeinen nimmt, wie in der vorigen Octave, die Stärke und Deutlichkeit des *Su* mit Erweiterung der Klänge bis etwa zur großen Septime zu. In der Gegend der consonanten Intervalle, wo seine Schwingungszahl relativ einfachen Verhältnissen zu denen der übrigen Theiltöne sich nähert, ist seine Mercklichkeit etwas erhöht; bei den reinen Consonanzen ist er in der Regel besonders deutlich, aber nicht leicht zu bestimmen.

Theoretisch steigt die Tonhöhe des *Su*, wenn die *Pr* vom Einklang bis zur Octave auseinanderrücken, stetig von $2n$ bis $3n$, also hier von c^3 bis g^3 . Die empirischen Bestimmungen lassen keinen Zweifel, dass es sich thatsächlich überall um *Su*-Töne handelte. Nur in 5 Fällen zwischen der kleinen und der großen Septime gab Mö Tonhöhen des *Su* an, die wesentlich von den theoretisch erwarteten abwichen; sie stehen dazu im Verhältniss einer etwas erweiterten kleinen Terz und sind nicht als Obertöne der *Pr*, eher als secundäre *Su*-Töne aus dem primären *Su* und einem besonders deutlichen *D* zu begreifen. An anderen Versuchstagen wurden bei denselben Klängen oder in ihrer nächsten Umgebung stets auch die gewöhnlichen, mit den theoretischen Werthen gut übereinstimmenden *Su*-Töne constatirt. Nahe der Octave wurde die Tonhöhe hin und wieder an die Duodecime des Grundtons angeglichen, und ich dachte natürlich sofort an den Oberton $3n$. Aber gegen diese Deutung entscheidet die wiederholentliche Beobachtung, dass jene Töne nur im Zusammenklange der *Pr* auftraten und nicht zu hören waren, wenn n (oder auch n^1) für sich gegeben wurde. Die verwendeten Stimmgabel-Resonanztöne erwiesen sich auch sonst als nahezu völlig obertonfrei; unter anderem dadurch, dass die *Su*-Töne nicht schwebten, wo sie einem Multiplum der *Pr* nahe kamen. Wenn Mö⁴⁸ bei + 600 den Ton $2n$ neben *Su* notirte, so steht diese Beobachtung unter tausenden völlig vereinzelt da. Im übrigen sei für die Frage der Obertöne auf die später zu berichtenden Interferenzversuche verwiesen.

Die erwähnte Angleichung des *Su* an einen nahe gelegenen harmonischen Phantasierton hat zahlreiche Analoga in den Bestimmungen der *D*-Töne. Die *Su*-Töne waren auch sonst zuweilen in dieser Richtung subjectiv etwas erhöht oder vertieft. Bei der kleinen Sexte z. B. [+ 819,2] stehen Primärtöne und *Su* im Verhältniss 5 : 8 : 13; bei den benachbarten Klängen sind die Schwingungsverhältnisse erheblich weniger einfach. Nun bestimmten drei Beobachter (darunter B und Mö) an verschiedenen Versuchstagen die *Su*-Töne der Klänge + 808 bis + 836 häufig auf 1328; dieser Werth trifft bei der angewandten Bestimmungsweise (durch die tiefere Octave) am besten mit jenem relativ einfachen Schwingungsverhältniss überein.

4. Schwebungen.

In der großen Zahl von Schwebungsbeobachtungen ist keine, die einen principiellen Unterschied der Verhältnisse in beiden Octaven begründete. Die früher unterschiedenen Arten von *S* lassen sich in der *c*²-Octave sehr genau feststellen und verfolgen. Dazu kommen hier als 10. und 11. Gruppe noch Schwebungen um die kleine Terz und um die kleine Septime, entsprechend dem Hervortreten eines *D*₅ in jenen Intervallgebieten. Diese *S*₃ und *S*₇ werden in tieferen Tonlagen ganz, in der *c*²-Octave noch zum größten Theile von denen der verstimmten Prime und großen Terz, bezw. natürlichen Septime und Octave verhüllt. Aber bei geringen Verstimmungen der kleinen Terz und kleinen Septime sind ihre besonderen Schwebungen deutlich erkennbar. Auch imponiren in höherer Tonlage die beiden rein gestimmten Intervalle, verglichen mit nahe benachbarten, als schwebungsfrei. Der harmonische Klang + 614,3 [5 : 6] schien keinem Beobachter gesondert wahrnehmbare *S* zu enthalten; dagegen hörte z. B. A³⁸ schon bei + 616 [8*S*₃] starke, ziemlich langsame Schwebungen. Bei dem der kleinen Septime sehr nahe gelegenen Intervall + 920 erschien der tiefste *D* [*ZD*₂₊₅] zwar als rauh und brummend — wie die meisten tiefen *D*-Töne; aber die schnellen Schwebungen dieses Klanges charakterisiren sich durch ihre Localisation als Octavenstöße. Andererseits ließen die nächst benachbarten Intervalle sämmtlich relativ langsame Schwebungen des tiefsten *D* hören. Bei + 916 waren die [28] *S*₇ deutlicher als die [48] stärkeren Schwebungen

des Klanges + 908, der noch ins Gebiet der verminderten Septime gehört; die langsamen [12] *S* des Klanges + 924 hafteten ausschließlich an einem genau bestimmbaren ZD_{2+5} und waren ohne Zweifel langsamer und deutlicher als die auf einem ZD_{2+4} ruhenden [32] S_{VII-} bei + 904.

Tabelle V. Schwebungen.

Grundton c^2 512. Erste Periode.

Art der <i>S</i>	Beteiligte Töne	0 bei +	Zunahme bei Verstimmung der <i>Pr</i> um 1 Schwingung	Grenzen der <i>S</i>		Zahl der <i>S</i> an der	
				untere	obere	unteren Grenze	oberen Grenze
S_I	$Pr D_2 D_3 D_4 (D_5)$	512 c^2	1		608		96
S_3	$D_1 D_5$	614,4 es^2	5				
S_{III}	$D_1 D_4$	640 e^2	4	628	656	48	64
S_{IV}^n	$D_1 D_3 (D_5)$	682,6 .. f^2	3	660	700	68	52
S_{V-}	$D_3 D_4$	716,8 ges^2	5	708	724	44	36
S_V	$D_1 D_2 D_4 (D_5)$	768 g^2	2	728	808	80	80
S_6	$D_3 D_4$	819,2 as^2	5	808	830	56	54
S_{VI}	$D_2 D_3 (D_5)$	853,3 .. a^2	3	836	876	52	68
S_{VII-}	$D_2 D_4$	896 b^2	4	880	912	64	64
S_7	$D_2 D_5$	921,6 b^2	5				
S_{VIII}	$(D_5) D_4 D_3 D_1 n$	1024 c^3	1	928		96	

Bekanntlich lassen primäre Schwebungen in höherer Tonlage sich bis zu einer größeren Frequenz verfolgen und unterscheiden als die Schwebungen tieferer Töne. Wie zu erwarten war, trifft dasselbe für die Schwebungen der *D*-Töne zu. Ein Vergleich der vorstehenden Tabelle V mit Tabelle II (auf S. 344) zeigt, dass die Grenzzahlen der verschiedenen Schwebungsarten in der zweigestrichenen Octave sämtlich größer sind, als in der eingestrichenen. Naturgemäß enthalten die Intervalle der höheren Octave bei gleichen Schwingungs-

verhältnissen durchgängig Theiltöne von doppelter absoluter Schwingungszahl. Jene Grenzwerte indessen, d. h. die höchsten Frequenzzahlen, bis zu denen die verschiedenartigen Schwebungen als Mehrheit von Intensitätsschwankungen sicher nachzuweisen sind, erreichen hier im allgemeinen nicht das Doppelte der entsprechenden Werte für die tiefere Octave, sondern verhalten sich zu diesen durchschnittlich etwa wie 3:2. Die Folge ist, dass in der c^2 -Octave die verschiedenen Schwebungsgebiete im allgemeinen nicht übereinander greifen, sondern nur noch aneinander grenzen. Die wenigen dazwischenliegenden Intervalle sind auch nicht völlig glatt und rein, sondern enthalten zum mindesten einen rauhen oder summenden D . Zwischen Prime und großer Terz, sowie zwischen der verm. Septime und der Octave erwartete ich am ehesten je ein kleines schwebungsfreies Gebiet zu finden. Hier aber schieben sich die Schwebungen der kleinen Terz bezw. der kleinen Septime hinein. Diese engen Schwebungszonen sind schwer zu begrenzen, schon deshalb, weil die benachbarten Gebiete stärkerer und deutlicherer Schwebungen jederseits weit hineinreichen. In Tabelle V, die genau wie die II. Tabelle eingerichtet ist, sind die Grenzwerte für diese S_3 und S_7 offen gelassen.

Es fehlte an Zeit und Hilfsmitteln, um alle diese quantitativen Bestimmungen bis zur größtmöglichen Genauigkeit zu führen. Zu diesem Zwecke wäre noch weitere Variation der Vergleichsrichtungen (unter anderem ein häufiger Fortschritt der Verstimmungen um weniger als 4 Schwingungen) und auch eine Variation der Klangstärken erforderlich. In meinen Versuchen erhielten, wie früher bemerkt wurde, die beiden Gabeltöne im allgemeinen eine gleiche, etwas über mittelstarke Intensität.

Aus den Beobachtungen in beiden bisher betrachteten Octaven ergibt sich übereinstimmend Folgendes bezüglich der Ausdehnung der verschiedenen Schwebungsgebiete. Die Schwebungen um die Prime und um die Octave lassen sich etwa gleich weit und in jedem Sinne weiter verfolgen, als alle anderen Schwebungsarten. Die äußerste Frequenz der noch als Mehrheit wahrnehmbaren Quintenstöße ist etwas geringer als die der S_I und S_{VIII} ; noch geringer sind die Maximalzahlen für die Quarte und natürliche Septime, die große Sexte und große Terz, wobei die Quarte der großen Terz, die natür-

liche Septime der großen Sexte ein wenig überlegen zu sein scheint. Noch tiefer stehen in dieser Reihe die verm. Quinte (Tritonus) und die kleine Sexte; zu unterst die kleine Terz und kleine Septime. Ordnen wir die verschiedenartigen Schwebungen nicht nach den Grenzwerten ihrer Frequenz, sondern nach der Ausdehnung der von ihnen beherrschten Intervallgebiete, so ergibt sich mit Sicherheit und mit erheblich größeren Unterschieden (wegen der verschieden starken Zunahme der *S* bei gleicher Verstimmung der *Pr*) nahezu dieselbe Reihe: Prime und Octave; Quinte; Quarte und große Sexte; natürliche Septime und große Terz; Tritonus und kleine Sexte; kleine Terz und kleine Septime.

Ganz ähnlich gruppieren sich die verschiedenen Schwebungsarten nach ihrer Stärke und Deutlichkeit. Nach dieser Richtung lassen zwei schwebende Klänge sich kaum vergleichen, wenn die Zahl der Schwebungen in beiden Fällen sehr verschieden ist. Man muss daher Dissonanzen von gleicher oder doch wenig verschiedener Schwebungsfrequenz zusammenstellen. Solche Intervallpaare legte ich vielfach besonders St vor, der in allen Intensitätsurtheilen ungewöhnlich sicher war. Erschwert werden natürlich auch diese Urtheile durch große Unterschiede in der Höhe der beteiligten, d. h. schwebenden Töne; unter anderem deshalb, weil die Frequenzgrenzen der *S* von ihrer Tonhöhe abhängig sind: nicht nur primäre Schwebungen, auch *S* zwischen Differenztönen verschmelzen *ceteris paribus* schon bei geringerer Zahl zu einer unklaren, mehr continuirlichen Rauigkeit, wenn tiefere Töne sie erzeugen. Dieser Factor dürfte die Verschiedenheit der angegebenen Grenzwerte mit bestimmen; er erklärt übrigens vielfach auch solche Vergleichsurtheile über die Schwebungsfrequenz, die den theoretischen Schwingungsverhältnissen nicht entsprechen; gerade geübteren Beobachtern pflegen ziemlich frequente Schwebungen tiefer Theiltöne unter sonst gleichen Bedingungen den Eindruck größerer Frequenz zu machen, als objectiv gleich schnelle, aber höher gelegene: weil jene der Verschmelzungsgrenze näher sind.

Schwebungen gleicher Provenienz sind gewöhnlich dann am stärksten und auffallendsten, wenn ihre Zahl zwischen 0 und dem Maximum ungefähr in der Mitte liegt, also etwa bei mittlerer Frequenz.

Zweifellos sind die Schwebungen der verstimzten Prime stärker und deutlicher als alle anderen, auch als die der Octave; man vergleiche hierüber z. B. die Angaben von B⁷¹ bei + 544 [32 S_I] nach + 992 [ebensoviele S_{VIII}]. Die Quintenstöße sind wiederum bei gleicher Frequenz leiser und undeutlicher als die S_{VIII}, aber stärker und aufdringlicher als alle übrigen Schwebungsarten.

Zwischen den Schwebungen der großen Terz, der Quarte, der großen Sexte und der natürlichen Septime traten Unterschiede der fraglichen Art in den Versuchen nicht eindeutig hervor; sie müssten jedenfalls geringer sein als die bisher mitgetheilten. Genaueres ließe sich hierüber nur durch viel zahlreichere und mannigfaltigere Versuche ermitteln. Dabei würde es sich empfehlen, auch die Grundtöne der Klänge zu variiren und unter anderm solche Intervalle zusammen zu stellen, bei denen die schwebenden *D*-Töne ungefähr in gleicher Höhe lägen. Bei unverändertem Grundton sind die charakteristischen *D*-Töne der Quarte und der großen Sexte die gleichen und liegen eine Quarte höher als die der großen Terz und natürlichen Septime. Diese bilden die tiefere Doppeloctave, jene die tiefere Duodecime des Grundtons. Einmal, bei + 680 erklärten St. und K. die Quartensstöße mit Bestimmtheit für stärker als die ebenso zahlreichen [8] *S* einer verstimzten großen Terz.

Hinsichtlich der vier noch übrigen Schwebungsarten kann mit Sicherheit gesagt werden, dass sie hinter den bisher erwähnten an Stärke und Deutlichkeit zurückstehen; am weitesten die *S* der kleinen Terz und der kleinen Septime, wie schon aus der Spärlichkeit und Unsicherheit ihrer Feststellungen hervorgeht. Dass die Schwebungen der natürlichen Septime denen der kleinen Sexte überlegen sind, beweist z. B. die Angabe des sehr vorsichtigen v. V. bei + 892 und + 816. Wichtiger war mir das Verhältniss der S_{VI} zu den S₆. Da stimmen alle Aussagen zu Gunsten der großen Sexte überein. Ich verweise auf die vergleichenden Urtheile von St bei + 812 (nach + 864), + 824 (nach + 860), + 860 (nach + 816), + 864 (nach + 824) und + 868 (nach + 812); ähnlich lauten die Angaben von v. V bei + 816 und von A bei + 848.

Was über die Tonlage der Schwebungen, die Höhe der schwebenden Theiltöne bekundet wurde, steht in wesentlicher Analogie zu den Feststellungen in der tieferen Octave. Mit fortschreitender

Uebung der Beobachter prägten sich in den Urtheilen immer deutlicher die mehrfach erwiesenen theoretischen Verhältnisse aus. Abweichungen davon kommen, was den »Hauptträger der S « betrifft, auch zu Gunsten harmonischer Theiltöne nur sehr vereinzelt vor. Entsprechend dem isolirten Auftreten der Theiltöne in der c^2 -Octave, liegen die Schwebungen hier nicht so vorwiegend auf Zwischentönen, wie in der tieferen Octave, sondern häufig auf zwei oder mehreren gesondert hörbaren Tönen.

Als wichtige Uebereinstimmung beider Octaven sei noch hervorgehoben, dass auch in der zweigestrichenen die Octavenstöße fast niemals dem höheren Primärton zugeschrieben wurden. Von den zahlreichen hierher gehörigen Klängen erschien nur bei dreien (+ 956; 992; 1012) je einmal n^1 als möglicherweise an den S theiligt.

5. Gefühlseindruck.

Die Klänge mit zusammenfallenden Theiltönen sind, wie in der tieferen Octave, die angenehmsten. Nur für den Tritonus trat das in der Hauptversuchsreihe (Tabelle III) nicht hervor. In die Zusatz-Tabelle IV sind die Gefühlsurtheile wegen ihrer geringen Zahl nicht aufgenommen; aber in dieser besonderen Versuchsreihe war, wie in der tieferen Octave, die relative Annehmlichkeit des reinen Intervalls 5 : 7 sowohl Mö als mir auffallend. Auch in der Nähe der kleinen Terz und der kleinen Septime finden sich deutliche, wenngleich geringe Erhebungen der Lustcurve, wie sie übrigens auch in der c^1 -Octave angedeutet waren. Die um ca. 10 Schwingungen nach unten verstimnte kleine Terz + 604 erschien unangenehmer als die engeren Intervalle + 592 und + 588.

Das höchste Maximum der Unlust liegt wiederum bei der stark verstimnten Prime, etwas unterhalb der großen Secunde, wahrscheinlich bei + 556 bis + 560. Es liegt in der tieferen Octave musikalisch etwas höher, d. h. der großen Secunde näher. Entsprechend dem sonst über die S , namentlich über ihre Verschmelzungsgrenzen Festgestellten hat die gleiche Zahl Schwebungen in beiden Octaven nicht die gleiche Bedeutung für den Gefühlseindruck. Die Maxima der Unlust liegen hier wie dort ungefähr an symmetrischen Punkten der verschiedenen Schwebungszonen; das

bedeutet nach früher Gesagtem: Die unangenehmsten Intervalle der höheren Octave enthalten mehr Schwebungen als die entsprechenden der tieferen, aber (in meinen Versuchen) nicht die doppelte, sondern durchschnittlich die $1\frac{1}{2}$ -fache Anzahl. Die Annehmlichkeit der Consonanzen nimmt erst bei absolut größeren Verstimmungen ab; ja die Lustcurve scheint überall auch relativ etwas langsamer zu sinken als in der c^1 -Octave. Indessen bedarf die Abhängigkeit dieser Verhältnisse von den Tonstärken noch genauerer Untersuchung.

c. Dreigestrichene Octave (Grundton c^3 1024).

Intervalle der c^3 -Octave begann ich nach Ostern 1899 systematisch zu untersuchen, als Dr. B. bereits nach Kopenhagen zurückgekehrt war. Alle anderen Beobachter der tieferen Octave nahmen auch an diesen Versuchen Theil. Für einige Stunden trat Dr. V. neu hinzu, ein in Analyseversuchen ungeübter und wenig musikalischer Beobachter.

Wegen der schwierigeren Einstellung der Laufgewichte bei den kurzen Gabeln und der geringeren Bedeutung kleiner Schwingungsunterschiede beschränkte ich die Untersuchung hier im allgemeinen (abgesehen von der Umgebung der reinen Consonanzen) auf Klänge, die um 8 Schwingungen von einander verschieden waren. Zum unmittelbaren Vergleich kamen Intervalle von sehr verschiedener Weite und, mit Ausnahme der Schwebungsbeobachtungen, nur solche, die mindestens um 16 Schwingungen von einander abwichen. Der höchste noch benutzte Stimmgabelton war, aus früher angegebenen Gründen, der Ton 1504. Schon bei geringeren Schwingungszahlen des höheren Pr (Grundton 1024) waren die der verstimmt Quinte charakteristischen Erscheinungen deutlich erkennbar. Ein Hinausgehen über jene Höhengrenze versprach keine wesentlich neuen Aufschlüsse. Die Ergebnisse verhalten sich zu den in der c^2 -Octave gewonnenen sehr annähernd wie diese zu den Beobachtungen in der eingestrichenen Octave.

1. Zwischenton und primäre Töne bei engen Intervallen.

Bis + 1080 liegt der Zwischenton nach der überwiegenden Mehrzahl der Aussagen dem Grundton näher; jenseits der kleinen Secunde näher n^1 ; indessen werden die Urtheile hier stetig unsicherer,

indem der *Z* an Stärke und Deutlichkeit abnimmt und von den anderen Theiltönen übertroffen wird. + 1096 ist das engste Intervall, bei dem die Existenz eines *Z* einmal verneint wurde. Häufiger geschieht dies erst in der Nähe der großen Secunde (+ 1152). Aber noch bei + 1168 hörte St deutlich einen Ton zwischen den gesondert wahrnehmbaren *Pr*, der mit Bestimmtheit als dem höheren näher liegend beurtheilt wurde. Zum letzten Male wurde ein, seiner Höhe nach nicht näher bestimmbarer *Z* bei + 1216 als sicher vorhanden notirt.

Die Mehrheitlichkeit des Klanges wird schon bei relativ engen Intervallen bemerkt; eine unsichere *Z*weiheit zuerst wiederum bei 16 Schwingungen Intervallweite (Me, Mö, K). Von da ab werden mit zunehmendem Schwingungsunterschied die *Pr* im allgemeinen immer deutlicher und klarer für sich vernehmbar; indessen scheint die *Z*weiheit der *Pr* zweimal wieder undeutlicher zu werden: zweifellos bei + 1080 bis + 1088 (im Vergleich mit etwas engeren Intervallen); vielleicht noch einmal ganz vorübergehend bei der großen Secunde (+ 1152). Bis + 1088 wird der Eindruck überall vom Zwischentone beherrscht, derart, dass bei schwacher Tongebung und bei wenig concentrirter Aufmerksamkeit das Ganze (auch bei Intervallen zwischen + 1040 und + 1080) leicht als einheitlich erscheint. Weiterhin wird der *Z* stetig leiser und tritt mehr und mehr hinter andere Theiltöne zurück. Die Primärtöne zeigen in der Gegend des Ueberganges zum deutlichen *Z*weiklang (um + 1080) unverkennbar die früher schon besprochene Erscheinung, dass zunächst der höhere an Deutlichkeit und Bestimmtheit den Grundton merklich übertrifft; dieser scheint zuweilen (+ 1072) auch rascher als n^1 zu verklingen, aus dem Klangganzen zu verschwinden. Endlich ist zwischen + 1056 und + 1112 (unsicher noch bis + 1128) der Grundton durchweg subjectiv vertieft, d. h. im Zusammenklange tiefer als für sich allein. Alle Beobachter wurden unabhängig von einander auf diese Erscheinung aufmerksam; sie erklärt sich, wie früher, durch die Mitwirkung hoher Differenztöne.

2. Differenztöne.

Auch die Bestimmungen der Differenztöne zeigten keinerlei wesentliche Abweichung von dem in tieferen Tonlagen Festgestellten.

Die Fälle waren nicht selten, in denen die Beobachter, namentlich der sehr musikalische und geübte Mö, für die gehörten Theiltöne unwissentlich genau die theoretischen Schwingungszahlen notirten.

Schon bei einer Intervallweite von 16 Schwingungen (+ 1040) trat ein hoher D gesondert hervor und wurde — ebenso bei + 1048 und + 1056 — als ZD_{3+2} bestimmt. Bei + 1056 war tiefer als dieser starke D noch »etwas Rauhes« zu bemerken, wahrscheinlich durch D_3 und D_4 bedingt. Weiterhin überwogen eine Strecke weit diese beiden D -Töne, bezw. ihr Z . Bei 1072 machte sich zum ersten Male D_1 [= 48] als tiefes, kurzes Brummen geltend. Bei + 1080 waren unterhalb des vertieften Grundtons und einschließlich des tiefen D_1 bereits 4 D -Töne zu constatiren. Von hier ab bis jenseits des Tritonus kann man überall drei bis vier D -Töne gleichzeitig hören. Unverkennbar ist das Ueberwiegen der charakteristischen D - oder ZD -Töne in der Gegend der beiden Terzen, der Quarte und des Tritonus, sowie ihr Zurücktreten bei zunehmender Verstimmung dieser Klänge. Die wenig verstimmte kleine Terz zeigt wiederum zuweilen die Mitwirkung eines D_5 . Die Intervallgebiete, in denen zwei einander nahe gelegene D -Töne gänzlich zu einem Z verschmelzen, sind relativ noch kleiner als in der c^2 -Octave. Häufiger noch als dort können die constituirenden D -Töne, namentlich der höhere, neben ihrem Z wahrgenommen werden. Die breiteste der in ihrem ganzen Umfang untersuchten ZD -Zonen ist die des ZD_{1+3} im Bereiche der Quarte (+ 1365). Bei allen Klängen zwischen + 1336 und + 1392 ist dieser Z als stärkster und deutlichster Combinationston zu hören, wobei seine, unwissentlich bestimmte, Tonhöhe nur zwischen 336 und 348 sich bewegt. Bei + 1464 erscheint, neben D_1 , D_2 und D_3 , zum ersten Male der der verstimmten Quinte eigenthümliche ZD_{1+2} . Er nimmt im weiteren rasch an Deutlichkeit und Intensität zu und beherrscht durchaus die Klänge bis + 1504, wo die Untersuchung abgebrochen wurde. Seine Höhe schwankt zwischen 504 und 520. Neben ihm ist, mehr und mehr zurücktretend, D_2 noch bis + 1504 gesondert wahrzunehmen, zuweilen auch ein ZD_{1+4} , der bei + 1488 auf ca. 400 bestimmt wurde.

Wo nicht durch zusammenfallende oder nahe benachbarte D -Töne die Intensität und Merklichkeit des tiefsten Theiltones verstärkt ist, erscheint überall einer der höheren als der stärkste und deutlichste D . Bei den engsten Intervallen, die überhaupt D -Töne hören lassen,

überwiegen D_4 , D_3 und ihre Zwischentöne, dann halten sich eine Strecke weit alle D -Töne das Gleichgewicht. Von der großen Secunde bis nahe an die kleine Terz ist D_2 der beherrschende D ; ebenso vorübergehend zwischen der kleinen und der großen Terz, um $+ 1260$, obwohl hier die hohen D -Töne sämtlich etwas leiser sind, als in der Gegend der großen Secunde. Jenseits der großen Terz nimmt D_3 wieder zu, aber mehr noch wie es scheint D_3 , der eine Zeit lang ($+ 1288$ bis $+ 1312$) im Vordergrund steht. Um $+ 1320$ und $+ 1328$ ist D_1 durch harmonische Verhältnisse zu D_4 bzw. D_3 und n begünstigt. Dann beginnt das Gebiet der verstimmtten Quarte und der Vorherrschaft des ZD_{1+3} . An dieses Gebiet schließt sich ziemlich unmittelbar das engbegrenzte des Tritonus an, wo ein ZD_{3+4} überwiegt. Zwischen $+ 1440$ und $+ 1456$ machen sich D_4 und D_2 den Vorrang streitig. Weiterhin tritt ein ZD_{1+2} immer entschiedener auf Kosten der übrigen D -Töne hervor.

3. Summationstöne.

Die Summationstöne der Klänge mit dem Grundton 1024 liegen sämtlich höher als c^4 2048. Der höchste Appunn'sche Tonmesser enthält nur ihre tieferen Doppeloctaven. Deshalb verzichtete ich hier grundsätzlich auf zahlenmäßige Bestimmungen und fragte nur nach dem Vorhandensein eines sehr hohen Tones in der den meisten Beobachtern von anderen Versuchen her bekannten Klangfarbe und ungefähren relativen Lage. Von der Prime bis $+ 1304$ wurden Su -Töne bei der Mehrzahl der Intervalle festgestellt, am häufigsten von Mö und A, zuweilen auch von St, dessen Aussagen in jeder Hinsicht eine schnell und stark wachsende Uebung verriethen. Nicht selten bemerkten diese Beobachter den Ton spontan, ohne dass ich ihre Aufmerksamkeit darauf gerichtet hatte. Der Versuch, den hohen Ton auch bei einzelner Erklingen eines der Pr zu hören (als Oberton), war wie früher stets ohne Erfolg. In jedem Falle war der Su recht leise, meistens der leiseste Theilton. Er trat regelmäßig erst im weiteren Verlaufe des Klanges auf, deutlicher gewöhnlich erst gegen Ende. Hiermit dürfte es zusammenhängen, dass von $+ 1312$ ab nirgends mehr ein Su notirt, einige Male sein Dasein ausdrücklich verneint wurde (was übrigens bei Su -Tönen auch sonst vielfach

geschieht, besonders von seiten ungeübter Beobachter): die höhere Stimmgabel verklang immer rascher, je höher sie gestimmt wurde, sodass die Dauer des Zusammenklanges stetig abnahm; das beeinträchtigte natürlich am meisten die nach jedem Streichen zuletzt hervortretenden Theiltöne. Diese Deutung der Ergebnisse wird dadurch noch wahrscheinlicher, dass in der vorliegenden Octave die Beobachtungen von *Su*-Tönen stetig spärlicher werden, je weiter n^1 vom Grundton abrückte. Im Gegensatz zu den tieferen Octaven wurde der *Su* bei den engsten Intervallen am sichersten und deutlichsten gehört; zum ersten Male bereits bei $+ 1056$; hier versuchte Mö ausnahmsweise eine Höhenbestimmung durch die tiefere Doppeloctave und notirte unwissentlich genau den theoretischen Werth 2080. Das ungefähre Octavenverhältniss zu dem gleichzeitig vernommenen Zwischenton mag die Bestimmung erleichtert haben.

4. Schwebungen.

Die Analyse der Schwebungen bestätigte durchaus die bisher gefundenen Regelmäßigkeiten. Im Umkreise aller dem untersuchten Intervallgebiete angehörigen Consonanzen war die gesetzmäßige Ab- und Zunahme der charakteristischen Schwebungen mit Sicherheit festzustellen. Die Bestimmung ihrer Tonhöhe, ihre Begrenzung auf ganz bestimmte Theiltöne war durch die kurze und zum Theil auch ungleiche Dauer der beiden Stimmgabeltöne erschwert. Häufiger als in den tieferen Octaven begegneten dabei Octaventäuschungen, derart, dass die *S* der verstimmtten großen Terz und verminderten Quinte (Tritonus) auch oder ausschließlich auf die höhere Octave (D_3 bzw. D_1) der charakteristischen *D*-Töne (ZD_{1+4} bzw. ZD_{3+4}) bezogen wurden. Bei der großen Terz könnte man zur Erklärung an die Mitwirkung eines $D = n^1 - D_2$ denken, den Hällström als Differenzton dritter Ordnung bezeichnet hat, und der innerhalb der ersten Periode durchweg als höhere Octave des D_1 auftreten müsste. Dieser *D*, auf den ich in einem historisch-kritischen Zusammenhange noch zu sprechen komme, findet jedoch in allen bisher angestellten Untersuchungen eine so schwache Stütze, dass ich es vorziehe, neben der allgemeinen Neigung zu Octaventäuschungen hier nur den eben angegebenen technischen Umstand verantwortlich zu machen. Die tiefen

ZD-Töne sind schon an sich stets relativ recht kurz (vgl. dazu im Folgenden S. 374 ff.). Unter besonders ungünstigen zeitlichen Verhältnissen der *Pr* ist ihre Dauer so gering, dass eine Beurtheilung ihres Charakters höchst unsicher wird. Andererseits ist es bekannt und in meinen Versuchen mehrfach bestätigt, dass sogar unhörbare Klänge in ihren Schwebungen noch können zur Geltung kommen. Sind gleichzeitig andere Theiltöne deutlich gegeben, so pflegt man in solchen und ähnlichen Fällen die Schwebungen mit Vorliebe auf einem Tone zu localisiren, der zu ihrem wirklichen Träger harmonisch ist. In den vorliegenden Versuchen wurden jene Octavenurtheile meistens zweifelnd und mit dem Zusatz ausgesprochen, der tiefste *D* sei von zu kurzer Dauer, um seine Bethheiligung an den Schwebungen mit Sicherheit beurtheilen zu lassen. In jedem derartigen Falle wurde er übrigens als rauh empfunden, und wo Grade dieser Rauhigkeit (feiner, gröber) unterschieden wurden, entsprachen sie den theoretischen Verhältnissen.

Die Schwebungen der kleinen Terz waren durchweg an den tiefsten *D* gebunden; die der Quarte und Quinte wurden ohne Ausnahme sehr genau im Sinne der früheren Beobachtungen localisirt (ZD_{1+3} bzw. ZD_{1+2} ; an den Grenzen der Schwebungsgebiete: D_1 , D_3 bzw. D_1 , D_2).

Einige Schwebungsthatsachen konnten in der c^3 -Octave wegen der größeren Höhe der beteiligten Töne und ihrer relativen Isolirt-heit (durch größeren absoluten Schwingungsunterschied) genauer beobachtet werden als in tieferer Tonlage. Bei der verstimmtten Prime erschienen durchweg die *Pr*, namentlich der tiefere, und die drei hohen *D*-Töne als an den *S* beteiligt. Hier konnte nun (was in der c^2 -Octave nur *Me* öfter gelang) von allen geübteren Beobachtern differenzirt werden: bei engeren Intervallen, bis etwa + 1104, scheinen die *D*-Töne oder ihre Zwischentöne schwächere *S* zu tragen, als die *Pr* und besonders deren *Z*; weiterhin ist an dem tieferen Theile der hohen Klangmasse (D_4 , D_3) eine mehr continuirliche, immer feiner werdende Rauhigkeit zu bemerken, von der die discreten Schwebungen der *Pr* und des D_2 sich deutlich abheben.

Ferner ließen die leisen Schwebungen des Tritonus und vor allem der kleinen Terz sich genauer verfolgen und begrenzen als bisher. Diese traten zum ersten Male schon bei einer Frequenz von

64 unverkennbar hervor. St. hatte die [144] S_I des Klanges + 1168 wiederholentlich als große Mehrheit kleiner Intensitätsschwankungen erkannt. An zwei verschiedenen Tagen ließ ich ihn von hier zu der nach unten verstimmtten kleinen Terz + 1216 übergehen [64 S_3]. Beide Male urtheilte er fast mit den gleichen Worten: S deutlicher, stärker und weniger frequent, obgleich noch sehr zahlreich, nicht mehr so rund, mehr eckig und spitz, mehr einer Zickzacklinie entsprechend.

Bei dem verstimmtten Tritonus + 1424 erschienen die [48] S_{V-} , verglichen mit den [32] kräftigen S_{III} der verstimmtten großen Terz + 1288, als weniger deutlich, schwach und sehr frequent; danach die 8 S_{V-} des Klanges + 1432: etwas deutlicher, deutlich, viel weniger frequent, langsam; danach die 32 S_{V-} von + 1440: frequenter, schwach. — Das Verfahren war, wie bei allen Schwebungsbeobachtungen, völlig unwissentlich.

Tabelle VI. Schwebungen.

Grundton c^3 1024. Erste Periode.

Art der S	Betheiligte Töne	0 bei +	Zunahme bei Verstimmung der Pr um 1 Schwingung	Grenzen der S		Zahl der S an der	
				untere	obere	unteren Grenze	oberen Grenze
S_I	$Pr D_2 D_3 D_4$	1024 c^3	1		1200		176
S_3	$D_1 D_5$	1228,8 es^3	5	1216	1240	64	56
S_{III}	$D_1 D_4$	1280 e^3	4	1256	1304	96	96
S_{IV}	$D_1 D_3$	1365,3.. f^3	3	1328	1400	112	104
S_{V-}	$D_3 D_4$	1433,6 ges^3	5	1416	1448	88	72
S_V	$D_1 D_2 D_4$	1536 g^3	2	1464		144	

Die Ausdehnung der verschiedenen Schwebungsgebiete ist aus Tabelle VI in der Weise der beiden vorhergehenden Tabellen ersichtlich. Wie die letzten Rubriken rechts zeigen, sind die äußersten Frequenzahlen, bis zu denen die Schwebungen jeweils konnten

verfolgt werden, erheblich größer, theilweise doppelt so groß, wie in der c^2 -Octave, durchschnittlich etwa $\frac{7}{4}$ der dort ermittelten Werthe. Zwischen je zwei Schwebungszonen lagen von den untersuchten Intervallen (8 zu 8 Schwingungen) nie mehr als zwei, bei denen eine Mehrheit von Stärkeschwankungen, eine Zu- oder Abnahme von S im Vergleich mit anderen Klängen nicht zu behaupten war. Diese zwischenliegenden Klänge wurden aber nicht als glatt, sondern durchweg als rauh oder zum mindesten heiser empfunden. Völlig glatt und klar waren, wie in tieferer Tonlage, nur die consonanten Intervalle, einschließlich der kleinen Terz und des Tritonus (verm. Quinte). Wenn bei einem dieser Klänge hin und wieder ganz langsame S , 1 bis 2 p. s. constatirt wurden, so bestätigt diese Folge eines geringen Abstimmungsfehlers nur die allgemeinen Ergebnisse und beweist zugleich die relativ genaue Einstellung der Laufgewichte.

In Bezug auf Stärke und Deutlichkeit standen bei annähernd gleicher Frequenz wiederum die S_I weitaus an erster Stelle. Nächst dem waren die S_V allen anderen Schwebungsarten überlegen. Die S der kleinen Terz und des Tritonus waren zweifellos die leisesten und undeutlichsten, wobei die des Tritonus einen geringen Vorrang behaupteten. Zwischen diesen und den S_V stehen die Schwebungen der großen Terz und der Quarte, eher den Quintenstößen etwas näher. Für sie sind die vergleichenden Urtheile über Stärke und Deutlichkeit wieder ziemlich schwankend. Wenn man jedoch die Geübtheit der Beobachter mit in Rechnung zieht, so erhalten die S_{IV} ein kleines Übergewicht über die S_{III} . Gelegentlich, bei mittlerer Frequenz, erschienen die Quartenstöße deutlicher und klarer, die der großen Terz dagegen stärker, massiger, auch an kräftigere Tonmassen gebunden, optisch als kräftigere Wellenlinien (+ 1288 nach + 1376). Die S_{III} ruhen auf der tieferen Doppeloctave des Grundtons und werden, wie erwähnt, häufig auch auf den dazwischenliegenden Octaventon übertragen; der Schwebungston der Quarte ist die tiefere Duodecime des Grundtons.

Nicht selten wurden, wie früher, Schwebungen von objectiv gleicher Frequenz als schneller beurtheilt, wenn sie an einem tieferen Tone hafteten, namentlich S_{III} im Vergleich mit S_{IV} , aber auch diese beiden und die leiseren Schwebungsarten gegenüber den Primen- und Quintenstößen. So beurtheilten z. B. Me. und K. unabhängig von

einander die 96 S_V des Klanges + 1488 als etwas langsamer im Vergleich mit den erheblich tiefer gelegenen und ein wenig undeutlicheren 72 S_{V-} von + 1448.

Endlich ist noch zu erwähnen, dass häufig auch Unterschiede der Dauer bekundet wurden, während deren die verschiedenartigen Schwebungen zu vernehmen waren. Diese zeitlichen Verschiedenheiten laufen denen der Stärke parallel, so dass die S_I am längsten hörbar sind, u. s. f. Die Schwebungen der Quarte scheinen in dieser Hinsicht denen der großen Terz überlegen zu sein.

5. Gefühlseindruck.

Von der um wenige (6—8) Schwingungen verstimmtten Prime bis in die Nähe der großen Secunde wurden die Klänge ziemlich stetig unangenehmer. Das Maximum der Unlust lag in der Gegend von + 1128. Weiterhin nimmt die Unlust ab, ohne dass jedoch ausgesprochene Annehmlichkeit zu verspüren wäre; die Intervalle bis gegen + 1200 sind ziemlich indifferent. Bei + 1184 machte St die interessante Angabe, der Klang sei langweiliger, erzeuge mehr intellectuelle Unlust, als der zuvor gehörte, mehr sinnlich unangenehme + 1136. Hier waren die [112] S_I noch ziemlich kräftig gewesen, während + 1184 der Grenze dieser Schwebungen nahe liegt und »viel schwächere«, verschwommenere S , wenn auch von wesentlich ähnlichem Charakter hören lässt.

Jenseits + 1208 bis nahe an die kleine Terz heran nimmt die Unlust merklich zu, ohne freilich besonders empfindlich zu werden. Die rein gestimmte kleine Terz (+ 1228,8) erscheint deutlich als angenehmer und einfacher, verglichen mit allen Intervallen im Umkreis von etwa 20 Schwingungen. Ähnlich sind die anderen Consonanzen ausgezeichnet. Auch die relative Annehmlichkeit des Tritonus trat gelegentlich in den Aussagen hervor. Das Gebiet unangenehmer Dissonanzen ist um die Quinte, Quarte und große Terz erheblich umfangreicher, als in der Gegend des Tritonus und der kleinen Terz. So wirkte die verstimmtte große Terz + 1256 [96 S_{III}] unangenehmer als die verstimmtte kleine Terz + 1216 [64 S_3]. Unterhalb der Quinte, bei + 1488 [96 S_V], war die Unlust größer als beim verstimmtten Tritonus + 1448 [72 S_{V-}]. Die Hebungen und Senkungen der Lust-

curve sind im Bereiche der Quinte, Quarte und großen Terz viel größer als in der Nähe des Tritonus und der kleinen Terz. Wie in den tieferen Octaven liegen die Maxima der Annehmlichkeit bei den reinen und ganz wenig verstimmt Consonanzen, die Minima bei den Intervallen von mittlerer Schwebungsfrequenz. —

Dauer und zeitliche Folge der Combinationstöne.

Am Schlusse dieser Darstellung von Zweiklängen der ersten Periode sind noch gewisse zeitliche Eigenschaften ihrer Combinationstöne zu erwähnen, die in allen Tonlagen gleichmäßig wechselnd hervortreten. Mit wachsender Übung der Beobachter und zunehmender Zahl der gleichzeitig in den Klängen unterscheidbaren Theiltöne werden die Unterschiede der Dauer und der zeitlichen Folge dieser Theiltöne immer auffallender. Die Intervalle der dreigestrichenen Octave wurden innerhalb der vorliegenden Versuchsgruppe durchschnittlich am spätesten analysirt; sie enthalten eine mindestens ebenso große Mannigfaltigkeit von Tönen wie die der c^2 -Octave. So wurden denn auch in der höchsten Tonlage zeitliche Unterschiede bei allen überhaupt untersuchten Klängen mit großer Regelmäßigkeit von allen Theilnehmern beobachtet. Dabei zeigte sich keinerlei wesentliche Abweichung von den Befunden in tieferer Lage.

Das Allgemeinste muss jedem schon nach wenigen Versuchen auffallen: dass beim Zusammenklingen zweier Stimmgabeln die verschiedenen in dem Klange erkennbaren Töne nur selten genau gleichzeitig zum Bewusstsein kommen und nur ganz ausnahmsweise gleich lange vernehmbar bleiben. Vor dem primären Klange kann ein Combinationston naturgemäß nicht erscheinen; auch werden die *Pr* niemals von einem solchen Tone merklich überdauert. Über die zeitlichen Verhältnisse der Combinationstöne zu einander ergibt sich aus meinen Protokollen des Näheren folgendes:

1. Tiefe Differenztöne werden im allgemeinen früher bemerkt und kürzere Zeit gehört als hohe. Am auffallendsten ist das im ersten Theile der Periode, wo D_1 als tiefster von allen anderen Theiltönen verhältnissmäßig isolirt ist, und dann am Ende der Periode, nach der Octave hin, wo D_2 in umgekehrter Richtung dieselbe Bahn durchläuft, wie D_1 bei zunehmender Verstimmung der

Prime. Wenn bei den engsten Intervallen D_1 mit 44—48 Schwingungen zuerst auftritt, klingt er regelmäßig sofort mit den primären Tönen an und verschwindet meist, noch ehe einer der hohen D -Töne zu Gehör kommt; in jedem Falle ist er auffallend kurz. Genau dasselbe Verhalten zeigt D_2 in der Nähe der Octave. Alle Beobachter waren, ohne es zu wissen, hierin einig. Ferner darin, dass beide Töne stetig länger werden, indem mit verändertem Abstände der Pr ihre Höhe zunimmt. Umgekehrt zeichnen sich die hohen D -Töne, soweit sie deutlich für sich hervortreten, insgesamt durch relativ lange Dauer aus; sie bleiben in der Regel bis zum Ende des Klanges vernehmbar, ja nicht selten treten sie beim Ausklingen der Gabeln deutlicher hervor; und zugleich werden sie später bemerkt als die tiefen D -Töne, zuweilen, namentlich bei tiefster Lage dieser letzteren, erst nach deren Verstummen. Die eben aufgestellte Regel gilt ohne Unterschied für Differenztöne jeder Ordnung. So wurde bei $512 + 800$, $+ 808$, $+ 828$, ferner z. B. bei $1024 + 1464$, $+ 1488$ verschiedentlich das frühe und ruckweise Auftreten des (tiefsten) D_3 bemerkt. Dasselbe für D_4 bei $512 + 796$, $+ 872$, $+ 884$; $1024 + 1496$. Bei $1024 + 1276$ notirte St, zwei höhere D -Töne [D_2 und D_3] träten erst im Verlauf des Klanges deutlicher »aus einem tiefen« [ZD_{1+4}] hervor; dabei dauere der höchste, D_2 , bis zu Ende und merklich länger als die beiden anderen. Bei $1024 + 1328$ z. B. sind alle vier D -Töne $304 > 416 > 720 > 112$ gesondert neben einander zu hören; die beiden höheren, D_3 und D_2 , klingen später an und viel später ab, als die beiden tieferen. Natürlich sind die geschilderten Verhältnisse für die D -Töne 1. und 2. Ordnung leichter nachzuweisen, als für die anderen, namentlich bei tiefer Tonlage des primären Klanges; denn auf der einen Seite sind D_3 und D_4 niemals die höchsten überhaupt möglichen D -Töne, und andererseits sind sie bei der Mehrzahl der Intervalle nur in Zwischentonverschmelzung zu hören. Aber auch für die ZD -Töne gilt allgemein:

2. Zwischentöne von Differenztönen erklingen relativ kurz und früh; am kürzesten bei weitestem Abstände der constituirenden D -Töne von einander, und wieder, wie es scheint, bei geringem Abstände in der Nähe der Consonanzen. Nun sind ja diese ZD -Töne fast immer zugleich die tiefsten Theiltöne des Klanges. Aber ihre Tiefe allein kann die beobachteten Thatsachen nicht er-

klären. Zunächst finden sich die angegebenen zeitlichen Eigenschaften an *ZD*-Tönen auch in solchen Tonhöhen, wo sie bei einfachen *D*-Tönen nicht bestehen: in der Nähe der Quinte, der Quarte und der großen Sexte. Allerdings lassen die Consonanzen, deren zusammenfallende *D*-Töne am höchsten liegen, bei ihrer Verstimmung die relativ längsten *ZD*-Töne hören, die verstimmte Quinte einen von relativ längster Dauer und so fort. Aber die von unserer zweiten Regel beherrschten Erscheinungen fügen sich nur theilweise der zuerst formulirten. Wenn etwa zwischen den beiden Secunden in höheren Tonlagen D_1 schon ziemlich lange für sich zu hören ist und man nun den höheren *Pr* weiter erhöht, so tritt er (von der engen ZD_{1+5} -Zone abgesehen) unterhalb der großen Terz mit D_4 in Verbindung. Dieser ZD_{1+4} ist gewöhnlich höher als die D_4 -Töne der nächstengeren Intervalle und doch kürzer als sie. Ganz analog verhält es sich mit dem D_2 und D_{2+4} nahe der verminderten Septime. Allgemein pflegen *ZD*-Töne bei ihrem ersten Auftreten innerhalb der Periode besonders kurz zu sein und mit Annäherung des primären Klanges an die Consonanz zunächst merklich an Dauer zuzunehmen — ganz unabhängig von der Tonhöhe. Am besten lassen sich diese zeitlichen Veränderungen in der zwischentonreichen c^1 -Octave und allgemein in der breiten *ZD*-Zone der Quinte verfolgen. So erscheint in der dreigestrichenen Octave der ZD_{1+2} an seiner unteren Grenze + 1464 auffallend kurz, fast so kurz wie der tiefste *D* [D_3 , 144]. Vergleicht man mit diesem Klange den der Quinte um nur 24 Schwingungen näher gelegenen + 1488, so hört man einen merklich längeren *ZD* von ungefähr gleicher Höhe, eher etwas tiefer als dort (ca. 404—408). Ueberall, wo zwei benachbarte Theiltöne so weit von einander entfernt sind, dass einer von ihnen oder beide noch neben dem Zwischenton zu hören sind, ist dieser *Z* von relativ kurzer Dauer. Indem die constituirenden Theiltöne näher an einander rücken und völlig verschmelzen, wird ihr Zwischenton erheblich länger. Weiterhin, im Gebiete der größten Deutlichkeit gesonderter Schwebungen, scheint die Dauer des *ZD* mit Annäherung des primären Klanges an die Consonanz wieder etwas abzunehmen. Z. B. hörte A bei der wenig verstimmten großen Sexte 512 + 848 einen sehr deutlichen, aber stark verkürzten ZD_{2+3} ; bei + 864 schien der schwebende *D* merklich länger zu dauern; und noch ein wenig länger bei dem von der

Sexte [853] noch etwas weiter entfernten Intervall + 868. Aehnlich war eine Octave tiefer für B der ZD_{2+3} noch bei + 428 kürzer als D_1 und kürzer obgleich deutlicher als der ZD_{3+3} bei + 436. — Allgemein ist zu sagen, dass alle ZD -Töne relativ kurz sind, verglichen etwa mit einem gewöhnlichen D von gleicher Höhe bei gleichem Grundton; und ferner, dass sie relativ früh zu Gehör kommen, gewöhnlich sofort mit dem Erklingen der Pr und vor allen anderen D -Tönen. Von dieser zweiten Regelmäßigkeit machen nur die höchsten ZD -Töne eine Ausnahme, die bei der wenig verstimzten Prime und Octave auftreten. Sie werden schon wegen ihrer meistens geringen Deutlichkeit und Stärke häufig erst nach einem anderen Theil-tone bemerkt. Unverkennbar ist ihre kurze Dauer, etwa im Vergleich mit den hohen D -Tönen der von der Prime bzw. der Octave etwas weiter entfernten Intervalle.

Geht man von einer stark schwebenden Dissonanz zu der reinen Consonanz über, wo die dort benachbart gewesenen D -Töne zusammenfallen, so nimmt regelmäßig der charakteristische tiefste D nicht nur an Stärke und Deutlichkeit, sondern auch an Dauer zu (bei der großen Terz, Quarte und Quinte fallen $D_{1=4}$, $D_{1=3}$, $D_{1=2}$ besonders durch ihre Länge auf im Vergleich mit den ZD -Tönen der benachbarten Dissonanzen); er unterscheidet sich in zeitlicher Beziehung nicht merklich von gleichzeitig gehörten anderen D -Tönen. Meine Protokolle enthalten bei den Consonanzen nur ganz vereinzelt und unregelmäßige Angaben über solche Unterschiede; auch hinsichtlich der Reihenfolge: zuweilen wird der tiefste D zuerst bemerkt, zuweilen ein anderer, je nach der zufälligen Richtung der Aufmerksamkeit. Man darf die Beobachtungen dahin zusammenfassen:

3. Die Differenztöne der Consonanzen sind gleichzeitig und von gleicher normaler Dauer.

Was vorhin über die zeitlichen Verhältnisse der ZD -Töne gesagt wurde, gilt übrigens zum Theil auch von primären Zwischentönen. Sie sind regelmäßig gleich beim Erklingen der Stimmgabeln vorhanden. An den Grenzen ihres Gebietes, wenn der Schwingungsunterschied der Gabeln bereits groß genug ist, um einen der primären Töne oder beide neben dem Z hören zu lassen, wird der Z durchgängig sowohl kürzer als undeutlicher. Auch die eben für sich hervortretenden Primärtöne sind verhältnissmäßig kurz. Wenn sie in

diesem Grenzgebiete bereits beide vernehmbar sind, pflegt der Grundton rascher zu verschwinden; er ist hier, wie wir sahen, vertieft und also als $Z(n + D_2)$ aufzufassen. n^1 ist zunächst ebenfalls verkürzt, wenn auch nicht in demselben Maße; er tritt in der Regel später als der Grundton, oft erst nach dessen Verschwinden auf. Analoges beobachtet man an den Grenzen der ZD -Gebiete. In der dreigestrichenen Octave z. B. ist jenseits der Quarte das Intervall $+ 1392$ das erste, bei dem D_1 für sich gehört wurde: er ist hier, wiewohl der zweithöchste und deutlichste D , auffallend kurz. Unterhalb der Quinte sind bei $+ 1464$ außer ZD_{1+2} eben noch D_1 und D_2 zu bemerken, aber noch kürzer als der ebenfalls verkürzte Z ; und zwar tritt D_1 nur im Anfang, D_2 , der höhere, erst gegen Ende des Klanges hervor. Einmal entdeckte B schon bei der wenig nach oben verstimmt Quinte $255 + 388$ den höheren der benachbarten D -Töne, D_1 , wenig oberhalb des vorherrschenden ZD_{2+1} : er charakterisirte ihn als rasch vorübergehend, nicht immer hörbar und stets erst nach dem Z hervortretend. D_1 wird im weiteren von $+ 400$ bis $+ 420$ stetig länger, während er zugleich an Stärke abnimmt. Ganz analoge Verhältnisse zeigt die höhere Octave. Noch bei $+ 800$ erscheint D_1 ($280-284$) später und für kürzere Zeit als ZD_{2+1} . Allgemein:

4. Von relativ kurzer Dauer sind die eben noch für sich hörbaren D -Töne, die bei einer geringen Veränderung des primären Klanges völlig zu einem Zwischentone verschmelzen. Ist der Zwischenton außerdem zu vernehmen, so wird er in der Regel zuerst bemerkt. Sind die constituirenden D -Töne beide vorhanden, so erscheint regelmäßig der höhere später als der tiefere. Dasselbe gilt für primäre Töne von geringem Schwingungsunterschied und ihre Zwischentöne. — Endlich

5. scheint ein Differenzton nicht selten dann verhältnissmäßig kurz zu sein, wenn ein harmonischer Ton, namentlich seine tiefere Octave, gleichzeitig in dem Klange gehört wird. So empfand B bei allen Intervallen zwischen $512 + 888$ und $+ 908$ den ziemlich hohen D_3 als besonders kurz: er ist hier, im Gebiete der verminderten Septime, nahe gleich der höheren Octave des beherrschenden, schwebenden ZD_{2+1} , zugleich annähernd die tiefere Octave des Grundtons und ziemlich leise. Aehnliche harmonische Verhältnisse der Theiltöne begegnen uns im Umkreise aller Consonanzen. Dabei fällt

regelmäßig der tiefste Differenzton aus mehr als einem Grunde besonders ins Ohr: durch seine Stärke, sein frühes und meist ruckweises Auftreten, seinen rauhen oder schwebenden Charakter. Gerade dieses Auffallende eines tiefsten Theiltones scheint höhere harmonische *D*-Töne in ihrer Dauer und Deutlichkeit zunächst ungünstig zu beeinflussen. Thatsächlich handelt es sich dabei vorwiegend um Unterschiede der Merklichkeit, die bei genauerer Analyse sich stark verringern. Selbst bei der reinen großen Terz scheint D_3 , die höhere Octave des charakteristischen *D*, die tiefere des Grundtons, zuweilen verkürzt: es erfordert hier einige Anstrengung, ihn überhaupt heraus zu analysiren und längere Zeit festzuhalten; ist er aber einmal deutlich erfasst, so erscheint er nicht kürzer als die anderen *D*-Töne. In allen solchen Fällen wirken offenbar Verhältnisse der Aufmerksamkeit entscheidend mit. Auf diesen Factor komme ich im Folgenden noch einmal zurück.

Er ist von großer Bedeutung für die zeitliche Beurtheilung der Summationstöne. Die Auffassung dieser leisen Töne in ihrer abgelegenen Höhe ist sogar von der zufälligen Richtung der Aufmerksamkeit wesentlich abhängig. Von den Factoren, die den Eindruck der Differenztöne bestimmen, fallen einige hier gänzlich fort: Rauigkeit, Schwebungen, Verschmelzung mit nahe benachbarten Theiltönen. Die *Su*-Töne sind jederzeit die weitaus höchsten Töne des Klangganzen. Dieser ihre Auffassung begünstigenden Isolirtheit steht ihre verhältnissmäßig sehr geringe Intensität entgegen. Abgesehen von zufälligen Aufmerksamkeitsbedingungen pflegen die Summationstöne, soweit sie einigermaßen deutlich sind, relativ lange zu dauern; sie treten durchgängig erst gegen Ende des Klanges, nicht selten ganz zuletzt deutlicher hervor.

(Schluss folgt.)