

# Bemerkungen über zwei akustische Apparate.

Von

C. STUMPF.

Vor einigen Jahren veranlaßte ich Hrn. ANTON APPUNN in Hanau, nach dem Muster der zuerst von seinem Vater GEORG APPUNN gebauten Tonmesser und Obertonapparate zwei andere Zungeninstrumente herzustellen, die sich von jenen nur durch die Auswahl der Töne unterscheiden, sich aber für die Demonstration akustischer Thatsachen so vielseitig brauchbar erwiesen haben, daß ich manchem Fachgenossen einen Gefallen zu thun glaube, wenn ich darauf aufmerksam mache. Vielleicht regt auch die Mitteilung andere an, in gleicher Weise über Hilfsmittel, die sie zu irgend welchen psychophysischen Demonstrationen besonders nützlich gefunden, hier zu berichten, zumal wenn dieselben auch für Forschungszwecke nutzbar gemacht werden können.

Das Wesentliche in der Konstruktion der APPUNNSchen Zungenapparate besteht bekanntlich darin, daß der durch das Gebläse erzeugte Wind zunächst in einen oberen mit einem Balg versehenen Windbehälter tritt und daß in diesem durch eine Ventilvorrichtung der Druck gleichmäÙig erhalten wird, solange überhaupt Wind darin ist.<sup>1</sup> Jede Zunge spricht an, sobald das zugehörige Zäpfchen an der Außenwand des Kastens herausgezogen wird.

I. Die Zungen des „Dreiklangapparates“ haben folgende Schwingungszahlen:

---

<sup>1</sup> Nur in den letzten Momenten, wenn der Blasebalg selbst schon ganz leer und nur die obere Windlade noch gefüllt ist, ist der Druck schwächer. Einzelne Erscheinungen, wie schwache Schwebungen, treten übrigens gerade in diesem Stadium besser hervor.

a) 100, 120, 125, 150; b) 200, 240, 250, 300; c) 400, 480, 500, 600; d) 800, 960, 1000, 1200; e) 80, 160, 640, 720; f) 700, 900, 1100.

Hieran lassen sich zeigen und studieren:

1. die Unterschiede im Wohlklang der Dur- und Moll-dreiklänge und der einzelnen darin enthaltenen Intervalle in den gebräuchlichsten Tonlagen.

Die Abteilungen a) bis d) enthalten die Dur- und Moll-dreiklänge nach natürlicher Stimmung in vier aufeinanderfolgenden Oktaven. Durch Kombination verschiedener Abteilungen kann man beide Dreiklänge auch in beliebigen Umlagerungen und weiteren Lagen angeben, was ja ebenfalls Unterschiede des Wohlklangs bedingt. Auch sind sämtliche konsonanten Intervalle, sowie das kleinste und (nach musikalischen Begriffen) am stärksten dissonierende Intervall in den verschiedenen Regionen herzustellen.

Da Zungen viele Obertöne besitzen, läßt sich der Einfluß der Obertöne und ihrer Schwebungen in allen diesen Fällen beobachten, besonders in den zwei tiefsten Oktaven a) und b). In den zwei höheren c) und d) ist mehr der Einfluß der Differenztöne maßgebend. Da die Übung in der Beobachtung von Schwebungen sowie in der gesonderten Wahrnehmung der Obertöne und Differenztöne durch die Einrichtung des Apparates unterstützt wird (s. unten), so kann man verhältnismäßig leicht zu einem Urteil kommen, welche Modifikationen des Gesamtklanges von diesen Einflüssen herrühren; noch besser natürlich, wenn man die nämlichen Tonverbindungen außerdem auch mit obertonarmen Klängen erzeugt. Überhaupt wird man sich hüten müssen, das an so ausnahmsweise obertonreichen Klängen Gefundene zu verallgemeinern, sowie die Unterschiede in der Rauigkeit mit den ästhetischen Unterschieden zu verwechseln, die durch den Bau der Accorde und die Leiterstellung der Töne bedingt sind. Aber man erkennt und zeigt wenigstens, welchen Einfluß die Beitöne und ihre Schwebungen wirklich haben können.

Der Ton 100 ist = *Gis* für *C* = 64. Nach der in der Musik jetzt eingeführten Stimmung fällt er ungefähr mit *G* zusammen (nur ganz wenig höher). Die Töne der Abteilungen a) bis d) umfassen daher die *G*-Dreiklänge von der großen bis zur zweigestrichenen Oktave (endigend mit  $g^2 h^2 d^3$ ), also das Gebiet,

welches zu Mehrklängen fast ausschliesslich verwendet und überhaupt am meisten in der Musik gebraucht wird. Dafs nicht *G* selbst, sondern der nahe Ton 100 als Ausgangspunkt gewählt wurde, geschah aus Rücksicht auf die arithmetische Übersichtlichkeit; für die zu beobachtenden Erscheinungen macht es ja keinen Unterschied, wenn die Töne sich um eine Kleinigkeit von der musikalisch eingeführten absoluten Höhe entfernen.

2. Schwebungen. Man kann die eigentümlichen Unterschiede der Erscheinung beobachten, erstens bei Schwebungen von verschiedener Anzahl in der Sekunde in ungefähr gleicher Tonregion (so lassen sich durch Kombination je zweier Zungen zwischen 100 und 200 Schwebungen von 5, 10, 20, 25, 40, 60, 100 in der Sekunde erzielen), zweitens bei Schwebungen von gleicher Anzahl in verschiedener Tonhöhe (vgl. z. B. 120—100 gegenüber 500—480 oder 240—200 gegenüber 1000—960: die höheren sind angreifender, schriller. Analog sind auch die Differenzen 50, 60, 80, 100, 120 u. s. f. alle mindestens dreimal in der Reihe vertreten). Allerdings hat man hier überall nicht blofs die Schwebungen der Grundtöne, sondern auch die ihrer Obertöne vor sich, weshalb zur genaueren Erkenntnis der Wirkungen von Schwebungen in bestimmter Geschwindigkeit und Tonregion einfache Töne benutzt werden müssen. Doch überwiegt natürlich die Wirkung der Grundtöne, und treten die Unterschiede für Demonstrationszwecke genügend hervor.

Auch kann man ein und dasselbe Intervall, etwa die kleine Sekunde zwischen der grofsen und kleinen Terz (*es—e*), oder die kleine oder grofse Terz selbst durch alle vier Oktaven verfolgen und den Unterschied in den Schwebungen zeigen, die mit jeder Oktave ums Doppelte schneller werden.

Dafs noch über 200 Schwebungen in der Sekunde als Rauigkeit ganz wohl bemerkt werden können, läfst sich bei 720—480, 960—720, 1200—960 beobachten, sobald man nur zur Vergleichung einen der beiden Töne allein und dann wieder den Zusammenklang sich vorführt: dieser ist unzweifelhaft rauher. (Bei 480—240 wegen der tiefen Lage und der starken Oberton-schwebungen jedes einzelnen Klanges nicht deutlich.) Selbst bei 960—600 = 360 Schwebungen ist der Unterschied noch merklich. Doch können es hier auch die 240 Schwebungen

des tieferen Primärtons mit dem ersten Differenzton sein, welche den Unterschied machen. Für genaueste Bestimmungen über die maximale Zahl hörbarer Schwebungen sind Zungen wieder nicht zweckmässig. Dazu muß man Stimmgabeln aus den höheren Tonlagen vor das Ohr halten; man wird dann in der vier- und fünfgestrichenen Oktave etwa bis 400 kommen, ehe jede Spur der Rauigkeit verschwindet.

Sehr langsame Schwebungen (unter 5 in der Sekunde) können an dem zweiten Apparate erzielt werden.

3. Differenztöne lassen sich besonders bei den Abteilungen c) und d) beobachten. Sie sind hier nicht bloß an sich gut hörbar, sondern können dadurch noch leichter wahrnehmbar gemacht werden, daß man sie durch entsprechende tiefe Zungen abwechselnd auch gesondert erklingen läßt. Denn es sind fast alle, die überhaupt vernommen werden (die Differenztöne erster Ordnung ausnahmslos), in den übrigen Abteilungen durch eigene Zungen vertreten. Besonders stark erklingt ein Differenzton natürlich, wenn er durch zwei Tonpaare gleichzeitig gegeben wird, wie bei dem Durdreiklang  $640 : 800 : 960$  ( $= 4 : 5 : 6$ ) der Ton 160.

Außer dem Differenzton erster Ordnung wird man aber auch immer den vorzüglich vernehmen, der durch die Differenz desselben mit dem tieferen Primärton gegeben ist und mit dem nächsttieferen Accordton zusammenfällt, z. B. bei  $4 : 5$  außer  $5 - 4 = 1$  auch  $4 - 1 = 3$ ; diesen sogar besonders stark.

Auch für die in e) und f) vertretenen dissonanten Kombinationen wird man die Differenztöne in den tieferen Zungen eigens vertreten finden; z. B. für  $700 : 900$  die Differenztöne 200 und 500. Auch der Ungeübteste wird sie dann nicht zu schwer im Zusammenklang entdecken, es sei denn, daß er zur Klanganalyse auch in Bezug auf gleich starke Töne ganz und gar unfähig ist. Übrigens wird man den Differenzton zweiter Ordnung 500 in obigem Beispiel wieder stärker finden als 200.

Leicht ist zu bestätigen, daß Differenztöne dissonanter Intervalle im allgemeinen nicht schwächer sind als die konsonanter. Ob dagegen nicht solche von verstimmtten Konsonanzen schwächer sind als von reinen (vergl. meine *Tonpsychologie* II, S. 245 f.), kann man an dem zweiten Apparat, besser noch an den unten zu erwähnenden Pfeifen untersuchen.

Am gegenwärtigen Apparat mag man ferner prüfen, ob auch Differenztöne vernehmbar sind, die zwischen den Primärtönen liegen, wie solche bei allen Intervallen über eine Oktave der Rechnung nach resultieren; z. B. ob bei 400:1000 der Ton 600 erscheint. Hier verwechsle man aber nicht den Oberton 1200, der schon in 400 allein enthalten ist, mit seiner tieferen Oktave 600.

Auch den sog. Summationston (erster Ordnung) kann man kontrollieren, wenn man ihn durch zwei Zungen zwischen 200 und 600 erzeugt (z. B. durch 400:500, oder 240:400), indem die entsprechenden Summen wieder direkt durch besondere Zungen vertreten sind. Doch ist dieser Ton sehr schwach, und man wird durch danebenliegende Obertöne leicht irre gemacht. Das Gleiche gilt von denjenigen Differenztönen, die durch Mitwirkung von Obertönen gebildet werden (wohin man ja ohnehin, zum mindesten vom arithmetischen Gesichtspunkt, auch den Summationston rechnen kann), z. B. dem Ton 1100 bei Verbindung von 800 und 500 (da  $800.2 - 500 = 1100$ ).

Vorzüglich von Interesse und Bedeutung sind die Differenztöne des Mollaccords, weil auf ihnen sicherlich der Unterschied in der Annehmlichkeit gegenüber dem Duraccord zum großen Teil beruht. Dafs die Differenztöne hier nicht durchweg, wie beim Dur, mit tieferen Dreiklangstönen zusammenfallen, ist der Hauptgrund für die Beifügung der Abteilung e). Der Mollaccord 800:960:1200 ( $= 10:12:15$ ) liefert zunächst die Differenztöne 160, 240, 400 ( $= 2, 3, 5$ ); sodann, wenn wir die Differenzen dieser Töne mit den tieferen Primärtönen bilden, 640, 720, 400 ( $= 8, 9, 5$ ). Daher die Zungen 160, 640, 720.

Die Differenztöne des obigen Mollklanges in Verbindung mit den Obertönen haben etwas Verwirrendes, und man wird einige Zeit gebrauchen, sich darin zurechtzufinden, dann aber auch die schrecklichsten Tonzusammenstöße entdecken. Namentlich der Ton 640 (zweiter Ordnung, Verhältniszahl 8, durch  $10 - [12 - 10]$ ) ist stark und stört, weil er mit 1200 eine große Septime bildet. Man glaubt seltsamerweise, wenn man länger hinhört, den Primärton 1200 verstimmt zu hören. Ebenso macht auch die kleine Terz 960 einen verstimmten Eindruck, wahrscheinlich, weil auch 1040 (Verhältniszahl  $13 = 15 - [12 - 10]$ ) gehört und nicht deutlich von 960 unterschieden wird.

Da es eine theoretisch nicht unwichtige Frage ist, ob auch zwei Differenztöne untereinander weitere Differenztöne liefern, wodurch in jedem Fall die ganze Zahlenreihe nach unten (bei Reduktion auf die einfachsten Verhältniszahlen) sich ergänzt, so ist unter die Zusatzzungen auch der Ton 80 aufgenommen, der der Verhältniszahl 1 für obigen Mollklang entspricht. Um nicht den zweifellos gehörten ersten Differenzton 160 mit seiner tieferen Oktave 80 zu verwechseln, wird man gut thun, beide sich immer dazwischen an den entsprechenden Zungen gesondert zu vergegenwärtigen. Auch ist es nützlich, sich durch die Verbindung von 400 und 480, die den Differenzton 80 wirklich giebt, sich das eigentümliche Brummen desselben klar zu machen, gegenüber 160 (durch 800 und 960), welcher glatt oder wenigstens viel glatter ist. Dann wird man auch bei der Beobachtung am Dreiklang der Verwechselung nicht so leicht ausgesetzt sein, kann überdies auch während des Erklings sich den Ton 80 als Differenzton durch vorübergehendes Beifügen von 400 mit 480 ins Bewußtsein rufen, um dann zu vergleichen.<sup>1</sup>

4. Teiltöne. Der Apparat giebt sämtliche Teiltöne für den Grundton 100 bis zum zwölften. Man kann daher, während 100 konstant schwingt, die Wahrnehmung derselben durch kurz-dauerndes Herausziehen der entsprechenden Zäpfchen unterstützen. Außerdem sind auch die Teiltöne des Tons 80 bis zum zehnten fast vollzählig (außer dem vierten und siebenten) vertreten.

5. Intervalle und Distanzen. Man kann alle Intervalle herstellen, deren Verhältniszahlen unter 12 liegen, außerdem 15:16, 24:25 (die beiden Halbtonstufen), 32:45 (Tritonus),

---

<sup>1</sup> In manchen Beziehungen, wenn auch nicht durchweg, sind zur Wahrnehmbarmachung von Kombinationstönen noch zweckmäßiger Labialpfeifen mit stetig veränderlicher Stimmung (verschiebbarem Deckel). Ich benutze 4 solcher Pfeifen mit folgendem Tonumfang: 370—700, 670—870, 760—1360, 1024—2048. Da durch Veränderung Empfindungen überhaupt merklicher werden und die Differenztöne sich überdies mit Notwendigkeit immer stärker verändern als die Primärtöne, so sind die Bedingungen besonders günstig. Zugleich ist man durch Obertöne viel weniger gestört. Auch die in meiner *Tonpsychol.* II, S. 252 erwähnten Fragen und Erscheinungen können hiermit nachgeprüft werden.

Dafs schließlich, auch wenn es sich um Kombinationstöne handelt, bei wissenschaftlichen Untersuchungen Gabeln- oder Flaschentöne mit verglichen werden müssen, bedarf wohl nicht der Erinnerung.



16:25 (übermäßige Quinte). Zur Vergleichung damit auch nichtmusikalische Kombinationen, wie 32:35, 35:36 u. s. f. Doch liegen die verschiedenen Intervalle oft in sehr ungleichen Regionen, und ist dieser Apparat für Intervalldemonstrationen nur nebenher zu brauchen.

Da sowohl gleiche Verhältnisse als gleiche Differenzen in sehr verschiedenen Tonregionen vertreten sind, so könnte man wohl daran zeigen, daß die Höhendistanz für unsere Empfindung weder mit dem Verhältnis noch mit dem Unterschied der Schwingungszahlen zusammenfällt, wenn nicht die Obertöne und das Intervallbewußtsein hier geradezu als Fehlerquelle wirkten. Doch kann eben die Art und Richtung dieser Einflüsse durch Vergleichung mit einfachen Tönen erläutert werden.

II. Der Intervallapparat (27 Zungen) enthält als Hauptbestandteil die diatonischen Dur- und Mollintervalle innerhalb der (musikalisch am meisten gebrauchten) Oktave 400—800, und zwar die beiden Terzen in je dreifacher Abstimmung: natürlicher, pythagoreischer und temperierter, die Quinte in natürlicher und temperierter, die kleine Septime dreifach: als sog. natürliche (7:4, Ton „i“), als Quarte der Quarte (16:9) und als kleine Terz der Quinte (9:5). Quarte und Sexten sind nur in natürlicher Stimmung aufgenommen, weil man sie als Umkehrung der Quinte bezw. der Terzen ebenfalls in der verschiedenen Stimmung erzeugen kann. Dagegen ist noch die kleine Sekunde, und zwar in doppelter Stimmung (*cis* =  $^{25}/_{24}$  und *des* =  $^{16}/_{15}$ ), aufgenommen, und die übermäßige Quarte, diese als große Terz der großen Sekunde gedacht (45:32), nicht, wie sie meist als Glied der chromatischen Leiter verzeichnet wird, =  $^{25}/_{24} \cdot ^{4}/_{3}$ , weil sie in ersterer Stimmung den Übergang zur Dominante bildet und darum dem Gehör am nächsten liegt.

Diese Auswahl, die ja an sich nur einen Teil des musikalischen Intervallenvorrates innerhalb der Oktave darstellt, hat den Zweck, durch eine möglichst geringe Anzahl von Stufen, die eine leichte Übersicht und Vereinigung in einem handlichen Apparat gestatten, doch alles Wesentliche der Intervallenlehre zur Anschauung zu bringen: die sehr merkbliche Verschiedenheit der Wirkung natürlicher gegenüber pythagoreischen und temperierten Konsonanzen, die nicht minder merkbliche von enharmonisch verschiedenen Intervallen (*des*—*a* gegenüber *cis*—*a* ist ein

völliger Mißklang), auch den Unterschied der verschiedenen kleinen Septimen (die sog. natürliche Septime mit dem Durdreiklang verbunden = 4:5:6:7 wirkt physisch ohne Frage angenehmer, als die musikalische), und den Unterschied im Wohlklang der kleinen und großen Sexte bei so obertonreichen Klängen (die kleine nähert sich hier, wenn die Töne zusammen angegeben werden, in der That, wie HELMHOLTZ lehrt, den Übelklängen<sup>1</sup>). Daß der Molldreiklang auf der zweiten Stufe unrein ist (weil die große Sexte mit der großen Sekunde keine reine Quinte bildet — eines der Motive zur Temperatur —) wird selbst einem wenig musikalischen Ohr sofort deutlich: dieser Dreiklang ist untemperiert ein entschiedener Mißklang.

Feinere Ohren können sich an der Prüfung der Frage versuchen, ob melodisch (bei bloßer Aufeinanderfolge) andere Terzen intoniert werden müssen als harmonisch (bei gleichzeitigem Erklingen), wie dies immer wieder zu Gunsten der pythagoreischen Stimmung von einzelnen behauptet wird, u. s. f. Allerdings kann man nicht wie auf dem „Enharmonium“ (natürlichem mathematischem Harmonium) Choräle spielen; aber die Realität der von Außenstehenden so oft bezweifelten oder für allzu fein gehaltenen Unterschiede läßt sich mit diesem einfacheren Instrument leicht sinnenfällig erweisen.

Auch dieser Apparat enthält einige Zusatzzungen, nämlich 800,<sub>5</sub>, 801, 802, 803, 805, 810. Sie sollen die ungleiche Empfindlichkeit unseres Gehörs gegenüber den verschiedenen Konsonanzen zeigen. Bei der Oktave oder Quinte kann es schon merklich werden, wenn man den oberen Ton statt mit 800 mit 800,<sub>5</sub> oder 801 angiebt; bei der Terz wird eine größere Verstimmung nötig sein. Zur Untersuchung dieser Verhältnisse würden diese wenigen und festen Töne natürlich nicht hinreichen und Zungen überhaupt unzumutbar sein; zur ersten Demonstration mögen sie genügen. Auch zu Erläuterungen und zu Vorstudien über Unterschiedsempfindlichkeit gegenüber Einzeltönen: denn diese Region gestattet ungefähr die feinste Unterscheidung, und der Unterschied einer halben Schwingung liegt nahe der äußersten bis jetzt erreichten Grenze.

---

<sup>1</sup> woraus man aber wieder nicht schließen darf, daß ihr diese Eigenschaft allgemein zukomme; am Klavier ist schon durch die Temperatur auch dieser Unterschied verwischt.



Da 80:81 das Verhältniß eines (diatonischen) Kommas darstellt, so kann durch die Zungen 800 und 810 dieser wichtige Begriff illustriert werden. Dazu können aber auch schon die natürliche und die pythagoreische große Terz dienen, die ja um diesen Betrag voneinander abstehen. Eben darum läßt sich der Zusatzton 810 auch zur Erzeugung weiterer pythagoreischer Intervalle neben den natürlichen benutzen (die kleine Sexte 640 mit 800, dann mit 810 verbunden u. s. f.).

Sollten die Zusatzzungen nicht bloß zur Demonstration, sondern zu Untersuchungen über Reinheitsurteile verwendet werden, so müßten mindestens ebensoviele von gleicher Differenz nach unten von 800 beigefügt werden.

Ursprünglich hatte ich bei den Zusatzzungen nur die Unterschiedsempfindlichkeit für Einzeltöne im Auge und liefs sie daher so stimmen, daß sie zwischen 800 und 801 nur um ein oder zwei Zehntel einer Schwingung abgestuft waren (800; 800<sub>,1</sub>; 800<sub>,2</sub>; 800<sub>,4</sub>; 800<sub>,6</sub>; 800<sub>,8</sub>; 801). Vielleicht ist die Anführung einiger damit gemachten Erfahrungen anderen nützlich, die auch an solche Verfeinerung denken. Es zeigte sich, daß zwar die Stärke der Klänge sehr gleichmäßig, aber schon die Klangfarbe — für diesen Zweck wenigstens — nicht gleichmäßig genug war. Manche Zungen sind, wenn man recht genau hinhört, etwas milder als die übrigen. Leicht wird nun einer einen eben merklichen Höhenunterschied angeben, während das, was er bemerkt, vielmehr ein Unterschied der Farbe ist; und soll er sagen, welcher Ton höher ist, so wird er leicht den schärferen für höher halten. Erkennt er aber den Farbenunterschied als solchen, so kann ihn dieser durch Ablenkung der Aufmerksamkeit in der Höhenvergleichung stören. Nun kann man zwar die Farbe beeinflussen durch die Art, wie man das Zäpfchen behandelt: wenn man es nämlich nach dem Herausziehen (es muß stets vollständig herausgezogen sein) nicht losläßt, sondern nach oben drückt, wird der Klang schärfer, wenn nach unten, milder. Aber hierbei wird auch die Höhe geändert, der Ton geht im ersten Fall hinauf, im zweiten hinunter, und nicht bloß scheinbar, wie die Schwebungen mit einer anderen Zunge lehren. Eine weitere Frage war, inwieweit sich die Stimmung hält. Die vorzügliche Genauigkeit APPUNNScher Instrumente ist bekannt. Aber wo es sich um Zehntel einer Schwingung handelt, und zwar bei Tönen, die 800 Schwingungen in der Sekunde machen, sind Verschiebungen doch unvermeidlich und zeigten sich denn auch bei wiederholten innerhalb eines Vierteljahres und später vorgenommenen Durchprüfungen. Es ist daher im allgemeinen zweckmäßiger, für Schwellenuntersuchungen Stimmgabeln anzuwenden (deren Stimmung man auch mit Leichtigkeit regulieren und stetig, d. h. um beliebig kleine Beträge, verändern kann), wie dies bereits E. LUFT und SCHISCHMANOW gethan haben. Freilich bleibt dann wieder die Regulierung der Tonstärke, wenn man die Gabeln durch

Streichen oder Schlagen in Schwingung setzt, bloß manueller Geschicklichkeit und Übung anheimgegeben.

Noch möchte ich einer Erscheinung an jenen so wenig verschiedenen Zungen Erwähnung thun, die nach anderer Richtung Interesse bieten könnte. Die Zunge 800 gab niemals mit 800<sub>,1</sub>, auch nicht mit 800<sub>,2</sub> und 800<sub>,4</sub> irgendwelche Schwebungen. Ferner schwebte 801 mit keiner der vier nächsttieferen Zungen. Daß die Zungen nicht wirklich gleiche Höhe hatten, ließ sich an der Verschiedenheit der Schwebungen mit etwas entfernteren Zungen, vielfach auch durch das Ohr bei successivem Erklängen, erkennen. Es fand also eine Accommodation (erzwungene Schwingung) statt. Die Erscheinung ist natürlich eine objektive, physikalische. Aber sie dient mit anderen bereits früher angeführten dazu, die von mir angenommene physiologische Accommodation der spezifischen Energien innerhalb enger Grenzen des Reizes (*Tonpsych.* II, 111 f., 484 f., 561) durch objektive Analogien zu erläutern.

Auffallend ist aber auch die gleichzeitige Schwächung der Grundtöne; die Klangfarbe wird viel dünner. Da ich mich erinnerte, früher bei einem Tondifferenzapparat in Jena, der Zehntelschwingungen angiebt, beachtet zu haben, daß die Grundtöne der Zungen 500 und 500<sub>,1</sub> sich gegenseitig völlig vernichteten, bat ich Herrn Professor BIEDERMANN dortselbst, die Erscheinung zu kontrollieren. „Ihre Beobachtung“, schreibt er, „ist vollkommen zutreffend gewesen. Ich habe den Versuch nachgemacht, und es zeigt sich in der That, daß beim Anblasen von 500 und 500<sub>,1</sub> der Grundton vernichtet wird und der erste Oberton rein hervortritt. Je größer das Intervall wird (500<sub>,2</sub>; 500<sub>,3</sub> u. s. w.), desto deutlicher macht sich daneben wieder der Grundton geltend. Dieselbe Erscheinung tritt übrigens auch bei höheren Schwingungszahlen (1000—1000<sub>,1</sub>) auf. Schwebungen konnte ich erst bei größeren Intervallen (500—500<sub>,7</sub>) hören.“

Die Konstanz der Stimmung habe ich auch bei den gegenwärtigen, weniger fein abgestuften Zusatzzungen nach vier Monaten geprüft, und zwar bei 17° R.; während sie bei 13—15° R. eingestimmt worden waren. 800, 800<sub>,5</sub> waren noch genau, 802 um ein Zehntel, die folgenden um drei bis sechs Zehntel einer Schwingung verstimmt, aber die richtige Reihenfolge auch da nicht verschoben. Durch vorsichtiges Abschaben kann man die gewünschte Stimmung wiederherstellen; Abschaben am äußeren Ende erhöht, am inneren Ende vertieft. Die Prüfung erfolgt am besten, indem man 800 mit einer Gabel von ebensoviel Schwingungen, dann 805 mit 800, hierauf die übrigen mit 805 vergleicht, endlich durch beliebige andere Kombinationen der Zungen das Ergebnis kontrolliert.

Schließlich möchte ich, wenn die obigen Instrumente etwa in neuzugründende Sammlungen aufgenommen werden, empfehlen, auch für die zu einer jeden Sammlung erforderlichen Stimmgabeln auf Resonanzkästen den Ton 100 mit seinen Multiplis zu Grunde zu legen. Herr APPUNX hat mir eine Serie solcher Gabeln geliefert, die den Dur- und Moll-Accord für alle Oktaven vom Grundton 100 bis zum Grundton 3200 (also bis zur Dominante 4800) angeben, einzelne mit Laufgewichten zu beliebiger Verstimmung, die Intensität und Dauer des Klanges bei benachbarten Gabeln mit besonderer Sorgfalt möglichst gleichmäßig

gehalten. Der Klang weist bei nicht zu starkem Streichen keine Spur von Obertönen auf, auf welche Weise man ihn auch untersuche. So ist die Vergleichung aller Erscheinungen bei einfachen Tönen von gleicher Höhe ermöglicht und zugleich die Kontrolle der Stimmung für die Zungen erleichtert. Ferner ist eine möglichst umfangreiche Sammlung freischwingender Gabeln aus dem ganzen Tongebiet für subjektive Beobachtungen, zumal mit Verteilung der Gabeln an beide Ohren, nützlich. Im übrigen läßt sich aber auch mit Flaschentönen, die ohne Mühe und Kosten in jeder beliebigen Höhe erzeugt werden können, das Verhalten der Empfindung bei einfachen Tönen in vielen Beziehungen gut demonstrieren.

---