

POPULÄRE DARSTELLUNG

DER

A K U S T I K

IN

BEZIEHUNG ZUR MUSIK.

Holzstiche
aus dem xylographischen Atelier
von Friedrich Vieweg und Sohn
in Braunschweig.

POPULÄRE DARSTELLUNG
DER
A K U S T I K
IN
BEZIEHUNG ZUR MUSIK

VON
LUDWIG RIEMANN,
GESANGLEHRER AM KÖNIGL. GYMNASIUM IN ESSEN.

IM ANSCHLUSS AN
HERMANN VON HELMHOLTZ'
„LEHRE VON DEN TONEMPFINDUNGEN“.

MIT IN DEN TEXT BINGEDRUCKTEN HOLZSTICHEN.

BRAUNSCHWEIG,
DRUCK UND VERLAG VON FRIEDRICH VIEWEG UND SOHN.
1896.



Alle Rechte vorbehalten.

Musikabtg.

VORWORT.

Diese Arbeit bezweckt eine kurze Darstellung der Helmholtz'schen Theorien auf dem Gebiete der Obertöne, Combinationstöne, Klangfarbe, Schwebungen, Construction der Tonleitern und der Klangverwandtschaft. Sie entstand lediglich aus dem Bedürfniss, den Musikstudirenden und Freunden der Tonkunst, die nicht **Musse** haben, das umfangreiche Werk des Professors v. Helmholtz: „Die Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik“ (Verlag von Friedr. Vieweg u. Sohn in Braunschweig) eingehend studiren zu können, dessen bahnbrechende Ideen im Auszug und populär dargestellt, wiederzugeben. Andererseits will Verfasser damit aber auch den Zweck erreichen, das Verlangen und den Reiz nach diesem herrlichen Werk in grösserem Maasse zu erhöhen. Verfasser hat die Arbeit vom rein musikalischen Standpunkte aus behandelt, was Helmholtz nicht gethan, und glaubt ersterer damit besonders den Conservatorien einen Dienst erwiesen zu haben, weil ein derartiges, rationelles, kleineres Werk, auf die

Musiktheorie zugeschnitten, bisher noch nicht erschienen ist.

Möchte das aus ernstem Eifer und echter Liebe zur musikalischen Kunst entstandene Büchlein seinen Zweck erreichen.

Essen a. d. Ruhr 1896.

Ludwig Riemann.

INHALTSVERZEICHNISS.

	Seite
Geschichtlicher Ueberblick der Akustik	1

Erster Theil.

Der Klang.

Geräusch und Klang; Ausbreitung des Schalles; Stärke des Klanges; Tonhöhe; Verhältnisse der Schwingungszahlen	17
Die Klangfarbe; Obertöne	21
Die Zusammensetzung der Schwingungen	25
Die Zerlegung der Klänge durch das Ohr	27
Analyse der Klänge durch Mittönen	32
Von der Klangfarbe im Allgemeinen	34
Klänge der Saiten	35
Klänge der Streichinstrumente	39
Klänge der Flötenpfeifen	41
Klänge der Zungenpfeifen	49
Klänge der Vocale	52
Die mitschwingenden Theile im Ohr	56

Zweiter Theil.

Die Störungen des Zusammenklanges.

Die Combinationstöne	85
Die Schwebungen	87
Consonanz und Dissonanz (Schwebungen der Obertöne)	89
Schwebungen der Combinationstöne	91
Dissonanz verschiedener Klangfarben	92
Von den Accorden	95
Rückblick	97

Dritter Theil.

Die Verwandtschaft der Klänge.

	Seite
Einleitung	100
Die homophone Musik	101
Die poliphone Musik	102
Die harmonische Musik	103
Der Fortschritt in Tonstufen der homophonen Musik	105
Die Verwandtschaft der Klänge	106
Fünfstufige Leitern	108
Das Tonsystem der Griechen	109
Die Construction der diatonischen Tonleitern	117
Arabisch-persisches Tonsystem	119
Bedeutung des Leittones	120
Melodien in einfachen Tönen	121
Die Bedeutung des tonischen Accordes	122
Accorde als Vertreter von Klängen	123
Der Mollaccord	124
Stimmung der Fülltöne	125
Unterschied von Dur und Moll	126
Das System der Tonarten	127
Reinheit einer mehrstimmigen Composition	131
Die Stimmung der Orchesterinstrumente	133
Die temperirte Stimmung	134
Entwicklung der Temperatur	135
Darstellung der getheilten reinen Stimmung auf dem Harmonium	137
Vortheile der zwölfstufigen gleichschwebenden Temperatur	140
Aufzählung der natürlichen Intervalle, die dissonanten Accorde	143
Gesetze der Stimmführung	149
Uebersicht der Hauptergebnisse	152

Einleitung.

Geschichtlicher Ueberblick der Akustik.

Bei dem rastlosen Streben, welches den menschlichen Geist nach Erkenntniss der Naturkräfte und ihrer Gesetze drängt, ist es begreiflich, dass auch die Akustik, als Mitlöserin des räthselhaften Wesens der Musik, zum Gebiete der Forschung gemacht wurde. Da uns die Akustik staunenswerthe, lichtvolle Aufschlüsse über die Musik, abgesehen von den seelischen Wirkungen, giebt, musste es für den Musikbeflissenen ein unumgängliches Bedürfniss werden, diese Wissenschaft an sich und in Beziehung zur Musik kennen zu lernen, um die harmonischen Gesetze und die Wirkung der Töne auf das Ohr verstehen und anwenden zu können. Die Musikgeschichte zeigt, dass mit dem Bewusstwerden neu gefundener, akustischer Gesetze auch der Fortschritt in der Musikdarstellung und -Composition ein gesteigerter wurde, ob zu gleicher Zeit oder später. Die Begründung unseres heutigen Ton-systems ist in erster Linie als eine Frucht der genannten Wissenschaft anzusehen — Veranlassung genug, um ein tieferes Eingehen in dieselbe zu rechtfertigen.

Ein geschichtlicher Ueberblick der Akustik greift in Folge der engen Verknüpfung sehr oft in die allgemeine Geschichte der Musik ein und findet in allen mir bekannten akustischen Lehrbüchern nur durch eingestreute, gelegentliche Andeutungen seine Erledigung, so dass eine zusammenhängende Darstellung fehlt. Die in den nachfolgenden Skizzen vorkommenden technischen Bezeichnungen waren nicht zu vermeiden, finden aber

im Lehrbuche selbst ihre Erklärung. Der geschichtliche Weg folgt den verschiedenen Abtheilungen der Akustik, welche man eintheilt in 1. physikalische Akustik; diese beschäftigt sich mit der Wellenbewegung fester, flüssiger und gasförmiger Körper, den Schwingungserscheinungen, der Erregung, Ausbreitung und Geschwindigkeit des Schalles; 2. physiologische (auf die Sinne wirkende) Akustik: die Wirkung der Klänge auf das Ohr, die Zerlegung in Nebentöne und das „Hören“. Davon zweigt sich ab die mathematische Akustik: die Beziehung der Töne zu Zahlen und die Anwendung der Resultate bei entsprechenden Instrumenten; ferner die psychologische (tonempfindende Akustik), die von Tonvorstellung und dem Gebiete der Tonverwandtschaft redet.

Die rein physikalische Akustik ist geschichtlich sehr bald überschaut, denn eine physikalische Wissenschaft im heutigen Sinne existirte im Alterthume nicht. Sie wurde nur speculativ, rein abstract, ohne Ausbau und Anwendung auf die Praxis in Philosophenschulen gelehrt. Diese speculative Methode war wohl für das Auffinden von allgemeinen physikalischen Gesetzen, wie: Hebelgesetze, Flaschenzug, Wasserschraube (Archimedes 287 bis 212 v. Chr.), ohne weiteren Schaden, aber für die Akustik und in zweiter Linie für die Musik brachte sie einen vielhundertjährigen Stillstand. Nur im Sinne der musikalischen Speculation ist es zu verstehen, dass die Chinesen noch heute 84 Tonarten und die Inder 36, aus früheren 16000 reducirt, besitzen. Abgesehen von den griechischen Musikgelehrten, die in dem Abschnitt über mathematische Akustik Erwähnung finden werden, ist uns von Aristoteles (384 bis 322 v. Chr.), der acht Bücher über Physik schrieb, bis zu Anfang unserer Zeitrechnung nichts über physikalisch-akustische Fortschritte bekannt. Die Griechen und Römer hatten zwar einige Kenntniss von Schallschwingungen; auch die Wirkung der Zurückwerfung des Schalles war ihnen bekannt, z. B. das berühmte Ohr des Dionysius, eine Art Felsengrotte nahe bei Syrakus, in welcher sich das leiseste Geräusch zu einem betäubenden Lärm umwandelt; aber über die Art und Weise, wie die

Fortsetzung des Schalles bis zum Ohre vor sich geht, konnte man sich im Alterthum keine Rechenschaft geben. Nach Vitruv (zu Christi Lebzeiten), der die Verbreitung des Schalles mit der Verbreitung der Wellen auf dem Wasser verglich, und Boethius (470 bis 525 n. Chr.), dem Vermittler unserer Kenntniss über griechische Tonverhältnisse in seinen „fünf Büchern über Musik“, finden wir erst bei Newton in seinem Hauptwerke „Die mathematischen Grundlagen der Naturlehre“ 1687, wieder exacte Vorstellungen über die Fortpflanzung des Schalles. Der Franzose Mersenne (1588 bis 1648) ist der Gründer des Fundamentalsatzes der Akustik: „Die Tonhöhe hängt von der Schwingungszahl ab“. Er machte den ersten Versuch, die Schnelligkeit des Schalles zu bestimmen, indem er aus dem Echo die Länge des Weges berechnete; auch fand er das Verhältniss der spannenden Gewichte zu derselben Saite. Der bedeutendste Forscher in der physikalischen Akustik war Chladni (1756 bis 1827), und zwar als Entdecker der Schwingungsarten (Längs- und Querschwingungen) und als erfolgreicher Untersucher der Schallfortpflanzung in festen Körpern. Sein grösstes Verdienst ist die Entdeckung der Knotenpunkte, die bei Schwingungen entstehen, und die Bildung der dadurch hervorgerufenen Klangfiguren. Die Frage, warum ein Ton symmetrische, der andere unregelmässige Figuren hervorruft, hat bis heute keine erschöpfende Beantwortung gefunden. Von dem steigenden Verständniss der Schwingungen der Tonerreger sind uns wenige geschichtliche Merkpunkte erhalten. Es muss den Völkern des Alterthums klar gewesen sein, wenigstens müsste Auge und Gefühl sie darauf hingeführt haben, dass der Ton sowohl bei der Saite (Lyra, Kythara), wie bei der Luftsäule (Panflöte, Horn) durch Schwingungen entsteht. Erst das 18. Jahrhundert giebt uns Lichtblicke über Untersuchungen der Schwingungen bei Saiteninstrumenten. Die Luftsäule wurde dagegen, als Erzeugerin des Tones bei der Orgel, bedeutend früher zum Gegenstand der Untersuchung gemacht in M. Prätorius' „Syn- tagma musicum“ 1619 und A. Schlick's „Spiegel der Orgelmacher und Organisten“ 1511. Die Geschichte der Orgel giebt

hierüber Auskunft. Nennenswerth an dieser Stelle ist der Orgelbaumeister und Akustiker Sonreck, dessen Schwingungstheorie in Pfeifen als die richtigste anerkannt wird, und J. Töpfer, der eine Normalmensur für die Pfeifen geschaffen.

Nachdem 1822 die Schnelligkeit des Schalles von der französischen Akademie endgültig festgesetzt war, hat unser Jahrhundert noch reiche Erzeugnisse der physikalischen Akustik hervorgebracht, sowohl Apparate zur Demonstration akustischer Lehrsätze, als auch besonders für Industrie und Verkehr hochwichtige Instrumente, die uns heute unentbehrlich erscheinen. Dahin gehören das von Philipp Reis 1861 erfundene Telephon (Fernsprecher), ferner der als „Mikroskop des Klanges“ bezeichnete Sprechapparat (Mikrophon) des Engländers Hughes, welcher Apparat auch Töne mit voller Deutlichkeit überträgt — und der Phonograph, das Zauberwerk Edison's. Auch wären das Sprach- und Hörrohr an dieser Stelle zu nennen. Von akustischen Gesetzen dienenden Apparaten greife ich heraus den Tonmesser für die Abstände reiner wie temperirter Intervalle, erfunden von Scheibler (1777 bis 1837, Crefeld), der auch den Normalton festsetzte; das Kaleidophon (Wheatstone 1802 bis 1875, London) zur Demonstration der verschiedenen Schwingungsverhältnisse; das Manometer (Flammen-), von R. König (geb. 1832, Paris) ersonnen, der Analyse der Klänge dienend; das Phonometer von Schafhüttl (geb. 1803, München) zur Ermittlung der Tonstärke; die von Cagniard de la Tour (1777 bis 1859, Paris) verfertigte und von v. Helmholtz verbesserte Sirene. Doch greifen die letzten Instrumente schon hinüber in das weit umfangreichere Gebiet der physiologischen Akustik.

Diese war, historisch genommen, zuerst eine musikalisch-mathematische, dann eine Temperatur-Akustik, welche letztere noch heute mit dem grössten Eifer und in Verbindung mit der physiologisch-psychologischen Akustik getrieben wird.

Die meisten Völkerstämme der letzten Jahrtausende vor Christi bedienten sich bei religiösen Ceremonien und Begräbnissen meist aus Bronze verfertigter Schallinstrumente, von denen

z. B. Glocken mit besonderem Schlegel, aus der Bronzezeit, wie Watsch in Krain und bei Bologna ausgegraben sind. So erwähnt Ovid, der römische Dichter, dass man für Verstorbene Schallzeug in Bewegung setzte. Dieser Gebrauch wird noch heute bei Bestattungen in Europa und in allen buddhistischen Ländern Asiens geübt. Es würde zu weit führen, die Schallinstrumente der Naturvölker frühester Zeiten zu Betrachtungen heranzuziehen. Ich nenne bloss die Trommel als das verbreitetste, um damit zu zeigen, dass bei diesen Völkern eine Wirkung auf das Ohr mehr durch rhythmische Geräusche als durch Töne beliebt war, welches uns heute noch durch die Negervölker und Polynesier bewiesen wird. Die räthselhaften akustischen Erscheinungen in ihren Liedern durch Gebrauch von rein chromatischen Halbtönen und Molltönen, deren Ausübung uns schwieriger erscheint als die diatonischen Durtöne, harren bis heute noch einer wissenschaftlichen Erklärung.

Von den bedeutenderen, in der Weltgeschichte mitspielenden Culturvölkern des Alterthums sind uns akustische Brosamen in Bezug auf tieferes Eingehen in das Wesen der Töne aufbewahrt. Es ist erklärlich, dass diese Völker, besonders die Griechen, in ihrer grübelnden, speculativen Art, Naturgesetze festzustellen und aufzubauen, auch das akustische Verhältniss der Töne zu einander derart mit Zahlenspeculationen überschütteten, dass uns eine Verwirklichung in die Praxis, welche doch schliesslich immer das lebensvolle Moment unserer genannten Wissenschaft bleibt, einfach unmöglich erscheint. Die Chinesen nennen Fohi, Gründer der alt-chinesischen Philosophie (3000 v. Chr.), der die Töne der Pfeife nach ihrer Höhe und Tiefe untersucht haben soll. Er prüfte die Intervalle der chinesischen Tonleiter, bestehend aus fünf Tönen, und ergübelte aus den fünf Stufen mystische Beziehungen, besonders zu den fünf Elementen: Erde, Wasser, Luft, Feuer und Wind. In Folge der abenteuerlichen Zahlenmystik z. B. (1 = Gottheit, schaffende Naturkraft etc., 2 = starr und flüssig, feucht und trocken, männlich und weiblich etc. etc.) blieben die fünf Töne über tausend Jahre lang eine starre,

unabänderliche Form in lauter Ganztönen — ohne irgend einen Halbton, bis endlich der Prinz Tsay-Yu durch das Weibchen (als Sinnbild des Weichlichen) eines Wundervogels Fung-Hoang die Halbtöne den Menschen übermitteln liess, um die Erweiterung der fünf Töne zu einer Octave einführen zu können. Heute haben die Chinesen nicht allein Halb-, sondern auch Vierteltöne, deren geschichtliche Entwicklung uns aber wohl noch vorläufig verschlossen bleibt. In der Sanskritliteratur der Inder finden sich musiktheoretische Werke, wie: „Das Meer der Tonarten“, „Der Spiegel der Musik“, worin Betrachtungen über Drittel- und Vierteltöne angestellt werden, die wohl auf eine rege, reizbare Phantasie und lebhaftes Empfinden für Tonunterschiede deuten, aber uns über die Entstehung derselben keine Nachricht geben. Die Inder theilten die Octave in 22 gleiche Theile und unterschieden grössere Ganztöne von je vier Theilen, kleinere Ganztöne von je drei Theilen und Halbtöne von je zwei Theilen. Durch Verschiebung der Stufen entstand die Masse von Tonarten, die aber weniger durch Tonleitern als durch Sangweisen, Stimmungen dargestellt wurden. Durch obige Eintheilung der Octave waren Terz und grosse Septime viel reiner, Sexte und Quinte dagegen tiefer als die Töne unserer gleichschwebenden, 12 stufigen Temperatur. Die hiernach gesungenen Lieder mit dem überaus schwierigen Rhythmus (49 Tactarten) entbehren nicht eines klangvollen Reizes. — Kiesewetter hat uns in seiner Geschichte der Musik der Araber manches Interessante aus der akustischen Musiktheorie mitgetheilt. Die Araber hatten ein 17 stufiges Ton-system, welches wohl theoretisch darstellbar, aber in der Praxis ebenso wenig ganz genau anzuwenden war, wie unser 12 stufiges System. H. Riemann hat das arabische System in seiner Musikgeschichte berechnet und findet es in 16 Tonarten reiner als letztere in unserer temperirten Stimmung. Erwähnenswerth ist die Messeltheorie dieses Volkes; diese Lehre von den Tonentfernungen setzte als Maasseinheit (Messel) den Theil einer ganzen Saite und bezeichnete die grösseren Theile als multiplicirte Resultate des ersteren, während man wie bei den Griechen auch heute bei uns

die ganze Saite als Einheit annimmt und die Theile in Bruchform bezeichnet. Ihre 12 Haupt- und 24 Zweigtonarten sind in demselben Sinne zu verstehen wie bei den Indern: als Formen verschiedener Melodiegestaltungen und -stimmungen. H. Riemann sagt mit Recht, dass die orientalischen Völker, wie die Chinesen, keineswegs Tongestaltungen übten, die von den unseren principiell verschieden wären. Bei allen finden wir unzweifelhaft die diatonische Tonleiter als Grundlage, und die „Vierteltöne“ der Inder so gut wie die „Dritteltöne“ der Araber erweisen sich bei näherer Betrachtung gar nicht als etwas uns Fremdes. Vergleichen wir unsere 12stufige Temperatur mit den durch sie vertretenen akustischen Werthen, so ergeben sich auch für unsere Musik kleine Tondifferenzen in grosser Zahl, die in der praktischen Musik, sobald es sich nicht um gebundene, sondern um freie Intonation handelt, eine gar grosse Rolle spielen. Die arabische 17stufige Scala insbesondere war ein Versuch einer ungleichschwebenden Temperatur, wie solcher mit der 12stufigen Scala im Abendlande noch im vorigen Jahrhundert gemacht wurde (Euler, Kirnberger), d. h. nachdem die gleichschwebende längst bekannt war. Die Griechen kannten drei Tongeschlechter, deren Entstehung den Göttern zugeschrieben wurde. Die tonisch-akustischen Beziehungen untersuchte man nicht wie bei uns im Raume einer Tonleiter oder richtiger in Beziehung zu einem Hauptton, sondern innerhalb einer Quarte, die unveränderlich war (Tetrachord). Je nach Höher- oder Tieferstellung der beiden zwischenliegenden Töne unterschied man: das diatonische Tongeschlecht, welches etwa den Kirchentonarten entsprach, z. B. *e' d' c' h a g f e* dorische Tonart (die Griechen dachten sich die Scala von oben nach unten); das chromatische, aus Tetrachorden mit steigenden Halbtönen und einer kleinen Terz bestehend: *e f fis a*, und das enharmonische, eine Folge von Vierstufen, deren Mitteltöne eine Viertelstufe aus einander lagen, so dass eine grosse Terz übrig blieb: *h $\frac{3}{4}h$ $\frac{1}{2}c$ — e*. Das letzte Geschlecht ist nach unserer Vorstellung nicht in die Praxis zu übersetzen, wenn wir nicht etwa die Töne eines portamentos als

fassbare Töne ansehen wollen. Ausserdem stellten die Theoretiker noch eine Anzahl von Tetrachordentheilungen auf, welche sie „Färbungen“ nannten und die uns nur deshalb interessiren, weil in ihnen unserer heutigen natürlichen Stimmung entsprechende Tonstufen vorkamen, z. B. der Halbton 15:16 und die wichtige grosse Terz 4:5 des Didymos (zu Christi Lebzeiten). Er fand den richtigen Unterschied zwischen dem grossen und kleinen Ganzton ($\frac{9}{8}:\frac{10}{9}$), den man nach ihm das didymische (syntonische) Komma, 81:80, nannte. — Die von den Griechen gebrauchten Töne bewegten sich innerhalb zweier Octaven von *A* bis *a'* mit *a* als „Mese“ oder Mittelpunkt oder Tonica. Diese Tonreihe, unserem *a*-moll ähnelnd, bestand, von oben nach unten gedacht, aus vier Tetrachorden mit dem *A* als Schlussston. Der hier gegebene Umfang wurde bis zum 10. Jahrhundert n. Chr. nicht überschritten und bildet die Ursache der in dieser Zeit entstandenen Tonbezeichnung nach dem Alphabet. Die Theilung der betreffenden Reihe ergab sieben Scalen, von denen jede auf einen anderen Ton als Anfangston transponirt werden konnte, ebenso wie unsere *Dur*-Tonleiter, die, in der Regel zwölfmal auf einen anderen Anfangston übertragen, angewandt wird. Von den griechischen Gelehrten und Musikschriftstellern, deren Ansichten über die Akustik von Bedeutung waren, seien folgende genannt: Terpander (670 vor Chr.), der den Tönen der Lyra des Orpheus *c, f, g, c* noch drei Quinten *d, a* und *e* hinzufügte, wodurch die Reihe *c, d, e, f, g, a, c* entstand, deren Reste man noch in den Liedern der Gälen und Schotten findet. Die Töne bildete man durch das Quintenverhältniss, da die Quinte einem gegebenen Tone am nahesten verwandt ist. Das der obigen Scala fehlende „*h*“ wurde durch Pythagoras (582 vor Chr.) festgesetzt, und die dadurch fertige diatonische Scala „pythagoräische“ genannt. Er fand mit Hülfe des Monochords (Schallkasten mit Steg und einer Saite) das Zahlenverhältniss der Octave, Quinte und Quarte 1:2, 2:3, 3:4 und legte damit den Grund zur mathematischen Akustik. Durch das ganze Alterthum und Mittelalter hindurch blieb die durch Quintschritte entstandene Tonreihe die bestimmende. Da

wir die Töne aber auch durch Terzschritte festsetzen, gab man den durch erstere Art gebildeten Intervallen, wie z. B. Terz (vierte Quinte vom Grundton) 64:81, Halbton 256:243 und dem Ueberschuss (Komma), welchen 12 Quinten, mit der Octave verglichen, ergeben, den Beinamen „pythagoräische“. — Doch finden wir auch schon in den letzten Jahrhunderten vor Christi mehrfache Bestrebungen, die Bestimmung der Töne durch Zahlen zu verwerfen und das Gehör als alleiniges Maass gelten zu lassen. Als erster Vertreter dieser Ansicht, die Tonverhältnisse also nicht nach Saitenlängen, sondern als Differenzen der Tonhöhe zu bestimmen, gilt Aristoxenus (350 vor Chr.), der grösste Theoretiker des Alterthums und Begründer der Musikwissenschaft. Er verfasste hochbedeutende Werke über den Rhythmus, die bis heute, nach Rudolf Westphal, dem Uebersetzer dieser Schriften, noch nicht überholt sein sollen. Wir ersehen ferner aus letzteren, dass die Griechen keine Mehrstimmigkeit kannten, mit Ausnahme der Octave. Aristoxenus untersuchte das Wesen des Klanges und wird von einigen Akustikern sogar als der Erfinder der gleichschwebenden 12stufigen Temperatur bezeichnet, da er die Octave in zwölf geometrisch gleiche Theile theilte. Ihm verdanken wir die Aufstellung der natürlichen Terz 4:5, die vor ihm schon von Archytas (408 v. Chr.) erwähnt und nach ihm von Didymos und Ptolemäus gelehrt wurde. Nach den grundverschiedenen akustischen Ansichten der beiden Musiktheoretiker Pythagoras und Aristoxenus bildete sich die Schule der Pythagoräer und die der Aristoxener, welche beide noch heute ihre einseitigen Anhänger haben. Doch konnten die damaligen Schüler des letztgenannten Gelehrten die Tonhöhendifferenzen nicht wissenschaftlich definiren, da ihnen die Mittel genauer Controle der Schwingungszahlen fehlten, wenn auch Euklid und Boethius einige Kenntniss von der Schwingungsdauer hatten. Bei all' den Zahlenmanipulationen und Gehörmessungen, die theoretisch wohl zu richtigen Tonanschauungen führten, konnten diese niemals in der Praxis verwerthet werden, da die Richtigkeit der Intervalle nur durch gleichzeitiges Erklingen festgesetzt werden kann, eine

Mehrstimmigkeit die Alten aber nicht kannten. Hätte das nachfolgende Menschengeschlecht bei dem hervorragenden theoretischen Fortschritt der Hellenen in der Musikwissenschaft diese ruhig ausbauen und weiter entwickeln können, woran es durch die Umwälzungen der Besitz- und Culturverhältnisse der Völker, besonders durch den Untergang der Griechen gehindert wurde, dann besäßen wir unser jetziges Tonsystem doch wohl länger als 200 Jahre. So mussten etwa 2000 Jahre vergehen, ehe die rastlose Arbeit späterer Musikgelehrten uns die heutige praktische Tonanschauung schaffen konnte. Die Entwicklung der Frucht dieser Arbeit spiegelt sich zum grossen Theile wieder in der

Temperatur-Akustik, welche die Regelung der Vielgestaltigkeit denkbarer Tonwerthe, deren Ausübung in völliger Reinheit unmöglich ist, zu einer Zusammenstellung annähernd gleicher Werthe umfasst. Nur eine Zuflucht fand die Musik, als sie mit dem gewonnenen Tonmaterial unterzugehen drohte; das waren die Klöster als Pflegestätte und die Kirchen als Stütze für die ausübende Tonkunst. Die geistlichen Musikgelehrten haben in der Musikgeschichte ihre volle Würdigung gefunden, und will ich deshalb hier nur nennen: Ambrosius (350, Bischof von Mailand), der den griechischen diatonischen Tonleitern vier Octavengattungen entnahm, mit *D*, *E*, *F* und *G* beginnend. Diese nannte man „authentische Kirchentöne“, denen der Papst Gregor der Grosse (590 bis 604) noch drei *A*, *B* (unser heutiges *H*) und *D* als plagale (Seiten-) Kirchentöne hinzufügte. Die letzteren Tonarten wurden durch Versetzung des höheren Tetrachordes in die tiefere Octave gebildet. Ob die uns heute widersinnig erklingende, starre Diatonik dieser Kirchen-tonarten bereits damals durch Anwendung von erhöhten Stufen gesungen wurde, ist nicht erwiesen. Der Anfang hierzu ist überhaupt nicht bekannt. Jedenfalls war es ein Fortschritt, durch Hineinziehung der Quinte dem eintönigen Octavengesange ein neues Colorit zu geben. Die Ausführung dieser von dem flanderischen Mönche Hukbald (840 bis 930) erfundenen Mehrstimmigkeit ist für uns Hypothese. Es muss natürlich erscheinen, dass die

Musiker damaliger Zeit nach und nach zu dem Bewusstsein kamen, dass auch die Terz und Sexte, welche wegen ihres pythagoräischen Charakters als Dissonanzen angesehen wurden, trotzdem in consonirender Weise zum Grundton gebraucht werden konnten. Diese Art der Mehrstimmigkeit, die selbstverständlich eine gerade Bewegung zeigte, nannte man „Fauxbourdon“ (wörtlich übersetzt „Schlechter Brumbass“, vielleicht ein spöttelnder Ausdruck von Feinden der Mehrstimmigkeit). Man fügte den trostlosen Quartan eine Terz nach unten hinzu, und so erkennen wir die ersten Keime der Harmonie, deren Spuren noch in der heutigen praktischen Musik zu finden sind. Das dauerte bis zum 12. Jahrhundert, in welchem die gerade Bewegung der Stimmen zu der wohlthuenden Abwechslung der Gegenbewegung führte und damit ein neuer Fortschritt, „Discantus“ genannt, in der Kunst der Stimmführung und der Selbständigkeit der einzelnen Stimmen erreicht und der Grund zu der bis zur höchsten Vollendung gestiegenen „Contrapunktik“ gelegt wurde. Die durch das Discantiren gewonnenen neuen Beziehungen der Intervalle zu einander wurden bald, in Folge der noch nicht gefestigten Terz, Gegenstand vieler Streitschriften, die in dem Sammelwerke „Scriptores“ von Coussemaker, einem der bedeutendsten Musikforscher unseres Jahrhunderts, niedergelegt sind. So zählt z. B. Franco von Köln, 1190, die grosse und kleine Terz zu den Consonanzen, aber die Sexten zu den milderer Consonanzen, während Johannes de Muris (1300 bis 1370) die grosse Sexte und Philipp de Vitry (1290 bis 1361) auch die kleine Sexte zu den Consonanzen rechnet. Da trotz des Zunehmens der praktischen Musik die Notenschrift noch sehr im Argen lag, geschah das Discantiren meist durch Improvisation. Diese führte naturgemäss zu virtuoser Vollendung der Gesangstechnik, aber auch zu wilden Blüten niederster unkünstlerischer Geschmacklosigkeit, wodurch das berühmte Verbot des Discantus seitens des Papstes Johann XX. veranlasst wurde. Nach Ausbreitung der Mensural-Notenschrift trat die eigenthümliche Erscheinung ein, dass der Baum der praktischen Musik ein erfreuliches Wachsthum zeigte,

die theoretischen und besonders die akustischen Gesetze aber weit zurückblieben und sehr vernachlässigt wurden. Den Spielern und Sängern war es gleichgültig, ob die pythagoräische Terz consonant oder dissonant, sie brauchten sie eben bei ihren, nur den einfachsten Tonfolgen entsprechenden Instrumenten. Der stellenweise accordische Wohlklang war nicht das Product bewusster Empfindung, von Tonalitätsgefühl ganz zu schweigen, sondern nur ein zufälliges Zusammentreffen einzelner Stimmen.

Bei dem Bestreben, die bedeutenderen, mit reichen Modulationen versehenen Werke zeitgenössischer Componisten in die Praxis zu übersetzen, stiessen die Musiker auf einen ungeahnten Widerstand! Die Instrumente, besonders die Orgel, klangen bei Eintritt in fremde Tonarten stets falsch oder unrein, welches man „Orgelwolf“ nannte. Man kam daraufhin bald zu der Einsicht, dass eine Wandlung vorgenommen werden müsse, die die verschiedenen Tonwerthe, aus Quinten und Terzfolgen entstehend, zu annähernd gleichen Werthen zusammenfügte, um dadurch die Möglichkeit zu gewinnen, fernliegende Tonarten mit zu verwenden. Ein Spanier, Bartholomeus de Ramis, stellte in seiner Schrift „De Musica tractatus“, Bologna 1482, die Forderung auf, die grossen und kleinen natürlichen Terzen des Didymus und Ptolemäus ($\frac{4}{3}$ und $\frac{5}{6}$) als allein berechnete anzusehen und die Differenz mit der aus der vierten Quinte gebildeten, pythagoräischen Terz durch Temperatur auszugleichen. Dieser fortschrittliche Gedanke fand gründlichste Bearbeitung durch Arnold Schlick, der in seinem Werke „Spiegel der Orgelmacher und Organisten“, 1511, zuerst eine wirkliche Temperatur nach obigem Satz aufstellte, wodurch sieben Terzen absolut rein, fünf zu gross und die meisten Quinten um $\frac{1}{40}$ Ganzton zu klein wurden. Der Orgelwolf lag in *Gis*. Trotz mannigfacher Versuche seitens der Italiener Aron (1523) und Fogliani (1529), das *Gis* rein zu stimmen, erhielt sich diese Temperatur doch mehrere Jahrhunderte. Der Spanier Salinas (1577) entwickelte sie noch klarer und nannte sie mitteltönige Temperatur, da der grosse und kleine Ganzton sich zu einem Tone vereinigten, welcher das „geometrische Mittel“ derselben

bildete. Man findet sie noch heute in Spanien. Die Schwäche dieses Tonsystems lag in der Bevorzugung der Terzen auf Kosten der Quinten. Der grosse Theoretiker Josefo Zarlino (1517 bis 1590) stellte daher eine neue Temperatur auf, in welcher er beide Intervalle veränderte. Da nun alle Töne, mit Ausnahme der Octave, unrein waren und der Orgelwolf trotzdem blieb, konnte sich auch diese Temperatur keinen bleibenden Eingang verschaffen. Nach ähnlichen Aufstellungen, bei denen die ungleichschwebende Stimmung immer einige Intervalle vernachlässigen musste, kamen A. Werkmeister (1645 bis 1706, Halberstadt) und J. G. Neithardt (1680 bis 1739, Königsberg) auf den Gedanken, durch gleiche Mischung (Schwebungen) sämtlicher Tonwerthe gleiche Abstände und Mittelwerthe zu schaffen, wodurch der Wolf vertrieben und von der Grundscala bis zur fernsten Tonart alle Töne gleich unrein wurden. Statt, wie bisher auf vier Quinten, vertheilte man den Ueberschuss der pythagoräischen Terz auf sämtliche 12 Quinten des Zirkels. Obgleich J. S. Bach lebhaft für diese gleichschwebende Temperatur eintrat (das wohltemperirte Clavier), dauerte die endgültige Einführung doch weit bis in unser Jahrhundert. Es giebt heutzutage noch Orgeln von Silbermann, welche die gleichschwebende Temperatur nicht besitzen. Die Spieler solcher Orgeln erzählen mit Entzücken von ihren reinen Intervallen, übergehen den Wolf aber mit Stillschweigen. Da die Vocalmusik eine Temperatur nicht kennt und auch die Streichinstrumente, dem Verlangen des Ohres folgend, zum grössten Theile die natürliche Stimmung anwenden, wobei wegen der in reinen Quinten gestimmten leeren Saiten allerdings auch pythagoräische Terzen mit unterlaufen, so lag es nahe, auch bei den Tasteninstrumenten reingestimmte Werthe innerhalb einer Octave durch besondere Tasten zu verwirklichen. Die dadurch entstehende Complicirtheit der Mechanik hat bis jetzt nur das Harmonium zur Ausführung dieser Idee zugelassen. Dem Leser genügt zum geschichtlichen Ueberblick die Aufzählung einiger Musiktheoretiker, die solche Instrumente haben anfertigen lassen, und die Anzahl der Werthe

und Tasten innerhalb einer Octave: Vicentino (1513 bis 1575, Rom) 31 Stufen, Zarlino 17, M. Prätorius (1619) 19, Mersenne 31, Doni (1619 bis 1669) 3 Manuale mit je 20 Stufen; aus der neuesten Zeit G. Engel (geb. 1823, Berlin) 36, Helmholtz (1829 bis 1894, Berlin) 32 Stufen. Um möglichst viele reine Tonarten zu erzielen, ist bis jetzt das 53 stufige Tonsystem als das beste anerkannt, welches Bosanquet (1875, London), General Thompson (1863, London) und Tanaka, ein junger japanischer Musikgelehrter, an seinem Enharmonium mit mehr oder weniger als 53 Tasten darzustellen versuchten. Bei allen Instrumenten stösst aber die Spieltechnik auf derart unüberwindliche Schwierigkeiten, dass an eine praktische Einführung vorderhand nicht zu denken ist.

Die physiologisch-psychologische Akustik beschäftigt sich mit den Wirkungen des Klanges auf das Ohr, der dabei entstehenden Thätigkeit der Nerven und des geistigen Erfassens und mit den aus diesem Gesamttempfinden resultirenden Klanggesetzen. Die Wahrnehmung aller akustischen Phänomene: Ober- und Untertöne, Differenz- und Summationstöne, beruht auf der eigenthümlichen Fähigkeit des Ohres, nur einfache Schwingungen eines Tones zu vernehmen und jede zusammengesetzte Schwingung in einfache zu zerlegen. Dieses Gesetz wurde von Ohm (1786 bis 1854, München) festgestellt und nach ihm benannt, allerdings von A. Seebeck (1805 bis 1849, Dresden) bestritten. Von den bei der Wahrnehmung thätigen Organen interessiren uns geschichtlich in erster Linie die Corti'schen Fasern, entdeckt von Corti (1820 geb., Wien), und von Helmholtz in seinem Werke über die Tonempfindungen auf das Eingehendste beleuchtet, indem er die geistreiche Hypothese aufstellt, dass diese Fasern, etwa 4500, und die sogenannten Grundmembranen die Perceptionsphänomene, also die Gebilde zur Erreichung der Wahrnehmung im Gehirn, vorstellen. Diese Annahmen bilden bis heute die einzige Beantwortung der Frage: Wie treten die Töne in das Bewusstsein? Die exacte Forschung der Klänge an und für sich ist viel weiter gediehen, obgleich die Ursache resp. die Begründung der eigentlichen Ent-

stehung auch noch nicht aufgedeckt ist. Sauveur (1653 bis 1716, Paris) war der erste, der das Phänomen der Schwebungen zur Zählung von Schwingungen verwendete, und dem, wie Zellner in seiner Akustik sagt, zugleich die Ehre gebührt, zuerst die allgemeine Annahme eines bestimmten Tones angeregt zu haben, „damit ein Tonstück jedenorts und jederzeit in gleicher Tonhöhe vorgetragen werden könne“. Obgleich A. Schlick schon das Bewusstsein von der Existenz der Obertöne hatte, ist Sauveur doch nach neueren Forschungen von Prof. Mach (Vierteljahrsschrift für Musikwissenschaft 1892, 4. Heft) als erster anzusehen, der eine wissenschaftliche Begründung des Klangwesens anbahnte. Er bespricht z. B. das gleichzeitige Erklingen der Obertöne und des Grundtones, zieht aber daraus keine weiteren Consequenzen, was für seine Theorie verhängnissvoll wurde. Er erkennt richtig in den Schwebungen eine Art von Störung des Zusammenklanges, auf welche „muthmaasslich“ alle Disharmonie zurückzuführen ist. — Die Geschichte der Nebentöne knüpft sich ausserdem an folgende Namen: Ph. Rameau (Traité de l'harmonie, 1722) machte den ersten Versuch, die Obertöne musiktheoretisch zu verwerthen, indem er darauf hinwies, dass von den sechs Tönen der Obertonreihe (mehr kannte er nicht) der dritte und fünfte den Duraccord des Grundtones ergibt. Die Existenz der Untertöne und das daraus abgeleitete Mollprincip haben ihre Vertheidiger in Dr. A. von Oettingen (Harmoniesystem in dualer Entwicklung, 1866) und Dr. Hugo Riemann (Katechismus der Musikwissenschaft, 1891 u. a. a. O.) gefunden. Diese beiden Musikgelehrten stützen sich geschichtlich auf Zarlino (1558), der schon die vollständige Gegensätzlichkeit des Dur- und Mollprincips betont, Tartini (1754), der die Combinationstöne als Beweismittel der Existenz von Tonbeziehungen nach unten hielt, und Moritz Hauptmann (1792 bis 1868, Leipzig). Helmholtz ist Gegner der Herleitung des Mollgeschlechts aus den Untertönen. Dr. Riemann nennt als Autorität Prof. Dr. K. Stumpff (geb. 1848, München), der in seiner „Tonpsychologie“ (1890) die Begründung für die Consonanz des Duraccordes durch Ober-

töne aufgibt und ein höheres Princip als bestimmend annimmt, dem gegenüber das Phänomen der Obertöne nur als eine Exemplification (Erläuterung durch Beispiele) erscheint. Stumpff findet ein solches in der „Verschmelzung“ der Töne. Nachdem, fügt Riemann hinzu, dies erlösende Wort einmal ausgesprochen, wird es aus der musikwissenschaftlichen Terminologie nicht wieder verschwinden. — Als Entdecker der Differenztöne wird A. Sorge (1703 bis 1778, Lobenstein) bezeichnet. Verbreitet wurden sie durch Tartini (1692 bis 1770, Pirano), den berühmten Geiger. Die andere Art von Combinationstönen, die Summationstöne, hat Helmholtz zum Entdecker, denen aber v. Oettingen die Multiplicationstöne gegenüber stellt und die Riemann nicht primäre Combinationstöne, sondern Combinationstöne der Obertöne nennt, welcher Ansicht W. Preyer (1841, Berlin) beistimmt. Das Phänomen der Schwebungen ist seit mehreren Jahrhunderten bekannt, aber erst in den letzten Decennien durch Helmholtz wissenschaftlich ausgebeutet, insofern er dieselben als Kennzeichen der Dissonanz ansieht. Lotze (1817 bis 1881, Berlin) und v. Oettingen bestreiten mit Riemann auch diese Hypothese. Letzterer sagt dagegen: „Die Schwebungen repräsentiren die absolute Schwingungszahl eines Grundtones von sehr grosser Tiefe.“ — Den Begriff der Klangfarbe als Resultat mitklingender Theiltöne des betreffenden Klanges zuerst aufgestellt zu haben, ist Helmholtz' ausschliessliches Verdienst. Die Klangtheorie der Vocale ist genial zu nennen und bisher nicht bekannt gewesen. Professor Schafhäutl leitet die Eigenschaften der Klangfarbe ausserdem aus dem Material, aus welchem ein Musikinstrument verfertigt, ab. Wir müssen nach Helmholtz und Hauptmann Dr. Riemann als den eifrigsten Vertreter und Verbreiter der aus den Nebentönen gebildeten Klanggesetze, wie: Verwandtschaft der Klänge, Klangvertretung, Consonanz und Dissonanz und Tonalität etc. schätzen. Vorläufig bilden diese Tonvorstellungen noch Früchte, welche für die grosse Masse nicht ausgereift sind. Möchte dieses Büchlein auch ein wenig zur Reife mit beitragen.

Erster Theil.

Der Klang.

Die Obertöne und Klangfarben.

Geräusch und Klang. Das gewöhnliche Erregungsmittel für das menschliche Ohr sind Erschütterungen der umgebenden Luftmasse. Sind sie unregelmässig, dann nennt man sie Geräusch, regelmässig, Klang. Der Geräusch oder Klang erzeugende Körper schwingt demgemäss auch un- oder regelmässig. Die Empfindung eines Klanges wird durch schnelle periodische (regelmässig wiederkehrende) Bewegung des tönenden Körpers hervorgerufen, die eines Geräusches durch nicht periodische Bewegungen.

Die Ausbreitung des Schalles geschieht durch Wellenbewegung der Luft. Der Vorgang in der Luft ist im Wesentlichen derselbe, wie auf der Wasserfläche; der Hauptunterschied ist der, dass der Schall in dem räumlich ausgedehnten Luftmeere nach allen Seiten kugelförmig sich ausbreitend fortschreitet, während die Wasserwellen nur ringförmig fortschreiten können. An der freien Wasseroberfläche kann die Masse nach oben ausweichen, wo sie sich sammelt, und so die Berge bilden. Im Innern des Luftmeeres muss die Masse sich verdichten, weil sie nicht ausweichen kann. Die verdichteten Luftschichten sind die Wellenberge, die verdünnten die Wellenthäler.

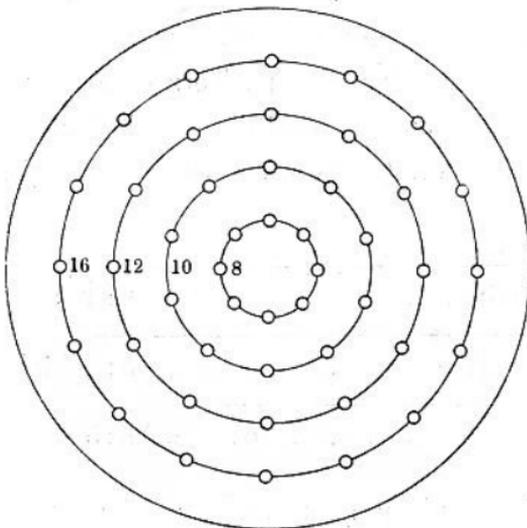
Legt man ein Hölzchen auf eine Wasserwelle, so bleibt dasselbe auf derselben liegen, ohne die ringförmige Bewegung mitzumachen; daraus folgt: Jede Welle erzeugt eine neue Welle, ohne selbst fortzuschreiten. Ein Steinwurf in das Wasser verursacht nur eine einmalige, sich fortpflanzende Wellenbewegung; lässt man eine Reihe von Flüssigkeitstropfen in das Wasser fallen, so wird eine regelmässig wiederkehrende Wellenbewegung entstehen, und das daraufliegende Hölzchen eine periodische Bewegung ausführen. In derselben Weise wird durch die gleichmässigen Schwingungen eines tönenden Körpers die Luft in periodische Wellenbewegung versetzt. So wie das Wasser die Erschütterung von dem Stein oder von den Flüssigkeitstropfen auf das Hölzchen überträgt, so bringen die Luftwellen den Klang des tönenden Körpers zum Ohr, so dass dessen Theile ebenso wie das Hölzchen in periodische Schwingungen gerathen, und der Klang sich bis zu den Gehörnerven fortpflanzt. — Die Klänge unterscheiden sich durch ihre Stärke, Tonhöhe und Klangfarbe.

Die Stärke des Klanges wächst mit der Breite der Schwingungen. Je stärker auf einer Saite gestrichen wird, desto stärker wird der Ton.

Die Tonhöhe hängt ab von der Schwingungszahl. Unter „Schwingungszahl“ verstehen wir die Anzahl der Schwingungen, welche der tönende Körper in einer Zeitsecunde ausführt. Die Klänge sind um so höher, je grösser ihre Schwingungszahl oder je kleiner ihre Schwingungsdauer ist. Die Zahl der Luftschwingungen kann durch die „Sirene“ berechnet werden. Bläst man durch den Kreis mit 16 Luftlöchern, so entstehen 16 Luftstösse. Wird die Sirene zehnmal in der Secunde umgedreht, so entstehen im äusseren Kreise $10 \times 16 = 160$ Luftstösse, welche einen Ton erzeugen.

Je mehr Luftstösse, desto höher, je weniger, desto tiefer der Ton. Der kleinste Kreis giebt also den tiefsten, der äussere Kreis den höchsten Ton. Bläst man die 8 Löcher des kleinsten Kreises zugleich mit den 16 des äusseren, so hört man zwei

Töne, die genau im Verhältniss einer Octave zu einander stehen. Steigert man die Umlaufgeschwindigkeit der Scheibe, so werden beide Töne höher, bleiben aber genau eine Octave. Daraus folgt, dass die Octave eines Tones doppelt so viel Schwingungen macht wie dieser. Bläst man in die Kreise von 8 und 12 Löchern, so ist der Unterschied beider Töne bei jeder Geschwindigkeit eine Quinte. Von zwei Tönen also, welche im Verhältniss der Quinte stehen, macht der höhere drei Schwingungen, wenn der tiefere zwei braucht (12:8 oder 3:2). Wenn ein Ton auf der Reihe von 8 Löchern



angeblasen wird, brauchen wir 16 Löcher, um seine Octave, 12 Löcher, um seine Quinte zu erhalten. Das Schwingungsverhältniss der Quinte zur Octave ist also 12:16 oder 3:4; da aber der Unterschied von Quinte und Octave eine Quarte ist, ersehen wir daraus, dass von zwei eine Quarte bildenden Tönen der höhere vier Schwingungen macht, wenn der tiefere drei angiebt. Diese Quarte kann man auch hören, wenn man bei der sich drehenden Sirene den Kreis von 16 Löchern und den von 12 Löchern zugleich anbläst.

Bei der Sirene von 8, 10, 12, 16 Löchern treten folgende Verhältnisse auf:

durch 16 Löcher entsteht die Octave	von 8 Löchern	= 1:2
„ 16 „ „ „ Quarte	„ 12 „	= 3:4
„ 12 „ „ „ Quinte	„ 8 „	= 2:3
„ 12 „ „ „ kl. Terz	„ 10 „	= 5:6
„ 10 „ „ „ gr. Terz	„ 8 „	= 4:5

Die Verhältnisse der Schwingungszahlen sind also

1:2 Octave	4:5 grosse Terz
2:3 Quinte	5:6 kleine Terz.
3:4 Quarte	

Legt man den ersten Ton eines Intervalles eine Octave höher, so wird aus der Quinte eine Quarte, aus der grossen Terz eine kleine Sexte und aus der kleinen Terz eine grosse Sexte. Das entsprechende Schwingungsverhältniss findet man, indem man den ursprünglichen ersten Ton als Octave in seiner Zahl verdoppelt, also:

2:3 der Quinte	3:4 der Quarte

4:5 grosse Terz	5:8 kleine Sexte

5:6 kleine Terz	6:10 = 3:5 grosse Sexte.

Diese Beziehung der ganzen Zahlen zu den musikalischen Consonanzen bildet ein wunderbares, bedeutsames Geheimniss. — Die Zusammenstellung der Schwingungszahlen für die Scala wäre folgendermaassen:

$$\begin{aligned}
 c : e &= 4 : 5 = 1 : \frac{5}{4} \\
 c : f &= 3 : 4 = 1 : \frac{4}{3} \\
 c : g &= 2 : 3 = 1 : \frac{3}{2} \\
 c : a &= 3 : 5 = 1 : \frac{5}{3} \\
 c : c' &= 1 : 2 = 1 : 2 \\
 c : e : f : g : a : c' &= 1 : \frac{5}{4} : \frac{4}{3} : \frac{3}{2} : \frac{5}{3}
 \end{aligned}$$

Wir hätten also noch *d* und *h* zu finden:

$$d : g \text{ (Quarte)} = 3 : 4$$

$$4 : 3 = \frac{3}{2} : ? = \frac{9}{2} : 4 = \frac{9}{8}$$

$$d : g = \frac{9}{8} : \frac{3}{2}$$

$$g : c = \frac{3}{2} : 1$$

$$g : d = \frac{3}{2} : \frac{9}{8}$$

$$c : d = 1 : \frac{9}{8}. \text{ Nun bleibe noch } h.$$

$$g : h \text{ (grosse Terz)} = 4 : 5$$

$$\frac{4}{5} : 5 = \frac{3}{2} : ? = \frac{15}{2} : 8 = \frac{15}{8}$$

$$g : h = \frac{3}{2} : \frac{15}{8}$$

$$c : g = 1 : \frac{3}{2}$$

$$h : g = \frac{15}{8} : \frac{3}{2}$$

$$c : h = 1 : \frac{15}{8}$$

$$c : d : e : f : g : a : h : c' =$$

$$1 : \frac{9}{8} : \frac{5}{4} : \frac{4}{3} : \frac{3}{2} : \frac{5}{3} : \frac{15}{8} : 2$$

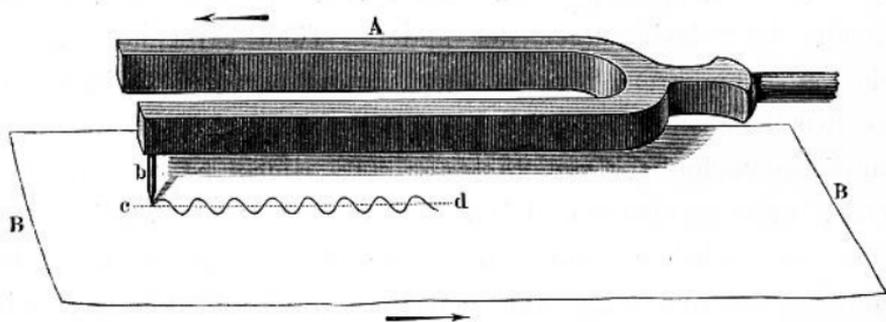
Das eingestrichene *a* macht 435 Schwingungen in der Secunde (440 alte Stimmung). Von dieser Zahl können nach obiger Tabelle die Schwingungen der anderen Töne berechnet werden. Die wahrnehmbaren, für die Musik brauchbaren Töne haben 40 bis 40000 Schwingungen im Bereiche von sieben Octaven, überhaupt wahrnehmbare von 20 bis 40000. Hierin ist das Ohr dem Auge, welches ebenfalls Licht von verschiedener Schwingungsdauer unterscheiden kann, ausserordentlich überlegen, denn der Umfang der vom Auge wahrnehmbaren Lichtschwingungen geht wenig über eine Octave (z. B. grelles Licht, Sonne etc., blendet).

Die Klangfarbe aller tönenden Körper ist ausserordentlich mannigfaltig, nicht bloss bei verschiedenen Körpern, sondern auch bei der Art eines Körpers selbst (Violine). Wir wissen, dass die Weite der Schwingungen der Tonstärke, die Dauer der Schwingungen der Tonhöhe entspricht. Von beiden kann also die Klangfarbe nicht abhängig sein. Dann bleibt keine andere Möglichkeit übrig, als dass die Klangfarbe abhängt von der Art und Weise, wie die Bewegung innerhalb jeder Schwingungsperiode vor sich geht. Z. B. bemerken wir bei einem schwingenden Pendel, dass das Ende langsamer schwingt, als die Mitte. Eine andere Art der Schwingung ist z. B. die Bewegung eines von einem Dampfwerk

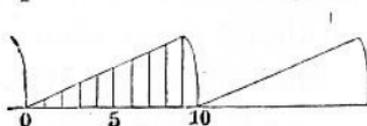
gehobenen Hammers, der plötzlich losgelassen wird und fällt, wieder langsam gehoben wird und schnell fällt. Dem entspricht die Bewegung einer Violine, die vom Bogen gestrichen wird. Die Saite haftet eine Zeit lang am Bogen fest, wird von diesem mitgenommen, bis sie sich plötzlich losreißt, wie der Hammer, und nun wie dieser, nur mit viel grösserer Schnelligkeit, als sie gekommen ist, ein Stück zurückspringt, dann von Neuem durch den Bogen gefasst und mitgenommen wird.

Eine dritte Art der Schwingung ist z. B. das Emporwerfen eines Balles, der beim Herunterfallen stets plötzlich wieder durch ein Holzstück in die Höhe geworfen wird.

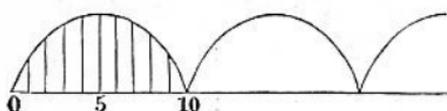
Befestigt man einen feinen Bleistift an einer Stimmgabel, so kann man die Schwingungen graphisch darstellen, indem man ein Stück Papier schnell unter der mitschwingenden Bleifeder hervorzieht. Dann entsteht folgende Linie:



Da das Stiftchen in Richtung der Geraden cd mit gleichmässiger Geschwindigkeit fortbewegt wird, so entsprechen gleiche Abschnitte von cd gleichen kleinen Zeitabschnitten dieser Bewegung, und die Entfernung der Wellenlinie nach oben oder unten zeigt an, um wie viel in den betreffenden Zeitabschnitten das Stiftchen nach oben oder unten aus seiner Gleichgewichtslage abgewichen war. Die abgerissene Art der Schwingungen der Saite würde folgendem Bilde entsprechen:



Von 0 bis 10 steigt die Saite gleichmässig an, bis sie bei 10 plötzlich losgerissen wird. Bei dem Ball entsteht folgendes Bild:



Bis 0, 5, 10 steigt und fällt er regelmässig und wird dann bei 10 plötzlich wieder in die Höhe geworfen.

So giebt es natürlich noch die verschiedensten Schwingungsformen und mit diesen soll dann die Klangfarbe zusammenhängen, indem man begründet: Von der Schwingungsbreite hängt die Stärke, von der -dauer die Höhe des Tones ab; da nun nur noch die Schwingungsform (anderes giebt es nicht mehr) übrig bleibt, so muss diese wohl oder übel als Ursache der Klangfarbe anzusehen sein.

Wenn wir mit dem Ohre die Wellenformen einer Violine saite genau beobachten, hören wir noch höhere Töne, welche man harmonische Obertöne, Theil- oder Partialtöne nennt. Die Reihe dieser Obertöne ist für alle musikalischen Klänge, die einer regelmässig periodischen Luftbewegung entsprechen, genau dieselbe.

Es sind nämlich folgende:

1. Die höhere Octave des Grundtones; nehmen wir c als Grundton, also c' mit doppelt so viel Schwingungen.

2. Die Quinte dieser Octave c bis g' .

$$c' : g' = 1 : \frac{3}{2} = 2 : 3$$

$$c : c' = 1 : 2$$

$$c : g' = 1 : 3,$$

also dreimal so viel Schwingungen wie der Grundton.

3. Die zweite höhere Octave c'' macht viermal so viel Schwingungen.

4. Die grosse Terz dieser zweiten Octave macht fünfmal so viel Schwingungen, denn

$$c'' : e'' = 4 : 5$$

$$c : c'' = 1 : 4$$

$$c : e'' = 1 : 5.$$

5. Die Quinte dieser zweiten Octave macht sechsmal so viel Schwingungen wie der Grundton, denn

$$c'' : g'' = 2 : 3 = 4 : 6$$

$$c : c'' = 1 : 4$$

$$c : g'' = 1 : 6.$$

6. Die kleine Septime dieser zweiten Octave macht siebenmal so viel Schwingungen wie der Grundton, denn

$$g'' : b'' = 5 : 6 = 30 : 36$$

$$c : g'' = 1 : 6 = 5 : 30$$

$$c : b'' = 5 : 36,$$

also $7\left(\frac{1}{6}\right)$ mal mehr als der Grundton.

7. Die dritte Octave macht achtmal so viel Schwingungen wie der Grundton.

8. d''' macht neunmal und e''' macht zehnmal so viel Schwingungen wie der Grundton. In Noten dargestellt:



Die harmonischen Obertöne haben also auch eine wunderbare Uebereinstimmung mit der ganzen Zahlenreihe. (Die Ziffern geben an, wie viel mal die Schwingungszahl grösser ist, als die des Grundtones.) Mehr hiervon in späteren Abschnitten. Nur noch die Bemerkung, dass die wellenförmige Schwingungsform, wie sie die Stimmgabel macht, keine harmonischen Obertöne hat. Man nennt darum diese Schwingungsform im Gegensatze zu allen anderen Schwingungsformen einfach, während letztere zugesammengesetzt heissen. Dann müssen zum Verständniss der späteren Abschnitte die Begriffe „Klang“ und „Ton“ streng unterschieden werden. Klang ist der Eindruck einer periodischen Luftbewegung (mit Vorstellung der Art und Weise der Bewegung); Ton dagegen ist nur das Erzeugniss einer einfachen Schwingung. Die Tonhöhe bezieht sich nur auf einen Ton, dem Klänge sind dagegen verschiedene Tonhöhen zuzuschreiben, weil schon die Theiltöne mitschwingen. Man spricht von einem

Zusammenklänge mehrerer Instrumente, wo das Wort Ton nicht mehr angewendet werden kann. Jeder Klang ist mit Rücksicht auf die Obertöne ein Zusammenklang verschiedener Töne.

Da nun die Klangfarbe von der Schwingungsform abhängt, von dieser aber auch die Entstehung der Obertöne, so lässt sich die Behauptung aufstellen, dass die Unterschiede der Klangfarbe vielleicht auf verschiedenartigen Verbindungen des Grundtones mit verschiedenen Obertönen beruhen. Danach entstände aber auch die Frage, wie das Ohr dazu kommt, jeden Klang in eine Reihe von Theiltönen zu zerlegen und welchen Sinn diese Zerlegung hat (siehe Seite 27).

Die Zusammensetzung der Schwingungen.

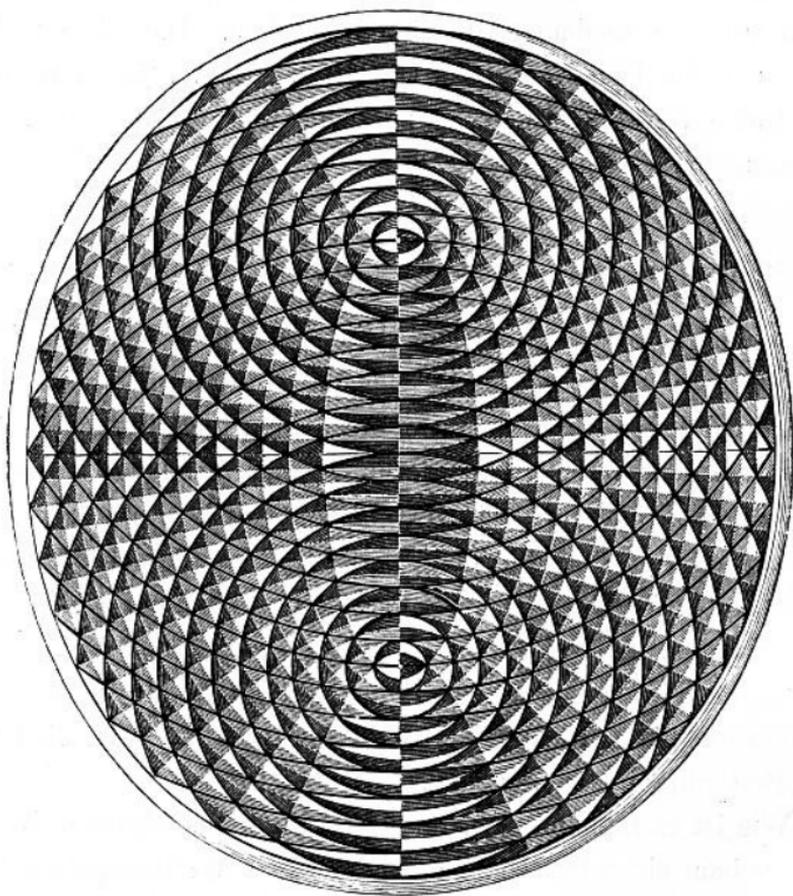
Wenn mehrere Menschen zu gleicher Zeit sprechen oder singen, oder mehrere Instrumente zu gleicher Zeit gespielt werden, so können wir jeden Klang darin unterscheiden und durch besondere Aufmerksamkeit einen besonderen Klang verfolgen, sofern er nicht von den anderen Klängen übertönt wird. Daraus folgt:

1. dass viele verschiedene Schallwellenzüge gleichzeitig durch denselben Luftraum hin sich fortpflanzen können, ohne sich gegenseitig zu stören;

2. dass das menschliche Ohr die Fähigkeit besitzt, die zusammengesetzte Luftbewegung in der Empfindung wieder in ihre Bestandtheile zu zerlegen.

Wie ist es nun möglich, dass alle diese verschiedenen Wellenzüge neben einander bestehen, da jeder Wellenzug an jeder Stelle des Luftraumes seinen besonderen Werth der Verdichtung oder Verdünnung, der Geschwindigkeit der Lufttheilchen hervorzubringen strebt? — Werfen wir einen Stein in das Wasser, so entstehen kreisförmige Wellenringe, deren Umfang immer grösser wird — unbekümmert, ob andere Wellen die Oberfläche des Wassers beleben oder nicht. Wenn man zu gleicher Zeit zwei Steine in einiger Entfernung von einander in das Wasser wirft, so bilden sich um jeden Stein sich ausdehnende Wellenringe,

deren Erhöhungen und Vertiefungen uns ein regelmässiges Bild vor Augen führen. Sobald aber die Wellenzüge jedes Steines sich berühren, wird das aufmerksame Auge eine Veränderung bemerken. Wo die Wellenerhöhung mit einem anderen Wellenkamme zusammentrifft, hebt sich das Wasser zu doppelter Höhe; wo eine Vertiefung auf eine andere Vertiefung stösst, entsteht



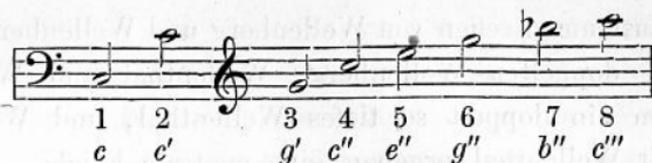
eine doppelte Tiefe des Wassers. Trifft die Erhöhung mit einer Vertiefung zusammen, so wird das Wasser zu ebener Fläche ausgeglichen. Vorstehende Figur zeigt diese Bewegungen auf der Wasseroberfläche eines begrenzten Gefässes. Die beiden kleinsten Kreise deuten die Wurfstelle der beiden Steine an. Auch ist hier das Durchschneiden der von dem Gefässrande zurückgeworfenen Wellen ersichtlich.

Das Zusammentreffen von Wellenberg und Wellenberg ergibt also einen doppelten Wellenberg; Wellenthal und Wellenthal verursachen ein doppelt so tiefes Wellenthal, und Wellenberg vereint mit Wellenthal ergeben eine neutrale Fläche. Das Bild jeder erregten Wasseroberfläche ist eine stets wechselnde Variirung obigen Gesetzes. In demselben Sinne findet nun auch die Bewegung der Luftwellen statt. Die Verdichtungen und Verdünnungen der Luft entsprechen den Wellenbergen und -Thälern und üben dieselbe Wirkung auf einander aus. Das Wunderbare dabei ist die Fähigkeit des engen Gehörganges, alle diese weit verzweigten Bewegungen der Schallwellen veränderungslos aufzunehmen und zur Wahrnehmung zu führen. Wenn also mehrere tönende Körper in dem uns umgebenden Luftraume gleichzeitig Schallwellensysteme erregen, so sind sowohl die Veränderungen der Dichtigkeit der Luft, als die Verschiebungen und die Geschwindigkeiten der Lufttheilchen im Innern des Gehörganges gleich der Summe derjenigen entsprechenden Veränderungen, Verschiebungen und Geschwindigkeiten, welche die einzelnen Schallwellenzüge, einzeln genommen, hervorgebracht haben würden.

Da die einfachen Schwingungen nur einen Ton erzeugen, die zusammen dagegen mit diesem noch Theiltöne, so kann man die Schwingungsbewegung der Luft eines musikalischen Klanges als die Summe einer Anzahl einfacher Schwingungen ansehen, welche Theiltönen dieses Klanges entsprechen. Die hierauf sich beziehende Fähigkeit des Gehörs wird näher besprochen in dem Abschnitt:

Die Zerlegung der Klänge durch das Ohr.

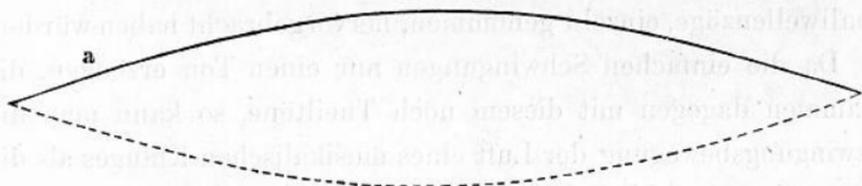
Zu der Hörbarkeit der Obertöne bei verschiedenen Instrumenten ist zu bemerken, dass man die ungeradzahligten Partialtöne leichter hört, als die geradzahligten, welche Octaven sind entweder vom Grundton oder tieferen Partialtönen, wie man auch in einem Accorde Quinten oder Terzen leichter wahrnimmt als Octaven. An Stärke voran steht der dritte Ton, also die Duodecime des Grundtones:



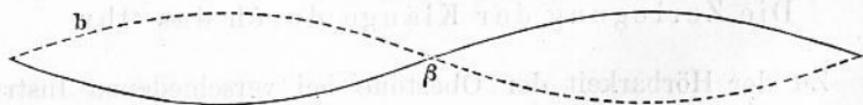
Also g' , e'' , b'' etc. sind mehr hörbar als c' , c'' , g'' , c''' etc., und g' tönt am lautesten.

In dieser Weise hört man also die Obertöne beim Clavier, wenn man das c fest anschlägt. Das g' tönt am lautesten; je höher die Obertöne, desto geübter muss das Ohr sein, um sie wahrzunehmen.

Bei Saiten, besonders bespannenen, hört man sogar oft bloss die Obertöne, während der Grundton versagt (Violoncello). Die Obertöne bei den Streichinstrumenten, welche willkürlich hervor gebracht werden, nennt man Flageolettöne. Dieselben entstehen durch leises Berühren der Knotenpunkte. Diese letzteren entstehen auf folgende Weise: Helmholtz liess einen 10 Fuss langen dünnen Messingdraht hin und her bewegen im Tacte. Zunächst kann diese Drahtsaite folgende Schwingungsform annehmen:



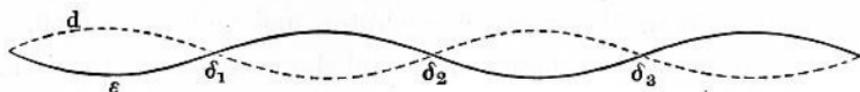
Die Saite giebt dann bloss einen Ton und zwar den tiefsten, den sie überhaupt hervorbringen kann, ohne Nebentöne. Geschieht die Bewegung etwas schneller, dann entsteht folgende Schwingungsform:



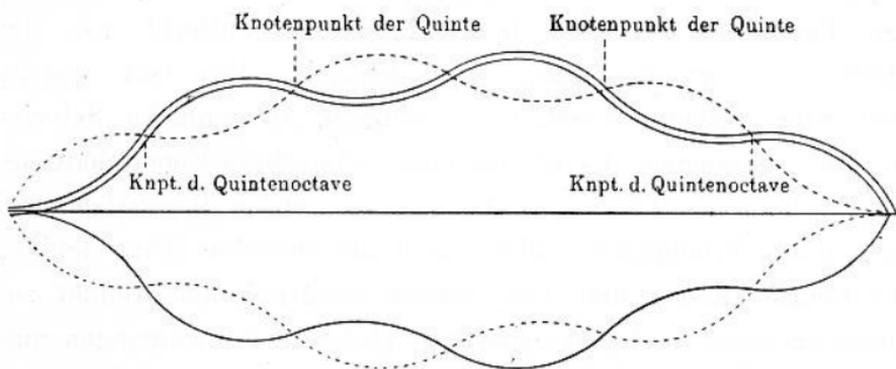
Der Punkt β ist ein Ruhe- oder Knotenpunkt. Bei stärkerer Schwingung theilt sie sich in drei, vier, fünf oder mehr Theile wovon jeder Theilpunkt einen Knotenpunkt bildet. Also:



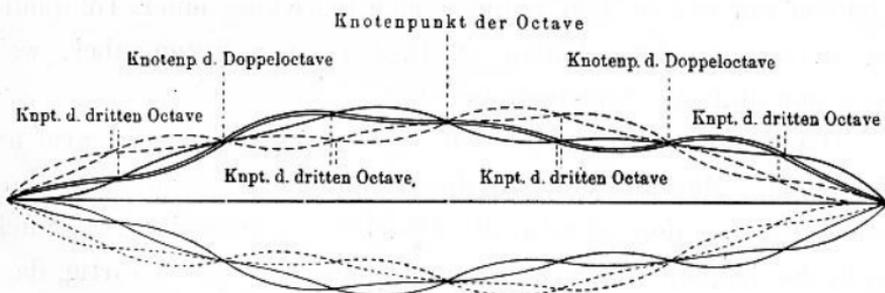
oder:



δ_1 , δ_2 , δ_3 sind Knotenpunkte. Die grosse Hauptschwingung bleibt zwar bestehen; die Schwingungslinie ist dann aber eine ungeheuer verzweigte, in Folge der vielen Nebenschwingungen. Die Breite der Hauptlinie von der gedachten Mittellinie ist eine stete Summe der Breiten oder Amplituden sämmtlicher Haupt- und Nebenschwingungen. Es entstände in Hauptumrissen z. B. folgendes Bild:



Schwingungsfigur einer Saite bei 2-, 4- und 8 facher Theilung:



Streicht man eine Saite an, so hört man den durch die Hauptschwingungen entstehenden Grundton. Das geübte Ohr vermag dann auch die durch die Nebenschwingungen entstehenden Obertöne zu hören. Berührt man nun einen Knotenpunkt, so wird die Saite gezwungen, in gleichen Abschnitten zu tönen: in der Hälfte die Octave, in jedem Drittel die Duodecime, in jedem Viertel

die Doppeloctave etc. Die Obertöne oder Flageolettöne lassen sich auf diese Weise bis zum sechszehnten und mehr erkennen. — Die Partialtöne der Blasinstrumente und der menschlichen Stimme sind nicht so leicht hörbar. Da man in einer Klangmasse die Obertöne unterscheiden kann, hat Ohm (1786—1854, München) das sogenannte Ohm'sche Gesetz aufgestellt, wonach das Ohr jeden Klang in einfache Schwingungen zerlegt und als solche empfindet, denn die Obertöne sind einfache Schwingungen, während jeder Klang einer Saite aus zusammengesetzten Schwingungen besteht. Der Beweis dafür ist der: Zupft man die Saite *c* in $\frac{1}{3}$ ihrer Länge, so hört man nicht den Partialton *g'*, zupft man ein wenig entfernt von der Stelle, so hört man ihn ganz deutlich. Das Ohr vermag also jede zusammengesetzte Schwingung in einfache Schwingungen zu zerlegen. Es ist das eine wunderbare Eigenschaft des Ohres, denn wir können in Folge dessen unser Bewusstsein auf eine ganze Klangmasse, aber auch auf einzelne Töne lenken. Die Begriffe Klang und Ton müssen natürlich als Product zusammengesetzter Schwingungen und einfacher Schwingungen aufgefasst werden. Die Tonhöhe eines Klanges wird nach dessen Grundton bestimmt, weil dieser der stärkste von den vielen ist. Wirklich auf einen Ton reducirt sich der Klang einer Tonquelle nur in sehr wenigen Fällen; z. B. bei einer Stimmgabel, weil diese nur einfache Schwingungen hat.

Die Klänge der Orgelpfeifen sind verhältnissmässig arm an Obertönen. Man hat deshalb durch besondere mechanische Vorrichtungen an den Orgeln die Obertöne nachgeahmt, nämlich durch das Register „Mixtur“. Dieses Register wirkt derartig, dass beim Herabdrücken der Taste ausser dem Grundtone noch die ersten Obertöne, gewöhnlich Octave und Duodecime, laut mitönen. Beim „Cornett“, einem zusammengesetzten Mixturregister, tönen sogar sechs Partialtöne mit, in Noten bei *c*:



3. Obertöne, welche selbst Klänge sind, also wieder durch die vielen anderen Knotenpunkte höhere Obertöne in sich bergen, können appercipirt oder wahrgenommen werden.

Analyse der Klänge durch Mittönen.

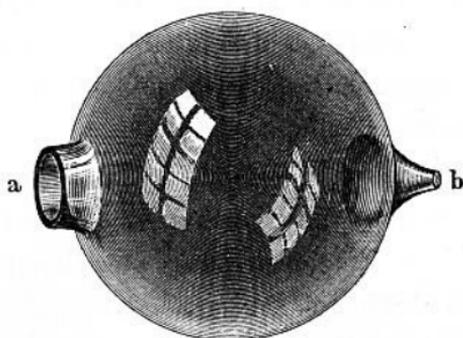
Die in einer Klangmasse enthaltenen einfachen Partialtöne zeigen in der Aussenwelt besondere mechanische Wirkungen, nämlich das sogenannte „Mittönen“. Dasselbe geschieht, wenn ein Körper von regelmässig periodischen Stössen oder Schwingungen eines anderen Körpers durch die Vermittelung der Luft in Mitleidenschaft gezogen wird. Wenn z. B. die Saiten zweier Geigen gleich gestimmt sind, und man die eine anstreicht, geräth auch die gleichnamige Saite der anderen Geige in Schwingung.

Jeder Körper kann aber nur dann zum Mittönen gebracht werden, wenn die auf ihn einwirkenden, periodischen (regelmässig wiederkehrenden) Erschütterungen der Periode der Schwingungsdauer seines eigenen Tones entsprechen. Also nur, wenn ich ins Clavier hinein ein reines a singe, wird die Saite a mittönen, weil die periodischen Schwingungen sich gleich sind.

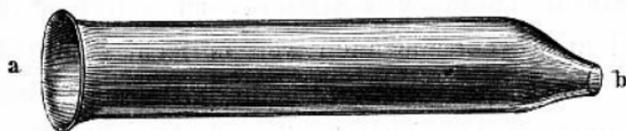
Helmholtz weist das sehr richtig nach bei einer in Bewegung gesetzten grossen Kirchenglocke. Der Hebel geht auf und ab; zieht man mit dem Hebel, verstärkt sich die Schwingung, zieht man in entgegengesetzter Richtung, schwächt er die Schwingung ab. Durch das fortwährende periodische Einwirken resp. Addiren der schwingenden Kraft des Mannes zu der schwingenden Kraft des Hebels wird die Schwingung der Glocke immer stärker.

So wird genau durch fortdauernde Addition einer periodischen Schwingung eines Körpers zu der Schwingung eines anderen Körpers dessen Mittönen immer stärker, aber nur dann, wenn die periodische Schwingungsdauer bei beiden Körpern gleich ist, oder anders gesagt, wenn der in Mitleidenschaft gezogene Körper überhaupt die Fähigkeit hat, in derselben Periode zu schwingen. Liegt z. B. ein Schlüssel auf dem Leuchter eines Claviers, so fängt derselbe bei ganz bestimmten Tönen an zu klirren. Der

Leuchter hat nämlich, wie überhaupt jeder Körper, einen sogenannten Eigenton, der natürlich, in Folge der Beschaffenheit des Körpers, nicht immer ein musikalisch brauchbarer Ton ist¹⁾. Lässt nun der Zufall, hier also ein bestimmter Ton des Claviers, den Eigenton des Leuchters treffen, so wird letzterer durch das „Mittönen“ in Schwingung versetzt, welches der Schlüssel durch Klirren verräth. Die Ursache liegt in der gleichen verwandt-



schaftlichen, periodischen Schwingungsdauer des Claviertones mit dem Eigenton des Leuchters. Um das Mittönen, besonders schwächerer Töne, dem Ohre zur Wahrnehmung zuzuführen, hat Helmholtz die Resonatoren erfunden. Es sind das gläserne oder



metallene Hohlkugeln oder Röhren mit einer weiteren (a) und engeren (b) Oeffnung. Setzt man letztere in den Gehörgang und verstopft das andere Ohr, so schallt der Eigenton des Resonators aus irgend einer Tonmasse heraus mächtig in das Ohr, dagegen erklingen alle anderen Töne gedämpfter. Diesen Eigenton empfindet man nicht bloss aus Tönen musikalischer Instrumente, sondern auch aus Glockengeläute, Rasseln von Wagenrädern, Rauschen des Wassers, Sausen des Windes, Gläsergeklirre, Summen der

¹⁾ Interessant ist z. B. der Eigenton unserer Mundhöhle, welcher in erster Linie die Eigenthümlichkeit unseres Sprachorgans, das bekanntlich bei jedem Menschen eine besondere Tonfärbung hat, ausmacht.

Biene, Schnurren des Spinnrades u. s. w. Eine abgestimmte Reihe Resonatoren ermöglicht es, selbst dem musikalisch ungebildeten Ohre, eine Menge Untersuchungen durchzuführen, bei denen es darauf ankommt, einzelne schwache Töne neben stärkeren deutlich wahrzunehmen, besonders die Nebentöne eines Klanges. Ist der Eigenton eines Resonators z. B. c'' , so hört man ihn auch tönen, wenn irgend ein musikalisches Instrument einen der Klänge c' , f , c , As , F , D , C u. s. w. angiebt. Der Eigenton entspricht also hier einem Oberton obiger Klänge. Die Analyse einer Tonmasse lässt sich mit Hilfe der Resonatoren auf das Eingehendste nachweisen.

Bei massigen, schwer beweglichen, elastischen Körpern ist die Erregung des Mittönens naturgemäss eine trägere, als bei leicht beweglichen. Bei den letzteren ist es vorgekommen, dass Sänger von starker reiner Stimme Gläser so stark zum Mitschwingen gebracht haben, dass diese schliesslich zersprangen. Das Mittönen ist selbstverständlich unabhängig von unserem Ohre.

Es ist interessant, zu beobachten, wie nur gleiche periodische Schwingungsfähigkeiten zweier Körper auf einander wirken; wenn man z. B. von zwei gleichen, stehenden Stimmgabeln die eine mit einem Violinbogen streicht, so schwingt die andere Stimmgabel mit, wenn sie auch weit entfernt steht. Die leichte nachgiebige Luftmasse vermag also die harte, schwere Stahlmasse in Schwingung zu versetzen, während dagegen die Luft auch nicht die kleinste Feder zum Mittönen bewegen kann, wenn diese nicht auf den Ton der Stimmgabel stimmt resp. nicht die gleichen periodischen Schwingungen der beiden Stimmgabeln hat.

Von der Klangfarbe im Allgemeinen.

Am Anfange wurde nachgewiesen, dass die Tonstärke abhängt von der Breite der Schwingungen, die Tonhöhe von ihrer Anzahl. Für die Klangfarbe bleibt also nichts übrig, als die Schwingungsform mit den Einwirkungen der Obertöne. Bei genauerem Zusehen giebt es aber auch noch andere Ursachen,

allerdings nur äusserliche. So z. B. die Art und Weise, wie die Klänge anfangen und enden, z. B. bei der menschlichen Stimme die Consonanten *P* (*B*), *T* (*D*) und *K* (*G*). Die Hervorbringung des Tones beim Clavier, bei den Streichinstrumenten und Blas- resp. Blech- und Holzinstrumenten. — Wenn der Klang mit unverminderter Stärke fort dauert, tragen zur Farbe auch viel die den Ton begleitenden Nebengeräusche bei. Bei den Blasinstrumenten hört man mehr oder weniger ein Sausen oder Zischen der Luft, die sich an den scharfen Rändern der Anblaseöffnung bricht. Bei den Streichinstrumenten hört man das Reibegeräusch des Bogens. Die Haare, womit dieser bespannt ist, sind wohl nie ganz frei von kleinen Unregelmässigkeiten, auch bezüglich des harzigen Ueberzuges. Dieses, wie auch eine unregelmässige resp. ungelente Führung des Bogens machen den Ton rau und kratzig. Gewöhnlich überhört man aber alle diese Nebengeräusche. Auch viele Consonanten werden durch solche Nebengeräusche charakterisirt, wie *F*, *S*, *W*, *R*, *L*. Trotz aller dieser Geräusche kann man die Klangfarbe der einzelnen Instrumente auch weit in der Ferne noch erkennen. Bei der menschlichen Stimme verlieren sich in der Entfernung zuerst die Consonanten, welche durch Geräusche charakterisirt werden, während *M*, *N* und die Vocale noch erkennbar sind. Aufgabe der nächsten Abschnitte ist es, nachzuweisen, wie der verschiedene Charakter in der Combination der Obertöne gewissen charakteristischen Abarten der Klangfarbe entspricht.

Klänge der Saiten.

Man unterscheidet Klänge mit harmonischen und solche mit unharmonischen Obertönen. Liegen letztere nahe dem Grundtone, so ist der Klang im hohen Grade unmusikalisch, schlecht und kesselähnlich. Sind die Nebentöne weit entfernt vom Grundtone, so wird der Ton musikalischer, wie bei den Glocken, Stimmgabeln, Pauken, und brauchbar für rauschende Musik, um den Rhythmus hervorzuheben. Hört man jedoch ein Glockenspiel oder

Cymbal allein, so fallen die Beitöne in unangenehm störender Weise auf.

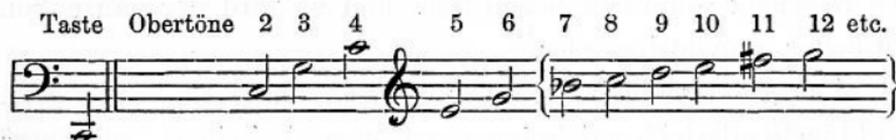
Die Analyse der Klänge mit harmonischen Obertönen wird nach der Art eingetheilt, wie der Ton erregt wird, nämlich: 1. durch Anschlag, 2. durch den Bogen, 3. durch Blasen gegen eine scharfe Kante, und 4. durch Blasen gegen elastische Zungen.

Zu der ersten Art gehören das Clavier, Harfe, Guitarre, Zither und das Pizzicato der Streichinstrumente. Die Stärke der Obertöne hierzu hängt ab: 1. von der Art des Anschlages, 2. von der Stelle des Anschlages, und 3. von der Dicke, Steifigkeit und Elasticität der Saite.

Bezüglich der Art des Anschlages kann die Saite gerissen werden mit dem Finger oder Stift bei der Harfe, Guitarre und Zither, oder geschlagen werden mit einem hammerartigen Körper. Für jeglichen Anschlag gilt das Gesetz, dass die Stärke und Zahl der hohen Obertöne desto bedeutender ist, je mehr und je schärfere Intensität die Art der Bewegung zeigt. Wird z. B. die Saite mit einem scharfkantigen, metallenen Hammer geschlagen, der gleich wieder abspringt, so wird nur ein einziger Punkt, der vom Schläge getroffen ist, direct in Bewegung gesetzt. Unmittelbar nach dem Schläge ist der übrige Theil der Saite noch in Ruhe; er geräth erst in Bewegung, indem von dem geschlagenen Punkte eine Beugungswelle entsteht und über die Saite hin- und herläuft. Die Beschränkung der ursprünglichen Bewegung auf einen Punkt der Saite giebt die schärfste Discontinuität¹⁾, und dem entsprechend eine lange Reihe von Obertönen, deren Intensität zum grossen Theile der des Grundtones gleichkommt, oder ihn übertrifft. Wenn der Hammer weich und elastisch ist, hat die Bewegung auf der Saite Zeit, sich auszubreiten, ehe der Hammer wieder zurückspringt; dadurch wächst die Bewegung nicht plötzlich, sondern allmählich, und deshalb nimmt die Stärke der hohen Obertöne bedeutend ab. Den schönsten Beweis dafür giebt das Clavier. So lange der Filz des Hammers weich und elastisch,

¹⁾ Die Eigenschaft eines Körpers, sich sofort in viele Schwingungstheile zu zerlegen.

ist der Ton ein klarer, und die unharmonischen Nebentöne werden nur wenig wahrgenommen. Sobald sich aber der Hammer abnutzt und hart wird, treten durch den harten Anschlag die sehr hohen unharmonischen Obertöne hervor und der Ton wird spröde, unschön, er „klimpert“. Genau so ist es, wenn man mit dem weichen Finger oder mit dem Nagel reisst. Ja, wenn man mit Metall schlägt, hört man den Ton kaum, man nennt das einen leeren Klang, weil durch die Schärfe der Discontinuität die hohen Obertöne stärker sind als der Grundton. Die Beschaffenheit des Hammers hat einen ausserordentlich grossen Einfluss auf die Klangfarbe, und muss die Elasticität des ersteren genau der Stärke resp. Dicke der Saite angepasst werden; je dicker die Saite, desto länger muss der Hammer auf ihr ruhen, und je dünner, desto weniger elastisch kann der Hammer sein. Durch diesen verschiedenen Anschlag werden also die Partialtöne, bei guten Flügeln schon vom siebenten oder achten an, durch den weichen Hammer gedämpft, wodurch dann, in Folge dieses Wegfalles der von hier an meist unharmonischen Obertöne, der Klang ein weicher, wohlklingender wird. Ist der Hammer schlecht, dann klingen die unharmonischen alle mit. In Noten ausgedrückt würden also durch einen guten Hammer der siebente Oberton und die folgenden Obertöne wegfallen:



Bezüglich der Stelle des Anschlages richtet sich das Mit-tönen der Obertöne, also auch die Klangfarbe, nach dem Gesetze: Schlägt oder reisst man eine Saite an einer Stelle, wo der Knotenpunkt eines oder mehrerer Obertöne liegt, so fehlen alle diese Obertöne¹⁾. — Schlägt man z. B. gerade in ihrer Mitte, so fällt ihr zweiter Ton weg, dessen einziger Knotenpunkt dort liegt. Obertöne aber, die hier ihr Schwingungsmaximum haben, treten kräftiger hervor. Der dritte Ton also schwingt resp. tönt hier

¹⁾ Siehe Schema auf Seite 47.

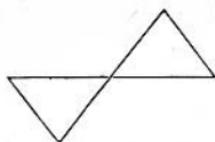
stärker, weil der angeschlagene Knotenpunkt in der Mitte seiner Schwingungen liegt ($\frac{1}{3}$ oder $\frac{2}{3}$). Zupfe ich also die *G*-Saite in der Mitte, so fehlt die Octave, dagegen hört man *d'* als dritten Partialton. Der vierte Ton bleibt auch aus, weil sein Knotenpunkt im 1. ($\frac{1}{2}$) und 3. Viertel liegt. Ebenso fehlen der sechste und achte Ton, überhaupt alle geradzahligen Partialtöne, während der dritte, fünfte, siebente, also die ungeradzahligen, gehört werden. Durch das Ausbleiben der ersteren erhält die Saite eine ganz eigenthümliche Klangfarbe, hohl und näselnd. Wenn man mit der Anschlagstelle dem Ende der Saite sehr nahe rückt, so wird das Hervortreten sehr hoher Obertöne auf Kosten des Grundtones und der niederen Obertöne begünstigt, der Klang der Saite wird dadurch leer und klimpernd. (Ich denke dabei auch an den Bogenstrich am Steg, worüber später.) In den Clavieren liegt bei den mittleren Saiten die Anschlagstelle auf $\frac{1}{7}$ bis $\frac{1}{9}$ ihrer Länge, da der Klang hier noch am schönsten ist. Der Grund mag wohl darin liegen, weil der siebente und neunte Partialton unharmonisch zum Grundton sind, und diese beiden deshalb fehlen, wenn man $\frac{1}{7}$ der Länge, also den Knotenpunkt zum siebenten Partialton anschlägt. Bei den hohen Tasten liegt der Hammer am Ende der Saite, weil diese zu kurz und steif ist, um hohe Obertöne hören zu lassen. Die letzteren werden aber durch den Anschlag am Ende begünstigt, und so wird der ganze Ton ein heller, durchdringender.

Zum grösseren Mittönen der Obertöne hat man auch jetzt bei Flügeln allerlei Vorrichtungen getroffen. Bei einem „Blüthner“ ist in den mittleren Lagen zu jedem Tone noch die Octavsaiten, welche dem ersten Partialtone entspricht, angebracht. — Bei einem grösseren „Steinway“ sind sogar, statt dieser Saiten, abgestimmte Glocken sichtbar, wobei der Klang des Ganzen einen orchestralen Charakter bekommt.

Die Klänge der Streichinstrumente.

Die Schwingungsformen einer Saite weist Helmholtz an einem Vibrationsmikroskop nach. Streicht man eine Saite in

ihrer Mitte mit einem guten Bogen, so beobachtet man durch dieses Mikroskop folgende Schwingungsform:



Gegen Ende der Saite gestrichen, wird das Verhältniss des Aufsteigens zum Absteigen immer anders, nämlich:

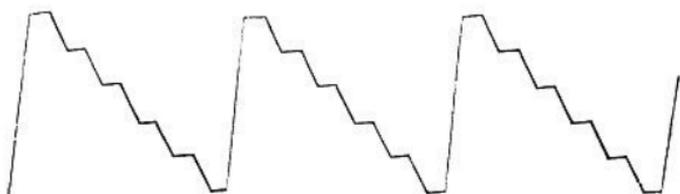


bis

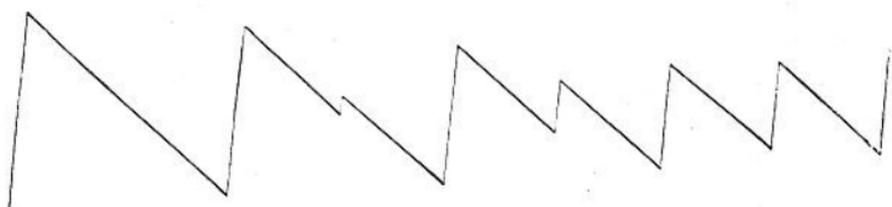


Während des grösseren Theiles jeder Schwingung haftet die Saite am Violinbogen und wird von ihm mitgenommen; dann reisst sie sich plötzlich los und springt schnell zurück, um sogleich wieder von einem anderen Punkte des Bogens gefasst und mitgenommen zu werden. Bezüglich der Obertöne sprechen die Saiten der Violine bis zum sechsten leicht an, mit einiger Mühe bringt man es auch bis zum zehnten Obertone. Die tieferen Töne tönen am besten, wenn man die Saite um $\frac{1}{10}$ oder $\frac{1}{12}$ der schwingenden Länge vom Stege entfernt anstreicht; bei höheren Obertönen hält man den Bogen noch mehr zum Stege hin, da die schwingenden Abschnitte dieser Theiltöne kleiner sind. Der Grundton ist im Klange der Streichinstrumente verhältnissmässig kräftiger, als in den nahe ihren Enden geschlagenen oder gerissenen Saiten des Claviers und der Guitarre; die ersten Obertöne sind verhältnissmässig schwächer; dagegen sind die höheren Obertöne vom sechsten bis etwa zehnten hin viel deutlicher, und verursachen die Schärfe des Klanges der Streichinstrumente.

Es ist bekannt, dass diejenigen Obertöne, in deren Knotenpunkt die Saite durch Reissen oder Streichen zum Klingen gebracht wird, nicht mitklingen. Von der Stelle des Streichens hängt also die Klangfarbe ab. Streicht man zwischen zwei Knotenpunkten, so erleidet die Schwingungsform kleine Kräuselungen:



Nähert man sich mit dem Bogen dem Stege, indem man ihn nur leicht andrückt, so entsteht ein Gemisch aus dem Grundtone und dem ersten Flageolettone. Bei $\frac{1}{20}$ der Saitenlänge erhält man zuweilen die höhere Octave des Grundtones allein, besonders beim Violoncello, indem in der Mitte der Saite ein Knotenpunkt entsteht; bei fest aufgedrücktem Bogen erklingt zugleich der Grundton. Helmholtz hat die entstehende Schwingungsfigur derart beobachtet, dass aus einem Wellenberge eine neue Spitze entsteht, zuerst wenig, dann sich stärker erhebt, bis die Spitzen gleich sind, wobei die Schwingungszahl des Tones sich verdoppelt hat und seine Höhe in die Octave übergegangen ist.



Helmholtz beobachtete dann weiter, wie die Klangfarbe sich gleich durch sehr merkbliche Veränderungen der Schwingungsfiguren zu erkennen giebt. Die bisher beschriebenen Schwingungsformen können bei recht gleichmässiger Bogenführung gleichmässig ruhig, und ohne sich zu verändern, erhalten werden, dabei giebt das Instrument einen ununterbrochenen, reinen musikalischen Klang. Jedes Kratzen dagegen giebt sich durch plötzliche und sprungweise eintretende Verschiebungen und Veränderungen der Schwingungsform zu erkennen. Die ruhigen Schwingungsfiguren hängen aber auch ab von der Güte der Instrumente. Eine schlechte Geige erleidet kleine und grosse Störungen in der Schwingungsform, was bei einer guten wenig oder gar nicht vorkommt. Je regelmässiger die Schwingungen,

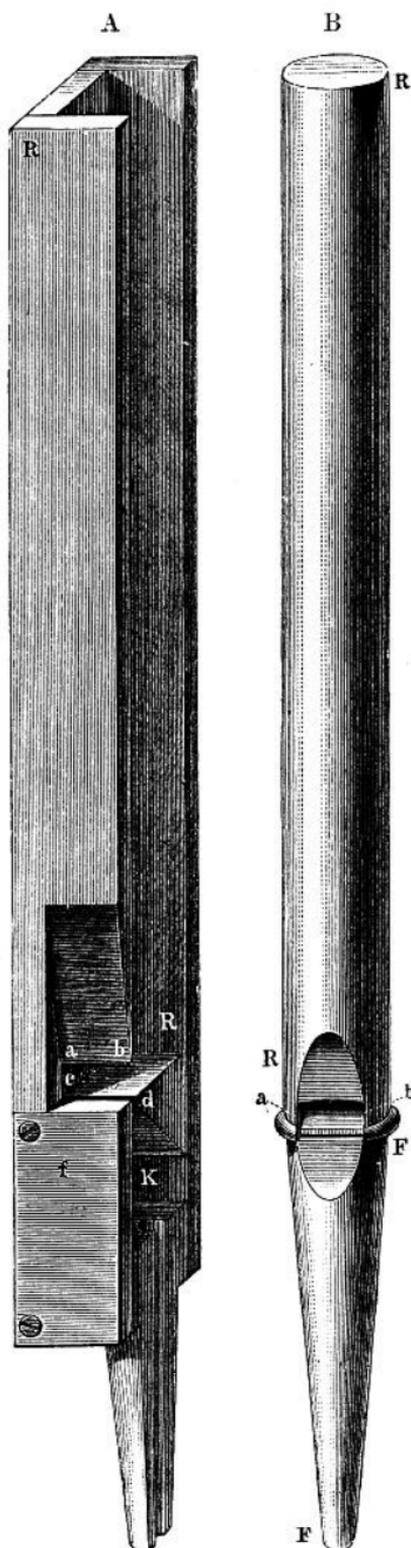
desto reiner ist der Ton. Schwingende Saiten theilen der Luft keinen merklichen Theil ihrer Bewegung mit; die Ueberleitung geschieht durch den resonirenden Körper. Die schwingenden Saiten erschüttern zunächst den Steg (Dämpfung), dann Decke, Stimmstock und Boden und dieser innere Kasten erschüttert die Luft, deren Schallwellen unser Ohr erreichen.

Der Luftraum in der Violine, Bratsche oder in dem Violoncello hat einen gewissen Eigenton, welchen man durch Anblasen der Schallöffnungen hervorrufen kann, und zwar bei der Violine *c'*, Bratsche (kleine) *b* und Cello *F* oder *G*. Die Folge dieser eigenthümlichen Resonanzverhältnisse ist, dass diejenigen Töne der Saiten, welche den eigenen Tönen der Luftmasse nahe liegen, verhältnissmässig stärker hervortreten müssen. Dasselbe gilt auch im schwächeren Maasse von den Obertönen des Eigentones.

Klänge der Flötenpfeifen.

Bei den Flöten- oder Lippenpfeifen entsteht der Ton durch scharfes Anblasen eines Luftstromes gegen die meist mit scharfen Rändern versehene Öffnung eines hohlen Körpers. Zu dieser Art von Tonerregern gehören die Flöten, die Lippenpfeifen der Orgel und der Drehorgel etc. In den Figuren A und B (a. f. S.) werden die beiden Formen der Lippenorgelpfeifen dargestellt. Die Form der Figur A wird aus Holz gefertigt und ist der Länge nach durchschnitten gedacht. Figur B bildet die äussere Ansicht einer runden zinnernen Lippenpfeife. Die durch *RR* bezeichneten Röhren schliessen die tönende Luftmasse ein; *ab* stellt die nach oben durch eine scharfe Lippe begrenzte Mundöffnung dar, an welcher die Pfeife angeblasen wird. In Figur A sieht man bei *K* die Luftkammer, in welche die Luft aus dem Blasebälge zunächst einströmt, die dann bei Entweichung durch den Spalt *cd* gegen die Schärfe der Lippen getrieben wird. Die Pfeife A ist oben offen, B gedackt, d. h. oben geschlossen.

Die Hypothese über die Entstehung des Tones bei den Lippenpfeifen ist äusserst verschieden. Ich führe dem Leser drei



der interessantesten Theorien vor. So sagt Dr. H. Riemann: Der Ton bei den Flöten oder Lippenpfeifen wird hervorgebracht dadurch, dass man einen Luftstrom gegen die meist mit Rändern versehene Oeffnung eines mit Luft gefüllten Hohlraumes treibt. Diese schmale Spalte treibt den Luftstrom derartig, dass er blattförmig in den Pfeifenkörper dringt. Durch die eintretende Luft wird die innen befindliche so weit verdichtet, dass sie, zurückdrückend, den ablenkbaren blattförmigen Luftstrom nach aussen biegt; nach den Gesetzen der Adhäsion¹⁾ wird dann aber durch den Luftstrom auch ein Theil der Luft in der Pfeife mit hinausgezogen, so dass nun eine leichte Verdünnung der Luft in der Pfeife entsteht, welche umgekehrt das Luftblatt wieder einwärts biegt. Die Geschwindigkeit der Wiederkehr dieser Verdichtungen und Verdünnungen (Schwingungen) ist abhängig von der Länge der in der Pfeife eingeschlossenen Luftsäule, d. h. bei einer längeren Pfeife hat die Verdichtungswelle

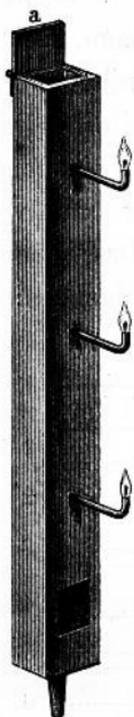
¹⁾ Die Anziehungskraft zweier Körper zu einander.

einen weiteren Weg zurückzulegen, bis sie reflectirt wird, der Ton wird daher ein tieferer als bei einer kürzeren. Bei offenen Labialpfeifen liegt der Punkt der Reflexion in der Mitte, bei gedackten am Ende der Pfeife, d. h. gedackte Pfeifen klingen ungefähr eine Octave tiefer als gleich lange offene. — Der Physiker Wüllner sagt darüber: Durch den theilweise in die Röhre dringenden Luftstrom wird die in der Röhre zunächst über der Mundspalte befindliche Luft nach oben getrieben und verdichtet. Diese Verdichtung bewirkt dann, dass die Luft nicht mehr in die Röhre eindringt, sondern nur vorbeistreicht, dadurch dehnt sich dann die vorher verdichtete Luft wieder aus und kehrt nach unten zurück, worauf dann neue Luft in die Röhre dringt und eine neue Verdichtung veranlasst. Die Luft erhält also zunächst an der Mundspalte eine hin- und hergehende Bewegung. Diese pflanzt sich in der Luftsäule der Röhre fort und wird an der oberen Grenze reflectirt. Durch diese in entgegengesetzter Richtung in der Röhre sich fortplantenden Bewegungen wird die Luftsäule der Röhre in stehende Schwingungen versetzt und giebt einen Ton, der verschieden ist nach der Länge der Röhre und nach der Art des Verschlusses an der oberen Grenze (Wüllner, Physik I, 603).

Die Sonnreck'sche Theorie ist folgende: Erhält der aus der Kernspalte einer Pfeife hervorbrechende Luftstrom eine solche Richtung, dass er zum grössten Theile an der Aussenfläche des Oberlabiums vorbeistreicht und dessen Schneide nur insoweit trifft, um das zur Weckung der Resonanz erforderliche Blasegeräusch zu erzeugen, so wird das Luftband vermöge seiner Strömungsbewegung die dem Mundloche zunächst liegenden Lufttheilchen in ungefähr gleicher Weise an sich reissen und fortführen. Es entsteht dadurch eine Verdünnung, in welche die angrenzenden Theilchen, deren Gleichgewichtslage gestört wurde, nachrücken, um ebenfalls vom Luftbande an fortgerissen zu werden. Dadurch schreitet die Verdünnung immer weiter gegen die Mitte der Röhre fort, bis der Moment eintritt, wo die äussere Luft das Uebergewicht erlangt und in den verdünnten Raum

nachstürzt, und zwar, wie nicht anders möglich, bei beiden Oeffnungen zugleich. Dieses beiderseitige, gleichzeitige, aber entgegengesetzte Eindringen führt nothwendig dazu, dass die beiden Luftschichten in der Mitte der Röhre auf einander stossen und dort eine Knotenfläche bilden. Die bei dem Mundloche eingedrungene Luftschicht hat aber zugleich das Luftband nach innen gedrückt, welches dadurch in seiner Saugarbeit nicht nur unterbrochen wird, sondern jetzt auch dazu beiträgt, die Verdichtungswelle in dem Maasse zu verstärken, in welchem sie zufolge des im Vergleiche zum Querschnitte der Röhre am freien Ende kleineren Querschnittes des Mundloches an Quantität und Bewegungsenergie der ihr entgegenkommenden Welle nachsteht. In diesem Moment hat sich aber auch schon der Ausgleich vollzogen. Die gegen die Mitte gedrängten Lufttheilchen schwingen zurück, der Druck der inneren Luft ist jenem der äusseren Luft gleich geworden, das Luftband kann wieder seine frühere Richtung einnehmen und seine Saugarbeit von Neuem beginnen. — Nach dieser, wohl der wahrscheinlichsten Theorie entsteht also bei der Luftschwingung in der offenen Röhre in deren Mitte eine Knotenfläche. Legt man an Stelle dieser Knotenfläche eine Platte, welche die Röhre in zwei an einem Ende geschlossene, also gedeckte Röhren verwandelt, so entsteht derselbe Ton, wie bei der doppelt langen, offenen Röhre. Die Schallwelle einer gedeckten Röhre ist also doppelt so lang als die Rohrlänge. Die Mittelknotenfläche bezieht sich nur auf das Erklingen des Grund- oder Eigentones. Bei stärkerem Anblasen entstehen die Obertöne, wobei die Knoten sich verschieben. Dass die Lage der Knoten wirklich bei der offenen Röhre in der Mitte und bei der geschlossenen Röhre am Ende liegt, beweist folgender Versuch: Man lässt durch diese Pfeife Leuchtgas strömen und zündet die drei Flammen an (Figur a. f. S.). Bei dieser offenen Pfeife zeigt die mittlere Flamme eine heftige Bewegung, ja erlischt, weil hier die Knotenfläche entsteht, mithin der stärkste Wechsel des Verdichtungs- und Verdünnungszustandes stattfindet. Sobald wir aber die Pfeife in die Octave überblasen machen, erlöschen die beiden äusseren Flam-

men, weil nun die Knoten dieses Tones hier liegen; die mittlere Flamme wird brennend bleiben, weil sie sich jetzt an der Stelle eines Schwingungsbauches befindet. (Die Knoten sind die Stellen der grössten Verdichtung und geringsten Bewegung, die Bäuche dagegen die Stellen der grössten Bewegung und geringsten Verdichtung.) Verschliessen wir die Röhre mit dem Deckel *a*, so



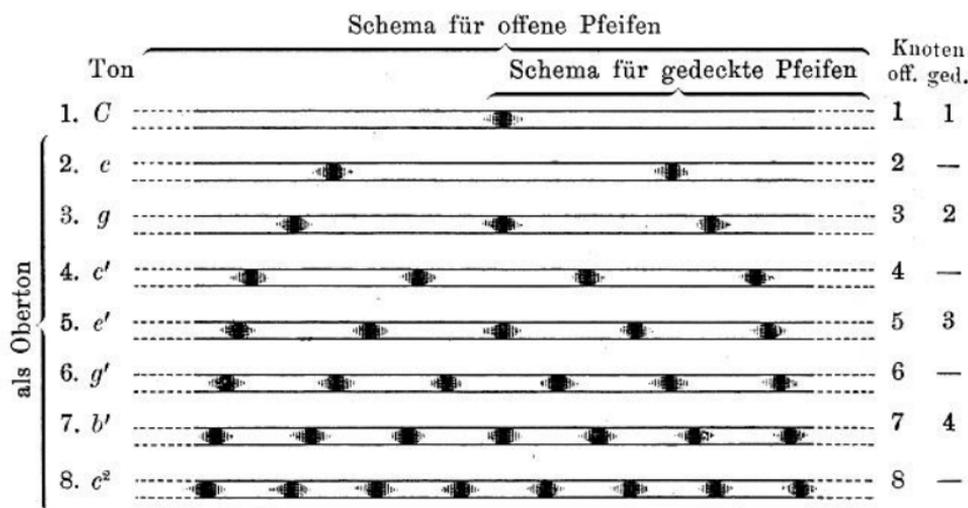
wird die Bewegung der mittleren Flamme weit geringer sein, weil jetzt der Verschluss *a* die Knotenfläche bildet, in der Mitte der Pfeife also bereits ein Theil des Bauches liegt, wo zwar grössere Bewegung, aber schon viel geringere Dichtigkeit herrscht. Bei Hervorrufung der Obertöne wird jedoch die untere Flamme erlöschen, da sie im Bereiche einer der Knotenflächen sich befindet. (Siehe Schema auf Seite 46.)

Um die Obertöne zu constatiren, mache man folgenden Versuch. Man setze an Stelle der Arme mit den Flammen bloss Löcher mit verschliessbaren Klappen. Man verschliesse die äusseren Klappen und öffne die mittlere. Beim Anblasen springt der Grundton sofort in die Octave über. An dem Loch, also in der Mitte, bildet sich die Knotenfläche. Oeffnen wir nun bloss die beiden äusseren Löcher, so wird der Grundton nicht alterirt. Ueber-

blasen wir die Pfeife in die Octave und öffnen den mittleren Verschluss, so entsteht kein anderer Ton, da die Octave an dieser Stelle keine Knotenfläche hat. Oeffnen wir aber die beiden äusseren Verschlüsse, so kann die Octave nicht zu Stande kommen, da sie hier ihre Knotenfläche hat, wohl aber die Duodecime, deren Schwingungsbäuche hier liegen. Der Bestand der Duodecime wird dagegen durch das Oeffnen des mittleren Verschlusses vernichtet, da eine der drei Knotenflächen des dritten Partialtones in der Mitte der Rohrlänge sich befindet.

Die Zahl der Theilschwingungen, in welche eine Luftsäule sich zerlegen kann, ist ebenso unbeschränkt, wie bei der Saite,

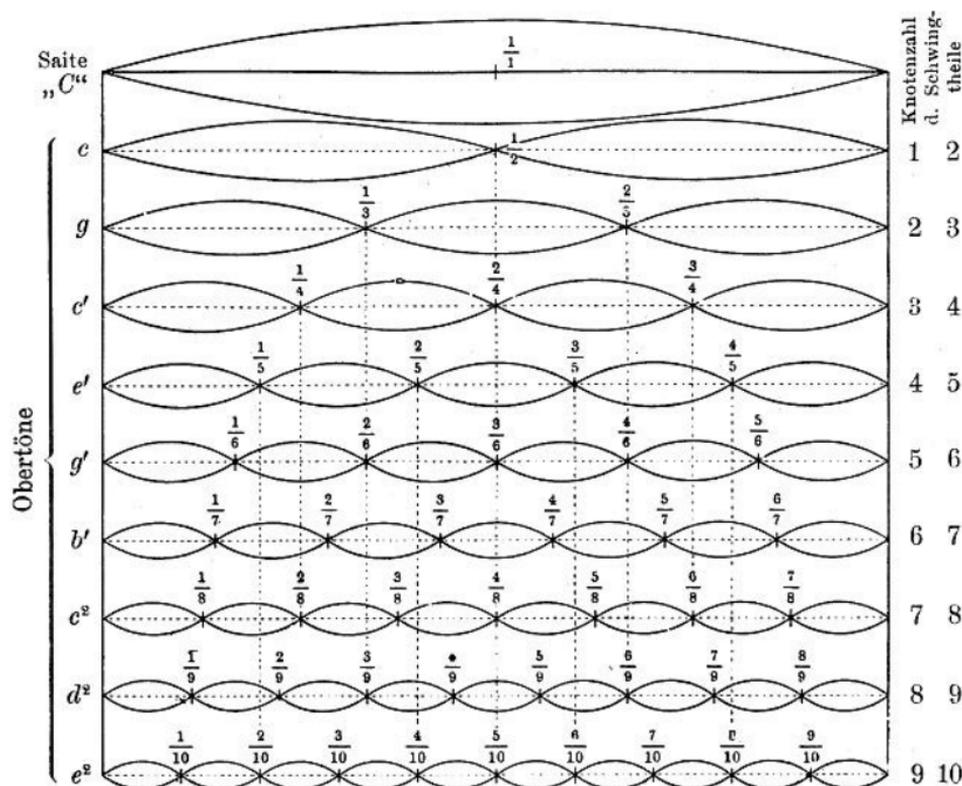
wenn nur beide die erforderliche Länge haben. In den Luftsäulen der Instrumente reicht jedoch die Zahl der Zerlegungen nicht sehr weit: beim Naturhorn von der zweiten Hälfte der zweiten Octave bis zu den ersten Tönen der vierten Octave, während die Flöte ihren ganzen Umfang mit dreimaligem und die Clarinette nur mit einmaligem Ueberblasen erreicht. Bei Orgelpfeifen kommt höchstens der zweite Theilton zur Verwendung. Die Partialschwingungen der Luftsäulen befolgen, gleichwie die Saiten, das Gesetz der natürlichen Zahlenreihe, wobei nur der Unterschied zu berücksichtigen ist, dass die Saite bei Darstellung ihres Grundtones keinen Knoten hat, während bei offenen Pfeifen im gleichen Falle in der Mitte, bei gedeckten am verschlossenen Ende eine Knotenfläche sich befindet. Das Schema der Obertöne bei offenen und gedeckten Pfeifen ist folgendes:



Die Schwingungsbäuche liegen eine Strecke über die Röhre hinaus, daher die nicht genaue Theillage der Obertöne.

Zur Vergleichung diene folgendes Schema, für die Schwingungen der Saite von Zellner¹⁾ construiert:

¹⁾ Aus Zellner: Vorträge über Akustik. Wien, Hartleben.



Durch Erregung der Saite an einer Knotenstelle werden vernichtet: mit dem zweiten Tone die Töne 4, 6, 8, 10; mit dem dritten Tone die Töne 6, 9; mit dem vierten Tone der Ton 8; mit dem fünften Tone der Ton 10.

Aus dem Schema der Lippenpfeifen folgt, dass in gedeckten Röhren nur ungeradzahlige Obertöne entstehen können, nämlich nur solche, bei welchen in offenen Röhren die Knotenfläche in die Mitte fällt, also der erste, dritte, fünfte, siebente etc. Partialton, während in offenen Röhren dieselben der natürlichen Zahlenreihe entsprechen. Da dem Gesetze: Je weiter an einem tönenden Körper eine Dimension die beiden anderen hinter sich lässt, um so besser ist er zur Hervorbringung von Obertönen geeignet, — auch die Luftsäulen folgen —, hat die Form der Pfeifen Einfluss auf die Klangfarbe. Enge Röhren, je länger sie sind, geben leichter Obertöne als den Grundton an, besonders gedeckte. Bei manchen erscheinen sogar Doppeltöne. Ein weiteres

Mittel, Pfeifen, auch weit mensurirten, ohne Steigerung des Winddruckes Obertöne abzugewinnen, besteht in der Verringerung der Höhe des Aufschnittes, wodurch bewirkt wird, dass das Luftband kürzer, daher geeigneter wird, die der Resonanz der höheren Töne entsprechenden schnelleren Schwingungen zu vollbringen. Die dritte Art, um Obertöne hervorzurufen, ist der verstärkte Luftzufluss, besonders bei Flöten.

Durch Erwärmung der Pfeifenröhre wird der Ton erhöht, die Zahl der Luftschwingungen mithin vermehrt. Dass die Luftzunge mit dieser vermehrten Schwingungszahl in voller Uebereinstimmung vibriert, beweist die gesteigerte Tonhöhe. Bringen wir aber die Luftsäule der Pfeife durch eine gleich gestimmte Stimmgabel zum Tönen, so wird die Röhre trotz Erwärmung nur diesen unverändert wiedergeben, weil die Resonanzschwingungen keinen rückwirkenden Einfluss auf das Metall haben, sondern sich dessen Schwingungen anbequemen müssen.

Beim Schema auf S. 46 sieht man die Röhren verlängert in Folge der Behauptung, dass die Luftschwingungen nicht am Ende der Röhre, sondern eine Strecke höher reflectiren. Nähern wir nämlich die Hand oder einen Deckel einer Röhrenmündung, so wird der Ton tiefer. Diese Wirkung beginnt aber schon eine Strecke vor der Röhrenmündung sich zu äussern, und liegt der Punkt, wo diese Wirkung eintritt, um so weiter von der Mündung entfernt, je kleiner diese ist. Ein anderer Beweis wäre der, dass man bei Theilung einer Röhre in zwei oder drei Theile weder eine reine Octave noch Quinte hören kann. Beide sind zu hoch.

Da man die Luftsäule für einen Ton genau berechnen kann, muss also die Pfeifenlänge zur Herstellung eines bestimmten Tones um das Stück verkürzt werden, welches über die Enden der Röhre hinausragt. Man nennt dies „reducirte“ Länge. Ein Pariser Orgelbauer hat ausgerechnet, dass die Röhre einer offenen rechteckigen Pfeife um die doppelte Tiefe, jene einer cylindrischen um $\frac{5}{3}$ ihres Durchmessers (beides von der Linie der Luftspalte ab gemessen) kürzer sei, als die dem gewünschten Tone zukommende Länge der Schallwelle beträgt.

Weder die Form noch das Material üben auf die stehende Welle irgend welchen Einfluss aus. Jedoch trägt das mit oscillirende Material zur Bildung der Klangfarbe immerhin bei.

Die Form der Pfeife hat jedoch Einfluss auf die Tonhöhe. Da gedeckte Pfeifen tiefer sind wie offene, lässt sich daraus schliessen: je enger oben eine offene Röhre wird, desto tiefer wird der Ton. So klingen alle Pfeifen, welche nach oben hin enger zulaufen, tiefer, wie parallel laufende weite oder sich erweiternde Röhren. Letztere klingen naturgemäss am höchsten. Ist der Durchmesser überall gleich, so wird der Ton um so höher, je unterschiedlicher die Breite oder Tiefe zur Länge wird (Mensur). Je enger die Röhre, desto mehr neigt sie zu Partialschwingungen und um so schwieriger spricht der Grundton an. Die einzelnen Pfeifenarten werden durch die Mensur, den Aufschnitt und Luftzufluss erzielt. Zu den weit mensurirten offenen Labialpfeifen gehört in erster Linie die Principalstimme. Enger und offen sind: Geigenprincipal, Gamba, Salicional, Viola, Violoncell. Conisch verengt sind: Gemshorn und Spitzflöte. Gedeckt: Subbass und Bourdon. Halbgedeckt: Rohrflöte.

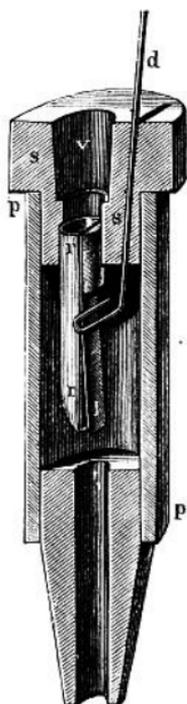
Klänge der Zungenpfeifen.

Der Ton der hierher gehörenden Instrumente wird in ähnlicher Weise wie bei der Sirene erzeugt, indem der Weg des Luftstromes sich abwechselnd öffnet und schliesst, wodurch der Luftstrom in eine Reihe einzelner Luftstösse zerlegt wird. Es geschieht dies durch elastische Platten oder Bänder, welche in schwingende Bewegung gesetzt werden und dabei die Oeffnung, an der sie befestigt sind, bald schliessen, bald frei lassen.

Es gehören hierher die Zungenpfeifen der Orgel, das Harmonium, Clarinette, Oboe, Fagott und die membranösen Zungen, wie die Lippen und die Stimmbänder.

Bei den Zungenpfeifen unterscheidet man durchschlagende und aufschlagende Zungen. Der Ton der letzteren ist schärfer, aber unsicherer. Die umstehende Figur zeigt die Einrichtung bei den Zungenpfeifen der Orgel. Die Pfeife ist der Länge nach

durchschnitten gedacht. *pp* ist das Windrohr, in welches von unten der Wind eingetrieben wird; die Zunge *l* liegt in der Rinne *r*



und diese in dem hölzernen Stopfen *s* befestigt; *d* ist der Stimmdraht. Dieser drückt unten gegen die Zunge; wenn man ihn tiefer hineinschiebt, wird die Zunge kürzer und ihr Ton höher; umgekehrt, wenn man ihn herauszieht.

Die metallenen Zungen der Orgel und des Harmoniums sind immer nur für die Erzeugung eines Tones bestimmt, bei den Holzblasinstrumenten haben wir nur eine einzige Zunge, welche für die ganze Notenreihe dienen muss. Die Zungen dieser Instrumente sind aber aus leichtem elastischen Holze gebildet, welches durch den wechselnden Druck der schwingenden Luftmasse leicht in Bewegung gesetzt wird, und die Schwingungen der Luft mitmacht.

Die Clarinette hat nur eine breite Zunge, die vor einer entsprechenden Oeffnung derart befestigt ist, dass sie aufschlagen würde, wenn sie weite Excursionen machte. Diese sind aber sehr klein und verengen, ohne aufzuschlagen, hinreichend den Spalt. Bei Oboe und Fagott stehen sich zwei solcher Rohrungen am Ende gegenüber, welche durch einen schmalen Spalt getrennt sind, und ebenfalls beim Blasen so weit an einander gedrängt werden, dass sie den Spalt schliessen, so oft sie nach innen schwingen. Die Töne bei den Holzblasinstrumenten entstehen durch Ueberblasen in die Octave, Duodecime, zweite Octave etc. Die Töne dazwischen werden durch Oeffnung der Seitenlöcher gewonnen.

Die membranösen Zungen lassen sich nach beiden Seiten hin in Schwingung versetzen und heissen deshalb ausschlagend oder einschlagend. Bei den Blechinstrumenten sind die Lippen ausschlagend, ebenso die Stimmbänder. Letztere haben vor allen künstlich nachgebildeten Zungen den Vorzug voraus, dass die

Weite ihres Spaltes, ihre Spannung und selbst ihre Form willkürlich ausserordentlich schnell und sicher geändert werden kann, wozu noch die grosse Veränderlichkeit des durch die Mundhöhle gebildeten Ansatzrohres kommt, so dass eine viel grössere Mannigfaltigkeit von Klängen durch sie hervorgebracht werden kann, als durch ein künstliches Instrument.

Beim Gebrauche der Blechinstrumente kommt die verschiedene Form und Spannung der Lippen des Bläusers nur insoweit in Betracht, als dadurch bestimmt wird, welcher von den eigenen Tönen des Rohres anspricht, während die Höhe der einzelnen Töne so gut wie unabhängig von der Spannung der Lippen ist. Im menschlichen Kehlkopfe dagegen wird die Spannung der Stimmbänder, als membranöse Zungen, selbst verändert und die Höhe des Tones bestimmt. Die mit dem Kehlkopfe verbundenen Lufthöhlen sind nicht geeignet, den Ton der Stimmbänder beträchtlich zu verändern, namentlich haben sie zu nachgiebige Wände, als dass in ihnen Luftschwingungen zu Stande kommen könnten, stark genug, um den Stimmbändern eine Schwingungsperiode aufzudrängen, die nicht der von ihrer eigenen Elasticität geforderten sich anpasst. Auch ist die Mundhöhle ein zu kurzes und meist zu weit geöffnetes Ansatzrohr, als dass ihre Luftmasse wesentlichen Einfluss auf die Tonhöhe haben könnte.

Je kürzer die Luftstösse, je plötzlicher sie eintreten, desto mehr hohe Obertöne werden wir erwarten dürfen. Hartes, unnachgiebiges Material, wie das der Messingzungen, wird die Luftstösse viel abgerissener hervortreten lassen, als weiches, nachgiebiges. Dieses ist wohl der Grund, warum die Gesangstöne weicher klingen, als die anderen Zungenpfeifen (dasselbe, wie beim Anschlag der Saiten). Freie Zungen ohne Ansatzrohr, bei denen alle die einzelnen einfachen Töne unmittelbar an die umgebende Luftmasse übergehen, haben deshalb immer einen sehr scharfen, schneidenden oder schnarrenden Klang, da bis 16 Obertöne mitklingen, die in ihren höheren Lagen alle im Zusammenklange dissoniren. Wesentlich verändert sich nun der Klang der Zungen durch die Ansatzröhren, indem die Obertöne,

welche eigenen Tönen des Ansatzrohres entsprechen, beträchtlich verstärkt werden, wodurch der Klang weicher wird. An dem Ansatzrohre resp. cylindrischen Rohre der Clarinette hat Helmholtz nur die ungeradzahligten Obertöne des Klanges verstärkt gefunden, während die kegelförmigen Röhren der Oboen, Fagotte, Trompeten und Hörner auch geradzahlige enthalten. Die älteren Hörner und Trompeten bestehen aus einem langen, kegelförmigen, gewundenen Rohre ohne Klappen und Ventile; sie können nur solche Töne geben, welche den eigenen Tönen des Rohres entsprechen. Da der Grundton eines so langen Rohres aber sehr tief ist, liegen die Obertöne in den mittleren Gegenden der Scala ziemlich nahe zusammen, so dass dadurch die meisten Stufen der Scala gegeben sind. Das Rohr des Waldhornes ist z. B. 27 Fuss lang, sein eigentlicher Grundton Es_{-1} . Dieser Ton und das Es werden nicht gebraucht, dagegen $B, es, g, b, des', f', g', as', a', b'$ etc., also genau die natürliche Zahlenreihe der Obertöne. Die Trompete ist auf ihre natürlichen Töne beschränkt, beim Horne ergänzt man die Scala durch die Faust und bei der Posaune durch den Auszug.

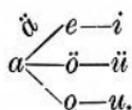
Klänge der Vocale.

Das menschliche Stimmorgan ist als eine Zungenpfeife anzusehen, da der Vorgang zur Erzeugung des Tones und seiner Höhe mit dem der Zungenpfeifen übereinstimmt. Der Kehlkopf besteht aus einer Anzahl fester Knorpel, zwischen denen die Stimmbänder ausgespannt sind. Zunächst über den Stimmbändern befindet sich eine nach oben von zwei parallel mit den Stimmbändern verlaufenden Schleimhautfalten, den falschen Stimmbändern. Diese verbinden die Giessbeckenknorpel mit dem Kehldeckel, und über ihnen endet der Luftweg in den Schlund, der in der Mund- und Nasenhöhle ausläuft. Das Stimmorgan wird vervollständigt durch Muskeln, welche durch Bewegung des Schildknorpels und der beiden Giessbeckenknorpel die Stimmbänder schliessen oder öffnen, spannen oder erschlaffen. Bei Entstehung des Tones öffnet der Luftstrom die Stimmritze, deren Bänder dann wie eine Zunge in Schwingung gerathen. Manche

Physiker sehen nun diese Schwingungen als das Tongebende an, nicht die durch das abwechselnde Schliessen oder mehr oder weniger Oeffnen derselben entstehenden Luftstösse. Doch ist das Tonbildende im Effecte einerlei, da so wie so die Tonhöhe nach beiden Ansichten von der Schwingungszahl der Bänder abhängt, indem jeder ganzen Schwingung derselben auch ein Stoss der austretenden Luft entspricht. Das Verhältniss der männlichen Stimmbänder zu den weiblichen ist 18:12, daher die verschiedenen Stimmlagen. Obwohl Schlund und Mundhöhle als Ansatzrohr und Schallbecher keinen Einfluss auf die Tonhöhe haben, sind sie doch das allein Bedingende zur Articulation und bei der Modification der Töne zu Lauten.

Helmholtz weist nun auf das Eingehendste nach, dass die Vocaltöne weiter nichts sind als Klangverschiedenheiten, und dass sie somit den verschiedenen, den Grundton begleitenden Obertönen zuzuschreiben sind.

Zur Untersuchung dieses Satzes hält er zunächst die Resonanz der Mundhöhle von grosser Wichtigkeit. Wenn man nämlich angeschlagene Stimmgabeln von verschiedener Höhe vor den geöffneten Mund bringt, hört man den Ton der Stimmgabel um so stärker, je genauer er einem der eigenen Töne der in der Mundhöhle eingeschlossenen Luftmasse entspricht. Da man die Stellung der Mundhöhle willkürlich verändern kann, so lässt sie sich denn auch stets dem Tone einer gegebenen Stimmgabel anpassen, und ermittelt dann bald, welche Stellung die Mundhöhle annehmen muss, um die Luftmasse auf eine bestimmte Höhe abzustimmen. Nach der Stellung der Mundtheile zerfallen die Vocale in drei Reihen (nach du Bois-Reymond):



a = entspricht einer sich vom Kehlkopfe ab ziemlich gleichmässig trichterförmig erweiternden Gestalt der Mundhöhle. Bei „*o*“ und „*u*“ wird die Mundhöhle vorn mittelst der Lippen verengert, so dass sie bei „*u*“ am engsten ist, während die Mundhöhle

durch Herabziehen der Zunge in ihrer Mitte möglichst erweitert wird, im Ganzen also die Gestalt einer Flasche ohne Hals erhält, deren Oeffnung, der Mund, ziemlich eng ist; die Tonhöhe solcher flaschenförmigen Räume ist desto tiefer, je weiter der Hohlraum und je enger seine Mündung ist. So fällt die Resonanz der Mundhöhle bei *U* am tiefsten aus, nämlich das kleine *f*. Die Resonanz bei *O* ist *b'*. Bringt man eine auf *b'* gestimmte Stimmgabel angeschlagen vor die Mundöffnung, während man *O* leise spricht, oder auch nur die Mundtheile in die Stellung bringt, als wolle man *O* sprechen, so hört man den Ton der Stimmgabel sehr voll und laut wiederklingen, da die Mundhöhle das *b'* resonirt. (Bekanntlich klingt eine schwingende Stimmgabel fast nicht hörbar ohne Resonanz.) In derselben Weise fand Helmholtz für *A* den Resonanzton *b''*, beim englischen und italienischen *A* das *d'''*. Klopft man bei einer *O*-Mundstellung gegen die Backe mit dem Finger, so hört man deutlich das *b* und bei der *U*-Stellung das *f*.

Bei *Ä*, *E*, *J* werden die Lippen so weit zurückgezogen, dass sie den Luftstrom nicht mehr beengen, dagegen entsteht eine neue Verengung zwischen dem vorderen Theile der Zunge und dem harten Gaumen, während der Raum über dem Kehlkopfe sich dadurch erweitert, dass die Zungenwurzel eingezogen wird, wobei gleichzeitig der Kehlkopf emporsteigt. Die Form der Mundhöhle nähert sich dabei derjenigen einer Flasche mit einem engen Halse. Der Bauch der Flasche liegt hinter dem Schlunde, der Hals ist der enge Canal zwischen der oberen Fläche der Zunge und dem harten Gaumen. So nehmen in der Reihenfolge *Ä*, *E*, *J* diese Veränderungen so zu, dass beim *J* der Hohlraum der Flasche am grössten, der Hals am engsten ist.

Wenn man eine mit einem engen Halse versehene Flasche als Resonanzraum ansieht, findet man leicht zwei Töne, von denen der eine als Eigenton des Bauches, der andere als ein solcher des Halses angesehen werden kann. Die Vocale *Ä*, *E*, *J* haben dem entsprechend einen höheren und einen tieferen Resonanzton. Die höheren sind für *Ä* = *g'''*, für *E* = *b'''* und *J* = *d''''*; die tieferen bei *Ä* = *d''*, bei *E* = *f'* und *J* = kleines

f. — Bei der Reihe *Ö* und *Ü* haben wir im Inneren des Mundes dieselbe Stellung wie bei *Ä*, *E*, *J*. Ausserdem verengern sich aber die Lippen wieder, und zwar so, dass sie eine Verlängerung der zwischen Zunge und Gaumen liegenden Röhre bilden. Der Hals der Flasche verlängert sich also fast um 2 cm. So wird der höhere Resonanzton des *Ü* infolgedessen fast eine Quarte tiefer, nämlich *g'''* oder *as'''*, bei *E* = *cis''*. Da der hintere Mundraum derselbe bleibt, ist auch der Resonanzton derselbe, nämlich bei *Ö* = *f'*, bei *Ü* = *f*. In Noten dargestellt:



Diese Zusammenstellung von Noten erstreckt sich auf diejenigen Arten der Vocale, welche den am meisten charakteristischen Klang zu haben scheinen; natürlich sind auch alle continuirlich in einander übergehenden Zwischenstufen möglich, die theils in Dialekten, theils von einzelnen Individuen, theils beim Flüstern und besonderen Tonlagen gebraucht werden.

Die Consonanten sind keine Selbstlaute, es sind nur Tonhemmungen oder Verzögerungen, welche durch das Anfangen oder Abschliessen der Vocallaute, oder höchstens als Geräusche wahrnehmbar sind. Man theilt sie in drei Hauptgruppen nach ihrer Entstehung durch Lippen, Zunge oder Gaumen.

Die Lippenlaute sind: *p*, *b*, *f*, *v*, *w*, *m*. Das *p* entsteht durch plötzliches Oeffnen der fest verschlossenen Lippen; *b* gerade so, nur sind die Lippen weniger gespannt. Bei *f* legen wir die untere Lippe an die oberen Schneidezähne, desgleichen bei *v*; bei *w* liegen die Lippen etwas mehr nach vorn. Bei *m* strömt die Luft wegen verschlossener Lippen durch die Nase.

Zu den Zungenlauten gehören: *t*, *d*, *s*, *l* und *n*. Hier stemmt sich die Zunge gegen die Schneidezähne oder den Gaumen. Bei *t* wird die Zunge an den Schneidezähnen plötzlich weggenommen.

d verhält sich zu *t*, wie *b* zu *p*. Die Zungenstellung bei *s* ist dieselbe wie bei *t*, nur lässt man eine kleine Spalte zum Luftausströmen. Bei *l* liegt die Zunge gebogen gegen den Gaumen, so dass die Luft nach beiden Seiten ausströmen kann. Lässt man bei *t*-Stellung die Luft durch die Nase, so entsteht das *n*.

Die Gaumenlaute sind *k*, *g*, *ch*, *j*. Bei *k* lässt man den Verschluss der hinteren Zunge und des Gaumens plötzlich los, bei *g* ebenso, nur milder. *ch* lässt in derselben Stellung eine kleine Spalte. Bei *j* liegt die Zunge sanft gegen den Gaumen.

Das *r* kann als Zungen- oder Gaumenlaut entstehen.

Die mitschwingenden Theile im Ohr.

Nebenstehende Figur giebt (der Deutlichkeit wegen zum Theil in starker Vergrößerung) eine übersichtliche Darstellung der Bestandtheile des Ohres, welches eingetheilt wird in:

1. Aeusseres Ohr:

a) Ohrmuschel *o*; b) Gehörgang *gg*.

2. Mittleres Ohr:

a) Pauken- oder Trommelhöhle *ph*, welche an vier Stellen mit Oeffnungen versehen ist, wovon drei mit zarter, elastischer Haut geschlossen sind und zwar: Trommelfell *tf*, ovales Fenster (*of*) und rundes Fenster (*rf*); die vierte Oeffnung bildet die Mündung der Eustachischen Röhre *ot*.

b) Gehörknöchelchen: Hammer *h*, Amboss *a*, Linsenbein *l* und Steigbügel *s*, der auf dem ovalen Fenster liegt.

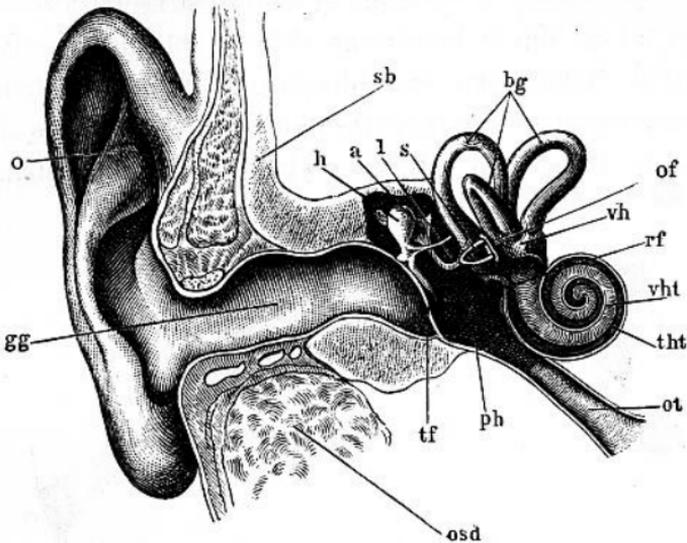
c) Spannmuskel, der durch den Hammer die Spannung des Trommelfells bewirkt.

3. Inneres Ohr oder Labyrinth:

a) Vorhof (*vh* von aussen, *v* in Figur auf S. 58 ebenfalls) mit dem häutigen Labyrinth, dem äusseren und inneren Labyrinthwasser; Gehörsteine (Otolithen). Der Vorhof endet nach einer Seite in:

b) drei Bogengänge *bg* (siehe auch Figur auf S. 58) mit den flaschenförmigen Erweiterungen oder Ampullen. Der Vorhof endet nach der anderen Seite in:

c) Schnecke (s. auch Figuren auf S. 58, 65, 66), die durch eine theils knöcherne, theils häutige Scheidewand (Figur auf S. 65 *Ls*) in zwei Theile (Treppen) getheilt wird:

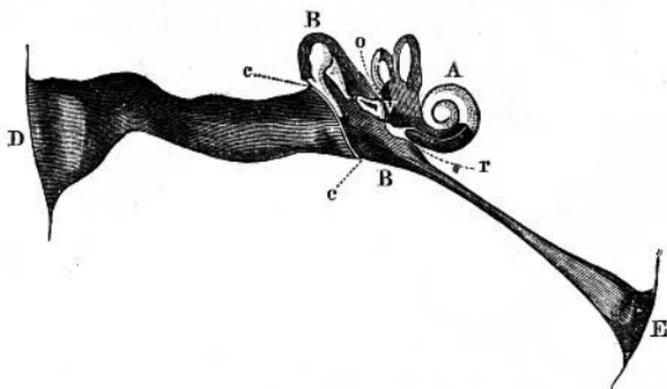


1. Vorhoftreppe *vht*, 2. Paukentreppe *tht*; Grundmembrane, Corti'sches Organ, Hörnerv.

Helmholtz sagt darüber in der „Lehre von den Tonempfindungen“:

Die zarten Enden der Nervenfasern des Gehörnerven befinden sich ausgebreitet auf feinen Membranen in einer mit Wasser gefüllten Höhle, welche wegen ihrer verwickelten Form das Labyrinth des Ohres genannt wird. Um die Schwingungen der Luft hinreichend kräftig auf das Wasser des Labyrinths zu übertragen, dazu dient ein zweiter Theil des Ohres, nämlich die Paukenhöhle mit den darin liegenden Theilen. Umstehende Figur zeigt in natürlicher Grösse einen schematischen Durchschnitt der zum Gehörorgan gehörigen Höhlen. *A* ist das Labyrinth, *BB* die Paukenhöhle, *D* der trichterförmige Eingang in den äusseren Gehörgang, der in seiner Mitte am engsten ist, gegen das innere Ende hin sich wieder etwas erweitert. Das innere Ende des aus einer theils knorpeligen, theils knöchernen Röhre gebildeten äusseren Gehörganges ist von der Pauken-

höhle *B* getrennt durch eine kreisrunde dünne Membran, das Trommelfell (Paukenfell) *cc*, welche in einem knöchernen Ringe ziemlich schlaff ausgespannt ist. Die Paukenhöhle *B* liegt zwischen dem äusseren Gehörgange und dem Labyrinth. Von dem letzteren ist sie durch knöcherne Wände getrennt, in denen nur zwei durch Membranen verschlossene Oeffnungen bleiben, die beiden sogenannten Fenster des Labyrinths, von denen das obere oder ovale Fenster *o* mit dem einen Gehörknöchelchen, dem



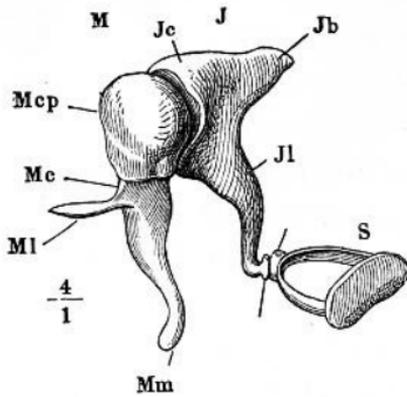
Steigbügel, verbunden ist. Das untere oder runde Fenster *r* ist ohne Verbindung mit den Knöchelchen.

Vom äusseren Gehörgange und dem Labyrinth ist also die Paukenhöhle überall abgeschlossen; dagegen hat sie einen freien Eingang vom oberen Theile der Schlundhöhle aus, die sogenannte Eustachische Trompete oder Tuba *E*, so genannt, weil ihre gegen den Schlund gekehrte Oeffnung wie das Ende einer Trompete erweitert ist, während die Mitte der Röhre sehr eng ist. Das in die Paukenhöhle übergehende Ende der Tuba ist aus Knochen gebildet, das gegen den Schlund gekehrte erweiterte Ende dagegen aus einer dünnen biegsamen Knorpelplatte, welche längs der oberen Seite gespalten ist. Die Ränder der Spalte sind durch eine sehnige Membran geschlossen. Man kann durch die Tuba Luft in die Trommelhöhle eintreiben oder herausziehen, wenn man Nase und Mund verschliesst, und die Luft im Munde entweder zusammenpresst oder durch Saugen verdünnt. Sowie die Luft in die Trommelhöhle eintritt oder austritt, fühlt man ein plötzliches Rucken im Ohr und hört ein Knacken. Dabei wird man bemerken, dass die

Luft nur in solchen Augenblicken vom Schlunde in das Ohr oder vom Ohre in den Schlund tritt, wo man eine Schlingbewegung macht. Ist die Luft in das Ohr eingedrungen, so bleibt sie darin, auch wenn man nun Mund und Nase wieder öffnet, bis man eine Schlingbewegung macht. Bei letzterer tritt sie aus, was sich dadurch zu erkennen giebt, dass ein neues Knacken eintritt, und das Gefühl der Spannung im Trommelfell, was so lange bestand, nun aufhört. Es folgt aus diesen Versuchen, dass die Tuba für gewöhnlich gar nicht offen ist, sondern nur beim Schlingen geöffnet wird, was sich dadurch erklärt, dass die Muskeln, die das Gaumensegel heben und beim Schlingen in Thätigkeit gesetzt werden, zum Theil von dem knorpeligen Ende der Tuba entspringen. Für gewöhnlich ist also die Paukenhöhle ganz geschlossen, mit Luft gefüllt, und der Druck dieser Luft bleibt dem der atmosphärischen Luft gleich, da er von Zeit zu Zeit während der Schlingbewegungen Gelegenheit hat, sich mit diesem auszugleichen. Gegen stärkeren Luftdruck öffnet sich die Tuba auch ohne Schlingbewegung, und bei verschiedenen Individuen scheint ihr Widerstand sehr verschieden gross zu sein. Das Oeffnen des Mundes bei schwerhörigen Menschen findet seine Erklärung durch die Eustachische Röhre, insofern das directe Eintreten der Schallwellen in das innere Ohr durch diese Tuba ein besseres Hören bewirkt.

Die Luft der Paukenhöhle ist an zwei Stellen vom Wasser des Labyrinths ebenfalls nur durch dünne gespannte Membranen getrennt. Diese Membranen schliessen die schon erwähnten Oeffnungen, nämlich das ovale (*o*) und das runde Fenster (*r*) des Labyrinths. Beide Membranen sind auf ihrer äusseren Seite mit der Luft der Trommelhöhle, auf der inneren mit dem Wasser des Labyrinths in Berührung; die des runden Fensters ist ganz frei, die des ovalen Fensters dagegen mittelst einer Reihe von drei durch Gelenke verbundenen Knöchelchen, Gehörknöchelchen, mit dem Trommelfell verbunden. Umstehende Figur zeigt die drei Knöchelchen in ihrer natürlichen Verbindung mit einander und in viermaliger Vergrösserung der Lineardimensionen; sie sind der Hammer *M*, der Amboss *I* und der Steig-

bügel *S*. Ersterer ist mit dem Trommelfell, letzterer mit der Membran des ovalen Fensters verbunden.

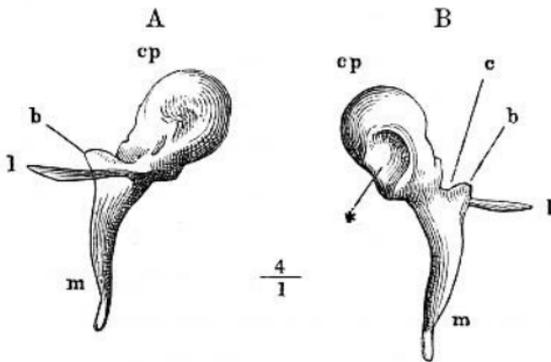


Gehörknöchelchen in gegenseitiger Verbindung, von vorn und von einer rechten Kopfhälfte, welche um die verticale Axe etwas nach rechts gedreht ist. *M* Hammer. *I* Amboss. *S* Steigbügel. *Mcp* Kopf, *Mc* Hals, *Ml* langer Fortsatz. *Mm* Handgriff des Hammers, *Jc* Körper, *Jb* kurzer, *Jl* langer Fortsatz.

Der Hammer, einzeln dargestellt in den Figuren A und B, zeigt ein oberes dickeres abgerundetes Ende, den Kopf *cp*, und ein unteres dünneres, den Stiel oder Handgriff *m*; zwischen beiden ist eine Einschnü- rung *c*, der Hals des Hammers. An der nach hinten gekehrten Seite des Kopfes findet man eine Gelenkfläche *, mittelst deren er sich an den Amboss anlegt. Unterhalb des Halses, wo dieser in den Stiel übergeht, ragen zwei Fortsätze hervor, der lange *l* und der kurze Fortsatz *b*. Ersterer

ist nur bei Kindern so lang, wie ihn die Abbildungen zeigen; bei Erwachsenen scheint er meist bis auf einen kleinen Stumpf resorbirt zu sein. Er hat die Richtung nach vorn, und liegt in den Bandmassen verdeckt, die nach vorn hin den Hammer festheften.

Der kurze Fortsatz *b* dagegen ist gegen das Trommelfell gekehrt, dessen obersten Theil er etwas



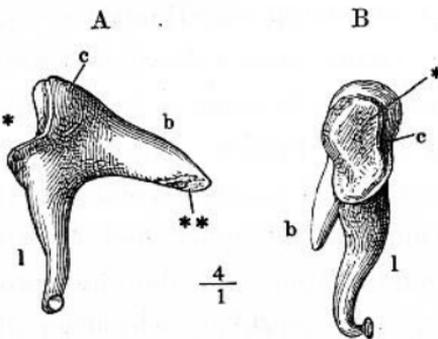
Rechter Hammer, *A* von vorn, *B* von hinten. *cp* Kopf. *c* Hals, *b* kurzer, *l* langer Fortsatz. *m* Handgriff. * Gelenkfläche.

hervordrängt. Von der Spitze dieses Fortsatzes *b* bis zur Spitze des Stieles *m* ist der Hammer im oberen Theile des Trommelfells festgeheftet, und zwar so, dass die Spitze des Stieles das Trommelfell stark nach innen zieht.

Zu bemerken ist noch, dass im oberen Theile des Canals der Tuba ein Muskel liegt, der Spannmuskel des Trommelfells, dessen Sehne, quer durch die Trommelhöhle hindurchgehend, sich innen an den oberen Theil des Hammerstiels ansetzt. Dieser Muskel ist als ein mässig gespanntes elastisches Band zu betrachten, dessen Spannung zeitweilig durch active Zusammenziehung beträchtlich erhöht werden kann. Auch dieser Muskel wirkt darauf hin, hauptsächlich den Stiel des Hammers mit dem Trommelfell nach innen zu ziehen. Beim „Lauschen“ z. B. wird die Spannung stärker, im Zustande des Schlafens schlaffer.

Der Amboss, einzeln dargestellt in den Figuren A und B, hat etwa die Gestalt eines zweiwurzigen Backzahns, dessen Kaufläche das Gelenk (*) gegen den Hammer bildet. Von den beiden etwas weit aus einander gespreizten Wurzeln des Zahns heisst die obere, welche nach hinten gerichtet ist, der kurze Fort-

satz *b*, die andere dünnere nach unten gerichtete der lange Fortsatz *l* des Ambosses. Letztere trägt an ihrer Spitze das Gelenkköpfchen für den Steigbügel. Die Spitze des kurzen Fortsatzes dagegen ist durch eine kurze Bandmasse und ein unvollständig ausgebildetes Gelenk an ihrer unteren Fläche mit der hinteren Wand der Pauken-



Rechter Amboss. A Seitenfläche. B Ansicht von vorn. *c* Körper, *b* kurzer, *l* langer Fortsatz. * Gelenkfläche für den Kopf des Hammers. ** Auf der Wand der Paukenhöhle ruhende Fläche.

höhle verbunden, da wo diese nach hinten in die Lufthöhlen des hinter dem Ohre gelegenen Zitzenfortsatzes übergeht. Das Gelenk zwischen Amboss und Hammer ist von einer ziemlich unregelmässigen, im Ganzen sattelförmigen Flächenkrümmung. Seiner Wirkung nach ist es zu vergleichen mit den Gelenken der viel verbreiteten, mit Sperrzähnen versehenen Uhrschlüssel, welche in einer Richtung ohne erheblichen Widerstand frei gedreht werden können, in entgegengesetzter Richtung aber, wenn sich

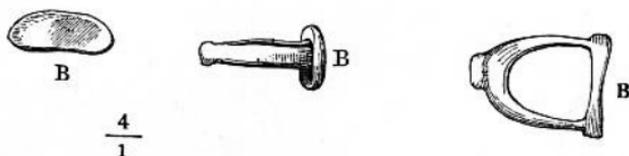
ihre Sperrzähne auf einander stemmen, nicht die kleinste Drehung erlauben. Solche Sperrzähne hat das Hammer-Ambossgelenk namentlich an seiner unteren Seite ausgebildet, und zwar liegt der des Hammers aussen, dem Trommelfell zugewendet, der des Ambosses innen, während umgekehrt gegen das obere Ende der Gelenkgrube hin der Amboss mehr nach aussen übergreift, der Hammer nach innen. Die Folge dieser Construction ist, dass, wenn der Hammer mit seinem Stiel nach innen gezogen wird, er den Amboss ganz fest packt und mitnimmt. Umgekehrt, wenn das Trommelfell mit dem Hammer nach aussen getrieben wird, braucht der Amboss nicht mitzugehen. Die Sperrzähne der Gelenkflächen weichen dann von einander, und diese gleiten mit sehr geringer Reibung an einander hin. Es hat dies zunächst den sehr grossen Vortheil, dass der Steigbügel nicht aus dem ovalen Fenster ausgerissen werden kann, wenn die Luft im Gehörgange erheblich verdünnt wird. Eintreibung des Hammers, wie sie durch Verdichtung der Luft im Gehörgange entstehen könnte, ist ebenfalls ohne Gefahr, da sie durch die Spannung des trichterförmig eingezogenen Trommelfells selbst kräftig gehemmt wird.

Wird bei einer Schlingbewegung Luft in die Trommelhöhle eingeblasen, so wird die Berührung von Hammer und Amboss gelockert. Dann hört man schwache Töne aus den mittleren und höheren Gegenden der Scale nicht merklich schwächer als sonst, wohl aber bemerkt man eine sehr beträchtliche Dämpfung starker Töne. Dies dürfte daraus zu erklären sein, dass die Adhäsion der Gelenkflächen an einander genügt, um schwache Bewegungen von einem auf den anderen Knochen zu übertragen, während sie bei stärkeren Anstössen an einander gleitend sich verschieben können und solche daher nicht mehr ungeschwächt übertragen.

Tiefe Töne sind bei jeder Stärke gedämpft, wohl weil diese immer ausgiebigere Bewegungen erfordern, um hörbar zu werden.

Das dritte Knöchelchen, der Steigbügel, einzeln dargestellt in nebenstehender Figur, hat in der That die auffallendste Aehnlichkeit mit dem Geräth, nach dem es genannt ist. Die Fuss-

platte *B* ist in der Membran des ovalen Fensters befestigt, welche sie bis auf einen schmalen Saum fast ganz ausfüllt. Das Köpfchen *cp* hat ein Gelenkgrübchen für die Spitze des langen Fortsatzes des Ambosses. Das Gelenk ist mit einer schlaffen Membran umgeben. Bei normal einwärts gezogenem Trommelfell drückt der Amboss auf den Steigbügel, so dass eine straffere Bandbefestigung des Gelenks nicht nöthig ist. Jede verstärkte Eintreibung des Hammers vom Trommelfell aus bewirkt auch eine stärkere Eintreibung des Steigbügels in das ovale Fenster,



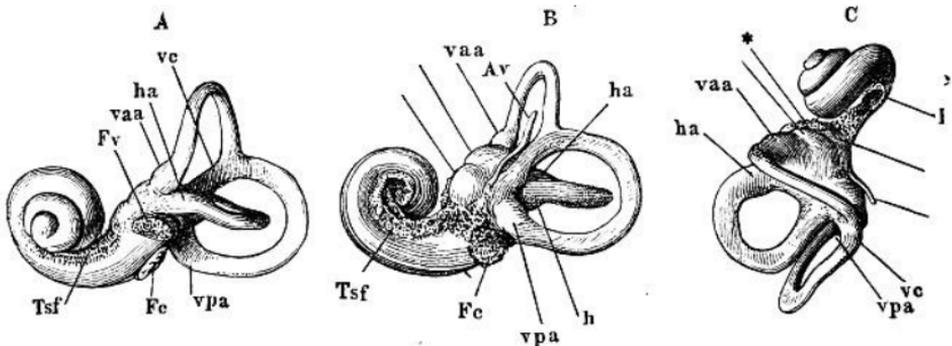
Rechter Steigbügel; A von innen, B von vorn, C von unten. *B* Basis.

wobei aber der obere etwas losere Rand seiner Fussplatte sich stärker verschiebt als der untere, und daher das Köpfchen sich etwas hebt, welcher Bewegung auch wieder eine schwache Hebung der Spitze des langen Ambossfortsatzes entspricht, wie sie durch die Lage derselben nach innen und unten vom Achsenbände des Hammers bedingt wird.

Die Excursionen der Steigbügelplatte sind sehr klein und übersteigen jedenfalls nicht $\frac{1}{10}$ Millimeter. Die freie Excursion des Hammers dagegen mit dem Stiel nach aussen, welche er machen kann, indem er sich gegen den Amboss im Gelenk verschiebt, ist mindestens neunmal so gross, als die, welche er mit dem Amboss und Steigbügel zusammen ausführen kann.

Der ganze Trommelhöhlenapparat hat zunächst den mechanischen Nutzen, dass die Schallbewegung von der verhältnissmässig ausgedehnten Fläche des Trommelfells (verticaler Durchmesser 9 bis 10 mm, horizontaler 7,5 bis 9 mm) aufgefangen und durch die Knöchelchen auf die verhältnissmässig viel kleinere Fläche des ovalen Fensters oder der Fussplatte des Steigbügels übertragen wird, deren Durchmesser nur 1,5 und 3 mm betragen. Somit ist die Fläche des Trommelfells 15 bis 20 Mal grösser, als die des ovalen Fensters.

Die innerste Abtheilung des Gehörorganes, welche den Namen „Labyrinth“ trägt, wird in folgender Figur, welche einen Abguss seiner Höhlung zeigt, von verschiedenen Seiten dargestellt. Der mittlere Theil desselben, an welchem sich das ovale Fenster *Fv* befindet, welches die Basis des Steigbügels aufnimmt, wird der Vorhof des Labyrinths genannt. Von ihm geht nach vorn und unten ein aufgerollter Canal, die Schnecke, ab, an deren Anfang das runde Fenster *Fc* gegen die Trommelhöhle gewendet liegt. Nach oben und hinten dagegen gehen



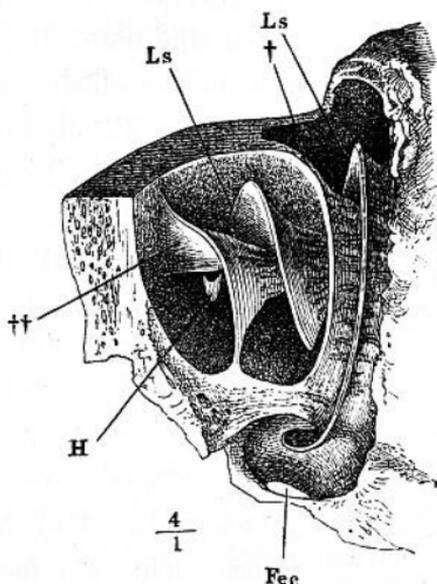
A Linkes Labyrinth, von aussen. B Rechtes Labyrinth, von innen. C Linkes Labyrinth, von oben. *Fc* runde Fenster. *Fv* ovale Fenster. *h* Horizontaler Bogengang. *ha* Ampulle desselben. *vaa* Ampulle des vorderen verticalen Bogengangs. *vpa* Ampulle des hinteren verticalen Bogengangs. *vc* Gemeinschaftlicher Schenkel der beiden verticalen Bogengänge.

von dem Vorhof drei bogenförmige Gänge ab, der horizontale, verticale vordere und verticale hintere Bogengang, deren jeder mit beiden Enden in den Vorhof mündet, und deren jeder an einem Ende eine flaschenförmige Erweiterung oder Ampulle (*ha*, *vaa*, *vpa*) zeigt. Die rauhen Stellen *Tsf* und * entsprechen im Abgusse den Canälen, welche die Nerven zuführen.

Diese ganze Höhlung des Labyrinths ist mit Wasser gefüllt, und umgeben von der ausserordentlich harten und dichten Knochenmasse des Felsenbeins, so dass nur zwei nachgiebige Stellen der Wand übrig bleiben, nämlich die beiden Fenster *Fv* und *Fc*, das ovale und das runde. Im ersteren steht, wie schon beschrieben, die Fussplatte des Steigbügels durch einen schmalen membranösen Saum eingehftet; das letztere ist durch eine Mem-

bran geschlossen. Wird der Steigbügel eingetrieben gegen das ovale Fenster, so wird demnach die ganze Flüssigkeitsmasse des Labyrinths gegen das runde Fenster gedrängt, nur hier kann die Membran desselben nachgeben.

Von den beiden Gängen, welche zusammen den Canal der knöchernen Schnecke bilden, communicirt der eine direct mit dem Vorhofe und wird deshalb die Vorhofstreppe (*Scala vestibuli*) genannt. Der andere Gang ist dagegen vom Vorhofe abgesperrt durch die häutige Scheidewand; doch liegt in seinem Anfang nächst der Basis der Schnecke das runde Fenster, durch dessen nachgiebige Membran er Erschütterungen mit der Luft der Paukenhöhle austauschen kann. Dieser zweite Gang wird deshalb die Paukentreppe (*Scala tympani*) genannt.

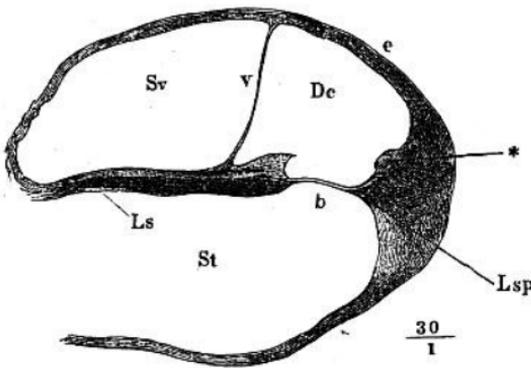


Knöcherne (rechte) Schnecke, von vorn geöffnet. *Ls* knöcherne Scheidewand. † Durchschnitt der Zwischenwand der Schnecke. †† Oberes Ende derselben.

Schnecke gekehrten Rande an die knöcherne Scheidewand der Schnecke angeheftet ist, mit einem Theil der gegenüberliegenden äusseren Fläche dagegen an die innere Fläche des knöchernen Ganges. Obenstehende Figur stellt die knöchernen Theile einer aufgebrochenen Schnecke dar, umstehende Figur einen Querschnitt des Canals (nach links unten hin unvollständig geblieben). An beiden bezeichnet *Ls* den knöchernen Theil der Scheidewand, in umstehender Figur *v* und *b* die beiden freien Theile des häutigen Canals. Der Querschnitt dieses Canals ist, wie die Figur zeigt, nahehin dreieckig, so dass ein Winkel des

Endlich ist weiter zu bemerken, dass die häutige Scheidewand nicht eine einfache Membran ist, sondern selbst ein häutiger Canal, der mit seinem inneren, gegen die Achse der

Dreiecks bei *Lls* an den Rand der knöchernen Scheidewand angeheftet ist. Beide Treppen communiciren an ihren obersten Enden durch eine Oeffnung (*Helicotrema*), mittelst welcher das Labyrinthwasser von einer Treppe zur anderen übertreten kann. Von den beiden freien Streifen seiner häutigen Begrenzung ist der gegen die Vorhofstreppe gekehrte eine zarte, wenig Widerstand leistende Membran, die *Reissner'sche Membran*, *v* (*Membrana vestibularis*), der andere die *Membrana basilaris*, *b* ist da-



Querdurchschnitt einer Schneckenwindung aus einer in Salzsäure erweichten Schnecke. *Ls* Knöcherne Scheidewand. *Sv* Vorhofstreppe. *St* Paukentreppe. *v* Membrana vestibularis. *b* Membrana basilaris. * Wulst derselben.

gegen eine feste, straff gespannte, elastische Membran, die in radialer Richtung, ihren starken Radialfasern entsprechend, gestreift ist. Sie spaltet sich leicht in der Richtung dieser Fasern, was anzeigt, dass ihr Zusammenhang quer gegen ihre Radialfasern nicht sehr fest ist. Auf der Mem-

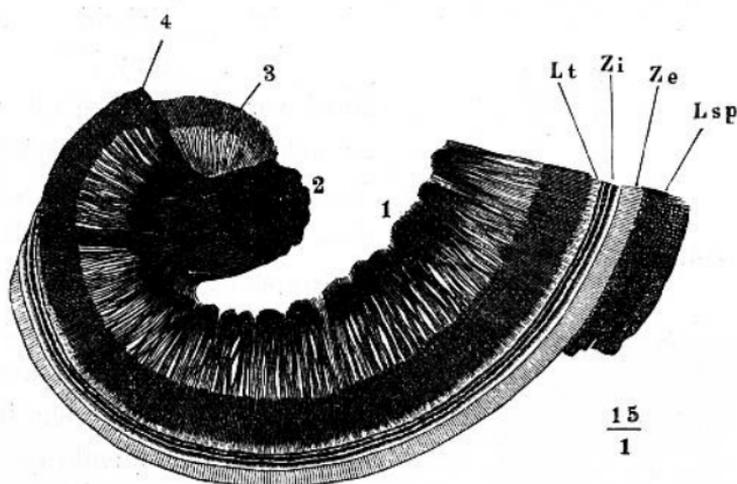
brana basilaris sind die Enden des Schneckenerven und deren Anhänge befestigt, was in obenstehender Figur durch punktirte Linien angedeutet ist.

Wenn das Paukenfell durch vermehrten Luftdruck im Gehörgange nach innen getrieben wird, drängt es, wie oben aus einander gesetzt ist, auch die Gehörknöchelchen nach innen, und namentlich tritt dabei die Fussplatte des Steigbügels tiefer in das ovale Fenster ein. Die Flüssigkeit des Labyrinths, welche übrigens rings von festen Knochenwänden eingeschlossen ist, hat nur einen Ausweg, wohin sie vor dem Druck des Steigbügels ausweichen kann, nämlich das runde Fenster mit seiner nachgiebigen Membran. Um dahin zu gelangen, muss aber die Labyrinthflüssigkeit entweder durch das *Helicotrema*, die enge Oeffnung

in der Spitze der Schnecke, hinüberfliessen von der Vorhofstreppe zur Paukentreppe, oder, da hierzu bei den Schallschwingungen wahrscheinlich nicht genügende Zeit ist, die membranöse Scheidewand der Schnecke gegen die Paukentreppe hindrängen. Das Umgekehrte muss bei Luftverdünnung im Gehörgange geschehen.

So werden also die Schallschwingungen der im äusseren Gehörgange enthaltenen Luft schliesslich übertragen auf die Membranen des Labyrinths, namentlich die Schneckenmembran, und die dort ausgebreiteten Nerven.

Im Knochengehäuse des inneren Ohres oder Labyrinthes liegen kleine Gebilde, die von dem äusseren Labyrinthwasser

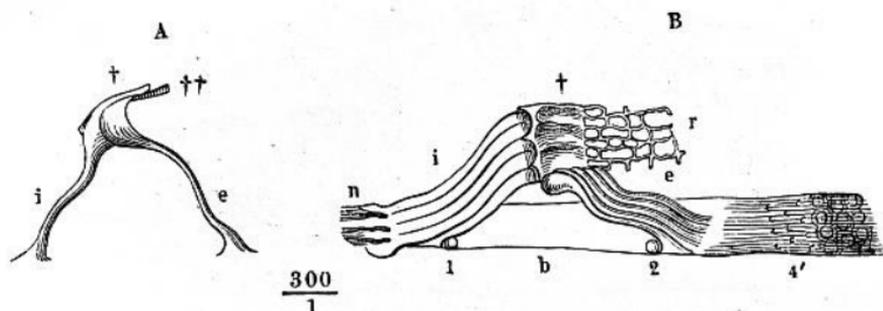


umgeben sind. Zunächst das sackartige häutige Labyrinth, welches theils schwimmt, theils angeheftet ist, aber so, dass das Wasser es umspült. Dieses ist mit dem inneren Labyrinthwasser ausgefüllt. Wie innerhalb der Ampullen, so ragen auch von den Wänden dieses Säckchens freistehende, mikroskopische Härchen in das Labyrinthwasser, wohin auch die Fasern der Hörnerven münden. In den Säckchen liegen ausserdem die Hörsteine (Otolithen), welche, wie die Härchen, anscheinend den Zweck haben, auf die Hörnerven einen Reiz auszuüben.

Viel complicirter ist der Bau der Schnecke. Die Nervenfasern treten durch die Achse oder Spindel der Schnecke zunächst in den knöchernen Theil der Scheidewand, dann auf den

der zahnförmigen Eindrücke auf ihrer oberen Seite als die Zahnleiste bezeichnet wird, und von welcher eine besondere elastische und durchlöchernte Membran, die Corti'sche Membran, *MC*, getragen wird, die der Membrana basilaris parallel bis zur Knochenwand an der äusseren Seite des Ganges ausgespannt ist und sich dort etwas oberhalb der ersteren anheftet. Zwischen den genannten beiden Membranen liegen nun die Theile, in und an denen die Nervenfasern enden.

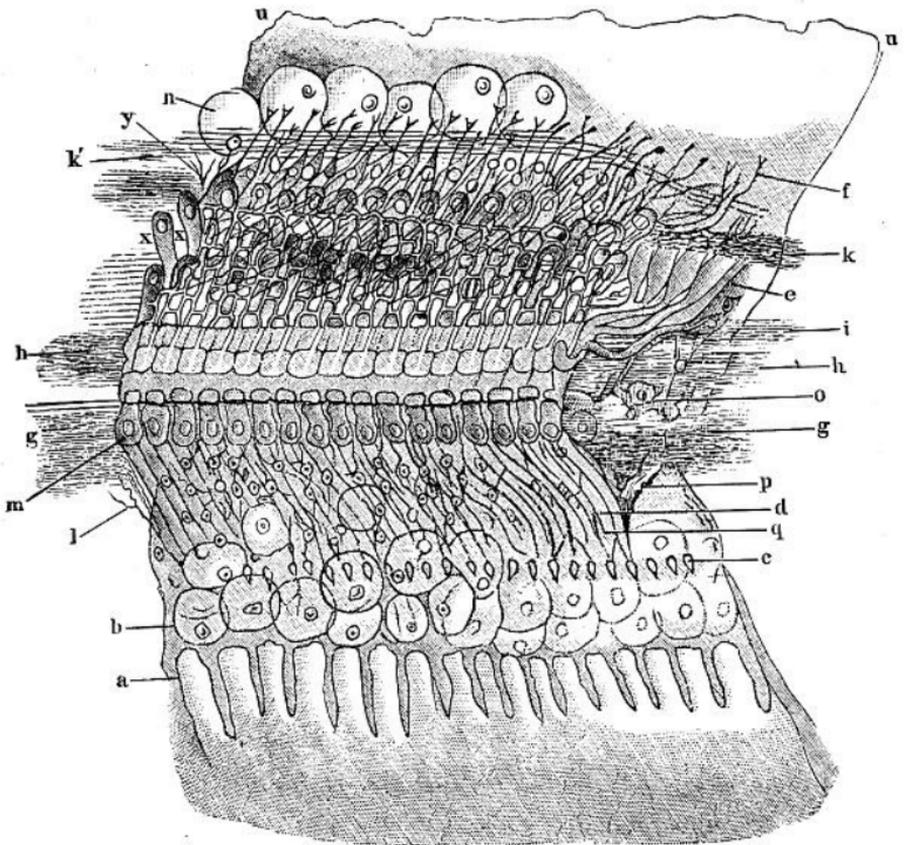
Unter diesen sind die relativ festesten Gebilde die Corti'schen Bögen (nebenstehender Figur über *g*). Die Reihe dieser neben



A Aeusseres und inneres Stäbchen in Verbindung, Profilsansicht. B Membrana basilaris (*b*) mit den terminalen Nervenbündeln (*n*) und den inneren und äusseren Stäbchen (*i* und *e*). 1 Innere, 2 äussere Bodenzelle. 4' Anheftungen der Deckzellen.

einander liegenden Bögen besteht aus zwei Reihen von Stäbchen oder Fasern, einer inneren und einer äusseren. Ein einzelnes Paar derselben ist in obenstehender Figur A, eine kleine Reihe ebenda unter B dargestellt, letztere an der Membrana basilaris festhaftend, und bei † noch in Verbindung mit dem gefensterten Gerüst, in welches sich die weiter zu beschreibenden Endzellen der Nerven (*c* nebenstehender Figur) einfügen. Von Seite der Vorhofstreppe gesehen, sind diese Gebilde in umstehender Figur dargestellt; *a* ist hier die Zahnleiste, *c* die Oeffnungen für den Nerven am inneren Rande der Membrana basilaris, deren äusserer Rand bei *uu* sichtbar ist; *d* ist die innere Reihe der Corti'schen Stäbe, *e* die äussere Reihe; über letzterer sieht man zwischen *e* und *x* die gefensterte Membran, an welche sich die Nervenendzellen anlegen.

Die Fasern erster Reihe sind platte, schwach S-förmig gekrümmte Gebilde, die mit einer unteren Endanschwellung von der Grundmembran aufsteigen, an welche sie angeheftet sind, und oben mit einer Art Gelenkstück endigen, welches zur Verbindung mit den Fasern zweiter Reihe bestimmt ist. In untenstehender Figur bei *d* sieht man eine grosse Zahl dieser aufsteigenden Fasern regelmässig neben einander liegen. In derselben



Weise sind sie auf der ganzen Länge der Schneckenmembran dicht neben einander gestellt, so dass man ihre Zahl auf viele Tausend schätzen muss. Ihre Seiten legen sich dicht an die der Nachbarn an, und scheinen sich selbst mit diesen zu verbinden, aber so, dass stellenweise offene Spalten in der Verbindungslinie stehen bleiben, durch welche wahrscheinlich Nervenfasern durchtreten. So bilden die Fasern erster Reihe zusammengenommen

eine Art steifer Leiste, die sich, sobald die natürlichen Befestigungen keinen Widerstand mehr leisten, steil aufrecht zu stellen strebt, wobei sich die Grundmembran zwischen den Ansatzstellen der Corti'schen Bögen *d* und *e* zusammenfaltet.

Die Fasern zweiter Reihe, welche den absteigenden Theil des Bogens *e*, Figur auf S. 69, bilden, sind glatte biegsame cylindrische Fäden mit verdickten Enden. Das obere Ende bildet eine Art Gelenkstück zur Verbindung mit den Fasern erster Reihe, das untere Ende ist glockenförmig erweitert und haftet der Grundmembran fest an. In den mikroskopischen Präparaten sieht man sie meist mannigfaltig gebogen; doch kann wohl kein Zweifel darüber sein, dass sie in ihrer natürlichen Verbindung gestreckt und einigermaassen gespannt sind, so dass das obere Gelenkende der Fasern erster Reihe durch sie herabgezogen wird. Während die Fasern erster Reihe vom inneren Rande der Membran aufsteigen, welcher verhältnissmässig wenig erschüttert werden kann, heften sich die Fasern zweiter Reihe ziemlich in der Mitte der Membran an, also gerade da, wo deren Schwingungen am ausgiebigsten sein müssen. Wird der Druck des Labyrinthwassers in der Paukentreppe durch den in das ovale Fenster eindringenden Steigbügel vermehrt, so muss die Grundmembran nach unten weichen, die Faser zweiter Reihe stärker gespannt werden, und vielleicht wird die entsprechende Stelle der ersten Faserreihe etwas nach unten gebogen. Dass das Corti'sche Organ ein Apparat sei, geeignet, die Schwingungen der Grundmembran aufzunehmen und selbst in Schwingung zu gerathen, darüber kann die ganze Anordnung keinen Zweifel lassen, aber es lässt sich mit unseren gegenwärtigen Kenntnissen noch nicht sicher bestimmen, in welcher Weise diese Schwingungen vor sich gehen. Dazu müsste man die Festigkeit der einzelnen Theile, den Grad ihrer Spannung und ihrer Biegsamkeit, erst besser beurtheilen können, als es die bisherigen Beobachtungen an den isolirten Theilen, wie sie sich eben zufällig unter dem Mikroskope gelagert haben, erkennen lassen.

Die Corti'schen Fasern sind nun umspinnen und umgeben

von einer Menge sehr zarter und vergänglicher Gebilde, Fasern und Zellen verschiedener Art, theils feinsten Ausläufern von Nervenfasern mit zugehörigen Nervenzellen, theils Bindegewebsfasern, welche als ein Stützapparat zur Befestigung und Suspension der Nervengebilde zu dienen scheinen.

Figur auf S. 68 zeigt diese Theile am besten im Zusammenhange. Sie gruppiren sich als ein Wulst weicher Zellen auf beiden Seiten und in dem Inneren der Corti'schen Bögen. Die wichtigsten darunter scheinen die mit Härchen versehenen Zellen bei *c* und *d* zu sein, welche ganz die Bildung der Härchenzellen in den Ampullen und im häutigen Labyrinth haben. Sie scheinen direct mit feinen Nervenfasern zusammenzuhängen, und bilden den constantesten Theil unter den Gebilden der Schnecke; denn bei den Vögeln und Reptilien, wo die Structur der Schnecke viel einfacher ist, und selbst die Corti'schen Bögen fehlen, sind es gerade diese Härchenzellen, die man überall wiederfindet und deren Härchen so gestellt sind, dass sie an die Corti'sche Membran bei den Schwingungen der Membrana basilaris anstossen können. In Figur auf S. 70 sieht man ausserdem Faserzüge und Fasernetze, die theils nur Stützfasern bindegewebiger Natur sein mögen, theils durch ihr perlschnurartiges Aussehen sich als feinste Nervenfasernzüge charakterisiren. Es sind gerade diese Theile so zart und vergänglich, dass über ihren Zusammenhang und ihre Bedeutung noch vielfache Zweifel bestehen.

Das wesentliche Ergebniss unserer Beschreibung des Ohres fassen wir demnach dahin zusammen, dass wir die Enden des Hörnerven überall mit besonderen theils elastischen, theils festen Hilfsapparaten verbunden gefunden haben, welche unter dem Einflusse äusserer Schwingungen in Mitschwingung versetzt werden können, und dann wahrscheinlich die Nervenmasse erschüttern und erregen. Nun ist schon auseinandergesetzt worden, dass die Vorgänge des Mittönens für die Beobachtung ein sehr verschiedenes Verhalten zeigen, je nachdem der mitschwingende Körper, einmal in Bewegung gesetzt, lange nachtönt, oder seine Bewegung schnell verliert. Körper, welche, einmal angeschlagen,

lange nachtönen, wie Stimmgabeln, sind des Mittönens in hohem Grade fähig trotz der Schwerbeweglichkeit ihrer Masse, weil sie eine lange Summirung der an sich sehr kleinen Anstösse zulassen, welche jede einzelne Schwingung des erregenden Tones auf sie ausübt. Aber eben deshalb muss auch die allergenaueste Uebereinstimmung herrschen zwischen dem eigenen Tone der Gabel und der Tonhöhe des erregenden Tones, weil sonst die Anstösse durch die späteren Luftschwingungen nicht fortdauernd regelmässig in dieselbe Schwingungsphase fallen können, wo sie die Nachwirkungen der früheren Anstösse verstärken. Nimmt man dagegen Körper, deren Ton schnell verklingt, z. B. aufgespannte Membranen oder dünne leichte Saiten, so werden diese ebenfalls die Erscheinung des Mittönens zeigen, wenn die schwingende Luft Gelegenheit hat, auf sie einzuwirken, aber ihr Mittönen wird nicht so beschränkt auf eine gewisse Tonhöhe sein, sie werden von ziemlich verschiedenartigen Tönen leicht bewegt werden. Denn wenn ein elastischer Körper einmal angestossen und danach frei forttönend nach zehn Schwingungen seine Bewegung nahehin verloren hat, wird es nicht darauf ankommen, ob neue Anstösse, die er nach Ablauf dieser Zeit empfängt, mit den früheren vollständig übereinstimmend wirken, wie es bei einem anderen tönenden Körper nöthig sein würde, bei welchem die durch den ersten Anstoss erzeugte Bewegung noch fast unverändert besteht, wenn ihn der zweite Anstoss trifft. Im letzteren Falle wird der zweite Anstoss die Bewegung nur dann vermehren können, wenn er gerade in eine solche Phase der Schwingung fällt, wo seine Richtung mit der der schon bestehenden zusammentrifft.

Der Zusammenhang zwischen diesen beiden Verhältnissen lässt sich ganz unabhängig von der Natur des mittönenden Körpers genau berechnen, und da dies für die Beurtheilung der Verhältnisse im Ohre wichtig ist, habe ich hier folgend eine kleine Tabelle dafür gegeben. Man denke sich einen mittönenden Körper, der zuerst durch einen genau gleichgestimmten Ton in das Maximum der Schwingung versetzt sei; der erregende Ton werde nun geändert, bis die Intensität des Mitschwingens

bis auf $\frac{1}{10}$ des früheren Werths verringert ist. Die Grösse dieser Tondifferenz ist in der ersten Columne der folgenden Tabelle angegeben. Nun sei derselbe tönende Körper angeschlagen worden, und man lasse ihn ungehindert austönen. Es werde beobachtet, nach wie vielen seiner Schwingungen die Intensität seines Tones auf $\frac{1}{10}$ ihres Anfangswerthes reducirt sei. Die Anzahl dieser Schwingungen ist in der zweiten Columne angegeben.

Differenz der Tonhöhe, durch welche die Intensität des Mitschwingens auf $\frac{1}{10}$ reducirt wird	Zahl der Schwingungen, nach welcher die Intensität des ausklingenden Tons auf $\frac{1}{10}$ reducirt wird
1. Ein achtel Ton	38,00
2. Ein viertel Ton	19,00
3. Ein halber Ton	9,50
4. Drei viertel Ton	6,33
5. Ein ganzer Ton	4,75
6. Fünf viertel Ton	3,80
7. Kleine Terz ($\frac{3}{2}$ Ton) . .	3,17
8. Sieben viertel Ton . .	2,71
9. Grosse Terz (2 Töne) . .	2,37

Wenn wir nun auch für das Ohr und dessen einzelne Theile noch nicht genau ermitteln können, wie lange sie nachklingen, so lassen uns doch bekannte Erfahrungen ungefähr beurtheilen, in welche Gegend der in unserer Tabelle aufgestellten Scala die Theile des Ohres etwa zu stellen sein müssen. Es können im Ohre natürlich keine Theile vorhanden sein, die etwa so lange wie eine Stimmgabel nachklingen, denn das würde sich schon der gewöhnlichen Beobachtung gleich verrathen. Aber auch wenn im Ohre Theile wären, welche nur der ersten Stufe unserer Tafel entsprechen und 38 Schwingungen brauchten, um bis auf $\frac{1}{10}$ auszuklingen, so würden wir dies bei tieferen Tönen erkennen. Denn 38 Schwingungen erfordern beim *A* ein Drittel einer Secunde, beim *a* ein Sechstel, beim *a'* ein Zwölftel u. s. w.

So langes Nachklingen würde jede schnelle Bewegung innerhalb der ungestrichenen und eingestrichenen Octave unmöglich machen; es würde, wenn es im Ohre selbst stattfände, für Musik ebenso störend sein, wie starke Resonanz in einem gewölbten Raume, oder Entfernung des Dämpfers am Pianoforte. Beim Trillern können wir sehr gut acht bis zehn Anschläge in der Secunde machen, so dass jeder der beiden Töne vier- oder fünfmal angeschlagen wird. Wenn nun der erste Ton vor dem Ende des zweiten noch nicht verklungen ist, oder wenigstens so weit vermindert ist, dass man ihn neben dem anderen nicht mehr wahrnimmt, so würden die beiden Töne des Trillers nicht jeder für sich deutlich hervortreten können, sondern man würde fort-dauernd ein Gemisch beider Töne hören. Dergleichen Triller von je zehn Schlägen auf die Secunde sind nun im grössten Theile der Scala scharf und klar auszuführen, aber allerdings vom *A* abwärts in der grossen und Contra-Octave klingen sie schlecht und rauh und ihre Töne fangen an, sich zu vermischen. Auf dem Clavier sind Läufe und Triller in der Tiefe noch verhältnissmässig am besten auszuführen, weil in dem Augenblicke des Anschlags der neue Ton mit grosser und schnell abnehmender Intensität erklingt. Daher hört man wenigstens neben dem unharmonischen Lärm, den das gleichzeitige Bestehen beider Töne hervorbringt, auch die einzelnen Töne scharf hervordringen. Da die Schwierigkeit, in der Tiefe schnell zu trillern, also für alle musikalischen Instrumente dieselbe ist und an einzelnen Instrumenten erweislich von der Weise, wie die Töne hervor-gebracht werden, ganz unabhängig ist, so müssen wir schliessen, dass wir es hier mit einer Schwierigkeit zu thun haben, die im Ohre selber liegt. Es ist dies eine Erscheinung, welche deutlich darauf hinweist, dass die Dämpfung der schwingenden Theile für tiefe Töne im Ohre nicht genügend stark und schnell ist, um einen so raschen Wechsel von Tönen ungestört zu Stande kommen zu lassen.

Ja diese Thatsache beweist weiter, dass es verschiedene Theile des Ohres sein müssen, welche durch verschieden

hohe Töne in Schwingung versetzt werden, und diese Töne empfinden. Man könnte nämlich daran denken, dass die schwingungsfähige Masse des ganzen Ohres, Trommelfell, Gehörknöchelchen und Labyrinthwasser zusammengenommen, schwingen könnte, und dass es von der Trägheit dieser Masse abhinge, wenn die Tonschwingungen im Ohre nicht gleich erlöschen. Aber eine solche Annahme würde nicht genügend sein, die besprochene Thatsache zu erklären. Wenn nämlich ein elastischer Körper durch einen Ton in Mitschwingung versetzt wird, so schwingt er mit in der Schwingungszahl des erregenden Tones; sowie der erregende Ton aufhört, klingt er aber aus in der Schwingungszahl seines eigenen Tones. Diese Thatsache, welche aus der Theorie folgt, lässt sich an Stimmgabeln mittelst des Vibrationsmikroskops ganz scharf erweisen.

Wenn nun das Ohr als ganzes System schwingt, und eines merklichen Nachschwingens fähig ist, muss es dies thun in seiner eigenen Schwingungszahl, welche ganz unabhängig ist von der Schwingungszahl des vorausgegangenen Tones, der diese Schwingungen etwa erregt hat. Daraus würde also folgen, dass erstens die Triller auf hohen und tiefen Tönen gleich schwierig sein müssten, und zweitens, dass die beiden Töne des Trillers nicht mit einander sich vermischen könnten, sondern dass jeder sich vermischen würde mit einem dritten Tone, der dem Ohre selbst angehört. Der Erfolg würde also unter diesen Umständen ein ganz anderer sein, als wir ihn wirklich beobachten.

Wenn nun auf dem A von 110 Schwingungen ein Triller mit zehn Anschlägen in der Secunde ausgeführt wird, so wird derselbe Ton nach je $\frac{1}{5}$ Secunde immer wieder angeschlagen. Wir dürfen wohl annehmen, dass der Triller nicht klar sein würde, wenn die Intensität des ausklingenden Tones nach $\frac{1}{5}$ Secunde nicht mindestens auf $\frac{1}{10}$ vermindert wäre. Daraus folgt, dass nach mindestens 22 Schwingungen die beim A mitschwingenden Theile des Ohres auf $\frac{1}{10}$ der früheren Tonstärke herabkommen müssen, wenn sie ausklingen, dass ihr Mitschwingen also nicht der ersten, wohl aber der zweiten, dritten oder einer

noch höheren Stufe unserer Tafel entsprechen kann. Dass die Stufe wenigstens keine sehr viel höhere sein kann, geht zunächst daraus hervor, dass die Triller und Läufe schon auf wenig tiefer liegenden Tönen anfangen, schwierig zu werden. Dasselbe werden später zu besprechende Beobachtungen über Schwebungen lehren. Wir werden im Ganzen annehmen können, dass die mitschwingenden Theile im Ohre etwa den Grad der Dämpfung zeigen, der der dritten Stufe unserer Tabelle entspricht, wo die Intensität des Mitschwingens bei $\frac{1}{2}$ Tonstufe Differenz nur noch $\frac{1}{10}$ von der bei vollem Einklange ist. Es kann hier natürlich von einer genauen Bestimmung nicht die Rede sein, aber es ist schon wichtig, dass wir uns wenigstens einen annähernden Begriff von dem Einflusse der Dämpfung auf das Mitschwingen im Ohre machen. Es ist dies von einflussreicher Bedeutung für die Verhältnisse der Consonanz. Wenn wir also im Folgenden davon sprechen werden, dass einzelne Theile des Ohres für einen bestimmten Ton mittönen, so ist es so zu verstehen, dass sie durch diesen Ton zwar am stärksten in Bewegung gesetzt werden, in schwächerem Grade aber doch auch durch die benachbarten, so dass auch bei der Differenz eines halben Tones ihr Mitschwingen wenigstens noch merklich ist.

Welche Theile im Ohre es nun sind, die bei den einzelnen Tönen mitschwingen, lässt sich allerdings nicht mit Sicherheit nachweisen. Für den Menschen und die Säugethiere können wir in dieser Beziehung vorläufig nur Vermuthungen aufstellen. Ihrer ganzen Construction nach erscheint die Schneckenscheidewand mit den auf ihr gelagerten Corti'schen Bögen am ehesten geeignet, selbständige Schwingungen auszuführen. Die Fähigkeit, lange Zeit ohne Unterstützung fortzuschwingen, brauchen wir ja auch nicht von ihnen zu verlangen.

Sollen diese Gebilde aber zur Unterscheidung von Tönen verschiedener Höhe dienen, und sollen Töne verschiedener Höhe aus allen Gegenden der Scala gleich gut percipirt werden, so ist es nöthig, dass die mit verschiedenen Nervenfasern verbundenen elastischen Gebilde in der Schnecke verschieden abgestimmt

seien, und ihre Eigentöne eine regelmässige Stufenfolge durch die ganze Länge der musikalischen Scala bilden.

Den neueren anatomischen Ermittlungen von V. Hensen und C. Hasse zufolge ist es wahrscheinlich die verschiedene Breite der Membrana basilaris der Schnecke, auf der diese Abstimmung beruht.

Was die Corti'schen Bögen auf der Grundmembran der Schnecke betrifft, so zeigen zunächst die Beobachtungen von Hasse, dass sie in der Schnecke der Vögel und Amphibien fehlen, während die übrigen wesentlichen Theile der Schnecke, namentlich die Membrana basilaris, die mit den Nervenenden in Verbindung stehenden haartragenden Zellen und die den Enden dieser Härchen gegenüber gestellte Corti'sche Membran auch dort vorhanden sind. Daraus wird nun allerdings sehr wahrscheinlich, dass die Corti'schen Bögen nur eine Nebenrolle in den Leistungen der Schnecke spielen. Man könnte den Nutzen der Corti'schen Bögen vielleicht darin suchen, dass sie als relativ feste Gebilde die Schwingungen der Grundmembran auf abgegrenzte enge Bezirke des oberen Theiles des relativ dicken Nervenwulstes besser übertragen, als dies durch unmittelbare Mittheilung der Schwingungen von der Grundmembran durch die weiche Masse dieses Wulstes hindurch geschehen würde. Ganz dicht von dem oberen Ende des Bogens nach aussen und mit ihm noch durch die steiferen Faserzüge der *Membrana reticularis* verbunden, stehen die härchentragenden Zellen des Nervenwulstes (siehe Figur auf S. 68 bei *c*). Bei den Vögeln dagegen bilden die härchentragenden Zellen eine dünne Schicht auf der Grundmembran, welche abgegrenzte Schwingungen derselben leicht aufnehmen wird, ohne sie allzu weit nach den Seiten hin mitzutheilen.

Dieser Ansicht gemäss würden es also in letzter Instanz die Corti'schen Bögen sein, welche, von der Grundmembran aus erschüttert, deren Schwingungen den Endorganen der Nervenleitung mittheilten. In diesem Sinne bitte ich es weiterhin zu verstehen, wenn von Schwingungen, Eigentönen, Abstimmung der Corti'schen

Bögen die Rede ist; es ist dann immer die Abstimmung, wie sie sie durch ihre Verbindung mit dem betreffenden Theile der Grundmembran erhalten, gemeint.

Nach Waldeyer sind etwa 4500 äussere Bogenfasern in der menschlichen Schnecke enthalten. Rechnen wir 300 auf die ausserhalb der in der Musik gebrauchten Grenzen liegenden Töne, deren Tonhöhe nur unvollkommen aufgefasst wird, so bleiben 4200 für die sieben Octaven der musikalischen Instrumente, d. h. 600 für jede Octave, 50 für jeden halben Ton, jedenfalls genug, um die Unterscheidung kleiner Theile eines halben Tones, so weit eine solche möglich ist, zu erklären. Nach Herrn W. Preyer's Untersuchungen können geübte Musiker in der zweigestrichenen Octave Unterschiede von 0,5 einer Schwingung in der Secunde sicher erkennen. Das wären 1000 unterscheidbare Tonstufen in der Octave zwischen 500 und 1000 Schwingungen für die Secunde. Gegen die Grenzen der Scala hin ist die Unterscheidungsfähigkeit eine geringere. Mit Berücksichtigung davon erscheinen die 4200 Corti'schen Bögen wohl als ausreichend, um diesen Grad von Feinheit der Unterscheidung herzustellen. Aber selbst wenn sich herausstellen sollte, dass eine viel grössere Zahl als 4200 Tonstufen in der ganzen Scala unterscheidbar wären, so läge darin kein Hinderniss für unsere Annahme. Denn wenn ein Ton angegeben wird, dessen Höhe zwischen der von zwei benachbarten Corti'schen Bögen liegt, so wird er beide in Mitschwingung versetzen, denjenigen aber stärker, dessen eigenem Tone er näher liegt. Wie kleine Abstufungen der Tonhöhe in dem Intervalle zweier Fasern wir noch werden unterscheiden können, wird also schliesslich nur abhängen von der Feinheit, mit welcher die Erregungsstärke der beiden entsprechenden Nervenfasern verglichen werden kann. Eben daher erklärt es sich, dass bei continuirlich steigender Höhe des äusseren Tones auch unsere Empfindung sich continuirlich verändert und nicht stufenweise springt, wie es der Fall sein müsste, wenn immer nur je ein Corti'scher Bogen in Mitschwingen versetzt würde.

Ziehen wir weiter die Folgerungen aus unserer Hypothese. Wird ein einfacher Ton dem Ohre zugeleitet, so müssen diejenigen Corti'schen Bögen, die mit ihm ganz oder nahehin im Einklang sind, stark erregt werden, alle anderen schwach oder gar nicht. Es wird also jeder einfache Ton von bestimmter Höhe nur durch gewisse Nervenfasern empfunden werden, und verschieden hohe Töne werden verschiedene Nervenfasern erregen. Wenn ein zusammengesetzter Klang oder ein Accord dem Ohre zugeleitet wird, so werden alle diejenigen elastischen Gebilde erregt werden, deren Tonhöhe den verschiedenen in der Klangmasse enthaltenen einzelnen Tönen entspricht, und bei gehörig gerichteter Aufmerksamkeit werden also auch alle die einzelnen Empfindungen der einzelnen einfachen Töne einzeln wahrgenommen werden können. Der Accord wird in seine einzelnen Klänge, der Klang in seine einzelnen harmonischen Töne zerlegt werden müssen.

Dadurch würde nun auch eine Erklärung dafür gewonnen sein, warum das Ohr die Luftbewegungen gerade in pendelartige Schwingungen zerlegt. Jedes einzelne Lufttheilchen kann zu jeder Zeit natürlich nur eine Bewegung ausführen. Dass wir eine solche Bewegung in der mathematischen Theorie als eine Summe von pendelartigen Schwingungen betrachteten, war zunächst eine willkürliche Fiction, zur Bequemlichkeit der Theorie eingeführt, ohne eine reelle Bedeutung. Eine solche haben wir für diese Zerlegung erst in der Betrachtung des Mitschwingens gefunden, da eine periodische Bewegung, die nicht pendelartig ist, Körper von verschiedener Tonhöhe, entsprechend den harmonischen Obertönen, zum Mittönen bringen kann. Und nun haben wir durch unsere Hypothese auch die Phänomene des Hörens auf solche des Mittönens zurückgeführt, und finden darin den Grund, warum die ursprünglich einfache periodische Bewegung der Luft eine Summe von verschiedenen Empfindungen hervorbringt und deshalb auch für die Wahrnehmung als zusammengesetzt erscheint.

Die Empfindung verschiedener Tonhöhen wäre hiernach also

eine Empfindung in verschiedenen Nervenfasern. Die Empfindung der Klangfarbe würde darauf beruhen, dass ein Klang ausser den seinem Grundtone entsprechenden Corti'schen Bögen noch eine Anzahl anderer in Bewegung setzte, also in mehreren verschiedenen Gruppen von Nervenfasern Empfindungen erregte.

In physiologischer Beziehung ist hier noch zu bemerken, dass durch diese Annahme die verschiedene Qualität der Gehörempfindungen nach Tonhöhe und Klangfarbe zurückgeführt wird auf die Verschiedenheit der Nervenfasern, welche in Erregung versetzt werden.

So werden auch die Verschiedenheiten der Qualität des Tones, nämlich Tonhöhe und Klangfarbe, zurückgeführt auf die Verschiedenheit der empfindenden Nervenfasern; für jede einzelne Nervenfaser bleiben nur die Unterschiede der Stärke der Erregung übrig.

Die Reizungsvorgänge innerhalb der Muskelnerven, durch deren Reizung die Muskeln zur Zusammenziehung bestimmt werden, sind der physiologischen Untersuchung mehr zugänglich gewesen, als die in den Sinnesnerven. Dort finden wir in der That nur den Unterschied stärkerer und schwächerer Erregung, keine qualitativen Unterschiede. Dort können wir nachweisen, dass im Zustande der Erregung die elektrisch wirksamen Theilchen der Nerven bestimmte Veränderungen erleiden, welche stets in gleicher Weise eintreten, durch welche Art von Reizmittel auch der Erregungszustand hervorgerufen sein mag. Genau dieselbe Veränderung tritt aber auch in den gereizten Empfindungsnerven ein, obgleich hier der Erfolg der Reizung eine Empfindung ist, dort eine Bewegung war, und wir sehen daraus, dass der Mechanismus des Reizungsvorganges in den Empfindungsnerven dem in den Bewegungsnerven durchaus ähnlich sein muss. Die beiden genannten Hypothesen führen nun in der That die Vorgänge in den Nerven der beiden vornehmsten Sinne des Menschen, trotz der scheinbar so verwickelten qualitativen Unterschiede der Empfindungen, auf dasselbe einfache Schema zurück, welches wir von den Bewegungsnerven kennen. Man hat die Nerven

vielfach nicht unpassend mit Telegraphendrähten verglichen. Ein solcher Draht leitet immer nur dieselbe Art elektrischen Stromes, der bald stärker, bald schwächer oder auch entgegengesetzt gerichtet sein kann, aber sonst keine qualitativen Unterschiede zeigt. Dennoch kann man, je nachdem man seine Enden mit verschiedenen Apparaten in Verbindung setzt, telegraphische Depeschen geben, Glocken läuten, Minen entzünden, Wasser zersetzen, Magnete bewegen, Eisen magnetisiren, Licht entwickeln u. s. w. Aehnlich in den Nerven. Der Zustand der Reizung, der in ihnen hervorgerufen werden kann und von ihnen fortgeleitet wird, ist, so weit er sich an der isolirten Nervenfasern erkennen lässt, überall derselbe, aber nach verschiedenen Stellen theils des Gehirns, theils der äusseren Theile des Körpers hingeleitet, bringt er Bewegungen hervor, Absonderungen von Drüsen, Ab- und Zunahme der Blutmenge, der Röthe und der Wärme einzelner Organe, dann wieder Lichtempfindungen, Gehörempfindungen u. s. w. Wenn jede qualitativ verschiedene Wirkung der Art in verschiedenartigen Organen hervorgebracht wird, zu denen auch gesonderte Nervenfasern hingehen müssen, so kann der Vorgang der Reizung in den einzelnen Fasern überall ganz derselbe sein, wie der elektrische Strom in den Telegraphendrähten immer derselbe ist, was für verschiedenartige Wirkungen er auch an den Enden hervorbringen möge. So lange wir dagegen annehmen, dass dieselbe Nervenfasern verschiedenartige Empfindungen leitet, würden auch verschiedene Arten des Reizungsvorganges in ihr vorhanden sein müssen, die wir bisher nachzuweisen noch nicht im Stande gewesen sind.

Die bis hierher vorgetragene Theorie bezieht sich zunächst nur auf die dauernde Empfindung, welche regelmässige andauernde periodische Schwingungen hervorbringen. Was nun die Wahrnehmung unregelmässiger Luftbewegungen, d. h. der Geräusche betrifft, so wird ein elastischer, zur Ausführung von Schwingungen geeigneter Apparat keiner zeitweilig auf ihn einwirkenden Kraft gegenüber in absoluter Ruhe bleiben können, und auch eine momentan oder in unregelmässiger Wiederholung

andringende Bewegung, wenn sie nur stark genug ist, wird ihn in Bewegung setzen. Der eigenthümliche Vorzug der Resonanz auf den Eigenton beruht nur eben darin, dass unverhältnissmässig schwache einzelne Anstösse, wenn sie in richtigem Rhythmus sich folgen, verhältnissmässig ausgiebige Bewegungen hervorzubringen im Stande sind. Momentane starke Anstösse dagegen, wie z. B. die durch einen elektrischen Funken hervorgebrachten, werden sämtliche Theile der Membrana basilaris in fast gleich starke Anfangsgeschwindigkeit versetzen können, wonach dann jeder dieser Theile in seiner eigenthümlichen Schwingungsperiode austönen wird. Dadurch würde eine gleichzeitige und wenn auch nicht gleich starke, doch gleichmässig sich abstufoende Erregung sämtlicher Schneckenerven entstehen können, die also nicht den Charakter einer bestimmten Tonhöhe haben würde. Selbst ein schwacher Eindruck auf so viele Nervenfasern wird wahrscheinlich eine deutlichere Wirkung haben, als jeder einzelne Eindruck für sich. Wir wissen wenigstens, dass schwache Helligkeitsunterschiede eher auf grossen Theilen des Sehfeldes wahrgenommen werden, als auf kleinen, und dass wir geringe Temperaturunterschiede eher bemerken, wenn wir den ganzen Arm in das warme Wasser eintauchen, als wenn wir nur einen Finger eintauchen.

So wäre also eine Wahrnehmung momentaner Stösse sehr wohl möglich durch die Schneckenerven, und zwar in der Weise, wie Geräusche empfunden werden, nämlich ohne ein besonderes merkliches Hervortreten einer bestimmten Tonhöhe.

Dauert der Druck der andringenden Luft auf das Trommelfell etwas länger, so wird dadurch schon die Bewegung in einzelnen Gegenden der Membrana basilaris begünstigt werden können gegen die in anderen Gegenden der Scala. Gewisse Tonhöhen werden vorzugsweise hervortreten. Man kann sich das so vorstellen, dass jeder Augenblick des Druckes als ein solcher betrachtet wird, der eine in Richtung und Stärke entsprechende, und dann abklingende Bewegung in jeder Saite der Membrana basilaris erregt, und dass alle die auf solche Weise in jeder Faser

erregten Bewegungen sich zu einander addiren, wobei sie sich nach Umständen verstärken oder schwächen werden. So würde ein gleichmässig anhaltender Druck die Excursion der schwingenden Masse steigern, wenn er während der ersten halben Schwingungsdauer derselben anhält, so lange also die erste positive Excursion dauert. Wenn er aber länger anhält, schwächt er die zuerst erregte Wirkung wieder. Schneller schwingende elastische Massen werden also durch einen solchen verhältnissmässig weniger erregt werden, als die, deren halbe Schwingungsdauer gleich oder grösser ist als die Dauer des Drucks. Dadurch wird ein solcher Eindruck schon eine gewisse, wenn auch schwach begrenzte Tonhöhe bekommen. Im Allgemeinen scheint die Intensität der Empfindung bei gleicher lebendiger Kraft der Bewegung nach der Höhe hin zuzunehmen, so dass immer der Eindruck der höchsten gleich stark erregten Fasern überwiegt.

Wenn wir die Hypothese festhalten, dass jede Nervenfasern des Ohrs in ihrer besonderen Tonhöhe empfindet, so würde dies darauf schliessen lassen, dass die schwingenden Theile des Ohrs, die diese Empfindungen der höchsten Töne auf die Nerven übertragen, viel weniger in ihrer Resonanz begrenzt sind, als die tieferen, das heisst also ihre einmal erregte Bewegung verhältnissmässig schnell verlieren, aber auch verhältnissmässig um so leichter in die zur Empfindung nöthige Bewegung zu versetzen sind. Letztere Annahme muss gemacht werden, weil für solche stark gedämpfte Theile die Möglichkeit der Addition vieler einzelner Anstösse sehr beschränkt wird, und es scheint mir dafür die Construction der Hörhärchen in den Otolithensäcken geeigneter zu sein, als die der kürzesten Fasern in der Membrana basilaris. Wenn diese Hypothese sich bestätigt, würden wir die Hörhärchen als die Vermittler der quiekenden, zischenden, schrillenden, knipsenden Hörempfindungen anzusehen haben, und die Art ihrer Reaction könnte nur gradweise von der der Schneckenfasern unterschieden sein.

Zweiter Theil.

Die Störungen des Zusammenklanges.

Die Combinationstöne.

Man hört die Combinationstöne, wenn zwei Töne verschiedener Höhe gleichzeitig kräftig angegeben werden. Sie unterscheiden sich von den Obertönen dadurch, dass diese bei einem angeschlagenen Tone entstehen, die Combinationstöne aber nur bei zwei Tönen. Die Combinationstöne theilt man in zwei Classen ein. Die erste Classe: Differenztöne (von Organist Sorge und Tartini 1740 entdeckt) entstehen aus der Differenz von den Schwingungszahlen zweier Töne. Die zweite Classe bilden die Summationstöne (von Helmholtz entdeckt); sie entstehen aus der Summe der Schwingungszahlen zweier Töne. Sowohl der Zusammenklang von primären Tönen, wie von Obertönen kann Combinationstöne geben. Am leichtesten sind die Differenztöne zu hören, und zwar wenn die beiden primären Töne um weniger als eine Octave von einander abstehen. In dem Falle ist der Differenzton tiefer als beide primären Töne. Die einfache Tabelle der Differenztöne ist folgende:

Intervalle	Schwingungsverhältniss	Differenz	Der Combinationston ist tiefer als der tiefere primäre Ton um
Octave	1 : 2	1	1 : 1 = Einklang
Quinte	2 : 3	1	1 : 2 = Octave
Quarte	3 : 4	1	1 : 3 (1 : 2 : 3) = Duodecime
Grosse Terz . . .	4 : 5	1	1 : 4 = Doppel-Octave
Kleine Terz . . .	5 : 6	1	1 : 5 (1 : 4 : 5) = 2 Octaven und grosse Terz
Grosse Sexte . . .	3 : 5	2	2 : 3 = Quinte
Kleine Sexte . . .	5 : 8	3	3 : 5 = Grosse Sexte

oder in Noten, wobei die primären Töne durch halbe Noten und die Combinationstöne durch Viertel angegeben sind:



Die primären Töne können mit dem Combinationstone wieder neue Combinationstöne und diese wieder unter sich neue bilden, so dass man Combinationstöne erster, zweiter und dritter Ordnung unterscheidet, z. B. der Combinationston einer kleinen Sexte ist:

	von e' und g und c'' „ g		$5 : 3 = 2 = c$ $8 : 3 = 5 = e'$
Combinationston I. Ord.			Combinationstone II. Ord.

	$c'' : c = 4 : 1 = 3 = g'$ $e' : c = 5 : 2 = 3 = g$ $g : e' = 3 : 5 = 2 = c$ $g : c = 3 : 2 = 1 = C$
Combinationstone III. Ord.	

Es entstehen so viel Combinationstöne, bis die letzte Ordnung keine neuen Combinationstöne mehr giebt. Die Summationstöne sind naturgemäss weniger hörbar, da sie stets höher sind, als ihre primären Töne. Es kommen fast nur solche zur Wahrnehmung, deren Schwingungszahlen die Summe der Schwingungen der primären Töne bilden, z. B.:

- Octave . . . $c : c' = 1 : 2 = 3 = g'$,
- Quinte . . . $c : g = 2 : 3 = 5 = e'$,
- Quarte . . . $c : f = 3 : 4 = 7 = es'$ (unrein),
- Grosse Terz $c : e = 4 : 5 = 9 = d'$,

Kleine Terz. $e : g = 5 : 6 = 11 = f\text{-}f\text{is}$ (unrein),

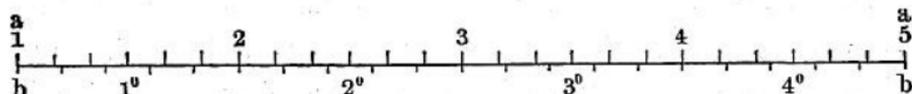
Grosse Sexte $c : a = 3 : 5 = 8 = f'$,

Kleine Sexte $e : c = 5 : 8 = 13 = as\text{-}a$ (unrein).

Sie bilden meist unharmonische Intervalle mit ihren primären Tönen; es ist also gut, dass die Summationstöne so wenig hörbar sind. Ueber die Einwirkung der Combinationstöne auf die Accorde siehe Seite 96.

Die Schwebungen.

Unter Schwebungen versteht man die Tonstösse, welche beim Zusammenklange zweier nicht gleich hohen Töne entstehen. Graphisch dargestellt ist der Vorgang folgender:



Der Ton $a\text{-}a$ macht 24 Schwingungen in derselben Zeit, wenn $b\text{-}b$ 20 Schwingungen macht. Bei 1, 2, 3, 4, 5 treffen die Schwingungen zusammen, verstärken sich also. Bei den anderen Punkten fallen sie in einander und schwächen sich gegenseitig, und zwar bei 1° , 2° , 3° , 4° am meisten. Diese Punkte bilden die Mitte von 1, 2, 3, 4, 5, so dass grösste Tonverstärkung und Tonschwächung regelmässig wiederkehren. Diese Wiederkehr nennen wir Schwebungen.

Am schönsten treten die Schwebungen hervor bei den Tönen von Stimmgabeln und gedackten Pfeifen, weil hier der Ton in den Pausen (stärkste Tonschwäche) wirklich ganz verschwindet.

Bei $a\text{-}a = 24$ Schwingungen und $b\text{-}b = 20$ Schwingungen entstehen 4 Schwebungen 2, 3, 4, 5, also so viel, wie der Unterschied der Schwingungszahlen beträgt. Schwingt ein Ton zehnmal und ein anderer elfmal in der Secunde, so entsteht 1 Schwebung, bei 20 und 22 Schwingungen = 2 Schwebungen und sofort. Daraus entsteht das wichtige Gesetz:

„Die Zahl der Schwebungen in der Secunde, welche beim Zusammenklange zweier Töne auftreten, ist gleich dem Unterschiede der Schwingungszahlen der beiden

Töne.“ Die Schwebungen haben bis zu 30 bis 40 in der Secunde etwas Rauhes und Unangenehmes. Bei schnellerer Bewegung verlieren sie wieder an Rauigkeit, bis wir sie gar nicht mehr wahrnehmen. Je kleiner ein Intervall, desto grösser und unangenehmer die Schwebungen. In den tieferen Octaven sind die Schwebungen rauher, weil sie in dieser Lage grösser sind, als in den höheren Octaven. Je grösser ein Intervall, desto tiefer kann man dasselbe legen, ohne rauhe Schwebungen zu verursachen. In den Mittel-lagen geben meist nur Intervalle, welche kleiner als ein Ganzton sind, unangenehme Schwebungen. Je nach der Tiefe, Stärke und Dauer der Töne können die Schwebungen so langsam eintreten, dass sie z. B. bei einer in lang getragenen Accorden sich hinziehenden Musik etwas sehr Feierliches haben, oder auch einen etwas bewegteren, gleichsam zitternden oder erschütterten Ausdruck zeigen. Man sucht sogar die langsamen Schwebungen, infolge des nicht unangenehmen Eindruckes auf das Ohr, durch Tremuliren der menschlichen Stimme und der Geigen nachzuahmen. Gleichnamige aber unreine Intervalle klingen in den höheren Octaven und Lagen unangenehmer aus folgendem Grunde: Bringen zwei unreine Combinationstöne = 1 Schwebung hervor, so entstehen bei $2c = 2$, bei $c' = 4$, bei $c'' = 8$, bei $c''' = 16$ Schwebungen, macht also ein bedeutend unangenehmeres Gefühl, als bei Combinationstönen. Anders ausgedrückt hört man in den höheren Lagen schärfer die Unreinheit, als bei den gleichnamigen tiefen Tönen. Allerdings bezieht sich dieser Beweis nur auf eine Unreinheit; bei geringen und grösseren Intervallen ist die Anzahl der Schwebungen bei den höheren Tönen so gross, dass wir sie nicht mehr wahrnehmen. Helmholtz erklärt das letztere nach der analogen Beschaffenheit des Auges, wonach ein zu starker Lichtstrahl das Auge unempfindlich macht für einige Zeit, um anderes zu sehen.

Nach dem bis jetzt Gesagten geben also gleich grosse Intervalle keineswegs in allen Gegenden der Scala gleich deutliche Schwebungen. Die Schwebungen innerhalb eines halben Tonunterschiedes erhalten sich bis zur vierten gestrichenen Octave;

die Schwingungen des ganzen Tonunterschiedes, welche in tiefer Lage sehr deutlich und kräftig sind, hört man nicht mehr an der Grenze der dritten gestrichenen Octave. Die grosse und kleine Terz dagegen, welche in der Mitte der Scala als Consonanten betrachtet werden dürfen, klingen in den tiefen Octaven sehr rauh, da uns bei den letzten die Schwebungen zu Gehör kommen. Die Rauhigkeit des Zusammenklanges hängt ab von der Zahl der Schwebungen, und zwar von letzteren bis zu 30 bis 40 in der Secunde. Helmholtz geht so weit, dass er behauptet: Die Schwebungen sind die Ursache der Disharmonie.

Consonanz und Dissonanz.

Schwebungen der Obertöne.

Wenn zwei Töne zusammenklingen, so entstehen nicht allein durch diese die Schwebungen, sondern auch durch die Obertöne.

Z. B.  der Oberton *gis* verursacht mit dem Ober-

ton *a* Schwebungen. Bei noch weiteren Intervallen sind es die Obertöne höherer Ordnung, welche zu Schwebungen Anlass geben

können, z. B. , hier entstehen durch den Primärtone *c*

und den zweiten Oberton *h* Schwebungen. Da man auch annehmen kann, dass bei einem einzelnen Klang dessen Obertöne höherer Ordnung wegen ihrer nahen Lage Schwebungen unter sich verursachen, so folgt hieraus der äusserst wichtige Satz:

1. Bei einem einzigen Klange hängt das Maass der Rauhigkeit von der Menge naheliegender und deshalb Schwebungen bildender Obertöne ab. Je tiefer also ein Ton, desto rauer wird er, da wir die Schwebungen der Obertöne vernehmen können resp. percipiren.

2. Die Rauhigkeit oder Reinheit des Zusammenklangs zweier Primärtöne hat in den Schwebungen ihrer Partialtöne ihren Grund.

Daraus folgt der weittragende Satz: Intervalle, deren Primärtöne wie Obertöne entweder zusammenfallen, oder so weit aus

einander liegen, dass sie keine oder schwache Schwebungen verursachen, müssen den grössten Wohlklang besitzen, während die am übelsten klingen, welche am meisten Schwebungen hervorbringen. Das erstere heisst Consonanz, das zweite Dissonanz. Die Auffindung dieses Fundamentalsatzes ist eines der grössten Verdienste von Helmholtz. Untersucht man nun danach z. B. die Intervalle von *c*, so ergibt sich Folgendes ¹⁾:

— = coincidirende (zusammenfallende); = ganzstufige;
 ~~~~~ = halbstufige Intervalle

Consonanzen  
 I. Ordn.:

|           |     |     |     |         |         |
|-----------|-----|-----|-----|---------|---------|
|           | — 6 | — 3 | — 2 | — 2     | — 1     |
| Prime     |     |     |     | ----- 2 | ----- 3 |
| Octave    |     |     |     |         | ~~~~~ 1 |
| Duodecime |     |     |     |         |         |
| Quinte    |     |     |     |         |         |
| Quarte?   |     |     |     |         |         |

Ober-töne  
 Prim-Ton

1 : 1    1 : 2    1 : 3    2 : 3    3 : 4

Consonanzen  
 II. Ordn.:

|           |         |         |         |         |
|-----------|---------|---------|---------|---------|
|           | — 1     | — 1     | — 1     | ~~~~~ 3 |
| gr. Sexte | ----- 2 | ~~~~~ 2 | ----- 1 |         |
| gr. Terz  |         |         | ----- 1 |         |
| kl. Terz  |         |         | ~~~~~ 1 |         |
| kl. Sexte |         |         |         |         |

3 : 5    4 : 5    5 : 6    5 : 8

Dissonanzen:

|             |         |         |         |         |         |
|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|
|             | ----- 2 | ----- 6 | ----- 1 | ----- 1 | ----- 1 |
| kl. Septime | ~~~~~ 1 | ~~~~~ 1 | ~~~~~ 3 | ----- 5 | ~~~~~ 3 |
| gr. Secunde |         |         |         |         |         |
| gr. Septime |         |         |         |         |         |
| kl. Secunde |         |         |         |         |         |
| über Quart  |         |         |         |         |         |
| oder verm.  |         |         |         |         |         |
| Quinte      |         |         |         |         |         |

5 : 9    8 : 9    8 : 15    15 : 16    32 : 45\*)

\*) Oder in angenäherten Verhältnissen: 5 : 7, 11 : 15, 12 : 17, 15 : 21.

Danach ist eine Consonanz um so vollkommener, je mehr Obertöne zusammenfallen (coincidiren).

<sup>1)</sup> Aus Zellner's Vorträgen über Akustik. Wien, Hartleben.

Der Einklang ist am vollkommensten, da alle Töne zusammenfallen, also keine Schwebungen geben. Die Octave und Duodecime sind ebenso vollkommene Consonanzen, denn bei ersterer fallen drei, bei letzterer zwar nur zwei Obertöne zusammen, bei keinem jedoch bilden die übrigen Obertöne mit einander Intervalle, welche enger wären als eine Terz.

Die Quinte hat zwei coincidirende und zwei ganzstufige Intervalle, deren Schwebungen geringfügig sind.

Bei der Quarte verursacht das halbstufige Intervall schon merkliche Schwebungen. Die Meinung ist noch unentschieden, ob die Quarte Consonanz oder Dissonanz ist. Sie bildet keinen Bestandtheil des tonischen Dreiklangs, eignet sich nicht zu Schlüssen und führt gleichsam aus der Tonart hinaus. Dagegen charakterisirt sie die beiden Umstellungen des Dreiklangs, ergänzt die Quinte zur Octave, und ist mit den vorhergenannten Intervallen beiden Tongeschlechtern gemeinsam, während Terzen und Sexten nur einem Tongeschlecht angehören. Letztere können deshalb nur den zweiten Rang unter den Consonanzen einnehmen. Die Dissonanzen erklären sich aus den Schwebungen der halbstufigen Intervalle. Allerdings hat z. B. die kleine Septime weniger halbstufige Intervalle als die kleine Sexte; letztere klingt auch entschieden rauher wie erstere, aber die kleine Sexte gehört nun einmal zu dem von unserem Gefühl geschaffenen Tongeschlecht, nicht aber die Septime im Mollgeschlecht. Die Zugehörigkeit der Septime wird noch näher ergründet in dem Abschnitte: Die consonanten Accorde.

### Schwebungen der Combinationstöne.

Ausser den Obertönen können auch die Combinationstöne beim Zusammenklang zweier Töne Schwebungen erzeugen. Hauptsächlich ist es der erste Differenzton, welcher dabei in Betracht kommt. Schwebungen bei Combinationstönen höherer Ordnung können nur bei einfachen Tönen beobachtet werden.

Zwei unreine Töne sollen sich verhalten wie 200:301 (statt

200:300), der Combinationston wäre dann 101. Der erste Theil-  
 ton von 200 wäre 400 und entstände dann zwischen diesem ersten  
 Differenzton und dem Primärton 301 der Combinationston = 99.  
 Den Combinationston 101 und 99 verursachen zwei Schwebungen.  
 Der zweite Oberton von dem Primärton 200 = 600 macht mit  
 dem ersten Oberton von dem Primärton 301 = 602 = zwei  
 Schwebungen. Die Combinationstöne geben also ebenso viele  
 Schwebungen wie die ersten Obertöne. Danach können die  
 Combinationstöne bei zusammengesetzten Klängen nur dann  
 Schwebungen verursachen, wenn die Obertöne es thun, denn ist  
 die Quinte z. B. 200:300, also rein, dann fallen die ersten Ober-  
 töne, mithin auch die Combinationstöne, zusammen.

Bei einfachen Tönen in gedackten Pfeifen oder Stimmgabeln  
 ist es wesentlich anders. Da hier die Obertöne fehlen, entstehen  
 nur dann Schwebungen, wenn die Intervalle nahe bei einander  
 sind. Liegen sie weiter, dann entstehen nur mit Hülfe der Com-  
 binationstöne Schwebungen. Bei der Octave z. B. genügt der  
 erste Differenzton. Wenn der Grundton 100 Schwingungen  
 macht, während die unreine Octave sich in 201 Schwingungen  
 bewegt, so entsteht der erste Differenzton mit  $201 - 100 = 101$   
 Schwingungen, so dass zwischen diesem und dem Grundton  
 $101 - 100 = 1$  Schwebung verursacht wird. Helmholtz weist  
 nun weiter nach, dass bei Klängen mit niederen Obertönen  
 statt dieser die Combinationstöne zur Quelle von Schwebungen  
 und Rauigkeit des Zusammenklanges werden, weil die niederen  
 Obertöne dazu nicht ausreichen.

### Dissonanz verschiedener Klangfarben.

Es ist nachgewiesen, dass die Schwebungen der unreinen  
 Intervalle immer stärker und schärfer werden, je zahlreicher und  
 stärker die Obertöne in den Klängen auftreten. Aus demselben  
 Grunde wird dann auch der Unterschied der Dissonanzen von  
 den Consonanzen und der unreinen Consonanzen von den reinen  
 immer entschiedener und schärfer ausgesprochen. Klingen die

hohen Obertöne verhältnissmässig zu kräftig (in den scharfen und schmetternden Klangfarben), dann wird jeder einzelne Ton schon durch die Dissonanz seiner Obertöne intermittirende Tonempfindungen veranlassen, die die Schärfe des Zusammenklangs noch erhöhen. Beobachten wir nun diesbezüglich die Hauptinstrumente:

Die gedackten Orgelpfeifen sind sehr weich, sanft, dumpf und bilden fast einfache Töne. Nach diesen letzten geben bloss die Secunden eine durch starke Schwebungen charakterisirte Dissonanz. Unreine Octaven, reine Septimen, Nonen geben Schwebungen des ersten Combinationstones, welche schon schwächer sind, als die der Obertöne bei Klängen mit Obertönen. Schwebungen von verstimmtten Quinten und Quarten sind fast gar nicht zu hören, da hierzu höhere Combinationstöne erforderlich sind. Dissonanzen bilden also einen zu geringen Contrast zu den Consonanzen, folglich verliert die Harmonie allen Charakter. Polyphone Compositionen mit den herbsten, kühnsten Dissonanzen klingen auf gedacktem Register fast gleichmässig weich, aber auch unbestimmt, langweilig, energielos.

Die Flöten und Flötenregister haben als offene Pfeifen die Octave zum Grundton und bei starkem Blasen auch die Duodecime. Deshalb werden die Schwebungen, also der Wohlklang, schon schärfer durch die Obertöne begrenzt, Terzen und Sexten aber nur durch Combinationstöne. Der Klang bleibt deshalb auch noch weich und anmuthig. In der antiken Musik spielte die Flöte eine viel grössere Rolle. Die classische Kunst hielt nämlich alles den Sinnen direct Unangenehme aus ihren Gebilden fern, während die heutige Kunst reichere Ausdrucksmittel verlangt, und deshalb auch bis zu einem gewissen Grade das dem sinnlichen Wohlgefallen an sich Widerstreitende in ihren Kreis aufnimmt.

Die Principalregister geben die niederen Obertöne deutlich hörbar, die weiteren bis zum dritten, die engeren bis zum sechsten Partialton. Die Orgel kann danach ihre Schärfe und Weichheit ihrer Register durch Hinzufügung oder Weglassung

anderer Register bestimmen, einer der ersten Vorzüge der Orgel.

Die Klänge der menschlichen Stimme sind im Ganzen von niederen Obertönen in mässiger Stärke begleitet, besonders bei Knabenstimmen, abgesehen von den Verstärkungen, welche die charakteristische Resonanz jedes Vocals einzelnen Obertönen angedeihen lässt. Deshalb ist die menschliche Stimme zu Accordverbindungen gut geeignet, so dass sich sogar die ganze polyphone Musik und das System der Harmonie hieran entwickelt hat. Das Gehör der meisten Sänger wird nur leider durch die begleitenden temperirten Instrumente verdorben, so dass nur selten in reinen Intervallen gesungen wird.

Reicher an Obertönen und deshalb von schärferem Klange sind die Streichinstrumente. Bratsche und Bass haben relativ stärkere Obertöne als Violine und Cello, daher erstere magere Töne aufweisen. Da der Unterschied der Consonanz und Dissonanz infolge der Obertöne stark ausgesprochen ist, wird das Gefühl für die Reinheit der Intervalle sehr sicher. Andererseits werden, wegen der Schärfe der Klänge, weiche gesangreiche Melodien im Orchester mehr an die Flöte und Clarinette abgegeben. Schwebungen hört man bei Streichinstrumenten weniger, da das Anhaken und Kratzen des Bogens die Entstehung der Schwebungen stört.

Beim Clavier haben die tieferen Octaven mehr hörbare Obertöne als die oberen. Namentlich ist der erste oder zweite Partialton oft ebenso stark wie der Grundton. Daraus folgt, dass die Septimen und Nonen fast ebenso scharf ausfallen wie die Secunden. Da der vierte, fünfte und sechste Partialton weniger hörbar ist, werden auch die Terzen bezüglich der Schwebungen weniger begrenzt, und dadurch die ungenauen Terzen in der temporären Stimmung erträglicher gemacht. Da der Clavier-ton sofort an Stärke abnimmt, so tritt die Dissonanz nicht so hervor, wie bei lang angehaltenen Tönen, daher die grösseren Dissonanzen in der Claviermusik wie bei Orgel und Harmonium. Die Instrumentenmacher legen, geleitet vom geübten Ohr, die

Anschlagstelle auf den siebenten Partialton, ohne zu wissen, dass der Grund in der Coincidenz der ersten sechs Partialtöne mit den consonanten Intervallen liegt; die Octave, Quinte und Quarte coincidiren durch relativ starke, die grosse Sexte und Terz durch schwache, die kleine Terz durch die schwächsten Obertöne. Der siebente Ton fehlt, da er zu viel Dissonanzen und Schwebungen verursacht.

Legt man bei den hohen Octaven die Hämmer an das Ende, dann werden die hohen Obertöne hervorgetrieben und der Discant in Folge dessen zu scharf.

Bei den Blasinstrumenten zeichnet sich die Clarinette und das Horn durch weichere Klangfarbe aus. Bei der Clarinette fehlen die geraden Obertöne, daher die Consonanzen mehr von Combinationstönen begrenzt werden und deshalb der Klang weicher erscheint.

#### Von den Accorden.

Zusammenklänge von mehr als zwei Tönen heissen Accorde. Ein Accord ist consonant, wenn jeder Ton desselben mit jedem anderen consonant ist. Da uns die consonanten Intervalle bekannt sind (S. 90), so lässt sich die Consonanz der Accorde leicht daraus berechnen. Innerhalb einer Octave sind folgende Dreiklänge consonant:

*ceg — cesg — cfa — cfas — cesas — cea.*

Die beiden ersten Dreiklänge werden als fundamentale betrachtet, von denen alle anderen abgeleitet werden können, insofern man sie als Sext- oder Quartsextaccorde ansieht. Eine Ausnahme bildet der Accord *ceas*, dessen Töne unter sich vollkommene Consonanten bilden (wenigstens auf dem Clavier). Obgleich der Grund nur in dem Unterschied von *gis* und *as* zu suchen ist, bleibt dieser herbe Dissonanzaccord doch als solcher räthselhaft, oder besser gesagt, der Unterschied von *gis* und *as*, der auf dem Clavier und der Orgel ganz wegfällt, entspricht nicht, der herben Dissonanz dieses aus Consonanzen gebildeten Accordes. Anderseits bildet er wieder den Beweis dafür, wie doch auch selbst in

der ungenauen Stimmung des Claviers der ursprüngliche Sinn der Intervalle sich geltend macht und das Urtheil des Ohres bestimmt.

Je nach dem Grade der Vollkommenheit des Intervalls ist auch der Accord wohlklingend oder nicht. So ist die Quartsextanlage des Duraccordes wohllautender als die Grundlage und diese mehr als die Sextanlage, weil die Quarte eine vollkommene Consonanz ist als die Terz. Da der Dur- und Molldreiklang gleichwerthige Consonanzen haben, müssten die beiden auch im Klange von gleicher Güte sein, der Wohlklang des Mollaccordes ist aber merklich geringer als der des Duraccordes, und zwar liegt der Grund in den Combinationstönen. Die Feststellung derselben für die beiden Accorde ist folgende: Wir beschränken uns auf die Combinationstöne erster Ordnung, welche die Grundtöne und ihre ersten Obertöne ergeben. Grundtöne sind in halben Noten, Combinationstöne der Grundtöne in Viertelnoten, die Combinationstöne von Grundtönen und ersten Obertönen in Achtel- und Sechzehntelnoten dargestellt.



Während also im Durdreiklang die Grundtöne durch die Combinationstöne verstärkt werden, stören einige von ihnen den Mollaccord. Wären diese Töne stark genug, so würde der Mollaccord geradezu dissonant. So wie sie sind, drücken sie dem-

selben einen unruhigen und unentschiedenen Charakter auf. Was wir jetzt wissenschaftlich begründen können, mag den früheren Meistern bloss im Gefühl gelegen haben, insofern Bach, Händel, Mozart etc. ihre Tonstücke in Moll fast alle mit dem Duraccord schliessen liessen oder ohne Terz, da ihnen der Mollaccord nicht den beruhigenden Abschluss gab wie der Duraccord.

Schlagen wir auf dem Clavier eine kleine Terz oder eine Sexte an, so werden wir stets einen Durcharakter herausfühlen und nie einen Mollcharakter. Der Grund liegt in dem Hauptcombinationston, der mit den genannten Intervallen den fehlenden Durdreiklangston ersetzt.

Wenn man einen Ton eines consonanten Accordes eine Octave oder mehrere Octaven höher oder tiefer legt, so nennt man das eine Umlagerung. Bei solcher Umlagerung können nun Combinationstöne entstehen, die nicht mit dem Grundaccord consoniren, während in der engen Lage nur consonante sich bilden. Z. B.

Manche Intervalle verbessern sich auch im Klang durch Erweiterung.

### Rückblick.

Die Untersuchungen, die wir bis jetzt über die Töne und ihre Verhältnisse angestellt, waren rein naturwissenschaftlicher Natur. Die akustischen Phänomene der Obertöne und Combinationstöne waren wohl früher bekannt, aber ihre Bedeutung nicht tief genug erfasst. Erst Helmholtz hat gezeigt:

1. Dass mit wenigen Ausnahmen die Klänge aller musikalischen Instrumente von Obertönen begleitet sind.
2. Die Klangfarben werden zum grossen Theile durch die Mitschwingung und Zahl der Obertöne bedingt.

3. Die Schwebungen sind die Ursache der Dissonanzen. Zwei consonirende Töne fließen in ruhigem Flusse neben einander hin, ohne sich gegenseitig zu stören, dissonirende zerschneiden sich in eine Reihe einzelner Tonstöße. Daher der Satz:

4. Consonanz ist eine continuirliche, Dissonanz eine intermittirende Tonempfindung. Diesen wissenschaftlich begründeten Satz kannten schon die Alten. So sagt Euklides: Consonanz ist die Mischung zweier Töne, eines höheren und tieferen. Dissonanz aber ist im Gegentheil die Unfähigkeit zweier Töne, sich zu mischen, so dass sie für das Gehör rauh werden.

5. Die Analyse der Klangmasse führt genau zu denselben Unterschieden consonanter und dissonanter Accorde und Intervalle, wie sie von der musikalischen Harmonielehre aufgestellt werden.

6. Obgleich nach Satz 3. der Unterschied zwischen Consonanz und Dissonanz nicht scharf begrenzt werden kann, wie es aber anderseits der Musiker thut, muss doch das historische Factum zugegeben werden, dass bis in unser Jahrhundert hinein die consonanten und dissonanten Intervalle nie scharf begrenzt gewesen sind, dass also hiernach der Grund zu ersterem nicht in der Natur der Intervalle, sondern in der Construction des ganzen Tonsystems liegt (welches letztere wir im nächsten Abschnitte näher kennen lernen werden).

7. Die Beziehungen der Consonanzen zu den Verhältnissen der kleinen ganzen Zahlen sind begründet in der Fähigkeit des Ohres, zusammengesetzte Klänge in Theilklänge zu zerlegen, resp. die letzteren zu percipiren oder zu appercipiren. Fallen nun die Obertöne in genügender Anzahl zusammen, dann empfinden wir die Klänge als Consonanz (S. 90). Das Verhältniss der ganzen Zahlen zu den Consonanzen ist im Alterthum und Mittelalter die Grundlage ausschweifender, phantastischer Speculationen gewesen. „Alles ist Zahl und Harmonie“, war der charakteristische Hauptsatz der pythagoräischen Lehre. Dieselben Zahlenverhältnisse, welche zwischen den sieben Tönen der diatonischen Leiter bestanden, glaubte man in den Abständen der Weltkörper von dem

Centralfeuer wiederzufinden. Daher die Harmonie der Sphären, welche Pythagoras allein unter allen Menschen, wie seine Schüler behaupteten, gehört haben sollte. Wie oben erwähnt, haben vor Helmholtz schon die Mathematiker und Musiker Euler, Rameau und d'Alembert sich in ähnlicher Weise über die Ursache der Consonanz geäußert.

### Dritter Theil.

## Die Verwandtschaft der Klänge.

---

### Die verschiedenen Principien des musikalischen Stils in der Entwicklung der Musik.

Die rein naturwissenschaftlichen Untersuchungen auf dem Gebiete des Klanges, der musikalisch brauchbaren Töne, der Accorde, der Intervalle der Tonleiter, der Consonanzen und Dissonanzen, geschahen bis jetzt ohne alle Rücksicht auf ästhetische Schönheit, auf künstlerische Gegensätze und Ausdrucksmittel. Die nun ästhetischen, zum Theil historischen Untersuchungen und die Begründung der elementaren Regeln der Musik sind die Aufgaben der dritten Abtheilung. Helmholtz leitet diese mit der wichtigen Behauptung ein: „Das System der Tonleitern, der Tonarten und deren Harmoniegewebe beruht nicht bloss auf unveränderlichen Naturgesetzen, sondern es ist zum Theil auch die Consequenz ästhetischer Principien, die mit fortschreitender Entwicklung der Menschheit einem Wechsel unterworfen gewesen sind und ferner noch sein werden.“ Dieser Satz hat sehr viele Widersacher gefunden, ist aber bis jetzt nicht erschöpfend widerlegt worden. Die Richtigkeit desselben wird in erster Linie bewiesen durch die drei historischen Hauptperioden der Entwicklung der Musik:

1. Die homophone oder einstimmige Musik des Alterthums, an welche sich auch die jetzt bestehende Musik der orientalischen und asiatischen Völker anschliesst.

2. Die polyphone Musik des Mittelalters, aber noch ohne Rücksicht auf die selbständige musikalische Bedeutung der Zu-

sammenklänge, vom 10. bis in das 17. Jahrhundert reichend, wo sie dann übergeht in

3. Die harmonische oder moderne Musik, charakterisirt durch die selbständige Bedeutung, welche die Harmonie als solche gewinnt. Ihre Ursprünge fallen in das 16. Jahrhundert.

### Die homophone Musik.

Ursprünglich bei allen Völkern, finden wir die einstimmige Musik nur noch bei den Chinesen, Indern, Arabern und Türken. Auch gilt als festgestellt, dass die Musik der hellenischen Blüthezeit meist einstimmig war. Da die einstimmige Musik sehr arm an Formen und Veränderungen, konnte natürlich von der Entwicklung grösserer Kunstformen keine Rede sein, und so bleibt denn jegliche Musik der genannten Völker auf kurze Lieder oder Tanzstücke beschränkt. Allerdings wurden grössere Dichtungen, wie Tragödien und epische Gesänge, singend declamirt, wovon wir heute noch Reste im jüdischen Gottesdienst beim Gesang des Thoratextes und in den liturgischen Recitationen der römisch-katholischen Priester finden. Auch das in früheren Opern und heute nur noch selten angewandte „Recitativ“ entsprach dem Bestreben, den Sprechgesang wieder herzustellen. Bei solchen Kunstwerken war die Musik natürlich ganz unselbständig, und dem entsprechend konnte die Ausbildung des musikalischen Systems nur eine mangelhafte sein. So erscheinen uns die Stufenleitern fast unbegreiflich und fremdartig. Die neuere Musik steht in ihren harmonischen Folgen in steter Beziehung zur Tonica, welches der gelehrte Musiker Fétis als „Princip der Tonalität“ bezeichnete. In den griechischen Schriften ist, mit Ausnahme einer Andeutung des Aristoteles, nichts von der Existenz einer Tonica bemerkt. Selbst heute ist diese bei den verschiedenen Nationen in sehr verschiedenem Grade entwickelt, am wenigsten bei den orientalischen Völkern. Interessant ist es, dass die altgriechische Musik nach bezüglichen Untersuchungen auf der Dominante zu endigen schien, insofern dieses analog mit der Betonung beim Sprechen ist. Bei einem bejahenden Satze fällt

der Ton auf die Quinte, z. B. von *c* nach *G*, und bei einem Fragesatze steigt der Ton in die Quinte, z. B. von *c* nach *g*. Ebenso fallen die meisten modernen Recitative in die Quinte wie sich der Leser wohl erinnern wird. Bemerkenswerther ist die Tonalität schon bei den altchristlichen Kirchentonarten, worüber später noch gesprochen wird.

### Die polyphone Musik.

Die ersten Anzeichen derselben sind das „Organum“ oder die Diaphonie des flandrischen Mönches Hucbald im Jahre 930, wonach mehrere Stimmen sich in Quinten oder Quarten parallel bewegten, für unser Ohr eine schaurige Musik; O. Paul behauptet allerdings, dass es sich im Organum nicht um gleichzeitiges Singen der Stimmen gehandelt habe (?), sondern um eine in die Quinte oder Quarte transponirte Wiederholung der Melodie. So wäre Hucbald jedenfalls der Bahnbrecher des Fugen- und Sonaten-principis gewesen. Aus der Entstehung des „Discantus“, wonach zwei beliebige Melodien durch kleine Veränderungen so einander angepasst wurden, dass sie zusammen klangen, ist die polyphone Musik jedenfalls hervorgewachsen. Diese Vereinigung der Stimmen, gehoben durch reiche Rhythmik, Melodiebewegung durch gegensätzliche musikalische Phrasen, kanonische Nachahmungen, entwickelte sich vom 12. bis 15. Jahrhundert zu einem höchst künstlichen System, namentlich bei den niederländischen Componisten, die freilich oft mehr Berechnung als Geschmack in ihren Compositionen entwickelten.

Das eigenthümlichste Erzeugniss dieser Art polyphoner Musik sind die Madrigale (weltliche Gesänge oder Lieder). Man findet darin die einfachsten Lieder als strenge Kanons oder kanonische Wiederholungen componirt, deren Inhalt gar nicht für eine so schwerfällige Art geeignet ist. Sogar Tanzstücke aus dem Jahre 1529 findet man im Stile der Madrigale und Motetten componirt, eine Compositionsweise, die man in etwas freierer Bearbeitung sogar noch in den Suiten von Bach und Händel findet. Uns erscheint es komisch, dass die damaligen Musiker nicht im Stande

waren, ein Lied mit einfacher Accordbegleitung zu versehen, dass man den Jakob Peri bewunderte über diese neue Begleitungsart zu seinen Recitativen, und ebenso den Viadana, als er zu ein- und zweistimmigen Gesängen einen Basso continuo erfand, der nur der Harmonie dienen sollte. Bei der genannten polyphonen Musik wurden Versetzungszeichen fast gar nicht angewendet, höchstens vor *f*, *c* und *g*. Infolgedessen konnte auch von Modulation in unserm Sinne keine Rede sein. Dazu kamen die Accorde ohne Terz besonders bei den Schlussaccorden. So wurde mehr auf Kunst der Stimmführung und Rhythmik gesehen, als auf Harmonik und Tonsystem.

### Die harmonische Musik.

In dieser Musik gelangte die Harmonie zu voller Selbständigkeit und künstlerischer Bedeutung für die Darstellung und den Ausdruck dieser Kunst.

Der erste Anstoss hierzu ging von dem protestantischen Kirchengesange aus. Da die Gemeinde hiernach selbst den Gesang übernahm, konnte von den rhythmischen Verschlingungen keine Rede sein. So entstanden die einfachen harmonisirten Choräle in denen alle Stimmen gleichzeitig fortschritten. Da diese letzteren viel den schon bestehenden Volksmelodien entnommen wurden, welche schon früher ein festeres Gefühl für Tonalität zeigten, wurde das Gelingen dieser Aufgabe durch das Verbindungsglied der Tonalität ein um so leichteres. So entwickelte sich in der protestantischen Kirchenmusik des 16. Jahrhunderts schon das System der Harmonie der jonischen Kirchentonart, unseres heutigen „*Dur*“, ziemlich correct, wenn auch die Dominantseptaccorde als bestes Erkennungszeichen einer Tonart noch fehlen. Dagegen dauerte es viel länger, ja bis zum heutigen Tage sind die übrigen Kirchentonarten noch nicht in unser Mollsystem verschmolzen. In der katholischen Kirchenmusik sollte auch im Auftrage des Papstes Pius IV. eine Vereinfachung des Kirchengesanges eintreten, in welcher sich besonders Palestrina und Gabrieli bethätigten. Da sie es aber mit Thematen aus dem

Gregorianischen Cantus firmus, die nur in Kirchentonarten sich bewegten, zu thun hatten, wurden natürlich manche fremdartige Stilblüthen geschaffen. So citirt Helmholtz den Anfang aus dem „Stabat mater“ von Palestrina:

Sta-bat ma-ter do-lo-ro-sa. etc.

Da also in den Kirchentonarten der logische Zusammenhang des Accordgewebes fehlte, mussten die Tonarten auf *dur* und *moll* reducirt werden. Am freiesten entwickelte sich die harmonische Musik durch die beginnende Entwicklung der Oper. Hierher gehören die schon genannten Recitative, dann die Arien und vor allem die bezifferten Bässe. Durch die nothwendig stärkeren Ausdrucksmittel in der Oper entstand ein kühnerer Gebrauch der Dissonanzen und der freie Eintritt der Septimenaccorde, in reichster Weise zuerst angewandt von Monteverde.

So entstand nach und nach unser modernes Tonsystem, welches in der heutigen Gestalt noch keine 200 Jahre alt ist. Helmholtz will dabei jedes Mal betont wissen, dass dasselbe nicht aus einer Naturnothwendigkeit entwickelt ist, sondern aus einem frei gewählten Stilprincip, dass neben ihm und vor ihm andere Tonsysteme aus anderen Principien entwickelt worden sind. Wir jetzt lebenden Menschen empfinden es natürlich als ein Naturgesetz, bedingt durch die von frühester Jugend an eingepprägten Lieder. Aus letzterem erkläre ich mir auch die Fähigkeit kleiner sechsjähriger Kinder, sofort die Durscala singen zu können. In Folge dieses eingepprägten Gefühls hat das Wort Helmholtz' „frei gewähltes Stilprincip“ denn auch viele Widersacher gefunden.

#### Die Tonalität der homophonen Musik.

In diesem umfangreichen Capitel wird Folgendes beleuchtet: Der Fortschritt in Tonstufen; Verwandtschaft der Klänge; die

fünfstufigen Leitern der Chinesen; die chromatischen und enharmonischen Leitern der Griechen; die siebenstufige diatonische Tonleiter des Pythagoras; die Tongeschlechter der Griechen und der altchristlichen Kirchen; rationelle Construction der diatonischen Tonleiter nach dem Princip der Tonverwandtschaft; das arabisch-persische Musiksystem; die Bedeutung des Leittones; Melodien in einfachen Tönen.

### Der Fortschritt in Tonstufen.

Es ist erklärlich, dass die Ausbildung des Tonmaterials für die Musik viel langsamer von Statten gegangen ist als die Entwicklung der übrigen Künste, da letztere ihre Vorbilder meist der Natur haben entnehmen können, während die Musik ihre Vorbilder sich selbst schaffen musste. Dieser Ausbildung des Tonmaterials müssen wir nun näher treten. In erster Linie lag und liegt letzteres in der „Bewegung“ oder im Rhythmus, deshalb sagt Bülow: Im Anfang war der Rhythmus. Alle Melodie ist eine Bewegung innerhalb der wechselnden Tonhöhe. Das unkörperliche Material der Töne ist viel geeigneter, in jeder Art der Bewegung auf das Feinste und Fügсамste der Absicht des Musikers zu folgen, als irgend ein anderes noch so leichtes körperliches Material. Indem die Musik alle Arten der Bewegung: schnell, langsam, schwerfällig, springen, nachahmen kann, giebt sie auch zugleich einen Ausdruck derjenigen Zustände unseres Gemüthes, welche einen solchen Charakter der Bewegung hervorzurufen im Stande sind. Aristoteles fragt dazu: „Warum passen die Rhythmen und die Melodien, welche Schall sind, sich den Gemüthsstimmungen an, der Geschmack, die Farben und die Gerüche aber nicht?“ Weil die Rhythmen, also die Bewegungen, eben thatkräftig sind, Thaten aber die Zeichen der Gemüthsstimmung. Nicht bloss Musik, sondern auch andere Arten der Bewegung können Gemüthsstimmungen hervorrufen, z. B. die Wogen des Meeres, die Wasserfälle, aber die Tonbewegung bleibt immer die feinste, leichteste, biegsamste. Psychologisch kann eine Tonbewegung nur nach einander wahrgenommen werden, und da in uns das Bedürfniss

lebt, alle Bewegungen im Raume und in der Zeit einem bestimmter Maasse zu unterwerfen, so muss auch die Tonbewegung eine abmessbare sein.

Dieses Maass ist dann vorhanden, wenn der Fortschritt der Bewegung sowohl in der Zeit, als in der Tonhöhe, in regelmässiger und fest bestimmten Stufen geschieht. Alle unsere Zeitmessung auch die wissenschaftliche, beruht auf der rhythmischen Wiederkehr gleicher Ereignisse, auf dem Umlauf der Erde, des Mondes den Schwingungen des Pendels. So erhalten wir auch durch der regelmässigen Wechsel accentuirter und nicht accentuirter Laute in Musik und Poesie das dem Kunstwerk mitgegebene Zeitmaass Diese Wahrheit entspricht denn auch der Thatsache, dass die Veränderung der Tonhöhe in den Melodien stufenweise und nicht in continuirlichem, also ununterbrochenem Uebergange (Töne ohne Stufen, z. B. heulender Wind) erfolgt, da eben eine Melodie ohne Rhythmus und stufenweise Toneintheilung keine psychologische Wirkung ausüben kann. Dieser Fortschritt in fest bestimmten Stufen ist in der musikalischen Tonleiter niedergelegt. Die Wahl der Tonstufen war allerdings bei den verschiedenen Völkern verschieden, daher auch die verschiedenen Arten der Tonleitern. Bei der Auswahl der Tonstufen kommen wir zuerst auf

### Die Verwandtschaft der Klänge.

In erster Linie werden wir in Bezug auf den Grundton an seine Octave denken. Wenn Männer und Frauen in der Kirche einen Choral singen, so verschmelzen die Octavenbewegungen dieser verschiedenen menschlichen Stimmen doch zu einem Ganzen. Der Grund liegt darin, dass man nicht allein die Grundtöne einer Melodie, sondern auch die nächsten Obertöne hört und wenn nicht hört, so doch percipirt. Daher erscheint uns ein Lied in der Octave gesungen nicht als etwas Neues, sondern es ist eine thatsächliche Wiederholung des schon Gehörten resp. eines Bestandtheiles desselben. Da die Octave also bloss eintönig wirkt, ist sie in der polyphonen Musik, sofern sie nicht

zur Verstärkung dienen soll, verboten. Auf die anderen Obertöne angewandt, ergibt sich das Mitklingen einer Melodie folgendermaassen: Wenn die Schwingungszahl des Grundtones 2 ist, so sind Theiltöne

|                           |   |   |   |   |    |    |
|---------------------------|---|---|---|---|----|----|
| des Grundklanges. . . . . | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 |
| der Duodecime. . . . .    |   |   | 6 |   |    | 12 |
| der Quinte . . . . .      |   | 3 | 6 | 9 |    | 12 |

Wenn wir die Duodecime angeben, wiederholt sich die Melodie in 6 und 12, bei der Quinte aber ausserdem in dem fremderen Oberton 3 und 9. Singt man also in der Quinte, so ist nur ein Theil des Neuen identisch mit einem Theile des früher Gehörten in dem Grundton, aber es ist die am meisten vollkommene Wiederholung, die wir in einem kleineren Abstände als einer Octave machen können. Hiervon rührt es offenbar her, dass ungeübte oder wenig musikalische Sänger bei einem Liede in der Quintenlage mitsingen, was ein denkender Musiker jedenfalls schon öfter beobachtet hat. Vielleicht ist aus diesem Gefühl auch das Hucbald'sche Organum entstanden. Auch heute noch spielt die Wiederholung in der Quinte eine hervorragende Rolle, z. B. in Fugen, Sonaten. Das Intervall der Terz ist schon nicht mehr so deutlich durch leicht wahrnehmbare Obertöne begrenzt, dass es sich von vornherein dem Ohre ungeübter Musicirender bestimmt aufdrängt. Da sich die Verwandtschaft zweier Klänge nur durch die Obertöne erklärt, kann man den Satz aufstellen: Verwandt im ersten Grade nennen wir Klänge, welche zwei gleiche Partialtöne haben; verwandt im zweiten Grade solche, welche mit demselben dritten Klange im ersten Grade verwandt sind. Die Verwandtschaft zweier Klänge ist desto schwächer, je grösser die Ordnungszahlen der coincidirenden Obertöne sind. Wenn der Leser hiernach den ersten Grad der Verwandtschaft von *c* aufsucht, dann findet er in diesem Grade verwandt *c*, *c'*, *g*, *f*, *a*, *e*, *es*, und in der absteigenden Octave *c*, *C*, *F*, *G*, *Es*, *As*, *A*.

### Fünfstufige Leitern.

Es scheint, dass in den ersten Entwicklungsstadien der Musik viele Völker engere Intervalle als den Ganzton zu benutzen sich scheuten, und deshalb Scalen bildeten, in denen Schritte von dem Intervall eines Tones mit solchen von  $1\frac{1}{2}$  Tönen wechselten. Als älteste Scala wird die fünfstufige genannt, welche sich bis heute bei den Chinesen und den Gälen Schottlands und Irlands in ihren Melodien erhalten hat. Die fünfsaitige Lyra der Bewohner von Nordafrika hatte die Stimmung *g, a, h-d, e*.

Man unterscheidet fünf Formen der fünfstufigen Leiter. Zum Verständniss werden Melodien zu jeder Form hinzugefügt:

1. *c-d-f-g-a-c'-d-* etc., also ohne Terz und Septime.

Chinesisches Lied nach John Barrow.



2. Ohne Secunde und Sexte gehören die meisten schottischen Lieder, die den Charakter einer Molltonart haben:

*c-es-fg-b-c'-és* etc.

Melodie „Cockle Shells“ in älterer Form:



3. Ohne Terz und Sexte:

*c-d-f-g-b-c' d'* etc.

eine gälische Melodie:



4. Der vierten Tonleiter gehören die meisten schottischen Lieder an, welche den Charakter einer Durtonart an sich tragen. Da diese in schottischen Sammlungen sehr vertreten sind, giebt Helmholtz eine alte chinesische Tempelhymne nach Bitschurin: *c, d, e, g, a, c*:



5. Melodien nach der fünften Form: *c-es-f-as-b-c* finden sich rein nicht mehr vor.

### Das Tonsystem der Griechen.

Die Beobachtungen, welche Helmholtz hieran anstellt, setzen die Kenntniss dieses Systems im Grossen und Ganzen voraus. Ich denke darum im Sinne des Lesers zu handeln, wenn ich eine übersichtliche Darstellung dieses überaus wichtigen Systems vorausschicke, wobei ich zum Theil der vorzüglichen Darstellung des Dr. Otto Bähr in seinem Werke „Das Tonsystem unserer Musik“, Brockhaus, Leipzig, folge. In dem griechischen Tonsysteme sehen wir die ersten Elemente entstehen, aus welchen unsere heutige Musik hervorgegangen ist. Beruht doch ein grosser Theil unserer theoretischen Begriffe und der noch heute üblichen Namen auf den Satzungen der Griechen.

Die Grundlage dieses Systems war das „Tetrachord“, d. h. eine Zusammenstellung von vier Saiten, deren beide äusseren in feststehenden Verhältniss einer Quarte standen. Das Instru-

ment, welches mit einem solchen Tetrachord bespannt war, hiess „Lyra“. Die Vielseitigkeit des Tetrachordes lag nun in den verschiedenen Tonhöhen der beiden inneren Saiten. Diese waren in den verschiedenen Ländern der Griechen verschieden und wurden danach benannt. So gab es ein:

|                      |               |               |               |
|----------------------|---------------|---------------|---------------|
| Dorisches Tetrachord | $\frac{1}{2}$ | 1             | 1             |
| Phrygisches „        | 1             | $\frac{1}{2}$ | 1             |
| Lydisches „          | 1             | 1             | $\frac{1}{2}$ |

In diesen drei verschieden gestalteten Tetrachorden liegt die Grundlage des ganzen griechischen Tonsystems.

Terpander fügte nun einem Tetrachord ein zweites hinzu, so dass die Lyra siebenstimmig wurde, nämlich

|           |               |               |               |               |               |               |   |
|-----------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---|
|           | 1             | 2             | 3             | 4             | 5             | 6             | 7 |
| dorisch   | $\frac{1}{2}$ | 1             | 1             | $\frac{1}{2}$ | 1             | 1             |   |
| phrygisch | 1             | $\frac{1}{2}$ | 1             | 1             | $\frac{1}{2}$ | 1             |   |
| lydisch   | 1             | 1             | $\frac{1}{2}$ | 1             | 1             | $\frac{1}{2}$ |   |

Lange blieben die Tonverhältnisse in dieser Weise bestehen, bis man es als einen Mangel empfand, dass dem ersten Tone die Octave fehlte.

Nach verschiedenen Versuchen kam Lichaon aus Samos auf die Idee, statt des Tones 4<sup>1)</sup>, der zugleich End- und Anfangston war, für das zweite Tetrachord einen selbständigen Anfangston zu bilden. So wurde dieses Tetrachord um einen ganzen Ton erhöht. Man nannte dieses System im Gegensatz zu dem früheren „verbundenen“ (synemmenon) das „getrennte“ (diezeugmenon) und bezeichnete das eingeschobene Intervall als die „Trennung“ (diazexis). So entstanden folgende Tonreihen:

|         |               |   |   |   |               |   |   |   |
|---------|---------------|---|---|---|---------------|---|---|---|
|         | 1             | 2 | 3 | 4 | 5             | 6 | 7 | 8 |
| dorisch | $\frac{1}{2}$ | 1 | 1 | 1 | $\frac{1}{2}$ | 1 | 1 | 1 |

<sup>1)</sup> Genannt mese, d. h. mittlerer Ton.

|           |   |               |               |   |   |               |               |   |
|-----------|---|---------------|---------------|---|---|---------------|---------------|---|
|           | 1 | 2             | 3             | 4 | 5 | 6             | 7             | 8 |
| phrygisch | 1 | $\frac{1}{2}$ | 1             | 1 | 1 | $\frac{1}{2}$ | 1             |   |
| lydisch   | 1 | 1             | $\frac{1}{2}$ | 1 | 1 | 1             | $\frac{1}{2}$ |   |

So haben wir eine vollständige diatonische Tonleiter. Nach unseren heutigen Begriffen liegt die dorische Reihe zwischen Terz und Terz, die phrygische zwischen Secund und Secund und die lydische zwischen Grundton und Grundton. Von diesen dreien galt die dorische als die eigentlich griechische, während die beiden anderen als „barbarische“ bezeichnet wurden; ein Beweis, wie wenig empfänglich die Griechen für den Begriff der Tonalität waren, welche nur aus der mit unserem heutigen Tonsystem identischen lydischen Tonreihe zu bilden war.

Es wurde die siebenstufige Tonreihe aber auch in der Weise um einen Ton vermehrt, dass man nicht in der Mitte, sondern als Anfang oder Ende einen Ton zufügte. Diesen neuen Tonreihen setzte man nun entweder die Bezeichnung hypo (unter) oder hyper (über) zu, je nachdem der neue Ton am Anfang oder Ende lag. So entstanden:

|                        |               |               |               |               |               |               |               |  |
|------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--|
| hypodorisch . . . .    | 1             | $\frac{1}{2}$ | 1             | 1             | $\frac{1}{2}$ | 1             | 1             |  |
| hypophrygisch . . . .  | 1             | 1             | $\frac{1}{2}$ | 1             | 1             | $\frac{1}{2}$ | 1             |  |
| hypolydisch . . . .    | 1             | 1             | 1             | $\frac{1}{2}$ | 1             | 1             | $\frac{1}{2}$ |  |
| hyperdorisch . . . .   | $\frac{1}{2}$ | 1             | 1             | $\frac{1}{2}$ | 1             | 1             | 1             |  |
| hyperphrygisch . . . . | 1             | $\frac{1}{2}$ | 1             | 1             | $\frac{1}{2}$ | 1             | 1             |  |
| hyperlydisch . . . .   | 1             | 1             | $\frac{1}{2}$ | 1             | 1             | $\frac{1}{2}$ | 1             |  |

Bezüglich der Endpunkte lag

- die hypodorische zwischen Sext und Sext,
- die hypophrygische zwischen Quint und Quint,
- die hypolydische zwischen Quart und Quart,
- die hyperdorische zwischen Septim und Septim.

Die letztere wurde auch mixolydische genannt<sup>1)</sup>. Die anderen hyper-Tonarten fallen mit den früheren zusammen. Nach und nach wurde dieses System auf 15 Töne, also zwei Octaven,

<sup>1)</sup> Mixo (gemischt), gebildet aus zwei lydischen Tetrachorden mittelst des gemeinsamen Tones e.

erweitert. Es war dies als ein grosser Fortschritt zu bezeichnen, da wir uns stets vorzustellen haben, dass die Griechen nicht das Bedürfniss fühlten, Melodien zu formen, sondern nur mit Hülfe des sinnlich wirksamen Tones der Sprache erhöhte Gewalt zu verleihen. Daher wurde das Tetrachord zur Grundlage ihres Systems, weil es den Umfang der gewöhnlichen Rede begrenzt. In dem Bestreben nun, mit Hülfe des Tones den Rhythmus der Sprache immer plastischer herauszubilden, wird die Speculation zu immer erneuerter Theilung des Intervalles veranlasst, nicht nur, um eine reiche Modulation der Stimme zu ermöglichen, sondern namentlich, um immer mehr charakteristische Intervallenverhältnisse zu gewinnen, und in diesem Bestreben wurde der griechische Geist auf die chromatische und enharmonische Tonleiter geführt. Die chromatische Tonleiter stand innerhalb des Tetrachordes im Verhältniss von 2 Halbtönen und  $1\frac{1}{2}$  Ton, also  $|\frac{1}{2} \frac{1}{2} 1\frac{1}{2}| 1 |\frac{1}{2} \frac{1}{2} 1\frac{1}{2}|$ ; mit unseren Notennamen bezeichnet: *e f (fis, ges) a h c (cis, des) e*. Beim enharmonischen Geschlechte wurde der Halbton nochmals in zwei Vierteltöne zerlegt, so dass für den übrigen Raum des Tetrachordes zwei ganze Stufen frei blieben:  $|\frac{1}{4} \frac{1}{4} 2 | 1 | \frac{1}{4} \frac{1}{4} 2 |$ . In welcher Weise diese beiden Geschlechter in der Praxis geübt worden, ist bis jetzt nicht erforscht. Wir können uns eine solche Tonbildung nur in einem Portamento denken.

Da die achtsaitige Lyra das Hauptinstrument war, wurden die Tonarten in der Weise eingestimmt, dass man einzelne Saiten höher oder tiefer stimmte. Denken wir uns z. B. die erste und letzte Saite *e—e*, so würden die Tonreihen folgendermaassen eingestimmt:

- hypodorisch: *e fis g a h c d e*
- hypophrygisch: *e fis gis a h cis d e*
- hypolydisch: *e fis gis ais h cis dis e*
- dorisch: *e f g a h c d e*
- phrygisch: *e fis g a h cis d e*
- lydisch: *e fis gis a h cis dis e*
- mixolydisch: *e f g a b c d e*.

Pythagoras war der erste, welcher die Tonreihen mit der natürlichen Zahlenreihe verglich. In Folge dessen entstanden manche mathematisch-musikalische Untersuchungen und Speculationen, die nur von rein theoretischem Werth und für uns geradezu werthlos sind. Herauszugreifen sind seine Musik der Sphären, die Erzeugung aller Intervalle der diatonischen Scala durch Quintenschritte und das daraus entstehende pythagoräische Komma.

Die griechische Scala wurde nach den Quintenfortschreitungen von Pythagoras berechnet, indem also jede Quinte eines Tones mit  $\frac{3}{2}$  multiplicirt und an einander gereiht wurde. Die danach benannte pythagoräische Scala lautete: 1  $\frac{9}{8}$   $\frac{81}{64}$   $\frac{4}{3}$   $\frac{3}{2}$   $\frac{27}{16}$   $\frac{243}{128}$  2. Diese Scala hat sich bis zum 16. Jahrhundert erhalten, bis man zu der Ueberzeugung kam, dass das Verhältniss der Töne zum Grundton und unter sich das richtige war, welches natürlich erst mit dem allmählich erwachenden Bewusstsein der Tonalität entstehen konnte. Um das Wesen des pythagoräischen Kommas und der pythagoräischen Terz zu verstehen, folge kurz die Entwicklung der genannten Scala. Wenn wir die Schwingungen von *C* mit 1 bezeichnen, dann entstehen für die Quinten aufwärts folgende Verhältnisse:

$$C \ 1, \ G \ 1 \times \frac{3}{2} = \frac{3}{2}, \ d \ \frac{3}{2} \times \frac{3}{2} = \frac{9}{4}, \ a \ \frac{9}{4} \times \frac{3}{2} = \frac{27}{8}, \ e' \ \frac{27}{8} \times \frac{3}{2} = \frac{81}{16}$$

$$h' \ \frac{81}{16} \times \frac{3}{2} = \frac{243}{32}.$$

Diese Intervalle werden nun in eine Octave zusammengezogen, um eine Tonleiter daraus zu bilden. Die Nenner der Werthe *d*, *a* müssen deshalb verdoppelt, jene für *e'* und *h* verdreifacht und *F* eine Octave höher gelegt resp. umgekehrt zu  $\frac{3}{4}$  werden. Daraus entsteht dann die Leiter:

|          |               |                 |               |               |                 |                   |          |
|----------|---------------|-----------------|---------------|---------------|-----------------|-------------------|----------|
| <i>C</i> | <i>D</i>      | <i>E</i>        | <i>F</i>      | <i>G</i>      | <i>A</i>        | <i>H</i>          | <i>C</i> |
| 1        | $\frac{9}{8}$ | $\frac{81}{64}$ | $\frac{4}{3}$ | $\frac{3}{2}$ | $\frac{27}{16}$ | $\frac{243}{128}$ | 2        |

Die Entfernungen der einzelnen Töne von einander werden durch Subtraction (umgekehrte Multiplication) gefunden, also:

|                       |          |   |          |                   |   |                   |
|-----------------------|----------|---|----------|-------------------|---|-------------------|
| zwischen <i>C</i> und | <i>D</i> | 1 | ×        | $\frac{9}{8}$     | = | $\frac{9}{8}$     |
| " "                   | <i>D</i> | " | <i>E</i> | $\frac{8}{9}$     | × | $\frac{81}{64}$   |
|                       |          |   |          |                   | = | $\frac{9}{8}$     |
| " "                   | <i>E</i> | " | <i>F</i> | $\frac{64}{81}$   | × | $\frac{4}{3}$     |
|                       |          |   |          |                   | = | $\frac{256}{243}$ |
| " "                   | <i>F</i> | " | <i>G</i> | $\frac{3}{4}$     | × | $\frac{3}{2}$     |
|                       |          |   |          |                   | = | $\frac{9}{8}$     |
| " "                   | <i>G</i> | " | <i>A</i> | $\frac{2}{3}$     | × | $\frac{27}{16}$   |
|                       |          |   |          |                   | = | $\frac{9}{8}$     |
| " "                   | <i>A</i> | " | <i>H</i> | $\frac{16}{27}$   | × | $\frac{243}{128}$ |
|                       |          |   |          |                   | = | $\frac{9}{8}$     |
| " "                   | <i>H</i> | " | <i>C</i> | $\frac{128}{243}$ | × | $\frac{2}{1}$     |
|                       |          |   |          |                   | = | $\frac{256}{243}$ |

woraus sich ergibt, dass die pythagoräische Scala nur zweierlei Intervallwerthe kennt: den Ganzton  $\frac{9}{8}$  und den Halbton  $\frac{256}{243}$ . Um die Töne mit Versetzungszeichen zu finden, wurde einfach für die Töne mit einem  $\sharp$  davor von *h* aus quintenweise weitergeschritten. So entsteht aufwärts das Schwingungsverhältniss

$$\begin{aligned} \text{für } Fis & (H \frac{243}{128} \cdot \frac{3}{2}) = \frac{729}{512} \\ \text{" } Cis & (Fis \frac{729}{512} \cdot \frac{3}{2}) = \frac{2187}{2048} \\ \text{" } G\sharp s & (Cis \frac{2187}{2048} \cdot \frac{3}{2}) = \frac{6561}{4096} \text{ u. s. w.} \end{aligned}$$

und abwärts

$$\begin{aligned} \text{für } B & (F \frac{4}{3} \cdot \frac{4}{3}) = \frac{16}{9} \\ \text{" } Es & (B \frac{16}{9} \cdot \frac{4}{3}) = \frac{32}{27} \\ \text{" } As & (Es \frac{32}{27} \cdot \frac{4}{3}) = \frac{128}{81} \text{ u. s. w.} \end{aligned}$$

Vergleicht man nun die enharmonischen Töne, z. B. *Cis-Des*, *Dis-Es*, *G\sharp s-A* etc. und *B-Ais*, *Ces-H*, *Asas-G* etc. mit einander, so entsteht immer die Differenz von dem Bruchtheil  $\frac{531441}{524288}$ , abgekürzt  $\frac{74}{73}$ . Diese gleiche Differenz nennt man das pythagoräische Komma. Der Schritt aufwärts von *c* nach *cis* oder *d* nach *dis* etc. heisst „Apotome“ und der abwärts von *d* nach *des*, von *f* nach *fes* etc. heisst „Limma“. Der Apotome entspricht dem Zahlenwerthe von  $\frac{2187}{2048}$ . Das Limma dem von  $\frac{256}{243}$ . Die Differenz zwischen diesen beiden beträgt stets  $\frac{74}{73}$ , also das pythagoräische Komma.

Da nach früheren Ergebnissen (Sirene) die natürliche Terz  $\frac{5}{4}$  beträgt, unterscheidet sie sich von der pythagoräischen  $\frac{81}{64}$  um das syntonische Komma  $\frac{81}{80}$ . Trotzdem nun die zu damaliger Zeit lebenden Männer Archytas und der Araber Abdul Kadir die natürliche Terz erkannten und lehrten, wurde sie doch bis vor

200 Jahren als eine Dissonanz angesehen. In Folge dieser Terz brachten es die Griechen auch zu keinem Dreiklang und sonach zu keiner Harmonie. Ferner zeigt dieses System den Mangel, dass es im Quintenfortschritt zu keinem der dagewesenen Töne zurückführt, z. B.:

*c-g-d-a-e-h-fis-cis-gis-dis-ais-eis-his.*

Die Töne *his* und *c* in eine Octave gebracht, differiren um das pythagoräische Komma  $\frac{74}{73}$ . Helmholtz schliesst daran eine Betrachtung, die allerdings zu einem günstigen Resultate führt. Er sagt: Stimmt man von *c* aus vier Quinten aufwärts, so kommt man zu einem *e* (*c-g-d-a-e*), welches um das syntonische Komma  $\frac{81}{80}$  höher ist, als die natürliche grosse Terz von *c*, welche wir mit *e* bezeichnen. Jenes *e* bildet die Terz in der pythagoräischen Tonleiter. Wenn man dagegen von *c* ab acht Quinten rückwärts geht: *c-f-b-es-as-des-ges-ces-fes*, kommt man auf einen Ton *fes*, welcher fast genau übereinstimmt mit dem natürlichen *e*. Das pythagoräische Intervall von *c* nach *fes* wird nämlich nach Fortführung ausgedrückt durch das Zahlenverhältniss  $\frac{8192}{6561} = \frac{5}{4}$ . Der Ton *fes* ist also um das sehr kleine Intervall  $\frac{887}{886}$ , welches nur der 11. Theil eines Kommas ist, niedriger als die natürliche Terz *e*. Helmholtz behauptet hiernach, dass das pythagoräische *Ces* mit *h*, *Ges* mit *fis* gleich gesetzt werden kann. — Vergleichen wir die heutige Scala noch weiter mit der griechischen, so finden wir bei der ersteren zwei Arten Ganztonintervalle, nämlich  $\frac{9}{8}$  und  $\frac{10}{9}$ , während die pythagoräische nur eine Art  $\frac{9}{8}$  besitzt. Wir haben folglich drei verschiedene Intervalle statt zwei, und daher eine grössere Complication, welche jedoch reichlich aufgewogen wird durch die grössere Einfachheit der Verhältnisse und Intervalle. Nicht wenig tragen diese drei Intervalle auch zur Charakteristik der Tonarten bei. Da nämlich das Intervall *c-d*  $\frac{9}{8}$  und *d-e*  $\frac{10}{9}$  beträgt, wird durch die Wahl des Grundtones die Reihenfolge der Intervalle um etwas abgeändert und somit auch der Charakter des Musikstückes (siehe S. 130 ff.). Interessant ist die Thatsache, dass die Terz in einem Streichquartett eine pythagoräische ist. Vergleichen wir z. B. Bratsche

und Geige diesbezüglich: das leere *e''* der Geige ist die vierte Quinte des leeren *c* der Bratsche. In Folge dessen giebt das leere *e* mit dem Flageolet *c''* auf der Bratschensaite *c* eine pythagoräische Terz (S. 133).

Da ausser der Terz in der griechischen Scala auch die Sexte und Septime in ihrem Zahlenverhältniss ( $\frac{27}{16}:\frac{5}{3}$  und  $\frac{243}{128}:\frac{15}{8}$ ) differiren, so ist es um so mehr begreiflich, dass die Griechen zu keiner Harmoniebildung kommen konnten. Wie schon gesagt, wurden die verschiedenen Tonarten nach Italien verbreitet und geriethen dort zuerst in Verfall und Verwirrung, bis sie unter Ambrosius und Gregor dem Grossen wieder aufblühten. Die bedeutsamste Neuerung sah man schon bei Hucbald und Guido von Arezzo darin auftreten, dass man für jede Tonart einen *tonus finalis* bestimmte, der als Schlussston eines Musikstückes zum Gesetz werden sollte. Nach der Lage des Schlussstones entstanden die authentischen Tonarten, deren *tonus finalis* der Anfangston war, und die plagalen Tonarten, bei welchen der vierte Ton als Schlussston bezeichnet wurde. In den ersteren bildet sich die Melodie vom Grundton ausgehend und steigend bis zu dessen Octave; in den letzteren steigt die Melodie eine Quart unter den Grundton hinab und eine Quint über denselben hinauf. Ursprünglich kannte man bloss vier Schlussstöne *d, e, f, g*, woraus man vier authentische und vier plagale Tonreihen bildete, welche man Kirchentonarten nannte. Glareanus entwickelte 1547 aus den drei übrigbleibenden Tönen *a, h, c* noch Tonarten und belegte alle nach Gutdünken mit griechischen Namen. So entstanden zwölf Tonarten, weshalb Glareanus sein Werk Dodecachordon benannte. So entstand folgendes System:

|    |            |               |                        |                     |
|----|------------|---------------|------------------------|---------------------|
| 1. | Kirchenton | dorisch       | <i>D e f g a h c d</i> | } Grundton <i>D</i> |
| 2. | „          | hypodorisch   | <i>a h c D e f g a</i> |                     |
| 3. | „          | phrygisch     | <i>E f g a h c d e</i> | } Grundton <i>E</i> |
| 4. | „          | hypophrygisch | <i>a h c E f g a h</i> |                     |
| 5. | „          | lydisch       | <i>F g a h c d e f</i> | } Grundton <i>F</i> |
| 6. | „          | hypolydisch   | <i>c d e F g a h c</i> |                     |

|     |            |                 |                   |                |
|-----|------------|-----------------|-------------------|----------------|
| 7.  | Kirchenton | mixolydisch     | $G a h c d e f g$ | } Grundton $G$ |
| 8.  | „          | hypomixolydisch | $d e f G a h c d$ |                |
| 9.  | „          | äolisch         | $A h c d e f g a$ | } Grundton $A$ |
| 10. | „          | hypöolisch      | $e f g A h c d e$ |                |
| 11. | „          | jonisch         | $C d e f g a h c$ | } Grundton $C$ |
| 12. | „          | hypojonisch     | $g a h C d e f g$ |                |

Auch für die Octavenreihe  $H-h$  und die verwandte plagale Reihe  $F-f$  hatte man die Namen hyperäolius und hyperphrygius bereit. Man trug jedoch Bedenken, diese als Tonarten anzuerkennen, da  $H$  in  $F$  keine Quinte fand, und  $H$  in dieser Tonreihe keinen Grundton bilden konnte. Glarean bezeichnet sie deshalb als unechte Tonarten. Dieser Namensschwall, der dazu mit der Bezeichnung der griechischen Tonarten im Widerspruch steht, trägt zur Klarheit und Auffassung nur sehr wenig bei. Helmholtz hat sich deshalb der Mühe unterzogen, eine einfachere Bezeichnung zum leichteren Verständniss der Tonarten vorzuschlagen. Er lässt dieselben von  $c$  ausgehen und benennt sie nach der ihnen ähnlichsten oder gleichen Dur- oder Molltonart. Also

lydisch  $c d e f g a h c$  (jonisch nach Glarean) = Durgeschlecht;  
 jonisch  $c d e f g a b c$  (mixolydisch) = Quartengeschlecht;  
 phrygisch  $c \bar{d} e s f g a b c$  (dorisch) = Septimengeschlecht (B-Dur);  
 äolisch  $c d e s f g a s \bar{b} \bar{c}$  (äolisch) = Terzengeschlecht oder Moll;  
 dorisch  $c d e s e s f g e s a s b c$  (phrygisch) = Sextengeschlecht etc.

#### Die rationelle Construction der diatonischen Leitern.

Dieselbe wird aus der Verwandtschaft der Töne entwickelt. Als nächste Verwandte gelten aufsteigend (S. 107)  $c - e - f - g - a - c$ ;  
 $\frac{5}{4} \quad \frac{16}{15} \quad \frac{9}{8} \quad \frac{10}{9} \quad \frac{6}{5}$   
 absteigend  $c - A s - G - F - E s - C$ . Da die Intervalle an der Tonica  
 $\frac{5}{4} \quad \frac{16}{15} \quad \frac{9}{8} \quad \frac{10}{9} \quad \frac{6}{5}$   
 ausgefüllt werden müssen, um die diatonische Tonleiter zu bilden, und die Reihe der Verwandten ersten Grades erschöpft, bleiben uns noch solche zweiten Grades. Die engsten Verwandten zweiten

Grades werden durch Vermittelung der der Tonica nächst verwandten Töne gegeben. Das ist die Octave. Die Verwandten dieser lauten nach abwärts  $c' as f g a c$ . Denken wir uns diese aufwärts  $c as f g a c'$ , so haben wir das Gerippe der Molltonleiter, wie uns die Verwandten ersten Grades vom Grundton aufwärts die Haupttöne der Dur-Tonleiter geben. Der Ton  $es$ , zur Octave gehörig, steht dem Grundton  $c$  als kleine Terz  $5:6$  näher, als  $as$  im Verhältniss einer kleinen Sexte  $5:8$ , in Folge dessen lässt sich  $e$  eher in  $es$  als  $a$  in  $as$  verwandeln. Also folgen die drei aufsteigenden Leitern hinsichtlich ihrer Verständlichkeit in folgender Weise:  $c e f g a c'$ ,  $-c e s f g a c' - c - e s f g a s c'$ . Die beiden letzten Unterschiede sind von Interesse, da wir hiernach die melodische und harmonische Molltonleiter unterscheiden. Denken wir uns dieselbe Operation nach abwärts, so entstehen die drei Leitern:  $c As G F Es - - C$ ,  $-c A G F Es C, -c A G F E C$ .

Die Tonleiter ist aber noch nicht fertig. Wir müssen deshalb die Verwandten der Oberquinte  $G$  und der Unterquinte  $F$  hinzuziehen. Zuerst aufsteigend:

$$\begin{aligned} c \text{ verwandt: } & c - - e f g a - - c' \\ g \text{ verwandt: } & c d e s - - g - - h c' \end{aligned}$$

Verbunden giebt dieses die Durtonleiter (lydische der Griechen oder Durgeschlecht):

$$\begin{aligned} & c d e f g a h c \\ & 1 \frac{9}{8} \frac{5}{4} \frac{4}{3} \frac{3}{2} \frac{5}{3} \frac{15}{8} 2 \end{aligned}$$

Die Verwandlung des  $e$  in  $es$  wird durch diese Verwandtschaft erleichtert. So entsteht die aufsteigende Molltonleiter:

$$\begin{aligned} & c d e s f g a h c \\ & 1 \frac{9}{8} \frac{6}{5} \frac{4}{3} \frac{3}{2} \frac{5}{3} \frac{15}{8} 2 \end{aligned}$$

absteigend:

$$\begin{aligned} c \text{ verwandt: } & c - - As - G - F - Es - - - C \\ g \text{ verwandt: } & c B \quad G \quad Es \quad D \quad C \end{aligned}$$

giebt die absteigende Molltonleiter (äolische der Griechen — Terzengeschlecht):

$$\begin{aligned} & c B As G F Es D - C \\ & 2 \frac{9}{5} \frac{8}{5} \frac{3}{2} \frac{4}{3} \frac{6}{5} \frac{9}{8} 1 \end{aligned}$$

In derselben Weise lassen sich mittelst der Verwandtschaftstöne von *f* auch die anderen griechischen Leitern finden.

Eine solche Ableitung der Leitern auf natürlichem Wege durch die Verwandtschaft der Klänge ist entschieden neu und genial und lässt uns sonach alle frühere Leitern besser verstehen und auffassen.

Die Zahlenbestimmungen der der Tonica direct verwandten Töne sind natürlich fest, wenn auch Hauptmann und D'Alembert das pythagoräische *a* in der aufsteigenden Molltonleiter gesetzt wissen wollen, und letzterer sogar in der Durtonleiter. Dagegen sind die Ausfüllungstöne vom zweiten Grade der Verwandtschaft nicht so fest gegeben. Z. B. wenn  $c = 1$ , dann ist

|                        |            |                   |                                                    |
|------------------------|------------|-------------------|----------------------------------------------------|
| das <i>g</i> verwandte | <i>d</i>   | (4. bis 5. Stufe) | $= \frac{9}{8}$                                    |
| „ <i>f</i> „           | <i>d</i>   | (5. bis 6. Stufe) | $= \frac{10}{9} = \frac{9}{8} \cdot \frac{80}{81}$ |
| „ <i>f</i> „           | <i>des</i> |                   | $= \frac{16}{15}$                                  |
| „ <i>g</i> „           | <i>h</i>   |                   | $= \frac{15}{8}$                                   |
| „ <i>g</i> „           | <i>b</i>   |                   | $= \frac{9}{5}$                                    |
| „ <i>f</i> „           | <i>b</i>   |                   | $= \frac{16}{9} = \frac{9}{5} \cdot \frac{80}{81}$ |

Während *h* und *des* sicher gegeben sind, bleiben die Töne *b* und *d* unsicher. Beide können mit der Tonica *c* entweder einen grossen ganzen Ton  $\frac{9}{8}$  oder einen kleinen bilden  $\frac{10}{9}$ .

Diesen Unterschied eines Kommas  $\frac{80}{81}$  hat man auch versucht, schriftlich zu markiren. Hauptmann lässt in seinem Werke: „Harmonik und Metrik“ die kleinen Buchstaben als um ein Komma niedriger betrachten, als die grossen. Helmholtz lässt die Grösse der Buchstaben unberücksichtigt und schlägt vor, dass ein Strich unter dem Buchstaben die Tonhöhe um  $\frac{81}{80}$  erniedrigt, über demselben ebenso viel erhöht, welche Bezeichnung der Leser in der Folge angewendet findet (S. 127).

#### Arabisch-persisches Tonsystem.

Nach den Vorschriften des Abdul Kadir, eines berühmten persischen Theoretikers des 14. Jahrhunderts, ergeben sich

sämmtliche 17 Tonstufen der arabischen Leiter durch eine Reihe von 16 Quintenschritten und sind nach unserer Bezeichnung:

*C-Des-D* ∪ *D-Es-E* ∪ *E-F-Ges-G* ∪ *G-As-A* ∪ *A-B-H-c* ∪ *c*.

Wo das Zeichen – zwischen zwei Tönen steht, beträgt die Stufe ein pythagoräisches Limma  $\frac{256}{243}$  (S. 114) und wo das Zeichen ∪ steht, beträgt sie nur ein Komma  $\frac{81}{80}$ . Das Limma beträgt nahehin  $\frac{4}{5}$ , das Komma  $\frac{1}{5}$  des natürlichen Halbtons  $\frac{16}{15}$ . Unter den 12 Tonarten bezeichnete man 5 Haupttonarten, nämlich:

Uschak: *c d e f g a b c* (pythagoräische *F*-Dur),  
 Rast: *c d e f g a b c* (dasselbe mit höherer Sexte),  
 Husseim: *c d es f g as b c* (Septimengeschlecht),  
 Hidschaf: *c d es f g a b c* (Quartengeschlecht).

Wir sehen also ein Tongeschlecht mit vollkommener natürlicher Stimmung und es ist ungewiss, ob die europäische Musiktheorie darauf fusst oder nicht. Jedenfalls konnten die Europäer zur Zeit Abdul Kadir's die Orientalen nichts lehren, was diese nicht schon gewusst hätten, mit Ausnahme der Harmonien, die bis heute noch nicht bei den Orientalen eingeführt sind. So war bei diesen auch schon das Bewusstsein des Leittones bemerkbar, welches den Griechen fremd geblieben.

### Bedeutung des Leittones.

Mit dem steigenden Bewusstsein des Leittones wurde der Zusammenhang der Tonstufen ein immer festerer. Trotzdem *h* als Septime mit der Octave *c* nur schwach verwandt ist, ist *h* vermöge seines geringen Abstandes einer halben Stufe leicht und sicher zu treffen, auch wenn man von dem *h* ganz fremden Tönen ausgeht. Z. B. ist *f-h* allein schwer zu treffen, denke ich mir aber *h* mittelst *c*, dann haben wir sofort die Tonhöhe. Man könnte *h* einen Vorhalt, eine Vorstufe von *c* nennen. Wir werden uns nun fragen: Warum zeigt *e-f* als 4. bis 5. Stufe nicht diese Zusammengehörigkeit, wie *h-c* als 7. bis 8. Stufe und klingt nicht als Leitton nach *F*-Dur? Weil *e* eine selbständige Beziehung als grosse Terz zur Tonica *c* hat, welche die Septime *h*

zur Tonica nicht hat und, wenn die Tonalität bewahrt bleibt, *e* einen selbständigen Charakter beibehält. Erklingt der Ton *des* mit *h* zusammen, so trägt *des* den Charakter eines Leittones absteigend. Wenn wir uns irgend einen Ton als Septime denken, dann bildet dieser Ton den Leitton zu dem, eine kleine Secunde höher liegenden Ton. Gegen den Fortschritt eines Ganztonintervalles würden wir uns entschieden sträuben. Die grosse Septime steht also im Gefühl des Leittones der Octave bedeutend näher, als die kleine Septime. So änderte man früher in diesem Gefühl die alten Tonarten um, z. B. bei der jonischen (Quartengeschlecht) das *b* in *h*, so dass sogar der Papst Johannes XXII. im Jahre 1322 diese Unsitte rügte. In den Molltonarten hat sich bis heute noch nicht ganz der Leitton von der kleinen Septime auf die grosse übertragen.

Da die lydische Tonart der Griechen die grosse Septime als Leitton zur Tonica hatte, entwickelte sich daraus unser Durgeschlecht und aus der phrygischen die aufsteigende melodische Molltonleiter *c, d, es, f, g, a, h, c*, indem *b* in *h* geändert, und aus der hypodorischen bei derselben Aenderung *c, d, es, f, g, as, h, c* in die aufsteigende harmonische Molltonleiter. Die allgemeine Einführung des Leittones bezeichnet also das immer consequenter sich entwickelnde Gefühl für die Herrschaft einer Tonica in der Tonleiter. Dadurch wurde der durch die Quintenreihe entstandene kettenartige Zusammenhang der Tonreihen vollständig gebrochen und die Bedeutung der alten Tongeschlechter auf ein Nichts reducirt oder zu unserem Dur- und Mollgeschlecht eingeschmolzen. Mit dem Verfall des Quintengeschlechts stieg die Bedeutung des Terzengeschlechts oder der natürlichen Stimmung, welche für uns noch heute maassgebend ist zur Bestimmung der Tonverhältnisse (S. 130).

#### Melodien in einfachen Tönen.

Wenn wir Melodien in einfachen Tönen mit einem entsprechenden Instrumente, z. B. gedackte Register der Orgel oder Holz- und Stahlstäbe oder mit dem Munde gepfiffen, zu Gehör

bringen, geht eine eindrucksvolle Wirkung der Melodie verloren, da die melodische Verwandtschaft der Obertöne fehlt. Obgleich der Zusammenklang von einfachen Tönen Combinationstöne erzeugt, ersetzen diese doch nur sehr schwach die Wirkungen der Obertöne, und ist deshalb ein solcher Zusammenklang matt und charakterlos.

Wie viel mehr wird dieses nun der Fall sein bei der Aufeinanderfolge von einfachen Tönen, wo nur das Gedächtniss eine Consonanz combinirt und die Combinationstöne fehlen. Die Behauptung, dass jede Melodie eine aufgelöste Harmonie sei, ist also haltlos.

### Die consonanten Accorde der Tonart.

In diesem Abschnitt wird gesprochen über die Bedeutung des tonischen Accordes; Accorde als Vertreter von Klängen; zweifache Klangbedeutung der Mollaccorde; der tonische Mollaccord im Schluss; Stimmung der Fülltöne; Unterschied von Dur und Moll.

### Die Bedeutung des tonischen Accordes.

Es ist wunderbar, wie sich in der Entwicklung der Musik das Wachsen der Mehrstimmigkeit genau nach den Partialtönen der Tonica richtete, natürlich unbewusst. Die erste Form der Polyphonie liess ihre Stimmen in Beziehung auf die Tonica neben einander hergehen und unisono schliessen resp. in die Tonica oder eine ihrer Octaven zusammenlaufen. Letztere nahm man neben der Tonica, da sie die Wiederholung eines Theiles ihres Grundtones bildete. Der nächste Fortschritt war die Hinzunahme der Duodecime, z. B.  $c'-g' c''$ , gleichgültig, ob  $c$  als Combinationston oder als Grundton hinzutrat. Da die musikalisch brauchbaren Klangfarben den fünften und sechsten Partialton wohl noch hören lassen, die höheren aber nur unvollkommen, so hört mit der grossen Terz als fünfter Partialton die Reihe der brauchbaren Töne des Schlussaccordes auf. So wurde früher nicht allein die Quarte und Sexte, sondern auch die kleine Terz als Dissonanz

angesehen. Man findet bis zum 18. Jahrhundert theils Schlussaccorde ohne Terzen, theils mit grossen Terzen, letztere auch in solchen Tongeschlechtern, deren Leiter die kleine, nicht die grosse Terz der Tonica enthält (siehe Bach, Händel). Je mehr in einem Schlussaccorde die Reihenfolge der Partialtöne berück-



sichtigt wird, desto befriedigender klingt er. In 1 und 2 fallen die Töne mit den Obertönen des Klanges *C* zusammen. In 3, 4, 5 werden durch die engen Lagen Combinationstöne gebildet und befriedigen

darum ebenso gut. Das Streben nach einem tiefen Schlusston in der harmonischen Musik wird wohl hieraus zu erklären sein.

### Accorde als Vertreter von Klängen.

Aus einer Durtonleiter kann man drei Durdreiklänge, drei Molldreiklänge und einen verminderten Dreiklang entwickeln. Wir reden vorläufig von den drei Durklängen. So gut wie beim tonischen Dreiklang die Tonica als wesentlichster Ton hervortritt, so tritt bei den anderen auch die Subdominante und Dominante hervor. Der Dreiklang *f a c* bleibt innerhalb der direct verwandten Töne der Tonica, wenn auch das *f* nicht vorbereitet ist, wie *a* und *c* (*a*, dessen dritter Oberton gleich dem fünften von *c* ist), weshalb er weicher und ruhiger klingt, als der Dominantdreiklang *g h d*. Obgleich *g* vorbereitet, sind *h* und *d* um so fremder zu *c* und nur indirect verwandt. Der Uebergang in die Dominante giebt deshalb eine sehr entschiedene Fortbewegung in der Harmonie, die frischer und heller klingt. Es dominirt daher im Gebrauch bei populärer Musik zum tonischen Dreiklang die Oberquinte, weshalb diese Dominante genannt wird. Der Accord der Subdominante tritt seltener ein, in der Regel kurz vor dem Schluss, um das Gleichgewicht der Harmonie wieder herzustellen. So wie die Terz den Gegensatz zwischen Grundton vermittelt, so findet der Unter- und Oberdominantdreiklang in dem Dreiklang

der Tonica seine vermittelnde Lösung. Das Nacheinanderklingen der beiden ersten erfordert als Lösung den letzten. Haben wir den Accord 1 und 2 gehört, verlangen wir als



Drittes den Accord 3 zu hören. Auch in der Reihenfolge 2, 1 würden wir 3 verlangen, aber nicht in dem Maasse, wie aus vorhin genanntem Grunde.

Die Oberdominante dominirt eben weit über die Unterdominante. Eine Harmonie, welche sich auf Dreiklänge der Tonica und Unterdominante beschränken wollte, würde nicht erstere, sondern letztere als die Tonica empfinden lassen. Verlockend ist die Untersuchung über die Stellung der anderen Dreiklänge der Tonleiter zur Tonica, es würde uns aber zu weit führen.

### Zweifache Klangbedeutung der Mollaccorde.

In einem Duraccorde *c e g* können wir *g* und *e* als Bestandtheile des *c*-Klanges ansehen, aber nicht *c* oder *g* als Bestandtheile des *e*-Klanges, oder *c, e* als solche des *g*-Klanges. Der Duraccord lässt also nur eine Deutung zu, insofern der Grundton der herrschende ist. Im Mollaccorde *c-es-g* ist *g* ein Bestandtheil des *c*- und des *es*-Klanges. Weder *es* noch *c* kommt in einem der beiden anderen Klänge vor. *g* ist also allein abhängig. Der Mollaccord kann deshalb als *es*- oder *c*-Klang gedeutet werden; er wird aber meistens als *c*-Klang gebraucht, da in dem anderen das *c* mit dem dritten Partialton *b* collidirt. Als *es*-Klang neigt z. B. der Accord *es-g-c* entschieden nach *es* zum Grundton. Um die Deutung bestimmt festzustellen, wird einfach der Grundton durch seine tiefe Lage, theils durch die Zahl der auf ihn vereinigten Stimmen hervorgehoben. In Händel's Oratorien z. B. hat die kleine Terz in der Regel bloss eine Stimme, während die anderen sich meistens auf die Tonica vereinigen.

### Der tonische Mollaccord.

Dass man früher die kleine Terz in Moll bei Schlussaccorden nicht anwandte, lag in der Trübung der Consonanz durch die

falschen Combinationstöne und, wie schon gesagt, weil die kleine Terz kein Bestandtheil der Tonica war. Es war erst eine weitere Ausbildung des musikalischen Gefühls nothwendig für die Erfassung der selbständigen Bedeutung der Accorde, um den Mollaccord selbständig als Schluss auftreten zu lassen. Bei Palestrina, Gabrieli, Monteverde war eine Selbständigkeit der Accorde schon vorhanden, aber oft in ganz unzusammenhängenden Sprüngen. Es fehlte die Verwandtschaft der Klänge unter sich und zum tonischen Accorde. Zwei Accorde sind im ersten Grade verwandt, wenn sie einen oder mehrere Töne gemein haben, im zweiten Grade, wenn sie mit einem gemeinschaftlichen direct verwandt sind, also *c e g* ist mit *g h d* direct verwandt, ebenso *c e g* mit *a c e*, aber *g h d* mit *a c e* nur im zweiten Grade. — Da der Mollaccord ein unbestimmter ist, lässt sich die Tonalität nicht so strenge einhalten, wie beim Duraccord, daher klingt ein Durklang beim Schlusse eines Mollstückes nicht so überraschend, als umgekehrt. Letzteres würde nie befriedigen, ersteres dagegen wohl, ja es klingt oft wie ein <sup>1</sup>Tröst, aufhellend, versöhnend. Beispiele dazu lassen sich in Menge in den Werken von Bach, Händel und auch Mozart finden.

#### Stimmung der Fülltöne.

Die Verwandtschaft der Durdreiklänge ergibt sich am besten aus dem Schema:  $f \overbrace{-a-c-e-g} \overbrace{-h-d}$  und der Molldreiklänge:  $f \overbrace{a-c} \overbrace{e-g} b d$ . Der fehlende Dreiklang *d f a* liegt am weitesten vom tonischen entfernt und lässt sich ohne Zwischenstufe deshalb nicht mit *c e g* verbinden, zumal *d f a* schon wegen der unreinen Terz *d f* einen dissonanten Dreiklang bildet. Im Mollklang nimmt dieselbe Stellung ein *des f as*. Noch ein anderer Ton ist in der Molltonart nicht fest bestimmt, das ist die 7. Stufe, also in *c-moll* das *b*. In aufsteigender Bewegung wird an seine Stelle stets das *h* gesetzt aus mehrfachen Gründen. Würde das *b* bestehen bleiben, dann fehlte der Tonart der Leitton, der als

Ganztonschritt unserem Gefühl zuwider wäre. Daher der Halbtonschritt *h-c*. Der Gang 1, 2 hat durchaus nicht das Bedürf-



niss, zu schliessen. Setzen wir aber *h* statt *b*, dann wird der Accord 3 wohl erfordert. Deshalb wird in Harmonien stets *h* gebraucht und in melodischen Gängen theils *b*, theils *h*.

Der Dominantdreiklang muss in Moll noch mehr als in Dur ein Durdreiklang sein, da der Mollklang ohnehin ein zweideutiger ist, und die Tonalität in der Verbindung der Tonica mit dem Durdominantenklang fester bestimmt wird. Um nun letzteren als helleren Klang nicht zu sehr hervorzuheben, verwandelte man ihn durch Hinzufügung einer kleinen Terz in einen dissonanten Septimenaccord.

### Unterschied von Dur und Moll.

Aus den bis jetzt entwickelten Theorien ergeben sich folgende Unterschiede:

Das Durgeschlecht erfüllt die Forderungen der Accordverwandtschaft mit Rücksicht auf den tonalen Klang am vollständigsten. Es hat vier dem tonischen Accorde eng verwandte Dreiklänge:

$f \overset{3}{\underbrace{a \ c \ e}} \overset{4}{\underbrace{g \ h \ d}}$ . Darum sind die populären Stücke mit

diesen Harmonien so leicht verständlich und sangbar. Dieses Geschlecht zeigt also volle Klarheit der Verhältnisse und, da die Durdreiklänge die vorherrschenden sind, ungetrübten Wohlklang.

Die moderne Accordkette des Mollgeschlechts lautet:  $f \underbrace{a \ c \ e} \underbrace{g \ h \ d}$ .

Die Mollaccorde repräsentiren nicht so rein den Klang ihres Grundtones, vielmehr fällt ihre Terz aus diesem Klange heraus. Auch ist die Verwandtschaft nicht so eng wie beim Durgeschlecht. Daher die fehlende Sicherheit und die grössere Neigung zur Modulation. Der Wohlklang wird durch Combinationstöne getrübt. In Folge der übermässigen Secunde *as-h* muss sie im Auf- und Absteigen Veränderungen erleiden, um sie sangbar zu machen. Dieser Mangel an Consequenz des Molltonsystems wird trotz

vorliegender Argumente sehr viel von neueren Theoretikern bestritten. Die Harmonisirung der alten Tongeschlechter und Reste solcher in unserem modernen Musiksystem bleiben dem besonderen Studium überlassen.

### Das System der Tonarten.

Bis heute hat die Tonleiter ein dreifaches System durchlaufen: 1. Das pythagoräische, das ungleichschwebend temperirte und das gleichschwebend temperirte Tonsystem. Die erste Art ist in dem Capitel über griechische Musik genugsam erörtert. Es bleibt uns für diesen Abschnitt die Betrachtung der beiden letzten und die Vergleichung der drei Systeme. Das natürliche Tonsystem wurde bereits am Anfang dieses Werkes an der Sirene entwickelt. Gehen wir nun näher auf die Consequenzen desselben ein. Die Differenzen der Intervallverhältnisse dieses Systems sind folgende:  $1 \left( \frac{9}{8} \frac{5}{4} \frac{4}{3} \frac{3}{2} \frac{5}{3} \frac{15}{8} \right) 2$ . Die Entfernung von

z. B.  $c-d$  ist um das syntonische Komma  $\frac{81}{80}$  ( $\frac{9}{8} : \frac{10}{9} = \frac{9}{8} \cdot \frac{9}{10} : \frac{81}{80}$ ) grösser als von  $d-e$ . Ebenso ist  $f-g$  und  $a-h$  um ein syntonisches Komma weiter von einander entfernt als  $g-a$ . Man nennt deshalb den Abstand von der 1. zur 2. Stufe, 4. zur 5. Stufe und 6. zur 7. Stufe einen grossen Ganzton; von der 2. zur 3. und der 5. zur 6. Stufe einen kleinen Ganzton. Wenn man das Komma  $\frac{81}{80}$  bei der Darstellung einer Tonleiter berücksichtigt mit Hülfe des Helmholtz'schen Striches, so würde die *C-dur*-Tonleiter z. B. folgendes Aussehen haben:  $c \underline{d} e \underline{f} g a \underline{h} c$ . Wir finden bei  $h$  auch einen Strich, da von  $a-h$  ein grosser Ganzton, also auch von  $a-h$ . Die Entfernung  $e f$  bleibt dazu auch identisch mit  $h c$ . Die anderen Tonarten haben natürlich in ihren Stufen dasselbe Aussehen wie *C-dur*; z. B.  $d e \underline{f} i s g a \underline{h} \underline{c} i s d$ ; oder  $e s \underline{f} g a s \underline{b} \underline{c} \underline{d} e s$  etc. Nach der Verwandtschaft der Klänge lässt sich die Durtonleiter auch aus den drei Dreiklängen der Tonica, Dominante und Subdominante bilden, nämlich  $f a \underline{c} e g h d$ . Nach obigem Schema liegen die grossen Terzen  $a, e, h$  ein Komma

tiefer, also  $f \underbrace{a \ c \ e \ g} \ h \ d$ . Da bei jeder Tonleiter die grossen Terzen um ein Komma tiefer liegen, so lassen diese sich allgemein in folgender Weise markiren, z. B.  $ce$  oder  $\bar{c}e$  oder  $\underline{c}e$  oder  $\bar{\bar{c}}e$ . Dem Leser wird nach S. 119 bekannt sein, dass ein Strich über dem Buchstaben ein Komma höher bedeutet. Der Ton  $e$ , ohne Komma, hat also nichts mit der  $C$ -dur-Tonleiter zu thun. Man findet ihn in der Quintenreihe  $cgdae$  als erste Stufe der  $E$ -dur-Tonleiter (S. 130). Vergleiche ich eine Quintenreihe mit der Grossterzreihe, so finde ich erstere unveränderlich, während letztere in ihrer Folge stets einen Kommastrich hinzusetzen muss, z. B.  $ges \ des \ as \ es \ b$  etc., oder nach unten  $fis \ h \ e \ a \ d \ g$  etc., oder  $\underline{c} \ \underline{g} \ \underline{d} \ \underline{a} \ \underline{e}$ . Dagegen zeigt die Grossterzreihe:  $c \ \underline{e} \ \underline{gis} \ \underline{his} \ \underline{disis}$ , oder nach unten:  $c \ \bar{as} \ \bar{fes} \ \bar{deses}$ . Das Bild der kleinen Terz entsteht folgendermaassen. Von  $es-g$  = Grossterz, also auch von  $\bar{es}-g$ . Von  $g-c$  ist eine Quinte, also muss von  $\bar{es}-c$  eine kleine Terz sein<sup>1)</sup>. Der Molldreiklang hätte also folgendes Aussehen:  $c \ \bar{es} \ g$ ;  $f \ \bar{as} \ c$ ;  $g \ \bar{b} \ d$  etc. Die Molltonleiter denken wir uns entstanden aus  $f \ \bar{as} \ c \ \bar{es} \ g \ \bar{h} \ d$  (S. 125). Das ergibt die Reihenfolge:  $c \ d \ \bar{es} \ f \ g \ \bar{as} \ h \ c$ . Eine Kleinterzreihe entspricht folgendem Bilde:  $c \ \bar{es} \ \bar{\bar{ges}} \ \bar{\bar{bb}}$ ; oder  $g \ \underline{e} \ \underline{cis} \ \underline{ais} \ \underline{fisis}$ . Diese Quinten- und Terzreihen oder -töne sind von höchster Wichtigkeit, da sie die Klangverwandtschaft zweier Töne auf das Genaueste kennzeichnen, aus folgendem Grunde: Der Dreiklang bestimmt die Verwandtschaft zweier Töne und da dieser die Intervalle: Quinte, Grossterz und Kleinterz enthält, geben diese zugleich die Richtung an, wo die Verwandtschaft resp. das Verhältniss eines Tones zum anderen zu suchen ist. Ich will z. B. wissen, in welchem Verhältniss der Ton  $\underline{cis}$  zu  $c$  steht. Ich suche mir den Dreiklang mittelst der drei Intervalle:  $a \ \underline{cis} \ e$ . Warum nimmt man nun nicht den Dreiklang  $\underline{cis} \ \underline{eis} \ \underline{gis}$  oder  $\underline{cis} \ \underline{ais} \ \underline{fisis}$ ? Um das Verhältniss eines Tones zum anderen festzu-

<sup>1)</sup> Anmerkung:

$$\begin{aligned} g : \bar{es} &= 4 : 5 \\ g : c &= 2 : 3 = 4 : 6 \\ c : \bar{es} &= 5 : 6. \end{aligned}$$

stellen, muss ein Bindeglied vorhanden sein, und ein solches finden wir am allernächsten im ersten Dreiklange, und zwar im Tone *a* oder *e*. *a* = die dritte Quinte von *c* (*cgd'a*) und *cis* die Grossterz von *a*. Danach verhält sich  $c:\underline{cis} = 128:135$ , denn

$$\begin{array}{l}
 c:g:d':a' = 1:\frac{3}{2}:\frac{3}{2}:\frac{3}{2} \\
 c:a' = 8:27 \qquad a:\underline{cis}' = 4:5 \\
 c:a = 16:27 \qquad \underline{a:c'} = \underline{27:32} \\
 c':a = 32:27 \qquad c:\underline{cis} = 128:135
 \end{array}$$

Dieses *cis* gehört als Grossterz zu *A-dur*. Zur besseren Klarlegung wollen wir nun das Verhältniss von *c:cis* ausrechnen. Zu diesem *cis* kommen wir durch eine Modulation in Quintenfolgen nach dem Dreiklang *fis ais cis*.

$$c:g:d':a:e'':h:fis''':cis'''' = 1:\frac{3}{2}:\frac{3}{2}:\frac{3}{2}:\frac{3}{2}:\frac{3}{2}:\frac{3}{2}:\frac{3}{2}$$

$c:cis'''' = 128:2187$ . Lege ich *c* vier Octaven höher (1:2:4:8:16), so muss 128 mit 16 multiplicirt werden:  $c'''':cis'''' = 2048:2187$ . Also verhält sich  $c:cis = 2048:2187$ . Nun noch ein dritter Fall. Nach einem *a-moll*-Accord soll der *A-dur*-Accord erklingen: *a c e*, die Grossterz von *a* heisst *cis*, der Dreiklang also *a cis e*.

$$\underline{a}:c = 5:6$$

$$\underline{a}:\underline{cis} = 4:5$$

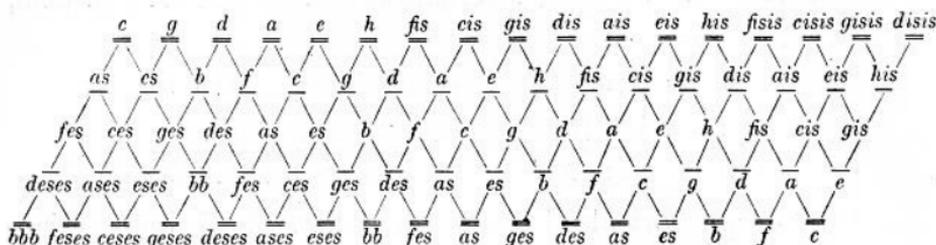
---


$$c:\underline{cis} = 24:25$$

Wir haben also drei Verhältnisse zu *c* kennen gelernt:  $c:\underline{cis} = 125:138$ ;  $c:cis = 2048:2187$  und  $c:\underline{cis} = 24:25$ .

Nach diesen Auseinandersetzungen lässt sich ein alleinstehender Ton *cis* zu einem anderen Tone nicht in ein Verhältniss bringen, sondern wir müssen vorher wissen, welchem Klange er angehört, um dann mittelst der Klangverwandtschaft den Ton zu berechnen. Ins Allgemeine übertragen ergibt sich der wichtige Satz: Die Bestimmung eines Tones kann nur mit Hülfe der Klangverwandtschaft geschehen. Dieser Satz ist nicht zu verwechseln mit dem Helmholtz'schen Satz: „Die musikalische Verbindung zwischen zwei auf einander folgenden Noten kann hergestellt sein: 1. durch Verwandtschaft der Klänge; 2. durch ihre

Nachbarschaft in der Tonhöhe“; welcher sich nur auf die Gesetze der Stimmführung bezieht (S. 149). Die Quinten- und Terztöne lassen sich nun leicht bei ihrer Fortführung zu einer Tabelle ver-



Anmerkung: Diese Tabelle hat Tanaka bis zu vier Kommatas fortgeführt und Eitz in seiner Broschüre: „Das mathematisch reine Tonsystem“ sogar bis zu fünf Kommatas. Letzterer nennt diese Tabelle: „Harmonisches Tongewebe“, und fügt jedem Ton den Zahlenwerth in Bruchform und decimaler Schreibweise bei. Die wagerechten Reihen bilden die Quinttöne, die schrägen Reihen, von der unteren an nach rechts oben, die Grossterztöne und nach links oben die Kleinterztöne.

einigen, nach welcher sofort die Verwandtschaft eines Tones festgestellt werden kann (s. S. 106). Wir wollen eine solche Feststellung mit der Untersuchung vereinigen, wie sich die Kommarückungen in einer Reihe von Accorden gestalten. Das erste Beispiel ist der Schrift, „Die Grösse der musikalischen Intervalle“, von H. Beller mann entnommen.



Der erste *C*-Dreiklang entspricht dem Grundton *c* in der Mitte der obigen Tabelle, der *F*-Dreiklang der Unterquinte von *c* = *f*. Der *D*-moll-Dreiklang wird von *f* hergeleitet, er fällt in Folge dessen ein Komma, da *d* die kleine Terz von *f* ist. Von *d* aus

laufen die beiden letzten Accorde nach links über *g* nach *c*. Nach vier Accorden ist das Tonstück bereits um ein Komma gefallen. Nach Zahlen gestaltet sich die Veränderung folgendermaassen:

$$\frac{3}{4} \cdot \frac{6}{5} = \frac{18}{20} \cdot \frac{3}{4} = \frac{54}{80} = \frac{27}{40} \cdot \frac{3}{2} = \frac{81}{80} = \text{syntonisches Komma.}$$

— Ein anderes Beispiel bringt Shohé Tanaka in seiner Schrift: „Studien im Gebiete der reinen Stimmung“<sup>1)</sup>. Die untere Stimme soll in

<sup>1)</sup> Erschienen bei Breitkopf und Härtel.

reinen Intervallen fortlaufen. Will nun das obere  $d$  zum  $h$  eine reine kleine Terz bilden, muss das  $d$  um ein Komma steigen.



Damit  $c-a$  eine reine Sexte wird, muss der Ton  $a$  gesungen werden, also der schwierige Schritt  $\bar{d}-a$ . Die letzte Quinte  $da$  fordert dann wieder ein Steigen des  $a$  um ein Komma.

Soll die obere Stimme unverändert bleiben, so müsste die untere Stimme in folgender Weise ausgeführt werden:  $g\ h\ c\ d$ , übrigens eine einfachere Lösung. Es ist nun höchst reizvoll, solche Untersuchungen auf ein ganzes Tonstück auszudehnen, um zu sehen, ob dasselbe kommatisch steigt oder fällt, wobei man natürlich stets das richtige Feingefühl für die Tonalität der Accordfolgen haben muss, um zu richtigen Resultaten zu kommen. Professor Gustav Engel giebt darin nähere Anleitung in seinem Werke: „Das mathematische Harmonium.“

### Reinheit einer mehrstimmigen Composition.

Bezüglich dieser herrscht noch grosse Uneinigkeit unter den Akustikern. Da der Gesangston kein mechanischer, festliegender ist, so ist die Frage, ob für denselben die reine oder temperirte Stimmung maassgebend sein soll, noch immer eine offene. Der Gesangston befindet sich insofern in einem Dilemma, als er einerseits gezwungen ist, mit dem temperirten Clavier- oder Orchesterton zu harmonisiren, andererseits er aber im a-capella-Gesang sich wieder frei in natürlicher Stimmung entfalten kann. Ganz abgesehen davon, dass in Folge dieser Inconsequenz das Tonbewusstsein des Sängers ein schwankendes bleibt, wird ein mehrstimmiger, reiner Gesang ohne Begleitung immer eine Seltenheit bleiben, da das Clavier, mit dessen Hülfe meistens die Gesangstücke eingeübt werden, mit seiner temperirten Stimmung den Gesangston beherrscht. Letzterem als edelste Stütze ausübender Musik ein Instrument zur Einübung zu geben, welches reine Stimmung zeigt, wäre jedenfalls ein erreichbares Ideal. Getragene Töne als Begleitung sind deswegen vorzuziehen, weil der Sänger selbst, sowie er die richtige Tonhöhe auch nur wenig verlässt, sogleich

Schwebungen zwischen den Tönen seiner Stimme und denen des Instrumentes hört. Das geeignetste Instrument dazu ist das Harmonium, auf dessen Gebrauch zur reinen Stimmung wir noch näher eingehen werden. Am besten ist natürlich eine Einübung ohne jegliches Instrument, wie es z. B. der Berliner Domchor betreibt, oder auch Leute aus dem Volke, welche kein Instrument besitzen. So wurde mir in einem Männergesangsvereine, den ich leitete, von vier jungen Leuten erzählt, dass sie Gesangsquartette in tadelloser Weise ausführen könnten. Auf eine Einladung hin hörte ich einen derartig reinen wohlklingenden Zusammenklang, dass ich davon tief ergriffen wurde. In einfachen Verhältnissen lebend, beherrschte keiner der vier Sänger ein Instrument, dieselben zeigten aber dafür ein natürliches musikalisches Feingefühl und ein scharfes Tonvorstellungsvermögen, um welches sie mancher Dilettant beneiden konnte. In England existirt eine Gesellschaft der Solfeggisten (Tonic-Solfa-Association), welche ohne jegliche Instrumentalbegleitung singen lernt und nur ihrem Gehöre folgt. Diese Gesellschaft ist in allen grösseren Städten Englands vertreten und hat über 150 000 Mitglieder. Ihre Gesangsschrift verfolgt nur das Princip der Tonalität oder auch der Klangverwandtschaft. Sie kennen bloss die Silben *do, re, mi, fa, so, la, si, do*. Singen sie z. B. von *c-dur* nach *a-dur*, dann wird, sobald sich das Gefühl der neuen Tonica geltend macht, für den Ton *a do* gesetzt und zwar *la do*. Die unbewusste Ausführung der Kommaunterschiede wird erst später im Verlaufe des Unterrichtes durch Striche zum Bewusstsein gebracht. Auch in Deutschland fängt man an, für eine blosse Intervallentschrift in Beziehung zur Tonica Propaganda zu machen, wie z. B. Alexander Beutter in seiner Schrift: „Akustik und Gesangunterricht“ (Stuttgart, Chr. Belser). Shohé Tanaka will eine reine Intervallschrift sogar auf die Instrumente ausgedehnt wissen, indem er die Note in Form einer *C*-Leiter belässt und z. B. jede Tonart mit dem Bilde der *C*-Leiter geschrieben sich denkt, wodurch die Noten nicht die Darstellung eines feststehenden Tones bezeichnen, sondern nur die Intervalle zur Tonica. Diese Ansicht wird aller-

dings schwer bekämpft von Zellner in seinen „Vorträgen über Akustik“. Es ist leicht, die Beobachtung zu machen, dass die Sänger natürliche Terzen und Sexten singen und nicht temperirte, besonders bei freien Einsätzen. Daraus können wir den Schluss ziehen, dass das unverdorbenes Ohr die natürlichen Intervalle vorzieht; schon aus dem einfachen Grunde, weil es darin nur der diatonischen Leiter zu folgen braucht, während die Töne der temperirten Scala auf besonderer Berechnung beruhen.

### Die Stimmung der Orchesterinstrumente.

Die Streichinstrumente befinden sich in einer ähnlichen Lage, wie die menschliche Stimme. Der Geiger z. B. ist meistens gezwungen, 12 stufig zu spielen, während die rein gestimmten Quinten zum Theil auf pythagoräische, zum Theil auf natürliche Intervalle hinleiten. Einige Beispiele: Greift man den Doppelgriff *h' e''*, so steht dieses *h'* im Quintenverhältniss zu *e''* als Octave von *h''*, also ein pythagoräisches Intervall. Streicht man nun dasselbe *h'* mit der leeren *d'*-Saite an, so entsteht eine pythagoräische Sexte. Um diese zu einer natürlichen zu machen *d-h*, muss nach Helmholtz der Finger  $1\frac{2}{3}$  Pariser Linien zurückgehen. Es hängt nun davon ab, in welcher Tonart der Geiger spielt. Spielt er in *E-dur*, so wird er *h*, bei *G-dur* *h* greifen. Im letzten Falle würde die *E*-Saite als sechste Stufe von *G* ein Komma zu hoch klingen, da das leere *e* die vierte Quinte von *g* ist, also ein pythagorä-

isches Intervall vorstellt. — Bei dem Accordgriff  klingt

das *e''* zur leeren *e*-Saite um ein Komma zu tief, da das gegriffene *e''* zu *g'* im Terzverhältniss steht, während das leere *e* zu *g'* als Octave der leeren *g*-Saite einen Quintton bildet (siehe Tabelle S. 130). So kann man leicht nach der Tabelle ausrechnen, bei welchen Tonarten die leeren Saiten der Streichinstrumente gebraucht und nicht gebraucht werden dürfen. Genau genommen, stimmen die leeren Quinten der letzteren nur unter sich überein, aber nicht mit einer anderen Instru-

mentenart. Bei dem Zusammenspiel mit dem temperirten Clavier werden die kommatischen Unterschiede meist verwischt, bei einem Streichquartett treten aber die pythagoräischen und natürlichen Intervalle sich scharf gegenüber. Da das feine musikalische Ohr in natürlichen Intervallen sich bewegen will, wird die Ausführung des reinen Spiels bei dem Streichquartett zu einer sehr schwierigen. Die temperirte Stimmung tritt dabei vollkommen zurück. Jeder Geiger müsste, um nicht bloss mit dem Gehöre, sondern auch mit dem Verstande rein zu spielen, mit den akustischen Verhältnissen vollkommen vertraut sein. Er findet specielle Belehrung in der Broschüre von Courvoisier: „Die Violintechnik“, Köln 1878. Von den übrigen Orchesterinstrumenten haben bloss die Hörner und Trompeten natürliche Stimmung. Wenn die Geiger nun in reiner natürlicher Stimmung spielen würden, dann müssten die anderen Spieler temperiren: ein schwer auszuführendes Verlangen. Von einem reinen Orchesterspiel wird daher nur relativ, nie absolut die Rede sein können.

### Die temperirte Stimmung.

Die menschliche Stimme ist an keinen mechanisch festliegenden Ton gebunden, die Streichinstrumente nur zum Theil. Wie ist es aber nun z. B. mit unserer Orgel und unserem geliebten Claviere? Würde man die gesammten Töne des natürlichen Systems innerhalb einer Octave auf circa 50 reduciren, so brauchte man ein etwa 6 m langes Clavier, um alle diese Töne für sieben Octaven festzulegen. Die eigentliche Ursache der Unmöglichkeit einer reinen Stimmung für das Clavier oder die Orgel ist aber die Schwierigkeit, alle Tonarten und Intervalle in ein richtiges resp. rein gestimmtes Verhältniss zu einander zu bringen, was aus den, nie zum Ausgangston zurückkehrenden Terz- und Quinttönen zu ersehen ist. Das Verfahren nun, die entstehenden Fehler auszugleichen, heisst temperiren. Die Bestrebungen hierzu sind so zahlreich, dass eine Darlegung derselben allein dicke Bände

füllen würde. Ich kann mich hier nur auf das Nothwendige beschränken, an der Hand einer kurzen, historischen Uebersicht.

### Entwicklung der Temperatur.

Es ist wohl anzunehmen, dass die ersten Tasteninstrumente pythagoräisch, also in reinen Quinten, gestimmt wurden. Die dadurch entstehenden unreinen Terzen und Sexten wurden dann für die gebräuchlichsten Tonarten temperirt. Eine Modulation nach entfernteren Tonarten war deshalb nicht denkbar. Dass man schon damals unsere 12 Tasten anwandte, ergibt sich aus Berichten derzeit lebender Männer, wie Zuchetto 1318, Organist zu Venedig; Prätorius 1450. Auch das 1410 von Joh. van Eyk gemalte Bild der heiligen Cäcilia, vor einer Orgel sitzend, zeigt dieselbe Claviatur, wie die heutige (Berliner Museum). Arnold Schlick kam in seiner in Heidelberg 1511 erschienenen Schrift: „Spiegel der Orgelmacher und Organisten“, auf die Idee, zu Gunsten der zu reinen Harmonien nöthigen grossen Terz die Quinten enger zu machen, in folgender Weise: vier reine Quinten geben einen um ein Komma zu hohen Terzton gegen die grosse Terz in der diatonischen Leiter. Er vermindert darum jede der vier Quinten um  $\frac{1}{4}$  Komma, so wird die grosse Terz rein, aber auf Kosten der anderen Intervalle, wie z. B. der kleinen Terz, welche um ein  $\frac{1}{4}$  Komma zu klein, oder der grossen Sexte, welche um ebenso viel zu gross wird. Ueberhaupt werden wir bei allen Temperaturen, mit Ausnahme der gleichschwebenden 12 stufigen, die Thatsache bemerken, dass bei den Bestrebungen nach wohlklingenden Intervallen doch immer ein oder zwei übrig bleiben, auf welche sich die Fehler zusammenhäufen. Ein solches fehlerhaftes Intervall heisst „Wolf“.

Diese von Schlick angebahnte, von Aron (1523), Fogliani (1529) und Salinas (1577) ausgebaute Stimmung nannte man mitteltönige Temperatur, weil der Werth des Ganztones zwischen dem grossen und kleinen Ganztone der reinen Stimmung genau die Mitte hält. Sie hielt sich bis zum Anfang des 17. Jahrhunderts. Nur das beschränkte Modulationswesen damaliger Zeit

lässt uns eine solche mit vielen Wölfen gezierte Temperatur begreifen, wenn sie auch den Vorzug reiner Quinten besass. Zarlino suchte in einem neuen System die Bevorzugung einzelner Intervalle zu Ungunsten der übrigen zu umgehen, indem er die Consonanzen gleich unrein machte. In seiner Schrift: „Istitutioni harmoniche“ 1558 stellt er darum die Forderung auf, man solle jede Quinte um  $\frac{2}{7}$  Komma zu eng stimmen, dann würde die grosse Terz der aus vier Quinten entstehenden Terz bis auf  $\frac{1}{7}$  Komma gleich werden, nämlich  $c:(g-\frac{2}{7}\text{ Komma}):(\text{d}-\frac{4}{7}\text{ Komma}):(\text{a}-\frac{6}{7}\text{ Komma}):(\text{e}-\frac{8}{7}\text{ Komma})$ . Dieses  $e$  ist um  $\frac{1}{7}$  Komma grösser als  $e$  oder  $e-\frac{7}{7}$  Komma. Die grosse Terz wird also um  $\frac{1}{7}$  Komma zu eng und die Sexte als umgekehrtes Intervall um ebenso viel zu gross. Da aber diese unreine Terz zur Prüfung der anderen Töne zum Stimmen nicht gebraucht werden konnte, so konnte diese ungleichschwebende Temperatur die mitteltönige nicht vertreiben. Da man aber den Wolf unbedingt so viel wie möglich zu entfernen trachtete, kam man auf die Idee, mittelst Schwebungen die Lage der Töne zu bestimmen, wie es beim Stimmen der Orgel noch heute geschieht und auch, soweit es möglich ist, beim Clavier. Gab man nun der Entfernung von einem Ton zum folgenden bei jedem gleichnamigen Intervall eine gleiche Anzahl von Schwebungen, so wurde der Wolf aufgehoben. Da die Schwebungen um so weniger merkbar werden, je schneller die Bewegung und je kürzer die Dauer eines Tones ist, musste der Clavierton unbedingt für die 12 stufige gleichschwebende Temperatur prädestinirt erscheinen. Als Bahnbrecher derselben gelten Werkmeister und Neidhardt. Denselben widerstrebte es allerdings noch, alle Intervalle als rein aufzugeben. So beliess Werkmeister noch vier reine Quinten und Neidhardt drei ebensolche. Erst mit J. S. Bach nahm man die gleichmässige Temperirung des ganzen Quintenzirkels an, die bis heute die herrschende geblieben ist, wenigstens bei Orgel und Clavier. Näheres weiterhin.

## Darstellung der getheilten reinen Stimmung auf dem Harmonium.

Es ist klar, dass mit der Entwicklung der Musik sich auch das Bestreben zeigte, sie hinsichtlich ihrer praktischen Ausübung von aller Unreinheit zu befreien, indem man eine grössere Auswahl natürlicher Stimmungstöne auf ein Instrument fixirte. Zur Verwirklichung aller dieser Versuche wurde das Harmonium gewählt, da die durchschwingende Zunge ein nahezu unverstimmbares Tonorgan ist, sich also für die feinen Tonunterschiede vorzüglich eignet. Der Raum dieses Buches gestattet hier auch nur eine übersichtliche Darstellung dieser Versuche.

Es ist einleuchtend, dass die Unterschiede zweier Tonhöhen um so kleiner werden, je mehr Töne in eine Octave gebracht werden. So unterscheidet Dr. Riemann in seinem Katechismus für Akustik 110 Tonwerthe innerhalb einer Octave, die alle nach ihrer Klangverwandtschaft auf das Genaueste berechnet sind. Mach fordert für sein System 720 und Sauveur nicht weniger als 3010 Töne im Raume einer Octave, um in allen Tonarten mathematisch reine Accorde zu erzielen. Da unser Ohr nur etwa 1000 Tonstufen in der zweigestrichenen Octave und nach den Grenzen der Scala noch bedeutend weniger unterscheiden kann, so sind wir gezwungen, wenn eine Darstellung der Töne für die Praxis nur einigermaassen brauchbar sein soll, viele benachbarte Töne auf einen Ton zu reduciren, was wir auch mit gutem Gewissen thun können. So verhält sich z. B.  $\underline{h} : \underline{ces} = \frac{887}{886}$ . Dieser feine Unterschied, „Schisma“ genannt, ist nach W. Preyer's Versuchen in seinem Werke: „Ueber die Grenzen der Tonwahrnehmung“, nur in der zweigestrichenen Octave durch eine Schwebung bemerkbar, in den anderen Scalen gar nicht. Deshalb können ruhig verschmelzen zu einem Ton<sup>1)</sup>:

$$\begin{aligned} \underline{h} &= \underline{ces}; \quad \underline{cis} = \underline{des}; \quad \underline{dis} = \underline{és} \\ \underline{fis} &= \underline{ges}; \quad \underline{gis} = \underline{as}; \quad \underline{ais} = \underline{b} \text{ etc.} \end{aligned}$$

1) Siehe Tanaka, Studien, S. 8 ff.

Diese Reducirung der Töne ist von den Akustikern in der verschiedensten Weise ausgeführt und mit Hülfe eines Harmoniums verwirklicht worden. So erbauten:

- Vincentino (1555) 31 Töne in der Octave auf 6 Tastenreihen;
- Zarlino (1548) 18 Töne<sup>1)</sup>;
- Gonzaga (1606) 4 Octaven zu 31 Tasten in 5 Reihen;
- Doni (1635) 38 Töne;
- Mersenne (1637) 26 und 31 Tasten; und neuerdings:
- Helmholtz 30- und 24stufig (siehe sein Werk, S. 512);
- Oettingen 36 stufig;
- Bosanquet 53stufig;
- Appun 36 stufig;
- White 53 stufig.

Diese Instrumente sollten grösstentheils zur Darstellung akustischer Versuche dienen. Zu denjenigen, welche vollen Anspruch auf Benutzung ihrer Instrumente in der praktischen Musikausübung machen, gehören Shohé Tanaka: „das Enharmonium“, und Perronet Thompson: „die enharmonische Orgel“, welche auch in der Gesellschaft der Solfeggisten in England gebraucht wird. Das erstere Instrument zählt 20 Tasten in der Octave, und die Töne werden durch einen Hebeldruck kommatisch verändert. Ferner können durch eine 12malige Verschiebung die Tasten zur Darstellung aller Tonhöhen der chromatischen Tonleiter dargestellt werden. Die Tasten dienen also nicht festliegenden Tönen, wie beim Clavier, sondern sie stellen bloss Intervalle vor, demgemäss die Notirung auch eine andere wird. Ob dieses Instrument sich verbreiten wird, bleibt eine Frage der Zeit; jedenfalls ist die Behauptung Tanaka's, dass ihm durch Ausführung seines Entwurfes die praktische Durchführbarkeit der reinen Stimmung auf Tasteninstrumenten erwiesen erscheine (Studien, S. 23), etwas gewagt.

---

<sup>1)</sup> Die Zahl der Töne bezieht sich auf den Raum einer Octave.

Die 53stufige und 12stufige gleich schwebende  
Temperatur.

Ich stelle diese beiden Stimmungen einander gegenüber, weil die 53stufige als das Ideal der reducirten reinen Stimmung von den neuesten Theoretikern betrachtet wird, im Gegensatz zu der noch jetzt herrschenden 12stufigen. Zu der schon vorhin genannten „schismatischen Verwechslung“ ( $eis = f$ ) hat Tanaka noch eine Verschmelzung vorgenommen, z. B.:

$$\begin{aligned} \overline{\overline{ges}} &= \underline{\underline{fisis}}; \overline{\overline{fes}} = \underline{\underline{eis}}; \overline{\overline{eses}} = \underline{\underline{dis}}; \overline{\overline{ges}} = \underline{\underline{fisis}} \\ \overline{\overline{ces}} &= \underline{\underline{his}}; \overline{\overline{bb}} = \underline{\underline{ais}}; \overline{\overline{des}} = \underline{\underline{cisis}}; \overline{\overline{es}} = \underline{\underline{disis}}. \end{aligned}$$

Der Unterschied beträgt annähernd  $\frac{214}{213}$ . Tanaka nennt die Gleichsetzung „Kleisma“ = Verschluss. Durch diese beiden Verwechslungen kann man also das ganze natürliche System auf 53 Töne reduciren. Vor Allem wird die Hauptsache erfüllt, dass nämlich die Kette der Tonfolgen wieder in sich zurückkehrt, nämlich<sup>1)</sup>:

$$\begin{aligned} c \ c \ \underline{\underline{cis}} \ \underline{\underline{cis}} \ \underline{\underline{cis}} \ \overline{\overline{des}} \ \overline{\overline{des}} \ \underline{\underline{d}} \ \underline{\underline{d}} \ \underline{\underline{d}} \ \overline{\overline{eses}} \ \underline{\underline{dis}} \ \underline{\underline{dis}} \ \underline{\underline{es}} \ \underline{\underline{es}} \ \underline{\underline{es}} \ \underline{\underline{e}} \ \underline{\underline{e}} \ \underline{\underline{e}} \ \overline{\overline{fes}} \ \underline{\underline{eis}} \ \underline{\underline{f}} \ \underline{\underline{f}} \\ \underline{\underline{f}} \ \underline{\underline{fis}} \ \underline{\underline{fis}} \ \underline{\underline{fis}} \ \overline{\overline{ges}} \ \overline{\overline{ges}} \ \underline{\underline{fisis}} \ \underline{\underline{g}} \ \underline{\underline{g}} \ \underline{\underline{g}} \ \underline{\underline{gis}} \ \underline{\underline{gis}} \ \underline{\underline{as}} \ \underline{\underline{as}} \ \underline{\underline{as}} \ \underline{\underline{a}} \ \underline{\underline{a}} \ \underline{\underline{a}} \ \underline{\underline{bb}} \ \underline{\underline{ais}} \ \underline{\underline{ais}} \ \underline{\underline{b}} \ \underline{\underline{b}} \\ \underline{\underline{b}} \ \underline{\underline{h}} \ \underline{\underline{h}} \ \overline{\overline{ces}} \ \overline{\overline{ces}} \ \underline{\underline{his}} \ \underline{\underline{c}} \ \underline{\underline{c}}. \end{aligned}$$

Das Intervall von einem Ton bis zum nächstliegenden beträgt entweder ein alterirtes Komma ( $\underline{\underline{cis}} - \overline{\overline{des}} =$  ein Komma weniger als ein Schisma), oder ein richtiges Komma. Die Abweichung dieser reducirten Intervalle von den reinen ist für das menschliche Ohr kaum vernehmbar. Die Quinten brauchten bloss um  $\frac{1}{314}$  Komma und die grossen Terzen um  $\frac{1}{15}$  Komma verkleinert zu werden, um Harmoniefolgen unbeschränkt vornehmen zu können. Tanaka hat hiernach sein Instrument gebaut. (Siehe

<sup>1)</sup>  $\frown$  = schism. Verw.  $\smile$  = kleism. Verw.  $\curvearrowright$  = beide zugleich.

dessen Werk, S. 12 ff. Eine sehr ausführliche Darstellung dieses Systems giebt Dr. Riemann in seinem Katechismus der Akustik.)

Die 12stufige gleichschwebende Temperatur beruht auf dem Princip, die Fehler, welche bei der ungleichschwebenden Stimmung durch Bevorzugung einzelner reiner Intervalle entstehen, auf alle Intervalle gleichmässig zu vertheilen. Da also diese gleichmässig unrein sind, geben die benachbarten Töne auch verhältnissmässig gleiche Schwebungen, daher der Ausdruck „gleichschwebend“. Wir wissen, dass der 12. Quintton um ein pythagoräisches Komma grösser ist als die Octave. Nehmen wir die Quintenfolge von *c-g-d-a* etc. bis *his*, so muss dieses *his* dem *c* gleich gesetzt werden. Um diesen Unterschied auszugleichen, vertheilen wir das Komma auf alle zwölf Quinten, so dass jede um  $\frac{1}{12}$  Komma zu klein wird. Der vierte Quintton = grosse Terz entspricht also der temperirten grossen Terz. Die natürliche grosse Terz =  $\frac{5}{4}$  ist aber um ein ganzes syntonisches Komma ( $\frac{81}{80}$ ) kleiner als die pythagoräische; die temperirte dagegen bloss um  $\frac{1}{12}$  des pythagoräischen Kommas, mithin ist die temperirte Terz immer noch um einen Bruchtheil (etwa  $\frac{8}{11}$  eines syntonischen Kommas) grösser als die natürliche. Diese grössere Abweichung der Terz von der Reinheit gegenüber derjenigen der Quinte trägt deshalb viel zur Existenzberechtigung des temperirten Systems bei, weil das Ohr eine Abweichung von der Reinheit bei der Terz mehr verträgt, als bei der Quinte. Im Uebrigen werden, wie im reinen Quintensystem, alle grossen und übermässigen Intervalle grösser und deren Umkehrungen als kleine und verminderte Intervalle naturgemäss kleiner. Dr. Riemann giebt in seiner „Tonbestimmungstabelle“ die Stellung und das Verhältniss der temperirten Intervalle zu den natürlichen und den 53stufigen genau an.

Vortheile der 12stufigen gleichschwebenden Temperatur.

Diese theoretischen Feststellungen haben für den Stimmer nur den Werth, als er weiss, welche Intervalle er höher und welche er tiefer stimmen muss. So wird z. B. eine Octave erst nach Quinten und Octaven eingestimmt, wobei die Quinten ein klein



hauptet, Sänger und Geiger nähmen die pythagoräische Terz, da dieselbe als Leitton stets hoch intonirt würde. H. Bellermann entscheidet sich für die natürliche Terz bei Singstimmen, welcher Ansicht ich mich anschliesse. Dasselbe gilt von Scheibler, Hauptmann und Helmholtz, der dieses Problem bei einem Versuche mit Herrn Joachim verwirklicht fand. Steiner entscheidet sich in der Melodie für die pythagoräische und in der Harmonie für die natürliche Terz (siehe Zellner's Akustik, S. 224 ff.).

### Nachtheile der 12stufigen gleichschwebenden Temperatur.

Die grösste Unannehmlichkeit derselben liegt wohl in der Entstehung von falschen Combinationstönen. Helmholtz sagt darüber: „Diese schlechten Combinationstöne sind mir immer das Qualendste gewesen in der Harmonie der gleichschwebenden Temperatur; namentlich wenn in hoher Lage nicht zu schnelle Terzengange gespielt werden, bilden sie eine abscheuliche Art Grundbass dazu, der um so unangenehmer ist, als er dem richtigen Grundbass ziemlich nahe kommt und so klingt, als würde dieser von einem ganz verstimmtten Instrumente ausgeführt. Am deutlichsten hört man sie an dem Harmonium und an Violinen. Hier bemerkt sie auch jeder Musiker und jeder geübte musikalische Dilettant sogleich, wenn man ihn darauf aufmerksam macht. Bei Uebung merkt man sie auch an Claviertonen.“ — Durch diese falschen Nebentöne und durch die stets entstehenden Schwebungen muss die Reinheit und Klarheit der Accorde naturgemäss getrübt werden. Ja, wird Mancher sagen, ich merke aber bei einem gestimmten gut tönenden Flügel nichts von einer Trübung und Unklarheit! Warum nicht? weil unser Ohr von früher Kindheit an systematisch an die falsche temperirte Stimmung gewöhnt worden ist. Rufen wir uns ins Gedächtniss, ob wir nicht bei einem geschulten, gemischten Chor oft gesagt: Welche wunderbar reinen Accorde! Ein solch beseligendes Gefühl habe ich gehabt bei Auffuhungen der gemischten Chöre in der Domkirche zu Berlin und im Dom zu Aachen. Und lesen wir über das musi-

kalische Feingefühl der singenden Kinder in der Gesellschaft der Solfeggisten in England, dann können wir nur bedauern, dass das temperirte System unser Gehör so sehr abgestumpft hat. Helmholtz liess sich eine Physyharmonika anfertigen, die in reiner wie temperirter Stimmung spielbar war. Der Unterschied war bedeutend. In der reinen Scala traten die consonanten Accorde bei Weitem heller, klarer, lieblicher hervor, die dissonanten intensiver, rauher als in der temperirten, welche fast gleiche Färbung gab. Der Gewinn des Klanges durch die Nebentöne geht eben bei der letzteren fast vollständig verloren. Für uns bleibt die Erreichung einer genaueren Scala leider vorläufig noch ein Wunsch, wenn auch Tanaka schon einen bedeutenden Schritt zu seiner Erfüllung gethan hat. So lange man das Clavier aber in seiner Stimmung belässt, so lange wird's auch beim Alten bleiben. Ich nenne zum Schluss dieses Capitels nochmals die Werke, welche auf dieses interessante Thema näher eingehen: Shohé Tanaka, „Studien im Gebiete der reinen Stimmung“ (Breitkopf & Härtel); L. A. Zellner, „Vorträge über Akustik“, 2. Bd. (Hartleben, Wien); K. Eitz, „Das mathematisch reine Tonsystem“ (Breitkopf & Härtel, Leipzig); Blaserna, „Die Theorie des Schalles“ (Brockhaus, Leipzig); Gustav Engel, „Das mathematische Harmonium“ (C. Habel, Berlin); Alexander Beutter, „Akustik und Gesangsunterricht“ (Belser, Stuttgart); Naumann, „Bestimmungen der Tonverhältnisse“ (Breitkopf & Härtel, Leipzig).

#### Aufzählung der natürlichen Intervalle, die dissonanten Accorde.

In der natürlichen Dur- und Molltonleiter kommen folgende Intervalle vor, die wir uns aus Terzen, Quinten und Septimen gebildet denken:

1. Die natürliche grosse Terz,  $\frac{5}{4}$ ,  $c-e$ ,  $\overline{es-g}$  etc. und
2. die natürliche kleine Terz,  $\frac{6}{5}$ , mit der Umkehrung,
3. die grosse Sexte,  $\frac{8}{5}$ ,  $e-cis$ ,  $ges-\overline{es'}$  etc. und
4. die kleine Sexte,  $\frac{5}{3}$ ,  $c-\overline{as'}$   $\overline{a-f}$ ,

5. die pythagoräische kleine Terz,  $\frac{32}{27}$ , zwischen  $d-f$ . Sie ist um ein Komma enger als die consonante kleine Terz  $\underline{d-f}$ . Die pythagoräische grosse Terz, z. B.  $c-e$ , kommt in der Tonleiter nicht vor.

6. Die pythagoräische grosse Sexte,  $\frac{27}{16}$ , als Umkehrung von Nr. 5, z. B.  $f-d$ , um ein Komma grösser, als die natürliche grosse Sexte  $\underline{f-d}$  und an Wohlklang der letzteren bedeutend nachstehend.

7. Die reine Quinte,  $\frac{3}{2}$ , besteht aus der natürlichen grossen und kleinen Terz;  $c-g$ ,  $e-h$ ,  $g-d$ .

8. Die reine Quarte,  $\frac{4}{3}$ , als Umkehrung von der reinen Quinte.

9. Die unreine Quinte,  $\frac{40}{27}$ ,  $d-a$ , um ein Komma kleiner als die reine Quinte  $\underline{d-a}$ . Sie macht in der eingestrichenen Octave 11 Schwebungen in der Secunde. Dasselbe gilt von der

10. unreinen Quarte,  $\underline{a-d}$ ,  $\frac{27}{20}$ .

11. Die kleine Quinte,  $\underline{h-f}$ ,  $\frac{64}{45}$ .

12. Die übermässige Quarte oder der Tritonus  $f-h$ ,  $\frac{45}{32}$ , Umkehrung von Nr. 11 und nahezu gleich, da z. B.  $\underline{h-f}$  fast gleich  $ces-f$ .

13. Die übermässige Quinte der Molltonart  $\overline{es-h}$ ,  $\frac{25}{16}$ , fast um zwei Kommata kleiner als die kleine Sexte, wenn man statt  $h$  das nahehin gleich hohe  $ces$  setzt. Es ist  $\overline{es-h}$  also gleich  $\overline{es-ces}$ ; die consonante kleine Sexte ist aber  $\underline{es-ces}$  und  $\overline{es}$  um zwei Kommata höher als  $\underline{es}$ . Sie klingt bedeutend rauher als die kleine Sexte.

14. Die verminderte Quarte  $\underline{h-es}$ ,  $\frac{32}{25}$ , um zwei Kommata höher als die natürliche grosse Terz.

15. Die verminderte Septime der Molltonart  $\underline{h-as}$ ,  $\frac{128}{75}$ , um zwei Kommata höher als die grosse Sexte. Deren Umkehrung:

16. Die übermässige Secunde  $\overline{as-h}$ ,  $\frac{75}{64}$ ; der Unterschied zur kleinen Terz ist nicht so rauh.

17. Die engere kleine Septime  $g-f$ ,  $\underline{h-a}$  oder  $d-c$ ,  $\frac{16}{9}$ , kommt der natürlichen Septime  $\frac{7}{4}$  nach Nr. 23 am nächsten.

18. Der grosse Ganzton  $c-d$ ,  $\underline{a-h}$ ,  $f-g$ ,  $\frac{9}{8}$ .

19. Die weitere kleine Septime  $\underline{e-d'}$ ,  $\underline{a-g}$ ,  $\frac{9}{5}$ , um ein Komma grösser als Nr. 17.

20. Der kleine Ganzton,  $\frac{10}{9}$ ,  $\underline{d-e}$ ,  $\underline{g-a}$ ,  $\frac{10}{9}$ , ist schärfer im Zusammenklange als Nr. 18.

21. Die grosse Septime  $\underline{f-e'}$ ,  $\underline{c-h}$ ,  $\frac{15}{8}$ , besteht aus zwei grossen und einer natürlichen kleinen Terz.

22. Die kleine Secunde,  $\frac{16}{15}$ ,  $\underline{h-c}$ ,  $\underline{e-f}$ , die schärfste Dissonanz.

23. Die übermässige Sexte  $\overline{des-h}$ ,  $\frac{225}{128}$ , etwa um ein Komma kleiner als Nr. 17.

24. Die verminderte Terz  $\underline{h-des}$ ,  $\frac{256}{225}$ , klingt schärfer.

In der temperirten Stimmung werden zusammengeschmolzen aus

|                                                                |                                                               |
|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| dem chromatischen Halbton $\frac{25}{24}$ oder $\frac{27}{25}$ | } kleine Secunde,<br>$\frac{1}{2}$ Tonstufe,                  |
| dem diatonischen Halbton $\frac{16}{15}$                       |                                                               |
| dem grossen Ganzton                                            | } grosse Secunde,<br>1 Tonstufe,                              |
| dem kleinen Ganzton                                            |                                                               |
| der verminderten Terz                                          |                                                               |
| der natürlichen kleinen Terz                                   | } kleine Terz,<br>1,5 Stufen,                                 |
| der pythagoräischen kleinen Terz                               |                                                               |
| der übermässigen Secunde                                       |                                                               |
| der natürlichen grossen Terz                                   | } grosse Terz,<br>2 Stufen,                                   |
| der pythagoräischen grossen Terz                               |                                                               |
| der verminderten Quarte                                        |                                                               |
| der reinen Quarte                                              | } Quarte,<br>2,5 Tonstufen,                                   |
| der unreinen Quarte                                            |                                                               |
| der übermässigen Terz                                          |                                                               |
| der übermässigen Quarte                                        | } übermässige Quarte<br>oder verminderte<br>Quinte, 3 Stufen, |
| der verminderten Quinte                                        |                                                               |
| der kleinen Quinte                                             |                                                               |
| der reinen Quinte                                              | } Quinte,<br>3,5 Stufen,                                      |
| der unreinen Quinte                                            |                                                               |
| der natürlichen kleinen Sexte                                  | } kleine Sexte,<br>4 Stufen,                                  |
| der übermässigen Quinte                                        |                                                               |

|                                   |   |                                |
|-----------------------------------|---|--------------------------------|
| der natürlichen grossen Sexte     | } | grosse Sexte,<br>4,5 Stufen,   |
| der pythagoräischen grossen Sexte |   |                                |
| der verminderten Septime          |   |                                |
| der engeren kleinen Septime       | } | kleine Septime,<br>5 Stufen,   |
| der weiteren kleinen Septime      |   |                                |
| der übermässigen Sexte            |   |                                |
| der grossen Septime               | } | grosse Septime,<br>5,5 Stufen. |
| der verminderten Octave           |   |                                |

Hierbei sind nicht die feineren Kommaunterschiede, sondern nur die vorkommenden Intervalle der diatonischen Tonleitern berücksichtigt. Diese Verschmelzung zeigt eine der grössten Unvollkommenheiten des temperirten Systems.

Es erübrigt nun noch, die dissonanten Drei-, Vier- und Fünfklänge, so weit wir sie gebrauchen, auf ihre verschiedene Deutung hin zu untersuchen.

Es giebt dissonante Dreiklänge mit einer Dissonanz und mit zwei Dissonanzen. In der ersten Art bilden der zweite und dritte Ton zum ersten Tone eine Consonanz und unter sich eine Dissonanz, z. B.:

1.  $c-f-g$ ; 2.  $c-e-f$  oder  $c-\bar{e}s-f$ ; 3.  $c-g-a$  oder  $c-g-\bar{a}s$ ; 4.  $c-\bar{e}s-a$  oder  $c-e-\bar{a}s$ . In allen diesen ist  $c$  zu beiden Tönen consonant. Mit Ausnahme von  $c-f-g$  sind sämtliche Accorde Theile von Septaccorden. Die interessantesten dieser Dreiklänge sind die unter Nr. 4. Denken wir uns die Reihe dieser Töne fortgesetzt:  $\bar{a}s-c'-e'-\bar{a}s'-c''-e''$ , so entsteht die Terz  $e-\bar{a}s = \frac{32}{25}$ ,

$$\frac{5}{4} \frac{5}{4} \frac{32}{25} \frac{5}{4} \frac{5}{4}$$

welche um zwei Kommata grösser ist, als eine reine grosse Terz. Diese, sowie einige kleine andere Kommaverschiebungen bestimmen den genannten Accord jedesmal zu einer neuen Tonart. So gehört:

$$\begin{aligned} \bar{A}s-c-e-\bar{a}s & \text{ zu } f\text{-moll,} \\ \underline{Gis}-c-e-\underline{gis} & \text{ zu } a\text{-moll,} \\ \bar{A}s-c-\bar{f}e\bar{s}-\bar{a}s & \text{ zu } \bar{d}e\bar{s}\text{-moll.} \end{aligned}$$

Im Accordsysteme der Tonart folgen sich wechselnd grosse und kleine Terzen, die vereinigt consonante Dreiklänge ergeben. Da aber die Grenztöne  $d-f$  eine pythagoräische kleine Terz bilden, werden Dreiklänge mit dieser Terz dissonant. In  $C-dur$  sind es die Dreiklänge  $\underline{h-d-f}$  und  $\underline{d-f-a}$ , in  $c-moll$ :  $\underline{h-d-f}$  und  $\underline{d-f-\bar{a}s}$ . Die beiden falschen Quinten  $\underline{h-f}$  und  $\underline{d-\bar{a}s}$  erhöhen noch

die Dissonanz. Der falsche Molldreiklang  $\underline{d-f-a}$  soll sogar in der Anwendung von  $C-dur$  im Gegensatz zu  $\bar{d}-moll$  an reinen Instrumenten unterschieden werden können. Der verminderte Dreiklang  $\underline{h-d-f}$  kann durch kleine Kommaverschiebungen zu folgenden Tonarten gehören:

$\underline{h-d-f}$  zu  $C-dur$  und  $c-moll$ ,

$\underline{h-d-f}$  zu  $a-moll$ ,

$\underline{h-d-eis}$  zu  $fis-moll$ ,

$\underline{ces-d-f}$  zu  $es-moll$ .

Die Wirkung dieser Modulationen wird erhöht, wenn man durch Hinzufügung eines Tones die Dreiklänge in Vierklänge verwandelt, welche Septimenaccorde heissen. Diese können aus zwei Consonanten oder aus dissonanten Dreiklängen zusammengesetzt werden. In der ersten Art ist bloss die Septime dissonant zum Grundtone, im Uebrigen je zwei Töne consonant, z. B.  $c-e-g-h$  überhaupt je vier Töne aus der Terzenfolge einer Tonart, z. B. in  $C-dur$ :  $f-a-c-e-g-h-d$ , deren grössere Milde oder Härte nur durch die kleine oder grosse Septime bedingt wird. Aus der zweiten Art der Septaccorde greifen wir einige heraus:

Der Dominantseptaccord  $g-h-d-f$  enthält drei Töne, welche dem Klange  $G$  angehören, nämlich  $g h d$ , während die Septime  $f$  der „dissonante Ton“ ist. Der letzte Ausdruck entsteht aus dem Bestreben, einzelne Töne eines Gesamtklages als eine besondere Klangmasse aufzufassen und die nicht dazu gehörigen als dissonant auszuscheiden. Im Vierklänge treten drei Töne mit selbständiger Sicherheit auf, sich unterstützend, haltend, weshalb die Septime als vierter Ton eine leichte Stimmführung haben

muss, um sich halten zu können. Dieser vierte Ton wird dissonant genannt, obgleich er es erst in Beziehung zur Auffassung der Klangmasse wird. Z. B. kann in  $ceg\underline{h}$  der Dreiklang  $ceg$  so intensiv zur Tonica  $c$  gedacht werden, dass nur der dissonante Ton  $\underline{h}$  einer Auflösung bedarf. Denke ich mir  $ceg$  als Dominante von  $g$ , so muss das  $\underline{h}$  nach  $a$  übergehen. Im Klange  $g\underline{h}d\underline{f}$  wird das  $f$  meist wie  $\underline{f}$  gesungen, da dieses dem siebenten Partialtone von  $g$  sehr nahe kommt; ferner, weil es besser nach  $e$  sich auflöst und weil  $f$  mit keinem der Töne  $g$ ,  $\underline{h}$  oder  $d$  nahe verwandt ist. Da hierdurch die Dissonanz gemildert wird, ist die Stimmung eine freiere, so dass die Septime im modernen Satze oft sprungweise, frei eintritt. Der Dominantseptaccord ist der mildeste Dissonanzaccord und darum in der neueren Musik fast unentbehrlich geworden. —

Im Septaccord  $d\underline{f}a\underline{c}$  tritt  $f\underline{a}c$  als besondere Klangmasse heraus, darum ist hier  $d$  der dissonante Ton. Die Grundlage dieses Accordes wäre deshalb eigentlich die Quintsextanlage  $f\underline{a}cd$ , welche auch meist in  $C$ -dur angewendet wird (Bass:  $f, g, c$ , selten  $d, g, c$ ).

Der Septaccord  $\underline{h}d\underline{f}a$  auf der Septime der Durtonart hat zwei hervorragende Klangmassen  $\underline{h}d$  zum Klange  $G$  gehörig und  $f\underline{a}$  zum Klange  $F$  gehörig, der Accord zerfällt also in zwei gewichtige Hälften. Die beiden Töne  $f$  und  $a$  kommen aber den Partialtönen von  $G$  sehr nahe. Dieselben können nämlich vom vierten Partialtone aus geschrieben werden:

$$g\underline{h}d\underline{f}g\underline{a}.$$

$$4 \ 5 \ 6 \ 7 \ 8 \ 9$$

Daher das Uebergewicht zum Klange  $G$ . Aus der letzten Tonreihe leuchtet auch die Bedeutung des Nonenaccordes  $g\underline{h}d\underline{f}a$  hervor. Der Fünfklang muss aber in dieser Reihenfolge klingen, sonst schwindet die Zugehörigkeit zu  $G$ , weil dann der Unterschied von  $f$  zu  $\underline{f}$  und  $a$  zu  $\underline{a}$  zu scharf hervortritt.  $\underline{h}$ ,  $f$  und  $\underline{a}$  charakterisiren den Nonenaccord in erster Linie, deswegen kann  $g$  oder  $d$  auch fehlen:  $g\underline{h}f\underline{a}$  oder  $\underline{h}d\underline{f}a$ . Der letztere enthält mit darauf folgendem Dreiklange  $ceg$  sämtliche Töne der

*C-dur*-Tonleiter, so dass diese Accordverbindung die Tonart sehr kurz und bündig feststellt.

Der verminderte Septaccord erscheint als eine Reihe kleiner Terzen. Es befindet sich aber eine pythagoräische kleine Terz oder übermässige Secunde darunter, z. B.:

$$\begin{array}{cccccccc} h & d & f & \overline{as} & h & d & f & \overline{as} & h. \\ \frac{6}{5} & \frac{32}{27} & \frac{6}{5} & \frac{75}{64} & \frac{6}{5} & \frac{32}{27} & \frac{6}{5} & \frac{75}{64} & \end{array}$$

Durch geringe Kommaveränderung gehört:

$\underline{h} \underline{d} \underline{f} \underline{\overline{as}} \underline{h}$  zu *c-moll*,

$h \underline{d} \underline{\overline{f}} \underline{gis} h$  zu *a-moll*,

$h \underline{\overline{d}} \underline{eis} \underline{gis} h$  zu *fis-moll*,

$\overline{ces} \underline{d} \underline{f} \underline{as} \overline{ces}$  zu *es-moll*.

Die Biegsamkeit des verminderten Septaccordes hat ihn deshalb zur Hauptstütze jeglicher Modulation gemacht.

### Gesetze der Stimmführung.

Bis jetzt sind die Accorde an sich betrachtet worden. Wir gehen nun über zur musikalischen Verbindung zweier auf einander folgenden Töne und Accorde. Diese kann hergestellt werden durch directe oder indirecte Verwandtschaft der Klänge. Die direct verwandten Töne entsprechen meistens den ersten Partialtönen vom Grundtone. Der Sprung in die Octave ist zwar am engsten verwandt, kommt aber im Bass wegen der meist langsameren Bewegung melodisch mehr vor, als in der Oberstimme, weil der Sprung eine zu plötzliche Veränderung in der Tonhöhe verlangt. Der Sprung in die Quarte und Quinte ist klar und bestimmt, aber trocken, kalt. Die Schritte zur grossen Terz und Sexte sind auch leicht zu treffen und wegen ihrer gesättigten Schönheit sehr beliebt, die in kleine Terzen und Sexten fangen schon an, unbestimmt zu werden.

Bei der indirecten Verwandtschaft bilden wir den zweiten Ton zum ersten mit Hülfe eines dritten, der mit dem ersten direct verwandt ist; also der Schritt *c-d* durch *G*; *d-e* durch *G*;

$e-f$  durch  $C$ ;  $g-a$  durch  $C$ . Der Schritt  $a-h$  ist unsicher, weil der Hülftston  $E$  nicht so fest liegt wie  $C$ ,  $G$ . Deswegen ging die Sängerscala im Mittelalter nach dem Hexachord von Guido von Arezzo nur von *ut* bis *la*. In der Molltonleiter können die Intervalle, z. B.  $\overline{as-h}$ ,  $\underline{h-f'}$  oder  $f'-\underline{h'}$ , nicht einmal mit Hülfe des zweiten Grades der Verwandtschaft gesungen werden, deshalb waren sie in der homophonen Musik verpönt. Erst die neuere harmonische Musik hat diesen Mangel durch richtig geführte Harmonik ausgeglichen oder wenigstens nicht mehr so fühlbar gemacht.

Die dritte Art der musikalischen Verbindung zweier Töne ist die Nachbarschaft der Tonhöhe. In Beziehung zum Leitton ist diese Art schon besprochen, es erübrigt nun noch die Ausfüllungstöne in chromatischen Gängen, z. B.  $c-cis-d$ . Das *cis* ist nicht im ersten oder zweiten Grade mit  $c$  verwandt, deshalb liegt die einzige Stütze im Halbtonschritte. Fehlt dieser, dann ist der zweite Ton schwer zu treffen, z. B.  $c-dis-e$  oder  $c-eis-fis$  oder  $c-ais-h$  oder  $c-fis-as$  etc. Die Stimmführung fordert deshalb bei leiterfremden Tönen in Vorbereitung und Auflösung den Halbtonschritt, während leitereigene Töne frei einsetzen dürfen. Auch die Ganztonschritte der Durchgangstöne beruhen nur auf melodischem Fortschritte und nicht auf der Harmonie. Z. B. denken wir uns bei der Reihe  $c d e f g$  die Töne  $d$  und  $f$  als Durchgangstöne melodisch, während  $c e g$  harmonisch gedacht werden.

Ebenso wie die ältere homophone Musik kettenweise Verwandtschaft der Töne einer Melodie verlangte, strebt die neuere Musik nach kettenweiser Verbindung der Accorde eines Harmoniegewebes, wogegen sie sich in der melodischen Folge der einzelnen Töne viel grössere Freiheiten erlauben kann, da durch die Harmonie die natürlichen Verwandtschaften der Töne viel entschiedener und eindringlicher bezeichnet werden, als in der homophonen Melodie. Im 16. Jahrhundert waren die Accorde vielfach ohne Zusammenhang. Erst anfangs des 18. Jahrhunderts traten Musiker dagegen auf, so auch der Musikgelehrte Rameau.

Dieser gab der Führung des Fundamentalbasses folgende Regel: „Der Fundamentalbass darf der Regel nach nur in reinen Quinten oder Terzen auf- oder abwärts schreiten.“ Diese Forderung deckt sich mit der Fortschreitung zweier Töne im ersten oder zweiten Grade der Verwandtschaft, denn Quinten und Terzen gehören hierzu.

Die kettenweise Verbindung der Accorde ist denselben Gesetzen unterworfen, wie die Folge zweier Töne, nur tritt durch die Vielzahl der Töne und deren Beziehungen unter einander das Verbindungsgesetz um so schärfer hervor. Diese Schärfe wird aber nur zu oft durch viele Ausnahmen ignorirt. Hierher gehört die Behandlung der „Vorhalte“, resp. Vorbereitung oder freier Eintritt des Dissonanztones, dann die Auflösung der Septaccorde, die Folge von Dreiklängen zweiten Verwandtschaftsgrades etc. Die geraden, selbständigen Dreiklänge sind zur Fortschreitung weniger geeignet, als die biegsamen Septaccorde, deren forttreibende Kraft durch die Wirkung der Dissonanz noch gesteigert wird. Die Auflösung der letzteren ist nach der Harmonielehre genügend bekannt. Das interessanteste Verbot in der Stimmführung sind die Octaven- und Quintenparallelen. Das Octavenverbot findet seinen Grund darin, dass der Reichthum der Stimmenführung durch die Einklänge und Octaven beschränkt wird, und dass eine Octave als erster Oberton nichts anderes sagt als der Grundton. Die Fortführung der Stimmen in Quinten kann nicht geschehen, ohne die Tonart zu verlassen. Da die Quinte der Duodecime entspricht, und diese als zweiter Partialton mit dem Grundtone läuft, theilt die Quinte den Vorwurf der Eintönigkeit und kann deshalb nicht consequent angewendet werden. Sobald aber die Quinten als mechanisch dem Klange zugehörige Bestandtheile erscheinen, haben sie ihre volle Berechtigung. So in den Mixturen der Orgel (Seite 30). — Das Quintenverbot war vielleicht in der Geschichte der Musik eine Reaction gegen die unvollkommenen ersten Versuche des mehrstimmigen Gesanges, bis es zu einem übertriebenen Gesetze sich ausbildete, welches die Reinheit einer Composition in erster Linie

durch das Fehlen der Quintenparallelen bedingte. Doch hat sich die neuere Musik davon emancipirt, indem sie sagt, dass die Schönheiten einer Stimmführung oder Harmonie nicht durch eventuelle Quintenparallelen zerstört werden sollen. Wo die Musik heftigere Anstrengung und Aufregung ausdrücken soll, verlieren sowohl diese Regeln wie auch das Verbot der verdeckten Quinten und Octaven, als auch Querstände ihren Sinn. Das beste Beispiel dafür giebt Sebastian Bach, der der kräftigen Bewegung der Stimmen alle diese Verbote opferte.

### Uebersicht der Hauptergebnisse.

Aus dem Gebiete der Tonerregung durch Schwingungen eines Körpers sind für das musikalische, menschliche Ohr diejenigen Töne oder vielmehr Klänge die schönsten, reinsten, welche von harmonischen Obertönen begleitet sind. Je gleichmässiger und dauernder der Klang, desto wirkungsvoller und wohllautender ist er. Zu dieser Classe von Klangerregern gehören in erster Linie die menschliche Stimme, dann die Blas- und Streichinstrumente. Unter den übrigen Körpern, welche durch Schlagen, Reissen etc. zum Tönen gebracht werden, nämlich Saiten, Membranen, Stäbe, Platten, Flaschen etc. sind meist die Saiten von harmonischen Obertönen begleitet. Die Töne bei diesen Körpern sind nicht anhaltend in Tonstärke, sondern nehmen sofort ab. Sie haben aber den Vorzug eines stärkeren Rhythmus. Das Streben nach Tonwerkzeugen mit harmonischen Obertönen ist bei den civilisirten Völkern am meisten mit Erfolg gekrönt worden. Bei den wilden Völkerstämmen, selbst bei den Chinesen und Persern, stehen die Tonwerkzeuge auf sehr niedriger Stufe. Dieses hängt zusammen mit dem bei uns sich steigernden Bedürfnisse, in abgegrenzten Tonstufen fortzuschreiten. Je enger die Tonstufen wurden, desto höher steigerte sich die Anforderung nach einer feineren Ausbildung des musikalischen Gehörs und der Technik. Deswegen findet man bei den uncivilisirten Völkern wenig oder gar keine Halbtöne, sondern nur grössere Intervalle. Bei den Chinesen und Gälen hat sich eine entsprechende Scala bis heute

erhalten. Durch das Uebergewicht einzelner Intervalle und nach dem Principe der Klangverwandtschaft konnte sich bei uns eine Scala mit gleich grossen Stufen nicht bilden. Allerdings hebt sich die chromatische Scala heraus, kann aber nicht als Norm, sondern nur an sich verwendet werden. Das genannte Princip der Klangverwandtschaft ist uns eigentlich erst nach Kenntniss der Obertöne zum Bewusstsein gekommen. Alles darauf Bezügliche, die Verwandtschaft ersten Grades zweier Klänge durch die Bedingung zweier gleicher Partialtöne ist früher nur unbewusst geübt worden. Dieses Unbewusste erstreckt sich auf die Bildung unserer heutigen Scala, welche weit vor Kenntniss der Klangverwandtschaft entstand, weil sich die Principien der letzteren vollkommen mit unserem Scalensysteme decken. Das gilt allerdings in erster Linie für die harmonische Form. In der melodischen Form ist die Erinnerung das Bindeglied für das Erkennen gleicher Partialtöne zweier Klänge. Im Zusammenklänge aber legen die Töne durch Schwebungen oder gleichmässig dahin fließende Consonanz Zeugnis von dem Grade der Klangverwandtschaft ab. Diese Empfindungen für die Reinheit der Intervalle führten deshalb auch zu den feinsten physikalischen Untersuchungen.

Der Entwicklungsprozess unserer modernen Musik ist mit dem allmählichen Herausschälen des Dur- und Mollgeschlechtes aus den alten Tonleitern eng verknüpft. Die Selbständigkeit des Mollklanges besteht erst seit der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts, und die Zurückführung des Molldreiklanges auf die Ober- oder Untertöne bildet noch heute eine Streitfrage. So wie Helmholtz nämlich den Durdreiklang aus den Obertönen herleitet, so glauben A. von Oettingen in seinem „Harmoniesystem in dualer Entwicklung“ (Dorpat und Leipzig, 1866) und Dr. H. Riemann in seiner „Musikalischen Syntax“ den Molldreiklang aus seinen analogen Untertönen herleiten zu dürfen. Jedenfalls geben die Obertöne dem Durklänge einen viel festeren Halt, als die eventuellen Untertöne dem Mollklänge. Die Intervalle des ersteren decken sich

vollständig mit dem Principe der Tonalität, während die Mollterz sowohl zur Tonica wie zur Quinte hinneigt, wozu noch die Trübung der Combinationstöne kommt.

Die Construction der Tonleitern und des Harmoniegewebes ist ein Product künstlicher Erfindung und nur insoweit durch den natürlichen Bau oder die natürliche Thätigkeit unseres Ohres bedingt, als dieses uns gleichsam die „Bausteine“, wie Helmholtz so treffend sagt, dazu giebt. Aber ebenso gut, wie Leute von verschiedener Geschmacksrichtung aus denselben Steinen sehr verschiedenartige Gebäude errichten, ebenso sehen wir auch in der Geschichte der Musik die gleichen Eigenthümlichkeiten des menschlichen Ohres als Grundlage sehr verschiedener musikalischer Systeme dienen. Den Einfluss der physiologischen Eigenthümlichkeiten der Gehirnempfindung auf die Construction des musikalischen Systemes klarzulegen, ist Helmholtz in erster Linie gelungen. Die bahnbrechenden Ideen hierzu glaube ich in Kürze wiedergegeben zu haben. Das Gebiet der „Tonempfindungen“ ist aber noch lange nicht erschöpft, besonders nach psychologischer Seite hin. Möchten darin auch bald solche kostbare Früchte gezeitigt werden, wie es Helmholtz nach physiologischer Seite gelungen ist.

---

## REGISTER.

### A.

Accorde als Vertreter von Klängen 123.

— Bedeutung der tonischen 122.

Accorden, von den 95, 130, 147.

Akustik, geschichtlicher Ueberblick 1.

— physikalische 2.

— physiologische 4.

— physiologisch-psychologische 14.

— Temperatur- 10.

Amboss 61.

Ambrosius 10.

Anschlages, Art des 36.

— Stelle des 37.

Apotome 114.

Araber, Musik der 5, 119.

Archimedes 2.

Aristoteles 2.

Aristoxenus 9.

### B.

Bach, J. S. 13, 102, 123, 141.

Bartholomeus de Ramis 12.

Bestimmung eines Tones 129.

Boethius 3.

Bogengänge im Ohre 64.

Bosanquet 14, 137.

### C.

Cagniard de la Tour 3.

Chinesen 2, 5, 108.

Chladni 3.

Combinationstöne 85.

— Schwebungen der 91.

Consonanten 35, 52.

Consonanz 89, 90.

Corti 14.

Corti'sches Organ 68, 72, 79.

Coussemaker 11.

### D.

Didymos 8.

Differenztöne 16, 85.

Discantus 11, 102.

Discontinuität 36.

Dissonanz 89, 90, 92, 146.

Durgeschlecht 96, 103, 121, 126, 153.

### E.

Edison 4.

Eigenton 33.

Engel, G. 14.

Eustachische Röhre 58.

### F.

Fauxbourdon 11.

Fenster, ovale, runde 59.

Fétis 101.

Flageolettöne 28.

Flötenpfeifen 41, 93.

Franko von Köln 11.

Fülltöne 125.

### G.

Ganzton 115.

Geräusch 17, 82.

Gregor der Grosse 10.

Griechen 2, 7, 10, 109.

**H.**

Hammer 60.  
Harmonischen Musik, Geschichte der 101, 103.  
Harmonium 137.  
Hauptergebnisse der Akustik 152.  
Hauptmann 15.  
Homophone Musik 100, 101, 104.  
Hörsteine 67.  
Hughes 4.  
Hukbald 10, 116.

**I.**

Inder 2, 5.  
Intervalle 114, 115, 143.

**K.**

Kirchentonarten 10, 104, 116.  
Klang, der 17, 24.  
Klänge der Flötenpfeifen 41.  
— der Orgelpfeifen 30, 49.  
— der Saiten 35.  
— der Vocale 52.  
— der Zungenpfeifen 49.  
— Verwandtschaft der 106, 153.  
Klanganalyse durch Mittönen 32.  
Klangfarbe 16, 21, 34.  
Klangstärke 18.  
Klangzerlegung 27, 30.  
Knotenpunkte 45, 46, 47.  
Komma, pythagoräisches 9, 114.  
— syntonisches 119.  
König, K. 4.

**L.**

Labyrinth 57.  
— häutiges 67.  
Leitton 120.  
Limma 114.  
Lippenpfeifen 41.  
Luftsäule 45, 46, 48.

**M.**

Madrigale 102.  
Membrana basilaris 66, 83.  
Membrane 14, 66.  
Mersenne 3, 14.

Mittönen 32, 79.  
Mollgeschlecht 15, 96, 121, 124, 126, 153.  
Muris, Johannes de 11.

**N.**

Neithardt 13.  
Newton 3.

**O.**

Obertöne 23 ff., 27, 31, 39, 47.  
— Schwebungen der 89.  
Octave 19.  
Octavenparallele 151.  
Oettingen, Dr. A. von 15.  
Ohm 14, 30, 31.  
Ohr, das 56.  
— des Dionysius 2.  
Organum 102.  
Orgel, enharmonische 138.  
Orgelpfeifen 30, 49, 93.  
Orgelwolf 12, 13, 135.  
Otolithen 67.

**P.**

Partialtöne 23.  
Paukenhöhle 57.  
Polyphone Musik 100, 102.  
Prätorius 3, 14.  
Preyer 16, 79.  
Pythagoras 8, 9, 113.

**Q.**

Quarte 91.  
Quinte 19, 20, 91, 102.  
Quintenparallele 151.  
Quintton 130, 140.

**R.**

Rameau 15.  
Reinheit einer mehrstimmigen Composition 131.  
Reis, Philipp 4.  
Resonatoren 33.  
Riemann, Dr. Hugo 6, 15, 16, 42, 153.  
Röhren, gedackte, offene 41, 42, 46, 48.  
Römer 2.

S.

- Saite, Klänge der 35.  
— Schwingungsformen der 38, 94.  
— Zerlegung der 29.
- Salinas 12.
- Sauveur 15.
- Schafhäutl 4.
- Schalles, Ausbreitung des 17.  
— Schnelligkeit des 4.
- Scheibler 7.
- Schlick 3, 12, 15, 135.
- Schnecke 64, 67.
- Schwebungen 13, 15, 16, 87.  
— der Combinationstöne 91.  
— der Obertöne 89.
- Schwingungen, Arten der 21.  
— Dauer der 32.  
— Figuren der 29.  
— Formen der 38.  
— Zerlegung der 14.  
— Zusammensetzung der 25.
- Schwingungszahlen, Verhältnisse der 20.
- Seebeck 14, 31.
- Sirene 18.
- Sonreck 4, 43.
- Sorge 16.
- Steigbügel 62.
- Stimmführung, Gesetze der 149.
- Stimmgabel 22.
- Stimmung der Orchesterinstrumente 133.  
— natürliche 13, 137.  
— temperirte 12, 13, 134.
- Stumpff 15.
- Summationstöne 16, 85.
- System der Tonarten 100, 127.

T.

- Tanaka Shohé 14, 130, 138.
- Tartini 16.
- Temperatur 135.  
— gleichschwebende 139, 140.

- Temperatur, mitteltönige 12, 135.  
— Nachtheile der gleichschwebenden 142.  
— ungleichschwebende 136.  
— Werke über die 143.
- Terpander 8.
- Terz, natürliche 9, 114.  
— pythagoräische 9, 114, 116.
- Terzton 130.
- Tetrachord 7, 109.
- Tonalität 101, 104, 113, 131, 151.
- Tonbestimmung 129.
- Tonhöhe 18.
- Tonleitern, Construction der diatonischen 117, 154.  
— fünfstufige 108.
- Tonstufen, Fortschritt in 105.
- Tonsystem, arabisch-persisches 119.  
— der Griechen 109.
- Töpfer 4.
- Tremuliren 88.

V.

- Verschmelzung der natürlichen Intervalle 145.  
— der Töne 16.
- Verwandtschaft der Klänge 106, 129.
- Vitruv 3.
- Vocale, Klänge der 52.
- Vorhof 65.

W.

- Wellenberge, -thäler 17 ff., 25, 26.
- Wellenzüge 25, 26.
- Werkmeister 13.
- Wheatstone 4.
- Wolf, siehe Orgelwolf.
- Wüllner 43.

Z.

- Zarlino 13, 14, 15.
- Zungenpfeifen 49.



Verlag von Friedrich Vieweg & Sohn in Braunschweig.

## Die Lehre von den Tonempfindungen,

als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik.

Von Hermann von Helmholtz.

Fünfte Ausgabe. Mit dem Bildniss des Verfassers und 66 eingedruckten Holzstichen. gr. 8. Preis geh. 12 *M.*, geb. 14 *M.*

## Vorträge und Reden

von Hermann von Helmholtz.

Vierte Auflage.

Mit dem Bildniss des Verfassers und zahlreichen eingedruckten Holzstichen.

Zwei Bände. gr. 8. Preis pro Band geh. 8 *M.*, geb. 9 *M.* 50  $\frac{1}{2}$

## Faraday und seine Entdeckungen.

Eine Gedenkschrift von

John Tyndall,

Professor der Physik an der Royal Institution  
zu London.

Autorisirte deutsche Ausgabe herausgegeben durch H. Helmholtz.

8. geh. Preis 4 *M.*

## Fragmente Neue Folge

von John Tyndall.

Uebersetzt von Anna von Helmholtz und Estelle du Bois-Reymond.

Mit einem Portrait. 8. geh. Preis 8 *M.*

## Das Licht.

Sechs Vorlesungen

von John Tyndall.

Autorisirte deutsche Ausgabe bearbeitet von

Clara Wiedemann.

Mit einem Vorwort von G. Wiedemann.

Zweite Auflage. Mit einem Portrait von Thomas Young und 57 Holzstichen. 8. Preis geh. 6 *M.*, geb. 7 *M.* 50  $\frac{1}{2}$

## Der Schall.

Acht Vorlesungen, gehalten in der Royal Institution von Grossbritannien

von John Tyndall,

Professor der Physik an der Royal Institution zu London.

Autorisirte deutsche Ausgabe herausgegeben durch

H. Helmholtz und G. Wiedemann.

Zweite Auflage. Mit Holzstichen. 8. geh. Preis 6 *M.*

Verlag von Friedrich Vieweg & Sohn in Braunschweig.

## Die Wärme

betrachtet als eine Art der Bewegung von  
**John Tyndall,**

Mitglied der Royal Society, Professor der Physik an der Royal Institution zu London.

Autorisirte deutsche Ausgabe bearbeitet von **Anna von Helmholtz** und  
**Clara Wiedemann** nach der achten Auflage des Originals.

Vierte vermehrte Auflage. Mit 125 Holzstichen und einer Tafel.

8. Preis geh. 12 *M.*, in Halbfranz geb. 13 *M.* 50 *S.*

## In den Alpen.

Von **John Tyndall,**

Professor der Physik an der Royal Institution zu London.

Autorisirte deutsche Ausgabe.

Mit einem Vorwort von **Gustav Wiedemann.**

Zweiter Abdruck. Mit Holzstichen. 8. geh. Preis 7 *M.*

## Sprache und Ohr.

Akustisch-physiologische und pathologische Studien von

**Dr. Oskar Wolf,**

Ohrenarzt in Frankfurt a. M.

Mit Holzstichen und einer farbigen Tafel. gr. 8. geh. Preis 6 *M.*

Die geschichtliche Entwicklung  
der

## Kammermusik

und ihre Bedeutung für den Musiker.

Von **Dr. Ludwig Nohl,**

Professor in Heidelberg.

Gekrönte Preisschrift der von dem St. Petersburger Verein für Kammer-  
musik 1881 veranstalteten internationalen Preis-Concurrenz.

gr. 8. geh. Preis 3 *M.*

Die Geschichte der Bogeninstrumente,

insbesondere derjenigen des heutigen Streichquartetts, von den  
frühesten Anfängen an bis auf die heutige Zeit.

Eine Monographie von

**Julius Rühlmann,**

weiland Königlich Sächsischem Kammermusikus, Lehrer am Conservatorium für Musik und  
Vorsitzendem des Tonkünstler-Vereines zu Dresden.

Nach dem Tode des Verfassers herausgegeben von dessen Sohn

**Dr. Richard Rühlmann,**

Professor am Königl. Gymnasium zu Chemnitz.

Mit Holzstichen und einem Atlas von 13 Tafeln. gr. 8. geh. Preis 20 *M.*