universität innsbruck
Universitäts- und Landesbibliothek Tirol

Universitäts- und Landesbibliothek Tirol

Kurzes Lehrbuch der Physiologie für Mediciner

Boruttau, Heinrich

Leipzig [u.a.], 1898

XIV. Gehörssinn, Stimme und Sprache

urn:nbn:at:at-ubi:2-6747

XIV.

Gehörssinn[1]), Stimme und Sprache[2]).

Für die adäquaten Reize des **Gehörssinnes**, nämlich Schwingungen fester, flüssiger oder gasförmiger Körper innerhalb gewisser Frequenzen, welche als Schall empfunden und in der Physik so bezeichnet werden, dient als Aufnahmeapparat ein eigenes Organ im Ohrlabyrinth. Nachdem dieses tief im Innern des Felsenbeines gelegen ist (inneres Ohr), erfolgt die Zuleitung jener Schwingungen für gewöhnlich durch die Vermittlung des äusseren Ohres und Mittelohres, sie kann aber auch durch die Kopfknochen erfolgen (Aufsetzen einer angestrichenen Stimmgabel auf den Schädel oder Halten derselben zwischen den Zähnen).

Die **Ohrmuschel** ist bei den meisten Säugethieren ein wichtiges Aufnahmeorgan für die Schallschwingungen, nach deren Ausgangsort hin sie durch die eigenen Muskeln willkürlich gerichtet werden kann und welche sie durch Reflexion — als „Schalltrichter" — dem äusseren Gehörgange zuführt. Diese Function ist indessen beim Menschen ziemlich verkümmert; zur Bewegung der Ohrmuschel sind die Meisten mangels Uebung nicht fähig; ihr Verlust soll das Hörvermögen kaum beeinträchtigen, höchstens wirkt sie zur Beurtheilung der Schallrichtung vielleicht mit (siehe unten). Der **äussere Gehörgang**, ein in seinem äusseren Drittel knorpeliges, im Uebrigen (beim Erwachsenen) knöchernes, in flachem, nach unten offenem Winkel geknicktes Rohr dient zur Leitung des Schalles in analoger Weise wie ein Sprachrohr (in einem Hause oder von der Commandobrücke in

[1]) Es sei hingewiesen auf: H. v. Helmholtz, Lehre von den Tonempfindungen, Braunschweig 1878 (IV. Aufl.); V. Hensen, Physiologie des Gehörs, in Hermann's Handbuch, III, 2, Leipzig 1880.

[2]) Zu erwähnen: C. L. Merkel, Anatomie und Physiologie der menschlichen Stimme und Sprache (Anthropophonik), Leipzig 1857; P. Grützner, Physiologie der Stimme und Sprache, in Hermann's Handbuch, I. 2, Leipzig 1879.

den Maschinenraum eines Schiffes), d. h. durch totale Reflexion der longitudinalen Luftschwingungen an der Innenfläche seiner Wand. Diese treffen so nach einwärts sich fortpflanzend mehr weniger senkrecht auf das **Trommelfell,** welches die Abgrenzung des äusseren Ohrs und Mittelohrs, d. h. der Paukenhöhle, bildet. Es stellt eine im Innenrande des knöchernen Gehörgangs, resp. im Anulus tympanicus (Embryo) ausgespannte Membran dar, welche nach der Paukenhöhle zu eingezogen ist: „Umbo membranae tympani" mit der Spitze des Hammergriffes, welcher ihrem verticalen oberen Radius innen anliegt. Ihr oberster Theil sitzt nicht straff an Knochen („Lücke" im Anulus tympanicus), sondern bildet oberhalb einer Kreisbogensehne als Grenze des eigentlichen Trommelfells die „Membrana flaccida". Eine gespannte Membran, auf welche die longitudinalen Schallschwingungen, d. h. in der Fortpflanzungsrichtung erfolgenden Verdichtungen und Verdünnungen der Luft, auftreffen, wird ganz allgemein durch diese in (zu ihrer Längen- und Breitenausdehnung) transversale Schwingungen versetzt, und zwar innerhalb gewisser Grenzen durch Schwingungen jeder Frequenz und Form (Zusammensetzung aus einfachen pendelartigen Componenten) zum Mitschwingen in derselben Frequenz und Form gebracht: **„erzwungene Schwingungen".** Immerhin ist die Amplitude des Mitschwingens dann am grössten, wenn die Schwingungen die gleiche Frequenz haben, wie sie die Membran, wenn direct angeschlagen, selbst haben würde (ihr „Eigenton"); im Uebrigen ist die Amplitude für die verschiedenen Frequenzen um so gleichmässiger und die Treue der Form des Mitschwingens um so vollkommener, je höher der Eigenton der Membran (je kleiner und straffer gespannt, resp. „starrer" sie ist) und je mehr ein Hinausschwingen über die bei directem Anschlagen erzeugte neue Gleichgewichtslage beschränkt oder verhindert, je „gedämpfter", je besser „aperiodisirt" die Membran ist (gleichfalls durch Starrheit: Telephon- und Phonographenmembranen). Beim Trommelfell wirkt neben der Kleinheit (also Höhe des Eigentons) die trichterförmige Einziehung [Versuche am Monochord mit trichterförmiger Membran und Berechnungen von Helmholtz[1])], sowie die verschiedene Länge der vom Hammerstielradius nach der Peripherie ziehenden „Radialfasern" [Fick[2])] für das gute Mitschwingen bei den ver-

[1]) A. g. P., I, 1.

[2]) Physiol. d. Sinne, Lahr 1865.

schiedensten Frequenzen; die Dämpfung wird begünstigt (ausser durch die eigene Starrheit) durch die Gehörknöchelchen resp. deren Achsenbänder [Phonographen mit Schreib- resp. Reproductionshebel, Modell von Hensen[1])], sowie durch das Labyrinthwasser, welchem die Schwingungen eben durch die **Gehörknöchelchen** zugeleitet werden. Diese — Hammer, Ambos und Steigbügel — bilden zusammen einen Winkelhebel, dessen Drehungsachse in der Richtung des vorderen Hammerbandes (lig. mallei anterius; ausser diesem besteht ein laterales und ein Aufhängeband, lig. superius, des Hammers) und des kurzen Fortsatzes des Steigbügels resp. seines Fixationsbandes in der hinteren Paukenhöhle gelegen ist: also gerade senkrecht zur Papierebene mitten durch die gezeichnete Seitenansicht des Gelenkes gehend in Fig. 58. Die beiden Haupttheile des Winkelhebels, Hammer und Ambos, sind

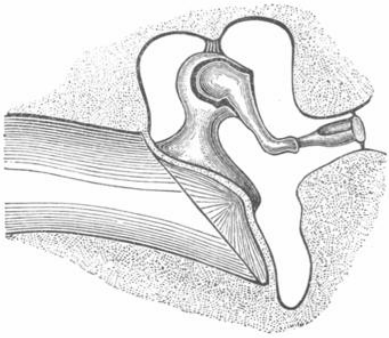


Fig. 58.

dabei durch ein Gelenk mit sperrzahnartiger Vorrichtung [Rinne[2]), Helmholtz[3]) u. A.] gegen einander derart beweglich, dass bei Einwärtsgehen des Trommelfells der Hammer den Ambos mitnimmt und die Platte des an diesen weiter angelenkten Steigbügels in das ovale Fenster eindrückt, bei Auswärtsgehen des Trommelfells und Hammergriffs der Ambos dem Zuge nicht folgt und die Steigbügelplatte aus ihrer Fixation durch die „Membrana anularis“ nicht herausgerissen werden kann. Dafür, dass die Einwärtsbewegung nicht in schädlicher Stärke auf das Labyrinth übertragen werde, sorgt einmal der Umstand, dass der lange Ambosfortsatz und Steigbügel einen kürzeren Hebelarm bilden als der Hammergriff, andererseits die Einwirkung spannender

[1]) S. Hermann's Handb., III, 2, 46.

[2]) Prager Vierteljahrsschr., I, 71, 1855.

[3]) a. a. O.

Muskeln auf die Gehörknöchelchen, nämlich des M. tensor tympani (von seinem Knochencanal aus mit rechtwinklig um ihre Rolle biegender Sehne an den Hammerstiel ansetzend) und des M. stapedius, deren Functionen beim Hören im Uebrigen trotz vieler Untersuchungen nicht feststehen: durch Regulirung der Trommelfellspannung sollen der erstere Muskel für das Hören hoher, der letztere Muskel tiefer Töne „accommodiren" [Lucae [1])]. Von grosser Wichtigkeit für diese Regulirung ist jedenfalls aber die **Tuba Eustachii,** indem sie dem Ausgleich von Differenzen zwischen dem Druck in der Paukenhöhle und dem von aussen auf das Trommelfell wirkenden Luftdruck dienen kann: solche Differenzen wirken nach vielen Erfahrungen (Aufenthalt in comprimirter Luft u. s. w.) sehr störend auf die Schallübertragung im Mittelohr. Die Tuba Eustachii, welche einen theils knorpeligen, theils knöchernen Verbindungscanal zwischen Paukenhöhle und Nasopharyngealraum bildet und innen von einer Schleimhaut mit Flimmerepithel bekleidet ist, soll für gewöhnlich geschlossen sein, und die Verschlussvorrichtung ihres Pharyngealostiums soll bedeutenden Druckwerthen widerstehen; sie kann willkürlich geöffnet werden durch Compression der Luft in Mund und Nase, resp. Schluckbewegung bei verschlossenen Mund- und Nasenlöchern: sogenannter Valsalva'scher Versuch.

Auf die Beziehungen zwischen Tuba und Schluckact kann hier nicht näher eingegangen werden. Von Einigen wird behauptet, dass normal synchronisch mit den Athembewegungen Tubaöffnungen auftreten. Bei den Cetaceen steht die Tuba dauernd offen.

Durch die Steigbügelplatte werden die Schallschwingungen zunächst der Flüssigkeit mitgetheilt, welche das **knöcherne Labyrinth** erfüllt und das in diesem eingeschlossene **häutige Labyrinth** — häutiger Schneckencanal, Canalis reuniens, Sacculus (rotundus), Aquaeductus vestibuli, Utriculus und häutige Bogengänge mit ihren Ampullen — umgibt, der sogenannten **Perilymphe.** Diese (welche übrigens durch den Aquaeductus cochleae mit der Cerebrospinalflüssigkeit im Subarachnoïdalraum communicirt, wodurch ihr mittlerer Druck regulirt wird) kann mit ihren Theilchen dem vom ovalen Fenster, resp. der Steigbügelplatte herkommenden Druck ausweichen, indem die Bewegung sich durch die Scala vestibuli in ihr fortpflanzt bis zur Spitze der Schnecke, wo in Gestalt des Helikotrema die Communication mit der Scala tympani vorhanden ist, und durch diese wieder bis

[1]) Berl. klin. Woch., 1874, Nr. 14.

zur Basis der Schnecke, wo die Scala tympani durch die das runde Fenster ausfüllende Membrana tympani secundaria gegen die Paukenhöhle abgeschlossen ist: in der That buchtet sich bei Eindrücken der Steigbügelplatte in's ovale Fenster die Membran des runden Fensters in die Paukenhöhle hinein aus [Mach und Kessel[1])]. Auch die durch Trommelfell und Gehörknöchelchen zugeleiteten Schallschwingungen pflanzen sich auf diesem Wege in der Perilymphe fort und beeinflussen den zwischen Scala vestibuli und Scala tympani gelegenen häutigen Schneckencanal, in welchem der eigentliche Aufnahmeapparat für den Gehörssinn sich befindet (wenigstens der wichtigste Antheil desselben), das **Corti'sche Organ.** An seiner Bildung betheiligen

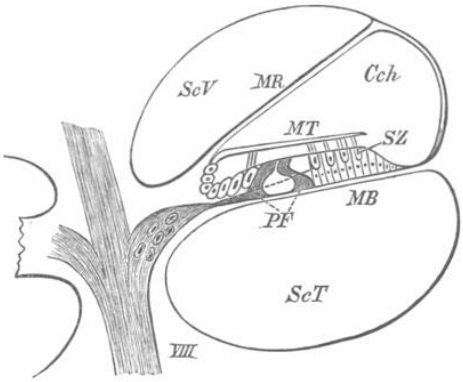


Fig. 59.

sich zunächst die von der Lamina spiralis ossea nach der äusseren Schneckenwand ziehenden Fasern der Lamina spiralis membranacea oder Membrana basilaris *MB*, Fig. 59, welche zusammen mit jener Wand und der Membrana Reisneri *MR* die häutige Schnecke, den Canalis cochleae *Cch* bildet. Die Breite der Basilarmembran, resp. die Länge ihrer Fasern ist am grössten an der Spitze der Schnecke und am kleinsten an deren Basis, und diesen Verhältnissen entspricht auch die Grösse der auf ihr ruhenden Pfeilerzellen *PF* und die Spannweite der durch sie gebildeten Bögen, welche so einen nach der Spitze zu sich erweiternden, schneckenförmig gewundenen „Tunnel" darstellen, dessen Boden aus immer länger werdenden Faserantheilen der Basilarmembran besteht. Diese trägt nun ausserhalb des Tunnels noch die zwischen

[1]) Ac. W., LXIX, 221,

Stützzellen eingelagerten Sinnesepithelzellen *SZ* (beim Menschen nach dem Modiolus zu in einer, nach aussen zu in vier Reihen), deren Haare oder Stäbchen durch die sogenannte Membrana reticularis hindurchgehen und die Membrana tectoria *MT* tragen. Mit ihnen stehen die Nervenfasern des R. cochlearis (VIII) in Verbindung, deren Nervenzellen (denjenigen der Spinalganglien analog) in ihrem Verlaufe eingeschaltet innerhalb des Modiolus Anhäufungen bilden (in der Figur angedeutet). Es ist anzunehmen, dass bei Uebertragung der Schallschwingungen auf die Membrana basilaris die Sinneszellen mit ihren Härchen gegen die Membrana tectoria gedrückt werden und hierdurch Erregung der von ihnen ausgehenden Nervenfasern stattfindet; wie man sich dabei das Zustandekommen specifischer Energieen für die verschiedenen Schwingungsfrequenzen u. s. w. vorstellt und mit den besprochenen anatomischen Einrichtungen in Beziehung setzt, davon wird unten noch die Rede sein.

Zellen mit „Hörhaaren" finden sich übrigens ferner noch im häutigen Vestibularapparat: Cristae und Maculae acusticae des Sacculus, Utriculus und der Ampullen der Bogengänge: hier liegt ihnen eine Gallerte auf, welche Conglomerate von mikroskopischen Krystallen von kohlensaurem Kalk enthält, den sogenannten Gehörsand; bei Fischen und wirbellosen Thieren bilden sie die grossen, festen sogenannten Gehörsteine oder Otolithen. Die Haarzellen des Vestibularapparates sind mit Nervenfasern des R. vestibularis in Verbindung.

Die **Schallempfindungen** theilt man nach ihrer „ästhetischen" Bedeutung gewöhnlich ein in musikalische und unmusikalische; die ersteren werden durch nach ihrer Periodik und Amplitude regelmässige Schwingungen hervorgerufen, welche einfach („pendelartig", „sinusoïdal") oder zusammengesetzt sein können und danach als „Töne" oder „Klänge" unterschieden werden. Die unmusikalischen Schallphänomene oder „Geräusche" beruhen auf mehr weniger unregelmässigen Schwingungen.

In beiden Fällen ist eine gewisse Amplitude nöthig, um ebenmerkliche Gehörsempfindungen hervorzurufen: diese Amplitude für die untere Intensitätsgrenze oder Reizschwelle ist äusserst geringfügig, die Energie der dabei mitschwingenden Mittelohrapparate winzig [$^1/_{454000}$ Milligramm-Millimeter pro Secunde für das Trommelfell, nach Wien[1])]. Natürlich ist sie für verschiedene Individuen nicht die

[1]) Diss. Berlin 1888; Wiedem. Ann., XXXVI, 834.

gleiche: — insbesondere pathologische Veränderungen beeinflussen die „Hörschärfe". Bei wachsender Intensität der Schallreize — sie wächst mit der Energie, also den Quadraten der Frequenz und Amplitude der Schwingungen — sind die ebenmerklichen Unterschiede den Intensitäten proportional, das Weber'sche Gesetz gilt also auch hier.

Bei regelmässigen Schwingungen bedingt deren **Frequenz** die Empfindung der **Tonhöhe** und die Schwingungs**form** die Empfindung der **Klangfarbe.** Je grösser die Schwingungszahl, um so „höher" ist der Ton. Die tiefsten musikalischen Töne entsprechen 20—40 Schwingungen in der Secunde; erfolgen sie noch langsamer, so werden die Schwingungen einzeln empfunden, zählbar, und es schwindet der musikalische Charakter. Die Hörbarkeit frequenter Schwingungen der festen, flüssigen und luftförmigen Körper hat ferner eine obere Grenze, welche bis zu 40 000 Schwingungen in der Secunde für den Menschen angegeben wird, offenbar aber individuell verschieden ist. Im Alter soll die Hörfähigkeit für die höchsten Töne nachlassen.

Mit der Empfindung dieser höchsten, hörbaren Töne sind übrigens unangenehme Allgemeingefühle verbunden („Quietschgeräusche"). Es muss angenommen werden, dass bei gewissen Thieren noch grössere Schwingungsfrequenzen Gehörsempfindungen erzeugen, als die obgenannten; hierfür sprechen die Dimensionen der stimmerzeugenden Apparate kleiner Insecten (Bockkäfer), deren Bewegungen wir sehen ohne etwas zu hören, die aber im Uebrigen den hörbar stimmgebenden Apparaten grösserer Arten (Grille u. s. w.) ganz analog sind.

Normal wird der Ton einer Stimmgabel, welcher bei Kopfknochenleitung (Aufsetzen auf den Scheitel) nicht mehr gehört wird, wieder hörbar, wenn man sie vor's Ohr hält: pathologische Beeinträchtigung der Mittelohrfunctionen kehrt das Verhältniss um (Rinne).

Die Fähigkeit der Erkennung der absoluten Tonhöhe eines einzelnen Tones, welche also durch seine Schwingungszahl gegeben ist (das „absolute Gehör"), ist beim Menschen weniger bedeutend, als die Empfindlichkeit für das **Verhältniss** der Schwingungszahlen zweier gleichzeitig oder nacheinander einwirkenden Töne, oder ihr sogenanntes **Intervall** (das „relative Gehör"). Auch können zwei nacheinander erklingende Töne, deren Schwingungszahlen nur wenig von einander verschieden sind, besser unterschieden werden, wenn gleichzeitig mit ihnen ein anderer Ton einwirkt, dessen Schwingungszahl zu derjenigen des einen in einfachem Verhältniss steht, von dem dann der andere abweicht: Empfindlichkeit für die **Reinheit** der Intervalle. Geübte Musiker können die Töne von 1000 und von 1001 Schwingungen noch unterscheiden (Intervall = $^1/_{128}$ [ganzer] Ton).

Um die Tonhöhe erkennen resp. schätzen zu können, muss natürlich eine gewisse Anzahl von Schwingungen stattfinden (vgl. S. 318 über die „Apperceptionszeit"). Uebrigens können die Schwingungen auch unterbrochen sein; bei Paaren von Stössen wird sowohl ein der Frequenz der Stosspaare, als auch ein der Distanz der Paarlinge entsprechender Ton gehört [Savart, Pfaundler[1]), W. Kohlrausch[2])].

Ein **Ton,** z. B. von einem Musikinstrument, hat eine bestimmte „Klangfarbe" (Timbre), insofern die Schwingungsform entweder der einfachen Sinuscurve entspricht (reine, „leere" Töne der Stimmgabeln) oder aber bei aller Regelmässigkeit von ihr abweicht, derart, dass sie durch Superposition mehrerer solcher einfacher Sinusschwingungen von ungleicher Frequenz (und Amplitude) entstanden gedacht werden kann (resp. nach dem Princip der Fourier'schen Reihe in solche sich auflösen lässt). Denn als **Klänge** bezeichnet man die durch die Gleichzeitigkeit mehrerer Töne hervorgerufenen (musikalischen) Schallempfindungen, bei welchen in der That die durch jeden Theil- oder Partialton erzeugten Luftschwingungen sich superponiren; im erstgedachten Falle des einheitlichen, aber in Form eines Superpositionsvorganges schwingenden, tongebenden Körpers (Orgelpfeife, Kehlkopf, Saite u. s. w.) bezeichnet man den am meisten hervortretenden, d. h. der bei der Analyse sich ergebenden Schwingung grösster Amplitude entsprechenden „Theilton" als den „Grundton", die übrigen als die „Obertöne".

Solche Theiltöne vermag das musikalische Ohr sehr wohl zu unterscheiden, und zwar sowohl die Bestandtheile eines Accords, als auch Grundton und Obertöne einer einzelnen gesungenen oder auf einem Instrument hervorgebrachten „Note"; ja, das geübte Ohr des Dirigenten „hört aus der vollen Orchestermusik jedes einzelne Instrument heraus". Diese **Fähigkeit zur Klanganalyse** erklärt sich am einfachsten durch die Annahme, dass die zahlreichen einzelnen Fasern des Hörnerven mit ebensoviel auf verschiedene Schwingungsfrequenzen in gleichem Abstande abgestimmten Aufnahmeapparaten verbunden sind — die durch Helmholtz besonders ausführlich entwickelte „Resonatorentheorie" —; als solche Resonatoren werden jetzt allgemein, entsprechend ihrer saitenartigen Anspannung und verschieden abgestuften Länge (siehe oben), die „Radialfasern" der Basilarmembran aufgefasst.

---

[1]) Ac. W., LXXIV, 561.

[2]) Wiedemann's Annalen d. Phys., X, 1.

Dem würde entsprechen, dass bei Verlust des Hörvermögens ausschliesslich für die tiefen Töne („Basstaubheit") die Spitze der Schnecke, wo jene Radialfasern am längsten sind, pathologisch lädirt gefunden wurde, bei Verlust des Hörvermögens für die hohen Töne („Diskanttaubheit") dagegen die Basis.

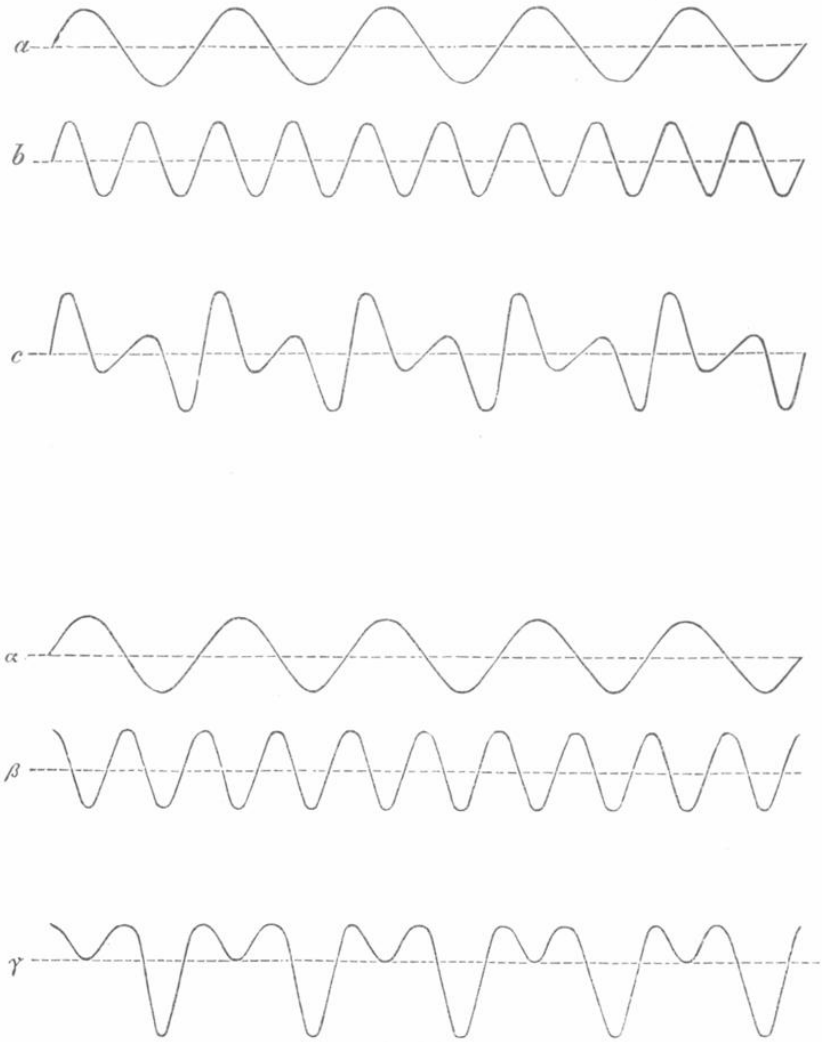


Fig. 60.

Für die Resonatorentheorie würde es sprechen, wenn Verschiedenheiten im Zusammenfallen der Schwingungsphasen der Theiltöne die Klangempfindungen nicht beeinflussten, diese also nur von den Frequenzen und Amplituden der durch „Analyse" sich ergebenden

Theilschwingungen abhängig wären, nicht aber von der Form der durch Superposition entstandenen oder entstanden gedachten Gesammtschwingung: wie verschieden diese sein kann, zeigt Fig. 60, in welcher Schwingungen a und b (von gleicher Amplitude, aber mit Frequenzen $= 1 : 2$) bei c unter Zusammenfallen der Knoten von a mit solchen von b superponirt sind, während γ die Superposition der nämlichen Schwingungen α und β mit „Phasenverschiebung" um eine halbe Wellenlänge von β zur Anschauung bringt. In der That wird Belanglosigkeit der Phasenverhältnisse für die Klangempfindung meistens angegeben und gegentheilige Beobachtungen [Wellensirene von König[1])] bedürfen noch gründlicherer Nachuntersuchung.

Schwierigkeiten für die Resonatorentheorie hat man gefunden in gewissen zum Theil übrigens noch recht streitigen Erscheinungen beim gleichzeitigen Erklingen zweier (resp. mehrerer) Töne. Ist der Unterschied $m - n$ der beiden (an und für sich grossen) Schwingungsfrequenzen nämlich klein, so hört man bekanntlich eben $m - n$ mal in der Zeiteinheit ein Anschwellen und Absinken, resp. Unhörbarwerden des Schallphänomens, die sogenannten Stösse oder Schwebungen, welche nach dem allgemeinen Interferenzprincip ziemlich einfach zu erklären sind [auf die genauere Erforschung ihrer Gesetze durch König[2]), Voigt u. A. kann hier nicht eingegangen werden]. Ist die Differenz $m - n$ dagegen beträchtlicher, so dass sie einer in den Bereich der musikalischen Töne fallenden Schwingungsfrequenz gleicht, so hört man thatsächlich den eben dieser Frequenz entsprechenden Ton — den „Differenzton" (Sorge- oder Tartini'schen Ton). Ausserdem hört man aber auch noch einen Ton, welcher der Frequenz $m + n$ entspricht — den „Summationston" (Helmholtz) —; bedenkt man, dass $2m - (m - n) = m + n$, so lässt dieser sich auch als Differenzton höherer Ordnung (erster Oberton = Octave von m, minus eigentlichem Differenzton) auffassen, wofür die Thatsache spricht, dass er stets leiser gehört wird, als jener andere. Beide entstünden also rein subjectiv, indem die Schwebungen empfunden würden wie Schwingungen (Th. Young): Schwebungs- oder Stosstöne [(König[3])]; Resonatoren für die entsprechenden Schwingungsfrequenzen werden aber nicht zum Tönen gebracht, weil die Gleichgewichtslage des schwingenden Körpers bei den Schwebungen sich nicht ändert;

[1]) Wiedemann's Ann. d. Physik, XIV, 369.

[2]) Wiedemann's Ann. d. Physik, XII, 335.

[3]) Poggendorff's Ann. d. Physik, XLVII, 177.

folglich versagt auch die Theorie der Resonatoren im Ohre [König, Preyer[1]) u. A.].

Erst bei viel stärkeren Tönen, also grösseren Schwingungsamplituden, als sie zum Hörbarwerden jener Töne nöthig sind, findet unter Umständen eine Verschiebung der Gleichgewichtslage im Rhythmus der Differenz, resp. Summe statt (mathematische Ableitung aus den Gesetzen der Elasticitätslehre siehe bei Helmholtz, a. a. O.), welche eventuell auf entsprechend abgestimmte Resonatoren wirken könnte, — die sogenannten objectiven Combinationstöne von Helmholtz in erster Linie für die Resonatorentheorie in's Feld geführt.

Bedenkt man ferner die Kleinheit der betreffenden Gebilde im Ohre, welche dem Gebiet der hörbaren Schwingungsfrequenzen mechanisch durchaus nicht entspricht, so muss ihre Auffassung als Resonatoren schlechthin, im gewöhnlichsten Sinne, doch wohl aufgegeben werden. Dass sie den specifischen Energieen der einzelnen Hörnervenfasern für die Empfindung der verschiedenen Tonhöhen materiell zu Grunde liegen, kann immerhin als sicher festgehalten werden, für die Umformung der Schallenergie dürften ausser ihnen aber noch näher aufzuklärende physikalische Eigenschaften der Uebertragungsapparate in Betracht kommen.

Die etwaigen Schwebungen beim gleichartigen Erklingen zweier Töne von verschiedener Schwingungsfrequenz erregen in jedem Menschen Unlustgefühle (Empfindung der „Rauhigkeit"), sie klingen schlecht — „Dissonanz" —, während das gleichzeitige Erklingen zunächst reiner („leerer") Töne von Schwingungsfrequenzen, die in einfachem Verhältniss zu einander stehen, wohlthuend wirkt — „Consonanz"; nun bestehen die „Töne" musikalischer Instrumente bereits aus dem Grundton (vgl. oben) und mehr oder weniger, je nach der Klangfarbe verschiedenen und verschieden starken, aber zum Grundton in mehr weniger einfachem Verhältniss der Schwingungszahlen stehenden („harmonischen") Obertönen: die ästhetische Wirkung des gleichzeitigen Erklingens zweier, resp. mehrerer solcher Töne von musikalischen Instrumenten hängt daher von dem Zusammenfallen, resp. von dem mehr weniger einfachen Verhältniss, vor Allem der nächsten Obertöne derselben ab: Schreibt man in acht (resp. zwölf) Horizontalreihen Grundton und die nächsten Obertöne (Octave, Duodecime oder Quinte der Octave, nächsthöhere Octave u. s. w.) für die acht (resp. zwölf) Noten der Dur- (resp. chromatischen) Tonleiter untereinander, derart, dass jeder ganze, resp. halbe Ton in der Reihe

[1]) Akustische Untersuchungen, 1879.

der Obertöne seinen Verticalstab hat[1]), so erkennt man im Sinne des obigen Princips sofort den **Grad der Consonanz der verschiedenen Intervalle:** am vollkommensten ist sie für Grundton und Octave, demnächst (abgesehen von höherer Octave, Duodecime u. s. w.) folgen Grundton und Quinte, Quarte (grosse), Sexte und grosse Terz; Secunde und Septime bilden Dissonanzen mit dem Grundton.

Letzteres gilt in den höheren Lagen nicht für reine Töne, weil der Unterschied der Schwingungsfrequenzen zu gross ist, um Schwebungen zu bedingen [Preyer[2])].

Ferner ergibt sich so die Consonanz der grossen Terz mit dem Grundton als vollkommener denn die der kleinen Terz: daher der rauhere, unbefriedigendere Charakter des Mollaccords gegenüber dem „runderen", befriedigenderen Duraccord, weshalb die Molltonarten sich mehr zum Ausdrucke wehmüthiger u. s. w. Stimmungen eignen.

Auf weitere Einzelheiten der hier ihre physiologische Begründung findenden Harmonielehre und sonstigen Theile der Musiktheorie kann natürlich nicht eingegangen werden.

Als **Geräusche** empfinden wir Schwingungen unregelmässiger Art, welche indessen meistens eine gewisse mittlere Frequenz haben, nach welcher man wohl von einer Höhe des Geräusches sprechen kann. Auch die Schwingungsform bei vielen Geräuschen mag etwas Bestimmteres haben, welches sich den Schwingungsformen nähert, welche beim Aussprechen der Vocale auftreten; dem entsprechend bezeichnet man sie auch durch „onomatopoietische" Ausdrücke, wie krachen, schmettern, klirren, donnern brummen u. s. w. Ferner unterscheiden wir aber die Geräusche besonders nach dem gröberen zeitlichen Verlauf ihrer Intensität: z. B. plötzliches Auftreten und rasches Abnehmen beim Knall; mehr weniger häufige Unterbrechungen bei den schnarrenden und schwirrenden Geräuschen u. s. w.

Deutet zwar die Empfindung der Höhe der Geräusche auf Betheiligung der Schnecke, so hat man im Uebrigen als Aufnahmeapparate für die Empfindung von Geräuschen oder überhaupt die allgemeinen Schallempfindungen ausserhalb des musikalischen Gehörs (Empfindung der Intensität und Dauer von Schalleindrücken) wohl die oben bereits erwähnten Sinneszellen im **Vestibularapparat**

---

[1]) Vgl. Hermann, Lehrbuch der Physiol., 11. Aufl., S. 522.

[2]) a. a. O.

angesehen. Indessen neigt man auf Grund zahlreicher, noch nicht abgeschlossener Versuchsergebnisse neuerdings immer mehr dazu, jenen Aufnahmeapparat des r. vestibularis im Besonderen (Utriculus, Bogengänge mit ihren Ampullen) als ein Sinnesorgan ganz anderer Bestimmung aufzufassen, welches nämlich bei der Erhaltung des Gleichgewichts, der Coordination der Bewegungen und der richtigen Orientirung des Körpers im Raume eine Hauptrolle spiele.

Den ersten Anstoss zu dieser Auffassung gaben Beobachtungen von Flourens[1]), dass bei Tauben nach Labyrinthverletzungen Coordinationsstörungen und Zwangsbewegungen auftreten. Goltz[2]) sah in den Bogengängen ein Organ für die Wahrnehmung der Körperstellungen, indem er auf ihre Anordnung in drei zu einander senkrechten Ebenen hinwies, welche Cyon[3]) später geradezu als Grundlage unserer Vorstellung eines dreidimensionalen Raumes hinstellte.

Mach[4]) und Breuer[5]) präcisirten die Function der Bogengänge dahin, dass durch sie die Bewegungen des Körpers nach ihrer Richtung erkannt würden, indem die Endolymphe durch Zurückbleiben oder Rückstoss auf die Haare der Sinneszellen in den Ampullen einwirke: sie bewirkten deshalb auch das Zustandekommen des oben (S. 304) besprochenen Drehschwindels. Durch sehr genaue Exstirpations-, Plombirungs- und Reizversuche hat in dieser Richtung Ewald[6]) weitergearbeitet; er beobachtete vor Allem dauernde Muskelschwäche nach Labyrinthexstirpationen an Thieren, weshalb er annimmt, dass der Vestibularapparat als Sinnesorgan für die Bewegungsrichtung und -Intensität durch Vermittlung der Centren die Stärke der Bewegungsinnervationen regulire (entsprechend der oben S. 305 erwähnten Anschauung Schiff's über die Kleinhirnfunctionen), sogenannter „statischer Sinn". Man hat auch Ungeschicklichkeit der Bewegungen, Fehlen des Drehschwindels u. s. w. bei Taubstummen zur Stütze dieser Anschauungen herangezogen [James, Kreidl[7]), Pollack[8]), Bruck[9])]; indessen scheint es, dass beim Menschen die Bogengänge als Orientirungsorgan neben dem Gesichtssinn und Muskelgefühl (siehe früher) höchstens nebenbei in Betracht kommen. Der galvanische Schwindel (siehe oben) bleibt auch bei Thieren trotz

---

[1]) Mémoires de l'acad. des sc., IX, 1828; Recherches expérimentales etc., Paris 1842.

[2]) A. g. P., III, 172.

[3]) C. R., LXXXV, 1284; Thèse, Paris 1878; A. g. P., VIII, 306.

[4]) Grundlinien der Lehre von den Bewegungsempfindungen, Leipzig 1875; Beiträge zur Analyse der Empfindungen, Jena 1886.

[5]) Allg. Wiener med. Zeitung, 1873, Nr. 48; Wiener med. Jahrbücher, 1874, S. 72; 1875, S. 87; A. g. P., XLIV, 135; XLVIII, 195.

[6]) A. g. P., XLI, 463; XLIV, 319; Physiolog. Untersuchungen über das Endorgan des Nervus octavus, Wiesbaden 1892.

[7]) A. g. P., LI, 119.

[8]) ibid., LIV, 188.

[9]) ibid., LIX, 16.

Labyrinthexstirpation bestehen [Hermann und Strehl[1]]. Bei niederen Thieren ohne Bogengänge hat man die Otolithen für die Vermittlung der Bewegungsempfindungen (durch Rückstoss auf die Haarzellen) verantwortlich gemacht; Fano und Masini[2]) gingen so weit, auch die Schnecke für den Orientirungssinn heranzuziehen und Ewald nahm an, dass die Nervenfasern des R. cochlearis selbst die Schallempfindungen nach ihrer Höhe u. s. w. vermitteln könnten; dies würde den oben (S. 325) besprochenen allgemein giltigen Gesetzen von den specifischen Energieen zuwiderlaufen und ist auch als widerlegt anzusehen, indem das von ihm angegebene Hören labyrinthloser Tauben auf „tactile Schallreaction", d. h. Empfindung der Luftbewegung durch den Tastsinn zurückgeführt werden konnte [Bernstein, Strehl[3]]. Jedenfalls bleibt also die Schnecke der Aufnahmeapparat für musikalische Schalleindrücke, während der Vestibularapparat — Sacculus, Utriculus und Bogengänge sich vielleicht in die Vermittlung allgemeiner Schallempfindungen einerseits und Bewegungsrichtungsempfindungen andererseits theilen dürften. Dass die Bogengänge der Wahrnehmung der Schallrichtung dienen könnten, ist auch in's Auge gefasst worden, aber nicht sehr wahrscheinlich wegen ihrer tiefen Lage im Knocheninnern; dazu kommt noch:

Die **Localisation des Schalles** findet in sehr unvollkommener Weise statt, was schon in den Eigenschaften der als Schall empfundenen Schwingungen begründet ist: die Entfernung einer Schallquelle beurtheilen wir hauptsächlich nach der Intensität des Schalles, welche ja mit dem Quadrate der Entfernung abnimmt, ferner auch nach gewissen Aenderungen der Klangfarbe, welche mit zunehmender Entfernung möglicherweise durch Reflexions- und Interferenzvorgänge zu Stande kommen. Die Schallrichtung beurtheilen wir nach der Intensität der Schallempfindung in jedem von beiden Ohren, indem uns der Schall von derjenigen Seite her zu kommen scheint, auf welcher wir ihn stärker empfinden.

Durch die reflectirenden Flächen beider Ohrmuscheln lassen sich zwei sich schneidende Ebenen legen; liegt die Schallquelle im vorderen Schnittwinkel, so trifft sie beide Ohren; liegt sie in einem der seitlichen Schnittwinkel, so trifft sie nur das Ohr der betreffenden Seite [Steinhauser[4]), Thompson[5])].

Durch Knochenleitung zugeführte Schallschwingungen scheinen im Kopfe selbst zu entstehen, so diejenigen einer auf den Schädel gesetzten Stimmgabel im näheren Ohr, von zwei gleichgestimmten, symmetrisch aufgesetzten Stimmgabeln in der Medianebene (Tarchanoff u. A.).

Zuleitung von Schallschwingungen zu beiden Ohren gleichzeitig verstärkt übrigens die Schallempfindung (binauriculäre Telephone, Stethoskope, Phono-

---

[1]) ibid., LXI, 205.

[2]) Sperimentale, XLVII, 1893.

[3]) a. a. O.

[4]) Philosoph. Magaz. (5), VII, 181, 261.

[5]) ibid. (5), VIII, 385.

graphen-Hörschläuche u. s. w.). Treffen zwei Töne von nur wenig verschiedener Schwingungszahl die beiden Ohren getrennt, so hört man die Schwebungen, was indessen nicht etwa durch centrale Entstehung dieser letzteren, sondern durch Weiterleitung zum anderen Ohr zu erklären ist. Meist empfinden übrigens beide Ohren denselben Ton nicht gleich hoch und nicht gleich stark.

Wie jeder Sinneseindruck, muss auch ein Schalleindruck eine gewisse Zeit andauern, um überhaupt wahrgenommen zu werden (Präsentationszeit, siehe S. 317), und die Empfindung ihrerseits dauert eine gewisse Zeit an, nachdem der Schalleindruck aufgehört: **„Nach- oder Abklingen"**; Messungen seiner Dauer von A. M. Mayer[1]), Mach, Exner. Bei längerer Einwirkung, insbesondere hoher Töne, nimmt die Empfindungsintensität ab durch **Ermüdung** des Centralorgans; nach Pausiren wird sie wieder die frühere.

Nicht von ausserhalb erregte, aber objective, sogenannte **entotische Geräuschempfindungen** können durch die Strömung des Blutes in den Kopfgefässen oder Muskelgeräusche (Zusammenbeissen der Kiefer: Massetertetanus) bedingt sein — brausende Geräusche, oder durch das Pulsiren der Arterien — klopfende Geräusche. Man hört sie besonders deutlich bei verschlossenem Gehörgang, weil dann die Schwingungen, welche durch Knochenleitung dem Ohre mitgetheilt werden, durch Mitschwingen der Luft im Gehörgang verstärkt sind. „Ohrensausen" kann wohl auch durch peripherische directe Erregung der Hörnervenfasern in unbekannter Art entstanden gedacht werden.

Eigentliche Gehörshallucinationen entstehen natürlich central (vgl. S. 309).

Das Gehörorgan dient nicht nur den Beziehungen der höher organisirten Thiere zur Aussenwelt im Allmeinen, sondern insbesondere dem Verkehre der Individuen, vor Allem derselben Art, untereinander, indem es Schallschwingungen aufnimmt, welche von ihnen selbst in besonders dazu differenzirten Organen erzeugt werden und welche man ganz allgemein als **Stimme** bezeichnet; ihre einzelnen Aeusserungen oder Laute haben beim Menschen den höchsten Grad der Vervollkommnung zum Zwecke der gegenseitigen Verständigung, resp. des Ausdrucks der psychischen Vorgänge erhalten in Gestalt der **Sprache**.

Das Stimmorgan der Warmblüter, speciell auch des Menschen, ist der **Kehlkopf**. Er stellt eine Zungenpfeife dar mit mem-

[1]) Philosoph. Magaz., XLIX, 352, 428.

branösen Zungen — den Stimmbändern. Diese werden gespannt und entspannt durch die Beweglichkeit des Schildknorpels („Spannknorpels") und Ringknorpels gegeneinander um eine transversale (durch die beiden Gelenke gehende) Achse. Da sie oberhalb dieser Achse von vorn nach hinten verlaufen, so werden sie gespannt bei Senkung des vorderen Schildknorpelrandes gegen den fixirten Ringknorpel, welche Function dem M. cricothyreoïdeus zukommt [dem einzigen Kehlkopfmuskel, welcher vom N. laryngeus superior innervirt wird (siehe S. 295)].

Man hat auch behauptet, dass statt dessen der Ringknorpel vorn gegen den fixirten Schildknorpel aufwärts gedreht würde; die Wirkung wäre die gleiche.

Die hinteren Enden der Stimmbänder befinden sich an den vorderen Ecken (processus vocales) der dreiseitig-pyramidenförmigen Giessbeckenknorpel, welche, auf dem hinteren Theile des Ringknorpels aufsitzend, jeder um eine verticale Achse drehbar sind, derart, dass die processus vocales aneinandergelegt und so die Stimmritze geschlossen, oder dass sie auseinandergezogen und so die Stimmritze geöffnet werden kann („Stellknorpel"): dies geschieht durch Zug an ihren äusseren Ecken (processus musculares), indem der vom Ringknorpel medianwärts hinten herkommende M. cricoarytaenoïdeus posticus sie nach hinten zieht, somit die processus vocales auseinanderdreht und die Stimmritze öffnet: Beiderseitige „Posticuslähmung" führt durch Ueberwiegen der jetzt zu besprechenden Stimmritzenschliesser zu dauerndem Schluss der Stimmritze mit hochgradiger Erstickungsgefahr. [Einseitige Lähmung zeigt Schiefstand der Stimmritze im laryngoskopischen Bilde (siehe unten), hindert aber nicht die Phonation.] Die Schliesser der Stimmritze sind jederseits der M. circoarytaenoïdeus lateralis, welcher, vom Ringkorpel vorn-seitlich herkommend, dem Posticus gerade entgegenwirkt und die Processus vocales, resp. Stimmbandränder aneinanderdrückt. Damit indessen auch der hintere, zwischen den beiden Giessbeckenknorpeln liegende Antheil der Stimmritze schliesse, werden diese durch die Mm. arytaenoïdei proprii obliqui et transversi aneinandergedrückt. Für den vollständigen Schluss, resp. die Regulirung der Spannung der Stimmbänder bei der Phonation sorgt ausser dem M. cricothyreoïdeus ganz besonders noch der M. thyreoarytaenoïdeus, dessen Fasern im Innern der Schleimhautfalte, welche wir als wahres Stimmband bezeichnen, zum

grössten Theile von vorn nach hinten laufen (vom Schild- zum Giessbeckenknorpel, wie der Name besagt); es finden sich hier aber auch von oben nach unten gehende Fasern, deren Contraction die Schleimhautfalte dünner macht, ein Vorgang, welcher für die Erklärung der Fistelstimme herangezogen wird (siehe unten).

Vollständige Lähmung der Nn. laryngei inferiores gibt den Stimmbändern jene Mittelstellung zwischen Schluss und Oeffnung der Stimmritze, welche sie bei der Leiche zeigen („Cadaverstellung").

Lähmung des stimmbandspannenden Apparats macht Heiserkeit. Die oben erwähnte blosse Posticuslähmung kommt pathologisch vor; die betreffenden Fasern im N. laryngeus inferior sollen auch zuerst functionsunfähig werden, wenn man ihn abkühlt (vgl. S. 241); man sieht hiebei erst Schlussstellung, dann erst Cadaverstellung des betreffenden Stimmbandes [Gad und Fränkel[1])].

Die besprochenen Muskelfunctionen erhellen schon aus der Untersuchung ausgeschnittener Kehlköpfe. Die Vorgänge im lebenden

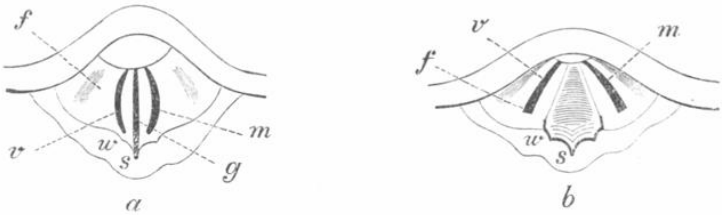


Fig. 61.
g Glottis, *m* Morgagni'sche Tasche, *f* falsche, *v* wahre[2]) Stimmbänder, *s* Santorin'scher, *w* Wrisberg'scher Knorpel.

Kehlkopfe lassen sich gut beobachten durch die Methodik des Kehlkopfspiegels („Laryngoskopie"), Garcia, Czermak, — welche für die Physiologie der Stimmbildung sowohl, wie auch für die Pathologie des Kehlkopfs unentbehrlich geworden ist. Ihr Princip besteht höchst einfach in der Betrachtung des Kehlkopfspiegelbildes in einem dem Zäpfchen angelegten, um 45° nach unten gedrehten kleinen Spiegelchen, welches zugleich ein auf geeignete Weise (durchbohrter Reflector vor dem Auge, elektrische Stirnlampe) erzeugtes Lichtstrahlenbündel auf den Kehlkopf richtet und ihn so erleuchtet.

Fig. 61 *b* zeigt das laryngoskopische Bild beim Menschen bei weit geöffneter Stimmritze (Inspirationsstellung) und *a* bei geschlossener Stimmritze und zum Anlauten gespannten Stimmbändern (Phonationsstellung).

[1]) C. P., III, 49.

[2]) Der punktirte Strich in der Figur müsste bis über die M.'sche Tasche reichen.

Die **Töne** beim Anblasen einer Zunge oder **Zungenpfeife** (Zunge mit Ansatzrohr) entstehen dadurch, dass die Zunge, in Schwingungen versetzt, ihren „Rahmen" abwechselnd verschliesst und der Luft stossweise den Durchtritt gestattet. Während aber bei so erzeugten Schallschwingungen der Luft für „starre" Zungen (Mundharmonika, Harmonium) die Frequenz vom Material abhängig und ferner deren Dicke direct und dem Quadrate der Länge umgekehrt proportional ist, ist die Schwingungsfrequenz bei membranösen Zungen (Kehlkopf), deren Länge und Dicke selbst umgekehrt proportional, ausserdem wächst sie mit zunehmender Spannung der Membran (Alles wie bei den Saiten), welche auch von der Stärke des Anblasens abhängt, so dass mit dieser die Tonhöhe zunimmt[1]).

Das **Anblasen des Kehlkopfes** erfolgt durch den aus der Lunge kommenden Exspirationsluftstrom, es kann aber auch bei der Inspiration erfolgen (regelmässig bei gewissen Lauten mancher Thiere, z. B. dem i im i-a des Esels). Die Stärke des Anblasens kann durch den Seitendruck in der Luftröhre angegeben werden [Manometer an Luftröhrenfistel, Cagniard-Latour[2]), Grützner[3])] und beträgt 14 cm bis 1 m Wasser (vgl. S. 111), je nach der beabsichtigten Tonstärke und -Höhe, da ja die Spannung der Stimmbänder, mit welcher die letztere ansteigt, auch von der Stärke des Anblasens abhängt: die höchsten Töne können nur laut (forte) gesungen werden; im Uebrigen herrscht zwischen den stimmbandspannenden Kehlkopfmuskeln (siehe oben) und den Exspirationsmuskeln ein Antagonismus in dem Sinne, dass für denselben Ton, wenn er lauter angegeben werden soll, die Kehlkopfmuskeln weniger zu spannen haben, weil die Stimmbänder durch das stärkere Anblasen mit Hilfe der Exspirationsmuskeln schon mehr Spannung haben und umgekehrt, wenn er leiser angegeben

---

[1]) Wenn l die Länge, d die Dicke, resp. q den Querschnitt, s die Dichte, E den Elasticitätsmodulus, P die Spannung, g die Fallbeschleunigung, c eine Constante bedeutet, ist die Schwingungszahl n für starre Zungen:

$$n = c \cdot \frac{d}{l^2} \sqrt{\frac{g \cdot E}{s}}$$

für Saiten:

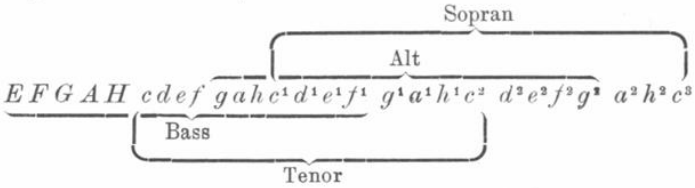
$$n = \frac{1}{l^2} \sqrt{\frac{g \cdot P}{qs}}$$

[2]) Ann. d. sc. natur. (II), 7, p. 180; 8, p. 319.

[3]) Hermann's Handbuch, I, 2, S. 64 ff.

werden soll: dieser Vorgang, welchen man als **Compensation** bezeichnet, erfolgt mit grosser Präcision, wenn man die Sicherheit des „Einsatzes“ bei geübten Sängern bedenkt, welche natürlich auch erst durch „Uebung“ erreicht wird.

Die **„Lage“** und der **„Umfang“ der menschlichen Stimme,** d. h. der Bereich der erzeugbaren Töne, ist abhängig von den absoluten Dimensionen der Stimmbänder, resp. der Grösse des Kehlkopfes: Kinder haben eine hohe Stimmlage mit geringem Umfang; erstere bleibt beim weiblichen Geschlecht und bei Castraten zeitlebens bestehen (unter Zunahme des Umfanges), während beim männlichen Geschlecht durch rasches Wachsthum des Kehlkopfes, insbesondere in Sagittalrichtung, um die Pubertätszeit („Mutiren“) die Stimmlage tief wird. Dabei ist bei den Erwachsenen beiderlei Geschlechts die Stimmlage individuell verschieden, so dass man hier wie dort tiefe, mittlere und hohe Stimmlagen unterscheidet, und zwar umfassen nach Joh. Müller:



Die Mittellagen bezeichnet man bekanntlich als Bariton, resp. Mezzosopran. Ausnahmsweise kann der Bass bis Contra-*F* herab- und der Sopran bis a^3 hinaufreichen.

Im Alter verliert die Stimme an Umfang und Wohlklang durch die Verknöcherung der Kehlkopfknorpel und Schwund der Muskeln.

Innerhalb jeder individuellen Stimmlage sind nun aber zwei sogenannte **Register** zu unterscheiden, je nach der Art, resp. dem Zustande, in welchem die Stimmbänder schwingen: bei den tieferen Tönen haben sie volle Dicke und schwingen gewissermassen als Ganzes; bei den höchsten Tönen sind sie durch Contraction der von oben nach unten ziehenden Fasern des M. thyreoarytaenoïdeus (vgl. oben) verdünnt und schwingen wahrscheinlich nur mit ihren Rändern [1]), so dass höhere Töne entstehen (wie die Flageolettöne getheilt schwingender Saiten), — die „Fistelstimme“, oder das „Falset“, oder auch die „Kopfstimme“ im Gegen-

[1]) Zuerst genauer begründet durch Lehfeldt (Diss. Berlin 1835); nach Mandl, Störck und anderen Laryngoskopikern sollen sich die Ränder der Taschenbänder geradezu auf die Stimmbänder auflegen und so deren Ränder allein schwingen lassen.

satz zur Bezeichnung der tieferen Lagen als „Bruststimme“: diese Namen kommen daher, dass bei der Fistelstimme sehr wesentlich die Luft im Nasopharyngealraum als „Ansatzrohr“, sowie die Kopfknochen mitschwingen, so dass die Stimme „von obenher“ zu kommen scheint, während bei der Bruststimme die Resonanz der Lungenluft und des knöchernen Thorax (für die aufgelegte Hand als „Pectoralfremitus“ deutlich fühlbar) besonders stark ist.

Die Stärke des Anblasens ist bei der Fistelstimme geringer, der erforderliche Luftstrom aber, da die Stimmritze mehr klafft, reichlicher; sie ist daher weniger „ausgiebig“ als die Bruststimme.

Eben wegen der besprochenen Resonanzverhältnisse ist die Klangfarbe der beiden Register verschieden — für die Bruststimme „voller“, reicher an Obertönen, als bei der Fistelstimme.

Auf die von manchen Physiologen angenommenen weiteren Register, die „Zwischenstimmen“, den „Kehlbass“ und den „Strohbass“, kann hier nicht näher eingegangen werden, auch nicht auf das sogenannte helle und dunkle Timbre, noch auf die plötzlichen Veränderungen (Schreien) und einmaligen oder periodischen Schwankungen (Detoniren, Tremoliren) der Tonhöhe: es muss dieserhalb auf die Fachliteratur — auch über Gesanglehre — verwiesen werden.

Sogenannter „nasaler“ Klang der Stimme scheint, wie besonders neuerdings durch immer mehr Untersuchungen nahegelegt ist [1]), auf Mitschwingen der Luft im Nasopharyngealraum und nicht den Nasenhöhlen zu beruhen. Doch gehört dieses Capitel, ebenso wie die Flüsterstimme und das Bauchreden schon mehr zum Folgenden:

Auf Schwingungen der Luft in der Mundhöhle als „Ansatzrohr“ beruht der eine Antheil der Sprachlaute, die **Vocale** oder „Selbstlauter“; ihr Charakter nähert sich mehr demjenigen der Klänge oder Geräusche, je nachdem sie „gesungen“ oder mehr weniger laut „gesprochen“ oder endlich „geflüstert“ werden [2]). Die verschiedenen Vocale entstehen dadurch, dass der Mundhöhle beim „Aussprechen“ eine verschiedene Form gegeben wird:

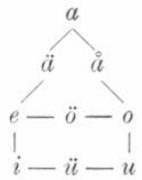
Bei *A* wird die Zunge niedergedrückt und zurückgezogen, so dass die gesammte Mundhöhle geräumig, dabei der Mund weit geöffnet wird: schon etwas weniger weit geöffnet ist der Mund beim Aussprechen des *O* und noch mehr geschlossen beim *U*: beim letzteren Vocal hebt sich ausserdem der hintere Theil der Zunge, so dass die Mundhöhle eine Art Flaschenform mit vorderem Bauche und hinterem Halse erhält. Dagegen hebt sich die Zunge vorn beim Aussprechen des *E*, während gleichzeitig hinten sich der „Kehlraum“ erweitert:

---

[1]) Vgl. Sänger, A. g. P., LXIII, 301, und LXVI, 467.

[2]) Das Wesen des Unterschiedes zwischen Sprechstimme und Singstimme ist nicht genügend sichergestellt. Man hat behauptet, dass im ersteren Falle die Stimmbänder als „aufschlagende“, im letzteren als „durchschlagende“ Zunge wirken.

dies erfolgt in noch stärkerem Maasse beim *I*, derart, dass die Mundhöhle nunmehr eine Flasche mit hinterem Bauche und vorderem Halse darstellt. Zwischen den einzelnen Vocalen haben wir die sogenannten Umlaute als Uebergänge, derart, dass man Systeme bilden kann, wie etwa:



Die Diphthonge bestehen aus zwei rasch nacheinander und mehr weniger in einander übergehend ausgesprochenen Vocalen.

Was die physikalische **Theorie** des Zustandekommens **der Vocale** betrifft, so hatte bereits R. Willis[1]) angenommen, dass sie aus kurzen „Tonfragmenten" bestehen, deren Höhe (also Schwingungszahl jedes einzelnen Fragmentes) für denselben Vocal stets die gleiche sei, während ihre Dauer und Frequenz des Aufeinanderfolgens von der Höhe abhänge, in welcher der betreffende Vocal gesungen, resp. gesprochen werde. Diese von Helmholtz [als dessen zweite, spätere Theorie [2])] dahingehend näher ausgebildete Vorstellung, dass die Mundhöhle als ein Resonator von abgestimmter Tonhöhe durch den stimmgebenden, aus dem Kehlkopfe kommenden Exspirationsluftstrom intermittirend angeblasen werde, und dass der Ton der Mundhöhle das Charakteristicum **(„Formant")** des Vocalklanges bilde — die Theorie vom „absoluten Moment" —, ist neuerdings besonders durch Hermann[3]) vertheidigt worden gegenüber einer älteren Annahme von Helmholtz[4]), welche jetzt besonders von Hensen[5]) und Pipping[6]) aufrechterhalten wird, dass nämlich das Verhältniss der Partialtöne, die Gesammtform der Schallschwingung und nicht ein feststehender Ton für jeden Vocalklang charakteristisch sei — Theorie vom „relativen Moment" —, und dass die Eigentöne der Mundhöhle ohne wesentlichen Einfluss auf den Vocalcharakter nur gewisse Lagen der Partialtöne verstärkten („Verstärkungsgebiete" statt der

[1]) Annalen der Physik, XXIV, 397; 1832.

[2]) Lehre von den Tonempfindungen, I. Aufl., Braunschweig 1862.

[3]) A. g. P., XLVII, 42; XLVIII, 181, 543.

[4]) Gelehrte Anzeigen der k. bayer. Akad., 1859, Nr. 67.

[5]) Z B., XXVIII, 39, 227.

[6]) ibid., XXVII, 1, 433; XXXI, 524.

„Formanten"). Dass beide Momente mitwirken, hatte Auerbach angegeben.

Auf gewisse theoretische Cardinalfragen, z. B. ob überhaupt ein Resonator durch Vermittlung einer Zungenpfeife intermittirend angeblasen werden kann, welche Bedeutung etwa die Phasenverschiebung für den Vocalcharakter hat u. A., näher einzugehen, ist hier nicht möglich.

Die experimentellen Wege für die Bearbeitung dieses Gebietes bestehen erstens in der Aufzeichnung der Schwingungen und Analyse der Curven, zweitens in Versuchen, die Vocale zu reproduciren. Schwingungscurven der Vocalklänge hat man erhalten durch Betrachtung der König'schen manometrischen Flammenbilder im rotirenden Spiegel [1]), sowie durch Aufzeichnung der einer mit Schreibvorrichtung versehenen Membran aufgezwungenen Schwingungen auf rotirender Walze: Phonautograph von König, Sprachzeichner von Hensen, Phonograph von Edison; vermittelst dieses letzteren Apparates in seiner neuen, verbesserten Gestalt hat besonders Hermann [2]) unter Anwendung des auf lichtempfindliche Fläche wirkenden, von einem mit der Membran verbundenen Spiegel reflectirten Lichtstrahls („Phonophotographie") vorzügliche Curven erhalten.

Der nämliche Apparat reproducirt bekanntlich auch alle in seine Wachswalzen eingegrabenen Schallschwingungen in vollendeter Weise; Vocale ändern ihren Charakter, wenn die Drehgeschwindigkeit bei der Reproduction eine andere ist, als bei der Aufnahme, — ein Argument für das „absolute Moment" (Hermann). Vorzüglich reproducirt auch das Telephon die in ein anderes mit ihm verbundenes hineingesprochenen Vocale, und zwar auch dann, wenn die Ströme des letzteren nicht direct, sondern durch Induction auf den Stromkreis des ersteren wirken (Mithören fremder Gespräche durch Induction in Fernsprechnetzen der Städte).

Auch durch Ausschneiden der phonophotographischen Vocalcurven in vergrössertem Maassstabe in Blech und Einsetzen in die König'sche Wellensirene hat man die Vocale reproducirt.

Synthetisch erhielt man vocalähnliche Klänge aus einfachen Theiltönen durch Zusammenerklingenlassen von Stimmgabeln in geeigneten Abstimmungen und Intensitätsverhältnissen (Apparat von Helmholtz), auch mit Zungenpfeifen oder durch Schwebungen an der Doppelsirene (Hermann).

Von den Vocalen nicht principiell, nur durch ihre Stellung bei der Silbenbildung verschieden, stellen die **Consonanten** oder Mitlauter Geräusche mit mehr oder weniger Klangcharakter dar, welche auf verschiedene Weise in der Mundhöhle gebildet werden, indem Luft durch im wesentlichen einen von drei Engpässen getrieben wird: den Lippen- oder Zahnlippenverschluss, den vorderen Zungenverschluss (Zungenspitze und harter Gaumen), endlich den hinteren Zungenverschluss (Zungenwurzel und weicher Gaumen).

---

[1]) Annalen der Physik, CXLVI, 161.

[2]) A. g. P., XLV, 582; XLVII, 44, 347; LIII, 1; LVIII, 264.

Durch Stimmgebung in diesen letzteren Fällen kommt das (gewöhnliche, resp. nasalirte, siehe oben) **n** zu Stande, durch Stimmgebung bei Lippenverschluss das **m**, bei Einklemmung der Zungenspitze zwischen die Zahnreihe und Durchtreiben der Luft zu beiden Seiten das **l**: diese drei Mitlauter sind am vocalähnlichsten — „semivocales", liquidae — und zeigen Klangcharakter mit „Formanten" [Hermann und Matthias[1])].

Intermittirendes Durchtreiben von Luft durch einen der drei Verschlüsse haben wir beim (Lippen-, Zungen-, Rachen-) **r**.

Einmaliges knallartiges Durchtreiben der Luft unter „Sprengung", des respectiven Verschlusses bedingt die „Explosivlaute", nämlich die Mutae und Gutturales, welche, wenn die Sprengung heftig und stimmlos erfolgt, als Tenues, wenn sie leiser und mit Stimme stattfindet, als Mediae unterschieden werden: **p** und **b** durch Sprengung des Lippenverschlusses, **t** und **d** des vorderen, **k** und **g** des hinteren Zungenverschlusses.

Diese Laute werden zu Aspiratae, wenn das Geräusch des durch die eben geöffnete Stimmritze continuirlich streichenden Luftstromes dazu kommt; dieses für sich allein bildet das **h** (*ch*, Hamze oder Spiritus asper), und ist in geringerem Maasse beim Anlauten jedes Vocals merklich (Spiritus lenis).

Ein continuirlicher Luftstrom durch das Lippenthor erzeugt das **f** (scharf, ohne Stimme) und **w** (schwach, mit Stimme).

Durch das Hindurchpressen der Luft zwischen den (verschieden zu einander gestellten) Zähnen und Lippen, resp. Zungenspitze entstehen endlich die verschiedenen Zischlaute **ch, j, s, sch.**

Noch nähere Details gehören in die Sprachforschung (Linguistik). Die gegebene Entstehungsweise der Consonanten erhellt aus genauer Beobachtung, sowie Versuche mit aufgestreuten Farbpulvern (Grützner). Die physikalische Theorie der Consonanten liegt noch sehr im Dunkeln.

Bei der Flüstersprache fehlt die Stimmgebung; alle Laute haben klanglosen Geräuschcharakter.

Wegen des Bauchredens, der Thierstimmen — vergleichende Stimmphysiologie — und mehrerer anderer Punkte sei auf die Specialliteratur verwiesen.

---

[1]) A. g. P., LVIII, 255.