

# Der Umfang des Gehörs in den verschiedenen Lebensjahren.

Von

Dr. H. ZWAARDEMAKER  
in Utrecht.

(Mit 5 Figuren im Text.)

Vor Jahren hat DONDERS<sup>1</sup> darauf hingewiesen, daß auch für das Ohr die Lokalisation des Reizes der letzte Grund des Unterscheidens ist. Die Töne sind keine verschiedenen Qualitäten, sondern Empfindungen derselben Art, die nur durch ihre

---

<sup>1</sup> DONDERS in der Dissertation von A. HUYSMAN: „*De afstomping der gehoorzenuw door gehuidsindrukken 1884.*“

Weil diese Dissertation nur in holländischer Sprache erschienen, lassen wir die wörtliche Übersetzung folgen.

„Die gewöhnliche Auffassung ist diese, daß Tonhöhe und Farbe die analogen Energien des Gehörs- und des Gesichtssinnes sind. (HELMHOLTZ, *Tonempfindung*. 1. Aufl. S. 244.)..... Daß beiden — den Unterschieden der Farbe wie der Tonhöhe — Unterschiede der Schwingungsdauer zu Grunde liegen, gab Veranlassung, beide für analog zu halten. Jedoch diese Schwingungen selbst gehören zu ganz verschiedenen Ordnungen. Für eine Schwingung der menschlichen Stimme eine Billion Schwingungen des sichtbaren Spektrums! Diese bringen die Molekeln und Atome in Bewegung und rufen photochemische Prozesse hervor, jene hingegen die kleinen Massen und wirken direkt rein mechanisch. Um die Analogie zwischen Tonhöhe und Farbe zu beweisen, brauchen wir also andere Gründe. Stehen dieselben vielleicht in gleicher Beziehung zu den Nervenfasern? Für die Schallempfindungen hat HELMHOLTZ gezeigt, wie Morphologie, Physik und Physiologie in schönster Übereinstimmung dazu führen, die verschiedenen Tonhöhen mit gesonderten Nervenfasern zu verbinden. Und THOMAS YOUNG hat für seine drei fundamentalen Energien des Farbensinnes auf jeder Empfindungsarea der Netzhaut drei Fasern postuliert. Er war dazu ohne Frage berechtigt. Man kannte zu jener Zeit weder die Endigung der Optikusfasern, noch ihre peripherischen

Lokalzeichen verschieden sind. Sie bilden eine kontinuierliche Reihe und können zu gleicher Zeit empfunden werden, ohne sich zu ändern oder gegenseitig aufzuheben. Das Ohr besitzt das Vermögen, den Totaleindruck in die zusammensetzenden Empfindungen zu zerlegen, von denen jede dann mit ihrem Lokalzeichen zur Wahrnehmung gelangt. Der Reihe der Töne entspricht im Ohre nach der HELMHOLTZschen Hypothese eine Reihe von percipierenden Elementen, und wahrscheinlich wird etwas Ähnliches sich im Centralorgane wiederholen.

Wenn diese Vorstellungen richtig sind, ist die Reihe der Töne das Analogon des Gesichtsfeldes, denn dort wie hier sind die Sinneselemente nebeneinander zu einem Ganzen geordnet, welches in seiner Umgrenzung und seinen Eigenschaften studiert werden soll. Morphologisch streben wir diesem Ziele durch Nekropsie zu, physiologisch untersuchen wir den Bereich, über welchen die Empfindung sich ausdehnt. Wir wollen nun die Reihe der Töne, welche wir zu hören im stande sind, die Gehörslinie nennen.

---

Elemente. Nun aber, wo es sich gezeigt hat, daß nur gleichartige Kegel und Stäbchen, in der Fovea centralis nur gleichartige Kegel zu finden sind, muß diese Vorstellung aufgegeben werden . . . . .

Auch positive Gründe von allgemeiner und specieller Art (*Annales d'oculistique*. T. 87, pag. 205, 1882) nötigen uns, in einer Optikfaser mehr als einen Proceß anzunehmen. Und so muß unsere Antwort auf die gestellte Frage verneinend sein: Während jede Tonhöhe, deren Unterscheidung möglich ist, ihre eigene Faser hat, besteht kein Grund, die verschiedenen Prozesse der Farbenempfindung an gesonderte Fasern gebunden zu denken.

Und hiermit hängt es zusammen, daß, während die Farben gemischte Empfindungen bilden, die Tonhöhen selbständig bleiben; daß, während alle Farben sich aus einer kleinen Zahl fundamentaler Farben bilden, bei den Tönen so viele Energien zu unterscheiden sind, als es Tonhöhen giebt; daß, während die Farben sich mit ihren Übergängen in bestimmter Folge in einen Kreis ordnen lassen, mit typischen Farben und Wendepunkten, die Töne hingegen eine Einzelreihe bilden von den höchsten bis zu den tiefsten ohne specifischen Charakter; daß endlich neben den Farben (den verschiedenen partiellen Processen) sich als Totalproceß das neutrale Weiß zeigt, dessen Analogon bei den Tönen nicht zu finden ist.

So kehren wir zu unserem Ausgangspunkte zurück: Die Analogie der Tonhöhe — nicht mit den Farben, sondern mit den Lokalzeichen LOTZES, und wirklich ist mit jeder Empfindung im Auge oder auf der Haut, abgesehen von Farbe, von Temperatur und vom Drucke, ein Lokalzeichen verbunden. Dem Gehörnerv fehlt dieses Zeichen als solches. Urteilen

Nicht alle Schallschwingungen werden von uns als solche empfunden. Diejenigen, deren Wellen sehr langsam aufeinander folgen, können vielleicht noch durch den Gefühlssinn zur Wahrnehmung gelangen, eine eigentliche Gehörsempfindung rufen sie nicht hervor. Ebenso wenig ist letzteres bei Wellen von sehr geringer Schwingungsdauer der Fall. Sie mögen die Luft unserer Umgebung in heftige Erschütterung bringen, eine empfindliche Flamme lebhaft beeinflussen, für unser Ohr gehen sie geräuschlos vorüber. Wir stellen uns daher in erster Linie zur Aufgabe, die Gehörslinie abzugrenzen und zugleich ihre Lage in der unendlich großen Reihe der physikalischen Luftschwingungen, welche auf unser Gehörorgan übertragen werden können, jedoch nur zum kleinsten Teile gehört werden, näher zu bestimmen.

Schon oft hat man versucht, die Grenze der Gehörslinie festzustellen. Sowohl für die untere, als auch für die obere Tongrenze liegen aus älterer und neuerer Zeit manche Angaben vor. Wenn wir nur die neueren Autoren hier aufführen

---

wir über die Richtung, aus welcher der Schall zu uns kommt, so geschieht es nur vermöge der ungleichen Wirkungen desselben Schalles auf beide Ohren und einigermaßen aus eigentümlichen Änderungen der bekannten Klangfarben in Zusammenhang mit der Richtung, worin die Wellen das Ohr erreichen. Den Fasern des Gehörnervs fehlt also das Lokalzeichen. Was für das Lokalzeichen an die Stelle tritt, als gebunden an jede Faser, das ist die Unterscheidung der Tonhöhe. Wie die Endorgane mit ihren Lokalzeichen, liegen die Höhenunterschiede in einer bestimmten Aufeinanderfolge, welche sich für beide auch im Centralorgane zu wiederholen scheinen, und, wie in der Haut und in der Netzhaut, schmelzen die Eindrücke der unmittelbar aneinandergrenzenden Elemente sich zu einer Empfindung zusammen. Bei der Anlage der Organe, so stellen wir uns vor, wird mit der Vermehrung der Gewebeelemente, im Zusammenhange mit ihrer Disposition, mit jedem Elemente neben der allgemeinen Energie das Lokalzeichen reell oder virtuell verbunden. Bei der genetischen Erklärung fasse man ins Auge, daß, gaben die Gehörfasern nur eine aufsteigende Reihe von Tonhöhen, gleichviel nach welcher Funktion, die Schallwellen selbst mit ihren Interferenzen in derselben die harmonische Beziehung der Töne im Zusammenhange mit der Schwingungsdauer, und der Klangfarbe in Zusammenhang mit der Resonanz, nothwendig hervorrufen mußten, während die Lokalzeichen im Auge und auf der Haut, in Verbindung mit ihrer gegenseitigen Kontrolle, unter dem Einfluß der Erfahrung, die Bedingungen zu ihrer Entwicklung fanden. So scheint in der That genügender Grund vorhanden zu sein, um Lokalzeichen und Tonzeichen als homologe Energien anzuerkennen.“

wollen, so sind HELMHOLTZ,<sup>1</sup> R. KÖNIG, PREYER,<sup>2</sup> KERR-LOVE<sup>3</sup> und APPUNN<sup>4</sup> zu nennen. Alle diese haben eigene Beobachtungen gemacht, welche aber nicht ganz untereinander übereinstimmen. Wir haben ihre Resultate zur besseren Übersicht in folgendem Schema vereinigt.

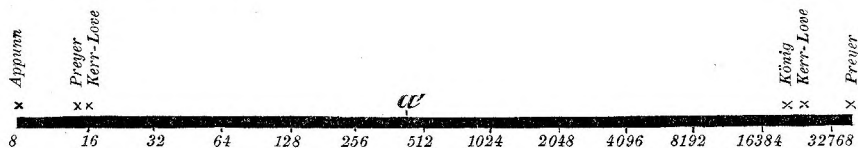


Fig. 1.

Schema der Gehörslinie nach früheren Beobachtern.

Die Töne sind hier in einer Linie, wie auf der Tastatur eines Klaviers, von links und rechts geordnet. Links finden sich die niederen Oktaven, rechts die höheren, und unter der Linie sind die Schwingungszahlen angegeben, mit welchen die Oktaven anfangen und enden. Dazu ist das a d'orchestre angegeben, damit man sofort die Lage der Linie der musikalischen Tonskala gegenüber erkennen kann.

Nun habe ich im Jahre 1890 gefunden, daß die individuellen Verschiedenheiten, welche bis jetzt unerklärt geblieben waren, jedenfalls zum größten Teile auf Eigentümlichkeiten des Alters zurückzuführen sind. Es stellte sich nämlich heraus, daß die obere Grenze während des Lebens in unaufhörlicher Änderung begriffen ist. Dieselbe verschiebt sich langsam in der Jugend, schneller im Greisenalter, und zwar in der Weise, daß manche Töne für den Greis spurlos vorübergehen, welche der Mann noch deutlich hört, und diesem wieder Töne fehlen, welche der Knabe leicht auffassen kann. Ein Teil dieses Faktums war schon längst bekannt (OSKAR WOLFF, GUYE, VIERORDT), nämlich die Thatsache, daß Greise die hohen Töne unvollkommen hören. Neu hinzugefügt wurde von mir nur, daß dieser Verlust an hohen Tönen schon in der Kindheit anfängt und ganz allmählich, unabhängig von Veränderungen am Trömmelfelle, durch das ganze Leben

<sup>1</sup> *Die Lehre von den Tonempfindungen*. 2. Ausgabe. S. 263.

<sup>2</sup> W. PREYER, Über die Grenze der Tonwahrnehmung. *Sammlung physiologischer Abhandlungen*. 1. Reihe. 1. Heft. Jena 1876.

<sup>3</sup> Glasgower Dissertation. *Journ. of Anat. and Phys. norm. and path.* Vol 23. Pag. 336. 1889.

<sup>4</sup> *Berichte der westerauischen Gesellschaft*. 1887/88.

hin fortwährt. Nachdem ich das Gesetz beim zufälligen Durchsehen meiner Aufzeichnungen, welche normale und pathologische Fälle betrafen, gefunden hatte, suchte ich dasselbe später mit einer anderen Thatsache in Verbindung zu bringen, welche ganz unabhängig von der ersten nach induktiver Methode entdeckt (POLITZER u. a.) wurde und Gemeingut der Ohrenärzte geworden ist. Ich meine die Abnahme der Knochenleitung mit zunehmendem Alter. Einerseits ist bis zu einem gewissen Grade der Parallelismus beider Änderungen: Einengung des oberen Tonbereiches und Verschlechterung der Knochenleitung, nicht zu bestreiten, und andererseits ist es mir, wie ich glaube, gelungen, den Beweis zu liefern, daß jedenfalls nicht die Rigidität des Trommelfelles, wie man früher meinte, die Ursache unseres unvollkommenen Hörens der höchsten Töne ist.<sup>1</sup> Kurz, die Altersveränderungen des Gehörorganes und des Schädels sind schuld an den individuellen Verschiedenheiten der oberen Tongrenze.

Später habe ich noch eine andere Quelle für individuelle Schwankungen in dieser Hinsicht studiert, nämlich die Intensität des Schalles, welche zu den Bestimmungen verwendet wurde. Es hat sich aber herausgestellt, daß der Einfluß des Alters denjenigen der Intensität bei weitem überwiegt.

Nicht nur an der oberen Grenze, sondern auch an der unteren spielen diese Faktoren ihre Rolle, und es kann daher nicht befremden, wenn auch der tiefste hörbare Ton zu gleicher Zeit eine Funktion des Alters, sowie der Intensität ist. Ich möchte mir erlauben, einiges über die thatsächliche Lage der oberen und unteren Tongrenze in den verschiedenen Perioden des menschlichen Lebens mitzuteilen.

### a) Obere Grenze der Skala hörbarer Töne.

Die obere Tongrenze läßt sich bestimmen:

1. durch kleine Stimmgabeln (PREYER);
2. durch KÖNIGSche Klangstäbe;
3. durch das GALTONpfeifchen.

Ich habe letzteres Hilfsmittel bevorzugt, weil man die Töne in diesem Falle ganz kurz erklingen lassen kann. Dadurch

<sup>1</sup> Een Wet van ons Gehoor. *Ned. Tijdschr. v. Geneesk.* 1890. Vol. II. 737 und in kürzerer Form: *Archiv f. Ohrenheilkunde.* Bd. 32. S. 53. 1891.

vermeidet man die Ermüdung, welche sich bekanntlich in den oberen Oktaven unseres Hörbereiches sehr stark geltend macht (RAYLEIGH, HUYSMAN). Dazu kommt, daß man die Intensität der Töne gleichmäßiger halten kann, als das mittelst Stimmgabeln oder Klangstäben der Fall ist. Letztere lassen sich mit Hilfe des von LUCAS angegebenen federnden Hammers sehr wohl in konstanter Weise anschlagen, jedoch ist man nicht sicher, mit demselben Hammer bei Gabeln und Stäben verschiedener Tonhöhen die gleiche Anfangsamplitude hervorzurufen. Ja, eigentlich weiß man ganz bestimmt, daß diese Amplituden sehr verschieden ausfallen müssen, weil bei wachsender Tonhöhe die Dicke der Gabeln zu- und die Länge der Klangstäbe abnimmt. Für das GALTONpfeifchen hingegen scheint sich eine gleiche Intensität für alle Töne leicht erreichen zu lassen, indem man stets denselben Luftdruck beim Anblasen benutzt. Bekanntlich ist das GALTONpfeifchen eine gedackte Orgelpfeife, deren Länge durch eine Mikrometerschraube verkürzt werden kann. Bleibt der Luftdruck derselbe, so ändert sich auch nicht die Intensität des Geräusches, welches an der Lippe der Orgelpfeife entsteht. In diesem Geräusche ist also der Resonanzton der Pfeife immer in der gleichen Stärke enthalten, welche Länge auch die Pfeife und welche Höhe auch der Resonanzton habe. Man darf daher vorläufig vielleicht annehmen, daß auch der von der Pfeife verstärkte Resonanzton, wie wir denselben hören, eine konstante Intensität, d. h. eine konstante Amplitude haben wird.

Ein konstanter Anblasestrom läßt sich in verschiedener Weise erreichen: sowohl durch Benutzung eines kleinen Orgeltisches als auch eines Gasbehälters. Wo es sich um eine größere Reihe von Beobachtungen an verschiedenen Personen, zu verschiedenen Zeiten und an verschiedenen Orten handelt, ist eine portative Einrichtung erwünscht. Ich habe eine solche zu erreichen gesucht, indem ich einen kleinen Glastrichter wählte, welcher mittelst einer Kautschukmembran verschlossen wurde. In diese Kautschukmembran wurde ein einfacher Manschettenknopf eingebunden. Wenn man dann den Trichter auf eine feste Unterlage aufsetzte, wurde die Membran um ein Gewisses nach innen gebuchtet, und zwar um so viel, als der Knopf über die Membran hervorragte. Geschah dieses Aufsetzen auf die flache Unterlage, z. B. ein Buch, in gleichmäßigem Tempo,

so wurde mittelst desselben eine Verdichtung der Luft in dem Trichter hervorgerufen, welche immer gleich war, vorausgesetzt natürlich, daß das Rohr, welches Trichter und Orgelpfeife verbindet, unausdehbare Wände hat. Letzteres liefs sich durch ein dickwandiges Kautschukrohr leicht erreichen. Unveränderlich bei dieser Einrichtung sind das Luftvolumen, die Spaltweite und der Grad der Einbuchtung der Membran, innerhalb gewisser Grenzen auch das Tempo des Aufsetzens des Trichters. Ganz konstant ist also die Luftverdichtung, welche hierbei verwendet wird, in aller Strenge nicht. Bei einiger Übung ist es aber nicht schwierig, das Tempo immer gleichmäfsiger zu nehmen, und es wird infolgedessen den theoretischen Forderungen bald ganz genügt. Mittelst dieser portativen Einrichtung habe ich zweihundert Gehörorgane untersucht, und einer meiner Mitarbeiter, Dr. N. J. CUPERUS, hat noch einhundertundneunzig andere beobachtet. Wir haben uns immer nach otiatrischen Methoden überzeugt, daß alle diese Gehörorgane als absolut normale gelten konnten. Unsere Resultate sind in untenstehender Tabelle nach Altersklassen geordnet.

Altersklassen	Mittlere Länge des Orgelpfeifchens	
	ZWAARDEMAKER	CUPERUS
Unter 10 Jahre	1.22	—
von 10—20 „	1.39	1.08
„ 20—30 „	1.39	1.19
„ 30—40 „	1.58	1.31
„ 40—50 „	2.23	1.39
„ 50—60 „	2.93	2.08
über 60 „	3.03	3.02

Wenn der Anblasungsdruck konstant ist, vergegenwärtigt jede Pfeifenlänge einen bestimmten Ton, aber welchen Ton? Nach einer Methode meines verehrten Freundes, des Docenten der Physik, Dr. J. D. VON DER PLAATS,<sup>1</sup> habe ich diese Pfeifenlänge in die entsprechenden Töne umgerechnet, und finden sich die Durchschnittszahlen in der folgenden Tabelle.

<sup>1</sup> *Nederl. Natuur- & Geneeskundigk. Congress.* April 1893, und *Zeitschr. f. Ohrenheilkunde.* Bd. 24. Heft 4.

Altersklassen	Obere Grenze	
	ZWAARDEMAKER	CUPERUS
Unter 10 Jahre	$e^7$	—
von 10—20 „	$dis^7$ $\frac{1}{4}$ Ton erhöht	$f^7$
„ 20—30 „	$dis^7$ $\frac{1}{4}$ Ton erhöht	$e^7$ 2 Kommata erhöht
„ 30—40 „	$dis^7$ 2 Kommata erniedrigt	$e^7$ 1 Komma erhöht
„ 40—50 „	$cis^7$ $\frac{1}{4}$ Ton erhöht	$dis^7$ $\frac{1}{4}$ Ton erhöht
„ 50—60 „	$h^6$ 1 Komma erniedrigt	$cis^7$
über 60 „	$cis^6$ $\frac{1}{4}$ Ton erhöht	$cis^6$

Aus der Tabelle läßt sich bereits der Gang der Alters-einengung unserer Tonskala einigermaßen ersehen. Besser als Mittelzahlen tritt das presbyakusische Gesetz, (mit diesem Namen möchte ich die Thatsache der Einengung andeuten), aus einer Kurve (Fig. 2) hervor, welche ich aus meinen eigenen 219 Beobachtungen konstruierte.

Auf der Abscissenachse ist die Tonhöhe in der Weise eingetragen, daß dieselbe von links nach rechts zunimmt, und zwar ist für jeden Halbton nach gleichschwebender Temperatur ein Intervall von 5 mm genommen. Das Alter ist als Ordinate auf die Art eingetragen, daß dasselbe von unten nach oben zunimmt und für jedes Lebensjahr 1 mm gerechnet wird. Die ausgezogene Kurve bezieht sich auf Mittelzahlen aus Gruppen von je vier Jahren. Es ist aber auch von Interesse, die Extreme, welche unter meinen 219 normalen Fällen beobachtet wurden, kennen zu lernen, und ich habe daher in der Figur noch zwei andere Linien gezogen, welche die beobachteten Maxima und Minima in jeder Gruppe angeben. Aus der Figur ergibt sich, daß die obere Tongrenze im Alter von sieben Jahren bei  $e^7$  liegt. Bei ganz jungen Kindern reicht dieselbe vielleicht noch etwas höher, vermuthlich bis  $f^7$  oder sogar noch höher. Immerhin ist der Grenzton bereits im Kindesalter schon im Sinken begriffen, denn beim Eintritt der Pubertät finden wir ihn um einen Viertelton niedriger. Dann kommt eine Lebensperiode, während welcher die obere Grenze ungefähr auf gleicher Höhe bleibt. Die Jahre der Adolescentia gehören hierzu. Erst bei Beendigung des Knochenwachstumes beginnt abermals ein Sinken, welches dann ziemlich gleich-



mässig durch das spätere Leben fort dauert. Im zweiunddreißigsten Jahre liegt der Grenzton bei  $dis^7$ , im vierzigsten Jahre bei  $d^7$ , im dreiundvierzigsten Jahre bei  $cis^7$ , im einundfünfzigsten Jahre bei  $c^7$  und im vierundfünfzigsten Jahre bei  $b^6$ . In dieser Weise geht es fort, auch noch im höchsten Alter, so dafs nach CUPERUS der Grenzton im fünfundsiebenzigsten Jahre bei  $a^6$  liegt. Im ganzen verliert also die menschliche Tonleiter nicht weniger als sieben Halbtöne, wenn man  $f^7$  als

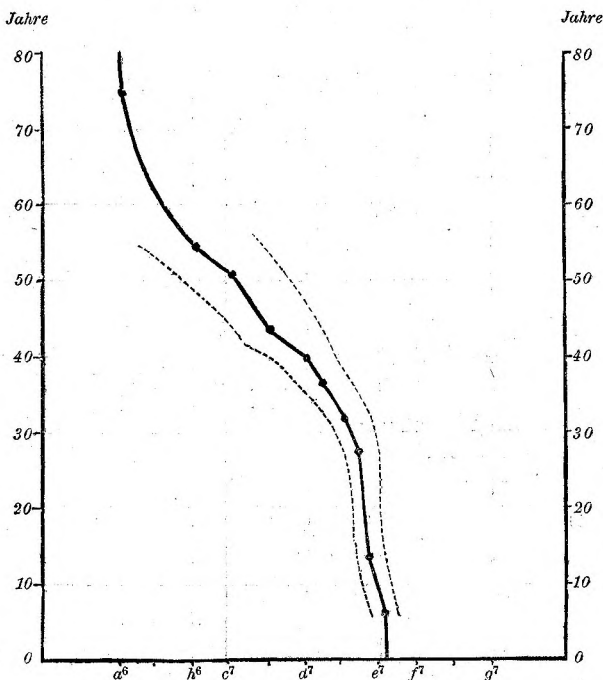


Fig. 2.

Obere Tongrenzen.

Grenzton der ersten Kindheit ansieht, sogar acht Halbtöne oder  $\frac{2}{3}$  einer Oktave. Wir werden keinen grossen Fehler machen, wenn wir dieses Intervall als die Breite der Einengung betrachten, welcher die Tonskala an ihrer oberen Grenze unterliegt, während der Mensch von der Wiege bis zum Grabe wandert.

Die oben citierten Töne beziehen sich auf Mittelwerte; ein gewisses Schwanken nach oben und nach unten ist selbstverständlich und ist in der Figur, wie gesagt, durch zwei

Nebenlinien angedeutet. Der Unterschied zwischen Mittel und Extrem beträgt in der Jugend höchstens einen halben Ton, im reiferen Alter zwei Halbtöne. Daraus geht hervor, daß ein Knabe, welcher seinen Grenzton bei  $dis^7$  hat, noch als normal hörend betrachtet werden kann, daß man dasselbe annehmen darf bei einem Greise, der seine obere Tongrenze bei  $g^6$  angiebt, daß man jedoch in das Gebiet der Pathologie hinübergeht, sobald die Fähigkeit verloren geht, Töne als solche unter den genannten Grenzen wahrzunehmen.<sup>1</sup>

### b) Die untere Tongrenze.

Zum Studium der unteren Tongrenze kann man benutzen:

1. sehr große Stimmgabeln mit Laufgewichten,
2. die APPUNNSche Lamelle,
3. die APPUNNSchen Drahtgabeln.

Die Stimmgabeln mit Laufgewichten eignen sich für Untersuchungen bei normalen Personen verhältnismäßig schlecht, aus dem einfachen Grunde, weil sie nicht sehr weit in der Skala hinuntergehen. Auch für den Fall, daß wirklich Töne von sechzehn bis zehn Schwingungen erreicht werden können, ist die Intensität derselben doch sehr schwach. Auch bemerken wir, wenn wir an solchen Gabeln die Laufgewichte verschieben, daß es Punkte giebt, an denen die Gewichte die Ausklingzeit verlängern, und andere Stellen, wo die Gewichte diese Zeit verkürzen.

---

<sup>1</sup> Ich bin auf einige Beobachtungen gestossen, aus welchen hervorzugehen scheint, daß ein angeborener Verlust von hohen Tönen vorkommt. Wenigstens ist mir aufgefallen, daß einige Personen, obgleich mit einem vorzüglichen Gehör begabt, bei Prüfung mittelst des GALTON-pfeifchens ihren Grenzton an einer Stelle angeben, welche mehrere Halbtöne tiefer liegt, als der Mittelwert ihres Alters. Die Zahl dieser Individuen ist aber so verschwindend klein (beiläufig 1%), daß man derentwegen die Lage der Extreme nicht verschieben kann und man besser thut, sie als Ausnahme zu betrachten, welche durch spätere Untersuchungen ohne Frage in ihrer wirklichen Bedeutung erscheinen werden. Außer dieser angeborenen Grenztontaubheit existieren natürlich noch eine größere Anzahl von Fällen, welche ohne weiteres in das Gebiet der Pathologie gehören, es sei denn, daß eine Labyrinthkrankheit oder eine Gehirnerkrankung vorliegt. Von letzteren haben die Hysterie, sowie die doppelseitige Einengung der Tonskala bei Gehirndruck meine Aufmerksamkeit in hohem Grade erregt.

Dieser Umstand wird die Intensität des Tones nicht wenig beeinflussen, denn auch dann, wenn die Anfangsamplitude immer die gleiche ist, z. B. so groß genommen wird, daß die Zinken einander im Anfange berühren, wird nach einer, zwei oder drei Sekunden der Ausschlag in günstigen Fällen nur wenig, in ungünstigen Fällen bereits sehr abgenommen haben. Da nun einige Sekunden vergehen, ehe die Aufmerksamkeit unserer Versuchspersonen durch den Schall der Stimmgabel gefesselt wird, werden dadurch sehr ungleiche Bedingungen geschaffen und ist es möglich, daß eine Gabel, welche bei fünfzehn Schwingungen einen ziemlich deutlichen Ton hervorbringt, bei sechzehn Schwingungen nur einen ganz schwachen Ton hören läßt. Deswegen erschienen mir die Gabeln mit Laufgewichten für unsere Versuche ungeeignet.

Besser eignet sich schon die APPUNNSche Lamelle. Dieselbe besteht aus einer Metalllamelle von 420 mm Länge, 12 mm Breite und 1 mm Dicke, welche mit einer Holzschraube am Tische befestigt wird. An das Ende der Lamelle ist eine dünne runde Metallscheibe von 40 mm Durchmesser angeschmiedet. Auf der Lamelle ist eine Skala angebracht. Dieselbe giebt die Zahl der Pendelbewegungen an, welche die Lamelle ausführt, indem sie, an einem Punkte der Skala festgeschraubt, in Bewegung gesetzt wird. An meinem Exemplare finden sich die Zahlen von 4 bis 24 angegeben. Die Lamelle wird dadurch in Schwingung gebracht, daß man dieselbe an der Scheibe mit dem Finger aus der Gleichgewichtslage bringt und sie plötzlich, aber vorsichtig losläßt. Damit die Bewegungen einfache Pendelbewegungen seien, ist ein Tuchring zum Dämpfen angebracht, welcher eine Breite von 15 mm hat und über die ganze Länge verschiebbar ist. Der Tuchring soll ungefähr auf  $\frac{1}{3}$  der Länge gestellt werden, damit dem Entstehen von Obertönen vorgebeugt wird. Ich habe mich überzeugen können, daß dieser Zweck wirklich erreicht wird, und also die erste Vorbedingung bei dieser Art von Untersuchungen hier vorhanden ist, nämlich die Abwesenheit von Obertönen.

Die APPUNNSche Lamelle hat jedoch einen Übelstand, welcher nicht übersehen werden darf. Wie schon gesagt, wird die Verringerung der Tonhöhe bewirkt durch Verlängerung der Lamelle. Dabei wird der Apparat immer auf die gleiche Weise in Schwingung versetzt, d. h. die Lamelle wird um ein Gewisses

aus der Gleichgewichtslage geführt und dann losgelassen. Gewöhnlich wird dabei die Anfangsamplitude so groß genommen, als die Steifigkeit und die Elasticität des Apparates zulässt. Unwillkürlich wird dieselbe aber um so größer genommen, je länger die Lamelle ist, denn eine lange Lamelle lässt sich weit leichter ausbiegen, wie eine kurze. Infolgedessen wird die Intensität des Schalles immer größer werden, je mehr man in der Tonleiter hinuntergeht. Wir messen also nicht mit konstanter Intensität, jedoch ebensowenig mit abwechselnd größerer oder geringerer, wie bei den Stimmgabeln mit Laufgewichten; unsere Intensität nimmt nach den tiefsten Tönen gleichmäßig zu und ist also dem Hörer dieser tieferen und schwer percipierbaren Tönen förderlich. Die Resultate unserer Untersuchungen müssen demgemäß einer Korrektur unterliegen, welche aber durch die Regelmäßigkeit des begangenen Fehlers leicht zu berechnen ist.

Dr. CUPERUS hat bei einhundert und neunzig normal hörenden Personen die untere Tongrenze mittelst der APPUNN-schen Lamelle bestimmt. Seine Resultate sind in untenstehender Tabelle zusammengefasst. Die angegebenen Zahlen sind Mittelwerte für Gruppen, welche man erhielt, indem man die Personen in Altersklassen von 10 zu 10 Jahren ordnete.

Altersklassen	Untere Grenze nach CUPERUS
Unter 10 Jahre	—
von 10—20	10.10
„ 20—30	10.54
„ 30—40	10.85
„ 40—50	11.00
„ 50—60	12.33
über 60	12.95

Wie früher für die obere Grenze, so habe ich auch hier die CUPERUSSchen Zahlen noch in anderer Weise geordnet und daraus eine Kurve konstruiert. Dazu wurden Altersklassen von 4 zu 4 Jahren gebildet und dafür die Mittel bestimmt. Durch diese wurde dann (Fig. 3) die Kurve gezogen. Die horizontalen Geraden geben die Sicherheit der Mittel

Wurzel aus der Zahl der Beobachtungen an.

Auf der Abcissenachse ist wieder die Tonhöhe so eingetragen, daß sie in derselben Weise wie bei Fig. 2 von links nach rechts zunimmt. Das Alter ist ebenso wie früher als Ordinate benutzt. Wie man sieht, hat die Kurve eine sehr unregelmäßige Gestalt. Wahrscheinlich ist dieses verursacht durch die ungemein große Schwierigkeit der Beobachtungen. Das Auffassen der unteren Grenztöne fordert nämlich angestrenzte Aufmerksamkeit. Auch ist es notwendig, daß das Ohr unmittelbar vorher auf das Hören von Tönen so niedriger Tonhöhen vorbereitet ist. Gesetzt, daß man z. B. jemandem plötzlich eine Drahtgabel von 12 Schwingungen vor das Ohr hielte, so würde er ohne Frage keinen Ton, sondern nur ein Schwirren wahrnehmen, während er den Ton ganz gut zu hören vermag, wenn man ihn vorher Gabeln von 20, 18, 16 und 14 Schwingungen hätte hören lassen. Unter solchen Umständen kann es kein Wunder nehmen, daß die Beobachtungsfehler sehr bedeutend waren, um so mehr, da die Versuchspersonen des Herrn CUPERUS nicht im physikalischen Beobachten geschult waren, sondern einfach dem intelligenteren Teile der Bevölkerung der Waisenhäuser, Spitäler und der Verpflegungsanstalten für Greise angehörten. Um einigermaßen eine Vorstellung über den Wert der Kurve zu geben, habe ich in der Figur 3 die schon erwähnten horizontalen Linien eingezeichnet. Herr CUPERUS hat innerhalb dieser Linien eine nach oben leicht konvexe Linie gezogen, die den ideellen Gang der Einschränkung unseres Tonbereiches an seiner unteren Grenze andeuten soll. Die CUPERUSSCHE Linie ist jedoch hier fortgelassen, damit die Zickzacklinie, welche die wirklichen Mittelzahlen aus den Gruppen von je 4 Jahren verbindet, besser ins Auge fällt. Aus dieser letzteren geht hervor, daß die untere Grenze unseres Hörens im höheren Alter jedenfalls höher liegt, wie in der Jugend, daß wir also während unseres Lebens auch am unteren Ende der Tonleiter einen kleinen Teil verlieren. Zweitens läßt sich einigermaßen abschätzen, wieviel die Einschränkung der Tonleiter beträgt. Wenn wir die Gruppen ins Auge fassen, welche aus der größten Zahl von Beobachtungen zusammengesetzt sind, und ihre Mittelzahlen hervorheben, so findet sich im Alter von dreizehn Jahren und vier Monaten die Lage der unteren Grenze bei dem etwas erniedrigten  $E_3$ . Im einundzwanzig-

jährigen Alter liegt dieselbe Grenze bei  $F_3$ . Im fünfundsiebzehnten bis siebenundzwanzigsten Lebensjahre dahingegen findet sich der Grenzton bei dem etwas erniedrigten  $Gis_3$ . Nach diesen ohne Frage zuverlässigsten Daten allein rechnend, kommt man also auf einen Verlust von 3 Halbtönen. Aus der Tabelle auf Seite 21 geht ungefähr dasselbe hervor. Der Gesamtanblick der Kurve aber läßt auf eine bedeutendere Abnahme schließen, und da ein Gesamteindruck immer größeren Wert hat, als

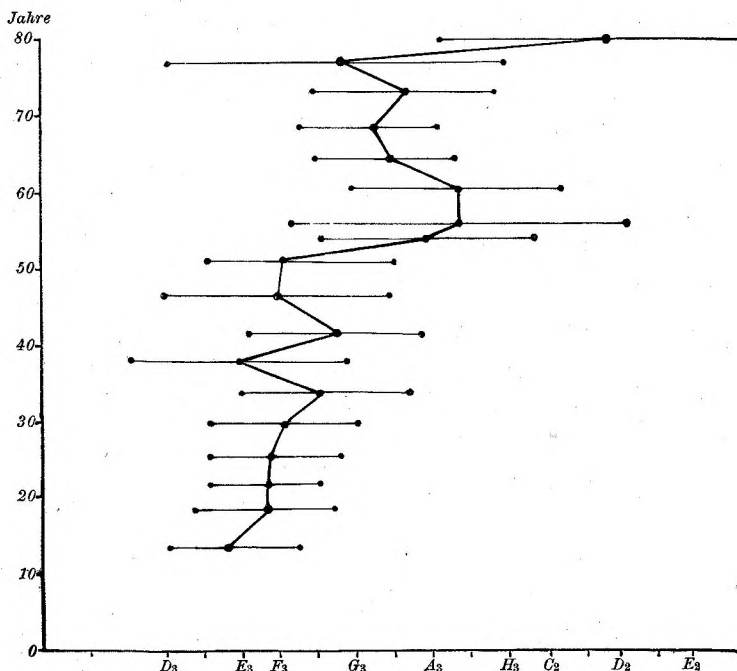


Fig. 3.

Untere Tongrenze.

Mittelzahlen, die man aus Gruppen von nur wenig Beobachtungen herausgreift, möchte ich mit CUPERUS diese Einschränkung in Wirklichkeit für etwas größer halten. Mein Mitarbeiter berechnet dieselbe auf ungefähr ein Sextintervall. Er stellt nämlich die untere Grenze im kindlichen Alter bis zur Pubertät auf  $E_3$  von 10 Schwingungen und läßt sie dann allmählich steigen, sodafs dieselbe im Alter von dreiundvierzig Jahren  $F_3$  erreicht hat. Der Ausfall an Tönen setzt sich gleichmäfsig fort, sodafs im Alter von zweiundfünfzig Jahren  $Fis_3$

erreicht sein soll, im sechszigsten Jahre  $G_3$ , fünfundsechzigsten  $G_{is_3}$  und im siebenzigsten Jahre  $A_3$  die untere Grenze bilden würde. Im dreiundsiebenzigsten Jahre ist bereits  $A_{is_3}$ , im siebenundsiebenzigsten  $H_3$  und im achtzigsten Jahre  $C_3$  der Grenztön. Es lohnt sich jedoch vorläufig kaum der Mühe, solche Berechnungen anzustellen, da, wie gesagt, die CUPERUSschen Zahlenwerte noch einer Korrektur bedürfen. Ich bin beschäftigt, die notwendigen Vorarbeiten dazu anzustellen, d. h. den Modus zu studieren, nach welchem die APPUNNSche Lamelle bei verschiedener Länge und bei verschiedener Anfangsamplitude ausklingt. Sobald wir dann festgestellt haben, um wieviel mit dem Sinken des Tones die Amplitude der Schwingungen zunahm, werden wir dem Einfluß der Intensität Rechnung tragen können; sodann werden wir versuchen, unsere Zickzacklinie auf ihre wahre Gestalt zurückzuführen und dieselbe durch eine annähernd richtige Kurve zu ersetzen. Die CUPERUSsche Untersuchungsreihe giebt jedoch bereits solche wichtigen Aufschlüsse über die Lage der unteren Tongrenze, daß wir uns jetzt schon über den Umfang unseres Gehörs in dem verschiedenen Alter orientieren können. Vielleicht daß spätere Untersuchungen mit dem dritten, von Moos eingeführten Untersuchungsmittel, den APPUNNSchen Drahtgabeln bald eine sehr erwünschte Ergänzung liefern werden.

### c) Die Länge der Gehörslinie.

Wir haben in dem Vorhergehenden dargethan, wie mit wachsendem Alter die Tonleiter sowohl an ihrem oberen, als auch an ihrem unteren Ende eine nicht unbedeutende Einschränkung erfährt. Dieser Proceß ist an den beiden Enden nicht symmetrisch, was sich auch nicht erwarten liefs, da die Ursache des Verlustes an Tönen nicht gleich ist. Während dieselbe oben wahrscheinlich in einer Eigentümlichkeit der Knochenleitung begründet ist, ist unsere Unempfindlichkeit im späteren Alter für die 3 oder 4 unteren Halbtöne der menschlichen Tonleiter ohne Frage davon unabhängig. Ja, wenn man sich erinnert, daß Mittelohrkrankheiten gerade die unteren Töne schädigen, ist es nicht unmöglich, daß Änderungen im Trommelfelle oder in der Kette der Gehörknöchelchen hierfür verantwortlich zu machen sind. Wie dem auch sei, das menschliche Ohr verliert von der Kindheit bis zum Beginne

des Greisenalters am oberen Ende seiner Tonleiter 5 und am unteren Ende 3 Halbtöne.

Wenn wir nun die Gehörslinie als Ganzes betrachten, so finden wir im reiferen und höheren Alter ihre Totallänge um  $\frac{2}{3}$  bis 1 Oktave kürzer und auch ein wenig nach unten verschoben. Während die Mitte in der Jugend bei  $a^{11}$  liegt, trifft sie im Anfange des Greisenalters gerade mit  $a^1$  zusammen. Für den Abend des Lebens ist also das Normal- $a$  die wirkliche Mitte der menschlichen Tonleiter. Nach oben und nach unten von derselben finden sich gleich viele hörbare Töne. In der Jugend hingegen besitzt man nach oben einen halben Ton mehr als nach unten. Diese Verschiebung würde kaum auffallen, wenn nicht gleichzeitig für die Empfindlichkeit für die höheren Töne im Greisenalter eine ziemlich starke Verringerung einträte und dadurch das Zurücktreten der oberen Hälfte noch weit bedeutender erscheinen liefse, als dasselbe in Wirklichkeit in aller Strenge ist. Daher kommt es auch, daß Greise die Uhr, die hohen Vokale und Konsonanten u. s. w. weniger gut hören, als jüngere Personen, obgleich sie diesen für die gewöhnliche Sprache nicht nachstehen (WOLF).

In umstehender Figur 4 habe ich die Größe und die Lage der Gehörslinie dargestellt, und zwar für die Jahre, welche die Perioden des menschlichen Lebens voneinander trennen, d. h. für das vierzehnte Jahr, welches die Grenze zwischen Kindheit und Adoloescentia bildet, für das fünfundzwanzigste Jahr, welches die Adoloescentia von dem jugendlichen Mannesalter trennt, für das vierzigste Jahr, mit welchem das reifere Alter beginnt und für das fünfundfünfzigste, Jahr womit das Greisenalter eintritt. Für jeden Halbton ist 1 mm abgemessen.

Im dreizehnten Lebensjahre (zweitunterste horizontale Linie) ist der mittlere Umfang unseres Gehörs, wie die Figur zeigt, 11 Oktaven von  $E_3$  bis  $e^7$ . Im fünfundzwanzigsten Jahre (3. Linie von unten) umfaßt unser Tonbereich 10 Oktaven und 1 Septime. Im vierzigsten Jahre (dritte horizontale Linie von oben) ist die Länge der Gehörslinie 10 und  $\frac{2}{3}$  Oktave von  $F_{is_3}$  bis zu  $d^7$ , im fünfundfünfzigsten Jahre (zweite Linie von oben) 10 Oktaven, im achtzigsten Jahre (oberste Linie) einen halben Ton weniger als 10 Oktaven von  $H_3$  bis  $g^6$ .

Ich habe noch auf andere Weise versucht, die Länge der Gehörslinie oder, was dasselbe ist, den Umfang unseres Ton-



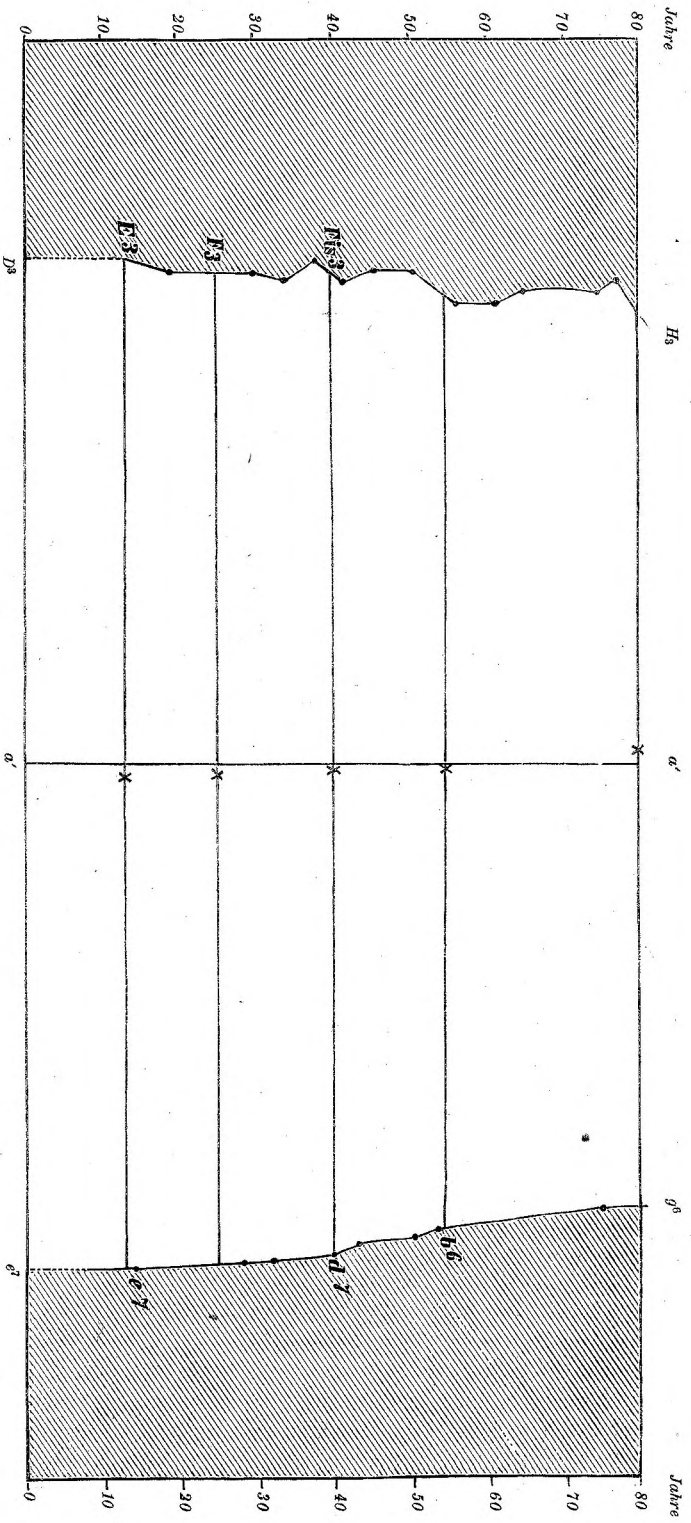


Fig. 4.

Der Umfang des Tonbereichs in verschiedenen Alter.

Der Umfang des Tonbereichs in jedem Alter ist durch die horizontalen Linien angedeutet, welche die Gehörslinien in den verschiedenen Perioden des Lebens darstellen. Die vertikale Linie in der Mitte der Figur deutet die Lage des a durchstre an, während die Kreuzchen die Mitten der horizontalen Linie angeben.

bereiches anschaulich vorzuführen. Die Notenschrift läßt sich bis zu gewissem Mafse dazu verwenden. Nur fehlen unseren Noten die feinen Abstufungen, welche sich mit Hülfe eines Koordinatensystems darstellen lassen. Man muß immer von Halbton zu Halbton voranschreiten, die Vierteltöne und Kommata lassen sich nicht andeuten. Von diesem Nachteile abgesehen, bekommt man jedoch ein sehr deutliches Bild von dem Gange der normalen Verkürzung der Tonleiter mit dem Alter. Von untenstehenden zwei Notenbalken (Figur 5) bezieht sich der obere auf die obere Tongrenze und der untere auf



Fig. 5.

Die presbyakusische Verkürzung der menschlichen Tonleiter.

Die Zahlen in dem mittleren Notenbalken geben an, wieviel Oktaven die Grenztöne zwischen sich fassen.

die untere Tongrenze nach CUPERUS. In einem Takt werden durch acht Achteltöne die acht aufeinanderfolgenden Decennien des menschlichen Lebens repräsentiert. Ein Glissando deutet an, daß der Übergang ganz allmählich stattfindet. Da aber die Grenztöne sowohl nach oben als auch nach unten sich ganz außer dem Skalenteile befinden, in welchem für gewöhnlich unsere Musik sich bewegt, so war es notwendig, die Noten einige Oktaven höher, resp. niedriger zu schreiben, als dieselben in Wirklichkeit gehört werden. Dieses ist durch das gebräuchliche Zeichen über, resp. unter den Balken angedeutet mit dem Unterschiede jedoch, daß die Erhöhung nicht eine, sondern sechs Oktaven stattfinden soll, und die Erniedrigung statt einer vier Oktaven.

## Zusammenfassung.

1. Der Umfang des Gehörs ist das Analogon des Gesichtsfeldes.
  2. Von diesem Standpunkte betrachtet, sei der Umfang unseres Tonbereiches als Gehörslinie bezeichnet.
  3. Das *a d'orchestre* bildet ungefähr die Mitte der Gehörslinie.
  4. Im Anfange des Greisenalters ist die Gehörslinie ungefähr eine Oktave kürzer, wie in der Jugend. Im Alter umfaßt unser Gehör zehn, und in der Jugend elf Oktaven.
-