

ACADEMISCH ZIEKENHUIS LEIDEN

BIBLIOTHEEK der  
Keel-, Nies-, Oorheelk. Kliniek  
Geschenk Prof. Kan

*J.H. van der*

DE GEHOORGRENS

VOOR

LAGE EN HOOG TONEN

IN VERBAND MET DEN LEEFTIJD.

N. J. CUPERUS,  
OFF. VAN GEZONDHEID.

N. J. Cuperus.

DE GEHOORGRENS

VOOR

LAGE EN HOOG TONEN

IN VERBAND MET DEN LEEFTIJD

# DE GEHOORGRENS VOOR LAGE EN HOOGHE TONEN

IN VERBAND MET DEN LEEFTIJD.

---

## PROEFSCHRIFT

TER VERKRIJGING VAN DEN GRAAD VAN

Doctor in de Geneeskunde

AAN DE RIJKS-UNIVERSITEIT TE LEIDEN,

NA MAGTIGING VAN DEN RECTOR-MAGNIFICUS

DR. C. P. TIELE,

Hoogleraar in de Faculteit der Godgeleerdheid

MET TOESTEMMING VAN DEN SENAAAT DER UNIVERSITEIT

TEGEN DE BEDENKINGEN VAN DE FACULTEIT DER GENEESKUNDE

TE VERDEDIGEN

op Woensdag den 17<sup>den</sup> Mei 1893, des namiddags te 3 uren,

DOOR

NICOLAAS JOHANNES CUPERUS,

ARTS, OFFICIER VAN GEZONDHEID 2<sup>e</sup> KLASSE,

geboren te Borne.

---

UTRECHT. — J. VAN BOEKHOVEN. — 1893.

AAN MIJNE OUDERS.

*Gaarne neem ik de gelegenheid waar, nu mijne Academische loopbaan geëindigd is, den Hooggeleeraren, wier onderwijs ik in dat tijdsverloop mocht genieten, mijnen besten dank daarvoor te betuigen.*

*U, Hooggeleerde EINTHOVEN, ben ik bijzonder verplicht voor de welwillende wijze, waarop Gij U bereid hebt verklaard, mijn promotor te willen zijn.*

*Dat Gij, Zeergeleerde ZWAARDEMAKER, nooit achterblijft, waar het geldt anderen te helpen en te steunen bij een ondernomen arbeid, heb ik in de ruimste mate ondervonden. Daarvoor mijnen hartelijken dank.*

## INHOUD.

---

|                                          | Bladz. |
|------------------------------------------|--------|
| INLEIDING . . . . .                      | 1      |
| HOOFDSTUK I. HISTORISCHE AANTEKENINGEN.  | 5      |
| HOOFDSTUK II. EIGEN ONDERZOEK.           |        |
| a. Methoden. . . . .                     | 51     |
| b. Resultaten. . . . .                   | 89     |
| HOOFDSTUK III. ALGEMEENE BESCHOUWINGEN . | 101    |
| AANHANGSEL. . . . .                      | 105    |
| STELLINGEN. . . . .                      | 115    |

---

## INLEIDING.

Onder de vele problemen der physiologische acustiek neemt de vraag naar de grens van de hoogste en van de laagste hoorbare tonen, eene niet onbeteekenende plaats in; zoowel voor de physiologie en de physica, als voor de oorheelkunde en de muziekwetenschap is zij van belang. Desniettenstaande is deze quaestie betrekkelijk weinig bestudeerd en ligt daarin nog een ruim veld open voor onderzoekingen in verschillende richtingen. De reden hiervan heeft men voornamelijk te zoeken in het feit, dat de instrumenten ter bepaling der gehoorgrenzen voor hooge en lage tonen veel te wenschen overlieten, zoodat zeer uiteenloopende resultaten werden verkregen. Wat de grens van de hooge

tonen betreft, deze is in de laatste jaren meer dan éénmaal bepaald, maar voor de lage tonen is dit niet geschied.

Daarom heb ik mij in dit proefschrift in de eerste plaats ten doel gesteld de gehoorgrens voor lage tonen te bepalen, vooral hare verhouding tot den leeftijd der onderzochte personen, en in de tweede plaats om hetzelfde onderzoek in te stellen voor de hooge tonen, en mijne resultaten te vergelijken met die van vroegere onderzoekers.

Ten einde de physiologische grenzen op te sporen, werden alleen die personen voor het onderzoek gebezigd, waarvan de gehoorscherpthe normaal bevonden was.

De omstandigheden tot het doen der onderzoekingen waren mij, als officier van gezondheid aan het militair Hospitaal te Utrecht geplaatst, buitengewoon gunstig. De hulp, mij bij de bewerking van dit proefschrift door Dr. ZWAARDEMAKER verleend, stel ik zeer op prijs; verder waren de toestellen voor het onderzoek

vereischt, zeer goed vertegenwoordigd, terwijl bovendien de localiteit zich uitstekend tot de te nemen proeven leende. Ik werd in de gelegenheid gesteld vele personen met normaal gehoor te onderzoeken, zoowel het hospitaalpersoneel als de niet bedlegerige patienten en later onderzocht ik nog verscheidene personen van hoogere ontwikkeling.

Wat den jeugdigen leeftijd betreft, zoo was mij welwillend de vrijheid gegeven bij de kinderen van het Gereformeerde Burger-Weeshuis, het Diaconie-Weeshuis en het Evangelisch-Luthersche Weeshuis waarnemingen hieromtrent te doen.

Tot het onderzoeken van menschen boven de 60 jaar werd ik op zeer voorkomende wijze in staat gesteld in het Bartholomei-, en ook in het Diaconie Oude Mannen en Vrouwenhuis alhier. Bij dezen breng ik aan H.H. Regenten van genoemde inrichtingen mijn welgemeenden dank.

Ook zij een woord van dank gebracht aan Dr. J. D. VAN DER PLAATS, leeraar in de physica aan de Veeartsenijschool alhier, voor zijne raad-

gevingen met betrekking tot de uitdrukking van de Galton-schaal in werkelijke toonhoogten.

De aanleiding tot de keuze van dit onderwerp waren voor mij de onderzoekingen van Dr. ZWAARDEMAKER, door hem onder den titel van „een wet van ons gehoor: verlies der hoogste tonen van de toonladder met den leeftijd” in het Tijdschrift voor Geneeskunde <sup>1)</sup> gepubliceerd.

---

<sup>1)</sup> Weekblad van het Tijdschrift voor Geneeskunde, 2<sup>e</sup> deel van 13 Dec. 1890.

## HOOFDSTUK I.

---

### Historische Aanteekeningen.

---

In dit hoofdstuk wordt alleen de geschiedenis der lage toongrens behandeld, hetgeen zijn grond hierin vindt, dat ik mij van den beginne af aan als hoofddoel de bepaling der lage toongrens stelde. Van deze is veel minder bekend dan van de grens der hoge tonen. De geschiedenis der hoge tonen heeft Dr. ZWAARDEMAKER nu ruim twee jaren geleden in genoemd tijdschrift beschreven.

De eerste, die van eene toongrens melding maakt is SAUVEUR<sup>1)</sup> in dezelfde verhandeling,

---

<sup>1)</sup> Histoire de l'académie royale des sciences: Sur la détermination d'un son fixe. A° 1700.

waarin hij de noodzakelijkheid aantoonst naast de optica een acustica te grondvesten. Hij merkt reeds op, dat de grens, tot welke men de tonen hoort, alleen afhankelijk is van den bouw van het gehoororgaan, en wel van zijne gevoeligheid, want dat boven en beneden de waarneembare tonen nog zeer goed tonen in physischen zin kunnen bestaan.

Van belang acht hij het den grondtoon nauwkeurig vast te stellen, omdat hij dezen als uitgangspunt voor eene nomenclatuur der tonen en wellicht ook voor hunne ligging in de toonschaal wil nemen.

Het aldus door SAUVEUR gevolgde principe zoude men kunnen vergelijken met dat van Fahrenheit voor de warmtegraden. Immers deze stelde als nulpunt de grootste koude, die hij te Königsberg had waargenomen, en nam dit als een der uitgangspunten van zijne verdeeling.

Het doel nu van SAUVEUR's onderzoekingen was den musici een hulpmiddel aan de hand te doen om de hoogte van een toon te bepalen;

tot dien tijd bedienden zij zich namelijk van houten fluitjes, eene zeer gebrekkige methode, daar deze niet aan eene vaste toonhoogte beantwoordden. Een eerste stap in de goede richting was door hem reeds gedaan door zijne vernuftige pogingen om het trillingsgetal van een toon in eene bepaalde tijdseenheid te berekenen.

Hij had waargenomen, dat als twee dicht bij elkaar geplaatste orgelpijpen een toon geven, er zekere oogenblikken zijn, waarin deze sterker, andere waarin hij zwakker is; een verschijnsel, door ons tegenwoordig zwevingen genoemd. Zij zijn onaangenaam voor het gehoor en daarom zijn de accoorden, die vele zwevingen doen hooren, bekend onder den naam van dissonanten, in tegenstelling met de consonanten, die hiervan vrij zijn. Naar aanleiding dezer waarneming nam SAUVEUR twee orgelpijpen, waarvan het tijdsverloop tusschen deze geluidsversterkingen groot genoeg was om gemeten te worden door ze te vergelijken met het heen

en weer bewegen van een slinger. Hij hoorde toen het interval der twee tonen, die de orgelpijpen gaven, d. i. de verhouding der trillingsgetallen; en hij wist het verschil van de trillingsgetallen der tonen te meten, daar hij door middel van den slinger het aantal zwevingen in een bepaalden tijd kon tellen. Uit deze gegevens lieten zich dus de trillingsgetallen zelve berekenen.

Nadat hij eenmaal de trillingsgetallen der door hem waargenomen tonen had vastgesteld, ging SAUVEUR na, welke toon de laagste bleek te zijn, die nog gehoord zou kunnen worden. Hij vond, dat deze toon werd voortgebracht door eene orgelpijp van 40 voet <sup>1)</sup> lengte. Aangezien nu vooraf het trillingsgetal van een toon uit eene orgelpijp van 5 voet op 100 trillingen was bepaald, berekende hij het trillingsgetal voor den grenston op  $12\frac{1}{2}$  <sup>2)</sup>. Ook door onder-

<sup>1)</sup> Hieronder versta men: Parijsche voet = 305 mM.

<sup>2)</sup> Hiermede worden ook voor het vervolg steeds dubbele trillingen door mij bedoeld; deze zijn volledige slingerbewegingen.

zoekingen met snaren kwam hij ongeveer tot dezelfde uitkomst.

Aldus vond hij voor den hoogst waarneembaren toon dien van 6400 trillingen in de seconde. De verhouding van  $12\frac{1}{2} : 6400$  is als van  $1 : 512$  en de waarneming der tonen strekt zich voor ons dus uit over een gebied, waarvan de eene toon 512 maal hoger of lager is, dan de voor 't eerst door ons waargenomene.

C. DESPRETZ <sup>1)</sup> schreef in zijne „observations sur la limite des sons graves et aigus” eenige tegenwerpingen tegen de conclusiën, die SAUVEUR uit zijne proeven had getrokken. Vooreerst was het niet bewezen, dat de wet ook voor zulke lange orgelpijpen doorgaat, namelijk dat de hoogte van den toon omgekeerd evenredig is met de lengte van de orgelpijp, en ten tweede was het twijfelachtig, of die voort-

<sup>1)</sup> Comptes rendus hebdomadaires des seances de l'académie des sciences. Tome XX pag. 1214. Paris 1845.

gebrachte toon de grondtoon was. De fout in de onderzoekingen vindt hij hierin, dat de toon, die SAUVEUR hoorde, had moeten worden vergeleken met andere tonen, waarvan de trillingsgetallen bepaald waren. In dezelfde verhandeling geeft DESPRETZ behalve deze critiek nog eene beschrijving over proeven, door hem zelf naar aanleiding van dit onderwerp verricht; om de geschiedkundige volgorde in dit overzicht meer getrouw te blijven, komt het mij beter voor, die eerst later te vermelden, want vóór hem waren het nog CHLADNI, BIOT, WOLLASTON en SAVART, die de quaestie der lage toongrens uitvoeriger behandelden.

Vooreerst dus een enkel woord over de onderzoekingen van CHLADNI, <sup>1)</sup> wiens oorspronkelijk werk voor mij niet verkrijgbaar was; daarom laat ik hier slechts een en ander van 't geen PREIJER daaromtrent vermeldt volgen.

<sup>1)</sup> Die Akustik. Leipzig 1802.

CHLADNI verkortte eene gespannen snaar, zoodat zij aanvankelijk 2, (het waren zichtbare en telbare trillingen) daarna 4, dan 8, en dan 16 trillingen in de secunde maakte, en bemerkte eerst van ongeveer 16 trillingen af eenige uitwerking op het gehoor; beneden de 15 tot 16 trillingen hoorde hij in het geheel niets. Tegen deze bepaling valt in te brengen, dat misschien alleen daarom beneden 16 trillingen niets gehoord werd, omdat de trillingen niet intensief genoeg waren. Ook doet zich hier de bedenking aan ons voor, of het waargenomen geluid de grondtoon is. Elk bewijs, dat dit het geval is geweest, ontbreekt; dus volgt uit deze proef alleen, dat 16 trillingen eener snaar een waarneembaren toon geven, geenszins echter, dat de laagste toon uit een van 15 tot 16 trillingen bestaat.

In het algemeen valt in de litteratuur op te merken, dat de Franschen zich het meest met betrekking tot de studie van dit onderwerp bezighielden en ook nu is het weder een

Franschman, en wel J. B. Biot<sup>1)</sup>, professor in de physica te Parijs, die de zaak nader bestudeerde.

Hij maakte gebruik van eene snaar, die hij meer of minder kon spannen door er verschillende gewichten aan te hangen, en merkte toen op, dat zé geen toon gaf, wanneer men het aantal trillingen nog kon tellen; terwijl de toon, die de snaar gaf, des te hooger werd, naarmate men het gewicht vermeerderde. Het aantal trillingen liet zich dan berekenen uit de lengte der snaar, haar gewicht en het gewicht, dat haar spande. Zoo bepaalde hij het minimum van het aantal trillingen per secunde, dat nog een toon geeft, op 16; dan geeft de snaar een toon van een gelijk trillingsgetal als een open orgelpijp van 32 voet. Scherp noemt hij zelf echter deze grens niet en beschrijft haar slechts als: „une indication approchée, qui n'est point

<sup>1)</sup> Précis élémentaire de physique expérimentale, Tome I pg. 342. A° 1824.

susceptible de rigueur"; hij besluit dus met eene zeer vage slotsom.

Tegen deze resultaten van BIOT kan men weder aanvoeren, dat hij bij de proef met de orgelpijp niet het bewijs leverde den grondtoon van 16 trillingen gehoord te hebben, want de mogelijkheid blijft bestaan, dat hij de combinatie van dezen gehoord heeft met den eersten boventoon van 32 trillingen; hetzelfde is ook van toepassing op zijne proeven met snaren genomen.

WOLLASTON<sup>1)</sup> schreef over de toongrens het volgende:

„Pour une oreille humaine saine et dans l'état normal, la faculté de discerner les sons ne paraît pas avoir de limite tranchée. Si l'on fait diminuer graduellement et suivant une progression lente, le nombre de pulsations, qui constituent les sons, on n'assignera pas facilement, quelque soin qu'on y apporte, le point, où il faut s'arrêter,

<sup>1)</sup> Annales de Chimie et de Physique Tome 16. pg. 208.

pour que les sons produisent un effet musical. Cependant, à moins d'un défaut dans l'organe, on est encore sensible aux mouvements de vibrations, alors qu'il sont devenus de simples tremblements, capables d'être appréciés par le tact, et presque comptés."

In 1820 gaf WOLLASTON over het onderwerp nog eenige beschouwingen<sup>1)</sup> ten beste; hij maakt melding van de door hem genomen proeven met gespannen snaren, die hij door middel van een strijkstok of zijn vinger deed trillen. Aldus bracht hij zeer lage tonen te voorschijn, maar of deze in werkelijkheid grondtonen waren, en niet afkomstig van boventonen zegt hij niet. Trouwens hij zelf was ook niet zeker, dat de boventonen geheel waren buitengesloten.

Verder merkt hij op dat personen met voor de in het dagelijksch leven voorkomende tonen

<sup>1)</sup> Philosophical Transactions: On sounds, inaudible by certain ears.

volkomen normale ooren, zich zeer verschillend verhouden met betrekking tot buitengewoon hooge en lage tonen.

Zoo wijst hij er ten opzichte van de lage tonen op, dat men kunstmatig de perceptie van deze sterk kan verminderen door bij gesloten mond en neus de borstkas uit te zetten, zoodat de buitenlucht sterker drukt tegen de membrana tympani. De perceptie van hooge tonen lijdt dan in geenen deele. Bij het slikken kan men de tuba Eustachii zich weder doen openen, en het minder aangename verschijnsel doen ophouden.

SAVART<sup>1)</sup> deelt ons mede, dat hij de uiterste toongrens zoowel voor hooge als voor lage tonen als veel verder zich uitstrekkende wenscht aan te nemen. Reeds vroeger had hij als hoogst waarneembaren toon aangegeven dien van 20000 trillingen in de secunde, en de tot dien tijd aan

<sup>1)</sup> Annales de Chimie et de Physique, Tome XLVIII pg. 69 of POGGENDORFF's Annalen, Band XXII pg. 596.

genomen grens van 16 trillingen hield hij ook niet voor juist. Hij gaat uit van de stelling, dat men nog lagere tonen dan die van 16 trillingen per secunde kan hooren, wanneer het mogelijk is een rij van indrukken op het gehoororgaan te doen ontstaan, van welke elke meer dan  $\frac{1}{16}$  secunde duurt. Hij maakte daartoe gebruik van een tandrad en hield loodrecht tegen het vlak van het rad een dun metalen of kartonnen plaatje, dat met de hand werd vastgehouden. Bij het ronddraaien beweegt het plaatje evenveel malen als het tanden ontmoet; deze bewegingen nu geven een toon, die des te hooger wordt naarmate men sneller draait en het plaatje dus meer trillingen in de secunde volbrengt.

Bij zijne eerste proefnemingen betreffende de lage toongrens gebruikte SAVART echter niet een tandrad, maar eene staaf, die hij liet draaien om eene loodrecht op haar lengterichting staande as. Deze van ijzer vervaardigde staaf was 812 mM. lang, 54 mM. breed en 13,5 mM. dik; zij werd rondgedraaid door middel van een rad, dat eene

doorsnede had van 1462 mM., om eene as, die door het midden der staaf ging loodrecht op zijne breedte vlakke. Deze as rustte door middel van pannen op een zeer zwaar onderstuk, dat ook het groote rad droeg. Aan beide zijden van het ronde vlak, dat de staaf beschrijft, zijn twee dunne metalen plaatjes aangebracht, die zóó aan het voetstuk bevestigd zijn, dat zij naar believen nader bij de kanten van de staaf kunnen gebracht worden. Door middel van een aan de as van de staaf bevestigd telapparaat kan men gemakkelijk het aantal ronddraaiingen der staaf per secunde aflezen. Het aantal slagen tegen de plaatjes is natuurlijk tweemaal zoo groot als het aantal ronddraaiingen van de staaf, die bij elke halve ronddraaiing eenmaal tegen het plaatje slaat. Draait men het rad dan rond, zoo hoort men aanvankelijk bij langzaam draaien slechts van elkaar gescheiden slagen; neemt de snelheid van draaien toe, dan hoort men langzamerhand een aanhoudenden bizonder lagen toon, die eerst zeer zwak is, en later zeer sterk wordt, zoodra

de slagen elkaar zoo snel volgen, dat de indrukken op ons gehoor in elkaar overgaan. Intusschen kan men met het zoo beschreven apparaat niet meer dan 25 à 30 ronddraaiingen in de secunde tot stand brengen, en men neemt dientengevolge behalve den aanhoudenden toon steeds nog elken afzonderlijken slag waar, zoodat de toon een snorrend karakter blijft behouden. Voor het overige bezit de toon zulk eene intensiteit, dat alle personen, die deze proeven bijwoonden, er over verwonderd waren. Deze intensiteit was namelijk zoo groot, dat het in een zeer ruim vertrek geheel onmogelijk was ook slechts het minste te hooren van de tonen van een orgel, of van eene bas, of van de stemmen van de aanwezige menschen. Voor bovengenoemde proeven was het van het meeste belang het aantal slagen, waarbij de waarneming van een aanhoudenden toon begon, met groote nauwkeurigheid te bepalen; en daarom werden de proefnemingen in tegenwoordigheid van vele personen meermalen herhaald. Deze stemden allen hierin

overeen, dat de grens om den toon te hooren begon bij 7 à 8 slagen in de secunde, overeenkomende dus met 7 à 8 trillingen. SAVART zelf voegt er nog de opmerking aan toe, dat men dit niet als absolute grens moet beschouwen, omdat men met een apparaat van kleinere afmetingen eerst een aanhoudenden toon hoort bij een veel grooter aantal slagen. Eveneens zou men bij het ronddraaien van eene langere staaf, en dus bij krachtiger slagen, ook den aanhoudenden toon bij een nog geringer aantal slagen hooren. Ofschoon deze proeven op zich zelf zeer interessant zijn, zoo is het toch door niets bewezen, dat er eene grens bestaat voor het hooren van zeer lage of zeer hooge tonen. Kon men namelijk, zoo zegt schrijver, voor een bepaalden tijd, den duur van den indruk, door elken slag op ons oor teweeggebracht, verlengen in gelijke mate, als men het aantal slagen vermindert, dan zouden de laagste tonen even gemakkelijk waarneembaar zijn als de minder lage, die beter binnen het bereik van ons gehoor liggen.

Dezelfde redeneering in omgekeerden zin geldt voor de hooge tonen.

Leest men nu, wat HELMHOLTZ <sup>1)</sup> zegt over de door SAVART genomen proeven, zoo gaat veel verloren van de waarde, die men daaraan mocht hebben toegekend: „SAVART's Instrument, wo ein rotirender Stab durch enge spalten schlägt, is sehr ungeeignet tiefste Töne hörbar zu machen. Die einzelnen Luftstösse sind hier sehr kurz in Vergleich zur ganzen Schwingungsperiode, also müssen auch die Obertöne sehr stark entwickelt sein, und die tiefsten Töne, welche man hört bei 8 bis 16 Schläge können nichts als Obertöne sein.”

SAVART <sup>2)</sup> zelf was echter ook niet geheel met de oplossing van het vraagstuk in het reine, gelijk blijkt uit 't geen hij in 1830 schreef. Voor de proefnemingen betreffende den hoogsten toon, die waarneembaar is, gebruikte hij toen een zeer

<sup>1)</sup> Die Lehre von den Tonempfindungen, pg. 266. Braunschweig 1863.

<sup>2)</sup> Annales de Chimie et de Physique, Tome XXXIV, pg. 337; of Poggendorff's Annalen. Band XX.

groot tandrad, 82 c.M. in doorsnede, dat van 720 tanden voorzien was.

Hij hoorde nog een toon bij 24000 slagen per secunde, hetgeen overeenkomt met even zoovele trillingen; deze grens is wederom niet scherp, daar volgens hem bij een nog grooter rad met nog meer tanden een nog hoogere toon zou kunnen gehoord worden. Wat nu de lage tonen betreft, zoo schrijft hij hier, dat een toon eerst begint te ontstaan bij een grooter aantal slagen dan 8. Wanneer hij een rad, voorzien van één tand, meer dan 32 ronddraaiingen per secunde liet volbrengen, en deze bij elken omloop tegen het plaatje sloeg, zoo bracht de periodieke herhaling van den slag een aanhoudenden toon te voorschijn, die des te hooger was, naarmate het aantal ronddraaiingen grooter was.

Naar aanleiding van deze proefnemingen bepaalde SAVART dus het trillingsgetal van den laagst waarneembaren toon op 16 per secunde, dus op het dubbele van het aantal trillingen, dat hem de vroegere onderzoeking had geleerd.

Gelijk reeds in den beginne vermeld is, critiseerde DESPRETZ de resultaten, die SAUVEUR had verkregen betreffende de lage toongrens, en in dezelfde verhandeling <sup>1)</sup> publiceerde hij tevens zijne eigen proefnemingen en resultaten. Terloops zij nog vermeld, dat hij niet met SAVART gelooft, dat een toon van 8 trillingen hoorbaar is, op grond, dat die door middel van orgelpijpen niet hoorbaar te maken is, en men bovendien door de kracht van aanblazing van de orgelpijpen bijna altijd hoogere octaven meer op den voorgrond doet treden. De bijwoning eener inwijding van een bijzonder schoon orgel in de Eglise St. Denis te Parijs was voor DESPRETZ de aanleiding, om de proeven van SAUVEUR en SAVART aan een onderzoek te onderwerpen. Hij gebruikte daartoe een apparaat, toebehorende aan de Faculté des sciences, bestaande in eene staaf, 860 m.M. lang, en 31 m.M. dik.

---

<sup>1)</sup> Comptes rendus de l'académie des sciences 1845 pg. 1214. of Poggendorff's Annalen, Band LXV.

Deze was van hout vervaardigd en alleen aan de randen der uiteinden, die tegen de lucht moesten slaan, met koper beslagen. Draait men dit apparaat rond met langzamerhand grooter wordende snelheid, zoo hoort men al spoedig een krachtigen toon. Dezen toon vergeleek hij met een gelijkkluidenden eener bas, en vond toen, dat de toon niet lager werd dan dien van 48 trillingen. DESPRETZ ging namelijk hiervan uit, dat elke rij van, hetzij langzame, hetzij snelle trillingen, die geen muzikalen toon vormt, niet als een toon kan worden opgevat. Vervolgens verrichtte hij dezelfde proef als SAVART had gedaan met een tusschen twee plaatjes draaiende staaf, en hij kwam daarmee tot hetzelfde resultaat als met de straks beschrevene houten staaf. Wanneer hij evenals hij 15 à 16 trillingen voortbracht, zoo hoorde hij geen toon meer, nog veel minder bij 8. De fout, door hem begaan, bestond volgens DESPRETZ waarschijnlijk hierin, dat hij door de zeer groote intensiteit der tonen van het door hem gebruikte

apparaat op een dwaalspoor was geleid. Als voorbeeld haalt hij nog aan, dat hij eene groote stemvork had doen vervaardigen, waarvan de toon op het eerste oogenblik ook voor een geoefend oor veel lager schijnt dan werkelijk het geval is. Bovendien valt het te betwijfelen, of de laagst waarneembare toon bij de proeven van SAVART zijn oorsprong heeft in de slagen van de staaf, want door verdubbeling van het aantal slagen werd de toon niet op een hoogere octaaf gebracht. Bij het SAVART'sche apparaat bestaat namelijk volgens DESPRETZ veel gevaar voor het ontstaan van neventonen, daar het vrij gecompliceerd is; de plaatjes waartusschen de staaf draait en de riemen van het instrument geraken in trilling en kunnen verschillende tonen voortbrengen.

Deze proeven leeren ons echter nog weinig voor de vraag, of niet nog lagere tonen kunnen worden gehoord dan die van 48 trillingen per secunde; hij verklaarde namelijk alles voor geruisch, wat bij zijne proeven naast den toon van 48 trillingen zich deed hooren. Als hoogst waar-

neembaren toon geeft hij op dien van 36000 trillingen, een veel hooger cijfer dus dan SAVART had gevonden. DESPRETZ kwam tot dit cijfer door proeven met zeer kleine stemvorken, die uiterst hooge tonen gaven.

De man, die den grootsten en belangrijkste stoot heeft gegeven om de grens der lage tonen te bepalen, is HELMHOLTZ <sup>1)</sup>, toen professor in de Physiologie te Heidelberg.

Daar de zwevingen hem een belangrijk hulpmiddel zijn om de grens der laagste tonen te bepalen, wil ik eerst vermelden, wat men onder „zwevingen” te verstaan heeft:

Men stelle zich voor, dat een luchtdeeltje bij het voortbrengen van twee tonen van verschillende hoogte in beweging wordt gebracht, waarvan b.v. de een 100, de ander 101 trillingen in de seconde volbrengt. Zijn de trillingen, die het luchtdeeltje moet aannemen, aanvankelijk van

<sup>1)</sup> Die Lehre von den Tonempfindungen: 9<sup>er</sup> Abschnitt. Tiefe und tiefste Töne.

dezelfde phase, zoodat zij elkander versterken, dan zal echter weldra een verschil in phase ontstaan; na verloop van  $\frac{1}{2}$  secunde zullen van den eersten toon 50, van den tweeden  $50\frac{1}{2}$  trillingen zijn volbracht. De trillingen verkeeren dan in tegengestelde phase. Ze zullen elkander verzwakken en zelfs opheffen, zoo zij beide van gelijke intensiteit zijn. Na verloop van ééne secunde is de eene toon den anderen eene volle trilling vooruitgekomen; zij verkeeren nu weder in dezelfde phase en zullen elkanders werking versterken. Dit zal zich elke secunde herhalen, zoodat men in geregelde tusschenpoozen van een secunde het geluid, door de samenwerking van beide tonen ontstaan, zal hooren afnemen en zich versterken. Verschilden beide tonen 2 trillingen in de secunde, dan zou reeds na  $\frac{1}{2}$  secunde de eene toon den anderen eene volle trilling vooruitgekomen zijn; men zal dan in 1 secunde het geluid tweemaal hooren afnemen en tweemaal hooren sterker worden.

In het algemeen, wanneer de tonen  $n$  en

$n'$  trillingen in de secunde volbrengen, zal men  $n \cdot n'$  verzwakkingen en versterkingen van het geluid in de secunde vernemen. Deze geregelde schommelingen in geluidsterkte, ontstaan door de interferentie van twee in hoogte weinig verschillende tonen, worden zwevingen, de versterkingen alleen ook stooten genoemd.

Keeren we tot HELMHOLTZ terug, zoo verdient vooreerst vermelding, dat volgens hem de zwevingen ons in staat stellen den overgang der waarneming van afzonderlijke luchtstooten tot die van een toon te bepalen.

De verklaring van de verschillende uitkomsten voor de bepaling van het kleinste aantal trillingen, dat nog een toon doet ontstaan, zoekt hij in de moeilijkheid, die de proeven ter bepaling daarvan opleveren. Vergelijkt men de sterkte der luchttrillingen, die noodig is voor het doen ontstaan van zeer lage tonen bij die voor hooge toonen, zoo blijkt het, dat om een even krachtigen indruk op ons oor te maken, eerstgenoemde veel sterker moeten zijn dan de laatste.

Het is dan ook volgens hem onjuist, dat onder gelijke omstandigheden de sterkte der tonen evenredig is aan de kracht der luchtbeweging of m. a. w. aan de maat van den voor deze vereischten mechanischen arbeid. Eene enkele proef met de sirene spreekt namelijk deze veronderstelling tegen, want bij gelijken mechanischen arbeid geven de hooge tonen een veel sterkeren klank dan de lage. Blaast men de sirene zoo met een blaasbalg aan, dat hare schijf hoe langer hoe sneller ronddraait, en houdt men de beweging van den blaasbalg zoo gelijkmatig, dat steeds dezelfde hoeveelheid lucht onder gelijken druk in de sirene gedreven wordt, dan hoort men aanvankelijk een zwakken lagen toon, die steeds hooger en hooger wordt, maar daarbij tegelijkertijd in sterkte buitengewoon toeneemt. Hierbij wordt voortdurend verreweg het grootste deel van den gelijkblijvenden mechanischen arbeid voor het doen ontstaan van den toon gebruikt, terwijl slechts een klein deel door de wrijving der om zijne as in de pannen ronddraaiende

schijf en door de met haar in beweging gebrachte lucht verloren gaat. Bovendien moeten deze verliezen bij snelle ronddraaiing groter zijn dan bij langzame, zoodat voor het voortbrengen van hooge tonen zelfs minder arbeidskracht overblijft dan voor de lage. Toch zijn, gelijk gezegd, de hooge tonen bijzonder veel krachtiger dan de lage.

De toename der toonsterkte met de toonhoogte is in 't bijzonder belangrijk in de lage tonen der toonschaal. Daaruit volgt, dat in samengestelde zeer lage klanken de boventonen sterker kunnen zijn dan de grondtoon, terwijl bij klanken van meerdere hoogte de sterkte van den grondtoon de overhand heeft. Dit is gemakkelijk te bewijzen door middel van de dubbel-sirene, daar men door de zwevingen altijd kan vaststellen, of de gehoorde toon de grondtoon, dan wel de 2<sup>e</sup> of 3<sup>e</sup> boventoon van den betreffenden klank is. Laat men namelijk van beide platen b. v. 12 gaten open, en beweegt men de bovenste plaat eenmaal rond, waardoor haar toon 4 trillingen meer

in de secunde krijgt, zoo geeft hij met den grondtoon 4 zwevingen, de eerste boventoon 8, de tweede 12. Laat men nu de platen langzamer rondloopen, voor welk doel HELMHOLTZ den rand der eene plaat aan een met olie bevochtigde stalen veer laat voorbijgaan, zoo kan men gemakkelijk zeer lage tonen te voorschijn brengen. Doet men dan de snelheid der schijven langzamerhand stijgen, zoo vindt men, dat de 't eerst ontstane hoorbare tonen 12 zwevingen d. i. de 2<sup>e</sup> boventoon met den grondtoon bij eene ronddraaiing maken, namelijk zoolang het aantal luchtstooten nog beneden 36 à 40 is. Bij tonen van 40 à 80 luchtstooten hoort men bij elke ronddraaiing 8 zwevingen, dat is de 1<sup>e</sup> boventoon; eerst bij meer dan 80 luchtstooten hoort men de 4 zwevingen met den grondtoon.

Van deze gegevens uitgaande kwam HELMHOLTZ tot het grondbeginsel voor zijne zoo uitstekende proeven, namelijk, dat luchtbewegingen, die niet in den vorm van slingerachtige trillingen worden teweeggebracht, duidelijke en sterke tonen kun-

nen doen ontstaan, welker trillingsgetal 2 à 3 maal zoo groot is als het aantal luchtstooten, zonder dat de grondtoon gehoord wordt. Gaat men steeds lager in de toonschaal, dan neemt de toonsterkte, gelijk hieruit volgt, zoo snel af, dat de grondtoon, hoewel bij dezen de amplitude der luchttrillingen grooter is dan die der boven-tonen, toch door deze wordt overstemd. Ook bij groote intensiteit van den toon, laat zich hieraan niets veranderen, gelijk hij tegelijkertijd met de sirene aantoonde. Hij verbond eene buis met den blaastoestel eener sirene en hoorde toen door de buis, dat de laagste tonen niet duidelijker worden, zelfs niet bij zoo'n sterke aanblazing, dat de trillingen van het trommelvlies eene ondraaglijke kieteling veroorzaakten.

Onder de door hem voor de bepaling der lage toongrens gebruikte instrumenten zijn de gesloten orgelpijpen wel de doelmatigste; bij deze zijn de boventonen tamelijk zwak, hoewel zij niet volkomen ontbreken. Bij de orgelpijpen nu vond HELMHOLTZ, dat de laagste tonen van de 16-voe-

tige octaaf  $C_1$  tot  $E_1$  beginnen over te gaan in een dreunend geruisch, zoodat het aan een zelfs goed geoefend muzikaal oor zeer moeilijk valt de toonhoogte van dit geruisch vast te stellen.

De 16-voetige octaaf is die, welker c 33 trillingen per secunde maakt en door eene open orgelpijp van 16 voet lengte wordt voortgebracht.

Direct kan de toonhoogte ook niet bepaald worden, en men moet daarom zijn toevlucht nemen tot het opmerken der zwevingen, welke de zeer lage tonen met de tonen der hoogere octaven geven.

In de muziek van een orkest is de laagste toon, die gebruikt wordt, die van 41 trillingen van de bas, en volgens HELMHOLTZ zal het niet gelukken, zelfs met de grootste moeite, nog lagere muzikale tonen te hooren.

Bij het aanblazen der 16 voetige  $C_1$  van een orgel, ondervindt het oor nog een bijna voortdurend dreunen, doch zonder dat men daaraan eene bepaalde waarde in de muzikale toonschaal mag toekennen.

Bij die toonhoogte begint men reeds afzonderlijke luchtstooten waar te nemen, niettegenstaande de regelmatigheid van de beweging der lucht. In de bovenste helft der 32-voetige octaaf wordt de perceptie der enkele luchtstooten steeds duidelijker, het meer voortdurende der waarneming van eenen toon steeds zwakker en in de laagste helft der 32-voetige octaaf hoort men eigenlijk niets meer dan de luchtstooten; of, zoo men nog iets anders hoort, dan zijn dat waarschijnlijk zwakke boventonen, waarvan trouwens ook de tonen der gesloten orgelpijpen niet vrij zijn.

Met het oog op deze bezwaren zocht HELMHOLTZ naar een instrument, dat zeer lage tonen zonder boventonen gaf en meende dat gevonden te hebben in snaren, die hij met metalen stukken belastte. Hij nam eene dunne pianosnaar en belastte die met een koperen kruizer, die in zijn midden doorboord was. Nadat de snaar door de opening was gestoken, werd het koper door middel van eene naast de opening op

gezette stalen punt met een hamer dichtgeslagen, zoodat de snaar zeer vast in de opening was bevestigd.

Deze snaar gaf bij het aanslaan een klank, bestaande uit een aantal onharmonische tonen. De grondtoon is door eene tusschenruimte van meerdere octaven van de naastbijkomende boventonen gescheiden, en daardoor is het gevaar buitengesloten hem met deze te verwisselen. Bovendien verdwijnt de klank der hooge tonen zeer spoedig, terwijl de lage veel langer aanhouden. Zulk eene snaar werd gespannen op eene resonatiekast, die slechts ééne opening had, en die door middel van eene buis met de gehoorgang kon worden verbonden, zoodat de lucht uit de resonatiekast alleen in het oor kon ontsnappen.

De tonen van middelmatige hoogte bij het aanslaan der snaar te voorschijn gebracht, zijn onder deze omstandigheden van ondraaglijke sterkte. Een toon van 37 trillingen was zeer zwak, maar had toch iets knarsends; een toon van 31

trillingen hoorde men bijna niet. Hij meent dus op grond van deze proeven dat bij ongeveer 30 trillingen de waarneming van eene toon begint, en dat tonen van ongeveer 40 trillingen eerst een muzikaal te bepalen hoogte bezitten.

Toch valt er op de resultaten van HELMHOLTZ nog eene aanmerking te maken. Bij den toon van 37 trillingen hoorde hij iets knarsends, en dit laat de mogelijkheid open, dat het zou ontstaan zijn door de vorming van boventonen in de lucht van de resonatiekast, die misschien bij 31 trillingen alleen gehoord werden. Maar ook al laat men deze bedenking buiten rekening, dan is het nog mogelijk, dat lagere tonen dan die van 31 trillingen misschien alleen daarom onhoorbaar waren, omdat de trillingen der snaar te zwak zijn geweest.

Een doorslaand bewijs werd dus door deze proeven niet geleverd.

HELMHOLTZ voegt er aan toe, dat men deze trillingsgetallen cum grano salis heeft op te

vatten en dat ze voor de verschillende instrumenten niet alle van toepassing zijn. Hoewel dus volgens hem de enkelvoudige tonen in de bovenste helft der 16-voetige octaaf reeds volkomen onafgebroken en muzikaal klinken, zoo verdwijnt de waarneming van afzonderlijke luchtstooten bij de samengestelde klanken, zelfs in de contra-octaaf nog niet volkomen.

Brengt men b.v. de schijf eener sirene door aanblazen in beweging met langzamerhand stijgende snelheid, zoo hoort men aanvankelijk alleen enkele luchtstooten, en eerst bij meer dan 36 trillingen ook zwakke tonen daarnevens, die voornamelijk boventonen zijn. Bij toenemende snelheid wordt de toonswaarneming sterker en sterker, maar nog lang hoort men tevens afzonderlijke luchtstooten, die trouwens minder worden, naarmate men de schijf sterker aanblaast. Eerst bij 110 à 120 trillingen wordt de klank aanhoudend. Het scherpe of snorrende dezer klanken ontstaat, alleen door zeer groot aantal boventonen, en wel in 't bijzonder door de zwevingen,

die door de in de toonschaal dicht bij elkaar liggende hoge boventonen dezer klanken gevormd worden.

Wanneer in een klank de 15<sup>e</sup> en de 16<sup>e</sup> boven-ton nog hoorbaar zijn, zoo vormen deze met elkaar een interval van een halven toon en geven dan ook aanleiding tot de scherpe zwevingen van zulk een dissonant. Dat inderdaad de zwevingen dezer tonen de oorzaak zijn van hun onzuiver karakter, laat zich gemakkelijk bewijzen door resonatoren aan het oor te brengen, die de tonen versterken, en zeer duidelijk het geruisch der boventonen doen hooren. HELMHOLTZ had ook hetzelfde bij de menschelijke stem waargenomen. Bij de lagere tonen eener diepe en krachtige mannenstem hoorde hij bij het forte hoogere bijtonen van de viermaal gestreepte octaaf als een gillend en bevend geluid. Dit verschijnsel vindt men bij hoogere, dus ook bij vrouwenstemmen, veel zeldzamer en zwakker; zij zijn dan ook veel zekerder van de zuiverheid der voortgebrachte tonen dan een basstem, en

voelen zich veel vaster in de hoogere dan in de lagere octaven.

In eene latere uitgave van HELMHOLTZ's werk heeft hij het vraagstuk omtrent het aantal trillingen van den laagsten waarneembaren toon nogmaals te berde gebracht, en daarover belangrijke mededeelingen gedaan.

Reeds is vermeld, dat zijne vroegere onderzoekingen niet tot een zeker resultaat hadden geleid. Zijn tweede serie van proeven bestond in de bepaling van den laagsten toon door middel van snaren; bij deze was van een toon van 34 trillingen nauwelijks iets te hooren. In de tweede plaats deed hij de bepaling met stemvorken; daartoe had hij twee zeer groote Königsche stemvorken in zijn bezit; één daarvan kon 24 tot 35 trillingen per secunde geven door middel van gewichten, die verschuifbaar aan de beenen der stemvork waren aangebracht; de andere kon op dezelfde wijze 35 tot 61 trillingen geven. Bij 30 trillingen nu hoorde hij nog duidelijk een zwakken dreunenden toon;

bij 28 trillingen nauwelijks een spoor daarvan. De laatste waarnemingen zijn daarom van zooveel meer belang dan al de vroegere, omdat hier inderdaad de hoventonen ontbraken en toch de trillingen eene tamelijk groote amplitude (tot 8 mM. toe) bezaten.

Ook OSKAR WOLF,<sup>1)</sup> in Frankfurt am Main, heeft proeven met stemvorken genomen.

Omtrent de oorzaak van het bestaan van bepaalde grenzen van perceptie schrijft hij: „Dennoch muss ich noch die Frage berühren, welche sich insofern auf das Labyrinth bezieht, als sie die Grenzen betrifft, innerhalb deren der Nervenapparat auf Töne Antwort giebt. Wenn sich aus der Construction des Paukenapparates ergab, dass dieses vermöge seines wunderbar exacten Baues alle denkbaren Schwingungen, die grössten wie die kleinsten getreu übertragen kann, so muss es offenbar in der eingeschränkten

---

<sup>1)</sup> Sprache und Ohr. Braunschweig 1871: Ueber die Grenzen der Perception, pg. 243.

Leistungsfähigkeit unseres Nervenapparates beruhen, das wir nicht alle denkbaren Töne als solche, d. h. als continuirliche auffassen können.”

WOLF nam voor zijne proefnemingen dezelfde groote Königsche stemvorken, die ook HELMHOLTZ had gebruikt en meende, dat hij bij eene zeer groote oplettendheid nog een enkelvoudigen toon van 28 trillingen in de secunde kon hooren. Hij beschreef dien toon als uiterst zwak, maar voortdurend, terwijl een geringer aantal trillingen per secunde volgens hem als afzonderlijke luchtstooten tot perceptie komt.

Deze proefnemingen hebben, gelijk alle proeven met stemvorken, het bezwaar, dat de amplitude der trillingen te gering is, en hebben dus slechts betrekkelijke waarde.

Vervolgens geeft hij ter staving van zijne bepaling nog eene beschrijving van proeven, genomen met een apparaat, door APPUNN vervaardigd, en bestaande uit 4 groote tongpijpen.

De eerste tong van dit apparaat, die het langzaamst trilt, is aan haar vrij uiteinde voorzien

van eene stang, waarlangs een gewicht kan geschoven worden. De tong, van metaal vervaardigd, wordt door den van de blaastafel komenden windstroom viermaal in de secunde heen en weer bewogen, en maakt dus 4 trillingen per secunde.

De tong met het aan haar bevestigde gewicht is geplaatst in een resonator. Brengt men de tong in beweging, zoo is geen toon te onderscheiden, maar men hoort alleen de windstooten viermaal in de secunde. De 2<sup>e</sup> tong, op dergelijke wijze geconstrueerd, maakt 8 trillingen per secunde maar ook zij geeft geen toon, slechts den indruk als van het kleppen van molenwieken.

De 3<sup>e</sup> tong maakt 16 trillingen per secunde; men onderscheidt bij haar ook duidelijk de afzonderlijke luchtstooten, maar hoort daarbij een toon, die volgens WOLF de hoogere octaaf is en overeenkomt met de contra c van 32 trillingen per secunde.

De 4<sup>e</sup> tong ten slotte geeft een duidelijken grondtoon, die ongeveer met de contra-c van 32 trillingen correspondeert. Wel waren de boven-

tonen bij dit apparaat volgens hem zeer sterk ontwikkeld, gelijk bij alle tongpijpen, maar de grondtoon was zoo krachtig, dat hij gemakkelijk was te onderscheiden.

Het door WOLF gebruikte apparaat laat m. i. veel te wenschen over, want bij zoo groote sprongen als van 4 op 8, van 8 op 16 en van 16 op 32 trillingen zijn de resultaten slechts zeer vaag. Bovendien zijn aan een apparaat met zoo vele boventonen vele fouten mogelijk. Het eenige wat het apparaat leert, is, dat men bij 4 en 8 trillingen niettegenstaande eene groote amplitude, noch iets, wat op een toon lijkt, noch eenig gedreun of gebrom, maar alleen een flapperen, d. i. een wrijvingsgeruisch hoort. Tusschen 8 en 32 trillingen moet men nu de grens van den laagsten toon nog zoeken.

W. PREIJER<sup>1)</sup>, destijds professor in de physiologie te Jena, publiceerde zijne onderzoekingen omtrent de lage toongrens in 1876; deze zijn met

---

<sup>1)</sup> Ueber die Grenzen der Tonwahrnehmung. Jena.

betrekking tot de door mij genomen proeven van meer belang dan die van vroegere onderzoekers. Boven 8 trillingen per secunde ligt volgens schrijver zeer zeker de toonwaarneming: hij teekende in 5 seconden op een bord 40 punten naast elkaar en hoorde duidelijk bij elk punt dat hij teekende, een stoot, geheel van den vorigen geluidsindruk geïsoleerd.

Zoo ook vermoedt PREIJER, dat wanneer 8 geweren in intervallen van  $\frac{1}{8}$  secunde afgeschoten worden, een verschillend geluid zal ontstaan, dan wanneer zij tegelijkertijd worden afgevuurd. Eveneens meent hij, dat het oor nog veel moeilijker 8 b.v. heen- en weergaande trillingen in 1 secunde tot een toon zal kunnen vereenigen, dan de straks genoemde sterke geluidsindrukken. Steeds onderscheidt men volgens hem gemakkelijk den aanhoudenden toon van den iederen keer afgebroken toon; en meer dan 8 trillingen moet de laagste toon volgens hem zeker hebben. Bij proeven, genomen met groote stemvorken, bepaalde hij 24 trillingen

per secunde als laagste grens, en voegt er bij, dat waarschijnlijk nog lagere tonen zouden kunnen worden te voorschijn gebracht, als grootere stemvorken werden vervaardigd. Om eene grootere sterkte der trillingen te verkrijgen, sloeg hij een anderen weg in. Hij ging uit van de stelling, door HELMHOLTZ opgeworpen, dat men bij lage klanken, die door hun rijkdom aan boventonen iets knarsends of dreu- nends verkrijgen, de verschillende trillingsphasen zeer goed kan hooren; verder, dat bij klanken, waarvan de grondtoon zoo laag ligt, dat die niet meer onder gewone omstandigheden wordt gehoord, die grondtoon hoorbaar gemaakt kan worden, hetzij door resonatoren, hetzij door verbeterde geleiding naar het oor. Het is daarbij wenschelijk, dat de sterkte der trillingen grooter wordt, bij de verminderde frequentie, en dat tegelijkertijd de boventonen verzwakt worden. Deze voorwaarden laten zich gemakkelijk vervullen door middel van de tonen, die metalen tongen geven. Bij 40 trillingen van deze hoort

men den grondtoon in den klank zeer duidelijk, en bij 8 trillingen hoort men hem niet; tusschen deze beide grenzen moet men de laagste toongrens dus zoeken, door nl. te bepalen, wanneer men in den klank, dien de tong geeft, den grondtoon nog even hoort en wanneer niet meer. Voor dat doel heeft PREIJER door APPUNN uit Hanau eene reeks van 32 metalen tongen laten vervaardigen, die nauwkeurig als trillingsgetallen 8, 9, 10 etc. tot 40 toe bezaten. De tongen staan rechtop en zijn gesloten in een glazen kast, zoodat men ze bij het trillen ziet heen en weer gaan. Hij wenscht dit apparaat grondtoonapparaat te noemen in tegenstelling van het Appunn'sche boventoonapparaat, enkele bladzijden te voren beschreven. Het komt behoudens genoemde wijzigingen geheel daarmede overeen in constructie; een zeer sterk aanblazingsapparaat is bij het nemen der proeven wenschelijk.

Het doel van het apparaat is dus om door eene nog grootere amplitude der trillingen dan

bij de stemvorken, nog lagere tonen, en wel de grondtonen, te voorschijn te brengen; PREIJER werd in de verwachting daarvan niet teleurgesteld. Boven 32 trillingen kon ook zonder resonatoren, die wegens hunne grootte bij een dergelijk trillingsgetal hoogst ongemakkelijk zouden zijn, de grondtoon in den klank zonder eenige moeite gehoord worden, niettegenstaande talrijke en sterke boventonen. Beneden de 26 trillingen hield het hooren van den grondtoon ook voor het meest ge oefende oor op. Liet men echter de tong uitklinken en legde men de oorschelp op het oogenblik, waarop het dreunen ophield, vast tegen den wand der kast, zoo hoorde men zeer duidelijk en gemakkelijk een eigenaardigen zeer lagen brommenden toon. De intensiteit van dezen toon nam langzaam af, totdat hij ophield, d. i. het oogenblik, waarop de tong weer geheel in haren evenwichtstoestand was teruggekeerd. Dat het werkelijk de grondtoon was, die werd gehoord, blijkt wel hieruit, dat de toon volkomen over-

eenstemde met den even hoogen toon eener groote stemvork, en hetgeen gehoord werd, veel lager was dan eenige boventoon van den klank.

Daalt het aantal trillingen per secunde tot beneden 24, zoo neemt volgens PREIJER de intensiteit van den toon zeer sterk af, hoewel de amplitude der trillingen toch regelmatig groter wordt. Het natrillen der tong, dat bij de lage tonen veel sterker en van veel langeren duur is dan bij de hoogere, geeft zeker nog een grondtoon; en, hoort men dit niet meer, zoo kan men ook besluiten, dat er van eenen grondtoon geen sprake meer is. De grens hiervoor stelt hij op 14 trillingen per secunde, hij voelde dan wel eenig heen en weer bewegen, en hoorde wel een zeer zacht geruisch, veroorzaakt door het voorbijstrijken der lucht langs de tong, maar eenen toon hoorde hij niet. Behalve voor zich zelf deed hij nog dezelfde proef met zeer vele (hoevele zegt hij niet) andere personen, waarvan de meesten volgens hem dezelfde

grens opgaven. Tusschen de 15 en 20 trillingen hoorde hij hetzelfde geruisch, en daarevens ook een zwakken zeer lagen toon. Hij laat zich over deze trillingsgetallen als volgt uit: bij 19, 18, 17 hoorde hij steeds een duidelijken lagen toon; bij 16 soms wel, soms niet; en bij 15 nooit een eigenlijken toon, slechts een dof gegons, dat volgens hem niet het eigenaardige heeft van andere zeer lage tonen, namelijk van een knarsend of dreunend karakter te bezitten; het klonk veel eer zacht en niet onaangenaam. Boven 19 trillingen waren de tonen brommend en eveneens zacht voor het gehoor. De duur der natrillingen, die de tong maakte, was dan groot, hetgeen eene verwarring van den grondtoon met boventonen gemakkelijk uitsloot. Deze duur vermindert echter snel bij het toenemen van het aantal trillingen per secunde, zoodat bij 40 trillingen na het uitklinken der boventonen, nauwelijks nog een toon gehoord werd. Bij 32 trillingen is de grondtoon reeds geïsoleerd en van korten duur,

maar bij een dergelijk trillingsgetal hoort men den grondtoon reeds in den klank zelve.

Wat nu in het algemeen als laagste toongrens geldt, zoo meent PREIJER, dat bij ieder normaal hoorend persoon de grens zal liggen tusschen een toon van 14 en van 24 trillingen; een enkel voor allen geldend getal als maat er voor op te geven is volgens hem onjuist wegens de individueele afwijkingen, die er bestaan. Ook behoort voor goede waarneming volgens hem eenige oefening; musici zijn hiertoe zeer geschikt, maar kunnen toch niet een toon van 24 trillingen als een muzikalen aanmerken. De laagste orgeltonen, die tusschen 16 à 20 trillingen liggen, berusten volgens hem slechts op de waarneming van boventonen.

Volledigheidshalve wensch ik hier nog te vermelden, dat APPUNN de laatste was, die over de lage toongrens zijne studie maakte. Hij construeerde daartoe een toestel, dat m. i. de door vroegere onderzoekers gebruikte in zoovele opzichten overtrof, dat het ook mij het geschiktst

voorkwam, om daarmede de lage toongrens te bepalen.

Dit is ook de reden, waarom ik het hier slechts terloops aanstip, en waarom het mij beter toeschijnt, de beschrijving er van in hoofdstuk II te geven; voor het verband komt het mij tevens wenschelijker voor ook daar met een enkel woord het door hem verkregen resultaat te vermelden.

## HOOFDSTUK II.

### Eigen onderzoek.

#### A. METHODEN.

Het onderzoek van elken persoon was driedig; in de eerste plaats bepaalde ik de gehoorscherppte, daarna de lage en ten slotte de hoge toongrens.

Een kort woord betreffende de gehoorscherppte laat ik hier voorafgaan:

1. De gehoorscherppte werd door mij bepaald door middel van de fluisterspraak, d. w. z. door eenige woorden van ter zijde tot iemand te fluisteren, die het afgewende oor met den vinger sluit. Langzamerhand verwijdert men zich van den onderzochten persoon

en laat hem de voorgezegde woorden nazeggen. Bij fluisteren van maximale intensiteit heeft men eene ongeveer constante geluidsbron, terwijl men in den afstand eene physische maat bezit.

OSCAR WOLF<sup>1)</sup> was vooral de man, die deze methode in praktijk bracht en aantoonde, dat ze de rationeelste was voor de bepaling der gehoorscherppte. De veel gebruikelijke bepaling door middel van het laten tikken van een horloge op een afstand heeft namelijk het zoo meermalen waargenomen bezwaar, dat personen, die slechts met moeite een gesprek volgen, het tikken van het horloge zeer goed kunnen hooren, en de waarde van ons gehoor is toch in de eerste plaats afhankelijk van het vermogen om het door anderen gesprokene te verstaan. In het dagelijksch leven toch is dat de eisch, dien wij het eerst stellen. De gewone spreektaal is dus voor de waarde van het ge-

<sup>1)</sup> Sprache und Ohr.

hoor de beste maatstaf en de fluisterspraak verdient de voorkeur boven de luide spraak, omdat ze praktisch bruikbaar is en omdat het oor bij het fluisteren minder afhankelijk is van de intensiteit der klanken; bij het laatste worden de klinkers nagenoeg even sterk gehoord als de medeklinkers, hetgeen bij de luide spraak niet het geval is. De klinkers zijn namelijk bij het spreken gemakkelijker te onderscheiden dan de medeklinkers. Terloops zij nog opgemerkt, dat in den laatsten tijd op de groote otologische klinieken in Duitschland en evenzoo in Oostenrijk, ook de fluisterspraak als maat der gehoorscherpthe wordt toegepast.

OSCAR WOLF heeft de draagwijdte der fluisterstem bepaald op 18 Meter. Op grond van de juistheid en geschiktheid ter bepaling der gehoorscherpthe met de fluisterspraak, is het mij ook wenschelijk voorgekomen, om de gehoorscherpthe der door mij op de hooge en lage tonen onderzochte personen op die wijze op de proef te stellen. De omstandigheden daartoe waren

mij in het militair hospitaal alhier buitengewoon gunstig. Ik kon beschikken over een afstand van 28 Meter, verdeeld in een 18 Meter lange en ongeveer 2 Meter breede gang, aan welker beide uiteinden zich een vertrek van 8 Meter en een van 2 Meter lengte aansloten. Deze localiteiten volgden elkander in eene rechte lijn op.

Bijna allen, te weten 38, door mij in het militair hospitaal onderzochte personen bezaten eene gehoorscherpthe van meer dan 28 Meter, slechts twee van hen eene van 20 à 25 Meter. De gehoorscherpthe was dus bij allen als normaal te beschouwen.

Dat het cijfer 28 datgene, dat door WOLF aangegeven was, namelijk 18, gelijk reeds vermeld, met eenige meters overtreft, is wel daaraan toe te schrijven, dat in de door mij gebruikte localiteit een gang was begrepen, waardoor het geluid eenigermate als door een spreekbuis werd voortgeplant. Dit doet echter betrekkelijk weinig ter zake; zeker is wel aan te

nemen, dat de gehoorscherpthe der onderzochte personen de normale was. Bij de proefnemingen was ik tevens in staat het reeds meermalen waargenomen verschijnsel te bevestigen, dat bij absolute stilte der omgeving de gehoorscherpthe steeg. Dan worden zeer zacht gefluisterde woorden op een afstand van 28 Meter zonder eenige moeite verstaan. Bij mijne onderzoekingen in het Bartholomei Oude Mannen- en Vrouwenhuis kon ik slechts beschikken over een afstand van 8 Meter, in de Weeshuizen over een van 10 à 12 Meter, en aldaar moest ik mij dus met dezen afstand als maatstaf van eene normale gehoorscherpthe tevreden stellen.

Deze grens van 8 Meter kan, zooals de oorheelkundige praktijk heeft geleerd, gerust als waarborg voor de normale functie worden aangenomen (vergelijk de onderzoekingen door professor BEZOLD<sup>1)</sup> in de scholen te München verricht). Vermoedelijk heeft dit cijfer ongeveer

<sup>1)</sup> Archiv für Ohrenheilkunde. Band XXIII.

analoge beteekenis als de gezichtshoek van 5 minuten bij de SNELLEN'sche letterproeven. Hier ook hebben tallooze personen eene grootere gezichtsscherpthe dan de als normaal gekenmerkte.

Hoe gaarne ik mij overigens ook nog van de volle gehoorscherpthe bij mijne proefnemingen had overtuigd, meende ik mij toch bij de beperkte localiteit in genoemde gestichten met de straks vermelde afstanden tevreden te moeten stellen. Minder wenschelijk kwam het mij voor tot het gebruik van een horloge of van den acumeter van POLITZER, zoowel op grond van theoretische als van practische bezwaren, mijne toevlucht te nemen.

2. De lage toongrens is door mij bepaald met den toestel van ANT. APPUNN, chef van het Instituut voor acustische instrumenten te Hanau, die zich door de uitvinding van meerdere instrumenten, die op acustiek betrekking hebben, verdienstelijk maakte. De beschrijving van den toestel vindt men in eene aflevering

der „Berichte der Westerauische Gesellschaft”.<sup>1)</sup> De schrijver neemt als uitgangspunt van zijn gedachtengang de woorden, die men bij HELMHOLTZ<sup>2)</sup> vindt omtrent de lage toongrens:

„Will man die Grenze der tiefsten Töne ermitteln, so ist es nothwendig, nicht nur sehr starke Lufterschütterungen hervorzubringen, sondern ihnen auch die Form der einfachen pendelartigen Schwingungen zu geben. So lange die letzte Bedingung nicht erfüllt ist, ist man durchaus nicht sicher, ob die gehörten tiefen Töne dem Grundton oder den Obertönen der Luftbewegung entsprechen.”

Deze voorwaarden voor oogen houdende, vervaardigde APPUNN eene lange metalen lamelle van 420 mM. lengte, 12 mM. breedte en 1 mM. dikte, die in staat was eenvoudige slingerbewegingen te volbrengen. Ter versterking der

<sup>1)</sup> Akustische Versuche über Wahrnehmung tiefer Töne und deren praktische Verwendung für unsere Musik von ANTON APPUNN. 1889.

<sup>2)</sup> Lehre von den Tonempfindungen.

laatste is aan het einde der lamelle eene dunne, ronde metalen schijf bevestigd van 40 mM. doorsnede. Op de lamelle is eene schaal van 4 tot 24 aangebracht, die de dubbele slingerbewegingen, welke in 1 secunde worden uitgevoerd, aangeeft; men is dus in staat direct het aantal dubbele trillingen op de schaal af te lezen. Opdat er bij de trilling geene boventonen kunnen ontstaan, heeft hij een 50 mM. langen ring van flanel aangebracht, die verschuifbaar is en liefst op  $\frac{1}{3}$  der lengte der lamelle moet gesteld worden. Een dergelijken demper vindt men in den laatsten tijd ook aan stemvorken aangebracht om de boventonen buiten te sluiten.

Dit zoo eenvoudige instrument wordt in een houten klem vastgeschroefd en kan naar verkiezen omhoog of omlaag bewogen worden. Wil men nu eene bepaling doen van de lage toongrens; zoo drukke men met den top van den vinger de ronde plaat van de lamelle terzijde tot op een afstand van ongeveer 2 centimeter van het

oor van den te onderzoeken persoon, dien men verzoekt het oor ongeveer op de hoogte der plaat te houden, wanneer men de lamelle naar boven of beneden verschuift. Bij het voorzichtig wegtrekken van den vinger, geraakt dan de lamelle in trilling. Bij nauwkeurig instellen op b.v. het getal 6 der schaal, zal de lamelle bij het in beweging brengen 6 geheele slingerbewegingen in de secunde uitvoeren, die door middel van de aangebrachte ronde plaat 6 zeer krachtige luchtstooten veroorzaken. Is de lamelle op deze wijze in trilling gebracht, zoo valt er ook voor den meest geoefenden onderzoeker geen toon en evenmin boventonen waar te nemen. APPUNN bewijst uit het feit, dat bij 4, 5, 6, 7, 8 en 9 trillingen geen boventonen worden waargenomen, dat ook de toon, die bij 10 trillingen gehoord wordt, niets anders dan de grondtoon is. Hij neemt dus met zekerheid aan, dat alle tonen, door het trillen der lamelle voortgebracht, grondtonen zijn, bij welke boventonen niet tot perceptie geraken. Verder vond

hij als resultaat, dat de meeste menschen tot op 10 trillingen nog een toon herkenden; zelfs maakt hij melding van 3 personen, die zeer intelligent en tevens muzikaal waren, die bij 8 trillingen nog een toon konden herkennen. Hij vermeldt evenwel in het geheel niet, hoeveel personen hij onderzocht, evenmin van welken leeftijd zij waren.

Hij maakt nog melding van het feit, dat de laagste tonen, namelijk alle grondtonen, die bij deze proeven tot perceptie komen, niet als zoo laag, als ze in werkelijkheid zijn, worden herkend. Hij meent hiermede, dat een toon van 10 trillingen wel wordt waargenomen, maar de toonshoogte er van niet kan worden bepaald; ook niet de ligging van den toon ten opzichte van andere tonen. Als men zich namelijk niet vooruit heeft overtuigd, dat deze toon werkelijk zoo diep klinkt, zoo zou men volgens APPUNN dien zonder twijfel als zijn hoogere octaaf aangeven. Men kan zich hiervan overtuigen, als men op eene piano of op een ander muziekinstrument

de eerste of tweede octaaf bij den betreffenden lagen toon zacht aangeeft. Bij de hooge tonen is het juist omgekeerd als bij de lage: daar geeft men een octaaf lager aan en men moet dus ook met een lagere toon beginnen om zich van de juistheid te overtuigen.

In het algemeen is het waarnemen der zeer lage tonen veel moeilijker dan dat der zeer hooge; dit feit is mij bij het nemen der proeven dikwijls opgevallen. Het vereischt eene grootere oplettendheid en intelligentie en is meer tijdroovend; de moeilijkheid is vooral daarin gelegen, dat de gevoelsindruk, die des te sterker wordt, naarmate men meer in de reeks van tonen daalt, scherp moet worden onderscheiden van den geluidsindruk, die bij de lagere tonen steeds zwakker wordt. Zeer ontwikkelde personen gelukt het somtijds eerst na eenige oefening en na herhaald onderzoeken zich geheel van den gevoelsindruk, die als een soort van geflapper der lamelle zich kenbaar maakt, te abstraheeren. Komt men bij het langzaam dalen in de reeks

der lage tonen op de grens van toonswaarneming en van flapperen, zoo heeft het mij toegeschenen, dat de toon een niet volkomen continu karakter meer bezat; 11 trillingen hoorde ik nog duidelijk als toon, maar bij 10 was de toonswaarneming twijfelachtig. Dan werd voor mijn oor de toon regelmatig afwisselend sterker en zwakker; bij negen trillingen trad het geflapper meer op den voorgrond dan de toonswaarneming en bij 8 werd in 't geheel geen toon meer gehoord. Alleen de continue toonswaarneming stelde ik als voorwaarde voor de bepaling der grens. Zoo bedroeg die dus voor mijne ooren 11 trillingen per secunde.

Om de door mij onderzochte personen eenigszins voor te bereiden op hetgeen ik hun wilde laten hooren, deed ik hun eerst het trillen eener zeer groote stemvork waarnemen, die 25 trillingen in de secunde maakte. De meeste hoorden den toon, dien de stemvork bij trilling gaf, zonder veel moeite, en kenden hem een brommend of gonzend karakter toe. Daarna liet ik

hun den toon van 24 trillingen hooren, voortgebracht met dentoestel van APPUNN; dien herkennen ze eveneens duidelijk als een bepaald muzikalen toon. Vervolgens schoof ik de lamelle telkenmale een cijfer meer omhoog, hetgeen iederen keer het aantal trillingen met één verminderde.

Reeds vermeldde ik, dat het welslagen van de bepaling der lage toongrens eene groote oplettendheid en eene zekere mate van intelligentie vereischt. Vooral bij kinderen stuitte ik op vele bezwaren; bij die beneden de 12 jaar was het mij maar éénmaal mogelijk nl. bij een jongentje van 10 jaar, een betrouwbaar resultaat te verkrijgen. Toch zijn door mij minstens 50 kinderen beneden de 16 jaren in de verschillende weeshuizen alhier onderzocht; ook van 12- tot 15-jarigen leeftijd waren er slechts zeer enkele, die tusschen het flapperen en een lagen brommenden toon onderscheid maakt. In slechts 8 gevallen verkreeg ik eenig resultaat. Bij volwassenen schat ik het getal van hen, bij wie

men de waarnemingen omtrent de lage toongrens te vergeefs beproeft, op ongeveer een derde. Bij personen van hoogere ontwikkeling is dit cijfer wat te hoog gerekend, bij die van minder ontwikkeling is dit zeker niet het geval.

Bij de proefnemingen viel nog het volgende op te merken: Daalt men langzaam en gelijkmatig in de reeks der lage tonen, zoo zal b.v. iemand een toon van 11 trillingen als den voor hem 't laagst hoorbaren aangeven; gaat men daarna in tegenovergestelde richting te werk en begint men b.v. met een toon van 7 à 8 trillingen, zoo zal de onderzochte persoon in vele gevallen een hooger cijfer dan te voren opgeven, b.v. 14 of 15. Voor eene juiste bepaling moet dus het oor langzaam voorbereid worden om de ware grens te treffen, m. a. w. moeten de voor de perceptie van lage tonen dienstige gehoorvezelen tot de hun ongewone functies worden aangezet. Het overeenkomstige verschijnsel voor het tikken van een horloge was reeds lang waargenomen; verwijdert men zich met het

tikkende horloge van een persoon, zoo is zijne gehoorscherptheid zeker vrij wat meer dan wanneer men van een afstand den persoon met het horloge nadert.

De straks beschrevene lamelle nu heeft deze verdienste, dat het daarmede gebleken is, dat het menschelijk oor 9 trillingen als een toon kan waarnemen.

Al zijn tonen van 16 trillingen wel de laagste, die in de muziek praktisch worden gebezigd, en al komen dus zulke lage tonen, als waarvan hier sprake is, in de muziek niet voor, toch is het van belang een gehoorrens voor zeer lage tonen te bepalen.

De mogelijkheid ligt dan ook niet zoo ver, dat die grens later eene zekere rol als diagnostisch hulpmiddel in de oorheilkunde zal gaan spelen.

Het groote voordeel van het APPUNN'sche toestel is zonder twijfel de groote amplitude, dus ook de groote intensiteit, die de trillingen bezitten.

Het eenige, waarover nog zoude te twisten zijn, is de vraag, of de gehoorde tonen volkomen

vrij zijn van boventonen. APPUNN zelf, die een autoriteit op het gebied van acustische instrumenten is, geeft er de stellige verzekering van. Om niet alleen met het gezag van den uitvinder te rade te gaan, heb ik de tonen van de reeds boven genoemde groote stemvork, waarvan de toonhoogte door het verschuiven van loopgewichten kon worden gevarieerd van 50 tot 25 trillingen per secunde, met die van de lamelle vergeleken. Daalt men nu met de stemvork in trillingsgetal, zoo verkrijgt men een continuee reeks, die zich onmiddellijk voortzet in de tonen, die men met de lamelle kan voortbrengen. Waren er boventonen ontstaan, zoo zoude men die hier of daar hebben gehoord bij het dalen in de reeks van tonen. Bij de tonen, die de stemvork bij het aanslaan gaf, hoorde men evenmin iets van boventonen. Daar de resultaten der proefnemingen van APPUNN m. i. door hem vaag zijn aangegeven, kwam het mij zeer wenschelijk voor, daarvan eene verdere uitwerking en toelichting te geven.

3. De bepaling van de bovengrens van onze toonschaal is door mij verricht met het zoogenaamde Galton-fluitje. GALTON<sup>1)</sup> dan deed ons een instrument kennen, om hooge tonen voort te brengen en die in bepaalde getallen uit te drukken, waartoe geen ander instrument ons in staat stelde. Het Galton-fluitje heeft reeds zijn naam gevestigd in de oorheelkunde, en is gebleken voor praktische doeleinden zeer geschikt te zijn. In een oogwenk kan men de geheele reeks van tonen, die de bovengrens van het menselijke gehoor omvatten, er mede voortbrengen. Daar het bij ons nog betrekkelijk onbekend is, is de beschrijving daarvan hier wel op zijne plaats.

Het bestaat namelijk uit een kort gesloten orgelpijpje met een diameter van 3 m.M. bij eene lengte van hoogstens 12 m.M., als het geheel is uitgeschroefd; met behulp van een kleinen caoutchoucballon wordt het aangeblazen.

<sup>1)</sup> Nature. March 1883. volume XXVII.

Een micrometerschroef regelt de lengte van het pijpje en daarmede de hoogte van den toon. Is de schroef nagenoeg geheel ingedraaid en de lengte van het pijpje dus slechts een deel van een millimeter, dan hoort men geen toon, maar alleen het blazen van den ballon. Eerst bij verdere verlenging van het pijpje wordt de eerste toon merkbaar; op dat oogenblik leest men de lengte af, hetgeen tot op twintigsten van een millimeter kan geschieden.

Het door mij gebruikte fluitje, dat aan het militair hospitaal alhier toebehoorde, geraakte defect en bij de pogingen om het te herstellen werd de juiste constructie er van duidelijk. Het bestaat namelijk uit 2 massieve cylinders van geel koper, behalve een zeer klein cylindertje, dat er in gesoldeerd is. De afmetingen van het laatstgenoemde zijn, gemeten met een diktepasser, de volgende: doorsnede 3,44 m.M., hoogte 2,42 m.M.; bovendien was het aan drie aan elkaar grenzende zijden prismatisch afgeslepen. De breedte van ieder dier drie zijvlakken

bedraagt 1 mM., en te zamen nemen zij  $113^{\circ}$  van den omtrek van het cylindertje in. Aan de eene zijde is het orgelpijpje dus afgesloten door dit daarin vastzittend cylindertje, aan de andere zijde door een ander, dat door middel van eene schroef beweeglijk is, en waardoor dus de orgelpijp korter of langer kan gemaakt worden. Laatstgenoemd cylindertje bezit eene hoogte van 5,60 mM., bij eenen diameter van 3,10 mM.

De lucht nu moet bij aanblazing langs de prismakanten van het vastgesoldeerde cylindertje naar buiten ontwijken en zoo het spleetje bereiken; het cylindertje is waarschijnlijk zoodanig aangebracht, dat de vlakken der prisma's naar die zijde van het orgelpijpje zijn gekeerd, waar het spleetje is aangebracht.

Het bleek, dat de toonhoogte van het fluitje eenigszins kon geregeld worden door het cylindertje hooger of lager aan te brengen, en dat vooral door draaiing er van zich het bijgeruisch liet regelen.

De oorzaak wordt hiermede dus ook duidelijk

waardoor zoovele dezer fluitjes een onaangenaam nevengeruisch doen hooren. Men heeft haar te zoeken in een niet volkomen juiste plaatsing van het bovenste cylindertje, dat gesoldeerd is; dat de goede bevestiging daarvan vele bezwaren oplevert, is zeer begrijpelijk, aangezien zij eenigszins in den blinde moet geschieden. Hoewel ik herhaalde pogingen in het werk stelde om het cylindertje weder op zijn vroegere plaats te brengen, zoo mocht het mij evenwel niet gelukken; nevengeruischen bleven bestaan en ook de regeling der toonhoogten met betrekking tot de schaal verschilde met die van vroeger.

Het nadeel van het Galton-fluitje is hierin gelegen, dat men het trillingsgetal van het voortgebrachte geluid slechts bij benadering kan berekenen. Wel bestaan er formules voor de berekening der trillingsgetallen van tonen, die gesloten orgelpijpen geven, maar zij zijn op deze buitengewoon geringe lengten niet van toepassing. Om de toonhoogte dus te leeren

kennen schiet er niets anders over, dan vergelijking met andere nauwkeurig bekende geluidsbronnen. Zoodanige nu bezitten wij gelukkig in de KÖNIG'sche klankstaven. Deze zijn korte stalen staven, uit éene lange, waarvan men de toonhoogte bepaald heeft, gesneden. Alsdan kan men door berekening de toonhoogte van de eene regelmatige reeks vormende staven vinden. De staven zijn aan draden opgehangen, zoodanig, dat de ophangpunten zich op de plaatsen der knooppunten bevinden; zij worden met een metalen hamer aangeslagen. Het militair hospitaal alhier is in het bezit van 10 zoodanige staven, drie octaven omvattend; zij nemen regelmatig in lengte af.

Bij vergelijking nu vond Dr. ZWAARDEMAKER de volgende cijfers:

1,25 m.M. van de schaal van het Galton-fluitje stemde overeen met klankstaaf  $mi^9$  van 20480 trillingen,

1,8 m.M. stemde overeen met klankstaaf  $ut^9$  van 16384 trillingen.

3,8 m.M. stemde overeen met klankstaaf  $sol^8$  van 12288 trillingen.

9,0 m.M. stemde overeen met klankstaaf  $ut^8$  van 8192 trillingen.

De twee bovenste gelijkstellingen zijn het uitvloeisel van een groot aantal, dikwijls herhaalde, vergelijkende bepalingen bij patienten, en hebben dus eene grootere waarde dan de twee onderste, die eenvoudig door stemming werden verkregen.

Wanneer iemand zich een denkbeeld wil maken van de zooeven genoemde groote toonhoogten, zoo zij opgemerkt, dat volgens de schatting van WOLLASTON het gesjilp van eene musch met 5000 trillingen, en het tsjirpen van een krekel met 20000 trillingen overcenstemt. Met het Galton-fluitje kan men deze geluiden, ook wat timbre aangaat, gemakkelijker nabootsen dan met de klankstaven.

Wat de toepassing van het fluitje in de praktijk der oorheelkunde betreft, zoo heeft vooral BURCKHARDT-MERIAN in eene voordracht op het

III<sup>e</sup> Internationale congres<sup>1)</sup>, er veel toe bijgedragen om de opneming er van in het oorheelkundig armamentarium te bevorderen, en op de waarde er van vooral voor de diagnostiek gewezen. Ook Dr. ZWAARDEMAKER heeft het nut der toepassing van het instrumentje in de praktijk voldoende bewezen; hij beschreef<sup>2)</sup> de verhoudingen der hooge tonen bij chronisch katarrhale ontstekingen van het middenoor, bij sclerotische katarrh en bij otorrhoe; tevens zijn genoemde aandoeningen met de verhouding tot de hooge tonen beschouwd op verschillende leeftijd der patienten.

Verder heeft hij met het Galton-fluitje de grens bepaald voor den hoogst hoorbaren toon en hare afhankelijkheid van den leeftijd het eerst nader onderzocht. Hij vond namelijk, dat de bovengrens van het menschelijk gehoor geleidelijk daalt met het klimmen der jaren.

<sup>1)</sup> Archiv für Ohrenheilkunde, Bd. XXII Heft 3 en 4.

<sup>2)</sup> Weekblad van het Tijdschrift voor Geneeskunde van 13 December 1890.

Het reeds vroeger waargenomen verschijnsel, dat het kind hoogere tonen hoort dan de volwassene, en deze weer hoogere dan de grijsaard, heeft hij nader gedefiniëerd en door cijfers aangetoond.

Als levenstijdperken werden aangenomen:

1<sup>o</sup>. de kindsheid, gerekend tot aan de puberteit: 14 jaar.

2<sup>o</sup>. de adolescentie, gerekend tot aan de voltooing van den beengroei, tot 25 jaar.

3<sup>o</sup>. de volwassen leeftijd, eenigszins willekeurig van 25—40 jaren gerekend.

4<sup>o</sup>. de rijpere jaren van 40—55 jaar.

5<sup>o</sup>. de ouderdom, d.i. boven 55 jaar.

De bovengrens van het gehoor in deze op-eenvolgende perioden werd met de klankstaven als volgt bevonden:

in de kindsheid bij mi<sup>9</sup>,

in de adolescentie een halve toon lager,

op den volwassen leeftijd tusschen mi<sup>9</sup> en ut<sup>9</sup>,

in de rijpere jaren tusschen ut<sup>9</sup> en sol<sup>8</sup>,

Drukt men deze waarden uit in de schaal

van het fluitje, dan komt men tot de volgende cijfers voor de bovengrens van het gehoor:

in de kindsheid bij 1,25,

in de adolescentie bij 1,3 à 1,4,

op den volwassen leeftijd bij 1,4 à 1,7,

in de rijpere jaren bij 1,7 à 3,6,

in den ouderdom bij 2,5 à 4.

Gaat men bovengenoemde cijfers nauwkeurig na, zoo komt men tot de volgende conclusieën:

1°. Dat wij het bovenstuk van onze toonladder geleidelijk verliezen.

2°. Dat dit verouderingsproces in de kindsheid reeds aanvangt en in den ouderdom een zoo hoogen graad bereikt, dat het met betrekkelijk grove middelen kan worden aangetoond.

De verklaring der aldus door Dr. ZWAARDEMAKER opgestelde regels zoekt hij in eigenaardigheden, die den beenigen schedel toekomen, namelijk in het feit, dat deze zijne beengeleiding verliest met het klimmen der jaren. Een jong mensch hoort den toon eener stemvork, die zwak wordt aangeslagen, onmiddellijk, als men haar

op de kruin plaatst. Een persoon van meer dan 60 jaar oud, hoort dezen niet meer, ook al slaat men de stemvork krachtig aan; tusschen 50 en 60 jaar is de beengeleiding van de kruin naar het oor soms aan-, soms afwezig.

Bij het stijgen der jaren vermindert dus het vermogen om door beengeleiding tonen waar te nemen; het ligt derhalve voor de hand, om verband te zoeken tusschen deze beide verouderingsverschijnselen. Grooten steun vindt deze verklaring, dat nl. de hoogste tonen van de toonladder door de schedelbeenderen worden opgevangen en dan rechtstreeks door beengeleiding en niet langs de keten der gehoorbeentjes naar het binnenoor worden overgebracht, in waarnemingen van BURCKHARDT-MERIAN en van BEZOLD.

Eerstgenoemde vond, dat bij verwoesting van het slakkenhuis aan ééne zijde en vaste afsluiting der andere gehoorgang, hooge tonen volkomen goed werden waargenomen. Opmerkenswaardig is nog het feit, dat reeds zoo vroeg in het leven

het verlies der hooge tonen begint en dus volgens bovengenoemde veronderstelling ook dat der beengleiding. Dat het verlies der hooge tonen zoude berusten op seniele verandering van het geleidingstoestel, namelijk de keten van trommelvlies en gehoorbeentjes, is onwaarschijnlijk, omdat bij verbreking of belemmering in de beweging van deze door meer gevorderde ziekteprocessen, de hoogste tonen even volkomen gehoord worden als bij normale personen, ten minste zoo lang zij jong zijn.

In aansluiting hieraan laat ik de door mij genomen proeven volgen.

Vooraf echter een enkel woord betreffende het blaasinstrumentje, dat aan het door mij gebruikte Galton-fluitje was aangebracht. Dit was, als volgt, ingericht<sup>1)</sup>: een glazen trechtertje, waarover een caoutchouc membraan was gespannen, in welker midden een gewone

<sup>1)</sup> Zie het weekblad van het Tijdschrift voor Geneeskunde 1892. Deel I N<sup>o</sup>. 16.

beenen manchettenknoop was vastgemaakt, was verbonden aan het boven einde van het fluitje door middel van eene elastieken slang. Door den knop van den manchettenknoop even diep en in gelijk tempo omlaag te drukken, brengt men eene compressie van den luchtinhoud te weeg, die telkenmale even groot is; de indrukking geschiedt iederen keer met dezelfde snelheid. De intensiteit van aanblazen is dus constant. Het doel dezer inrichting is in de eerste plaats om een nevengeruisch, dat vele der fluitjes bezitten, minder hoorbaar te doen zijn. Dit geruisch bestaat uit een scherp suizen, veroorzaakt door het naar buiten dringen der lucht door het spleetje. Eerst na eenige oefening gelukt het zich te abstraheeren van dit blazen, dat waarschijnlijk een aanblazingsgeruisch is van ons eigen oor, namelijk van onze oorschelp en gehoorgang; evenals dit het geval is bij de schelpen aan het strand, wanneer de wind de lucht daarin in beweging brengt. Men kan dit nevengeruisch van het Galton-fluitje bijkans ge-

heel doen verdwijnen bij eene bepaalde kracht van aanblazen, als men het niet met een caoutchouc ballon, maar zachtjes met den mond aanblaast. Daar dit zijne eigenaardige bezwaren heeft, en de kracht van aanblazen dan niet altijd dezelfde is, is bovengenoemd apparaatje vervaardigd. Het voordeel, dat deze kracht constant is, is van veel belang om de waarnemingen vergelijkbaar te doen zijn; want de intensiteit van een toon is voor een deel afhankelijk van het aanblazen. Het bij mijne proeven gebruikte fluitje was niet volkomen vrij van eenig nevengeruisch, maar toch was dit zóó onbeteekenend, dat de waarneming der hoogste tonen er zeer weinig door geschaad werd. Om dat nevengeruisch zooveel mogelijk buiten te sluiten, was dan ook bovengenoemde inrichting aangebracht.

In het algemeen gaf de schaal van mijn Galton-fluitje bij het langzamerhand inschroeven, en dus bij het verkorten van het orgelpijpje, vrij lage cijfers aan, ongeveer 0,1 m.M. lager

dan dat van Dr. ZWAARDEMAKER. Het is trouwens eene bekende zaak, dat deze instrumentjes alle eenigszins verschillen, al is het ook slechts weinig. Bovendien leert de ervaring, dat er onder de fluitjes uit dezelfde fabriek, (de drie, welke ik in handen kreeg, waren alle te Basel door WALTER BIONDETTI vervaardigd) meerdere zijn, die zoovele nevengeruischen geven, dat ze voor eene meer nauwkeurige bepaling onbruikbaar zijn.

Nog verdient vermelding, dat bij de allerhoogste tonen het verschil tusschen twee opeenvolgende tonen veel grooter is dan bij de minder hooge; iemand zal dus veel gemakkelijker 1, 3; 1, 4 en 1, 5 van elkaar onderscheiden dan 2, 3; 2, 4 en 2, 5 en bij de hoogere cijfers wordt dit verschijnsel hoe langer hoe sterker. De trillingsgetallen nemen dan ook niet gelijkmatig voor de opeenvolgende deelstrepen der schaal toe; dus behoeft men zich over dit verschijnsel geenszins te verwonderen.

Eigenaardig is het, dat de zeer hooge tonen

evenzeer als de zeer lage zich als zoo uiterst zwak doen kennen; daarin heeft men ook de reden te zoeken, waarom de bepaling der toongrenzen aan de verschillende onderzoekers zoo vele moeilijkheden heeft in den weg gelegd. Ook bij de door mij gebruikte toestellen zijn de overgangen tusschen het hooren van een toon en het niet meer hooren van dezen zeer geleidelijk. Voor de hooge tonen heeft het oogenblik, waarop men het scherpste blazen hoort en geen fluiten met dat, waarop men nevens het blazen nog fluiten hoort, zeer veel overeenkomst. Hetzelfde geldt voor de lage tonen, wat de waarneming van toon en het aan de grens daarmede gepaard gaande geflapper aangaat.

Ongaarne zoude ik mij aan eene verklaring van dit verschijnsel wagen; eene vergelijking met eene misschien overeenstemmende verklaring van de amblyopia ex anopsia zij mij slechts geoorloofd.

Het is namelijk een bekend feit, dat een oog, dat in de jeugd van het binoculaire zien is uit-

gesloten, ook een geringere gezichtsscherpte bezit, en men heeft de oorzaak daarvan gezocht in eene gebrekkige ontwikkeling van het cerebrale gezichtscentrum. Zouden nu niet evenzoo voor ons vele tonen uiterst zwak zijn, andere onhoorbaar, omdat we die in het dagelijksch leven zelden of nooit te hooren krijgen, en aan ons oor dus elke oefening ontbreekt om dergelijke tonen waar te nemen, althans die tot perceptie te brengen?

---

#### UITDRUKKING VAN DE GALTON-SCHAAL IN WERKELIJKE TOONSHOOGTEN.

Eindelijk heb ik mij nog tot onderwerp mijner onderzoekingen gesteld, de schaal van het Galton-fluitje uit te drukken in werkelijke toonshoogten. De cijfers toch, daarop aangegeven, hebben daarom betrekkelijk minder waarde, omdat zij geenszins de trillingsgetallen aangeven, maar slechts maten zijn van eene geheel willekeurig

gekozen schaal. Wel bestaan er fluitjes, waarop men direct de gevonden grenswaarde in trillingsgetallen vindt uitgedrukt, maar zij zijn zoo weinig betrouwbaar, dat ze geheel buiten rekening kunnen worden gelaten. Hoogstwaarschijnlijk zijn voor deze de trillingsgetallen eenvoudig berekend volgens de gewone regels, die gelden voor gesloten orgelpijpen van middelmatige afmetingen, die voor zulke kleine orgelpijpen als het Galton-fluitje in 't geheel niet meer van toepassing zijn. Zij zijn door een instrumentmaker uit Londen vervaardigd en zijn weinig bekend, waarschijnlijk ook wel, omdat ze geringe praktische waarde bezitten.

In een groot aantal gevallen, bij patienten waargenomen, is geconstateerd, gelijk reeds vroeger in dit hoofdstuk werd vermeld, dat 1,25 van de schaal van het Galton-fluitje overeenkomt met klankstaaf  $m^9$  van 20480 trillingen. Deze waarde werd gevonden door eerst de grens van den hoogsten toon met het fluitje te bepalen, en daarna den onderzochten persoon de klankstaaf

te laten aangeven, die voor hem den hoogst waarneembaren toon gaf; deze grootheden werden dan gelijk gesteld. Daar de personen, die een hooger cijfer der schaal als hoogst waarneembaren toon aangeven, zeldzaam zijn, kon op deze wijze met vrij groote zekerheid slechts voor één getal eene overeenkomstige waarde gesteld worden. Ook het trillingsgetal, dat aldus voor 1,8 werd bepaald, ligt waarschijnlijk niet ver van de waarheid. Voor de hoogere cijfers der schaal moesten echter de trillingsgetallen door directe stemming verkregen worden, eene minder nauwkeurige methode, daar het vergelijken van klanken van zoo verschillenden aard zeer moeilijk is. Daarom werd naar een ander middel omgezien om de schaal van het Galton-fluitje in werkelijke toonhoogten uit te drukken, en de hier te eschrijven proef in het werk gesteld.

Wij bedienden ons van eene glazen buis, die ongeveer de doorsnede van eene reageerbuis bezat, en voorzien was van een zijdelings aan-

gesmolten dunnere buis, die door eene caoutchoucslang met het oor kon worden verbonden. In de hoofdbuis werd het fluitje, waaraan aan de bovenzijde een dun caoutchouc-slangetje was aangebracht, bevestigd.

Het slangetje was aan de andere zijde met een gashouder in verbinding gebracht, terwijl een zeer kleine dubbelballon tusschen beide ingeschakeld was. Vulde men nu den gashouder met het eene of andere gas, of met een mengsel van lucht en gas, zoo kon men dit door middel van den dubbelballon in het Galton-fluitje drijven. Op de gewone wijze kon men door den ballon zacht samen te drukken de hooge tonen van het fluitje doen hooren en dus de hoogste toongrens bepalen bij het doorstroomen van gassen.

Aldus zijn de hier vermelde proefnemingen door ons verricht voor het gewone licht- of steenkolengas, en mengsels daarvan met lucht in verschillende verhoudingen.

De daarbij gevonden waarden, voor onze

ooren bepaald, en wel wegens de inrichting van den toestel op een afstand van ongeveer 30 cM. van het fluitje, zijn de volgende:

|                                              | Dr. Z.             | C.                |      |
|----------------------------------------------|--------------------|-------------------|------|
| lucht . . . . .                              | 1,75<br>1,7        | 1,3<br>1,3        | 1,30 |
| $\frac{1}{4}$ gas + $\frac{3}{4}$ lucht. . . | 2,4<br>2,4<br>2,25 | 1,8<br>1,8<br>1,6 | 1,73 |
| $\frac{1}{2}$ gas + $\frac{1}{2}$ lucht. . . | 2,9<br>3,0<br>2,9  | 2,4<br>2,4<br>2,3 | 2,37 |
| $\frac{3}{4}$ gas + $\frac{1}{4}$ lucht. . . | 3,8<br>3,9         | 3,1<br>3,3        | 3,20 |
| gas . . . . .                                | 4,5<br>4,8<br>5,0  | 3,9<br>3,8<br>4,0 | 3,90 |

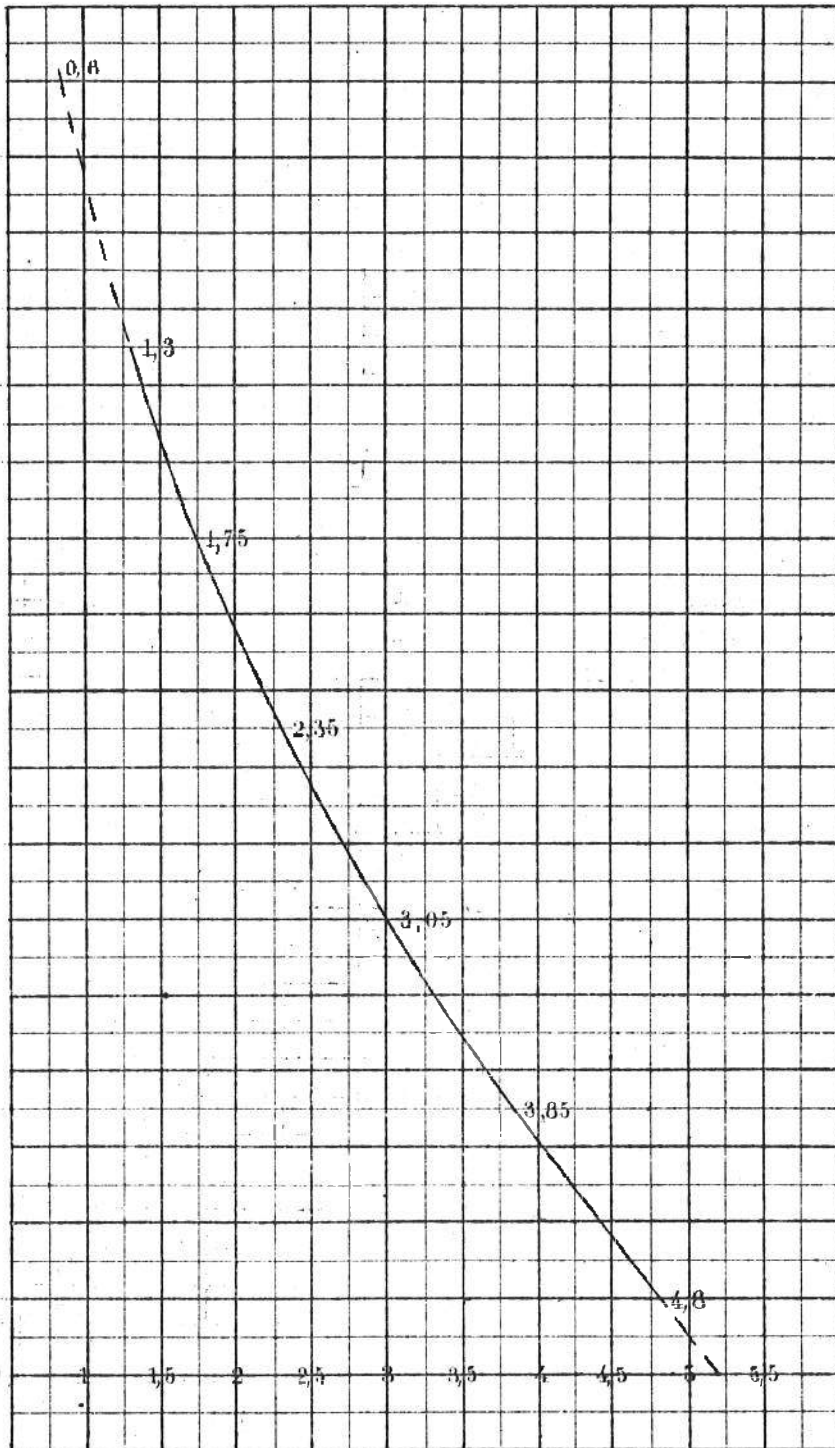
Uit deze gegevens laat zich in het algemeen voor het Galton-fluitje de kromme voor de hoogste octaaf der menschelijke toonladder bepalen. Immers tusschen de boven aangegeven

waarden bestaat een vast interval, welke breedte dat ook moge hebben.

Tusschen 1,30 en 1,75 van de schaal van het fluitje bestaat dus hetzelfde interval, als tusschen 1,75 en 2,35; en tusschen 2,35 en 3,05 etc.

In nevensgaande teekening nu zijn op de lijn der abscissen de getallen der Galton-schaal aangegeven en op die der ordinaten zijn de intervallen afgezet. Tusschen de hooge toongrenzen van Dr. ZWAARDEMAKER en mij is het interval geheel willekeurig gesteld op 2,5 cM. Daarmede is dus de kromme bepaald, welke ook de toonhoogte of de grootte van het interval moge zijn. Physische berekening leert, dat de tonen, die een orgelpijpje voortbrengt, wanneer dit eerst met lucht en dan met lichtgas<sup>1)</sup> wordt aangeblazen, wat hunne trillingsgetallen betreft, in eene verhouding staan als 1 : 1,54. Deze verhouding beantwoordt aan het quint interval;

<sup>1)</sup> Het soortelijk gewicht van het door ons gebezigde lichtgas bedroeg: 0,39.



vandaar dat de afstand van 1,3 tot 3,8 en evenzoo van 1,75 tot 4,8 een gelijk verschil maken. Dit interval vertegenwoordigt eene waarde van 7 halve tonen; en het interval, dat tusschen onze hooge toongrenzen bestaat, is gelijk aan het 4<sup>e</sup> gedeelte daarvan, zooals uit de teekening blijkt, en dus gelijk aan  $\frac{7}{4} = 1\frac{3}{4}$  halve toon. De geheele breedte der lijn beweegt zich tusschen 1,3 en 4,8, d. i. dus over  $\frac{3}{4}$  octaaf. De loop der lijn is dus vastgesteld; echter niet de absolute toonhoogte. Nu komt, gelijk reeds op blz. 83 is vermeld, 1,25 der Galton-schaal overeen met ongeveer 20480 trillingen; daarvan uitgaande laat zich nu met bovengenoemde gegevens elke deelstreep van de schaal in een toon van een bepaald trillingsgetal uitdrukken. In plaat IV is dit door mij verricht.

Mocht nu later blijken, dat bovengenoemd trillingsgetal niet volkomen juist is, dan ware toch zeer gemakkelijk eene correctie aan te brengen; de geheele graphische voorstelling zoude

dan slechts een weinig verschoven behoeven te worden, terwijl de onderlinge verhouding der cijfers toch dezelfde bleef en dus ook de loop der kromme.

---

#### B. RESULTATEN.

Het totaal aantal der door mij onderzochte personen bedroeg 102: 65 van het mannelijk en 37 van het vrouwelijk geslacht. Bij 15 van deze was slechts 1 oor voor het onderzoek geschikt, zoodat mijne gegevens zich uitstrekken over 189 ooren.

Het is mijn doel, om hier vooreerst het resultaat der bepalingen voor elken door mij onderzochten persoon afzonderlijk te vermelden, om later ter vergemakkelijking van het overzicht enkele graphische voorstellingen ter kennis te brengen. Daar na het doen van eenige onderzoekingen het door mij gebruikte Galton-fluitje niet meer geschikt was voor het maken eener

juiste bepaling, was ik genoodzaakt dat van Dr. ZWAARDEMAKER te gebruiken.

De schaal van dat fluitje gaf bij denzelfden persoon iets hoogere cijfers aan voor de toongrens dan die van het oorspronkelijk door mij gebruikte, zoodat ik het voor een beter vergelijk wenschelijk vond het verschil van 0,1 mM. van de getallen, met het laatste fluitje gevonden, af te trekken. De aldus verkregen waarden zijn door mij in de volgende tabel met vette cijfers aangegeven.

| N A A M.    | Leeftijd.   | Bepaling met toestel van APPUNN. | Bepaling met GALTON fluitje. | Gehoorscherppte. (fluisterstem.) |
|-------------|-------------|----------------------------------|------------------------------|----------------------------------|
| J. H.       | Jaar.<br>10 | R 10<br>L 10                     | R 1,1<br>L 1,1               | > 12 M.                          |
| G. v. M.    | 12          | R 9<br>L 9                       | R 1,2<br>L 1,2               | > 12 M.                          |
| J. J.       | 12          | R 9<br>L 9                       | R 1,1<br>L 1,1               | > 12 M.                          |
| G. v. A.    | 13          | R 9<br>L 9                       | R 1,1<br>L 1,1               | > 12 M.                          |
| N. v. W.    | 13          | R 11<br>L 11                     | R 0,8<br>L 0,8               | > 28 M.                          |
| H. W. T.    | 13          | R 9<br>L 9                       | R 0,9<br>L 0,9               | > 9 M.                           |
| J. S.       | 13          | R 11<br>L 11                     | R 0,8<br>L 0,8               | > 9 M.                           |
| W. B.       | 14          | R 11<br>L 11                     | R 1,2<br>L 1,1               | R > 12 M.<br>L                   |
| W. A. v. K. | 14          | R 11<br>L 11                     | R 1,3<br>L 1,3               | R > 12 M.<br>L                   |
| P. v. M.    | 14          | R —<br>L 10                      | R —<br>L 1,3                 | R verminderd.<br>L > 12 M.       |
| M. Z.       | 15          | R 10<br>L —                      | R 1,3<br>L —                 | R > 12 M.<br>L verminderd.       |

| N A A M.       | Leeftijd. | Bepaling met toestel van APPUNN. | Bepaling met GALTON-fluitje. | Gehoorscherppte. (fluisterstem.) |
|----------------|-----------|----------------------------------|------------------------------|----------------------------------|
| J. B.          | Jaar. 15  | R 9<br>L 9                       | R 1,1<br>L 1,1               | R > 9 M.                         |
| R. M.          | 16        | R 9<br>L 9                       | R 1,2<br>L 1,2               | R > 12 M.                        |
| C. W.          | 17        | R 9<br>L 10                      | R 1,1<br>L 1,1               | R > 12 M.                        |
| J. Z.          | 17        | R 10<br>L 10                     | R 1,3<br>L 1,3               | R > 12 M.                        |
| A. v. D.       | 18        | R 10<br>L 10                     | R 1,1<br>L 1,1               | R > 28 M.                        |
| A. D.          | 18        | R 11<br>L —                      | R 1,2<br>L —                 | R > 9 M.<br>L verminderd.        |
| J. J. H.       | 19        | R 11<br>L 11                     | R 0,9<br>L 0,9               | R > 28 M.                        |
| C. K.          | 19        | R 10<br>L 10                     | R 0,9<br>L 0,9               | R > 12 M.                        |
| J. B.          | 19        | R 13<br>L 13                     | R 1,2<br>L 1,2               | R > 12 M.                        |
| J. B.          | 20        | R 9<br>L 9                       | R 1,2<br>L 1,2               | R > 28 M.                        |
| J. F. C. v. B. | 20        | R 11<br>L 11                     | R 1,0<br>L 1,0               | R > 28 M.                        |

| N A A M.       | Leeftijd. | Bepaling met toestel van APPUNN. | Bepaling met GALTON-fluitje. | Gehoorscherppte. (fluisterstem.) |
|----------------|-----------|----------------------------------|------------------------------|----------------------------------|
| J. P.          | Jaar. 20  | R 10<br>L 10                     | R 1,0<br>L 1,0               | R > 28 M.                        |
| T. H. v. R.    | 20        | R 11<br>L 11                     | R 1,2<br>L 1,2               | R > 12 M.                        |
| J. H.          | 20        | R 10<br>L 10                     | R 1,2<br>L 1,2               | R > 12 M.                        |
| G. I.          | 21        | R 12<br>L 12                     | R 1,0<br>L 1,0               | R > 28 M.                        |
| H. J. v. D. S. | 21        | R 10<br>L 10                     | R 1,3<br>L 1,3               | R > 28 M.                        |
| Mej. v. W.     | 21        | R 12<br>L 12                     | R 1,3<br>L 1,3               | R > 8 M.                         |
| Mej. V.        | 22        | R 11<br>L 11                     | R 1,2<br>L 1,2               | R > 8 M.                         |
| A. H.          | 22        | R 9<br>L 9                       | R 1,2<br>L 1,2               | R > 28 M.                        |
| J. A. E.       | 23        | R 11<br>L 11                     | R 1,1<br>L 1,1               | R > 28 M.                        |
| W. G. J. K.    | 23        | R 10<br>L 9                      | R 0,9<br>L 0,9               | R > 20 M.                        |
| J. P. W.       | 24        | R 9<br>L 9                       | R 1,2<br>L 1,2               | R > 28 M.                        |

| N A A M.   | Leeftijd. | Bepaling met toestel van APPUNN. | Bepaling met GALTON-fluitje. | Gehoorscherppte. (fluisterstem.) |
|------------|-----------|----------------------------------|------------------------------|----------------------------------|
| W. v. B.   | Jaar. 24  | R 11<br>L 11                     | R 1,3<br>L 1,3               | R > 12 M.                        |
| J. T. V.   | 25        | R 11<br>L 11                     | R 1,4<br>L 1,4               | R > 28 M.                        |
| Mej. v. W. | 26        | R 10,5<br>L 10,5                 | R 1,2<br>L 1,2               | R > 8 M.                         |
| N. J. C.   | 26        | R 10<br>L 10                     | R 1,2<br>L 1,2               | R > 28 M.                        |
| B. P. V.   | 26        | R 12<br>L 12                     | R 1,2<br>L 1,2               | R > 12 M.                        |
| Ph. H. P.  | 26        | R 9,5<br>L 9,5                   | R 1,1<br>L 1,1               | R > 28 M.                        |
| C. C. V.   | 27        | R 12<br>L 12                     | R 1,2<br>L 1,2               | R > 28 M.                        |
| Mevr. T.   | 28        | R 10<br>L 10                     | R 1,3<br>L 1,3               | R > 8 M.                         |
| A. E. K.   | 28        | R 10<br>L 10                     | R 1,0<br>L 1,0               | R > 28 M.                        |
| J. J. H.   | 29        | R 12<br>L 12                     | R 1,2<br>L 1,2               | R > 28 M.                        |
| A. J. W.   | 29        | R 9<br>L 9                       | R 1,3<br>L 1,3               | R > 28 M.                        |

| N A A M.  | Leeftijd. | Bepaling met toestel van APPUNN. | Bepaling met GALTON-fluitje. | Gehoorscherppte. (fluisterstem.) |
|-----------|-----------|----------------------------------|------------------------------|----------------------------------|
| J. Z.     | Jaar. 29  | R 12<br>L 12                     | R 1,4<br>L 1,4               | R > 8 M.                         |
| Mevr. Z.  | 30        | R 10,5<br>L 10,5                 | R 1,3<br>L 1,3               | R > 8 M.                         |
| M. J. D.  | 31        | R 12<br>L —                      | R 1,2<br>L —                 | R > 28 M.<br>L verminderd.       |
| N. H. D.  | 32        | R 11<br>L 11                     | R 1,4<br>L 1,4               | R > 28 M.                        |
| T. S.     | 32        | R 10<br>L 11                     | R 1,4<br>L 1,4               | R > 20 M.                        |
| T. G. S.  | 33        | R 11<br>L 11                     | R 1,2<br>L 1,2               | R > 28 M.                        |
| Mej. T.   | 33        | R 14<br>L 14                     | R 1,3<br>L 1,3               | R > 8 M.                         |
| Dr. H. Z. | 35        | R 10<br>L 10                     | R 1,2<br>L 1,2               | R > 28 M.                        |
| K. H. W.  | 36        | R 9<br>L 9                       | R 1,4<br>L 1,4               | R > 28 M.                        |
| S. S.     | 37        | R 10<br>L 10                     | R 1,3<br>L 1,3               | R > 28 M.                        |
| W. H.     | 39        | R 11<br>L 11                     | R 1,3<br>L 1,3               | R > 28 M.                        |

| N A A M.    | Leeftijd. | Bepaling met toestel van APPUNN. | Bepaling met GALTON-fluitje. | Gehoorscherppte. (fluisterstem.) |
|-------------|-----------|----------------------------------|------------------------------|----------------------------------|
| J. R.       | Jaar. 41  | R 12<br>L 12                     | R 1,5<br>L 1,5               | R > 20 M.                        |
| J. G. D. G. | 41        | R 12<br>L 12                     | R 1,2<br>L 1,2               | R > 28 M.                        |
| J. v. S.    | 41        | R 12<br>L 12                     | R 1,4<br>L 1,4               | R > 28 M.                        |
| J. K.       | 42        | R 12<br>L 12                     | R 1,3<br>L 1,3               | R > 28 M.                        |
| W. J. D.    | 42        | R 10<br>L 10                     | R 1,3<br>L 1,3               | R > 28 M.                        |
| A. G.       | 45        | R 11<br>L 11                     | R 1,5<br>L 1,5               | R > 28 M.                        |
| A. G. M. B. | 46        | R 10<br>L 10                     | R 1,4<br>L 1,4               | R > 28 M.                        |
| W. v. B.    | 49        | R 9<br>L 9                       | R 1,5<br>L 1,5               | R > 28 M.                        |
| T. v. D. B. | 50        | R 11<br>L 11                     | R 1,6<br>L 1,6               | R > 28 M.                        |
| J. A. R.    | 50        | R 11<br>L 11                     | R 1,6<br>L 1,6               | R > 28 M.                        |
| S. J. T.    | 50        | R 12<br>L 12                     | R 2,5<br>L 2,5               | R > 8 M.                         |

| N A A M.       | Leeftijd. | Bepaling met toestel van APPUNN. | Bepaling met GALTON-fluitje. | Gehoorscherppte. (fluisterstem.) |
|----------------|-----------|----------------------------------|------------------------------|----------------------------------|
| M. J. B.       | Jaar. 51  | R —<br>L 10                      | R —<br>L 2,5                 | R verminderd.<br>L > 12 M.       |
| A. J. B.       | 51        | R 11<br>L 11                     | R 1,4<br>L 1,4               | R > 20 M.                        |
| J. J. B.       | 52        | R 12<br>L 12                     | R 1,5<br>L 1,5               | R > 12 M.                        |
| H. T.          | 55        | R 13<br>L 13                     | R 2,3<br>L 2,3               | R > 12 M.                        |
| H. G. A. W. E. | 55        | R 15<br>L 15                     | R 2,4<br>L 2,4               | R > 8 M.                         |
| Mevr. V.       | 56        | R 15<br>L 15                     | R 2,0<br>L 2,0               | R > 8 M.                         |
| H. v. D. B.    | 57        | R 12<br>L —                      | R 4,3<br>L —                 | R > 8 M.<br>L verminderd.        |
| C. D. K.       | 60        | R 15<br>L 15                     | R 4,1<br>L 4,3               | R > 8 M.                         |
| C. R.          | 61        | R 14<br>L 14                     | R 3,8<br>L 3,8               | R > 8 M.                         |
| J. v. D. V.    | 61        | R 14<br>L —                      | R 4,0<br>L —                 | R > 8 M.<br>L verminderd.        |
| S. J. v. L.    | 61        | R 12<br>L —                      | R 1,8<br>L —                 | R > 8 M.<br>L verminderd.        |

| N A A M.    | Leeftijd. | Bepaling met toestel van APPUNN. | Bepaling met GALTON-fluitje. | Gehoorscherppte. (fluisterstem.) |
|-------------|-----------|----------------------------------|------------------------------|----------------------------------|
| G. v. G.    | Jaar. 64  | R 12<br>L 12                     | R 3,5<br>L 3,3               | R > 8 M.<br>L > 8 M.             |
| K. v. L.    | 64        | R 12<br>L 12                     | R 3,5<br>L 3,2               | R > 8 M.<br>L > 8 M.             |
| P. V.       | 64        | R —<br>L 12                      | R —<br>L 2,4                 | R verminderd.<br>L > 8 M.        |
| E. D. M.    | 64        | R 11<br>L 11                     | R 2,7<br>L 2,2               | R > 8 M.<br>L > 8 M.             |
| J. P.       | 65        | R 13<br>L 13                     | R 3,0<br>L 3,3               | R > 8 M.<br>L > 8 M.             |
| J. v. M.    | 66        | R 14<br>L 19                     | R 1,8<br>L 1,9               | R > 8 M.<br>L > 8 M.             |
| A. M. T. B. | 67        | R —<br>L 13                      | R —<br>L 4,0                 | R verminderd.<br>L > 8 M.        |
| A. C. G.    | 67        | R 11<br>L 11                     | R 2,3<br>L 3,2               | R > 8 M.<br>L > 8 M.             |
| Dr. F.      | 68        | R 13<br>L 13                     | R 2,8<br>L 2,8               | R > 8 M.<br>L > 8 M.             |
| C. L. W.    | 68        | R 11<br>L 11                     | R 1,8<br>L 1,8               | R > 8 M.<br>L > 8 M.             |
| C. R. W.    | 69        | R 12<br>L 12                     | R 3,0<br>L 3,0               | R > 8 M.<br>L > 8 M.             |

| N A A M.    | Leeftijd. | Bepaling met toestel van APPUNN. | Bepaling met GALTON-fluitje. | Gehoorscherppte. (fluisterstem.) |
|-------------|-----------|----------------------------------|------------------------------|----------------------------------|
| A. B.       | 69        | R 16<br>L 13                     | R 2,6<br>L 2,2               | R > 8 M.<br>L > 8 M.             |
| P. H. H.    | 69        | R 12<br>L —                      | R 1,8<br>L —                 | R > 8 M.<br>L verminderd.        |
| G. J. R.    | 70        | R 12<br>L 12                     | R 1,9<br>L 2,2               | R > 8 M.<br>L > 8 M.             |
| J. W. C.    | 71        | R 12<br>L 12                     | R 1,8<br>L 1,8               | R > 8 M.<br>L > 8 M.             |
| H. E.       | 71        | R —<br>L 11                      | R —<br>L 1,9                 | R verminderd.<br>L > 8 M.        |
| J. H. D. J. | 72        | R 15<br>L —                      | R 4,5<br>L —                 | R > 8 M.<br>L verminderd.        |
| J. v. V.    | 72        | R 11<br>L 11                     | R 5,2<br>L 5,2               | R > 8 M.<br>L > 8 M.             |
| M. v. G.    | 73        | R 14<br>L 14                     | R 3,5<br>L 3,5               | R > 8 M.<br>L > 8 M.             |
| J. v. D. Z. | 75        | R 13<br>L 13                     | R 3,3<br>L 3,9               | R > 8 M.<br>L > 8 M.             |
| J. A. S.    | 75        | R 12<br>L 12                     | R 2,2<br>L 2,2               | R > 8 M.<br>L > 8 M.             |
| J. Z.       | 77        | R 11<br>L 11                     | R 2,0<br>L 1,8               | R > 8 M.<br>L > 8 M.             |

| N A A M. | Leeftijd.   | Bepaling met toestel van APPUNN. | Bepaling met GALTON-fluitje. | Gehoorscherppte. (fluisterstem.) |
|----------|-------------|----------------------------------|------------------------------|----------------------------------|
| W. C.    | Jaar.<br>77 | R 13<br>L —                      | R 2,3<br>L —                 | R > 8 M.<br>L verminderd.        |
| H. J. M. | 82          | R 19<br>L 19                     | R 5,2<br>L 5,2               | R > 8 M.<br>L                    |
| C. E. C. | 82          | R 15<br>L —                      | R 4,8<br>L —                 | R > 8 M.<br>L verminderd.        |

## HOOFDSTUK III.

## Algemeene Beschouwingen.

Door de in hoofdstuk II gegeven tabellen, heeft men zich reeds een denkbeeld kunnen vormen van de veranderingen, die onze gehoor-grens met den leeftijd ondergaat; hetgeen aan-schouwelijk is voorgesteld in de graphische voor-stellingen, aan het einde van dit proefschrift geplaatst.

Wat de lage toongrens betreft, zoo blijkt duidelijk in het kort samengevat het volgende:

dat wij het benedenstuk onzer toonladder geleidelijk verliezen, en dat zulks op jeugdigen leeftijd reeds aanvangt.

Wat nu de hooge toongrens aangaat, zoo bevestigen mijne proeven ook het daaromtrent vroeger gepubliceerde, waaruit blijkt, dat beide grenzen zich gelijkelijk verhouden.

De totale breedte, waarover de toonladder inkrimpt van de jeugd tot den ouderdom, blijkt aan het benedeneinde, als men de uiterste waarden berekent 10 trillingen te zijn, en voor de gemiddelde waarden 6 trillingen. Op deze breedte der toonladder staat dit dus voor de eerste gelijk aan een interval van iets meer dan een octaaf, en voor de laatste gelijk aan  $\frac{3}{4}$  octaaf; terwijl aan de bovenzijde de inkorting voor de gemiddelde waarden aan het septime-interval, en voor de uiterste aan het octaaf-interval zal beantwoorden. De inkorting der toonladder is alzoo aan haar boveneinde en aan haar benedeneinde nagenoeg symmetrisch. Wanneer men dus de geheele menschelijke toonladder in de kindsheid gelijk stelt aan iets meer dan 12 octaven, zoo blijkt, die in den ouderdom slechts ruim  $10\frac{1}{4}$  octaaf te omvatten. De omvang van ons gehoor

wordt dus kleiner evenals de omvang der zangstem afneemt met het klimmen der jaren.

Wat aangaat de door mij bepaalde grenswaarden, zoo zijn deze toch niet als absoluut op te vatten. Mocht het later gelukken een apparaat uit te denken, dat de laagste tonen nog intensiever doet zijn door hun eene grootere amplitude te verschaffen, zoo zouden zeker nog lagere trillingsgetallen gevonden worden. Kon men eveneens de hoogste tonen nog versterken, zoo zoude men ook daar tot eene hoogere grenswaarde geraken. Moge dus uit mijne gegevens de absolute grens niet blijken, toch blijft de samenhang met den leeftijd bestaan, zoodat, wanneer we werkelijk over eene maximale geluidsterkte konden beschikken toch de jeugd eene meer uitgebreide toonladder zal blijken te bezitten dan de ouderdom. Daar dit nu vaststaat heb ik mij moeite gegeven om den gang der inkorting met het stijgen der jaren nauwkeurig na te gaan. Zoowel voor lage als voor hoge tonen is dat, gelijk mij voorkomt, met voldoende

zekerheid gelukt. De onderzoekingsmethoden lieten toch toe om voor de lage tonen de inkorting rechtstreeks in trillingsgetallen uit te drukken; en voor de hoge tonen is het gelukt om door physische proefnemingen de cijfers van het Galton-fluitje door tonen weer te geven.

## AANHANGSEL.

Toen ik mijne onderzoekingen reeds geeindigd had, kwam mij ter hand het „Zeitschrift für Ohrenheilkunde, Band XXIII, 3<sup>es</sup> und 4<sup>es</sup> Heft” die twee maanden geleden zijn uitgekomen.

Daarin vond ik „Einige weitere Mittheilungen über die continuirliche Tonreihe, insbesondere über die physiologische obere und untere Tongrenze”, van de hand van professor BEZOLD te München. Ook hij bepaalde de bovengrens van ons gehoor met het Galton-fluitje en vond toen de volgende waarden:

van 10 tot 20 jaar : 1,86.

„ 20 „ 30 „ : 1,81.

„ 30 „ 40 „ : 1,97.

„ 40 „ 50 „ : 2,22.

„ 50 „ 60 „ : 2,16.

boven 60 „ : 2,29.

Vergelijkt men deze cijfers met de door mij gevonden uitkomsten, zoo valt een belangrijk verschil op te merken. Volgens mijne onderzoekingen klimmen de getallen der Galton-schaal regelmatig op met den leeftijd; en eene daling ten gunste van den 20—30 en 50—60 jarigen leeftijd kon ik niet constateeren. Zou bij bovengenoemde onderzoekingen van BEZOLD niet van invloed kunnen zijn geweest, dat 5 Meter afstand bij de bepaling der gehoorscherptheit een wat te laag gestelde grens is? Waarschijnlijk kon hij slechts over eene beperkte ruimte beschikken. Verder liet m. i. het door hem gebruikte Galton-fluitje ook wel wat te wenschen over, want het was niet vrij van een storend nevengeruisch, en bezat bovendien een betrekkelijk zeer korte toonschaal, zoodat het verschil tusschen twee deelstrepen aanzienlijk was en dus ook eene minder nauwkeurige bepaling toeliet. De gemiddelde uiterste waarden zijn 1,81 en 2,29, en verschillen dus slechts 0,48 mM.; een zeer belangrijk onderscheid dus met het door mij gebruikte. Ook

werkte hij onder minder gunstige voorwaarden dan ik, daar hij tot personen met lichte ooraandoeningen of reconvalescenten zijne toevlucht moest nemen, terwijl mij de gelegenheid was geboden het onderzoek behalve in het Militair hospitaal nog in de Wees- en Oude Mannen en Vrouwenhuizen alhier te verrichten en ik mij dus tot normaal hoorenden kon bepalen.

In 't algemeen is BEZOLD van meening, dat de leeftijd van geringen invloed is op de beperking onzer gehoorsgrenzen: eene opvatting, die op grond van mijne onderzoekingen geenszins bevestigd veelmeer tegengesproken wordt.

De onderste toongrens bepaalde hij met eene zeer groote stemvork, die slechts moeilijk te hanteeren was, en die door het verschuiven van loopende gewichten 30 tot 16 dubbele trillingen kon te voorschijn brengen. Volgens hem hoorden de meeste door hem onderzochte personen den toon van 16 trillingen nog als een doffen dreunenden toon; velen echter hoorden dien ook niet meer. Als gemiddelde cijfers geeft hij op:

van 10 tot 20 jaar: 16,72 dubbele trillingen

|                    |       |   |   |
|--------------------|-------|---|---|
| „ 20 „ 30 „        | 16,26 | „ | „ |
| „ 30 „ 40 „        | 16,92 | „ | „ |
| „ 40 „ 50 „        | 17,02 | „ | „ |
| „ 50 „ 60 „        | 17,20 | „ | „ |
| „ 60 en daarboven: | 19,92 | „ | „ |

Deze cijfers hebben evenals die voor de hooge toongrens betrekking op 190 personen.

De verschillen tusschen de door BEZOLD voor de lage toongrens genoemde gegevens en de door mij verkregene zijn zonder twijfel afhankelijk van de verschillende instrumenten, die door ons werden gebruikt. In hoofdstuk II. heb ik reeds voldoende melding gemaakt van de groote voordeelen, die het zoo betrouwbare Appunn'sche apparaat boven de groote stemvorken aanbiedt, gelijk die door hem zijn gebruikt.

Ook voor de lage toongrens vindt hij slechts een gering verschil op jeugdigen leeftijd vergeleken bij den ouderdom; het bedraagt slechts iets meer dan 3 trillingen. Evenmin als eene daling ten gunste van den 20- tot 30 jarigen

leeftijd heb ik eene dergelijke verhouding kunnen constateeren. Tot nadere toelichting vindt men in nevenstaande tabellen mijne gegevens evenzoo gerangschikt als die van BEZOLD, waardoor beide reeksen van onderzoekingen volkomen vergelijkbaar zijn.

## Toelichting der graphische voorstellingen.

### Plaat 1.

Op deze plaat is de toongrens voorgesteld in trillingsgetallen, zooals die door mij direct van de Appunn'sche lamelle konden worden afgelezen.

Op de as der abscissen zijn de leeftijden aangegeven, en op die der ordinaten het aantal trillingen van den laagsten hoorbaren toon. Elke door mij onderzochte persoon is aangegeven door 2 punten; bij gelijk resultaat voor de beide ooren aan weerszijden der abscis op korten afstand van elkander.

Was bij één persoon slechts één oor voor het onderzoek geschikt, zoo is ook daarvoor één punt geteekend juist op de overeenkomstige lijn.

Op de aangebrachte kromme kan men direct de bij een bepaalden leeftijd behorende gemiddelde waarde der schaal aflezen. Op dezelfde wijze als op deze plaat 1 de kromme en de punten zijn aangebracht, is dit ook in de andere graphische voorstellingen verricht.

### Plaat 2.

Deze verschilt hierdoor van plaat 1, dat op de as der ordinaten de trillingsgetallen zijn aangegeven in hunne verhouding tot de intervallen der toonschaal, waarbij ik ben uitgegaan van de  $C^{-3}$  van 8 trillingen per secunde. Elke halve toon is in de teekening op 1 c.M. berekend; terwijl de in de tabellen van hoofdstuk II met vette cijfers aangegeven getallen door geharceerde kringetjes zijn voorgesteld.

### Plaat 3.

Hierop is voorgesteld de verhouding der cijfers der schaal van het Galton-fluitje tot den leeftijd. Eerstgenoemde zijn afgezet op de as der ordinaten, terwijl de leeftijden wederom op die der abscissen zijn uitgedrukt.

### Plaat 4.

Op deze plaat zijn wederom evenals op plaat 2 voor de lage tonen, op de as der ordinaten de verdeelingen der toonschaal aangebracht, en men vindt dus de waarden van het Galton-fluitje direct in intervallen uitgedrukt, terwijl de daarmee overeenstemmende trillingsgetallen daaraan toegevoegd zijn.

Tot het vervaardigen dezer schaal was ik in staat gesteld door de gegevens, die ik op de figuur in Hoofdstuk II A blz. 87 heb verzameld. Vooreerst heb

ik de aldaar geconstrueerde lijn tot de als uiterste door mij gevonden waarden van de Galton-schaal, te weten 0,8 en 5,2 verlengd in de richting, waarin de lijn verliep. Toen was ik in staat van deze alle cijfers af te lezen, die ik noodig had voor de constructie van de graphische voorstelling. Ik had namelijk slechts na te gaan, uitgaande van de abscissenas, die door 0,8 te trekken is, hoeveel centimeters deze verwijderd was van het punt van de lijn, dat met het getal der Galtonschaal overeenkwam.

Alzoo vond ik, als 0,8 overeenstemde met 0, de volgende waarden:

0,9 stemde overeen met 1,0 c.M.

1,0 " " " 1,6 "

1,1 " " " 2,5 "

1,2 " " " 3,0 "

1,25 " " " 3,2 "

enz. enz.

Van dit laatste punt is de ligging in de toonschaal, gelijk reeds vermeld, bekend en evenzoo het trillingsgetal:  $e'$  met 20480 trillingen. Hiervan uitgaande is nu de geheele toonschaal gemakkelijk verder te construeeren, terwijl elk interval evenals op plaat 2 overeenkomt met 1 c.M. De vette cijfers uit de tabellen van Hoofdstuk II zijn hier ook weder door geharceerde kringetjes voorgesteld.

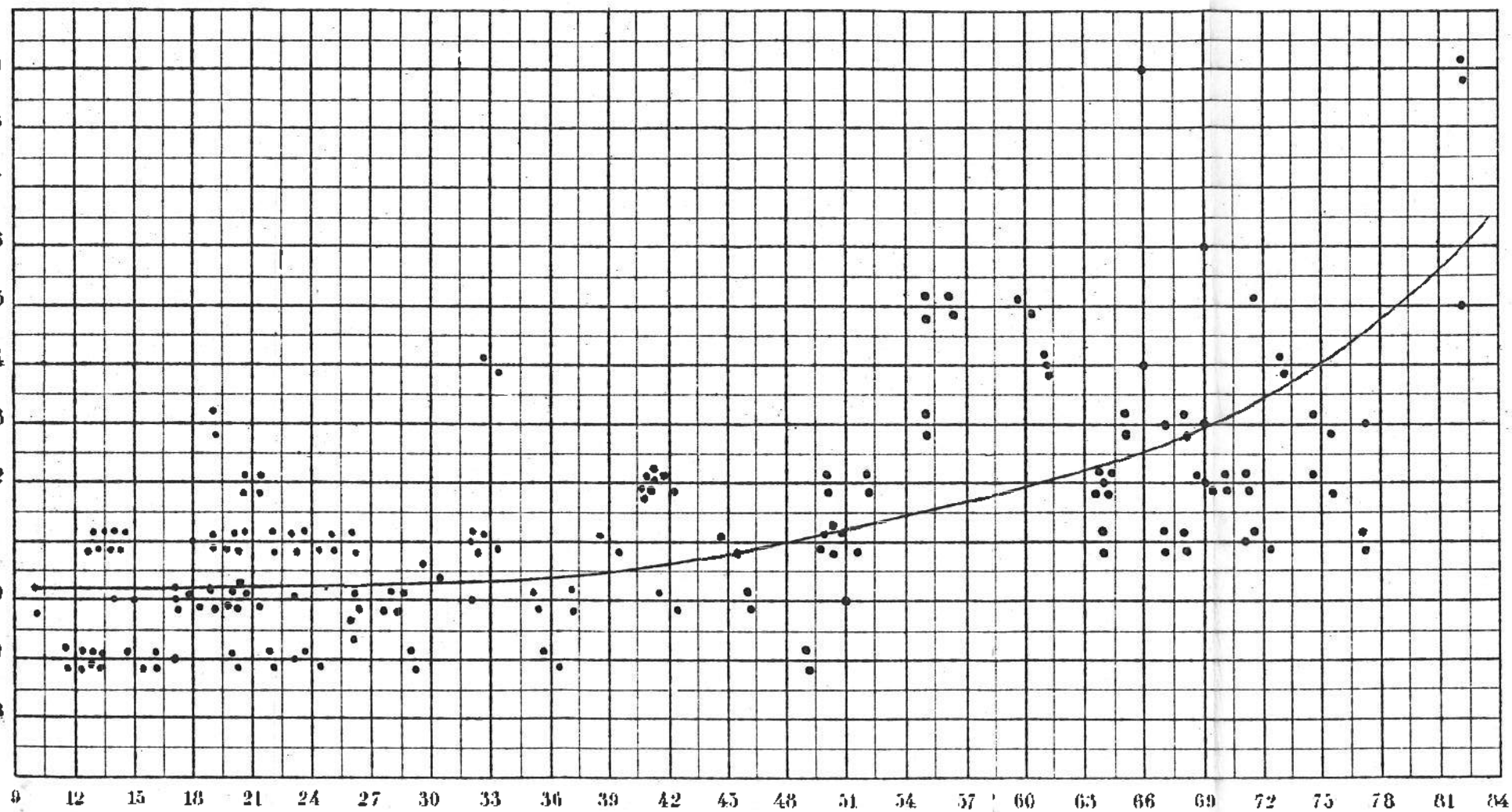
# LAGE TOONGRENS.

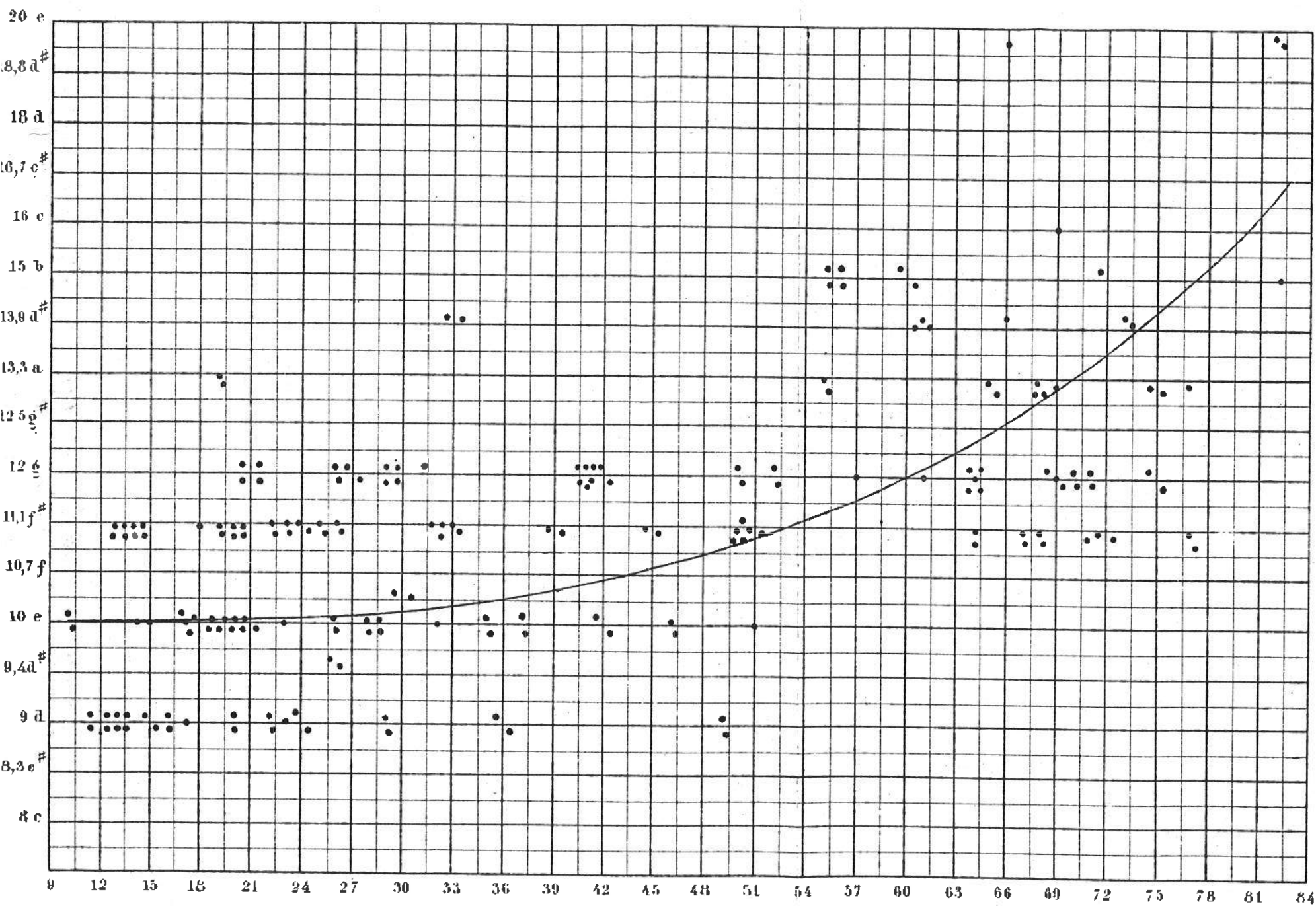
| DEELSTREPEN<br>DER<br>APPUNN'SCHE<br>LAMELLE.   | 10 tot 20<br>jaren. |        |         | 20 tot 30<br>jaren. |        |         | 30 tot 40<br>jaren. |        |         | 40 tot 50<br>jaren. |        |         | 50 tot 60<br>jaren. |        |         | 60 en meer<br>jaren. |        |         | TOTALEN. |        |         |
|-------------------------------------------------|---------------------|--------|---------|---------------------|--------|---------|---------------------|--------|---------|---------------------|--------|---------|---------------------|--------|---------|----------------------|--------|---------|----------|--------|---------|
|                                                 | Mann.               | Vrouw. | Totaal. | Mann.               | Vrouw. | Totaal. | Mann.               | Vrouw. | Totaal. | Mann.               | Vrouw. | Totaal. | Mann.               | Vrouw. | Totaal. | Mann.                | Vrouw. | Totaal. | Mann.    | Vrouw. | Totaal. |
| 9 . . . .                                       | 2                   | 11     | 13      | 11                  | ..     | 11      | 2                   | ..     | 2       | 2                   | ..     | 2       | ..                  | ..     | ..      | ..                   | ..     | ..      | 17       | 11     | 28      |
| 10 . . . .                                      | 7                   | 4      | 11      | 9                   | 4      | 13      | 5                   | 2      | 7       | 4                   | ..     | 4       | 1                   | ..     | 1       | ..                   | ..     | ..      | 26       | 10     | 36      |
| 11 . . . .                                      | 6                   | 5      | 11      | 12                  | 2      | 14      | 7                   | ..     | 7       | 2                   | ..     | 2       | 6                   | ..     | 6       | 2                    | 9      | 11      | 35       | 16     | 51      |
| 12 . . . .                                      | ..                  | ..     | ..      | 8                   | 4      | 12      | ..                  | ..     | 1       | 8                   | ..     | 8       | 3                   | 2      | 5       | 8                    | 7      | 15      | 28       | 13     | 41      |
| 13 . . . .                                      | ..                  | 2      | 2       | ..                  | ..     | ..      | ..                  | ..     | ..      | ..                  | ..     | ..      | 2                   | ..     | 2       | 6                    | 3      | 9       | 8        | 5      | 13      |
| 14 . . . .                                      | ..                  | ..     | ..      | ..                  | ..     | ..      | ..                  | 2      | 2       | ..                  | ..     | ..      | ..                  | ..     | ..      | 3                    | 3      | 6       | 3        | 5      | 8       |
| 15 . . . .                                      | ..                  | ..     | ..      | ..                  | ..     | ..      | ..                  | ..     | ..      | ..                  | ..     | ..      | 2                   | 2      | 4       | 3                    | 1      | 4       | 5        | 3      | 8       |
| 16 . . . .                                      | ..                  | ..     | ..      | ..                  | ..     | ..      | ..                  | ..     | ..      | ..                  | ..     | ..      | ..                  | ..     | ..      | ..                   | 1      | 1       | ..       | 1      | 1       |
| 17 . . . .                                      | ..                  | ..     | ..      | ..                  | ..     | ..      | ..                  | ..     | ..      | ..                  | ..     | ..      | ..                  | ..     | ..      | ..                   | ..     | ..      | ..       | ..     | ..      |
| 18 . . . .                                      | ..                  | ..     | ..      | ..                  | ..     | ..      | ..                  | ..     | ..      | ..                  | ..     | ..      | ..                  | ..     | ..      | ..                   | ..     | ..      | ..       | ..     | ..      |
| 19 . . . .                                      | ..                  | ..     | ..      | ..                  | ..     | ..      | ..                  | ..     | ..      | ..                  | ..     | ..      | ..                  | ..     | ..      | ..                   | 3      | 3       | ..       | 3      | 3       |
| Aantal der onderzochte<br>gehoororganen . . . . | 15                  | 22     | 37      | 40                  | 10     | 50      | 15                  | 4      | 19      | 16                  | ..     | 16      | 14                  | 4      | 18      | 22                   | 27     | 49      | 122      | 67     | 189     |
| Gemiddelde bovengrens<br>van het gehoor . . . . | 10,10               |        |         | 10,54               |        |         | 10,85               |        |         | 11,00               |        |         | 12,33               |        |         | 12,95                |        |         |          |        |         |

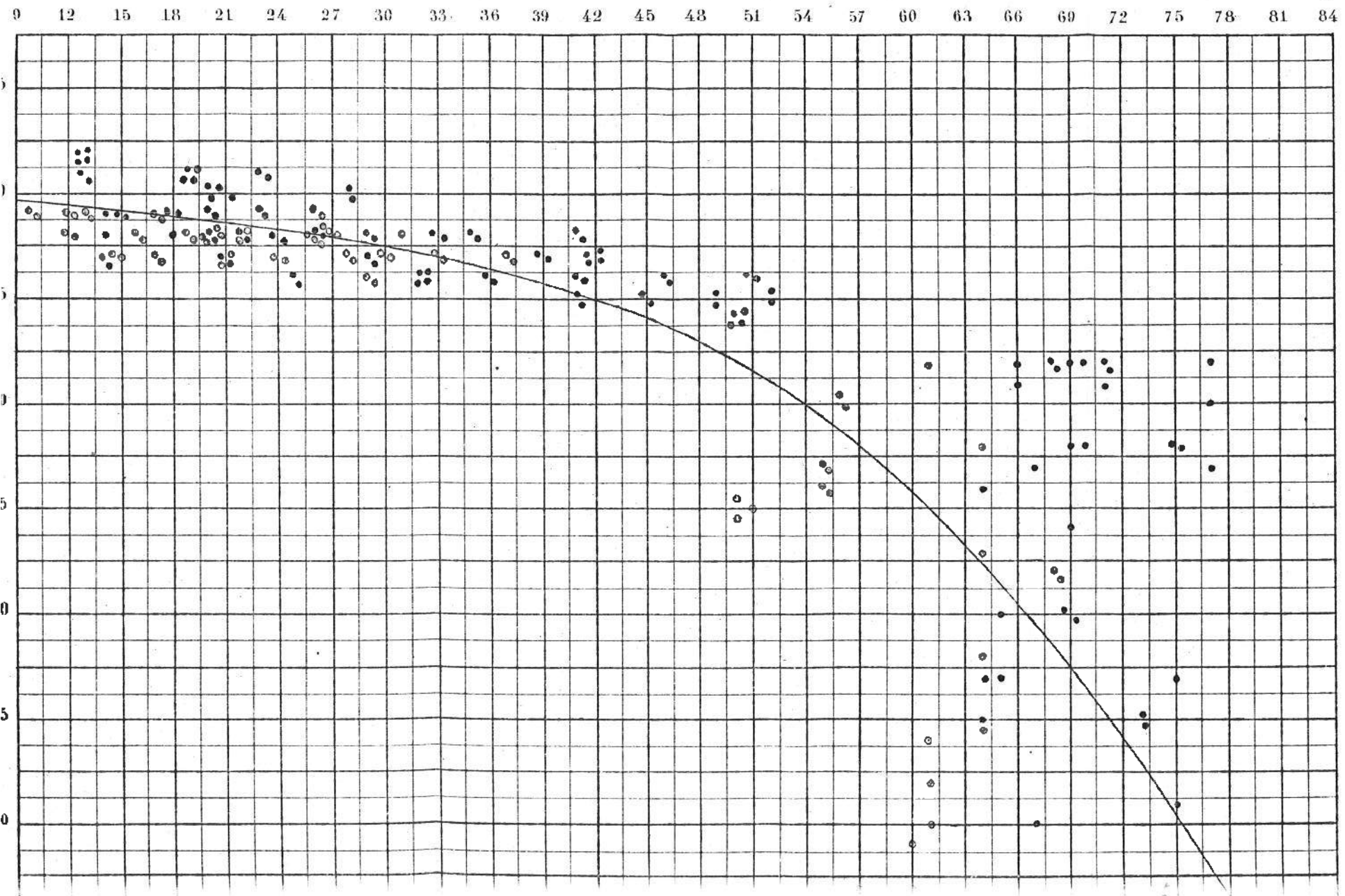
# HOOGE TOONGRENS.

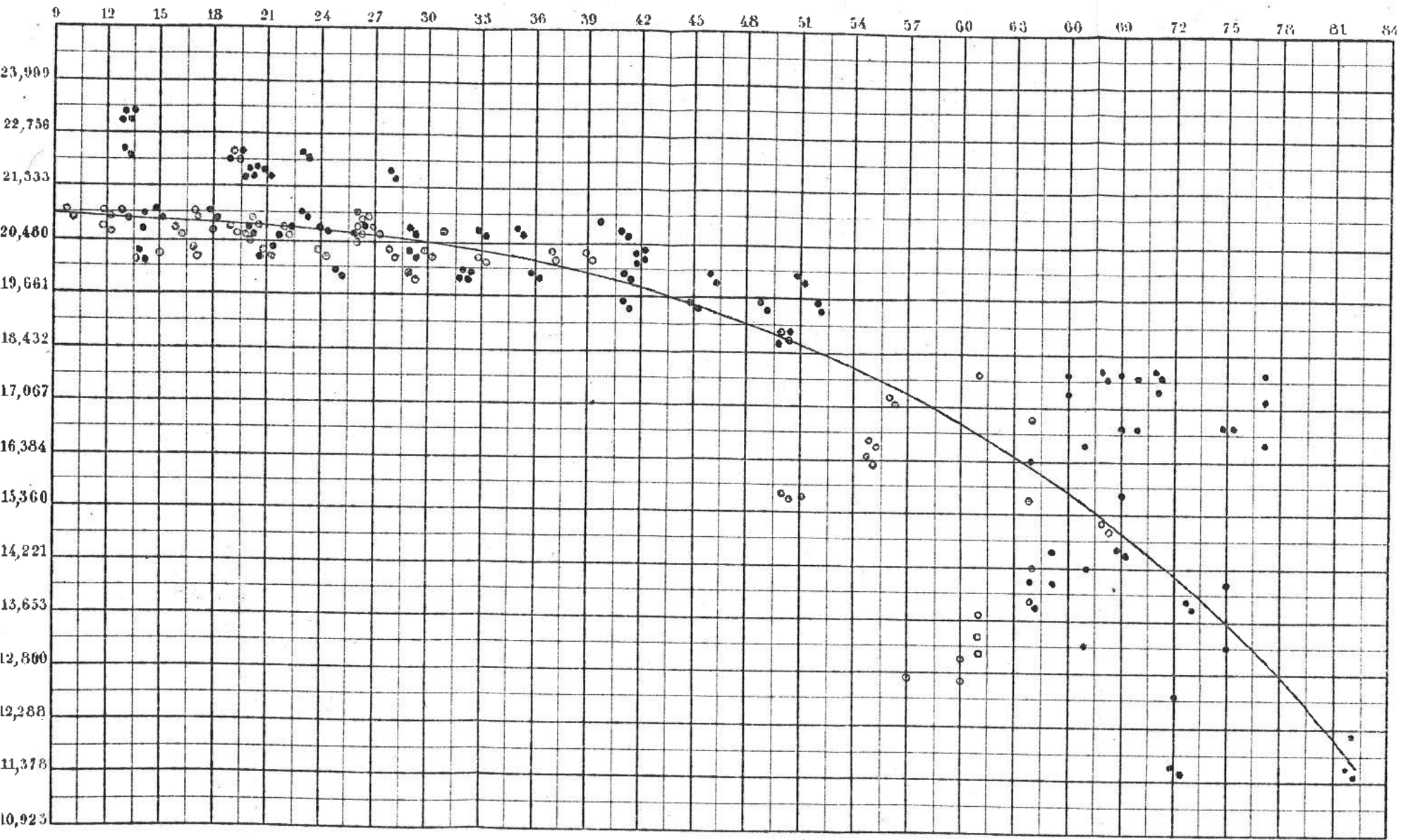
| DEELSTREPEN<br>VAN HET<br>GALTON FLUITJE. | 10 tot 20<br>jaren. |        |         | 20 tot 30<br>jaren. |        |         | 30 tot 40<br>jaren. |        |         | 40 tot 50<br>jaren. |        |         | 50 tot 60<br>jaren. |        |         | 60 en meer<br>jaren. |        |         | TOTALEN. |        |         |
|-------------------------------------------|---------------------|--------|---------|---------------------|--------|---------|---------------------|--------|---------|---------------------|--------|---------|---------------------|--------|---------|----------------------|--------|---------|----------|--------|---------|
|                                           | Mann.               | Vrouw. | Totaal. | Mann.               | Vrouw. | Totaal. | Mann.               | Vrouw. | Totaal. | Mann.               | Vrouw. | Totaal. | Mann.               | Vrouw. | Totaal. | Mann.                | Vrouw. | Totaal. | Mann.    | Vrouw. | Totaal. |
| 0,8 . . . .                               | "                   | 4      | 4       | "                   | "      | "       | "                   | "      | "       | "                   | "      | "       | "                   | "      | "       | "                    | "      | "       | "        | 4      | 4       |
| 0,9 . . . .                               | 2                   | 4      | 6       | 2                   | "      | 2       | "                   | "      | "       | "                   | "      | "       | "                   | "      | "       | "                    | "      | "       | 4        | 4      | 8       |
| 1,0 . . . .                               | "                   | "      | "       | 6                   | "      | 6       | "                   | "      | "       | "                   | "      | "       | "                   | "      | "       | "                    | "      | "       | 6        | "      | 6       |
| 1,1 . . . .                               | 5                   | 8      | 13      | 6                   | "      | 6       | "                   | "      | "       | "                   | "      | "       | "                   | "      | "       | "                    | "      | "       | 11       | 8      | 19      |
| 1,2 . . . .                               | 3                   | 5      | 8       | 18                  | 4      | 22      | 5                   | "      | 5       | 2                   | "      | 2       | "                   | "      | "       | "                    | "      | "       | 28       | 9      | 37      |
| 1,3 . . . .                               | 5                   | 1      | 6       | 6                   | 4      | 10      | 4                   | 4      | 8       | 4                   | "      | 4       | "                   | "      | "       | "                    | "      | "       | 19       | 9      | 28      |
| 1,4 . . . .                               | "                   | "      | "       | 2                   | 2      | 4       | 6                   | "      | 6       | 4                   | "      | 4       | 2                   | "      | 2       | "                    | "      | "       | 14       | 2      | 16      |
| 1,5 . . . .                               | "                   | "      | "       | "                   | "      | "       | "                   | "      | "       | 6                   | "      | 6       | 2                   | "      | 2       | "                    | "      | "       | 8        | "      | 8       |
| 1,6 . . . .                               | "                   | "      | "       | "                   | "      | "       | "                   | "      | "       | "                   | "      | "       | 4                   | "      | 4       | "                    | "      | "       | 4        | "      | 4       |
| 1,7 . . . .                               | "                   | "      | "       | "                   | "      | "       | "                   | "      | "       | "                   | "      | "       | "                   | "      | "       | "                    | "      | "       | "        | "      | "       |
| 1,8 . . . .                               | "                   | "      | "       | "                   | "      | "       | "                   | "      | "       | "                   | "      | "       | "                   | "      | "       | 4                    | 5      | 9       | 4        | 5      | 9       |
| 1,9 . . . .                               | "                   | "      | "       | "                   | "      | "       | "                   | "      | "       | "                   | "      | "       | "                   | "      | "       | "                    | 2      | 2       | "        | 2      | 2       |
| 2,0 . . . .                               | "                   | "      | "       | "                   | "      | "       | "                   | "      | "       | "                   | "      | "       | "                   | 2      | 2       | 1                    | "      | 1       | 1        | 2      | 3       |
| 2,1 . . . .                               | "                   | "      | "       | "                   | "      | "       | "                   | "      | "       | "                   | "      | "       | "                   | "      | "       | "                    | "      | "       | "        | "      | "       |
| 2,2 . . . .                               | "                   | "      | "       | "                   | "      | "       | "                   | "      | "       | "                   | "      | "       | "                   | "      | "       | 1                    | 4      | 5       | 1        | 4      | 5       |
| 2,3 . . . .                               | "                   | "      | "       | "                   | "      | "       | "                   | "      | "       | "                   | "      | "       | 2                   | "      | 2       | "                    | 2      | 2       | 2        | 2      | 4       |
| 2,4 . . . .                               | "                   | "      | "       | "                   | "      | "       | "                   | "      | "       | "                   | "      | "       | 2                   | "      | 2       | "                    | 1      | 1       | 2        | 1      | 3       |
| 2,5 . . . .                               | "                   | "      | "       | "                   | "      | "       | "                   | "      | "       | "                   | "      | "       | 1                   | 2      | 3       | "                    | "      | "       | 1        | 2      | 3       |
| 2,6 . . . .                               | "                   | "      | "       | "                   | "      | "       | "                   | "      | "       | "                   | "      | "       | "                   | "      | "       | "                    | 1      | 1       | "        | 1      | 1       |
| 2,7 . . . .                               | "                   | "      | "       | "                   | "      | "       | "                   | "      | "       | "                   | "      | "       | "                   | "      | "       | "                    | 1      | 1       | "        | 1      | 1       |

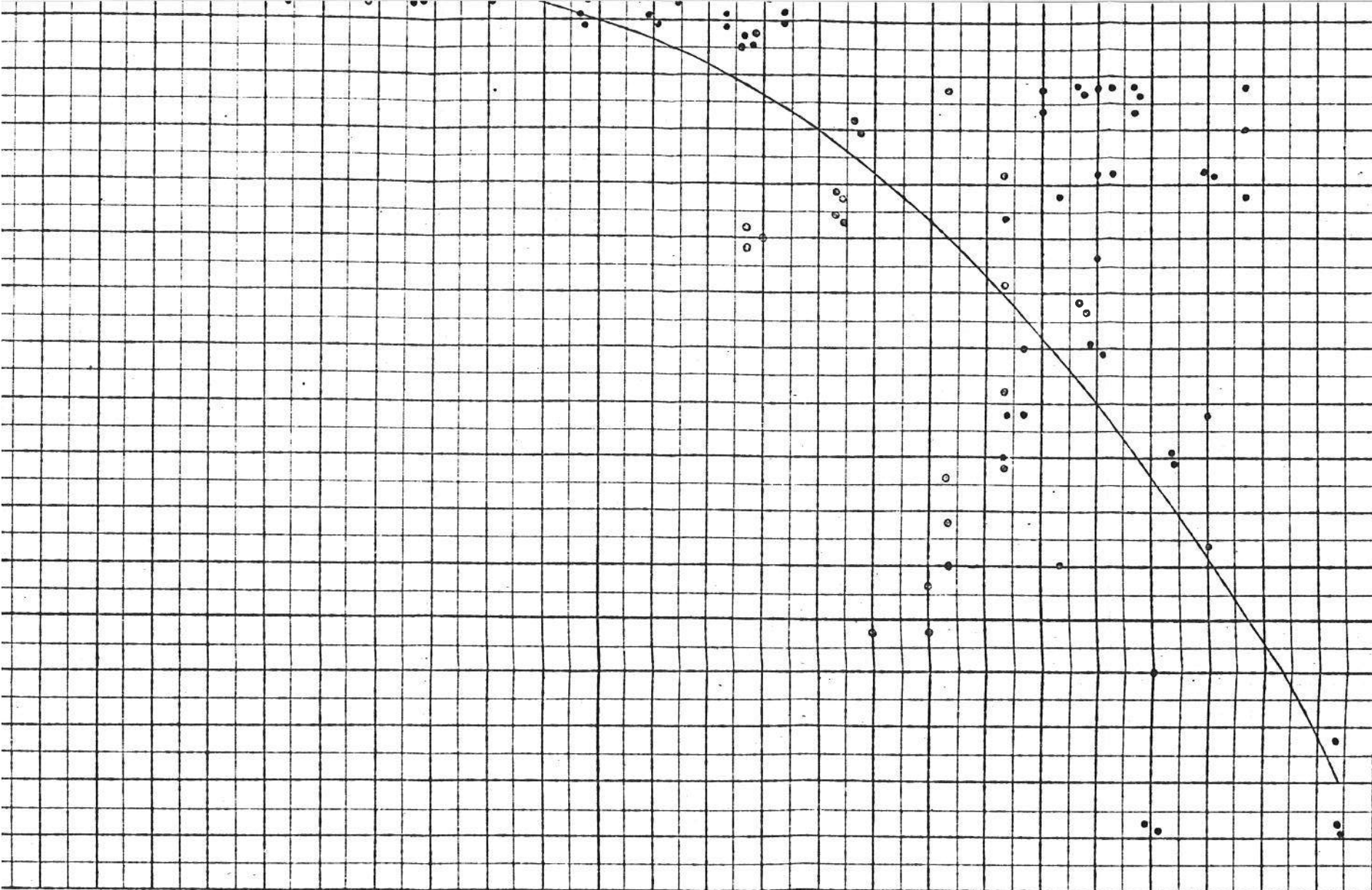
|                                                 |      |    |    |      |    |    |      |    |    |      |    |    |      |    |    |      |    |    |     |    |     |
|-------------------------------------------------|------|----|----|------|----|----|------|----|----|------|----|----|------|----|----|------|----|----|-----|----|-----|
| 2,7                                             | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..  | .. |     |
| 2,8                                             | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | 2    | .. | 2  | 2   | .. | 2   |
| 2,9                                             | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..  | .. |     |
| 3,0                                             | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | 3    | .. | 3  | 3   | .. | 3   |
| 3,1                                             | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..  | .. |     |
| 3,2                                             | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | 1    | 1  | 2  | 1   | 1  | 2   |
| 3,3                                             | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | 2    | 1  | 3  | 2   | 1  | 3   |
| 3,4                                             | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..  | .. |     |
| 3,5                                             | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | 1    | 3  | 4  | 1   | 3  | 4   |
| 3,6                                             | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | 1    | .. | 1  | 1   | .. | 1   |
| 3,7                                             | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..  | .. |     |
| 3,8                                             | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | 1    | .. | 1  | 1   | .. | 1   |
| 3,9                                             | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | 1    | .. | 1  | 1   | .. | 1   |
| 4,0                                             | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | 1    | 1  | 2  | 1   | 1  | 2   |
| 4,1                                             | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | 1    | .. | 1  | 1   | .. | 1   |
| 4,2                                             | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..  | .. |     |
| 4,3                                             | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | 1    | .. | 1  | 1    | .. | 1  | 2   | .. | 2   |
| 4,4                                             | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..  | .. |     |
| 4,5                                             | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | 1    | .. | 1  | 1   | .. | 1   |
| 4,6                                             | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..  | .. |     |
| 4,7                                             | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..  | .. |     |
| 4,8                                             | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | 1  | 1  | ..  | 1  | 1   |
| 4,9                                             | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..  | .. |     |
| 5,0                                             | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..  | .. |     |
| 5,1                                             | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..  | .. |     |
| 5,2                                             | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | .. | .. | ..   | 4  | 4  | ..  | 4  | 4   |
| Aantal der onderzochte<br>gehoororganen . . . . | 15   | 22 | 37 | 40   | 10 | 50 | 15   | 4  | 19 | 16   | .. | 16 | 14   | 4  | 18 | 22   | 27 | 49 | 122 | 67 | 189 |
| Gemiddelde bovengrens<br>van het gehoor . . . . | 1,08 |    |    | 1,19 |    |    | 1,31 |    |    | 1,39 |    |    | 2,08 |    |    | 3,02 |    |    |     |    |     |











## STELLINGEN.

## STELLINGEN.

---

### I.

De presbyacusische inkorting der toonladder bedraagt aan de benedengrens ruim het sext-, aan de bovengrens het septime-interval.

### II.

De bepaling der gehoorgrens van een persoon zonder acht te slaan op zijn leeftijd heeft geen waarde.

### III.

De gehoorscherppte wordt het best gemeten door middel van de fluisterspraak.