Utrecht University Library
Partner in Science
Universiteit Utrecht

Het onderscheidingsvermogen voor toonintensiteiten

https://hdl.handle.net/1874/255298

HET ONDERSCHEIDINGSVERMOGEN VOOR TOONINTENSITEITEN. * * * *

A. DEENIK.

HET ONDERSCHEIDINGSVERMOGEN VOOR TOONINTENSITEITEN. * * *

Diss. Utrecht 1906

HET ONDERSCHEIDINGSVERMOGEN VOOR TOONINTENSITEITEN. * * *

PROEFSCHRIFT TER VERKRIJGING VAN DEN GRAAD VAN DOCTOR IN DE GENEESKUNDE AAN DE RIJKS-UNIVERSITEIT TE UTRECHT NA MACHTIGING VAN DEN RECTOR-MAGNIFICUS DR. F. A. F. C WENT, HOOGLEERAAR IN DE FACULTEIT DER WIS- EN NATUURKUNDE, VOLGENS BESLUIT VAN DEN SENAAT DER UNIVERSITEIT TEGEN DE BEDENKINGEN VAN DE FACULTEIT DER GENEESKUNDE TE VERDEDIGEN OP DINSDAG 15 MEI 1906 DES NAMIDDAGS TE 4 UUR DOOR **ARIE DEENIK,** ARTS, ASSISTENT-GENEESHEER AAN HET SANATORIUM „RHIJN-GEEST" TE OEGSTGEEST, GEBOREN TE ROTTERDAM.



LEIDEN, EDUARD IJDO. — 1906.

Aan mijne Ouders.

Van de goede gewoonte, om bij het verschijnen van een proefschrift een woord van dank te wijden voor het genoten academisch onderwijs, maak ik gaarne gebruik om U, Hoogleeraren en Lectoren der Medische en Philosophische Faculteit, mijn oprechten dank te betuigen, voor alles wat Gij tot mijne vorming als geneesheer hebt bijgedragen.

Vooral tot U, Hooggeleerde ZWAARDEMAKER, *Hooggeachte Promotor, voel ik mij gedrongen een afzonderlijk woord van dank te richten. Uwe buitengewone hulpvaardigheid, Uw raad en steun hebben 't mij mogelijk gemaakt dit proefschrift te voltooien. Steeds zal de tijd, gedurende welken ik onder Uwe leiding heb mogen werken, mij als de meest aangename mijner studiejaren in herinnering blijven.*

Ten slotte mijne dankbetuiging aan allen, die mij bij het bewerken van dit proefschrift zoo bereidwillig hunnen dienst verleenden, waar ik dien inriep.

INHOUD.

Blz.

HOOFDSTUK I.

INLEIDING 1

HOOFDSTUK II.

Onderzoek met Orgelpijpen 35

HOOFDSTUK III.

Onderzoekingen verricht met stemvorken 80

I. Berekening der toonintensiteit 80

II. Bepaling der Unterschiedsschwelle in hoekwaarden 85

III. Onderzoek van C^1 101

IV. Onderzoek van C^2 108

V. Onderzoek van C^3 115

VI. Resultaten der stemvorkonderzoekingen . . . 118

HOOFDSTUK IV.

Algemeen overzicht 122

Stellingen 129

HOOFDSTUK I.

Inleiding.

Sinds E. H. Weber in 1851 bij gelegenheid van zijn onderzoek over den tastzin op eene bepaalde betrekking tusschen prikkel en gewaarwording opmerkzaam maakte, zijn op 't gebied van alle zintuigen talrijke onderzoekingen verricht om haar nader te toetsen.

Het resultaat van al die waarnemingen wordt het eenvoudigst uitgedrukt in de wet die Weber's naam draagt en, kort geformuleerd, luidt: het kleinst waarneembare betrekkelijke verschil is constant.

Onder de eersten, die zich op 't gebied van den *gehoorzin*, met waarnemingen omtrent de gevoeligheid voor verschillen hebben bezig gehouden, dienen genoemd te worden Renz en Wolf[1]), die onder leiding van Vierordt volgens de methode der juiste en foutieve gevallen experimenteerden door gebruik te maken van het tikken van een horloge, dat op verschillende afstanden van het oor werd gehouden.

---

[1]) Vierordt's Archiv. für physiol. Heilkunde, 1850. H. 2. S. 185.

Aan de hand van hunne proeven kwamen zij tot 't resultaat, dat, wanneer twee zwakke geluidsintensiteiten na elkaar worden waargenomen de juistheid van het oordeel toeneemt met de grootte van het verschil dier intensiteiten en wel zoo, dat geluidsprikkels in sterkte zich verhoudend als 100 tot 72 steeds duidelijk als verschillend worden erkend. Is deze verhouding echter 100 tot 92 dan overtreft 't getal der juiste oordeelvellingen slechts heel weinig het getal der foutieve en onbesliste.

Als een onderzoek naar de juistheid van de wet van Weber kunnen deze waarnemingen echter niet aangemerkt worden, daar zij er niet op gericht geweest zijn de *gelijkheid* van het relatieve verschil bij meerdere verschillend groote geluidsintensiteiten te bewijzen.

Van meer belang voor het onderwerp dat ons bezighoudt, zijn daarom de waarnemingen van Volkmann[1]) onder leiding van Fechner verricht.

Het toestel, waarmede deze zijne proeven verrichtte, was uiterst eenvoudig en bestond slechts uit een slingerenden hamer, welke aansloeg tegen een plaat van de een of andere klinkende stof vervaardigd. Nu is 't duidelijk dat men de sterkte van het geluid kan versterken of verzwakken door den hamer van grooter of geringer hoogte te laten aanslaan, door de zwaarte van den hamer te veranderen of door den afstand te wijzigen vanwaar men het instrument waarneemt.

Door Volkmann werden nu twee klanken met dit instrument verkregen zoo uitgekozen, dat een waarnemer in de onmiddellijke nabijheid van het toestel geplaatst zich niet kon vergissen, als men hem verzocht aan te geven, welk geluid 't sterkste was; 't verschil tusschen deze twee geluids-

---

[1]) Fechner. Elemente der Psychophysik 1860 I. S. 176.

intensiteiten was echter ook niet te groot gekozen, want bracht men het verschil tot op de helft terug dan werd 't oordeel vrij onzeker en leverde ook foutieve gevallen op.

Bij de verschillende proeven bleef de sterkte van beide klanken ongewijzigd en werd slechts de afstand, vanwaar men de geluidsbron waarnam, veranderd en wel zoo, dat de aanvankelijke afstand van den waarnemer tot het apparaat minstens twaalfmaal grooter werd. Hierbij bleek nu, dat, op welken afstand de proefnemer zich ook bevond, altijd een verschil in sterkte der beide geluidsindrukken was waar te nemen.

Al moge nu aan het toestel en aan de waarneming vele gebreken kleven, zoo mag men toch wel met voldoende recht besluiten, dat binnen de grenzen der waarnemingsfouten de wet van Weber ook voor geluidsprikkels geldt; want met het aangroeien van den afstand, van waar men de geluidsbron waarnam, nam immers de sterkte van het geluid evenredig met het kwadraat van dien afstand af en toch bleef steeds 't verschil in sterkte der geluidsindrukken juist waarneembaar.

Later zijn door Volkmann deze proeven nog wat nauwkeuriger herhaald door waarneming van klanken, verkregen door 't vallen van stalen kogels op stalen platen, waarbij telkens de zwaarte der kogels, de valhoogte en de afstand van waarneming veranderd werden.

Deze onderzoekingen, die den waarnemer in zijne meening omtrent de geldigheid van de wet van Weber nog versterkten, voerden tevens tot het resultaat, dat intensiteitsverschillen van 25 % met zekerheid zijn te onderkennen.

In 1879 werd door Carl Nörr[1]) in 't physiologisch

[1]) Zeitschrift für Biologie XV. S. 297.

laboratorium te Tübingen 't vraagstuk opnieuw opgevat.

Zijn onderzoek verrichtte hij volgens de methode der juiste en foutieve gevallen, terwijl hij zijne geluidsprikkels verkreeg door looden en ijzeren kogels van eene bepaalde hoogte op een stalen plaat te laten neervallen.

Om zich voor fouten door timbre-verschil ontstaan te vrijwaren, werd de hoofd- en vergelijkingsprikkel door een zelfden kogel opgewekt. Met zeven aldus verkregen verschillend sterke klanken, die op verschillende hoogte van de prikkelingsschaal waren gelegen, vanaf de drempelwaarde (Schwelle) tot 't maximum perceptibile experimenteerde hij, terwijl telkens bij één hoofdprikkel drie verschillende vergelijkingsprikkels werden aangewend. In alle zeven hoofdreeksen was de verhouding van hoofd- tot vergelijkingsprikkel gelijk.

Daar hem uit zijne vexeerproeven (dat zijn proeven waar de beide te vergelijken prikkels gelijk waren en die tusschen de andere ingeschoven werden om zooveel mogelijk fouten, ontstaan door de verwachting van den reagent, te elimineeren) gebleken was, dat het tweede geluid dikwijls 't sterkste scheen, werd met alle verschillen (D) tweemaal geëxperimenteerd en wel zoo, dat eerst de zwakste geluidsprikkel voorafging en dan de sterkere volgde en dan ook een reeks met omgekeerde volgorde der geluidsprikkels.

Uit zijne tabellen van juiste en foutieve gevallen langs dezen weg verkregen werd door hem een eindtabel samengesteld van den factor h (berekend zoowel volgens de methode van Fechner als die van Müller) welke factor een maat zou zijn voor de gevoeligheid in het waarnemen van intensiteitsverschillen van geluidsprikkels.

Geluidssterkte in milligr. mM.	*h* volgens Fechner berekend.			*h* volgens Müller berekend.		
	kleinste *D.*	middelste *D.*	grootste *D.*	kleinste *D.*	middelste *D.*	grootste *D.*
2572,6	13,30	8,298	5,696	13,448	8,694	5,746
7098,0	15,31	9,90	6,09	15,395	10,168	6,256
53436,0	14,575	9,08	6,32	14,82	9,435	6,62
294039,0	9,24	7,88	5,98	9,472	8,0	6,566
4404832,5	11,51	9,277	6,158	12,1	9,59	6,31
43829691,0	14,388	11,036	7,24	14,626	11,27	7,316
786251700,0	13,436	10,066	7,375	13,524	10,257	7,502

Hoewel nu de cijfers voor dezen factor verkregen nogal uiteenloopen en voor dezelfde relatieve verschillen der geluidsprikkels lang niet die constantheid vertoonen, welke naar zijne meening de wet van Weber eischt, meent Nörr toch uit deze resultaten te mogen besluiten tot eene „vollständige und buchstäbliche Bestätigung" van de wet van Weber.

Vermeld zij hier nog, dat uit de proefresultaten ook nog blijkt, dat de besproken wet voor prikkels gelegen dicht bij de drempelwaarde en het maximum perceptibile geen afwijkingen vertoond, wat à priori te verwachten was, daar op 't gebied der andere zintuigen dit reeds was aangetoond.

Wellicht is deze, voor de wet van Weber weinig bevredigende, uitkomst toe te schrijven aan het gering aantal waarnemingen (voor elke reeks nog geen duizend); maar ook zal het feit, dat hij uitging van de veronderstelling, dat de intensiteit van de door de vallende kogels opgewekte geluidsprikkels evenredig zou zijn met de kwadraatwortel

der valhoogte, welke veronderstelling later bleek niet geheel juist te zijn, daar veel toe hebben bijgedragen.

Bovendien had Nörr de geldigheid van de wet van Weber niet op eene gelijkheid van den factor h maar op die van $h\,D$ moeten doen steunen. Brengt men echter in zijn eindtabel deze correctie aan, dan wordt daarmee voor zijn resultaten geen wezenlijke verandering ingevoerd.

Door Dr. E. Tischer[1]) werden in 1881 en '82 in 't psychologisch laboratorium van prof. Wundt onderzoekingen verricht omtrent de apperceptieduur bij enkelvoudige voorstellingen, bij welk onderzoek zich tegelijkertijd kon aansluiten eene toetsing van de wet van Weber.

De te vergelijken geluidsintensiteiten werden verkregen door het neervallen van looden kogels op het valbord van een valapparaat van Hipp (een op metalen veeren rustende, met doek overtrokken, houten plaat), terwijl verandering in de sterkte van het geluid werd aangebracht door het gewicht der kogels en de valhoogte te wijzigen.

In de eerste plaats was het van belang, wilde men alle kritiek het hoofd kunnen bieden, de verhouding te leeren kennen, die bestaat tusschen de sterkte van het geluid, de valhoogte en het gewicht. Langen tijd was aangenomen

$$i = c\,p\,h$$

waarin c een constante zou zijn afhankelijk van de stof van den kogel en het materiaal van het valbord.

Vierordt had echter deze formule aan een onderzoek onderworpen en gevonden dat de formule $i = c\,p\,\sqrt{h}$ de waarheid dichter nabij kwam dan de oorspronkelijke op theoretische gronden geconstrueerde formule. Ook Oberbeck was tot een bijna gelijk resultaat gekomen; deze stelde

---

[1]) Ueber die Unterscheidung von Schallstärken. Wundt, Philos. Stud. Bd. I. S. 495.

eene empirische formule op van de vorm $i = p\,h^{\varepsilon}$ en vond voor het materiaal, waarmede hij experimenteerde, $\varepsilon = 0{,}641$.

Door Tischer werd nu voor het instrumentarium, waarmede hij zijne onderzoekingen deed, voor de verschillende valhoogten de exponent ε empirisch bepaald; deze bleek afhankelijk te zijn van de valhoogte, de stof van den kogel en de inrichting van het valbord en te schommelen tusschen 0,6 en 1, ja werd zelfs nog iets grooter gevonden.

Bij zijn onderzoek naar de wet van Weber volgde Tischer de methode der minimale veranderingen. Een kogel (de grootste) p viel gedurende de geheele proefreeks van eene zelfde hoogte h en gaf een geluidsprikkel r, terwijl de andere kogel p' in 't begin der proef viel van zulk eene hoogte h' dat de opgewekte geluidsprikkel r' gelijk was aan r en nu werd langzamerhand h' zoo vergroot tot h'_o, dat de daarbij behoorende geluidsprikkel r'_o duidelijk sterker was dan r; op dezelfde wijze werd daarna door 't verkleinen van h' de waarde h'_u bepaald, voor welke de correspondeerende geluidsprikkel r'_u zwakker werd bevonden dan r.

Uit de aldus verkregen gegevens werd dan Δr (de absolute Unterscheidsschwelle) berekend door het arithmetisch gemiddelde te nemen van Δr_o en Δr_u dan is volgens Tischer.

$$\frac{\Delta r}{r} = \frac{\Delta r_o + \Delta r_u}{2\,r}$$

Daar $\Delta r_o = r'_o - r$ en $\Delta r_u = r - r'_u$ zoo is:

$$\frac{\Delta r}{r} = \frac{r'_o - r'_u}{2\,r} = {}^1\!/_2 \left(\frac{r'_o}{r} - \frac{r'_u}{r}\right),$$

en daar $\frac{r'_o}{r} = \frac{p'}{p}\left(\frac{h'_o}{h}\right)^{\varepsilon} = a$ en $\frac{r'_u}{r} = \frac{p'}{p}\left(\frac{h'_u}{h}\right)^{\varepsilon} = b$

is $$\frac{\Delta r}{r} = {}^1\!/_2\,(a - b).$$

Zooals uit deze berekening blijkt, kunnen a en b berekend worden uit de waarden, die de proefnemingen voor p, h enz. opleveren, terwijl de exponent ε op de volgende wijze werd gevonden.

Stellen p en P het gewicht der kogels voor en h en H de valhoogten, dan zal men die zoo kunnen kiezen, dat de door deze opgewekte geluidsintensiteiten gelijk zijn en dus

$$p H^{\varepsilon} = P h^{\varepsilon},$$

waaruit dus als p, H, P en h bekend zijn ε te vinden is, daar:

$$\varepsilon = \frac{log.\, P - log.\, p}{log.\, H - log.\, h}.$$

Uit de op boven omschreven wijze verkregen reeksen, kan, daar de waarde van $^1/_2$ (a en b) geringe schommelingen vertoonde, met voldoende zekerheid tot de juistheid van Weber's wet worden besloten, terwijl als 't gemiddelde van alle $\frac{\Delta r}{r}$ bij 5 proefpersonen werd gevonden 0,391; 0,452; 0,383; 0,370 en 0,363.

Door G. Lorenz[1]) werd in 1885 eene studie over de methode der juiste en foutieve gevallen gepubliceerd, waar bij de wet van Weber natuurlijk ook ter sprake werd gebracht.

De geluidsindrukken, waarvan hij zich bediende, werden verkregen door 2 looden kogels, in gewicht zich verhoudend als 2:1 van eene bepaalde hoogte steeds op denzelfden ondergrond te doen neervallen.

De grootste der beide kogels viel steeds van eene constante hoogte, in de eene helft der proeven van eene hoogte van 20 c.M. in de andere helft van eene hoogte

---

[1]) Die Methode der richtigen und falschen Fälle in ihren Anwendung auf Schallempfindungen. Wundt, Philos. Stud. Bd. II, S. 394.

van 30 c.M.; de valhoogte van den kleinsten kogel werd na elke 50 waarnemingen veranderd.

Wanneer b. v. de groote kogel van een constante hoogte van 30 c.M. viel, dan viel de kleine kogel bij de eerste 50 waarnemingen van eene hoogte van 55 c.M., in de tweede reeks van eene hoogte van 60 c.M. enz., zoo steeds met 5 c.M. opklimmend tot dat die hoogte bereikt was, waarbij 't geluid door den kleinsten kogel opgewekt in alle waarnemingen als 't sterkste werd aangemerkt.

Om zooveel mogelijk fouten te elimineeren werden de proeven in 2 groepen uitgevoerd, de eene maal liet hij steeds den grootsten kogel 't eerst neervallen, terwijl in eene andere reeks de kleine kogel steeds voorop ging.

Maar er bestond nog eene andere bron van fouten, n. l. deze, dat men de veranderingen in valhoogte van den kleinen kogel slechts naar eene richting van boven naar beneden of omgekeerd wijzigt; daarom werden ook om deze fouten te ontgaan de proeven ingedeeld in dalende en opstijgende reeksen en verkreeg men dus vier hoofdgevallen

I ↓	I ↑	II ↓	II ↑
Groote kogel het eerst. Dalend.	Evenzoo. Opstijgend.	Kleine kogel het eerst. Dalend.	Evenzoo. Opstijgend.

Op de boven aangegeven wijze waren door Lorenz tabellen ontworpen, waarin was aangegeven, hoeveel malen bij eene bepaalde valhoogte van den kleinen kogel 't geluid door deze verkregen als het sterkst werd aangeduid, hoeveel keeren de grootste kogel de sterkste indruk gaf en het aantal der gevallen, waarin beide geluidsindrukken als gelijk werden waargenomen, terwijl hij tevens nog een rubriek van twijfelachtige gevallen onderscheidde, d. i. van gevallen, waarbij wel een verschil werd gehoord, maar de richting niet juist was aan te geven; deze rubriek, die door hem

aan fouten in de techniek, aan onoplettendheid of aan een gering timbreverschil der valgeluiden werd toegeschreven, was slechts spaarzaam vertegenwoordigd en onregelmatig verdeeld. Uit de genoemde tabellen werd nu, met behulp van tabellen voor den exponent ε, die opnieuw en nauwkeuriger dan door Tischer was geschied, bepaald werd, de waarde berekend van de Fechnersche nauwkeurigheidsfactor h (Praecisionsmass), welke evenredig zou zijn aan de gevoeligheid voor geluidsintensiteitsverschillen en dus omgekeerd evenredig aan $\frac{\Delta r}{r}$.

Het bleek hem bij beschouwing van de aldus verkregen waarden van den „Praecisionsmass", dat deze vrij groote schommelingen vertoonden; terwijl men toch, als de theorie van Fechner juist is constantheid had mogen verwachten; want volgens Fechner zou de nauwkeurigheidsfactor bij onveranderden hoofdprikkel en slechts onderling weinig verschillende en niet al te groote verschillen constant moeten zijn.

Het valt echter niet te ontkennen, dat Lorenz zich aan de laatste voorwaarde niet geheel heeft gehouden.

De gemiddelden uit alle waarden voor h van elke tabel waren:

Gewichten P/p.	Constante hoogte der groote kogel	nauwkeurigheidsfactor.
25 : 12.5	20	0.00727
„	30	0.00674
50 : 25	20	0.00391
„	30	0.00216

Op grond van deze aanzienlijke afwijkingen meent Lorenz dan ook, dat de mathematische grondslag der methode der juiste en foutieve gevallen, zooals die door Fechner is ontworpen, niet geheel juist kan zijn.

Daar de nauwkeurigheidsfactor een maatstaf zou zijn ter

beoordeeling van de gevoeligheid voor intensiteitsverschillen zou men dus uit de voorgaande tabel mogen opmaken, dat bij toename der prikkelintensiteit die gevoeligheid zou afnemen en dus $\frac{\Delta r}{r}$ grootër worden.

Om nu de wet van Weber nauwkeuriger te toetsen, werden door Lorenz ook nog proeven verricht volgens de methode der minimale veranderingen.

Als criterium voor de juistheid van die wet werd door hem beschouwd de gelijkheid der quotienten $\frac{r_o}{r}$ en $\frac{r}{r_u}$ (waarin r de prikkelintensiteit voor het gelijkheidspunt voorstelt en r_o en r_u respectievelijk, die voor het juist waar te nemen verschil naar boven en onder). Binnen niet al te enge grenzen bleken nu deze quotienten constant te zijn, waaruit dus ten gunste van de wet van Weber kon besloten worden.

Ook Paul Starke [1]) spreekt zich bij eene studie over „Die Messung von Schallstärken" over de wet van Weber uit.

Experimenteerende met een door Wundt uitgedachten en door hem verbeterden Fallphonometer kwam hij door toepassing der methode der minimale veranderingen tot een resultaat dat vele onderzoekers later tot grondslag zou dienen n.l. dat de geluidssterkte proportionaal is aan de levende kracht dus hier in casu aan 't gewicht der kogels en valhoogte; tevens kon hij uit zijne proeven tot geldigheid van de wet van Weber besluiten.

Daar Dr. Jul. Merkel [2]) van meening was, dat de onderzoekingen van Tischer en Lorenz niet in alle opzichten den toets der critiek konden doorstaan, achtte hij zich geroepen 't onderzoek te hernieuwen.

---

[1]) Phil. Stud. Wundt Bd. III. 1886. S. 264.

[2]) Das psychophysische Gesetz in Bezug auf Schallstärken. Wundt. Philos. Stud. Bd. IV. S. 117.

Door Tischer was in 't geheel geen rekening gehouden met de opvolging in tijd (Zeitfolge) en tevens was door hem bij de berekening zijner geluidssterkte gebruik gemaakt van de formule $i = c\,p\,h^{\varepsilon}$. Hij had dus voor het gewicht aangenomen de exponent 1 en voor de hoogte een onveranderlijken exponent ε, terwijl toch gebleken was dat deze exponent met de valhoogte veranderde.

Lorenz had wel met de opvolging in tijd rekening gehouden en ook met de veranderlijkheid van den exp. ε, maar de berekening van dezen exp. was niet in alle opzichten tegen critiek bestand.

Daar Lorenz werkte met kogels, die zich, wat betreft hun gewicht, verhielden als 2 : 1, zoo is de constante valhoogte van het grootste gewicht steeds kleiner dan de valhoogten h_u en h_o van het kleinste en toch maakt hij ter berekening van de intensiteit van het geluid door het grootste gewicht verkregen, gebruik van een exp. ε, wiens waarde ligt in 't midden van die van ε_o en ε_u, waardoor hij dus ε veel te groot neemt.

Voor zijn onderzoek volgde Merkel de methode der minimale veranderingen, terwijl hij voor de berekening der geluidssterkte gebruik maakte van de formule $i = p^{n}\,h^{\varepsilon}$.

De hoofd- en de vergelijkingsprikkels werden opgewekt door 't vallen van 2 kogels van gelijk gewicht. (Lorenz had daartoe 2 kogels van verschillend gewicht aangewend).

De eene kogel p viel constant van dezelfde hoogte en wel het eerst, daarna werd de valhoogte van den tweeden kogel zoolang vergroot tot het geluid even sterker scheen en dan werd weer teruggegaan tot een punt waar het verschil juist even verdween. Beide punten werden genoteerd. Ditzelfde werd nog eens voor dezelfde constante hoogte herhaald, de hoofdprikkel kwam dan echter in de tweede plaats.

Uit deze 4 waarden werd het aritmethisch gemiddelde h_o berekend. Op overeenkomstige wijze werd ook h_u gevonden. Na een pauze werd dan nog eens eene bepaling van h_o en h_u verricht, waarbij dan zoowel de tijdsopvolging als ook de volgorde der bepaling van h_o en h_u werden veranderd.

Daar nu

1) $$i_o = p^n h_o{}^{\varepsilon_o}$$

2) $$i = p^n h^{\varepsilon}$$

3) $$i_u = p^n h_u{}^{\varepsilon_u}$$

4) $$\frac{i_o}{i} = \frac{h_o{}^{\varepsilon_o}}{h_{\varepsilon}} = a$$

5) $$\frac{i}{i_u} = \frac{h^{\varepsilon}}{h_u{}^{\varepsilon_u}} = b$$

moeten, wil de wet van W e b e r door deze proeven als juist bevonden worden, alle waarden voor a en voor b gelijk zijn en zullen ook a en b onderling slechts weinig mogen verschillen.

Uit de tabellen voor deze waarde opgesteld, blijkt nu, dat dit over 't algemeen vrijwel uitkomt.

Ook werd door hem nog de relatieve bovenste en onderste verschil drempelwaarde bepaald, waarvoor hij als gemiddelde verkreeg $\frac{\Delta^o i}{i} = 0{,}363$ en $\frac{\Delta^u i}{i} = 0{,}262$, terwijl de proeven, waaruit deze gemiddelde berekend werden, zich uitstrekten over een prikkelingsschaal van 1 tot 10656.

Nog werd door M e r k e l de wet van W e b e r onderzocht volgens een door hem uitgedachte methode, die door hem bestempeld werd met den naam van methode der gevallen van gelijkheid en ongelijkheid.

Bij de methode der juiste en foutieve gevallen, verklaren we twee geluidsprikkels als gelijk, zoolang we geen duidelijk verschil waarnemen. Zoodra echter een verschil duidelijk hoorbaar is, gaan we weer terug tot de beide geluidsprikkels als gelijk worden waargenomen.

Nu dringt zich terstond aan ons de vraag op, hoe ons oordeel zal moeten luiden bij het waarnemen van den geluidsprikkel verkregen door middeling van de twee op boven omschreven wijze gevonden waarden. Het is duidelijk, dat ons oordeel dan zal zweven tusschen de keus beide prikkels als gelijk of als verschillend aan te geven.

Bij het nemen der proeven volgens deze methode maakte hij gebruik van een hoofdprikkel en bijbehoorenden vergelijkingsprikkel, die zich tot den eersten verhield als zooeven is aangegeven. De oordeelvellingen, bij welke het objectief voorhanden verschil als juist werd waargenomen, werden als gevallen van ongelijkheid genoteerd en deze waar het verschil niet werd waargenomen als gelijkheidsgevallen aangegeven.

Op deze methode, die het voordeel biedt geen of slechts weinig oordeelvellingen correspondeerend met de g-gevallen der Fechner'sche methode op te leveren, werden de wetten der waarschijnlijkheidsrekening toegepast, zooals dat geschiedt bij de methode der juiste en foutieve gevallen en zoo kwam Merkel, tot een criterium van de wet van Weber,

$$I\,m = I_1\,m_1 = const.$$

waarin m en m_1 voorstellen grootheden, welke aangeven den graad van nauwkeurigheid, waarmee de geluidsintensiteit I en I_1 respectievelijk worden beoordeeld. (Müller'sche Praecisionsmass.) Daar m en m_1 zijn uit te drukken in berekenbare grootheden, zijn deze beide waarden dus te vinden.

$$m = M \sqrt{\frac{I_1^2}{I^2} + 1}$$

$$m_1 = M \sqrt{\frac{I^2}{I_1^2} + 1}$$

Hierin is $I = p^n h^z$ en $I_1 = p^n h_1^{z_1}$ en dus uit de proeftabellen te verkrijgen.

M is een grootheid, die aangeeft den graad van nauwkeurigheid, waarmee 't intensiteitsverschil tusschen de beide geluidsprikkels wordt opgevat (Fechner'sche Praecisionsmass) en in de door Fechner in zijne Elemente der Psychopsysik aangegeven fundamentaal tabel te vinden.

Uit de volgens deze methode verkregen cijfers voor Im blijkt nu, dat deze aan den eisch van constantheid vrij wel voldoen. Ook werden nog door Merkel uit de gegevens van deze proefreeksen de bovengenoemde waarden a en b berekend, die eveneens onderling slechts geringe verschillen aanboden. Hij meende daarom dan ook volkomen gerechtigd te zijn om ook hieruit tot de geldigheid van de wet van Weber te besluiten.

Vermelding verdient nog dat Merkel zijne publicatie aanvangt met een onderzoek naar de methode der juiste en foutieve gevallen van Fechner in verband met de kritiek door Müller daarop uitgebracht.

Zijne proeven hieromtrent verdeelt hij in drie groepen 1) een onderzoek naar de aan Fechners methode tot basis dienende veronderstelling, dat bij vergelijking van twee geluidsprikkels van gelijke sterkte, het aantal juiste en foutieve gevallen gelijk is 2) een groep, waarin voor 3 verschillende constante hoogten met een groot aantal verschillen (D) proeven werden genomen en 3) nog waarnemingen,

waarin slechts met 2 D's pos. en neg. werd geëxperimenteerd.

Voor deze onderzoekingen werd gebruik gemaakt van kogels van messing, die vielen op een vierkant bord van hard hout, terwijl de kogels niet uit de hand werden losgelaten, maar uit langs staven verschuifbare valtangen neervielen.

Bij deze proeven werden, zooals trouwens ook bij de vorige 't geval was, vier hoofdgevallen onderscheiden, al naar den hoofdprikkel in de eerste of tweede plaats werd aangebracht (tijdsopvolging) of met klimmende en dalende hoogte werd geëxperimenteerd (ruimteopvolging). Ook voor deze onderzoekingen was hij aan de hand der waarschijnlijkheidsrekening tot 't besluit gekomen, dat, gold de wet van Weber, de producten $i_1 m_1$ en $i_2 m_2$ enz. constant moesten wezen.

Wat nu 't resultaat van zijn onderzoek boven sub 1) aangegeven betreft, zoo bevond hij de aan de Fechner'sche methode tot basis dienende veronderstelling bewaarheid, terwijl uit de andere proefreeksen bleek, dat 't product $i m$ (m is de Müller'sche Praecisions mass) binnen niet al te enge grenzen constant was, en dat dus een oordeel omtrent de wet van Weber ten gunste van deze moest luiden.

Eenige tijd later is door Merkel bij gelegenheid van eene studie over „Die Abhängigkeit zwischen Reiz und Empfindung" [1]) het onderzoek met behulp der methode der minimale veranderingen nog eens op dezelfde wijze herhaald en hierbij werd met zwakker intensiteiten geëxperimenteerd, dan in zijn vorig onderzoek 't geval was geweest.

Zijne eindresultaten zijn in de beide volgende tabellen te vinden, waarin r en r_o de bekende op overeenkomstige wijze als bij de vorige waarnemingen verkregen, prikkelgrootten voorstellen.

---

[1]) Wundt. Philos. Stud. Bd. V. S. 499. 1889.

r	r_0	$\frac{r_0}{r}$		r	r_0	$\frac{r_0}{r}$	
0,412	0,681	1,654		1,92	2,78	1,446	
1,030	1,521	1,477		3,84	5,31	1,383	
3,015	2,784	1,375		9,54	12,64	1,325	
4,050	5,415	1,337		18,72	24,58	1,313	Gem. 1,307.
10,12	13,18	1,302	Gem. 1,300.	50,10	65,63	1,310	
24,96	32,27	1,293		100,2	130,7	1,304	
49,43	63,72	1,289		200,4	262,9	1,312	
132,4	172,4	1,302		369,9	477,9	1,292	
259,7	336,6	1,296		668,0	877,8	1,314	
488,6	640,6	1,311		1286,0	1665,0	1,295	
869,4	1128,0	1,297		2755,0	3637,0	1,320	
1590,0	2075,0	1,305		5510,0	7180,0	1,303	
2468,0	3196,0	1,294					
4936,0	6475,0	1,312					

Ook uit deze onderzoekingen volgt de geldigheid van de wet van Weber; slechts voor heel zwakke intensiteiten zou de verschildrempelwaarde grooter zijn dan met deze wet in overeenstemming is.

Deze afwijking voor zeer zwakke geluiden, meent Merkel, dat afhankelijk is van storende nevengeruischen, en zal zich dus met toe- of afname van deze tot grooter of kleiner waarden van r uitstrekken.

Door Frank Angell [1]) werd bij een onderzoek naar de bruikbaarheid der methode der gemiddelde graduatie (mittleren Abstufungen) de gelegenheid aangegrepen zijne proefresultaten ook aan een onderzoek naar de wet van Weber dienstbaar te maken.

Wanneer R_1 en R_2 de sterkte van twee geluidsprikkels voorstellen, heeft bovengenoemde methode ten doel een ge-

[1]) Untersuchungen über die Schätzung von Schallintensitäten nach der Methode der mittleren Abstufungen. Wundt, Phil. St. VII. S. 414.

luidsintensiteit R_v te vinden van dien aard, dat 't tusschen R_v en R_1 gelegen verschil als gelijk aan dat tusschen R_2 en R_v gelegen wordt waargenomen.

Bij juistheid van de wet van Weber is dan

$$\frac{R_v - R_1}{R_1} = \frac{R_2 - R_v}{R_v}$$

$$R_v = \sqrt{R_1 \times R_2}$$

en zal dus R_v van 't geometrisch gemiddelde der beide hoofdprikkels zoo min mogelijk mogen afwijken.

Angell experimenteerde met ivoren kogels van gelijk gewicht, terwijl hij als valapparaat de Fallphonometer van Starke [1]) aanwendde, waarvan hij den valbodem eenigszins gewijzigd had door deze te voorzien van op vilt rustende ebbenhouten platen. Aldus gelukte het hem qualitatief gelijke geluiden te verkrijgen.

Het geschatte midden R_m der hoofdprikkels R_1 en R_2 verkreeg hij door middeling van alle waarden voor R_v, die de vier volgende hoofdgevallen opleverden.

volgreeks	R_1	R_v	R_2	bij stijgend	varieerend	R_v
„	R_1	R_v	R_2	„ dalend	„	R_v
„	R_2	R_v	R_1	„ stijgend	„	R_v
„	R_2	R_v	R_1	„ dalend	„	R_v

Daar 't hem over 't algemeen eene niet op te lossen quaestie leek te bepalen, hoeveel energie der vallende kogels in geluidstrilling werd omgezet, en daar hij toch met 't slechts weinig gewijzigde toestel werkte, waarmede Starke zijne onderzoekingen omtrent de verhouding van geluidsintensiteit en valhoogte had verricht, meende hij 't feit, dat diens proeven binnen bepaalde grenzen de proportionaliteit van valhoogte en geluidssterkte hadden aan-

[1]) Wundt Phil. Stud. Bd. III 1889. S. 264.

getoond, te kunnen aanvaarden en dit resultaat ook voor zijne proeven te mogen gebruiken.

Bij 't aanbrengen van regelmatige veranderingen in de vergelijkingsprikkel R_v bleek hem, dat fouten gemaakt werden door de verwachting en het gewennen der proefpersonen en daarom werden de proeven met onregelmatige veranderingen herhaald.

De proefpersoon moest dan aangeven of de vergelijkingsprikkel als boven 't midden (o) onder 't midden (u) of als 't midden zelf tusschen de twee comstante hoofdprikkels R_1 en R_2 werd waargenomen. De resultaten van deze waarnemingen werden in tabellen onder de drie genoemde rubrieken bijeengebracht. Om nu uit deze tabellen den middenprikkel te vinden, voegde hij de helft van de gevallen, waarbij de vergelijkingsprikkel was aangegeven als juist in 't midden der twee constante prikkels gelegen, bij de o-gevallen en de andere helft bij de u-gevallen.

Dan zal deze prikkel 't meest R_m nabij komen waarvan geldt de gelijkheid van $o' = o + {}^1/_2\, m$ en $u' = u + {}^1/_2\, m$.

Langs dezen weg werden door Angell de waarden van R_m bepaald voor 5 prikkelintervallen en daarbij kwam hij tot de volgende eindtabel, die een overzicht geeft over 't eindresultaat zijner waarnemingen voor de beide proefpersonen *Ke* en *Kr*.

$R_1 : R_2$	*M. G.*	*A. M.*	*Ke*	*Kr*
10 : 40	20,0	25,0	19,62	20,49
20 : 60	34,6	40,0	35,00	35,75
15 : 60	30,0	37,5	28,60	32,33
20 : 80	40,0	50,0	41,61	43,71
20 : 100	44,7	60,0	43,77	51,11

Hierin stelt $R_1 : R_2$ de verhouding der prikkelintensiteiten voor (uitgedrukt in de valhoogte, waaraan Angell immers de geluidssterkte als evenredig beschouwt) en zijn *G. M.* en *A. M.* 't berekende geometrische en arithmetische gemiddelde dier intensiteiten.

Uit deze tabel blijkt nu ten duidelijkste, dat de door de proeven verkregen middenwaarden der geluidsprikkels R_1 en R_2 weinig van 't geometrische gemiddelde afwijken; vooral is dit van *Ke* 't geval. Terecht besluit dan ook Angell, zijne methode als bruikbaar beschouwend, tot de juistheid van de wet van Weber. Daar echter de voor de beide proefpersonen langs empirischen weg verkregen waarden van den middenprikkel alle dichter bij 't berekende geometrische gemiddelde der hoofdprikkels dan bij 't arithmetische gemiddelde gelegen zijn, mag men niet alleen tot de geldigheid van de wet van Weber besluiten, maar ook tot juistheid van de door Fechner aan deze wet gegeven uitbreiding.[1]) Want indien inderdaad de logarithmische betrekking tusschen prikkel en gewaarwording, zooals Fechner die aangeeft, juist is, dan zal gelden

$$E_1 = k \log. R_1$$
$$E_2 = k \log. R_2$$

en de gemiddelde geluidsgewaarwording, waarvoor men verkrijgt,

$$E_m = {}^1/_2 (E_1 + E_2)$$
$$= {}^1/_2 k (\log. R_1 + \log. R_2)$$
$$= k \log. \sqrt{R_1 \times R_2}$$

zal dan correspondeeren met een prikkel

$$R_m = \sqrt{R_1 \times R_2}.$$

---

[1]) A. Stefanini. Sulla legge di oscilazione del diapason e misura dell' intensità del suono. Nuova Cimento, Serie 3 vol. XXVI en XXVII.

Indien men echter eenvoudige proportionaliteit tusschen prikkel en gewaarwording aanneemt zou men moeten stellen

$$E_m = {}^1/_2\ k\ (R_1 + R_2)$$

correspondeerend met een prikkel

$$R_m = {}^1/_2\ (R_1 + R_2)$$

en had dus de waarde van den middenprikkel R_m 't dichtst bij het arithmetisch gemiddelde der hoofdprikkels gelegen moeten zijn.

't Resultaat van dit onderzoek stemt niet overeen met dat van Merkel, medegedeeld in zijne verhandeling over „Die Abhängigkeit zwischen Reiz und Empfindung" [1]). Deze vindt de, volgens de methode der gemiddelde graduatie verkregen, middenprikkel dichter bij 't arithmetisch dan bij 't geometrisch gemiddelde gelegen.

Bij eene verhouding der beide uiterste prikkels als 1 : 4 vindt bij voor R_m ongeveer 't arithmetisch gemiddelde, bij kleiner verhoudingen is de middelprikkel zelfs nog grooter, terwijl bij grooter verhouding de waarde van R_m zich meer en meer naar 't geometrisch gemiddelde beweegt.

Deze geringe overeenstemming der resultaten van Merkel en Angell zou zijn grond vinden in 't feit, dat de laatste met slechts drie verschillende verhoudingen der hoofdprikkels heeft gewerkt [2]).

Daar omtrent de bruikbaarheid der methode der juiste en foutieve gevallen en hare mathematische motiveering nog steeds geen algemeene eenstemmigheid bestond, besloot Bruno Kämpfe [3]) deze methode nog eens zoo nauw-

---

[1]) Wundt. Philos Stud. Bd. V. S. 499. 1889.

[2]) W. Ament. Ueber das Verhältniss der ebenm. zu den überm. Unters. bei Licht und Schallintensitäten. Philos. Stud. Bd. 16. S. 135.

[3]) Beitrage zur experimentelle Prüfung der Meth. der richt. und falschen Fälle. Wundt. Phil. Stud. Bd. VIII. S. 511.

keurig mogelijk aan een onderzoek te onderwerpen; bij welk onderzoek hij, evenals alle anderen, die voor hem deze psycho-physische methode getoetst hadden, tot een uitspraak over de wet van Weber is gekomen.

Zijne geluidsintensiteiten verkreeg hij door gebruik te maken van den door Fechner in zijne Elemente der Psychopsysik beschreven dubbelen geluidsslinger. Door eenige veranderingen aan dit instrument aan te brengen was het hem gelukt den geluidsindruk door de beide slingers bij het aanslaan verwekt van gelijke qualiteit te verkrijgen. Nadat reeds een belangrijk aantal waarnemingen verricht waren, bleek hem echter, dat deze veranderingen niet afdoende waren geweest en een timbre verschil was opgetreden. Om deze reden besloot hij dan ook slechts met een slinger te experimenteeren; wat geen bezwaar opleverde, daar het hem mogelijk was de slinger snel en toch nauwkeurig weer in zijn stand te brengen en dus de geluidsindrukken voldoende vlug op elkaar te doen volgen.

Aldus handelende, had hij zich geheel gevrijwaard van fouten ontstaan door timbre-verschil der beide aanslagplaten, kogels en slingerarmen.

Evenals Frank Angell ging hij uit van de juistheid der door Starke aangetoonde proportionaliteit van geluidsintensiteit en valhoogte.

Hij meende daartoe te meer gerechtigd te zijn, daar hij zich, wat betreft zijne valhoogte geheel bewoog binnen de grenzen der door Starke onderzochte hoogten. Het feit, dat diens onderzoekingen gelden voor vrij vallende kogels en dat Kämpfe met slingerbewegingen te doen had, doet niets ter zake, daar in haar effect beide bewegingen als gelijk te beschouwen zijn. Eene eenvoudige mathematische bewerking toont aan dat h door $\sin.^2 {}^1/_2 \alpha$ (α is de elevatiehoek van den slinger) is te vervangen.

Kämpfe verrichtte zijne onderzoekingen voor eene hoofdelevatie van den slinger van 30°, 40°, 50° en 60°, terwijl elke reeks uit 25 waarnemingen bestond en natuurlijk ook met de tijds- en ruimteopvolging rekening werd gehouden.

Sommige reeksen zijner waarnemingen verrichtte hij geheel alleen, terwijl hij dus zelf 't toestel bediende en zelf zijne oordeelvellingen uitsprak (ganz wissentlich Verfahren) voor andere reeksen waren slechts de verschillen *(D)* en de tijdsopvolging den proefpersoon bekend, weer andere werden uitgevoerd terwijl de reagent van niets der proefconstellatie wist (ganz unwissentlich Verf.)

Wat de grootte van het prikkelverschil betrof, dit klom steeds met $^1/_2{}^\circ$ zoolang tot bijna uitsluitend *r*-gevallen verkregen werden.

Aan het slot van zijne meedeeling gaat Kämpfe wat dieper op de wet van Weber in en ontwerpt voor de geldigheid van deze de volgende formule, waaraan voldaan moet worden.

$$h\ (i + {}^1/_2\ D) = const.$$

Hij komt daartoe door de navolgende overwegingen,

Is h de Praecisionsmass voor het verschil D en zijn H en H_1 grootheden, die de nauwkeurigheid aangeven waarmee de geluidsintensiteiten i en i_1 $(= i + D)$ worden waargenomen, dan moet volgens Merkel, wil de wet van Weber als juist aangemerkt worden, voldaan worden aan de voorwaarde

$$H\,i = H_1\,i_1 = constant.$$

Volgens de wetten der waarschijnlijkheidsrekening bestaat er nu tusschen h, H en H_1 de volgende betrekking:

$$\frac{1}{h^2} = \frac{1}{H^2} + \frac{1}{H_1^2}$$

$$h = \frac{H H_1}{\sqrt{H^2 + H_1^2}}$$

Daar $H i = H_1 i_1 = const.$ en dus

$$H = \frac{c}{i} \qquad H_1 = \frac{c}{i_1}$$

is dus: $$h = \frac{c}{\sqrt{i^2 + i_1^2}}$$

$$c = h\sqrt{i^2 + i_1^2}.$$

Daar $i_1 = i + D$

$$c = h\sqrt{2\,(i^2 + \frac{D^2}{2} + D\,i)}$$

Vermindert men den term onder het wortelteeken met $\frac{D^2}{2}$ wat zonder bezwaar mag geschieden, daar $\frac{D^2}{2}$ ten opzichte van i uiterst klein is, zoo gaat de formule over in:

$$c = h\sqrt{2} \times \sqrt{(i^2 + {}^1/_4\, D^2 + i\,D)}$$
$$c = h\,(i + {}^1/_2\, D)\sqrt{2}$$
$$h\,(i + {}^1/_2\, D) = constant.$$

In deze formule zijn i en $D = i_1 - i$ als bekende te beschouwen daar ze evenredig zijn aan de valhoogte, in casu aan $\sin^2 {}^1/_2\,\alpha$. Wat h betreft deze verkrijgt men op de bekende wijze door gebruikmaking van de fundamentaal tabel van Fechner.

Hierbij dient nog opgemerkt te worden dat deze h door Kämpfe niet berekend werd zooals o. a. Fechner aangeeft door de g-gevallen voor de helft bij de r- en f-gevallen te voegen, maar dat zulks geschiedde, zooals door Merkel

was aangegeven, door ongelijke meer ingewikkelde verdeeling der g-gevallen. Aan 't criterium nu van constantheid van $h\ (i + {}^1/_2\ D)$ voldoen de resultaten van Kämpfe vrij goed.

Zoo vindt hij als gemiddelde van $h\ (i + {}^1/_2\ D)$ voor zijne reeksen met constante slingerelevatie van 40°, 50° en 60° respectievelijk 8,54; 8,38 en 8,74.

Voor dat ik mijn overzicht van Kämpfe's onderzoek eindig, dient er nog even op gewezen te worden, dat hij, evenals Merkel, door de resultaten van zijn onderzoek zich gedrongen gevoelt in den strijd tusschen Fechner en Müller over de opvatting van de Praecisionsmass zich aan de zijde van den eerstgenoemde te scharen.

J. E. Müller is van meening dat de Fechner'sche Praecisionsmass niet met de gevoeligheid voor verschillen in verband staat. Als maat hiervan wordt door hem opgevat de verschildrempelwaarde $2\ S$ d. i. de grootte van het gebied waarin de g-gevallen nog voorkomen.

De waarde van S wordt op analoge wijze verkregen als die van den nauwkeurigheidsfactor zelf, door middel van de fundamentaal tabel.

Uit de proefresultaten van Kämpfe blijkt nu dat S zeker niet als maat dier gevoeligheid voor verschillen kan dienen, daar S overal onregelmatig en opvallend klein voorkomt, slechts die reeksen, die door een „wissentlich Verfahren" waren verkregen, waren iets gunstiger voor de opvatting van Müller.

Ook is de grootte van S, zooals ook reeds Merkel had beweerd, steeds veel kleiner dan de verschildrempelwaarde volgens de methode der minimale veranderingen verkregen. Om dit aan te toonen berekende hij, volgens de laatste methode experimenteerende, $\frac{\Delta r}{r}$ voor een constante

elevatiehoek van 60°. Hij vond bij dit onderzoek van $\frac{\Delta r}{r}$ voor zich en twee andere experimentatoren waarden van 0,20—0,23; 0,168 en 0,213.

Kämpfe publiceerde zijne onderzeekingen in 1893. Ruim 10 jaar lang werd de wet van Weber voor geruischen niet onderzocht, totdat in 1904, G. A. Hoefer[1]) door middel van zijne dissertatie zijn „Onderzoek naar de wet van Weber-Fechner voor geluidsintensiteiten bij psychosen, functioneele neurosen en normale toestanden" 't licht deed zien.

Dit onderzoek onder leiding van Prof. Ziehen in het psychol labor. te Utrecht en Halle verricht, beoogt in de allereerste plaats de wet van Weber bij lijders aan psychosen enz. te toetsen.

In 't laatste deel van het proefschrift wordt Weber's wet voor een viertal normale personen, waaronder Prof. Ziehen, nog eens onderzocht.

Hoefer koos voor zijn doel als apparaat ter verwekking van geluidsintensiteiten de Fallphonometer, zooals ook door de meesten, die voor hem geëxperimenteerd hadden, was geschied.

De ivoren kogels, die hij bij zijn toestel gebruikte en die door een, langs een loodrechten stang verschuifbaar, electromagnetisch valapparaat werden vastgehouden, vielen door opening van den stroom op hellende ebbenhouten platen die op dik vilt lagen en bevestigd waren op een plank van hard hout.

Reeds bij 't begin zijner proeven bleek hem, dat het niet mogelijk was bij gebruikmaking van twee even zware kogels voor den hoofd- en vergelijkingsprikkel de beide daardoor verkregen geluidsintensiteiten geheel van een timbreverschil

---

[1]) G. A. Hoefer. Dissertatie Groningen 1904. Psychiat. en Neurol Bladen. 1904.

te ontdoen, daarom besloot hij, evenals Kämpfe voor zijne beide prikkels, slechts een en dezelfde kogel, die steeds op dezelfde ebbenhouten plaat viel, voor zijne proeven te gebruiken. Door snel te verschuiven kon hij, bij goed onderhoud van het toestel, de beide geluidsintensiteiten met een interval van twee seconden elkaar doen opvolgen.

Als methode van onderzoek werd gebruik gemaakt van die der juiste en foutieve gevallen, terwijl hij de Praecisionsmass berekende volgens de aangifte van Fechner, ook wat betreft de verdeeling der *g*-gevallen.

De methode van Müller werd door hem, alhoewel mathematisch juister, verworpen, daar de omslag, dien deze vereischt, niet evenredig is aan den graad van nauwkeurigheid er door verkregen. Ook van de toepassing der door Merkel aangegeven verdeeling der *g*-gevallen moest afgezien worden.

Merkel berekent de Praecisionsmass eerst voor de juiste gevallen en daarna voor deze vermeerderd met de *g*-gevallen; daar Hoefer nu vele proefreeksen verkreeg, waarin alleen *r*- en *g*-gevallen voorkwamen, zou de Praecisionsmass en dus ook de verschil-gevoeligheid oneindig groot worden en dit zou juist in strijd zijn met het voorkomen van deze *g*-gevallen; want als de gevoeligheid voor verschillen oneindig groot is, zou men immers alleen maar *r*-gevallen mogen vinden.

Wat betreft de berekening der geluidsintensiteiten handelde Hoefer geheel als Angell en Kämpfe hadden gedaan. Steunende op de proeven van Starke was het onnoodig rekening te houden met de absolute intensiteit, en was bekendheid der valhoogten voldoende.

Door de meesten der vorige onderzoekers was rekening gehouden met fouten door tijd- en ruimteopvolging ontstaan; door Hoefer werd dit ook gedaan. Door hem werd echter

nog een fout vermeden, die den vorigen onderzoekers niet bekend was. Deze fout bestaat daarin, zooals o.a. door Martin en Müller bij proefnemingen over 't optillen van gewichten was aangetoond, dat de absolute indruk van den tweeden prikkel beslissend is voor ons oordeel, vooral wanneer die tweede prikkel nog de vergelijkingsprikkel is. Op aanraden van Prof. Ziehen werd deze fout geëlimineerd door in plaats van een reëelen grondprikkel een virtueelen te nemen, waarbij hij dus de beide geluidsintensiteiten verkrijgt door evenver naar boven als naar beneden van het virtueele punt te gaan. [1])

Bij zijne proeven te Halle paste hij dit echter voor 't eerst toe.

Van Hoefer's onderzoek kunnen slechts de proeven met normale personen genomen ons belang inboezemen. Zooals reeds boven is gezegd, werden hiertoe 4 personen onderzocht, waarvan we de resultaten verkregen bij slechts een enkele der reagenten, n. l. prof. Ziehen, wat nader zullen beschouwen. Met de drie andere zijn te weinig proeven genomen, dan dat zij tot dit doel kunnen dienen.

Prof. Ziehen was zoo welwillend 't niet geringe aantal van 7500 proeven op zich te laten nemen.

Voor dit onderzoek werden een vijftal constante valhoogten als hoofdprikkel met acht verschillende D's aangewend. Wil nu de wet van Weber bevestiging vinden door dit onderzoek, dan moet 't product van de nauwkeurigheidsmaat en geluidsintensiteit $(h \times I)$ of wat 't zelfde is $h \times$ de valhoogte $(h \times G)$ constant zijn. Om dit na te gaan werd de verhouding berekend der producten hG bij verschillende grondprikkels en evenredige verschillen D; de quotienten

[1]) Th. Ziehen. Einige Bemerkungen zur Anwendung der Meth. der r- und f-Fälle bei psychologischen Untersuchungen. Monatschr. f. Psych. und Neurol, p. 64. Bd. XV. 1904.

dier producten $h\,G$ moeten dan steeds 1 zijn. Dit werd nu niet geheel en al zoo gevonden. De quotienten vertoonen betrekkelijk nog al afwijkingen, zij schommelen tusschen 1,3 en 0,5.

Over 't algemeen werd 't product $h\,G$ bij grootere verschillen D bij benadering constant bevonden, bij de kleinere D blijkt deze constantheid veel minder 't geval te zijn.

Ook vertoonen de verschillende h's in de reeksen, waar men slechts geringe onderlinge verschillen volgens de theorie had mogen verwachten, belangrijke afwijkingen.

Of dus de arbeid van Hoefer als een krachtige steun voor de wet van Weber kan aangemerkt worden, is een vraag waarop men mijns inziens niet maar direct zonder aarzelen bevestigend zal antwoorden.

Al de tot nu toe besproken onderzoekingen omtrent de wet van Weber gelden slechts geruischen en bijna alle zijn verricht volgens de methode der juiste en foutieve gevallen. Nu is tegen deze methode in 't algemeen dit bezwaar aan te voeren, dat nog zoo weinig vaststaat welke waarde aan de door haar verkregen cijfers is te hechten.

Immers de meeste der hier genoemde onderzoekingen zijn feitelijk verricht meer ter wille van de methode zelf, dan om de wet van Weber te toetsen.

Dit geldt ook voor de waarnemingen van Merkel en Kämpfe, die zeker als de beste en nauwkeurigste mogen worden aangemerkt. Door beiden wordt als criterium voor de juistheid van de wet van Weber aangenomen de constantheid van het product $h\,I$ en ook Hoefer heeft, in de meening, dat dit wel de meest veilige weg was, dit criterium aanvaard, terwijl Prof. Ziehen de juistheid hiervan nog zeer twijfelachtig toeschijnt [1]).

---

[1]) Monatschrift für Psych. und Neurol. 1904.

Ook Erich Mosch [1]) is van meening, dat de foutenwet van Gauss in zijn eenvoudigen vorm niet toegepast mag worden gelijk in de methode der juiste en foutieve gevallen geschiedt.

Nu behoeft het ook zeker geen betoog, dat de onzekerheid omtrent de juiste verhouding tusschen de geluidsintensiteit en valhoogte er veel toe bijgedragen heeft, dat de waarden van $\frac{\Delta r}{r}$ voor zoover die tenminste gegeven worden, nog al uiteenloopen.

Vatten we daarom het resultaat van al deze onderzoekingen samen, dan mogen we daaruit besluiten, dat voor geruischen de wet van Weber met eenige toegeeflijkheid binnen ruime grenzen geldt en dat de waarde der relatieve verschildrempelwaarde ongeveer 33 % zal bedragen.

Uit de vorige bladzijden blijkt, dat de onderzoekingen omtrent de wet van Weber voor geruischen betrekkelijk talrijk zijn; voor toonintensiteiten is dit niet 't geval. Slechts één onderzoek van dien aard kan men in de litteratuur op dit gebied aantreffen, n.l. dat van Max Wien [2]) in 1888 in het physiol. lab. van von Helmholtz verricht.

De voor het onderzoek vereischte constante toonintensiteiten verkreeg hij op de volgende wijze.

Van een resonator werd de opening, welke men bij 't gebruikmaken in 't oor pleegt te steken, verwijd en aan deze de bovenste helft van de kapsel van een aneroid barometer luchtdicht bevestigd. Bij luchtverdunningen en verdichtingen in den resonator zal dus de dunne elastische metaalplaat zich bewegen. Daar deze beweging echter

[1]) Erich Mosch. Zur Meth. der *r*- und *f*-Fälle im Gebiete der Schallempfindungen. Philos. Stud. Bd. 14. 1898. S. 491.

[2]) Max Wien. Ueber die Messung der Tonstärke. Inaugur. Diss. Berlin 1888. Wiedem. Ann. B XXXVI. 1889.

uiterst gering is, werd door W i e n de eigen toon van de metaalplaat in overeenstemming gebracht met dien van den resonator, zoodat nu de uitslag aanzienlijk grooter werd. Door een aan de kapsel bevestigde stift werd deze beweging weer overgebracht op een kleinen draaibaren spiegel. Klonk nu in de nabijheid van den resonator de toon, waarop deze resoneerde, dan geraakte de plaat in trilling en de spiegel draaide snel heen en weer. Dientengevolge zal men met een kijker, waarmee men in den spiegel het beeld van een sterk belichte spleet bekijkt, dit beeld niet als een lichtlijn zien, maar als een breeden band met sterker belichte randen. Om dezen band te kunnen meten werd in het brandpunt van den kijker een oculair micrometer aangebracht.

W i e n toont nu uitvoerig, zoowel langs experimenteelen als theoretischen weg aan, dat de breedte van het beeld van den spleet proportionaal is aan de amplitude en dus de intensiteit evenredig aan het quadraat van deze.

Als geluidsbron bezigde W i e n den toon van eene telefoon, die was ingeschakeld in de geleiding van eene electromotorisch gedreven stemvork, waarop de bijbehoorende resonator resoneerde. Door ingeschakelde vloeistof kolommen kon men den weerstand en dus de intensiteit van den toon wijzigen en door middel van den resonator op bovengenoemde wijze meten.

Om nu de wet van W e b e r met dit apparaat te controleeren werd de toon a' (440 tr.) vanaf de drempelwaarde tot bijna aan het maximum perceptibile onderzocht. Elke onderzochte toonsterkte was in intensiteit tienmaal zoo groot als de voorgaande en bij elke bepaling van Δr, die volgens de methode der minimale veranderingen geschiedde, werd het gemiddelde van 40 instellingen, verdeeld in 4 reeksen van 10, genomen.

De experimenten werden uitgevoerd met twee telefonen, waarvan de vloeistof weerstand en dus de geleverde toonsterkte voor de eene constant bleef en voor de andere variabel. De door de laatste telefoon verkregen toon werd nu eerst sterker genomen als de constante en dan werd van een waarneembaar verschil der beide tonen overgegaan tot een „eben untermerklich" verschil en vervolgens werd voor eene andere reeks, evenals de vorige uit tien waarnemingen bestaande, overgegaan van een „untermerklich" verschil tot een „eben übermerklich". Als dit was geschied werden er nog twee reeksen van waarnemingen gedaan met een variabelen vergelijkingstoon, zwakker dan de constante.

Voor deze reeksen (steeds van 10 waarnemingen) ging W i e n eerst uit van een waarneembaar en klom op tot een „eben untermerklich" verschil en voor de andere reeks daalde hij van een niet waarneembaar tot een „eben übermerklich" onderscheid.

Het gemiddelde van deze veertig aldus verkregen cijfers werd aan de verdere beschouwingen ten grondslag gelegd.

Volgens W i e n zou nu de volgende vergelijking gelden

$$I_o : I = l_o^2 : l^2$$

waarin I_o en I de intensiteit van de beide tonen en l_o en l de lengte der lichtbanden voorstellen.

Hieruit laat zich nu voor de verschildrempelwaarde gemakkelijk de volgende formule afleiden

$$\frac{\Delta r}{r} = \frac{I_o - I}{I} = \frac{l_o^2 - l^2}{l^2} \text{ of in procenten}$$

$$\frac{\Delta r}{r} = \frac{l_o^2 - l^2}{100\, l^2}$$

Langs dezen weg kreeg W i e n voor den toon a' (440 tr.) de volgende cijfers.

R	$\frac{\Delta r}{r}$
1,6	drempelwaarde
5,0	13,5% (?)
20,0	10,8%
10^2	11,2%
10^3	11,8%
10^4	11,6%
10^5	13,1%
10^6	14,0%
10^7	15,3%
10^8	16,1%
10^9	17,8%
10^{10}	22,5%
10^{11} (?)	35,0%

Ook voor den toon a (220 tr.) en e' (357 tr.) werden eenige waarnemingen gedaan.

Hij vond daarvoor 't volgende,

Toon a

R	$\frac{\Delta r}{r}$
10^2	18,2%
10^5	22,4%
10^8	27,0%

Toon e'

R	$\frac{\Delta r}{r}$
10^5	17,6%

Om deze resultaten niet subjectief te doen schijnen werd nu nog voor enkele personen $\frac{\Delta r}{r}$ bepaald volgens de me-

thode der juiste en foutieve gevallen, waarbij bleek, dat deze waarden grooter waren dan die, welke Wien zelf met de methode der minimale veranderingen had verkregen. Aan zijne groote geoefendheid in 't herkennen van geluidsverschillen meent hij dit te moeten toeschrijven.

Uit de boven aangegeven proefresultaten blijkt, dat de wet van Weber voor tonen binnen wijde grenzen geldig is. Voor middelmatige toonsterkten vertoont de waarde der verschildrempelwaarde slechts geringe schommelingen, om echter bij toename der sterkte snel te stijgen, wat Wien meent, dat zijne verklaring zou kunnen vinden in het feit, dat door dergelijke sterke geluiden ons gehoor spoedig vermoeid zou worden.

Tevens kan men ook direct uit Wien's proefresultaten lezen, dat tot dicht bij de Schwelle de verschildrempelwaarde steeds kleiner wordt, om vlak erbij weer te stijgen en dat ook met het klimmen der toonshoogte $\frac{\Delta r}{r}$ in waarde afneemt.

De laatst vermelde conclusie aan Wien's onderzoek ontleend is slechts gebaseerd op waarnemingen van drie verschillende tonen en kan dus zeker niet tot steun dienen voor den algemeenen regel, dat ons gehoor voor intensiteitsverschillen van hooge tonen gevoeliger is dan voor lage, zooals Wien, generaliseerende, geneigd is te besluiten. Het is zeer de vraag of er bij een onderzoek van meerdere hooge en lage tonen, geen afwijkingen van bovenopgestelden algemeenen regel zouden gevonden worden. Een dergelijk onderzoek heb ik mij daarom tot taak gesteld en de resultaten daarvan in de navolgende bladzijden samengevat.

HOOFDSTUK II.

Onderzoek met Orgelpijpen.

§ 1.

In de eerste plaats werd ter bepaling van de verschildrempelwaarde gebruik gemaakt van de navolgende houten gedekte orgelpijpen, die alle van dezelfde houtsoort uniform vervaardigd waren.

Toonshoogte.	Lengte.	Diepte.	Breedte.	Houtdikte.	Mondwijdte.
C	110.0 c.M.	10.5 cM.	8.5 cM.	0.9 cM.	1.45 cM.
G	70.0 „	8.3 „	6.7 „	0.7 „	1.25 „
c	51.0 „	7.3 „	5.8 „	0.7 „	0.72 „
g	32.2 „	5.8 „	4.7 „	0.7 „	0.55 „
c_1	23.2 „	4.8 „	4.0 „	0.6 „	0.40 „
g_1	15.2 „	3.9 „	3.4 „	0.6 „	0.35 „
c_2	9.5 „	3.7 „	2.9 „	0.6 „	0.30 „
g_2	5.5 „	3.0 „	2.6 „	0.5 „	0.25 „
c_3	3.9 „	2.8 „	2.3 „	0.45 „	0.22 „
g_3	2.3 „	2.3 „	2.0 „	0.4 „	0.19 „
c_4	1.5 „	2.0 „	1.7 „	0.4 „	0.15 „
g_4	1.2 „	1.6 „	1.4 „	0.3 „	0.10 „

Tonen, hooger dan g_4, werden verkregen door middel van een nieuw model Galtonfluitje, vervaardigd door Edelmann.

Door verandering der lengte van de luchtkolom en de mondopening (Maulweite) volgens eene bij het instrument behoorende tabel werden de tonen c_5, g_5, c_6 en g_6 verkregen. Voor nog hoogere tonen is 't instrument niet geheel betrouwbaar, vandaar dat van een onderzoek dier tonen werd afgezien. [1])

Om met deze hulpmiddelen de verschildrempelwaarde te kunnen bepalen, moeten wij van onze orgelpijptonen de intensiteit kunnen berekenen.

Volgens Rayleigh [2]) wordt aan eene orgelpijp energie toegevoerd volgens de formule,

$$e = m \times d \times 981$$

waarin e de energie voorstelt en m en d respectievelijk de hoeveelheid verbruikte lucht en de drukking dier lucht, terwijl 't getal 981 de versnelling der zwaartekracht aangeeft.

Wel wordt niet al deze energie in geluidsintensiteit omgezet, maar dit kan in ons geval, zooals later zal blijken, geen bezwaar zijn.

Kunnen we dus voor het geluid, door onze orgelpijpen geleverd, de waarde van m en d vinden, dan is 't ons dus ook mogelijk, met deze gegevens de intensiteit en de gezochte waarde van $\frac{\Delta r}{r}$ te berekenen.

De hoeveelheid verbruikte lucht per sec. kan nu gemeten worden met behulp van een aerodromometer. Een tweetal

---

[1]) Myers. Journal of Physiol. vol 28, p. 417. 1902.

[2]) Rayleigh, Proceedings of the Royal Society of London. Vol. 26, pag. 248.

van deze instrumenten [1]) werd hiervoor gebezigd, een groot model voor de lagere en een klein voor de hoogere tonen, daar, zooals 't onderzoek leerde, de lagere tonen meer lucht vereischten dan de hoogere; wat den druk betreft is dit juist omgekeerd. Deze beide gevoelige werktuigen waren nauwkeurig geijkt met een gasmeter en daarna ter controleering met een spirometer. De druk werd eenvoudig bepaald door een watermanometer, die, om de drukveranderingen bij kleine intensiteitsverschillen te kunnen afmeten, schuin onder een hoek van 28° was opgesteld. De van het instrument afgelezen druk moet dus met *sin.* 28° vermenigvuldigd worden, om de juiste waterdruk te verkrijgen.

Als we dus verder over een constanten luchtstroom om de orgelpijpen aan te blazen, beschikken, kunnen de factoren m en d met deze beide instrumenten gevonden worden. De verlangde luchtstroom werd geleverd, door aan de kraan van eene waterleiding een luchtperspomp te bevestigen en van hieruit werd de lucht na passage van een drietal met $CaCl^2$ gevulde U-buizen geleid naar een spirometer van Hutchinson, (dienende als regulateur om den druk constant te houden) van waaruit een looden buis de lucht weer naar het geluidvrije kamertje van het laboratorium [2]) voerde. Aan het einde van deze in 't kamertje mondende buis was eene gummislang bevestigd, die de lucht in eene langwerpige doos bracht. In deze doos waren behalve een gat in den bodem, waardoor de lucht werd ingevoerd, twee openingen aan den bovenkant aangebracht, van welke de wijdte door Aubert'sche diaphragmata

---

[1]) Arch. f. (Anat. u) Physiol. 1902. Supplem. p. 417. Zie ook: J. Th. ten Have. Over ademsnelheid, ademgrootte en ademarbeid. Dissert. Utrecht 1905.

[2]) Zie omtrent dit kamertje: H. F. Minkema. De gevoeligheid van het menschelijk oor voor de verschillende tonen der toonladder. Diss. Utr. 1905. blz. 35.

zeer fijn kon gewijzigd worden. Met deze beide openingen correspondeerden weer twee gummibuizen, die in eene driewegkraan samen kwamen en van daar de lucht, na passage van den aerodromometer, door eene caoutchoucslang, die gesloten in een looden stop den wand van het geluidvrije kamertje doorboorde, voerden naar de achter dien wand opgestelde orgelpijp. Voor echter deze buis, in de looden stop gesloten, door den muur drong, werd nog eene aftakking door een T-buis gemaakt, waaraan de schuin geplaatste watermanometer was bevestigd. De achter den muur opgestelde orgelpijpen waren aan een statief bevestigd, geplaatst in een soort tent van vilt en ruw fluweel om fouten, door reflexie ontstaan, uit te sluiten. Behalve door de buis, die de lucht voor de orgelpijp aanvoerde en welke door een koperaanzetstuk onder aan deze was vastgehecht, werd de bekleeding van de tent nog doorboord door eene tweede caoutchoucslang, die vrij in de tent uitmondde en de geluidstrillingen naar het geluidvrije kamertje moest leiden. Deze buis passeerde den muur van dit kamertje door dezelfde looden stop, waardoor de luchtaanvoerende buis drong, maar op eenigen afstand van deze, en stak slechts 1 d.M. in het kamertje buiten den muur. Dit geschiedde, omdat het onderzoek leerde, dat de hoogere tonen door eene lange buis niet zuiver te hooren waren en slechts een hoog gekras lieten waarnemen. Aan het eind van bedoelde buis was weer een stethoscoop stuk bevestigd ter beluistering van de toonintensiteit.

Het zal ieder duidelijk wezen, dat men door de driewegkraan te draaien de lucht, die de orgelpijp doet aanspreken, beurtelings door elk der beide bovenste openingen van de luchtdoos de orgelpijp kan doen toestroomen, en dat men door de micrometer-schroeven der diaphragmata te verstellen, den toevoer zoo kan regelen, dat door elk der beide openingen per sec. evenveel lucht wordt aangevoerd. In

dezen stand kan men de diaphragmata heel eenvoudig plaatsen door den uitslag van den aerodromometer te controleeren; men heeft slechts te zorgen, dat deze in beide gevallen gelijk is. Is dit bereikt, dan stroomt dus door elk van de openingen evenveel lucht en moet dus, als ook de drukking gelijk is, wat bij gelijke snelheid der toegevoerde lucht voor dezelfde orgelpijp steeds 't geval is, de sterkte van het geluid in beide gevallen ook gelijk zijn Op deze wijze heeft men het in de hand om door draaiing van de driewegkraan, twee gelijke of ongelijke toonintensiteiten, al naar men de micrometerschroeven stelt, vlak na elkander waar te nemen en te vergelijken.

Met dit complex van instrumenten geschiedde eene proefneming nu op de volgende wijze.

Allereest werd de waterkraan opengezet en dus stroomde door de geheele geleiding een luchtstroom naar de orgelpijp. Vervolgens werden, nadat door mij nu in 't akustisch kabinet was plaats genomen, de diaphragmata zoo gesteld, dat de uitslag van den aerodrometer en dus de geluidsintensiteit bij het draaien van de driewegkraan gelijk was.

De intensiteit van een dezer tonen bleef nu onveranderd en leverde ons den constanten of hoofdprikkel. De andere toon werd door 't vergrooten van de diaphragma-opening telkens een weinig sterker gemaakt en vergeleken met den anderen constanten toon. Dit geschiedde nu zoolang tot een duidelijk verschil in sterkte werd waargenomen; voor dit punt werd de uitslag van den aerodromometer en druk opgeteekend, evenals dit voor den gelijkheidsstand was gebeurd. (Opstijgende methode.)

Na afloop hiervan werd de opening nog grooter gemaakt, zoodat nu een zeer duidelijk verschil was waar te nemen en van dit punt uitgaande werd de opening telkens weer iets verkleind, totdat die stand bereikt was, waarbij voor

't eerst 't verschil onduidelijk werd of niet meer kon worden waargenomen (afdalende methode). Ook voor dezen stand werd de uitslag en de druk genoteerd.

Hiermede waren dus de gegevens voor de bovenste verschildrempelwaarde verkregen. Voor denzelfden constanten hoofdprikkel werd nu op overeenkomstige wijze de onderste Unterschiedsschwelle bepaald. Deze methode van onderzoek, die bekend is onder de naam van „methode der minimale veranderingen" werd gekozen, omdat zij 't eenvoudigst is en ook het meest vertrouwen verdient.

Eene andere methode, zooals die der „juiste en foutieve gevallen" zou met het instrumentarium, waarmee geëxperimenteerd werd, veel moeilijker uitvoerbaar geweest zijn, en zooals reeds in 't vorige hoofdstuk is opgemerkt, is hare zuiverheid niet boven allen twijfel verheven. In meerdere mate geld dit alles nog van de „methode der gemiddelde graduatie" [1]).

Gelijk boven is opgemerkt, wordt volgens Rayleigh aan eene orgelpijp energie toegevoerd volgens de formule

$$e = m \times d \times 981.$$

Van deze energie zou slechts een deel in geluidsintensiteit omgezet worden dus

$$I = c \times m \times d \times 981.$$

Deze geluidsintensiteit verspreidt zich over den geheelen inhoud van de tent, waarin de orgelpijp is opgesteld en hiervan wordt slechts een klein deel, dat door de ope-

---

[1]) Zie omtrent de methode van onderzoek behalve Fechner's Elemente der Psychophysik en de talrijke publicaties over dit onderwerp in Wundt's Philos. Stud. nog M. Foucault, La psychophysique. Paris 1901 en vooral G. E. Müller. Die Gesichtspunkte und die Tatsachen der psychophysischen Methodik. Ergebnisse der Physiologie. Bd. II S. 267.

ning van de gummibuis, die de geluidstrillingen naar 't oor van den waarnemer leidt, als 't ware er uit wordt gestoken, waargenomen.

De waargenomen geluidsintensiteit is dus

$$I = c' \times c \times m \times d \times 981.$$

De factor m wordt geleverd door den aerodromometer en de factor d is gelijk aan den druk, dien de schuin geplaatste watermanometer aangeeft, vermenigvuldigd met den sinus van den hoek, dien de manometer met den horiront maakt, dus

$$d = D \, sin. \, 28°$$

$$I = c' \times c \times m \times D \, sin. \, 28° \times 981$$

en stellen we 't product der vier constanten, c', c, $sin.\ 28°$ en 981 gelijk C

$$I = C \times m \times D$$

In deze formule is voor elke orgelpijp de factor C eene constante grootheid, die niet nader is te bepalen. Voor ons doel is dit ook niet noodig, daar b. v. de bovenste verschildrempelwaarde

$$\frac{\Delta^o r}{r} = \frac{I^o - I}{I}$$

$$= \frac{C \times m^o \times D^o - C \times m \times D}{C \times m \times D}$$

$$= \frac{m^o \times D^o - m \times D}{m \times D}$$

We behoeven dus slechts te kunnen beschikken over de waarde van m_o, D_o, m en D, en deze worden ons door de proefnemingen op de boven aangegeven wijze geleverd.

Voor elke orgelpijp werd voor twee constante intensiteiten de bovenste en onderste Unterschiedsschwelle bepaald,

terwijl de eindwaarde voor elk van deze, weer verkregen werd door middeling van tien waarden, daar telkens vijf bepalingen verricht werden die, door toepassing van de reeds vermelde opstijgende en afdalende methode, tien cijfers voor m en D opleverden.

In 't geheel werd dus voor elken toon de verschildrempelwaarde berekend uit een gemiddelde van 40 cijfers.

Reeds bij een vluchtig overzicht der navolgende tabellen zal 't opvallen, dat voor de verschillende orgelpijptonen de waarde van den constanten hoofdprikkel alleen voor de middenoctaven steeds dezelfde is; de hoogere en lagere wijken hiervan echter in meerdere of mindere mate af, omdat de minimum energie, die aan eene orgelpijp toegevoerd moet worden om juist even aan te spreken voor die tonen grooter moet genomen worden dan voor de overige. Ja zelfs was bij de lagere tonen de waterperspomp niet instaat eene voldoende hoeveelheid lucht te leveren. Wij hebben ook om deze pijpen aan te blazen gebruik moeten maken van een koolzuurreservoir onder druk.

De intensiteiten van den hoofdprikkel bij de onderscheidene tonen bieden echter niet zulke verschillen aan, dat de voor de verschildrempelwaarde verkregen cijfers daardoor onvergelijkbaar zouden worden, want, zooals blijkt uit de verschillende onderzoekingen voor geruischen en ook uit de cijfers door Wien voor tonen gegeven, de verschildrempelwaarde bij middelmatige intensiteiten, waarmee door ons steeds gewerkt is, blijft vrij constant. Ten overvloede is dit door mij in een volgend hoofdstuk, voor enkele stemvorktonen nog nader onderzocht en vrijwel bevestigd geworden.

De koolzuurstroom, voor het aanblazen der lage pijpen, benoodigd, werd verkregen uit een grooten kruik vloeibaar CO^2, zooals die in den handel verkrijgbaar is, terwijl

om den druk constant te houden, de kruik voorzien was van een regulateur.

Daar het trillingsgetal en dus de toonshoogte omgekeerd evenredig is aan het soortelijk gewicht van het aanblazingsgas werden de pijpen, die gestemd waren voor aanblazing met lucht, opnieuw gestemd voor koolzuur, hetgeen geschiedde door een koolzuurstroom door de pijp te voeren en het geluid te vergelijken met stemvorken van de verlangde toonshoogte. De stoppen werden dan juist zoo gesteld, dus de pijplengte zoover verkort, dat het verkregen geluid geen zwevingen met het vergeleken stemvorkgeluid deed hooren.

De spirometer van Hutchinson werd, daar hier 't doel, waartoe deze diende, bereikt werd met den aan den kruik aangebrachten regulateur, uit de stroombaan uitgeschakeld.

Zooals uit de navolgende tabellen blijkt, zijn de onderzoekingen voor de lagere pijpen verricht met een grooteren aerodromometer dan die voor de overige tonen. Dit is geschied, omdat het maximum luchthoeveelheid, dat de kleine aerodromometer kon aanwijzen, nog niet voldoende was om de pijpen te doen aanspreken. Een grootere aerodromometer, die voor grooter hoeveelheden lucht (hier in casu koolzuur) geijkt was, moest dus gebruikt worden.

Ter verduidelijking van de hierachter geplaatste tabellen diene nog het volgende.

Boven elke reeks van waarnemingen is de constante intensiteit van den hoofdprikkel, waarvoor het onderzoek verricht is, geplaatst. Daaronder vindt men de cijfers verkregen door bepaling eerst van de bovenste en daarna van de onderste verschildrempelwaarde.

In de eerste rij zal men hierbij vinden den uitslag van den aerodromometer, terwijl daarnaast is aangegeven of deze

verkregen is bij opstijgende af afdalende methode. In de tweede rij volgt dan de van de ijkingstabel afgelezen hoeveelheid (c.M.^{3}) lucht per sec *(m)*, die correspondeert met dezen uitslag en daarnaast in de derde rij is de door den manometer aangegeven druk in c.M. *(D)* geplaatst.

Uit deze cijfers is dan voor m, en D 't gemiddelde berekend en met behulp hiervan de waarde van $\frac{\Delta^o r}{r}$ en $\frac{\Delta^u r}{r^u}$

Aan het eind van elke § vindt men voor elke orgelpijp 't gemiddelde $\frac{\Delta r}{r}$ verkregen door middeling van $\frac{\Delta^o r}{r}$ en $\frac{\Delta^u r}{r^u}$ der vier proefreeksen.

§ 2. Bepaling van $\frac{\Delta r}{r}$ voor C.

Constante intensiteit van den hoofdprikkel,

$$I = 167.76 \times 8.3\ C = 1392{,}408\ C.$$

Bepaling van de bovenste U. schw.

Uitslag v/d aerodr.	m.	m.	D.
opst.	41.0	180.65	9.6
afd.	40.0	178.50	9.4
opst.	41.0	180.65	9.6
afd.	40.0	178.51	9.4
opst.	41.0	180.65	9.6
afd.	40.5	179.48	9.5
opst.	41.5	181.72	9.7
afd.	40.5	179.58	9.5
opst.	41.5	181.72	9.7
afd.	41.0	180.65	9.6
		Gem. 180.222	Gem. 9.56

$$\frac{\Delta_o r}{r} = \mathbf{0.237}$$

Bepaling der onderste U schw.

afd.	30.0	153.50	7.3
opst.	31.0	156.35	7.5
afd.	29.5	152.43	7.2
opst.	30.5	154.92	7.4
afd.	30.0	153.50	7.3
opst.	30.5	154.92	7.4
afd.	30.5	154.92	7.4
opst.	31.0	156.35	7.5
afd.	30.0	153.50	7.3
opst.	31.0	156.35	7.5
		Gem. 154.674	Gem. 7.58

$$\frac{\Delta_u r}{r_u} = \mathbf{0.219}$$

Constante intensiteit van den hoofdprikkel.

$$I = 153.50 \times 7.3\ C = 1120.55\ C.$$

Bepaling van de bovenste U. schw.

Uitslag v/d aerodr.	m.	*D.*
opst.	35.0	167.76	8.3
afd.	34.0	164.90	8.1
opst.	35.0	167.76	8.3
afd.	34.0	164.90	8.1
opst.	36.0	169.91	8.5
afd.	35.0	167.76	8.3
opst.	35.0	167.76	8.3
afd.	34.5	166.33	8.2
opst.	35.5	168.83	8.4
afd.	35.0	167.76	8.3
	Gem.	167.367	Gem. 8.28

$$\frac{\triangle^o r}{r} = \mathbf{0.236}$$

Bepaling van de onderste U. schw.

afd.	26.0	144.94	6.4
opst.	26.5	146.01	6.5
afd.	25.0	142.78	6.2
opst.	26.0	144.94	6.4
afd.	25.0	142.78	6.2
opst.	25.5	143.86	6.3
afd.	24.5	140.64	6.1
opst.	25.5	143.86	6.3
afd.	25.0	142.78	6.2
opst.	26.0	144.94	6.4
	Gem.	143.753	Gem. 6.3

$$\frac{\triangle^u r}{r^u} = \mathbf{0.237} \qquad \frac{\triangle r}{r} = \mathbf{0.232}$$

§ 3. Bepaling van $\frac{\triangle r}{r}$ voor G.

Constante intensiteit van den hoofdprikkel,

$$I = 167.76 \times 9.3\, C = 1560.168\, C.$$

Bepaling van de bovenste U. schw.

Uitslag v/d aerodr. m.	m.	*D.*
opst. 40.0	178.51	10.5
afd. 39.0	176.36	10.3
opst. 40.0	178.51	10.5
afd. 39.5	177.43	10.4
opst. 40.5	179.58	10.6
afd. 40.0	178.51	10.5
opst. 40.5	179.58	10.6
afd. 39.5	177.43	10.4
opst. 40.5	179.58	10.6
afd. 40.0	178.51	10.5
Gem.	178.40	Gem. 10.49

$$\frac{\triangle^o r}{r} = \mathbf{0.199}$$

Bepaling van de onderste U. schw.

afd. 30.5	154.92	8.2
opst. 31.0	156.35	8.3
afd. 30.0	153.50	8.1
opst. 31.0	156.35	8.3
afd. 30.5	154.92	8.2
opst. 31.0	156.35	8.3
afd. 31.0	156.35	8.3
opst. 31.5	157.77	8.4
afd. 31.0	156.35	8.3
opst. 31.5	157.77	8.4
Gem	156 063	Gem. 8.28

$$\frac{\triangle^u r}{r^u} = \mathbf{0.206}$$

Constante intensiteit van den hoofdprikkel,

$$I = 153.50 \times 8.1\ C = 1243.35\ C.$$

Bepaling van de bovenste U. schw.

Uitslag v/d aerodr.	m.	*D.*
opst. 34.0	164.90	9.1
afd. 33.5	163.50	9.0
opst. 34.5	166.33	9.2
afd. 34.0	164.90	9.1
opst. 34.5	166.33	9.2
afd. 34.0	164.90	9.1
opst. 34.5	166.33	9.2
afd. 33.5	163.50	9.0
opst 34.5	166.33	9.1
afd. 34.0	164.90	9.2
	Gem. 165.192	Gem. 9.12

$$\frac{\triangle^o r}{r} = \mathbf{0.211}$$

Bepaling der onderste U. schw.

afd. 26.0	144.94	7.1
opst. 26.5	146.01	7.2
afd. 25.5	143.86	7.0
opst. 26.0	144.94	7.1
afd. 25.5	143.86	7.0
opst. 26.0	144.94	7.1
afd 25.5	143.86	7.0
opst. 26.5	146.01	7.2
afd. 26.0	144.94	7.1
opst. 26.5	146.01	7.2
	Gem. 144.937	Gem. 7.1

$$\frac{\triangle^u r}{r^u} = \mathbf{0.210}. \qquad \frac{\triangle r}{r} = \mathbf{0.206}$$

§ 4. Bepaling van $\frac{\Delta r}{r}$ voor c.

Constante intensiteit van den hoofdprikkel,

$$I = 142.78 \times 8.5\, C = 1213.63\, C.$$

Bepaling van de bovenste U. schw.

Uitslag v/d aerodr.	m.	m.	*D.*
opst.	29.0	151.36	9.6
afd.	28.5	150.29	9.4
opst.	29.0	151.36	9 6
afd.	28.5	150.29	9.4
opst.	29.5	152.43	9.7
afd.	29.0	151.36	9.6
opst.	30.0	153.50	9.8
afd.	29.5	152.43	9.7
opst.	29.5	152.43	9.7
afd.	29.0	151.36	9.6
		Gem. 151.681	Gem. 9.61

$$\frac{\Delta^o r}{r} = \mathbf{0.201}$$

Bepaling van de onderste U. schw.

afd.	22.0	129.94	7.6
opst.	22.5	132.08	7.7
afd.	21.5	127.80	7.4
opst.	22.0	129.94	7.6
afd.	22.0	129.94	7.6
opst.	23.0	134.22	7.8
afd.	22.0	129.94	7.6
opst.	22.5	132.08	7.7
afd.	21.5	127.80	7.4
opst.	22.5	132.08	7.7
		Gem. 130.582	Gem. 7.61

$$\frac{\Delta^u r}{r^u} = \mathbf{0.221}$$

Constante intensiteit van den hoofdprikkel,

$$I = 121.38 \times 7.1\ C = 861.790\ C.$$

Bepaling van de bovenste U. schw.

Uitslag v/d aerodr. m.	m.	*D.*
opst. 24.0	138.50	8.1
afd. 23.0	134.22	7.8
opst. 23.5	136.36	8.0
afd. 23.0	134.22	7.8
opst. 23.0	134.22	7.8
afd. 22.5	132.08	7.7
opst. 23.5	136.36	7.8
afd 22.5	132.08	7.7
opst. 23.5	136.36	8.0
afd. 22.5	132.08	7.7
	Gem. 134.648	Gem. 7.84

$$\frac{\triangle^o r}{r} = \mathbf{0.224}$$

Bepaling van de onderste U. schw.

afd. 17.0	111.95	6.3
opst. 17.5	113.52	6.4
afd. 17.0	111.95	6.3
opst. 17.5	113.52	6.4
afd. 16.5	110.38	6.1
opst. 17.0	111.95	6.3
afd. 16.5	110.38	6.1
opst. 17.0	111.95	6.3
afd. 16.5	110.38	6.1
opst. 17.5	113.52	6.4
	Gem. 111.95	Gem. 6.27

$$\frac{\triangle^u r}{r^u} = \mathbf{0.227}. \qquad \frac{\triangle r}{r} = \mathbf{0.218}$$

§ 5. Bepaling van $\frac{\triangle r}{r}$ voor g.

Constante intensiteit van den hoofdprikkel,

$$I = 153.5 \times 9.2\, C = 1412.2\, C.$$

Bepaling van de bovenste U. schw.

Uitslag v/d aerodr.	m.	m.	*D.*
opst.	35.0	167.76	10.2
afd.	34.0	164.90	10.0
opst.	35.0	167.76	10.2
afd.	34.0	164.90	10.0
opst.	34.5	166 33	10.1
afd.	34 0	164 90	10.0
opst.	35.0	167.76	10.2
afd.	34.0	164 90	10.0
opst.	34.5	166.33	10.1
afd.	33.5	163.50	9.9
	Gem.	165.904	Gem. 10.07

$$\frac{\triangle^o r}{r} = \mathbf{0.183}$$

Bepaling van de onderste U. schw.

afd.	26.0	144.94	8.2
opst.	27.0	147.08	8.4
afd.	26.5	146.01	8.3
opst.	27.0	147.08	8.4
afd.	25.0	142.78	8.0
opst.	26.0	144.94	8.2
afd.	26.0	144.94	8.2
opst.	26.5	146.01	8.3
afd.	25.5	143.86	8.1
opst.	26.5	146 01	8.3
	Gem.	145.365	Gem. 8.24

$$\frac{\triangle^u r}{r^u} = \mathbf{0.179}$$

Constante intensiteit van den hoofdprikkel,

$$I = 121.38 \times 6.5\, C = 788.97\, C$$

Bepaling van de bovenste U. schw.

Uitslag v/d aerodr. m.	m.	*D.*
opst. 23.0	134.22	7.2
afd. 22.5	132.08	7.0
opst. 23.0	134.22	7.2
afd. 22.0	129.94	6.9
opst. 23.0	134.22	7.2
afd. 22.0	129.94	6.9
opst. 22.5	132.08	7.0
afd. 22.0	129.94	6.9
opst. 22.5	132.08	7.0
afd. 22.0	129.94	6.9
	Gem. 131.866	Gem. 7.02

$$\frac{\triangle^o r}{r} = \mathbf{0.173}$$

Bepaling van de onderste U. schw.

afd. 17.5	113.52	5.9
opst. 18.0	115.09	6.0
afd. 17.5	113.52	5.9
opst. 18.0	115.09	6.0
afd. 17.0	111.95	5.7
opst. 17.5	113.52	5.9
afd. 17.0	111.95	5.7
opst. 18.0	115.09	6.0
afd. 17.0	111.95	5.7
opst. 17.5	113.52	5.9
	Gem. 113.52	Gem. 5.87

$$\frac{\triangle^u r}{r^u} = \mathbf{0.184}. \qquad \frac{\triangle r}{r} = \mathbf{0.179}$$

§ 6. Bepaling van $\frac{\Delta r}{r}$ voor c'.

Constante intensiteit van den hoofdprikkel,

$$I = 44.63 \times 2.4\, C = 107.112\, C.$$

Bepaling van de bovenste U. schw.

Uitslag v/d aerodr. m.	m.	*D.*
opst. 45.0	47.95	2.7
afd. 44.0	47.20	2.65
opst. 44.0	47.20	2.65
afd. 43.0	47.46	2.6
opst. 45.0	47.84	2.7
afd. 44.0	47.20	2.63
opst. 44.0	47.20	2.65
afd. 43.0	46.46	2.6
opst. 43.5	46.84	2.65
afd. 43.0	46.46	2.6
	Gem. 47.17	Gem. 2.645

$$\frac{\Delta^o r}{r} = \mathbf{0.162}$$

Bepaling van de onderste U. schw.

afd. 36.0	40.97	2.2
opst. 37.0	41.89	2.25
afd. 36.5	41.43	2.2
opst. 37.0	41.89	2.25
afd. 36.0	40.97	2.2
opst. 36.5	41.43	2.2
afd. 36.5	41.43	2.2
opst. 37.5	42.25	2.3
afd. 36.5	41.43	2.2
opst. 37.0	41.89	2.25
	Gem. 41.558	Gem. 2.225

$$\frac{\Delta^u r}{r^u} = \mathbf{0.158}$$

Constante intensiteit van den hoofdprikkel,

$$I = 40.06 \times 2.15\ C = 86.129\ C.$$

Bepaling van de bovenste U. schw

Uitslag v/d aerodr. m.	m.	*D.*
opst. 38.5	43.26	2.35
afd. 38.0	42.80	2.35
opst. 39.0	43.72	2.35
afd. 38.0	42.80	2.35
opst. 38.5	43.26	2.35
afd. 37.5	42.35	2.3
opst. 38.0	42.80	2.35
afd. 37.5	42.35	2.3
opst. 38.5	43.26	2.35
afd. 38.0	42.80	2.35
	Gem. 42.94	Gem. 2.34

$$\frac{\triangle^o r}{r} = \mathbf{0.166}$$

Bepaling van de onderste U. schw.

afd. 32.0	37.14	2.—
opst. 32.5	37.63	2.—
afd. 32.0	37.14	2.—
opst. 32.5	37.63	2.—
afd. 31.5	36.65	1.95
opst. 32.0	37.14	2.—
afd. 31.5	36.65	1.95
opst. 32.5	37.63	2.—
afd. 31.5	36.65	1.95
opst. 32.0	37.14	2.—
	Gem. 37.14	Gem. 1.985

$$\frac{\triangle^u r}{r^u} = \mathbf{0.168} \qquad \frac{\triangle r}{r} = \mathbf{0.164}$$

§ 7. Bepaling van $\frac{\Delta r}{r}$ voor g'

Constante intensiteit van den hoofdprikkel,

$$I = 46.46 \times 2.85\, C = 132.411\, C.$$

Bepaling van de bovenste U. schw.

Uitslag v/d aerodr. m.	m.	*D.*
opst. 47.0	49.12	3.1
afd. 46.0	48.38	3.1
opst. 46.5	48.75	3.1
afd. 46.0	48.38	3.1
opst. 47.0	49.12	3.1
afd. 46.5	48.75	3 1
opst. 47.0	49.12	3.1
afd. 46.0	48.38	3.1
opst. 47.0	49.12	3.1
afd. 46.5	48.75	3.1
	Gem. 48.787	Gem. 3.1

$$\frac{\Delta^o r}{r} = \mathbf{0.142}$$

Bepaling van de onderste U schw.

afd. 39.0	43.72	2.6
opst. 40.0	44.63	2.6
afd. 39.0	43.72	2.6
opst. 39.5	44.17	2.6
afd. 39.0	43.72	2.6
opst. 40.0	44.63	2.6
afd. 39.5	44.17	2.6
opst. 40.0	44.63	2.6
afd. 39.0	43.72	2.6
opst. 40.0	44.63	2.6
	Gem. 44.174	Gem. 2.6

$$\frac{\Delta^u r}{r^u} = \mathbf{0.152}$$

Constante intensiteit van den hoofdprikkel,

$$I = 41.89 \times 2.5\ C = 104.725\ C.$$

Bepaling van de bovenste U. schw.

Uitslag v/d aerodr. m.	m.	*D.*
opst. 41.0	45.27	2.7
afd. 40.0	44.63	2.6
opst 40.5	44.95	2.7
afd. 40.0	44.63	2.6
opst. 41.5	45.59	2.7
afd. 41.0	45.27	2.7
opst. 42.0	45.91	2.75
afd. 41.0	45.27	2.7
opst. 41.0	45.27	2.7
afd. 40.0	44.63	2.7
	Gem. 45.142	Gem. 2.685

$$\frac{\triangle^o r}{r} = \mathbf{0.157}$$

Bepaling van de onderste U. schw.

afd. 34.0	39.09	2.3
opst. 35.0	40.06	2.4
afd. 34.0	39.09	2.3
opst. 35.0	40.06	2.4
afd. 33.5	38.60	2.3
opst. 34.0	39.09	2.3
afd. 33.0	38.12	2.2
opst. 34.0	39.09	2.3
afd. 33.0	38.12	2.2
opst. 34.0	39.09	2.3
	Gem. 39.041	Gem. 2.3

$$\frac{\triangle^u r}{r^u} = \mathbf{0.166} \qquad \frac{\triangle r}{r} = \mathbf{0.154}$$

§ 8. Bepaling van $\frac{\triangle r}{r}$ voor c^2.

Constante intensiteit van den hoofdprikkel,

$$I = 35.2 \times 4.0\, C = 140.8\, C.$$

Bepaling van de bovenste U. schw.

Uitslag v/d aerodr. m.	*m.*	*D.*
opst. 33.0	38.12	4.2
afd. 32.0	37.14	4.15
opst. 32.5	37.63	4.2
afd. 31.5	36.65	4.15
opst. 34.0	39.09	4.4
afd. 33.0	38.12	4.2
opst. 33.5	38.60	4.3
afd. 32.5	37.63	4.2
opst. 33.5	38.60	4.3
afd. 33.0	38.12	4.3
	Gem. 37.97	Gem. 4.24

$$\frac{\triangle^o r}{r} \quad \mathbf{0.148}$$

Bepaling van de onderste U. schw.

afd. 27.5	34.94	3.7
opst. 28.0	34.99	3.7
afd. 27.5	34.94	3.7
opst. 27.5	34.94	3.7
afd. 26.0	34.78	3.5
opst. 27.0	34.89	3.6
afd. 27.0	34.89	3.6
opst. 27.5	34.94	3.7
afd. 26.5	34.84	3.5
opst. 27.5	34.94	3.7
	Gem 34.909	Gem. 3.64

$$\frac{\triangle^u r}{r^u} = \mathbf{0.108}$$

Constante intensiteit van den hoofdprikkel,

$$I = 34.68 \times 3.3\ C = 114.444\ C.$$

Bepaling van de bovenste U. schw.

Uitslag v/d aerodr. m.	m.	*D.*
opst. 28.0	34.99	3.7
afd. 27.5	34.94	3.7
opst. 28.0	34.99	3.7
afd. 27.0	34.89	3.6
opst. 29.0	35.09	3.9
afd. 28.0	34.99	3.7
opst. 28.0	34.99	3.7
afd. 27.5	34.94	3.7
opst. 28.5	35.04	3.8
afd. 28.0	34.99	3.7
	Gem. 34.985	Gem. 3.72

$$\frac{\triangle^o r}{r} = \mathbf{0.187}$$

Bepaling van de onderste U. schw.

afd. 21.5	31.10	3.0
opst. 22.5	32.10	3.1
afd. 22.0	31.61	3.1
opst. 23.0	32.63	3.15
afd. 22.5	32.10	3.1
opst. 23.5	33.13	3.2
afd. 23.0	32.63	3.15
opst. 23.5	33.13	3.2
afd. 22.5	22.10	3.1
opst. 23.0	32.63	3.15
	Gem. 32.316	Gem. 3.125

$$\frac{\triangle^u r}{r^u} = \mathbf{0.184} \qquad \frac{\triangle r}{r} = \mathbf{0.131}$$

§ 9. Bepaling van $\frac{\triangle^r}{r}$ voor g^2.

Constante intensiteit van den hoofdprikkel,

$$I = 34.99 \times 4.0\ C = 139.96\ C.$$

Bepaling van de bovenste U. schw.

Uitslag v/d aerodr.	m.	m	D.
opst.	30.5	35.70	4.3
afd.	30.0	35.20	4.2
opst.	30.5	35.70	4.3
afd.	29.5	35.14	4.2
opst.	31.0	36.17	4.4
afd.	30.0	35.20	4.2
opst.	30.5	35.70	4.3
afd.	30.0	35.20	4.2
opst.	31.0	36.17	4.4
afd.	30.5	35.70	4.2
		Gem. 36.038	Gem. 4.27

$$\frac{\triangle^o r}{r} = \mathbf{0.102}$$

afd.	26.0	34.78	3.8
opst.	26.5	34.83	3.8
afd.	25.0	34.68	3.6
opst.	26.0	34.78	3.8
afd.	24.5	34.17	3.5
opst.	25.0	34.68	3.6
afd.	24.5	34.17	3.5
opst.	25.0	34.68	3.6
afd.	24.5	34.17	3.5
opst.	25.5	34.73	3.7
		Gem. 34.567	Gem. 3.64

$$\frac{\triangle^u r}{r^u} = \mathbf{0.112}$$

Constante intensiteit van den hoofdprikkel,

$$I = 31.61 \times 3.2\ C = 101.152\ C.$$

Bepaling van de bovenste U. schw.

Uitslag v/d aerodr. m.	m.	*D.*
opst. 23.0	32.63	3.3
afd. 23.0	32.63	3.3
opst. 23.5	33.14	3.4
afd. 23.0	32.63	3.3
opst. 24.0	33.66	3.5
afd. 23.5	33.14	3.4
opst. 24.0	33.66	3.5
afd. 23.0	32.63	3.3
opst. 24.0	33.66	3.5
afd. 23.5	33.14	3.4
	Gem. 33.092	Gem. 3.39

$$\frac{\triangle^o r}{r} = \mathbf{0.108}$$

Bepaling van de onderste U. schw.

afd. 20.5	30.07	3.0
opst. 21.0	30.58	3.1
afd. 21.0	30.58	3.1
opst. 21.0	30.58	3.1
afd. 20.0	29.56	2.9
opst. 20.5	30.07	3.0
afd. 20.5	30.07	3.0
opst. 21.0	30.58	3.1
afd. 20.0	29.56	2.9
opst. 21.0	30.58	3.1
	Gem. 30.223	Gem. 3.03

$$\frac{\triangle^u r}{r^u} = \mathbf{0.104} \qquad \frac{\triangle r}{r} = \mathbf{0.107}$$

§ 10. Bepaling van $\frac{\Delta r}{r}$ voor c^3.

Constante intensiteit van den hoofdprikkel,

$$I = 29.56 \times 4\,6\ C = 135.976\ C.$$

Bepaling van de bovenste U. schw.

Uitslag v/d aerodr.	m.	m.	*D.*
opst.	22.5	32.12	4.9
afd.	22.0	31.61	4.8
opst.	22.0	31.61	4.8
afd.	21.5	31.09	4.8
opst.	22.0	31.61	4.8
afd.	21.0	30.58	4.8
opst.	22.0	31.61	4.7
afd.	21.0	30.58	4.8
opst.	22.0	31.61	4.7
afd.	21.5	31.09	4.8
	Gem.	31.351	Gem. 4.79

$$\frac{\Delta^o r}{r} = \mathbf{0.104}$$

Bepaling van de onderste U. schw.

afd.	18.0	28.45	4.3
opst.	18.5	28.73	4.3
afd.	17.0	27.89	4.2
opst.	18.0	28.45	4.3
afd.	17.5	28.17	4.2
opst.	18.0	28.45	4.3
afd.	17.0	27.89	4.2
opst.	17.5	28.17	4.2
afd.	17.0	27.89	4.2
opst.	18.0	28.45	4.3
	Gem.	28.254	Gem. 4.25

$$\frac{\Delta^u r}{r^u} = \mathbf{0.132}$$

Constante intensiteit van den hoofdprikkel,

$$I = 26.78 \times 3.8\, C = 101.764\, C.$$

Bepaling van de bovenste U. schw.

Uitslag v/d aerodr.	m.	*D.*
opst. 17.5	28.17	4.2
afd. 17.0	27.89	4.2
opst. 18.0	28.45	4.3
afd. 17.5	28.17	4.2
opst. 16.5	27.62	3.1
afd. 16.0	27.34	4.0
opst. 17.0	27.89	4.2
afd. 16.0	27.34	4.0
opst. 16.5	27.62	4.1
afd. 16.0	27.34	4.0
	Gem. 27.783	Gem. 4.13

$$\frac{\triangle^o r}{r} = \mathbf{0.126}$$

Bepaling van de onderste U. schw.

afd. 13.0	24.64	3.4
opst. 13.5	25.17	3.5
afd. 13.0	24.64	3.4
opst. 14.0	25.70	3.6
afd. 13.5	25.17	3.5
opst. 14.0	25.70	3.6
afd. 13.5	25.17	3.5
opst. 14.0	25.70	3.6
afd. 14.0	25.70	3.6
opst. 14.0	25.70	3.6
	Gem. 25.329	Gem. 3.53

$$\frac{\triangle^u r}{r^u} = \mathbf{0.138} \qquad \frac{\triangle r}{r} = \mathbf{0.125}$$

§ 11. Bepaling van $\frac{\triangle r}{r}$ voor g^3.

Constante intensiteit van den hoofdprikkel,

$$I = 30.58 \times 4.4\ C = 134.552\ C.$$

Bepaling van de bovenste U. schw.

Uitslag v/d aerodr.	m.	m.	*D.*
opst.	23.0	32.63	4.7
afd.	22.5	32.12	4.6
opst.	23.0	32.63	4.7
afd.	22.0	31.61	4.5
opst.	23.5	33.15	4.7
afd.	22.5	32.12	4.6
opst.	23.0	32,63	4.7
afd.	22.5	32.12	4.6
opst.	23.5	33.15	4.7
afd.	22.0	31.61	4.5
	Gem.	32.377	Gem. 4.63

$$\frac{\triangle^o r}{r} = \mathbf{0.114}$$

Bepaling van de onderste U. schw.

afd.	18.5	28.73	4.1
opst.	19.0	29.01	4.15
afd.	19.0	29.01	4.15
opst.	19.5	29.28	4.2
afd.	18.5	28.73	4.1
opst.	19.5	29.28	4.2
afd.	19.0	29.01	4.15
opst.	20.0	29.56	4.3
afd.	19.0	29.01	4.15
opst.	19.5	29.28	4.2
	Gem.	29.09	Gem. 4.17

$$\frac{\triangle^u r}{r^u} = \mathbf{0.108}$$

Constante intensiteit van den hoofdprikkel,

$$I = 27.34 \times 3.6\ C = 98.424\ C.$$

Bepaling van de bovenste U. schw.

Uitslag v/d aerodr. m	m	*D.*
opst. 18.5	28.73	4.1
afd. 18.0	28.45	4.0
opst. 18.0	28.45	4.0
afd. 17.0	27.89	3.8
opst. 18.0	28.45	4.0
afd. 17.5	28.17	3.9
opst. 17.5	28.17	3.9
afd. 17.0	27.89	3.8
opst. 17.0	27.89	3.8
afd. 17.0	27.89	3.8
	Gem. 28 198	Gem. 3.91

$$\frac{\triangle^o r}{r} = \mathbf{0.120}$$

Bepaling van de onderste U. schw.

afd. 14.0	25.70	3.3
opst. 14.5	26.24	3.3
afd. 14.0	25.70	3.3
opst. 15.0	26.78	3.4
afd. 14.5	26.24	3.3
opst. 15.0	26.78	3.4
afd. 15.0	26.78	3.4
opst. 15.0	26.78	3.4
afd 14.5	26.24	3.3
opst. 15.5	27.06	3.5
	Gem 26.43	Gem. 3.36

$$\frac{\triangle^u r}{r^u} = \mathbf{0.108} \qquad \frac{\triangle r}{r} = \mathbf{0.112}$$

§ 12. Bepaling van $\frac{\Delta r}{r}$ voor c^4.

Constante intensiteit van den hoofdprikkel,

$$I = 27.89 \times 9.0\, C = 251.01\, C.$$

Bepaling van de bovenste U. schw.

Uitslag v/d aerodr.	m.	m.	*D.*
opst.	18.0	28.45	9.4
afd.	17.5	28.17	9.2
opst.	18.5	28.73	9.7
afd.	17.5	28.17	9.2
opst.	18.5	28.73	9.8
afd.	18.0	28.45	9.5
opst.	18.5	28.73	9.7
afd.	18.0	28.45	9.4
opst.	18.5	28.73	9.6
afd.	18.0	28.45	9.4
		Gem. 28.506	Gem. 9.49

$$\frac{\Delta^o r}{r} = \mathbf{0.077}$$

Bepaling van de onderste U. schw.

afd.	16.0	27.34	8.5
opst.	16.5	27.61	8.8
afd.	16.0	27.34	8.5
opst.	16.5	27.61	8.7
afd.	15.5	27.06	8.2
opst.	16.0	27.34	8.5
afd.	15.5	27.06	8.2
opst.	16.0	27.34	8.6
afd.	15.5	27.06	8.3
opst.	16.0	27.34	8.6
		Gem. 27.31	Gem. 8.49

$$\frac{\Delta^u r}{r^u} \quad \mathbf{0.082}$$

Constante intensiteit van den hoofdprikkel,

$$I = 22.49 \times 6.2\ C = 139.438\ C.$$

Bepaling van de bovenste U. schw.

Uitslag v/d aerodr.	m.	*D.*
opst.	12.0	23.56	6.6
afd.	11.5	23.03	6.4
opst.	12.0	23.56	6.5
afd.	11.5	23.03	6.4
opst.	12.0	23.56	6.5
afd.	11.5	23.03	6.3
opst.	12.0	23.56	6.6
afd.	11.5	23.03	6.4
opst.	12-0	23.56	6.6
afd.	11.5	23.03	6.4
	Gem.	23.30	Gem. 6.47

$$\frac{\Delta^o r}{r} = \mathbf{0.081}$$

Bepaling van de onderste U. schw.

afd.	10.0	21.42	5.7
opst.	10.5	21.95	6.0
afd.	10.0	21.42	5.7
opst.	10.5	21.95	5.9
afd.	10.0	21.42	5.8
opst.	10.5	21.95	6.0
afd.	10.0	21.42	5.6
opst.	10.5	21.95	6.0
afd.	10.0	21.42	5.7
opst.	10.5	21.95	6.0
	Gem.	21.68	Gem. 5.84

$$\frac{\Delta^u r}{r^u} = \mathbf{0.101} \qquad \frac{\Delta r}{r} = \mathbf{0.085}$$

§ 13. Bepaling van $\frac{\Delta r}{r}$ voor g^4.

Constante intensiteit van den hoofdprikkel,

$$I = 26.78 \times 12.4\ C = 332.072\ C.$$

Bepaling van de bovenste U. schw.

Uitslag v/d aerodr.	m.	m.	*D.*
opst.	17.0	27.89	13.8
afd.	16.5	27.61	13.4
opst.	17.0	27.89	13.6
afd.	16.5	27.61	13.3
opst.	16.5	27.61	13.4
afd.	16.0	27.34	13.0
opst.	17.0	27.89	13 7
afd.	16.5	27.61	13.4
opst.	16.5	27.61	13.4
afd.	16.0	27.34	13.2
		Gem. 27.64	Gem. 13.42

$$\frac{\Delta^o r}{r} = \mathbf{0.117}$$

Bepaling van de onderste U. schw.

afd.	13.5	25.17	11.3
opst.	14.0	25.70	11.8
afd.	13.5	25.17	11.3
opst.	14.0	25.70	11.9
afd.	13.5	25.17	11.4
opst.	14.0	25.70	11.8
afd.	14.0	25.70	11.5
opst.	14.0	25.70	11.7
afd.	13.5	25.17	11.4
opst	14.0	25.70	12.0
		Gem. 25.488	Gem. 11.61

$$\frac{\Delta^u r}{r^u} = \mathbf{0.122}$$

Constante intensiteit van den hoofdprikkel,

$$I = 23.56 \times 9.8\, C = 230.888\, C.$$

Bepaling van de bovenste U. schw.

Uitslag v/d aerodr. m.	m.	*D.*
opst. 13.5	25.17	11.0
afd. 13.0	24.64	10.6
opst. 13.0	24.64	10.6
afd. 12.5	24.10	10.2
opst. 13.0	24.64	10.5
afd. 12.5	24.10	10.1
opst. 13.0	24.64	10.4
afd. 12.5	24.10	10.2
opst. 13.0	24.64	10.6
afd. 12.5	24.10	10.3
	Gem 24.477	Gem. 10.45

$$\frac{\triangle^o r}{r} = \mathbf{0.107}$$

Bepaling van de onderste U. schw.

afd. 11.0	22.49	9.0
opst. 11.5	23.03	9.4
afd. 11.0	22.49	8.9
opst. 11.5	23.03	9.3
afd. 10.5	21.95	8.6
opst. 11.0	22.49	9.1
afd. 11.0	22.49	9.0
opst. 11.5	23.03	9.4
afd. 11.0	22.49	9.0
opst. 11.5	23.03	9.2
	Gem. 22.652	Gem. 9.09

$$\frac{\triangle^u r}{r^u} = \mathbf{0.121.} \qquad \frac{\triangle r}{r} = \mathbf{0.117}$$

§ 14. Bepaling van $\frac{\triangle r}{r}$ voor c^5.

Constante intensiteit van den hoofdprikkel,

$$I = 40.06 \times 10.6\, C = 424.636\, C.$$

Bepaling van de bovenste U. schw.

Uitslag v/d aerodr. m.	m.	*D.*
opst. 38.0	42.80	11.2
afd 37.5	42.35	11.0
opst. 37.5	42.35	11.0
afd. 37.0	41.89	10.9
opst. 38.0	42.80	11.3
afd. 37.5	42.35	11.1
opst. 38.0	42.80	11.3
afd. 37.5	42.35	11.0
opst. 38.0	42.80	11.2
afd. 37.0	41.89	10.9
	Gem. 42.438	Gem. 11.09

$$\frac{\triangle^o r}{r} = \mathbf{0.108}$$

Bepaling van de onderste U. schw.

afd. 32.0	37.14	10.0
opst. 32.5	37.63	10.2
afd. 32.5	37.63	10.1
opst. 33.0	38.12	10.3
afd. 32.0	37.14	10.0
opst. 32.5	37.63	10.2
afd. 32.0	37.14	10.0
opst. 33.0	38.12	10.3
afd. 32.0	37.14	10.1
opst. 32.5	37.63	10.3
	Gem. 37.532	Gem. 10.15

$$\frac{\triangle^u r}{r^u} = \mathbf{0.114}$$

Constante intensiteit van den hoofdprikkel,

$$I = 34.68 \times 8.1\ C = 280.908\ C.$$

Bepaling van de bovenste U. schw.

Uitslag v/d aerodr.	m.	*D.*
opst. 27.5	34.94	8.8
afd. 27.0	34.89	8.6
opst. 28.0	34.99	8.9
afd. 27.5	34.94	8.7
opst. 28.5	35.04	9.0
afd. 28.0	34.99	8.9
opst. 28.5	35.04	9.0
afd. 28.0	34.99	8.9
opst. 28.0	34.99	8.9
afd. 27.5	34.94	8.7
	Gem. 34.975	Gem. 8.84

$$\frac{\Delta^o r}{r} = \mathbf{0.100}$$

Bepaling van de onderste U. schw.

afd. 23.0	32.63	7.6
opst. 23.5	33.15	7.8
afd. 23.0	32.63	7.6
opst. 23.5	33.15	7.7
afd. 23.0	32.63	7.6
opst. 24.0	33.66	7.8
afd. 23.5	33.15	7.7
opst. 24.0	33.66	7.8
afd. 23.0	32.63	7.5
opst. 23.5	33.15	7.7
	Gem. 33.044	Gem. 7.68

$$\frac{\Delta^u r}{r_u} = \mathbf{0.107.} \qquad \frac{\Delta r}{r} = \mathbf{0.107}$$

§ 15. Bepaling van $\frac{\Delta r}{r}$ voor g^5.

Constante intensiteit van den hoofdprikkel,

$$I = 35.20 \times 8.4\, C = 295.68\, C.$$

Bepaling van de bovenste U. schw.

Uitslag v/d aerodr. m.	m.	*D.*
opst. 34.0	39.09	9.0
afd. 33.0	38.12	8.8
opst. 34.0	39.09	9.1
afd. 33.0	38.12	8.8
opst. 33.5	39.61	8.9
afd. 33.0	38.12	8.8
opst. 33.5	38.61	8.9
afd. 33.0	38.12	8.8
opst. 34.0	39.09	9.0
afd. 33.0	38.12	8.8
	Gem. 38.609	Gem. 8.89

$$\frac{\Delta^o r}{r} = \mathbf{0.160}$$

Bepaling van de onderste U. schw.

afd. 26.0	34.78	7.4
opst. 26.5	34.83	7.4
afd. 25.5	34.73	7.2
opst. 26.0	34.78	7.4
afd. 26.0	34.78	7.4
opst. 26.5	34.83	7.5
afd. 25.5	34.73	7.2
opst. 26.5	34.83	7.5
afd. 25.5	34.73	7.2
opst. 26.0	34.78	7.4
	Gem. 34.78	Gem. 7.36

$$\frac{\Delta^u r}{r^u} = \mathbf{0.155}$$

Constante intensiteit van den hoofdprikkel,

$$I = 32.63 \times 6.7\ C = 218.621\ C.$$

Bepaling van de bovenste U. schw.

Uitslag v/d aerodr.	m.	*D.*
opst. 27.0	34.89	7.7
afd. 26.0	34.78	7.3
opst. 26.5	34.84	7.6
afd. 25.5	34.73	7.2
opst. 25.5	34.73	7.2
afd. 25.0	34.68	7.0
opst. 26.0	34.78	7.4
afd. 25.0	34.68	7.0
opst. 26.0	34.78	7.4
afd. 25.0	34.68	7.0
	Gem. 34.757	Gem. 7.28

$$\frac{\triangle^o r}{r} = \mathbf{0.157}$$

Bepaling van de onderste U. schw.

afd. 20.5	30.07	6.2
opst. 21.0	30.58	6.3
afd. 20.5	30.07	6.1
opst. 21.0	30.58	6.2
afd. 21.0	30.58	6.3
opst. 21.5	31.09	6.4
afd. 20.5	30.07	6.1
opst. 21.5	31.09	6.4
afd. 20.5	30.07	6.1
opst. 21.5	31.09	6.4
	Gem. 30.529	Gem. 6.25

$$\frac{\triangle^u r}{r^u} = \mathbf{0.145.} \qquad \frac{\triangle r}{r} = \mathbf{0.154}$$

§ 16. Bepaling van $\frac{\Delta r}{r}$ voor c^6.

Constante intensiteit van den hoofdprikkel,

$$I = 34.68 \times 7.5\, C = 260.100\, C.$$

Bepaling van de bovenste U. schw.

Uitslag v/d aerodr. m.	m.	*D.*
opst. 29.5	35.15	8.7
afd. 28.5	35.04	8.5
opst. 29.5	35.15	8.7
afd. 28.0	34.99	8.3
opst. 30.0	35.20	8.9
afd. 29.0	35.09	8.6
opst. 31.0	36.17	9.2
afd. 30.0	35.20	8.9
opst. 30.5	35.69	9.0
afd. 30.0	35.20	8.8
	Gem. 35.288	Gem. 8.76

$$\frac{\Delta^o r}{r} = \mathbf{0.188}$$

Bepaling van de onderste U. schw.

afd. 21.5	31.10	6.5
opst. 22.0	31.61	6.7
afd. 21.5	31.10	6.6
opst. 22.0	31.61	6.7
afd. 22.0	31.61	6.7
opst. 23.0	32.63	7.0
afd. 22.0	31.61	6.8
opst. 23.0	32.63	7.0
afd. 22.5	32.12	6.9
opst. 23.0	32.63	7.1
	Gem. 31.865	Gem. 6.8

$$\frac{\Delta^u r}{r^u} = \mathbf{0.200}$$

Constante intensiteit van den hoofdprikkel,

$$I = 29.56 \times 6.2\ C = 183.272\ C.$$

Bepaling van de bovenste U. schw.

Uitslag v/d aerodr. m.	m.	*D.*
opst. 23.0	32.63	7.0
afd. 22.5	32.12	6.9
opst. 22.5	32.12	6.9
afd. 22.0	31.61	6.7
opst. 23.0	32.63	7.0
afd. 22.5	32.12	6.9
opst. 22 5	32.12	6.9
afd. 22.0	31.61	6.7
opst. 23.0	32.63	7.0
afd. 22.0	31.61	6.7
	Gem. 32.12	Gem. 6.87

$$\frac{\triangle^o r}{r} = \mathbf{0.204}$$

Bepaling van de onderste U. schw.

afd. 17.5	28.19	5.4
opst. 18.0	28.45	5.5
afd. 17.0	27.89	5.3
opst. 18.0	28.45	5.5
afd. 17.5	28.17	5.4
opst. 18.0	28.45	5.6
afd. 18.0	28.45	5.6
opst. 18.0	28.45	5.7
afd. 17.0	27.89	5.4
opst. 18.0	28.45	5.6
	Gem. 28.284	Gem. 5.5

$$\frac{\triangle^u r}{r^u} = \mathbf{0.178} \qquad \frac{\triangle r}{r} = \mathbf{0.192}$$

§ 17. Bepaling van $\frac{\triangle r}{r}$ voor g^6.

Constante intensiteit van den hoofdprikkel,

$$I = 44.63 \times 13.0\ C = 580.19\ C.$$

Bepaling van de bovenste U. schw.

Uitslag v/d aerodr. m.	m.	D.
opst. 45.0	47.84	14.0
afd. 44.0	47.20	13.8
opst. 45.0	47.84	14.0
afd. 44.5	47.52	13.9
opst. 45.5	48.11	14.2
afd. 45.0	47.84	14.0
opst. 46.0	48.38	14.3
afd. 45.0	47.84	14.0
opst. 46.5	48.75	14.4
afd. 46.0	48.38	14.2
	Gem. 47.97	Gem. 14.08

$$\frac{\triangle^o r}{r} = \mathbf{0.164}$$

Bepaling van de onderste U. schw.

afd. 36.0	40.97	12.2
opst. 36.5	41.73	12.3
afd. 35.0	40.06	12.0
opst. 35.5	40.61	12.1
afd. 35.0	40.06	12.0
opst. 36.0	40.97	12.2
afd. 34.0	39.09	11.7
opst. 35.0	40.06	12.0
afd. 35.0	40.06	12.0
opst. 35.5	40.61	12.1
	Gem. 40.422	Gem. 12.06

$$\frac{\triangle^u r}{r} = \mathbf{0.190}$$

Constante intensiteit van den hoofdprikkel,

$$I = 40.06 \times 12\ C = 480.720\ C.$$

Bepaling van de bovenste U. schw.

Uitslag v/d aerodr. m.	*m.*	*D.*
opst. 38.5	43.26	12.8
afd. 38.0	42.80	12.7
opst. 39.0	43.72	12.9
afd. 38.0	42.80	12.7
opst. 39.5	44.18	13.0
afd. 38.5	43.26	12.7
opst. 40.0	44.63	13.1
afd. 39-0	43.72	12.9
opst. 40.0	43.63	13.1
afd. 39.5	44.18	12.9
	Gem. 43.728	Gem. 12.88

$$\frac{\triangle^o r}{r} = \mathbf{0.171.}$$

Bepaling van de onderste U. schw.

afd. 31.5	36.66	11.1
opst. 32.0	37.14	11.2
afd. 30.0	35.20	10.8
opst. 31.5	36.66	11.1
afd. 30.0	35.20	10.8
opst. 31.0	36.17	11.0
afd. 29.5	35.15	10.6
opst. 30.0	35.20	10.8
afd. 30.0	35.20	10.8
opst. 30.5	35.68	10.9
	Gem. 35.826	Gem. 10.91

$$\frac{\triangle^u r}{r_u} = \mathbf{0.229.} \qquad \frac{\triangle r}{r} = \mathbf{0.188.}$$

§ 18. Vatten wij de in dit hoofdstuk voor de orgelpijpen verkregen resultaten overzichtelijk samen, dan kunnen wij daartoe de navolgende tabel opstellen:

Toonshoogte	Relatieve intensiteit van den hoofdprikkel. [1])	Unterschiedsschwelle. $\frac{\Delta_r^o}{r}$	$\frac{\Delta_r^u}{r^u}$	$\frac{\Delta r}{r}$	in %
C	1392.4 1120.5	0.237 0.236	0.219 0.237	0.232	23.2
G	1560.1 1243.3	0.199 0.211	0.206 0.210	0.206	20.6
c	1213.6 861.7	0.201 0.224	0.221 0.227	0.218	21.8
g	1412.2 788.9	0.183 0.173	0.179 0.184	0.179	17.9
c_1	107.1 86.1	0.164 0.166	0.158 0.168	0.164	16.4
g_1	132.4 104.7	0.142 0.157	0.152 0.166	0.154	15.4
c_2	140.8 114.4	0.143 0.137	0.108 0.134	0.131	13.1
g_2	139.9 101.1	0.102 0.108	0.112 0.105	0.107	10.7
c_3	135.9 101.7	0.104 0.126	0.132 0.138	0.125	12.5
g_3	134.5 98.4	0.114 0.120	0.108 0.108	0.112	11.2
c_4	251.0 139.4	0.077 0.081	0.082 0.101	0.085	8.5
g_4	332.0 230.8	0.117 0.107	0.122 0.121	0.117	11.7
c_5	424.6 280.9	0.108 0.100	0.114 0.107	0.107	10.7
g_5	295.6 218.6	0.160 0.157	0.155 0.145	0.154	15.4
c_6	260.1 183.2	0.188 0.204	0.200 0.178	0.192	19.2
g_6	580.1 480.7	0.164 0.171	0.190 0.229	0.188	18.8

[1]) Ter berekening van de absolute intensiteit moeten de getallen der tweede kolom nog met eene constante worden vermenigvuldigd, die echter bij de berekening der verschildrempelwaarde wegvalt en dus geen gewicht in de schaal legt.

Bij beschouwing van deze tabel valt ons 't allereerst op, dat, zooals reeds boven is vermeld, voor elke toonshoogte slechts twee verschillende intensiteiten zijn onderzocht. Dit feit vindt zijne verklaring in eene eigenaardigheid der orgelpijpen, die bij sterker aanblazen niet meer den toon, waarvoor zij gestemd zijn, doen hooren, maar boventonen; daarom was 't niet mogelijk, wilde men ten minste niet gevaar loopen feitelijk zijne waarneming te verrichten voor eene andere toonshoogte dan bedoeld was, meerdere intensiteiten te onderzoeken.

Tegenover dit nadeel, verbonden aan het gebruik van orgelpijpen, staat echter het groote voordeel der veelzijdigheid der toonshoogten, die met orgelpijpen te onderzoeken zijn.

Nog eene andere reden, om slechts twee verschillende intensiteiten aan een onderzoek te onderwerpen, was deze, dat ik slechts met toonintensiteiten van middelmatige grootte wilde experimenteeren, daar deze immers de geringste afwijking van de wet van W e b e r zouden vertoonen.

Wil deze wet ook in ons onderzoek een steun vinden, dan moeten de bovenste en onderste verschildrempelwaarde voor de beide intensiteiten, theoretisch tenminste, volkomen gelijk zijn.

Uit de tabel blijkt nu, dat de door ons verkregen cijfers aan dezen eisch vrijwel voldoen en dat tevens bij elken toon, ook voor de verschillende intensiteiten, de cijfers van de Unterschiedsschwelle onderling weinig van elkander afwijken.

Wellicht zal men tegen deze resultaten de bedenking willen opperen dat 't geheele experiment, zoowel de waarneming als de bediening van het instrumentarium, door mij geheel alleen is verricht en dat dus niet is gewerkt volgens een „ganz unwissentlich Verfahren". Hiertegen zou ik willen aanvoeren dat de opstelling der verschillende in-

strumenten 't onmogelijk maakte deze door eene tweede persoon te doen bedienen, maar tevens wil ik er op wijzen, dat, moge de waarneming dan niet volgens een „ganz unwissentlich Verfahren" zijn geschied, deze toch ook niet is verricht volgens een „ganz wissentlich". Want bij vergelijking der intensiteiten van den hoofd- en vergelijkingsprikkel, door middel van het draaien der driewegkraan, werden steeds de oogen gesloten, om zoo min mogelijk afgeleid te worden en bij het verstellen der diaphragmata werd de aerodromometer, als zulks niet om de een of andere reden noodzakelijk was, niet gecontroleerd, zoodat de kennis van den uitslag, die deze aangaf, de waarneming en vergelijking der beide toonintensiteiten niet kon beïnvloeden.

HOOFDSTUK III.

Onderzoekingen, verricht met Stemvorken.

I. Berekening der toonintensiteit.

Physici en otologen, die gewoon zijn, ter wille van experiment of onderzoek, van stemvorken gebruik te maken, was het reeds lang bekend, dat in de omgeving van de stemvork punten voorkomen, die, hoewel op een zelfden afstand van de as van de stemvork gelegen, toch een duidelijk verschil in intensiteit laten waarnemen. De verklaring van dit feit is betrekkelijk eenvoudig en door Kiessling[1]) gegeven. Door elk van de trillende beenen van de stemvork wordt bij elke halve trilling tegelijkertijd aan den eenen kant eene luchtverdichting en aan den anderen kant eene luchtverdunning veroorzaakt, welke zich zullen voortplanten en dus noodzakelijk zullen moeten interfereeren.

Doordat nu nog tegen den binnenkant der stemvorkbeenen de geluidsgolven gereflecteerd worden en ook de luchtbewegingen door de beide beenen veroorzaakt invloed op elkaar moeten oefenen, ontstaat in elk kwadrant van het geluidsveld om de stemvork hyperbolisch gekromde

[1]) Kiessling. Ueber die Schallinterferenz einer Stimmgabel. Ann. der Phys. und Chemie B. XXX 1867. S. 177.

interferentie-vlakken, gaande door de as van de stemvork, waar de geluidssterkte nul of nagenoeg gelijk nul is. Van uit deze interferentie-vlakken neemt de intensiteit van het geluid naar het vlak van trilling en het vlak loodrecht daarop steeds toe, om in deze beide vlakken hare grootste waarde te bereiken.

Beluistert men nu bijv. de stemvork in een punt gelegen in 't vlak van trilling en op een bepaalden afstand verwijderd van de as van de stemvork, dan zal men steeds op dien zelfden afstand blijvend, telkens punten meer in de richting van het interferentie-vlak kunnen beluisteren en met de eerste geluids-intensiteit kunnen vergelijken, totdat een punt gevonden is, waar de sterkte van het geluid duidelijk als zwakker dan in 't vlak van trilling wordt waargenomen. Kunnen we daarenboven de intensiteit van het geluid in die twee punten berekenen, dan is ook de relatieve Unterschiedsschwelle te vinden.

Nu behoort de absolute bepaling van de intensiteit van het geluid, opgewekt door 't trillen van eene stemvork, tot de nog niet opgeloste vraagstukken der physica; daar wij hier echter slechts met verhoudingen van twee geluids-intensiteiten te maken hebben, is eene absolute waarde voor ons doel niet noodzakelijk.

Om de verhouding van de intensiteit van twee geluiden te vinden, zijn door mij drie methoden beproefd, waarvan feitelijk slechts een als bruikbaar kan aangemerkt worden.

Een der methoden, die werd aangewend en zich als geheel onbruikbaar deed kennen, is die van P a n s e. Deze berust hierop, dat men tusschen het oor en de geluids-bron een diaphragma schuift en bepaalt, bij welke wijdte van de diaphragma-opening het geluid nog juist waarneembaar is. Volgens P a n s e zouden nu twee geluids-intensiteiten zich verhouden als de oppervlakten van die

diaphragma-openingen, welke het geluid even niet meer doen waarnemen.

Voor dit doel is door P a n s e [1]) een klein instrument met otoscoopbuis en draaibaar diaphragma met openingen van verschillende grootte vervaardigd, waarmee ook door mij geexperimenteerd is. Het bleek echter, dat het instrument niet bruikbaar was, daar tot bijna door de fijnste openingen het geluid nog werd waargenomen en er voor duidelijk verschillende geluidsintensiteiten, wat de diaphragma-opening betreft, geen verschil werd gevonden. Hieruit zou dus, als P a n s e 's veronderstelling juist was, de conclusie moeten getrokken worden, dat de beide geluidsintensiteiten gelijk waren, wat niet het geval was.

Volgens eene analoge methode heeft ook C h. H e n r y geëxperimenteerd. Zijn apparaat heb ik niet beproefd, want al zou het ook moge zijn, dat daarin enkele gebreken van dat van P a n s e vermeden zijn, dan nog is het niet te verwachten dat de berekeningen eenvoudig zouden kunnen uitvallen. Bij nauwe openingen treedt nl. stoornis door buiging op, welke stoornis het aanzienlijkst is voor lage tonen, maar voor hooge geenszins te verwaarloozen is.

Eene tweede manier van berekening der relatieve gegeluidsintensiteiten, dus ook van de Unterschiedsschwelle, voor de stemvorktonen kan uitgevoerd worden met behulp van eene formule, door W e r n d l y [2]) langs analytisch wiskundigen weg ontworpen:

$$A = C \frac{{}^1/_2 \; a \, b \, l \; (x - k \, y)}{x^2 + y^2 + (z - {}^2/_3 \, l)^2} .$$

---

[1]) 7e Congrès intern. d'otologie. Bordeaux 1904, Compte rendu, pag. 209.

[2]) Aequisonore Flächen rings um eine ertönende Stimmgabel. L. U. H. C. W e r n d l y. Onderzoekingen Physiol. Lab. Utrecht (5) V. blz. 167. Arch. für Physiologie, 1904.

Hierin stelt A voor de amplitude van de luchttrilling en van een willekeurig punt om de stemvork; C is eene constante, a de amplitude van de stemvork aan 't einde der beenen gemeten, b de breedte en l de lengte dier beenen (gemeten van 't knooppunt bij den steel tot 't uiteinde), x, y en z zijn de coordinaten (wier oorsprong zich in 't knooppunt van de stemvork bevindt), welker waarde dus afhankelijk is van de ligging van het punt waarvan men de amplitude wil berekenen.

Deze coordinaten zijn zoo gekozen, dat de z-as samenvalt met de as van de stemvork, de x-as met de trillingsrichting van de stemvork en de y-as met de normaal op 't x-z-vlak.

De in de formule nog voorkomende factor k is eene constante, die kleiner dan een 1 is, voor elke stemvork eene bepaalde waarde heeft en de verhouding aangeeft van de werking der ruimte tusschen de beenen en van die der buitenste oppervlakte van de stemvorkbeenen. Deze factor k is gelijk aan de cot. van den hoek (α) die 't Kiessling'sche nul-interferentie vlak maakt met 't x-z-vlak.

Berekening en afleiding van deze formule kunnen we hier niet verder behandelen; we verwijzen daarvoor naar de oorspronkelijke mededeeling.

Kiezen we nu een punt in de omgeving van de stemvork, gelegen in een vlak, dat de as van de stemvork loodrecht snijdt op een afstand $^2/_3\ l$ van 't knooppunt en verder gelegen in de trillingsrichting op een afstand R van de as, dan is dus voor dit punt $x = R$, $y = o$ en $z = {}^2/_3\ l$ en volgens bovengenoemde formule zal dus de amplitude der luchttrillingen in dit punt zijn:

$$A = \frac{C\,a\,b\,l}{2\,R}$$

Voor een ander punt in 't zelfde vlak en op denzelfden afstand van de as van de stemvork verwijderd, maar zooveel naar 't nul-interferentievlak gelegen, dat juist een verschil in intensiteit bij vergelijking met 't eerste punt wordt gehoord, is, als we φ den hoek noemen, welken de lijn, die dit punt met de as verbindt, maakt met de trillingsrichting van de stemvork $x = R \cos. \varphi$, $y = R \sin. \varphi$ en $z = {}^2/_3\, l$.

De amplitude van dit punt zal dus zijn:

$$A^u = \frac{C\,a\,b\,l}{2} \times \frac{R \cos. \varphi - k\,R \sin. \varphi}{R^2 \cos.^2 \varphi + R^2 \sin.^2 \varphi}$$

$$= \frac{C\,a\,b\,l}{2\,R} (\cos. \varphi - k \sin. \varphi),$$

daar $k = \cot. \alpha$

$$A^u = \frac{C\,a\,b\,l}{2\,R} \left(\cos. \varphi - \frac{\cos. \alpha \sin. \varphi}{\sin. \alpha}\right)$$

$$= \frac{C\,a\,b\,l}{2\,R} \times \frac{\sin. (\alpha - \varphi)}{\sin. \alpha}$$

$$= \frac{A \sin. (\alpha - \varphi)}{\sin. \alpha}.$$

De verschildrempelwaarde is nu, daar de intensiteit van het geluid evenredig is aan het kwadraat der amplitude:

$$\frac{\triangle^u r}{r_u} = \frac{I - I_u}{I_u} = \frac{A^2 - A^2{}_u}{A^2{}_u} = \frac{A^2 - \dfrac{A^2 \sin.^2 (\alpha - \varphi)}{\sin.^2 \alpha}}{\dfrac{A^2 \sin.^2 (\alpha - \varphi)}{\sin.^2 \alpha}}$$

$$= \frac{\sin.^2 \alpha - \sin.^2 (\alpha - \varphi)}{\sin.^2 \alpha} \times \frac{\sin.^2 \alpha}{\sin.^2 (\alpha - \varphi)}$$

$$= \frac{\sin.^2 \alpha - \sin.^2 (\alpha - \varphi)}{\sin.^2 (\alpha - \varphi)}.$$

Hieruit blijkt dus, dat we, om met behulp van deze formule de verschildrempelwaarde te verkrijgen, moeten kennen de hoeken α en Φ, wier bepaling overigens geen moeilijkheden behoeft op te leveren.

Evenmin als de methode Panse-Henry heeft zich de mathematische berekening volgens Werndly in de praktijk mijner experimenten kunnen staande houden. Door Werndly zijn tal van vereenvoudigingen aangebracht. Zoo worden door hem storingen, ontstaan door medetrilling van den steel, verwaarloosd en neemt hij in plaats van de stemvork twee geluidsbronnen aan en wel de buitenste stemvorkvlakte en de ruimte tusschen de beide beenen.

Verder accepteert, hij nog een drietal veronderstellingen, die wel op empirisch vastgestelde feiten berusten, maar die toch nog nader bewijs behoeven.

De theoretische uitkomst verwijdert zich dientengevolge van de waarheid, zoodat zij in ons geval alleen bij benadering bruikbaar is.

Eene derde en verreweg de beste methode, ten minste voor niet al te kleine afstanden, berust op de bekende wet, dat de intensiteit van het geluid afneemt in omgekeerde rede met het quadraat van den afstand. Heeft men twee verschillende geluidsintensiteiten en verwijdert men zich met het oor zoover van de geluidsbron, tot de geluidsindruk juist even verdwijnt, dan zullen die twee geluidssterkten zich verhouden als de quadraten van de afstanden waarop men zich van de geluibsbron heeft moeten verwijderen, om het geluid juist niet meer waar te nemen.

Stellen nu I en I^u respectievelijk voor de intensiteit van het geluid van den constanten hoofdprikkel en van het geluid, dat 't eerst als zwakker dan I wordt aangemerkt, en noemen wij de afstanden, waarop beide nog

juist even kunnen worden waargenomen a en b, dan geldt dus,

$$I : I^u = a^2 : b^2$$

$$\frac{\Delta^u r}{r^u} = \frac{I - I^u}{I_u} = \frac{a^2 - b^2}{b^2}.$$

We hebben dus slechts a en b te zoeken, om gemakkelijk volgens bovenstaanden vorm de verschildrempelwaarde te kunnen berekenen.

Het is deze derde methode, waartoe ik feitelijk de toevlucht heb genomen. Wel is ook zij niet onberispelijk. De quadratische afstandswet is wel is waar binnen het acustisch kabinet (geheel bekleed met trichopièse) geenszins onwaarschijnlijk, maar de invloed der buiging, bij geluidsgolven zoo hinderlijk, geraken wij ook hier niet kwijt. Het geluid treedt door eene opening van 6 m.M. te voorschijn en zal dus noodzakelijk ter zijde ombuigen De distrubutie van het geluid is dus per se ongelijkmatig en de afstandswet voor korte afstanden per se gestoord.

II. Bepaling der Unterschiedsschwelle in hoekwaarden.

De te onderzoeken stemvorken (van Edelmann in München), die alle van een langen steel voorzien waren, werden met dien steel bevestigd in een statief, waartoe diende een houten blok, hetwelk voor de stabiliteit met een stuk ijzer bezwaard was. Om te voorkomen, dat bij het trillen der stemvork de steeltrillingen op het statief zouden worden overgedragen, werd de steel, waar deze door de klemschroeven in directe verbinding met het houten blok kwam, met eene dikke laag caoutchouc omgeven, hetwelk het overbrengen der beweging van den steel grootendeels voorkomt.

Het houten blok met de daaraan bevestigde stemvork rustte weer op een pilaar, bestaande uit eene wijde ijzeren geheel met zand gevulde pijp, welke onder en boven door eene dikke ronde houten plaat was afgesloten. Om te voorkomen, dat de trillingen van het houten blok, waaraan de stemvork bevestigd was, indien zij zich soms nog voordeden, op de pilaar zouden worden overgebracht, rustte dit niet direct op de houten plaat van den pijler, maar op een daarop gelegd dik stuk geperst vilt, eene substantie, die uitermate geschikt is, om die trillingen nog te dempen.

Het geheel, te weten de pijler met het daarop rustende houten blok met stemvork, was geplaatst op een langwer-

pigen dikken zerk van hardsteen, welke weer niet direct op den vloer rustte, maar op een viertal ronde looden blokken. Ook deze waren niet direct op den bodem geplaatst, maar bevonden zich weer op een tweetal platen kurksteen.

Op deze manier was dus wel voorkomen, dat de trillingen van de stemvork zich aan den bodem, waarop het geheele apparaat was opgesteld, zouden mededeelen; want wilden de trillingen van onze geluidsbron overgedragen worden aan den bodem, dan zouden de schokken zich moeten voortplanten door verschillende stoffen, die juist de eigenschap bezaten, zulks zoo min mogelijk toe te laten, n. l. het caoutchouc om den steel van de stemvork, het stuk dik geperst vilt, de looden blokken en ten laatste nog de platen kurksteen.

Op deze wijze was dus de stemvork zoo goed mogelijk geïsoleerd opgesteld. Nu moest nog eene inrichting worden uitgedacht, die 't mogelijk maakte twee verschillende geluidsintensiteiten uit het geluidsveld om de stemvork afzonderlijk waar te nemen. Dit werd langs den navolgenden weg bereikt.

Op den bovengenoemden hardsteenen zerk werd tegenover den pilaar, waarop de stemvork rustte, nog een dergelijke pilaar geplaatst, waarop een koperen ring, op welken eene graadverdeeling was aangebracht, in verticalen stand was bevestigd. Aan dezen ring waren een tweetal metalen sleden verschuifbaar aangebracht. Plaats men nu de stemvork zoo, dat de as van deze loodrecht staat op het vlak van den ring en door 't middelpunt van dezen gaat, dan zullen de metalen sleden bij het verschuiven langs den ring steeds op denzelfden afstand van de stemvork zich bevinden en is men dus in staat, wanneer men aan elk van deze sleden een hoorbuis bevestigt, elk willekeurig

gedeelte van het geluidsveld, in 't vlak van den ring gelegen, waar te nemen, terwijl de graadverdeeling op den ring aangebracht, 't tegelijkertijd mogelijk maakt, den stand van de slede en dus van de hoorbuizen aan te geven.

De opstelling van de stemvork ten opzichte van den ring werd met de hand bewerkstelligd, terwijl, door met passer, lineaal en libel uit te meten er, zoo nauwkeurig als mogelijk was, voor werd gezorgd, dat de as van de stemvork loodrecht op 't vlak van den ring stond. Hiermede is dus de stand van de as (dit is het verlengde van den steel van de stemvork) voldoende aangegeven. Nu kan de stemvork (bijv. wat het vlak van trilling harer beenen betreft), nog verschillende posities innemen. Wat dit nu aangaat, werd deze zoo opgesteld, dat de beide beenen bij trilling zich bewogen in een horizontaal vlak, loodrecht op het vlak van den ring en gaande door het middelpunt van dezen. Als nu nog is aangegeven, waar het vlak van den ring de as van de stemvork snijdt, is de stand van deze ten opzichte van den ring nauwkeurig bepaald. Dit nu werd zoo ingericht, dat het vlak van den ring de as van de stemvork aldus sneed, dat het middelpunt van de opening der aan de sleden bevestigde hoorbuizen zich bevond tegenover een punt van de as van de stemvork, dat gelegen was op een afstand van de einden der beenen, gelijk aan $^1/_3$ van de lengte dier beenen. De afstand werd zoo gekozen om den boven uit de formule van Werndly afgeleiden vorm voor de verschildrempelwaarde te kunnen gebruiken. Dit punt valt ook ongeveer samen met het Schmiegelow'sche tooncentrum, en is dus 't punt van sterkste toonintensiteit Voeg ik nu hier nog bij, dat de otoscoopbuizen aan de sleden zoo bevestigd waren, dat bij verschuiven van deze, zij zich bewogen in een vlak even-

wijdig aan het vlak van den ring, dan is hier dus tevens mee gezegd, dat deze dus verplaatsbaar waren in een vlak, dat loodrecht staat op de as van de stemvork, deze as snijdende in een punt gelegen op een afstand van het uiteinde der beenen van de stemvork, gelijk aan $^1/_3$ van de lengte dier beenen, terwijl, daar de as van de stemvork door het middelpunt van het vlak van den ring gaat, de openingen der hoorbuizen zich altijd op gelijken afstand van de stemvork zullen bevinden. Volledigheidshalve zij hier nog vermeld, dat loodrecht op den steel van de stemvork een dunne ijzeren staaf met dwarsstuk bevestigd was, waaraan een schietlood was opgehangen, hetwelk diende om steeds te kunnen controleeren, of de stemvorkbeenen niet afweken uit het horizontale vlak, waarin zij gesteld waren. Het geheele apparaat, dat ons tot het onderzoek van verschillende stemvorken zou dienen, werd opgesteld op het fotografisch atelier van het physiologisch laboratorium vlak voor den muur, die het atelier van het acustisch kabinet scheidde.

De otoscoopbuizen, die aan de sleden bevestigd waren en bestonden uit twee even lange gummibuizen (met eene openingswijdte van 6 m.M.) omgeven door looden compositiebuizen, mondden door twee boorgaten van eene looden stop, die in den muur van het acustisch kabinetje was aangebracht, in genoemde kamer uit.

De gummibuizen werden nog door looden omgeven, omdat bij 't proefnemen bleek, dat zij niet voldoende isoleerden en b. v. als vlak bij de stemvork de buisopening dicht geknepen werd en dus geen geluid langs dien weg kon worden opgevangen, ze toch bij beluistering een zwak geluid deden hooren, waarschijnlijk op haar weg door het geluidsveld om de stemvork opgenomen. De omkleeding met looden buizen deed dit verschijnsel bijna geheel ver-

dwijnen en hielp dus een fout elimineeren, die de proefresultaten zeker had kunnen beinvloeden.

Om diezelfde reden werd ook nog nagegaan, of de beide buizen voldoende van elkaar geisoleerd waren, daar ze toch, in de looden stop verloopend, door een niet zeer dikken tusschenwand van lood gescheiden waren. Bij controleering hiervan bleken de beide buizen absoluut van elkaar geisoleerd te zijn en stond dus hiermede voor ons vast, dat de beide buizen noch van elkaar, noch van het geluidsveld, door hetwelk zij liepen, geluidstrillingen konden opnemen.

Om te voorkomen, dat door de zwaarte van het lood de gummibuizen zouden afknikken, werden zij aan een over een katrol loopend, met een gewicht bezwaard, koord gesuspendeerd. De beide gummi-otoscoopbuizen, die door de dubbeldoorboorde stop in het acustisch kabinet drongen en ook daar nog met een looden compositiebuis omgeven waren, werden door middel van eene drieweg-kraan, die, op een statief bevestigd, zich in het kamertje bevond, met elkaar verbonden.

Aan deze drieweg-kraan was behalve deze twee otoscoopbuizen nog eene derde gummibuis verbonden, waarin een metalen Y-buis van een binoralen stethoscoop was bevestigd, welke zelf weer twee gummibuisjes om in 't oor te brengen droeg.

Door middel van deze driewegkraan was het nu mogelijk om beurtelings het geluid van de stemvork waar te nemen door elk van de buisjes afzonderlijk, terwijl ook de driewegkraan natuurlijk zoo was te stellen, dat geen van de beide otoscoopbuizen met den stethoscoopbuis communiceerde. Wilde 't onderzoek, waarmede we ons wenschten bezig te houden, mogelijk zijn, dan was een eerste vereischte, dat de stemvork, welker geluidsintensiteit werd waargenomen,

een constanten uitslag gaf, dus dat gedurende eene proefreeks de intensiteit dezelfde bleef.

Om tot dit doel te geraken, werd de tot het onderzoek dienende stemvork electromotorisch gedreven door eene andere, die opgesteld werd op den zolder van het physiol. laboratorium, die van het acustisch kamertje door het photografisch atelier was gescheiden. Dit geschiedde, om door het geknetter van deze drijvende stemvork zoo min mogelijk bij ons onderzoek gestoord te worden.

Als drijvende stemvork werd gebruikt eene stemvork van König van de toonshoogte c^1, door welke het gelukte 3 andere stemvorken c^1, c^2 en c^3 met constanten uitslag in trilling te brengen.

Om dezen uitslag constant te maken, en dus de beide stemvorken unisoon zonder zwevingen te doen klinken, werd de gedreven stemvork zoo lang met was en zoo noodig ook met kleine stukjes lood belast, totdat alle zwevingen geëlimineerd waren en de uitslag constant was.

Nu was het voor ons doel nog noodzakelijk, om de amplitudo van de trillende stemvork te kunnen meten. Om dit mogelijk te maken, was aan het uiteinde van een der beenen van de stemvork een driehoekig figuurtje van Gradenigo[1]), modificatie Struycken[2]), gesoldeerd, hetwelk waargenomen werd met een microscoop, dat verstelbaar was aangebracht op een statief, dat bevestigd was op denzelfden pilaar, als waarop de koperen ring zich bevond. Om het figuurtje, dat op glas gephotografeerd was, goed zichtbaar te maken, werd onder dit een klein gloeilampje van 6 volts geplaatst. Zooals uit het voorgaande blijkt, was het dus gelukt, om den uitslag van de stemvork constant

[1]) Arch. Ital. di otolog. T. IX, 1 Fasc. 1899. La Parole. Dec. 1899. No. 12.

[2]) Nederl. Tijdschr. v. Geneesk. 1902. I p. 728.

te houden; nu moest er nog uitgezien worden naar een middel om dien constanten uitslag willekeurig grooter of kleiner te maken. Hierin nu werd voorzien, door in de geleiding van de stemvork een shunt aan te brengen, die, door dunne nickelinedraden in te schakelen, zoo werd ingericht, dat men den weerstand willekeurig kon vergrooten en verkleinen. Aldus gelukte het door dien weerstand te veranderen, meer of minder stroom door de shunt te doen gaan en dus ook de stroom gaande door de bobine, geplaatst tusschen de beenen van de gedreven stemvork, te verzwakken of te versterken, waarvan weer 't gevolg was dat de amplitude van de trillende stemvork kleiner of grooter werd.

Op deze wijze nu kon men aan de stemvork eene amplitude geven van de grootte, die men verkoos voor het onderzoek te gebruiken.

Met dit complex van instrumenten, opgesteld als is bebeschreven, zijn de waarnemingen ter bepaling van de Unterschiedsschwelle voor toonintensiteiten van stemvorken verricht.

Ter verkrijging van deze verschildrempelwaarde werd, evenals bij de orgelpijpproeven gebruik gemaakt van de methode der minimale veranderingen als zijnde de eenvoudigste en wat hare resultaten betreft het minst aanvechtbaar.

Wil men nu volgens deze methode werken, dan is een eerste vereischte, dat men kan beschikken over een, gedurende een reeks van waarnemingen, absoluut constant blijvenden geluidsprikkel, waarmede we dan andere prikkels kunnen vergelijken, die steeds iets grooter of iets kleiner verschil met den eersten in absolute intensiteit aanbieden.

Als constante geluidsprikkel werd gekozen de intensi-

teit van het geluid in 't vlak van trilling van de stemvork, wat we konden bereiken, door een der langs den koperen ring verschuifbare sleden zoo te plaatsen, dat het middelpunt van de opening der aan de slede bevestigde otoscoopbuis zich in het vlak van trilling der beenen van de stemvork bevond.

Tot vergelijkingsprikkel kon dienen het geluid opgevangen door de andere otoscoopbuis, die door middel van de slede in 't zelfde vlak tegenover het andere been der stemvork was geplaatst; dan moeten de geluidsindrukken bij het beluisteren van het geluid, door elk der otoscoopbuizen waargenomen, gelijk zijn, daar bij juiste opstelling van de stemvork de openingen der beide hoorbuizen zich in 't vlak van trilling op gelijken afstand van de beenen der stemvork bevinden.

Laten we nu een der buizen aldus in het vlak van trilling staan en bewegen we de andere hoorbuis telkens een weinig, b. v. 1 graad langs den koperen ring omhoog, dan zal dus de geluidsintensiteit, door deze buis beluisterd, zwakker worden, daar men immers meer en meer het Kiessling'sche interferentie-vlak nadert en kunnen we, door de twee geluidsindrukken, langs de beide otoscoopbuizen verkregen, waar te nemen en te vergelijken den hoek bepalen, die de richtingslijn van de verschoven otoscoopbuis maken moet met het horizontale vlak, waarin de stemvork trilt, om 't verschil in intensiteit der twee geluidsindrukken even te doen waarnemen.

Het is duidelijk, dat we, aldus te werk gaande, slechts de onderste Unterschiedsschwelle en niet ook de bovenste kunnen bepalen. Wilden we dit tevens doen, dan zouden we de otoscoopbuis, die ons de constante intensiteit leverde, moeten plaatsen in eene richting, gelegen tusschen het Kiessling'sche interferentievlak en het vlak van trilling

der stemvork. Dit heeft echter 't bezwaar, dat dan de onderste Unterschiedsschwelle niet heel nauwkeurig te bepalen zou zijn, daar het verval van de intensiteit van het geluid naar het nul-interferentievlak steeds grooter wordt en reeds op niet al te geringen hoekafstand van het interferentievlak eene geringe verschuiving van de otoscoopbuis een duidelijk verschil in intensiteit doet waarnemen.

Nu deed zich bij het onderzoek al dra eene moeilijkheid voor. Werden n. l. de beide otoscoopbuizen, zooals boven is aangegeven, geplaatst elk tegenover een der beenen van de stemvork met de opening in het vlak van trilling der beenen, dan werden niet altijd de beide geluidsindrukken als gelijk waargenomen en verkeerde men dikwijls, wat de gelijkheid betrof, in twijfel. Nu is dit feit wel als psychisch verschijnsel op te vatten, maar ook kan het heel goed veroorzaakt zijn, doordat met de hulpmiddelen, waarover ik beschikken kon, de as van de stemvork niet zoo nauwkeurig in het middelpunt van den koperen ring was te stellen als vereischt werd. Hoe dit ook zij, een hierdoor misschien binnensluipende fout kon zeker vermeden worden, door de beide otoscoopbuizen in hetzelfde kwadrant boven elkaar tegenover een en hetzelfde been te plaatsen. De beide hoorbuizen werden daarom zoo boven elkaar gesteld, dat de beide richtingslijnen een hoek van 5 graden vormden. Kleiner kon deze hoek niet gemaakt worden, daar de sleden waaraan de beide hoorbuizen bevestigd waren, dit niet toelieten. Dit was trouwens ook niet noodig, daar talrijke voorafgenomen proeven, die ter oefening waren verricht, hadden uitgemaakt, dat, wilde een duidelijk verschil gehoord worden, de richtingslijnen der otoscoopbuizen een hoek grooter dan 5° moesten maken, of met andere woorden, dat de hoekwaarde der Unterschiedsschwelle grooter was dan 5°.

Om deze reden kon daarom ongestraft elke waarneming aanvangen met twee geluidsintensiteiten, die, in graden uitgedrukt, 5° verschilden. Men was, aldus handelende, minder afhankelijk van eene misschien niet uiterst nauwkeurige centreering der stemvork

De bepalingen nu van de verschildrempelwaarde, waarbij ik als acustisch waarnemer optrad, geschiedden als volgt.

Nadat door middel van de shunt eene bepaalde amplitudo aan de stemvork was gegeven, werd een der otoscoopbuizen, die het constante geluid moest leveren, door eene schroef vastgezet, zoodat de opening van de buis lag in 't vlak van trilling van de stemvork. De andere buis werd daarboven geplaatst in 't linker bovenste kwadrant van de stemvork, zoodat deze een hoek van 5° met de vorige maakte. De afstand, waarop zich de buisopeningen van de as van de stemvork bevonden, was voor beide otoscoopbuizen gedurende alle proefnemingen en voor alle stemvorken steeds constant en gelijk aan de straal van den koperen ring, d. i. 12.5 c.M.

Ter waarneming werd door mij plaats genomen in het acustisch kabinet bij de driewegkraan, terwijl als manipulator een intelligent laboratoriumbediende zich bij de stemvork in het photografisch atelier bevond.

Deze had in opdracht, de bovenste otoscoopbuis door middel van de slede telkens iets hooger te schuiven. Door middel van lichtseinen werd hem aangegeven, wanneer hij daartoe moest overgaan.

Bij het begin van eene waarneming, wanneer dus de beide otoscoopbuizen boven elkander stonden en de beide geluidsintensiteiten als van gelijke sterkte werden beoordeeld, kon er telkens met een of twee graden worden opgeklommen. Werd echter de gelijkheid onduidelijker, dan werd een ander sein gegeven en moest hij slechts met een

halven graad stijgen. Om te voorkomen, dat door mij uit het aantal opstijgingen kon berekend worden, hoe groot het verschil in stand der buizen reeds was, werd hem verzocht, zoo nu en dan eens aan een lichtsein geen gevolg te geven en het mij aldus onmogelijk te maken den stand der buizen te berekenen. Op deze manier konden dus fouten, ontstaan door de verwachting van den waarnemer vermeden worden. Maar hiermede was de taak van den manipulator nog niet ten einde; hij moest eveneens door het microscoop geregeld de amplitude controleeren en mocht deze een weinig veranderen, wat natuurlijk wel eens voorkwam, hetzij b. v. door het inbranden van het platina contact van de drijvende stemvork of door welke oorzaak dan ook, mij komen waarschuwen, waarop door mij dan, door den shuntweerstand te wijzigen, de amplitude op zijne vroegere grootte werd gebracht.

Op de aldus aangegeven wijze werd nu eerst eene bepaling verricht, uitgaande van twee (subjectief) gelijke geluidsintensiteiten, verkregen door de beide buizen boven elkaar te plaatsen met een hoekverschil van slechts 5°. Door de buis telkens iets naar boven naar het interferentievlak toe te bewegen en dus het geluid, door deze geleverd, te verzwakken, werd ten slotte een punt gevonden, waarop de geluidsintensiteiten als duidelijk verschillend werden beoordeeld. Dit punt werd opgeteekend evenals het punt, waarop het laatst het verschil als twijfelachtig of niet duidelijk gelijk werd beoordeeld, een punt, dat meestal een halve graad met het eerste verschilde, daar in 't laatst de otoscoopbuis telkens maar een halve graad werd verschoven.

Als dit was geschied en beide punten opgeteekend waren, werd de otoscoopbuis nog meer naar boven naar het interferentievlak gebracht, zoodat beide buizen een duidelijk

verschillend geluid deden hooren; nu werd weer op dezelfde manier, als reeds is aangegeven, telkens de otoscoopbuis naar beneden naar de vastgezette toe verschoven, zoodat dus 't geluid telkens iets sterker werd. Als nu een punt bereikt was, waarop de beide geluidsintensiteiten als niet meer verschillend, of als twijfelachtig gelijk werden beschouwd, werd dit punt eveneens genoteerd, evenals 't punt, waarop voor 't laatst nog een duidelijk verschil was waargenomen.

Door dus uit te gaan van twee gelijke geluidsintensiteiten en dan af te dalen tot twee duidelijk ongelijke en door uit te gaan van twee ongelijke en op te stijgen tot twee gelijke, werden dus vier punten gevonden, waarvan 't gemiddelde als de onderste verschildrempelwaarde van het constante geluid, waarvoor eene bepaling geschiedde, was aan te merken.

Voor elke amplitude werden nu vijf dergelijke bepalingen verricht en het gemiddelde van deze vijf gaf dus de hoekwaarde der Unterschiedsschwelle aan. Door de waarde van dit gemiddelde in te voeren in den, uit de formule van Werndly afgeleiden, vorm voor de verschildrempelwaarde, kon zij direct in cijfers worden uitgedrukt; terwijl zulks ook kon geschieden met behulp van de uit de afstandswet afgeleide formule voor de Unterschiedsschwelle; dan moesten echter cerst deze beide afstanden bepaald worden. Dit gebeurde dan ook, zoodra eene bepaling van de hoekwaarde van de Unterschiedsschwelle was afgeloopen. Meestal geschiedde dit 's morgens, terwijl 's middags de afstandsbepalingen verricht werden; gedurende dezen tijd werd men n. l. 't minst gestoord door 't gedreun van voorbijrijdende wagens.

Om deze afstandsbepalingen met succes te kunnen volbrengen, werd in 't acustisch kamertje eene verdeelde ijzeren

staaf, aan twee statieven bevestigd, opgesteld voor de looden stop in den wand, waardoor de beide otoscoopbuizen het kamertje binnendrongen. Langs deze ijzeren staaf was een houten beugel, waarin bij de waarneming het hoofd moest rusten, verschuifbaar aangebracht. Staaf en beugel waren zoo door stelschroeven aan de statieven bevestigd, dat, wanneer men het hoofd in den beugel deed rusten, de gehooropening zich juist tegenover de gaten in de looden stop bevond.

Werd nu met de waarneming een aanvang genomen, dan werd de otoscoopbuis, die het zwakste geluid deed hooren, buiten het kamertje door middel van de slede zoo gesteld, als de uit de verschillende waarnemingen verkregen gemiddelde hoekwaarde der Unterschiedsschwelle aangaf. De buis, dienende voor het constante geluid, bleef natuurlijk op hare oude plaats. Binnen in het kamertje werden de beide otoscoopbuizen van de driewegkraan losgemaakt en deze van het statief, waaraan ze bevestigd was, verwijderd.

Op het statief werd nu een verlengstuk vastgeschroefd, dat moest dienen om er de otoscoopbuis, voor wier geluid de afstand bepaald werd, op te doen rusten; de andere buis werd gedurende dit onderzoek met eene schroef dichtgeknepen, zoodat door deze geen geluid 't kamertje binnendringen kon en interferentie dus niet te vreezen was.

Nu werd het hoofd van den waarnemer in den beugel geplaatst, en zoo dicht naar de otoscoopbuis gebracht, dat deze even in de gehooropening drong; dit punt, 't nulpunt van de waarneming werd opgeteekend.

Als dit alles was geschied, kon de eigenlijke afstandsbepaling beginnen. Het hoofd werd met den beugel langzaam zoo ver van de otoscoopbuis verwijderd, tot geen geluid meer werd waargenomen; de verdeeling op de staaf in verband met het opgeteekende nulpunt deed dan den

afstand kennen, (afdalende reeks). Voor elke otoscoopbuis werd dit 15 of 20 maal herhaald en daarna werd de beugel op zulk een afstand van de buis geplaatst, dat geen geluid werd waargenomen en vandaar uit het hoofd weer langzaam naar de buis bewogen, tot men het geluid weer even waarnam (opstijgende reeks); ook dit werd 15 of 20 maal gedaan en de afstanden genoteerd.

Uit de 30 of 40 aldus verkregen afstanden werd het gemiddelde berekend, wat dan werd beschouwd als de afstand waarop men zich van de buis moet verwijderen, om het geluid van deze juist niet meer te kunnen waarnemen. De bepaling van dezen afstand voor het geluid van de andere otoscoopbuis geschiedde daarna geheel op dezelfde wijze.

Uit de proefresultaten hierachter zal blijken, dat de waarde der afstanden in de opstijgende reeksen bijna steeds kleiner zijn, dan die der afdalende reeksen, een verschijnsel dat reeds menigmaal is waargenomen en daarom niet als iets opvallends beschouwd moet worden.

We hebben dus langs dezen weg de gegevens gekregen, om met behulp van de formule $\frac{\Delta^u r}{r^u} = \frac{a^2 - b^2}{b^2}$ de verschildrempelwaarde te berekenen.

Ter bepaling van de Unterschiedsschwelle volgens de formule van W e r n d l y, die, al steunen wij er niet op, toch steeds bij wijze van vergelijking werd toegepast, hebben we, behalve de hoekwaarde dier Unterschiedsschwelle ook nog noodig den hoek, dien het nul-interferentievlak maakt met het horizontale vlak, waarin de stemvorkbeenen trillen.

Om dezen hoek te leeren kennen, werd door mij plaats genomen in het acustisch kamertje en een der otoscoopbuizen en wel de bovenste beluisterd. Een der laborato-

riumbedienden schoof nu langzaam met de slede deze buis naar boven naar het nul-interferentievlak toe; als nu door de buis bijna of in 't geheel geen geluid meer werd waargenomen, werd den bediende door een lichtsein te kennen gegeven de buis met slede in dien stand te fixeeren. Van dit punt uit werd nu nog eenige malen de buis over eenigen afstand naar onder en naar boven bewogen, om ons er van te vergewissen, dat er in de nabijheid nog niet een punt was, waar het geluid nog zwakker was; was zulks niet het geval, dan werd dit punt opgeteekend als gevende de plaats aan van de ligging van het nul-interferentievlak. Aldus experimenteerend is het dus mogelijk alle gegevens te verkrijgen ter berekening van $\frac{\Delta r}{r}$.

Wat nu betreft de hoekwaarde der Unterschiedsschwelle, een der eerste gegevens, die ons onderzoek, verricht op de bovenaangegeven wijze, oplevert, deze zal, wil de wet van Weber gelden, steeds ongeveer dezelfde moeten zijn; welke amplitude de stemvorkbeenen ook mogen hebben. Want verandert de amplitude der stemvork, dan zal in een bepaald punt, dat altijd denzelfden afstand tot de stemvork behoudt, zooals in ons geval de opening der otoscoopbuizen, wel de intensiteit van het geluid veranderen, maar de wijze van distributie van het geluid om de stemvork zal steeds gelijk blijven, met andere woorden, de aequisonore vlakken om eene stemvork zullen bij elke intensiteit op een bepaalden afstand van die stemvork congruent zijn.

Geldt dus de wet van Weber ook voor toonintensiteiten, dan zal dus voor de hoekwaarde der Unterschiedsschwelle bij verschillende amplitudines van dezelfde stemvork slechts onderling weinig afwijkende waarden gevonden mogen worden.

In de hier achtervolgende tabellen der resultaten van het onderzoek van de verschillende amplitudines der stemvorken zal men allereerst vinden de cijfers, waaruit de hoekwaarde der Unterschiedsschwelle (φ) is verkregen. Bij de afdalende methode is steeds uitgegaan van den gelijkheidsstand ('t bekende hoekverschil van 5°). Ook voor de opstijgende methode is met 't bovenste cijfer aangegeven de stand van duidelijk verschil van waaruit de vergelijking der geluidsintensiteiten is begonnen.

Met α is voorgesteld de hoek, die het nulinterferentievlak maakt met het vlak van trilling der stemvork.

De met deze gegevens berekende verschildrempelwaarde volgens de formule van W e r n d l y is geplaatst onder de cijfers der hoekwaarde der Unterschiedsschwelle.

Alsnu volgen de afstandsbepalingen. Onder a de afstanden in m.M. langs afdalende en opstijgende methode verkregen van het geluid in 't vlak van trilling en onder b die van het geluid in 't verschildrempelwaarde-vlak.

Onder deze cijfers is weer 't gemiddelde hieruit verkregen, aangegeven en daarop volgt de hiermede, volgens de afstandswetformule berekende, verschildrempelwaarde.

III. Onderzoek van c^1.

§ 1. Amplitudo 1040 μ.

Bepaling der hoekwaarde.

gelijk	5°.0	5°.0	5°.0	5°.0	5°.0	
onduidelijk verschil	11°.0	10°.0	9°.5	9°.5	9°.5	afd.
duidelijk verschil	11°.5	10°.5	10°.0	10°.0	10°.0	
duidelijk verschil	15°.0	15°.0	15°.0	15°.0	15°.0	
duidelijk verschil	10°.0	10°.0	10°.0	9°.0	9°.0	opst.
onduidelijk verschil	9°.5	9°.5	9°.5	8°.5	8°.5	

$$\Phi = 9°.45' \qquad \alpha = 48°.0$$

Berekening volgens de formule van Werndly,

$$\frac{\triangle^u r}{r^u} = \frac{sin.^2 48° - sin.^2 38°.15'}{sin.^2 38°.15'} = 0.44076$$

Afstandsbepalingen.

a		b	
afd.	opst.	afd.	opst.
24	20	20	20
23	20	20	18
23	21	21	19
24	20	20	19
25	20	21	19
24	22	22	20
25	20	19	19
26	23	21	21
24	20	23	19
24	23	20	18
24	21	20	20
25	20	19	17
23	22	20	18
23	21	23	20
22	23	22	20
24	21	20	19
23	22	20	20
24	20	21	17
22	23	19	19
23	22	20	17
Gem. $a = 22.98$		Gem. $b = 19.73$	

$$\frac{\triangle^u r}{r^u} = \frac{22.98^2 - 19.73^2}{19.73^2} = 0.35657$$

§ 2. Amplitudo 800 μ.

Bepaling der hoekwaarde.

gelijk	5°.0	5°.0	5°.0	5°.0	5°.0	
onduidelijk verschil	10°.0	10°.5	10°.5	10°.0	10°.5	afd.
duidelijk verschil	10°.5	11°.0	11°.0	10°.5	11°.0	
duidelijk verschil	15°.0	15°.0	15°.0	15°.0	15°.0	
duidelijk verschil	10°.5	11°.0	9°.5	9°.5	10°.0	opst.
onduidelijk verschil	10°.0	10°.5	9°.0	9°.0	9°.5	

$\Phi = 10°.12'$ $\alpha = 48°.0$

Berekening volgens de formule van Werndly,

$$\frac{\Delta^u r}{r^u} = \frac{sin.^2 48° - sin.^2 37°.48'}{sin.^2 37°.48'} = 0.46911$$

Afstandsbepalingen.

a		b	
afd.	opst.	afd.	opst.
20	22	20	17
24	20	20	16
21	19	18	18
22	19	18	16
20	18	19	17
21	20	17	17
22	19	16	17
24	17	18	18
22	19	18	17
23	20	19	17
20	19	18	16
21	18	18	18
23	20	17	16
20	19	18	19
21	21	19	19
21	19	17	18
22	20	19	19
21	20	17	18
23	21	18	17
22	20	18	18
Gem. $a = 20.58$		Gem. $b = 17.75$	

$$\frac{\Delta^u r}{r^u} = \frac{20.58^2 - 17.75^2}{17.75^2} = 0.34429$$

§ 3. Amplitudo 640 μ.

Bepaling der hoekwaarde.

gelijk	5°.0	5°.0	5°.0	5°.0	5°.0	} afd.
onduidelijk verschil	10°.0	9°.5	10°.0	9°.5	9°.5	
duidelijk verschil	10°.5	10°.0	10°.5	10°.0	10°.0	
duidelijk verschil	15°.0	15°.0	15°.0	15°.0	15°.0	} opst.
duidelijk verschil	10°.0	10°.0	10°.0	10°.5	10°.0	
onduidelhk verschil	9°.5	9°.5	9°.5	10°.0	9°.5	

$$\Phi = 9°.54' \qquad \alpha = 48°.0$$

Berekening volgens de formule van Werndly,

$$\frac{\triangle^u r}{r^u} = \frac{sin.^2 48° - sin.^2 38°.6'}{sin.^2 38°.6'} = 0{,}45013$$

Afstandsbepalingen.

a		*b*	
afd.	opst.	afd.	opst.
18	18	18	16
20	19	17	17
21	20	18	17
21	20	18	18
22	19	18	16
19	19	17	17
18	20	18	18
20	19	19	17
18	20	18	15
20	20	17	17
21	19	17	16
20	18	17	16
20	18	16	16
20	19	17	18
19	19	16	16
20	20	18	17
20	19	17	19
21	20	18	17
20	20	17	18
20	19	18	18
Gem. $a = 19.58$		Gem. $b = 17.2$	

$$\frac{\triangle^u r}{r^u} = \frac{19.58^2 - 17.2^2}{17.2^2} = 0.29589$$

§ 4. Amplitudo 400 μ.

Bepaling der hoekwaarde.

gelijk	5°.0	5°.0	5°.0	5°.0	5°.0	afd.
onduidelijk verschil	11°.0	10°.0	9°.5	10°.0	10°.5	afd.
duidelijk verschil	11°.5	10°.5	10°.0	10°.5	11°.0	afd.
duidelijk verschil	16°.0	16°.0	16°.0	16°.0	16°.0	opst.
duidelijk verschil	9°.0	10°.5	10°.0	10°.0	11°.0	opst.
onduidelijk verschil	8°.5	10°.0	9°.5	9°.5	10°.5	opst.

$$\Phi = 10°.0 \qquad \alpha = 48°.0$$

Berekening volgens de formule van Werndly,

$$\frac{\Delta^u r}{r^u} = \frac{sin.^2 48° - sin.^2 38°}{sin.^2 38} = 0.45958$$

---

§ 5 Amplitudo 320 μ.

Bepaling der hoekwaarde.

gelijk	5°.0	5°.0	5°.0	5°.0	5°.0	afd.
onduidelijk verschil	9°.5	9°.5	9°.0	9°.5	9°.5	afd.
duidelijk verschil	10°.0	10°.0	9°.5	10°.0	10°.0	afd.
duidelijk verschil	15°.0	15°.0	15°.0	15°.0	15°.0	opst.
duidelijk verschil	9°.0	9°.0	8°.5	9°.0	9°.5	opst.
onduidelijk verschil	8°.5	8°.5	8°.0	8°.5	9°.0	opst.

$$\Phi = 9.°12' \qquad \alpha = 48°.0$$

Berekening volgens de formule van Werndly,

$$\frac{\Delta^u r}{r^u} = \frac{sin.^2 48° - sin.^2 38°.48'}{sin.^2 38°.48'} = 0.40874$$

§ 6. Amplitudo 200 μ.

Bepaling der hoekwaarde.

gelijk	5°.0	5°.0	5°.0	5°.0	5°.0	
onduidelijk verschil	9° 5	9°.5	9°.0	9°.0	10°.0	afd.
duidelijk verschil	10°.0	10°.0	9°.5	9°.5	10°.5	
duidelijk verschil	15°.0	15°.0	15°.0	15°.0	15°.0	
duidelijk verschil	9°.5	8°.5	9°.0	9°.0	8°.5	opst.
onduidelijk verschil	9°.0	8°.0	8°.5	8°.5	8°.0	

$$\Phi = 9°.9' \qquad \alpha = 48°.0$$

Berekening volgens de formule van Werndly,

$$\frac{\Delta^u r}{r^u} = \frac{sin.^2 48° - sin.^2 38°.51'}{sin.^2 38°.51'} = 0.40424$$

---

§ 7. Amplitudo 100 μ.

Bepaling der hoekwaarde.

gelijk	5°.0	5°.0	5°.0	5°.0	5°.0	
onduidelijk verschil	9°.0	8°.5	8°.5	9°.0	9°.5	afd.
duidelijk verschil	9°.5	9° 0	9°.0	9°.5	9°.0	
duidelijk verschil	15°.0	15°.0	15°.0	15°.0	15°.0	
duidelijk verschil	9°.0	8°.5	8°.5	9°.5	8°.5	opst.
onduidelijk verschil	8°.5	8°.0	8°.0	9°.0	8°.0	

$$\Phi = 8°.49' \qquad \alpha = 48°.0$$

Berekening volgens de formule van Werndly,

$$\frac{\Delta^u r}{r^u} = \frac{sin.^2 48° - sin.^2 39°.12'}{sin.^2 39.12'} = 0.38212$$

IV. Onderzoek van c^2.

§ 1. Amplitudo 300 μ.

Bepaling der hoekwaarde.

gelijk	5°.0	5°.0	5°.0	5°.0	5°.0	afd.
onduidelijk verschil	9°.0	8°.5	9°.5	8°.0	9°.0	afd.
duidelijk verschil	9°.5	9°.0	10°.0	8°.5	9°.5	afd.
duidelijk verschil	15°.0	15°.0	15°.0	15°.0	15°.0	opst.
duidelijk verschil	9°.5	8°.0	9°.0	8°.5	9°.5	opst.
onduidelijk verschil	9°.0	7°.5	8°.5	8°.0	9°.0	opst.

$$\Phi = 8°.51' \qquad \alpha = 52°.0$$

Berekening volgens de formule van Werndly,

$$\frac{\Delta^u r}{r^u} = \frac{sin.^2 52° - sin.^2 43°.9'}{sin.^2 43°.9'} = 0.32721$$

Afstandsbepalingen.

a		b	
afd.	opst.	afd.	opst.
59	56	55	50
61	59	55	48
60	57	53	51
65	56	57	51
62	55	58	50
60	60	57	47
61	55	53	52
65	57	55	49
65	56	52	48
59	61	53	52
62	60	55	46
59	56	56	51
60	56	56	45
64	55	52	45
60	61	54	46
Gem. $a = 59.4$		Gem. $b = 51.7$	

$$\frac{\Delta^u r}{r^u} = \frac{59.4^2 - 51.7^2}{51.7^2} = 0.32006$$

§ 2. Amplitudo 200 μ.

Bepaling der hoekwaarde.

gelijk	5°.0	5°.0	5°.0	5°.0	afd.
onduidelijk verschil	7°.0	10°.0	7°.0	7°.0	
duidelijk verschil	8°.0	11°.0	8°.0	8°.0	
duidelijk verschil	15°.0	15°.0	15°.0	15°.0	opst.
duidelijk verschil	10°.0	8°.0	8°.0	9°.0	
onduidelijk verschil	9°.0	8°.0	7°.0	8°.0	

$$\Phi = 8°.22'30'' \qquad \alpha = 50°.0$$

Berekening volgens de formule van Werndly,

$$\frac{\Delta^u r}{r^u} = \frac{sin.^2 50° - sin.^2 41°.37'\,30''}{sin.^2 41°.37'\,30''} = 0.33002$$

Afstandsbepalingen.

a		b	
afd.	opst.	afd.	opst.
50	54	49	50
47	50	45	48
49	53	44	44
49	58	46	47
50	57	48	46
54	52	43	46
53	54	49	45
54	50	47	47
52	51	49	47
55	54	47	47
57	55	47	45
56	55	44	47
54	59	49	43
52	57	44	46
55	56	49	49
Gem. $a = 53.4$		Gem. $b = 46.56$	

$$\frac{\Delta^u r}{r^u} = \frac{53.4^2 - 46\,56^2}{46.56^2} = 0.31540$$

§ 3. Amplitudo 150 μ.

Bepaling der hoekwaarde.

gelijk	5°.0	5°.0	5° 0	5°.0	5°.0	afd.
onduidelijk verschil	9°.5	8°.5	7°.5	8°.5	8°.0	
duidelijk verschil	10°.0	9°.0	8°.0	9°.0	8°.5	
duidelijk verschil	15°.0	15°.0	15°.0	15°.0	15°.0	opst.
duidelijk verschil	8°.0	9°.0	7°.5	7°.0	8° 5	
onduidelijk verschil	7°.5	8°.5	7°.0	6°.5	8°.0	

$$\Phi = 8°.18' \qquad \alpha = 52°.$$

Berekening volgens de formule van Werndly,

$$\frac{\triangle^u r}{r^u} = \frac{sin.^2 52° - sin^2 43°.42'}{sin.^2 43°.42'} = 0.30422$$

Afstandsbepalingen.

a		b	
afd.	opst.	afd.	opst.
50	47	45	41
49	45	45	40
51	47	44	39
51	44	45	39
52	47	41	37
51	44	42	40
48	48	44	37
50	46	43	43
51	48	43	41
49	45	42	40
52	47	44	44
47	47	43	41
49	45	44	40
48	44	46	40
47	48	41	41
Gem. $a = 47.9$		Gem. $b = 41.85$	

$$\frac{\triangle^u r}{r^u} = \frac{47.9^2 - 41.85^2}{41.85^2} = 0.31003$$

§ 4. Amplitudo 100 μ.

Bepaling der hoekwaarde.

gelijk	5°.0	5°.0	5°.0	5°.0	5°.0	afd.
onduidelijk verschil	9°.5	7°.5	9°.5	8°.5	8°.0	afd.
duidelijk verschil	10°.0	8°.0	10°.0	9°.0	8°.5	afd.
duidelijk verschil	15°.0	15°.0	15°.0	15°.0	15°.0	opst.
duidelijk verschil	7°.0	8°.5	8°.0	7°.0	7°.0	opst.
onduidelijk verschil	6°.5	8°.0	7°.5	6°.5	6°.5	opst.

$$\varphi = 8°.3' \qquad \alpha = 52°.0$$

Berekening volgens de formule van Werndly,

$$\frac{\triangle^u r}{r^u} = \frac{sin.^2 52° - sin.^2 43°.57'}{sin.^2 43°.57'} = 0.28924$$

Afstandsbepalingen.

a		b	
afd.	opst.	afd.	opst.
47	40	44	35
50	40	43	33
50	43	41	32
46	42	38	32
45	45	44	35
51	40	43	36
45	40	47	34
49	43	43	34
48	38	41	32
46	39	40	33
45	38	42	32
44	40	40	36
47	37	44	32
47	38	40	35
45	37	45	35
Gem. $a = 43.5$		Gem. $b = 38.03$	

$$\frac{\triangle^u r}{r^u} = \frac{43.5^2 - 38.03^2}{38.03^2} = 0.30835$$

§ 5. Amplitudo 70 μ.

Bepaling der hoekwaarde.

gelijk	5°.0	5°.0	5°.0	5°.0	5°.0	afd.
onduidelijk verschil	8°.0	9°.0	8°.5	7°.5	7°.5	afd.
duidelijk verschil	8°.5	9°.5	9°.0	8°.0	8°.0	afd.
duidelijk verschil	15°.0	15°.0	15°.0	15°.0	15°.0	opst.
duidelijk verschil	7°.5	8°.5	8°.5	9°.0	8°.5	opst.
onduidelijk verschil	7°.0	8°.0	8°.0	8°.5	8°.0	opst.

$$\Phi = 8°.15' \qquad \alpha = 52°.0$$

Berekening volgens de formule van Werndly,

$$\frac{\triangle^u r}{r^u} = \frac{sin.^2 52° - sin.^2 43°\,45'}{sin.^2 43°.45'} = 0.30046$$

Afstandsbepalingen.

a		*b*	
afd.	opst.	afd.	opst.
42	38	34	34
38	37	35	33
37	35	32	32
40	37	33	34
43	36	33	32
40	37	36	35
39	40	34	33
40	40	35	35
43	36	33	32
37	40	34	34
40	37	35	36
42	37	37	37
38	40	33	33
37	37	34	34
39	38	35	31
Gem. $a = 38.66$		Gem. $b = 33.93$	

$$\frac{\triangle^u r}{r^u} = \frac{38.66^2 - 33.93^2}{33.93^2} = 0.29825$$

§ 6. Amplitudo 40 μ.

Bepalingen der hoekwaarde.

gelijk	5°.0	5°.0	5°.0	5°.0	5°.0	afd.
onduidelijk verschil	8°.5	8°.5	7°.0	7°.0	7°.0	
duidelijk verschil	9°.0	9°.0	7°.5	7°.5	7°.5	
duidelijk verschil	15°.0	15°.0	15°.0	15°.0	15°.0	opst.
duidelijk verschil	8°.5	7°.5	9°.0	7°.5	8°.0	
onduidelijk verschil	8°.0	7°.0	8°.5	7°.0	7°.5	

$$\Phi = 7°.51' \qquad \alpha = 52°$$

Berekening volgens de formule van Werndly,

$$\frac{\Delta^u r}{r^u} = \frac{sin.^2 52° - sin.^2 44°.9'}{sin.^2 44°.9'} = 0.28185$$

Afstandsbepalingen.

a		b	
afd.	opst.	afd.	opst.
34	32	30	26
30	30	29	28
35	31	28	27
32	32	30	29
37	30	28	30
35	35	30	30
30	32	32	29
30	32	31	27
30	33	32	26
35	32	29	30
35	34	28	26
32	35	29	27
33	31	30	28
34	31	31	29
35	30	30	28
Gem. $a = 32.56$		Gem. $b = 28.9$	

$$\frac{\Delta^u r}{r^u} = \frac{32.56^2 - 28.9^2}{28.9^2} = 0.26932$$

§ 7. Amplitudo 20 μ.

Bepaling der hoekwaarde.

gelijk	5°.0	5°.0	5°.0	5°.0	5°.0	afd.
onduidelijk verschil	7°.0	6°.5	8°.0	7°.5	7°.5	afd.
duidelijk verschil	7°.5	7°.0	8°.5	8°.0	8°.0	afd.
duidelijk verschil	15°.0	15°.0	15°.0	15°.0	15°.0	opst.
duidelijk verschil	7°.0	6°.5	8°.5	7°.0	8°.0	opst.
onduidelijk verschil	6°.5	6°.0	8°.0	6°.5	7°.5	opst.

$$\Phi = 7°.21' \qquad \alpha = 52°.0$$

Berekening volgens de formule van Werndly,

$$\frac{\triangle^u r}{r^u} = \frac{sin.^2 52° - sin.^2 44°.39'}{sin.^2 44°.39'} = 0.25643$$

Afstandsbepalingen.

a		b	
afd.	opst.	afd.	opst.
22	23	20	20
24	22	18	18
25	20	20	20
23	20	18	21
23	19	20	18
20	20	22	19
24	22	21	21
22	20	22	19
22	20	18	18
22	19	21	17
23	19	20	19
23	18	19	20
23	21	18	19
23	21	20	20
24	21	22	18
Gem. $a = 21.6$		Gem. $b = 19.5$	

$$\frac{\triangle^u r}{r^u} = \frac{21.6^2 - 19.5^2}{19.5^2} = 0.22698$$

V. Onderzoek voor c^3.

§ 1. Amplitudo 2 μ.

Bepaling der hoekwaarde.

gelijk	5°.0	5°.0	5°.0	5°.0	5°.0	afd.
onduidelijk verschil	18°.0	17°.5	18°.5	17°.5	19°.5	afd.
duidelijk verschil	18°.5	18°.0	19°.0	18°.0	20°.0	afd.
duidelijk verschil	25°.0	25°.0	25°.0	25°.0	25°.0	opst.
duidelijk verschil	17°.0	18°.5	18°.5	18°.5	19°.0	opst.
onduidelijk verschil	16°.5	18°.0	18°.0	18°.0	18°.5	opst.

$\Phi = 18°.15'$ $\alpha = 50°.0$

Berekening volgens de formule van Werndly,

$$\frac{\triangle^u r}{r^u} = \frac{sin.^2 50° - sin.^2 31°.45'}{sin.^2 31°.45'} = 1.12070\ ^1)$$

Afstandsbepalingen.

a		b	
afd.	opst.	afd.	opst.
26	25	23	23
27	24	22	22
25	22	21	20
26	22	23	21
25	23	22	20
24	24	23	22
24	22	23	23
23	23	22	21
27	22	22	20
25	22	20	21
24	25	21	18
23	23	22	19
27	25	21	21
25	24	19	21
23	24	20	20
23	23	19	23
22	23	22	22
23	22	23	21
25	24	23	22
24	23	22	20
Gem. $a = 23.9$		Gem. $b = 21.3$	

$$\frac{\triangle^u r}{r^u} = \frac{23.9^2 - 21.3^2}{21.3^2} = 0.25903$$

[1]) Kennelijk wijkt deze zeer dikke stemvork al te zeer van de theoretische veronderstellingen af.

Afstandsbepalingen.

a		*b*	
afd.	opst.	afd.	opst.
23	23	24	20
25	24	23	21
24	22	23	22
25	24	23	21
24	22	22	23
26	25	23	22
25	24	24	22
26	24	25	20
28	23	23	20
26	22	24	21
26	23	24	19
27	25	24	21
26	25	23	22
26	24	22	22
25	24	23	20
26	23	22	22
26	24	23	22
27	25	24	23
27	25	24	22
26	24	23	19
Gem. $a = 24.72$		Gem. $b = 22.25$	

$$\frac{\triangle^u r}{r^u} = \frac{24.72^2 - 22.25^2}{22.25^2} = 0.23435$$

Afstandsbepalingen

a		*b*	
afd.	opst.	afd.	opst.
25	23	23	23
25	24	21	23
24	24	23	22
24	22	22	21
25	22	22	22
25	23	24	22
27	23	23	19
26	23	21	22
25	22	23	22
25	22	22	21
24	23	23	22
24	24	20	23
23	22	22	22
24	23	22	20
25	24	21	19
25	21	21	23
27	23	22	19
26	25	20	21
23	22	22	23
24	23	22	22
Gem $a = 23.85$		Gem. $b = 21\ 75$	

$$\frac{\triangle^u r}{r^u} = \frac{23.85^2 - 21.75^2}{21\ 75^2} = 0.20243$$

VI. Resultaten der stemvorkonderzoekingen.

Laten wij nu ook voor dit hoofdstuk de resultaten in eene tabel samenvoegen.

Toonshoogte.	Ampl. in micra.	UNTERSCHIEDSSCHWELLE $\frac{\Delta^u r}{r^u}$			
		Hoekwaarde in graden.	Volgens de formule van Werndly.	Volgens de afstandswet.	Gemiddeld in %.
c_1	100	$8^4/_5$	0.38212		
	200	$9^3/_{20}$	0.40424		
	320	$9^1/_5$	0.40874		
	400	10	0.45958		
	640	$9^9/_{10}$	0.45013	0.29589	
	800	$10^1/_5$	0.46911	0.34429	33.2%
	1040	$9^3/_4$	0.44076	0.35657	
c_2	20	$7^7/_{20}$	0.25643	0.22698	
	40	$7^{17}/_{20}$	0.28185	0.26932	
	70	$8^1/_4$	0.30046	0.29825	
	100	$8^1/_{20}$	0.28924	0.30835	29.3%
	150	$8^3/_{10}$	0.30422	0.31003	
	200	$8^3/_8$	0.33002	0.31540	
	300	$8^{17}/_{20}$	0.32721	0.32006	
c_3	2	$18^1/_4$	1.12070	0.23435	
	2	$18^1/_4$	"	0.20243	23.2%
	2	$18^1/_4$	"	0.25903 [1]	

[1]) N. B. Het academieverslag bevat te dezer plaatse een rekenfout, die hier is verbeterd.

Beschouwen wij nu eerst wat nader de waarden van $\frac{\Delta^u r}{r^u}$, verkregen door middel van de afstandsbepalingen, dan mogen we uit deze cijfers opmaken, dat tenminste voor de toonshoogten c^1 en c^2 de wet van Weber geldt.

Voor c^2 zijn voor de amplitudines $70\,\mu - 300\,\mu$ de verschillen onderling gering, de cijfers voor de Unterschiedsschwelle bij $20\,\mu$ en $40\,\mu$ wijken van de overige echter meer af. Of dit als een toevallig verschijnsel moet worden beschouwd, misschien ontstaan tengevolge van proeffouten, of dat hieruit zou mogen worden besloten, dat de verschildrempelwaarde naar 't minimum perceptibile toe afneemt, zooals Wien o. a. gevonden heeft, durf ik niet te beslissen.

't Zou daarom zeker van belang geweest zijn, toonintensiteiten zwakker dan $20\,\mu$ te onderzoeken, maar de bepalingen waren voor deze niet meer mogelijk, daar voor dergelijke geringe amplitudines geen constantheid was te verkrijgen; deze leverde voor de amplitude van $20\,\mu$ al moeilijkheden op.

Dit alles kan ook gezegd worden voor de waarden van c^1; deze bieden voor 800 en $1040\,\mu$ een gering verschil aan, voor $640\,\mu$ is dit grooter.

Een aangroeien der verschildrempelwaarde voor zeer zwakke toonintensiteiten, zooals Merkel voor geruischen vond en in 't litteratuur overzicht vermeld is, kan men in onze tabel niet constateeren. Ook Wien heeft voor a' vlak bij de drempelwaarde eene dergelijke afwijking van de wet van Weber gevonden. Hij schijnt echter dit cijfer niet al te zeer te vertrouwen en plaatst er een vraagteeken achter. Zoowel Merkel als Wien schrijven 't optreden van dit verschijnsel aan storende nevengeruischen toe, welke, daar ze in een gewoon laboratorium werkten niet

te vermijden waren. De reden, dat deze afwijking niet door ons gevonden is, zal wel deze zijn, dat zulke uiterst zwakke intensiteiten door ons niet onderzocht konden worden en we in 't geluidvrije kabinet beter beschut waren tegen stoornis dan Wien en Merkel.

Het onderzoek voor c^3 kan ons ten opzichte van de wet van Weber niets leeren, daar slechts één amplitude is onderzocht. Onderzoekingen voor andere amplitudines waren niet mogelijk, omdat deze vrij hooge stemvorken zoo'n geringen uitslag geven, dat deze met de hulpmiddelen, waarover we beschikten, moeilijk te meten was.

Om diezelfde reden was dan ook de constantheid der amplitudo gedurende 't onderzoek moeilijk te controleeren en dus niet geheel betrouwbaar.

In 't begin van dit hoofdstuk is er reeds op gewezen, dat wellicht tengevolge van de optredende buiging de quadratische afstandswet in ons geval niet absoluut zou gelden; daarom willen we dan ook de resultaten door deze verkregen niet alleen gebruiken om te besluiten tengunste van Weber's wet en liever de hoekwaarden zelf daartoe aanwenden.

Nemen wij aan dat de intensiteit van het geluid om eene stemvork evenredig is met de 1,2- of 2-macht van de amplitudo der stemvorkbeenen, dan blijkt uit de tabel, dat voor c, over eene intensiteitsbreedte respectievelijk van 1 tot 16 of 1 tot 100 de wet van Weber vrijwel als geldende mag worden aangemerkt; voor c^2 kan 't zelfde worden opgemerkt voor eene intensiteitsbreedte van 1 tot 26 of 1 tot 225.

Men moet natuurlijk wel bedenken, dat de absolute grootte dezer hoekwaarde der Unterschiedsschwelle alleen geldt voor onze stemvorken, tusschen en onder wier beide beenen zich eene bobine en metalen stang bevond. Voor eene vrijklinkende stemvork zal deze waarde natuurlijk anders moeten zijn.

Slaan wij nu een blik op de cijfers, verkregen door toepassing van de formule van W e r n d l y en vergelijken wij die met de vorige, dan valt ons direct 't verschil op, dat er tusschen beide groepen bestaat.

Slechts voor de toon c^2 vertoonen de beide reeksen eene bevredigende overeenkomst, voor c^1 bestaat er reeds een aanzienlijk verschil, maar voor c^3 is dit enorm.

Wel vertoonen de waarden van de Unterschiedsschwelle voor de verschillende amplitudines voor elken toon op zich zelf geringe verschillen, maar dat kan ons niet bevreemden, daar deze immers geheel afhankelijk zijn van de hoekwaarde der Unterschiedsschwelle en deze doet ons voor de onderscheidene amplitudines slechts geringe afwijkingen zien.

Mijns inziens zijn slechts de cijfers verkregen door toepassing der afstandswetformule eenigszins betrouwbaar en kunnen deze slechts voor ons doel dienen. Trouwens, dat de verschildrempelwaarde, volgens de formule van W e r n d l y berekend, cijfers oplevert, zoo geheel afwijkend van die, volgens de andere methode verkregen, kan ons niet al te zeer verwonderen.

Feitelijk is de formule voor eene vrij klinkende stemvork niet eens nauwkeurig; des te minder moet zij dus wel gelden voor eene stemvork, opgesteld als de onze, tusschen wier beide beenen zich eene bobine bevond en waar onder de ruimte tusschen die beenen eene stang was aangebracht, die bovengenoemde bobine droeg en onbewegelijk ten opzichte van de stemvork bevestigde. Zoowel door de bobine als deze stang, zal dus de distributie van het geluid, tengevolge van reflexie, geheel anders zijn dan bij eene vrijklinkende stemvork en dus is de formule van W e r n d l y voor deze stemvork, opgesteld zooals zij was, zijn niet meer geldig.

HOOFDSTUK IV.

Algemeen Overzicht.

De in de beide laatste hoofdstukken medegedeelde eindresultaten, zullen wij nu hieronder nog eens naast elkaar plaatsen en vergelijken.

I. Orgelpijponderzoekingen.		II. Stemvorkonderzoekingen.	
Toonshoogte	Verschildr. w in %	Toonshoogte	Verschildr. w. in %
C	23.2	c_1	33.2
G	20.6	c_2	29.3
c	21.8	c_3	23.2
g	17.9		
c_1	16.4		
g_1	15.4		
c_2	13.1		
g_2	10.7		
c_3	12.5		
g_3	11.2		
c_4	8.5		
g_4	11.7		
c_5	10.7		
g_5	15.4		
c_6	19.2		
g_6	18.8		

Overzien we de eerste tabel dan valt ons op, dat in de middenoctaven de verschildrempelwaarde 't laagst is en

naar de bas- en discantzijde toe regelmatig grooter wordt.

Hieruit zouden we dus moeten besluiten, dat ons vermogen om intensiteitsverschillen van tonen te onderscheiden voor de middenoctaven en speciaal voor c^4 't meest ontwikkeld is, om voor de hoogere en lagere tonen af te nemen.

Met 't oog op de voor de onderscheiden tonen zeer verschillende relatieve intensiteit van den hoofdprikkel zou men bedenkingen kunnen opwerpen over de vergelijkbaarheid der onderscheidene verschildrempelwaarden. Reeds in 't 2e hoofdstuk heb ik hierop gewezen en eenige redenen aangevoerd, pleitende voor mijne meening, dat de voor de verschildrempelwaarde verkregen cijfers wel degelijk vergelijkbaar zouden zijn.

De met de stemvorken verrichte onderzoekingen hebben aangetoond, dat tenminste voor middelsterke toonintensiteiten de wet van Weber geldt. Wel is dit resultaat slechts verkregen voor een viertal verschillende tonen (2 door Wien en 2 door mij onderzocht), maar er is geen enkele reden denkbaar, waarom dit niet voor andere tonen ook zou gelden Dat dit 't geval is, wordt ook eenigszins bewezen door de orgelpijponderzoekingen, waar voor elken toon twee verschillende intensiteiten zijn onderzocht en de waarden voor de correspondeerende Unterschiedsschwelle vrijwel gelijk werden bevonden. Als zeer opvallend moet dit niet beschouwd worden, daar de beide uiterste der onderzochte intensiteiten zich ongeveer verhouden, afgezien van den constanten factor als 1 : 16 (86,1 : 1560,1). Zoowel uit de proeven van Wien, als uit mijne onderzoekingen met stemvorken valt te leeren, dat binnen deze grenzen de verschildrempelwaarde zeker constant is.

Afgezien nog hiervan, dat ik op 't gehoor afgaande steeds middelsterke intensiteiten heb onderzocht, meen ik om bovengenoemde redenen, volkomen gerechtigd te zijn,

te besluiten, dat de verschildrempelwaarde door de toonladder verloopt, zooals uit de cijfers der orgelpijpbepalingen is te lezen en hieronder graphisch is voorgesteld.



Kleinst waarneembare intensiteitsverschillen door de toonladder.

Ook voor de stemvorkproeven valt een zelfde verloop van de verschildrempelwaarde, ten minste voor dat deel van de toonladder, dat met deze instrumenten onderzocht is, te constateeren als in bovenstaande curve voor de orgelpijptonen is aangegeven, afgezien natuurlijk van de absolute waarden.

't Zal natuurlijk ieder reeds opgevallen zijn, dat, mogen de resultaten voor stemvorken en orgelpijpen, wat het verloop door de toonladder betreft, overeenstemmen, ze dit zeker niet doen in absolute waarde der cijfers, daar de waarden der Unterschiedsschwelle voor de stemvorken gevonden ongeveer tweemaal zoo groot zijn als die voor de orgelpijpen.

Hoe dit feit te verklaren is en welke cijfers 't meeste vertrouwen verdienen, zijn vragen, wier juiste beantwoording moeilijk is. De resultaten voor de stemvorken zijn verkregen, nadat eerst de hoekwaarden der Unterscheidsschwelle en daarna nog eens de afstanden waren bepaald, dus zijn hier de onderzoekingen in twee tempo's verricht, terwijl voor de orgelpijpen direct na aflezing van uitslag en druk de verschildrempelwaarde was te berekenen.

In 't eerste geval is dus de kans op fouten grooter. Zeer waarschijnlijk is ook de uit de afstandswet afgeleide formule niet geheel juist ten gevolge van de optredende buiging en deze wet niet geldig voor zulke kleine afstanden als waarvoor zij hier gebruikt is; eigenlijk spreekt dus het verschil der uitkomsten der orgelpijp- en stemvorkserie van zelf.

Ik neem daarom de resultaten der orgelpijponderzoekingen als juist aan en wil nog wijzen op 't geringe verschil, dat deze doen zien met de cijfers van Wien, zooals de volgende tabel duidelijk maakt.

Toonshoogte.	Aantal trillingen.	Unterschiedsschwelle in %.	
		Wien.	Deenik.
g	192		17.9
a	$213^1/_3$	22.5	
c'	256		16.4
e'	320	17.6	
g'	384		15.4
a'	$426^2/_3$	14.4	
c^2	512		13.1

Toonshoogte.	Aantal trillingen.	Unterschiedsschwelle in %.
g^2	768	10.7
c^3	1024	12.5
g^3	1536	11.2
c^4	2048	8.5
g^4	3072	11.7
c^5	4096	10.7
g^5	6144	15.4
c^6	8192	19.2
g^6	12288	18.8

Brengen we daarom, 't hierboven besprokene overwegend, 't resultaat van mijne onderzoekingen tot zijne meest bescheidene afmetingen terug en zien we dus af van de absolute waarde der voor de Unterschiedsschwelle verkregen cijfers, dan komen we tot de navolgende conclusies.

CONCLUSIES.

1°. Uit de resultaten der stemvorkproeven volgt, dat de wet van W e b e r in 't algemeen genomen, maar niet nauwkeurig, geldig is voor de onderzochte middelsterke en zwakke intensiteiten.

2°. Uit de uitkomsten der orgelpijpwaarnemingen volgt, dat de gunstigste verschildrempelwaarde wordt gevonden bij c^4 en dat vandaar uit 't onderscheidingsvermogen voor intensiteitsverschillen naar de uiteinden vrij regelmatig afneemt.

STELLINGEN.

STELLINGEN.

I.

Plasmacelleninfiltraten zijn niet pathognomonisch voor dementia paralytica.

II.

Om eene manische opgewektheid van eene katatonische te onderkennen, kan bloedsdrukbepaling zeer dienstig zijn.

III.

Bij krampen in 't gebied der halsspieren is operatieve behandeling ongeoorloofd.

IV.

Het als de „ziekte van Banti" bekend staande symptomencomplex is geen zelfstandig ziektebeeld.

V.

Tuberculose is niet zoo frequent als meestal uit de onderzoekingen van Naegeli en Schmorl wordt afgeleid.

VI.

Wanneer bij stuitligging met ingedaalde stuit eene indicatie komt om den partus te termineeren en het afhalen van een voet niet gelukt, is eene voorzichtige poging om het kind met de tang te extraheeren geoorloofd.

VIII.

Voor de differentiaal diagnose tusschen niet veretterde tubair zwangerschap en pyosalpinx is het al of niet aanwezig zijn van leucocytose een bruikbaar hulpmiddel.

VIII.

Bij de bestrijding der venerische ziekten dient het reglementatiesysteem verlaten te worden.

IX.

Ter bepaling van reactietijden bij pathologische toestanden verdient de graphische methode de voorkeur boven den chronoscoop van Hipp.

X.

Plasmacellen zijn van haematogenen oorsprong.

XI

Voor de vorming van de ascylinders en van de periphere zenuwtakken zijn de z. g. cellen van Schwann van geheel geen beteekenis.

XII.

Bij congenitale heupluxatie dient men, zoolang het immobiliseerend gipsverband aanligt, alle loopoefeningen te vermijden.

XIII

Aanwending van pneumococcenserum bij ulcus serpens verdient aanbeveling.

XIV.

De diplococcus intracellularis van Weichselbaum is de verwekker van de meningitis cerebro-spinalis epidemica.