



Intensiteit van in physiologie en oorheelkunde gebruikelijke geluidsbronnen

<https://hdl.handle.net/1874/257355>

INTENSITEIT

VAN IN PHYSIOLOGIE
EN OORHEELKUNDE

GEBRUIKELIJKE GELUIDSBRONNEN



M. H. J. ADELS

**INTENSITEIT VAN IN PHYSIOLOGIE EN
OORHEELKUNDE GEBRUIKELIJKE
:- GELUIDSBRONNEN. :-**

A. w. 192 1913

**INTENSITEIT VAN IN PHYSIOLOGIE EN
OORHEELKUNDE GEBRUIKELIJKE
=: GELUIDSBRONNEN. :=**

PROEFSCHRIFT TER VERKRIJGING VAN DEN
GRAAD VAN DOCTOR IN DE GENEESKUNDE
AAN DE RIJKS-UNIVERSITEIT TE UTRECHT
OP GEZAG VAN DEN RECTOR MAGNI-
FICUS DR. C. EIJKMAN, HOOGLEERAAR
IN DE FACULTEIT DER GENEESKUNDE,
VOLGENS BESLUIT VAN DEN SENAAT DER
UNIVERSITEIT TEGEN DE BEDENKINGEN
VAN DE FACULTEIT DER GENEESKUNDE
TE VERDEDIGEN OP DINSDAG 22 APRIL
1913 DES NAMIDDAGS TE 4 UUR DOOR
MAARTEN ADELS, ARTS TE AMSTERDAM,
— — GEBOREN TE GOUDA. — —



AAN
DE NAGEDACHTENIS
MIJNER OUDERS.

Bij het voltooien van dit proefschrift is het mij eene aangename taak openlijk mijne erkentelijkheid te betuigen aan U, Hooggeleerden en Lectoren der Medische en Philosophische Faculteit voor alles, wat Gij tot mijn vorming als geneesheer hebt bijgedragen.

In het bijzonder voel ik mij gedrongen een afzonderlijk woord van dank te richten tot U, Hooggeleerden ZWAARDEMAKER, Hooggeachten Promotor, voor Uwe buitengewone hulpvaardigheid, Uw raad en steun, die het mij mogelijk maakten dit proefschrift te voleinden. De oogenblikken onder Uwe leiding, op Uw laboratorium doorgebracht, zullen mij steeds eene aangename herinnering zijn.

Tevens dank ik U nog, Zeer Geleerde KUIPER, directeur van het Wilhelmina Gasthuis, voor de gelegenheid mij geboden om practisch mijn kennis te vermeerderen.

Verder aan allen, die bij mijn werk steun hebben verleend mijn dank, in het bijzonder aan mijn vriend TEMPELAAR.

INHOUD.

	Bladzijde.
Inleiding	1
HOOFDSTUK I.	
Methoden van objectieve geluidsmeting	5
HOOFDSTUK II.	
Absolute intensiteit van 't minimum perceptibile door MINKEMA op de heide bij Millingen bepaald	17
HOOFDSTUK III.	
Afstandswet	29
HOOFDSTUK IV.	
Oorheeltkundige Geluidsbronnen	47
HOOFDSTUK V.	
Efficientie der orgelpijpen in de spraakzône	56
HOOFDSTUK VI.	
Geluidssterkte der menschelijke stem	66
Besluit	76

Inleiding.

In Auerbach's bewerking der Akustica, in Winkelmann's Handbuch der Physik 2e Ausgabe bladz. 228 vindt men een overzicht van de methoden door verschillende onderzoekers gevolgd, ter orienteering omtrent relatieve en absolute geluidssterkte.

Aldaar wordt ook het door mij gebruikte schijfje van Rayleigh vermeld. De oorspronkelijke, zeer korte mededeeling vindt men in „Scientific Papers” Vol. II pag. 132. Lord Rayleigh merkt daar op, wat ook op de latere bladzijden van mijn onderzoekingen blijkt, dat geluiden, die voor het oor van dezelfde intensiteit schijnen te zijn, bij onderzoek met het schijfje groote verschillen vertoonen. Het oor is dus een veel minder gevoelig hulpmiddel dan het schijfje, hetgeen begrijpelijk is, omdat het oor voor de gunstigste toonhoogte een Unterschiedsschwelle van 8.5 % heeft. (Dissertatie van Deenik, over het onderscheidingsvermogen van toonintensiteiten).

In „Annalen der Physik” Band 26 1908, vindt men de theorie van het schijfje nader uitgewerkt volgens König, die zich het schijfje geplaatst dacht in eene heen en weer stroomende vloeistof zonder wrijving. In aansluiting hieraan heeft Zernow nu getracht de draaiende krachten, die trillende luchtmassa's op rotatieellipsen uitoefenen direct te meten. (Verg. König in „Annalen der Physik” Band 43, 1891).

Om luchttrillingen van constante, nauwkeurig meetbare amplitude te verkrijgen werd door hem een holle cylinder aan het been van eene electro-magnetisch gedreven stemvork bevestigd. De luchtmassa in den cylinder trilt met dezelfde amplitude als het cylindervat zelf; de amplitude van den cylinder kan op een

maatverdeeling worden afgelezen. Weet men het trillingsgetal voor de stemvork, dan kan men dit ook voor de lucht uitdrukken.

In het binnenste van den cylinder hangt de te onderzoeken rotatieellipsoïd; aan de draad waaraan deze bevestigd is en die door den cylinder gaat, is een spiegeltje bevestigd, waardoor het draaiingsmoment is af te lezen. Uit de afmetingen van de rotatieellipsoïd en het gemeten draaiingsmoment laat zich de energiedichtheid van de trillende lucht meten en vergelijken met de waarde, uit de amplitude van den cylinder berekend.

Om den invloed van den cylinder te leeren kennen, werden verschillende cylinders genomen, en door een empirische formule uitgedrukt, met behulp waarvan het draaiingsmoment voor een oneindig grooten cylinder bepaald werd. De op deze wijze door Zernow verkregen waarden stemden met die van König overeen.

Ten slotte heeft Zernow voor een cilindervormig schijfje een empirische formule opgesteld (die ook door mij bij de berekeningen is gebruikt, zie bladz. 15).

Reeds voor Zernow heeft Grimsehl proeven met het schijfje van Rayleigh verricht. De toevoerbuis werd dan op den te onderzoeken toon gestemd. Zijn bepalingen zijn echter niet absoluut.

Litteratuur omtrent Hoofdstuk II vindt men in Minkema's dissertatie: „de gevoeligheid van het menschelijk oor voor de verschillende tonen der toonladder.

Eenigszins uitgebreide proeven omtrent de geluidssterkte van verschillende geluidsbronnen zijn verricht door Wead. (*Americ. Journal of Science* Vol. 26 1883); deze gebruikte een stemvork en mat daarvan microscopisch de amplitudines. Uit de afname van de amplitude werd de per tijdseenheid afgegeven hoeveelheid energie berekend.

Wien (*Wiedemann's Annalen* Band 36) onderzocht verschillende orgelpijpen. Hij gebruikte resonatoren waarvan de achterwand de kapsel van een anaeroid barometer was. De resonator werd op den te onderzoeken toon gestemd. De uitslagen van de kapsel werden door middel van een stift op een spiegeltje overgebracht. Een zeer smalle lichtbundel werd hierop geworpen.

Klonk nu in de buurt van den resonator de toon dan werd het beeld van de verlichte spleet bandvormig. Hieruit kon nu de verplaatsing van den achterwand van den resonator bepaald worden. Gemeten werd nu hoe groot een kracht moest zijn om een even groote verbreeding van de lichtende spleet te veroorzaken.

Ter opsporing der afstandswet liet Vierordt gewichten op een plaat vallen en bepaalde op welken afstand nog juist een geluidsindruk wordt waargenomen. Hij vond dat het geluid lineair met den afstand afneemt. Wien vond met behulp van zijn resonator-methode, dat het geluid evenredig ongeveer met het kwadraat afneemt.

Karl Schaeffer (Wied. Annalen Band 57) gebruikte de z.g. Verdeckungsmethode. Hij ging na op welken afstand het tikken van een horloge door het eigen geruisch van een telefoon wordt overstemd. De door hem gebruikte geluidsbronnen (horloge) hadden verschillende draagwijdte. Hij vindt, dat de geluidssterkte in de nabijheid van de geluidsbron langzamer afneemt dan met het kwadraat van den afstand, daarna is er een zeker gebied, waar het juist het kwadraat is, daarna neemt de intensiteit sneller af dan het kwadraat. Zijn waarnemingen hebben zich niet verder uitgestrekt dan over 13 m en in een gesloten ruimte, terwijl Wien's bepalingen liggen tusschen 19 en 152 m en in 't vrije veld verricht zijn.

(In een kamer kon Wien, evenals wij, met zijn resonator-methode knopen en buiken aantoonen).

Hesehus gebruikte sferische klokken en bepaalde de afstanden, waarop de toon van 4, 9 en 16 zulke klokjes even sterk werd waargenomen. Bij niet te kleinen afstand (10 pas) vond hij eveneens, dat het geluid afneemt evenredig met het kwadraat van den afstand.

Wat de efficientie van verschillende geluidsbronnen betreft, (dus dat gedeelte der toegevoerde energie, dat in geluidsenergie wordt omgezet) heeft, voorzoover mij bekend, slechts Webster onderzoekingen verricht. Zijn waarden komen vrijwel met die van mij overeen. Ze zijn te vinden in het Festschrift von Boltzmann.

Wat het hoofdstuk omtrent de menschelijke stem betreft, wordt verwezen naar Zwaardemaker's Leerboek der Physiologie. Deel II. Hoofdstuk XVII Stem en spraak. Aldaar vindt men ook litteratuur vermeld.

Methoden van Objectieve Geluidsmeting.

De toestellen, die voor het meten van 't geluid door mij gebruikt zijn, zijn ten eerste de microfoon, ten tweede de telefoon, beide met snaargalvanometer, ten derde het schijfje van Rayleigh.

De beide eersten geven de relatieve geluidssterkte, evenwel sterk beïnvloed door de toevallige resonance, terwijl met het schijfje van Rayleigh, onafhankelijk van resonance, het bedrag in absolute waarde is te vinden.

Hier moge de beschrijving en vergelijking volgen der op deze wijzen verrichte onderzoeken.

a. De microfoon, vereenigd met snaargalvanometer.

Alle microfonen berusten op het beginsel, dat door de trillingen van een plaatje het aantal aanrakingspunten van los op elkaar of tegen elkaar steunende geleiders (koolstukjes) gewijzigd wordt. Hierdoor verandert, wanneer de microfoon in een gesloten keten is opgenomen, de weerstand en dus ook de stroomsterkte. Bij onze opstelling bevindt zich de microfoon in den primairen stroom van een inductieklos, die door een kleinen accumulator wordt gevoed. In den secundairen stroom bevindt zich een weerstand en als shunt de snaar van een snaargalvanometer naar Einthoven's principe, zooals die geleverd wordt door de firma Edelmann. De snaar is van goud, lang 30 mM. en heeft een dikte van 5μ . Door een schroef is haar spanning te regelen. Zij bevindt zich tusschen de polen van een magneet, dus in een magnetisch veld, waar men met behulp van een microscoop dwars doorheen ziet. Elke wisseling in stroomsterkte zal zich dus kenmerken door een uitslag van de snaar en daar de stroom nu in de ééne, dan in de andere richting gaat, verplaatst zich de snaar nu eens naar deze, dan weer naar de andere zijde. De afstand der

uiterste standen is c.p. maat van geluidssterkte. We kunnen dien aflezen op eene in 't oculair aangebrachte maatverdeeling. Daar de microfoon zeer gevoelig is en het nooit geheel stil kan zijn in een lokaal is zij opgenomen in een looden camera. Een kleine opening voert het geluid naar den microfoon; deze opening kan met een caoutchouc stop worden afgesloten. De snaar moet dan geheel in rust zijn.

Allereerst moest nu worden nagegaan voor welke doeleinden de opstelling, microfoon en snaargalvanometer, het best te gebruiken zijn en hoe de verhouding der verschillende hoeveelheden energie zich uitdrukt in de verhouding der snaarverdubbelingen.

De microfonen in den handel zijn zoo gebouwd, dat hun maximum gevoeligheid in de spraakzône, gaande van a_1 tot e_3 , ligt.

De spanning van de snaar moet men om zoo groot mogelijke uitslagen te krijgen steeds veranderen. Elke toon heeft dus haar eigen spanning, gemakkelijk te bepalen; maakt men namelijk de spanning nog iets grooter of kleiner dan is de amplitudo direct kleiner.

Bij een bepaalde spanning is de snaar gestemd op de perioden der wisselstroomen, die in de secundaire keten ontstaan.

Doorloopt men de reeks tonen in de spraakzone gelegen, dan geven de tonen a_1 — g_3 de grootste snaaruitslagen. De gevoeligheid van het stelsel ligt dus in het lage gedeelte der spraakzone.

Een bezwaar van het gebruik van den microfoon, ook voor éénzelfden toon, is de groote wisseling van gevoeligheid. Vergelijkt men de snaaruitslagen, behoorende bij éénzelfden toon, dan zijn deze meestal niet evengroot.

Laat men een bepaalde toon eenigen tijd achtereen klinken, dan worden de snaarverdubbelingen op den duur kleiner, zonder daarom nog tot nul te dalen. Waarschijnlijk hebben de kooldeeltjes een meer stabielen stand ingenomen.

Wanneer iemand in 't vertrek loopt, dan is reeds de trilling van den bodem voldoende om de snaaruitslag te vergrooten. Dit komt overeen met het bekende feit, dat schudden of kloppen van den microfoon de gevoeligheid verhoogt.

Maakt men het geluid zeer sterk, dan werd soms waargenomen, dat de uitslag van de snaar zeer gering, ja zelfs nul wordt. Hetzelfde verschijnsel dus dat men in den stadstelefoon eveneens waarneemt; spreekt men namelijk zeer luide, dan is 't gesproken woord niet meer duidelijk te verstaan.

Een andere vraag is, hoe is de verhouding der snaaruitslagen ten opzichte van de verhouding in energie; of met andere woorden, hoeveel maal groter wordt de verdubbeling van de snaar, wanneer bij voorbeeld de geluidsenergie tweemaal groter wordt.

Een groote reeks proeven werd hiervoor verricht.

Gebruikt werden verschillende looden orgelpijpen en wel die, welke op eenigen afstand gemakkelijk af te lezen snaarverdubbelingen gaven. Onderdeelen van schaaldeelen zijn tot op $\frac{1}{4}$, nauwkeurig af te lezen. Steeds werd er op gelet, dat de pijp haren grondtoon gaf. De pijp werd aangeblazen met de perslucht van 't laboratorium, terwijl door een klemkraantje de druk werd geregeld. Deze werd op een manometer afgelezen, terwijl tevens op een aerodromograaf de hoeveelheid aan de pijp toegevoerde lucht gemeten werd. Volgens lord Rayleigh is de energie aan de pijp toegevoerd $v. \times p \times 981$ erg., waarin $v.$ het per sec. verbruikte volume in c.M³., $p.$ de druk in c.M. water en 981 de versnelling der zwaartekracht is.

Men heeft altijd aangenomen, dat de snaaruitslagen zich verhielden als de tweede machtswortels der toegevoerde energie; werd dus de snaarverdubbeling tweemaal groter, dan was de energie viermaal groter geworden. Hiertoe kwam men door de volgende redeneering.

De sterkte van het geluid is evenredig met het kwadraat van de amplitude der geluidstrillingen, verder nam men aan dat alle energie evenredig zou worden overgedragen op den microfoon en dat ook de snaaruitslagen weer hiermee evenredig zouden zijn. Het ligt voor de hand om a priori dit al te kunnen tegenspreken. Immers verlies van energie zal er zeker wel zijn, en dit verlies behoeft niet evenredig te zijn aan de amplitude. De evenredigheid kan alleen worden gehandhaafd door de amplitude met een zekeren exponent in rekening te brengen.

Bij onze proeven werd aangenomen dat steeds hetzelfde deel van de toegevoerde energie in geluid werd omgezet. Dat dit ongeveer zoo is, tenminste wanneer de pijp haren grondtoon geeft en geen boventonen optreden, blijkt uit later te vermelden proeven. Om na te gaan of de microfoon ook, wat gevoeligheid betreft veranderd was, tijdens eene proef, werd vóór en na twee waarnemingen een contrôlefluitje aangeblazen en gezien of de snaar-amplituden hiervan dezelfde waren. Alleen die waarnemingen, waarbij dit het geval was, werden in de berekening opgenomen.

Eerst werd dus het contrôlefluitje aangeblazen, daarna bij zekeren druk en volume de orgelpijp, deze laatste nog eens bij een anderen druk en volume en ten slotte het contrôlefluitje. Is a de uitslag van de snaar afgelezen bij een energieverbruik van $v_1 \times p_1 \times 981 \text{ exp.}$, b de uitslag van de snaar bij een energie verbruik, $v_2 \times p_2 \times 891$ dan mogen we als vergelijking opstellen.

$$v_1 \times p_1 \times 981 : v_2 \times p_2 \times 981 = a^k : b^k,$$

waarbij k dus een exponent is, die aanwijst tot welke macht men a en b moet verheffen, om de evenredigheid te krijgen.

C_n									
	Snaaruitslag v.h. contrôlefluitje.	Druk in cM. water.	Vol. in cM. ³ per sec.	Snaaruitslag.	Druk in cM. water.	Vol. in cM. ³ per sec.	Snaaruitslag.	Snaaruitslag v.h. contrôlefluitje.	
f_n	0.5	11.4	160	2.5	5.4	109	0.25	0.5	0.49
	0.75	11.4	160	3	5.4	109	0.5	0.75	0.55
	0.75	11.4	160	1.75	5.4	109	0.5	0.75	0.90
	0.75	11.4	160	1.5	5.4	109	0.5	0.75	1.02
	0.5	12.8	170	2.5	6.4	114	0.5	0.5	0.66
f_n	1.25	12.4	162	1.25	21.6	222	4.75	1.25	0.65
	1	11.6	160	1	16.4	192	4	1	0.37
	0.75	11.6	160	0.5	16.4	192	3.5	0.75	0.90
	0.75	12.4	166	2	17.2	196	3.25	0.75	1.01

	Snaaruitslag v.h. controlefluitje.	Druk in cM. water.	Vol. in cM ³ . per sec.	Snaaruitslag.	Druk in cM. water.	Vol. in cM ³ . per sec.	Snaaruitslag.	Snaaruitslag v.h. controlefluitje.	Berekende exponent.
b,	1.5	12.4	162	2	16.4	192	3.75	1.5	0.71
	1	12.4	162	1.75	16.4	192	3.5	1	0.79
	1	11.6	160	2	16.4	200	4	1	0.76
	1	11.6	160	2	16.4	192	4.5	1	0.65
gis,	1	12.4	160	0.75	22.4	222	4.25	1	0.52
	1.25	12.4	160	1	22.4	222	5	1.25	0.57
	1	12.4	160	1	22.4	222	3	1	0.83
	0.75	12.4	160	0.75	22.4	222	3.75	0.75	0.57
	1	16.8	192	1	22.4	222	3	1	0.62
	1	15.4	160	1	22.4	222	4.5	1	0.61

Als gemiddelde exponent vindt men dan 0.69.

Berekent men volgens de formule $W = 0.6745 \sqrt{\frac{\sum x^2}{n-1}}$; waarin W is de waarschijnlijke fout, x het verschil tusschen het gemiddelde en elke afzonderlijke waarneming en n het aantal waarnemingen, de waarschijnlijke fout dan is $W = 0.1341$. Hieruit blijkt dus duidelijk, dat de microfoon geen instrument is om nauwkeurige waarnemingen mee te verrichten.

Bovendien zijn nog alleen die waarnemingen vermeld, waar de contrôlefluit voor en na de proef dezelfde waarde gaf voor de snaaramplitude. Het spreekt vanzelf dat deze exponent en waarschijnlijke fout alleen geldt voor de door mij gebruikte snaar en microfoon.

b. telefoon, vereenigd met snaar-galvanometer.

Als meetinstrument is de telefoon veel minder gevoelig dan de microfoon, echter is zij in haar uitkomsten veel constanter. In principe bestaat de telefoon uit een plaatje en daarachter een inductieklos, die geschoven is op een weekijzeren kern, die op een magneetpool is aangebracht. Treffen nu geluidstrillingen het plaatje, dan gaat dit meetrillen. Doordat 't zich nu

eens verwijderd, dan weer nadert tot de weekijzeren kern, ontstaan er veranderingen in 't magnetisch veld van dezelfde periode, die weer in de gesloten keten inductiestroomen verwekken. Deze stroomen zijn veel zwakker dan die van den microfoon. We verbinden daarom den telefoon direct met de snaar. Toch zijn de amplituden der snaar, in vergelijking met de sub *a* genoemde methode, veel kleiner.

We moeten dus òf de telefoon zeer dicht bij de geluidsbron brengen, òf de geluidsbron zeer krachtig maken (mishoorn, zie bladz. 36). Eene andere methode is deze, dat we aan den telefoon een resonator bevestigen, en dezen op de te onderzoeken toon stemmen, doordat we de twee deelen, waaruit hij bestaat meer of minder in elkaar schuiven en luisteren, wanneer de toon ons het sterkst in de ooren klinkt.

Voor hooge tonen is de telefoon met snaargalvanometer nog minder gevoelig dan de microfoon met snaargalvanometer.

Gelijk gezegd is de telefoon veel meer constant dan de microfoon; bij een bepaalden toon geeft hij steeds dezelfde verdubbeling, dit laat zich ook al uit den bouw van den telefoon verklaren. Op dezelfde wijze als sub *a* is de exponent bepaald, echter zonder de nu overbodige contrôlefluit.

a,

Snaaramplitudo	Druk in cm. water	Verbruikte lucht in cm ³ per sec.	Exponent
1	13.2	340	uit de verschillende waarnemingen gevonden, 0.62; 0.70; 0.55; 0.68; 0.58; 0.65; 0.68; 0.61; 0.77.
3.5	22	446	
2.25	18.4	390	
1.25	14.4	360	
4.5	26	480	

c,,

0.75	24.4	460	Berekende exponent 0.54 ; 0.70; 0.60; 0.60; 0.43; 0.66.
1.25	30.2	530	
1	26.4	480	
0.5	0.375	17.6	
0.25			
		400	

Gemiddelde waarde voor de exponent 0.618.

Berekende waarschijnlijke fout volgens $W = 0.6745 \sqrt{\frac{\sum x^2}{n-1}} = 0.05671$.

In vergelijking met de opstelling: microfoon en snaargalvanometer is de gemiddelde fout dus zeer veel kleiner; daarom is bij de meeste proeven, waar dit mogelijk was, de voorkeur gegeven aan den telefoon met snaargalvanometer.

c. Schijfje van Rayleigh.

Lord Rayleigh heeft geruimen tijd geleden eene methode aangegeven om het geluid te meten; het voordeel er van is dat zij, onafhankelijk van resonance, niet alleen relatieve, maar ook absolute waarden kan geven. Het principe beschrijft hij in Phil. Mag 14. 1882 en Scientific Papers 2.

Het beginsel berust op 't feit, dat een kleine schijf neiging heeft in de richting van de geluidsgolven om haar as te roteeren, wanneer zij door deze wordt getroffen. Zij wil zich dus parallel aan het golfvlak van de geluidstrillingen plaatsen.

Het door mij gebruikte schijfje was een spiegeltje van 0.1 mM. dikte en 3.04 mM. in doorsnede. Het was opgehangen aan een gouddraad van 7μ ; aldus kon het spiegeltje om zijn verticale as roteeren. Aan het spiegeltje zelf bevindt zich een klein magneetje, onder het spiegeltje is een grootere magneet aangebracht; deze kan men draaien om een verticale as, en alsdus aan het schijfje verschillende slingertijden geven, en tevens de invloed van het aardmagnetisme regelen, ja zelfs geheel opheffen (gelijk bij het astatisch naaldenpaar). Op deze wijze is dus de gevoeligheid te regelen.

Bovendien was door eene schroef de torsie van de ophangdraad nog te veranderen. Het geheel bevond zich in een kast met glazen wanden, die van binnen zooveel mogelijk met een pluizige wollen stof was bekleed.

Veel stoornis heeft men van omringende ijzeren voorwerpen, vooral wanneer men ze verplaatst. Men moet ze dus op grooten afstand plaatsen of wegnemen. Stoornis geven ook electrische stroomen. Niettegenstaande de vrij groote afstand was het duidelijk merkbaar, wanneer er een tram voorbijging; terstond reageerde het spiegeltje hierop met eene rotatie. Zooveel

mogelijk werd deze stoornis overwonnen door het spiegeltje zoo te stellen dat het loodrecht op de richting van de tramlijn stond. (Prof. Koster, Archiv für Augenheilkunde Band 59).

Van 't spiegeltje werd door middel van eene lamp een beeldje ontworpen op een scherm; de aldus verkregen nulstand bleek zeer constant te zijn. Het geluid, dat het spiegeltje treft wordt van buiten af binnengeleid door een scheepsroeper, en wordt dan door een buis, die uit twee ten opzichte van elkaar verschuifbare deelen bestaat, naar het spiegeltje gevoerd.

Juist doordat deze buis grooter en kleiner te maken is, kan men de afstand tusschen 't eind hiervan en spiegeltje vergrooten en verkleinen en aldus de uitslagen van 't spiegeltje vermeerderen of verminderen. Dit is van voordeel wanneer men bijv. een orgelpijp, bij verschillenden druk wil onderzoeken en de uitslagen anders te groot zouden zijn, om in hun geheel op 't scherm geprojecteerd te worden. (Voor onze absolute berekening was 't eind van de buis vlak bij 't spiegeltje). Tevens is in de buis opgenomen een caoutchouc membraan (condomvlies) dat dient om de luchtstroom tegen te gaan. Bij onze eerste opstelling bevond deze membraan zich in een bolvormige verwijding; voor sommige tonen verhoogde dit de gevoeligheid, terwijl deze voor andere er door verminderd werd. Bij de absolute berekening is deze opstelling dan ook verlaten, en is de wijde der buizen overal even groot genomen.

Gelijk gezegd roteert 't spiegeltje, wanneer er geluid op valt. Dat 't niet de luchtbeweging is, die 't spiegeltje een anderen stand geeft wordt bewezen door de volgende proeven.

Blazen heeft geen standsverandering ten gevolge: de caoutchouc membraan houdt den luchtstroom tegen.

Het geluid bij inademen ontstaan, dus bij negatieven luchtstroom, geeft een positieven uitslag.

Het geluid van fonograaf en stemvork verplaatsen 't spiegeltje.

De relatieve geluidsterkte leert men kennen door vergelijking der verschillende uitslagen. Voor de berekening der absolute waarde moet men de kracht kennen die noodig is om 't spiegeltje te roteeren.

König heeft uitvoerige berekeningen gepubliceerd (W. König. Wied. Annalen 43. 1891) voor 't geval dat 't spiegeltje een ellipsoid is, terwijl Zernow zijn uitkomsten, op andere manier verkregen, getoetst heeft aan die van König. De uitkomsten waren dezelfde. Bovendien heeft Zernow voor 't cirkelvormige schijfje een empirische formule gevonden en zegt „Für unendlich dünne Kreisscheiben stimmt diese empirische Formule mit der von W. König überein.”

Uit berekeningen van Zernow volgt dat men den grootsten uitslag krijgt, wanneer de horizontale as van het spiegeltje een hoek van 45° maakt met de richting van de geluidgolven.

$$\text{Zernow's formule luidt: } E = \frac{6 M}{D^3 (1 + A \frac{d}{D} + B \frac{d^2}{D^2}) \sin 2 \varphi}$$

M = 't draaiingsmoment

D = doorsnede van 't spiegeltje, in ons geval = 3,04 mM.

d = dikte 0,1 mM., (A en B zijn constanten resp. 2.782 en -9.052.)

φ = de hoek, dien 't spiegeltje met de stroomrichting maakt.

Om M te vinden moet men eerst eenige berekeningen maken. $M = D \times W$, waarin W de afwijking in radialen is, dus te berekenen uit den uitslag van 't spiegeltje en D , de zoogenaamde Direktionskracht, d. i. de kracht, die de stabiliteit meet van den evenwichtsstand van een om zijn as draaibaar lichaam.

Immers, tengevolge van de torsie van de draad en van de werking van de magneten op elkaar komt 't spiegeltje steeds weer in zijn zelfden stand terug.

Deze D (draaiingskracht) is weer af te leiden uit den slingertijd t van het niet belaste systeem en den slingertijd t_1 , van het systeem, wanneer men het belast met een lichaam, waarvan men het traagheidsmoment (K) kent.

$$\text{Hiervoor geldt de formule } D = \pi^2 \frac{K}{t_1^2 - t^2}.$$

Om deze draaiingskracht te vinden werd op 't spiegeltje een cirkelvormig stukje aluminium door middel van twee zeer fijne haakjes opgehangen.

De doorsnede was 2.89 mM., de dikte 0.035 mM. en 't gewicht 1.4 mgr. Zonder dit stukje aluminium was de slingertijd (uit 10×5 waarnemingen berekend) 0.85 sec., met de belasting 1.00 sec.

Het schijfje aluminium is als een zeer dunne cylinder op te vatten. Het traagheidsmoment van een cylinder, waarbij de as loodrecht staat op 't midden van den cyinder is $m \left(\frac{1}{12} l^2 + \frac{1}{4} r^2 \right)$ waarin m de massa, l de hoogte en r de straal van 't grondvlak.

Hier ging de as niet door 't midden, maar door 't uiteinde van den cylinder. Het traagheidsmoment is dan gelijk aan dat van den cylinder, vermeerderd met dat van de massa in 't zwaartepunt, dus

$$K_1 = K + m \left(\frac{1}{2} \right)^2$$

$$K_1 = m \left(\frac{1}{3} l^2 + \frac{1}{4} r^2 \right)$$

Vult men de bijbehorende waarden in dan is $K_1 = 7.3138 \times 10^{-6}$. D wordt dan 2.3025×10^{-4} dynes $\times$ cM.

$$E = \frac{2.3025 \times 10^{-4} \times W}{0.504^3 \times 1.08179} = 0.045811 \times W \text{ ergs p. cM}^3.$$

W is gelijk gezegd de afwijking in radialen.

Zernow heeft berekend dat het 't beste is de spiegel zoo klein mogelijk te nemen, om zijn gevoeligheid te verhoogen. Zernow heeft een spiegel gebruikt van 3 mM. doorsnee, 4 mgr. en slingertijd van 2.28 sec., terwijl die van ons 3.04 mM. 5.2 mgr. en een slingertijd van 0.85 sec. had.

Zernow zegt „Bei einem Skalenabstande von 1250 Skalenteile entsprechen die dauernde Ablenkungen von 100 Skalenteile einer Energiedichte von 3×10^{-4} ergs pro cM.³“

Lautes Schreien und kraftiges Singen in 2 M. Entfernung der Rayleigh'sche Scheibe vom Munde ergaben für einzelne Personen Grössen der ersten Ablenkung, welche zwischen 20 Skalenteile und 140 Skalenteile lagen und Energiedichten von 0.3 bis 2×10^{-4} ergs pro cM.³ entsprachen.

Ons schijfje gaf (in de collegekamer) op 2 M. bij luidspreken een uitslag van 1—4 deelstreep. Elke deelstreep is 1 cM., terwijl

de afstand van 't spiegeltje tot 't scherm 260 cM. was. Berekent men dit in ons geval, dan vindt men $0.9 \times 10^{-1} - 3.45 \times 10^{-1}$ ergs p. cM.³. Deze waarden stemmen vrijwel met die van Zernow overeen, alleen is zijn spiegeltje gevoeliger dan 't onze. Voor zwakke geluiden is dit een voordeel, niet voor sterke geluiden, daar dan de uitslagen te groot worden om ze af te lezen.

Bij de opstelling werd rekening gehouden dat 't spiegeltje een hoek van 45° maakte met de stroomrichting van het geluid, de teruggekaatste lichtbundel vormt dan een hoek van 90° met den lichtbundel van de lamp. Het scherm moet dus evenwijdig gericht zijn aan de stralen van de lichtbron. Bovendien werd de afstand van het nulpunt tot 't spiegeltje gemeten.

Bij ons onderzoek deed zich de vraag voor of inderdaad de uitslagen van 't spiegeltje evenredig zijn met de verbruikte energie, m. a. w. worden de uitslagen tweemaal zoo groot, wanneer de energie twee maal groter wordt. Onder uitslagen moet men hier niet de uitslagen van 't beeldje op 't projectiescherm opvatten, maar de hoek, waarover 't spiegeltje roteert. Wat wij op 't scherm aflezen is feitelijk de tangens van den dubbelen hoek, omdat de lichtbundel die van 't spiegeltje uitgaat, over een tweemaal grooteren hoek draait, dan 't spiegeltje zelf. Inderdaad blijkt de evenredigheid te bestaan. We namen hiervoor een orgelpijp, die bij een bepaalden druk een zekeren uitslag gaf, vervolgens namen we een andere orgelpijp en reguleerden de druk zoodanig dat de uitslag, die zij aan 't spiegeltje gaf even groot was; daarna lieten wij ze beiden tegelijk aanspreken en 't bleek nu dat de uitslag 't dubbele was van den vorige.

Het schijffe van Rayleigh is dus, wat de uitkomsten betreft, betrouwbaar. Heeft men te maken met geluiden, die eenigen tijd aanhouden, dan is 't zeer gemakkelijk op de schaal de aflezing te verrichten; het spiegelbeeld verkrijgt dan een anderen stand. Heeft men daarentegen met geluiden te doen, die korten tijd duren, dan krijgt 't spiegeltje bij het inzetten van den toon een plotselingen stoot en blijft niet eenigen tijd in een bepaalden siand. In zoo'n geval werd dan 't gemiddelde bepaald tusschen de slingeringen en dit vergeleken met den nulstand.

Zernow heeft zijn spiegeltje alleen beschut door een dubbele laag kopergaas; dit bleek ons niet geheel afdoende om luchtstroomen tegen te gaan.

Bovendien hebben wij de opvanghoorn aangebracht. Zoo konden wij zelfs vrij zwakke geluiden, bijv. van een stemvork nemen, en daarvan de uitslag van 't spiegelbeeldje zien.

Resumeerende komen we tot de volgende conclusies.

De microfoon met snaargalvanometer is als meetinstrument niet bijzonder betrouwbaar, hij reageert echter op zwakke geluiden door een duidelijken uitslag aan de snaar mee te deelen. Hij werkt 't best voor de lagere tonen uit de spraakzone. De opstelling is gemakkelijk verplaatsbaar, evenals de opstelling met den telefoon; dit is niet het geval bij 't schijfje van Rayleigh. Wil men dit bijvoorbeeld in een andere kamer opstellen, dan loopt men ten eerste gevaar de draad, waaraan 't spiegeltje bevestigd is, te breken, ten tweede heeft het geheel dan een andere gevoeligheid verkregen, omdat men den stand van de magneten, nooit zoo krijgt als ze geweest is. Men moet dus 't spiegeltje opnieuw ijken, en hierbij loopt men weer gevaar de draad te breken (bij de bepaling van het traagheidsmoment door middel van belasting; zie vroeger). Het schijfje van Rayleigh reageert op alle tonen, niet alleen in de spraakzone, maar ook nog op hoogere en lagere, zooals uit de proeven op de volgende bladzijden blijkt. In vergelijking met telefoon en microfoon is 't schijfje niet zoo snel ingesteld (d.w.z. 't duurt eenigen tijd eer het een vasten stand heeft aangenomen) als de snaar van den snaargalvanometer.

Wat den telefoon met snaargalvanometer betreft, de breedte is kleiner dan die van de microfoon, de betrouwbaarheid is, zooals uit de waarschijnlijke fout blijkt veel grooter, maar op afstand alleen voor zeer sterke geluiden bruikbaar. Gelijk gezegd geven telefoon en microfoon relatieve, terwijl 't schijfje van Rayleigh ook absolute waarden aangeeft.

Absolute intensiteit van 't minimum perceptibile door Minkema op de heide bij Millingen bepaald.

Minkema heeft de gevoeligheid van 't oor nagegaan voor de verschillende tonen der toonladder. Hij maakte gebruik van verschillende orgelpijpen, deels van hout, deels van metaal. Zijn onderzoek is in drie deelen verdeeld, n.l. eene eerste reeks in de open lucht, op een geheel vlak en open heideveld, een tweede reeks in de boekengalerij van de universiteitsbibliotheek en een derde reeks in 't acustisch kamertje van 't physiologisch laboratorium.

Hij beschouwt de eerste reeks als de zuiverste, wat aangaat uitwendige omstandigheden.

De lucht, waarmee de fluiten worden angeblazen is afkomstig van een spirometer. Ten einde de drukking en de uitstroomingssnelheid van de lucht uit den spirometerbak te kunnen veranderen, bevindt zich een metalen bakje op de geëquilibreerde spirometerklok. Door in dit bakje zand of water te gieten kon de drukking zeer gevoelig worden geregeld. Tevens was nog een manometer gevuld met een lichte vloeistof, ligroïne, aangebracht. Het onderzoek had nu als volgt plaats. De te onderzoeken pijp wordt in verbinding gebracht met den spirometer. Nu wordt zoolang water of zand gegoten in het bakje boven de klok tot de pijp behoorlijk aanspreekt. Steeds werd er op gelet dat de pijpen hunnen grondtoon gaven. Sprak de pijp goed aan, dan werd door den waarnemer de afstand gezocht, waarop nog juist een geluidsindruk werd verkregen. Hierop werd de drukking afgelezen, en de tijd bepaald, noodig voor een zekere indaling

van den spirometerbak. Deze proeven werden eenige malen herhaald.

Minkema gebruikte de volgende berekening. Hij is er zich wel van bewust, dat niet al de aan de pijp toegevoerde energie in geluid wordt omgezet; daar dit echter nog niet met zekerheid was op te geven en andere onderzoekers (ter vergelijking) aannamen dat alles in geluid werd omgezet, volgde hij ook deze rede-neering. Hij bracht dus geen correctie aan voor energieverlies. Het door de pijp voortgebrachte geluid verbreidt zich over een half boloppervlak, aannemende dat de bodem weinig van 't geluid resorbeert en de geluidsbron zich dicht bij den grond bevindt. Op de plek, waar door den acustischen waarnemer nog juist eenig geluid wordt waargenomen, heeft de uitgezonden acustische energie zich dus uitgebreid over een halven bol met de pijp tot middelpunt en den afstand van de pijp tot den waarnemer als straal. Op de plaats van den waarnemer passeert per c.M^2 . in de seconde een geluidsenergie groot $e = \frac{m \times d \times 981.}{2 \pi r^2}$. Wil

men de energie kennen, die ons trommelvlies bereikt, dan moet van deze waarde, volgens Wien, het $\frac{1}{3}$ gedeelte genomen worden, daar 't trommelvlies geprojecteerd op het sagittale vlak ongeveer $\frac{1}{3} \text{ c.M}^2$. groot is. Deze nu gevonden energie is nog te groot als men 't minimum perceptibile wil kennen. Bij bovenstaande berekening is nl. de energie, die per sec. op ons gehoor inwerkt, gevonden. Een zoo langen duur van inwerking is echter niet noodig om een geluidsgewaarwording op te wekken. Volgens de onderzoekingen van Herroux en Yeo, later nog herhaald en uitgebreid door Abraham en Brühl is gebleken dat slechts noodig zijn

2 trillingen	voor tonen tot een trillingsgetal van	3168
3	" " " " "	3960
4	" " " " "	5020
5	" " " " "	6000
10	" " " " "	7040
20	" " " " "	12288

De geheele uitkomst moet dus voor de meeste tonen nog

gedeeld worden door de helft van 't trillingsgetal, de formule luidt dan

$$e = \frac{m \times d \times 981 \times 0.35}{2 \pi r^2 \times \frac{1}{2} n}$$

Van enkele zeer hooge tonen moet hierin $\frac{1}{2} n$ vervangen worden door $\frac{1}{3}, \frac{1}{4}, \frac{1}{5}, \frac{1}{10}, \frac{1}{20}(n)$. Op deze wijze zijn proeven uitwerkende komt Minkema tot de waarden later vermeld. (zie blz. 26 en volgende ter vergelijking met de op mijn methode aan te brengen correctie).

Om de efficientie, d. w. z. 't gedeelte van de toegevoerde energie, dat in geluid werd omgezet te vinden, gebruikte ik het schijfje van Rayleigh. In de opstelling, zooals die vroeger is beschreven, was een caoutchouc membraan aangebracht, om de luchtstroomen tegen te gaan, dus 't schijfje een grooter stabiliteit te verschaffen. Aldus opgesteld, kan men zeer nauwkeurig nagaan hoe de te onderzoeken fluit zich bij verschillende hoeveelheden energie gedraagt, met andere woorden of steeds hetzelfde deel van de energie in geluid wordt omgezet, of dat zij bij voorbeeld bij een bepaalde $v \times p$ een maximum-uitslag geeft. Voor ons doel is deze caoutchouc membraan niet te gebruiken, immers wij weten niet of zij 't geluid bij een bepaalden toon verzwakt of versterkt en hoeveel dit bedrag is. Daarom werd de membraan er uitgenomen en gezorgd dat de stand van het uiteinde van de buis ten opzichte van 't spiegeltje dezelfde was, dat wil dus zeggen, dat 't uiteinde vlak bij 't spiegeltje was. Dan kon worden aangenomen dat geen spreiding van energie plaats had, en dus de energiedichtheid, d. w. z. de energie per cm^3 . in de omgeving van het spiegeltje dezelfde was als in de buis.

De fluit werd op dezelfde manier opgesteld als bij onze (later te vermelden proeven), n.l. vlak voor den megafoon, zoodat aangenomen mocht worden, dat de helft van 't geluid in den megafoon verdween.

Eerst werd nog nagegaan hoe de luchtbeweging was in de buurt van de pijp, wanneer deze werd aangeblazen. Hiertoe werden zeer kleine veertjes genomen en op verschillende afstanden van de mondopening gehouden. Het bleek, zoowel bij

een open als bij een gedekte fluit, dat het grootste gedeelte der lucht zich naar boven verplaatst, terwijl alleen vlak bij de mondopening een zeer zwakke luchtstroom zich in horizontale richting van de pijp af beweegt. In de buurt der mondopening waren ook luchtwervels te constateeren. Men zou dus mogen aannemen dat deze over den afstand van het spiegeltje tot orgelpijp, wel zoo zouden zijn verminderd, dat ze te verwaarloozen zouden zijn en ze geen uitslagen van 't spiegelbeeldje zouden veroorzaken.

Bij enkele voorloopige proeven, vooral bij de groote orgelpijpen a₁; ais; enz. liepen de gevonden uitslagen van 't spiegelbeeldje zoo uiteen, dat toch luchtstroomen moesten worden aangenomen, als oorzaak van de onregelmatige uitkomsten. Door op de lip van de pijp een klein stukje kleefwas aan te brengen en daarna de lucht toe te laten werd voorkomen, dat de pijp een toon gaf. Dit stukje was werd zoo klein genomen, dat de luchtbeweging in en om de pijp wel geen verandering ondervond, alleen werd het trillen van de luchtzuil tegengegaan. Werd nu dezelfde pijp voor den megafoon geplaatst dan bleef niet zooals verwacht zou worden, het schijfje in rust, maar gaf een duidelijke verplaatsing van het spiegelbeeldje te zien, een bewijs dus dat luchtstroomingen in 't spel waren.

Op verschillende wijzen werd getracht, de werking van deze luchtstroomingen op te heffen, door een stukje fijn kopergaas op de plaats van de vroegere caoutchouc membraan aan te brengen, door in den opvanghoorn zelf kopergaas of watten in te brengen, echter alles zonder bevredigend resultaat.

Het eenige middel was dus de pijpen op eenigen afstand van den megafoon te plaatsen, dit gaat echter wel voor de kleine pijpen, niet voor de groote. Men zou dan op een vrij grooten afstand de geluidsbron moeten opstellen; het gevolg zou zijn dat de uitslagen van het spiegelbeeldje veel kleiner zouden worden en niet met nauwkeurigheid zouden zijn af te lezen. Deze bezwaren zijn alle overwonnen, door de pijp 180° te draaien, zoodat dus de mondopening van den hoorn was afgekeerd. De pijp kon nu veel dicht bij de opvangtrechter ge-

bracht worden, terwijl uit de proef met 't stukje kleefwas bleek dat luchtstroomingen nu niet meer storend werkten. *)

*) Omtrent de verdeeling van het geluid in de omgeving van een pijp zijn de volgende proeven verricht. Onze bepalingen hebben zich alleen beperkt tot het horizontale vlak.

Een orgelpijp (c_2) werd op een, om een verticale as draaibaar statief bevestigd. Speciaal werd gezorgd dat het midden van de pijp samenviel met de draaiingsas. Gebruikt werd een telefoon met inschuifbaren resonator, die gestemd werd op den toon der orgelpijp, verbonden met den snaar-galvanometer.

Het statief werd nu, terwijl de pijp geluid gaf rondgedraaid, en in de verschillende standen de snaarverdubbeling afgelezen.

Afstand van telefoon tot pijp in c.M.	Hoek tusschen pijp en resonator v. telefoon.	Uitslag Snaar.
4 c.M.	0°	5½
	90°	5
	180°	2½
	270°	5
6 c.M.	0°	2½
	90°	2
	180°	1½
	270°	2
8 c.M.	0°	2¼
	90°	1¾
	180°	1¼
	270°	1¾
6 c.M.	0°	1¼
	90°	1
	180°	1¼
	270°	1
12 c.M.	0°	1
	90°	1
	180°	1
	270°	1

Dezelfde reeks is gedaan voor een fluit v. Edelmann. Deze gaf overal dezelfde uitslag van de snaar, ook al op 4 c.M. afstand. Dit zal hoogstwaarschijnlijk wel samenhangen met de mondopening, die hier cirkelvormig is. Neemt men in aanmerking dat bij de gevonden getallen, nog de exponent v. d. telefoon 0.61 in rekening moet worden gebracht, dan mag men voor berekening wel aannemen, zonder een groote fout te maken, dat 't geluid zich concentrisch (ten minste in het horizontale vlak) verbreidt.

Neemt men aan dat het geluid zich als een bol verbreidt, dan behoeft men slechts te berekenen, het hoeveelste deel er van door den hoorn wordt opgevangen; met andere woorden hoeveel maal de oppervlakte van een bolsector met de oppervlakte van den hoorn tot grondvlak begrepen is op de oppervlakte van den geheelen bol. De fluit wordt dus als middelpunt van het geluid aangenomen. Men kan nu door in de caoutchouc slang, die naar de fluit voert, een aerodromometer op te nemen, nagaan hoeveel cm^3 lucht per seconde wordt toegevoerd. Door een manometer aan te schakelen is de druk af te lezen. Men weet dus hoeveel energie aan de pijp is toegevoerd; nl. $v \times p \times 981$ (waarin v , het aantal cm^3 lucht per sec. toegevoerd; p de druk in cm . water en 981 de versnelling der zwaartekracht.)

Uit de uitslag van het spiegelbeeldje leest men dus af hoeveel van de aan de pijp toegevoerde energie in geluidsenergie wordt omgezet. Dat dit bedrag, de zoogenaamde efficiëntie, gering is heeft Wien reeds meegedeeld. Er zou namelijk energie verloren gaan, doordat zich in en buiten de pijp luchtwervels vormen, de lucht langs de wanden strijkt, haar verwarmt en de geheele pijp doet mee trillen en in de lucht bij de voortplanting van de geluidsgolven door wrijving en steeds voorkomende luchtstroomingen, verlies plaats heeft.

Wien heeft deze efficiëntie bepaald en als waarde 0.0013 gevonden.

Dezelfde fluiten, die indertijd Minkema gebruikt heeft, zijn nu door mij met het schijfje van Rayleigh onderzocht. Steeds werd gezorgd dat de mond van de fluit en het middelpunt van den opvangtrechter in hetzelfde horizontale vlak lagen. Nu werd getracht de fluiten met denzelfden druk te doen aanspreken, als Minkema gebruikt heeft. Het gelukte mij niet een bij dien druk nog meetbaren uitslag aan het spiegelkje mee te deelen. Daarom werden de fluiten bij verschillende drukking aangeblazen en de daarbij behorende energie gemeten. Maakt men een curve door op de abcis $v \times p \times 981$ uit te zetten en op de ordinaat de daarbij behorende energie, dan kan men door een kleine extrapolatie vinden hoe groot of liever hoe klein de uitslag

van het spiegeltje had moeten zijn, bij den door Minkema gebruikten druk.

Aldus kunnen we toch de correctie voor de door Minkema gevonden waarden aanbrengen.

Bij onze proeven bevond het projectiescherm zich op 1 Meter van het spiegeltje; de afstand tusschen twee deelstrepen van de straal bedroeg 1 cM. Uit de uitslag van 't spiegelbeeldje en den afstand van spiegeltje tot schaal berekent men de tangens van den dubbelen hoek, waarover het spiegeltje geroteerd heeft.

Allereerst werd het door Minkema gebruikte palmhouten fluitje onderzocht en wel voor de door hem gebruikte tonen c_3 en g_3 .

Het palmhouten fluitje werd voor den geluidstrecter geplaatst en de afstand nagegaan (met het stukje kleefwas), waarop de luchtstromingen niet meer storend werkten. Deze bleek 2 c.M. te bedragen.

Daar de doorsnee van de hoorn 19 cM. is, bedraagt de straal van de bol dus $\sqrt{(\frac{19}{2})^2 \times r^2} = 9.708$ cM.

We kunnen 't geluid, dat op het spiegeltje inwerkt en dat dus door den hoorn is opgenomen, opvatten als op een bolsegment gelegen; vervolgens nemen we voor onze berekening aan, dat geen terugkaatsing van geluid plaats heeft, en dat er evenmin verlies is door wrijving tegen de wanden van den trechter en door overdracht op de omgeving. Vooralsnog is hiervoor geen correctie aan te brengen.

Is R . de straal van de bol; h . de hoogte van het segment, dan is de oppervlakte van 't bolsegment $2 \pi R h$. Het oppervlak van het segment verhoudt zich tot dat van de geheele bol als $h : 2 R$.

Van de aan de pijp toegevoerde energie $v \times p \times 981$, dringt dus $\frac{h}{2R}$ in den hoorn en stroomt dus door de andere opening er weder uit.

De formule van Zernow $E = \frac{6 M.}{D^3 (1 + A \frac{d}{D} + B \frac{d^2}{D^2}) \sin 2 \varnothing}$

heeft betrekking op de energiedichtheid. De uitstrooingsopening heeft een doorsnee van 14 mM., dus een oppervlak van 1.96 cM². Noemen wij dat gedeelte van de toegevoerde

energie, dat in geluidsenergie wordt omgezet k , dan stroomt dus naar 't spiegeltje $k \times \frac{h}{2R} \times v \times p \times 981$.

De voortplantingssnelheid van 't geluid is 33000 cM. per sec., de energiedichtheid, d. i. de hoeveelheid geluidsenergie per cM³. $\frac{1}{33000} \times \frac{1}{1.96} \times k \times \frac{h}{2R} \times v \times p \times 981$ ergs. Deze waarde moet gelijk zijn aan die welke men volgens Zernow's formule vindt.

$$\frac{1}{33000} \times \frac{1}{1.96} \times k \times \frac{h}{2R} \times v \times p \times 981 = \frac{6 M.}{D^2(1 + A \frac{d}{D} + B \frac{d^2}{D^2}) \sin 2 \odot} \\ = 0.045811 \times W.$$

waarin W de afwijking in radialen is. Hieruit is dus de efficiëntie k te berekenen. Om de berekening te vereenvoudigen is in Zernow's formule, de afwijking per radiaal, vervangen door de afwijking per minuut. Voor ons spiegeltje wordt ze dan $1.5526 \times 10^{-5} \times m$, (m = afwijking per minuut).

Bij aandachtige bestudeering van Minkema's stuk en herhaling zijner proeven met zijn armamentarium ben ik op het vermoeden gekomen dat, naar alle waarschijnlijkheid, alle zijne waarden met 2 moeten worden vermenigvuldigd. Zekerheid heb ik dienaangaande niet. Toch ben ik bij de bewerking zijner uitkomsten van deze veronderstelling uitgegaan, daar hierdoor dan tevens extrapolatie overbodig wordt.

Palmhouten fluitje op afstand van 2 cM. van de geluidshoorn.

	p.	v.	$v \times p \times 981$	toegevoerde energiedichtheid in ergs.	Uitslag v. h. spiegeltje in schaaldeelen.	Aantal graden	Energie dichtheid	Efficiëntie
g.	3.4	30	99962	1.2035	5	1°25'33.5"	0.0011394	94×10^{-5}
	5.8	56	318628.8	3.8332	9	2°34'16.5"	0.0020548	53×10^{-5}
	7.8	73	558582.4	6.7199	11	3°8'19"	0.0025093	37×10^{-5}
	9.8	84	807559.2	9.7152	14	3°59'5"	0.0031776	32×10^{-5}
	12.6	103	1273141.8	15.316	17	4°49'26"	0.0038565	25×10^{-5}
Minkema.	2	42.4	83189	2.2757	door intrapolatie gevonden.		0.0015	66×10^{-5}

p.	v.	$v \times p \times 981$	toegevoerde energiedichtheid in ergs.	Uitslag v. h. spiegeltje in schaaldeelen.	Aantal graden	Energie dichtheid	Efficientie	
C_2	8.8	73	630194.4	7.5814	6	1°42'51"	0.0013699	18 $\times 10^{-5}$
	9.2	79	712972.8	8.5792	7	2°0'7.5"	0.0016014	18.6 $\times 10^{-5}$
	13.8	103	1394393.4	16.774	10	2°51'9"	0.0022840	13.6 $\times 10^{-5}$
	18.8	124	2286907.2	27.512	15	4°15'53"	0.0033325	12.3 $\times 10^{-5}$
M.	2.85	53.3	297478	3.6689			0.0006	16 $\times 10^{-5}$

Bij een druk van 13.8 en 18.8 cM. water gaf de fluit geen fraai geluid meer, dit blijkt ook uit de berekende efficiëntie, die hier kleiner is dan bij geringeren druk.

Groote fluit van Edelmann. Afstand tot hoorn 18 cM.

p.	v.	$v \times p \times 981$	toegevoerde energiedichtheid in ergs.	Uitslag van het spiegeltje	Graden.	Berekende energiedichtheid in ergs.	Efficiëntie.	
e_2	2.6	59	150485.4	0.13432	5	1°25'33.5"	0.0011394	84.8 $\times 10^{-4}$
	3	76	223668	0.19963	6	1°42'51"	0.0013699	67 $\times 10^{-4}$
	4.2	92	379058.4	0.33833	10	2°51'16"	0.0022840	65.9 $\times 10^{-4}$
	5.4	104	550929.6	0.49173	14	3°59'5"	0.0031776	64.6 $\times 10^{-4}$
M.	1.31	56.2	144442	0.12892			0.0010	85 $\times 10^{-4}$
g_2	1.8	50.6	89349.48	0.079748	0.5	8'35"	0.00011596	14 $\times 10^{-4}$
	2.2	53	114384.6	0.10209	1	17'11"	0.00022921	22 $\times 10^{-4}$
	2.8	68	187782.4	0.16671	2	34'22.5"	0.00045842	27 $\times 10^{-4}$
	4.8	98	461462.4	0.41188	2.5	42'57.5"	0.00057303	14 $\times 10^{-4}$
M.	1.25	58.1	142490	0.12728			0.00026	20 $\times 10^{-4}$
c_3	1.8	50.6	89349.48	0.079748	0.5	8'35"	0.00011596	14.5 $\times 10^{-4}$
	2.8	68	187782.4	0.16671	1.5	25'46"	0.00034315	20.5 $\times 10^{-4}$
	4.2	88	362577.6	0.32362	1.75	30'4"	0.00039978	12.5 $\times 10^{-4}$
	4.6	98	442234.8	0.39471	2	34'22.5"	0.00045842	11.6 $\times 10^{-4}$
	5.8	111	631567.8	0.56370	2.5	42'57.5"	0.00057303	10.1 $\times 10^{-4}$
M.	1.65	69.4	224668	0.20058			0.00035	17.5 $\times 10^{-4}$

	p.	v.	$v \times p \times 981$	toegevoerde energiedicht- heid in ergs.	Uitslag van het spiegeltje	Graden.	Berekende energiedicht- heid in ergs.	Efficientie.
e_3	3.2	73	229161.6	0.20453	0.5	8'35"	0.00011596	5×10^{-4}
	3.4	76	253490.4	0.22625	1	17'11"	0.00022921	10×10^{-4}
	4.6	96	433209.6	0.38666	5	1°25'33.5"	0.0011394	29×10^{-4}
	5	100	490500	0.43779	7	2°0'7.3"	0.0016007	56×10^{-4}
	6.2	114	693370.8	0.61887	12	3°25'16.5"	0.0027345	44×10^{-4}
	7.8	129	987082.2	0.88100	16	4°32'42.5"	0.0036366	41×10^{-4}
M.	2.62	94.5	484742	0.43265			0.0016	56×10^{-4}
g_3	4.4	94	405741.6	0.36214	1	17'11"	0.00029921	6×10^{-4}
	4.8	96	452044.8	0.40347	2.5	42'57.5"	0.00057303	14×10^{-4}
	5.8	113	642947.4	0.57387	5	1°25'33.5"	0.0011394	19.8×10^{-4}
	6.8	118	787154.4	0.70256	6	1°42'51"	0.0013699	19.4×10^{-4}
	8.2	132	1061834.4	0.94774	12	3°25'16.5"	0.0027345	28.8×10^{-4}
M.	2.51	113.6	559444	0.49932			0.00084	18.7×10^{-4}
a_3	1.8	45	79461	0.070046	1	17'11"	0.00022921	52.7×10^{-4}
	2.8	64	175795.2	0.15691	1.5	25'46"	0.00034315	21.8×10^{-4}
	5.4	104	550929.6	0.49173	2	34'22"	0.00045842	9×10^{-4}
	6.8	117	780383.6	0.69661	3	51'33"	0.0006863	9×10^{-4}
	8.6	136	1147377.6	1.0241	6	1°42'51"	0.0013699	18×10^{-4}
M.	3.93	142.9	1101860	0.98345			0.00125	10×10^{-4}

Kleine fluit van Edelman, afstand tot hoorn 16 cm.

p.	v.	$v \times p \times 981$	toegevoerde energiedichtheid in ergs.	Uitslag van het spiegeltje	Graden.	Berekende energiedichtheid in ergs.	Efficiëntie.
a ₃	4.8	53	249566.4	0.26934	2	34'22"	0.00045842
	5.6	58	318629.8	0.34385	3	51'34"	0.0006863
	8.8	79	626270.4	0.67585	5	1°25'33.5"	0.0011394
	12.2	98	1172883.6	1.2655	12	3°25'16.5"	0.0027345
M.	2.45	63.5	30428.6	0.32837			0.00063

p.	v.	$v \times p \times 981$	toegevoerde energiedichtheid in ergs.	Uitslag van het spiegeltje	Graden.	Berekende energiedichtheid in ergs.	Efficientie.	
a ₄	5.4	58	307249.2	0.33258	1	17'11"	0.00022921	6.8×10^{-4}
	8.2	73	587229.6	0.63373	3	51'34"	0.0006863	10.8×10^{-4}
	10.8	89	942937.2	1.0176	8	2°17'13"	0.0018283	17.9×10^{-4}
	11.4	94	1051239.6	1.1345	10	2°51'19"	0.0022840	20.1×10^{-4}
	12.8	100	1255680	1.3551	18	5°6'7"	0.0040791	30.1×10^{-4}
	13.8	106	1435006.8	1.5486	24	6°44'46"	0.0053936	34.8×10^{-4}
	14.8	110	1597068	1.7235	35	9°38'12.5"	0.0075718	45.9×10^{-4}
	15.6	113	1729316.8	1.8647	42	11°23'28.5"	0.0091084	48.8×10^{-4}
	17.8	120	2095416	2.2613	55	14°24'19"	0.011517	50.9×10^{-4}
M.	2.68	62.5	328636	0.55465			0.00026	7×10^{-4}
c ₄	5.2	56	285667.2	0.30828	2	34'22"	0.00045842	14.8×10^{-4}
	6.4	62	388260.8	0.42008	5	1°25'30.5"	0.0011394	21.5×10^{-4}
	7.8	73	558581.4	0.60882	10	2°51'16"	0.0022840	37.8×10^{-4}
	8.4	76	626270.4	0.67585	14	3°59'5"	0.0031776	47×10^{-4}
	13.4	104	1367121.6	1.4753	31	8°36'42"	0.0068856	46.6×10^{-4}
M.	2.74	64.1	344586	0.37188			0.00074	19.8×10^{-4}
e ₄	6.8	64	426931.2	0.46054	2	34'22"	0.00045442	10×10^{-4}
	7.8	73	558581.4	0.60282	5	1°25'33.5"	0.0011394	19×10^{-4}
	9.8	84	807559.2	0.87150	9	2°34'16.5"	0.0020548	23.5×10^{-4}
	13.8	106	1435006.8	1.5486	14	3°59'5"	0.0031776	20×10^{-4}
	14.8	110	1597068	1.7235	12	3°25'16.5"	0.0027345	15.8×10^{-4}
M.	2.91	64.9	370544	0.39988			0.00024	6×10^{-4}
g ₄	7.6	70	521892	0.56331	4	1°8'43"	0.0009155	16×10^{-4}
	9.2	79	712990.8	0.76943	5.5	1°34'26"	0.0012579	16.5×10^{-4}
	11.2	94	1032796.8	1.1146	20	5°39'17.5"	0.0049213	44×10^{-4}
	12.2	96	1148947.2	1.2389	32	8°53'20"	0.0071066	57×10^{-4}
	14.2	106	1476601.2	1.5937	42	11°23'28.5"	0.0091084	57×10^{-4}
	17.8	118	2060492.4	2.2236	57	14°50'29"	0.011867	45×10^{-4}
M.	2.79	63.5	346508	0.37393			0.00058	15×10^{-4}

*) Uit bovenstaande waarden blijkt dat de efficientie over 't algemeen genomen gelijkmatig toeneemt, tot op 't oogenblik dat de pijp boventonen gaat geven.

	p.	v.	$v \times p \times 981$	toegevoerde energiedicht- heid in ergs.	Uitslag van het spiegeltje	Graden.	Berekende energiedicht- heid in ergs.	Efficientie.
e_3	3.2	73	229161.6	0.20453	0.5	8'35"	0.00011596	5×10^{-4}
	3.4	76	253490.4	0.22625	1	17'11"	0.00022921	10×10^{-4}
	4.6	96	433209.6	0.58666	5	1°25'33.5"	0.0011394	29×10^{-4}
	5	100	490500	0.43779	7	2°0'7.3"	0.0016007	56×10^{-4}
	6.2	114	693370.8	0.61887	12	3°25'16.5"	0.0027345	44×10^{-4}
	7.8	129	987082.2	0.88100	16	4°32'42.5"	0.0056366	41×10^{-4}
M.	2.62	94.5	484742	0.43265			0.0016	56×10^{-4}
g_3	4.4	94	405741.6	0.56214	1	17'11"	0.00029921	6×10^{-4}
	4.8	96	452044.8	0.40347	2.5	42'57.5"	0.00057303	14×10^{-4}
	5.8	115	642947.4	0.57387	5	1°25'33.5"	0.0011394	19.8×10^{-4}
	6.8	118	787154.4	0.70256	6	1°42'51"	0.0013699	19.4×10^{-4}
	8.2	132	1061834.4	0.94774	12	3°25'16.5"	0.0027345	28.8×10^{-4}
M.	2.51	115.6	559444	0.49932			0.00084	18.7×10^{-4}
a_3	1.8	45	79461	0.070046	1	17'11"	0.00022921	32.7×10^{-4}
	2.8	64	175795.2	0.15691	1.5	25'46"	0.00034315	21.8×10^{-4}
	5.4	104	550929.6	0.49175	2	34'22"	0.00045842	9×10^{-4}
	6.8	117	780383.6	0.69661	3	51'33"	0.0006863	9×10^{-4}
	8.6	136	1147377.6	1.0241	6	1°42'51"	0.0013699	18×10^{-4}
M.	3.95	142.9	1101860	0.98345			0.00125	10×10^{-4}

Kleine fluit van Edelmann, afstand tot hoorn 16 cm.

p.	v.	$v \times p \times 981$	toegevoerde energiedichtheid in ergs.	Uitslag van het spiegeltje	Graden.	Berekende energiedichtheid in ergs.	Efficientie.	
a ₃	4.8	53	249566.4	0.26934	2	34'22"	0.00045842	17×10^{-4}
	5.6	58	518629.8	0.54385	3	51'34"	0.0006863	19.9×10^{-4}
	8.8	79	626270.4	0.67585	5	1°25'33.5"	0.0011394	16.8×10^{-4}
	12.2	98	1172883.6	1.2655	12	3°25'16.5"	0.0027345	21.6×10^{-4}
M.	2.45	63.3	30428.6	0.32837			0.00063	19×10^{-4}

p.	v.	$v \times p \times 981$	toegevoerde energiedichtheid in ergs.	Uitslag van het spiegeltje	Graden.	Berekende energiedichtheid in ergs.	Efficientie.	
a ₁	5.4	58	507249.2	0.53258	1	17'11"	0.00022921	6.8×10^{-4}
	8.2	73	587229.6	0.63373	3	51'34"	0.0006863	10.8×10^{-4}
	10.8	89	942937.2	1.0176	8	2°17'13"	0.0018283	17.9×10^{-4}
	11.4	94	1051239.6	1.1345	10	2°51'19"	0.0022840	20.1×10^{-4}
	12.8	100	1255680	1.3551	18	5°6'7"	0.0040791	30.1×10^{-4}
	13.8	106	1435006.8	1.5486	24	6°44'46"	0.0053936	54.8×10^{-4}
	14.8	110	1597068	1.7235	35	9°38'12.5"	0.0075718	43.9×10^{-4}
	15.6	113	1729316.8	1.8647	42	11°23'28.5"	0.0091084	48.8×10^{-4}
	17.8	120	2095416	2.2613	55	14°24'19"	0.011517	50.9×10^{-4}
M.	2.68	62.5	328636	0.55465			0.00026	7×10^{-4}
c ₁	5.2	56	285667.2	0.50828	2	34'22"	0.00045842	14.8×10^{-4}
	6.4	62	388260.8	0.42008	5	1°25'30.5"	0.0011394	21.5×10^{-4}
	7.8	73	558581.4	0.60882	10	2°51'16"	0.0022840	37.8×10^{-4}
	8.4	76	626270.4	0.67585	14	3°59'5"	0.0031776	47×10^{-4}
	13.4	104	1367121.6	1.4753	31	8°36'42"	0.0068856	46.6×10^{-4}
M.	2.74	64.1	344586	0.57188			0.00074	19.8×10^{-4}
e ₁	6.8	64	426931.2	0.46054	2	34'22"	0.00045442	10×10^{-4}
	7.8	73	558581.4	0.60282	5	1°25'33.5"	0.0011394	19×10^{-4}
	9.8	84	807559.2	0.87150	9	2°34'16.5"	0.0020548	23.5×10^{-4}
	13.8	106	1435006.8	1.5486	14	3°59'5"	0.0031776	20×10^{-4}
	14.8	110	1597068	1.7235	12	3°25'16.5"	0.0027345	15.8×10^{-4}
M.	2.91	64.9	370544	0.39988			0.00024	6×10^{-4}
g ₁	7.6	70	521892	0.56331	4	1°8'43"	0.0009155	16×10^{-4}
	9.2	79	712990.8	0.76943	5.5	1°34'26"	0.0012579	16.5×10^{-4}
	11.2	94	1032796.8	1.1146	20	5°39'17.5"	0.0049213	44×10^{-4}
	12.2	96	1148947.2	1.2389	32	8°55'20"	0.0071066	57×10^{-4}
	14.2	106	1476601.2	1.5937	42	11°23'28.5"	0.0091084	57×10^{-4}
	17.8	118	2060492.4	2.2236	57	14°50'29"	0.011867	43×10^{-4}
M.	2.79	63.5	346508	0.37393			0.00058	15×10^{-4}

*) Uit bovenstaande waarden blijkt dat de efficientie over 't algemeen genomen gelijkmatig toeneemt, tot op 't oogenblik dat de pijp boventonen gaat geven.

Nemen wij de dubbele waarden van Minkema, na correctie, uit zijn tabel (tabel IV bladz. 26) over, dan krijgen wij het volgende :

Geluidsbron.	Geluidsenergie op de hoorgrens per sec. per cm^2 in 10^{-8} in ergs.	Geluidsenergie op de hoorgrens op het trommelvies per noodige trill. in 10^{-8} ergs.	Uitgedrukt in 10^{-12} ergs.
Palmhouten pijp c_2	$2 \times 5921 \times 16 \times 10^{-5} = 1.894$	$2 \times 3.85 \times 16 \times 10^{-5} = 0.00125$	12
g_2	$2 \times 7457 \times 6.7 \times 10^{-5} = 0.981$	$2 \times 6.44 \times 6.7 \times 10^{-5} = 0.0006$	8
Groote Edelman g_2	$2 \times 5596 \times 20 \times 10^{-4} = 21.584$	$2 \times 4.68 \times 20 \times 10^{-4} = 0.0187$	187
e_2	$2 \times 3555 \times 85 \times 10^{-4} = 60.401$	$2 \times 5.69 \times 85 \times 10^{-4} = 0.627$	627
c_3	$2 \times 4256 \times 17.5 \times 10^{-4} = 14.896$	$2 \times 2.77 \times 17.5 \times 10^{-4} = 0.0097$	97
e_3	$2 \times 2549 \times 56 \times 10^{-4} = 16.912$	$2 \times 1.19 \times 56 \times 10^{-4} = 0.0085$	85
g_3	$2 \times 5681 \times 18.7 \times 10^{-4} = 21.246$	$2 \times 2.46 \times 18.7 \times 10^{-4} = 0.0092$	92
a_3	$2 \times 4856 \times 10 \times 10^{-4} = 9.712$	$2 \times 1.89 \times 10 \times 10^{-4} = 0.0057$	57
Kleine Edelman a_3	$2 \times 1514 \times 19 \times 10^{-4} = 5.755$	$2 \times 0.59 \times 19 \times 10^{-4} = 0.0022$	22
c_4	$2 \times 1075 \times 19.8 \times 10^{-4} = 4.042$	$2 \times 0.55 \times 19.8 \times 10^{-4} = 0.0015$	15
e_4	$2 \times 1457 \times 6 \times 10^{-4} = 1.748$	$2 \times 0.57 \times 6 \times 10^{-4} = 0.0004$	4
g_4	$2 \times 1492 \times 15 \times 10^{-4} = 4.476$	$2 \times 0.52 \times 15 \times 10^{-4} = 0.0009$	9
a_4	$2 \times 2405 \times 7 \times 10^{-4} = 5.564$	$2 \times 0.47 \times 7 \times 10^{-4} = 0.0007$	7

Afstandswet.

Algemeen wordt aangenomen, dat buiten in het vrije veld op grooter afstand dan 7 M. de geluidsterkte afneemt evenredig met het kwadraat van den afstand. Dit laat zich theoretisch verklaren wanneer men aanneemt, dat het geluid zich volgens een boloppervlak voortplant; immers de oppervlakte der beide bollen verhouden zich als de kwadraten der stralen. Dat het geluid werkelijk evenredig is met het kwadraat van den afstand onder de genoemde omstandigheden, is o.a. door Wien bewezen.

Men moet hiervoor echter op een geheel vrij veld zijn, waar dus geen terugkaatsing is van boomen, huizen enz.; bovendien moet het absoluut windstil zijn.

Door de oorartsen wordt aangenomen, dat binnenskamers het geluid afneemt niet evenredig met de tweede macht, maar met de enkele macht van den afstand.

Op verschillende wijzen en in verschillende vertrekken is door mij nagegaan in hoever deze veronderstelling als juist mag worden aangenomen. Wij splitsen onze onderzoekingen in drie reeksen:

- 1°. die met microfoon en snaargalvanometer.
- 2°. die met telefoon en snaargalvometer.
- 3°. die met schijfje van Lord Rayleigh.

Onderzoek met microfoon en snaargalvanometer.

De proeven werden genomen in de collegekamer van het laboratorium. Stoelen en tafels waren hieruit verwijderd, alleen bleven een paar glazen kasten in het vertrek staan, die echter behangen werden met stukken doek, zoodat hier dus niet veel terugkaatsing plaats vond. Een andere reeks proeven werd verricht in een gemeubelde kamer, bovendien had deze nog het voordeel, dat men haar door een paar schuifdeuren kon ver-

grooten, en aldus dezelfde proeven in de „vergroote kamer” kon herhalen en met de eerste vergelijken. Als geluidsbronnen werden verschillende looden orgelpijpen gebruikt; uitsluitend werden die pijpen gebruikt, welke op een afstand van 3 en 4 M. een goed afleesbaren uitslag van de snaar te zien gaven. Een orgelpijp of andere fluit heeft dit voordeel boven het geluid der menschelijke stem, dat men het geluid steeds even sterk kan nemen. Spreekt men daarentegen eenige malen „a” en gaat men na met microfoon of beter nog met het schijfje van Rayleigh, of de snaaruitslagen resp. de afwijking van het spiegelbeeldje dezelfde zijn, dan ziet men, dat dit lang niet altijd het geval is, ook al meent men met dezelfde intensiteit gesproken te hebben.

De geluidsbron werd resp. op 1, 2, 3 en 4 M. van den microfoon geplaatst. Dit is beter, dan dat men den microfoon verplaatst. Juist door die verplaatsing verandert men de gevoeligheid en worden de uitkomsten dus minder betrouwbaar.

Om te controleeren of de microfoon tijdens elke waarneming niet van gevoeligheid veranderde, werd voor en na elke waarneming een andere fluit ter contrôle aangeblazen; natuurlijk werd gezorgd, dat dit onder steeds gelijken druk geschiedde. Bij de eerste oriënteerende proeven bleek, dat de gevoeligheid van den microfoon vooral dan wisselde, wanneer het controlefluitje een anderen toon gaf, dan de te onderzoeken toon der geluidsbron; en dat de gevoeligheid dan juist het meest constant was, wanneer beide tonen dezelfde waren. Dit hangt hoogstwaarschijnlijk hiermede samen, dat dan de stand der kooldeeltjes veranderde en als het ware ingesteld werd op den anderen toon.

Beide fluiten werden dus zoo gekozen, dat zij denzelfden toon gaven. Als contrôle namen wij een gedekt palmhouten fluitje van König. Hiervan was gemakkelijk de toonhoogte te bepalen. Beiden werden op 't gehoor op elkaar gestemd.

Het palmhouten fluitje werd nu zoo opgesteld, dat het een goed afleesbaren snaaruitslag gaf. Deze uitslag was dan ons uitgangspunt, hierop werden alle waarnemingen teruggebracht en gecorrigeerd. Was bij voorbeeld bij eene waarneming de snaaramplitude bij 't aanblazen van het controlefluitje grooter

of kleiner geworden, dan werd hiervan het gemiddelde genomen en was de uitslag voor onze waarneming met de orgelpijp het vergelijkingspunt. Wij nemen hierbij voor onze berekening aan, dat de gevoeligheid van den microfoon geleidelijk veranderd was.

cis_2

Afstand van fluit tot microfoon 1 M.				Afstand van fluit tot microfoon 2 M.				Afstand van fluit tot microfoon 3 M.			
Snaaruitsl. contr.fluit	Orgelpijp	Contr.fluit	Gecorrig. waarde.	Snaaruitsl. contr.fluit	Orgelpijp	Contr.fluit	Gecorrig. waarde.	Snaaruitsl. contr.fluit	Orgelpijp	Contr.fluit	Gecorrig. waarde.
1	4	1	4	1	1½	1	2.57	1	1	1	0.57
1	4	1		¾	2¼	1		1	1	1	
1	3½	¾		1	2	1		½	½	¾	
1	4	1		1	2½	1		1	¾	1	
1	4	1	3.42	1	1	¾	1.14	¾	½	¾	0.65
1	4	1		1	1½	1		1	1	1	
1	3	¾		1	1½	1		1	1	1	
¾	2	¾		1	1½	1		1	1	1	
1	4	1	2.66	¾	2	1	2.28	¾	1	1	1.14
1	4	1		1	2	1		½	½	¾	
Gemidd. 5.808				Gemidd. 2.049				Gemidd. 0.82			

a_2

Afstand 1 M.				Afstand 2 M.				Afstand 3 M.			
Contr.fluit	Orgelpijp	Contr.fluit	Gecorrig. waarde.	Contr.fluit	Orgelpijp	Contr.fluit	Gecorrig. waarde.	Contr.fluit	Orgelpijp	Contr.fluit	Gecorrig. waarde.
1	2½	1	2.27	1	1¾	1	1.11	1	½	1	0.66
1	3	1		1	2	1		1	¾	1	
1	3¼	1		1	2½	1		¾	½	¾	
¾	2¼	1		1	1½	1		1	1	1	
¾	3	1	3.45	1¼	1½	1	1.60	1	¾	1	0.75
1	3	1	1¾	2	1½	¾		¾	1		
1	3	1	1	2	1	1		1	1		
1¼	3¼	1½	2.36	1	1¾	1		1¼	1	1	
1	3	1		¾	1¾	1	2	1	1	1	
1	5	1		1	2	1		1	1	1	
Gemidd. 2.911				Gemidd. 1.796				Gemidd. 0.851			

Afstand 1 M.				Afstand 2 M.				Afstand 3 M.			
Contr.fluit	Orgelpijp	Contr.fluit	Gecorrig. waarde.	Contr.fluit	Orgelpijp	Contr.fluit	Gecorrig. waarde.	Contr.fluit	Orgelpijp	Contr.fluit	Gecorrig. waarde.
2	4	2		2	1½	2		2	1½	2	
2	4	2		2	2	2		2	1½	2	
2	4¼	2		1¾	2	1¾	2.28	2	1¾	2	
2¼	5	2	4.75	2	1¾	2		2	1½	2	
2	5	1¾	5.53	2	2	2		1¾	1½	1¾	1.71
2	4.5	2		2¼	2	2	1.88	2	1½	2	
2	4.5	2		2	1½	2		1½	1	2	1.34
2	4.5	2		2¼	2	1¾		1½	1	1½	1.33
1¾	4	1¾	4.57	2	2	2		2	1¾	2	
2	4	2		2	2	2		2	1¼	2	
Gemidd. 4.455.				Gemidd. 1.891.				Gemidd. 1.518.			

Om de juiste vergelijking van energie-hoeveelheid op 1, 2 en 3 M. te vinden, moet men nog deze waarden verheffen tot een macht met den exponent, 0.69.

Voor c_{is_2} op 1 M. $3.808^{0.69}$; op 2 M. $2.049^{0.69}$; op 3 M. $0.820^{0.69}$
 a_2 op 1 M. $2.911^{0.69}$; op 2 M. $1.796^{0.69}$; op 3 M. $0.831^{0.69}$
 g_2 op 1 M. $4.455^{0.69}$; op 2 M. $1.891^{0.69}$; op 3 M. $1.518^{0.69}$

Dit wordt voor:

c_{is_2} op 1 M. 2.5258; op 2 M. 1.6404; op 3 M. 0.8720
 a_2 op 1 M. 2.0901; op 2 M. 1.4978; op 3 M. 0.88009
 g_2 op 1 M. 2.6813; op 2 M. 1.5520; op 3 M. 1.459

Uit deze getallen blijkt dus dat 't geluid niet evenredig met den afstand afneemt, maar dat die afname in sterkte zeer verschillend is voor de plaatsen, die men vergelijkt, en voor de geluidsbron, die men gebruikt.

Behalve deze serie proeven is, gelijk gezegd, nog een reeks proeven gedaan, in een kamer, die het voordeel had, dat men haar kan vergrooten door de schuifdeuren open te maken. Achtereenvolgens werden de pijpen op 1, 2, 3 en 4 M. geplaatst. Op 4 M. stonden zij bijna vlak tegen den achterwand aan, wanneer de deuren dicht waren. De opstelling was dezelfde, terwijl op dezelfde manier als boven de correctie werd aangebracht.

Kleine Kamer. Schuifdeur dicht. d_2 .

Afstand 1 M.				Afstand 2 M.				Afstand 3 M.				Afstand 4 M.			
Contrôlefluit	Orgelpijp	Contrôlefluit	Gecorrig. waarde.	Contrôlefluit	Orgelpijp	Contrôlefluit	Gecorrig. waarde.	Contrôlefluit	Orgelpijp	Contrôlefluit	Gecorrig. waarde.	Contrôlefluit	Orgelpijp	Contrôlefluit	Gecorrig. waarde.
3	4	3		3	3	3		3	3	3		3	1	3	0.92
3	4	3		3	$2\frac{1}{2}$	3		3	$3\frac{1}{2}$	3		$3\frac{1}{2}$	1	3	
$3\frac{1}{2}$	4	$3\frac{1}{2}$	3.45	$3\frac{1}{2}$	3	3	2.77	3	$3\frac{1}{2}$	3		3	1	3	
3	4	3		3	$2\frac{3}{4}$	3		3	3	3		3	1	3	
3	4	3		3	$2\frac{3}{4}$	3		$2\frac{1}{2}$	$2\frac{1}{2}$	$2\frac{1}{2}$	3.27	$2\frac{3}{4}$	1	3	1.04
$2\frac{1}{2}$	3	$2\frac{1}{2}$	3.6	3	$2\frac{1}{2}$	3		$2\frac{1}{2}$	3	3	3.25	3	1	3	
3	4	3		$2\frac{3}{4}$	$2\frac{1}{2}$	$2\frac{3}{4}$	2.72	3	3	3		3	1	3	
3	$3\frac{3}{4}$	3		3	$2\frac{3}{4}$	3		3	$3\frac{1}{4}$	3		3	$\frac{3}{4}$	3	
3	4	3		3	$2\frac{3}{4}$	3		$2\frac{1}{2}$	$2\frac{3}{4}$	3	3	$2\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	$2\frac{3}{4}$	0.81
$3\frac{1}{2}$	4	$3\frac{1}{2}$	3.43	3	3	3		3	3	3		3	1	3	
Gemidd. 3.821				Gemidd. 2.749				Gemidd. 3.152				Gemidd. 0.952			

We zien dus dat 't geluid op 2 M. zwakker is dan op 1 M., daarentegen op 3 M. sterker dan op 2 M. Blijkbaar vormen zich dus in een vertrek knopen en buiken en was op 3 M. juist zoo'n buik aanwezig.

Vervolgens werden de schuifdeuren geopend en dezelfde reeks herhaald.

Contrôlefluit	Orgelpijp	Contrôlefluit	Gecorrig. waarde.	Contrôlefluit	Orgelpijp	Contrôlefluit	Gecorrig. waarde.	Contrôlefluit	Orgelpijp	Contrôlefluit	Gecorrig. waarde.	Contrôlefluit	Orgelpijp	Contrôlefluit	Gecorrig. waarde.
3	4	3		3	3	3		3	$1\frac{1}{2}$	3		$2\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	$2\frac{1}{2}$	0.57
3	$4\frac{1}{4}$	3		3	2	$2\frac{1}{2}$	3.27	3	$1\frac{1}{2}$	3		3	$\frac{1}{2}$	3	
3	4	$3\frac{1}{2}$	3.92	3	$2\frac{1}{2}$	3		3	$1\frac{1}{2}$	3		3	$\frac{1}{2}$	3	
3	3	3		3	$2\frac{1}{2}$	3		3	$1\frac{1}{4}$	3		3	$\frac{3}{4}$	3	
$3\frac{1}{4}$	4	$3\frac{1}{4}$	3.69	$2\frac{3}{4}$	2	3	2.09	$2\frac{1}{2}$	1	3	1.09	3	1	3	
3	4	3		$2\frac{1}{2}$	2	$2\frac{1}{2}$	3	$2\frac{3}{4}$	1	3	1.04	3	$\frac{1}{2}$	$2\frac{1}{2}$	0.54
$2\frac{3}{4}$	3	3	3.1	3	3	3		$2\frac{3}{4}$	1	$2\frac{3}{4}$	1.09	3	$\frac{1}{2}$	2	0.6
3	4	3		$2\frac{1}{2}$	2	$2\frac{1}{2}$	2.4	3	$1\frac{1}{4}$	3		3	$\frac{3}{4}$	3	
3	4	3		3	3	3		3	1	3		3	$\frac{1}{2}$	3	
3	4	$2\frac{1}{2}$	4.36	3	3	3		3	1	3		$2\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	2	
Gemidd. 3.832				Gemidd. 2.776				Gemidd. 1.222				Gemidd. 0.529			

We zien nu dat de buik, op 5 M. afstand van de geluidsbron verdwenen is, het geluid neemt nu weer in intensiteit af, mogelijk is het (of liever hoogstwaarschijnlijk) dat nu een buik op een andere plaats is ontstaan. We hadden haar kunnen vinden door geleidelijk de geluidsbron van den microfoon te verwijderen en de snaaruitslagen af te lezen. Echter juist met den microfoon als hulpmiddel zijn wij er niet geheel zeker van, of deze groote uitslag niet zijn oorsprong vindt in de wispelturigheid van den microfoon of in een buik. We zouden dus een zeer groote reeks bepalingen moeten doen. Dit wordt wel wat omslachtig. Veel eenvoudiger is 't daarom de microfoon te vervangen door den telefoon en een zeer sterke geluidsbron te nemen. In elk geval leeren ons deze twee reeksen, dat deze buik op 5 M. afstand van de geluidsbron gevonden, haren oorsprong vindt, niet in interferentie van geluidsgolven, van de pijp uitgaande, maar in terugkaatsing op de wanden van 't vertrek; immers, verandert men de localiteit, dan verandert men op die bepaalde plaats ook de geluidssterkte.

b. Proeven met telefoon.

Juist omdat de gevoeligheid van den telefoon niet zeer groot is moeten we een zeer sterke geluidsbron nemen, zoodat deze op afstand nog duidelijke uitslagen aan de snaar geeft. De telefoon wordt dus op de gewone manier met den snaargalvanometer verbonden. Als geluidsbron werd een misthoorn genomen; deze geeft een intensief geluid. Zij werd niet met den mond aangeblazen, maar direct verbonden met de persluchtleiding. De telefoon werd op eenigen afstand opgesteld en vervolgens verplaatst, telkens werden de afstanden en de daarbij behorende snaaruitslagen gemeten.

Het verplaatsen van den telefoon is hier veel gemakkelijker, dan 't verplaatsen van de geluidsbron; dit heeft hier ook geen bezwaar, want de gevoeligheid van den telefoon verandert hierdoor niet, zooals enkele contrôleproeven ons leerden.

We behoeven hier dus ook geen contrôlefluit te gebruiken. Er werden 4 reeksen bepalingen gedaan in de collegekamer;

bij de eerste drie waren de ramen gesloten, bij de vierde reeks werden de ramen geopend.

Afstand van hoorn tot telefoon in cM.	Uitslag van de snaar,	Afstand van hoorn tot telefoon in cM.	Uitslag van de snaar.	Afstand van hoorn tot telefoon in cM.	Uitslag van de snaar.	Uitslag van de snaar.
2.90	2	2.85	$\frac{1}{2}$	2.87	1	1
3.00	$2\frac{1}{2}$	2.95	$1\frac{1}{2}$	3.04	2	2
3.20	5	3.05	$\frac{1}{2}$	3.20	?	1
3.30	?	3.12	$\frac{1}{2}$	3.38	2	1
3.41	5	3.19	?	3.54	5	?
3.48	$2\frac{1}{2}$	3.29	1	3.72	2	5
3.58	2	3.46	1	3.95	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{2}$
3.64	$1\frac{1}{2}$	3.63	1	4.10	1	1
3.71	2	3.85	$\frac{1}{2}$	4.21	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{2}$
3.76	$1\frac{1}{2}$	4.05	$\frac{3}{4}$	4.32	1	$\frac{1}{2}$
3.83	1	4.25	1	4.53	2	2
3.91	$\frac{1}{2}$	4.43	0	4.75	1	1
4.05	1					
4.20	2					
4.31	$2\frac{1}{2}$					
4.40	2					
4.47	$1\frac{1}{2}$					
4.55	1					
4.63	$\frac{1}{2}$					

Daar de hoeveelheid lucht, die de misthoorn gebruikt, zeer groot is, moest voortdurend lucht worden bijgepompt. Niettegenstaande dit, was zooals bleek uit den stand van den manometer op 't reservoir, de druk in 't laatste gedeelte der tweede reeks gedaald. In de overige drie reeksen was de druk constant gehouden. De vierde reeks is een herhaling der derde reeks met dit verschil, dat nu de ramen geopend waren. Op sommige plaatsen was de snaaruitslag niet af te lezen; dit is aangeduid door een vraagteken, in de curve hebben we dit, om een overzicht te krijgen, door een pijltje aangeduid.

Uit de curven blijkt dus, dat op ongeveer bepaalde, regelmatige plaatsen in 't vertrek een buik aanwezig was; ook knopen zijn te zien evenwel niet zoo duidelijk als de buiken. Vergelijkt men de beide laatste curven, dan ziet men dat de buik zich heeft verplaatst, ten gevolge van de veranderde uitwendige omstandigheden.

We mogen hieruit dus concludeeren, dat zich in een vertrek knopen en buiken vormen, naar gelang de afmetingen van 't vertrek. Zij ontstaan door terugkaatsing van 't geluid op wanden en aanwezige voorwerpen. Van een afstandswet kan dus geen sprake zijn. (Zie figuur 1.)

c. Een derde reeks waarnemingen werd verricht met het schijfje van Rayleigh.

De pijp, die de te onderzoeken toon gaf werd telkens eenige cM. van de opvanghoorn verwijderd. De daarbij behorende uitslagen werden afgelezen. We kunnen dus zien hoeveel malen 't geluid op de eene plaats sterker is dan op een andere plaats. Aldus kunnen we, als zij er zijn, knopen en buiken op 't spoor komen. Het schijfje van Rayleigh, waarmede deze proeven verricht zijn, is niet rond maar vierkant. We kunnen dus de absolute berekeningen niet maken, wel de relatieve. Immers de formule van Zernov geldt alleen voor een rond spiegeltje. De absolute waarden boezemen ons echter weinig belang in, daar 't hier toch maar een vergelijking geldt.

Het spiegeltje stond onder een horizontalen hoek van 45° met de richting der geluidsgolven; afstand van 't spiegeltje tot den nulstand op 't scherm is 2 M. 60. Als pijp werd gebruikt een open orgelpijp, d_2 . De druk was constant, 50 cM. water.

Uitslag van het spiegeltje in schaaldeelen.	Afstand van pijp tot opvangtrechter in cM.
10	285
5	270
11	255
6	239
15	215
1	200
11	182
2	165
6.5	159
8	154

Op 2 M. is een knoop, op 1 M. 65 weer een; uitslagen resp. 1 en 2. Dit waren op die plaatsen de minimum-uitslagen.

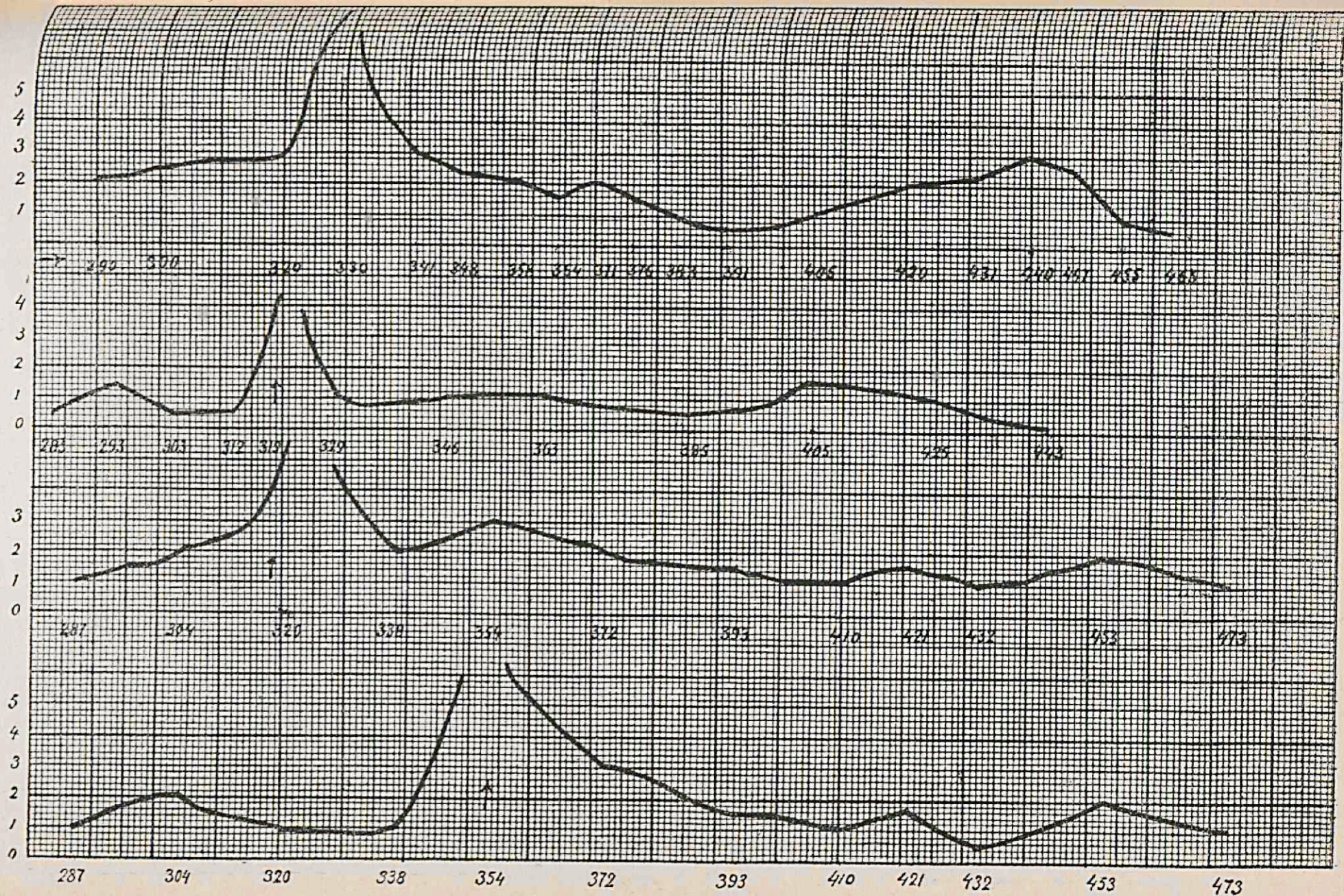
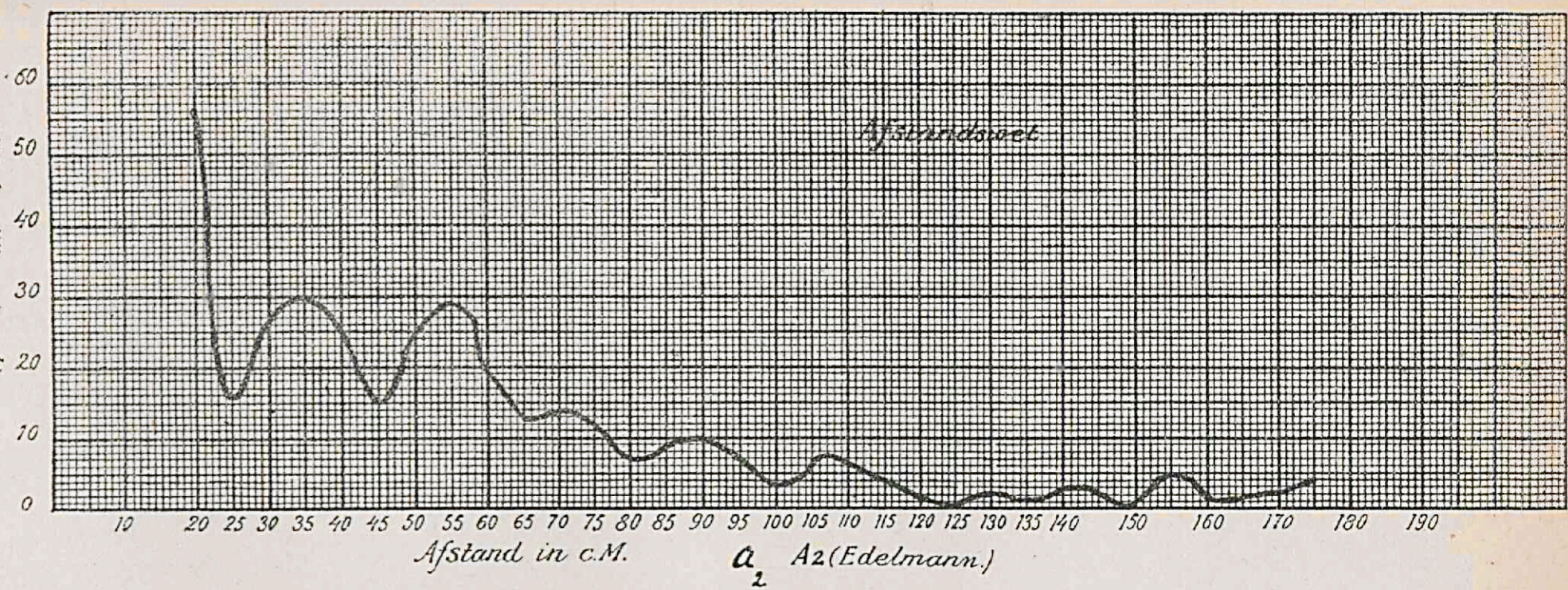


Fig. 1.

Proeven met misthoorn.

Uitslag $\frac{1}{4}$ h. spiegeltje.



Uitslag $\frac{1}{4}$ h. spiegeltje.

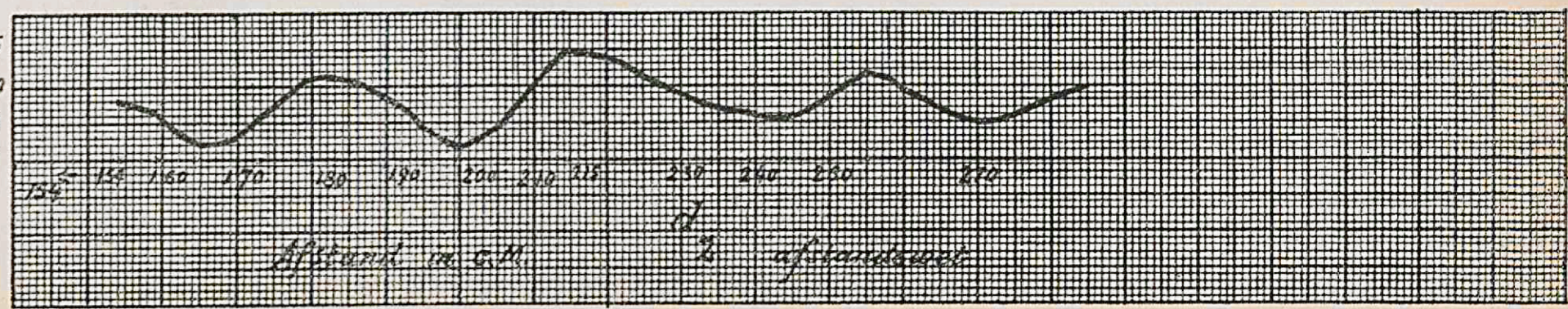


Fig. 2.

Door de fluit een weinig te verplaatsen, wat dichterbij of verder af, kon geen kleiner uitslag verkregen worden, maar werden de uitslagen van 't spiegelbeeldje wel grooter.

Een andere reeks bepalingen werd met een gedekte fluit verricht en wel a_2 van de groote fluit van Edelmann. (Fig. 2).

Afstand van fluit tot opvangtrechter in cM.	Uitslag van 't spiegelbeeldje in schaaldeelen.
175	4
170	2
165	1
160	1
155	5
153	1
149	0
141	5
135	1
130	2
125	0
120	1
115	4
110	6
105	7
100	5
95	7
90	9
85	9
80	7
75	12
70	14
65	13
60	20
55	29
50	24
45	15
40	25
35	30
30	26
25	16
20	56

De knopen en buiken beletten het opstellen van een afstandswet. In de hoop deze stoornis te ontgaan is ten slotte getracht de afstandswet, buiten, na te gaan. Hiertoe werd uitgekozen het platte dak van 't laboratorium. Slechts op grooten afstand bevinden zich huizen, waar de geluidsgolven zouden kunnen terugkaatsen, aan eene zijde bevond zich een schuin dak. Het

toestel van Rayleigh werd nu zoo geplaatst, dat van de eventueel op dit schuine dak teruggekaatste geluidsgolven, geen enkele in de toevoerbuis naar 't spiegeltje kon worden opgenomen.

Als geluidsbron werd een orgelpijp d, genomen, dezelfde die in de collegekamer gebruikt is. Tot waarborg voor gelijkmatige toon was wederom een manometer ingeschakeld. Op een windstillen avond zijn de proeven verricht. Het resultaat is echter zeer onbetrouwbaar. De geringste luchtbeweging deed zich reeds op 't spiegeltje gelden. Wel kregen wij den indruk, dat tijdens een windstoot de uitslager kleiner werden. Het geluid wordt als het ware door den wind meegenomen. Om juiste waarnemingen te kunnen verrichten zouden we ook ons op veel grooter afstand van het toestel van Rayleigh moeten begeven met onze geluidsbron, doch reeds op ± 50 cM. was de uitslag 0. Bovendien geldt bij deze proeven op zoo'n korten afstand van het toestel van Rayleigh de storende invloed door den opvangtrechter teweeg gebracht en de bezwaren van het in rekening brengen van het afgesneden bolsegment. Ook nu weer kunnen wij de afstandswet niet toetsen.

Intusschen, de tot nu toe verrichte proeven hadden plaats met eenvoudige geluidsbronnen (nl. orgelpijpen). Daarom werd een andere reeks proeven over de afstandswet verricht met de menschelijke stem. Hiervoor werd een klinker gekozen, die ook op afstand eenen grooten uitslag aan het schijfje van Rayleigh mededeelde. Het geschiktst hiervoor is a. Zooals men weet bestaat de klinker uit verschillende partieele tonen.

Op verschillende afstanden van de hoorn werd door den onderzoeker a gesproken en de uitslagen van 't schijfje afgelezen. Zooveel mogelijk werd getracht de a met dezelfde intensiteit uit te spreken. Een maatstaf hiervoor bezitten we niet; het oordeel is geheel subjectief. Dit bleek ook duidelijk wanneer men de proeven herhaalde; de uitkomsten verschilden dan van de vorige bepalingen. Om dus een „a” steeds met dezelfde intensiteit te doen klinken, werd een ander middel te baat genomen. De a werd namelijk gesproken in een fonograaf, en deze weergegeven. Men had dus nu een „a”, die met dezelfde inten-

siteit werd gesproken, en men kon den afstand nauwkeurig regelen. De ijzermassa van het toestel had zeer weinig invloed; men bedenke dat de fonograaf een versterkingshoorn bezit en dus het toestel zelf zich toch nog op grooten afstand van het schijfje bevindt.

Voor de a vonden wij de volgende waarden:

Afstand tusschen beide hoorns in cM.	Uitslagen van het spiegeltje in schaaldeelen.		Na correctie.
28	15 15	gem. 15	15
33	11 13	12	12.2
36	11 11	11	11.48
43	9 9	9	9.6
48	7 7	7	7.7
53	6 6	6	6.75
58	5 4	4.5	5.2
63	4 4	4	4.7
68	4 5	5.5	4.2
75	3 3	3	3.75
78	2 2	2	2.57
83	2 2	2	2.64
88	2 $1\frac{1}{2}$	1.75	2.4
93	$1\frac{1}{2}$ $1\frac{1}{2}$	1.5	2.5
98	$1\frac{1}{2}$ $1\frac{1}{2}$	1.5	2.17
103	1 1	1	1.5
115	0.5 0.5	0.5	0.79
125	0.5 0		0.80

Resonance komt bij deze opstelling niet voor; een glazen kast in de nabijheid was bedekt met een doek. Bij wegnahme van

die doek was de invloed er van niet merkbaar, omdat het geluid uit de hoorn zoo sterk gericht is.

Toen ik volledigheidshalve de waarden op nog korter afstanden wilde nagaan, bleek mij dat op 28 cM. afstand de uitslagen van het spiegeltje niet zooals vroeger 15 waren, maar slechts 9 bedroegen. Dit vond zijn oorzaak in het snelle afslijten der wasrol. Op tweemaal 18 waarnemingen was 't atgelezen bedrag $15 - 9 = 6$ te klein. Hiervoor is in vorenstaande tabel de correctie aangebracht.

Bij geringe uitslagen is het veel moeilijker nauwkeurig af te lezen; een kleine fout in 't aflezen beteekent hier veel meer dan bij grootere uitslagen. Hieraan is wel 't onregelmatig be-loop der laatste waarden toe te schrijven, vooral daar nu nog de correctie aangebracht is. (Fig. 3).

In elk geval is bij deze proef niets van knopen of buiken bemerkt. Wel moet rekening gehouden worden met het feit, dat we een fonograaf gebruikt hebben. Het geluid is sterk gericht, veel sterker dan de stem, bovendien is het geluid ook zwakker dan het stemgeluid; terugkaatsing speelt in casu geen groote rol.

Wel is getracht met andere klinkers dezelfde reeks te bepalen. De uitslagen zijn veel kleiner, zoodat men niet zoo'n grooten afstand kan doorloopen. De invloed van de correctie, die zich bij a eerst op 't laatst deed gevoelen, stoort nu reeds veel eerder.

Woorden zijn geheel ongeschikt, immers om nauwkeurig een uitslag af te lezen moet men het geluid een tijd aanhouden, opdat het spiegeltje ten minste eenige oogenblikken eenen evenwichtsstand heeft. Nu heeft men juist bij het uitspreken van woorden een sterken impuls en schommelt het spiegeltje sterk. Klinkers zijn dus voor proeven beter geschikt.

Slotsom: Binnenskamers bestaat voor enkelvoudig toongeluid geen eigenlijke afstandswet, want de knopen maken de geluidsverzwakking met den afstand afwisselend toe- en afnemend. Daarentegen gelukt het voor een spraakklink noch eenvoudige evenredigheid noch kwadratische betrekking aan te toonen, maar een ingewikkeld verband, dat het best graphisch uitkomt (zie curve).

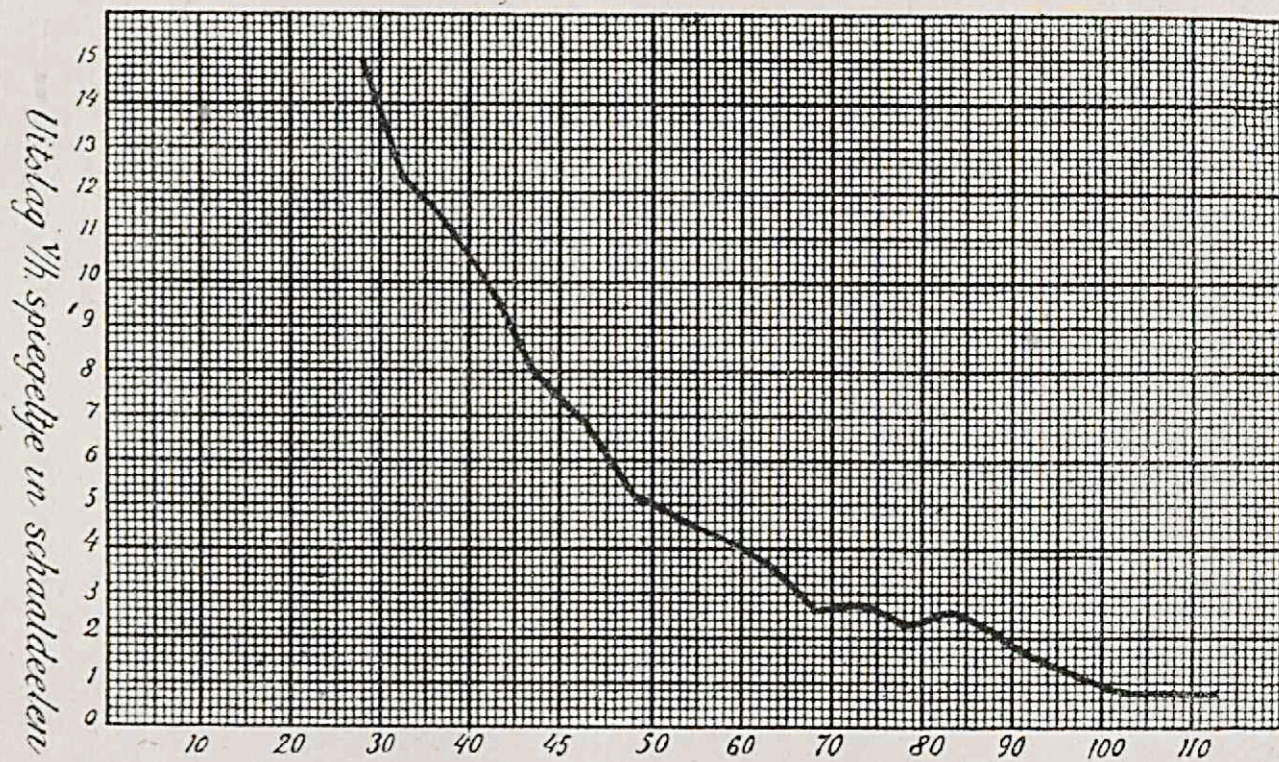


Fig. 3.

A. (Fonograaf.)

Oorheeskundige Geluidsbronnen.

Verschillende geluidsbronnen, die in de oorheeskunde gebruikt worden, zijn door mij onderzocht met het schijfje van Rayleigh. Het zijn de harmonica van Urbantschitsch; de fluiten van Edelman; de sirene van Marage; de klok van Itard en enkele stemvorken.

De harmonica, de sirene en de klok worden gebruikt bij de hooroefeningen der doofstommen.

In de eerste plaats de harmonica van Urbantschitsch.

Zij bestaat uit een luchtreservoir (de eigenlijke harmonica), waarop de verschillende tongen worden bevestigd. Men kan het geheel aanblazen door de perslucht, maar ook uit de hand. Deze laatste manier is hier gekozen, omdat dit de wijze is waarop de harmonica gebruikt wordt. Afgelezen werden de minimum en maximum uitslagen, die men aan 't spiegeltje kan geven bij zacht en hard aanblazen.

De afstand van spiegeltje tot scherm bedroeg 1 M.

Toon	Minimum uitslag in schaaldeelen	Maximum uitslag in schaaldeelen	Minimum uitslag in graden	Maximum uitslag in graden	Minimum energie-dicht- heid in ergs per c.M. ² .	Maximum energie-dicht- heid in ergs per c.M. ² .
F ₁	3	10	51'33"	2°51'19"	0.00068763	0.0022840
G ₁	14	35	3°59'5"	9°38'12.5"	0.0031776	0.0075718
A ₁	6	20	1°42'51"	5°39'17"	0.0013699	0.0049213

Toon	Minimum uitslag in schaaldeelen	Maximum uitslag in schaaldeelen	Minimum uitslag in graden.	Maximum uitslag in graden.	Minimum energiesdicht- heid in ergs per c.M. ³ .	Maximum energiesdicht- heid in ergs per c.M. ³ .
B ₁	3	19	51'33"	5°22'44"	0.00068763	0.0043003
C	4	13	1°8'43"	3°42'12"	0.00091554	0.0029610
D	5	13	1°25'38.5"	3°42'12"	0.00011394	0.0029610
E	3	17	51'33"	4°49'26"	0.00068763	0.0038565
F	1	10	17'11"	2°52'19"	0.00022921	0.0022840
G	2	19	34'22"	5°22'44"	0.00045842	0.0043003
A	1	13	17'11"	3°42'12"	0.00022921	0.002961
B	3	25	51'33"	7°1'5"	0.00068763	0.0056116
c	1	19	17'11"	5°22'44"	0.00022921	0.0043003
d	1	20	17'11"	5°39'17"	0.00022921	0.0049213
e	1½	10	25'46.5"	2°52'19"	0.00034315	0.0022840
f	1	24	17'11"	6°44'46.5"	0.00022921	0.0053936
g	3	26	51'33"	7°17'13"	0.00068763	0.0058261
a	3	24	51'33"	6°44'46.5"	0.00068763	0.0053936
b	5	40	1°25'38.5"	10°54'2"	0.0011394	0.0087152
c ₁	5	25	1°25'38.5"	7°1'5"	0.0011394	0.0056116
d ₁	4	14	1°33'43"	3°59'5"	0.00091684	0.0031766
e ₁	5	29	1°25'38.5"	8°5'10"	0.0011394	0.0064657
f ₁	3	22	51'33"	6°12'13"	0.00068763	0.004960
g ₁	1	12	17'11"	3°25'16"	0.00022921	0.0027345
a ₁	1	10	17'11"	2°52'19"	0.00022921	0.0022840
b ₁	1	9	17'11"	2°34'16.5"	0.00022921	0.0020548
c ₁	1	13	17'11"	3°42'12"	0.00022921	0.002961
d ₂	3	30	51'33"	8°20'58.5"	0.00068763	0.0066763
e ₂	4	35	1°33'41"	9°38'12.5"	0.00091684	0.0075718
f ₂	3	38	51'33"	10°24'11.5"	0.00068763	0.0083180
g ₂	1	8	17'11"	2°17'13"	0.00022921	0.0018283
a ₂	1	9	17'11"	2°34'16.5"	0.00022921	0.0020548
b ₂	1	15	17'11"	4°15'55"	0.00022921	0.0033325
c ₃	1	9	17'11"	2°34'16.5"	0.00022921	0.0020548
d ₃	½	8	8'35"	2°17'13"	0.00011466	0.0018283

Toon	Minimum uitslag in schaaldeelen	Maximum uitslag in schaaldeelen	Minimum uitslag in graden	Maximum uitslag in graden	Minimum energiedicht- heid in ergs per cM ³ .	Maximum energiedicht- heid in ergs per cM ³ .
e ₃	2	10	34'22"	2°52'19"	0.00045842	0.0022840
f ₃	3	15	51'33"	4°15'55"	0.00068763	0.0033325
g ₃	1½	13	8'35"	3°42'12"	0.00011466	0.0029610
a ₃	1	7	17'11"	2°0'7.5"	0.00022921	0.0016004
b ₃	0	2	—	34'22"	—	0.00045842
c ₄	2	12	34'22"	3°25'16.5"	0.00045842	0.0027345
d ₄	1	10	17'11"	2°52'19"	0.00022921	0.0022840
e ₄	½	6	8'35"	1°42'51"	0.00011966	0.0013699
f ₄	2	16	34'22"	4°32'42.5"	0.00045842	0.0036366

Bij deze berekening is de invloed van de caoutchouc membraam buiten beschouwing gelaten. Neemt men de membraan weg, dan heeft men terstond hinder van de luchtstroomingen. Bovendien kan men, juist omdat de uitslagen zoo gering zijn, de harmonica niet op zoodanigen afstand brengen, dat lucht-beweging niet storend werkt.

De waarden wisselen dus van $1,1 \times 10^{-4}$ erg tot 83×10^{-4} erg per cM³. Om de energie, door de geluidsbron uitgezonden, te leeren kennen moet men deze waarden met 33000 (de voortplantingssnelheid van het geluid in c.M.) en 1.96 (de doorsnee van het einde van den trechter) worden vermenigvuldigd. Men vindt dan 6.54—568.98 erg (zie bl. 23). Het werkelijk bedrag is (afgezien nog van verlies door wrijving langs de wanden van hoorn en buis en terugkaatsing) grooter, in verband met de aanwezigheid van de caoutchouc membraan, doch naar analogie van de proeven met de looden orgelpijpen (zie aldaar) hoogstens vijf maal.

Sirene van Marage.

Marage heeft ter oefening van doofstommen eene sirene samengesteld, die de klinkers a, e, o, oe en i weergeeft. In principe bestaat het toestel uit een schijfje met openingen, dat

in snel ronddraaiende beweging gebracht wordt, terwijl men de lucht door de openingen laat blazen. De keuze van grootte en plaats der openingen en de aangebrachte aanzetstukken bepaalt de verschillende klinkers. Volkomen gelijkenis met de genoemde vokalen is er niet.

Ons doel was na te gaan hoe groot de intensiteit van het geluid was. Wilt de sirene in een der benedenvertrekken van 't laboratorium was opgesteld en niet verplaatst kon worden, kon dus niet direct de intensiteit van het geluid gemeten worden door den uitslag van het spiegelbeeldje af te lezen. Als hulpmiddel werd de telefoon met snaargalvanometer gekozen. Terwijl de sirene werd aangeblazen, werd de telefoon voor den mond ervan geplaatst. De telefoon bevat nog een opvangtrechter, dienende om het geluid te versterken. De snaar werd nu zoodanig gespannen, dat zij op de te onderzoeken toon gestemd was en de uitslag afgelezen. Tevens werd de afstand gemeten tusschen telefoontrechter en mondopening der sirene, benevens de druk, waaronder de lucht naar de sirene toestroomde.

Voor elken klinker werden de bepalingen eenige malen herhaald, ook bij verschillenden druk. Hoewel de uitslagen met telefoon en snaargalvanometer niet zoo groot zijn als die verkregen met microfoon en snaargalvanometer werd wegens de betrouwbaarheid toch de voorkeur gegeven aan den eerste.

Vervolgens moest nu bepaald worden welke (orgelpijp)toon in de verschillende klinkers der sirene domineerde, opdat men die met het schijfje zou kunnen meten en moest dan bepaald worden bij welken druk (terwijl de afstand dezelfde was als bij de bepaling met den snaargalvanometer) deze gevonden toon de vroeger afgelezen verdubbeling aan de snaar meedeelde. De orgelpijp, welke den bewusten toon gaf, werd nu bij dien druk voor het schijfje van Rayleigh geplaatst en de uitslag van het spiegelbeeldje afgelezen.

Hoe groot het gedeelte van 't geluid is, dat in den telefoontrechter verdwijnt boezemt ons geen belang in, omdat later de orgelpijp op denzelfden afstand van 't toestel van Rayleigh wordt geplaatst.

De domineerende toon werd gevonden door fonograaf-opnamen te maken en uit de wasindrukken de perioden te bepalen.

Dr. de Rochemont was zoo vriendelijk eenige uittellingen te verrichten. Hij vond als domineerende toon voor

i	1931 vibr.	doubles	correspondeerend	met	b_2
e	1776	"	"	"	a_2
a	868	"	"	"	a_2
o	522	"	"	"	c_2
oe	555	"	"	"	tusschen c_2 en d_2 .

Snaaruitslag	Druk waaronder de lucht naar de sirene stroomde	Afstand van mond der sirene tot telefoon- trechter
i 0 zelfs bij max.		
spanning	maximaal	0
e $\frac{3}{4}$	maximaal	8 cM.
a 1; $1\frac{1}{4}$; $1\frac{3}{4}$	14 cM.; 25 cM.; 30 cM.	8 cM.
o $1\frac{1}{2}$; 4; 6	2 cM.; 4 cM.; 6 cM.	8 cM.
oe 1; $1\frac{1}{2}$	18 cM.; 30 cM.	5 cM.

Vervolgens werd de druk bepaald, dien men aan de pijpen a_3 , a_2 , c_2 en cis_2 moest meedeelen om dezelfde snaaruitslagen te krijgen (correspondeerend met e, a, o en oe der sirene) — i valt reeds direct buiten beschouwing, omdat deze aan de snaar geen verdubbeling geeft. Natuurlijk werd dezelfde afstand 8, 8, 8 en 5 cM. behouden.

Orgelpijp	Afstand tot telefoontrechter	Druk in cM. water	Snaarverdubbeling
a_2 (a)	8	20	1
c_2 (o)	8	5; 6.6; 15	$1\frac{1}{2}$; 4; 6
cis_2 (oe)	5	10; 17	1; $1\frac{1}{2}$

Aan a_3 (e der sirene) kon niet zoodanige druk worden meegedeeld, dat de snaar een meetbare verdubbeling gaf (zonder dat de pijp oversloeg).

Zooals ook al uit vroegere beschouwingen is gebleken valt a_3 buiten het gebied, waarvoor de opstelling telefoon met snaar-galvanometer ingericht is.

Vervolgens werden de fluiten a_2 , c_2 en cis_2 voor het schijfje van Rayleigh geplaatst. De membraan was uit de toevoerbuiss weggenomen.

Luchtstroomen hebben geen invloed 1° omdat de fluiten op 8 en 5 cM. staan; 2° omdat bij deze kleine pijpen de luchtstroomingen loodrecht op de pijp veel geringer zijn dan bij de groote pijpen.

	Afstand tot opvangtrechter	Druk in cM. water	Uitslag van het schijfje	Energiedichtheid in ergs per c.M ³ .
a_2	8 cM.	20	6	0.0013699
c_2	8 cM.	5	—	—
		6.6	$\frac{1}{2}$	0.00011466
		15	2	0.00045842
cis_2	5 cM.	10	$2\frac{1}{2}$	0.00057303
		17	8	0.0018285

(afstand van spiegeltje tot schaal bedroeg 1 M.)

Berekent men volgens boloppervlakken de totale energie door de pijp uitgezonden, dan vindt men voor

a_2 (a der sirene) : 472.5 erg.

c_2 (o der sirene) : 399.85 — 1635.75 erg.

cis_2 (oe der sirene) : 114.4 — 411.84 erg.

Deze energie zou dus gelijk moeten zijn aan de door de sirene uitgezonden energie. In werkelijkheid is de energie grooter, omdat niet alle geluid dat uit de mondopening der sirene komt in den resonator van den telefoon wordt opgevangen. Tevens draagt de telefoon energie aan de omgeving over. Hoe groot dit verlies is, is niet te bepalen.

Bovendien moet bij het waardeeren dezer uitkomsten nog in aanmerking genomen worden, dat alle boventonen die in het sirenegeluid voorkomen, verwaarloosd zijn.

Vervolgens werd nagegaan hoe groot de uitslagen van het spiegeltje waren bij de klok van Itard. Dit is een groote, in een statief opgehangen, klok. Hoewel de klok van messing is, hadden de overige deelen (klepel, schroeven) toch al invloed op den nulstand van het spiegeltje. Daarom moest de klok op eenigen

afstand worden geplaatst. Bij aanslaan was duidelijk beweging van het spiegeltje waar te nemen. De gemiddelde uitslag werd telkens bepaald.

Afstand van spiegeltje tot schaal bedroeg 1 M. 50.

Afstand van klok tot opvangtrechter 50 cM.

Uitslagen van het spiegelbeeldje $8-30=1^{\circ}31'35''-5^{\circ}39'17.5''$

Rekent men, om ten minste eenigszins een indruk te krijgen van de geluidsenergie, volgens boloppervlakken, dan verdwijnt $\frac{h}{2R}$ in den opvangtrechter $h = \sqrt{50^2 + 9.5^2} - 50 = 0.94$ (hoogte van bolsegment; 19 cM. = doorsnee van den trechter) $\frac{h}{2R} = \frac{1}{108}$

Een afwijking van $1^{\circ}31'35''$ correspondeert met een energiedichtheid van 0.0012193 erg.

Een afwijking van $5^{\circ}39'17.5''$ 0.0045215 erg.

Volgens onze berekening wordt 't bedrag $108 \times 33000 \times 1.96 \times (12-45) \times 10^{-4}$ erg = 8382—31432.5 erg.

Volledigheidshalve werd ook de energie bepaald van de zoogenaamde misklokjes, die Dr. de Rochement bij zijn doofstommen-onderzoek gebruikt.

Grootte	Doorsnee in cM.	Hoogte in cM.	Wanddikte in m.M.	Uitslag van het spiegeltje.	Energiedichth. in ergs per cM ³ .
I	83.2	41	2	5 = $57'17.5''$	0.00076358
II	76	41.5	2.5	10 = $1^{\circ}54'35''$	0.00152716
III	61	44	1.7	1 = $11'27''$	0.00015276
IV	50	42	1.8	2 = $22'55''$	0.000305432
V	47	42	1.8	$\frac{1}{2}$ = $5'43.5''$	0.000076358

De klokjes werden vlak voor den trechter gebracht, die naar het spiegeltje voerde. (Afstand van spiegeltje tot schaal was 1 M. 50). Rekenen we wederom met boloppervlakken, dan verdwijnt dus het geluid, dat zich op een half boloppervlak bevindt, in den hoorn. De totale geluidsenergie van deze klokjes wordt dus

I	97 erg.
II	194
III	19.4
IV	38.8
V	9.7

Ook werd nog de energie van verschillende stemvorken bepaald.

Al terstond bleek dat geen enkele stemvork een uitslag aan het spiegeltje meedeelde, tenzij zij op een resonancekast stond.

De stemvorken werden met een zachten hamer aangeslagen.

	Uitslag van 't spiegelbeeldje.	Berekende energiedichth.
sol,	4 = 45'10"	6×10^{-4} erg
mi,	3 = 34'22"	4.5×10^{-4} erg
ut,	1 = 11'27.5"	1.5×10^{-4} erg

De afstand van het spiegeltje tot schaal bedroeg 1 M. 50. De resonancekast werd vlak voor den opvangtrechter geplaatst. Neemt men met lord Rayleigh aan dat alle geluidsenergie van een stemvork in haar resonancekast verdwijnt, dan vindt men voor de totale energie 38.8 : 29.1 en 9.7 erg. Echter moet men wel in acht nemen, dat door de ijzermassa de slingertijd van het schijfje iets gewijzigd wordt en mitsdien de uitslagen niet geheel te vergelijken zijn met de vroeger opgegeven waarden.

Behalve de genoemde geluidsbronnen zijn nog onderzocht de twee fluiten van Edelmann. Reeds gedeeltelijk zijn de waarden hiervoor in het vorige hoofdstuk meegedeeld. Uit deze waarden blijkt dat de efficiëntie, d. w. z. dat gedeelte der toegevoerde energie, dat in geluidsenergie wordt omgezet, zeer wisselend is. Over 't algemeen blijkt de efficiëntie groter te worden, naar mate de gebruikte druk groter wordt, om een maximum te verkrijgen en daarna af te nemen. De pijp overschreeuwt zich en geeft dan haar eersten boventoon. Het leek mij, dat het punt waar de fluit haar boventoon geeft minder duidelijk met het oor was te herkennen, dan met het spiegeltje. Maakt men een curve door op de abcis de toegevoerde energie en op de ordinaat de daarbij behorende geluidsenergie uit te zetten, dan krijgt men een regelmatige grafiek. Zoodra de pijp zich overschreeuwt, ziet men de curve onregelmatig worden, de glooiing vermindert en wordt zelfs vervangen door een plotseling omlaag gaan der curve. Men vergelijke de figuren in Hoofdstuk V.

Afwijkingen van dezen regel berusten mijns inziens op

waarnemingsfouten. Vergelijkt men verschillende curven met elkaar dan ziet men, dat het verloop van de eene veel steiler is dan dat van een andere; met andere woorden, de efficientie voor een bepaalden toon is grooter dan die voor een anderen toon.

Dit zal wel daarin zijn oorzaak vinden dat de fluit voor een bepaalden toon gemakkelijker aanspreekt dan voor een anderen toon. Dit kan bijvoorbeeld afhangen van het materiaal, van den bouw en van den vorm. Voor een ander deel kan de oorzaak gelegen zijn in het toestel van Rayleigh zelf.

De trechter en buis, die naar het spiegeltje leiden, kunnen op den eenen toon meer resoneeren dan op een andere. Wel is hiervan bij het vroeger onderzoek van den trechter op resonance niets bemerkt, maar dit kan zijn reden hebben in de minder gevoelige hulpmiddelen.

Om dit te beslissen werd een geheele reeks tonen a_1 — e_3 doorloopen, terwijl beurtelings de opvangtrechter tegen het oor en van het oor af werd gehouden. Men kan niet zeggen dat de trechter op den eenen toon beter resoneerde dan op den andere. Nu is echter het oor voor het onderzoek op toonintensiteiten geen zeer gevoelig hulpmiddel. Daarom werd getracht hetzelfde onderzoek te verrichten met de reeds vroeger genoemde telefoon met snaargalvanometer.

De opvangtrechter werd met de telefoon verbonden en de uitslag van de snaar afgelezen, daarna werd de hoorn weggenomen en de uitslag wederom bepaald. De telefoon is echter niet gevoelig genoeg om de geheele reeks a_1 — e_3 te doorloopen.

Het eenige overblijvende middel is dus de microfoon met snaargalvanometer. Zooals reeds vroeger is opgemerkt is dit echter geen betrouwbaar instrument. Wel werd op deze wijze voor den eenen toon met en zonder hoorn, die nu natuurlijk met den microfoon werd verbonden, eene grootere waarde gevonden dan voor een anderen toon, doch uit de vorige bladzijden blijkt genoeg, dat hieraan geen al te groote beteekenis is te hechten.

Efficientie der orgelpijpen in de spraakzône.

Onder spraakzone verstaat men het gedeelte der toonladder dat volgens de oorartsen onmisbaar is, wil men de spraak kunnen verstaan.

Op dit gedeelte is ook de telefoon gestemd. Bezold rekent haar tusschen b_1 en g_1 ; Schmiegelow tusschen a_1 en e_3 (dus tusschen 427 en 1280 vibrations doubles). Het physiologisch laboratorium bezit een reeks orgelpijpen, die juist de in de spraakzone voorkomende tonen, dus van a_1 tot e_3 , omvatten. Het zijn open looden orgelpijpen. Ook voor deze pijpen is de efficientie bepaald.

De lage pijpen zijn (in verhouding tot de vroeger gebruikte fluiten van Edelmann) nog al groot en geven, zooals reeds vroeger vermeld hinderlijke luchtstroomingen. De berekening is daarom eenigszins anders verricht. Het is namelijk moeilijk, om de pijp op een zoodanigen afstand van het toestel van Rayleigh te plaatsen, dat luchtstroomingen geen invloed op het spiegeltje hebben en de spiegeluitslagen, afkomstig van de geluidsenergie toch nog voldoende groot zijn.

Om te zien of men nog hinder had van de luchtbeweging werd op dezelfde wijze als vroeger de lip met een klein stukje was belast, zoodat wel de lucht kon passeeren, echter geen geluidstrillingen konden ontstaan. Het bleek dat dan de pijp op grooten afstand geplaatst moest worden, wilde het spiegeltje in rust zijn. (Het behoeft niet vermeld te worden dat de membraan uit de toevoerbuis was verwijderd).

Door nu echter de fluit met de mondopening van het spiegeltje af te plaatsen, kon men natuurlijk den afstand veel verkleinen, zonder hinderlijke luchtstroomingen.

Er werd nu eenvoudig nagegaan, hoe groot de uitslag van het spiegelbeeldje was, wanneer de membraan zich in de buis bevond en wanneer deze er uitgenomen was, terwijl de fluit steeds met de mondopening van het toestel afgekeerd was.

Op deze wijze werd voor elke toon een reeks bepalingen verricht en leerde men dus de invloed van de membraan kennen.

Daarna werd de geheele reeks $a_1—e_2$ wederom doorloopen, terwijl de pijpen vlak voor den megafoon geplaatst waren en werd nu de invloed van de membraan in rekening gebracht.

Voor onze berekening nemen wij aan, dat het geluid voor de helft in den megafoon wordt opgenomen, dus dat de geluids-energie op een half boloppervlak er in verdwijnt.

Invloed van de membraan.

Hier zijn alleen de gemiddelde waarden opgegeven; voor elke toon werd namelijk een reeks aflezingen verricht bij verschillende druk, eerst met en daarna zonder membraan. Het blijkt dat alle tonen in 't gebied $a_1—e_3$ verzwakt worden, de eene toon echter meer dan de andere.

Het cijfer wijst aan hoeveel maal de uitslag van 't spiegelbeeldje zonder membraan grooter is dan de uitslag met membraan. Deze waarden zijn door deeling gevonden; in werkelijkheid deelt men de tangenten, maar voor kleine uitslagen mag men zeggen, dat de tangenten zich verhouden als de hoeken.

a_1	1.75	g_1	3.5
ais_1	3	gis_1	1.5
b_1	2.5	a_2	2.5
c_2	1.5	ais_2	1.75
cis_2	5.5	b_2	1.5
d_2	4.25	c_3	3.5
dis_2	2.5	cis_3	6.75
e_2	2.5	d_3	1
f_2	1	dis_3	1
fis_2	5	e_3	1.25

Reeks looden orgelpijpen a_1 — e_3 .

Afstand spiegelte tot nulpunt der schaalverdeeling is 1 M.

	druk in cM. water.	volumen in cM ³ lucht per sec.	toegevoerde energie in ergs.	Uitslag v. 't spiegelte	na correc- tie.	Graden.	Berekende ge- luidsenergie in ergs per cM ³ .	Efficiëntie in 10 ⁻⁵
a_1	12	322	29.303	1	1.75	30'45"	0.00059978	1.5
	14	344	36.522	2	3.5	1°0'8"	0.00080088	2.1
	16	388	40.778	3	5.25	1°30'7"	0.0012007	2.4
	18	406	55.420	4	7	2°0'7.5"	0.0016004	2.9
	20	420	63.702	5	8.75	2°45'1"	0.0021987	3.2
	22	434	72.407	8	14	3°59'5"	0.0031776	4.3
	24	456	82.994	12	21	5°55'46.5"	0.0047414	5.7
	26	474	93.458	15	26.25	7°21'14.6"	0.0058795	6.2
	28	497	103.500	18	30.5	8°28'50"	0.0067803	6.5
	30	508	115.570	20	35	9°38'42.5"	0.0077295	6.7

De toegevoerde energie werd volgens een half boloppervlak en naar de dichtheid d.i. per cM³. en per seconde berekend is $\frac{1}{2} \times v \times p \times 981 \times \frac{1}{1.96} \times \frac{1}{33000}$. 33000 is de voortplantings-snelheid van het geluid in c.M.

1.96 = doorsnee van de toevoerbuis naar het spiegelte.

	p.	v.	toegevoerde energie in ergs per cM ³ .	Uitslag van het spiegeltje	Na cor- rectie	Graden.	Berekende effi- cien- tie in 10 ⁻⁵ ergs per c.M ³ .	effi- cientie
ais,	12	322	29.303	1.5	4.5	1°17'17.5"	0.0010301	3.5
	13	336	33.125	2	6	1°42'51"	0.0013699	4.1
	15	366	41.633	2.5	7.5	2°8'40"	0.0017151	4.1
	17	396	51.051	3	9	2°34'16.5"	0.0020548	4
	18	406	55.420	3.5	10.5	2°59'49.5"	0.002396	4.5
	20	425	66.460	4	12	3°25'16.5"	0.0027345	4.1
	22	446	74.410	5	15	4°15'55.5"	0.0033325	4.4
	24	460	83.722	7	21	5°55'47.5"	0.0047414	5.7
	26	476	93.854	8	24	6°44'46.5"	0.0053944	5.7
	28	497	105.53	10	30	8°20'58.5"	0.0066763	6.3
	29	508	111.72	13.5	40.5	11°1'26.5"	0.0088138	7.8
	30	529	120.15	15	45	12°6'54"	0.0096866	8
	32	546	132.40	16	48	12°49'13.5"	0.0102505	7.7
	34	560	144.39	16	48	12°49'13.5"	0.0102505	7.1

	p.	v.	toegevoerde energie in ergs per cm^3 .	Uitslag van het spiegeltje	Na cor- rectie	Graden.	Berekende energie in ergs per cm^3 .	effi- cientie in 10^{-5}
b_1	12	310	28.210	1	2.5	42°57.5"	0.00057303	2
	13	329	32.435	2	5	1°25'38.5"	0.0011394	3.5
	14	344	36.523	5	12.5	3°33'45"	0.0028477	7.8
	16	374	45.380	10	25	7°1'5"	0.0056116	12.4
	17	380	48.989	15	37.5	10°16'40"	0.008218	16.7
	18	396	54.055	19	47.5	12°42'13.5"	0.010157	18.8
	20	410	62.184	21	52.5	13°51'	0.011074	17.8
	20.8	416	65.619	25	62.5	16°0'9.5"	0.012795	19.6
	22	430	71.740	28	70	17°29'30"	0.013661	19
c_2	6	160	7.2802	3	4.5	1°17'8"	0.0010301	14.3
	7	180	9.5552	4	6	1°42'51"	0.0013699	14.4
	7.8	202	12.217	6	9	2°34'16.5"	0.0020548	17.7
	9	238	16.244	10	15	4°15'55"	0.0033325	19.1
	10	250	18.959	12	18	5°6'7"	0.0040891	21.4
	11	274	22.851	18	27	7°33'16.5"	0.0060407	26.5
	12	298	27.119	30	45	12°6'54"	0.0096866	35.7
cis_2	7	180	9.5552	1.5	8.25	2°21'29"	0.0018856	19.7
	7.6	202	11.642	2.5	13.75	3°54'52"	0.0031324	27
	8	212	12.866	3.5	20.25	5°43'25.5"	0.0045761	35.7
	9	238	16.224	6	33	9°7'52.5"	0.0073013	45
	10	250	18.959	13	71.5	17°46'56.5"	0.014217	75
d_2	11	266	22.189	8	26	7°7'13"	0.0056929	25.8
	12	280	35.480	10	32.5	9°0'7"	0.0071974	28
	14	310	32.912	16	52	13°44'13.5"	0.010983	33.3
	16	358	43.439	32	104	23°3'41.5"	0.018439	42.4
dis_2	8	225	13.65	7	17.5	4°57'47.5"	0.0039685	29.1
	10	274	20.779	11	27.5	7°41'17"	0.0061473	29.7
	11	298	24.859	24	60	15°28'55"	0.012378	49.8
	12	322	29.303	35	87.5	20°35'34.5"	0.016466	56.1

	p.	v.	toegevoerde energie in ergs per cm^2 .	Uitslag van het spiegeltje	Na cor- rectie	Graden.	Berekende energie in ergs per cm^2 .	effi- cientie in 10^{-5}
e_2	8.2	225	13.99	16	46	$10^\circ 54' 2.5''$	0.0087152	62.2
	9	250	17.063	20	50	$13^\circ 16' 57''$	0.010621	62.4
	10	274	20.779	25	62.5	$16^\circ 0' 9.5''$	0.012795	61.8
	11	286	23.858	31	77.5	$18^\circ 53' 16''$	0.015102	63.4
	12	322	29.303	50	125	$25^\circ 40' 12.5''$	0.021003	71.6
f_2	6	175	7.9627	10	10	$2^\circ 52' 19''$	0.0022840	28.9
	7	200	10.617	14	14	$3^\circ 59' 5''$	0.0031776	29.9
	8	221	13.404	32	32	$8^\circ 52' 20''$	0.0070935	52.9
	9	237	16.168	51	51	$13^\circ 30' 38.5''$	0.010802	67.5
fis_2	7	190	10.086	8	40	$10^\circ 54' 2.5''$	0.0087152	87
	8	200	12.133	9	45	$12^\circ 6' 54''$	0.0096866	80
	9	228	15.561	12.5	62.5	$16^\circ 0' 9.5''$	0.012795	82.5
	10	240	18.200	16	80	$19^\circ 19' 47''$	0.015455	84.9
	12	274	24.935	25	125	$25^\circ 40' 12.5''$	0.020515	68
	14	305	32.381	40	200	$31^\circ 45' 3''$	0.025359	79.2
g_2	10	246	18.656	7	22.5	$6^\circ 20' 24''$	0.0051873	26
	12	280	25.480	8	28	$7^\circ 49' 16''$	0.0062539	25
	14	310	32.912	10	35	$9^\circ 38' 42.5''$	0.0075718	23
	16	328	40.725	13	45.5	$12^\circ 14' 9''$	0.0097828	24
	17	339	43.704	15	52.5	$13^\circ 51''$	0.011074	25.7
	18	349	47.640	17	59.5	$15^\circ 22' 35''$	0.012294	25.8
	20	366	55.511	22	77	$18^\circ 47' 53''$	0.015030	27
gis_2	6.2	176	8.275	3	4.5	$1^\circ 17' 17.5''$	0.0010301	12.5
	8	200	12.133	4	6	$1^\circ 42' 51''$	0.0013699	11.3
	10	240	18.200	6	9	$2^\circ 34' 16.5''$	0.0020548	11.4
	12	269	24.440	7	10.5	$2^\circ 59' 49.5''$	0.0023960	10.7
	13	286	28.192	8	12	$3^\circ 25' 16.5''$	0.0027345	9.7
	14	296	31.426	10	15	$4^\circ 15' 55.5''$	0.0033325	9.8
	16	310	37.614	10	15	$4^\circ 15' 55.5''$	0.0033325	8.8
	18	329	46.285	8	12	$3^\circ 25' 16.5''$	0.0027345	5.9

	p.	v.	toegevoerde energie in ergs per cM ³ .	Uitslag van het spiegeltje	Na cor- rectie	Graden.	Berekende energie in ergs per cM ³ .	effi- cientie in 10 ⁻⁵
a ₂	9	214	14.599	0.5	1.25	21'29"	0.00028651	1.9
	10	234	17.745	0.5	1.25	21'29"	0.00028651	1.61
	11	246	20.521	1	2.5	42'57.5"	0.00057303	2.8
	12	264	24.025	4	10	2°51'19"	0.0022840	5.3
	13.8	292	30.559	5	12.5	3°33'45"	0.0028477	9
	15.4	310	36.203	6	15	4°15'55.5"	0.0033325	9.2
	17	324	41.770	7	17.5	4°57'47.5"	0.0039685	9.5
	18.2	334	46.099	8	20	5°39'17.5"	0.0045215	9.8
	20	352	53.388	10	25	7°1'5"	0.0056116	10.5
ais ₂	9	228	15.561	6	10.5	2°59'49.5"	0.0023960	16.1
	10	240	18.200	7	12.25	3°29'31"	0.0027917	15.3
	11	258	21.522	8	14	3°59'5"	0.0031776	14.7
	12	264	24.025	9	15.75	4°28'31"	0.0035780	14.8
	13.6	293	30.219	11	19.25	5°26'53"	0.0043562	14.4
	15	314	35.719	13	22.75	6°24'30"	0.0051239	14.3
	16.4	328	40.794	15	26.25	7°21'15"	0.0058795	14.4
	18.8	349	49.757	22	38.5	10°31'42"	0.008418	17
	21	374	59.561	34	59.5	15°22'35"	0.012294	20.6
b ₂	5.6	163	6.9223	4	6	1°42'51	0.0013699	19.8
	7.2	187	10.210	6	9	2°34'16.5"	0.0020548	20
	8	200	12.133	10	15	4°15'55"	0.0033325	27.7
	9	217	14.810	16	24	6°44'46.5"	0.0053936	22.9
	9.8	228	16.944	18	27	7°33'16.5"	0.0060407	35.5
	10.8	246	20.146	28	42	11°23'28.5"	0.0091084	35.5
	12	258	23.478	32	48	12°49'13.5"	0.0002505	43.8
c ₃	5.2	154	6.0729	1	3.5	1°0'8"	0.0008008	13.3
	6.8	182	9.3854	1.5	5.25	1°30'7"	0.0012007	12.9
	9.2	221	15.419	2	7	2°0'7.5"	0.0016004	10.4
	12	234	21.294	2.5	8.75	2°45'1"	0.0021987	10.4
	14	292	31.001	3	10.5	2°59'49.5"	0.0023960	7.7

	p.	v.	toegevoerde energie in ergs per cm ³ .	Uitslag van het spiegeltje	Na cor- rectie	Graden.	Berekende energie in ergs per cm ³ .	effi- cientie in 10 ⁻⁵
c ₃	16	314	38.100	4	14	3°59'5"	0.0031776	8.5
	18.4	338	47.156	5	17.5	4°57'47.5"	0.0039685	8.4
	20	346	52.479	7	24.5	6°53"	0.0055036	10.5
	22	374	62.852	11	38.5	10°31'42"	0.0084180	10.5
cis ₃	4	122	3.7007	0.5	3.375	56'16"	0.00074893	20.2
	6	167	7.5990	1	6.75	1°52'32"	0.0014992	20
	8	190	11.524	1.5	10.125	2°53.26.5"	0.0023107	20
	9	205	13.991	2	13.5	3°50'39"	0.003070	23.6
	10.4	228	17.982	3	20.25	5°43'25.5"	0.0045761	25.4
	13	269	26.520	5	33.75	9°19'28.5"	0.0074558	28.1
	14.6	292	32.320	5	33.75	9°19'28.5"	0.0074558	23.3
	16	308	37.372	5	33.75	9°19'28.5"	0.0074558	20
	18	328	44.772	3	20.25	5°43'25.5"	0.0045761	10.3
d ₃	4.6	138	4.7533	2	2	34'22"	0.00045842	9.7
	5.6	163	6.9223	3	3	51'33"	0.00068763	9.7
	6.4	176	8.5390	4	4	1°8'43"	0.0009155	10.7
	7.8	187	10.985	6	6	1°42'51"	0.0013699	12.3
	10.2	234	18.100	8	8	2°17'13"	0.0018283	10.1
	11	248	20.686	9	9	2°34'16.5"	0.0020548	9.9
	13.6	264	27.227	11	11	3°8'19"	0.0025093	8.5
	15	296	33.671	3	3	51'83"	0.00068763	2.8
dis ₃	4	117	3.5491	0.5	0.5	8'35"	0.00011466	3.2
	5	143	5.4222	3	3	51'33"	0.00068763	12.6
	6	163	7.4166	3	5	1°25'38.5"	0.0011394	15.3
	7	178	9.4490	9	9	2°34'16.5"	0.0020548	21.8
	8	187	11.345	15	15	4°15'55"	0.0033325	29.4
	9	200	13.650	27	27	7°33'16.5"	0.0060407	44.4
e ₃	4.2	112	3.5673	5	6.75	1°52'32"	0.0014992	42.8
	5	138	5.2326	6	8.75	2°45'1"	0.0021937	42.2
	6	154	7.0072	9	12.25	3°29'31"	0.0027917	39.9

	p.	v.	toegevoerde energie in ergs per cM ³ .	Uitslag van het spiegeltje	Na cor- rectie	Graden:	Berekende energie in ergs per cM ³ .	effi- cientie in 10 ⁻⁵
e ₂	7.6	176	10.145	15	16.25	4°36'53.5"	0.0056899	56.5
	9	192	13.104	18	22.5	6°20'24"	0.0051875	59.8
	11	234	19.52	28	35	9°38'12.5"	0.0075718	58.9
	12.2	246	22.76	36	45	12°6'54"	0.0096866	42.6
	13.6	269	27.745	38	47.5	12°42'13.5"	0.010157	56.6
	15	292	35.215	40	50	15°16'57"	0.010621	52.1

Palmhouten fluitje van König.

Afstand van fluitje tot midden van den hoorn 2 c.M.

	p.	v.	toegevoerde energie in ergs per cM ³ .	Uitslag van het spiegeltje	Berekende energie in ergs per cM ³ .	Effi- cientie in 10 ⁻⁵	
c ₃	8.8	75	7.5814	6	1°42'51"	0.0013699	18
	9.2	79	8.5792	7	2°0'7.5"	0.0016040	18
	13.8	103	16.774	10	2°51'19"	0.0022840	13.6
	16.8	113	22.404	12	3°25'16.5"	0.0027345	12.2
	18.8	124	27.512	15	4°15'55"	0.0033325	12.5
b ₂	6	56	3.9654	5	51'33"	0.00068765	17
	8.8	73	7.5814	8	2°17'13"	0.0018283	25
	10	84	9.9135	10	2°52'19"	0.0022840	22.8
	12.4	108	15.805	22	6°12'13"	0.0049600	31.4
ais ₁	6.4	62	4.6829	5	51'33"	0.00068765	15
	9.8	84	9.7152	6	1°42'51"	0.0013699	14
	12	96	13.594	8	2°17'13"	0.0018283	13.4
	16	115	21.715	13	3°42'12"	0.002961	15.6
	18.4	125	27.145	29	8°5'10"	0.0064657	24
a ₂	6	56	3.9654	5	51'33"	0.00068765	17
	8.4	73	6.982	5	1°25'38.5"	0.0011394	16.1
	11	94	12.203	7	2°0'7.5"	0.0016004	13.5
	16.8	118	23.395	8	2°17'13"	0.0018283	8

	p.	v.	toegevoerde energie in ergs per c.M. ³ .	Uitslag van het spiegeltje	Berekende energie in ergs per cM. ³ .	Effi- cientie in 10 ⁻³	
gis ₂	6	86	3.9634	4	0°18'43"	0.0009155	22.7
	8	75	7.081	5	1°25'38.5"	0.0011394	16
	12	98	13.878	7	2°0'7.5	0.0016004	11.4
	14	106	17.115	9	2°34'16.5"	0.0020548	12
	16	115	21.715	10	2°52'19"	0.00022840	10.5
	18	123	26.129	7	2°0'7.5"	0.0016004	6.1
g ₂	3.4	30	1.2035	5	1°25'33.5"	0.0011394	94
	5.8	56	3.8332	9	2°34'16.5"	0.0020548	53
	7.8	73	6.7199	11	3°8'19"	0.0025093	37
	9.8	84	9.7152	14	3°59'5"	0.0031776	32
	12.6	103	15.316	17	4°49'26"	0.0038565	25

Bij de berekeningen voor het palmhouten fluitje is de vroeger reeds genoemde methode met het bolsegment gevolgd. Op 2 c.M. afstand van den hoorn zijn luchtstroomen niet hinderlijk.

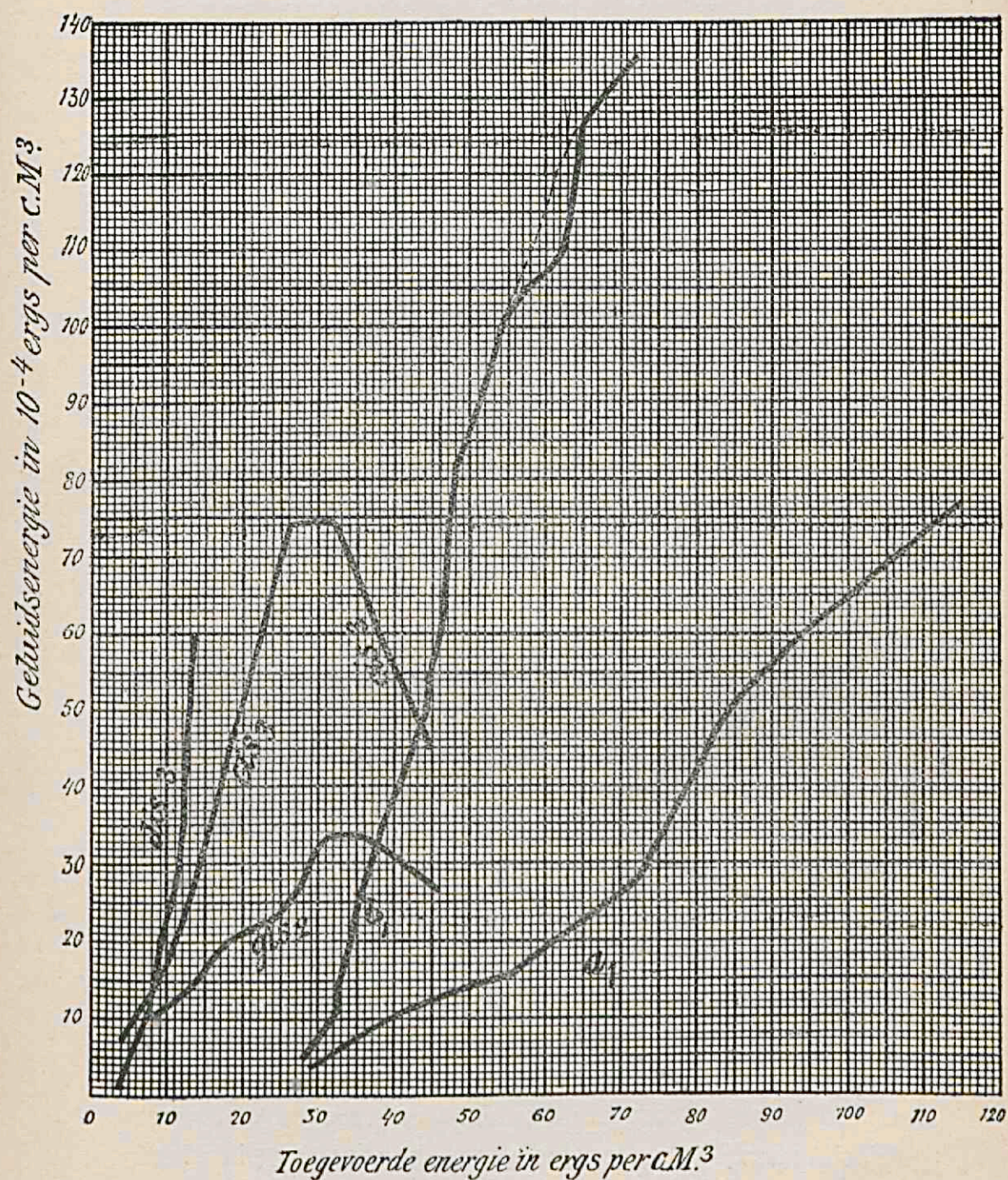
Bij alle waarden voor den druk is het minimum aangegeven, waarbij de fluit haar grondtoon gaf, terwijl bij den grootsten (in de tabel aangegeven) druk, òf het beeldje niet meer op de schaalverdeeling bleef òf de pijp haar boventoon gaf.

De efficientie der orgelpijpen loopt sterk uiteen naar gelang van den voortgebrachten toon. Echter heb ik geen onderscheid tusschen de metalen orgelpijpen en het houten fluitje van König kunnen opmerken. Wel heb ik waargenomen, dat de efficientie van de fluiten van Edelmann (die van metaal zijn gemaakt) grooter is dan de efficientie van het palmhouten fluitje van König (zie hoofdstuk II) en wel ongeveer tien maal. Over het algemeen neemt de efficientie gelijkmatig toe, tot de pijp haar boventoon geeft.

Mijn waarden varieeren dus tusschen 1.9×10^{-5} en 84.9×10^{-5} .

De gemiddelde efficientie is 43.3×10^{-5} .

Berekent men de totale energie dan varieert deze voor de looden orgelpijpen van 36 tot 32340 erg, voor het palmhouten fluitje van 98 tot 1045 erg.



Efficiëntie van enkele orgelpijpen.

Geluidssterkte der menschelijke stem.

Het toestel van Rayleigh leent zich uitstekend tot bestudeering van de intensiteit der menschelijke stem. Men behoeft slechts in den opvangtrechter te spreken en de uitslagen van het spiegeltje af te lezen. Alleen moet zorg worden gedragen de te onderzoeken klinkers eenigen tijd aan te houden, daar men dan aan het spiegeltje een vasten uitslag meedeelt. Eene andere methode van aflezing, maar niet zoo zuiver, is deze, dat men het gemiddelde neemt tusschen twee schommelingen en dit gemiddelde vergelijkt met den nulstand. Hiertoe is men wel gedwongen, wanneer men de consonanten onderzoekt; deze kan men immers niet lang aanhouden zonder storende nevengeluiden te veroorzaken.

Zooals wel te begrijpen is, moet men bij deze proeven, om luchtstroomen tegen te gaan, in de buis, die naar het spiegeltje voert, de caoutchouc membraan inbrengen.

Immers bij het spreken brengt men ook de lucht in beweging, die op haar beurt weer het spiegeltje doet roteeren. Wij konden hier niet dezelfde kunstgreep toepassen als bij de (vroeger onderzochte) fluiten, namelijk de luchtbeweging te elimineeren door ons op afstand van den opvanghoorn te plaatsen. Dan deed zich met het oog op de berekening een ander bezwaar voor. In de eerste plaats zouden wij ons van boloppervlakken moeten bedienen (wat reeds een onnauwkeurigheid is), ten tweede is het geluid der menschelijke stem veel meer gericht en door den luchtstroom gedragen dan dat der vroeger onderzochte geluidsbronnen; we weten dus niet welken factor we in rekening moeten brengen.

Onze bepalingen werden daarom verricht, terwijl de caout-

chouc membraan in de buis, die naar het spiegelkje voerde, was aangebracht. De invloed der membraan voor de tonenreeks $a_1—e_3$ hebben we vroeger reeds leeren kennen (vorig hoofdstuk).

We hebben nu slechts na te gaan welke tonen in de te onderzoeken klinkers domineeren en hiervoor de verzwakking, eventueel de versterking, van de membraan te onderzoeken (op de vroeger vermelde wijze).

In de volgende klinkers vindt men volgens Boeke als dominerenden toon:

oe	d_1	4.25
o	c_1	1.5
a	c_3 cis ₃	2 2.5
e	fis ₁	2.5
u	g_3 cis ₁	5 1
i	dis ₁	2

De cijfers geven aan den verzwakkenden invloed der membraan. Ze wijzen dus aan met hoeveel de uitslag van het spiegelkje (met membraan) moet worden vermenigvuldigd, om de uitslag van het spiegelbeeldje te vinden, wanneer de membraan zich niet in de toevoerbuis zou hebben bevonden.

Tevens werd de opvangtrechter vervangen door een mondkap, zooals die bij ademhalingsproeven gebezigd wordt. Deze werd stevig tegen het gelaat gedrukt. Voor onze berekening nemen wij aan, dat geen verlies van energie plaats vindt. Op de vroeger reeds genoemde wijze wordt de geluidsdichtheid in geluidsenergie omgerekend.

Luide vocalen (conversatietaal).

	Uitslag in schaaldeelen	Na correctie voor membraan	Geluidsdichtheid in ergs per c.M ³ . ter plaatse v.h. spiegelkje.	Totale geluids- energie in ergs.
a	10—15	22.5—33.75	0.0051873—0.0074558	330—478
o	15—20	22.5—30	0.0051873—0.0066763	330—427
e	8—12	20—30	0.0049213—0.0066763	317—427
i	4—6	8—12	0.0018283—0.0027345	116—175
u	5—9	15—27	0.0033325—0.0060407	213—388

Fluistervocalen.

	Uitslag in schaaldeelen	Na correctie voor membraan	Geluidsdichtheid in ergs per c.M ³ . ter plaatse v. h. spiegeltje.	Totale geluids- energie in ergs.
a	4	9	0.0020548	129
o	6	9	0.0020548	129
e	4	10	0.0022849	142
i	2	4	0.0013699	84
u	3	9	0.0020548	129

Hieruit blijkt dus, dat a de meeste geluidsenergie bezit, dan volgen o en e, ten slotte u en i. De beide reeksen in de tabel der luide vocalen hebben betrekking op het meer of minder luide uitspreken, zonder daarom te schreeuwen. Worden de vocalen zeer luid gesproken, dan zijn de uitslagen veel grooter (ongeveer 4maal).

Slagconsonanten (gecombineerd met onbepaalde vocaal).

Correctie voor de membraan is hier niet aan te brengen.

	Uitslag in schaaldeelen	Geluidsdichtheid in ergs per c.M ³ . ter plaatse v. h. spiegeltje.	Totale geluids- energie in ergs.
p	2	0.00045842	29
t	1	0.00022921	14.5
d	2	0.00045842	29
k	3	0.00068763	43.5

In verband met de aanwezigheid der membraan zijn de energiewaarden in werkelijkheid grooter.

Voor de luide vocalen varieeren mijne waarden van 116—478 ergs, en voor de fluistervocalen van 84—142 erg.

Eenige bijzonderheden aangaande de menschelijke stem.

§ 1. Sterkte van het stemgeluid in verschillende richting.

Een goede oplossing der vraag, hoeveel maal het geluid in de richting van de geluidsbron sterker is dan in een andere richting, bijvoorbeeld loodrecht daarop, heb ik niet kunnen vinden. Steeds deed zich het bezwaar voor, dat men niet met dezelfde intensiteit kan spreken, Zegt men bijv. tweemaal „a” en vergelijkt men de daarbij behorende uitslagen van het spiegelbeeldje, dan zijn deze nooit even groot. Wil men nu vergelijken hoeveel maal het geluid in de richting van de geluidsbron sterker is dan het geluid in een andere richting, dan moet toch in de eerste plaats de intensiteit van het geluid dezelfde zijn.

Op de volgende wijze werd getracht tot een resultaat te komen. Eveneens werd de in het vorige hoofdstuk genoemde mondkap gebezigd. Door deze flink tegen het gelaat te drukken, kan men haar luchtdicht afsluiten. Van hier voerde een buis naar het spiegeltje, terwijl in een T-stuk een aerodromometer was opgenomen. Aldus kon men nagaan hoe groot de hoeveelheid lucht per seconde was, die men bij het spreken had verbruikt. Door het geheel 90° te draaien (dit was zeer gemakkelijk te verrichten door het T vormig buisje 90° te draaien) kon men de geluidsenergie bepalen in de richting loodrecht op de geluidsbron. De bedoeling is natuurlijk slechts die uitslagen in het spiegelbeeldje te vergelijken, waarbij het op den aerodromograaf afgelezen volumen lucht hetzelfde is. Bij deze proeven speelt echter oefening een groote rol. Onwillekeurig leert men met de verbruikte hoeveelheid lucht zuinig zijn, terwijl de uitslagen van het spiegel-

beeldje evengroot blijven, ja zelfs groter worden. Reeds na eenige bepalingen neemt men dit waar.

Volledigheidshalve volgen hier de gevonden waarden.

In de richting van de geluidsbron. In richting loodrecht daarop.

Uitslag van den
aerodromograaf
in deelstrepen.

Uitslag van
het schijfje van
Rayleigh.

Uitslag van den
aerodromograaf
in deelstrepen.

Uitslag van
het schijfje van
Rayleigh.

a	4.5	7.5	4	6
	5	8	4	6
	5	8	5.5	9
	5.5	9	5	7
o	6	11	6	7
	6	10	6	8
	5	8	5	8
	6	9	5.5	7
e	6	15	6	12
	5	9	5	6
	5	8	5	8
	5	8	5	7.5
u	5	5	6	6
	5	4	5	4
	5	6	5	4
	5½	6	6	5
i	9	7	6	5
	5	4	8	7½
	5½	4	9	7
	7	5½	7	4

Het is beter hieruit geen conclusie te trekken. In de eerste plaats is alleen slechts het volumen per sec. verbruikte lucht bepaald. Voor een juiste beoordeeling zou ook de druk bekend moeten zijn. Immers de geluidsenergie bestaat uit een zekeren factor, de efficientie, vermenigvuldigd met de per sec. verbruikte hoeveelheid lucht, de druk in cM. water en 981 (de versnelling der zwaartekracht). $E = k \times v \times p \times 981$.

Aan onze bepaling van de verbruikte hoeveelheid lucht is

weinig waarde te hechten; het beteekent volstrekt niet dat de geluidssterkte dezelfde is geweest, wanneer bij twee bepalingen de verbruikte hoeveelheid lucht dezelfde was. De druk, waarmee de luchtstroom passeerde (dus onder de stembanden), had dan ook moeten bekend zijn.

Een andere serie bepalingen werd verricht zonder bepaling van het verbruikte volumen lucht, terwijl zooveel mogelijk getracht werd met dezelfde intensiteit te spreken. De bezwaren tegen deze proeven zijn vroeger reeds vermeld. Echter is nu een groote reeks bepalingen gedaan en hiervan het gemiddelde genomen. De proeven zijn verricht, terwijl de onderzoeker zich op $\frac{1}{2}$, 1, $1\frac{1}{2}$ en 2 M. van het Rayleigh'sche toestel bevond.

	Afstand van onderzoeker tot toestel in Meters.	Uitslag van het spiegelbeeldje in schaaldeelen.	
		In de richting der geluidsbron.	Loodrecht op de richting der geluidsbron.
o	$\frac{1}{2}$	8	6
	1	$2\frac{3}{4}$	$1\frac{1}{2}$
	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{4}$	1
	2	1	$\frac{1}{2}$
a	$\frac{1}{2}$	5	$2\frac{1}{2}$
	1	$1\frac{3}{4}$	1
	$1\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	0

Andere klinkers geven te geringen uitslag aan het schijfje, Ze zijn dus voor dit onderzoek niet te gebruiken. Uit bovengenoemde waarden zou dus de conclusie te trekken zijn, dat het geluid in de richting van de geluidsbron ongeveer 1.5 maal sterker is dan in eene richting loodrecht daarop.

Ook hebben wij ons van den fonograaf bediend; toch zijn hier de verhoudingen niet dezelfde als bij de menschelijke stem. Wil men een goeden uitslag aan het spiegeltje meedeelen, dan moeten wij aan den fonograaf een grooten hoorn bevestigen. Het geluid verspreidt zich anders te veel; bovendien is het niet zoo sterk als de menschelijke stem.

Omdat juist het geluid van den fonograaf veel meer gericht is dan dat der stem, is de uitslag, die men krijgt, wanneer men de geluidssterkte nagaat in een richting loodrecht op de richting

der geluidsbron vrij klein; vooral bij vergelijking met de geluids-energie in de richting der geluidsbron.

Op een afstand van 27 c.M. was de uitslag van het spiegeltje in de richting van de geluidsbron voor de klinker „a” 9, loodrecht daarop slechts $1-1\frac{1}{2}$; hieruit zou volgen dat het geluid 6 à 9 maal sterker is in de richting van de geluidsbron, dan in één richting loodrecht daarop. Dit geldt voor den fonograaf. In werkelijkheid zal dit bij het gesproken woord minder zijn, zooals uit de vorige reeks bepalingen blijkt.

Het gelukt ook niet de kwestie op te lossen door gebruik te maken van orgelpijpen. In het hoofdstuk over de afstandswet is reeds gewezen op het ontstaan van knopen en buiken. Zoo werd bijvoorbeeld voor de pijp d_2 op een afstand van 1 M. in de loodrechte richting 24 deelstrepen op de schaalverdeeling afgelezen; terwijl in de rechte lijn de uitslag van 't spiegelbeeldje minder, slechts 20, bedroeg. Bovendien is het geluid van een orgelpijp niet gericht, de vergelijking met de menschelijke stem (afgezien nog van het feit, dat deze laatste vele tonen bevat) is dus ook niet juist.

Ten slotte is nog de harmonica van Urbantschitsch te hulp geroepen. De tongen, die hierbij werden gebezigd, hebben dit voor boven een orgelpijp, dat het geluid in verband met hunnen vorm, gericht is. Bovendien geven zij behalve de grondtoon nog vele boventonen. Omdat 't geluid vrij zwak is en dus de uitslagen van het spiegeltje gering zijn, kan men ze niet op grooten afstand van het toestel van Rayleigh brengen. Buiken en knopen werken dus niet storend.

De harmonica werd op een draaibaar statief bevestigd. Er werd acht op gegeven, dat het uiteinde van de tong samenviel met de draaiingsas van het statief. Zij werd aangeblazen door de persluchtleding van het laboratorium. Ter contrôle werd een manometer ingeschakel. Er werd nu een geschikte toon uitgezocht, die een goed af te lezen uitslag aan het schijfje van Rayleigh mededeelde, een aflezing gedaan in de richting der geluidsbron, daarna het statief 90° gedraaid en wederom afgelezen.

Uitslag van het spiegeltje in schaaldeelen.

E_2	In de richting der geluidsbron.	Loodrecht op de richting der geluidsbron.
	3	$1\frac{1}{2}$
	$2\frac{3}{4}$	$1\frac{1}{2}$
	$2\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{2}$
	$2\frac{1}{2}$	1
	2	1

Ook werden nog eenige bepalingen verricht, terwijl de hoeken tusschen geluidsrichting en as van den opvangtrechter 45° bedroeg.

Uitslag van het spiegeltje in schaaldeelen.

D_2	In de richting der geluidsbron.	Geluidsbron onder een hoek van 45° met as van den opvangtrechter.	Geluidsbron onder een hoek van 90° met as van den opvangtrechter.
	10	9	6
	8	5	4
	7	5	$4\frac{1}{2}$
	10	$6\frac{1}{2}$	$5\frac{1}{2}$
	7	5	4

A_2	In de richting der geluidsbron.	Geluidsbron onder een hoek van 45° met as van den opvangtrechter.	Geluidsbron onder een hoek van 90° met as van den opvangtrechter.
	7	$4\frac{1}{2}$	5
	4	2	$1\frac{1}{2}$
	4	$3\frac{1}{2}$	2
	5	3	2
	8	5	3

Gemiddeld is dus voor E_2 het geluid onder een hoek van 90° 2maal zwakker. Voor D_2 is 't geluid in de richting van de geluidsbron 1.5 maal sterker dan onder een hoek van 45° en $1\frac{3}{4}$ maal sterker dan onder een van 90° , voor A_2 resp. 1.5 en 2.5 maal.

Vat men de aldus op verschillende wijzen verkregen waarden samen, dan lijkt het niet te gewaagd te concludeeren, dat het geluid in de richting van de geluidsbron ongeveer 1.5 à 2.5 maal sterker is dan in een richting, die daarmee eenen hoek van 90° maakt.

§ 2. Sterkte van het stemgeluid bij verschillend luchtgebruik.

Reeds vroeger is er op gewezen, dat het luchtgebruik in het geheel geen maat is voor de geluidsenergie, maar dat men ook rekening moet houden met de drukking, waaronder de lucht door de stemspleet stroomt. Verder is reeds meegedeeld, dat men aan het einde van een reeks proeven bij spreken en zingen veel minder lucht verbruikt dan in 't begin, terwijl de uitslagen van het spiegelbeeldje even groot, ja zelfs grooter zijn geworden. Oefening speelt dus een groote rol, men leert zuiniger zijn met 't luchtverbruik. De efficientie, dus dat gedeelte der toegevoerde energie, dat in geluidsenergie wordt omgezet, neemt toe.

Terwijl bij zingen de uitslagen van 't schijfje voor a wisselden tusschen 7 en 14, bij een vol verbruik van 240 c.M^3 . per sec., waren de uitslagen van een ander onderzoeker met geschoolde stem 10—16 bij een vol verbruik van ongeveer 120 c.M^3 . lucht per sec.

§ 3. Borst- en Faussetregister.

Zooals bekend is, trillen bij het borstregister de stembanden in hun geheele breedte, terwijl in het faussetregister alleen de randen trillen bij iets geopende glottis. De hoeveelheid, in het laatste geval verbruikte lucht, is veel grooter dan bij het borstregister, terwijl de energie geringer is. Dezelfde methode werd gevolgd als sub 1. Wij bedienden ons dus weder van de mondkap, terwijl tevens een aerodromograaf werd ingeschakeld om het gebruikte volumen lucht aan te wijzen. Beurtelings werd elke klinker in het borst- en faussetregister uitgesproken. Om na te gaan hoeveel maal het verbruikte volumen lucht bij 't faussetregister grooter is, dan dat in 't borstregister, werd getracht zooveel mogelijk evengroote uitslagen aan het schijfje van Rayleigh mee te deelen (we abstraheeren ons dus van den druk, die wij toch niet kunnen bepalen).

Om onze waarnemingen nauwkeuriger te maken werden verschillende bepalingen verricht.

Borstregister.			Faussetregister.	
	Vol. lucht in cM ³ . per sec.	Uitsl. v. h. spiegeltje in schaaldeelen.	Uitsl. v. h. spiegeltje in schaaldeelen.	Vol. lucht in cM ³ . per sec.
a	145	12	11	415
	145	10	10	415
	180	8	7	415
	145	14	14	430
	180	11	10	397
e	145	16	15	327
	180	22	20	350
	180	18	19	398
	145	13	11	356
	145	16	15	356
i	180	4	2	494
	180	5.5	1½	476
	220	5	2	536
	180	5	1	512
	180	3.5	3	536
o	145	16	16	292
	180	22	24	430
	180	18	19	326
	145	13	11	284
	145	16	75	304
u	260	5	4	494
	260	6	5	494
	220	9	8	536
	220	7	6	476
	220	5	5	476

Zooals uit bovenstaande cijfers blijkt lopen de waarden nog al uiteen. Het is al onmogelijk om bij eenzelfde hoeveelheid energie, hetzelfde volumen lucht te verbruiken. Bovendien is het zeer moeilijk om aan het spiegeltje eenen bepaalden uitslag mee te deelen. We zouden uit deze waarden kunnen concluderen dat bij eenzelfde hoeveelheid energie het faussetregister 2—2.5 maal meer lucht verbruikt dan het borstregister.

Besluit.

In het voorgaande zijn eenige feiten meegedeeld betreffende de intensiteit van geluidsbronnen, waarmee physiologen en oorartsen veelvuldig in aanraking komen. Ik meen goed te doen de verkregen resultaten nog eens in tabelvorm samen te vatten.

	Geluidsdichtheid (d. i. energie per c.M ³ . in ergs) ter plaatse v. h. spiegelkje.	Totale energie der geluidsbron in ergs.
Fluisterspraak (dominerende toon)	$(13-22) \times 10^{-4}$	84-142
Luide spraak (dominerende toon)	$(18-74) \times 10^{-4}$	116-478
Looden orgelpijpen a ₁ -e ₃	$(2.8-250) \times 10^{-4}$	36-32340
Groote fluit v. Edelmann (afstand tot opvang- trechter 18 cM.)	$(1-36) \times 10^{-4}$	112-4032
Kleine fluit v. Edelmann (afstand tot opvang- trechter 16 cM.)	$(2-118) \times 10^{-4}$	185-10915
Palmhouten fluitje (afstand tot opvang- trechter 2 cM.)	$(6-64) \times 10^{-4}$	98-1045
Harmonica van Urbant- schitsch	$<5 (1-87) \times 10^{-4}$	$<32- <2845$
Sirene a		> 472.5
van o		> 400-1635.75
Marage oe		> 114-412

	Geluidsdichtheid (d. i. energie per c.M ³ . in ergs) ter plaatse v. h. spiegeltje.	Totaal energie der geluidsbron in ergs.
Klok van Itard (afstand tot opvang- trechter 50 cM.)	$(12-45) \times 10^{-4}$	8382 - 31432.5
Misklokjes	$(0.7-15) \times 10^{-4}$	9-194
Stemvork	$(1.5-6) \times 10^{-4}$	9-58

Minimum perceptibile (dubbele waarden van Minkema)

$$e, 4 \times 10^{-12} \text{ erg.}$$

$$g, 9 \times 10^{-12}$$

Efficientie, dus dat gedeelte der toegevoerde energie, dat in geluidsenergie wordt omgezet bedraagt voor:

$$\text{Looden orgelpijpen } a_1-e_3 (1-84) \times 10^{-5}$$

$$\text{Palmhouten fluit} (8-94) \times 10^{-5}$$

$$\text{Fluiten van Edelman} (5-84) \times 10^{-4}$$

Enkele gevolgtrekkingen veroorloof ik mij in stellingvorm in te kleeden.

f4715

STELLINGEN.

I.

Het geluid is in de richting der geluidsbron 1.5 tot 2.5maal sterker dan in eene richting loodrecht daarop.

II.

Bij gelijke hoeveelheid energie verbruikt het faussetregister 2 tot 2.5 maal meer lucht dan het borstregister.

III.

Binnenskamers geldt voor eenvoudige geluidsbronnen (orgelpijpen) geen afstandswet.

IV.

Scarlatina wordt niet door streptococcen veroorzaakt.

V.

Het symptoom van Rumpel-Leede heeft als differentieel diagnosticum geen waarde.

VI.

De peesnaad van von Frisch verdient boven andere de voorkeur.

VII.

Bij het ontstaan van keratitis parenchymatosa speelt trauma een groote rol.

VIII.

Het ontledigen der zwangere baarmoeder reeds na den eersten eclamptischen aanval is niet de beste therapie bij de behandeling der eclampsie.

IX.

Abderhalden's proeven met synthetisch voedsel leveren niet het bewijs, dat groeiende dieren met dit voedsel in leven kunnen worden gehouden.

X.

De menggezwollen der parotis zijn als epitheliomen op te vatten.

XI.

Het verbinden van eene gynaecologische afdeeling aan een krankzinnigengesticht, zooals Bossi dit wil, is niet noodzakelijk.

XII.

Het streven bij de moderne meelbereiding de korrel zoo fijn mogelijk te maken verdient uit hygiënisch oogpunt afkeuring.

XIII.

Uit de proeven van Clerc en Pezzi, waarbij de hartspeer met eene nicotine-oplossing doorstoomd werd, laat zich niet het bewijs putten, dat, behalve de ingeschoven zenuwcellen in de nabijheid der harttoeren, in andere deelen van het hart eveneens zenuwcellen zouden zijn ingeschoven.

(Comptes rendus hebdomadaires de la Société biologique, Dec. 1912).

XIV.

Lopez Suarez bewijst door zijn onderzoekingen niet, dat de zoutzuursecretie door de hoofdcellen plaats vindt.

(Biochem. Zeitschrift 46. 1912.)

BOEKBINDERIJ
OELLERS
VALKENBURG

