Utrecht University Library
Partner in Science
Universiteit Utrecht

Analyse en meting van het dagrumoer

https://hdl.handle.net/1874/285798

A. qu. 192, 1926

ANALYSE EN METING VAN HET DAGRUMOER

F. HOGEWIND

BIBLIOTHEEK DER
RIJKSUNIVERSITEIT
UTRECHT

ANALYSE EN METING VAN HET DAGRUMOER.

Diss. Utrecht 1926

ANALYSE EN METING VAN HET DAGRUMOER

PROEFSCHRIFT

TER VERKRIJGING VAN DEN GRAAD VAN DOCTOR IN DE GENEESKUNDE AAN DE RIJKS-UNIVERSITEIT TE UTRECHT, OP GEZAG VAN DEN RECTOR MAGNIFICUS, Dr. A. NOORDTZIJ, HOOGLEERAAR IN DE FACULTEIT DER GODGELEERDHEID, VOLGENS BESLUIT VAN DEN SENAAT DER UNIVERSITEIT TEGEN DE BEDENKINGEN VAN DE FACULTEIT DER GENEESKUNDE, TE VERDEDIGEN OP DINSDAG 28 SEPTEMBER 1926, DES NAMIDDAGS TE 4 UUR, DOOR

FREDERIK HOGEWIND

ARTS TE BANDOENG, GEBOREN TE TERNATE, NED. O.-INDIE.

UNIVERSITEITSBIBLIOTHEEK UTRECHT
3969 3084

ELECTRISCHE DRUKKERIJ L. E. BOSCH & ZOON — UTRECHT

BIBLIOTHEEK DER
RIJKSUNIVERSITEIT
UTRECHT.

AAN DE NAGEDACHTENIS MIJNER MOEDER
AAN MIJNE VROUW EN KINDEREN

VOORWOORD.

Bij het voltooien van dit proefschrift is het mij een behoefte, U, Hooggeleerde Zwaardemaker, hooggeachte Promotor, mijn bijzonderen dank te zeggen voor de hulp en de raad, die mij van Uwe zijde in zoo ruime mate gewerden.

Zoowel in de jaren, gedurende welke ik als Uw assistent werkzaam mocht zijn, als in het tijdperk, waarin ik dit proefschrift onder Uwe leiding mocht voltooien, heb ik van Uwe groote belangstelling en nimmer falende bereidwilligheid kunnen profiteeren.

Mijn oprechten dank ook aan U, Hooggeleerde Benjamins, wien ik, onder moeilijke omstandigheden, mijn vorming tot otoloog te danken heb.

Ten zeerste ben ik U, Hoogleeraren der medische faculteit te Utrecht, erkentelijk voor de gelegenheid, mij geschonken, mijn proefschrift te verdedigen.

Mijn dank verder aan allen, die mij op eenigerlei wijze hun hulp verleenden bij mijn werk.

INHOUD.

		Blz.
INLEIDING		11
LITERATUUR		14
HOOFDSTUK	I. Beluisteren van het straatrumoer met het ongewapend oor.	26
,,	II. Analyse van het straatrumoer door beluisteren met bolvormige resonatoren	34
,,	III. Beluisteren van het straatrumoer met behulp van schelpen	41
,,	IV. Graphische vastlegging van het straatrumoer door den microfoon-telefoon-fonimeter	46
,,	V. De Paraboloidfonimeter methode	63
,,	VI. Paraboloid-resonator-fonimeter	86
,,	VII. Een portabele paraboloid fonimeter	88
CONCLUSIES		108
APPENDIX		111

INLEIDING.

De strijd tegen het straatrumoer dateert reeds van jaren her. Terwijl op het platteland weinig of geen behoefte gevoeld werd en wordt, om zich tegen geluiden van buitenaf te beschermen, kan het straatrumoer in de steden, en vooral in de grootere handelssteden, met haar steeds toenemend verkeer, zóó hinderlijk worden, dat men met alle mogelijke middelen tracht, zich hiertegen te beschutten.

Dat dit onderwerp de belangstelling had en nog heeft van zéér velen, bewijst de oprichting allerwege van vereenigingen, die de bestrijding van het straatrumoer ten doel hebben, zooals de Antilärmverein, het Deutsches Lärmschutzverband e.d., die hun eigen bondsbladen uitgeven (Der Antirüpel, Recht auf Stille, Der Lärmschutz enz.). Door middel van deze bonden en bondsorganen tracht men:

1e. De plaatselijke en rijksregeeringen er toe te brengen, verordeningen uittevaardigen, die het straatrumoer kunnen tegengaan.

2e. Methoden te vinden, die in staat zijn het straatrumoer, hetzij in zijn oorsprong, hetzij op zijn weg naar en in de woningen te bestrijden en te dempen.

Dit laatste kan op verschillende wijzen geschieden.

In de eerste plaats, door voertuigen en karren van veerende assen te voorzien; daarnaast door het aanbrengen van gummibanden om de wielen, die een sterk geluiddempende werking hebben. Verder door de bestrating zoo glad mogelijk te maken, b.v. met behulp van een asphaltlaag, en, in den laatsten tijd door geluiddempend plaveisel, zooals gummi.

Hier bestrijdt men dus het straatrumoer in zijn bron, of één zijner bronnen.

Vervolgens kan men de beschutting tegen te harde geluiden aan het opvangend apparaat, dus aan ons oor zèlf, aanbrengen.

Een vet watje, goed stijf in den gehoorgang aangedrukt, houdt reeds een massa geluid tegen. Geperfectionneerd kan men deze soort van beschutting bekomen in den vorm van de bekende antiphonen, kleine bolletjes van verschillend materiaal vervaardigd, die juist in den gehoorgang passen, dezen geheel afsluiten [1]), en door druk tegen den tragus, in den goeden stand gehouden worden.

Eindelijk kan men beschutting zoeken tegen àl te sterke geluiden van buiten, door een afsluitende wand tusschen oor en straatrumoer te plaatsen. In het dagelijksch leven doen de muren en vensters onzer woningen als zoodanig dienst, en het behoort tot de, lang niet altijd even gemakkelijke taak der woningarchitecten, dezen vorm van geluiddemping te perfectionneeren.

Nu zou men mogen verwachten, dat, als gevolg van al de belangstelling, die het straatrumoer van zoovele kanten ondervindt, in de eerste plaats de bestudeering van zijne physische en acustische eigenschappen zou zijn ter hand genomen.

In de geneeskunde geldt als axioma, dat voor een rationeele bestrijding eener ziekte, hare oorzaak moet opgespoord en bestudeerd worden. Hetzelfde geldt m.m. ook voor de bestrijding van het straatrumoer, ook al heeft men hier niet direct met een ziekte te maken.

Een feit echter is het, dat het physisch en acustisch onderzoek van het dagrumoer als zoodanig eigenlijk nog aangevangen moet worden.

Voor een overgroot deel is dit wel het gevolg van het uiterst gecompliceerd karakter van het straatrumoer. Als men bedenkt, hoe langen tijd er moest verloopen, vóór men een behoorlijke registratie- en meetmethode voor eenvoudige klanken verkregen had, en welke moeilijkheden aan een nauwkeurige analyse der vocalen in den weg stonden, waarbij de namen van Donders en Helmholtz in de eerste plaats in herinnering

[1]) Dr. Ing. Hooghiemstra heeft een patent genomen op antiphonen met een capillair kanaal in de as, om drukverschillen binnen en buiten den gehoorgang te voorkomen.

moeten worden gebracht, dan is het zeker niet te verwonderen, dat het straatrumoer, met zijn ontstellend aantal van de meest verschillende geluiden, die meestal nog zéér vluchtig zijn, en niet afzonderlijk kunnen worden opgevangen, tot nu toe niet het onderwerp van een ernstig wetenschappelijk onderzoek is geweest.

Doel nu van dit proefschrift is, de van buiten, van de straat komende geluiden, iets nader te leeren kennen in hunne acustische eigenschappen, waartoe in de eerste plaats noodzakelijk was, een voldoende registratie van de intensiteit dezer geluiden mogelijk te maken, en eenig inzicht te krijgen in de tonen, waaruit zij zijn samengesteld.

Ik verheel mij hierbij niet, dat er op dit gebied zeer talrijke voetangels en klemmen liggen, die ik zeker lang niet alle heb kunnen vermijden, spreek echter toch de hoop uit, dat het resultaat van het onderzoek een weinig zal kunnen bijdragen tot de kennis van dit zoo ingewikkelde probleem.

LITERATUUR.

Wanneer men afziet van wat over het straatrumoer is gepubliceerd in de bondsorganen der, in de inleiding genoemde, en andere dergelijke vereenigingen, vindt men eigenlijk nergens eenige literatuur over het straatrumoer als zoodanig. Een wetenschappelijke verhandeling, uit physisch en acustisch standpunt bezien, bestaat er niet over.

In die bondsorganen vindt men hoofdzakelijk populaire verhandelingen over middelen ter bestrijding van het rumoer in algemeene zin, waaronder in de eerste plaats de van de straat komende geluiden. Onder deze bestrijdingsmaatregelen nemen de wettelijke een groote plaats in, daarnaast vooral de maatregelen ter geluiddemping bij den huizenbouw [1]).

Hoewel bij het laatstgenoemde probleem herhaaldelijk gewezen wordt op het feit, dat lang niet alle geluiden door de verschillende bouwmaterialen opdezelfde wijze worden gedempt, heeft er toch nooit een ernstig onderzoek naar de qualiteit van het straatrumoer plaatsgehad, zelfs niet naar de quantiteiten.

De benamingen voor de verschillende soorten van geluid, die ons van uit de straat bereiken zijn tallooze: ratelen, dreunen, donderen, suizen, knallen, knetteren, etc.

Ook wordt onderscheid gemaakt tusschen de hoogere geluiden in het straatrumoer aanwezig, zooals menschenstemmen, het geluid van fietsbellen, enz. en de lagere, dreunende geluiden van zware voertuigen. Echter blijft het bij een zeer oppervlakkige beschouwing of een enkele betiteling van het objectief gehoorde. Dat niet uitsluitend het hinderlijke van het straatrumoer steeds op den voorgrond wordt gebracht, moge blijken uit een artikel van Geiszler [2]) in een der bondsblaadjes; waarin hij

---

[1]) Men vergelijke hiervoor: J. I. A. B. van Royen: Over het geluidsvraagstuk in ziekenhuizen. Dissertatie 1920.

[2]) F. A. Geilszler. Die Musik des Lärms (Der Antirüpel 3, Maart 1910).

wijst op de beteekenis van het rumoer in het algemeen, en het straatrumoer in het bijzonder voor de moderne muziek.

Hij zegt daarin: „Het is zeker niet zonder beteekenis, dat de aan het straatrumoer ontleende, korte, fragmentarische, makkelijk te veranderen geluiden, die in oneindige variaties kunnen worden opgewekt, tegenwoordig als motieven in de moderne muziek worden toegepast. Dit is te beschouwen als een uiting van de veranderde psychische gesteldheid van den modernen mensch, die het opwindende, rumoerige leven noodig heeft."

In hoeverre dit juist is, waag ik niet te beoordeelen. Als medicus zou ik eerder willen aannemen, dat, zoo Geiszlers meening werkelijk juist ware, de veranderde psychische gesteldheid van den modernen mensch evenzeer dient te worden bestreden, als het, voor hem zoo noodige, straatrumoer zelf.

Overigens schijnt ook vroeger reeds het rumoer soms een gunstigen invloed op enkele componisten gehad te hebben. Zoo vertelt Geiszler, dat Mozart het liefste componeerde onder het levendig gesprek zijner vrienden. Schubert vond zijne mooiste melodiën temidden van het rumoer van een biertuin. En Johan Strauss kreeg zijn ingevingen voor zijn meest populaire wijzen vaak juist tijdens een druk feest of rumoerigen maaltijd. En zoo zal ook, meent Geiszler, voor den modernen kunstenaar het oneindig gevarieerde geluidenspel uit het straatrumoer met zijn vaak typische en duidelijke rhytmiek dikwijls een prikkel tot nieuwe scheppingen kunnen verschaffen.

Bestaat er dus over het straatrumoer als zoodanig niet veel literatuur, over zijn samenstellende deelen werd des te meer gepubliceerd.

In het straatrumoer komen n.l. naast elkaar voor klanken, impulsen (knallen) en geruischen.

De literatuur over klanken is zeer groot, doch kan, waar zuivere klanken in het dagrumoer onvermengd bijna niet voorkomen, hier gevoegelijk onbesproken blijven.

De *impuls* (knal) ontstaat volgens Hensen [1]) door een plot-

[1]) Hensen, Analyse der Empfindungen (2) Jena 1900.

selingen luchtstoot, volgens zijn proeven met een tijdsduur van 0,005—0,0015 sec. bij een zuiveren impuls en van 0,005—0,007 sec. bij een doffen knal. Als voorbeelden van knallen kunnen gelden het geluid van een slaghoedje, het geluid van twee tegen elkaar botsende houten platen, de knal van een zweep, de donder, etc., dus verschillende, in het dagrumoer voorkomende geluiden.

Bij Hensens proeven, waarbij de knal graphisch weergegeven werd, vindt men eerst een negatieven uitslag, met opvolgend eenige onregelmatige golfbewegingen.

Knallen, die op verschillende manier worden geproduceerd, geven zeer verschillende geluidsindrukken, tengevolge van de verschillend gevormde golfbewegingen.

Voor een deel zal het karakter dezer golfbewegingen van de wijze van registratie afhankelijk zijn, zooals bij de studie van den knal van een slaghoedje op een phonograaf. [1])

De pauze tusschen twee afzonderlijke knallen kan nog met het oor worden waargenomen, als ze met een tusschenruimte van minstens 0,125 sec. weerklinken. De knallen zelf kunnen nog ieder afzonderlijk worden gehoord, als er 33 in een seconde worden geproduceerd.

En eerst bij een nog veel grooter frequentie loopen de knallen zóó inéén, dat er slechts één doorloopend geluid wordt gehoord, in dit geval een geruisch, door samenvloeiing van knallen ontstaan. Voor wij verder gaan willen wij echter het begrip „geruisch" nader definieeren.

Van *geruischen* zegt Helmholtz [2]) o.a. het volgende:

„Geruischen en klanken kunnen in velerlei verschillende verhoudingen vermengd voorkomen en door overgangsstadiën in elkaar overgaan; doch hunne extremen zijn acustisch ver van elkaar verwijderd. Met ons oor kunnen wij opmerken, dat in het algemeen bij een geruisch snelle wisseling van geluidsindrukken plaats grijpt. Men kan in de meeste geruischen

[1]) H. Zwaardemaker. „Festschrift" voor S. Exner. Wiener Med. W. 1916 no. 14.

[2]) Helmholtz. Die Lehre der Tonempfindungen, blz. 14, 3e Ed. 1870.

duidelijk tonen onderscheiden, die zoowel in intensiteit als in qualiteit snel wisselen, wat vooral goed uitkomt, als men ze beluistert met resonatoren.

Het hoofdkenmerk van de trillingen der luchtdeeltjes bij geruischen is, dat zij niet regelmatig periodisch zijn, in tegenstelling met die bij klanken.

Volgens Hensen [1]) wordt een geruisch gevormd door een vlugge opeenvolging van kleine knallen, waarvan de sterkte zelfs in één geruisch zeer verschillend kan zijn. De knallen volgen elkaar zóó vlug op, hetzij in regelmatige of in onregelmatige volgorde, dat slechts in enkele gevallen de afzonderlijke impulsen duidelijk kunnen worden gehoord, zooals b.v. bij knetterende, krabbende, snorrende geluiden.

De geruischen zijn dus gekenmerkt door de vlugge wisseling van verschillende geluidsindrukken (suizen van den wind, rollen van wagens, plassen van water).

Een tweede kenmerk der geruischen is het niet muzikaal zijn. Toch zijn er ook wel geruischen, waaraan een of meer afzonderlijke tonen te onderscheiden zijn; hierbij is de toon echter niet constant, doch wisselt zonder eenige regelmaat. Dit dus in tegenstelling met de muzikale geluiden, de klanken, die opgewekt worden door regelmatige periodieke bewegingen van een klinkend lichaam.

Volgens Schäfer [2]) is van het begrip geruisch geen preciese psycho-physiologische definitie te geven. In het algemeen kan men zeggen, dat onder een geruisch een geluidsindruk verstaan moet worden, die nòch het zuivere, gladde, klare van den eenvoudigen toon heeft, nòch het melodische, harmonisch rhytmische van een muzikalen klank.

Toch bestaat er tusschen geruischen en tonen verwantschap. Evenals bij de tonen vindt men bij de geruischen onderscheid in duur, sterkte, gelijkmatigheid en vooral in hoogte.

Dat men van een bepaalde toonshoogte van een geruisch kan

---

[1]) Hensen. Analyse der Empfindungen. (2) Jena 1900.

[2]) Schäfer. Handbuch der Physiologie des Menschen, v. Nagel, Dl. 3, blz. 579, 1905.

spreken, komt, doordat de meeste geruischen, zoo niet alle, een of meer domineerende tonen bevatten. Bij niet te korte en zachte geruischen kan men die toon meestal zonder veel moeite hooren. In andere gevallen is dit echter zeer moeilijk.

Stumpf [1]) hoorde b.v. in het plassen van een bergbeek zeer duidelijk en standvastig de fis [1]); verder verschillende onstandvastige diepere tonen, en daarnaast een voortdurend eigenlijk geruisch, dat niet nader te definieeren was.

Door oefening is men in staat uit de meeste geruischen een of meer tonen te halen, vooral als men het geruisch vlug achter elkaar eenige malen herhaalt.

Heim [2]) meende zelfs, dat in het geruisch van een waterval, ook van een kunstmatige, steeds den C-dur drieklank naast een onderdominante F aanwezig is.

Impulsen, geruischen en muzikale klanken kunnen in zeer verschillende verhoudingen gemengd voorkomen, en ook in elkaar overgaan.

In het straatrumoer komen alle drie voor in voortdurend wisselende sterkte en verhouding, doch het hoofdbestanddeel wordt wel gevormd door de geruischen.

Maar ook in ons oor zèlf worden deze geluiden geproduceerd, de z.g. entotische geruischen, die vooral in de camera silenta tot hun recht komen. Volgens Zwaardemaker [3]) hoort men hier twee soorten van geruisch: één dieper, gelijkend op het ruischen van den wind in de boomen, en één zeer hoog, als het sjirpen van een krekel. Zwaardemaker acht het niet onwaarschijnlijk, dat men hier te maken heeft, deels met vaatgeruischen, doch deels met een positief nabeeld van het dagrumoer, daar het na eenigen tijd verblijven in de camera silenta zwakker wordt.

Analyse van geruischen.

Om het wezen van een geruisch en de daarbij behoorende

---

[1]) C. Stumpf. Tonpsychologie 2, blz. 497. 1890.

[2]) A. Heim. Verhandl. Naturf. Gesell. Schafhausen 1873 in Handb. d. Physik v. Winkelmann, 2e band, blz. 276.

[3]) H. Zwaardemaker. Over het Physiologisch oorsuizen. Ned. Tijdschr. v. Geneesk. 1905 I. p. 571.

geluidsindrukken te leeren kennen, moet men eerst de in het geruisch aanwezige eenvoudige tonen analystisch afscheiden, hiervan de toonshoogte, duur en sterkte bepalen, en dan eindelijk de rest van het geruisch onderzoeken. Een dergelijke analyse is reeds bij klanken vaak zeer moeilijk, soms niet uitvoerbaar; bij geruischen is zij tot nu toe slechts voor een gering deel mogelijk gebleken.

a. Men heeft natuurlijk getracht, de luchtbewegingen door een geruisch teweeggebracht, zichtbaar te maken.

Töpler [1]) onderzocht met zijn „Schlieren"-apparaat den electrischen vonk en vond, dat deze slechts een enkele luchtgolf veroorzaakt, wat later sterk in twijfel werd getrokken.

Hensen [2]) onderzocht den knal met behulp van een manometrischen vlam, en een weinig gedempte, zwak gespannen caoutchouc membraan. Deze reageerde steeds met meerdere trillingen, tot 10 toe, evenals op het spreken van de consonanten p, b, k en t.

Daar de caoutchouc membraan een eigen trilling heeft, gebruikte *Brücke* [3]) een sterk gedempt micaplaatje. Hiermee verkreeg hij gewoonlijk, b.v. bij handenklappen, slechts een enkelen top. Echter reageert een micaplaatje door zijn sterke demping niet op zwakkere golfbewegingen.

Over het algemeen kan men zeggen, dat de optische analyse der geruischen tot nu toe nog zeer gebrekkig is geschied.

b. Een andere methode was die, door middel van resonantie de in het geruisch aanwezige tonen aan te toonen.

Hensen [4]) gebruikte een piano, om het handenklappen te analyseeren. Daarbij werden verschillende snaren tegelijk in beweging gebracht.

Het instrument vermocht, volgens Hensen, beter dan het menschelijk oor, de hoogte van den knaltoon aan te geven.

---

[1]) Töpler. Beobachtungen nach einer neuen optische methode. Uber neuere Versuche in dieser Richtung. (Fortschritte der Physik, Jg. 1399 u.f.

[2]) Hensen in Hermann's Handboek d. Physiologie 3 (2, 19. 1880).

[3] Brücke. Sitzungsberichte d. Wiener Akademie 90 (3) 1884.

[4]) Hensen. Analyse der Empfindingen, 2 Jena 1900 blz. 173.

Mach [1]) onderzocht op deze wijze verschillende knalgas-onploffingen.

Tracht men echter andere geruischen op deze weg te analyseeren, dan ondervindt men steeds de moeilijkheid, dat er zéér veel pianosnaren of resonatoren noodig zijn, en dat beide hulpmiddelen in den steek laten, als de intensiteit van de tonen een bepaald minimum niet overschrijdt.

Bovendien moet men bij het onderzoek van stèrke geluiden met resonatoren voorzichtig zijn, als deze geluiden sterkere luchtbewegingen teweegbrengen, daar door dergelijke bewegingen alléén al de resonance kan beginnen te klinken, zooals man steeds hoort bij zacht blazen langs een resonatoropening.

c. Een derde methode is die van de interferentiebuizen.

Stumpf [2]) geeft, naar aanleiding van zijn onderzoek der gefluisterde vocalen met behulp der interferentiemethode aan, dat op dezelfde wijze ook de voor de fluisterspraak voornaamste consonanten (Sch, S, F, Ch, K, T, P en R) die met voldoende sterkte geproduceerd kunnen worden, onderzocht en geanalyseerd kunnen worden. Door stapsgewijze uitdooven der tonen, beginnend van de bovenste toongrens, en weer opbouwen kan men ook hier bepaalde formantenzones aantoonen, die echter niet zoo duidelijk zijn, als bij de vokalen. Zij bevatten de tonen van C^1 opwaarts en reikende tot in het 7 gestreepte octaaf.

Stumpf [3]) komt, in tegenstelling met andere autoren, tot de conclusie, dat klanken en geruischen specifiek verschillende gehoorsindrukken geven. Het verschil tusschen klanken en geruischen komt in veel opzichten (niet in alle) overeen met het verschil tusschen de kleurlooze zwart-wit indruk en de gekleurde rood-blauw, enz. indruk op het gezichtsorgaan.

Er bestaat volgens hem, ook geen eigenlijke overgang tusschen tonen en geruischen. Wel bestaan er talrijke mengvormen.

---

[1]) Mach. Archiv. f. Ohrenheilkunde 23, p. 80. 1886.

[2]) C. Stumpf. Beiträge sur. Anat., Phys., Path., u. Ther. des ohres,. der Nase u. des Halses, Bd. XII, 1919. Zur analyse geflüsterter Vokale

[3]) C. Stumpf. Die Sprachlaute, Berlijn 1926, blz. 98, 370 en 271.

Hij onderscheidt drie hoofdklassen van geruischen.

1e. duurgeruischen, d.z. de geruischen par excellence, waartoe de meeste consonanten behooren, bv.. Sch. S, F, Ch en H.

2e. De onderbrekingsgeruischen, b.v. motorgeruisch, en de consonant R.

3e. Oogenbliksgeruischen (overgangen tot knallen).

Voor geruischen zoude, volgens hun physische geaardheid, in het raam van de resonantietheorie, een over een breed gebied van de basilaarmembraan verbreide, op de afzonderlijke vezels zwakke en van vezel tot vezel verschillende prikkelings toestand aan te nemen zijn. In dit laatste zoude het wezenlijke onderscheid tegenover tonen te zoeken zijn: bij deze, zelfs zeer zwakke, nog hoorbare tonen, geraakt door een sinusgolf van bepaalde golflengte ook een grooter aantal nabijliggende vezels tot gedwongen meetrillen in *hetzelfde* tempo, terwijl bij de toonlooze duurgeruischen waarschijnlijk iedere vezel door een adäquaten zwakken prikkel tot eigentrilling wordt gebracht.

d. Een scherp gehoor is op zich zelf reeds, zooals Stumpf opmerkte, een geschikt middel om geruischen te analyseeren, maar toch lang niet voor alle gevallen voldoende. Een groot bezwaar hierbij is n.l., dat die tonen uit het geruisch, die tegelijk met andere, doch sterkere tonen weerklinken, door deze laatsten voor het gehoor geheel bedekt worden. Soms ook liggen de tonen te dicht bij elkaar, om nog ieder voor zich herkend te kunnen worden. Ook kunnen sommige tonen te kort van duur zijn, om te midden van de vorigen gehoord te worden.

Dit zijn allen oorzaken, waarom een physiologische geruischanalyse gewoonlijk niet mogelijk is.

Wel is het mogelijk hiermee aan te toonen, dat er overgangen van toon tot geruisch bestaan:

Een reine, kortdurende toon (2 à 3 trillingen) geeft reeds den indruk van geruisch. *Helmholtz* [1]) heeft aangetoond, dat men uit

---

[1]) Helmholtz. Lehre der Tonempfindungen, 3e Ed. 1870, p. 14.

tonen een geruisch opbouwen kan, als men vele vlak naast elkaar liggende tonen tegelijk laat weerklinken, b.v. alle pianotoetsen van een of meer octaafbreedten tegelijk aanslaat.

Stumpf [1]) beweert, dat men hierbij alleen in de lage regionen een zuiver geruisch krijgt, en in de midden octaven meer den indruk van klank blijft, waaruit men meer of minder tonen kan afsplitsen.

Het schijnt dus wel, dat het door grooter oefening en aanleg gelukt, met het oor de geruischen beter in verschillende tonen te ontleden, en dat één en het zelfde geruisch op verschillende toehoorders volstrekt niet denzelfden indruk maakt. Dit in tegenstelling met de zuivere klanken.

Dennert [2]) „maakte" geruischen uit tonen, met behulp van een Seebeck sirene, waarbij hij den afstand tusschen de gaten op de meest verschillende manier grooter en kleiner maakte. Hij verkreeg daardoor een zuiveren geruischindruk.

Hieruit zou dus blijken, dat geruischen uit zuivere tonen opgebouwd kunnen worden, en als bij de analyse van een bepaald geruisch alle tonen zooveel mogelijk zijn afgescheiden en dan nog een zuiver geruisch overblijft, is het zeer waarschijnlijk, dat ook dit laatste nog uit enkelvoudige tonen is opgebouwd.

Dat een exact bewijs voor deze laatste veronderstelling veel waarde zou hebben, blijkt reeds hieruit, dat volgens de resonantietheorie van Helmholtz het Cortische orgaan is ingericht op het opnemen van enkelvoudige tonen. Zou een zuiver geruisch nog iets anders zijn, dan een combinatie van enkelvoudige tonen, dan zou in het oor nog een speciaal opvangapparaat voor geruischen moeten zijn.

Objectieve geluidmeting.

Volgens *Rayleigh* [3]) verstaat men onder de physische intensiteit van een voortloopende geluidsgolf die hoeveelheid geluid,

[1]) Stumpf. Tonpsychologie 2, 504, 1890.
[2]) Dennert. Archiv. f. Ohrenheilkunde 24, blz. 84, 1887.
[3]) Lord Rayleigh. Die Theorie des Schalles, blz. 245.

die in de tijdseenheid door de vlakteeenheid passeert, analoog dus aan de lichtintensiteit. Deze is voor het licht zeer eenvoudig te berekenen, en is gelijk aan $\frac{i}{4\pi n^2}$ op een afstand n van den lichtbron met de lichtsterkte i. Voor de geluidsterkte is dit veel moeilijker te berekenen, 1e doordat de geluidsterkte van een geluidsbron niet met nauwkeurigheid is te bepalen; 2e omdat de geluidsterkte niet, zooals de lichtsterkte, afneemt met het kwadraat van den afstand tot de geluidbron. Deze regel geldt n.l. voor geluidsterkten slechts tot op zekere hoogte voor proeven in de vrije lucht en bij absolute windstilte, nooit echter in gesloten ruimten, waar door terugkaatsing en interferentie staande golven met buiken en knoopen ontstaan, die dus voor iedere ruimte weer andere verhoudingen geven. Dit is volgens *Sieveking en Behm* [1]) zelfs het geval voor zeer groote ruimten, b.v. een binnenplaats van een kazerne van 10000 M². oppervlakte.

Max Wien [2]) ging voor de geluidmeting uit van den regel; dat de toonsterkte volgens Rayleighs definitie afhangt van amplitude en toonshoogte van den onderzochten toon, doch eveneens van de verhouding van grootste drukverandering tot den normalen druk.

Sterke drukveranderingen kreeg hij met behulp van Helmholtz' resonatoren, op een zijopening waarvan dunne elastische metalen plaatjes waren aangebracht van denzelfden eigentoon als de resonatoren. De bewegingen van deze plaatjes werden overgebracht op een spiegeltje, dat een draaipunt moet hebben geheel onafhankelijk van de membraan. Het beeld van een spleet werd in het spiegeltje door een kijker bekeken. De breedte van dit beeld was een maat voor de sterkte van het geluid.

Altberg benutte den druk, die de geluid-golven op een reflecteerenden wand uitoefenen, om hieruit volgens eenvoudige door Rayleigh aangegeven formules de intensiteit van het geluid te berekenen.

---

[1]) Sieveking en Behm. Annalen der Physik, Bd. 15, 1904.

[2]) M. Wien. Wiedemanns Annalen d. Physik un Chemie, Bd. 36, 1888, blz. 834.

Op hetzelfde principe berust het spiegeltje van Rayleigh, dat door *Zernov* [1]) voor dit doel gebruikt werd. Uit de afwijking van het spiegeltje is, met behulp van door W. König aangegeven en door *Zernov* verbeterde formules de geluidsenergie op de plek van het spiegeltje te berekenen, uitgedrukt in ergs per c.M^2.

Deze, evenals de Altbergsche methode, is, in tegenstelling met die van Wien onafhankelijk van den trillingsvorm van de geluidgolven, en dus ook speciaal geschikt voor het meten van de intensiteit van geruischen.

Echter kan men hiermee slechts zeer sterke geluiden meten, zooals het geluid van een claxon e.d.

Zwaardemaker [2]) voegde aan het toestel van Zernov een toegangsbuis en opvangtrechter toe, waardoor de gevoeligheid buitengemeen verhoogd werd. Echter wijzigen toegangsbuis en trechter het geluid. Daarom gaf Zwaardemaker deze zooveelmogelijk vorm en grootte van den menschelijken gehoorgang en oorschelp, en maakte daarmee een physiologische geluidmeting mogelijk.

Deze fonimeter van Zwaardemaker werd door Michotte [3]) nauwkeurig bestudeerd, speciaal, wat de betrouwbaarheid ten opzichte van de meting van geluidintensiteiten betreft. Hij kwam tot het resultaat, dat de fonimeter ons in staat stelt, ook van zwakke geluiden de intensiteiten te vergelijken, terwijl de uitkomsten der metingen betrouwbaar zijn, mits men rekening houdt met enkele voorwaarden, door hem als gevolg van zijn onderzoek gesteld.

Om het dagrumoer te kunnen registreeren en meten, hebben wij een methode noodig, waarbij het geluid vrij in de lucht, op de plaats, waar het gehoord wordt, aangetoond kan worden.

Een dergelijke methode is die van het spiegeltje van Rayleigh.

---

[1]) Zernov. Annalen der Physik, Bd. 26, blz. 79, 1908.

[2]) H. Zwaardemaker. Over geluidmeting. Onderzoekingen gedaan in het Physiol Laborator. der Utrechtsche Hoogeschool. 5e reeks XVI, 1915.

[3]) A. Michotte. Note sur la mesure de l'énergie acoustique au moyen du miroir de Rayleigh. Livre Jubilaire de H. Zwaardemaker. Arch. Neerl. de physiol. I 7, p. 578.

Doch ook de groote gevoeligheid, die Zwaardemaker aan het toestel gegeven heeft, was nog niet voldoende voor dit doel. Er diende dus getracht te worden, het toestel zooveel gevoeliger te maken, dat het ook voor de registratie van de op verren afstand geproduceerde geluiden van de straat een betrouwbaar instrument werd.

De wijze waarop dit geschiedde, zal in de hoofdstukken IV e.v. besproken worden.

Voor zoover een analyse van het straatrumoer mogelijk was, geschiedde dit met behulp van het oor, van resonatoren en van schelpen.

HOOFDSTUK I.

Beluisteren van het straatrumoer met het ongewapend oor.

In het dagelijksch leven tracht een ieder, die zijn aandacht niet direct op de geluiden van de straat moet vestigen, deze zooveel mogelijk te negeeren. Wij wennen ten slotte aan het rumoer, ook al is het sterk; en alleen enkele zéér opvallende geluiden dringen afzonderlijk tot ons bewustzijn door. Hoe dit „gewennen" geschiedt en op welk gedeelte van den weg gehoorzenuw-cerebrum dit plaats vindt, is niet bekend.

De rest bereikt natuurlijk wel ons gehoororgaan, doch wordt, hetzij in het Cortische orgaan, hetzij meer centraalwaarts niet „verwerkt", wat een geluk is, daar het gehoororgaan niet, gelijk het gezichtsorgaan het vermogen bezit de indrukken van buiten af te weren. Weliswaar wordt veelal aangenomen, dat een zekere mate van geluiddemping door het oor zelf mogelijk is, doordien met behulp van de inwendige oorspieren de spanning in trommelvlies en keten van gehoorbeentjes veranderd wordt, met als gevolg een verzwakking van de voortgeleiding naar het ovale venster, doch deze beschutting is toch in de verte niet te vergelijken met die van het oog, waar door pupilvernauwing en sluiting der oogleden een bijna totalen weerstand aan de lichtstralen wordt geboden.

Het vermogen, om het straatrumoer in zekeren zin langs zich heen te laten gaan, bezit een ieder, doch verschillende personen in zeer verschillende mate. Nerveuze personen worden veel ernstiger door de straatgeluiden gehinderd, dan normale, en moeten ondanks zichzelve hun aandacht telkens weer richten op bepaalde onderdeelen van het straatrumoer. Zij hooren daarin, en worden onaangenaam aangedaan door geluiden, die een normaal mensch niet bemerkt. Dit ontledingsvermogen kan men

zich ook door oefening eigen maken. Legt men het ongewapend oor te luisteren voor het geopend raam aan de straatzijde, dan ontvangt men een menigte verschillende geluidsindrukken tegelijkertijd, waarvan in den beginne alleen de sterkere als aparte geluiden herkend worden.

Doch door de aandacht te vestigen op de minder sterke geluiden, leert men deze ook spoedig te midden der sterkere onderscheiden, en het lukt na voldoende oefening talrijke geluiden afzonderlijk te hooren en te herkennen, die men in den beginne zelfs niet aanwezig dacht.

Luistert men in een niet al te drukke straat, waar het verkeer wisselt in sterkte, dan verneemt men in de stillere tusschenpoozen eigenlijk twee soorten van geluid:

Het eerste, sterkste, en dat ook het meeste opvalt, wordt voortgebracht door de in de straat passeerende voertuigen, door de stemmen der voorbijgangers, enz., geluiden dus, die sterk en snel in intensiteit wisselen. Daarnaast hoort men echter een voortdurend geruisch, van onbestemden aard, dat weinig in insentiteit wisselt, doch telkens door daarnevens voorkomende, toevallig sterkere geluiden wordt overstemd.

Bij nauwkeurig toehooren, kan men ook hierin nog allerlei distincte geluiden onderscheiden. En nu is het merkwaardig, dat men juist in dit onbestemde geruisch dikwijls klanken van menschen en dierenstemmen kan opvangen, die te vaag zijn, om als aparte geluidsindruk herkend te worden.

Zeer zeker vormen dus de animale geluiden een groot deel van dit niet nader te defineeren onderdeel van het straatrumoer; geluiden, die te zacht zijn, of op te verren afstand geproduceerd worden, om apart herkend te worden. Niet onmogelijk is dit een gevolg daarvan, dat het menschelijk oor zeer gevoelig is juist voor de tonen van de spraakzone, d.i. dàt gedeelte van de toonladder, waarin de door het menschelijk spreekorgaan geproduceerde tonen liggen (volgens Schmiegelow loopend van a^1 tot e^3). Een overzicht van de door verschillende onderzoekers gevonden waarden van het minimum perceptibile der verschillende tonen geeft de volgende tabel.

Minimum perceptibile van het menschelijk gehoororgaan

Geluidsenergie op den grens van het hooren per sec. en per c.M². in ergs.

Trillingsgetal per sec.	Toepler en Boltzmann (1)	Quix en Minkema (2)	Wien (3)	Hahneman en Hecht (5)	Kranz (5)
50			$10^{-3,5}$		
64		39×10^{-8}			
100		52 ,,	$10^{-5,9}$		
128		12 ,,			$10^{-5,0}$
181	$10^{-4,0}$				
200		2,4 ,,	$10^{-7,9}$		
256		1,2 ,,			$10^{-7,4}$
360		3 ,,			$10^{-7,2}$
400		5,0 ,,	$10^{-9,8}$		
512		4,1 ,,			$10^{-8,6}$
800		5,4 ,,	$10^{-11,1}$		
1000				$10^{-9,7}$	
1024		4,3 ,,	$10^{-8,5}$		
1300			$10^{-8,6}$		
1600		5,7 ,,	$10^{-8,6}$		$10^{-11,6}$
2048		1,1 ,,	$10^{-8,7}$		
3200		1,5 ,,			$15^{-11,6}$
4096		2,9 ,,	$10^{-8,4}$		
6400		3,2 ,,			$10^{-11,1}$
8192		5,1 ,,			
12800		45,0 ,,			$10^{-10,1}$
16384		581,3 ,,			

---

[1]) Toepler u. Boltzmann: Poggend. Ann. Bd 141, S 321. 1870.

[2]) Quix en Minkema. Onderzoekingen Physiol. Lab. v/d Utr. Hoogeschool 1902 en 1905.

[3]) M. Wien. Pflügers Archiv f. d. Gesammte Physiol. Bd. 97, S 1, 1903.

[4]) Hahnemann, W. u. H. Hecht, Ann. Physik Bd. 60, S 454, 1919.

[5]) Kranz, F. W. Physic. Rev. (2) Bd. 21, P 573, 1923.

Een tweede eigenaardigheid van dit geruisch is, dat het een vrij constante hoogte bezit, die in verschillende straten verschillend is. In nauwere straten is het merkbaar hooger van toon dan in breede. Dit zou er op wijzen, dat wij hier te doen hebben met den invloed van den z.g. reflexie- of terugkaatsingtoon [1]).

Deze toon ontstaat in niet te breede straten met goed reflecteerende wanden, en wordt opgewekt door alle mogelijke geruischen. Desniettegenstaande is de hoogte van den toon zeer scherp aan te geven; zóó scherp, dat men hem in een nauwer wordende straat duidelijk hooger hoort worden, en hieruit de breedte van de straat kan opmaken.

Het sterkst hoort men dit geluid als men, op straat staande, zèlf een geruisch voortbrengt (klappen in de handen). Veel zwakker is het, als het geruisch op eenigen afstand van het luisterend oor geproduceerd wordt, terwijl het dan tevens lager wordt.

Het is niet onwaarschijnlijk, dat de straat werkt als een soort resonator, maar dan als een die lijkt op den schelp, dus als een geruischresonator. Het uit de verte komend geluid wordt als geruisch versterkt teruggegeven met een bepaalde toonshoogte. Begrijpelijk wordt het dan, waar de resonancesterkte slechts gering is, dat men het eigen geluid van de straat als gezoem alleen maar hoort in perioden van stilte, en dat het gewoonlijk overstemd wordt, door de sterkere geluiden, die ons oor direct treffen.

De toonshoogte van dit geruisch verschilt dus, al naar gelang van de plek, waar men er naar luistert. Voor het raam van het Physiologisch Laboratorium luisterend, kon ik haar hoogte door vergelijking met stemvorken vaststellen op ongeveer a^1.

Een tweede kenmerk van het straatrumoer, behalve de veelsoortigheid der geluiden, is het feit, dat deze uit verschillende

---

[1]) Auerbach. Handbuch d. Physik van Winkelmann, 2e bd. blz. 669, Leipzig 1909.

richtingen in het oor aankomen. Hier nu ontstaat voor het hooren van het dagrumoer een, theoretisch en experimenteel zeer moeilijk te behandelen probleem.

Het eenvoudigste geval kan men zich denken, als men het oor voorstelt als een plat vlak. Voor den sterkte der hierop invallende geluidsgolven geldt dan de z.g. *cosinuswet*. Loodrecht invallende stralen zijn het sterkst, schuin invallende zwakker in verhouding tot de cosinus van den invalshoek, zoodat evenwijdig met het vlak invallende golven geen uitwerking meer hebben.

Deze eenvoudige verhoudingen worden reeds geheel anders; indien aan het oor de oorschelp en de gehoorgang toegevoegd worden.

Onontwarbaar worden ze, doordat men bij het straatrumoer niet alleen met langs rechte lijnen voortloopende golven te maken heeft, doch met buiging, breking en terugkaatsing van het geluid rekening moet houden.

De invloed van de buiging, die toeneemt met het grooter worden van de golflengte, kan men gemakkelijk aantoonen, door met één oor (het andere met een vinger goed afgesloten) naar een hoog geruisch te luisteren. Houdt men nu de hand op korten afstand voor het oor, dan wordt het geruisch duidelijk lager van toon. De intensititeitsverhouding van de in het geruisch aanwezige tonen van verschillende hoogte wijzigt zich hierbij n.l. ten gunste van de lagere. Voor de hoogste tonen ligt de gehoorgang in den schaduw van de hand, de lagere buigen daarentegen om de hand heen en bereiken aldus meer of minder onbelemmerd het gehoororgaan.

Ten slotte komt hier nog bij, dat de mensch normaliter met twee ooren hoort, waardoor vanzelf de vraag rijst van de richting van het sterkste geluid, en bovendien alle moeilijkheden van het diotische hooren opgelost moeten worden. Voor het beluisteren van het straatrumoer is het daarom aan te bevelen slechts één oor te benutten, en het andere goed af te sluiten.

Het beoordeelen van de intensiteit der straatgeluiden is met behulp van het oor slechts zeer bij benadering mogelijk.

Zwaardemaker [1]) en *Deenik* [2]) bepaalden de z.g. Unterschiedsschwelle van het menschelijk oor voor verschillende toonshoogten, waarbij voor elke toonshoogte de geldigheid van de Wet van Weber bleek.

Deze zegt, dat twee geluidsintensiteiten, hoe groot hare absolute waarden ook zijn, als onderling verschillend sterk onderscheiden kunnen worden, zoodra het betrekkelijk verschil een bepaald verhoudingsgetal overschrijdt. Dit verhoudingsgetal verschilt door de toonladder en is in het viergestreept octaaf het kleinst; n.l. 8,5 %. Het maximum is 23,2; het gemiddelde 15,4 %.

Daardoor zal een geruisch, waarin verschillende toonshoogten met zeer verschillende verhoudingsgetallen voorkomen, een verschillende geluidsindruk op het oor maken, naarmate de bron van het geruisch zich dichter bij of verder af bevindt.

Een physisch instrument, dat voor àlle tonen een even groot verhoudingsgetal bezit, zal dus een geruisch altijd eenigszins anders registeeren, dan het oor.

Is het oor dus al betrekkelijk ongevoelig voor intensiteitsverschillen van tonen, nog ongevoeliger is het voor intensiteitsverschillen van geruischen. *Wundt* [3]) en zijne medewerkers vonden ook hier in het algemeen de wet van Weber bevestigd, doch de onderscheidsgevoeligheid van het oor voor geruischen ongeveer half zoo groot als voor tonen.

Het schatten van de intensiteit van het straatrumoer, dat voor een groot deel uit talrijke gelijktijdig klinkende geruischen bestaat, is voor het oor een bijna onoverkomelijke opgaaf; in de eerste plaats door zijn geringe gevoeligheid hiervoor, doch ook, doordat de „luidheid" van een geluid niet alleen de neiging bepaalt, boven anderen tegelijk weerklinkende geluiden uit te klinken en deze op den achtergrond te dringen, doch eveneens de „zuiverheid" en de „scherpte".

---

[1]) H. Zwaardemaker. Kon. Akad. v. Wetensch. Oct. 1905.

[2]) A. Deenik. Het onderscheidingsvermogen voor toon intensiteiten. Dissertatie, Utrecht, 15 Mei 1906.

[3]) Wundt, Grundzüge der Physiol. Psychologie 5—1902. blz. 509.

De indruk, dien een geluid op het oor maakt gaat, dus wel parallel met de intensiteit, doch is niet alléén daarvan afhankelijk. Daardoor wordt het vaststellen van de intensiteit der straatgeluiden met het oor zéér bemoeilijkt. Werner. H. Grundfrage d. Intensitätspsychologie, Zeitschr, f. Psychol. Erg., Bd. 10, 1922, S 18.

Daarbij komt, dat wij onbewust iederen gehoorsindruk direct verbinden met de voorstelling van de bron van dit geluid. Een voorbijgaande vrachtauto maakt op ons een bepaalden geluidsindruk, die echter veel grooter lijkt, dan zij is, omdat wij hem dadelijk associeeren met de voorstelling van een massalen, zwaren wagen.

Een handkar daarentegen, met ratelende wielen zal ondanks de grootere intensiteit van het geproduceerde geluid, ons een veel minder massalen geluidsindruk geven.

Verder is het voor het oor volmaakt onmogelijk, de geluidssterkte van twee, qualitatief verschillende geruischen te vergelijken.

Alleen als beide geluiden gelijktijdig weerklinken en lang genoeg aanhouden, om te kunnen constateeren, dat het eene geluid geheel door het andere wordt overstemd, is het mogelijk aan te geven, wèlk het sterkst is. De mate van intensiteitsverschil is ook dan niet aan tegeven.

Eindelijk maakt een langer aanhoudend geluid een veel sterkeren indruk, dan een kort durend van even groote intensiteit. Een voorbijrijdende vrachtauto zal een sterken indruk op ons oor maken, sterker, dan een autohoorn, die slechts een onderdeel van een seconde weerklinkt. Is de auto echter gepasseerd, dan hoort men haar op 50 M. afstand niet meer, terwijl de autohoorn nog op honderden meters afstand duidelijk te hooren is.

Ten laatste maken hinderlijke, ons oor onaangenaam aandoende geluiden een sterkeren indruk op ons, dan in intensiteit gelijke, doch aangenaam klinkende.

In de spraakzone is het oor veel gevoeliger voor intensiteitsverschillen, zoolang de geluiden niet te sterk zijn. Boven zekere intensiteitsgrens is het onmogelijk nog verschillen te bemerken.

Daarentegen bestaat er bij zwakke geluiden, in de buurt van den „Unterschiedsschwelle", als het oor aan de stilte geadapteerd is, een vrij groot onderscheidingsvermogen voor intensiteitsverschillen van geruischen, wat vooral duidelijk uitkomt in de camera silenta.

Waar het menschelijk oor dus ter bepaling van de intensiteit van het straatrumoer slechts geringe waarde heeft, zou het zeer wenschelijk zijn een instrument te bezitten, dat de sterkte der geluiden van de straat, onafhankelijk van de bronnen van fouten door het subjectieve hooren, zuiver weergeeft.

Het hooren van bepaalde tonen in de verschillende geluiden van het straatrumoer is met het ongewapend oor zeer zeker mogelijk. Echter kan men van een bepaalde toonshoogte van dit rumoer in toto niet spreken; daartoe is het te wisselend (afgezien van den reflectietoon) en bestaat het uit te veel gelijktijdig klinkende onderdeelen. Wel kan men van bepaalde, sterker uitkomende geluiden de toonshoogte bepalen door vergelijking met stemvorken. Daartoe is noodig, dat het geluid eenigen tijd achtereen weerklinkt, of zich eenige malen kort achter elkaar herhaalt.

Zoo vond ik b.v. voor het geluid van:

Vrachtauto's	C, E en D
Autòhoorns	e_1, d_1, a_1 en c
Vracht-wagens	Gis en B
Handkarren	C, c en G.

Over het algemeen blijven deze geluiden dus in het basgedeelte van de toonladder in tegenstelling met de geluiden van de menschelijke stem, die hun grootste sterkte hebben in de discantzone.

HOOFDSTUK II.

Analyse van het straatrumoer door beluisteren met bolvormige resonatoren.

Het straatrumoer bestaat uit een conglomeraat van impulsen, (knallen) klanken en geruischen, welke beide laatste op haar beurt opgebouwd zijn uit tonen resp. afzonderlijke impulsen. Deze komen dus in het straatrumoer op elke denkbare wijze gecombineerd voor.

Theoretisch is het mogelijk de totaalsom van alle geluid, die op een gegeven oogenblik in de straat weerklinkt, in zijn samenstellende tonen en knallen uiteen te halen, een analyse dus van den totaalindruk, die het straatrumoer ons geeft, en waaruit wij, door de ervaring geleerd, met ons gehoororgaan verschillende geluiden kunnen afzonderen.

Een analyse van elk dier verschillende geluiden afzonderlijk tegen den achtergrond van het straatrumoer in toto is niet mogelijk. Bovendien is de totaalindruk van het straatrumoer niet eenvoudig een maat voor de som der energiën van de overeenkomstige tonen uit de verschillende geluiden, die tegelijkertijd in het straatrumoer weerklinken. Er zal n.l. door phaseverschil van de geproduceerde tonen van gelijke golflengte interferentie optreden en dus op verschillende afstanden van de geluidsbronnen (afgezien van de verzwakking door vergrooting van den afstand), een verschil in intensiteit der tonen ontstaan. Daarbij komt het resultaat van de terugkaatsing der geluidsgolven tegen plaveisel, muren en zich op straat bevindende voorwerpen, zoodat voor iedere plek, waar men deze geluiden opvangt, weer aparte verhoudingen bestaan.

Wat men dus onderzoekt, is de qualiteit van het straatrumoer, zooals het de plaats van onderzoek bereikt, en niet, zooals het op zijn plaats van oorsprong was.

Naast de kennis van de qualiteit van het straatrumoer is de kennis van zijn globale sterkte van belang.

Een eenvoudige methode, om eenig inzicht te krijgen in de sterkte der tonen, die in het straatrumoer voorkomen, is het beluisteren hiervan met behulp van resonatoren. De sterkte, waarmee de toon in den resonator weerklinkt, is tot op zekere hoogte een maat voor de intensiteit van den resoneerenden toon in de som van alle straatgeluiden op dat moment.

Helmholtz [1]) zegt, zijne resonatoren behandelend:

„De luchtmassa van zoo'n resonator in verbinding met den gehoorgang en met het trommelvlies vormt een elastisch systeem, 't welk tot eigen-trilling kan gebracht worden en met name wordt de grondtoon van den bol, die veel lager ligt, dan al zijn andere eigentonen, door medeklinken met groote sterkte opgewekt.

Het oor in onmiddellijke verbinding gebracht met de lucht in den resonator neemt deze versterkte toon ook onmiddellijk waar.

Verstopt men één oor (zóó, dat het voor geluid van buiten ontoegankelijk wordt) en plaatst men een resonator aan het andere oor, dan hoort men de meeste tonen, die in de omgeving weerklinken, veel gedempter, dan eerst. Weerklinkt daarentegen de eigentoon van den resonator, dan schettert deze met geweldige sterkte in het oor. Op deze manier is een ieder, ook muzikaal geheel ongeoefende, in staat dezen bepaalden toon, zelfs als hij tamelijk zwak is, te midden van een groot aantal andere tonen te herkennen, ja, men hoort den toon van den resonator zelfs soms in het suizen van den wind, in het ratelen van wagenwielen, in het ruischen van het water."

De bovengenoemde resonatoren zijn voor dit doel een oneindig gevoeliger middel dan afgestemde membranen.

Als de onderzochte toon in verhouding tot de begeleidende tonen zéér zwak is, is het voordeelig, den resonator afwisselend aan het oor te plaatsen en weer af te zetten. Men bemerkt dan gemakkelijk, of de toon van den resonator bij het aanzetten te

---

[1]) H. Helmholtz. Lehre der Tonempfindungen IIIe uitg., blz. 74 1870.

voorschijn komt of niet, terwijl men een gelijkmatig aangehouden toon niet zoo makkelijk waarneemt.

Een afgestemde reeks van zulke resonatoren is dus een uitstekend middel om de analyse van een toonmassa te beproeven, gelijk het straatrumoer, dat op een andere wijze tot nu toe niet te analyseeren is.

Het Physiologisch Laboratorium te Utrecht bezit een volledige reeks koperen resonatoren van Edelmann, loopend van C_1 of 32 v. d. tot a^3 of 1740 v.d.

Deze reeks bestaat uit vijf bollen van zeer verschillende grootte Elk dezer bollen heeft aan één zijde een groote opening, die door diaphragma's kan afgesloten worden. Al naar gelang van de grootte van de opening in het diaphragma wordt de resonatortoon hooger of lager. In het geheel kan men op deze wijze 69 op opeenvolgende tonen aansprekende resonatoren krijgen, loopend van C^1 tot a^3. Sluit men nu één oor af, plaatst den resonator met zijn hooropening in het andere en richt hem nu door het geopende raam naar de straat, dan hoort men een onbestemd suizen, harder of zachter naarmate van de intensiteit van het straatrumoer op dat oogenblik. Doch daarnaast hoort men duidelijk den eigentoon van den resonator, die soms bijna verdwijnt, dan weer plots zeer sterk wordt. De wisselingen in intensiteit zijn over het algemeen snel. Alleen als op straat een langzaam aanzwellend geluid van grootere sterkte ontstaat, zooals b.v. bij een voorbijratelenden vrachtwagen, en waarin de eigentoon van den resonator voorkomt, krijgt men ook een gelijkmatig toe- en afnemen in sterkte van den resonatietoon.

Beluistert men nu met deze resonatorenreeks, regelmatig opklimmend van den laagsten tot den hoogsten, de in het straatrumoer voorkomende tonen, dan krijgt men een globaal inzicht in de intensiteit van de in het straatrumoer in toto voorkomende tonen, natuurlijk slechts voorzoover ze liggen binnen het deel der toonladder C^1—a^3.

Natuurlijk kan men ook enkele, sterk op den voorgrond tredende geluiden afzonderlijk onderzoeken, doch krijgt daarmee slechts een zeer oppervlakkig inzicht, daar een zelfde geluid,

dat zich een voldoend aantal keeren herhaalt, om het goed te kunnen beluisteren, zonder door andere geluiden gehinderd te worden, in het straatrumoer slechts zelden voorkomt.

Het is noodzakelijk de proeven dikwijls te herhalen op verschillende tijden, wil men werkelijk een overzicht over het straatrumoer in zijn geheel krijgen.

In den beginne kan men, door zoo'n resonator luisterend, de intensiteit van den toon zéér slecht schatten, te minder, waar deze voortdurend wisselt. Door oefening, en door den resonator lang genoeg aan het oor te houden, lukt het echter de schatting steeds juister te maken, zoodat de fout bij verschillende proeven steeds kleiner wordt, en men zelfs betrekkelijk kleine intensiteitsverschillen nog leert onderscheiden.

Om een maat ter vergelijking van de intensiteiten der opgevangen tonen te hebben, heb ik deze aangeduid met sterkte 1, 2 en 3, waarvan 1 de zwakkere, 3 de sterkste zijn.

Ik kwam, als gemiddelde van vele proeven, tot het volgende resultaat: (Zie tabel blz. 38).

Mate van versterking der in het straatrumoer aanwezige tonen door Edelmann's resonatoren.

C_1		c		c^2	
Cis_1		cis		cis^2	
D_1	0	d		d^2	
Dis_1		dis		dis^2	2 à 3
E_1		e		e^2	
F_1		f	1	f^2	
Fis_1		fis		fis^2	
G_1	½	g		g^2	
Gis_1		gis		gis^2	2
A_1	1	a		a^2	
Ais_1		ais		ais^2	
B_1		b		b^2	
C		c_1		c^3	1 à 2
Cis		cis_1		cis^3	
D		d_1		d^3	
Dis	2	dis_1	1½	dis^3	
E		e_1		e^3	
F		f_1		f^3	1
Fis		fis_1		fis^3	
G		g_1		g^3	
Gis		gis_1		gis^3	½
A	1½	a_1	2	a^3	
Ais		ais_1			
B		b_1			

In de tonenreeks van C_1 tot a^3 bestaan twee zones, waarin een grootere mate van versterking optreedt, dan in de overige, en wel de eerste in de lagere tonen van B_1 tot G. en de tweede in de hoogere tonen van c^2 tot g^2; De eerste correspondeert met de dreunende geluiden, veroorzaakt door voorbijgaande karren, vrachtauto's etc. De tweede komt vermoedelijk overeen met de voornamelijk door menschenstemmen geproduceerde klanken, en speciaal met de spraakzone van Bezold.

Naar beneden toe strekt zich deze laatste zone nog in minder sterke mate uit tot gis[1], naar boven tot ais[2], en komt dus vrij goed overeen met de spraakzone van Schmiegelow (a^1—e^3). Hieruit mag men wel concludeeren, dat een groot deel van het straatrumoer, en speciaal dàt deel, waarvan de tonen gelegen zijn in de discantzone, op rekening komt van 't menschelijke (en dierlijke?) stemgeluid.

Nog meer steun krijgt deze veronderstelling, als men deze hooge zone van sterkste intensiteiten vergelijkt met de zones voor de absolute versterking van de vocalen; want het zijn juist deze, en niet de consonanten, die hier een rol spelen.

De consonanten immers hebben op zich zelf te weinig draagkracht, om in het straatrumoer van eenige beteekenis te worden, en alleen in verbinding met de opvolgende vocaal kan ook het consonant-geluid een rol spelen.

Volgens Auerbach [1]) krijgt men de volgende tabel voor de absolute versterking van de boventonen der vocalen, die hij eveneens met de resonator-methode bepaalde: (Zie blz. 40).

In deze tabel ziet men terstond, dat de grootste versterking voor de vocalen ligt tusschen g_1 en c_3, wat merkwaardig overeenkomt met het door mij gevonden versterkingsgebied in het straatrumoer. Naar boven en naar beneden van deze zone van grootste versterking vindt men zoowel bij Auerbach als in mijn tabel nog een geringere versterking over de breedte van ongeveer een octaaf.

---

[1]) Auerbach. Handbuch der Physik v. Winkelmann, Bd. II, Akustik. blz. 694, Leipzig 1909.

Tabel voor de absolute versterking van de boventonen der vocalen, volgens Auerbach.

Vocalen.	c	g	c_1	g_1	c_2	g_2	c_3	g_3	c_4	g_4	c_5	g_5	c_6
1 U	1	1,2	1,5	1,9	1,9	1,3	1,0						
2 Uo	1	1,2	2,2	3,2	3,3	1,6	1,1	1,0					
3 O	1	2,1	2,8	7,0	7,5	5,5	2,0	1,1	1,1				
4 A°	1	2,4	3,0	7,9	18,0	11,0	9,0	7,0	3,0	1,4	1,0		
5 A	1	1,6	2,2	4,0	6,0	12,0	10,0	8,0	6,0	4,0	2,0	1,0	
6 E	1	1,3	2,3	3,9	4,3	5,5	2,5	2,0	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1
7 I	1	1,2	1,4	2,2	4	4,4	5,2	4,0	3,0	2,5	2,0	1,7	1,4
8 U″	1	1,9	1,5	2,0	1,8	2,5	1,6	1,0					
9 O″	1	2,0	1,7	3,7	3,9	4,0	4,5	1,8	1,0				
10 A″	1	1,3	1,5	3,0	4,0	6,0	3,5	1,2	1,0	1,0			

Het is dus niet te gewaagd, aan te nemen, dat deze versterkingszone een uiting is van het door menschelijke stemmen geproduceerde geluid. Het is duidelijk, dat zij niet alléén bestaat uit tonen afkomstig van menschenstemmen. Ook in de andere straatgeluiden komen deze tonen voor. Alleen het feit, dat er een zone van grootste versterking bestaat, geheel overeenkomend met de spraakzone, geeft ons het recht, aan te nemen, dat de menschelijke stem voor deze tonen in het straatrumoer een hoofdrol speelt.

Aan den anderen kant stemt de lage versterkingszone goed overeen met de door mij, door vergelijking met stemvorken, gevonden tonen in het geluid van karren, auto's, vrachtwagens enz. (zie pag. 33) en mag men deze zone dus zonder bezwaar als een apart onderdeel van het straatrumoer beschouwen, n.l. dat door de zwaardere voertuigen wordt voortgebracht.

Dat men, bij vergelijking van deze twee versterkingsgebieden, niet af mag gaan op de sterkte van den geluidsindruk, die ze op ons oor maken, zal later blijken bij de registratie van de resonatortonen. De grootere gevoeligheid van het menschelijk oor voor de spraakzone is hierop van grooten invloed.

HOOFDSTUK III.

Besluisteren van het straatrumoer met behulp van schelpen.

Terwijl een goede resonator slechts aanspreekt op één bepaalde toonshoogte, en men dus, naar het straatrumoer luisterend met een resonator, hierin slechts één enkele toon versterkt wordt, krijgt men, als men hetzelfde rumoer met een schelp beluistert, den duidelijken indruk van een geruisch. Hier ontstaat dus niet een versterking van één toon, doch van meerdere tegelijk.

Dat niet alle tonen versterkt worden, en zeker niet alle in gelijke mate, blijkt wel hieruit, dat iedere schelp zijn eigen toonshoogte heeft. In het algemeen kan men zeggen: hoe grooter de schelp, hoe lager de eigentoon, dus juist zooals bij de resonatoren het geval is.

Houdt men een schelp aan het oor, dan hoort men hierin twee geluiden: 1e een toon van bepaalde, gelijkblijvende hoogte, 2e een geruisch van onbestemd karakter. Het best kan men dit geheel aanduiden door den term „muzikaal geruisch".

Een zuiver geruisch is het in elk geval niet.

Niettemin wordt de schelp gewoonlijk als een exquisite geruischresonator beschouwd, en waar het straatrumoer voor een groot deel uit geruischen bestaat, lag het voor de hand, dit ook met behulp van schelpen te onderzoeken.

Het Physiologisch Laboratorium te Utrecht is in het bezit van een verzameling schelpen, waarvan de grootste 50 c.M., de kleinste 5 c.M. lang is. Teneinde deze schelpen voor het beluisteren van het straatrumoer te kunnen gebruiken, dienden zij eerst naar hare toonshoogte gerangschikt, om, zoo mogelijk, van iedere schelp den eigentoon door vergelijking met stemvorken te bepalen. Dit geschiedde in de camera silenta, om niet gestoord te worden door hinderlijke geruischen.

Houdt men in de camera silenta een schelp aan het oor, dan hoort men, evenmin als aan een gewonen resonator, ook maar het minste geluid. Strijkt men echter met de hand over een stuk ruw goed, en produceert daardoor een nauw merkbaar geruisch, dan verneemt men in de schelp eveneens een geruisch, van bepaalde hoogte. Met behulp van een doorloopende reeks stemvorken is het nu vrij eenvoudig op het gehoor af voor iedere schelp haar eigentoon te vinden.

Op deze bijpassende stemvork zal dus de schelp het sterkst resoneeren. Doch ook op stemvorken, met een iets grooter of kleiner trillingsgetal zal de schelp nog zeer duidelijk aanspreken.

Er heeft dus niet, zooals bij de eigenlijke resonatoren, een scherpe selectie plaats. Veeleer krijgt men een veel geleidelijker vermindering van de resonantie naar beide zijden in den toonladder. Bovendien vindt men nog verschillende secundaire verheffingen, o.a. ten hoogte van het octaaf en het dubbele octaaf omhoog en omlaag gaande. De versterkingslijn, die bij den resonator horizontaal verloopt met een scherpen top ter hoogte van den eigentoon, verloopt bij de schelp geleidelijk op- en neerwaarts, met verschillende plaatselijke verheffingen, waarvan de grootste ter plaatse van den eigentoon. De schelp heeft dus een veel breeder en tegelijk onregelmatiger resonantie dan de resonator.

Het is noodzakelijk, bij het luisteren met schelpen, te letten op den stand van de schelp ten opzichte van het oor. Het vlak van de schelpopening moet met het sagittale vlak een scherpen hoek van $\pm$ 30° maken om de sterkste resonantie te verkrijgen, zonder de toonshoogte te veranderen. Maakt men den hoek kleiner, dan wordt het geluid lager van toon, doordat in plaats van de opening van de schelp zelf de afstand tusschen schelprand en wang als resonatoropening dienst gaat doen. Van de aanwezige schelpen bleek de grootste te correspondeeren met een stemvork van 155 trillingen, de kleinste met een van 1380 trillingen.

Wij verkregen een tamelijk regelmatig doorloopende reeks schelpen van $\pm$ dis tot f^3, waarmee het straatrumoer kon

worden beluisterd. Het resultaat is hieronder weergegeven. (zie tabel).

TABEL.

Versterking van afzonderlijke tonen uit het straatrumoer door schelpen met overeenkomstigen eigentoon.

dis—e	1½	g^2	3
g	1½	gis^2	3
gis	1½	ais^2	2½
b	1½	b^2	3
c^1	1½	c^3	2½
cis^1	1½	cis^3	2½
f^1	2	d^3	2½
fis^1	2	dis^3	2½
g^1	2	e^3	2
gis^1	2	f^3	1½
ais^1	2		
c^2	3		
e^2	3		
f^2	3		
fis^2	3		

Hoewel minder duidelijk, is ook hier weer een voldoende overeenkomst van de versterkingszone met de spraakzone. Zij loopt hier van c^2 tot b^2 als zone van grootste versterking, en iets minder sterk tot dis^3.

Doordat ons geen schelpen van lager trillingsgetal dan 155 ter beschikking stonden, kon de lage versterkingszone hiermee niet onderzocht worden.

Om een vergelijking te kunnen maken tusschen de schelpen en de resonatoren in hun gedrag ten opzichte van het straatrumoer, heb ik telkens met een schelp en een even hoog gestemden resonator naar het straatrumoer geluisterd, daarbij apart aangevend hunnen invloed op geruischen en tonen. (zie tabel).

TABEL.

Invloed van geruischen en tonen uit het straatrumoer op schelpen en resonatoren.

	Geruisch.		Toon.	
eigentoon.	*schelp.*	*resonator.*	*schelp.*	*resonator.*
dis	duidelijk	nihil	hoorbaar	goed bij dreunen
g	,,	uiterst zwak	,,	,,
c^1	,,	zeer zwak	,,	vrij goed
dis^1	,,	,,	vrij zwak	vrij goed
f^1	sterk	zwak	zwak	duidelijk
fis^1	,,	,,	,,	,,
gis^1	,,	,,	,,	,,
c^2	duidelijk	,,	vrij zwak	,,
ais^2	,,	,,	,,	,,
e^2	,,	,,	,,	,,
ais.	,,	zeer zwak	zwak	,,

Het blijkt hieruit, dat voor tonen de resonator te verkiezen is boven de schelp, voor geruischen is de schelp veel gevoeliger. Indien de schelp gelijkmatig alle tonen versterkte, zou zij een ideaal middel zijn om het straatrumoer op te vangen en voort te geleiden naar een geluidregistreerend apparaat. Zooals wij reeds zagen, is dit echter niet het geval.

Een overzicht van de resonantie van stemvorken door schelpen en resonatoren geeft volgende tabel:

TABEL.

Stemvorktoon.	*Schelp.*	*Resonator.*
dis	vrij goed	vrij sterk
g	,,	,,
c^1	,,	,,
dis^1	,,	,,
f^1	minder sterk	sterk
fis^1	,,	,,
gis^1	,,	,,
c^2	,,	,,
ais^2	,,	,,
e^2	,,	,,
ais^3	,,	,,

De impulsen resoneeren begrijpelijkerwijze nòch op resonatoren nòch op schelpen.

HOOFDSTUK IV.

Graphische vastlegging van het straatrumoer door den microfoon-telefoon-fonimeter.

De twee methodes, die geschikt zijn om geluiden over een breede zone van toonshoogten graphisch weer te geven, c.q. te meten, zijn de instelmethode met het schijfje van Rayleigh [1]) en de snaargalvanometermethode [2]).

Om een globaal overzicht te krijgen van het straatrumoer was de eerste methode het geschikste, daar hierbij niet, als bij de snaar, telkens de resonantie geregeld behoefde te worden.

Daarom maakte ik gebruik van den fonimeter van Zwaardemaker [3]), waarvan de werking gelijk in den fonimeter van Zernov, berust op het principe van lord Rayleigh:

Als men in een stroom van voortloopende of staande geluidsgolven een kleine schijf brengt, die aan een fijnen kwarts- of metaaldraad is opgehangen, heeft dit schijfje de neiging, zich in een vlak te plaatsen, loodrecht op de richting van het geluid. Het zal dit vlak bereiken, als de torsie van den ophangdraad evenredig is met de energie der geluidsgolven [4]).

Als men in plaats van een schijfje een klein spiegeltje gebruikt en hierop een lichtstraal werpt, kan men door den uitslag van den teruggekaatsten lichtstraal den hoek meten, waaronder de ophangdraad wordt getordeerd. Het gevoeligst is het schijfje, als het staat in een vlak, dat een hoek van 45° met de richting der geluidsstralen maakt.

---

[1]) Lord Rayleigh. Scientific papers. Vol. II, p. 132.

[2]) W. Einthoven. u. S. Hoogerwerf. Der Saitenphonograph. Pflügers Arch. f.d. Phys. 1924 Bd. 214, blz. 275.

[3]) H. Zwaardemaker und S. Ohma. Uber physiologische Schallmessung, Zeitschrift f. Sinnes physiologie, Bd. 54, 1922.

[4]) Beginsel van Rayleigh. Vergelijk M. H. J. Adels: Methode van Objectieve geluidsmeting. Acad. Proefschrift, Utrecht 1913.

De gevoeligheid kan worden verhoogd, door het spiegeltje kleiner, en daardoor lichter te nemen. Dit gaat echter slechts tot een zekere grens, daar dan de optische zuiverheid van het spiegelbeeldje zou lijden.

Zoolang men slechts met kleine hoekuitslagen te doen heeft, kan men den uitslag evenredig stellen aan de gebruikte acustische energie. Voor een nauwkeurige geluidmeting, vooral van zwakkere geluiden, heeft men een rustigen nulstand noodig van het meetspiegeltje.

Dit kan geschieden door den draad bifilair op te hangen. Echter wordt de gevoeligheid hierdoor zóó veel zwakker, dat het toestel practisch onbruikbaar wordt.

Vroeger gebruikte Zwaardemaker [1]), evenals Rayleigh, daarom een kleinen magneet onder het spiegeltje, is later daarvan teruggekomen, en ging toen de onrust van het spiegeltje tegen door het gebruik van een eenigszins platgeslagen Wollaston ophangdraad. Tegenwoordig wordt de onrust zooveel mogelijk tegengegaan door in de toegangsbuis vóór het spiegeltje een dun watje aan te brengen, dat de luchtstroomingen voldoende tegenhoudt, en door het spiegeltje in een goed gesloten kastje op te hangen. Brengt men in de toegangsbuis een zéér dunne membraan van caoutchouc of mica aan, dan houdt men natuurlijk alle luchtstroomingen tegen. Echter hebben deze membranen allen een eigen voorkeur voor bepaalde tonen en tonenreeksen.

Om een zuivere geluidsmeting te krijgen bracht Zernov [2]) het spiegeltje in een resonantievrije ruimte; n.l. een kastje met wanden van fijn metaalgaas; ter wering van luchtstroomingen. Zwaardemaker [3]) voegde hieraan toe een toegangsbuis van de afmetingen van den menschelijken gehoorgang. De gevoeligheid wordt hierdoor buitengewoon sterk verhoogd, zonder andere resonanties in het geluid te brengen, dan die het menschelijk

---

[1]) H. Zwaardemaker. Kon. Akad. v. Wetenschappen, Amsterdam 14 Mei 1915.

[2]) W. Zernov. Annalen der Physik (4) Bd. 24, 1908, p. 79.

[3]) H. Zwaardemaker. Kon. Akad. v. Wetenschappen. Amsterdam, 14 Mei 1915.

oor steeds hierin geeft, volgens Helmholtz beantwoordend aan het 4 gestreepte octaaf.

Door de traagheid van het spiegeltje kunnen zuivere impulsen resp. zeer kort durende tonen niet nauwkeurig worden gemeten; echter is het toestel zeer geschikt voor het meten van aangehouden tonen en klanken en voorts voor geruischen, en dus ook in 't bijzonder voor het straatrumoer.

Echter was de fonimeter in den geperfectionneerden vorm, dien Zwaardemaker er aan gegeven heeft, nog niet gevoelig genoeg voor het registreeren van het straatrumoer.

Een verhooging der gevoeligheid, door het spiegeltje nog kleiner te maken was niet wel mogelijk, op grond van het bovenaangegeven optische bezwaar. Er bleef dus niets anders over, dan te trachten het geluid bij zijn overbrenging naar het spiegeltje te versterken.

Dit werd bij onze proefopstelling op de volgende wijze bereikt:

Proefopstelling.

Voor het opvangen van het straatrumoer diende een microfoon, zooals die in de techniek op de spreekzone a_1 tot e_3 gestemd, voorhanden is. Daar deze microfoon in de buitenlucht, aan wind en weer blootgesteld, geplaatst moest worden, en tevens voorkomen diende te worden, dat het tikken van regendruppels of hagelkorrels tegen de microfoon, hierin geluiden zou opwekken, werd het toestel opgesloten in een z.g. camera plumbica[1]) een dikwandige kamer van lood, met een opening van 2 c.M. in den voorwand, waarin een opvangtrechter, zooals Zwaardemaker dien gebruikt aan den fonimeter, overeenkomend in functie met de door de holle hand vergroote menschelijke oorschelp, met een openingshoek van 90° en een oppervlakte van de trechteropening van 100 c.c.

De microfoon kon hierdoor alle geluiden, die uit de straat den

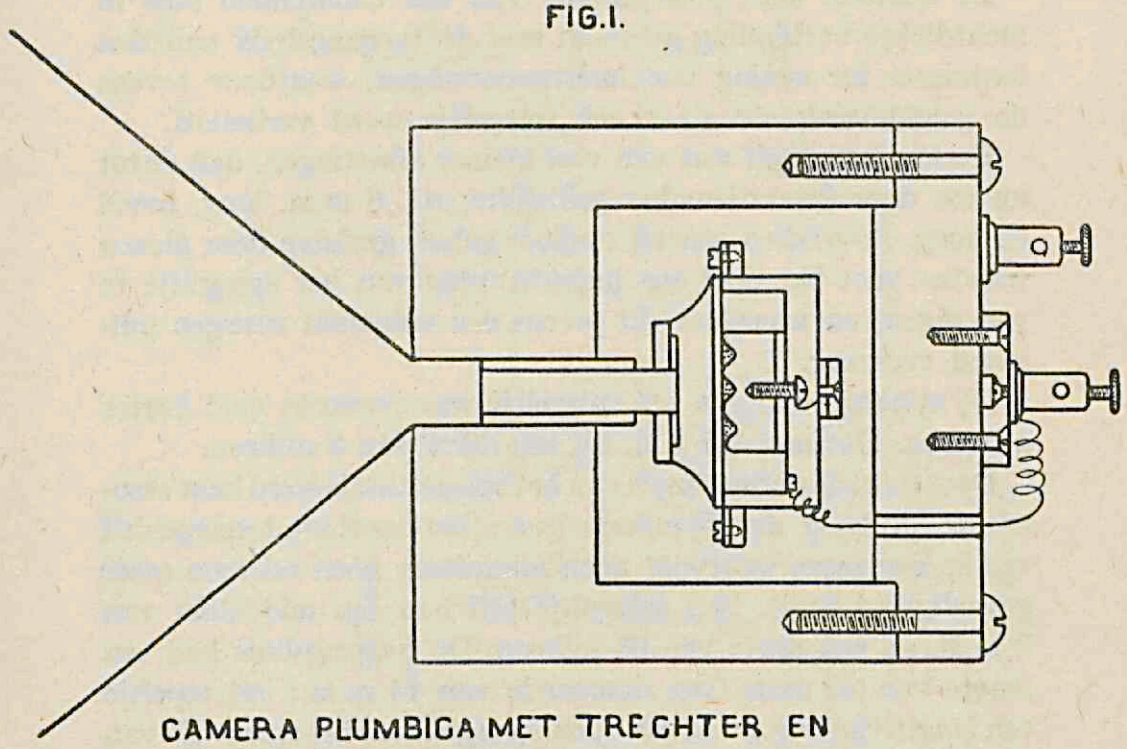
---

[1]) H. Zwaardemaker. Eine Camera Plumbica für Mikrophone. Zeitschr. f. biol. Technik u. Methodik, bd. II S, 349, 1912.

trechter bereikten, opvangen, zonder dat door windstooten of regen bijgeruischen ontstonden.

De in de microfoon opgewekte electrische stroom werd langs geleidingsdraden gevoerd naar een audionversterker, een lamp,

FIG.I.



CAMERA PLUMBICA MET TRECHTER EN KOGELMICROPHOON, DIE, MET VERTICAAL GEHOUDEN MEMBRAAN, IN HET MEEST MASSIEVE GEDEELTE VAN DEN LOODEN WAND IS BEVESTIGD.

zooals in de radiotelefonie gebruikt wordt ter versterking van de in de microfoon opgevangen geluiden.

Door den audionversterker heen, is de microfoon verbonden met een telefoon, waar de omzetting van electrische in acustische energie plaats heeft.

Door de audionlamp wordt een belangrijke versterking van het geluid verkregen (ongeveer 30 ×) waardoor de mogelijk-

heid van registratie, ook van het straatrumoer, gegeven is.

Om de sterkte van den, in de telefoon aankomenden electrischen stroom te kunnen varieeren, was deze in shunt opgesteld met een schakelweerstand. (zie fig. 2).

De telefoon werd door middel van een caoutchouc huls in luchtdichte verbinding gebracht met de toegangsbuis van den fonimeter ter wering van luchtstroomingen, waardoor tevens de geluidoverdracht naar het spiegeltje werd verbeterd.

De fonimeter zèlf was van veel kleiner afmetingen, dan de tot nu toe door Zwaardemaker gebruikte; n.l. 6 m.m. lang, breed en hoog. Bovendien was zij rondom geheel gesloten door glazen wanden, met het doel een luchtdemping van het spiegeltje te verkrijgen, en waardoor dit tevens een volmaakt rustigen nulstand verkreeg.

De ophangdraad van het spiegeltje was eveneens veel korter genomen. Het mat 3,5 c.M. bij een dikte van 2 mikron.

Door de kleine afmetingen van het spiegelkastje werd haar resonantie zóó hoog, dat zij bijkans boven het hoorbare tonengebied viel in een zone, waarvoor nòch microfoon, nòch telefoon meer gevoeligheid bezit. Het spiegeltje zèlf had een middellijn van 2 m.M. en een dikte van 60 mikron. De toegangsbuis had een lengte van 20 m.m., een doorsnede van 14 m.m.; het tepeltje een lengte van 3 m.m. en een opening tegenover het spiegeltje van eveneens 3 m.m.

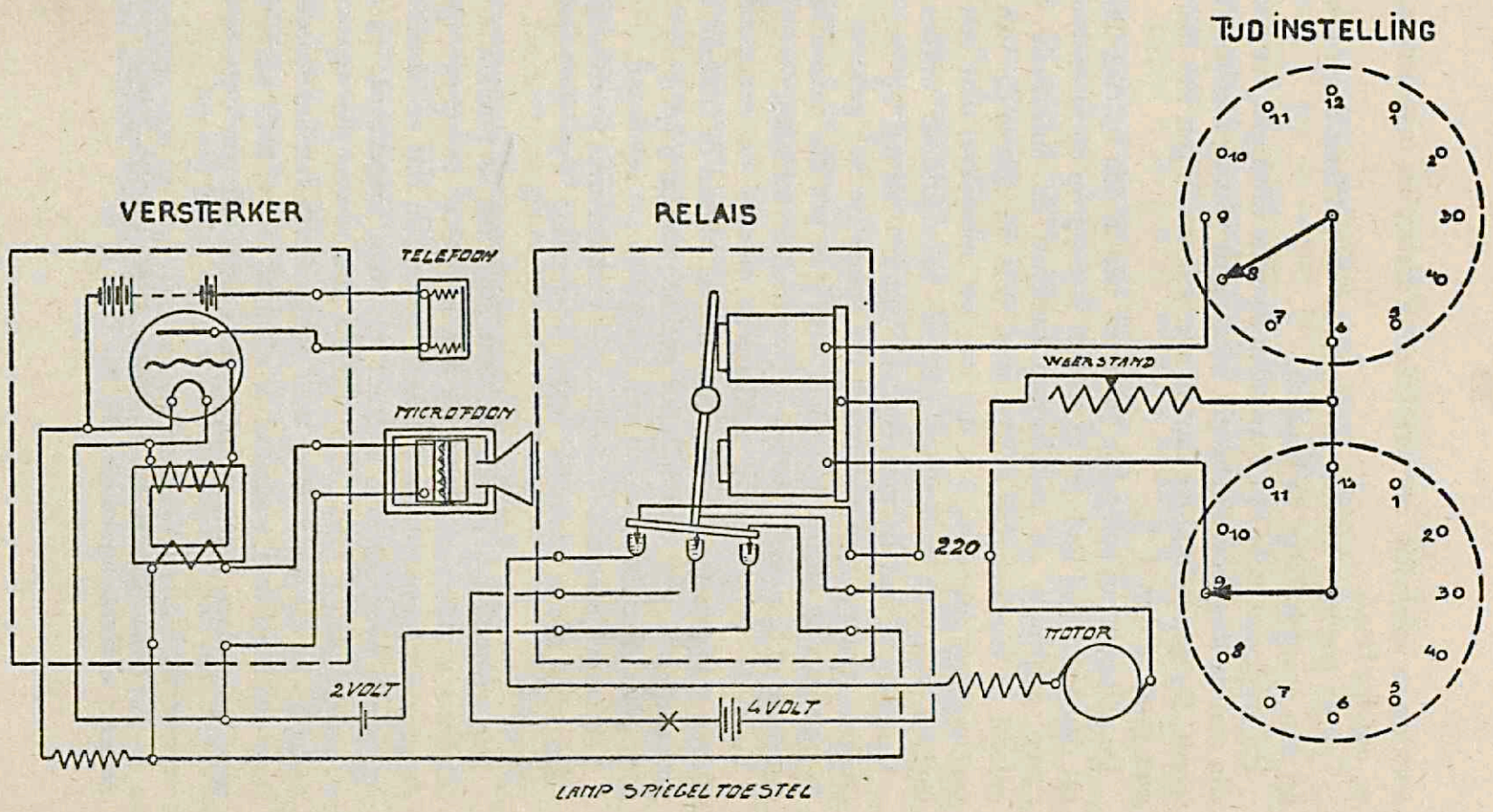
De afstand van het spiegeltje, gemeten van den ophangdraad, tot de buisopening werd empirisch bepaald, om de grootste gevoeligheid te bereiken, zonder last te krijgen van aantrekking door den tepelrand. Zij bedroeg 1 ½ m.M.

Prof. Michotte [1]) heeft in 1915 in het Physiologisch Laboratorium te Utrecht met den fonimeter nauwkeurige proeven verricht over de verhouding der spiegeluitslagen met de toegevoerde geluidsenergie bij verschillende grootten van tepel-

---

[1]) A. Michotte. Note sur la mesure de l'énergie acoustique au moyen du miroir de Rayleigh. Libre Jubilaire de H. Zwaardemaker. Arch. Neerland de Physiol. t. 7, p. 579.

FIG. 2


TIJD INSTELLING
VERSTERKER
RELAIS
TELEFOON
MICROFOON
WEERSTAND
220
MOTOR
2 VOLT
4 VOLT
LAMP SPIEGELTOESTEL

opening en spiegeltje, en verschillende afstanden tusschen tepel en ophangdraad.

Tevens trachtte hij den invloed van de golflengte der tonen op den spiegeluitslag te bepalen.

Hij vond, dat voor één bepaalden toon de uitslagen evenredig zijn aan de toegevoerde energie, zoolang de uitslag niet te groot wordt. De waarschijnlijke fout in zijn waarnemingen was hierbij niet grooter dan 1 %.

De afstand van spiegeltje (gemeten van af den ophangdraad) tot den tepelrand had des te grooter invloed op de intensiteitscurve, naarmate de verhouding tusschen de doorsnede van spiegel en tepelopening kleiner was. Was de doorsnede van de tepelopening minstens 2 × die van het spiegeltje, dan kon de invloed van hun onderlinge afstand verwaarloosd worden.

Omgekeerd was de gevoeligheid van het toestel bij een bepaalden afstand van tepelrand tot spiegeltje het grootst, als de buisopening en het spiegeltje weinig in grootte verschilden, om sterk af te nemen, zoodra het verschil in middellijn toenam.

Voor de verschillende golflengten bleken de intensiteitscurven gelijksoortig te verloopen. Echter bleken de intensiteitsverhoudingen voor verschillende golflengten duidelijk beinvloed te worden door den afstand van spiegeltje tot tepelrand.

Een vergelijking der uitslagen voor verschillende toonshoogten bleek dus alleen mogelijk onder toepassing van de noodige correcties.

Zwaardemaker en Ohma[1]) hebben, kort vóór de publicatie van Michotte's onderzoek, teneinde den fonimeter te kunnen ijken, de proeven herhaald, en eveneens gevonden, dat er steeds een ongeveere evenredigheid bestaat tusschen toegevoerde energie en spiegeluitslag, mits het spiegeltje niet te veel den tepelrand naderde. In dit geval kreeg men aantrekking van het spiegeltje door den tepelrand, waardoor de opening min of meer afgesloten werd, en andere, foutieve, intensiteits verhoudingen ontstonden.

---

[1]) H. Zwaardemaker u. S. Ohma. Uber Physiol. Schallmessung. Zeitschr. f. Sinnesphysiologie, Bd. 54, 1922, p. 87.

Fouten, die de opstelling aankleven.

Het eerste onderdeel van onze „gehoorketen", de opvangtrechter aan de camera plumbica, heeft, zooals Zwaardemaker opmerkt bij de beschrijving van zijn fonimeter, door zijn grooten tophoek een resonantie die zóó hoog ligt, dat zij geheel verwaarloosd kan worden.

Anders is dit met de volgende schakel in de keten der communicaties tusschen straatrumoer en spiegeltje: de microfoon. Dit instrument dient voor de omzetting van de energie, aanwezig in de geluidsgolven, die uit de straat den opvangtrechter bereiken, in met dat geluid overeenkomende variaties van een electrischen stroom.

Deze omzetting van acustische in electrische energie dient zoo zuiver en doelmatig mogelijk te geschieden. Indien hier verlies optreedt, of een ongelijkheid van aanspreken door de microfoon op de verschillende geluidsgolven, ontstaat een geluidsvervorming en vangt het spiegeltje dus niet dezelfde geluiden op, als die welke de microfoon troffen, daar deze geluidsvervorming niet meer kan worden weggenomen.

Daarbij komt, dat de in verhouding zéér zwakke stroomvariaties, die door de microfoon worden afgegeven, passeeren door den audionversterker, vóór zij de telefoon bereiken, en iedere fout daarin 30 maal versterkt wordt.

De door ons gebruikte microfoon was een z.g. kogelmicrofoon, waarin de stroomvariaties worden opgewekt door een variabelen weerstand van bewegelijke graphiet kogeltjes. Deze soort microfoon heeft drie soorten van fouten.

Ten eerste heeft de trilplaat, door haar natuurlijke traagheid een voorkeur voor die toonshoogten, die gelegen zijn in de nabijheid van zijn eigen trillingsgetal en de boventonen daarvan. Er treedt dus een bepaalde resonantie op. (in ons geval voor de tonen van de spraakzone).

Ten tweede krijgt men, vooral bij sterke geluiden, een vastbakken van de kogeltjes in een bepaalden stand, waardoor de gevoeligheid van het toestel vermindert en men in den loop van

de proef een steeds kleiner worden van de uitslagen krijgt.

Ten derde is de prikkeldrempel van de microfoon zéér veel hooger dan die van het menschelijk oor, waardoor de zwakkere geluiden eenvoudig niet overgebracht worden.

Volgens Langenbeck en Sell [1]) verstaat men van door de microfoon gehoorde woorden op 1 M. afstand gemiddeld nog slechts 70 % juist en daalt het op 4 M. afstand tot op 50 %.

Waar de bron van het op te vangen straatrumoer zich op méér dan 4 M. afstand bevindt, zal men dus rekening dienen te houden met deze eigenschap.

Het onder 2e genoemde bezwaar was bij de eerste, door ons gebezigde microfoon zóó hinderlijk, dat er geen betrouwbare uitkomsten verkregen werden. De tweede microfoon vertoonde de fout gelukkig in veel geringer mate en wij konden hier volstaan met telkens vóór een proef de camera plumbica flink te schudden, waardoor de kogeltjes goed los kwamen te liggen en de gevoeligheid gedurende den proeftijd (één uur) niet aantoonbaar verminderde.

Doch het 1e bezwaar is bij deze microfoonsoort niet te overwinnen. Wel bestaan er andere microfonen, die in den laatsten tijd in de radiotelefonie worden gebruikt en die geen, of zoo goed als geen eigen resonantie hebben. De Reiss (marmer) microfoon, de Philipsglimlampmicrofoon, de Lee de Forestvlammicrofoon komen echter door haar vorm of hoedanigheid voor ons doel niet in aanmerking.

Een makkelijk hanteerbare, niet resoneerende microfoon, die een langdurig verblijf in de buitenlucht verdraagt, zou deze methode zeer zeker den voorrang doen verkrijgen boven iedere andere, daar men het in de hand heeft het geluid door den audionversterker iedere gewenschte sterkte te geven.

Deze audion versterkingslamp geeft, zooals uit de radio-telefonie bekend is zoo goed als geen vervorming van het geluid. Bij een

---

[1]) B. Langenbeck en H. Sell. Vorteile und nachteile elektrischer Schwerhöriger geräte. Zeitschr. f. Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde, Bd. 12, 1923, 2e deel.

De telefoon eindelijk heeft door haar membraan ook een bepaalde voorkeur voor zekere tonen, in casu ook alweer, door haar vorm en grootte, voor tonen in de spraakzone gelegen.

Deze resonantie is hier nog geprononceerder dan bij de microfoon en voor verschillende telefonen varieerend in sterkte en hoogte [1]).

Zoowel microfoon als telefoon zullen dus de in het straatrumoer aanwezige tonen uit het spraakregister méér versterkt overbrengen dan de overige tonen, en in de, door den fonimeter geschreven curve, zullen deze tonen en tooncombinaties naar verhouding te groote uitslagen geven. In de eerste plaats geldt dit wel voor de menschelijke stemgeluiden.

Ten slotte blijft de fonimeter zèlf als resonantiebron over, die echter, volgens Zwaardemaker, een physiologische geluidsvervorming geeft en dus als bron van fouten slechts geringen invloed heeft.

Bij de eerste, met het beschreven apparaat genomen proeven bleek al dadelijk, dat het toestel niet steeds dezelfde gevoeligheid bezat. Wel bleef deze bij de tweede, door ons gebruikte microfoon gedurende den proeftijd (één uur) constant, doch zij verschilde soms op opeenvolgende dagen.
goede lamp kan de vervorming practisch verwaarloosd worden.

---

[1]) H. Zwaardemaker. On reinforcement of sound and soundselection bij means of microtelephone apparation. Over Tonaliteit en Intensiteit van het Telefoongeluid. Onderzoekingen gedaan in het Physiol. Laborat der Utrechtsche Hoogeschool 1915, 5e reeks XVI.

De telefoon dient tot het veranderen van de electrische stroomvariaties, in de microfoon opgewekt, in geluidstrillingen. Dit geschiedt, doordat de intensiteitsveranderingen in het veld van een electromagneet, teweeg gebracht door die electrische stroomvariaties, een ijzermembraan tot trillen brengen. Hierbij kunnen storingen, zoowel door de electromagneet, als door de membraan optreden.

Nu is het mogelijk, door gebruik van zéér lichte membranen, gemaakt van een uiterst dunne, elastische metaalfoelie en een bepaalden vorm van electromagneet, de resonantie sterk te verzwakken, zoodat de intensiteits curve bijna horizontaal gaat loopen.

Het was dus noodig, het toestel te ijken bij het begin van iedere proef, teneinde de opnamen onder elkaar vergelijkbaar te maken.

Dit geschiedde met behulp van een stemfluit van bekende toonshoogte (f_1) die werd aangeblazen door samengeperste lucht uit een reservoir van 2 cub. meter, waarin door middel van een perspomp een druk van $\pm$ 2 atmospheeren onderhouden werd, waardoor een toon ontstond van steeds gelijke hoogte en ongeveer gelijke intensiteit.

De stemfluit werd, met de opening naar de straat gekeerd, geplaatst *naast* de camera plumbica, steeds op gelijken afstand van deze verwijderd, zoodat de geluidsgolven niet rechtstreeks in den opvang-trechter terecht kwamen. Daarmee werd bereikt, dat kleine verschillen in sterkte van aanblazen van de fluit geen aantoonbaar verschil in uitslag van het spiegeltje gaven.

Met behulp van den, in shunt opgestelden weerstand werd dan de naar de telefoon gaande electrische stroom zóódanig geregeld, dat het spiegeltje op den fluittoon steeds reageerde met gelijken uitslag.

Hetzelfde werd in den beginne ook gedaan nà iedere proef.

Waren de uitslagen aan 't begin en 't einde van de proef even groot, dan mocht worden aangenomen, dat tijdens de proef de gevoeligheid constant was gebleven. Bij onze tweede microfoon bleek dit steeds het geval te zijn, en konden wij dus volstaan met de ijking voor het begin van iedere proei.

De anodebatterij van den audionversterker diende steeds op haar sterkte gecontroleerd te worden, daar door een geringe vermindering van de spanning de geluidsversterking in hooge mate beinvloed wordt.

Voor het opteekenen van de spiegeluitslagen diende een op een trommel gewonden strook gevoelig papier, die in een lichtdichte kast was geborgen. In een der zijwanden bevond zich, ter hoogte van den gereflecteerden lichtstraal, een spleet met wijde voorspleet, waardoor de lichtstraal het gevoelig papier bereikte. De spleet kon door een klep afgesloten worden. De trommel had een omtrek van 60 c.M. en werd gedreven door

een ingebouwden motor, terwijl de omlooptijd, geregeld door een voorgeschakelden weerstand, op 1 uur werd gesteld. Het geheel werd aan de straatleiding van het laboratorium aangesloten.

Op den voorwand van den trommel draaide een wijzer op een wijzerplaat tegelijk met den trommel rond en gaf steeds den stand van het papier aan.

Voor ieder uur moest de proef opnieuw herhaald worden. Dit gaf overdag weinig bezwaar, daar men het apparaat op ieder gewenscht moment in werking kon laten treden, of weer doen ophouden.

Om de opname ook 's nachts mogelijk te maken, werden zoowel de trommel, als de microfoon en de accumulator voor de voeding van het fonimeterlampje, onderbroken door een relais, dat in verbinding stond met twee wekkers. De eerste wekker diende, om de verbindingen op het relais tot stand te brengen, de tweede, om ze weer te verbreken. Daartoe werden de wekkers gelijk gezet en de wijzer voor de wekkerbel voor de eerste gezet op het moment, waarop de proef diende te beginnen, die voor de tweede een uur later. Op deze wijze werd het toestel automatisch in werking gesteld en weer stopgezet. Voor alle zekerheid werd op de wijzerplaat een uitstekend pinnetje op het nulpunt aangebracht, waartegen de wijzer, zoodra de omloop was volbracht, stuitte, en waardoor een verder doordraaien voorkomen werd.

De afstand van spleet tot fonimeter bedroeg bij iedere proef 15 c.M. Het spiegeltje werd nauwkeurig 45° op de richting van de geluidstralen geplaatst. Door den in shunt geplaatsten weerstand hadden wij het in onzen macht de sterkte van het in den fonimeter aankomende geluid zóó te varieeren, dat ook de sterkste uitslag van het spiegeltje nog op het papier geregistreerd werd.

Luchtstoringen waren door de rondom aangebrachte glazenwanden van het spiegeltje en de luchtdichte verbinding met de telefoon uitgesloten. Ook had in de kamer geproduceerd geluid geen invloed op het spiegeltje, zoodat een rustig experimenteeren mogelijk was. Door den wijden opvangtrechter aan de

camera plumbica werd niet alleen het juist van voren invallende geluid naar den fonimeter overgebracht, doch eveneens het van terzijde komende.

Door terugkaatsing tegen de huizen aan de overzijde van de straat werd het geluid bovendien nog versterkt.

Om na te gaan in hoeverre de microfoon een gelijkmatige versterking van het geluid gaf, werd de camera plumbica in de kamer opgesteld en achtereenvolgens op 2 ½ en 2 M. afstand tegenover den opvangtrechter een reeks orgelpijpen van a^1 tot e^3 (overeenkomend met de spraakzone van Schmiegelow) aangeblazen onder gelijkmatigen druk.

Als gemiddelde voor telkens drie proeven kregen wij daarbij de volgende reeksen uitslagen (zie tabel).

Bovendien werd met de stemvork fis^4 en met de klankstaafjes van König voor de hoogste hoorbare tonen (f^7) de gevoeligheid bepaald, die vrij voldoende bleek voor fis^4, echter voor de hoogste tonen zeer gering was. Ook op een houten orgelpijp, op g gestemd, was de uitslag van het spiegeltje zeer voldoende.

De uitslagen waren allesbehalve gelijkmatig, hetgeen voor een deel het gevolg was van het ontstaan van knoopen en buiken in de kamer, door terugkaatsing tegen de wanden. Dit blijkt reeds uit de verschillende verhoudingen in de twee reeksen.

Voor de opname van het dagrumoer valt dit bezwaar weg, daar dan de microfoon buiten staat.

Voor het overige deel moest de ongelijkmatigheid wel toegeschreven worden aan het ongelijkmatig aanspreken van microfoon-telefoon op de verschillende tonen. In de reeksen komen duidelijk tot uiting de resonantietoppen van de telefoon (bij d^3 of 1150 en cis^2 of 550 v.d.) zooals ook Langenbeck en Sell die vonden, zij het dat zij in onze tabel niet zoo geprononceerd zijn.

Hoewel dus het geluid alles behalve onvervormd naar het spiegeltje werd overgebracht, waren de afwijkingen toch niet zóódanig, dat de resultaten geheel onbetrouwbaar werden. Als vergelijkingsobjecten voor de intensiteit van het straatrumoer op verschillende uren van den dag en den nacht zijn de

TABEL.

Uitslag van het fonimeterspiegeltje bepaald met de orgelpijpen reeks a^1—e^3 op resp. 2 en 2½ M. afstand van de microfoon.

	2 M.	*2½ M.*
e^3	20	40
dis^3	40	45
d^3	80	95
cis^3	40	30
c^3	30	28
b^2	15	4
ais^2	12	5
a^2	5	3
gis^2	3	3
g^2	9	3
fis^2	5	8
f^2	5	20
e^2	10	40
dis^2	40	40
d^2	50	15
cis^2	80	40
c^2	20	15
f^1	20	10
ais^1	25	6
a^1	30	6
fis^4	4	
f^7	1	
g	3	

curven zéér goed bruikbaar, daar de fouten steeds bij iedere opname dezelfde bleven.

Voor absolute registreering zal de methode zeer geschikt zijn, als er microfonen en telefonen voor gebruikt kunnen worden, die het geluid niet vervormen.

Teneinde een vergelijking van de hoeveelheden geluid, ge-

durende de verschillende uren opgevangen, mogelijk te maken, werden de curven opgemeten met een planimeter.

Op alle curven is op de plaatsen, waar het spiegeltje niet was uitgeslagen, een min of meer breede basaallijn te zien, die gedeeltelijk de uitdrukking is van de breedte van den lichtstraal, doch voor een ander deel een gevolg van voortdurende kleine trillingen van het spiegeltje. Deze trillingen varieeren in sterkte en zijn het grootst op de drukste uren van den dag, het kleinst 's nachts. Wij meenen daarom te mogen aannemen, dat zij weergeven het voortdurende lichte geruisch, dat men naast de sterkere, duidelijk van elkaar verschillende geluiden in ieder straatrumoer kan terugvinden (zie curve 2).

Echter zal gedeeltelijk ook meewerken de lichte onrust van het spiegeltje, die zelfs in een voor luchtstroomingen geheel gevrijwaarde ruimte niet volkomen verdwijnt en die op onhoorbaar lage trillingen, resp. zwiepingen en schokken berust.

Om de hoeveelheid geluid in de curven nauwkeurig te bepalen, dient dus de breedte van den lichtbundel, vermeerderd met de zeer kleine uitslagen door de onrust van het spiegeltje, van het geheel met den planimeter gevonden bedrag afgetrokken te worden.

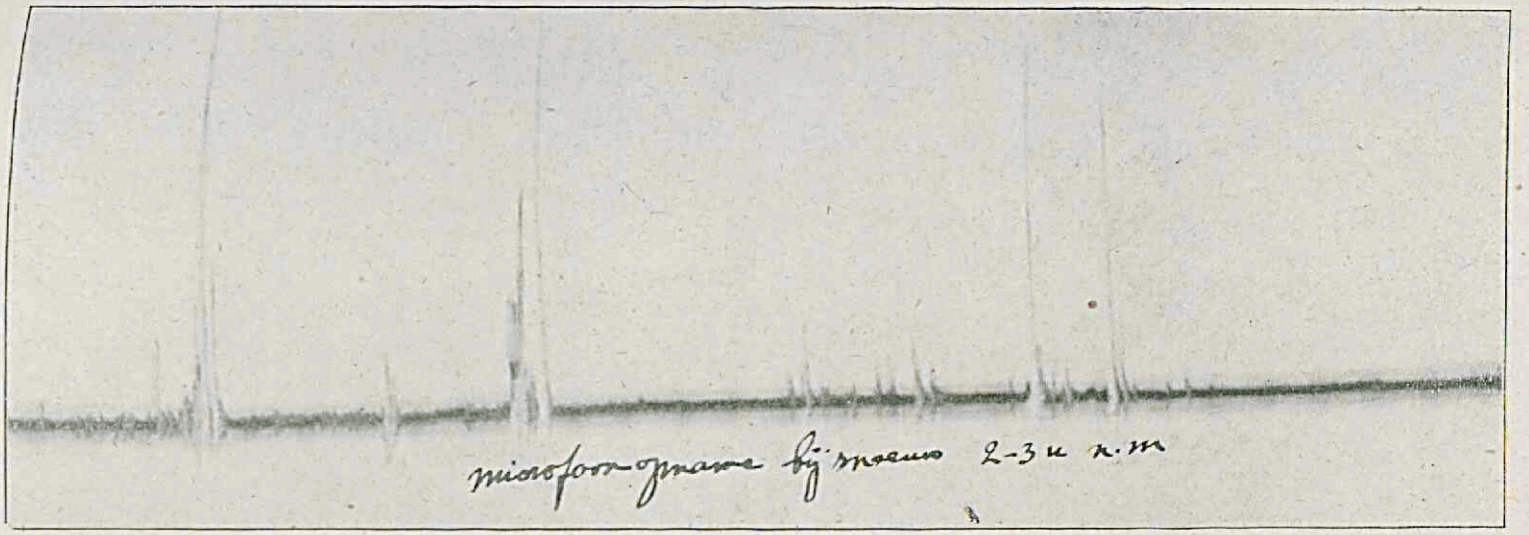
Deze breedte is te vinden, door de trommel te laten draaien, terwijl de microfoon is uitgeschakeld. De breedte van de zóó opgeteekende lijn is de gezochte maat.

In ons geval bedroeg de af te trekken oppervlakte 8,6 c.M². Voor de 24 uren van een etmaal geeft de volgende tabel de hoeveelheden geluid uitgedrukt in c.M². oppervlakte (planimetrisch gegeven).

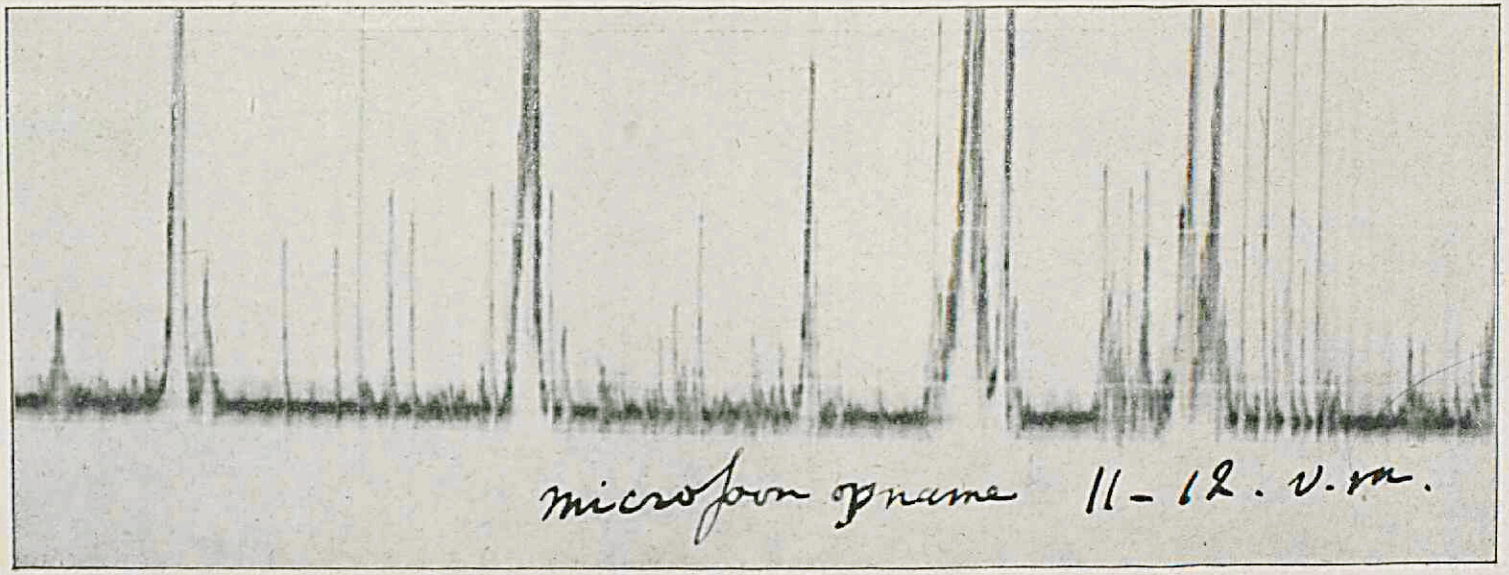
Men vindt hierbij een vrij regelmatig toe en afnemen van de hoeveelheden geluidsenergie gedurende de 24 uren van een etmaal.

Fig. 3 geeft deze verhoudingen in curve gebracht weer.

Weliswaar werden de opnamen op zeer verschillende dagen gedaan, zoodat men iedere uurcurve niet als een onveranderlijke maat voor de intensiteit van het straatrumoer op dat uur kan



Curve 1



Curve 2

Curve 3

Curve 4

TABEL.

voormiddag	12—1	0,3 c.M².	namiddag	12—1	28,7 c.M².
	1—2	0,4 ,,		1—2	22,5 ,,
	2—3	0,6 ,,		2—3	9,4 (sneeuw)
	3—4	0,9 ,,		3—4	19,9 ,,
	4—5	1,3 ,,		4—5	22,7 ,,
	5—6	1,8 ,,		5—6	12,1 ,,
	6—7	7,1 ,,		6—7	6,6 ,,
	7—8	13,- ,,		7—8	2,5 ,,
	8—9	19,4 ,,		8—9	1,9 ,,
	9—10	26,9 ,,		9—10	1,1 ,,
	10—11	26,6 ,,		10—11	0,6 ,,
	11—12	23,9 ,,		11—12	0,7 ,,

beschouwen. Op verschillende dagen zullen de curven voor hetzelfde uur eenigermate varieeren. De verschillen blijven echter binnen tamelijk enge grenzen, indien de Zondagen uitgeschakeld worden. Voor 3 opeenvolgende dagen gaf de curve voor het namiddaguur van 3—4 uur b.v. 19,9—21,1 en 20,3 c.M³. Het drukste uur is dat van 12—1 n.m., wat te verwachten was; daarop volgen de uren van het aangaan en sluiten der scholen, waarin de kinderstemmen de bovenhand verkrijgen.

Van 5 u. 's morgens af begint een snelle toename van het geluid, terwijl na 7 u. 's avonds de stilte weer intreedt.

Opnamen, gemaakt op sneeuwdagen, geven een duidelijke demping van het geluid te zien, vooral voor dat van voertuigen, doch eveneens een smaller worden van de basaallijn (zie curve 1). Het totaalgeluid bij deze sneeuwopname bedraagt voor het uur van 2—3 n.m. niet meer dan 9.4 c.M²., terwijl de beide aansluitende een bedrag van 22,5 en 19,9 opleveren. Dit geeft wel een zeer duidelijken indruk van de geluidsdemping door sneeuw.

Voor normale omstandigheden zal de intensiteitscurve dus voor dat uur anders, meer regelmatig verloopen.

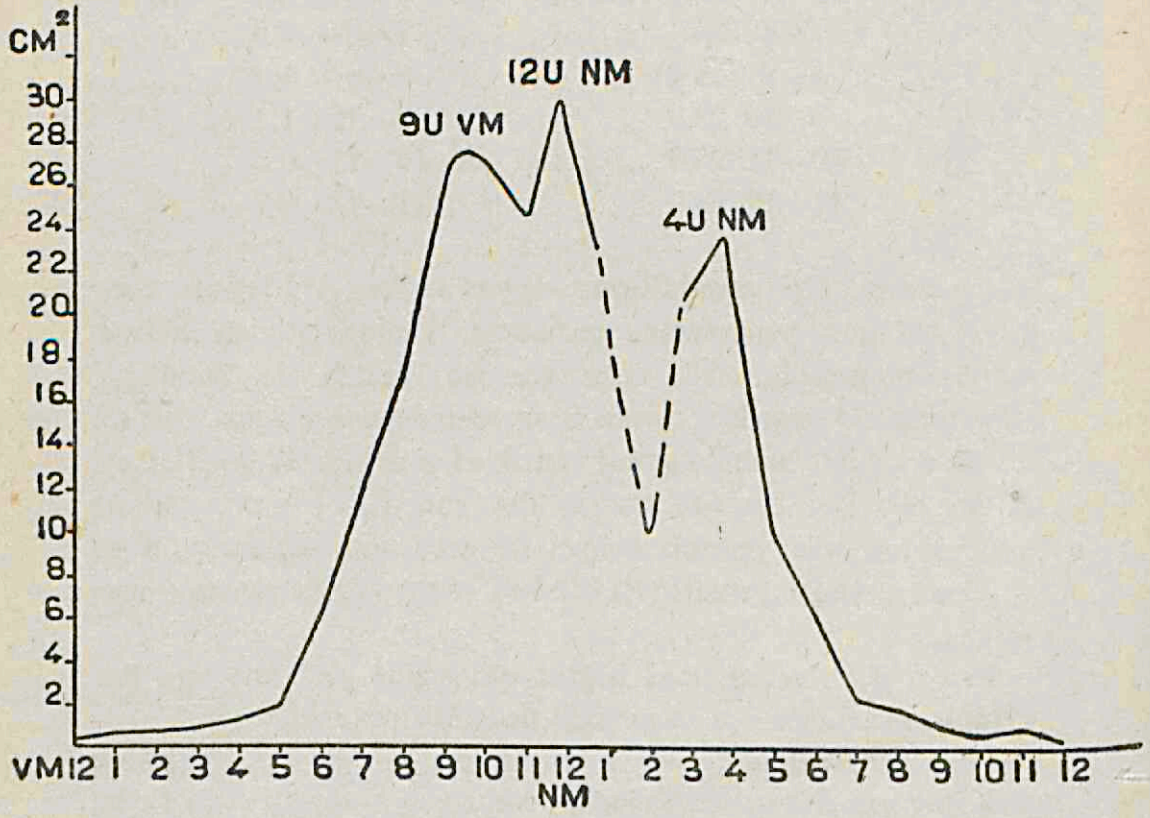
Bij stormweer wordt de basaallijn uitgerekt tot een min of meer regelmatig op en neergaanden lijn, een gevolg van het wegblazen van het geluid vóór de trechteropening en het op-

FIG.3

INTENSITEITSCURVE VAN HET STRAATRUMOER

GEDURENDE EEN ETMAAL

BEPAALD MET DEN MICROFOON-TELEFOON-FONIMETER.



wekken van resonantie in den trechter door het windgeruisch. Zie curve 3.

De intensiteitscurve geldt natuurlijk alléén voor het straatrumoer voor het Physiologisch Laboratorium. In iedere andere straat zal men een soortgelijke, doch in bijzonderheden verschillende curve bekomen.

HOOFDSTUK V.

De Paraboloid-fonimeter methode.

In 1877 publiceerde H. J. Sharpe in the Quarterly Journal of Mathematics N°. 57 een verhandeling over de werking van de paraboloid op geluidsgolven, later aangevuld met nog eenige publicaties over de mathematische uitwerking van dit probleem [1]).

Hierin beschrijft hij de volgende proef:

Als twee parabolische spiegels, met de concave zijden tegenover elkaar, de assen in één lijn geplaatst worden, dan kan men het tikken van een horloge, dat in het focus van de eene paraboloid hangt, hooren, indien men met het oor luistert in het brandpunt van de andere paraboloid. De afstand van de twee parabolen kan daarbij vrij groot genomen worden. Het lukte Sharpe zelfs, den afstand in een stillen winternacht te vergrooten tot 186 voet.

In zijne publicatie gaf hij een mathematische theorie van de terugkaatsing der geluidsgolven door een paraboloid, wat een zeer ingewikkeld probleem blijkt te zijn, zóó ingewikkeld, dat hij slechts den stralengang kon bestudeeren voor de eenvoudigste gevallen van uit de verte invallende geluidsgolven.

De stralengang van geluidstrillingen, uitgaande van een *in* het focus zèlf van de paraboloid opgestelde geluidsbron acht hij met de tot nu toe bekende middelen niet mathematisch te berekenen. In het algemeen gelden voor de terugkaatsing van geluidstralen dezelfde wetten als voor die van lichtstralen, dus de wetten van Huygens: Bij reflectie van een straal ligt de gereflecteerde straal met den invallenden in één vlak met den

---

[1]) H. J. Sharpe. Proceedings of the Cambridge Society X, 1900.
[2]) H. J. Sharpe. Proceedings of the Cambridge Society XIII, 1906.

loodrechte op de kaatsende vlakte. Invals- en terugkaatsingshoek zijn daarbij gelijk.

De wet van Fermat, ook wel de wet van den kortsten weg genoemd, zegt, dat de weg door een teruggekaatsten straal afgelegd van een voorwerp over kaatsende vlakte naar het beeld steeds korter is dan iedere andere weg van voorwerp naar beeld over een willekeurig punt van de kaatsende vlakte. Alleen bij een sterk concaaf gevormde terugkaatsende vlakte geldt juist het omgekeerde.

Hieruit volgt, dat in het eerste geval ook de tijd, die de straal noodig heeft om van voorwerp naar beeld te komen, bij terugkaatsing het kleinst is.

De Huygensche wetten voor de terugkaatsing gelden alléén voor den asstraal van een bundel en voor reflecteerende vlakken, die voldoende grootte hebben. Daarbij zijn van gewicht de afstanden van bron en beeld, evenals de golflengte van het geluid. Hoe grooter de golflengte, des te grooter moet de spiegel zijn, opdat de terugkaatsing in voldoende mate mogelijk zij. Zoo zijn voor het licht minimale spiegeltjes voldoende, terwijl voor het geluid zeer groote noodig kunnen zijn.

Een kleine spiegel kan stralen met groote golflengte eenvoudig dáárom niet noemenswaard reflecteeren, omdat deze gemakkelijk om hem heen kunnen buigen.

Is de golf niet van eenvoudigen, maar van samengestelden aard, dan krijgt men een ingewikkelde verhouding, waarbij soms een verandering in het karakter van de golven kan optreden.

Ligt de bron op oneindigen afstand, en vallen dus de stralen als een evenwijdigen bundel loodrecht op de kaatsende vlakte, dan zullen zij in één punt samenkomen, als de kaatsende vlakte een paraboloid vormt.

Omgekeerd worden stralen, die uit het brandpunt van een paraboloid komen, door deze teruggekaatst als een evenwijdige bundel.

Sharpe onderzocht dit speciale geval van terugkaatsing van geluidsgolven door een paraboloid. Hij vond, dat, als een paraboloid als ontvanger voor opvallende geluidsgolven werkt,

er twee brandpunten op de as ontstaan, even ver verwijderd van het geometrisch focus, en hier dès te dichter bij komend, naarmate de toon hooger, de golflengte dus kleiner is.

Omgekeerd, als de paraboloid als uitzender dienst doet (met den geluidsbron in het focus) is de geluidsversterking op grooten afstand van den spiegel opgenomen voor hooge tonen grooter dan voor lagere. Er heeft dus bij grootere golflengte een grooter spreiding plaats van de golven, zoowel bij invallende als bij uitgezonden geluidsgolven.

Verder stuit men bij proeven met lage tonen, dus groote golflengten op de moeilijkheid, dat men zonder spiegels van zéér groote dimensies of zonder bijzondere kunstgrepen niets bereikt. Alle eenvoudige acustische proeven hebben hiermee dan ook wel qualitatieve, doch slechts betrekkelijke quantitatieve waarde.

Bij de horlogeproef bezigde Sharpe twee paraboloiden van resp. 44 en 17 inches doorsnede. Voor lage tonen zijn deze dimensies echter niet voldoende. Hiervan kan men zich gemakkelijk overtuigen, als men in het eerste brandpunt een orgelpijp van c^1 (256 trillingen) brengt; zoekt men nu het 2e brandpunt en zijn omgeving af met een kleine hoortrechter met slang, dan vindt men, dat de toon in de omgeving van het focus even duidelijk te hooren is, als in het focus zelf; daarentegen hoort men het hooge fluiten van den wind aan het mondstuk alleen precies in het brandpunt.

Volgens Sharpe heeft er een concentratie van het geluid rondom de paraboolas plaats, die voor de hooge tonen sterker is dan voor de lagere. De laatste vormen dus, ook al vallen ze evenwijdig op de paraboloid in, geen puntvormig brandpunt, doch een bol om het geometrisch focus heen, een bol, die des te grooter wordt, naarmate de golflengte toeneemt, en voor de c^2, empirisch bepaald ongeveer appel groot is. In het algemeen kan men dus aannemen, dat evenwijdig invallende geluidsgolven door de paraboloid teruggekaatst, zich concentreeren tot een bol om het geometrisch brandpunt heen. De grootte van dezen bol hangt middellijk af van de grootte van den

parabolischen spiegel en van de toonshoogte. De onmiddellijke consequentie hiervan is, dat men, teneinde deze geluidsgolven in een registreerend apparaat op te vangen, genoodzaakt is van opvangtrechters gebruik te maken, wil men geen geluidsverlies krijgen.

Bij zijne berekening heeft Sharpe zeer veel factoren moeten verwaarloozen, zoodat, zooals hijzelf ook uitdrukkelijk stipuleert, zijne uitkomsten slechts zeer betrekkelijke waarde hebben, en alleen tot op zekere hoogte gelden zouden voor het eenvoudigste geval van een uit oneindigen afstand loodrecht invallenden straal.

Neemt men het beginsel van Huygens voor de voortplanting van trillingen aan als geldig te zijn voor het geluid, dan zal een golffront, dat van een zeer verre bron afkomstig is, door een paraboloid als gedeelte van een bolvormig golffront met het focus als middelpunt teruggekaatst worden. De straal van dezen bol wordt daarbij steeds kleiner tot het focus bereikt is. Hier zal dus de grootste geluidsverdichting optreden.

Van deze premisse uitgaande, was de Heer C. Krediet, oud-leeraar in de wis- en natuurkunde aan de H. B. S. te Rotterdam, zoo vriendelijk, een mathematische berekening uit te voeren, die met zijn toestemming als appendix aan dit proefschrift is toegevoegd, en waarin hij tot de volgende algemeene formule voor de paraboloid komt voor een willekeurig punt in die paraboloid.

$$\alpha = \frac{1}{\rho}\left(A_1 \sin \frac{2\pi\rho}{\lambda} + B_1 \cos \frac{2\pi\rho}{\lambda}\right) \log \operatorname{tg} \tfrac{1}{2}\theta \times \sin 2\pi \frac{t}{T}$$

waarin α de geluidsverdichting

ρ de afstand van het punt tot het focus

λ de golflengte

T de trillingstijd

θ de hoek dien ρ met de as van de paraboloid maakt.

A_1 en B_1 willekeurige constanten.

Bij de in het vorige hoofdstuk besproken microfoon-fonimeter methode is gebleken, dat, hoofdzakelijk door den aard van de

microfoon, er een geluidsvervorming moet optreden, die door den versterker nog 30 maal vergroot wordt. Het was dus wenschelijk een andere methode van versterking toe te passen, die deze fouten niet, of niet in die mate bezat. Daartoe diende vooral het gebruik van membranen vermeden te worden.

Eerst werd nog getracht met den gevoeligsten in het laboratorium aanwezigen fonimeter het straatrumoer direct op te vangen, door dezen op te stellen zoo dicht mogelijk bij de geluidsbron, voor een open venster, op de gelijkvloersche verdieping. Wel kon nu het geluid van een autohoorn, of luid hondengeblaf, en het geratel van een zwaren vrachtwagen opgenomen worden; echter was de onrust van het spiegeltje door de luchtstroomingen zóó groot, doordat de opvangtrechter naar de straatzijde gekeerd was, dat de uitslagen, door het straatrumoer teweeggebracht, alle waarde verloren. Eenerzijds diende dus het geluid versterkt te worden, anderzijds de luchtstroomingen tot een minimum gereduceerd.

Voor de geluidsversterking werd nu de parabolische spiegel beproefd.

Wij hadden het aan de vriendelijkheid van Dr. A. M. P. Rocholl, leeraar aan de Gemeente H. B. S. te Utrecht, te danken, dat wij de beschikking kregen over een paraboloid van blank metaal uit het natuurkundig kabinet van deze H. B. S. Deze paraboloid had een doorsnede van 28 c.M. en een focus-afstand van 5 c.M.

Als opvangapparaat gebruikten wij een fonimeter van Zwaardemaker in ongewijzigden vorm met een opvangtrechter van 90° tophoek en 36 c.M^2. oppervlakte, een spiegeltje van 2,5 m.m. en een toevoerbuis met inwendige opening van 3,5 m.m. doorsnede.

De bedoeling was, allereerst na te gaan de versterking, die de paraboloid gaf aan loodrecht invallende geluidsgolven van verschillende toonshoogte. Daartoe bezigden wij de reeks orgelpijpen van a^1 tot e^3, die met gelijkmatigen druk op een orgeltafel van König werden aangeblazen.

De fonimeter werd met haar opvangtrechter naar de paraboloid toegekeerd, zóódanig opgesteld, dat het spiegeltje juist in de as van de paraboloid hing, en het focus binnen de trechteropening even vóór de toegangsbuis lag. Zoodoende werd al het evenwijdig invallend geluid teruggekaatst naar het focus en door trechter en toegangsbuis voortgeleid naar het spiegeltje.

Dit is slechts tot op zekere hoogte juist. Ieder terugkaatsend oppervlak zal van een hoeveelheid geluid, die de vlakte treft, een deel doorlaten, een ander deel terugkaatsen, en een derde gedeelte absorbeeren. Dit hangt af van de grondstof, waaruit het terugkaatsend voorwerp is gemaakt en van den aard van de terugkaatsende oppervlakte.

De architect Sturmhöfel [1]) heeft verschillende stoffen en vlakken onderzocht op hun terugkaatsende kracht.

Hij gebruikte daarvoor een valstaafje, dat hij met een bepaalde willekeurige kracht op een onderlaag kon laten vallen. Hiermee bepaalde hij eerst in het vrije veld den afstand, waarop het geluid nog juist te hooren was. Daarna zocht hij den afstand, waarop het, tegen een onderzochten wand teruggekaatste geluid van het valstaafje nog hoorbaar was. Op deze wijze vond hij voor het terugkaatsend vermogen van:

gepolijste steenen wand	95 %
gepolijste houten wand	95 %
geverfde houten wand	90 %
gevoegde muur	75 %
reliefwand	64 %
geplooide pluche draperie	30 %

Waar onze proeven verricht werden met gepolijste metalen spiegels, kan men de terugkaatsende kracht gevoegelijk op 95 % stellen.

Verder dient in het oog gehouden te worden, dat het centrale deel van de paraboloid den meesten invloed zal hebben op het

[1]) Handbuch d. Architectur v. Durm, Ende, Schmidt u.s.w. Teil III, Bd. 6, 1904. Kapittel 2: Anlagen zur Erzielung einer guten Akustik v. A. Sturmhöfel.

spiegeltje, daar de hier opvallende geluidsgolven vrijwel regelrecht naar het spiegeltje worden teruggekaatst. Hoe verder van het middelpunt de geluidsgolven de paraboloid treffen, hoe grooter de hoek wordt, waaronder zij teruggekaatst worden. Daardoor wordt ook de hoek, waaronder zij den binnenwand van den opvangtrechter treffen grooter en dus ongunstiger voor verder geleiding naar het spiegeltje. De reeks orgelpijpen stond op een afstand van 1 M. vóór de paraboloid. Werd nu een orgelpijp aangeblazen, dan kon de uitslag van het spiegeltje op een graadboog, die aan den fonimeter was aangebracht, worden afgelezen. Steeds werden voor iedere pijp drie aflezingen verricht, en hiervan het gemiddelde genomen (zie tabel blz. 70).

Daarna werd de paraboloid verwijderd en de reeks orgelpijpen opgesteld op 1 M. afstand vóór de nopvangtrechter van den fonimeter, zoodat het geluid rechtstreeks naar het spiegeltje voerde.

Ook nu werden voor iedere orgelpijp drie aflezingen verricht en hiervan het gemiddelde genomen. Door vergelijking met de uitslagen door den paraboloid-fonimeter was de versterking van de paraboloid te vinden. Deze bedroeg, over alle tonen omgeslagen, als gemiddelde 3 maal.

Eigenlijk dienden de orgelpijpen op oneindigen afstand geplaatst te zijn, daar alleen aan de paraboolas evenwijdig invallende geluidsgolven in het focus zullen terecht komen. Practisch was het niet mogelijk de pijpen op grooten afstand van de opvangtrechter te plaatsen, daar op 2 M. afstand het spiegeltje nauwelijks meer reageert op direct invallende orgelpijptonen, en dus de aflezing der uitslagen eerst op 1 M. afstand met voldoende nauwkeurigheid geschieden kon. Voor een kleine paraboloid van 28 c.M. doorsnede maakt echter de divergentie der stralen van uit 1 M. afstand niet zooveel uit.

De proef werd verricht in een gesloten kamer, waar van de afmetingen bedroegen $4 \times 4 \times 3\frac{1}{2}$ M. en die dus haar eigen resonantie bezat. Deze lag ter hoogte van g^2. Voor dezen toon en voor de beide aansluitende gis^2 en fis^2 gaf dus de fonimeter ook zonder de paraboloid een zeer grooten uitslag, die door de paraboloid slechts weinig meer versterkt kon worden. Deze

Versterking door de kleine paraboloid N°. 1 van de orgelpijptonen a^1—e^3 op 1 M. afstand.

Orgelpijptonen.	Gemiddelde uitslag *zonder* paraboloid.	Gemiddelde uitslag *met* paraboloid.	Versterking antal malen.
e^3	4	15	$3^3/_4$
dis^3	5	18	$3^3/_5$
a^3	5	12	$2^2/_5$
cis^3	5	12	$2^2/_5$
c^3	3	15	5
b^2	6	15	$2\frac{1}{2}$
ais^2	6	22	$3^2/_3$
a^2	2	10	5
gis^2	16	40	$2\frac{1}{2}$
g^2	30	60	2
fis^2	30	45	$1\frac{1}{2}$
f^2	10	15	$1\frac{1}{2}$
e^2	5	35	7
dis^2	5	25	5
a^2	3	10	$3^1/_3$
cis^2	5	15	3
c^2	4	12	3
b^1	3	10	$3^1/_3$
ais^1	3	4	$1^1/_3$
a^1	3	4	$1^1/_3$

Gemiddelde versterking ± 3 maal.

tonen dienen dus voor het resultaat buiten beschouwing te blijven.

Waar deze resonanties door de omgevende ruimte bij geluidsproeven in een kamer zeer hinderlijk kunnen zijn, was het aan te bevelen, deze zooveel mogelijk te dempen. Speciaal bij proeven met den fonimeter zal deze resonantie op 2 wijzen storend zijn:

1°. In een kleine kamer zal zij de te onderzoeken toon, zoo deze overeenkomt met den resonantie-toon, versterken en dus een foutieven, te grooten uitslag geven.

2°. In een groote kamer zal de resonantie-toon als nagalm werken en dus het spiegeltje, dat op den gelijken toon is uitgeslagen, verhinderen op tijd weer in zijn ruststand terug te keeren.

Sabine [1]) heeft dezen resonantietoon en den nagalm onderzocht op hunne acustische eigenschappen. Hij kwam tot de volgende conclusie's:

Hoe grooter de inhoud van de zaal is, hoe langer de nagalm zal duren; hoe grooter het absorptie-vermogen van wanden en meubilair, hoe korter de nagalm zal duren.

Hij vergeleek de absorptie van verschillende stoffen voor geluidgolven met die van een open venster van 1 M^2. en vond voor

glas	0.033
linoleum	0.12
gordijnen	0.23
tapijt	0.29
mensch	0.54
publiek per M^3.	0.96

Franklin [2]) behandelde de vraag, welke hoeveelheden energie per secunde uit een kamer van het volume V door een venster van de oppervlakte F wegvloeit.

Hij vond, dat voor een verhouding van V/F = 10 het geluid in 1¼ seconde tot op 1/millioenste van zijn sterkte slinkt. Voor V/F = 100 duurt het al 16 sec. Hierbij is de absorptie door de wanden etc. niet in rekening gebracht.

Marage [3]) geeft als oorzaak van den resonantietoon en nagalm de diffuse geluidsgolven, die in oneindig groot aantal door de wanden van het vertrek worden teruggekaatst en eischt, dat de duur van den nagalm in een zaal, ter wille van een goede acoustiek, niet meer dan ¼ à 1 sec. mag duren.

Dit is voor ons spiegelonderzoek reeds te lang, daar de spiegelbewegingen dan veel te sterk gedempt zouden worden.

Voor ons doel is dus een kleine kamer beter, mits de resonantie verzwakt wordt.

Dit kan geschieden door 1°. het geluid te breken door zooveel mogelijk hoeken in en op de wanden aan te brengen. 2°. de wanden te maken van materiaal, dat zooveel mogelijk geluid absorbeert, dus bijv. volgens Sturmhöfel geplooide pluche-draperie en eindelijk 3°. door de open vensters zoo groot mogelijk te nemen, waardoor het grootste deel van het teruggekaatste geluid weer spoedig naar buiten kan ontsnappen.

---

[1]) Contributions from the Jefferson Physical Laboratory, Harvard College, Architectural acoustic. Part I. Reverberation bij W. C. Sabine, 1906.
[2]) W. S. Franklin, Phys. Rev. 37, 1903, blz. 372.
[3]) M. Marage. Qualité's acoustiques de certaines salles pour la voix parlée. Journ. de physique IV, serie Tome VII, 1907.

Het bleek dus mogelijk te zijn, met behulp van onze kleine paraboloid reeds een belangrijke versterking (3 ×) van het geluid te verkrijgen.

Van hetzelfde principe werd trouwens reeds gedurende den oorlog gebruik gemaakt, om het naderen van vreemde vliegtuigen zoo vroeg mogelijk te kunnen constateeren bij slecht zicht, waarbij de eigenschap van den parabolischen spiegel, een exquisite richting-zoeker te zijn, uitstekend te pas kwam. Door n.l. het oor in het focus van de paraboloid te plaatsen (of, wat op hetzelfde neerkomt, in het brandpunt te luisteren met een opvangtrechter, die door een buis met het oor verbonden is) en de paraboloid in verschillende richtingen te draaien, kon men de nadering van een vliegtuig veel vroeger dan anders gewaar worden en tevens de richting, waaruit het naderde.

Dat dit geluid concentreerend vermogen van bolvormige of paraboloide vlakten ook zeer hinderlijk kan zijn, wordt o.a. opgemerkt door *Exner* [1]). Hij geeft aan, dat ronde hoeken in een zaal werken op het geluid op dezelfde wijze als een holle spiegel op invallend licht. Vlak voor een dergelijke nis heeft men een brandpunt met een krachtige, hinderlijke geluidsversterking.

J. I. A. B. van Royen wijst in zijn dissertatie op dezelfde geluidsversterkende werking der ronde hoeken, als een der oorzaken van de hinderlijke geluiden in ziekenhuizen.

Uit de versterkingstabel blijkt, dat de lager tonen beneden b^1 zoo goed als niet meer versterkt worden. Volgens Sharpe moet de grootte van de paraboloid in goede verhouding staan tot de groottte van de golflengte der op te vangen geluidsgolven. Aangenomen, dat, zooals bij de lichtstralen, de middellijn van de paraboloid gelijk moet zijn aan de halve golflengte, dan zou theoretisch met deze paraboloid van 28 c.M. voor tonen beneden 590 v. d. (dis^2) de versterking in toenemende

---

1) Uber die Akustik in Hörsalen, und ein Instrument sie zu bestimmen von S. Exner. Zeitschrift d. Osterreichische Ingenieuren u. Archit. Vereins, 1905.

2) J. I. A. B. van Royen. Over het geluidsvraagstuk in Ziekenhuizen. Dissertatie 1920.

mate geringer moeten worden, wat dus met de proefondervindelijke uitkomst goed overeenkomt.

Daaruit volgt onmiddellijk, dat, wil men met een paraboloid een gelijkmatige versterking van het geluid krijgen over de heele toonladder, men de paraboloid enorme dinensies zou moeten geven (± 10 M.). Gelukkig komen de tonen beneden de C_{64} blijkens ons resonantieonderzoek in het straatrumoer slechts in geringe mate voor en is het dus voldoende zoo de paraboloid de lage tonen tot C_{64} volledig reflecteert, om een behoorlijke weergave van het straatrumoer mogelijk te maken. Daartoe is een spiegel met een middellijn van 2,5 M. voldoende.

De tonen beneden C_{64} uit het straatrumoer kunnen op den afstand, waarop wij het straatrumoer opvangen met het oor, geholpen door een resonator, niet meer, of slechts in geringe intensiteit worden opgevangen. Het is echter zeer goed mogelijk, dat zij in het straatrumoer bij zijn bron zèlf wel aanwezig zijn, doch niet krachtig genoeg om op een afstand van 5—7 M. nog waargenomen te kunnen worden.

Hetzelfde verschijnsel dus, dat men dagelijks kan waarnemen bij het geluid van een, zich verplaatsende geluidsbron. Dit geluid verandert voortdurend van timbre, door het uitvallen van steeds meer tonen, die niet krachtig genoeg zijn om den voortdurend grooter wordenden afstand te overbruggen.

Trachtten wij nu, met behulp van de kleine paraboloid, het straatrumoer op te vangen, dan bleek, dat er reeds heel wat meer geregistreerd kon worden, dan met den fonimeter alléén. Toch waren de uitslagen van het spiegeltje, vooral de lagere, dreunende geluiden van zware wagens nóg niet voldoende. Ook gave zwakke geluiden nog een te geringen uitslag.

Theoretisch nu, moet het effect van den paraboloid des te sterker zijn, naarmate zij grooter is. Een paraboloid met een 3 maal zoo grooten middellijn, dus een 9 keer grootere oppervlakte, zou ook een 9 maal grooter effect moeten sorteeren.

Wij hadden het voorrecht van den Commandant der Genie te Utrecht een grooten metalen parabolischen spiegel in bruikleen te mogen ontvangen, zooals bij de Genie voor de zoeklichten in gebruik zijn. Deze paraboloid had een doorsnede van 132 c.M., de brandpuntsafstand bedroeg 60 c.M. De oppervlakte

was dus 22 × zoo groot als van de kleine H. B. S. paraboloid en wij mochten dus een ± 22 maal grootere versterking van het geluid verwachten.

Om dit uit te maken, werd de geluidsversterking op dezelfde wijze onderzocht met de reeks orgelpijpen, die men op 1,20 M. van de paraboloid werd opgesteld, om al te groote uitslagen te vermijden. Ook nu werd weer het gemiddelde van telkens drie proeven genomen voor iederen toon:

TABEL.

Versterking door de groote paraboloid N°. II.

Orgelpijptonen.	Gemiddelde uitslag *zonder* paraboloid.	Gemiddelde uitslag *met* paraboloid.	Versterking aantal malen.
e^3	3	40	$11^1/_3$
dis^3	3	16	$5^1/_3$
d^3	3	16	$5^1/_3$
cis^3	2	12	6
c^3	4	35	$8^3/_4$
b^2	2	40	10
ais^2	5	25	5
a^2	2	16	8
a^2	2	16	8
gis^2	2	8	4
g^2	7	60	$8^4/^7$
fis^2	3	25	$8^1/_3$
d^2	2	12	6
e^2	3	20	$6^2/_3$
dis^2	2	20	10
d^2	1	8	8
cis^2	1	4	4
c^2	3	7	$2^1/_3$
b^1	2	8	4
ais^1	2	16	8
a^1	2	12	6

Gemiddelde versterking 7 maal.

Het bleek, dat de gemiddelde versterking over de heele tonenreeks slechts 7 bedroeg. Waardoor was nu dit geringe resultaat te verklaren?

Ten eerste is een groote paraboloid veel moeilijker zuiver te maken dan een kleine. Het focus van een grootere paraboloid zal dus nooit zoo zuiver puntvormig zijn, als dat van een kleine en de stralen zullen ook ter hoogte van het focus een meer verspreiden bundel vormen. Dit geldt in de eerste plaats voor de stralen die door de meer perifere deelen van de paraboloid teruggekaatst worden.

Ten tweede werd de proef met de groote spiegel verricht in dezelfde kamer, als de eerste, doch nu vergroot door de aansluitende kamer door het openen van de groote schuifdeuren, waardoor een ongeveer dubbel zoo groote ruimte verkregen werd. Hierdoor werden de resonantieverhoudingen eveneens gewijzigd. Wel bleef de resonantietoon bij g^2, doch deze was zéér veel zwakker dan eerst, terwijl de gis^2 en de fis^2 in het geheel niet meer resoneerden.

Ten derde moet men met geluidsproeven in gesloten vertrekken rekening houden met de interferentie verschijnselen, die het ontstaan van buiken en knoopen veroorzaken. Was de fonimeter toevallig opgesteld in of in de nabijheid van een knoop, dan moest dit een ongunstigen invloed op de versterking uitoefenen.

Eindelijk, ten vierde: de orgelpijpreeks stond opgesteld op 1,20 M. voor de paraboloid. Daar deze slechts evenwijdig aan zijn as invallende stralen naar het focus terugkaatst, moesten de geluidsgolven, die van de pijpen naar de periferie van de paraboloid liepen, steeds meer afwijken, des te dichter bij den rand zij invielen, ja, die aan de buitenste omtrek de paraboloid troffen, werden door den trechter zelfs loodrecht teruggekaatst. De verhoudingen waren dus op dezen afstand bij de groote paraboloid zeer ongunstig, terwijl voor de kleine dit bezwaar veel minder voelbaar was.

Werd de orgelpijpenreeks op een afstand van 3 M. opgesteld, dan bleken de uitslagen weinig of niet te verminderen; een

directe opname door den fonimeter alléén was op dezen afstand niet meer mogelijk. In werkelijkheid mogen wij dus voor verderaf liggende geluidsbronnen veel gunstiger versterkingsverhoudingen aannemen.

Bij een later genomen proef in een andere kamer, waarvan de eene wand door ramen was ingenomen, die geheel geopend konden worden, en waar dus resonantie en interferentie zooveel mogelijk uitgeschakeld konden worden, kreeg ik, met de orgelpijpen op een afstand van 1,80 M. van de paraboloid een versterking van 12 maal (zie tabel).

Versterking door de groote Paraboloid N°. II (afstand 1,80 M.)

Orgelpijptonen.	Gemiddelde uitslag *zonder* paraboloid.	Gemiddelde uitslag *met* paraboloid.	versterking aantal malen.
e^3	1—2	20	14
dis^3	3	30	10
d^3	3	40	13
cis^3	2 à 3	40	16
c^3	5	50	10
b^2	3	40	20
ais^2	3	35	12
a^2	3	40	13
gis^2	2—3	25	10
g^2	5	20	4
fis^2	1	12	12
f^2	1—2	30	12
e^2	2	25	12,5
dis^2	1	20	20
d^2	6	40	7
cis^2	2	20	10
c^2	2	15	7,5
b^1	2	20	10
ais^1	2	30	15
a^1	2—3	30	12

Gemiddelde versterking 12 maal.

Over het algemeen was hier de versterking meer gelijkmatig dan op 1,20 M. afstand. Er zijn hier twee resonantietonen: c^3 en d^2, die echter beiden slechts geringe intensiteit bezitten. Verder is opmerkelijk, dat door deze groote paraboloid ook de lagere tonen goed versterkt worden en wel ongeveer in gelijke mate als de hoogere, een bevestiging dus van de theoretisch vooropgestelde verhouding tusschen grootte van de paraboloid en golflengte der geluidsgolven.

Met de groote paraboloid was dus een belangrijke versterking te krijgen van het geluid, zoodat een behoorlijke registratie van het straatrumoer mogelijk zou zijn. Echter is de paraboloid een echte richtingzoeker, en vangt bijna alleen die stralen op, die juist vóór de paraboloid hun oorsprong hebben.

Het was daarom noodzakelijk, het toestel op te stellen op gelijke hoogte met de bronnen van het straatrumoer, dus op de gelijkvloersche verdieping van het laboratorium. Een der kamers aldaar heeft aan de straatzijde drie naast elkaar liggende ramen, slechts gescheiden door smalle sponningen, en met een breedte van 50 c.M. tegen een hoogte van 150 c.M. De totale opening was 150 bij 175 c.M., en waar de paraboloid 132 c.M. doorsnede had, was de raamopening voldoende groot, om alle, met de paraboloid evenwijdig invallende geluidgolven, tot een bundel van 132 c.M. doorsnede, door te laten.

De afstand van de paraboloid tot de raamopening bedroeg 2 M. Hij was in verticalen stand bevestigd aan een zwaren houten bok, die door middel van ijzeren draden aan den kamerwand was verankerd.

De kamer, 3 bij 3,5 bij 4 M. groot, had een gecementeerden vloer, zoodat dreunen of loopen geen invloed op het spiegeltje had. Door de groote raamopeningen werd de resonantie van de kamer tot een minimum beperkt (zie versterkingstabel blz. 76) en lag ter hoogte van c^3 en d^2.

De fonimeter werd dreunvrij opgesteld op een tafeltje met zwaren metalen voet; zoodat zoo weinig mogelijk hindernis werd geboden aan de van buiten invallende geluidsgolven. De fonimeter had den vorm, dien Zwaardemaker hem het laatst

gegeven heeft, n.l. een spiegelkastje ter hoogte van 9,5 c.M., waarvan de gedeeltelijk uit gaas bestaande zij- en voorwanden 7 c.M. en de achterwand 3,5 c.M. maten. De laatste bestond uit gaas, de zijwanden uit gaas, bordpapier en glas, om de lichtstraal door te laten. De toevoerbuis had de afmetingen van den menschelijken gehoorgang, n.l. een lengte van 4,8 c.M., een middellijn van 13 m.m., terwijl het tepelbuisje een lengte van 4 m.m. en een middellijn van 3 m.m. had. Het spiegeltje mat 2 m.m. in doorsnede bij een dikte van 60 mikron, en hing aan een draad van 14,5 c.M. lengte en 2 mikron dikte.

Zwaardemaker [1]) heeft dezen phonimeter geijkt met behulp van een gedekte orgelpijp van bekende efficientie, i.c. een kleine Edelmannsche pijp van de 4 gestreepte octaaf met een efficientie van $^1/_{1000}$.

Deze werd op een afstand van 8,9 c.M. van de trechteropening geplaatst, die 100 c.c. groot was, zoodat $^1/_{10}$ van de totale geluidshoeveelheid, door de pijp uitgezonden, in de trechteropening terecht kwam. Als de druk, waarmee de pijp werd aangeblazen en het luchttransport per sec. bekend waren, was de energie, die het spiegeltje bereikte, te berekenen, en na te gaan voor iederen graad uitslag. Voor kleine uitslagen is zij evenredig met de toegevoerde energie. Boven 30° uitslag (gelijk aan 15° hoekdraaiing van het spiegeltje) wordt de verhouding anders. Iedere graad correspondeert dan met steeds toenemende hoeveelheid geluidsenergie.

Wij gebruikten als trechter niet de oorspronkelijke met een tophoek van 90° en een opening van 100 cc[2], doch een langere van 25 c.M., een tophoek van 30° en een opening van 10 c.M. doorsnede. De eerste heeft het groote voordeel van zelf geen resonantie te veroorzaken, terwijl de tweede een voorkeur heeft voor den ,,oo'' klank. Echter loopen de geluidsgolven, na door de paraboloid gereflecteerd te zijn, sterk convergeerend naar het focus, met een hoek van ruim 90°. Bij een trechter, die zelf een tophoek van 90° bezit, zullen de van de peripherie komende

[1]) Zwaardemaker und S. Ohma. Uber physiologische Schallmessung. Zeitschrift für Sinnesphysiologie, Bd. 54 (1922).

stralen den binnentrechterwand loodrecht treffen en dus terug gekaatst worden, instede van voortgeleid naar het spiegeltje. Daarom was voor de goede voortgeleding van alle stralen een nauwer toeloopende trechter noodig.

De trechteropening diende 10 c.M. in doorsnede te zijn, daar er, vooral voor de grootere golflengten een zekere spreiding van de geluidsgolven plaats vindt. Een kleiner trechteropening zou dus niet alle, en speciaal niet de stralen met groote golflengte opvangen.

De resonantie van den trechter was overigens niet zoo groot, om hinderlijk te zijn.

Waar het bij deze proef er om te doen was, het straatrumoer *in* de kamer op te vangen, dienden de ramen geopend te worden. Hierdoor had niet alleen het geluid, doch ook de wind vrije toegang tot de paraboloid, die de luchtstroomingen eveneens terugkaatst naar het spiegeltje. Om de luchtstroomingen zooveel mogelijk te weren, werden in de raamopeningen houten horren aangebracht, met fijn ijzergaas bespannen, dat den wind goed tegenhoudt. Hierachter werd bovendien nog zwart voeringgoed gespannen, waardoor tevens de kamer donkerder werd gemaakt voor de photografische registratie.

Zoowel gaas als voeringgoed hebben op het geluid practisch geen invloed. Dit werd reeds aangetoond door Tyndall [1]), die vond dat dun katoen het geluid niet tegenhoudt.

Volgens Bosscha [2]) zullen poreuse weefsels vooral voor de hoogere tonen dempend werken, zoodra ze eenige dikte verkrijgen. Waar hier echter slechts sprake is van één dunne laag katoen met vrij groote poriën, kan de invloed daarvan geheel verwaarloosd worden.

Om het spiegelkastje van den fonimeter werd verder nog een, naar de paraboloidzijde open huls van bordpapier geschoven, waardoor het gazen gedeelte van den achterwand tegen luchtstroomingen werd beschermd. Eindelijk werd in de toegangs-

---

[1]) J. Tyndall. Der Schall, bearbeitet von Helmholtz u. Wiedemann.
[1]) Dr. J. Bosscha. Leerboek der Natuurkunde.

buis van den fonimeter een klein watje geschoven, zooals Zwaardemaker aangeeft.

Met al deze voorzorgen gelukte het, het spiegeltje in voldoende mate tegen luchtstroomingen van buiten te beschermen.

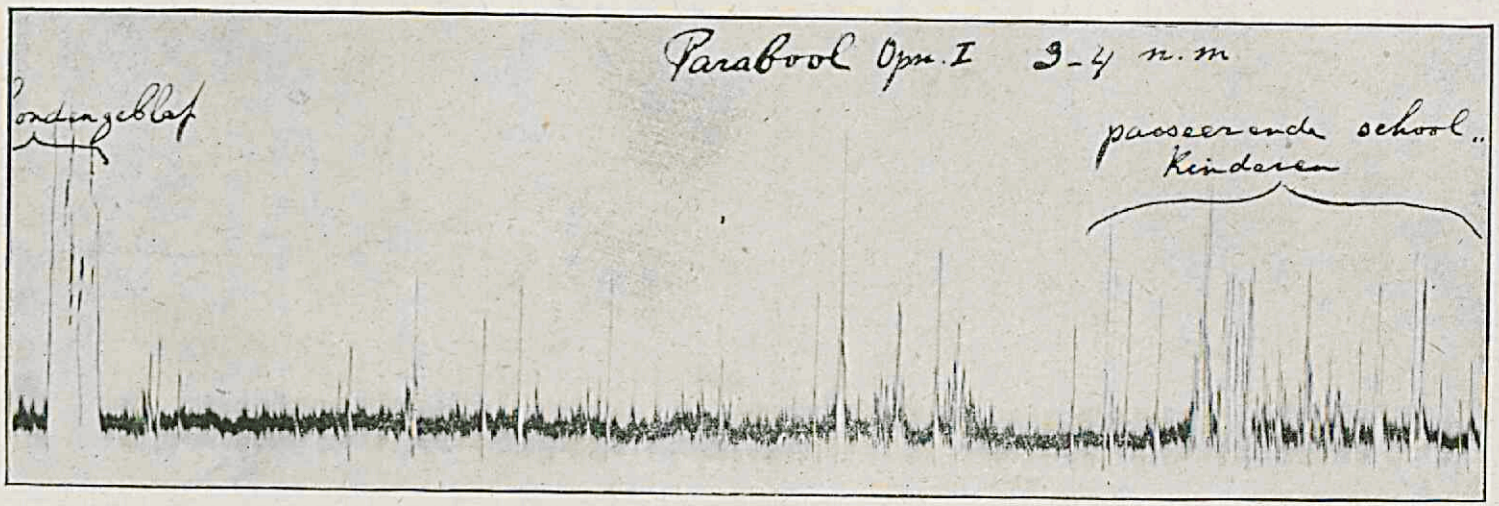
Echter diende er nauwkeurig zorg voor gedragen te worden, dat tijdens de proeven *in* de kamer niet alleen geen geluid werd opgewekt, doch tevens, dat er, althans voor het vlak van de paraboloid geen luchtstroomingen ontstonden, door het zich verplaatsen van personen of op andere wijze. Aan te bevelen is zelfs, dat ook in de omliggende kamers zooveel mogelijk rust heerscht.

De registreertrommel stond zijdelings van den fonimeter op 25 c.M. afstand, zoodat zij niet direct in de weg der invallende geluidsgolven geplaatst was.

De straat voor het laboratorium is 6 M. breed, het trottoir 2,5 M. De gemiddelde afstand van de geluidsbronnen op staat tot de paraboloid was dus 7½ M. Geregistreerd werd het straatrumoer gedurende de uren van 8 u. 's morgens tot 6 u. 's avonds. Daarbij nog een avondopname van 8—9 uur. (zie tabel).

Paraboloidfonimeter opnamen van het straatrumoer.
(gemeten met den planimeter).

voormiddag	8—9 u.	8	c.M². oppervlak op de graphiek.
,,	9—10 ,,	10	,,
,,	10—11 ,,	13	,,
,,	11—12 ,,	12	,,
namiddag	12—1 ,,	18	,,
,,	1—2 ,,	11	,,
,,	2—3 ,,	10	,,
,,	3—4 ,,	15	,,
,,	4—5 ,,	15	,,
,,	5—6 ,,	6	,,
namiddag	8—9 ,,	2	,,



Curve 5.

Bij één opname (zie curve 5) werd weer bij iederen uitslag de bron aangegeven. Hieruit blijkt, dat het sterke overwegen der jongensstemmen in de microfoon-curven kunstmatig was, en een gevolg van den voorkeur van de microfoon voor de tonen van de spraakzone. Toch zijn ook bij de paraboloid opnamen de uitslagen door menschenstemmen nog vrij groot, en komen zij in grootte direct na die door vrachtkarren e.d.

Zooals bij de microfoon opnamen vindt men ook bij de paraboloid curven de toppen terug omstreeks 12 en 4 u. n.m., waarschijnlijk omdat omstreeks die uren de scholen uitgaan.

Na vijf uur n.m. vermindert het straatrumoer sterk in intensiteit om na 8 uur tot minimale waarde te dalen.

Vergeleken met de microfoon opnamen zijn in de paraboolcurven veel meer kleinere uitslagen te zien. Waarschijnlijk ligt de drempelwaarde bij de paraboloid lager dan bij de microfoon.

Ook bij de paraboloidcurve vindt men de basaallijn terug, die hier echter bij nauwkeurige beschouwing blijkt te bestaan, niet uit een doorloopende breede lijn, doch uit een groot aantal op en neergaande lijntjes, een uitdrukking dus weer van 1e de breedte van den lichtstraal, 2e de onrust van het spiegeltje, 3e van de uitwerking van het aanhoudende zwakkere geluid in het straatrumoer.

Gaat men bij curve N°. 5 na, aan welke geluidsqualiteit iedere uitslag beantwoordt, dan ziet men, dat b.v. bij honden geblaf zeer kort op elkaar volgende stooten niet meer afzonderlijk worden aangegeven, doch aan de basis samenvallen, terwijl alleen de toppen ieder afzonderlijk te voorschijn komen.

Dit is een gevolg van de traagheid van het spiegeltje. Hoe grooter de traagheid, hoe meer de afzonderlijke uitslagen in elkaar zullen vloeien.

Traagheid van het spiegeltje.

Het door ons gebruikte spiegeltje was 2 m.m. in doorsnede en 60 mikron dik. Na een sterkere knal, waarbij de spiegel

4 c.M. uitsloeg, keerde het door den nulstand heen, nog 1½ c.M. terug, om daarna een tweeden uitslag van ¾ c.M. te maken. Hierop kwamen nog één of twee zéér kleine schommelingen, alvorens het spiegeltje weer geheel tot rust was gekomen. Bij zwakkere knallen werd de ruststand spoedig bereikt.

De tijd benoodigd voor één schommeling was $1^{7}/_{23}$ sec. Het is duidelijk, dat een geluidsgolf, die het spiegeltje treft binnen ½ secunde nà het begin van een uitslag, dit tijdens zijn opgaande beweging treft en dus een sterker worden van den uitslag ten gevolge heeft.

Daarentegen zal een impuls, die het spiegeltje treft in zijn teruggaande beweging, dus méér dan ½ sec. nà het begin van den uitslag, zèlf een geringer effect hebebn.

Voor het registreeren van afzonderlijke impulsen, die kort op elkaar volgen (minder dan 1 sec. nà elkaar) is het spiegeltje dus geen volmaakt instrument. Nu komen deze geluiden in het straatrumoer slechts zelden voor. Meestal heeft men te maken met langer durende, langzaam toe en afnemende geruischen, waarvoor het spiegeltje juist een zeer geschikt registeerinstrument is. De enkele krachtige explosiefgeluiden (autohoorn e.d.) zullen ook goed weergegeven worden, indien de tijd tusschen de afzonderlijke stooten langer dan $1^{1}/_{3}$ sec. bedraagt.

Het is met den paraboloidfonimeter ook mogelijk de absolute sterkte van het straatrumoer op een bepaald moment te benaderen (ter plaatse van de paraboloid). Heeft men den fonimeter volgens Zwaardemaker geijkt (zie blz. 78) dan beantwoordt iedere graad uitslag aan een bepaalde hoeveelheid geluidsenergie, die het spiegeltje treft. Neemt men nu aan, dat alle geluidsgolven, die de paraboloid treffen, op het spiegeltje terecht komen, dan kan men de uitslagen ook rechtstreeks als maat nemen voor de geluidsenergie, die de paraboloid treft. Is de oppervlakte van de paraboloid gelijk p c.M^2., dan is de intensiteit van het geluid ter plaatse van de paraboloid $0{,}95 \times \frac{a \times b}{p}$ ergs.

waarin: a = aantal graden uitslag van het spiegeltje.

b = aantal ergs per graad uitslag.
p = oppervlakte v/d paraboloid in c.M².
0,95 = terugkaatsings coefficient van de paraboloid.

In werkelijkheid zal niet alle geluid, dat de paraboloid bereikt op het spiegeltje terecht komen. Welk percentage verloren gaat, is niet met zekerheid aan te geven. Alleen, zoo men veronderstelt, dat het heele bolvormige focus in den opvangtrechter aankomt en zonder verlies door terugkaatsing voortgeleid wordt naar het spiegeltje, mag men het hier aankomende geluid in energie gelijkstellen aan dat, wat de paraboloid treft.

Aan de door ons gebruikte proefopstelling kleeft nog èèn gebrek, n.l. de eigen resonantie van den opvangtrechter, die, zooals reeds aangegeven, een voorkeur had voor de ,,*oo*"klank. Hoewel deze resonantie bij onze proeven niet hinderlijk naar voren kwam, was het toch wenschelijk ook deze resonantiebron te elimineeren.

Echter is men, volgens Sharpe, vooral bij de lagere tonen, steeds gebonden aan de spreiding voor de lagere tonen.

Bij een zuiverder focus zou de trechter korter genomen kunnen worden, waardoor, ook bij gelijkblijvenden tophoek, de resonantie zwakker wordt en hooger van toon. Dit is intusschen slechts voor hooge tonen mogelijk. Ook kan de tophoek grooter genomen worden. Bij een hoek van 90° is de resonantietoon zóó hoog en zwak, dat zij verwaarloosd mag worden. Doch hier krijgt men weer het bezwaar, dat de randstralen van de paraboloid niet allen door de trechter worden voortgeleid, doch tegen den trechterwand worden teruggekaatst, wat een geluidsverlies veroorzaakt.

Het meeste bereikt men dus met een niet te langen trechter, met een tophoek grooter dan 60° en kleiner dan 90° en een goed zuivergeslepen paraboloid. Al is de versterking dan ook iets geringer, dan bij de door ons gebezigde opstelling met langen, nauwen trechter, de weergave van het geluid zal hierbij veel zuiverder zijn.

Getracht werd nog de gevoeligheid van het toestel te verhoogen door 2 paraboloiden te gebruiken. Daartoe werd de kleine paraboloid zóódanig vóór de groote geplaatst, dat de hierin teruggekaatste geluidsgolven convergeerend in de kleine paraboloid vielen, terwijl het focus van den grooten spiegel zich *achter* de kleine bevond op ± 10 c.M. afstand. Hierdoor vielen dus de, door de groote paraboloid gereflecteerde stralen niet als een evenwijdige, doch als een convergeerende bundel op de kleine; er ontstond niet een puntvormig, doch een langgerekt, lijnvormig focus, dat in de as van de paraboloid lag. Door het gebruik van een opvangtrechter was het toch mogelijk alle stralen naar het spiegeltje te leiden. Het resultaat was, dat er een zeer onregelmatige versterking ontstond voor de verschillende tonen.

Sommige deelen van de toonreeks werden uitermate versterkt, andere zelfs verzwakt. Blijkbaar krijgt men bij deze opstelling te maken met het ontstaan van interferentie verschijnselen, waardoor zich buiken en knoopen vormen op verschillende plaatsen voor de verschillende golflengten. Dit maakt de toepassing van twee parabolische spiegels voor ons doel waardeloos.

Voor eventueele wetenschappelijke onderzoekingen van geluiden, ook van het straatrumoer, zou van een grootere zaal, b.v. een practicumzaal, de tegenover de straatramen gelegen muur gebouwd kunnen worden als een paraboloid.

Vasthoudend aan een tophoek van 90° is de formule voor de paraboolafmetingen:

als y is de halve middellijn van den parab. opening
p de dubbele focusafstand
x de grootste diepte van de concaviteit.

$$y^2 = 2\,p\,x$$
$$\text{Dus } y^2 = 2\,p\,(\tfrac{1}{2}\,p - y)$$
$$y^2 + 2\,py - p^2 = 0$$
$$y = -p + p\sqrt{r}$$
$$y = 0{,}414\,p$$

en daar $p = 2\,f$ (f = focus afstand)

$y = 0{,}828\ f.$

voor een parabool van 5 M. doorsnede is $y =$ $2\frac{1}{2}$ M.

dus $f = \pm 3M.$

$x = \pm \frac{1}{2} M.$

Met een paraboloid van dergelijke afmetingen kunnen alle tonen tot $C_1 = 32$ v.d. geheel worden opgevangen en alle voorkomende geluiden onderzocht worden.

HOOFDSTUK VI.

Paraboloid-resonator-fonimeter.

Vervangt men bij de in het vorige hoofdstuk beschreven proefopstelling den opvangtrechter door een resonator, dan zal àl wat er in het straatrumoer aanwezig is van den toon, waarop de resonator is afgestemd, door dezen versterkt worden overgebracht naar het spiegeltje. De rest van het geluid wordt niet voortgeleid, en men krijgt dus hiermee een registratie van één toon uit het dagrumoer. Door de noodige resonatoren met fonimeters naast elkaar op te stellen, zou het straatrumoer in zijn vormende tonen kunnen worden vastgelegd, een volledige analyse dus. Practisch stuit dit op verschillende bezwaren, n.l. het groote aantal benoodigde fonimeters en de onmogelijkheid om deze allen in het focus van één paraboloid op te stellen.

Misschien zou dit laatste bezwaar ondervangen kunnen worden door het geluid in het focus op te vangen in een trechter en voort te geleiden naar een buis, die zich weer splitst in evenveel deelen als er resonatoren zijn. Het is echter waarschijnlijk, dat het geluid dan te sterk verzwakt zou worden, om in iederen afzonderlijken resonator nog behoorlijk aan te spreken.

Wij bepaalden ons daarom slechts tot registratie van enkele tonen en wel:

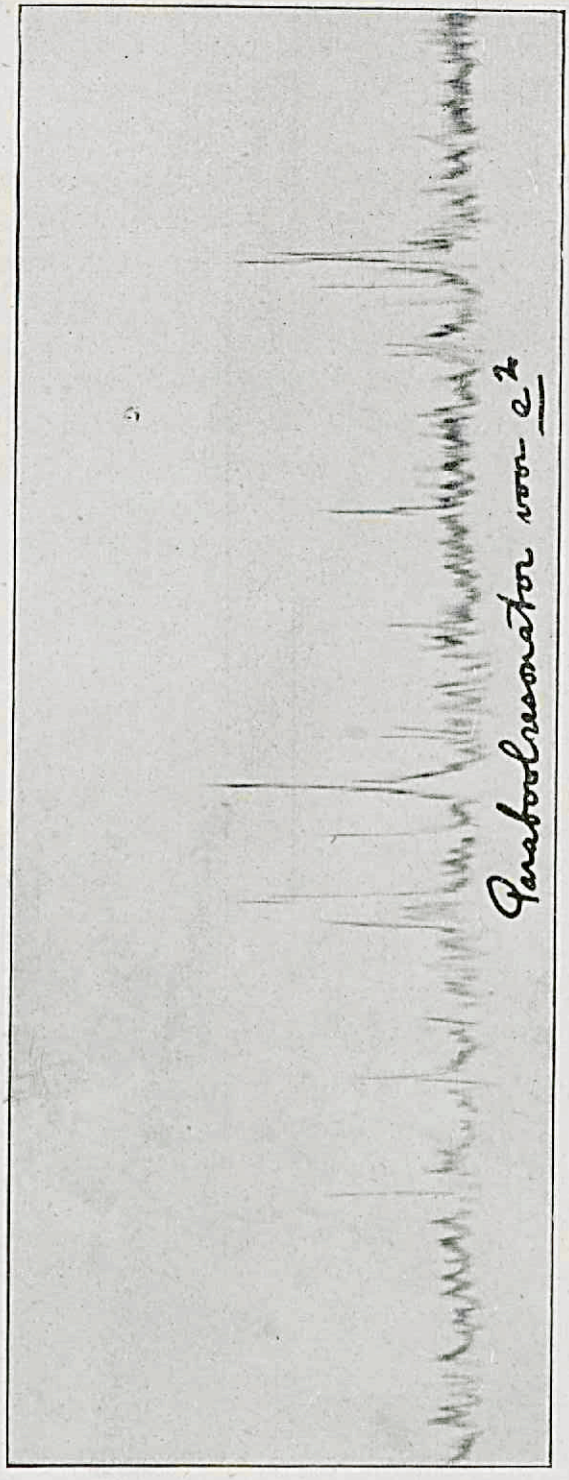
de e^2 uit de hooge versterkingszone.
de B ,, ,, lage ,,
de a ,, ,, tusschen liggende zone.

Hiervan gaf (met den planimeter bepaald):

de e^2 7 c.M^2. graphisch oppervlak.
,, B 9 c.M^2. ,, ,,
,, a 4 c.M^2. ,, ,,

een bevestiging dus van het bestaan der versterkingszones.

Curve 6.



Curve 8.

Curve 7.

Curve 6, 7 en 8.

De opnamen werden verricht op hetzelfde uur van drie gelijknamige werkdagen, zoodat mag worden verondersteld, dat het straatrumoer gedurende de drie opnamen niet veel van elkaar in intensiteit verschilde.

Bij deze curven valt bijzonder op, dat de basaallijn niet zoo breed is als bij die van het totale dagrumoer in de paraboloid- en microfoon curven, hoewel de gemiddelde grootten der uitslagen niet verschilt.

Voor de registratie van bepaalde tonen is de snaargalvanometer van Einthoven eigenlijk veel beter geschikt dan de boven beschreven methode, daar de snaargalvanometer, behoorlijk op een bepaalden toon afgestemd, ontzaglijk veel gevoeliger is, dan welke paraboloid-resonator ook. Wil men dus een specialen toon uit het straatrumoer op zijn intensiteitsverhoudingen onderzoeken, dan dient de voorkeur gegeven te worden aan den snaargalvanometer.

HOOFDSTUK VII.

Een portabele paraboloid-fonimeter.

De groote paraboloid, gecombineerd met den oorspronkelijken fonimeter van Zwaardemaker bleek voor de registratie van de geluiden van de straat een doelmatig instrument. Zoowel de hooge, als de lage tonen werden zeer gelijkmatig versterkt opgevangen, en, zoo een wijden opvangtrechter gebruikt werd, was er geen bepaalde eigen resonantie in het apparaat aantoonbaar, met uitzondering van de „physiologische". Hiermee was het vraagstuk van de zuivere geluidsregistratie op afstand opgelost.

Echter is deze paraboloid door haar grootte, doch vooral door haar gewicht gebonden aan één plaats. Een verplaatsing zou steeds met groote zwarigheden gepaard gaan.

Dit was de aanleiding te trachten, de gevoeligheid van een kleinere paraboloid zoodanig op te voeren, dat ook daarmee het straatrumoer geregistreerd zou kunnen worden.

Wij gingen daarbij uit van de veronderstelling, dat, zoo het mogelijk was, het fonimeterspiegeltje direct in het brandpunt van de paraboloid te plaatsen, daarmee de grootste versterking verkregen zou worden, in overeenstemming met de theorie der terugkaatsing door paraboloiden, die leert, dat in het focus alle uit oneindigen afstand komende teruggekaatste stralen samen komen en hier dus de grootste geluidsverdichting bestaat.

Onze kleine H. B. S. paraboloid was echter voor het doel ongeschikt, daar haar focus afstand te klein is om met een opvangtrechter te kunnen werken. Deze zou binnen het vlak van de paraboloid komen te staan, zoodat slechts een zéér klein deel der geluidsgolven opgevangen zou worden.

Er werd daarom een paraboloid van gepolijst messing gemaakt van dezelfde doorsnede (middellijn = 28 c.M.) doch met een

focus afstand van 8 c.M., zoodat het brandpunt vóór het openingsvlak van de paraboloid viel. Hiermee bereikten wij, dat ook de randstralen van de paraboloid in het focus opgevangen konden worden.

Teneinde de invallende geluidsgolven zoo min mogelijk te onderscheppen door het spiegelkastje, moest dit van kleine afmetingen gebouwd worden. Daarbij dienden wij rekening te houden met de daardoor ontstane resonantie, te meer, daar het kastje rondom met glazen wanden afgesloten werd, om luchtstroomingen tegen te houden.

De eigentoon van het spiegelkastje stijgt, naarmate dit kleiner wordt. Neemt men als hoogste duidelijk hoorbare toon aan de C^7 van 16500 v.d., dan dient het spiegelkastje, om door terugkaatsing der tonen tegen den achterwand ontstane knoopen niet ter plaatse van het spiegeltje te laten vallen, hoogstens 5 m.M. lang zijn.

Een spiegelkastje, lang 4 m.M., breed 4 m.M. en hoog 5 m.M. werd van een spiegeltje van 3,5 m.M. voorzien, opgehangen aan een Wollaston draad van 25 c.M. lengte en 2 mikron dikte.

Een kastje van deze afmetingen heeft een resonantie, die dichtbij den bovengrens van het toongehoor ligt, n.l. in het zesgestreepte octaaf.

C. Stumpf [1]) onderzocht door middel van de interferentiemethode de hoogte van het geruisch van een Galtonpijp, dat men verkrijgt, als de afstand tot de „Maulweite" kleiner gemaakt wordt, dan bij den hoogsten hoorbaren toon. Dit geruisch zou volgens enkele onderzoekers de algemeen aangenomen hoogst hoorbaren toon van 22000 v.d. ver overtreffen. Stumpf bepaalde ondertusschen de hoogte van dit fijne geruisch op hoogstens $c^7 = 16500$ v.d., en als men de interferentie breedte in aanmerking neemt, slechts $g^6 = 12400$ v. d. Nooit werden hoogere waarden gevonden.

Een kunstmatige S bleek als hoogste toon 4000 v. d. te bevatten (d.i. de hoogste formantgrens van S). Bij zeer nauw-

---

[1]) C. Stumpf. Die Sprachlaute, Berlijn 1926, blz. 134.

keurige proeven werd nog een boventoon gevonden met 10.000 v.d.

Voor den tik van een gewoon horloge vond hij een toonshoogte van c^4—h^4, voor een klein armbandhorloge b^4—b^5.

Voor knallen vond hij tonen van C (128)—c^4.

Voor F en Ch en zelfs voor S werd geen verschil bemerkt, als alle tonen boven C_6 werden uitgedoofd.

Het is dus wel zeker dat geruischen geen hooger trillingsgetal hebben.

Met de resonantie van ons spiegelkastje blijven wij dus boven de toongrens van geruischen, al is het uit den aard gewenscht, ter meerdere zekerheid te trachten deze resonantie door verkleining van het kastje nog te verhoogen.

Een toevoerbuis, bij wijze van kunstmatigen gehoorgang konden wij niet aanbrengen, daar het spiegeltje zoo dicht mogelijk bij het focus gebracht diende te worden. Doch een kort tepelbuisje van 2 m.M. lengte was noodzakelijk om de convergeerend toeloopende geluidgolven in de richting van het spiegeltje te leiden. Zooals in een vorig hoofdstuk reeds werd uiteengezet, krijgt men zonder dit buisje alléén een goede werking van den centralen bundel, terwijl de meer uit de periferie van de paraboloid komende golven het focus bereiken in een richting, ongunstig voor de werking op het schuin op de as geplaatste spiegeltje (de gunstigste invalshoek bedraagt 45°). Het tepelbuisje had een opening van 4 m.M.

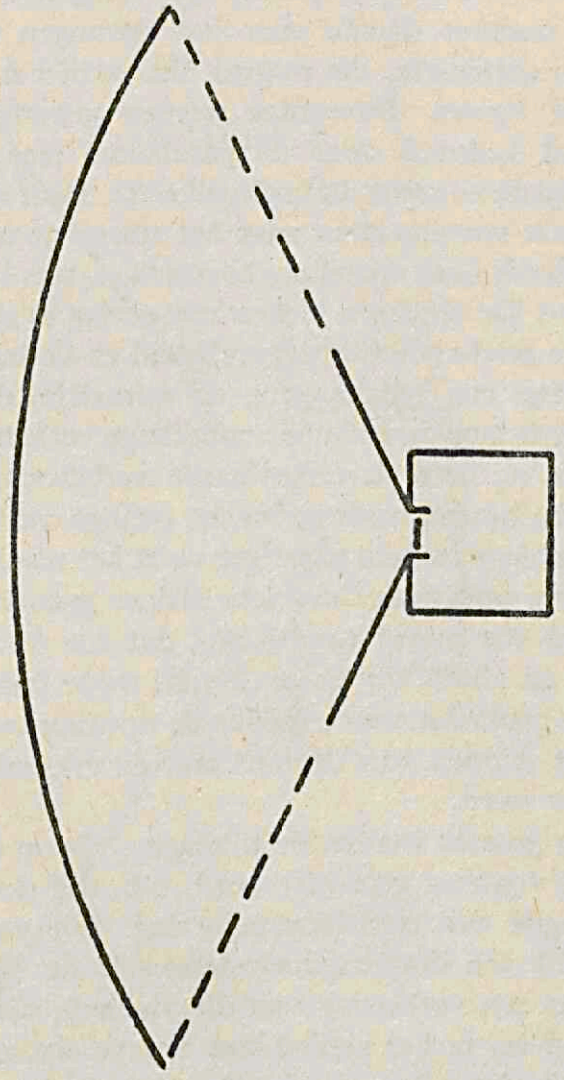
Direct aan het tepelbuisje kwam een trechtertje met een zóódanigen tophoek, dat alle golven, ook die van den paraboloidrand aankwamen, nog werden opgevangen. Bij deze paraboloid moest de tophoek 120° bedragen. (fig. 4).

Om het invallend geluid zoo min mogelijk te onderscheppen was het opvangvlak van het trechtertje 4 c.M. in doorsnede.

Het spiegeltje met lichtbron werden op een koperen stang geplaatst, die aan de paraboloid was vastgehecht, en uitgeschoven kon worden, zoodat het spiegelkastje op verschillende afstanden van de paraboloid kon worden gebracht.

Spiegellijn, middelpunt van de trechteropening en lichtbron

FIG.4.



TRECHTER DIRECT AAN SPIEGELKASTJE BEVESTIGD

lagen allen in de as van de paraboloid. Het focus werd juist voor den ingang van het tepeltje gebracht.

Een geluid, op oneindigen afstand voor de paraboloid ge-

produceerd werd zoodoende vlak voor het tepeltje geconcentreerd en verder geleid naar het spiegeltje.

De trechter diende voor het opvangen van de tonen van grooter golflengte, die volgens Sharpe niet *in* doch *òm* het focus terecht komen Bovendien worden geluidsgolven uit eindige afstand komend door de paraboloid teruggekaatst naar een punt op de as *achter* het spiegelkastje Door den trechter worden ook deze verzameld en naar het spiegeltje overgebracht.

Toen wij deze opstelling beproefden, was het resultaat teleurstellend. De uitslagen bleken zeer gering te zijn, veel kleiner dan met de eerste (slechtere) paraboloid en de toegangsbuis. Ook na varieeren van tepelopening en spiegeltje, door deze grooter of kleiner te nemen, en hunne onderlinge verhouding te veranderen, kregen wij geen noemenswaarde verbetering. Een vergrooting van den opvangtrechter bracht geringe verbetering, doch lang niet voldoende. Iets gunstiger werd het resultaat als de tophoek van den opvangtrechter iets kleiner genomen werd.

Door een toeval vonden wij, dat zoo de trechter verwijderd werd, en alleen een korte, 2 c.M. wijde buis tegen het spiegelkastje geplaatst werd, zoodat de opening van het tepeltje juist in het midden van de buis lag, de versterking plotseling veel sterker werd.

Nog grooter werden de uitslagen, als op deze buis een afgeknotte trechter geplaatst werd, zóó, dat de tepelingang in het verlengde der trechterwanden lag. Wij verkregen dusdoende eigenlijk een diaphragmasysteem (zie fig. 5).

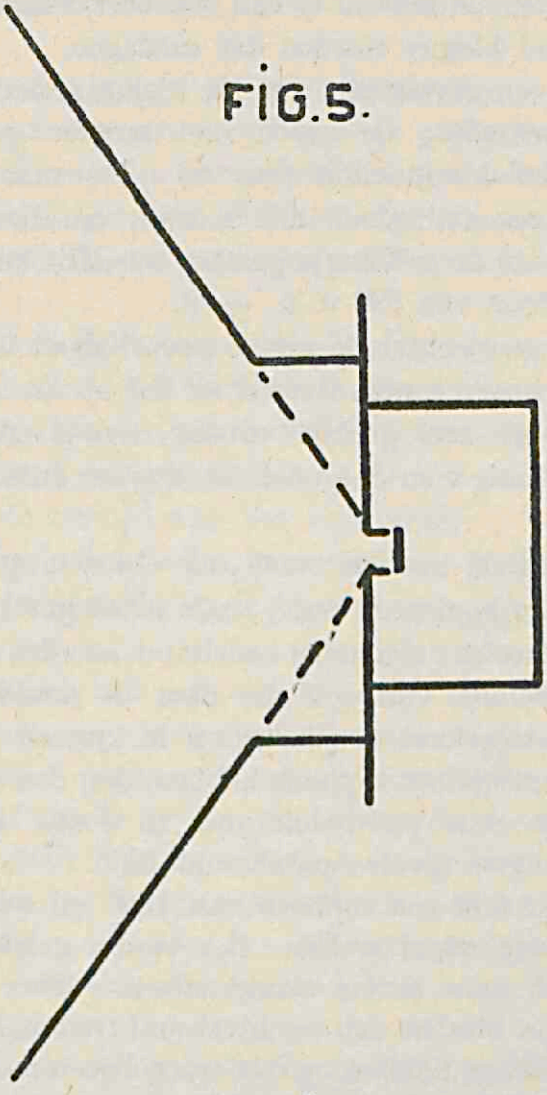
Naar een verklaring van dit vreemde verschijnsel zoekende, vonden wij in het artikel van Sharpe een aanwijzing, die naar onze meening de oplossing kon brengen.

Sharpe berekende n.l. mathematisch, dat in een conisch toeloopende buis, of in een aan één zijde gesloten nauwe cylindrische buis een geluid, dat voor in de buis ontstaat, gedempt wordt aan den top van den kegel of de gesloten buiszijde.

In wijde cylindrische buizen treedt dit verschijnsel niet op. Nu hadden wij eigenlijk bij onzen, tot aan het focus doorloopenden trechter een dergelijke doode ruimte aan den top, daar de kleine

centrale opening door het spiegeltje zoo goed als afgesloten werd. Wij kunnen daar ter plaatsen dus ook een gedeeltelijke demping

FIG.5.



TRECHTER, DOOR MIDDEL VAN KORTE BUIS AAN SPIEGELKASTJE BEVESTIGD

van het vóór in den trechter aankomende geluid verwachten. Dit bezwaar valt weg bij het gebruik van een afgeknotten kegel, daar nu de top een wijde buis vormt met aan het eind een diaphragma.

Onderzochten wij nu met ons toestel de orgelpijpen van a^1—e^3, dan bleken de hoogere tonen zeer goed, de lagere minder versterkt te worden, en wel was er van ongeveer c^2 naar beneden toe een toenemend kleiner worden der uitslagen.

Dit moest een gevolg zijn van de kleine afmetingen van de paraboloid, waardoor de tonen met grooter golflengte dan 2 × de paraboloidmiddellijn (dus 56 c.M.) niet meer totaal werden teruggekaatst, doch dès te meer òm den spiegel heen bogen, naarmate de golflengte grooter was. Dit komt dus overeen met een toon van 590 v. d., ± d^2.

Verrassend was echter de groote gevoeligheid van het apparaat voor de hooge tonen. Zoowel de fis^4 als de ,,ee'' en ,,ie'' klank gaven een zeer grooten uitslag, terwijl zelfs de klankstaafjes van König voor de grenstonen nog een duidelijken uitslag vertoonden.

Een moeilijkheid was het vraagstuk van den opvangtrechter.

In het vorige hoofdstuk werd reeds uiteengezet, dat de tophoek van den trechter zich moet aansluiten aan den openingshoek van de paraboloid. Om ook de, door de randdeelen van de paraboloid teruggekaatste stralen op te kunnen vangen, mag de trechter geen kleiner tophoek hebben, dan den hoek, dien de verbindingslijn van paraboloidrand en focus maken. Deze bedroeg voor onze nieuwe paraboloid 120°.

Een trechter met een tophoek van 120° zal echter de randstralen, die zijn wand treffen, niet verder geleiden naar het spiegeltje doch naar buiten terugkaatsen. Alleen als de hoek, waaronder deze stralen den trechterwand treffen, kleiner is dan 90°, zullen ze kans hebben op het spiegeltje terecht te komen.

Werd de trechter vernauwd tot 90°, dan werd hij ook langer, daar het opvangvlak dezelfde grootte diende te houden. Het spiegelkastje moest dan achteruit verplaatst worden, en het spiegeltje zou niet meer in het focus komen te hangen.

Te nauw kan men den trechter ook niet maken, daar hij dan een eigen resonantie verkrijgt. Deze hangt af, zoowel van de lengte als van den tophoek van den trechter. Een trechter met 40° tophoek en 50 c.M. opvangoppervlakte heeft b.v. d^2 tot resonantie-

toon. Hoe grooter de tophoek en hoe korter de trechter, des te hooger deze resonantietoon. Een trechter van 90° tophoek en 50 c.M². opvangoppervlakte heeft practisch geen resonantie meer.

Wil men dus het spiegeltje in het focus van de paraboloid houden, en een trechter met 90° tophoek gebruiken, dan dient de focusafstand van de paraboloid zóó groot te worden dat haar openingshoek eveneens 90° bedraagt.

Dit bereikt men bij een paraboloid met een focus afstand van 16 c.M.

Een dergelijke paraboloid met dezelfde doorsnede als de vorige, werd daarom gefabriceerd en hierop het spiegelkastje aangebracht, met een trechter van 90° tophoek en een opvangoppervlakte van 6 c.M. middellijn.

Restte nog de invloed van het tepelbuisje.

Zwaardemaker [1]) vond, dat in buizen die nauwer zijn dan 4 m.M. de voortplantingssnelheid van het geluid belangrijk afneemt.

Minkema [2]) vond, dat ook een buis van 4 m.M. doorsnede voor hooge tonen nog te nauw is. De tonen van het Galtonfluitje b.v. (het 6 gestreepte octaaf) veranderen, passeerend door een kanaal van 3 tot 5 m.M. doorsnede, in een geruisch.

C. Stumpf [3]) geeft bij zijn onderzoek der gefluisterde vokalen door middel van de interferentiemethode aan, dat de buizen niet nauwer mogen zijn dan 1 c.M., daar anders de hoogere tonen worden verzwakt, wat vooral bij de hooge consonanten S en Ch sterk opvalt.

Om een verzwakkenden invloed van het tepelbuisje te voorkomen, diende het dus niet te nauw te zijn.

Het beste konden wij de moeilijkheid ontzeilen door het zeer

---

[1]) H. Zwaardemaker. Over geluidmeting. Kon. Akad. v. Wetenschappen, 14 Mei 1915.

[2]) H. F. Minkema. Dissertatie Utrecht 1905. De gevoeligheid van het menschelijk oor voor de verschillende tonen van de toonladder.

[3]) C. Stumpf. Zur analyse geflüsteter Vokale. Beiträge zur Anat., Physiol. und Therapie. des Ohres, Nases u Halses, 1919, Bd. XII.

kort te nemen, en de maat te bepalen op iets meer dan 2 m.M. Bij het bepalen van de doorsnede moesten wij er rekening mee houden, dat (volgens Michotte) deze in bepaalde verhouding moest staan tot de doorsnede van het spiegeltje, om de grootste gevoeligheid te bereiken, zonder tot foutieve uitslagen aanleiding te geven. Het spiegeltje kon weer niet te groot genomen worden, daar het dan te zwaar en daardoor weer ongevoelig en langzaam werd.

Verschillende combinaties werden daarom beproefd, tot eindelijk een opening van 4 m.M. en een spiegeltje van 3,5 m.M. den grootsten uitslag bleken te geven. Hierbij was het spiegeltje echter zeer sterk gedempt en duurde een slingering eenige seconden, zoodat registratie van straatrumoer daarmee onzuiver werd. Daarom werd een iets kleiner spiegeltje en tepelopening gekozen, n.l. van resp. 2,6 en 3,4 m.M.

Door de geringe lengte van het tepelbuisje werd hierbij een verzwakking van de hooge tonen voorkomen.

Tevens was hiermee een zéér rustigen nulstand van het spiegeltje verkregen, zoodat zelfs uitslagen van 0,1° op 33 c.M. afstand van het spiegeltje nauwkeurig konden worden afgelezen.

De rustige nulstand van het spiegeltje is ook een gevolg van de kleine ruimte in het spiegelkastje. Een kastje van 1 c.M³. geeft reeds een lichte onrust aan het spiegeltje.

Daarentegen is dit in een kastje van 0,5 c.M. lengte en breedte volmaakt rustig.

De gevoeligheid was voor het discantgedeelte grooter dan bij den grooten paraboloid fonimeter. De gevoeligste zone van het menschelijk oor, de 4 gestreepte octaaf was ook in ons toestel uitermate gemakkelijk aan te toonen. En zelfs de hoogste nog hoorbare tonen (b.v. van de staafjes van König), gaven nog een zeer duidelijken uitslag. Maar van ongeveer c^2 af naar beneden toe werden de tonen toenemend slechter geregistreerd.

Dit was alleen te verhelpen òf door de paraboloid grooter te maken, òf door een speciale resonantie voor het basgedeelte aan te brengen.

De groote gevoeligheid van het toestel voor de hoogere tonen leidde er toe, te trachten hiermee den tik van een phonometer te registreeren. Inderdaad kregen wij met den geluidslinger van Stefanini een duidelijken uitslag, wat tot nu toe met geen enkelen fonimeter mogelijk geweest was.

IJking van den kleinen paraboloid-fonimeter.

Stefanini [1]) heeft een geluidseenheid aangegeven, die hij „una fonia", een phonie noemt, en stelt op 10 erg. Deze phonie is makkelijk te demonstreeren met behulp van Stefanini's geluidslinger:

Een stalen kogel van 70 gr. gewicht hangt met 2 draden aan een kleine galg en wordt door een derde draad iets uit zijn evenwichtsstand getrokken, zoodat de oppervlakte van den kogel een door den dwarsbalk getrokken verticaal-vlak tangeert.

Een tweede kleinere kogel van 6 gr. gewicht wordt op de zelfde wijze aan den dwarsbalk opgehangen. Hij kan langs een graadboog omhoog getrokken worden, en stoot, zoo hij los gelaten wordt, met meer of minder kracht tegen den grooten kogel aan. De kleine kogel springt terug, en voor er een tweede stoot plaats vindt, wordt de groote kogel aan een draad weggetrokken. De energie, waarmee het kleine kogeltje tegen den grooten aankomt, is te berekenen. Eveneens die, waarmee het terugspringt. Het verschil is de energie, die in geluid en in warmte is omgezet.

Stefanini gelooft, bij volmaakt elastische kogels (staal) de warmte te kunnen verwaarloozen.

Dan zou de akustische energie bedragen:

voor een valhoogte	van	1°51′	10 erg
	van	5°52′	100 erg
	van	18°37′	1000 erg
	van	36°45′	4000 erg
	van	89°22′	19000 erg

[1]) A. Stefanini. Il nuovo cimento Anno 66, ser. 6, vol 19. p. 5.

Neemt men nu 1 phonie voor 10 erg, dan worden die bedragen resp. 1, 10, 100, 400 en 1900 phoniën.

Een geluid ter sterkte van 1 phonie, met het apparaat van Stefanini opgewekt, kan men in de richting van de stoot tot op 21 M. hooren, loodrecht op die richting tot op 10 M.

Zwaardemaker [1]) heeft nu zijn geijkten fonimeter met behulp van Stefanini's geluidslinger gecontroleerd. Echter kon het spiegeltje niet zoo klein genomen worden, dat, onder vermijding van al te groote valhoogten en de daarbij ontstane storende luchtstroomingen, voldoende uitslagen te verkrijgen waren. Hij gebruikte daarom, inplaats van den grooten kogel een klein misklokje, dat een zeer zuiveren toon, f^3, gaf, 88 gr. zwaar was, en door zijn resonantie een langer aanhoudenden klank gaf, die wèl geregistreerd kon worden. Langs dezen weg kwam hij tot ongeveer dezelfde energie-waarden voor iedere graad uitslag van het spiegeltje, als door ijking met een orgelpijp reeds vroeger gevonden was.

Waar wij met onzen paraboloid fonimeter den tik van het kogeltje van Stefanini duidelijk konden aantoonen, was het aangewezen hiermee direct te ijken.

Ter versterking van den tik, en om een zuivere berekening mogelijk te maken, werd de groote kogel in het focus van een tweede paraboloid opgehangen van dezelfde afmetingen als die van den fonimeter (hiervoor werd onze 2e paraboloid met 8 c.M. focusafstand genomen).

De groote kogel bevond zich aan de zijde van de paraboloid, de kleine daarvan afgekeerd, zoodat de stoot in de richting van de paraboloid plaats greep.

Al het op de paraboloid aankomend geluid werd nu als evenwijdige bundel teruggekaatst en, zoo de paraboloid zich juist tegenover de fonimeterparaboloid bevond, kwam dit geluid via de laatste op het spiegeltje terecht.

Deze hoeveelheid geluid is te berekenen uit den openingshoek van de eerste paraboloid (in. c. 120°) en bedraagt in dit geval

[1]) H. Zwaardemaker u. S. Ohma. Uber Physiol. Schallmessung. Zeitschr. f. Sinnesphysiologie, Bd. 54, 1922.

$^3/_7$ van de totale door het kogeltje uitgezonden geluidsenergie. (Zie noot).

Echter, als men de beide paraboloiden niet al te ver van elkaar zet (waarbij door kleine afwijkingen in stand van de paraboloiden de fouten grooter zouden worden) wordt ook nog een deel van de geluidsenergie rechtstreeks van het kogeltje naar de 2e paraboloid gezonden. Dit is naar verhouding slechts weinig en kan gevonden worden, door de tik te laten plaatsgrijpen op den zelfden afstand, doch zonder paraboloid. De hierbij gevonden uitslag van het spiegeltje dient dan van den geheelen uitslag te worden afgetrokken om den zuiveren uitslag voor $^3i^7$ der totale energie te vinden.

Op deze wijze is voor iederen graad uitslag het overeenkomstige getal phoniën te bepalen.

Wij vonden bij onzen kleinen paraboloid fonimeter voor:

een valhoogte van	18°	een uitslag van	0,3
	36°		1,3
	90°		7,0

Hiervan de uitslag voor het direct naar de fonimeter paraboloid uitgezonden geluid af te trekken, zijnde voor:

een valhoogte van	18°	nihil
	36°	0,1
	90°	0,5

De oppervlakte van een bolsegment verhoudt zich tot die van den heelen bol, als $\frac{1-\cos \alpha}{2} : 1$, waarin α de hoek is, waaronder de straal van het bolsegment uit het middelpunt wordt gezien.

Men kan het gedeelte van de totale energie, door een geluidsbron uitgezonden, die door een paraboloid wordt opgevangen, volgens dezelfde formule berekenen. Dan wordt α de hoek, waaronder de halve middellijn van de paraboloidopening van af de geluidsbron wordt gezien.

Is deze op grooteren afstand geplaatst, dan is het gedeelte van de energie, die opgevangen wordt $\frac{a^2}{4b^2}$ of nauwkeuriger $\frac{a^2}{4b^2} + {}^1/_{16} \frac{a^4}{b^4}$ waarin a de halve middellijn van het openingsvlak, b de afstand van de geluidsbron tot de paraboloid.

Zoodat voor de via de eerste paraboloid overgebrachte geluidsgolven overblijft:

bij een valhoogte van	18°	een uitslag van	0,3
	36°		1,2
	90°		6,5

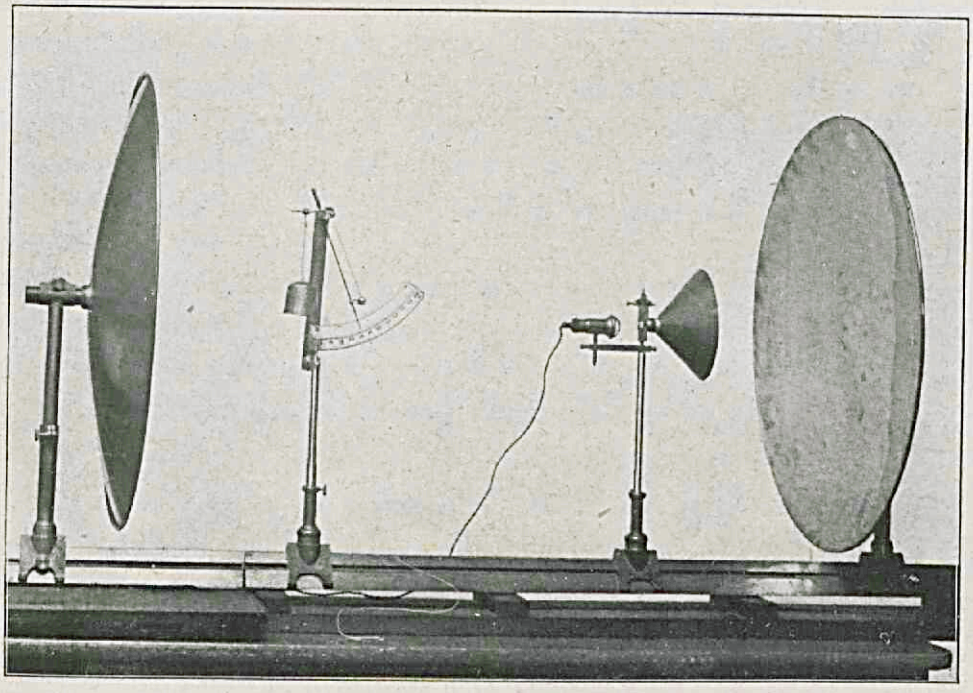
Deze waarden correspondeeren met de door Stefanini voor deze valhoogten berekende aantallen ergs vermenigvuldigd met $^3/_7$.
Dus: een uitslag van 0,3 komt overeen met 430 erg = 43 phon.
1,2 „ „ „ 1720 „ = 172 „
6,5 „ „ „ 8143 „ = 814 „
De uitslagen blijken dus wel evenredig te zijn met de toegevoerde energiën.

Nu kan men een op deze wijze geijkten fonimeter niet zonder meer gebruiken voor het meten van de intensiteit van willekeurige geluiden, daar de tik van het kogeltje slechts een onderdeel van een seconde weerklinkt, en het spiegeltje door zijn traagheid niet in staat is een dergelijken tik in zijn ontstaan en verdwijnen volkomen te volgen en weertegeven. Men krijgt dus een te kleinen uitslag, en iedere graad uitslag correspondeert met een te groot aantal phoniën. Men krijgt hier geen seconde eenheid, en dient, om bruikbare waarden te bekomen, gebruik te maken van de door Zwaardemaker en Ohma gevolgde methode van het misklokje.

Nu is dit van veel grooter afmetingen dan de kogel, en zal dus een grooter deel van het teruggekaatste geluid onderscheppen. Om deze fout zoo klein mogelijk te maken dienden de paraboloiden vergroot te worden.

Dit was bovendien gewenscht, indien men ook de tonen uit de baszone behoorlijk wilde registreeren. Wij moesten daarbij binnen practische grenzen blijven, om het toestel niet te onhandig en te zwaar te maken, en bepaalden de grootte van de paraboloiden op 56 c.M., dus 2 maal de doorsnede van de kleinere. Wil men hier aan een tophoek voor den trechter van hoogstens 90° vasthouden, dan dient de focusafstand 37,5 c.M. te bedragen. Hierbij is de openingshoek van de paraboloid 82°. Een dergelijke

FIG. 6



paraboloid kaatst alle tonen tot d^1 volmaakt terug en eerst daar beneden vermindert de sterkte van reflectie.

De grootere focus afstand maakt een direct aanbrengen van spiegelkastje en lamp aan de paraboloid onmogelijk, daar het kastje dan te veel onderhevig is aan trillingen.

Daarom werden paraboloid en fonimeter ieder afzonderlijk verplaatsbaar op standaards op een optische bank geplaatst, waardoor een zuivere centreering van beider assen mogelijk werd, en het spiegeltje op iederen willekeurigen afstand van de paraboloid gebracht kon worden. De opvangwijdte van den trechter werd empirisch bepaald. De grootste uitwerking, ook voor de lagere tonen, verkregen wij met den trechter van 82° tophoek, bij een lengte van 9 c.M. De middellijn van het opvangvlak was daarbij 14 c.M.

De invloed van de opvanggrootte van den trechter is uit de volgende tabel na te gaan:

Gemiddelde uitslag resp. voor a^3 en g.

Opvang-grootte in c.M².	2,5	25	100	110	120	130	140	150	160
a^3	2	4	4	4	4	4	4	4	3,5
g	1	2	3	4	5	6	8	8	6

Voor de hooge tonen is de invloed dus veel geringer dan voor de lagere. Voor beiden gezamentlijk ligt het optimum bij 140, om boven 150 c.M². weer te verminderen.

Men zal dus aan een opvangwijdte van 140 c.M². moeten vasthouden.

Deze grootere paraboloid gaf, op grootere afstanden (3 en 4 M.) een 2 tot 3 maal grootere versterking dan de kleinere, en met name de lage tonen werden veel beter weergegeven. Op alle luid gesproken vocalen reageerde het spiegeltje met een grooten uitslag. Alleen de „oe" klank bleef hierbij achter. Deze wordt echter ook door het menschelijk oor op veel korter afstand gehoord dan de andere vocalen.

Nu werd, eveneens op de optische bank, tegenover de fonimeter-paraboloid, een volkomen gelijke paraboloid geplaatst en in haar brandpunt het misklokje met kleinen kogel en graadboog. Het klokje bevond zich aan de kant van de paraboloid, het kogeltje aan de hier van afgekeerde zijde; het midden van het klokje juist in het focus, daar bij dezen stand van het klokje de uitslagen het grootst waren. Ik kreeg daarbij den indruk, dat het geluid van het klokje zich, in tegenstelling met dat van den kogel, naar alle richtingen gelijkmatig verspreidt. Van de door het klokje uitgezonden geluidsenergie wordt door deze paraboloid $^1/_7$e deel (nauwkeurig $^{146}/_{1000}$e) opgevangen en teruggekaatst. Neemt men dus aan, dat dit gedeelte op het spiegeltje terecht komt, dan kan men weer voor iederen graad uitslag, het overeenkomstige aantal phoniën berekenen, indien men mag veronderstellen, dat de door het misklokje uitgezonden geluidsenergie gelijkgesteld mag worden aan die van het kogeltje van Stefanini, waarvan de energie bij verschillende valhoogten berekend is.

Voor den paraboloidfonimeter van 56 c.M. kregen wij de volgende uitslagen in c.M.:

Afstand misklokje tot fonimeter-paraboloid 140 c.M.
Afstand centimeter-skala tot spiegeltje $33^1/_3$ c.M.

Valhoogte.	Uitslag zonder parab.	Uitslag met parab.	Zuivere uitslag.
5,5°	0,3	1,5	1,2
10 °	0,8	4	3,2
15 °	1,5	9	7,5
18,5°	2,5	15	12,5
20 °	3,5	18	14,5
25 °	5	26	21
36,5°	12	—	—

Volgens Stefanini correspondeert 5,5° valhoogte met 100 Ergs Hiervan komen op de paraboloid terecht $^1/_7$e deel. Voor de te-

rugkaatsingskracht van de paraboloppervlakte 95 % aannemende, dus voor de 2 paraboloiden $(^{95}/_{100})^2$, komt op het spiegeltje terecht $^1/_8$e van de totale energie = 12,5 erg.

1,2 c.M. uitslag correspondeert dus met 12,5 erg ter plaatse van het spiegeltje.

1 c.M. uitslag correspondeert dus met 10 erg of 1 phonie ter plaatse van het spiegeltje.

Berekent men dit voor een valhoogte van 18,5°, dan komt men tot hetzelfde bedrag voor 1 c.M. uitslag.

Hierbij moet men natuurlijk van de veronderstelling uitgaan, dat er, behalve bij de terugkaatsing door absorptie, geen geluidsverlies plaats vindt.

Zwaardemaker en Ohma [1]) vonden voor hun fonimeter met hetzelfde klokje:

Valhoogte.	Spiegel uitslag in graden.
5°	0,25
10°	0,5
15°	1,25
20°	1,8

Iedere graad van de skala was gelijk aan $^4/_7$ c.M. Van de totale energie kwam ½ in den opvangtrechter terecht.

Voor de totale energie zou de uitslag bij 15° valhoogte dus zijn $^4/_7 \times 2 \times 1{,}25$ c.M. = $1^3/_7$ c.M.

Bij onzen fonimeter zou dat zijn 8 × 7,5 c.M. = 60 c.M.

Naar verhouding was dus onze opstelling ± 42 maal gevoeliger dan de fonimeter van Zwaardemaker en Ohma.

Daar 1 phonie nog een uitslag geeft van 1 c.M., dus 1 erg een uitslag van 1 m.M., kan men een geluidsbron met een totaal energie van 8 erg. nog met het toestel aantoonen.

De luide stem geeft zelfs op 4 M. nog zeer behoorlijke uitslagen, indien men spreekt in de as van de fonimeter-paraboloid.

---

[1]) H. Zwaardemaker u. S. Ohma. Uber Physiol. Schallmessung, blz. 90. Zeitschr. f. Sinnesphysiologe, Bd. 54, (1922).

Ter plaatse sprekend, waar het misklokje stond opgesteld, verkreeg ik, met luide stem, op gewone wijze sprekend, uitslagen, varieerend naar gelang van de gebezigde woorden. Op het uitspreken van het woord „acht" kreeg ik uitslagen, die in grootte overeenkwamen met die, door het klokje opgewekt, bij een valhoogte van 36° (zonder versterkende paraboloid). Volgens Stefanini en Zwaardemaker komt dit overeen met 4000 ergs.

Volgens Zwaardemaker en Quix [1]) is de, door de ademhalingslucht voor de vorming van vocalen beschikbaar gestelde energie van de orde van 10^6 erg. Hiervan wordt slechts een gering deel omgezet in geluidsenergie.

Volgens Webster [2]) is de geluidsenergie, berekend uit het luchtverbruik, als hij de „efficientie" schat op 0,0095, gelijk aan 10^4 ergs. Een gelijke efficientie aannemend, zou men volgens Zwaardemaker en Quix komen tot een bedrag van 10^3 ergs.

Volgens Zwaardemaker en Minkema [3]), die de intensiteit berekenden met behulp van phonograafglyphen, was voor het vormen van de luide spraak een bedrag van 0,6 tot 2,5 $\times$ 10^6 erg beschikbaar.

Dit zou overeenkomen met 0,6 tot 2,5 $\times$ 10^3 erg voor de geluidsenergie.

De met den paraboloid-fonimeter gevonden waarden komen hiermee zeer goed overeen (voor het woord „acht" b.v. 4 $\times$ 10^3 ergs).

Op dezelfde wijze kan men ieder geluid direct met het misklokje vergelijken, of de sterkte berekenen volgens de ijking van het toestel (10 erg per c.M. uitslag) indien men het door de paraboloid opgevangen deel van de totale uitgezonden energie uitrekent, dat varieert met den afstand van geluidsbron tot paraboloid. Om op een willekeurigen (niet te kleinen) afstand van de

---

[1]) H. Zwaardemaker und F. H. Quix. Archiv f. Anatomie und Physiologie, Physiol. Abteilung. Supplement 241, 1904.

[2]) Boltzmann's Festschrift, S 372.

[3]) H. Zwaardemaker und H. F. Minkema. Archiv f. Anatomie und Physiol. 1906, Physiol Abt. p. 433.

paraboloid het gedeelte van de, door een geluidsbron uitgezonden energie te bepalen, die door de paraboloid van 56 c.M. middellijn wordt opgevangen, kan men deze beschouwen als een bolsector van 56 c.M. middellijn, waarvan de oppervlakte zich verhoudt tot die van den geheelen bol als $\frac{200}{\kappa^2}$, waarin κ de afstand is van geluidsbron tot paraboloid, uitgedrukt in c.M.

Voor 2 M. afstand b.v. is de verhouding dan $\frac{200}{40000} = {}^1/_{200}$.

Wil men rekening houden met het geluid, dat door den trechter wordt onderschept, dan dient men de verhouding van de oppervlakten van trechteropening en paraboloidopening te kennen. Deze was voor onze opstelling $(\frac{14}{56})^2 = {}^1/_{16}$.

Tevens dient de coefficient voor de terugkaatsing van de paraboloid in rekening gebracht, n.l. 0,95.

De hoeveelheid energie, die door de paraboloid naar het spiegeltje wordt teruggekaatst, is dus: ${}^{95}/_{100} \times {}^{15}/_{16} \times \frac{200}{\kappa^2} \times$ totale energie.

Gaat men de uitslagen na bij luide spraak op verschillende afstanden, dan blijkt, dat vanaf 2 M. van de paraboloid de afstandswet geldt. Op 4 M. afstand is de uitslag 4 $\times$ zoo klein als op 2 M., enz. Binnen 2 M. afstand worden de verhoudingen anders, doordat de divergentie der geluidsgolven invloed begint uit te oefenen.

Tenslotte kan men zelfs de fluisterstem met het toestel aantoonen. Daar de uitslagen hierbij uit den aard der zaak gering zijn, is het gewenscht, de skala op grooter afstand, 2 M., te plaatsen, wat mogelijk is doordien het spiegeltje in dit toestel een zeer rustigen nulstand bezit.

Op deze wijze krijgt men, zoo men fluistert met de reservelucht, de volgende uitslagen:

Skalaäfstand 2 M.
Fluisterend met reservelucht gesproken woorden:

	„Tien"	*„Zes"*	*„Acht"*	*„Honderd" en „Moeder"*
op 1 M.	0,9 c.M.	0,6	0,7	0,4 à 0,5
2 M.	0,6 „	0,4	0,4	0,2 à 0,3
3 M.	0,3 „	0,2	0,2	0,1 à 0,2
4 M.	0,1 *a* 0,2 „	0,1	0,1	∠0,1

Ook hier is dus de afstandswet bevestigd voor afstanden van meer dan 2 M., en blijkt deze ook in gesloten vertrekken te gelden, als een paraboloid gebruikt wordt. Men kan op deze wijze dus een objectieve bepaling van de gehoorscherpte verrichten bij dooven op een afstand van 2—4 M. Daartoe is het slechts noodig den onderzochte naast de paraboloid te plaatsen, met het oor ter hoogte van het middelpunt, en gericht naar den onderzoeker.

Voor dien afstand, waarop het gesprokene verstaan wordt, is direct afleesbaar de intensiteit, waarmee het geluid ter plaatse van het oor aankomt. Deze is n.l. de op het spiegeltje geconcentreerde energie, (bepaald uit den uitslag van het spiegeltje) in ergs, gedeeld door het aantal c.M². oppervlak van de paraboloid i. c. 2500 c.c. (Zie noot).

Het oppervlak van den paraboloïd, die $y^2 = 2px$ tot meridiaan heeft, is

$$O = \int_0^x 2\pi \sqrt{y^2 + p^2}.\, dx$$

dus

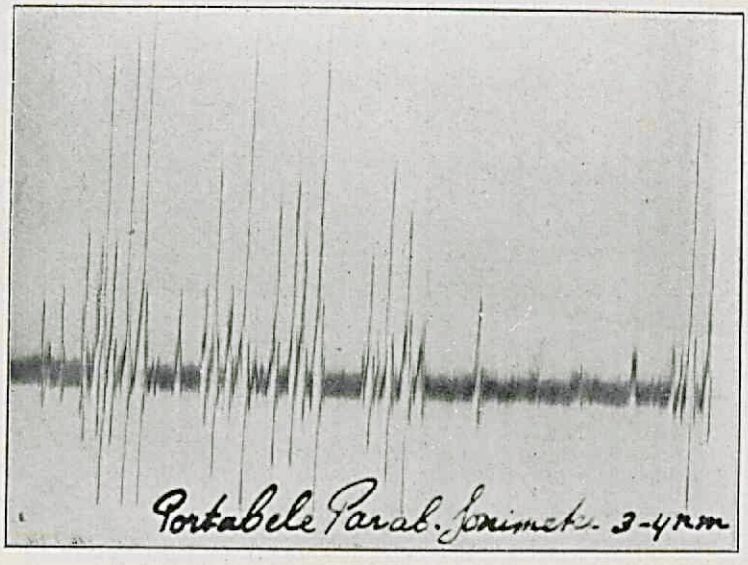
$$O = 2\pi \sqrt{2p} \int_0^x \sqrt{x + \tfrac{1}{2}p}.\, dx = 2\pi \sqrt{2p}. \left[\frac{2}{3} (x + \frac{1}{2}p). \frac{\frac{3}{2}}{} \right]_0^x$$

$$O = \frac{4}{3} \pi \sqrt{2p} \left\{ (x + \frac{1}{2}p)^{\frac{3}{2}} - (\frac{1}{2}p)^{\frac{3}{2}} \right\}$$

Voor y = 28 c.M. en ½p = 37.5 c.M. is

$$O = 2538 \text{ c.M}^2.$$

Curve 9



Ook voor de registratie van het straatrumoer is deze paraboloid fonimeter uitermate geschikt. Bijgaande curve voor het middaguur van 3 tot 4 moge dit bevestigen. (Zie curve 9).

Nu is het ook mogelijk de gemiddelde absolute sterkte van het straatrumoer voor de verschillende uren van den dag te berekenen.

De gemiddelde afstand van de geluidbronnen op straat tot de paraboloid bedroeg 7½ M. Het door de paraboloid opgevangen deel van het geluid bedraagt dus $\frac{200}{750^2} = {}^1/_{2800}$e van de totale energie.

Het gemiddeld aantal ergs uit de curven berekend, dient derhalve met 2800 vermenigvuldigd te worden, om de gemiddelde energie van het straatrumoer te vinden.

De gemiddelde uitslagen bedragen ter plaatse van het Physiolog. Laboratorium (berekend uit het planimetrisch gevonden oppervlak en de lengte der curven) voor de uren:

12—1	voormiddag	${}^1/_{200}$	c.M.	correspondeerend	met	${}^1/_{20}$	erg.
5—6	,,	${}^1/_{33}$	,,	,,	,,	${}^{10}/_{33}$	,,
8—9	,,	${}^1/_{3}$	,,	,,	,,	$3\,{}^1/_{3}$	,,
12—1	namiddag	${}^1/_{2}$	,,	,,	,,	5	,,
4—5	,,	${}^{11}/_{30}$	,,	,,	,,	${}^{32}/_{3}$	,,
7—8	,,	${}^1/_{24}$	,,	,,	,,	${}^5/_{12}$	,,
10—11	,,	${}^1/_{100}$	,,	,,	,,	${}^1/_{10}$	,,

Voor de totale energie krijgt men dus voor:

12—1	voormiddag	140 erg	=	14	phoniën.
5—6	,,	850 ,,	=	85	,,
8—9	,,	9333 ,,	=	933	,,
12—1	namiddag	14000 ,,	=	1400	,,
4—5	,,	10260 ,,	=	1026	,,
7—8	,,	1166 ,,	=	116	,,
10—11	,,	280 ,,	=	28	,,

CONCLUSIES.

I.

De acustische eigenschappen van het straatrumoer zijn nog weinig of niet onderzocht.

II.

Een onderzoek van het straatrumoer kan zoowel met het oor als met instrumenten geschieden, en zoowel de qualiteit als de quantiteit betreffen.

III.

Het menschelijk oor is niet gevoelig genoeg voor intensiteitsverschillen van geluiden in het algemeen, van geruischen in het bijzonder, om de intensiteits-verhoudingen van het straatrumoer te onderzoeken.

IV.

Met het oor kan men in het straatrumoer naast de sterkere geluiden een voortdurend, vrij gelijkmatig zacht, ,,gezoem'' hooren, dat op verschillende plaatsen varieert in toonshoogte, en waarschijnlijk een uitdrukking is van de resonancewerking van de straat. Vermoedelijk staat het in verband met de z.g. reflectietoon.

V.

Met resonatoren onderzocht, kunnen in het straatrumoer twee duidelijk afgescheiden versterkingszones gevonden worden,

waarvan de hooge ligt in dàt deel van de toonladder, dat overeenkomt met de spraakzone en een uiting is van de, in het straatrumoer weerklinkende, menschelijke stemmen.

De lagere zone komt overeen met de, door zwaardere voertuigen geproduceerde, geluiden.

VI.

Voor het onderzoek van het straatrumoer kan men ook schelpen bezigen, die echte geruischresonatoren zijn, doch wier eigenschappen nog niet voldoende bekend zijn.

VII.

Voor de registratie van het straatrumoer kan men met succes gebruik maken van den modernen audionversterker, geplaatst in een microfoon-telefoon keten, om het geluid versterkt over te brengen naar een registreertoestel.

VIII.

Voor registratie van het straatrumoer in toto verdient de fonimeter van Zwaardemaker de voorkeur daar hij zonder eenige verandering geschikt is voor het gelijktijdig opvangen van tonen van verschillende golflengte.

IX.

Voor de registratie van afzonderlijke tonen uit het straatrumoer is de snaargalvanometer te verkiezen boven den paraboloidfonimeter.

X.

De microfoon-telefoon-fonimetermethode zal pas volkomen betrouwbare resultaten geven, als het lukt microfonen en telefonen zonder eigen resonantie te vervaardigen.

XI.

De paraboloid is als geluidsversterker voor *alle* tonen slechts dan absoluut betrouwbaar, als hij zeer groote afmetingen heeft. Voor tonen boven C_{64} is een paraboloid van 2 M. middellijn voldoende. Voor die van C_{32} naar boven, wordt een paraboloid van 5 M. middellijn vereischt.

XII.

In verbinding met een gewijzigden fonimeter van Zwaardemaker, van zéér kleine afmetingen en zonder kunstmatigen gehoorgang is een paraboloid met 58 c.M. middellijn uitermate geschikt voor registratie van de geluiden der spraak. De gevoeligheid overtreft die van den gewonen fonimeter van Zwaardemaker vele malen, terwijl het toestel makkelijk verplaatsbaar is.

XIII.

Een ijking van den paraboloid-fonimeter kan geschieden met behulp van Stefanini's geluidslinger.

Voor het verkrijgen van absolute waarden bij gedragen geluiden is een ijking volgens Zwaardemaker's methode met een klokje van bekende energie noodzakelijk.

XIV.

De paraboloidfonimeter leent zich goed voor de objectieve bepaling van de gehoorscherpte bij dooven met behulp van de fluisterstem op afstanden van 2—4 M.

XV.

De waarde voor de energie van de luide menschelijke stem, verkregen door meting met den paraboloidfonimeter komt goed overeen met de door schatting der „efficientie" vroeger verkregene.

APPENDIX

Mathematische beschouwing over de terugkaatsing door een parabolischen spiegel, door

C. KREDIET,

Oud-leeraar in de wis- en natuurkunde

Zij de vergelijking van de omwentelingsparaboloid

$$y_0^2 + z_0^2 = 2p\ (x_0 + \tfrac{1}{2}p).....(1)$$

Een golffront, veroorzaakt door een geluidsbron op de x-as en zeer ver weg, kan door het vlak $x-a = o$ worden voorgesteld. Is dit golffront tegen de paraboloid teruggekaatst, dan kunnen wij het nieuwe golffront bepalen als de omhullende van bollen, die de punten v. h. oppervlak (1) tot middelpunt hebben en waarvan de straal door x_0-a wordt aangegeven. Deze bollen zijn:

$$(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2 = (x_0 - a)^2$$

d.i.

$$x^2+y^2+z^2 - 2x_0(x - p - a) - 2yy_0 - 2zz_0+p^2 - a^2=0....(2)$$

Beschouw nu x_0 als functie van y_0 en z_0 dan leveren (1) en (2)

$$\frac{\gamma x_0}{\gamma y_0} = \frac{y_0}{p} \quad \frac{\gamma x_0}{\gamma y_0}(x - p - a) + y = 0 \quad \text{d.i. } y_0 = -\frac{py}{x - p - a}$$

$$\frac{\gamma z_0}{\gamma z_0} = \frac{z_0}{p} \quad \frac{\gamma x_0}{\gamma z_0}(x - p - a) + z = 0 \quad \text{d.i. } z_0 = -\frac{pz}{x - p - a}$$

en dus is

$$\frac{p^2(y^2+z^2)}{(x - p - a)^2} = 2p(x_0+\tfrac{1}{2}p),$$

dus

$$x_0 = \frac{p(y^2 + z^2)}{2(a - p - a)^2} - \tfrac{1}{2}p.$$

Overgebracht in (2) vinden we:

$$x^2+y^2+z^2 - \frac{p(y^2 + z^2)}{x - p - a} + \frac{2p(y^2+z^2)}{x - p - a} - p(x - p - a) + p^2 - a^2 = 0$$

en dit is

$$(x - a)(x^2 + y^2 + z^2 - (p + a)^2) = 0$$

De bollen worden dus binnen de paraboloid omhuld door het oppervlak:

$$x^2 + y^2 + z^2 = (p + a)^2 \ldots\ldots\ldots (3)$$

d.i.

de teruggekaatste golffronten zijn bollen met het brandpunt als middelpunt.

Wanneer geen uitwendige krachten aanwezig zijn, zijn de aërodynamische vergelijkingen:

$$\left.\begin{aligned} \frac{1}{d}\frac{\partial p}{\partial x} + \dot{u} &= 0 \\ \frac{1}{d}\frac{\partial p}{\partial y} + \dot{v} &= 0 \\ \frac{1}{d}\frac{\partial p}{\partial z} + \dot{w} &= 0 \\ \frac{\dot{d}}{d} + \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} &= 0 \end{aligned}\right\} \ldots (4)$$

waarbij d de dichtheid, p de druk, en u,v,w de ontbondenen van de snelheid der molecule in het punt (x, y, z).

Wij stellen: $d = d_0(1+\alpha)$
dan is: $p = p_0(1+\alpha)^k$

omdat wij de wetten van Poisson moeten gebruiken.

Wij nemen verder: $p_0 = a^2 d_0$,

en α zóó klein, dat de tweede en hoogere machten te verwaarloozen zijn. Dan is

$$p = p_0(1 + k\alpha).$$

De vergelijkingen (4) worden nu

$$\frac{1}{d_0} k p_0 \frac{\partial d}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial t} = 0$$

of

$$a^2k\frac{\partial \alpha}{\partial x}+\frac{\partial u}{\partial t}=0$$

$$a^2k\frac{\partial \alpha}{\partial y}+\frac{\partial v}{\partial t}=0$$

$$a^2k\frac{\partial d}{\partial z}+\frac{\partial w}{\partial t}=0$$

$$\dot{\alpha}+\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}+\frac{\partial w}{\partial t}=0$$

Hieruit leiden wij onmiddellijk af:

$$a^2k\ \triangle^2\alpha=\frac{\partial^2\alpha}{\partial t^2}\ \ldots\ldots\ldots(5)$$

Wij stellen nu voorop dat α van den vorm is

$$\alpha=A\sin 2\pi\frac{t}{T}+B\cos 2\pi\frac{t}{T}\ \ldots\ldots(6)$$

waarin T de trillingstijd, terwijl A en B functies van x, y en z zijn.

Hieruit volgt:

$$\frac{\partial^2\alpha}{\partial^2 t}=-\frac{4\pi^2}{T^2}\alpha$$

zoodat (5) overgaat in

$$\triangle^2\alpha+\frac{4\pi^2}{a^2k\,T^2}\alpha=0\ldots\ldots(7)$$

Wij zullen nu $y=r\sin\phi$ en $z=r\cos\phi$ invoeren en aannemen dat α onafhankelijk is van ϕ. Dan verandert (7) in

$$\frac{\partial^2\alpha}{\partial x^2}+\frac{\partial^2\alpha}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial\alpha}{\partial r}+\frac{4\pi^2}{a^2k\,T^2}\alpha=0$$

In verband met de uitkomst door (3) aangegeven stel ik nu

$$x=\rho\cos\theta\quad r=\rho\sin\theta$$

dan wordt de verg.

$$\text{d-i}\ \frac{\partial^2\alpha}{\partial\rho^2} + \frac{2}{\rho}\frac{\partial\alpha}{\partial\rho} + \frac{1}{\rho^2}\left(\frac{\partial^2\alpha}{\partial\theta^2} + \frac{\partial\alpha}{\partial\theta}\cot\theta\right) + \frac{4\pi^2}{a^2kT^2}\alpha = 0$$

Nemen wij

$$\rho\alpha = \beta \ldots\ldots\ldots (8)$$

dan wordt: $$\rho\frac{\partial^2\alpha}{\partial\rho^2} + 2\frac{\partial\alpha}{\partial\rho} = \frac{\partial^2\beta}{\partial\rho^2}$$

en dus vinden we:

$$\frac{\partial^2\beta}{\partial\rho^2} + \frac{1}{\rho}\left(\frac{\partial^2\beta}{\partial\theta^2} + \frac{\partial\beta}{\partial\theta}\cot\theta\right) + \frac{4\pi^2}{\alpha^2kT^2}\beta = 0 \ldots\ldots (9)$$

Indien nu

$$\frac{\partial^2\beta}{\partial\theta^2} + \frac{\partial\beta}{\partial\theta}\cot\theta = 0$$

Zoo wordt $$\frac{\partial\beta}{\partial\theta}\sin\theta = f(\rho)$$

en dus $$\beta = f(\rho)\ \text{nep. log tg}\ \tfrac{1}{2}\theta$$

Nu is $\sqrt{a^2k}$ de geluidssnelheid volgens Laplace en dus is $a^2k\,T^2 = \lambda^2$, als λ = de golflengte.

(9) geeft nu:

$$\beta = \left(A_1 \sin\frac{2\pi\rho}{\lambda} + B_1\cos\frac{2\pi\rho}{\lambda}\right)\text{nep. log tg}\ \tfrac{1}{2}\theta$$

en daar $\beta = \rho\alpha$

is $$\alpha = {}^1/\rho\left(A, \frac{\sin 2\pi\rho}{\lambda} + B, \cos\frac{2\pi\rho}{\lambda}\right)\text{nep. log tg}\ \tfrac{1}{2}\theta.$$

STELLINGEN.

I.

Het niet voorkomen van ozaena in Ned. O. Indië is niet uitsluitend het gevolg van rasimmuniteit, doch ook van klimaatsinvloeden, met name van het hooge vochtgehalte van de warme tropenlucht.

II.

Bij de nabehandeling van de radicaaloperatie van het middenoor is het gebruik van ambrine aan te bevelen, als een overgang tusschen de gesloten en de open wondbehandeling.

III.

Het lichtelectrisch effect van bladeren heeft zijn grond waarschijnlijk in het overdekt zijn der bladeren met aetherische oliën, die in het licht colloïdalen vorm aannemen.

IV.

Verbetering der acoustiek in de Domkerk te Utrecht is slechts mogelijk door het aanbrengen van een groote paraboloid achter de standplaats van den spreker.

V.

Het weinig of niet voorkomen van chirurgische tuberculose, scrofulose en lupus onder de inlandsche bevolking van Ned. O. Indië is een gevolg van haar gering specifiek weerstandsvermogen tegen den tuberkelbacil.

VI.

Bij de chemotherapie van de convexiteitsmeningitis is in het beginstadium der ziekte de endolumbale weg te verkiezen boven den intraveneuzen.

VII.

De eisch van Elschnig, voor iedere operatie, waarbij de bulbus oculi geopend wordt, een volledig bacteriologisch onderzoek van de flora uit de conjunctivaalzak te verrichten, is overdreven.

VIII.

Asthenopische en op migraine lijkende verschijnselen kunnen veroorzaakt worden door langdurige inwerking van weinig intensieve ultraviolette stralen op het oog.

IX.

Het gynaecologisch onderzoek per vaginam dient achtereenvolgens èn met de linker-èn met de rechterhand te geschieden.

X.

Voor een juiste behandeling van zeer uiteenloopende vormen van huidaandoeningen is de controle van het bloedsuikergehalte gewenscht.

XI.

Naast de nieuw op te richten medische faculteit te Weltevreden bestaat in Indië behoefte aan uitbreiding van het aantal medische scholen van het Nias- of Stoviatype.

XII.

Carcinoom is geen infectieziekte.