

BEPALING VAN DE
TELEFOON-KARAKTERISTIEK
AAN HET OOR ZELF

H. B. JONKHOFF

BEPALING VAN DE TELEFOON-KARAKTERISTIEK
AAN HET OOR ZELF

BEPALING VAN DE TELEFOON-KARAKTERISTIEK AAN HET OOR ZELF

ACADEMISCH PROEFSCHRIFT

TER VERKRIJGING VAN DE GRAAD VAN DOCTOR
IN DE GENEESKUNDE AAN DE UNIVERSITEIT
VAN AMSTERDAM, OP GEZAG VAN DE RECTOR
MAGNIFICUS Dr M. W. WOERDEMAN, HOOGLERAAR
IN DE FACULTEIT DER GENEESKUNDE, IN HET
OPENBAAR TE VERDEDIGEN IN DE AULA DER
UNIVERSITEIT OP DONDERDAG 2 FEBRUARI 1956
DES NAMIDDAGS TE 4 UUR

DOOR

HAIKO BEREND JONKHOFF

GEBOREN TE GRONINGEN

1956

DRUKKERIJ HOLLAND N.V. — AMSTERDAM

Promotor: PROF. DR L. B. W. JONGKEES

Uit het physisch laboratorium van de Keel-, Neus- en Oorheelkundige kliniek der Universiteit van Amsterdam

Aan mijn ouders

Aan mijn vrouw

INHOUD

Voorwoord.

HOOFDSTUK I	Inleiding	1
HOOFDSTUK II	Versterking	3
HOOFDSTUK III	Frequentie-karakteristiek	6
HOOFDSTUK IV	Technische meetmethoden	14
HOOFDSTUK V	Eigen onderzoekingen	17
	a. theoretische beschouwing over de te volgen werkwijze;	
	b. proefopstelling;	
	c. praktische werkwijze.	
HOOFDSTUK VI	Proefnemingen	26
HOOFDSTUK VII	Conclusies	45
HOOFDSTUK VIII	Samenvatting	47
SUMMARY		52
RESUME		57
LITERATUUROVERZICHT		61

VOORWOORD

Als vanzelf gaan bij het doen van de laatste stap op de universitaire ladder mijn gedachten terug naar allen, die behulpzaam zijn geweest bij het bereiken van deze mijlpaal.

In de eerste plaats denk ik aan mijn ouders, die steeds vol medeleven mijn studie hebben gestimuleerd en mogelijk gemaakt; speciaal mijn Vader heeft op de hem eigen wijze medegewerkt aan mijn wetenschappelijke vorming en mij de liefde voor de Keel-, Neus- en Oorheelkunde bijgebracht.

Gaarne maak ik van deze gelegenheid gebruik om de gevoelens van dankbaarheid aan U, hoogleraren en docenten van de Groningse Universiteit in woorden om te zetten. Dank zij U was het mij mogelijk de medische studie te volbrengen.

Hooggeleerde JONGKEES, hooggeachte promotor, het is mij een voorrecht, dat ik mij in Uw kliniek tot keel-neus-oorarts mag vormen. Uw grote steun en opbeurende woorden in moeilijke fasen van het hier beschreven onderzoek deden mij weer met nieuwe moed aan de slag gaan. De prettige stemming, die gij in de kliniek weet te scheppen en de charmante wijze, waarop gij de patiënten weet te benaderen en gerust te stellen, zullen mij steeds als moeilijk bereikbaar ideaal voor ogen staan.

Geleerde STRUBEN, dank zij Uw hulp kan ik mij in de Keel-, Neus- en Oorheelkunde bekwamen. De collegiale en efficiënte wijze, waarop gij steeds op mogelijke en onmogelijke uren klaar staat, wekt altijd weer mijn bewondering op.

Zeër geleerde KLIJN, dank zij Uw technische kennis en daadwerkelijke hulp bij het technisch gedeelte kon dit proefschrift tot stand komen. Hiervoor ben ik U zeer erkentelijk.

Ook de collegae assistenten dank ik hartelijk voor de prettige, zeer collegiale wijze, waarop zij mij steeds behulpzaam waren. Met volle medewerking hebben ze vaak als proefpersoon hun deel bijgedragen tot de tot standkoming van dit proefschrift.

Hooggeachte Mej. DE HULLU, Uw praktische adviezen en hulp bij het

literatuur-onderzoek hebben mijn werk zeer verlicht. Hiervoor ben ik U zeer dankbaar.

Zeergeachte Heer KLOMPENHOUWER, door het maken van apparatuur en door het fotograferen der grafieken hebt U mij op zeer prettige wijze geholpen. Hiervoor ben ik U zeer erkentelijk.

Tenslotte gaat mijn oprechte dank uit naar allen, die mij op welke wijze dan ook behulpzaam waren bij het tot stand komen van dit proefschrift.

HOOFDSTUK I

INLEIDING

Het streven om slechthorenden een zo goed mogelijk hoorapparaat te verschaffen houdt nog steeds vele onderzoekers bezig. Zeer veel is er reeds bereikt door de snelle ontwikkeling van de moderne hoorapparaten, die steeds efficiënter zijn geworden, door verbetering van de fysische eigenschappen, door het handige formaat en niet in het minst doordat ze voor practisch elke beurs bereikbaar zijn geworden.

Met deze technische ontwikkeling hebben ook de onderzoeksmethoden een belangrijke uitbreiding ondergaan. Nadat door overschakeling van de stemvorken op de audiometer een veel exactere bepaling van het gehoorverlies mogelijk geworden was, kwam in vrij snelle opeenvolging de uitbreiding der onderzoeksmethoden. Om een greep te doen uit al de huidige methoden noem ik naast de bepaling van de drempelwaarde: het meten van de aangename luidheidslijn, de bepaling van de pijn-grens, de verschillende methoden om recruitment te meten en tenslotte het uitgebreide gebied der spraakaudiometrie, al of niet in het vrije veld. Bij al deze onderzoeksmethoden wordt naar een zo goed mogelijke standaardisatie gestreefd. De audiometers, versterkers, luidsprekers, microfoons en telefoons moeten behoorlijk worden getest en voor het spraakonderzoek geven speciaal phonetisch uitgebalanceerde reeksen woorden, op recorders opgenomen, een redelijke reproduceerbaarheid.

Ondanks al deze verbeteringen van de hoorapparaten en de uitbreiding van de onderzoeksmethoden blijkt, dat de patient vaak niet dadelijk instemt met de keus van het apparaat, dat op grond van een voorafgaand gehooronderzoek was uitgezocht. Voor het grootste deel berust dit verschil in waardering op het feit, dat de slechthorende het sterke geluid en de spectrale samenstelling van het geluid ontwend is; met hoortraining kan deze ontwenning in de meeste gevallen vrij snel overwonnen worden en krijgt men goede resultaten met het uitgezochte hoorapparaat. Maar zelfs dan blijft de waargenomen controverse tussen de subjectieve keuze van de patient en de zg. objectieve keuze door de onderzoeker voortbestaan. Het blijft dan ook de vraag of de gegevens,

waarop men als onderzoeker zijn keuze baseert, inderdaad ook voor het menselijk oor juist zijn.

In het bijzonder geldt dit voor de technische gegevens van het hoorapparaat. Deze worden als regel met een nauwkeurig gestandaardiseerde ijkapparatuur vastgesteld, waarbij weliswaar gestreefd is naar nabootsing van het oor, maar waarbij toch geen gebruik gemaakt wordt van het menselijk oor. Bij het aanpassen van een apparaat worden de technische gegevens, aan dit ijkapparaat ontleend, als juist aanvaard en men baseert hierop ook zijn keuze bij het voorschrijven van de hoorprothesen.

Het onderzoek in dit proefschrift beschreven heeft ten doel na te gaan of één van de technische gegevens nl. de frequentie-karakteristiek van het hoorapparaat gemeten aan een zg. kunstoor voor het menselijk oor zonder meer juist en geldig is. De directe aanleiding tot dit onderzoek was de waarneming, dat vele slechthorenden bij het aanpassen van een hoorapparaat meer last hadden van de hoge tonen dan op grond van de frequentie-karakteristiek van het toestel aannemelijk was. We hebben daarom de frequentie-karakteristiek van een hoorapparaat bepaald met behulp van het menselijk oor zelf en de hierbij gevonden waarden vergeleken met de uitkomsten verkregen met behulp van de gebruikelijke technische metingen.

HOOFDSTUK II

VERSTERKING

Het is een bekend feit, dat een slechte gehoorscherptheit een kwaal is, waardoor vele mensen vooral op latere leeftijd getroffen worden. Het spreekt dan ook vanzelf, dat men door de jaren heen getracht heeft zulk een slechte gehoorscherptheit te verbeteren. Deze kan alleen ontstaan, als het geluid, dat de cochlea bereikt op een of andere wijze versterkt wordt. Van oudsher kent men reeds een dergelijk hulpmiddel en wel de hand achter de oorschelp leggen. Men bereikt hierdoor een kunstmatige vergroting van de oorschelp, waardoor meer geluid wordt opgevangen. Bovendien is het een vriendelijke uitnodiging aan de spreker om wat harder te spreken, zodat tegelijkertijd een sterkere geluidsbron en een groter opvangapparaat wordt gevormd.

Wanneer een dergelijke, eenvoudig toe te passen handgreep niet meer voldoende is voor een gemakkelijk contact met de medemens, moet naar andere hulpmiddelen worden omgezien. Deze hulpmiddelen zijn doorgaans apparaten, die op een of andere wijze het op te vangen geluid versterken en die pas gebruikt worden als de kwaal, die de slechthorendheid veroorzaakt niet op een andere wijze te genezen is. Vroeger gebruikte men hiervoor luisterhoorns en luisterslangen, die tot taak hadden de energie van de menselijke stem met zo weinig mogelijk verlies naar het oor van de luisteraar te voeren.

Terwijl al deze apparaten hun effect ontleen aan een zo efficiënt mogelijk gebruik van de bestaande energie, berusten de later geconstrueerde toestellen op een geheel ander principe, n.l. op versterking met behulp van elektrische energiebronnen. Hiermee is het mogelijk de geluidsenergie onafhankelijk van de oorspronkelijke geluidsbron naar behoefte te versterken. Dit geldt zowel voor de oude toestellen met koolstofvulling als voor de moderne toestellen met elektronenbuizen of transistors.

Speciaal de moderne toestellen kunnen het geluid zoveel versterken, dat ook zwaar hardhorenden weer in meer of mindere mate van hun gehoor een nuttig gebruik kunnen maken. Doordat met deze apparaten

de energie steeds tot voldoende sterkte is op te voeren, is de aangeboden geluidsterkte niet de belangrijkste factor meer, doch gaan ook andere factoren een rol spelen bij de bepaling van de optimale verstaanbaarheid.

De factoren die zich hierbij doen gelden zijn:

1. het frequentie-bereik van de versterking. De versterking moet over het gehele frequentie-bereik, dat van belang is voor het verstaan van de spraak, voldoende zijn. Dit wordt nagegaan door het maken van een grafiek waarin versterking en frequentie tegen elkaar worden uitgezet: de zg. *frequentie-karakteristiek*.
2. De maximum energie, die het toestel kan leveren.
3. Vervorming van het geluid.
4. Vermindering van de versterking in bepaalde delen van het geluidsspectrum. Zo is het in bepaalde gevallen wenselijk, hoge tonen niet te versterken, daar ze de verstaanbaarheid ongunstig beïnvloeden.

Naast deze factoren is er nog een belangrijk punt, dat de aandacht verdient, nl. de standaardisatie van de verschillende toestellen en de hiervoor gebruikte ijkmethoden, waardoor bovenstaande factoren betrouwbaar bepaald kunnen worden.

Het blijkt nu, dat technisch gesproken een hoorapparaat een in zijn eigenschappen volkomen bekend toestel is. Er worden dan ook steeds meer grafieken door de fabrikanten bijgeleverd, waarin bovengenoemde eigenschappen bekend gemaakt worden. De vraag, die wij ons nu willen stellen, is of al deze technische gemeten grootheden zonder meer overgebracht kunnen worden op het toestel, zoals dat gedragen wordt op het menselijk oor. Is het voor de technicus van groot belang, dat zijn metingen gestandaardiseerd zijn en elders ook gemakkelijk kunnen worden geproduceerd, voor de medicus is het 't belangrijkste, dat deze metingen ook inderdaad kloppen met de werkelijkheid, dus met de omstandigheden bij de patiënt.

Het probleem, dat in dit proefschrift gesteld wordt, is dan ook: Komt de frequentie-karakteristiek van een hoorapparaat, zoals deze technisch gemeten wordt, overeen met de frequentie-karakteristiek gemeten aan het oor zelf, wanneer dit oor is voorzien van het hoorapparaat.

In deze probleemstelling heb ik mij opzettelijk beperkt tot de eerste der hierboven genoemde factoren nl. de frequentie-karakteristiek. Want

van al de gegevens, die over een hoorapparaat worden verstrekt, is dit de grootheid, die het scherpst is vastgesteld.

Bij de fabricatie wordt voortdurende contrôle uitgeoefend en de fabrikant tolereert bij een willekeurig apparaat maar enkele decibels afwijking van de opgegeven frequentie-curve. Is het verschil te groot, dan wordt het toestel in deze vorm afgekeurd. Er is dan ook grote waarde gehecht en streng de hand gehouden aan de eis, dat het toestel steeds dezelfde karakteristiek vertoont, ook al wordt deze met verschillende ijkapparatuur en door verschillende onderzoekers gecontroleerd. (F. J. MEISTER; National Bureau of Standard (Am); Nat. physic. laborat. (Eng).)

Is het juist te verwachten, dat het menselijk oor inderdaad een dergelijke streng vastgestelde frequentie-karakteristiek krijgt aangeboden? Voordat ik hier verder op in ga, is eerst een nadere toelichting noodzakelijk van de frequentie-karakteristiek en de wijze waarop deze technisch gemeten wordt.

HOOFDSTUK III

FREQUENTIE-KARAKTERISTIEK

Onder frequentie-karakteristiek verstaat men de versterking van het toestel als functie van de toonhoogte. Dit wordt uitgezet in een grafiek op enkel logaritmisch papier, waarbij de frequentie in Hertz wordt aangegeven en de versterking in decibels, uitgaande van een energieniveau van $0,0002 \text{ dyne/cm}^2$.

Uit een dergelijke grafiek kan men aflezen, welke toonhoogten door het apparaat het meest versterkt worden en welke in mindere mate doorgegeven worden. Het versterkingspatroon van het toestel is dus op deze wijze geheel vastgelegd.

Wanneer we een dergelijk curve bekijken (zie fig. 1), dan blijkt,

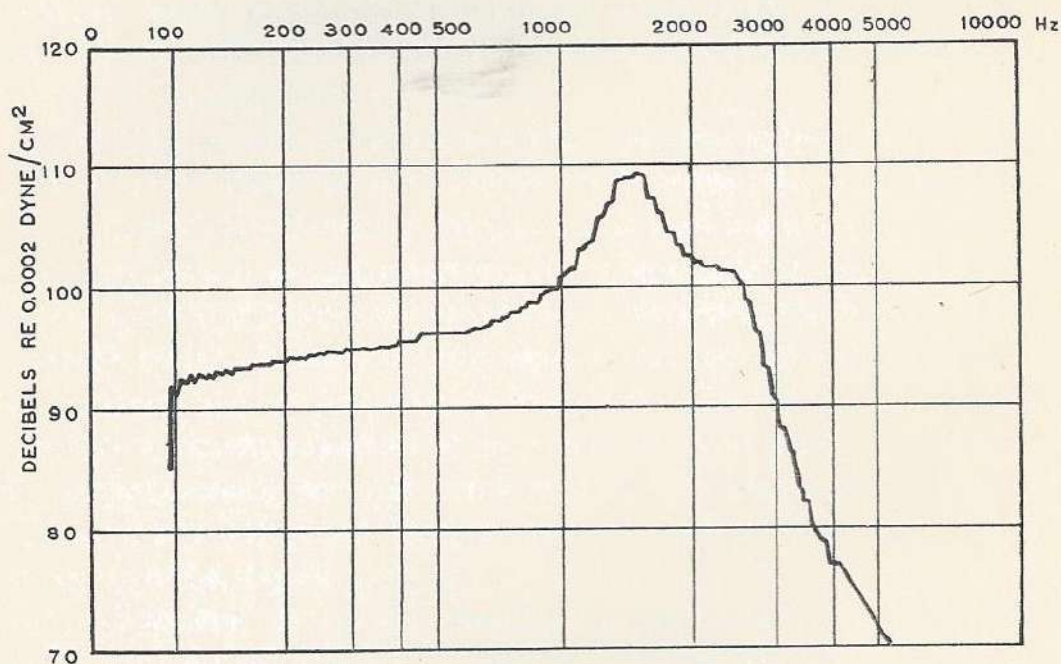


Fig. 1

Frequentie-karakteristiek van een hoorapparaten-telefoontje, zoals dit op technische wijze als routine methode wordt bepaald. De hier afgebeelde curve is afkomstig van een magnetische telefoon, merk Audium, type A. Deze telefoon werd bij al onze proefnemingen aan het oor zelf gebruikt. Er werd gemeten bij 500 m Volt op rooster-eindbuis.

dat hier de versterking in het middengebied het grootst is, terwijl het hoge en het lage tonengebied minder versterkt worden. In het hoge gebied loopt de curve vrij steil naar beneden en bij 5000 Hz is het met de versterking zo goed als afgelopen. Boven deze waarde versterkt het toestel dus niet meer; wij hebben wat betreft de toonhoogte de bovengrens bereikt. Elk type gehoorapparaat heeft zijn eigen karakteristiek, die bij de één wat verder doorloopt dan bij de ander en die bij de één vlakker verloopt dan bij de ander, maar één ding hebben ze alle gemeen, nl. dat ze de meeste versterking geven in het midden gebied, dus tussen de 500 en 2000 Hz.

Tot nu toe is het hoorapparaat als één geheel beschouwd; we hebben derhalve gesproken over de karakteristiek van het gehele toestel. Bij de routinemetingen van de karakteristiek meet men echter niet het gehele toestel, maar alleen de curve van het hoorapparaat-telefoontje. De vraag is nu of deze vereenvoudiging gerechtvaardigd is.

Zoals bekend verondersteld mag worden, is het hoorapparaat opgebouwd uit drie essentieel verschillende bestanddelen nl.:

- a. de microfoon
- b. het elektrische versterkingsmechanisme
- c. de telefoon.

Wanneer nu het meten van de telefoon alleen voldoende is voor een frequentie-karakteristiek, dan moet hieruit voortvloeien dat de microfoon en het elektrische versterkingsmechanisme geen invloed van betekenis hebben op de vorm van de curve. Dit kan alleen zo zijn als beide, microfoon en versterker in het te onderzoeken gebied een vlakke karakteristiek tonen. Immers iedere stijging of daling in de karakteristiek van een van de eerste twee componenten zal door de laatste schakel — de telefoon — weergegeven worden en in de karakteristiek tot uiting komen. We moeten derhalve een curve maken van elk der componenten om te zien of de eerste twee onderdelen werkelijk aan bovengestelde eis voldoen.

Ad a. De microfoon.

Deze heeft tot doel het omzetten van geluidstrillingen in wisselspanningen van gelijke frequentie. Bij een constante geluidsdruk kan men de verschillende wisselspanningen meten, zoals deze ontstaan bij het doorlopen van het geluidsspectrum. Een dergelijk verband tussen

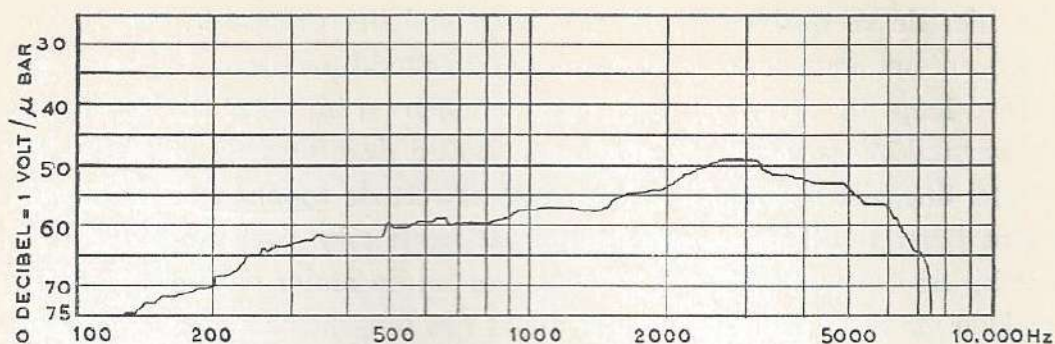


Fig. 2

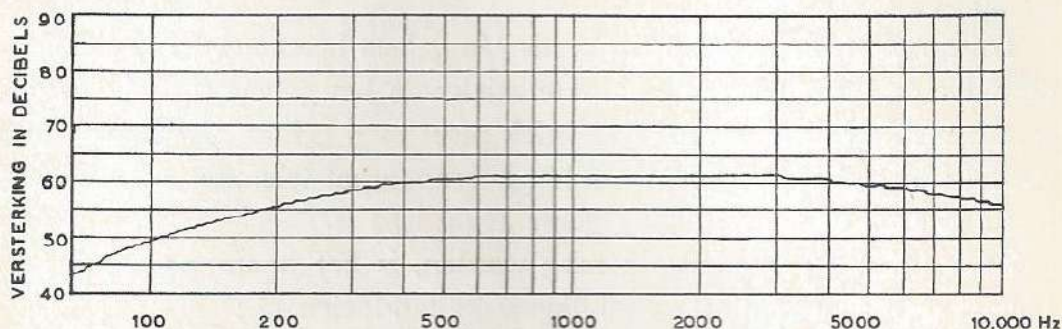


Fig. 3



Fig. 4

In de figuren 2, 3 en 4 zijn de frequentie-karakteristieken van de drie onderdelen van een hoorapparaat aangegeven. Figuur 2 toont de frequentie-karakteristiek van de microfoon, fig. 3 die van het versterkingsmechanisme en fig. 4 die van de telefoon.

Bij vergelijking van deze drie curves blijkt, dat die van de microfoon (Fig. 2) vrij vlak verloopt nl. tussen de 400 en 6000 Hz slechts ruim 10 db verschil toont. De karakteristiek van het versterkingsmechanisme (Fig. 3) is over het gehele frequentie-bereik eigenlijk geheel vlak. Uit de curve van de telefoon (fig. 4) blijkt, dat deze het minst ver doorloopt in de hoge tonen; van ongeveer 1500 Hz af zakt de curve vrij steil en bij 4000 Hz is het met de versterking afgelopen. De telefoon is daardoor de zwakste schakel in de keten en we mogen dus zeggen, dat de curve van het gehele hoorapparaat door de telefoon wordt bepaald.

spanning en toonhoogte is per definitie de frequentie-karakteristiek.

In fig. 2 is een dergelijke curve afgebeeld, zoals deze van een hoor-apparaten microfoon werd gemeten.

Ad b. *Het electrisch versterkingsmechanisme.*

De frequentie-karakteristiek van het electronische deel van het hoor-apparaat kan men volgens hetzelfde principe bepalen. Men biedt nu namelijk op de plaats, waar anders de microfoon is aangesloten een passende wisselspanning aan van constante sterke met veranderende frequentie. De spanning, die normaliter naar de telefoon wordt gevoerd, wordt nu geregistreerd en in grafiek gebracht. Fig. 3 is een voorbeeld van een dergelijke curve van het electronisch versterkings-mechanisme.

Ad c. *De telefoon.*

Als laatste schakel in deze keten van metingen kan men nu de telefoon een constante spanning toevoeren en de afgegeven geluidsdruk als functie van de frequentie uitzetten (zie fig. 4).

Vergelijken we nu de op deze manier verkregen drie karakteristieken, dan blijkt daaruit, dat de telefoon in het frequentiebereik van 100 tot 3000 Hz het minst vlak is. In de karakteristiek van het gehele toestel speelt elk der drie componenten een even grote rol, maar doordat de eerste twee (microfoon en electronisch deel) in het bovengenoemde gebied zeer vlak verlopen is het de telefoon, die door de vorm van zijn karakteristiek ook die van het gehele toestel bepaalt. Immers, uitgaande van een bepaalde geluidsdruk op de microfoon, zal deze voor alle frequenties in een gebied van 100 tot 3000 Hz een bij benadering constante spanning afgeven. Deze spanning zal op zijn beurt na versterking een nu grotere, maar dan toch weer constante spanning naar frequentie afgeven, omdat voor alle frequenties de afgegeven spanning alleen van de grootte van de wisselspanning aan de ingang, en niet van de frequentie afhangt. Wordt nu deze vergrote wisselspanning met behulp van de telefoon weer in geluid omgezet, dan blijkt de afgegeven geluidsdruk sterk te variëren, afhankelijk van de frequentie. Op grond van deze feiten hebben wij ons bij ons onderzoek beperkt tot de eigenschappen van de telefoon. Uit het bovenstaande blijkt de geringe invloed, die de eigenschappen van de microfoon en versterker hebben op de frequentie-karakteristiek van het gehele toestel. Om deze reden menen we, dat

alleen het onderzoek met behulp van de telefoon gerechtvaardigd is. Ook in de industrie is men zich bewust van de grote invloed van de telefoon, en in de praktijk wordt dan ook veelal niet het gehele hoorapparaat, maar alleen het telefoontje geijkt.

Welke eisen moet men nu aan de frequentie-karakteristiek stellen om van een goed toestel te mogen spreken:

1. *De curve moet voor één en hetzelfde telefoontje invariabel zijn.*

Speciaal vochtigheids- en temperatuursveranderingen kunnen soms van invloed zijn, vooral bij de kristaltelefoon, terwijl ook door vallen of stoten veranderingen kunnen ontstaan in de gevoeligheid van de telefoon. Het is de taak der constructeurs, de telefoon zo solide mogelijk te maken, zodat de invloed van uitwendige factoren zoveel mogelijk uitgeschakeld wordt.

2. *De curves van verschillende exemplaren van hetzelfde type telefoon moeten zo goed als gelijk zijn.*

Bij het vervaardigen van de telefoons wordt de frequentie-curve getest door de fabrikant met behulp van geijkte meetapparatuur, waarbij het kunstoor een belangrijke rol speelt. Bij dit testen worden slechts enkele db's verschil getolereerd. In een volgend hoofdstuk, nl. over de technische meetmethoden zal dit meten van de telefoon met het kunstoor nader worden besproken.

3. *De curve moet een glad verloop hebben.*

Voor de praktische bruikbaarheid van een toestel is het vereist, dat de versterking van dicht bij elkaar liggende frequenties niet te veel verschilt. Anders ontstaan er onverwachte, scherpe geluiden in het toestel, die door de patiënt als kraken, piepen of knarsen worden beschreven. Door hun onaangename luidheid beïnvloeden zij de verstaanbaarheid sterk in ongunstige zin. In de grafiek ziet men dit aan het bestaan van pieken, waardoor de curve het aspect krijgt van grillige rotspartijen inplaats van te lijken op een zachtglooiende heuvel.

4. *De curve moet in het hoge frequentie-gebied zo ver mogelijk doorlopen.*

Een zo groot mogelijk frequentie-bereik geeft het oor de mogelijkheid ook de fijnere nuances van de spraak, het timbre, te herkennen, aan-

gezien dan een toonbeeld ontstaat, dat een betere benadering van het normaal gehoorde geeft.

Weliswaar kan een normaal horende voor het dagelijks gebruik volstaan met een geluidsspectrum tot 3000 Hz, zoals bv. de rijkstelefoon dit geeft; maar het is welbekend, dat namen en cijfers (bv. zeven en negen) zeer snel moeilijkheden geven door gemakkelijke verwisseling. Dit klemmt nog meer voor slechthorenden en het is dan ook zaak, dat een hoorapparaat in het hoge tonen gebied eveneens zoveel mogelijk de klanken nodig voor de optimale verstaanbaarheid weergeeft. Ook de omgevingsgeluiden en het gemak, waarmee deze herkend worden, spelen een grote rol in het hoorgebeuren in het algemeen.

Wanneer aan bovengenoemde voorwaarden is voldaan, kan men spreken van een bevredigende frequentie-karakteristiek. Dit wil echter niet zeggen, dat een toestel met een dergelijke frequentie-curve voor elke slechthorende geschikt is.

Men moet in elk individueel geval van slechthorendheid beoordelen of wijzigingen in de frequentie-curve het gehoor verbeteren. Moet men nu de frequentie-curve aanpassen aan het geconstateerde gehoorverlies? Vroeger was men algemeen van mening, dat dit inderdaad moest gebeuren en sprak men van selectieve aanpassing. Men sprak over een hoorprothese als de hoorbril voor de doven (ZWAARDEMAKER). Hiermee wilde men aangeven, dat het hoorverlies zo nauwkeurig mogelijk gecompenseerd diende te worden naar de gehoordrempel van de normaal-horende.

Langzamerhand leerde men, dat voor het juist aanpassen van een hoorapparaat de bepaling van de drempelwaarde niet voldoende is. Het doel van een toestel is het gewone gesprek dusdanig te versterken, dat het geluid de hardhorende in een voor hem optimale vorm bereikt. Hiertoe moet men dus niet de drempelwaarde van het normale en het hardhorende oor vergelijken, — iets wat we bij de drempelaudiometrie doen —, maar moeten we deze twee oren vergelijken bij de conversatiesterkte (KNUDSEN en WATSON 1940).

Deze conversatiesterkte ligt voor het normale oor op ongeveer 60 db boven de drempel, en eveneens 60 db onder de maximumgrens nl. de pijngrens. Het geluid van deze sterkte is niet te hard en niet te zacht, kortweg aangenaam voor het gehoor en heet daarom aangename luidheid. Voor de verschillende frequenties is dit punt te bepalen. Brengt

men deze punten in curve dan spreekt men van de aangename luidheidslijn.

Bij slechthorenden kan men deze aangename luidheidslijn eveneens bepalen en ook hier ligt hij vaak evenver van de drempel als van de pijngrens. De moeilijkheden treden echter op als de afstand tussen drempel en pijngrens verandert, zoals dit bij recruitment het geval is. Men ziet hier als regel, dat in het audiogram de drempelwaarde stijgt bij hogere frequenties, terwijl de pijngrens in dit gebied juist gaat dalen. Het aantal db tussen deze twee grenswaarden — de zg. hoorspan — is dus verkleind. Omdat de aangename luidheidslijn midden tussen deze twee grenswaarden inloopt, zal het aantal db verschil tussen drempel en aangename luidheidslijn in de hoge zone aanmerkelijk kleiner zijn dan in de lage zone en zal dus de aangename luidheidslijn minder steil naar beneden lopen dan de drempelwaarde. Deze aangename luidheidslijn moet dus het uitgangspunt worden voor de selectieve aanpassing van een hoorapparaat. Men kan dus nu een hoorapparaat geven, dat het verlies op het aangename luidheidsniveau precies compenseert, door de keuze te doen uit verschillende telefoontjes, door toonregeling of door uitsnijden van hoge of lage tonen.

Het principe van de selectieve aanpassing werd algemeen aanvaard totdat DAVIS in 1945 zijn onderzoekingen publiceerde. Hij kwam daarin tot de conclusie, dat eigenlijk elke hardhorende te helpen was met een toestel met één frequentie-karakteristiek, en wel met één met een vlakke versterking desnoods iets oplopend in de hoge tonen. Hij kwam tot deze conclusie op grond van zijn onderzoekingen bij een 25-tal slechthorenden met behulp van de zg. Master hearing aid.

Een Master hearing aid is een versterkingstoestel, dat alle mogelijkheden tot selectieve aanpassing in zich verenigt. Er is een zeer uitgebreide toonregeling aanwezig, waardoor de frequentie-karakteristiek naar believen gewijzigd kan worden, verder de mogelijkheid tot uitsnijding van hoge en lage tonen, terwijl door de automatische volume controle en de peakclipping de recruitment bestreden kan worden. DAVIS vond hiermee, dat de maximale verstaanbaarheid weinig beïnvloed werd door nauwkeurige correctie van het geleden verlies. Een zelfde versterking over het gehele frequentie-gebied gaf even goede resultaten.

De consequenties van dit onderzoek waren belangrijk. Immers, als men met een uniforme versterking practisch elke slechthorende kan helpen, dan wordt de fabricatie en de aanpassing van een hoorapparaat

aanzienlijk vereenvoudigd. Men kan nu met één telefoontje volstaan en met één type gehoorapparaat, en voor de aanpassing behoeft men alleen maar de versterkingsknop en de toonregelaar zo in te stellen, dat de patiënt de maximum verstaanbaarheid bereikt.

Naar aanleiding van dit onderzoek van DAVIS heeft men ook in Engeland dit probleem onderzocht. Het Medical Research Council of Great Britain kwam tot dezelfde conclusie als de Amerikanen. Men heeft dan ook in Engeland als onderdeel van de gratis geneeskundige hulp een hoorapparaat geconstrueerd — de Medresco — met alleen een sterkte-regeling en 2 verstelbare schroefjes: het eerste kan de karakteristiek van 1000—4000 Hz in het geheel 10 db doen stijgen en het tweede kan de karakteristiek van 1000—200 Hz 12 db laten zakken.

Er is hier dus één variatie mogelijk nl. van een vlakke curve tot één met 6 db stijging per octaaf. Natuurlijk is lang niet iedereen ervan overtuigd, dat met deze uniforme versterking alle problemen zijn opgelost. De tegenstanders wijzen op patiënten met sterke perceptiedoofheden en zeer onregelmatig gehoorverlies, bij wie de selectieve aanpassing de voorkeur verdient, omdat deze de spraakverstaanbaarheid meer verbetert dan de uniforme versterking. Bovendien zijn er onderzoekers die in alle gevallen een selectieve aanpassing prefereren (De Vos). Men voert aan dat zo'n Master hearing aid door zijn grotere capaciteit, betere kwaliteit van de telefoons en in het algemeen grotere gevoeligheid der onderdelen niet vergelijkbaar is met een hoorapparaat, dat klein moet zijn uit praktisch oogpunt.

Op dit terrein zijn de aanpassingsproblemen dan ook nog niet opgelost.

HOOFDSTUK IV

TECHNISCHE MEETMETHODEN

Daar 't bij het te beschrijven onderzoek gaat over de aan het oor zelf gemeten frequentie-karakteristiek in vergelijking met technische metingen, verdient het aanbeveling eerst deze technische meetmethoden van het telefoontje te beschrijven.

De physicus tracht bij zijn metingen twee dingen te bereiken:

In de eerste plaats zal hij proberen de toestand aan het oor zelf zo dicht mogelijk te benaderen.

In de tweede plaats moet de opstelling zo gekozen worden, dat de resultaten reproduceerbaar zijn. Hij moet dus met gestandaardiseerde instrumenten werken.

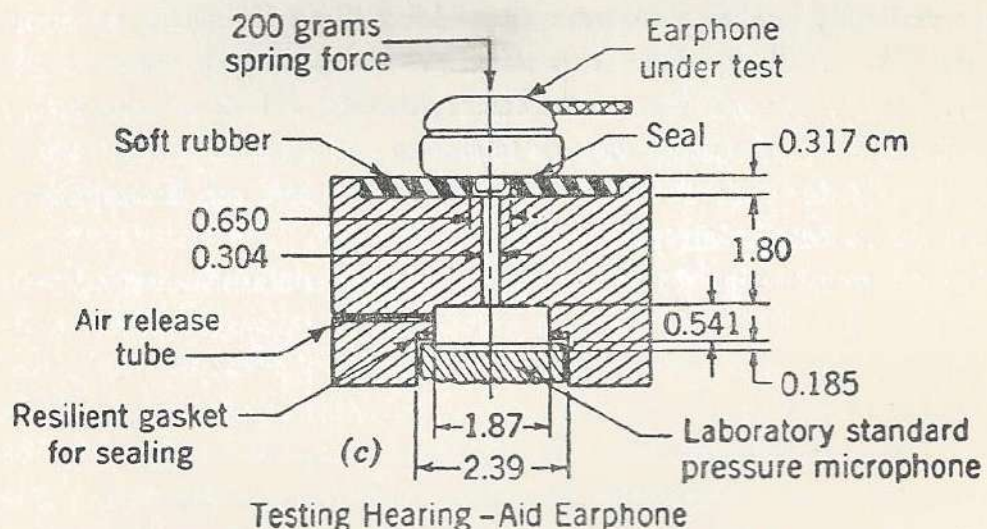


Fig. 5

Schema van het Amerikaanse kunstoor, dat wij voor onze technische metingen gebruikt hebben, zoals dit is vastgelegd door het Amer. Bureau of Standards.

(Overgenomen uit „Acoustic Measurements” van L. L. BERANEK)

Ad 1. In de praktijk is het telefoontje van een hoorapparaat met het oor verbonden door een aangepast oorstukje.

Dit aangepaste oorstukje wordt vervaardigd met behulp van een afdruk van de uitwendige gehoorgang en bestaat tegenwoordig altijd uit een of ander soort kunsthars.

Door dit oorstukje is een kanaal geboord, dat van het telefoontje de uitwendige gehoorgang ingaat en zo de geluiden naar het trommelvlies voert.

Om deze toestand aan het oor zelf zo dicht mogelijk te benaderen heeft de physicus een kunstoer ontworpen, dat in grote trekken hiermee overeenstemt. Dit kunstoer bestaat uit een cilindervormig stuk metaal. In de as van de cylinder loopt van één zijde een vrij nauw kanaaltje naar binnen (analogon van het kanaal in het oorstukje) en dit mondt uit in een wijder cilindervormig kamertje, dat de luchthoudende ruimte moet voorstellen in de uitwendige gehoorgang tussen trommelvlies en oorstukje.

Tegenover de uitmonding van het kanaaltje is in het kamertje een condensator-microfoon gemonteerd, die de binnenkomende trillingen opvangt evenals in de werkelijkheid het trommelverlies dit doet. Op de uitmonding van het kanaaltje kan door een eenvoudig drukknop-mechanisme een te ijken telefoontje worden aangesloten, op dezelfde manier als dit op het oorstukje mogelijk is.

Op deze wijze is dus een imitatie verkregen van de toestand, zoals die te vinden is bij het hoorapparaat, wanneer dat in werkelijkheid met het gehoororgaan is verbonden.

Ad 2. Om aan de eis der reproduceerbaarheid te voldoen, heeft men de zo geconstrueerde kunstoren gestandaardiseerd.

Helaas is men er niet in geslaagd één vast standaard type te maken: er bestaat een Amerikaanse, een Engelse en een Franse versie, die onderling verschillen tonen in bouw en afmetingen der onderdelen. Het feit, dat deze verschillende modellen blijven bestaan, en men niet tot overeenstemming is gekomen over één type wijst erop, dat over de natuurgetrouwheid der nabootsing van de werkelijkheid verschil van mening bestaat.

CHAVASSE (Frankrijk) offert de algehele standaardisatie op om maar zo dicht mogelijk de werkelijkheid te benaderen, terwijl in de Anglo-Amerikaanse wereld de standaardisatie prevaleert.

In het bestek van dit werk zou het te ver voeren, ons te verdiepen in de al te technische details, daar dit twistpunt nog lang niet uitgevochten

is en de oplossing van dit probleem op het terrein van de technicus ligt. Voor onze metingen gebruikten we het Amerikaanse kunstoor.

Met behulp van een dergelijk kunstoor wordt het telefoontje geijkt op de volgende wijze:

In een toongenerator wordt een bepaalde frequentie opgewekt op een constant spanningsniveau. Deze spanning wordt naar het telefoontje gevoerd. Hier komt dus een toon te voorschijn. Doordat het telefoontje verbonden is met het kunstoor, gaat het geluid via kanaaltje en kamertje naar de microfoon, die op zijn beurt verbonden is met een penschrijver, die de intensiteit van de opgevangen toon registreert op een strook papier. Als men nu met een motortje de toongenerator van laag tot hoog het hele frequentie-spectrum laat doorlopen en tegelijkertijd het papier laat voortbewegen, krijgt men dus een grafische voorstelling van het verband tussen intensiteit en frequentie; van de frequentie-karakteristiek derhalve. Deze curve is dus afhankelijk van wat het telefoontje doorlaat. Immers het spanningsniveau is steeds constant gebleven en er zijn dus frequenties van steeds dezelfde intensiteit naar het telefoontje gevoerd. Ook is er gezorgd, dat de in het kunstoor gemonteerde condensator-microfoon over een groot frequentiebereik een vlak verloop heeft. Als enige variabele blijft dan het te meten telefoontje over.

Op deze manier wordt snel een frequentie-karakteristiek verkregen en bij deze opstelling behoeft men alleen maar de apparatuur in werking te stellen om een curve te krijgen, die het gehele frequentie-gebied automatisch doorloopt.

HOOFDSTUK V

EIGEN ONDERZOEKINGEN

Theoretische beschouwing over de te volgen werkwijze.

Bij de doelstellingen van onze metingen hebben wij vooropgesteld, dat wij de karakteristiek van het hoorapparaten-telefoontje aan het oor wensten te bepalen. Deze doelstelling laat geen andere weg over dan deze metingen te verrichten met behulp van drempelwaarden. Inhaerent aan al onze metingen is dus naast de karakteristiek de drempelwaarde.

De metingen om te komen tot drempelwaarden zijn zeer complex en tijdrovend. Gelukkig echter zijn deze metingen reeds verricht door STEVENS en DAVIS en later door WHEELER en DICKSON opnieuw nagegaan.

Hieruit is dus bekend de hoeveelheid geluids-energie of druk, die aan het trommelvlies moet worden toegevoerd om de „gemiddelde” mens juist een geluidssensatie te geven. Indien wij dus over een persoon zouden kunnen beschikken, die een audiogram bezat gelijk aan dat van de gemiddelde mens, dan zouden wij kunnen volstaan met het bepalen van de spanning die, aan het telefoontje toegevoerd, juist een sensatie veroorzaakt. Hieruit zou de karakteristiek te bepalen zijn.

Het is echter in de techniek niet gebruikelijk om de karakteristiek van het telefoontje te geven ten opzichte van de drempel van het gehoor voor één oor, maar ten opzichte van een vast energieniveau, en wel dat afgeleid van de drempel voor binauraal horen bij 1000 Hz nl. 0,0002 dyne/cm². Wij moeten dus al onze gemeten waarden omrekenen. Dit kan het eenvoudigst aan een voorbeeld gedemonstreerd worden. Uit fig. 6 ontleend aan STEVENS en DAVIS blijkt, dat voor het verkrijgen van een sensatie bij 1000 Hz een geluidsdruk nodig is van 6 db boven 0,0002 dyne/cm². Uit onze metingen blijkt, dat hiervoor een spanning aan het telefoontje nodig is van $5 \cdot 10^{-7}$ Volt. Bij het toevoegen van een spanning van 0,1 Volt, dwz. 106 db meer dan $5 \cdot 10^{-7}$ Volt, zal derhalve de geluidsdruk $106 + 6$ db boven 0,0002 dyne/cm² komen te liggen. Voor 3000 Hz wederom naar de metingen van STEVENS en DAVIS zal

bij een drempelwaarde van 7 db boven 0,0002 dyne per cm^2 een spanning van $2,5 \cdot 10^{-6}$ Volt nodig zijn en derhalve voor 0,1 Volt de output 92 db boven 0,0002 dyne/ cm^2 bedragen. Voortbouwend op deze methodiek kan men dus een grafiek verkrijgen, die de geluidsdruk in afhankelijkheid van de frequentie aangeeft, wanneer er een constante spanning van 0,1 Volt aan de klemmen van het telefoontje wordt aangesloten. Daar dit, zoals reeds in Hoofdstuk 2 werd beschreven, de wijze is, waarop in de techniek de eigenschappen van een telefoontje worden aangegeven, zijn wij hier dus gekomen op een punt, waar de resultaten, die direct aan het oor gemeten zijn, vergeleken kunnen worden met metingen op het kunstoor.

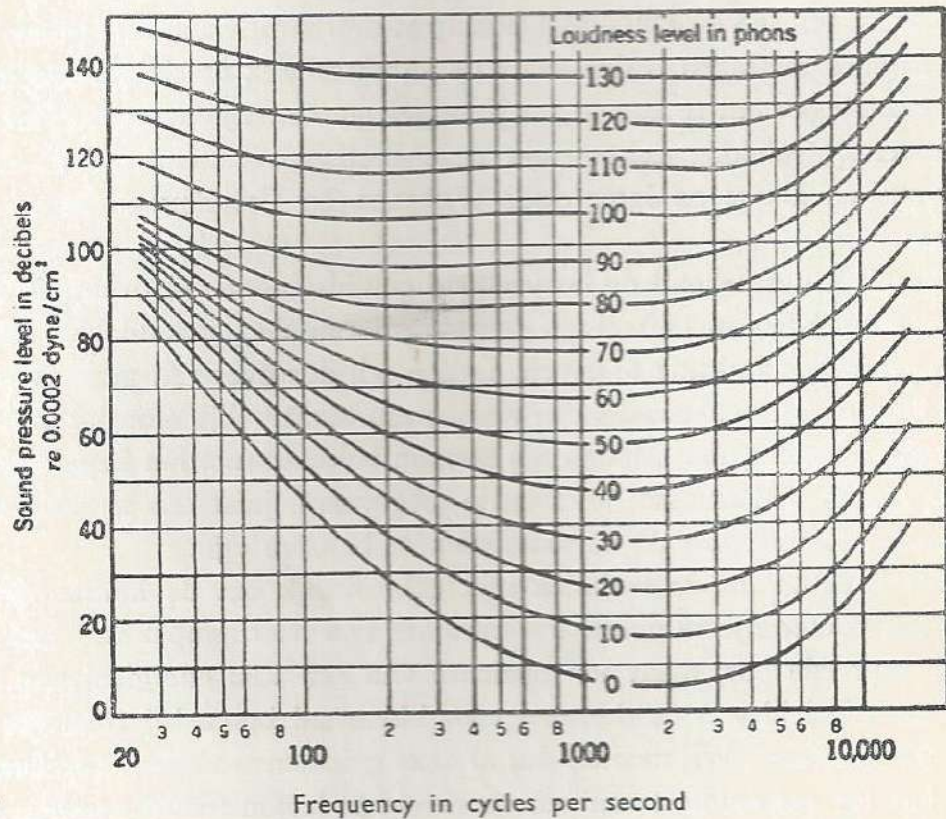


Fig. 6

Monaurale drempelwaarde en isophonen van het gemiddelde normale gehoor herleid tot het vaste energie-niveau van 0,0002 dyne/ cm^2 , zoals dit door STEVENS en DAVIS is gepubliceerd. Van deze gegevens hebben wij gebruik gemaakt om de door ons gevonden drempelwaarden van het oor te herleiden tot het vaste energie-niveau van 0,0002 dyne per cm^2 . (De grafiek werd overgenomen uit „Acoustic Measurements” van L. L. BERANEK.)

Bij deze berekeningen is er stilzwijgend van uit gegaan, dat een bv. 10 maal hogere spanning, die het telefoontje wordt aangeboden, ook een 10 maal hogere geluidsdruk zal produceren. Dit beginsel wordt aangeduid met de term lineariteit, terwijl afwijkingen van de lineariteit dynamiek-compressie of expansie worden genoemd. Afgezien van het feit, dat de lineariteit door een meting gecontroleerd kan worden, zou het zeer bedenkelijk zijn, wanneer de karakteristieken van hoorapparaten aan de alineariteit van het toestel hun vorm zouden ontleenen. Men krijgt dan de situatie, dat de karakteristiek van het toestel afhangt van de geluidsintensiteit, die aan het toestel wordt toegevoegd.

Bij deze overwegingen zijn we, zoals reeds eerder is gezegd, uitgegaan van de veronderstelling, dat we de beschikking hadden over een persoon wiens audiogram gelijk is aan dat van de normaalhorende gemiddelde mens. Het spreekt vanzelf, dat het ons niet gelukt is de ideale proefpersoon met zulk een gemiddeld gehoor voor onze metingen op te sporen. Met behulp van een goede audiometer is het echter mogelijk de individuele afwijkingen van de drempel der bij het experiment betrokken proefpersonen te corrigeren. Deze drempelmetingen kunnen met elke goede audiometer verricht worden. Om praktische redenen hebben we hiervoor zelf een audiometer gemaakt uit de voor onze proefnemingen beschikbare toongenerator en verzwakker na ijking hiervan bij 25 normaal horenden. Om de audiometer te completeren werd er een kleine versterker en een P.D.R. 10 koptelefoon aan toegevoegd. De eigenschappen van deze telefoon en versterker zijn van weinig belang, mits deze eigenschappen maar constant in de tijd zijn, daar het hier gaat om het vaststellen van drempelafwijkingen ten opzichte van een gemiddelde, dat met dezelfde installatie werd bepaald.

Beschrijving Proefopstelling

Bij onze proeven ter bepaling van de frequentie-karakteristiek aan het oor zelf wordt als energiebron gebruikt een variabele toongenerator (fabrikaat Radiometer), die ons geschonken werd door het Heinsius Houboltfonds, welk fonds wij op deze plaats hiervoor gaarne onze dank betuigen. Deze toongenerator dan was verbonden met een variabele attenuator, die maximaal 120 db kan verzwakken. De attenuator was op zijn beurt weer verbonden met het hoorapparaat, waarvan het telefoontje met het oor van de proefpersoon verbonden was.

Als hoorapparaat gebruikten we een Audium 650 met een magnetische telefoon (type A). Dit hoorapparaat werd voor de proefnemingen geschikt gemaakt, door het verwijderen van alle onderdelen, uitgezonderd die, welke op de eindtrap van het versterkingsmechanisme betrekking hebben. De elektrische sinusvormige wisselspanningen van de toongenerator werden dus dadelijk naar de eindtrap gevoerd, door uitschakeling van de twee eerste trappen en de microfoon. Hierbij werd aangenomen, dat de verwijderde onderdelen geen wijziging veroorzaken in de vorm van de frequentie-karakteristiek, zoals dit in hoofdstuk 2 aannemelijk gemaakt is. Bovendien werd gebruik gemaakt van een groot formaat batterijen, die door hun langere levensduur voor ons doel geschikt waren. Uiteraard hadden deze batterijen hetzelfde voltage als de kleine batterijen, die in een hoorapparaat gebruikt worden. Om zo storingsvrij mogelijk te werken, was het toestel vrij opgehangen in een rustige hoek in de geluidsarme kamer. Het hoorapparaat was met het oor van de proefpersoon verbonden op de gebruikelijke wijze met een aangemeten oorstukje.

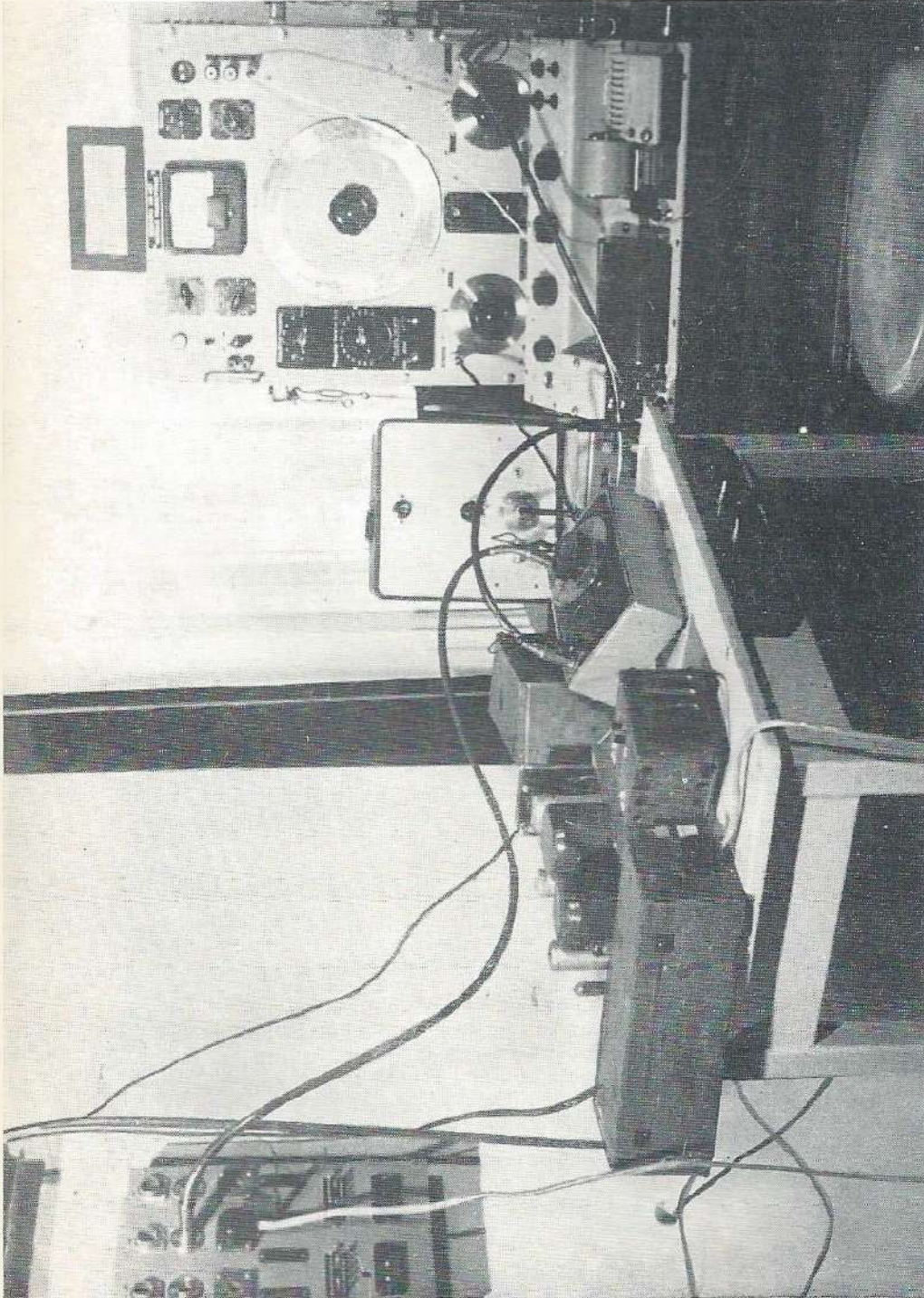
Op deze wijze opgesteld, werd als volgt gemeten:

De toongenerator heeft als vaste ingangsspanning 0,1 Volt. Het hoorapparaat staat op zijn maximale output. De toongenerator wordt nu op een bepaalde frequentie afgesteld. Deze frequentie wordt versterkt door het hoorapparaat, maar door de variabele attenuator verzwakt. De verzwakking door de attenuator wordt nu zo gekozen, dat de proefpersoon de aangeboden toon nog juist kan waarnemen. Deze drempelwaarde is dus alleen afhankelijk van de verzwakking van de attenuator. Het aantal db verzwakking wordt genoteerd. Om een overzicht van het gehele geluidsspectrum te krijgen, wordt op deze wijze de geluidsdrempel van het oor bepaald bij: 250, 500, 750, 1000, 1500, 2000, 3000, 4000, 5000 en 6000 Hz, gemeten naar het aantal db's verzwakking van de attenuator. Zo verkrijgt men een meetwaarde voor elk der bovengenoemde frequenties. Om de meetfouten zo klein mogelijk te houden wordt voor elk der bovengenoemde frequenties de waarde vijf maal gemeten en wordt het gemiddelde hiervan als juiste waarde genomen.

Voor de controlemetingen met de P.D.R. telefoon (zie laatste deel van de vorige paragraaf) werden dezelfde toongenerator en attenuator gebruikt.

In plaats van de versterking door het hoorapparaat wordt nu een

PLAAT I



Van links naar rechts ziet U achtereenvolgens: Links boven bevindt zich het schakelbord, dat de verbinding met de geluidsarme kamer geeft. Op het tafeltje staan achteraan de doos met grote batterijen voor de voeding van het hoorapparaat, daarnaast de versterker voor de P.D.R. 10 telefoon en daarnaast een batterijkastje nodig voor de onderbreking van de toon. Voor op het tafeltje staat het kastje met twee knoppen en twee verlikkerlampjes voor het contact met de proefpersoon. Daarnaast de variabele attenuator. Achter de laatste staat de microfoonversterker nodig voor de proeven op het kunstoor. Hiernaast bevindt zich de toongenerator (Radiometer).



Eén der proefpersonen, opgesteld in de geluidsarme kamer.
Het gebruikte hoorapparaat is vrij opgehangen in een rustige hoek, achter een gordijn, dat op de foto is weggeschoven.

eenvoudige versterker gebruikt met een versterking, die overeenkomt met die van het hoorapparaat. Deze versterker is rechtstreeks verbonden met de P.D.R. telefoon. De volgorde is dus hier: toongenerator-attenuator-versterker-P.D.R. telefoon. (Men zie hiervoor ook bijgaand schema fig. 7.) Met deze opstelling werd op overeenkomstige wijze gemeten, hoeveel verzwakking van de attenuator nodig is om de hoordrempel van de proefpersoon te bereiken. Uiteraard werden dezelfde frequenties gemeten als bij het hoorapparaat en kleine telefoon. Om deze meting eveneens zo nauwkeurig mogelijk te verrichten, werden ook hier de bepalingen in vijfvoud verricht.

De proefpersoon zit bij deze proeven in een geluidsarme ruimte, terwijl de onderzoeker met de apparatuur, die hij bedienen moet, erbuiten is opgesteld. Contact tussen onderzoeker en proefpersoon is mogelijk door middel van een aantal signaallampjes, waarmee de proefpersoon kan aangegeven, of hij een aangeboden toon wel of niet hoort, terwijl de onderzoeker hiermee op zijn beurt kan vragen, of een bepaalde toon wel of niet meer gehoord wordt. Bovendien kan de onderzoeker met een interruptor de toon naar willekeur onderbreken.

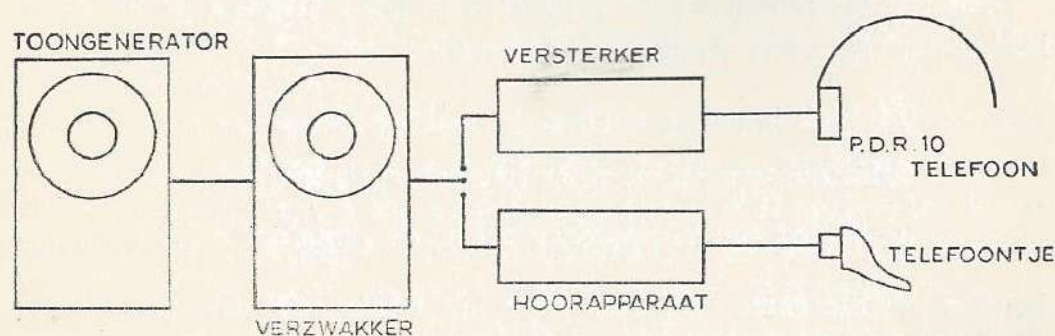


Fig. 7

Schema van de gebruikte proefopstelling. De twee series metingen werden verricht met dezelfde toongenerator en verzwakker. Voor metingen met de P.D.R.-telefoon werd een aparte versterker ingeschakeld, terwijl de versterking van het hoorapparaten-telefoontje door het hoorapparaat zelf werd verzorgd.

Werkwijze

De werkwijze, die we toegepast hebben, is dan als volgt:

Bij een serie van 25 oren van normaal horenden werd met de P.D.R. telefoon en bovengenoemde proefstelling gemeten, hoeveel verzwakking van de attenuator nodig was om de gehoordrempel te bepalen. Uit de

gegevens, verkregen door deze metingen, uitgedrukt in db's verzwakking van de attenuator, werd de gemiddelde gehoordrempel vastgesteld.

In het eerste deel van dit hoofdstuk is uiteengezet, waarom de bepaling van deze gemiddelde gehoordrempel noodzakelijk is. Deze waarde is vergelijkbaar met de O-lijn van het normale audiogram als basis voor onze curves. De meting met de P.D.R. telefoon bij een proefpersoon, voor wie een aangemeten oorstukje is gemaakt, dient nu uitsluitend om te weten te komen, wat zijn drempelaudiogram is. Gaan we nu zijn drempelaudiogram en de gemiddelde drempelwaarde, die beide zijn uitgedrukt in aantal db's verzwakking, met elkaar vergelijken, dan weten we hieruit hoeveel db de proefpersoon voor de gemeten frequenties verschilt van het gemiddelde. Dit is nodig, omdat we bij de bepaling van de frequentie-karakteristiek de normale variaties in gehoorscherpthe moeten kunnen elimineren. Meten we nu met het hoorapparaat en aangemeten oorstukje nogmaals de verzwakking, nodig om de drempelwaarde te bereiken, dan kunnen we de met de P.D.R. telefoon gevonden afwijkingen van het gemiddelde gehoor gemakkelijk corrigeren.

Daar wij op deze wijze de variabelen zo goed mogelijk geëlimineerd hebben en met vaste energiewaarden werken, nl.

0,1 Volt ingangsspanning,

uniforme versterking door het hoorapparaat,

herleiding van de hoordrempel tot de gemiddelde drempel,

houden we als enige variabele over het telefoontje met aangemeten oorstukje (zie eerste deel van dit hoofdstuk).

Om hiervan een frequentie-karakteristiek te maken, die vergelijkbaar is met de technische frequentie-karakteristiek, moeten we de gemiddelde gehoordrempel herleiden tot een vast energieniveau. Dit is mogelijk met behulp van de grafieken van STEVENS en DAVIS, die de normale gemiddelde drempelwaarden in curve gebracht hebben, uitgaande van een energieniveau van $0,0002 \text{ dyne/cm}^2$.

Door nu het aantal db's verschil tussen de drempelwaarde van een bepaalde frequentie en de $0,0002 \text{ dyne/cm}^2$ op te tellen bij de gecorrigeerde waarde van de gehoordrempel, weten we, hoeveel decibels verzwakking er nodig zijn om het energieniveau van $0,0002 \text{ dyne/cm}^2$ te bereiken. Anders gezegd: we weten nu voor elke gemeten frequentie

hoeveel db's *versterking* we krijgen ten opzichte van het 0,0002 dyne/cm²-niveau uitgaande van 0,1 Volt ingangsspanning.

Immers we weten:

- a. hoeveel verzwakking er nodig was om uitgaande van 0,1 Volt de gemiddelde gehoordrempel te bepalen. (eigen bepalingen)
- b. hoeveel verzwakking er nodig was om van de gemiddelde gehoordrempel het niveau van 0,0002 dyne/cm² te bereiken. (STEVENS en DAVIS).

Door deze twee waarden bij elkaar op te tellen, weten we hoeveel db's verzwakking nodig is om van ons ingangsniveau op 0,0002 dyne/cm² te komen.

Draait men nu de zaak om en gaat men uit van het 0,0002 dyne/cm²-niveau, dan is dus hetzelfde aantal db's *versterking* nodig om de ingangsspanning te bereiken.

De variaties, die we zo voor de verschillende frequenties krijgen, zijn nu alleen afhankelijk van de telefoon van het gehoorapparaat (zie hiervoor ook hoofdstuk 2). We hebben, wanneer we de gevonden waarden in een grafiek uitzetten, een curve van de frequentie-karakteristiek re 0,0002 dyne/cm² en daarom vergelijkbaar met de technische frequentie-karakteristiek.

Bij deze experimenten hebben we gebruik gemaakt van de grafieken van STEVENS en DAVIS. Deze onderzoeken zijn in 1952 door WHEELER en DICKSON herhaald. Voor de door ons onderzochte frequenties is het verschil tussen de curven van de drempelwaarde, bepaald door STEVENS en DAVIS en die van WHEELER en DICKSON maximaal 5 decibel.

De verschillen zijn derhalve zo klein, dat het er weinig toe doet; welke gegevens men kiest. Daar we reeds met deze proeven bezig waren, voordat de publicatie van WHEELER en DICKSON ons bekend was, hebben we hierin geen reden gevonden om onze gegevens gebaseerd op die van STEVENS en DAVIS te herzien.

HOOFDSTUK VI

PROEFNEMINGEN

Op de in het vorige hoofdstuk beschreven manier werden nu dus voor het telefoontje een reeks waarden gevonden. In een curve gebracht door de punten onderling te verbinden, ontstond een grafiek, die theoretisch moest overeenkomen met de frequentie-karakteristiek, zoals deze met behulp van het kunstoor opgenomen wordt. Wanneer we echter deze grafieken bekijken (fig. 8), dan is het duidelijk, dat er van overeenkomst slechts bij benadering sprake is.

Maar voordat we in zullen gaan op de verschillen tussen de technisch gemeten curve en die, gevonden met onze proeven, wil ik eerst de laatste op zich zelf beschouwen.

Vershil in de gevonden curves onderling.

Bij het bekijken van de gevonden grafieken (fig. 8—11) valt op de grote spreiding, die er bestaat in de gevonden curves. De vraag is nu, waardoor dit grote verschil ontstaan is. Zoals U in figuur 8 ziet, bestaat er tussen boven- en ondergrens minimaal een verschil van 13 à 14 db bij de 500 en 750 Hz en maximaal een verschil van 32 db bij de 4000 Hz. De bovengrens wordt hierbij gevormd door de punten, die de grootste gevoeligheid aangegeven, met elkaar te verbinden, terwijl de ondergrens gevormd is door het verbinden van de punten met de kleinste gevoeligheid. Tussen deze twee uiterste waarden liggen de frequentie-karakteristieken, zoals die gevonden werden uit ons onderzoek bij 32 oren.

De gevonden grote spreiding kan niet het gevolg zijn van de individuele verschillen in gehoorscherpthe, daar de gehoordrempels van alle onderzochte oren naar één, van tevoren vastgesteld, gemiddelde werden gecorrigeerd, zoals dit in het vorig hoofdstuk uitvoerig werd beschreven. We moeten ons nu afvragen, of deze verschillen nu werkelijk uit het oor afkomstig zijn, of dat fouten in de proefopstelling tot deze uiteenlopende resultaten geleid hebben. We hebben daarom de proefopstelling nog eens onder de loupe genomen. Een der meest voor de hand liggende

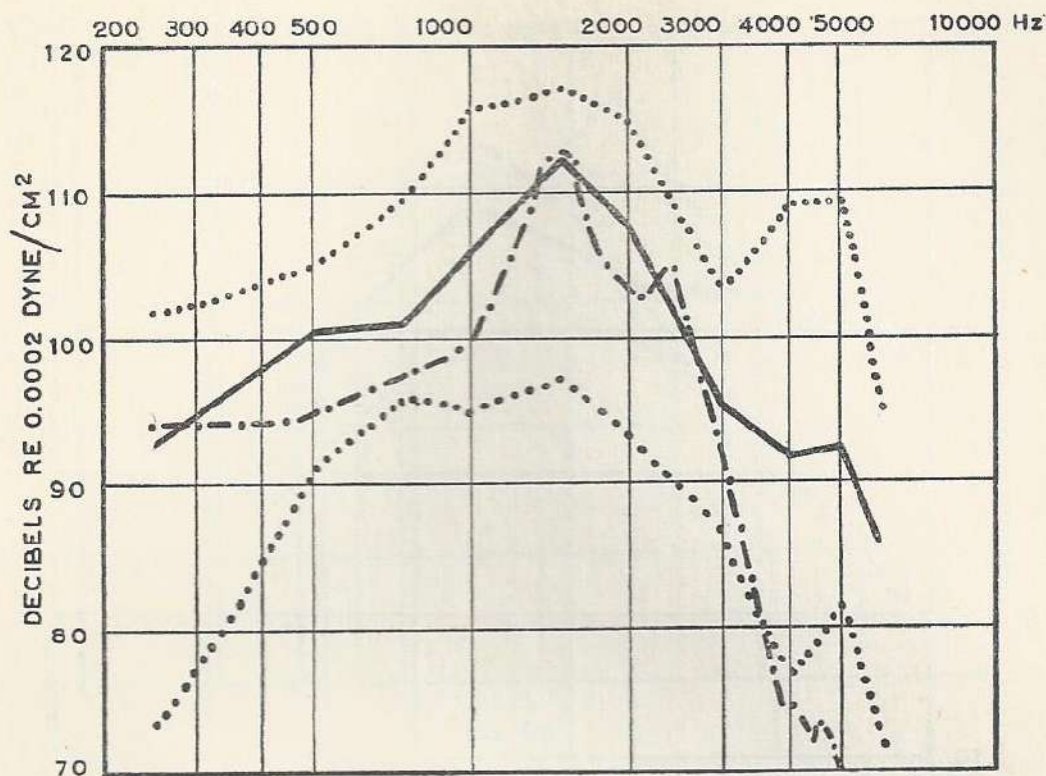


Fig. 8

Vergelijking van de technisch gemeten frequentie-karakteristiek (— lijn) met de gemiddelde frequentie-karakteristiek gevonden aan het oor zelf met behulp van 32 normaal horende oren (doorlopende lijn). Hierbij valt op het veel steiler aflopen van de technische curve in het hoge tonen gebied, dan van de curve bepaald aan het oor zelf. Met stippellijnen zijn in de figuur bovendien aangegeven de boven- en ondergrenzen van de aan het oor gemeten karakteristieken. Uit de figuur is duidelijk dat er een grote spreiding bestaat in de aan het oor bepaalde karakteristieken, hoewel er steeds gebruik gemaakt werd van individueel aangemeten oorstukjes.

oorzaken is de kans op lekkage van het geluid om het aangemeten oorstukje naar buiten. Bij het ene oor past het oorstukje precies in de gehoorgang, terwijl bij het andere oor het oorstukje zo uitvalt, dat er wat speling mogelijk is. In dit laatste geval is de kans op lekkage van het geluid langs het oorstukje uiteraard groter. Mogelijkerwijs is hieruit een deel van de spreiding in de frequentie-karakteristiek te verklaren.

Om dit te onderzoeken werden bij de laatste 15 gemeten oren alleen *ongepolijste* oorstukjes gebruikt; de vorm van de afdruk van de gehoorgang is hierbij dus precies bewaard gebleven! Ook van deze 15 oren

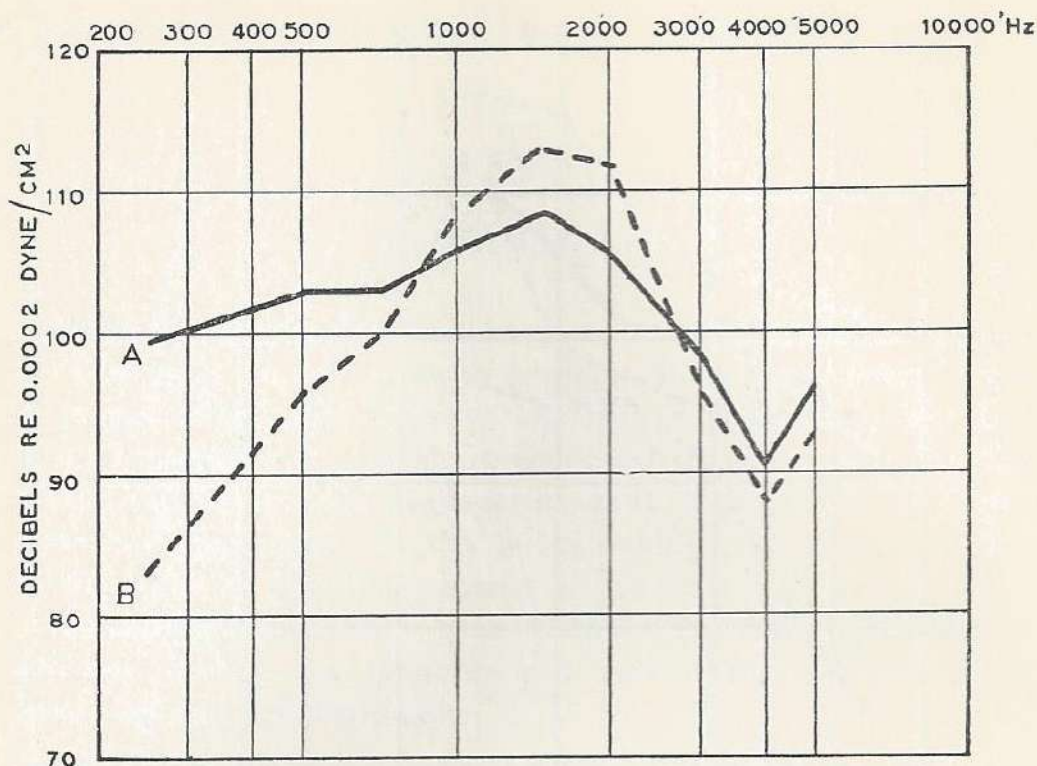


Fig. 9

In deze figuur zijn twee frequentie-karakteristieken afgebeeld van hetzelfde telefoontje onder identieke omstandigheden bij twee verschillende normaal horende oren. Het demonstreert de grote variatiebreedte, die mogelijk is bij gebruik van één en dezelfde apparatuur. Terwijl curve A een vlak verloop heeft, stijgt curve B met ongeveer 7 db per octaaf.

werd op dezelfde manier, zoals eerder reeds werd beschreven, de frequentie-karakteristiek berekend en in curve gebracht. Het resultaat ziet U in fig. 10, waarin evenals in de vorige figuur de boven- en de ondergrens van de spreiding zijn aangegeven. Het is duidelijk, dat met een ongepolijst oorstukje het verschil — de spreiding dus — vooral in het gebied van de lage en midden tonen zeer sterk is verminderd. Bovendien hebben alle curves nu practisch dezelfde helling, zoals te zien is in fig. 11, waarin afzonderlijke frequentie-karakteristieken van 9 oren zijn getekend.

Als proef op de som werden de oorstukjes na de meting alsnog gepolijst en daarna werd voor de lage tonen opnieuw de frequentie-karakteristiek bepaald. Bij de zo verkregen curves ontstaat weer het oude rommelige beeld met een groot verschil tussen de maximum en minimum waarde, zie fig. 12.

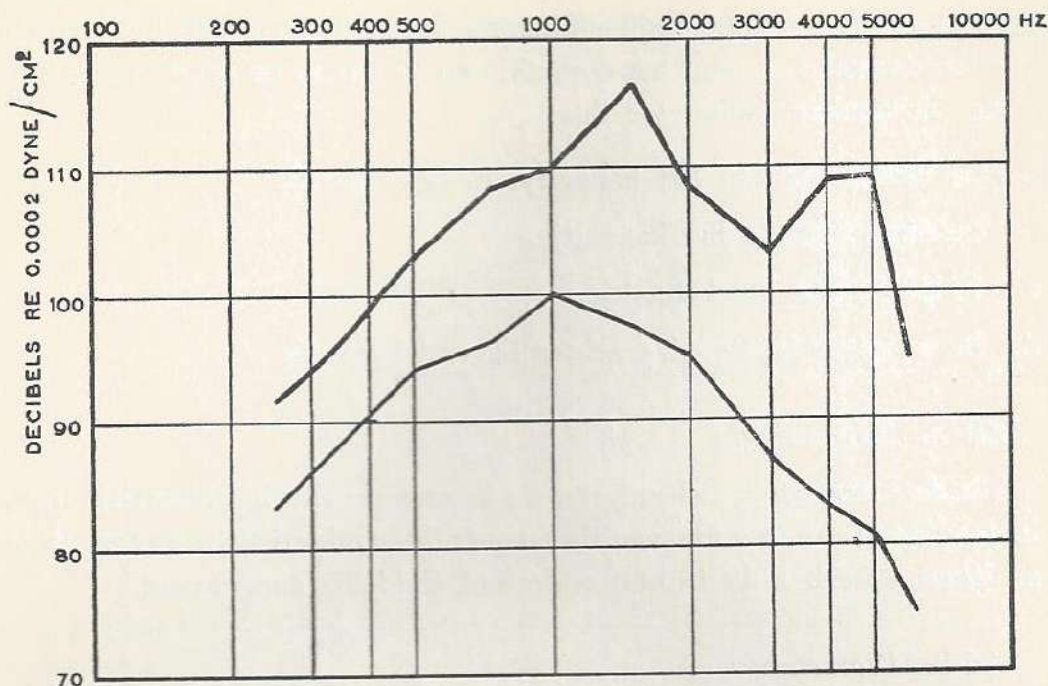


Fig. 10

Spreiding in de aan het oor bepaalde frequentie-karakteristieken, wanneer men uitsluitend gebruik maakt van *ongepolijste* aangemeten oorstukjes. Deze spreidingscurve is het resultaat van karakteristieken afkomstig van 15 oren. Na vergelijking met de vorige figuur is het duidelijk, dat de spreiding in de lage- en midden-zone van het geluid veel kleiner is dan bij gepolijste oorstukjes. In de hoge tonen daarentegen is de spreiding vrijwel gelijk.

We kunnen daarom wel aannemen, dat zelfs bij een aangemeten oorstukje, — dat we bij alle proeven gebruikt hebben —, toch nog een lek tussen oor en oorstukje bestaat en dat dit onmiskenbaar invloed heeft op de klank en de aard van het versterkte geluid. Hoewel een goede verbetering ontstond voor de tonen van het lage en midden gebied door het ongepolijst laten van de oorstukjes, is de spreiding in de hoge tonen ook met deze oorstukjes practisch gelijk gebleven. Een verklaring van het feit, dat het ene oor een zoveel hogere frequentie-karakteristiek geeft dan het andere, ook na correctie van de individuele verschillen in gehoorscherpthe, hebben we gezocht in de variaties van het oorstukje. Deze variaties zijn mogelijk, doordat bij elk oor de lengte en de kromming van het kanaaltje in het oorstukje anders zijn door de anatomische variaties van de uitwendige gehoorgang; ook de diameter van het kanaaltje is niet steeds dezelfde. Bovendien impliceert een

lang pijpje aan het oorstukje een kleiner luchtkamertje tussen trommelvlies en oorstukje, omdat het oorstukje nu verder in de gehoorgang ligt.

Als variabelen vinden we dus:

- a. De kromming van het kanaaltje in het oorstuk.
- b. De diameter van het kanaaltje.
- c. de lengte van het kanaaltje.
- d. De grootte van het daarachter liggend kamertje.

Ad a. *Kromming.*

Uit de literatuur is bekend, dat de kromming van het kanaaltje geen invloed heeft op de vorm van de frequentie-karakteristiek. FILLER, ROSS en WIENER hebben dit in hun onderzoek duidelijk aangetoond.

Ad b. *Diameter.*

De diameter van het kanaaltje is nagegaan door GÜTTNER en STARKE. Zij hebben nl. metingen verricht met een gewijzigd oorstukje. Bij dit oorstukje ontbreekt het pijpje, dat in de uitwendige gehoorgang past. Inplaats daarvan heeft het oorstukje een gat, waar de telefoon precies op past. De geluidsgolven gaan nu dus van de telefoon direct in de vrije uitwendige gehoorgang. Ze noemen dit dan ook een open oorstukje. Door metingen op een kunstoer zonder pijpje vonden ze, dat de frequentie-karakteristiek in de hoge tonen aanmerkelijk verder doorloopt. De diameter van het kanaaltje zou dus zeker invloed moeten hebben op de vorm van de frequentie-karakteristiek.

Zelf hebben we proeven genomen met verschillende diameters van het pijpje op het Amerikaanse gestandaardiseerde kunstoer. Hierbij vonden we een klein verschil in de curves bij een diameter van 2,9 mm en van 3,4 mm en wel zo, dat de frequentie-curve bij de grootste dia-

Fig. 11

Frequentie-karakteristieken bepaald voor 9 normale oren. Er werd gebruik gemaakt van aangemeten oorstukjes, die opzettelijk niet gepolijst werden. Opvallend is in deze karakteristiek de geringe spreiding in de lage tonen; bovendien is de stijging tussen de 250 Hz en de 500 Hz voor alle curves gelijk. In de volgende figuur is de invloed te zien van het polijsten der oorstukjes op de karakteristiek in het lage tonen gebied.

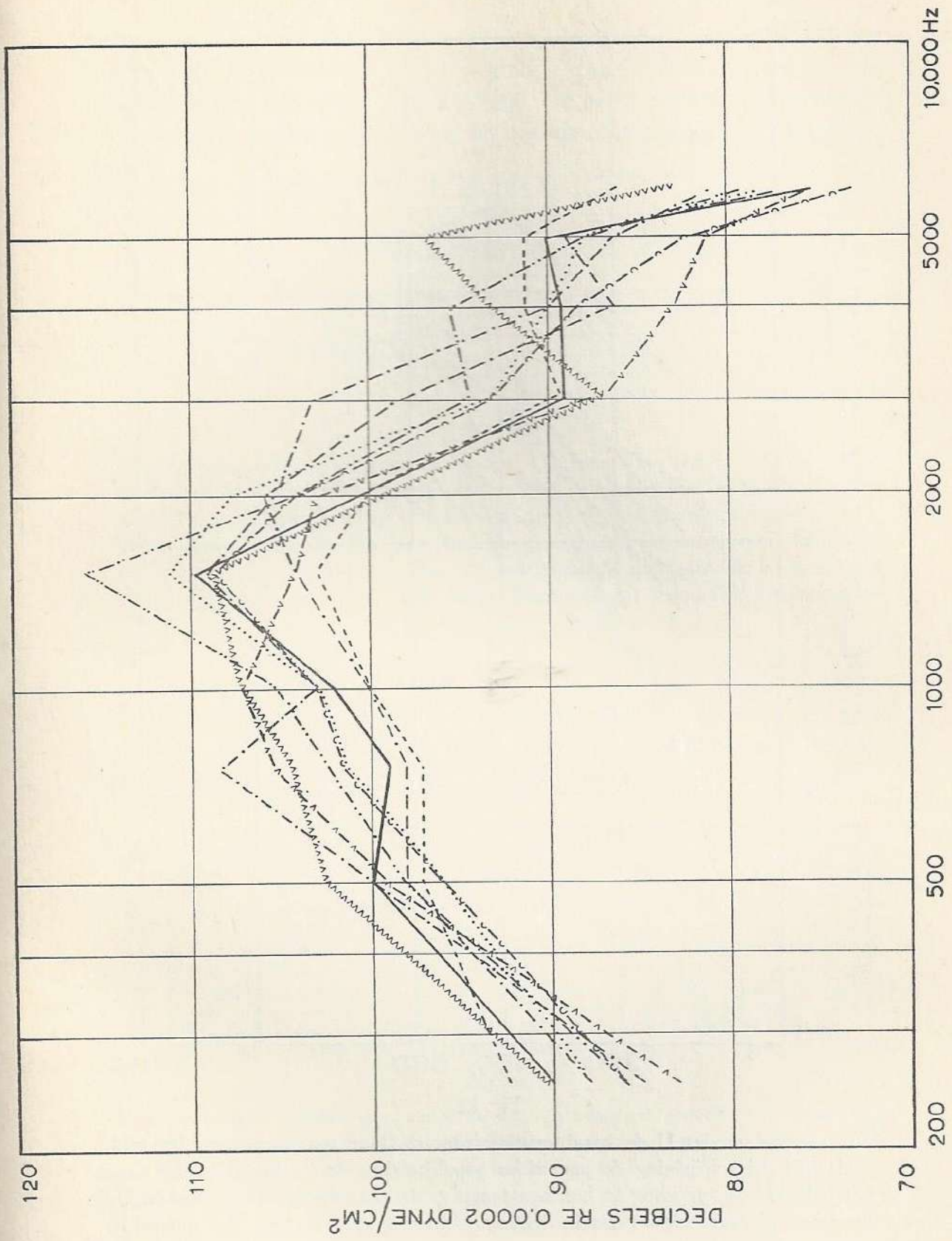


Fig. 11

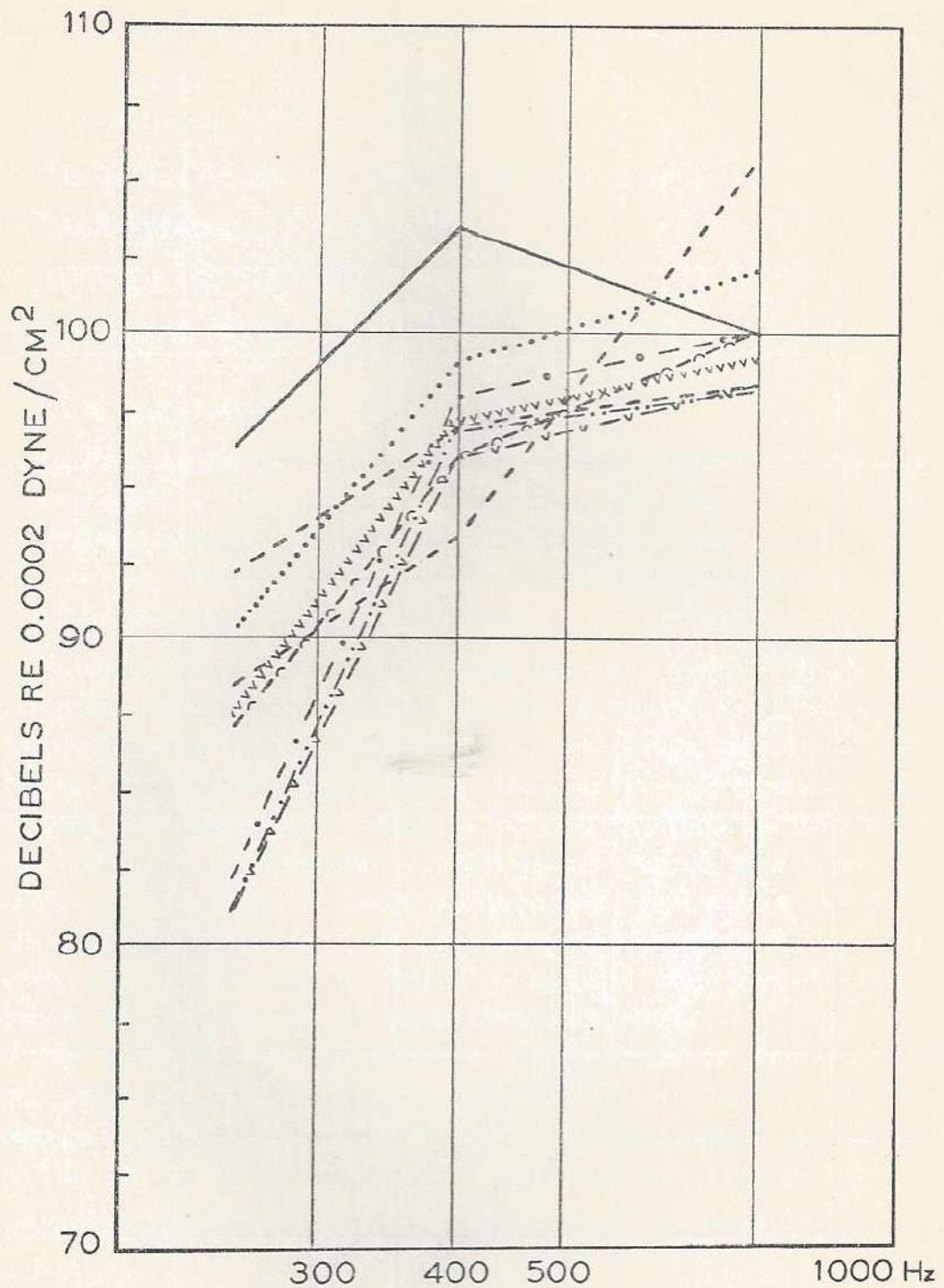


Fig. 12

In deze figuur ziet U de karakteristiek voor de lage tonen opnieuw bepaald, nadat als enige wijziging de oorstukjes gepolijst zijn. Het is duidelijk, dat door het polijsten de spreiding in het lage tonen gebied aanzienlijk groter wordt. De oorzaken hiervan zoeken we in lekkage van het geluid langs het oorstukje.

meter iets verder doorloopt in de hoge tonen (zie fig. 13). Bij het verder vergroten van de diameter is geen duidelijke toeneming van het frequentiebereik in de hoge tonen te constateren. De grote variatie, die GÜTTNER en STARKE bereikten, konden wij bij deze proefnemingen niet verifiëren.

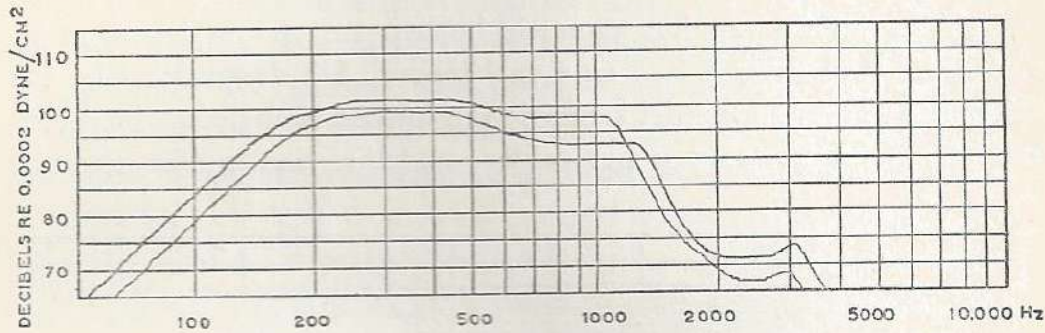


Fig. 13

Twee karakteristieken opgenomen op het kunstoor. Het enige verschil hierbij is, dat de diameter van het pijpje in het kunstoor gewijzigd is. Curve A werd opgenomen met een diameter van 2,9 mm; curve B met één van 3,4 mm.

Uit de figuur blijkt, dat de curve met de grootste diameter het verst doorloopt in de hoge tonen. Bij het nog meer vergroten van de diameter bleek echter, dat dit geen invloed meer had op het verder doorlopen der frequentie-karakteristiek in het hoge tonen gebied.

Ad c. *Lengte van het pijpje.*

We hebben op het kunstoor de karakteristieken opgemeten bij verschillende lengtes van het pijpje. De pijplengte varieerde van 3 cm tot 0,5 cm met steeds 0,5 cm verschil. Uit het resultaat (zie fig. 14) blijkt,

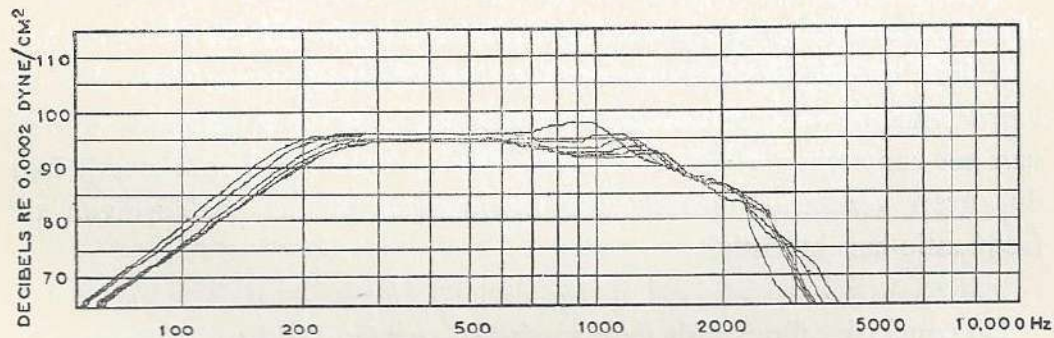


Fig. 14

Frequentie-karakteristieken opgenomen op een kunstoor waarbij de lengte van het pijpje gewijzigd werd. Bij de 6 afgebeelde curves varieerde de pijplengte van 0,5 cm tot 3 cm met steeds 0,5 cm verschil. Het is duidelijk uit de figuur op te maken, dat de lengte van het pijpje geen noemenswaardige invloed heeft op het verloop van de frequentie-karakteristiek.

dat bij kortere pijplengte de curve iets verder doorloopt in de hoge tonen, maar het verschil is zo klein, dat het geen praktische betekenis heeft.

Ad. d. *Grootte van het kamertje.*

Ook de grootte van het kamertje hebben we op het kunstoor gevarieerd, nl. van 1, 1,5, 2, 3 en 4 cm³ inhoud. Uit de grafiek (fig. 15) blijkt, dat de grootte van het kamertje van invloed is op de karakteristiek. Bij nadere beschouwing is het echter duidelijk, dat er hier eigenlijk

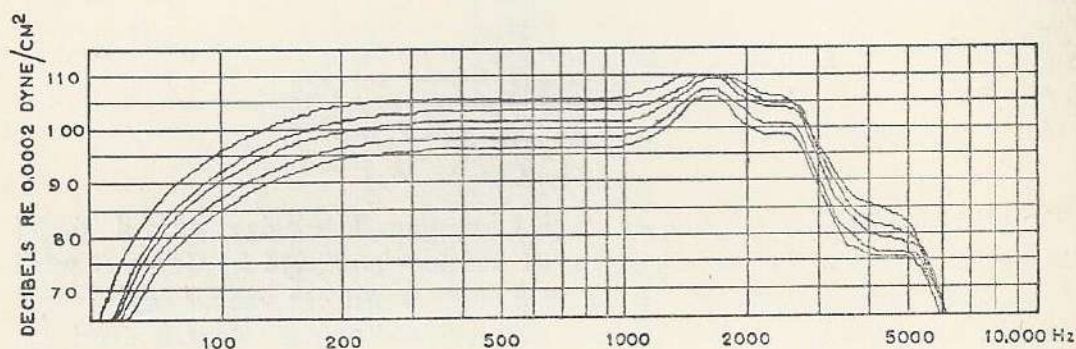


Fig. 15

Frequentie-karakteristiek opgenomen op een kunstoor waarbij de grootte van het kamertje gewijzigd werd. De in de figuur afgebeelde karakteristiek van boven naar beneden gaande opgenomen met een kamergrootte van respectievelijk 1, 1,5, 2, 3 en 4 cc. Uit de figuur blijkt, dat de gevoeligheid groter wordt naar mate de inhoud van het kamertje afneemt: het verder doorlopen in het hoge tonen gebied wordt echter door de grootte van het kamertje niet beïnvloed.

alleen maar sprake is van een intensiteitsverschil. De curves lopen nl. practisch evenwijdig aan elkaar; men kan daarom vaststellen, dat de *vorm* van de frequentie-karakteristiek bij een verschillende grootte van het kamertje niet beïnvloed wordt. De grootte van het kamertje kan dus geen verklaring geven voor afwijkingen in het verloop van de frequentie-karakteristiek.

De conclusie, die we uit deze metingen moeten trekken, is dus dat de bovengenoemde factoren, die berusten op individuele afwijkingen van het oorstukje, de frequentie-karakteristiek niet noemenswaard beïnvloeden. Wij althans hebben dit niet kunnen aantonen.

De spreiding in het hoge gebied moet derhalve uit andere oorzaken verklaard worden. Een aanwijzing hiervoor vonden we in de literatuur.

J. D. HARRIS nl. deed metingen van de geluidsdruk onder een koptelefoon. Hierbij vond hij eveneens een dergelijke spreiding. Bij deze proeven monteerte hij aan de binnenzijde van een koptelefoon zó een microfoontje, dat dit microfoontje precies bij het begin van de uitwendige gehoorgang terecht kwam als de koptelefoon opgezet werd. Met behulp van deze microfoon werd de geluidsdruk onder zo constant mogelijke omstandigheden gemeten. Als resultaat vond hij bij de onderzochte oren een verschil in gevoeligheid variërend van 10 tot 20 db. Hij overweegt of dit veroorzaakt wordt door verschillende impedanties van de trommelvliezen van de onderzochte oren. Consequent spreekt hij dan ook van de geluidsdruk in de uitwendige gehoorgang en van geluidsdruk gevonden in het kunstoar als van verschillende grootheden. Hij adviseert daarom bij elke nieuwe telefoon de karakteristiek op te nemen door middel van meting van de geluidsdruk onder de koptelefoon aan het oor zelf.

De mogelijkheid bestaat, dat ook bij onze proeven de verschillende impedanties van de trommelvliezen een belangrijke rol gespeeld hebben. Helaas ontbrak ons de apparatuur om dat nauwkeurig te bepalen.

Verskil tussen curves met kunstoar en volgens onze methode.

Een heel ander punt, dat we eerder al hebben aangeroord, is de vergelijking van de technisch gemeten frequentie-karakteristiek en die, zoals wij die hebben opgemeten. In fig. 9 ziet U een duidelijk verschil in het verloop van beide curves. Terwijl bij het kunstoar de curve (---) na de 2000 Hz steil naar beneden loopt en boven de 5000 Hz niet meer te meten is, loopt dit — met hetzelfde telefoontje gemeten — bij het menselijk oor (—) veel flauwer af en de karakteristiek begint pas boven de 5000 Hz steil naar beneden af te zakken. Het menselijk oor is dus tussen de 2000 Hz en de 6000 Hz (de bovengrens van onze metingen) aanzienlijk gevoeliger dan het kunstoar.

We hebben ons afgevraagd, wat de reden kan zijn van dit verschil. Het gemakkelijkst is het om te zeggen, dat de fout bij het kunstoar ligt. Dit apparaat is slechts een benadering van het menselijk oor, dat blijkbaar gevoeliger is voor hoge tonen. Aan de andere kant bestaat er een gereede kans, dat het geconstateerde verschil te danken is aan bijkomende factoren bij de proefnemingen; factoren, die bij het kunstoar niet bestaan. We zullen achtereenvolgens nagaan, welke bijkomende factoren hier een rol kunnen spelen:

1. *Mogelijke invloed van de beengeleiding.*
2. *Pistonwerking.*

Ad 1. Het zware metalen kunstoor met zijn trage massa geeft alleen de zuivere luchtgeleiding weer. Het oor daarentegen, waarin het oorstukje goed aangepast tegen het bot van de uitwendige gehoorgang ligt, kan mogelijkerwijze via de beengeleiding beter de hoge tonen horen, dan via de luchtgeleiding. De beengeleiding kan op deze manier de oorzaak zijn van het verder doorlopen van de frequentie-karakteristiek, wanneer deze aan het oor zelf wordt gemeten.

De beengeleiding bij normaal horenden.

Om dit na te gaan, hebben we een serie proeven genomen met het doel alleen de factor van de beengeleiding te bepalen. Daartoe werd een frequentie-karakteristiek alleen van de beengeleidings-component gemeten. De invloed van de luchtgeleiding werd bij deze proeven uitgeschakeld door het kanaaltje, dat door het oorstukje loopt en de luchttrillingen van het telefoontje naar het trommelvlies voert, met was dicht te smeren. Het oorstukje fungeert nu als een beengeleidings oscillator, die in dit geval niet zoals gewoonlijk op het mastoid geplaatst is, maar passend drukt tegen het bot van de uitwendige gehoorgang. Voordat we nu gingen meten, hebben we nog een verandering aan het oorstukje aangebracht.

Dit is nodig, om straks de resultaten van de meting met die van de luchtgeleiding te mogen vergelijken. Bij de drempelwaarde-metingen van de luchtgeleiding bestaat er namelijk een resonantie-ruimte van een bepaalde vorm en afmeting, die ook in het kunstoor wordt geïmiteerd en die gevormd wordt door het kanaaltje in het oorstukje en de luchthoudende ruimte tussen oorstukje en trommelvlies. Wanneer we nu het kanaaltje van het oorstukje met was dichtsmeren, dan is deze resonantie-ruimte verdwenen en bestaat het gevaar, dat de frequentie-karakteristiek hierdoor gewijzigd wordt. Om dit te onderwerpen werd er aan het oorstukje een nieuwe resonantie-ruimte gemaakt. Deze nieuwe resonantie-ruimte bestond uit een holle metalen cylinder, ongeveer ter grootte van de ruimte in de uitwendige gehoorgang tussen het aangemeten oorstukje en het trommelvlies. De holle cylinder heeft aan één kant een opening, waaraan een plastic slangetje verbonden is. Dit geheel staat via een nieuw geboord kanaaltje in ver-

binding met de ruimte in het oorstukje vlak achter de aansluiting van de telefoon. Wanneer het zo gewijzigde oorstukje in het oor zit, dan bungelt dus dit metalen cylindertje aan het plastic slangetje aan de buitenkant erbij. Door deze verandering hebben we een nieuwe resonantie gekregen, die vergelijkbaar is met die van de luchtgeleiding en als pendant van het kunstoor is te beschouwen. In fig. 16 zijn de veranderingen in een schema aangegeven. Met deze veranderde oorstukjes werd bij 10 oren de karakteristiek opnieuw gemeten.

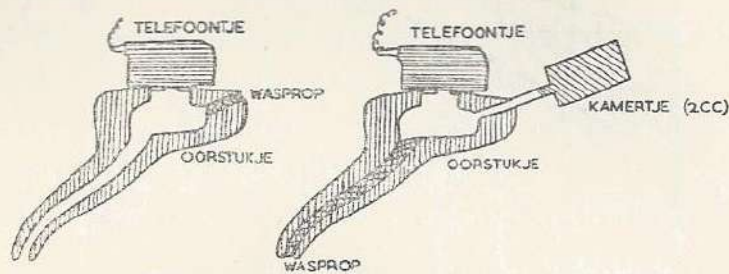


Fig. 16

Schema van een normaal aangemeten oorstukje en daarnaast dat van een door ons gewijzigd oorstukje om de beengeleiding te meten. Het kanaaltje, dat de luchttrillingen van het telefoontje naar het trommelvlies voert is met was afgesloten, zodat alleen de trillingen van het gehele oorstukje via het bot van de uitwendige gehoorgang de cochlea kunnen bereiken. Om de eventuele invloed van de veranderde resonantie-ruimte, ontstaan door het dichtstoppen van het kanaaltje, te vermijden, werd een nieuwe resonantie-ruimte gevormd door een hol cylindertje met een plastic slangetje aan het oorstukje te verbinden. Op deze wijze kon de invloed van de beengeleiding bepaald worden en vergeleken worden met de invloed van de luchtgeleiding, waarvan de karakteristiek met het normale oorstukje werd bepaald.

In de bijgaande fig. 17 zijn de resultaten van deze proeven in een curve weergegeven. In de grafiek zijn zowel de karakteristieken van de luchtgeleiding als die van de beengeleiding aangegeven. Hieruit blijkt zonneklaar, dat de karakteristiek van de beengeleiding op geen stukken na die van de luchtgeleiding bereikt.

Wanneer het juist was, dat bij de gewoon opgemeten karakteristieken de winst in de hoge tonen veroorzaakt werd door de beengeleiding, dan moest in deze zone de beengeleiding gevoeliger zijn dan de luchtgeleiding. Het dichtstoppen van het kanaaltje in het oorstukje zou dan ook niet het minste effect mogen hebben. Uit de resultaten van onze proeven die in fig. 17 in curve zijn gebracht, blijkt echter duidelijk,

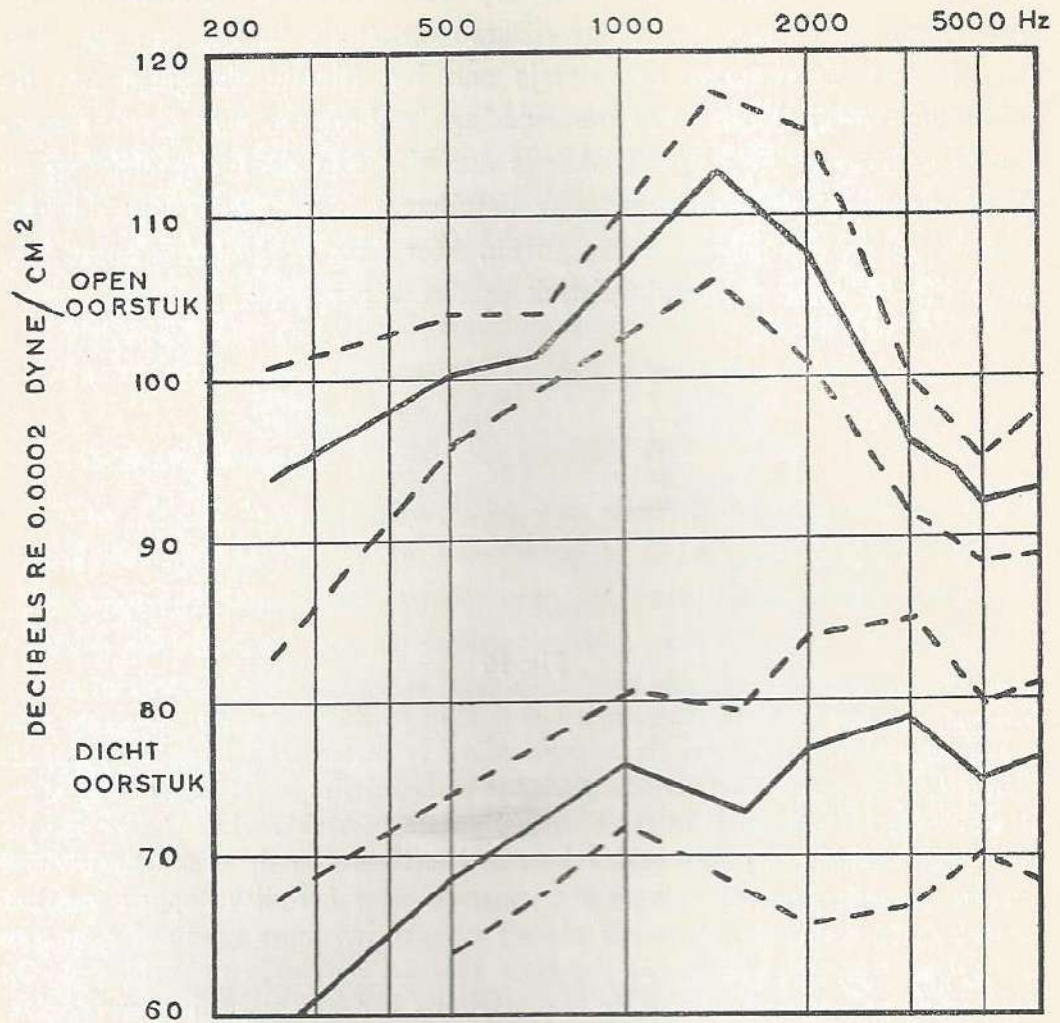


Fig. 17

Grafiek van frequentie-karakteristieken opgenomen bij 10 normale oren met aangemeten oorstukjes. De bovenste 3 lijnen betreffen metingen met ongewijzigd oorstukje, waarbij het kanaaltje in het oorstukje normaal open is en de luchtgeleiding gemeten werd; de onderste 3 lijnen betreffen metingen waarbij het kanaaltje in het oorstukje met was dichtgestopt werd, en dus de beengeleiding gemeten werd. De doorlopende lijnen geven de karakteristieken weer van het gemiddelde der 10 gemeten oren, de bovenste van de luchtgeleiding, de onderste van de beengeleiding. De stippellijnen er omheen geven de gevonden spreiding aan. Uit de grafiek blijkt, dat de luchtgeleiding aanzienlijk gevoeliger is dan de beengeleiding in het gehele frequentie-gebied. De rol van de beengeleiding bij het tot stand komen van de normale frequentie-karakteristiek is dus te verwaarlozen.

dat er ook in de hoge tonen wel degelijk verlies ontstaat door het dichtstoppen van het kanaaltje in het oorstukje. We kunnen derhalve wel aannemen, dat de luchtgeleiding ook in het hoge tonen gebied gevoeliger is dan de beengeleiding. Het is dan ook niet waarschijnlijk, dat het verschil in de hoge tonen tussen de technische meting en de meting aan het oor zelf berust op een invloed van de beengeleiding.

Beengeleiding bij een geleidings-slechthorende.

Uit de zojuist beschreven proeven was gebleken, dat de beengeleiding geen invloed uitoefent op de frequentie-karakteristiek bij normaal horenden. Wij hebben ons afgevraagd of hetzelfde ook gezegd mag worden van mensen met een geleidingshardhorendheid. Om een antwoord op deze vraag te krijgen hebben we de proeven herhaald bij iemand met

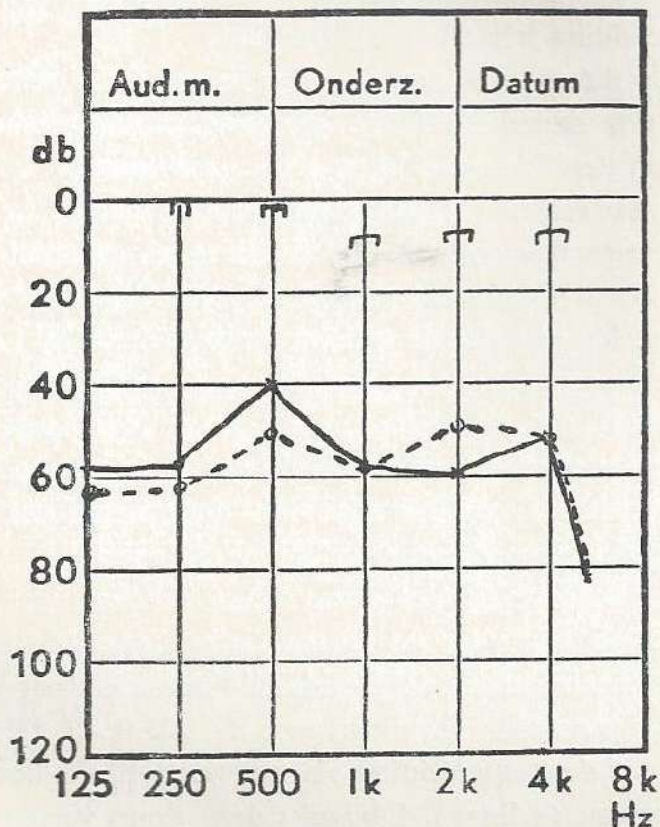


Fig. 18

Audiogram van een patiënt met een zuivere geleidingshardhorendheid. Bij deze patiënt werd aan beide oren het gehoor gemeten ter bepaling van de frequentie-karakteristiek om uit te maken of de beengeleiding bij dergelijke patiënten gevoeliger is voor het met het hoorapparaat toegevoerde geluid dan de luchtgeleiding.

een zuivere geleidingshardhorendheid. We waren zo gelukkig hiervoor een intelligente proefpersoon te vinden, die aan beide oren ongeveer 40 db verlies vertoonde van de luchtgeleiding, terwijl de beengeleiding normaal was. Het audiogram van deze patiënt is afgebeeld in fig. 18. Bij deze man werd na aanmeten van een oorstukje de frequentie-karakteristiek op de eerder beschreven manier bepaald. Hierna werd het oorstukje op dezelfde manier gewijzigd, door het kanaaltje in het oorstukje met was dicht te stoppen, terwijl de resonantie-ruimte behouden bleef door gebruik te maken van het boven beschreven holle cylindertje, dat met een plastic slangetje verbonden was met het oorstukje.

Als resultaat van deze metingen bleek, dat ook hier het dicht stoppen van het kanaaltje in het oorstuk nog een flink verlies in de gevoeligheid tot gevolg heeft. Ook hier blijkt dus, dat de beengeleidings-karakteristiek zelfs bij een geleidingshardhorende niet het niveau van de karakteristiek van de luchtgeleiding heeft kunnen bereiken.

In fig. 19 is dit in een curve weergegeven. Deze proefneming bij iemand met een dergelijke flinke geleidingshardhorendheid is meer overtuigend dan dezelfde proef bij een normaal horende. Men zou hier-teen kunnen aanvoeren, dat dit geen verschil maakt; immers bij de bepaling van onze frequentie-karakteristiek gaan we niet uit van de wisselende gehoordrempels van onze proefpersonen, maar van een van tevoren vastgestelde gemiddelde gehoordrempel. Zoals bij al onze proefpersonen werd dus ook bij deze slechthorende het drempelaudiogram, gemeten met de P.D.R. 10 telefoon, naar de gemiddelde gehoordrempel gecorrigeerd; zo speelt het verlies van 40 db in de luchtgeleiding in de berekeningen geen rol meer, omdat het door herleiding tot de gemiddelde normale gehoordrempel geëlimineerd werd.

Toch is deze redenering niet waar, want behalve voor de luchtgeleiding hebben we ook voor de beengeleiding éézelfde correctie toegepast, nl. het verschil tussen de gemiddelde normale drempelwaarde en de luchtgeleidingswaarden gevonden met de P.D.R.-10 telefoon.

Hierdoor komt de beengeleiding als het ware 40 db boven de 0-lijn van het audiogram te liggen. Ondanks deze grote voorsprong van de beengeleiding blijkt toch uit het resultaat zoals aangegeven is in fig. 19 dat de luchtgeleiding nog steeds het meest gevoelig is. Dus bij een voorsprong van 40 db voor de beengeleiding wint de luchtgeleiding het nog steeds. Hieruit blijkt duidelijk, dat de beengeleiding minstens 40 db minder gevoelig is dan de luchtgeleiding in het gehele frequentie-gebied.

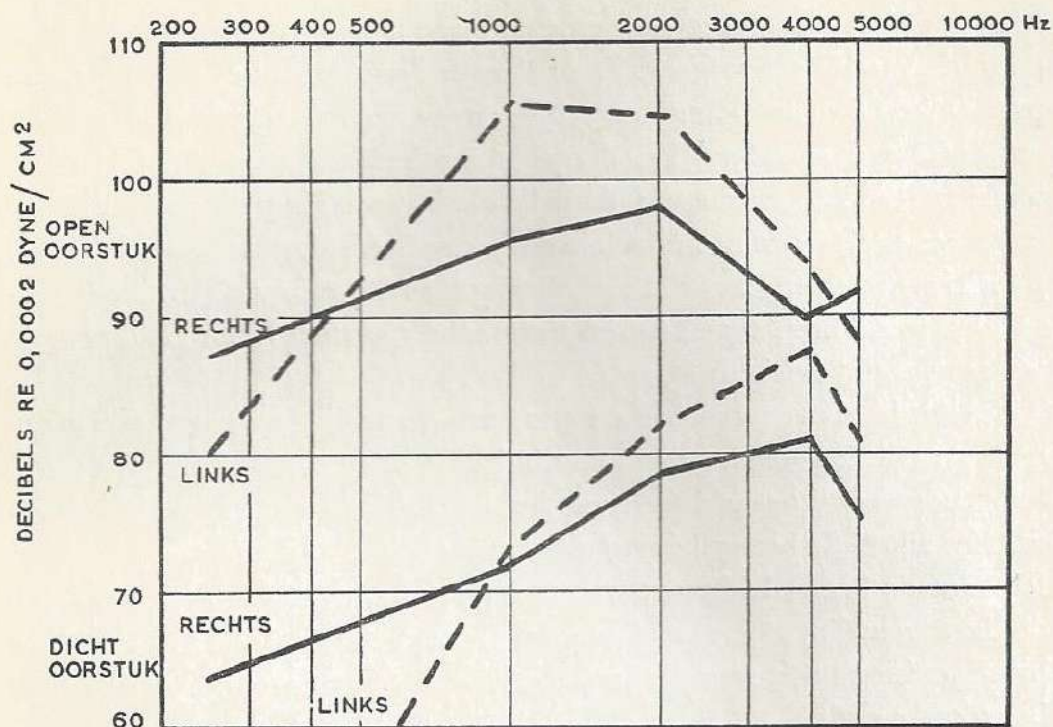


Fig. 19

In deze figuur zijn de frequentie-karakteristieken afgebeeld van twee oren met een zuivere geleidingshardhorendheid. Het drempel-audiogram ziet U in de vorige figuur. De ononderbroken lijnen geven de metingen aan van het rechter oor, de stippellijnen die van het linker oor. De bovenste twee lijnen zijn afkomstig van metingen met een onveranderd oorstukje, terwijl de onderste twee lijnen de karakteristieken weergeven opgenomen met dichtgestopt kanaaltje van het oorstukje en voorzien van hol cylindertje met een plastic slangetje. De bovenste twee curves geven de karakteristieken van de luchtgeleiding plus eventuele beengeleiding, terwijl de onderste twee alleen die van de beengeleiding weergeven. Uit de grafiek blijkt duidelijk, dat ook bij een flinke geleidingshardhorendheid de luchtgeleiding nog steeds gevoeliger is dan de beengeleiding.

Het is dan ook uitgesloten, dat de beengeleiding de oorzaak is van het verschil in de gevoeligheid in de hoge zone tussen de technisch gemeten karakteristiek en die van het oor zelf.

Ad 2. Mogelijke pistonwerking.

Behalve de invloed van de beengeleiding hebben we nog een mogelijkheid overwogen om een verklaring te vinden voor het gevonden verschil in de hoge tonen. De mogelijkheid bestaat namelijk, dat de trillingen van het membraan van het hoorapparaten-telefoontje het ge-

hele telefoontje met het aangemeten oorstukje in trilling brengen ten opzichte van de gehoorgang. Door deze trilling werkt het oorstukje, dat precies in de gehoorgang past, op een overeenkomstige wijze als een zuiger in een cylinder. Een dergelijk mechanisme noemt men pistonwerking. Bestaan er nu een dergelijke pistonwerking en geeft dit een extra versterking van de geluidstrillingen? Als het antwoord hierop positief zou luiden, zou dit een verklaring zijn voor de gevonden verschillen in de hoge tonen tussen technische meetmethoden en die, zoals wij ze verricht hebben.

Uit de hierboven beschreven proeven, waarbij de beengeleiding gemeten werd, krijgen we reeds een indruk van een mogelijke pistonwerking. Immers bij het afsluiten van het kanaaltje in het oorstukje hielden we niet alleen de beengeleiding over, maar ook de pistonwerking. Uit het feit, dat de beengeleidingscurve op een veel lager niveau verloopt dan de luchtgeleidingscurve mogen we al aannemen, dat een mogelijke pistonwerking nooit zoveel effect zal hebben, dat de luchtgeleidingscurve beïnvloed wordt.

Om een beeld te krijgen van de invloed enkel en alleen van de mogelijke pistonwerking werd een tweede serie proeven gedaan.

Hierbij hebben we gebruik gemaakt van een flexibele verbinding tussen telefoontje en oorstukje. Iets dergelijks bestaat reeds lang in de handel onder de naam van Charmofoon. Zo'n charmofoon bestaat uit een oorstukje vervaardigd uit doorzichtig plastic materiaal, dat zo weinig mogelijk de gehoorschelp bedekt en dat met een buigzaam plastic slangetje verbonden is met het telefoontje van het hoorapparaat. De verbinding tussen telefoontje en plastic slangetje wordt bewerkstelligd door een eenvoudig dopje, dat vast verbonden is met het slangetje en dat een ringetje van metaal bevat, waarmee het op het telefoontje gedrukt kan worden. De bedoeling van deze uitvoering is te camoufleren, dat de eigenaar een hoorapparaat draagt en dus slechthorend is. Vandaar dan ook de naam charmofoon, waarmee men blijkbaar bedoelt een instrument, dat de charmes van de drager niet in slechte zin beïnvloed. Velen voelen zich nl. door het zichtbaar dragen van het hoorapparaten-telefoontje minderwaardig. Een feit is, dat door het gebruiken van een charmofoon het pas bij scherp opletten mogelijk is een drager van een hoorapparaat te herkennen. Immers, het ringvormige doorzichtige oorstukje is bijna geheel weggemoffeld in de plooiën van de oorschelp, terwijl het plastic slangetje over de oorschelp naar achteren

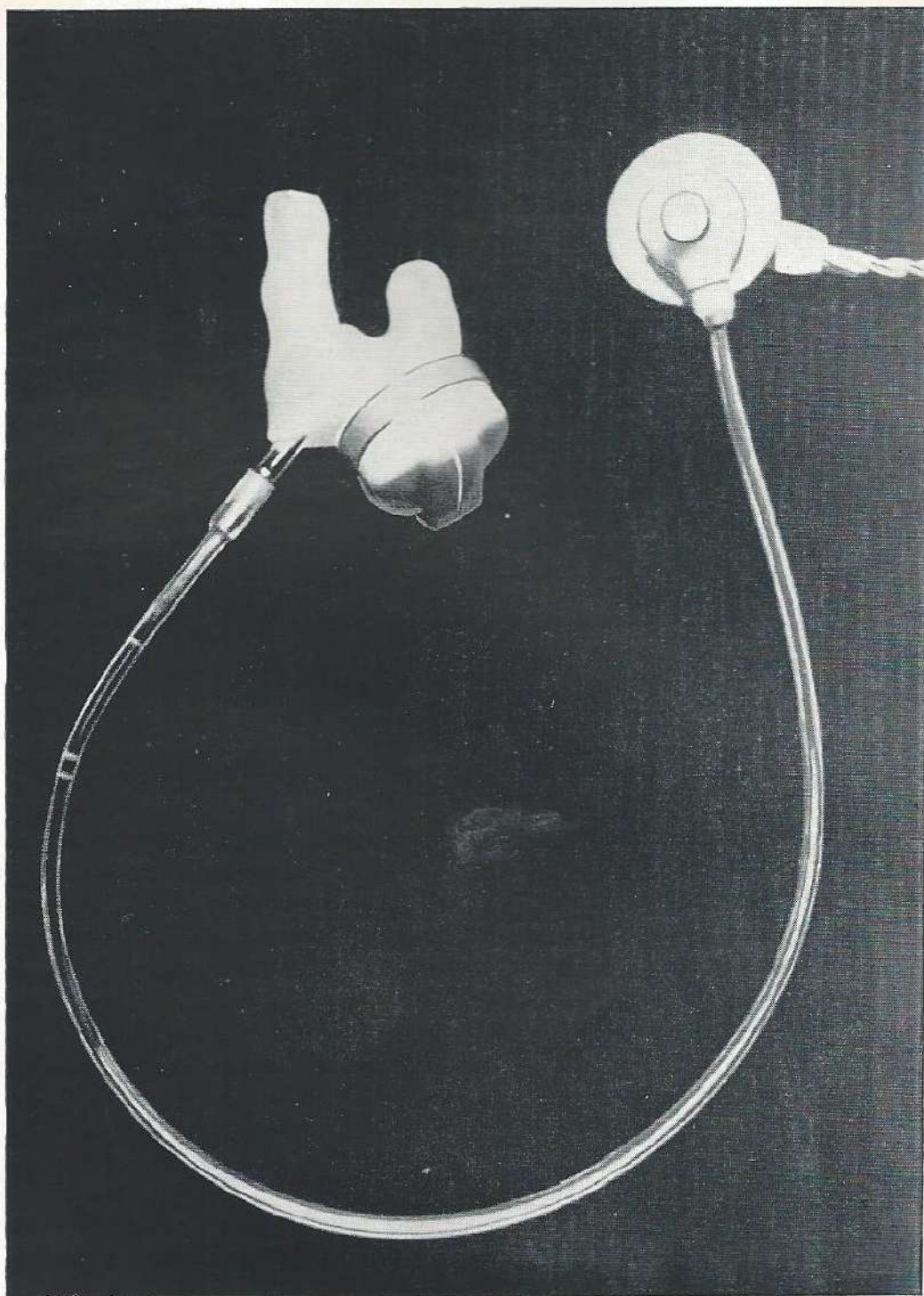


Fig. 20

Afbeelding van de door ons gebruikte gewijzigde charmofoon. Er werd een normaal oorstukje voor gebruikt met een extra opening waarmee het plastic slantje verbonden werd. De normale opening in het oorstukje doet hier geen dienst en is afgesloten. Voor deze afsluiting werd een hoorapparaten-telefoontje gebruikt, dat verder geen dienst doet.

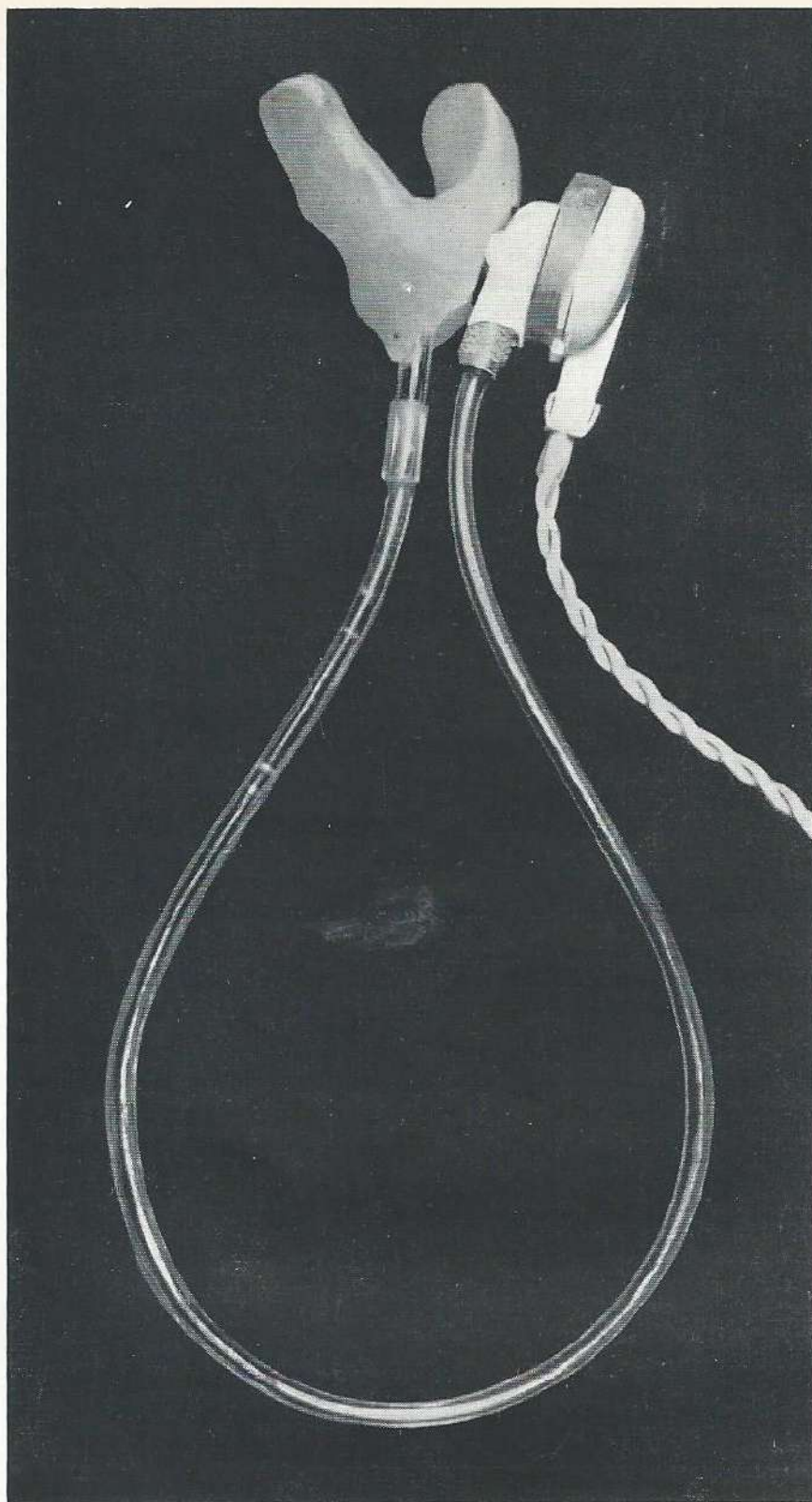


Fig. 22

Afbeelding van dezelfde gewijzigde charmofoon.

Nu is de telefoon via het oordopje met het oorstukje verbonden. Daar er in het dopje echter geen opening zit moet het geluid via de luchtgeleiding zijn weg nemen door het slangetje. Wanneer het gehele telefoontje trilt, dan kunnen deze trillingen via het dopje ook het oorstukje bereiken. Op deze manier is dus een pistonwerking mogelijk, iets wat in de situatie afgebeeld op de vorige foto niet mogelijk was.

verdwijnt om naar beneden onder de kleren te verdwijnen en daar verbonden te worden met het telefoontje.

Voor ons doel is een dergelijke charmofoon geschikt, omdat het flexibele slangetje een pistonwerking op het trommelvlies, veroorzaakt door de trillingen van het telefoontje, onmogelijk maakt. Voor de proefnemingen hebben we dan ook niet de normale uitvoering gekozen, maar een modificatie van het gewone oorstukje. Dit is gedaan, omdat we eerst de karakteristiek op de gewone reeds beschreven manier wilden opnemen, en bij de tweede meting, nu dus zonder een mogelijke pistonwerking, hetzelfde oorstukje wilden gebruiken. Zodoende worden variaties, ontstaan door het gebruik van twee aparte oorstukjes, vermeden. Na de eerste meting, waarbij de frequentie-karakteristiek met ongewijzigd oorstukje werd bepaald, werd in het oorstukje een zijkanaaltje geboord, dat uitmondt in het al aanwezige kanaal in het oorstukje. Aan de uitmonding van dit zijkanaaltje werd een flexibel plastic slangetje verbonden, dat evenals bij de normale charmofoon met een dopje op de telefoon gedrukt kon worden. Het oorspronkelijke kanaal in het oorstukje moest van de buitenwereld worden afgesloten, om ongewenste lekkage van het geluid naar buiten te verhinderen. Deze afsluiting werd verkregen door in de oorspronkelijke opening in het oorstukje een los telefoontje te drukken. Dit telefoontje doet verder geen dienst, maar dient alleen ter afsluiting. In fig. 20 ziet U de charmofoon met de wijzigingen, zoals we die aangebracht hebben, afgebeeld.

Met deze „charmofoon” werd opnieuw de frequentie-karakteristiek gemeten. Het resultaat hiervan ziet U in de figuren 21 en 23. Curve A is de frequentie-karakteristiek met ongewijzigd oorstukje; Curve B die met de door ons geconstrueerde „charmofoon”. Uit de figuur is duidelijk te constateren, dat door het gebruik van een flexibel slangetje, dus van een charmofoon een duidelijk energieverlies optreedt; dit energieverlies is niet gelijkmatig over het gehele frequentie-gebied verdeeld, maar vooral uitgesproken in het hoge tonen gebied. In totaal werden bij 4 oren deze twee karakteristieken opgenomen en allen toonden hetzelfde beeld.

Uit de curves A en B kunnen we alleen concluderen, dat dit gebruik van een charmofoon een vermindering van de geluidsversterking geeft, die het sterkst is uitgesproken in het hoge tonen gebied. We weten echter nog niet of dit verlies in de hoge tonen het gevolg is van het wegvallen van de pistonwerking of van de geluiddempende invloed

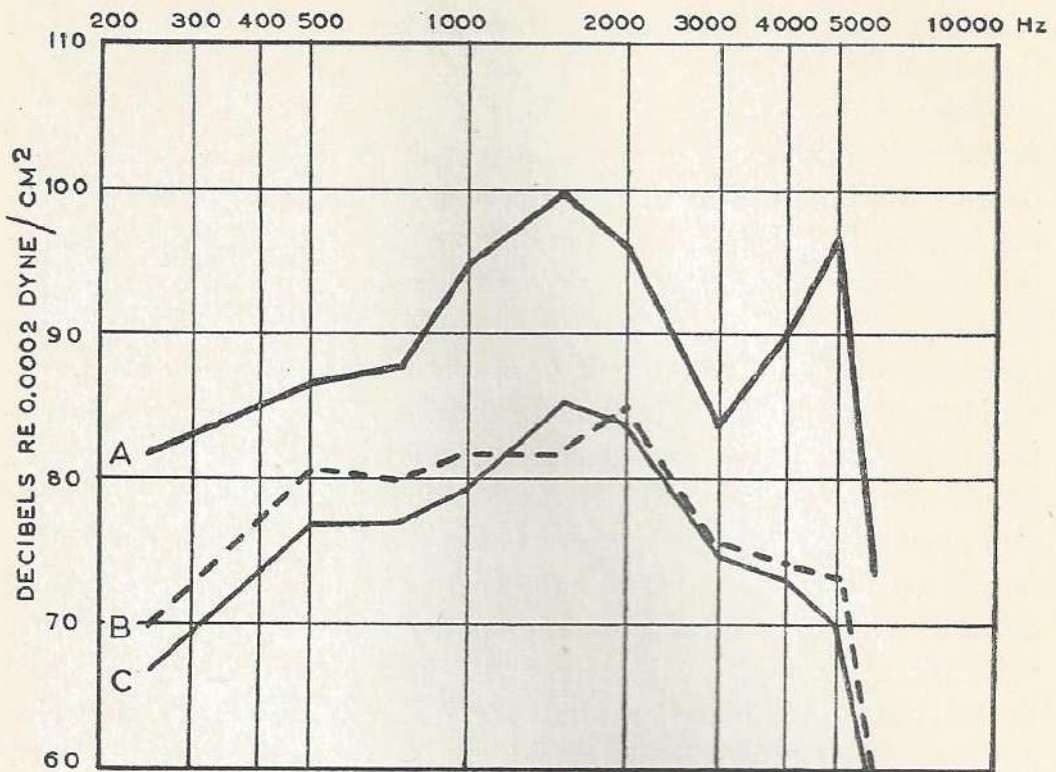


Fig. 21

In deze figuur zijn drie frequentie-karakteristieken aangegeven, waarbij de oorstukjes steeds veranderd werden. De overige apparatuur en de proefpersoon waren dezelfde. Curve A is de karakteristiek, die ontstaat met een gewoon aangemeten oorstukje, dat niet gepolijst werd. Curve B is de karakteristiek met behulp van de door ons geconstrueerde charmofoon; terwijl curve C de karakteristiek aangeeft, die ontstaat als het oorstukje op zo'n manier gebruikt wordt, dat de luchttrillingen van de telefoonmembraan via het slangetje van de charmofoon het oorstukje moeten bereiken, terwijl het trillen van de telefoon in zijn geheel direct op het oorstukje kan worden overgebracht.

De bedoeling van deze proef is om na te gaan of pistonwerking invloed heeft op de luchtgeleiding. U ziet, dat curve B — charmofoon zonder pistonwerking — zeer weinig verschilt van curve C — charmofoon + pistonwerking —, zeker in de hoge tonen. Een invloed van mogelijke pistonwerking op de normale frequentie-karakteristiek — curve A — is op grond hiervan niet aan te nemen.

van het plastic slangetje. Om hier achter te komen hebben we nog een serie proefnemingen genomen, waarbij het dopje, dat met de telefoon is verbonden, aan de andere kant doormiddel van eenzelfde drukknop systeem met het oorstukje direct verbonden werd. Zie fig. 22. Op deze wijze werd het geluid wat de luchtgeleiding betreft door het flexibele plastic slangetje gevoerd, terwijl een pistonwerking door recht-

streeks contact van het telefoontje via het tussenliggende dopje met het oorstukje mogelijk was. Met een bevestiging op deze manier werd opnieuw de frequentie-karakteristiek gemeten. Het resultaat ervan ziet U in de reeds eerder genoemde fig. 21 en 23 als curve C aangegeven. Uit het verloop van deze curve blijkt, dat er geen essentieel verschil bestaat tussen deze curve en curve B, waarbij geen rechtstreeks contact tussen telefoon en oorstukje bestond.

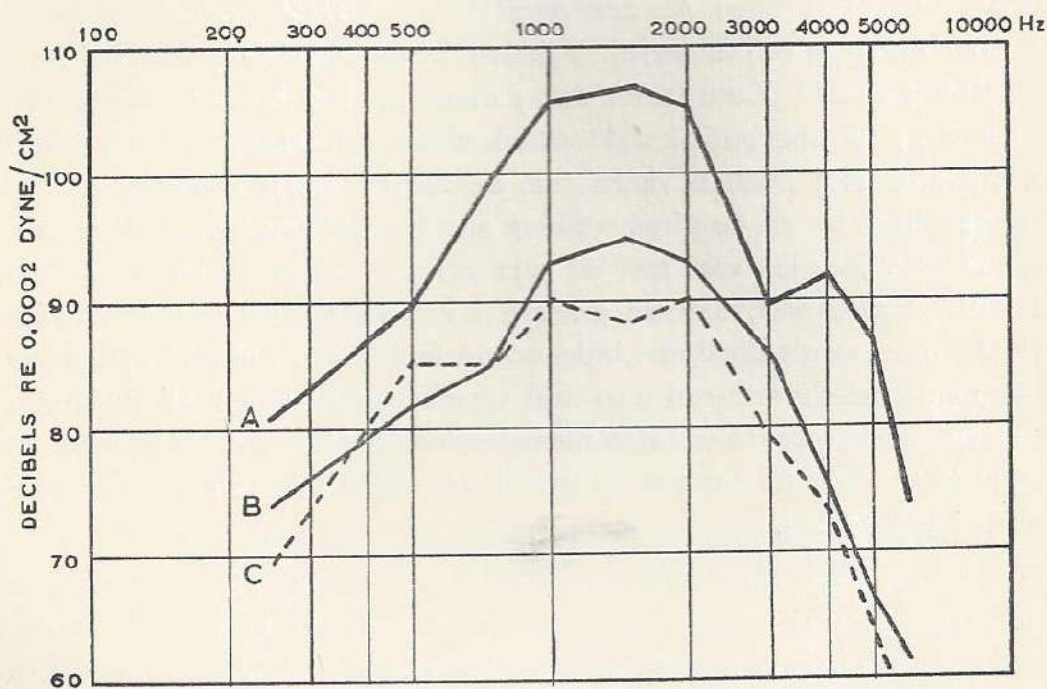


Fig. 23

Dezelfde frequentie-karakteristieken als in de vorige figuur zijn hier bij een ander oor opgenomen. Ook hier blijkt weer, dat de curves B en C van de charmofoon (resp. zonder mogelijkheid van pistonwerking en met deze mogelijkheid) elkaar zeer weinig ontlopen. Een invloed van betekenis kan men de pistonwerking derhalve niet toeschrijven. Op de karakteristiek met het normale oorstukje (curve A) is zeker geen invloed mogelijk, daar deze nog veel gevoeliger is.

Daar er in het geval van de „kortgesloten” charmofoon, zoals ik de laatste proef zou willen noemen (curve C), geen enkele belemmering bestaat voor het optreden van een pistonwerking en in de curve geen enkele verbetering voor de hoge tonen te bespeuren is, ligt de conclusie voor de hand: Pistonwerking heeft geen invloed op de geluidsversterking. Hieruit vloeit voort, dat het verder doorlopen der frequentie-karakteristieken in het hoge tonen gebied, zoals wij dat gevonden hebben

bij vergelijking met de technische meetmethoden, niet veroorzaakt kan worden door een pistonwerking.

Op grond van de zojuist beschreven proefnemingen kunnen we concluderen, dat zowel beengeleiding als mogelijke pistonwerking geen invloed uitoefenen op de frequentie-karakteristiek, wanneer deze aan het oor zelf wordt bepaald. Het verder doorlopen van de frequentie-karakteristiek in de hoge tonen, zoals wij dat gevonden hebben, moet dus een andere oorzaak hebben. Als deze oorzaak in het oor zelf zou zijn gelegen, dan moet er nog een factor zijn behalve de luchtgeleiding, beengeleiding en pistonwerking. Deze factor zou dan speciaal in de hoge tonen zijn invloed op de frequentie-karakteristiek uitoefenen. Een dergelijke factor hebben we niet kunnen vinden en we menen, dat na eliminatie van de beengeleiding en de pistonwerking aan het oor geen variabelen meer aanwezig zijn, die van invloed zijn op de frequentie-karakteristiek. Hieruit vloeit voort, dat het gevonden verschil in de hoge tonen niet veroorzaakt wordt door een bijkomende factor van het oor zelf, maar dat hier sprake is van een essentieel verschil tussen de gevoeligheid van het oor en het kunstoor. Het menselijk oor is dus gevoeliger voor de hoge tonen dan tot nu toe op grond van metingen aan het kunstoor werd aangenomen.

CONCLUSIES

Op grond van de resultaten verkregen door onze proefnemingen kunnen we de volgende conclusies trekken:

1e. De frequentie-karakteristiek, op de gebruikelijke manier technisch gemeten, komt in de hoge tonen niet overeen met de frequentie-karakteristiek, zoals het oor deze waarneemt. Het blijkt, dat het oor in de hoge tonen gevoeliger is dan metingen aan het kunstoor aangeven. Deze conclusie wordt gerechtvaardigd, doordat het ons niet gelukt is naast de luchtgeleiding bijkomende factoren bij het oor aan te wijzen, waardoor het verder doorlopen van de frequentie-karakteristiek aan het oor zelf opgemeten verklaard kon worden. Het gevonden verschil in de frequentie-karakteristiek afhankelijk van de gevolgde meetmethode moet dus veroorzaakt worden door een essentieel verschil tussen oor en kunstoor.

2e. Voor experimenten, dienende tot het verkrijgen van telefoontjes met verder doorlopende karakteristieken dient men geen gebruik te maken van het kunstoor. Daar uit de eerste conclusie blijkt, dat het kunstoor in het hoge tonen gebied een onvoldoende weergave geeft van de karakteristiek van het telefoontje, spreekt het vanzelf, dat voor het verkrijgen van telefoontjes met verder doorlopende karakteristiek het gebruik van het kunstoor onjuiste gegevens verschaft.

3e. Ter vermindering van spreiding in het lage tonen gebied mag het oorstukje niet gepolijst worden. Uit onze experimenten is gebleken, dat door het gebruik van gepolijste aangemeten oorstukjes een ontoelaatbare spreiding ontstaat in de frequentie-karakteristieken. Deze spreiding is deels het gevolg van lekkage van het geluid tussen oorstukje en gehoorgang naar buiten. Eveneens is gebleken, dat deze spreiding tot redelijke proporties wordt teruggebracht, wanneer men gebruik maakt van ongepolijste aangemeten oorstukjes.

4e. De afkeurnormen voor een hoorapparaten-telefoontje behoeven door de fabriek niet gesteld te worden binnen een grens van 10 à 15 db.

Bij onze metingen is gebleken, dat de frequentie-karakteristiek van het telefoontje voor elk individueel oor verschilt. Deze verschillen zijn vooral groot in het gebied van de hoge tonen. Ondanks vele maatregelen om alle variabelen afkomstig van het oor uit te sluiten, blijven deze verschillen bestaan. Daar deze verschillen variëren van 10 tot 20 db heeft het weinig zin bij de fabricage van hoorapparaten-telefoons een variatie van slechts enkele db's tussen verschillende telefoons te tolereren, zolang de huidige techniek van aanpassing van hoorapparaten blijft bestaan.

5e. Het bijleveren van een frequentie-karakteristiek heeft voor het aanpassen van een hoorapparaat slechts betrekkelijke waarde. Uit de onder punt 4 beschreven feiten en de onder punt 1 beschreven verschillen is af te leiden, dat de gepubliceerde frequentie-karakteristiek slechts in zeer geringe mate zal overeenkomen met het versterkingspatroon, dat de patiënt door middel van het aan te passen hoorapparaat zal ontvangen.

6e. Het gebruik van charmofoons kan in het algemeen niet worden aangeraden.

Bij meting van de frequentie-karakteristiek met behulp van charmofoons is gebleken, dat door dit gebruik energieverlies ontstaat, dat zich in de hoge tonen het sterkst doet gelden. Bij slechthorenden, die over de gehele linie versterking nodig hebben, is het gebruik van de charmfoon dus niet te adviseren. Bij recruitment daarentegen kan behalve door uitsnijding der hoge tonen ook door het gebruik van een charmfoon een vermindering der versterking in het hoge tonen gebied bereikt worden.

HOOFDSTUK VIII

SAMENVATTING

Het onderzoek in dit proefschrift beschreven, heeft tot doel na te gaan of de bepaling van de frequentie-karakteristiek van hoorapparaten met behulp van het kunstoor, overeenkomt met de werkelijkheid van het oor zelf. Hiertoe werd bij een reeks proefpersonen de karakteristiek van de telefoon gemeten aan het oor zelf, waarbij steeds gebruik gemaakt werd van aangemeten oorstukjes. Al onze metingen werden verricht met behulp van drempelwaarden.

Voordat er gebruik gemaakt mocht worden van het oor als instrument om een telefoontje te meten moesten eerst de variabelen van het oor uitgeschakeld worden. Deze variabelen zijn:

1. Individuele verschillen in de gehoorscherptheit bij de verschillende proefpersonen.
2. Wisselingen in de gehoorscherptheit bij hetzelfde proefpersoon.

Deze variabelen hebben we als volgt uitgesloten:

Ad. 1. De verschillen in gehoorscherptheit bij de proefpersonen worden geëlimineerd door met een P.D.R.-10 telefoon de drempelwaarde van het gehoor van de proefpersoon te bepalen en deze te vergelijken met de gemiddelde drempelwaarde van het normale oor.

Deze gemiddelde drempelwaarde werd verkregen door bij 25 oren van normaalhorenden de drempelwaarde te bepalen en hiervan het gemiddelde te nemen.

Na meting met de P.D.R.-10 telefoon wordt nu de belangrijkste bepaling verricht nl. die met aangemeten oorstukje en hoorapparaten telefoontje.

De uitkomsten van deze tweede meting kunnen nu gecorrigeerd worden naar de gemiddelde drempelwaarde, door de met de P.D.R.-10 telefoon gevonden afwijkingen van dit gemiddelde hierin te verwerken.

Ad 2. De verschillen in gehoorscherptheit bij hetzelfde proefpersoon, ontstaan door afleiding, aandachtswisselingen etc., werden zoveel mogelijk

tegengegaan door de proefpersoon alleen in de geluidsarme kamer te plaatsen, met als enige communicatie-mogelijkheid een aantal signaal-lampjes; bovendien werd elke meting in vijfvoud verricht om zo nauwkeurig mogelijk de gemiddelde drempelwaarde vast te leggen.

Bovendien moest er aan twee voorwaarden voldaan worden nl.:

- A. Herleiding van de gevonden waarden tot een vast energie-niveau.
- B. Uitschakeling van andere factoren dan de luchtgeleiding, waardoor mogelijkerwijs het oor anders zou kunnen reageren dan het kunstoor.

Alleen wanneer men er in slaagt deze moeilijkheden te overwinnen, mogen de resultaten, gevonden bij onze proefnemingen, vergeleken worden met de gegevens verkregen met behulp van het kunstoor.

Ad. A. Herleiding van de gevonden waarde tot een vast energie-niveau. Dit is noodzakelijk om een vergelijking met metingen aan het kunstoor mogelijk te maken, daar bij deze metingen steeds van een vast energie-niveau wordt uitgegaan. Om dit te bereiken werd gebruik gemaakt van de grafieken van STEVENS en DAVIS, die o.a. hebben gemeten hoeveel db's de gemiddelde monaurale gehoordrempel ligt van het energie-niveau van $0,0002 \text{ dyne/cm}^2$. Met behulp van deze gegevens kon worden uitgerekend, hoeveel db's versterking nodig was om van het $0,0002 \text{ dyne/cm}^2$ energie-niveau te komen tot ons spannings-niveau van 0,1 Volt. In hoofdstuk 5 is uitvoerig beschreven, hoe hieruit de frequentie-karakteristiek van het hoorapparaten-telefoontje te berekenen is.

Ad B. Uitschakeling van andere factoren dan de luchtgeleiding, waardoor de metingen aan het oor beïnvloed kunnen worden: Factoren, die hiervoor in aanmerking komen, zijn de beengeleiding en de pistonwerking. Hoe deze factoren zijn geëlimineerd is hieronder beschreven bij de resultaten.

Resultaten.

Bij de door ons verkregen grafieken van de frequentie-karakteristieken vielen twee dingen op:

- 1e. De frequentie-karakteristieken van de verschillende gemeten oren varicerden onderling sterk.
- 2e. Bij de vergelijking van de door ons verkregen karakteristieken met die verkregen met behulp van het kunstoor bleek, dat de frequentie-

curve van het menselijk oor verder doorloopt in het hoge tonen gebied.

Ad 1. De spreiding van de gevonden frequentie-karakteristieken is afhankelijk van het gemeten oor. Deze spreiding is aanzienlijk en varieert van 15 tot 25 db. Voor de spreiding in het lage tonen gebied is een redelijke verklaring gevonden en wel lekkage van het geluid langs het oorstukje naar buiten. Het bleek namelijk, dat de spreiding in het lage tonen gebied tot enkele db's was terug te voeren door gebruik te maken van ongepolijste oorstukjes, en dat ook in het midden gebied der tonen de spreiding verminderde. Bij deze ongepolijste oorstukjes is de vorm van de oorspronkelijke oorafdruk precies bewaard gebleven en de kans op lekkage werd daardoor aanzienlijk kleiner. Wanneer nu deze ongepolijste oorstukjes alsnog werden gepolijst, dan kwam de spreiding, evenals bij de eerst onderzochte oren, weer te voorschijn. Voor het verschil in de hoge tonen echter konden we geen bevredigende verklaring vinden.

Ad 2. Vergelijking van de door ons gevonden frequentie-karakteristieken met die, opgemeten op het kunstoor.

Hierbij bleek, dat de door ons gevonden curves veel verder doorlopen in het hoge tonen gebied dan de frequentie-karakteristiek opgenomen met behulp van het kunstoor, terwijl in beide gevallen hetzelfde telefoontje is gebruikt. De mogelijkheid, die overwogen werd, was dat bij metingen aan het oor zelf nog andere factoren dan de luchtgeleiding een rol zouden kunnen spelen. Mogelijke factoren, die hiervoor in aanmerking komen, zijn:

A. De beengeleiding

B. Pistonwerking van het oorstukje.

Ad A. Het is mogelijk, dat het oorstukje niet alleen het geluid via de luchtgeleiding naar het oor brengt, maar dat ook de beengeleiding hierbij een meer of minder belangrijke rol speelt. Het oorstukje sluit immers precies passend aan tegen het bot van de uitwendige gehoorgang en kan daardoor uitstekend als beengeleidings-oscillator fungeren. Om de mogelijke invloed van deze beengeleiding na te gaan, werd het oorstukje zo gewijzigd, dat het alleen voor de beengeleiding geschikt werd. Dit werd bereikt door het kanaaltje in het oorstukje met was dicht te smeren. Bovendien moest er ook nog een andere wijziging worden aan-

gebracht. Immers, het geluid afkomstig van het hoorapparaten-telefoontje vindt een bepaalde resonantie-ruimte, gevormd door het kanaaltje in het oorstukje plus de ruimte in de uitwendige gehoorgang tussen oorstukje en trommelvees. Deze resonantie-ruimte kan invloed hebben op de vorm van de frequentie-karakteristiek. Door nu het kanaaltje in het oorstukje met was dicht te smeren is deze resonantie-ruimte verdwenen en hierdoor bestaat de kans, dat de frequentie-karakteristiek verandert. Om dit te ondervangen werd een nieuwe resonantie-ruimte gemaakt, door een hol metalen cylindertje (inhoud 2 cc) met een plastic slangetje aan de buitenkant van het oorstukje te verbinden.

Met het aldus gewijzigde oorstukje werd de frequentie-karakteristiek van de beengeleiding gemeten. Uit het resultaat hiervan bleek, dat de curve van de beengeleiding nergens die van de luchtgeleiding bereikte. Hieruit blijkt, dat de versterking via de luchtgeleiding het sterkst is en dat daarom de beengeleiding geen oorzaak kan zijn van het verder doorlopen der karakteristiek gemeten aan het oor zelf, vergeleken met de karakteristiek opgenomen op het kunstoor.

Ad B. Mogelijke pistonwerking.

Behalve de beengeleiding is er nog een invloed, waardoor het geluid aangeboden aan het oor versterkt kan worden. Het is nl. mogelijk, dat door de trillingen van het membraan van het hoorapparaten-telefoontje ook het oorstukje in trilling komt. Door de goede afsluiting van het aangemeten oorstukje kan deze trilling door zuigerwerking — pistonwerking — nog een extra impuls aan het trommelvees geven. Hierdoor is het mogelijk, dat het geluid aan het oor aangeboden, versterkt wordt door een invloed die bij het kunstoor niet aanwezig is.

Om dit na te gaan werd, nadat eerst de karakteristiek volgens onze routine methode was bepaald, het oorstukje zo gewijzigd, dat de trillingen van het telefoontje niet meer overgebracht konden worden op het oorstukje. Dit werd gedaan door er een stukje flexibele plastic slang tussen aan te brengen. Op deze manier opgemeten bleek, dat er een energieverlies optrad, dat vooral uitgesproken was in het hoge tonen gebied. Dit zou dan het gevolg kunnen zijn van het uitvallen der pistonwerking, maar ook van de geluiddempende invloed van het stuk plastic slang. Om dit verder uit te maken werd het oorstukje opnieuw gewijzigd: de telefoon werd nu zó met het oorstukje verbonden, dat de luchttrillingen alleen via het plastic slangetje en niet direct van het

telefoontje het oorstukje konden bereiken (zie fig. 22). Op deze wijze behielden wij de geluiddempende invloed van het slangetje, maar was de eerder uitgeschakelde pistonwerking weer mogelijk. Als resultaat vonden we, dat bij gebruik van een plastic slangetje geen duidelijk verschil optrad tussen de frequentie-karakteristieken, verkregen door in het ene geval het oorstukje niet direct met de telefoon te verbinden en in het andere geval wel.

Wij zijn derhalve tot de conclusie gekomen, dat het menselijk oor voor hoge tonen gevoeliger is dan het kunstoer.

SUMMARY

The object of the investigation described in this thesis was to examine whether the frequency characteristics of hearing aid telephones, determined by means of an artificial ear, correspond with reality in the human ear.

In a series of test persons individual moulded ear pieces were used to measure the characteristics of the telephone on the ear itself. All measurements were performed by means of threshold values.

Before the ear could be used as an instrument for measuring a telephone the variables of the ear had to be eliminated. These are:

1. Individual differences in hearing acuity of the various test persons.
2. Variations in the hearing acuity of one and the same test person.

These variables were excluded as follows:

Ad 1. The threshold value of the person examined was determined by means of a P.D.R.-10 telephone and compared with the average threshold value of the normal ear. This average normal value was obtained by determining the threshold value in 25 ears of normal hearing individuals. In this way the individual differences in hearing acuity of the various persons examined could be compared with the average normal value. However, in this investigation normal threshold values had to be obtained with moulded ear pieces. To obtain corrections for these, the correction values found with the P.D.R.-telephone were subtracted from the values found with the ear pieces.

Ad 2. The variations in hearing acuity in one and the same test person caused by diversion, loss of attention, etc. were eliminated as much as possible by placing the test person alone in a sound proof room, his only means of communication being a series of signal lights. In addition all measurements were taken five times to assure accuracy.

Two other conditions had to be considered:

- a. Adaptation of the measured values to a fixed energy level.

- b. Elimination of factors other than air conduction, which may possibly cause reactions in the normal ears that may differ with those found in the artificial ear.

Only after solving these problems the results of our experiments can be compared with those obtained on the artificial ear.

Ad a. Adaptation of the measured values to a fixed energy level. This is essential to allow comparison with measurements made with the artificial ear. STEVENS and DAVIS have already determined the relation of the normal hearing threshold to a fixed energy level of 0,0002 dyne/cm². To obtain a fixed energy level for our measurements we therefore used their graph. The determination of the frequency characteristics of the hearing aid telephone by this method is fully described in Chapter VI.

Ad b. Elimination of factors other than air conduction. These factors are bone conduction and piston action. Their elimination is fully described under the results.

Results.

Two outstanding facts were noted in our graphs of the frequency characteristics obtained at the ear:

1. Notwithstanding the fact that all values were corrected to an average these characteristics differed considerably in the ears tested.
2. Comparison of the frequency characteristics measured on the ear itself and those measured on the artificial ear while using the same telephone: On the ear itself it is possible to measure up to a considerable higher frequency than on the artificial ear.

Ad 1. Differences in curves obtained of the frequency characteristics. These differences are considerable and vary from 15—25 db. An explanation was found for the differences in the lower frequencies, i.e. loss of sound past the ear piece. This could be proved by using unpolished ear pieces, in which the differences in the lower frequencies could be diminished to a few decibels and the differences in the middle frequencies to a certain extent. The reason for this is that these unpolished ear pieces, representing the original cast, fit perfectly into the

external auditory canal. By polishing the ear pieces the original differences found at first could be reproduced. However, for the differences in the higher frequencies no satisfactory explanation could be found.

Ad 2. Comparison of the frequency characteristics measured on the ear itself and those measured on the artificial ear while using the same telephone.

The gain in frequencies by measuring on the ear itself might be attributed to the following factors:

- A. Bone conduction.
- B. Piston action of the ear piece.

Ad A. It is possible that the ear piece transmits the sound to the ear not only by air conduction but also by bone conduction. The ear piece fits exactly against the bone of the external auditory canal and can therefore act as an excellent bone conduction oscillator. To determine the influence of this bone conduction the ear piece was changed in such a way that it could only transmit via bone conduction. This was achieved by plugging the canal of the ear piece with wax. However a second alteration to the ear piece was necessary. The sound produced by the telephone has a certain resonance space in the canal of the ear piece and in the space between the ear piece and the tympanic membrane. This resonance space can influence the form of the frequency characteristic curve of the telephone. By plugging the canal in the earpiece with wax, the resonance space is occluded. In order to avoid this a new resonance chamber was made: A small hollow metal cylinder (capacity 2 cc) was connected to the outer part of the ear piece by a plastic tube, length 1 cm. This connection to the ear piece was established by drilling a hole into the ear piece in such a way, that a communication was made with the vibrating diaphragm of the telephone.

This altered ear piece was then used to measure the frequency characteristics of the bone conduction. The results were, that for all frequencies the sensitivity of the bone conduction was far less than that of the air conduction. This proves that the bone conduction is not responsible for the gain in the higher frequencies obtained by measurements made on the ear itself in contrast to those on the artificial ear.

Ad B. Piston action of the ear piece.

In addition to the bone conduction the sound transmitted to the tympanic membrane may be influenced by piston action produced by the vibrations of the exactly fitting ear piece. This may possibly cause an amplification of the excursions of the tympanic membrane, thus producing a more intense sound perception. This phenomenon is not present with the artificial ear.

After obtaining a curve by the routine method, the ear piece was modified in such a way that no vibrations of the telephone could be transferred. This was accomplished by using a plastic tube as connection between the telephone and the ear piece.

The results obtained by this method revealed a loss of energy most pronounced in the higher frequencies. This could be ascribed to the elimination of the piston action as well as to a damping effect by the plastic tube. To determine this more accurately the ear piece was modified once more in such a way, that the telephone was again connected to the ear piece, but that the sound via air conduction could reach the ear by the plastic tube only. Thus the damping effect of the tube was preserved, but the piston action previously eliminated was again possible. The results were that no marked difference was present with or without the possibility of piston action while using the plastic tube for the air conduction.

Conclusions.

1. After eliminating all factors except the air conduction which can influence the telephone frequency characteristic, we conclude that in determining the frequency characteristic of the hearing aid telephone the human ear is more sensitive in the high frequencies than the artificial ear.
2. In nearly all examinations of telephones the artificial ear is used. The artificial ear however has been proved to be of little value in the high frequencies. All such experiments shall have doubtful values in the higher zone.
3. The polishing of ear pieces when measuring the frequency characteristic curves on the ear itself, causes differences in the lower frequencies. This could be eliminated by using unpolished ear pieces.

4. In manufacturing hearing aid telephones the specimens are not allowed to deviate more than 2—3 db from their standard frequency characteristic value. According to our measurements on the ear itself this makes little sense. So the accuracy to supply the different types of hearing aids with a frequency characteristic curve is wasted when fitting the patient.

RESUME

Le but, que nous nous sommes proposé dans les investigations décrites dans notre thèse, était d'examiner si la caractéristique de la fréquence des vibrations du son, présentée par l'appareil de prothèse auditive, déterminée à l'aide de l'oreille artificielle, sera conforme à la réalité. Dans l'expérimentation effectuée sur quantité de sujets nous avons mesuré la caractéristique du téléphone sur l'oreille elle-même, au moyen de moules d'oreille adaptés.

Dans nos mensurations nous avons toujours établi le seuil de l'audition.

Il faut éliminer d'abord les possibilités de variation dans la perception de l'oreille humaine, afin de pouvoir nous servir de celle-ci comme d'un instrument, qui nous permet de mesurer les résultats donnés par le téléphone.

Ces possibilités de variation sont :

1. Les variations individuelles dans l'acuité auditive des divers sujets.
2. La variabilité dans l'acuité auditive dans le sujet lui-même.

Nous pouvons éliminer ces possibilités de variation de la manière suivante :

Ad 1. L'élimination des variations individuelles dans la perception pourra se faire par la comparaison du seuil de l'audition de l'oreille normale à celui du sujet examiné tel que nous l'avons déterminé à l'aide du téléphone P.D.R. 10. Nous avons déterminé le seuil de l'audition de l'oreille normale en nous basant sur la moyenne de celui de 25 personnes normales.

Nous sommes arrivés à fixer le seuil de l'audition normal à l'aide de moules d'oreille ajustés. Nous pouvons corriger dans une deuxième expérimentation avec le téléphone de la prothèse auditive les déviations de la moyenne, découvertes à l'aide du téléphone P.D.R. 10.

Ad 2. Nous avons essayé de corriger la variabilité de l'acuité auditive de l'individu, causée par distraction et par d'autres facteurs psychiques, en plaçant la personne en question dans une cabine insonore. Alors la communication est faite seulement par une série de lampes-sigales. En

autre chaque mensuration était effectuée cinq fois, afin de fixer de la manière la plus exacte le seuil de l'audition.

Afin de réaliser les possibilités de comparaison entre l'oreille humaine et l'oreille artificielle, il nous faut remplir deux conditions :

- A. Réduire les valeurs trouvées à un niveau d'énergie fixé.
- B. Éliminer les facteurs autres que la conduction aérienne, puisque c'est par ces facteurs que les réactions de l'oreille humaine pourraient différer de celles de l'oreille artificielle.

Ad A. Cette réduction est nécessaire, à cause du fait que les mensurations effectuées à l'aide de l'oreille artificielle sont basées sur un niveau d'énergie fixé. Pour y parvenir, nous avons fait usage des graphiques de STEVENS et DAVIS. Ces auteurs ont fait la mensuration en décibels de la distance du seuil moyen de l'audition monaurale au niveau d'énergie de $0,0002 \text{ dyne/cm}^2$.

A l'aide de ces données nous pouvons calculer combien de décibels sont nécessaires pour atteindre notre niveau de tension de 0,1 Volt à partir du niveau d'énergie de $0,0002 \text{ dyne/cm}^2$. Dans le chapitre 5 nous avons décrit amplement comment nous pouvons calculer les caractéristiques de fréquence du téléphone en nous servant de ces données.

Ad B. Élimination des facteurs autres que la conduction aérienne. Ces facteurs peuvent être : la conduction osseuse et l'action-piston. L'élimination de ces facteurs est décrite dans l'aperçu des résultats de nos expérimentations.

Résultats

Dans les graphiques des caractéristiques de fréquence, que nous avons obtenus, nous avons constaté deux phénomènes :

1. Les caractéristiques de fréquence des diverses oreilles varient beaucoup entre eux.
2. Dans la comparaison de nos caractéristiques à celles obtenues à l'aide de l'oreille artificielle, il apparaît que la courbe de fréquence de l'oreille humaine pénètre plus en avant dans la région des sons aigus.

Ad 1. La dispersion que nous avons mentionnée ci-dessus est considérable : elle varie de 15 à 25 décibels. Nous pouvons fournir une explication assez acceptable de la diversité dans la région des sons bas.

C'est qu'il y a une dissipation du son le long du moule d'oreille adapté. C'est qu'il se trouve que cette dispersion dans la région des sons bas pouvait être réduite à quelques décibels par l'emploi de moules d'oreille qui ne sont pas polis. Dans les moules pas polis, la forme d'impression originale du conduit auditif externe a été exactement conservée. Grâce à cet expédient les possibilités de dissipation étaient diminuées de beaucoup. Or le polissage de ces moules produit de nouveau la dispersion.

Cependant nous ne pouvons pas fournir une explication satisfaisante de la dispersion des sons aigus.

Ad 2. Comparaison des caractéristiques de fréquence, que nous avons trouvées sur l'oreille humaine, à celles de l'oreille artificielle.

Il apparaissait que les courbes, que nous avons trouvées, pénétraient plus en avant dans la région des sons aigus que la caractéristique de fréquence déterminée à l'aide de l'oreille artificielle, bien que nous ayons utilisé le même téléphone.

Nous avons considéré la possibilité que, dans les mensurations des réactions de l'oreille humaine, ce n'est pas seulement la conduction aérienne qui joue un rôle. C'est qu'il y a peut-être d'autres facteurs, comme

A. La conduction osseuse

B. Action-piston du moule d'oreille,
qui pourraient influencer les résultats.

Ad A. La conduction osseuse.

Comme le moule s'adapte exactement à l'os du canal auriculaire, il peut fonctionner aisément comme oscillateur de la conduction osseuse. Afin de vérifier l'existence de l'influence éventuelle de la conduction osseuse, nous avons modifié le moule de telle manière, qu'il ne permettrait que la conduction osseuse. A cet effet le canal dans le moule était rempli de cire.

Cependant il faut encore une modification. Le son provenant du téléphone trouve un espace de résonance, déterminé par le canal dans le moule et l'espace dans le conduit auditif, compris entre le moule et le tympan. Cet espace de résonance peut influencer la caractéristique de fréquence. Or le remplissage du canal dans le moule ferait disparaître cet espace de résonance. Pour éviter cette possibilité nous avons aménagé

un nouvel espace de résonance par la jonction d'un cylindre de métal vide à un petit tube plastique appliqué à l'extérieur du moule.

A l'aide du moule ainsi modifié la caractéristique de fréquence de la conduction osseuse était mesurée. Nous avons constaté que la courbe de la conduction osseuse n'atteignait nulle part la hauteur de celle de la conduction aérienne. Par conséquent la conduction osseuse ne peut causer la pénétration plus profonde dans la région des sons aigus de la caractéristique de l'oreille humaine, comparée à celle de l'oreille artificielle.

Ad B. Action-piston du moule d'oreille.

En dehors de la conduction osseuse il y a encore une autre influence qui pourrait renforcer le son présenté à l'oreille, c'est que les vibrations de la membrane du téléphone pourraient causer la vibration du moule. L'action-piston, qui se produit alors grâce aux qualités isolatrices du moule d'oreille ajusté, peut donner une impulsion plus forte aux vibrations du tympan. Ce renforcement n'est pas présent dans l'oreille artificielle. Afin de vérifier ce phénomène, le moule d'oreille était modifié en sorte que les vibrations du téléphone ne pourraient plus être transmises jusqu'au moule. Cette modification était effectuée par l'insertion d'un tube plastique flexible. La courbe ainsi mesurée montre une perte d'énergie considérable, spécialement dans la région des sons aigus.

Ce phénomène peut être causée non seulement par l'élimination de l'action piston, mais encore par l'influence assourdissante du tube plastique. Nous avons modifié de nouveau le moule, pour déterminer ce dernier phénomène. Nous avons relié le moule avec le téléphone, mais de telle façon que les vibrations de l'air pouvaient atteindre le moule seulement par le tube plastique.

De cette manière nous avons conservé l'influence assourdissante du tube plastique, tandis que l'action piston, auparavant éliminée, était rétablie. Les résultats de nos expérimentations faites à l'aide du tube plastique, nous révélaient que la jonction directe entre téléphone et moule n'influence pas les caractéristiques obtenues. Il s'ensuit donc que nous pouvons éliminer l'influence de l'action-piston.

Nous avons tiré la conclusion que l'oreille humaine est plus sensible aux sons aigus que l'oreille artificielle.

LITERATUUR OVERZICHT

- ALBRITE, J. D.: The development and application of a soft ear insert. *Arch. Oto-Laryng.* 1955 — 61 — 235.
- ANDERSON, J. R., W. MANION en A. C. COTA: Dental considerations in fitting hearing aid inserts. *Arch. Oto-Laryng.* 1949 — 50 — 659.
- BERANEK, L. L.: *Acoustic Measurements*. Wiley. New York 1949.
- BERRI, G.: Hearing aids. The evaluation and practicability of hearing aids. *Annals Otol. and Laryng.* 1948 — 57 — 500.
- CARHART, R.: The fitting of hearing aids. *Trans. Am. Acad. O.O.* 1947 — 2 — 354. *Uit Excerpta Med. Oto-Rhino-Laryng.* 1948 — nr 535.
- CORLISS, L. R.: A cavity pressure method for measuring the gain of hearing aids. *Journ. Acoust. Soc. Amer.* 1948 — 20 — 131.
- CORLISS, L. R., R. F. BROWN en K. T. LEMMON: A comparison of sound pressures, developed in earphone couplers and in the ear. *Journ. Acoust. Soc. Amer.* 1951 — 6 — 146.
- DENNISON, E. A., A. C. DEVERELL, T. S. LITTLER en E. WHETNALL: Individual inserts for hearing aids. *Journ. Laryng. Otol.* 1949 — 63 — 610.
- DAVIS, H.: *Hearing and deafness*. Murray Hill Books Inc.; New York, Toronto — 1947.
- : Hearing aids; an experimental study of design objections. *Harvard Univ. Press*. 1947 — blz. 197.
- DAVIS, H., C. V. HUDGINS, G. E. PETERSON en D. A. ROSS: Desirable characteristics for hearing aids. *Journ. Acoust. Soc. Amer.* 1946 — 18 — 247.
- DAVIS, H., C. V. HUDGINS, R. J. MARQUIS, R. H. NICHOLS JR, G. E. PETERSON, D. A. ROSS en S. S. STEVENS: The selection of hearing aids. *Laryngosc.* 1946 — 56 — 85 en 135.
- FILLER, A. S., D. A. ROSS en F. M. WIENER: The pressure distribution in the auditory canal in a progressive sound field. *PAL. Report PNR* — 5 Dec. 1 — 1945. (Gerefereerd door J. D. Harris: *Laryngosc.* 1954 — 64 — 959.)
- GLASER, J. L. en K. C. MORRICAL: A comparison of artificial ear couplers. *Journ. Acoust. Soc. Amer.* 1948 — 20 — 771.
- GÜTTNER, W. en C. STARKE: Ueber die obere Grenzfrequenz von Hörgeräten. *Acustica* 1954 — 4 — 155.
- GÜTTNER, W.: *Zur Akustik von Hörgeräten*. Audiologie. Georg Thieme Verlag. Stuttgart 1954.
- HARRIS, J. D.: Normal hearing and its relation to audiometry. *Laryngosc.* 1954 — 4 — 928.
- LONCHEVAL, A.: Contribution au problème de l'oreille artificielle. *Acustica* 1954 — 4 — 161.

- LÜSCHER, E. en J. ZWISLOCKI: The international standardisation of audiometry. *Acta Oto-Laryngol.* Stockholm 1948 — suppl. 64 — 26.
- MANNING, J. J.: Ear impression technique and function of auditory inserts. *Eye-Ear-Nose and Throat monthly* 1952 — 30 — 88.
- Med. Research Council*: Hearing aids and audiometers. Special Report 261 — 1947.
- MEISTER, F. J.: *Akoustische Messtechnik der Gehörprüfung*. Verlag G. Braun. Karlsruhe. 1954.
- National Bureau of Standards*: Preliminary results. A comparison of sound pressures, developed in earphone couplers and in the ear. Report. N.B.S. Jan. 1951 — 18.
- POTHOVEN, W.: Diepe oorafdrukken en het vervaardigen van aangemeten oorstukjes. *Ned. Tijdschr. v. Geneesk.* 1948 — 1 — 730.
- , Some aspects of modern hearing aids and their fitting. *Acta otolaryng.* Stockholm. 1948 — 36 — 296.
- SONDAY, F. L.: A simple method of taking ear mold impressions. *Transact. Amer. Acad. O.O.* 1950 — 46 — 179.
- DE VOS, A. W.: Selectieve aanpassing van gehoorapparaten. Voordracht voor de Ned. Audiologische Vereniging. Nov. 1953 te Leiden.
- VECKMANS, J. L.: La conduction osseuse en prothèse auditive. *Acta Oto-Laryng. Belg.* 1947 — 1 — 321.
- WATSON, L. E. en TH. TOLAN: *Hearing tests and hearing instruments*. Williams and Wilkens Co. Baltimore. 1949.
- WATSON N. A. en V. O. KNUOSEN: Selective amplification in hearing aids. *Journ. Acoust. Ars. Amer.* 1940 — 11 — 406.
- WHEELER, L. J. en E. D. D. DICKSON: The determination of the threshold of hearing. *Journ. Laryng. Otol.* 1952 — 66 — 379.
- ZWISLOCKI, J.: Ear defenders. *Journ. Acoust. Soc. Amer.* 1951 — 23 — 36.

