

KRITISCHE BESCHOUWINGEN
OVER DE KRITIEKE BAND

J. P. A. GILLISSEN

J. P. A. GILLISSEN - KRITISCHE BESCHOUWINGEN OVER DE KRITIEKE BAND

KRITISCHE BESCHOUWINGEN OVER DE
KRITIEKE BAND

Waarom niet
Waarom niet
Waarom niet
Waarom niet
Waarom niet

KRITISCHE BESCHOUWINGEN OVER DE KRITIEKE BAND

ACADEMISCH PROEFSCHRIFT

TER VERKRIJGING VAN DE GRAAD VAN
DOCTOR IN DE GENEESKUNDE
AAN DE UNIVERSITEIT VAN AMSTERDAM
OP GEZAG VAN DE RECTOR MAGNIFICUS
MR. J. VAN DEN HOEVEN,
HOOGLEERAAR IN DE FACULTEIT DER
RECHTSGELEERDHEID, IN HET OPENBAAR
TE VERDEDIGEN IN DE AULA VAN DE
UNIVERSITEIT (TIJDELIJK IN DE LUTHERSE
KERK, INGANG SINGEL 411, HOEK SPUI) OP
DONDERDAG 2 JUNI, 1966, DES NAMIDDAGS
TE 5 UUR

door

JAN PIETER AUGUST GILLISSEN

geboren te Vlissingen.

1966

DRUKKERIJ EN UITGEVERIJ JACOB VAN CAMPEN - AMSTERDAM

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

aan: *Germaine*
Marie-Louise
Norbertine
Joyce
Wendela

Dit proefschrift werd bewerkt in het fysisch laboratorium van de keel- neus- en oor-
heelkundige kliniek van het Academisch Ziekenhuis Wilhelmina Gasthuis te Amsterdam.
Hoofd: Prof. Dr L. B. W. Jongkees.

INHOUD

VOORWOORD	9
HOOFDSTUK I. Begrippen	11
HOOFDSTUK II. Proefnemingen over de kritieke band	15
HOOFDSTUK III. Idee - meting - methode - proef	23
HOOFDSTUK IV. Opzet van het onderzoek	27
HOOFDSTUK V. Uiteindelijke opstelling, meetmethode, resultaten	35
HOOFDSTUK VI. Onderzoek bij gehoorgestoorden	41
CONCLUSIE	53
SAMENVATTING	55
SUMMARY	56
TABELLEN	57
LITERATUUR	68

Bij het verschijnen van dit proefschrift moge ik U, Hoogleraren en Docenten van de Universiteit van Amsterdam, bedanken voor het onderwijs dat ik van U heb mogen ontvangen.

Hooggeleerde Jongkees, Hooggeachte Promotor, het is mij altijd een genoegen bij U te mogen werken. De prettige werksfeer, die U in de kliniek heeft geschapen en Uw stimulerende invloed waren voor het ontstaan van dit proefschrift van het grootste belang. Het is mij een eer, bij U tot Keel-, Neus- en Oorarts te zijn opgeleid.

Zeergeleerde De Boer, wanneer dit proefschrift een geesteskind van mij is, dan bent U zeker de grootvader. Uw vele adviezen en de wijze waarop U mij door de fysische denkwereld heeft geleid, waren voor het uitvoeren van dit onderzoek onontbeerlijk. Dat U daarbij nog bereid was het statistische deel ervan op U te nemen, stemt mij tot grote erkentelijkheid. Ik hoop nog lange tijd onder Uw bezielende leiding te mogen werken.

Geleerde Horr  e, aan U heb ik mijn praktische vorming tot Keel-, Neus- en Oorarts te danken. Het is mij een voorrecht de eerste Keel-, Neus- en Oorarts te zijn, die zijn gehele chirurgische vorming van U heeft gekregen. Dat ik ook na mijn specialisatie met U mocht samenwerken stel ik op hoge prijs.

Geleerde Bos, U heeft mij de weg gewezen in het labyrinth van de Keel-, Neus- en Oorheelkunde. Zonder Uw voorbereidende arbeid was ik nooit aan dit onderzoek begonnen.

Geleerde Kuyper, Uw kritische opmerkingen aangaande dit onderzoek waren voor mij bijzonder plezierig.

Bijzondere dank ben ik U verschuldigd, Mejuffrouw Bungener, Mevrouw Pogge-Mercks en Mevrouw Nieuwenburg-Hofman, voor de voortreffelijke wijze waarop U de patienten benaderd en onderzocht hebt. Nimmer heb ik vergeefs een beroep op U gedaan.

Geachte Kruidenier en Melk, ik dank U voor de bijzondere zorg, die U heeft besteed aan de ontwikkeling van de apparatuur, die mogelijk was mede dankzij de door het Heinsius Houboltfonds geschonken bijzondere instrumenten. Voor de vele malen, dat ik een contr  le van U verlangd heb, bied ik mijn verontschuldigingen aan.

Geachte Van der Laarse, Uw adviezen waren immer waardevol.

Geachte Bakker en Fahrenhorst, U dank ik voor de illustratieve bijdragen aan dit proefschrift.

Zeergeleerde Blecker, U heeft mij een blik in de orbita leren werpen. Uw

vermogen tot teamvorming wekt mijn bewondering, en waarschijnlijk niet alleen de mijne, op.

De staf van het Antoni van Leeuwenhoekhuis, U betuig ik mijn grote erkentelijkheid voor de verdere medische vorming.

Specialisten en staf van het Emma Kinderziekenhuis, U dank ik voor de bijzonder prettige wijze waarop U mij het werken daar tot een waar genoegen heeft kunnen maken.

Geachte Hoofdzusters en Zusters van de ziekenhuizen waarin ik werk, U dank ik voor de prettige samenwerking, die ik van U heb mogen onder vinden.

Assistenten van de Keel-, Neus- en Oorheelkundige kliniek van het Wilhelmina Gasthuis, de tijd die ik tussen U heb mogen doorbrengen was een zeer aangename.

Lieve Joyce, jij bent voor mij altijd de stimulans geweest, ook met dit proefschrift. Ik kan je hiervoor niet dankbaar genoeg zijn.

HOOFDSTUK I

BEGRIPPEN

Het huidige wetenschappelijk onderzoek splitst zich steeds verder. De afzonderlijke parten worden weer in een groot aantal „superspecialistische” ondergroepen verdeeld. In die groepen wordt vaak een taal gesproken, die slechts door ingewijden verstaan kan worden. Ook het in dit werk beschreven onderzoek is afkomstig uit zo'n klein gebied met een eigen nomenclatuur.

Om het betoog echter ook voor de belangstellenden buiten het superspecialisme duidelijk te maken zullen eerst de meest gebezigde begrippen omschreven moeten worden:

1. GERUIS of RUIS. Dit is een voortdurend, willekeurig fluctuerend, hoorbaar signaal, waarvan de eigenschappen slechts op statistische wijze kunnen worden beschreven en waarbij men waarneemt, dat het als een stationnair geluid klinkt, zolang de statistiek zich niet wijzigt met de tijd. Indien wij in onze proeven gebruik maken van een ruis, is dit bij de door ons gebruikte apparatuur een stationnair geluid. Een dergelijk geruis kan in statistische zin ook opgevat worden als de combinatie van een zeer groot aantal in frequentie dicht bij elkaar gelegen tonen. De (gemiddelde) intensiteit van deze componenten in een zeer klein frequentiegebied, 1 Hz breed, rondom een gegeven frequentie, heet „SPECTRALE DICHTHEID” bij die frequentie.

Bij „WITTE RUIS” is de spectrale dichtheid bij alle frequenties dezelfde. Hij wordt „wit” genoemd naar een (slechte) analogie met het licht: in wit licht zijn namelijk ook alle kleuren vertegenwoordigd.

2. GEHOORVELD. Beschouw een diagram waarin van een toon op de horizontale as de frequentie en op de verticale de intensiteit, uitgedrukt in dB, ten opzichte van 10^{-16} W/cm² ($= 10^{-12}$ W/m²), zijn uitgezet. In dit diagram liggen de gehoordrempels bij de verschillende frequenties niet op een horizontale lijn. Het veld in dit diagram, dat de hoorbare (d.w.z. de boven de waarnemingsdrempel gelegen) tonen bevat en aan de bovenzijde wordt begrensd door de pijndrempel, heet „GEHOORVELD”.

Bij het aflezen van de resultaten van verschillende audiologische proeven is het kuipvormige verloop van de lijn, die de gehoordrempel aangeeft, wel eens storend. Om alle gehoordrempels op een horizontale lijn te krijgen, maakt men gebruik van een geruis, waarvan de spectrale dichtheid is aangepast aan de eigenschappen van het gehoor. Zo'n ruis bevat naar verhouding meer lage tonen dan een witte ruis en alweer naar analogie met het licht, hebben wij deze „ROSE RUIS” genoemd.

Aanvankelijk hadden wij deze als „rode ruis” willen betitelen, maar om tevens uit te drukken dat ook hoge frequenties in deze ruis voorkomen, vonden wij de benaming „rose” beter.

3. FREQUENTIE-ANALYSE. De muzikaal geëfende mens is vaak in staat twee tegelijkertijd aangeboden tonen als zodanig naast elkaar te herkennen. Dit geeft de indruk, dat er voor iedere toon een apart kanaal voor de waarneming aanwezig is. Deze kanalen (om in onze beeldspraak te blijven) kunnen door de luisterende mens naar believen in- of uitgeschakeld worden en dit maakt het mogelijk om klankcomplexen, die in hun spectrumvorm verschillen, van elkaar te onderscheiden; dit, omdat de aanwezigheid van één component de evaluatie van een andere component niet schijnt te storen. We spreken hier van „FREQUENTIE-ANALYSE”, welk begrip wij in deze verhandeling uitdrukkelijk willen beperken tot de situatie van de simultane aanbieding van verschillende frequenties.

4. KRITIEKE BAND. De hierboven beschreven waarneming van het van elkaar gescheiden horen van twee tonen is alleen mogelijk, wanneer de frequenties voldoende ver van elkaar verwijderd zijn. Liggen de frequenties dicht bij elkaar, dan klinkt de combinatie als een dissonant (= vals).

Als één toon sterker is dan de andere, dan kan deze laatste gemaskeerd worden. Men spreekt van maskering als de drempel van een toon door de aanwezigheid van een stoorgeluid is verschoven. Evenzo kan een toon gemaskeerd worden, wanneer er op een kleine frequentie-afstand van de toon voldoende sterke geruiscomponenten aanwezig zijn.

Bij klankcomplexen blijkt de waarneming een geheel nieuw en eigen karakter te krijgen (residu), wanneer zich vele componenten op kleine en gelijke frequentie-afstand van elkaar bevinden.

Deze verschijnselen wijzen op het bestaan van een apart mechanisme, dat in werking treedt wanneer componenten weinig in frequentie van elkaar verschillen, of, anders gesteld, de frequentie-analyse uit de aard van de zaak niet mogelijk is. Wij kunnen dit opvatten als een natuurlijke grens van de analyse.

Dit doet zich ook voor als twee der betrokken componenten dicht bij elkaar liggen dan een zekere frequentie-afstand. Men zou om elke component een zone kunnen denken, waar andere componenten buiten dienen te liggen om de frequentie-analyse mogelijk te maken. Deze zone heet „KRITIEKE BAND”. Deze wordt ook wel „kritische band” genoemd, maar wij achten dit een foutieve vertaling van het Engelse begrip „critical band”.

De aan het begrip kritieke band ten grondslag liggende experimenten worden in hoofdstuk II beschreven.

Uitgaande van twee in frequentie ver van elkaar verwijderde tonen, kan

men waarnemen, dat de frequentie-analyse vrij abrupt overgaat of verdwijnt indien de tonen dicht bij elkaar gebracht worden.

Beter dan de breedte van de kritieke band, die, zoals in hoofdstuk II wordt aangetoond, niet door één waarde is vast te leggen, kunnen wij die abrupte overgang zien als een uiting van het verfijnde mechanisme, dat voor de frequentie-analyse verantwoordelijk gesteld kan worden. Het is wellicht mogelijk, dat bij pathologische verandering van de frequentie-analyse deze overgang minder scherp is. Om deze scherpte te kunnen karakteriseren hebben wij het begrip „SNIJHELLING” ingevoerd. Een nadere omschrijving van dit begrip wordt later gegeven. (Hoofdstuk II).

5. LINEAIRE VERVORMING. Als een stationnair medium zich lineair gedraagt betekent dit, dat hiervoor geldt dat de verstoring ten gevolge van twee „oorzaken” de som is van de verstoringen, die door elk van deze oorzaken afzonderlijk te voorschijn wordt geroepen. Dit houdt ook in, dat een sinusvormige prikkel een sinusvormige reactie geeft, uiteraard met dezelfde frequentie, maar eventueel met amplitude- en/of faseverandering.

6. NIET-LINEAIRE VERVORMING ontstaat in de regel bij de doorgang van een signaal door een medium, dat niet aan de regels van lineariteit voldoet.

Deze vervorming is in het algemeen gekenmerkt door:

productie van in het oorspronkelijke geluid niet aanwezige componenten, welke een grote afhankelijkheid hebben van de sterkte van het aangeboden signaal.

De productie van „vreemde” componenten is te verdelen in twee groepen:

1. Bij een verstoring van de sinusvorm ontstaat een reactie, die niet-sinusvormig is, maar wel periodiek. Deze reactie bevat dus naast de grondtoon nog componenten met frequenties die veelvoudig zijn van die van de grondtoon, de z.g. boventonen.

2. Wordt een samenstel van twee sinusvormige signalen gegeven, dan ontstaan er, naast boventonen van deze signalen, componenten van welke de frequenties combinaties zijn van de twee oorspronkelijke frequenties. De belangrijkste combinaties zijn de som- en verschiltoon, waarvan de frequenties respectievelijk de som en het verschil van de oorspronkelijke frequenties zijn.

7. (AKOESTISCH) VERMOGEN: Dit is de hoeveelheid (akoestische) energie per tijdseenheid. De intensiteit is het akoestisch vermogen per oppervlakte-eenheid.

8. DIFFERENCE LIMEN (D.L.). Het verschil in intensiteit van een toon, dat

nog net door de waarnemer gehoord kan worden. Voor een zuivere toon is dit in het algemeen afhankelijk van de intensiteit. Bij gehoorstoornissen met recruitment is het meestal kleiner dan in normale gevallen.

9. CARHART-NOTCH. Dit is een perceptieverlies omstreeks 2 kHz, dat men bij geleidingsstoornissen op het audiogram kan aantreffen.

PROEFNEMINGEN OVER DE KRITIEKE BAND

Onder de „kritieke band” (zie hfdst. I no. 4) wordt ook een frequentiegebied om een toon verstaan, waarin geluiden zich moeten bevinden, willen zij een maskerende invloed op die toon kunnen uitoefenen. Dit begrip is in 1940 voor het eerst door Fletcher gebruikt. Hij noemde dit “critical band” en de breedte van deze band de “critical bandwidth”.

Fletcher stelde de hypothese op, dat slechts een beperkt frequentiegebied van een witte ruis dienst doet bij het maskeren van een toon door die ruis en dat dit frequentiegebied rondom die toon gelegen is.

Dit heeft Fletcher door middel van de volgende proef willen aantonen: Hij nam een aantal ruisbanden van verschillende frequentiebreedte, maar met eenzelfde centrale frequentie en van gelijke en constante spectrale dichtheid. Hij nam waar, dat de drempelwaarde van een toon, die een gelijke frequentie heeft als de centrale frequentie van de ruisbanden stijgt, wanneer de breedte van de ruisbanden toeneemt. Dit is te begrijpen, *daar de intensiteit van de ruis ook toeneemt; deze is immers gelijk aan het product van bandbreedte en spectrale dichtheid.

Dit gedrag ziet men echter slechts totdat een bepaalde bandbreedte bereikt wordt.

Bij grotere bandbreedten blijft de drempelwaarde constant. (Zie fig. II-1).

Ook dit is te begrijpen als men aanneemt, dat de verder van de toon af gelegen componenten niet meer bijdragen tot de maskering van de toon.

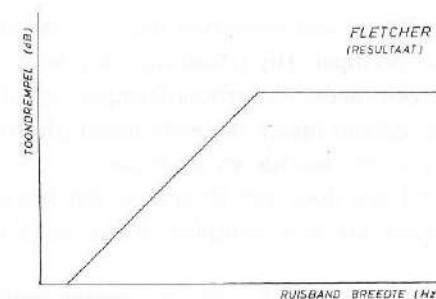


Fig. II-1

Hier is uitgezet de toondrempel als functie van de breedte van de ruisband. Bij het breder worden van de ruisband (bij gelijke spectrale dichtheid) stijgt de toondrempel in het midden van de ruisband, totdat de band breder wordt dan de kritieke bandbreedte. Wordt de band breder dan de kritieke bandbreedte, dan blijft de toondrempel gelijk.

Uit dit overgangspunt is nu de waarde van de kritieke bandbreedte af te leiden. Samenvattend kan men stellen, dat slechts de ruiscomponenten binnen de kritieke band tot de maskering bijdragen en de componenten erbuiten niet.

Een tweede hypothese van Fletcher was, dat het akoestisch vermogen van dat deel van een ruis, dat de toon maskeert, gelijk is aan het akoestisch vermogen van de net gemaskeerde toon. Met andere woorden: een kritieke band van geruis maskeert een toon tot een niveau gelijk aan zijn eigen intensiteit.

Dit is ook inderdaad het geval voor Fletcher's metingen bij kleine ruisbandbreedten. Dit gaf hem de mogelijkheid de kritieke band indirect te meten en wel door middel van maskeringsproeven met alleen brede frequentiebanden van geruis. Men bepaalt dan de intensiteit van de juist gemaskeerde toon en zoekt nu uit, welke frequentieband uit de ruis dezelfde totale intensiteit heeft.

De breedte van deze band is volgens de tweede hypothese van Fletcher ook de kritieke bandbreedte.

In verband met de tweede hypothese reserveerde Fletcher de uitdrukking "critical ratio" en drukte hij de band bij voorkeur uit in dB. Eigenlijk was de critical ratio de in dB. uitgedrukte verhouding van de toondrempelintensiteit en de spectrale dichtheid van de ruis.

Na Fletcher's publicatie over de kritieke band hebben vele onderzoekers zich met dit probleem bezig gehouden.

Enige van de belangrijkste onderzoeken op dit gebied zijn verricht door:

1. Gäsler,
2. Zwicker,
3. Greenwood,
4. De Boer en Bos.

1. GÄSZLER ging uit van een sinustoon met een intensiteit van ongeveer 2 dB. onder de gehoordrempel. Hij is dan niet hoorbaar. Biedt men nu een tweede toon aan, die ook onder de gehoordrempel ligt, dan zijn deze beide wel hoorbaar, mits de afstand tussen de beide tonen (die voor elke frequentie anders is) niet een bepaalde waarde overschrijdt.

Het effect is te verklaren door aan te nemen, dat het oor de beide tonen niet meer alleen, maar als een complex hoort en de totale intensiteit waardeert.

Neemt men nu in plaats van twee tonen een groter aantal tonen op onderling gelijke frequentie-afstand, bijv. 20 Hz, dan neemt men volgens Gäsler waar, dat de drempelintensiteit van het gehele complex constant blijft; anders uitgedrukt, de drempelintensiteit per toon neemt af. (Zie fig. II-2). Bij toenemende frequentie-afstand gaat dit door, totdat het frequentieverschil tussen de hoogste en laagste toon van het complex een zekere waarde over-

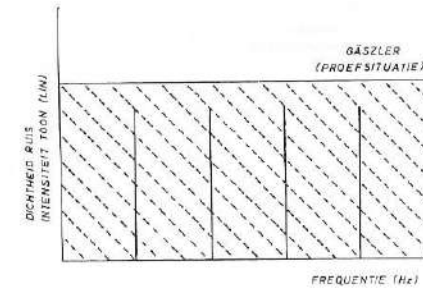


Fig. II-2

In een ruis worden aan een tonencomplex, waarbij de toonafstand onderling gelijk is, tonen toegevoegd. Hierdoor krijgt men een verlaging van de drempel per toon van het tonencomplex, totdat het verschil tussen hoogste en laagste toon groter wordt dan de kritieke bandbreedte.

schrijdt. Deze grenswaarde hangt af van de centrale frequentie van het tonencomplex. Bij nog grotere totale bandbreedte blijft de toondrempel per toon constant. Klaarblijkelijk wordt in het eerste geval het signaal als geheel gewaardeerd, en in het laatste, uiterste, geval elke samenstellende toon apart gewaardeerd. De grensbandbreedte is dus een uitdrukking voor de maximale integratie-bandbreedte; met andere woorden, binnen deze bandbreedte integreert het oor de componenten, daarbuiten worden de componenten afzonderlijk waargenomen.

Het verband met de kritieke bandbreedte is duidelijk: in feite meet men hetzelfde fenomeen als de kritieke band.

Gäsler noemde de op deze wijze verkregen waarde „Kopplungsbreite”.

Wij willen in het vervolg het onwezenlijke onderscheid tussen deze koppingsbandbreedte en de kritieke bandbreedte verwaarlozen.

Opgemerkt moge worden, dat Gäsler ook een uniform maskerend geruis, een rose ruis dus, (zie hfdst. I), heeft gebruikt als achtergrond. Hierbij zag hij, dat de waarden die hij voor de kritieke bandbreedte verkreeg gelijk bleven bij ruisbandsterkten tot 40 dB. spectrale dichtheid bij de lage frequenties. Tenslotte heeft Gäsler de proeven herhaald met ruisbanden van verschillende bandbreedten als testsignaal. Hij vond volkomen overeenkomende resultaten.

2. ZWICKER benaderde het probleem door een tweetal verschillende tonen te nemen. Midden tussen deze twee tonen plaatste hij een ruisbandje. Van dit bandje werd de drempel van waarneming bepaald. Indien de afstand tussen de twee tonen vergroot werd, bleef de maskering van het ruisbandje gelijk, totdat er een bepaalde kritieke frequentie-afstand bereikt werd. (Fig. II-3).

Bij een nog grotere afstand werd de maskering snel minder en bij kleine

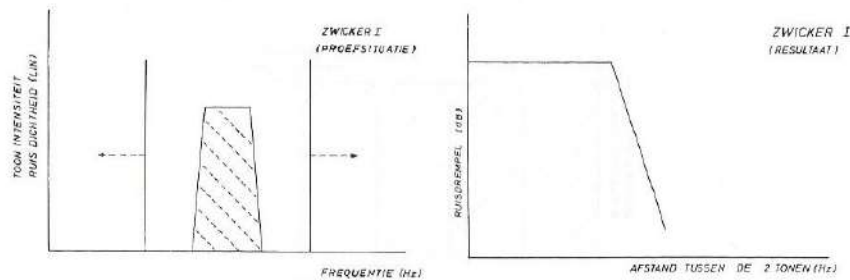


Fig. II-3

De drempel van een smalle ruisband, die midden tussen twee tonen staat, wordt bepaald. Zodra de afstand van de tonen groter wordt dan de kritieke bandbreedte daalt de drempel van de ruis.

intensiteiten benaderde de drempel de absolute, ongemaskeerde drempel voor ruisbanden.

Bij grotere intensiteiten was de meting onzuiver, omdat daarbij te veel vervorming voorkwam en de boventonen, die dan ontstaan, elk voor zich maskering kunnen opwekken.

Opgemerkt moge worden, dat, wanneer slechts één maskerende toon werd gebruikt, de maskeerpatronen aanmerkelijk onregelmatiger en dus moeilijker interpreteerbaar waren dan bij twee.

Uit deze waarneming en bovendien op grond van andere gegevens, die De Boer binnenkort zal publiceren, mag men concluderen, dat het zaak is zoveel mogelijk een symmetrisch maskeerspectrum ten opzichte van de testtoon na te streven.

Een andere proef van Zwicker bestond eruit een aantal tonen te nemen, van welke de onderlinge frequentie-afstand varieerde. (Fig. II-4). Hij nam

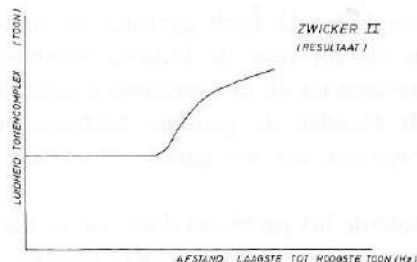


Fig. II-4

Van een tonencomplex wordt de onderlinge frequentie-afstand gevarieerd. Zolang de afstand tussen de hoogste en de laagste toon binnen de kritieke bandbreedte blijft, verandert de luidheid van dit complex niet. Wordt de afstand echter groter dan de kritieke bandbreedte, dan zien wij een toename van de luidheid.

waar, dat de luidheidssensatie van het tonencomplex bij variatie van de onderlinge afstand gelijk bleef, zolang de afstand van hoogste tot laagste toon niet groter was dan de kritieke bandbreedte behorende bij het midden van het tonencomplex. Als de afstand groter werd dan de kritieke bandbreedte, verkreeg men een grotere luidheidssensatie.

Later heeft hij deze proef overgedaan in de aanwezigheid van een rose ruis met de bedoeling de onderrand van de drempelwaarde in de grafieken (zie hfdst. I) op een horizontale lijn te krijgen. Dit bleek echter geen invloed te hebben op de grootte van de verkregen kritieke bandwaarden.

De kritieke bandwaarden van de beide proefreeksen stemden overeen.

3. GREENWOOD ging uit van een aantal met de Von Békésy audiometer opgenomen continue audiogrammen, die verkregen werden in de aan- en afwezigheid van verschillende ruisbanden.

Men kan naar voren brengen, dat, wanneer de kritieke band kleiner is dan de breedte van een ruisband, een toon (met zijn daaromheen gelegen kritieke band) in die ruisband heen en weer bewogen kan worden zonder dat de maskeringssituatie verandert; de drempel van die toon blijft dan constant.

Dit drukten Bilger en Hirsh als volgt uit:

„Bij suprakritieke breedte van de ruisband verkrijgt men een continu audiogram dat een trapeziumvorm heeft, bij kritieke en subkritieke breedten heeft het continu audiogram de vorm van een driehoek.” (Waarbij de basis hier de ongemaskeerde drempel is).

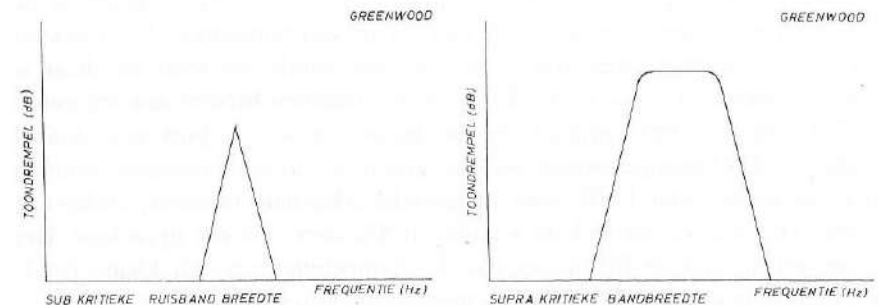


Fig. II-5

Het Von Békésy-audiogram van een ruisband vertoont een driehoeksvorm, zolang de ruis niet breder is dan de kritieke bandbreedte. Wordt de ruis breder dan de kritieke bandbreedte dan krijgt het Von Békésy-audiogram een trapeziumvorm.

De redenering kwam inderdaad uit en Greenwood bepaalde op deze wijze de kritieke bandbreedte over een groot gebied van frequenties.

Nu blijkt echter dat de waarden van de kritieke bandbreedten van de verschillende onderzoekers niet overeenstemmen. Zo vond Fletcher bij 1 kHz een kritieke bandbreedte van ongeveer 65 Hz, bij hogere frequenties beliep de kritieke bandbreedte ongeveer 7% van de centrale frequentie, bij lagere frequenties was de waarde voor de kritieke bandbreedte constant.

De drie hierboven vermelde onderzoeken (Greenwood, Zwicker en Gäsler) leverden alle een waarde voor de kritieke band op van ongeveer 100 Hz bij frequenties tot 500 Hz en ongeveer 17% van de frequentie voor de hogere frequenties.

Men ziet bij het uitzetten van een curve van deze waarden als functie van de frequentie, dat het verloop van de lijn gelijk is, maar dat de waarden van de kritieke bandbreedten een factor ter waarde van ongeveer $2\frac{1}{2}$ —4 met die van Fletcher verschillen. Dat deze waarden zoveel hoger liggen dan die van Fletcher, verklaren Bos en De Boer door te stellen, dat Fletcher bij zijn experimenten vergat rekening te houden met het feit, dat een smalle ruisband een wisselende dichtheid heeft. Smalle ruisbanden klinken als tonen van langzaam variërende intensiteit. Bij het breder worden van de ruisbanden worden de fluctuaties sneller en tenslotte gaan zij in een gelijkmatige sensatie over bij bandbreedten van enige honderden Hz.

Door langzame fluctuaties, aan een smalle ruisband inherent, krijgt men een overwaardering van de maskering bij smalle ruisbanden.

Bij brede ruisbanden is dit effect niet aanwezig. Het is dus niet zonder meer mogelijk uit de confrontatie van maskeerwaarden bij grote en kleine bandbreedten tot een kritieke bandbreedte te besluiten.

Voor een kritieke band (volgens Gäsler, Zwicker en Greenwood) is de toondrempel ongeveer 6 dB. lager dan de maskeerintensiteit. Dit betekent dat in een ruis met intensiteit I_0 (per kritieke band) een toon hoorbaar is met een intensiteit $I_1 = \frac{1}{4} I_0$. Toon en ruis tezamen hebben een intensiteit $1,25 I_0$, hetgeen ten opzichte van de basisintensiteit I_0 juist een decibel harder is. De bovengenoemde waarnemingen zijn dus in overeenstemming met een waarde van 1 dB. voor de geluidsstrekte (intensity difference limen). Hiermee vervalt ook de waarde van Fletcher's tweede hypothese. Het is het gevolg van de fluctuaties dat de drempelintensiteit bij kleine bandbreedten ongeveer gelijk is aan de maskeerintensiteit.

4. In onze kliniek hebben DE BOER EN BOS het probleem op een geheel andere wijze trachten op te lossen. Om de invloed van fluctuaties van smalle banden te vermijden, gingen zij uit van een zeer brede ruisband. Hieruit filterden zij scherp een ruisgebied weg. Dit gebied noemden zij een „gat”. In het geometrische midden van dat gat, bepaalden zij de drempelwaarde van een toon. Bij verbreding van het gat, waarin het geometrische midden bij dezelfde frequentie blijft, ziet men de drempelwaarde van de toon in geringe mate dalen, totdat de kritieke bandbreedte bereikt wordt. Wordt het

gat breder dan de kritieke bandbreedte, dan ziet men een scherpe daling van de drempel. Op theoretische gronden zou men verwachten, dat deze daling steil zou zijn, maar doordat het oor de signalen in zekere mate vervormt en nooit volkomen scheidt, is deze daling niet oneindig steil. Bovendien zal de drempelwaarde o.a. door de vervormingscomponenten, die het oor produceert, nooit op de nullijn komen te liggen.

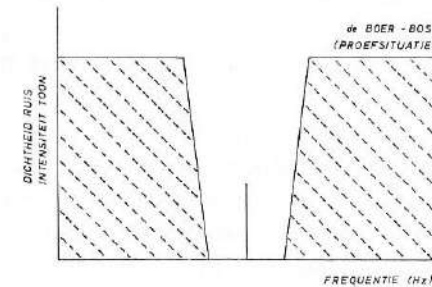


Fig. II-6

In een ruis wordt een scherp gat gefilterd. In het midden van dit gat wordt de drempel van een toon bepaald. Als het gat breder wordt dan de kritieke bandbreedte, dan zou de toon theoretisch niet meer gemaskeerd worden door de ruis.

De onderzoekers zagen bij deze bepaling dat de intensiteit van de ruis geen invloed heeft op de grootte van de kritieke bandbreedte, maar wel op de helling van de maskering als functie van de breedte van het uitgesneden ruisgebied. Deze laatste noemen wij in het vervolg de „SNIJHELLING”.

Op geheel andere gronden is eenzelfde type proef indertijd voorgesteld door Groen (met technisch enigszins ontoereikende middelen is de proef uitgevoerd door Webster e.a.).

Naast deze directe proeven, gericht op de kritieke bandbreedte, zijn er nog secundaire proeven, die alle een subjectieve beoordeling van de signalen vragen; bijvoorbeeld het onderzoek van in frequentie gemoduleerde signalen (Versteegh) en van het residu (Mathes en Miller, De Boer, Ritsma), dat een bepaalde introvertie van de proefpersoon vereist.

Verder zijn er proeven gedaan over de muzikale consonantie (Levelt en Plomp) en de analyse van complexe signalen (Plomp).

Deze onderzoekers vonden, dat, wanneer twee tonen zo dicht bij elkaar liggen, dat hun onderlinge afstand kleiner is dan de kritieke band, dit complex als vals gewaardeerd wordt. Klassieke componisten (o.a. J. S. Bach) hebben onbewust met de kritieke band rekening gehouden. Plomp en Levelt zagen, dat over alle frequenties de gemiddelde afstand tussen twee tonen ongeveer parallel loopt met de grootte van de kritieke band.

Ten slotte zijn er nog proeven gebaseerd op de waarneming van zeer kortstondige signalen (Plomp; Plomp en Bouman).

Zij vonden in grote trekken het volgende. Over een groot gebied van tijdsduren is de drempelenergie van een kort toonstootje constant. Bij kleinere tijdsduur wijkt de drempel af; voor zo'n signaal is het spectrum breder dan de kritieke band; de breedte van de kritieke band kan geschat worden aan de hand van deze afwijkingen.

Deze laatste groep van onderzoeken is nog niet als afgesloten te beschouwen.

Als leidraad voor het experimentele en klinische werk moge het volgende citaat van De Boer en Bos gelden:

"It is to be concluded that in the concept of the critical band one should not emphasize the integration aspect too much. Indeed, perception of narrow-band signals is determined by their temporal course, not by their integrated frequency spectrum. One should instead put the emphasis on the separability of signals (as exemplified by the receptor response function)."

IDEË – METING – METHODE – PROEF

De verschillende methoden om de kritieke band te meten hebben hun bezwaren. Om aan te tonen, waarom wij in het te beschrijven onderzoek ten slotte de methode van De Boer-Bos (toon-in-gat methode) hebben gekozen, zullen in dit hoofdstuk de stoorinvloeden bij de verschillen methoden van meting van de kritieke band worden beschreven.

A. (Stoor) Invloeden door de proefopstelling.

In de *proef volgens Fletcher* wordt de drempelwaarde gemeten van een toon te midden van een ruisband als functie van de bandbreedte.

Bij kleine bandbreedte stijgt de drempelwaarde met de bandbreedte, bij een grote bandbreedte blijft hij constant, aangenomen, dat de spectrale dichtheid constant blijft.

Door Bos en De Boer is duidelijk gemaakt, dat de stijgende tak van de drempelwaardefunctie bedongen is, niet door de kritieke band, maar door de inherente fluctuaties van de smalle ruisbanden.

Men zou kunnen redeneren, dat men de stijgende tak in het Fletcher-diagram (fig. II-1) beter zou kunnen vervangen door een lijn die een beeld geeft van de intensiteitsdiscriminatie van het oor zonder beïnvloeding van fluctuaties opgenomen. Zulk een lijn zou bijvoorbeeld afgeleid kunnen worden uit de bepaling van het intensiteits-difference-limen, bijvoorbeeld volgens de methode van Lüscher. Het snijpunt van deze stijgende lijn met de horizontale lijn, gevonden uit de drempelbepaling bij grote ruisbandbreedte, zou dan een goede maat voor de kritieke bandbreedte zijn.

Met andere woorden, de kritieke bandbreedte zou berekend kunnen worden uit de toondrempel bij maskering met een brede bandruis en de gemeten waarden van de sterktetrede (D.L.), naar keuze voor geruis of voor toon. Een praktisch bezwaar van deze, zowel als van de oorspronkelijke methode van Fletcher is, dat er van de proefpersonen een zeer hoge nauwkeurigheid in de waarneming wordt vereist. Immers een verkeerde drempelwaarneming van een dB. (25% in intensiteit) betekent al een onnauwkeurigheid van 25%, aangezien de helling van de stijgende tak in fig. II-1 45° is.

Verder kunnen wij aanstippen dat we hier een relatie met de proef van Langenbeck hebben. Bij deze proef ziet men, dat wanneer men een ruis aan het oor aanbiedt, de drempelwaarde voor een toon in die ruis ongeveer gelijk is aan de sterkte van de ruis, althans volgens de ijking van de „Atlas” audio-

meter. Bij retro-cochleaire perceptie-hardhorendheden is volgens Langenbeck de drempelwaarde voor de toon groter dan de ruissterkte.

Bij de *proef van Gäsler* gaat men uit van de bepaling van de drempelwaarde van een tooncomplex in een ruis. Voegt men aan dit complex één of meer tonen toe, dan ziet men dat de drempelwaarde afneemt, indien de frequentie-afstand tussen de tonen niet groter is dan de kritieke bandbreedte in dit gebied.

Theoretisch lijkt deze proef juist. Het grote bezwaar ervan is, dat het in de praktijk zeer lastig is een instrumentarium te vervaardigen, dat multi-pele en stabiele tonen voortbrengt. Aangezien een dergelijke apparatuur niet goed te maken is zonder transistors en de aanvang van het onderzoek van de kritieke bandbreedte in ons laboratorium ongeveer samenviel met het moment waarop de eerste professionele transistors op de markt kwamen, hebben wij van deze methode afgezien.

Evenals bij de proef volgens Fletcher wordt er van de proefpersonen een zeer hoge nauwkeurigheid in de waarneming vereist. Ook hier zullen geringe waarnemingsfouten grote interpretatiefouten geven.

Daarbij dient opgemerkt te worden dat de ongewoonheid van de situatie, waarbij men ongelijke, maar gelijksoortige geluiden (ruisen) moet discrimineren, aan de proefpersonen zéér hoge eisen stelt.

Bij de *proef volgens Zwicker* bepaalt men de maskering door twee tonen van een ruisbandje, dat midden tussen die twee tonen staat. Indien men de afstand van de tonen vergroot, blijft de drempelwaarde voor de waarneming van de ruisband gelijk, totdat de afstand tussen de twee tonen een bepaalde kritieke frequentie-afstand passeert. Bij grotere afstand wordt de maskering van het ruisbandje door de tonen snel minder.

Als proef is deze methode goed, indien de tonen t.o.v. de ruis symmetrisch worden aangeboden. Ook hier is het instrumentarium vrij moeilijk te realiseren.

De situatie voor het waargenomen is zeer ongewoon; men moet hierbij immers tegen een achtergrond in de vorm van een dubbeltoon een ruis als testgeluid waarnemen.

De *tweede proef van Zwicker* bestaat uit de luidheidswaardering van een aantal tonen, waarbij de onderlinge frequentie-afstand gevarieerd wordt. De luidheidssensatie van dit complex blijft constant totdat de afstand van de laagste tot de hoogste toon groter wordt dan de kritieke bandbreedte. Daarna wordt de luidheidssensatie groter. Objectief is dit een goede proef. Het is echter voor een proefpersoon erg moeilijk luidheid precies te waarderen, zodat een luidheidsbepaling altijd onnauwkeurig is. Instrumenteel is deze proef redelijk gemakkelijk te realiseren, omdat geen zeer scherpe filters gebruikt behoeven te worden.

De *proef volgens De Boer-Bos* (T.I.G.-experiment) hebben wij ten slotte

voor onze proefnemingen gekozen, daar deze proefsituatie door de te onderzoeken persoon gemakkelijk is te beoordelen; het betreft immers de waarneming van een toon te midden van een ruis. Men meet hier echter niet zo zeer de kritieke bandbreedte als wel de snijhelling.

Deze is met de te verwachten meetnauwkeurigheid van een gemiddelde waarnemer redelijk goed te bepalen.

Instrumenteel is ook deze proefopstelling niet eenvoudig. De ontwikkeling van de uiteindelijke apparatuur heeft ons meer dan twee jaar gekost, gedurende welke tijd het onderzoek in enigszins primitieve vorm toch voortgang vond.

B. Invloed van de intensiteit in het algemeen.

1. De invloed van de intensiteit op de toonsterktetrede.

Bij een toon ziet men, dat bij toenemende intensiteit het difference limen (in dB. uitgedrukt) afneemt (Riess, Zwicker), terwijl bij een ruis het difference limen constant blijft. Men acht dit eerste o.a. veroorzaakt door vervorming. Dit is door Zwicker aangetoond in een experiment waarin hij eventueel gevormde boventonen van de toon met een scherp gefilterde ruis maskeerde.

Zwicker vond, dat dan het difference limen van een toon ook niet meer afhangt van de intensiteit. Om deze reden is het noodzakelijk, dat men bij discriminatieproeven zoveel mogelijk de boventonen maskeert. Door dit verschijnsel kan men verwachten, dat iedere lacune in het spectrum storing in de meting zal geven. In zo'n lacune zouden boventonen eerder gedetecteerd kunnen worden dan de testtoon zelf.

Gäsler vond bij zijn metingen geen invloed van de intensiteit op de waarden, die hij verkreeg voor de kritieke bandbreedte. Bij de proeven volgens Fletcher vonden Hawkins en Stevens weinig effect van de intensiteit op de waarden voor de kritieke bandbreedte. Dit laatste was ook niet te verwachten bij de gebruikte brede-bandmaskering. Er zou eerder een invloed kunnen zijn bij een smalle band. Dit verklaart wellicht voor een deel de betrekkelijk lage ligging van bepaalde door Fletcher verkregen drempelwaarden ten opzichte van de waarden die men ten gevolge van de fluctuaties mag verwachten. In dit verband moeten wij opmerken, dat de meetmethode volgens Zwicker I zeker intensiteitsgevoelig zal zijn. Dit blijkt ook uit de publicatie.

Greenwood geeft in zijn artikel een beschouwing over een bijzonder fenomeen, dat ontstaat wanneer de intensiteit van de ruisband meer dan 50 dB. wordt. Hij ziet dan dat de drempel voor een toon ongeveer $3\frac{1}{2}$ dB. stijgt, onafhankelijk van de mate waarin de ruisintensiteit boven de 50 dB. stijgt. Als verklaring stelt hij, dat de kritieke band boven de 50 dB. groter zou worden.

Het T.I.G.-experiment is minder kwetsbaar dan de proef volgens Zwicker I, maar in de loop van ons onderzoek bleek toch, dat de waarden voor de gatdiepten zeer afhankelijk van de intensiteit waren.

Voert men de proef in een a-symmetrische vorm uit, d.w.z. met slechts de lage of de hoge ruisband als maskeersignaal, dan blijkt het intensiteits-effect voor de lage tonen meer uitgesproken dan voor de hoge ruisband te zijn. Kennelijk geven ongemaskeerde hogere frequentiegebieden meer storingskansen dan de lagere.

2. Invloed van vervormingsproducten van de ruis.

Bij een proefopstelling, waarbij de situatie rondom de testtoon symmetrisch is, is de interpretatie gemakkelijker, maar men ondervindt toch ook in dat geval invloed van de intensiteit.

De conclusie lijkt gewettigd, dat hier het intensiteitseffect veroorzaakt wordt door vervorming van de ruis. Een gat in een ruis wordt door vervormingsproducten (boven-, som- en verschiltonen) van de ruis ten dele gevuld. Indien dit juist is, leveren de voor de bepaling van de kritieke bandbreedte niet-essentiële delen van de ruis, en wel de ver van de centrale testtoon gelegen frequentiegebieden, eigenlijk de belangrijkste bijdrage tot de vervorming.

Men moet daarom trachten de invloed van de ver van de testtoon afgelegen ruisdelen in de T.I.G.-proef zoveel mogelijk te verzwakken. Dit kan men bereiken door de ruis aan de uiteinden weg te filteren. In uiterste consequentie zou er van de ruis een zo smal gebied overblijven, dat er een variant op de proef van Zwicker I ontstaat. In plaats van twee tonen zijn er dan twee smalle ruisbanden als maskeringssignaal ontstaan, terwijl de testruis is vervangen door een testtoon in het midden tussen de twee ruisbandjes.

Het is duidelijk, dat nu ter weerszijden van het gemaskeerde frequentiegebied weer minimale maskering ontstaat. Het oor zal in deze ongemaskeerde gebieden ook gevoelig zijn voor vervormingsproducten van de testtoon. Eventueel kan men dan als lapmiddel, om de invloed van de laatste vervormingsproducten buiten de ruiseinden te verminderen, een ruisje toevoegen van lagere intensiteit. Uit onze proefnemingen bleek dit laatste toch geen enkele invloed te hebben op het verloop van de snijhelling in het ruisgat.

De hier gesuggereerde reeks experimenten wordt in het volgende hoofdstuk in detail behandeld.

OPZET VAN HET ONDERZOEK

Het doel van het onderzoek was de snijhelling te meten bij 500, 1000, 2000 en 4000 Hz en na te gaan of en in hoeverre deze meting klinisch toe te passen is. De proef bestaat in wezen uit het aanbieden van een ruis, waarvan de frequentiecomponenten over een scherp begrensde gebied weggesneden zijn, en uit het bepalen van toondrempels in dit gebied.

Het was in het begin van onze proefnemingen erg moeilijk gaten in een ruis te vormen, die voldoende scherp begrensd waren. De eerste proefnemingen hebben wij verricht met een gatfilter, waarmee men een gat rondom 4000 Hz in een (rose) ruis kon filteren. De breedte van dit gat kon in enkele stappen gevarieerd worden. De ruis met gat werd opgenomen op een band van een „taperecorder”. Door nu de band op een andere snelheid af te draaien verkregen wij gaten bij andere frequenties. Bij de opname hebben wij opzettelijk de hoogst bruikbare centrale frequentie vastgelegd, omdat het opnemen bij een hogere snelheid zuiverder mogelijk is en het afspelen bij lagere snelheden minder bezwaren heeft.

Deze techniek bleek bij meting redelijk nauwkeurig te zijn. Wij kregen gaten van een diepte van meer dan 35 dB., die echter na het noodzakelijke kopiëren van de band wel iets slechter werden.

In eerste opzet werd bij 5 proefpersonen de snijhelling gemeten. De uitkomsten worden in fig. IV-1 weergegeven. In deze figuur ziet men op de horizontale as de „gatbreedte” afgezet en op de verticale as de „dipdiepte” voor de centrale frequentie in dat gat.

Onder dipdiepte verstaan wij het aantal dB. dat de toondrempel in het midden van het gat verschilt van de toondrempel als de ruis geen gat bevat. Men ziet, dat er in het algemeen een betrekkelijk geringe spreiding tussen de metingen bij verschillende proefpersonen is, althans voor zover het de dipdiepte betreft. Bij zes proefpersonen werd daarna de invloed van de intensiteit met ruissterkten van 40-80 dB./terts gemeten. (Zie fig. IV-2 voor een representatief resultaat). Wij konden op dat moment met de toen aanwezige apparatuur geen hogere ruisintensiteiten met een meetbaar gat in de ruis produceren. Bovendien zou een grotere ruisintensiteit door normale proefpersonen moeilijk verdragen worden. Opgemerkt dient hierbij te worden, dat deze proeven bij 1000 Hz werden verricht met het bovengenoemde gatfilter, toen dat omgebouwd was tot een centrale frequentie van 1 kHz. Inmiddels was experimenteel gebleken, dat het opnemen bij lage bandsnelheid van een gat rondom 1 kHz op de band toch gunstiger is dan voor het

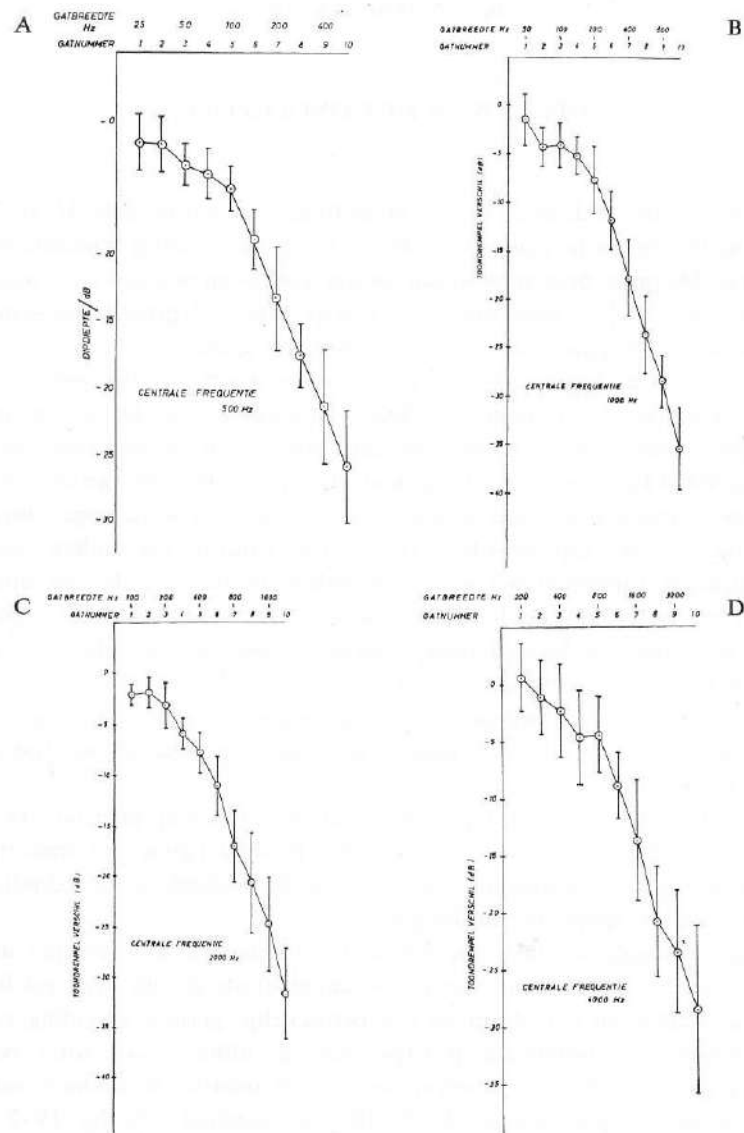


Fig. IV-1

Eerste resultaten van de T.I.G.-proef.

- A. Centrale frequentie 500 Hz.
- B. Centrale frequentie 1000 Hz.
- C. Centrale frequentie 2000 Hz.
- D. Centrale frequentie 4000 Hz.

Drempels (dipdiepten) zijn genormaliseerd, d.w.z. de drempel „zonder gat” is als nul-punt aangenomen. De snijhelling is de helling van de dipdiepte als functie van de gatbreedte. Punten zijn gemiddelden van metingen bij 5 proefpersonen. De verticale strepen geven twee maal de standaarddeviatie aan.

gebied rondom 4 kHz. Dit voordeel bij 1 kHz weegt op tegen het nadeel, dat de voor het filter te gebruiken spoelen (zelfinducties) bij 1 kHz een slechtere kwaliteitsfactor bezitten dan bij 4 kHz. De verdere experimenten werden gedaan óf met dit gemodificeerde filter óf met bandopnamen van het door dit filter gemaakte signaal.

De uitkomsten van deze proef (fig. IV-2) toonden aan, dat het intensiteits-effect niet veel groter was dan de spreiding van de onderlinge metingen bij gelijke intensiteit.

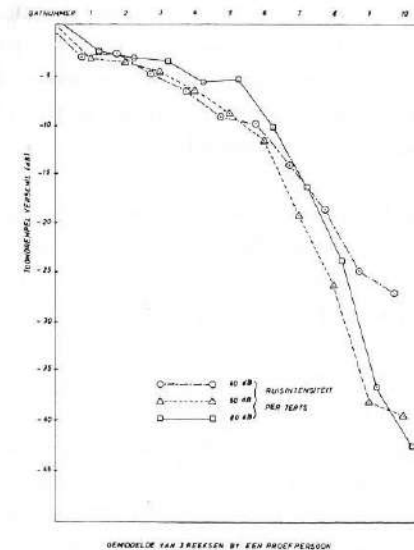


Fig. IV-2

Invloed van de ruisintensiteit (voorbeeld).

De drie meetreeksen zijn uitgevoerd bij drie verschillende intensiteiten. Terwille van de duidelijkheid zijn de meetpunten in horizontale richting iets ten opzichte van elkaar verschoven uitgezet.

Deze resultaten waren voor ons aanleiding de (voorbarige) conclusie te trekken, dat de intensiteit nauwelijks van invloed is op de snijhelling. Dit was de reden om te onderzoeken of de tot zover gevolgde methode klinisch bruikbaar is en of er bij bepaalde gehoorstoornissen veranderingen in de snijhelling aantoonbaar zijn. Deze gedachte hadden wij vooral gekregen nadat wij bij meting van een patient met ziekte van Ménière en een patient met lawaaidooftheid een duidelijk afwijkend verloop hadden geconstateerd. Eén en ander werd nog ondersteund door de gangbare opvatting, dat het kritieke bandmechanisme voornamelijk in de cochlea gelocaliseerd is. De

eerste klinische versie van een methode voor het bepalen van de snijhelling bestond uit het afdraaien van een band, waarop gaten van verschillende breedten waren opgenomen. Via het tweede kanaal van de stereofonische taperecorder waren zes toontjes opgenomen, waarvan elk 2 dB. zwakker was dan zijn voorganger. Deze toontjes konden, gemengd met de ruis, via een zogenaamde stereofonische (eigenlijk twee-kanalige) audiometer worden gepresenteerd. Hierbij konden de toontjes naar believen versterkt of verzwakt worden, terwijl ook de ruissterkte afzonderlijk ingesteld kon worden. Wij gebruikten uitsluitend monaurale aanbiedingen.

Door nu de patient de toontjes te laten tellen konden wij de drempelwaarde van een toon in het midden van een gat tot op 2 dB. nauwkeurig meten. Dit werd bij elke frequentie voor tien verschillende gatbreedten gedaan. Wij gebruikten dezelfde gatbreedten als in fig. IV-1 is aangegeven. Deze methode had twee zeer grote nadelen:

1. De patienten bemerkten spoedig, dat er bij elke aanbieding een reeks van zes toontjes werd gegeven. Dit veroorzaakte zeer vaak een foutieve interpretatie, waarbij het leek, alsof de onderzochte meer hoorde dan in werkelijkheid het geval was. Daarom was deze methode klinisch ongeschikt. Een verbetering in deze proefopstelling bracht het gebruik van een toongenerator voor de drempelbepaling midden in het gat.

Hierdoor konden wij het testtoontje willekeurig aanbieden, hetgeen het nadeel van de zes toontjes deed vervallen. Nu werd echter de omvang van de apparatuur groter en de bediening ervan moeilijker.

2. In het begin van onze klinische proeven duurde elke meting bij iedere patient per frequentie ongeveer $1\frac{1}{2}$ –2 uur, zodat de gehele meting ongeveer 2–3 middagen duurde. Door nu inplaats van alle tien gaten (zie fig. IV-1) slechts de gaten no. 5, 7, 9 en 11 te meten, hetgeen ons toch een redelijke indruk gaf over het verloop van de snijhelling, werd de tijd voor iedere proefreeks bekort tot ongeveer een uur. Een verdere verkorting gaf ook hier het gebruik van de afzonderlijke toongenerator. Voor de sterkte van de ruis namen wij, indien mogelijk, 60 dB./terts boven de hoordrempel van de patient (bij de centrale frequentie).

Toen meenden wij nog steeds, dat de intensiteit weinig of geen invloed heeft op het verloop van de snijhelling.

Het aantal gevonden afwijkingen bij patienten was onverwacht vrij groot en daar wij nu met absolute ruissterkten tot 120 dB./terts werkten, hebben wij geprobeerd met de op dat moment aanwezige apparatuur de snijhelling bij verschillende intensiteiten tot 120 dB./terts bij normaalhorenden te meten. Een ruissterkte van 100–120 dB./terts is echter voor een normaalhorende niet te verdragen, zodat we bij deze proeven toch niet boven 90 dB./terts uitkwamen.

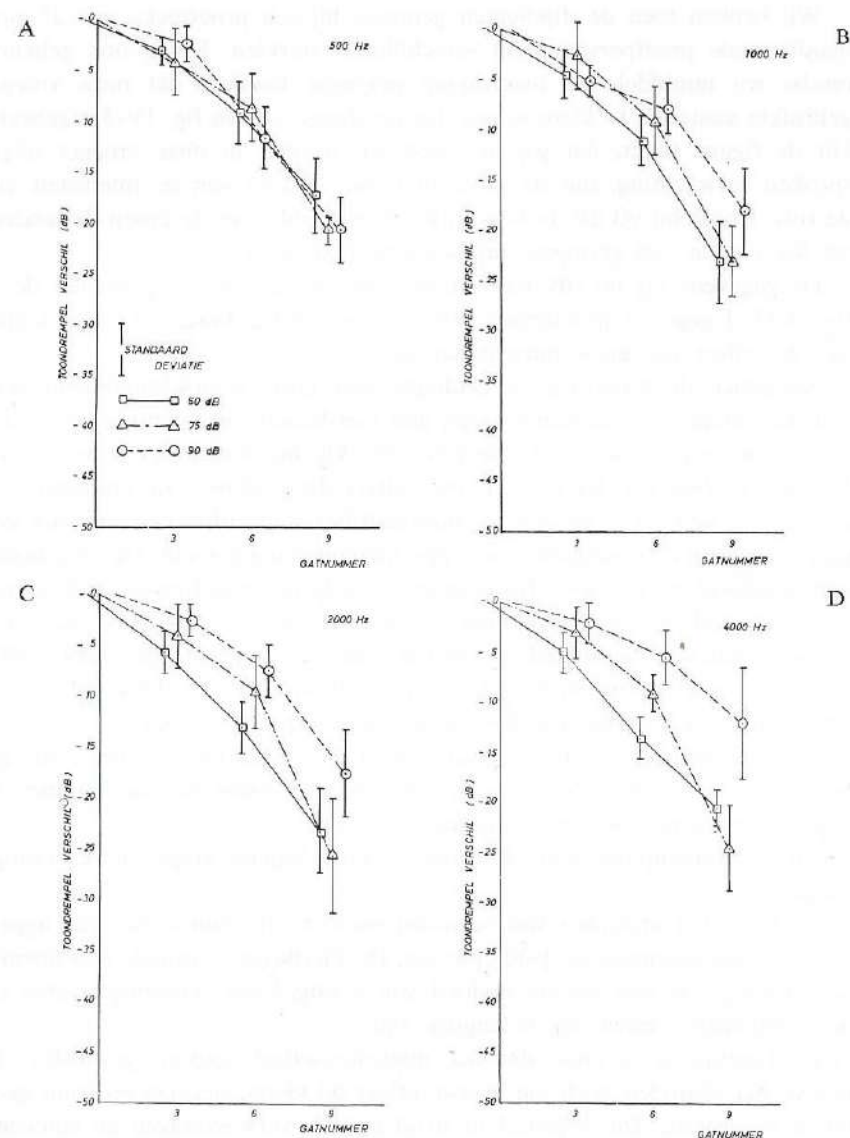


Fig. IV-3

Meting van toondrempels – in – gat bij 25 normale proefpersonen bij drie verschillende ruissterkten. Ruis opgenomen op magnetische band, weergegeven via „stereospraakaudiometer”. Resultaten bij drie verschillende ruissterkten (aangeduid in dB. per terts bij de centrale frequentie) zijn horizontaal iets t.o.v. elkaar verschoven uitgezet. Het „toondrempelverschil” is de drempel t.o.v. die, gemeten zonder gat. De ordinaat is dus de diepte. Om tijd te besparen is een selectie gedaan uit de beschikbare gatbreedten.

- A. Centrale frequentie 500 Hz.
- B. Centrale frequentie 1000 Hz.
- C. Centrale frequentie 2000 Hz.
- D. Centrale frequentie 4000 Hz.

Wij hebben toen de dipdiepten gemeten bij een proefreeks van 25 normaalhorende proefpersonen bij verschillende sterkten. Dit is ook gebeurd, omdat wij inmiddels de overtuiging gekregen hadden, dat onze vroeger gebruikte aantallen te klein waren. De resultaten zijn in fig. IV-3 afgebeeld. Uit de figuur blijkt, dat wij niet gestaafd werden in onze vroeger uitgesproken verwachting, dat de snijhelling niet afhangt van de intensiteit van de ruis. Reeds bij 90 dB./terts is in het gemiddelde van de groep de tendens tot het vinden van geringere dipdiepte te bespeuren.

De gegevens bij 60 dB./terts vallen met één uitzondering binnen de in figuur IV-1 gegeven spreidingen. Vergeleken met fig. IV-2 valt de omkering van het effect van grote intensiteiten op.

Aangezien de teruggang in gatdiepte met grote waarschijnlijkheid voor een deel toegeschreven kan worden aan niet-lineaire vervorming (zie hfdst. I), zou het zin hebben de totale geluidssterkte bij deze proef te reduceren. Daarom hebben wij, voor zover onze filters dat toelieten, de uiteinden van de ruis met een hoog- en een laagdoorlaatfilter weggefilterd en opnieuw een proefreeks van 25 normaalhorende proefpersonen onderzocht. De uitkomsten zijn afgebeeld in fig. IV-4. Bij deze en de volgende proefreeksen gebruikten wij het inmiddels gereedgekomen „klinische gatfilter”, waarmee we gaten van verschillende bandbreedten konden realiseren rondom 500, 1000, 2000 en 4000 Hz. De doorlaatkrommes van dit filter in de verschillende standen komen overeen met die van het vroeger gebruikte vaste filter.

Het breedste gat van het klinische gatfilter is twee keer zo breed als gat no. 9 van het „oude” filter en zou dus in onze oude nummering met 11 (fig. IV-3) moeten worden aangeduid.

Uit de vergelijking met de vorige figuur blijken enige merkwaardige dingen:

1. Door het afsnijden van ruiscomponenten, die buiten het gat liggen, neemt in het algemeen de gatdiepte toe. De hierboven vermelde niet-lineaire vervorming, c.q. een andere invloed van verafgelegen ruiscomponenten op de toondrempel, moet dus belangrijk zijn.

2. Tegelijk is te zien, dat het intensiteitseffect groter geworden is; m.a.w. het afsnijden heeft het meeste effect bij kleine sterkten en soms geen effect bij grotere. Dit is geheel in strijd met de verwachtingen en betekent, dat men voorzichtig moet zijn met het verklaren van een sterkte-effect in het algemeen.

3. De afwezigheid van een sterkte-effect bij onze vroegere proeven blijkt op een toevallige samenloop van omstandigheden te berusten; verschillende effecten werken elkaar tegen, welke effecten door het eenvoudige proces van het afsnijden worden gescheiden. Verder onderzoek met het oogmerk hiervoor een verklaring te vinden zou gewenst zijn.

4. Geheel onverwacht is het feit, dat de gatdiepte bij 4000 Hz met af-

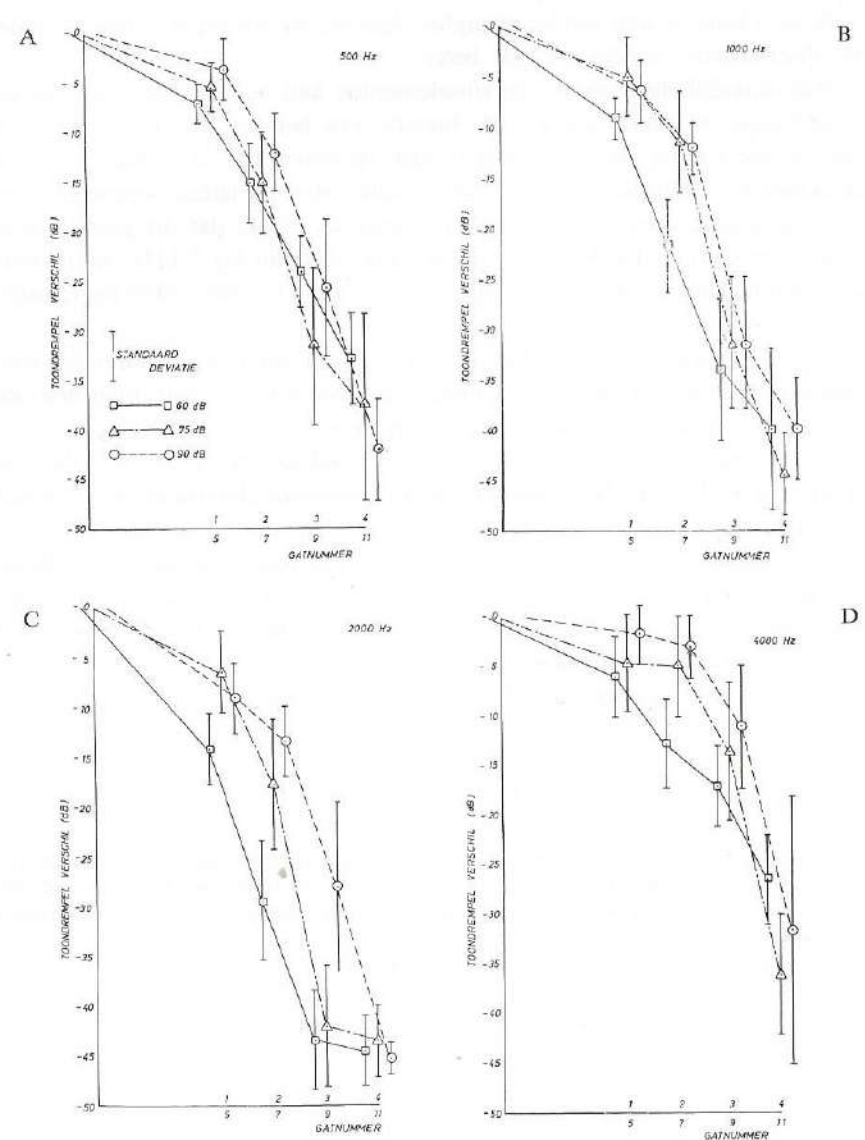


Fig. IV-4

Meting van toondrempel – in – gat met extra filtering van de ruis. Gemiddelden en standaarddeviaties voor 25 normale proefpersonen. Ruis gepresenteerd via „klinisch gatfilter” en extra hoog- en laagafsnijdende filters (vgl. Fig. V-1). Afsnijfrequenties: zie tekst.

Resultaten bij drie ruisintensiteiten (dB./terts) zijn horizontaal iets ten opzichte van elkaar verschoven uitgezet. Gatnummer boven de lijn: nummering voor klinisch gatfilter; gatnummer onder de lijn: overeenkomstige nummering in vroegere methodieken.

A. Centrale frequentie 500 Hz.

B. Centrale frequentie 1000 Hz.

C. Centrale frequentie 2000 Hz.

D. Centrale frequentie 4000 Hz.

snijding kleiner is dan zonder afsnijding (gat no. 9). Mogelijk is met afsnijden de discriminatie zonder het gat beter.

Aanvankelijk hielden wij de ruiselementen aan beide zijden van het gat even breed, onafhankelijk van de breedte van het gat. Dit kostte ons zeer veel schakelen en de mogelijkheid van vergissen bij de meting was niet denkbeeldig. Daarom hebben wij de ruisuiteinden bij iedere frequentie constant gehouden toen uit de gemeten proefreeks bleek, dat dit geen verschil in uitkomsten gaf. Dit is zeer verwonderlijk, daar nu bij 2 kHz slechts twee zeer smalle ruisbandjes het gat bij gat 4 (= gat 11 oude reeks) begrensd. (Zie voetnoot).

Met deze opstelling werd het nu wel mogelijk bij normaalhorenden ruisintensiteiten tot 120 dB./ters te meten, daar de totale geluidsintensiteit, die aan het oor wordt aangeboden, veel minder is.

Wij hebben nu nogmaals 25 personen onderzocht en vrijwel dezelfde resultaten verkregen. Bovendien werd de reproduceerbaarheid bij 10 proefpersonen onderzocht.

In deze laatste opstelling hebben wij een reeks patienten met verschillende gehoorstoornissen onderzocht. Als vergelijkingsmaat gebruikten wij de gemiddelden en standaarddeviaties, die wij voor de laatstgenoemde groep van 25 normaalhorenden hadden gevonden.

De resultaten worden in hoofdstuk VI behandeld.

Noot.

Dit is alleen bij 2000 Hz het geval. In de andere frequenties, 500, 1000 en 4000 Hz, kon aan een der zijden het gat niet door een smal ruisbandje worden begrensd. Dit komt, omdat de apparatuur de laagste afsnijfrequentie heeft op 630 Hz en de hoogste op 4 kHz.

UITEINDELIJKE OPSTELLING, MEETMETHODE, RESULTATEN, REPRODUCEERBAARHEID

De uiteindelijke opstelling, die wij voor het meten bij patienten hebben gebruikt, bestaat uit een ruisgenerator, een gatfilter, een low-pass- en een high-passfilter, een „stereofonische” spraakaudiometer, een toongenerator en een onderbreker. De opstelling van deze apparatuur wordt in het blok-schema (fig. V-1) voorgesteld.

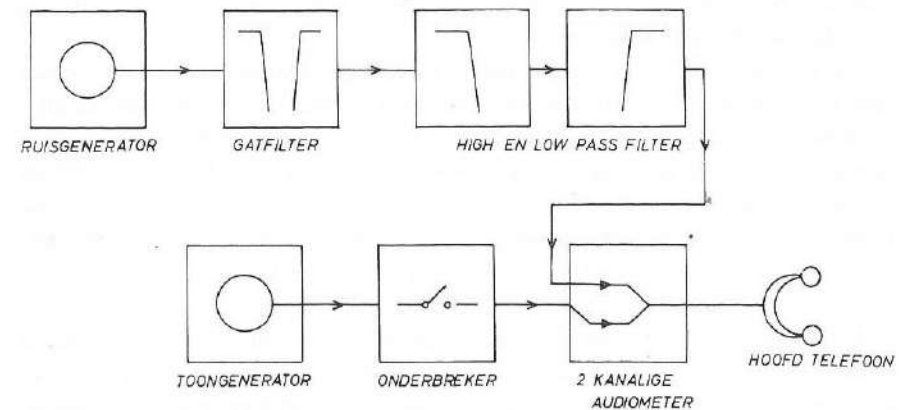


Fig. V-1

Schema van de uiteindelijk gebruikte apparatuur.

De ruisgenerator produceert een rose ruis. Deze ruis gaat naar het gatfilter, waar een gat met een breedte van 20, 40, 80 of 160% van de centrale frequentie scherp wordt uitgefilterd. De centrale frequentie, het geometrische midden van het gat, blijft hierbij constant. Deze kan gekozen worden uit de reeks 500, 700, 1000, 1500, 2000, 3000 en 4000 Hz. Wij gebruikten slechts de waarden 500, 1000, 2000 en 4000 Hz. De ruis met gat gaat nu naar een high- en een low-passfilter die de uiteinden van de ruis verkorten. De afsnijfrequenties worden altijd een octaaf onder en boven de centrale frequentie gekozen. (Zie voetnoot hoofdstuk IV).

Een high-passfilter is een filter, dat alleen geluidscomponenten boven een in te stellen frequentie doorlaat. Een low-passfilter doet het omgekeerde. In de stereofonische spraakaudiometer (d.i. een twee-kanalige audiometer)

wordt de ruis met gat en afgesneden uiteinden op de gewenste sterkte gebracht, met de toon gemengd en via een hoofdtelefoon aan het oor aangeboden.

De drempel bij de centrale frequentie van een gat wordt als volgt bepaald:

Een testtoon gelijk aan de centrale frequentie van het gat, wordt door de toongenerator geleverd. Deze toon gaat via de onderbreker naar de stereofonische spraakaudiometer en wordt daar op de juiste instelbare intensiteit gebracht en aan hetzelfde oor aangeboden, dat de ruis ontvangt. Door de onderbreker kan men een willekeurige opeenvolging van toontjes krijgen en maakt men de detectie van een toon temidden van een ruis gemakkelijker.

De procedure van de drempelbepaling verloopt nu precies als bij de toonaudiometrie. Over het algemeen wordt het onderzoek in één zitting verricht. De snijhellingen bij 1000, 2000, 4000 en 500 Hz werden in deze volgorde bepaald. Nadat bij twee frequenties is gemeten (hetgeen ongeveer 10 minuten duurde) wordt even gepauzeerd.

De meting vond in het begin plaats in een geluidarme kamer, die echter niet erg geluiddicht is. Mensen met een goed gehoor worden in deze ruimte, ondanks het feit, dat de hoofdtelefoons extra geluidsisolerend zijn, toch door lawaai van buiten af in hun waarnemingen gehinderd. Op het laatst hebben wij daarom de proefreeksen voortgezet in een geïsoleerd gelegen geluidarme bunker. Deze is aanmerkelijk meer geluiddicht dan de geluidarme kamer. Hij heeft echter het nadeel, dat door de stilte de onderzochten er, ondanks de ventilatie, slaperig in worden.

Een ander nadeel is, dat deze proefnemingen nu buiten de kliniek plaats vinden en dat de proefpersonen, c.q. patienten, langs een voor hen indrukwekkende hoeveelheid apparatuur naar de onderzoekkamer worden geleid. Dit kan iemand het gevoel geven, dat hij als proefkonijn gebruikt wordt, hetgeen zijn concentratie, naar het schijnt, doet verminderen.

In de voorgaande hoofdstukken is uiteengezet, op welke manier wij gekomen zijn tot een eindoordeel betreffende het probleem van de kritieke bandbreedte. Alvorens wij ons nu wagen aan een bespreking van de metingen bij patienten met hoorafwijkingen, dient nog één vraag afzonderlijk te worden behandeld. Op grond van de geconstateerde afwijkingen van de meetresultaten onderling, zou men mogen veronderstellen, dat één meting bij een patient niet voldoende nauwkeurig zou zijn. Het gemiddelde van een reeks metingen geeft zeker een nauwkeuriger resultaat. Dit punt kan natuurlijk van grote betekenis voor een eventuele uitvoering van de kritieke bandmeting als routine-onderzoek zijn. Als het blijkt, dat een meting meer dan eens herhaald moet worden voor een betrouwbaar resultaat, wordt zo'n routine-onderzoek wel zeer bezwaarlijk. Men zou van een patient niet mogen verlangen zich herhaaldelijk ter beschikking te stellen terwille van een weliswaar niet van belang ontbloot, maar ongeschikt punt van de diagnostiek.

De vraag in hoeverre men van een reeks van waarnemingen een grotere nauwkeurigheid mag verwachten, hebben wij bestudeerd door middel van een speciale reeks experimenten.

Bij tien normale proefpersonen werden bij vijf verschillende sterkten en bij vier verschillende frequenties de drempels bepaald met ongemodificeerde ruis, respectievelijk met de gaten no. 3 en 4, en deze metingen werden bij elke proefpersoon drie maal herhaald. De metingen met gat verliepen overeenkomstig met die van de patienten. Het interval tussen deze herhalingen was minimaal een dag, maar in sommige gevallen zelfs enige weken.

Voor elke proefsituatie krijgt men aldus een drietal waarnemingen, waaruit kan blijken hoe hoog de nauwkeurigheid van een enkele meting aangeslagen moet worden. De gebruikte frequenties zijn 500, 1000, 2000 en 4000 Hz. Per frequentie hebben wij de verkregen waarden als volgt uitgezet: op de abscis de intensiteit van 60 tot 120 dB. en op de ordinaat de drempel van de toon midden in het gat. De vijf intensiteitsinstellingen zijn

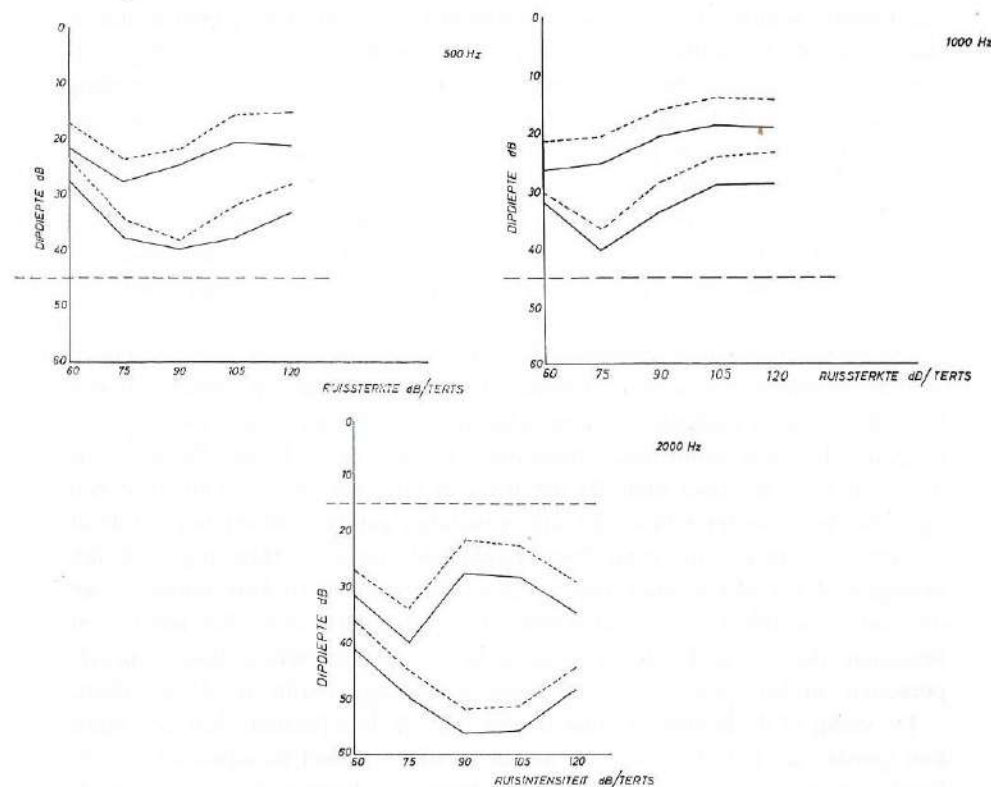


Fig. V-2

Uitgezet is hier voor de gaten 3 en 4 (3 bovenste, 4 onderste lijn) de dipdiepte als functie van de spectrale dichtheid van de ruis. De stippellijnen geven de standaarddeviatie aan.

60, 75, 90, 105 en 120 dB.; dit zijn de nulpunten van de schalen waarlangs de drempel wordt afgezet, de ruisintensiteit per terts is 10 dB. lager. Bij de hoogste sterkte-instelling (120 dB.) is het niet mogelijk een meting met ongemodificeerde ruis uit te voeren, daar dit te onaangenaam is. Het omvangrijke materiaal moet worden bewerkt volgens de regels van de statistiek. Als statistische methode kozen wij de variantie-analyse, met één variabele, beoordeeld voor het model van een oneindige aselechte verzameling. Men vindt details van deze methode in het boek van Dixon en Massey getiteld: *Introduction to Statistical Analysis* (Mc Graw-Hill, New York 1957).

De gedachtengang die aan deze methode ten grondslag ligt is de volgende. Veronderstel dat alle mogelijke metingen, verricht bij één proefpersoon, tezamen een verzameling vormen, die normaal verdeeld is met een gemiddelde waarde a_1 en een standaarddeviatie σ . Het gemiddelde a_1 kan van proefpersoon tot proefpersoon verschillend zijn; laten we veronderstellen, dat alle gemiddelden a_1 tezamen een normale verdeling vormen met een gemiddelde waarde a en een standaarddeviatie σ_1 . Als nu σ_1 veel groter is dan σ , zijn de verschillen tussen de proefpersonen veel groter dan de variabiliteit tussen opeenvolgende metingen aan één proefpersoon. Een herhaling van metingen is dan niet zinvol. Zijn σ_1 en σ ongeveer even groot, dan zijn de verschillen tussen de proefpersonen van dezelfde orde van grootte als de meetfout, inherent aan een meting. In dit geval zou men bij metingen aan een beperkt aantal proefpersonen er zeker voordeel bij hebben elke meting enige malen te herhalen om de meetfout te reduceren en op deze wijze een nauwkeuriger waarde van de variabiliteit tussen de proefpersonen te berekenen.

De standaarddeviaties σ en σ_1 , die gelden voor oneindige verzamelingen, zijn natuurlijk niet meetbaar. Inplaats hiervan kan men op grond van een beperkt aantal waarnemingen een schatting zowel voor σ als voor σ_1 verkrijgen. Met deze schattingen moet men nagaan of σ_1 belangrijk groter is dan σ of niet. Dit doet men als het ware in omgekeerde zin door voor een ogenblik te veronderstellen, dat alle gevonden getallen alleen het resultaat zouden zijn van een meetfout (met standaarddeviatie σ). Men mag zich dan afvragen of het gehele materiaal op deze wijze verklaard kan worden. Kan dit, dan is σ minstens zo belangrijk als σ_1 . Kan dit niet, dan moet men besluiten dat er variabiliteiten, in casu de variabiliteiten tussen proefpersonen, in het spel zijn, die minstens zo belangrijk zijn als de meetfout.

De vraag of de hypothese juist is, dat het gehele cijfermateriaal verklaard kan worden uit het effect van de meetfout alleen, wordt beantwoord aan de hand van een toetsingsgrootheid. Men berekent daartoe de verhouding F van de bovengenoemde schattingen van σ_1 en van σ . Op grond van de hypothese (die er op neerkomt, dat de echte waarde van σ_1 nul zou zijn) moet F kleiner zijn dan een waarde F_0 te vinden uit een statistische tabel.

Is F , zoals berekend uit het cijfermateriaal, groter dan F_0 , dan is de hypothese dat er geen verschil is tussen de metingen niet houdbaar. De afwijking wordt dan significant genoemd. In zo'n geval heeft een herhaling van metingen weinig zin, daar de variabiliteit tussen proefpersonen overheerst. Is de berekende waarde van F kleiner dan de grenswaarde F_0 , dan zou een verder statistisch onderzoek iets kunnen opleveren aangaande de meest waarschijnlijke verhouding tussen de diverse types van variabiliteit. De berekeningen werden voor onze gegevens uitgevoerd met behulp van een rekenmachine.

Het programma voor de rekenmachine werd opgesteld door Dr E. De Boer en, na uitvoerige controles, op het cijfermateriaal uitgevoerd. Hierbij is gebruik gemaakt van de I.B.M. 1620 rekenmachine.

Tabel 1 geeft een overzicht van de resultaten.

Een plusteken in de kolom „significantie” wijst op een afwijking, die op grond van de bovenomschreven hypothese met minder dan 5% waarschijnlijkheid zou voorkomen. We noemen zo'n afwijking significant en willen hieruit de conclusie trekken, dat de meetfouten van ondergeschikte betekenis zijn t.o.v. de variabiliteit tussen proefpersonen.

Een nul in de betrokken kolom wijst er op, dat de hypothese houdbaar is voor de betrokken getallen.

Men kan uit de berekeningen de volgende conclusies trekken. Voor het merendeel van de metingen met een gat (34 van de 40) is het resultaat significant afwijkend. Dat betekent, dat voor gat 3 en gat 4 de afwijkingen tussen proefpersonen belangrijker zijn dan de meetfout van één meting. Met andere woorden, van een herhaling van metingen mag men niet verwachten een maximaal effect te kunnen bereiken wat betreft de standaarddeviatie voor een groep normaalhorenden.

Voor de metingen met ongemodificeerde ruis („direct”) daarentegen, is het merendeel van de resultaten niet significant afwijkend (13 van de 16 gevallen). Klaarblijkelijk spreiden de metingen „direct” belangrijk minder van persoon tot persoon, aangezien de meetfouten hier niet groter blijken te zijn dan bij de metingen met een gat. Men mag dus besluiten, dat het niet nodig is de metingen met een gat te herhalen met de bedoeling een eventuele pathologische afwijking scherper te kunnen vaststellen.

Uit dit onderzoek is verder de standaard-afwijking die men aan één meting moet toekennen afgeleid. Uit de schattingen σ' en σ'_1 , die uit de meetresultaten zijn verkregen voor de standaarddeviaties σ en σ_1 , is afgeleid een schatting voor de totale variantie σ'_{tot}

$$\sigma'_{\text{tot}} = \sqrt{(\sigma')^2 + (\sigma'_1)^2}$$

Deze variantie wordt, tezamen met de uit het totale meetmateriaal voor iedere situatie berekende gemiddelde waarde, gebruikt voor de beoordeling

van metingen bij patienten. Alle verkregen gegevens zijn verwerkt in fig. V-2. Bespreking volgt in hoofdstuk VI.

Met dit cijfermateriaal mag men de vraag tegemoet zien of de gevolgde methodiek bruikbaar is als een test voor patienten. Deze vraag kunnen wij, onvoorziene omstandigheden voorbehouden, bevestigend beantwoorden. De test is eenvoudig uit te voeren, zij verschilt nauwelijks van de audiometrische bepaling van de gehoordrempel. Als patienten zich wat hun variabiliteit betreft gedragen als de, gedeeltelijk ongeselecteerde, proefpersonen, valt er een redelijke nauwkeurigheid te verwachten. Anders is het met de interpretatie van de resultaten. Als wij zien dat de gemiddelden belangrijk afhangen van de intensiteiten zullen wij ons moeten afvragen, tegen welke intensiteitswaarde wij de resultaten moeten beoordelen. Voor de geleidings-slechthorenden is het antwoord eenvoudig. Men dient in eerste instantie slechts rekening te houden met de intensiteit die de cochlea bereikt.

Voor de perceptieslechthorenden is er een ambivalentie in dit opzicht. Wij komen hierop in het volgende hoofdstuk nog terug.

ONDERZOEK BIJ GEHOORGESTOORDEN

De in dit hoofdstuk beschreven resultaten bij patienten moeten gezien worden als een eerste aftasten van de mogelijkheden met de ontwikkelde techniek. Op grond van de proeven van De Boer en Bos waren wij in de veronderstelling, dat de dipdiepte nagenoeg onafhankelijk was van de sterkte van de ruis. In de loop van het onderzoek kregen wij een andere mening; daarop hebben wij bij 25 proefpersonen (reeds eerder vermeld) de dipdiepte bij 60, 75, 90, 105 en 120 dB. gemeten. De experimentele techniek was inmiddels veranderd door het afsnijden van minstens één der uiteinden van de ruis. Uit de gegevens, die wij uit deze reeks kregen bleek, dat:

1. de dipdiepte bij de lagere intensiteiten toenam met de ruissterkte. Dit is te verklaren door aan te nemen, dat de bodem van de dip bij geringe ruisintensiteiten net op de gehoordrempel blijft. Met andere woorden, de gevonden drempel weerspiegelt de echte gehoordrempel en niet de frequentie-selectiviteit.

2. de dipdiepte constant wordt bij grotere ruisintensiteit; volgens de theorie geeft dit een maat voor de maximale discriminatie, als het ware de „kwaliteit” van het kritieke bandmechanisme.

3. de dipdiepte echter boven circa 90 dB./terts weer kleiner wordt, hetgeen onder andere het gevolg kan zijn van vervorming in het middenoor en/of van specifieke eigenschappen van het binnenoor.

Aan de andere kant moeten wij bij de beoordeling van onze resultaten altijd nog rekening houden met de mening van een enkele auteur (Greenwood), dat de kritieke band wel degelijk intensiteitsgevoelig zou zijn.

Indien dit laatste juist mocht zijn, wordt de interpretatie van onze waarnemingen wel bijzonder moeilijk.

Bij de beoordeling van onze waarnemingen bij gehoorgestoorden zijn wij er van uitgegaan, dat alle waarden, die binnen een afstand van twee maal de standaarddeviatie rondom het gevonden gemiddelde liggen, als normaal te beschouwen zijn. Dat wil dus zeggen, dat, statistisch bezien, 95% van alle normale gevallen in dit gebied moet liggen. Wij noemen een gevonden waarde positief afwijkend, wanneer de dipdiepte kleiner is dan de gemiddelde dipdiepte min twee maal de standaarddeviatie. Is de dipdiepte meer dan de gemiddelde gevonden waarde plus twee maal de standaarddeviatie, dan noemen wij de afwijking negatief significant.

Positief betekent dus, dat de gevonden drempel te hoog (bij te hoge intensiteit) ligt.

Negatief betekent, dat de gevonden drempel te laag ligt, d.w.z. bij lagere intensiteit dan men zou mogen verwachten.

Het onderzoek is begonnen vanuit de werkhypothese, dat de kritieke band cochleair wordt bepaald en dat men alleen bij cochleaire stoornissen een afwijking van de dipdiepte zou vinden en dan alleen in positieve zin.

Meting met kunstmatig geleidingsverlies

Wij hebben bij een twintigtal normale proefpersonen een geleidingsverlies veroorzaakt door een wat, gedrenkt in olie, in de gehoorgang te brengen. Hierdoor kregen wij een geleidingsverlies, variërend van 30–50 dB. Dit hebben wij pas gedaan, toen wij reeds enigszins gevorderd waren met het onderzoek van onze patienten. De opzet van deze reeks was aan te tonen, dat een kunstmatig geleidingsverlies geen invloed heeft op de dipdiepte.

Wij hebben de gevonden waarden „relatief” uitgezet, d.w.z. de dipdiepte tegen de intensiteitswaarde die gelijk is aan de sterkte van de aangeboden ruis min het gehoorverlies.

Wij vonden de volgende aantallen:

	500 Hz	1 kHz	2 kHz
bij gat 3:	52/o 2/+	51/o 1/+	45/o 2/+
bij gat 4:	51/o 3/+	44/o 8/+	38/o 9/+

In deze tabel staan de drie gemeten frequenties naast elkaar. De getallen er onder geven vóór de streep het aantal onderzochten aan. De tekens achter de streep geven aan tot welke groep deze onderzochten behoren.

o betekent in deze tabel een waarde binnen twee maal de standaarddeviatie; + betekent dipdiepte kleiner dan de gemiddelde waarde min twee maal de standaarddeviatie; — betekent dipdiepte groter dan de gemiddelde waarde plus twee maal de standaarddeviatie.

De uitkomsten geven iets meer afwijkingen te zien dan men op grond van de statistiek zou kunnen verwachten. De gevonden positieve afwijkingen zijn bij gat 3 net iets meer dan de verwachte 2.5%, maar dat kunnen wij van gat 4 niet meer zeggen. Het bleek, dat de gevonden positief afwijkende waarden vooral gevonden werden bij de proefpersonen, die een geleidingsverlies van meer dan 40 dB. hadden; namelijk in 8 van de 12 gevallen was dit verlies groter dan 40 dB. In de drie overige gevallen, waar het verlies ook groter was dan 40 dB., werd geen afwijking gevonden.

Voor deze vondst zou misschien vervorming van de telefoon bij hogere

sterkten aansprakelijk kunnen zijn. Dit blijkt echter niet zo te zijn. Wij hebben de telefoon bij deze grote sterkte (120 dB.) herhaalde malen gemeten en nimmer een afwijking gevonden, die op vervorming wees. Een andere oorzaak zou een onjuiste meting van het geleidingsverlies of een vermindering van het geleidingsverlies tussen het audiometreeren en het opnemen van de dipdiepte-curve kunnen zijn. Dit laatste is niet waarschijnlijk, daar wij bij een deel van de proefpersonen ook nog een audiogram ná de meting van de dipdiepte hebben opgenomen, dat dan identiek aan dat er vóór bleek te zijn.

Dat het audiogram verkeerd is opgenomen, is niet waarschijnlijk om dezelfde reden.

Wij moeten dus aannemen, dat de positieve afwijkingen het gevolg zijn van vervorming door de wat in de gehoorgang en niet van een gebrek in de meting. Een verklaring kunnen wij hiervoor niet geven.

Bij een verdere beschouwing van de gevonden resultaten ziet men, dat de meeste afwijkingen in gat 4 voorkomen. Nu is gat 4 bijzonder breed en geeft het ons in feite weinig inzicht in het verloop van de snijhelling. Wel geeft het een idee van de resterende maskering bij aanbieding van twee ver van elkaar gelegen ruisbanden. We moeten concluderen, dat deze rest-maskering in dit geval méér gestoord is dan de snijhelling, die we op gat 3 baseren. Hieruit volgt onze bovenstaande veronderstelling inzake vervorming.

Metingen bij patienten

A. Patienten met een geleidingsverlies.

Bij mensen met een geleidingsverlies zou men mogen verwachten, dat bij een relatieve uitzetting voor 95% normale waarden worden gevonden. Wij hebben al onze metingen verricht met een ruissterkte van ongeveer 60 dB. boven de drempel. Gat 4 hebben wij bij onze proefnemingen ook nog bij waarden 10 dB. hoger en 10 dB. lager gemeten. Aan het slot van ons onderzoek moeten wij het betreuren, dat wij dit ook niet met gat 3 hebben gedaan. De dipdiepte bij de gaten 2 en 1 zijn te klein om hieruit enige conclusies te trekken. Om die reden hebben wij bij deze gatbreedten dan ook geen drempels meer gemeten.

a. Otitis media chronica.

Deze ziekte is een aandoening van het middenoor, waarbij veelal behalve het middenoor ook het antrum en de mastoïdcellen zijn aangedaan. Vaak ziet men hier cholesteatoomvorming. Het binnenoer is meestal niet beschadigd. Toch zagen wij bij de 9 patienten met een chronische otitis media, bij wie wij een kritieke band gemeten hebben, vaak een verlies in de beengeleiding.

Dit verlies is deels het gevolg van de Carhart-notch, maar moet ook voor een deel worden verklaard door beschadiging van het binnenoor door de in de nabijheid gelegen ontsteking.

Bij deze patienten vonden wij:

(9 gevallen)	absoluut				relatief			
kHz	1/2	1	2	4	1/2	1	2	4
gat 3:	6/o 2/+	6/o 1/+ 2/—	9/o	8/o	8/o	6/o 2/+ 1/—	4/o 5/—	4/o 4/+
gat 4:	8/o 14/+	17/o 8/+	9/o 16/+ 1/—	4/o 16/+	14/o 3/+ 5/—	16/o 1/+ 5/—	9/o 1/+ 16/—	9/o 5/+ 6/—

Met „absoluut” bedoelen wij, dat wij de waarden hebben uitgezet tegen de werkelijk gegeven ruisintensiteit. De beoordeling geschiedt dan ten opzichte van de ongemodificeerde resultaten voor normaalhorenden. We herhalen dat „relatief” impliceert, dat de intensiteit is gecorrigeerd voor het gehoorverlies. Het aantal waarden voor gat 4 is veel groter dan voor gat 3 ten gevolge van het feit, dat gat 4 met drie sterktes is gemeten. Bij de beoordeling van de resultaten valt ons het grote aantal negatieve afwijkingen (relatief) en bij gat 4 het aantal positieve afwijkingen (absoluut) op.

Uit een afzonderlijke tabel (Tabel 2) kunnen wij aflezen, dat de spraakaudiogrammen van deze patienten vergeleken met de uitkomsten van de kritieke band geen enkele overeenkomst vertonen met een slecht spraakaudiogram of recruitment met een negatieve of positieve afwijking in de dipdiepte. Wel zien wij bij de drie patienten (3, 5 en 8), die een duidelijk perceptieverlies hebben, negatieve relatieve waarden in gat 3.

b. Otoklerose.

Otoklerose wordt over het algemeen beschouwd als een aandoening, waarbij een geleidingsverlies ontstaat, doordat de stapesvoetplaat gefixeerd raakt in het ovale venster. Daar dit de meest op de voorgrond tredende afwijking is vergeet men snel, dat bij deze patienten ook otosklerotische haarden in het binnenoor gevonden kunnen worden. Deze zouden dan mede aansprakelijk zijn voor het ontstaan van een perceptieverlies in een verder stadium van de ziekte. De zogenaamde Carhart-notch, die men bij deze patienten bij omstreeks 2 kHz vindt, zou daarentegen het gevolg zijn van de audiometrische ijkmethode. Deze foute interpretatie ontstaat, doordat bij de meting van de beengeleiding het middenoor voor ongeveer 2 kHz als een resonantieholte meetrit en deze trillingen via het trommelvlies op de keten

terecht komen en hierdoor, echter uitsluitend bij een intact geleidingsapparaat, de waarneming versterken.

De audiometer is geijkt, zodat het normale gehoor bij alle frequenties op de nullijn komt te ligen. Hierin is dus ook de versterking bij ongeveer 2 kHz door het middenoor gecalculeerd. Is nu de gehoorbeenteten verbroken of kan deze niet meetrillen, dan moeten wij een schijnbaar perceptieverlies bij 2 kHz vinden, ondanks een normale cochlea functie. Merkwaardig is in dit verband dat deze zogenaamde Carhart-notch niet bij alle geleidingsstoornissen wordt gevonden.

Wij hebben bij dit onderzoek 18 patienten met otosklerose onderzocht. Hierbij vonden wij:

	absoluut				relatief			
kHz	1/2	1	2	4	1/2	1	2	4
gat 3:	14/o 3/+	14/o 2/+ 2/—	17/o 1/—	16/o	17/o	14/o 3/+ 1/—	5/o 13/—	13/o 3/+
gat 4:	13/o 36/+	35/o 24/+	9/o 42+	1/o 40/+	40/o 5/+ 4/—	37/o 6/+ 6/—	39/o 12/—	37/o 9/+

Opvallend in deze reeks is, dat de negatieve waarden in hoofdzaak gevonden worden bij patienten met een perceptiecomponent. Bij de 9 patienten die wij zowel vóór als na stapedectomie hebben gemeten, zagen wij in 7 gevallen, vooral bij 2 kHz, vermindering van de dipdiepte, ondanks het feit, dat het gehoor (luchtgeleiding) in de meeste gevallen verbeterd was. Dit zou kunnen wijzen op een perceptieverlies, dat in de plaats gekomen is van de Carhart-notch. In 2 van deze 7 gevallen ontstond na ongeveer drie maanden een verbetering van de dipdiepte. Aangezien vele patienten met otosklerose postoperatief klagen over harde geluiden, vragen wij ons af, of dit niet mede het gevolg is van een recruitment, die door een beschadiging van het binnenoor door de operatie te verklaren zou kunnen zijn.

B. Patienten met een perceptieverlies.

Kunnen wij bij geleidingslethorenden ons beperken tot de beoordeling van de relatief uitgezette waarden, bij perceptieslethorenden is dit anders. Immers, hier weten wij niet hoe een toon boven de drempel gehoord wordt. Het kan in sommige gevallen best mogelijk zijn, dat bijvoorbeeld 60 dB. boven hun drempel te vergelijken is met 90 dB. boven de drempel van normaalhorenden. Om die reden hebben wij bij de beoordeling van de resultaten ook gelet op de mate van recruitment bij deze patienten.

a. Lawaaislechthorendheid.

Dit is een typische perceptieslechthorendheid, die cochleair gelocaliseerd is. Zij ontstaat door beschadiging van de cochlea door een akoestisch trauma (bij klinkers, schutters, e.a.). In deze gevallen zien wij eerst een lawaaidip in het toonaudiogram optreden, die later overgaat in een diskant-dooftheid die geleidelijk erger wordt. Voor de patient betekent dit, dat hij wel het grootste gedeelte van de spraakenergie in de baszône kan horen, maar de informatie van de diskantzône moet missen („Ik hoor wel dat de mensen praten, maar kan ze niet verstaan”).

Wij hebben 11 patienten met lawaaidooftheid onderzocht. Hierbij vonden wij:

kHz	absoluut				relatief			
	1/2	1	2	4	1/2	1	2	4
gat 3:	9/o	9/o	8/o	8/o	10/o	8/o	5/o	2/o
	1/+	1/+	1/+		1/+	3/+	2/+	6/+
		1/—	2/—				4/—	
gat 4:	18/o	16/o	14/o		19/o	14/o	12/o	13/o
	9/+	7/+	15/+	19/+	6/+	8/+		6/+
	1/—	4/—	1/—		3/—	6/—	18/—	1/—

Het opvallende in deze reeks is, dat bij 4 kHz bijna alle gevonden waarden in gat 3, relatief uitgezet, positief afwijken, terwijl zij bij absolute uitzetting alle binnen de norm vallen. In deze reeks zien wij ook weer een zeer groot aantal negatieve waarden, vooral in gat 4 relatief bij 2 kHz. Enig verband tussen de afwijkingen in de dipdiepte en het spraakaudiogram en recruitment konden wij niet vinden. Wel was er verband met de mate van gehoorverlies op het toonaudiogram. Zie hiervoor tabel 4.

b. Ziekte van Ménière.

Ziekte van Ménière is een aandoening van het binnenoor, die zich uit in de volgende symptomen:

1. duizeligheid (in aanvallen),
2. perceptieverlies, voornamelijk in de baszône,
3. oorsuizen,
4. recruitment,
5. nystagmus.

Wij hebben 18 patienten, die deze aandoening in meer of mindere mate hadden, onderzocht. Hierbij vonden wij:

kHz	absoluut				relatief			
	1/2	1	2	4	1/2	1	2	4
gat 3:	11/o	15/o	18/o	16/o	15/o	11/o	16/o	11/o
	7/+	4/+			3/+	8/+	2/—	5/+
gat 4:	12/o	29/o	13/o	8/o	46/o	37/o	27/o	35/o
	41/+	27/+	36/+	36/+	6/+	13/+	1/+	6/+
					1/—	4/—	21/—	

Bij bestudering van de resultaten ziet men een groot aantal positieve afwijkingen, vooral bij gat 4 absoluut, doch het aantal negatieve afwijkingen in gat 4 bij 2 kHz relatief moet eveneens de aandacht trekken.

Wij konden geen correlatie vinden tussen de mate van ondiepte van de dip en de gevonden afwijkingen in het spraakaudiogram. Wel was er enig verband met de mate van toondrempelverlies. Zie tabel 5.

c. Presbyakoesis.

Presbyakoesis is een perceptieslechthorendheid, die niet alleen het gevolg is van een niet meer normaal functionerende cochlea, maar hij kan ook het gevolg zijn van stoornissen, die meer centraal gelegen zijn. Hierover is ons echter niet veel bekend.

Daarbij komt, dat oudere mensen tijdens dit voor hen langdurige onderzoek moeilijkheden kunnen krijgen met hun concentratie. Wij hebben daarom bij deze patienten tijdens de meting vaak lange pauzes ingelast. Wij vonden bij de 8 patienten die wij onderzochten:

kHz	absoluut				relatief			
	1/2	1	2	4	1/2	1	2	4
gat 3:	9/o	5/o	7/o	6/o	9/o	7/o	6/o	1/o
		1/+				1/+	1/+	5/+
		2/—	1/—			1/—	1/—	
gat 4:	12/o	18/o	2/o		24/o	21/o	6/o	15/o
		9/+	18/+	15/+		2/+	1/+	
	13/—				1/—	4/—	13/—	

Het aantal positieve afwijkingen, vooral in de relatief uitgezette reeks, is duidelijk minder groot dan bij M. Ménière. Het aantal negatieve afwijkingen is ongeveer gelijk. Er was geen verband tussen de mate van dipdiepte enerzijds en recruitment en het spraakaudiogram anderzijds.

d. Congenitale perceptieslechthorendheid.

Het betreft hier mensen, die vanaf hun geboorte een toondrempelstijging

hebben. Deze aandoening kan ook bij andere leden der familie voorkomen. Wij onderzochten 8 patienten:

kHz	absoluut				relatief			
	1/2	1	2	4	1/2	1	2	4
gat 3:	6/o 2/+	7/o 1/+	7/o	8/o	7/o 1/+	4/o 4/+	4/o 2/+ 1/—	2/o 6/+
gat 4:	5/o 18/+	11/o 12/+	20/+	22/+	18/o 3/+ 2/—	15/o 8/+	9/o 3/+ 8/—	21/o 1/+

Bij deze reeks valt weer op, dat vooral bij gat 4 bij 2 kHz relatief, negatieve waarden voorkomen.

Evenals bij de voorafgaande reeksen vonden wij geen verband tussen de mate van dipdiepte enerzijds en recruitment en het spraakaudiogram anderzijds.

e. Stoornis van de nervus acusticus.

In dit onderzoek hebben wij bij 5 patienten met waarschijnlijk laesie van de N. acusticus de dipdiepte bepaald. De laesie was hier ontstaan of door een brughoektumor of door een neuritis. In beide gevallen is het ons onmogelijk te zeggen of in dit proces ook de cochlea is aangetast.

Typerend voor deze gevallen achten wij, dat hier de adaptatie gestoord is en dat er geen recruitment aanwezig is. Wij vonden bij deze 5 patienten:

kHz	absoluut				relatief			
	1/2	1	2	4	1/2	1	2	4
gat 3:	3/o 1/+	3/o 2/+	4/o 1/—	3/o 1/+	3/o 1/+ 1/—	3/o 2/+	4/o 1/—	2/o 2/+
gat 4:	7/o 5/+	8/o 1/+	6/o 1/+ 2/—	5/o 5/+	1/o 3/+ 6/—	7/o 1/+ 1/—	1/o 8/—	9/o 1/+

Gat 4 relatief 2 kHz is in deze reeks vrijwel geheel negatief. De patienten moeten in dit gebied relatief dus beter horen dan normaalhorenden bij dezelfde sterkte boven de drempel.

Er is geen verband tussen de mate van dipdiepte enerzijds en het spraakaudiogram anderzijds.

f. Slechthorendheid ten gevolge van streptomycinevergiftiging.

Door het gebruik van streptomycine kan men een perceptieverlies krijgen, dat zich tijdens de medicatie aankondigt door oorsuizen.

In het begin van het onderzoek hadden wij 6 patienten met een perceptieverlies, dat door het gebruik van streptomycine ontstaan was. Toen wij echter na een tweetal jaren de proeven herhaalden, bleek bij 3 patienten het audiogram normaal geworden te zijn. Bij de overige 3 vonden wij:

kHz	absoluut				relatief			
	1/2	1	2	4	1/2	1	2	4
gat 3:	3/o	3/o	2/o	2/o	3/o	3/o	2/o	1/o 1/+
			1/—				1/—	
gat 4:	7/o 2/+	8/o	4/o 3/+	3/o 2/+	9/o	7/o 1/+	6/o	5/o
		1/—				1/—	1/—	

Het aantal is te klein om hier iets uit te mogen concluderen.

g. Centrale stoornis.

Hieronder verstaan wij een gehoorstoornis ontstaan door een proces in cerebro. Hier doet zich de moeilijkheid voor, dat wij bij deze patienten moeten oppassen, dat zij hun waarnemingen van deze proef niet verkeerd interpreteren ten gevolge van een gestoorde hersenfunctie.

Wij bestudeerden 5 patienten. Twee hiervan waren slechthorend na een apoplexie. Eén patient was geopereerd wegens een temporaal gelokaliseerd meningeom. Eén patient was door een meningitis slechthorend geworden en de laatste patient had een uitval van de NN. VI en de N. VII en VIII rechts en een perceptieverlies van het linker oor. De aard van de aandoening was bij deze laatste patient niet duidelijk.

kHz	absoluut				relatief			
	1/2	1	2	4	1/2	1	2	4
gat 3:	5/o	5/o	4/o	3/o 1/+	5/o	4/o 1/+	2/o 3/—	2/o 2/+
gat 4:	11/o 4/+	10/o 2/+ 1/—	6/o 5/+ 3/—	5/o 6/+	12/o 3/—	11/o 1/+ 1/—	6/o 8/—	9/o 1/+ 1/—

Bespreking der resultaten

Nadat wij de resultaten van onze metingen bij patienten en normale proef-

personen hebben vergeleken, hebben wij getracht een verklaring voor de gevonden afwijkingen te vinden.

De afwijkingen in positieve zin hadden wij volgens onze werkhypothese, bij cochleaire aandoeningen verwacht. Dat deze ook bij een geleidingsverlies te vinden zijn, pleit nog niet tegen de vooropgestelde theorie. Wij kunnen aannemen, dat bij onze patienten met een geleidingsverlies hetzelfde proces, dat het geleidingsverlies heeft veroorzaakt, ook een cochleaire beschadiging heeft gegeven. Deze argumentatie valt echter moeilijk te verdedigen na het beoordelen van de uitkomsten bij onze proefpersonen met een watje in de gehoorgang. Als tegenwerping zou men namelijk kunnen poneren, dat deze positieve resultaten vooral te vinden waren bij de grote geleidingsverliezen (waarbij een "loading" van de gehoorgang en trommelvlies heeft plaatsgehad). Of er in de cochlea, door het naar binnen drukken van de stapes, stoornissen in de discriminatie hebben plaatsgevonden is ons niet bekend, doch het lijkt ons onwaarschijnlijk.

De negatieve uitkomsten zijn nog veel moeilijker te verklaren. Het is op zijn minst opmerkelijk te moeten aannemen, dat een patient een pulstoon in verhouding beter zou discrimineren dan een normaalhorende, wanneer hem een bepaalde ruis wordt aangeboden. Verder zien wij, dat in deze gevallen de puls tot ver beneden de gestoorde drempel werd waargenomen. Voor deze „vreemde" waarnemingen kunnen wij de volgende verklaringen overwegen:

1. Een fout in de apparatuur. Bij proeven met een watje in de gehoorgang hebben wij nimmer een negatieve waarde gevonden. Deze metingen zijn in dezelfde periode verricht, als die waarin wij onze patienten onderzochten. Indien er een fout in de apparatuur zou zijn die de negatieve uitkomsten veroorzaakte, zouden wij die ook bij onze „watjes" moeten vinden.

2. Soort proefpersonen. Het valt te verwachten, dat een patient een minder goede waarnemer is. Hierdoor zou hij de toondrempel bij het audiometreren lager aangeven dan die in werkelijkheid is. Tijdens het opnemen van de T.I.G. drempels is hij enigszins getraind en nu geeft hij zijn drempel op de werkelijke hoogte aan. Dit lijkt ons zeer onwaarschijnlijk, omdat het audiogram altijd door een ervaren akoepediste is opgenomen. Zij heeft de patienten altijd de tijd gegeven om aan de voor hen vreemde situatie te wennen. Verder pleit hiertegen dat de audiogrammen, zowel voor als na de proef (in gevallen waarin wij dit gemeten hebben), identiek blijken te zijn, in het bijzonder bij onze grootste groep, namelijk otosklerose.

3. Audiometriefout. In dit geval zou σ ongeveer 1.4 maal zo groot zijn. Bij toetsing van onze waarnemingen bij 2.8σ hebben wij echter nauwelijks veranderingen in onze negatieve uitkomsten gezien. Indien een waarneming negatief bleek, dan was deze sterk negatief en wel in het algemeen groter dan drie maal de standaarddeviatie.

4. Afrondingsfout bij het audiometreren. Het audiogram wordt gewoonlijk op vijftallen dB. afgerond. Ook onze σ is van deze orde. Op zichzelf is deze afrondingsfout gemiddeld equivalent aan een standaarddeviatie van nog geen 2 dB.

5. Volgorde-effect. Door de onbekendheid met de situatie zou men kunnen aannemen, dat de patient in het begin van de proef de drempel minder goed aangeeft en dat ditzelfde aan het einde door vermoeidheid gebeurt. Onze volgorde was 1000 Hz, 2000 Hz, pauze, 4000 Hz en 500 Hz. Men zou verwachten dat de „beste" drempels (dus de negatieve afwijkingen) dan bij 2000 en 4000 Hz gevonden zouden worden. Wij hebben echter zelden een negatieve afwijking bij 4000 Hz gevonden. Ook de vele positieve afwijkingen vooral bij 2000 Hz pleiten tegen deze veronderstelling.

6. Verloop van de audiometer. Dit is zeer onwaarschijnlijk, daar onze beide ATLAS-audiometers (type EM 40) regelmatig worden geijkt en nimmer grove afwijkingen te zien geven.

7. Effect van de oorspiertjes. Bij normaalhorende mensen veroorzaakt een geluid tot 60 dB. boven de drempel geen aanspanning van de oorspiertjes. Ditzelfde is het geval bij een geleidingsverlies, indien er geen afwijkingen in het middenoor aanwezig zijn (watje in de gehoorgang, trommelvliesperforatie). Bij alle andere afwijkingen, die een geleidingsverlies veroorzaken is het aanspannen van de oorspiertjes niet voorspelbaar. Bij otosklerose en verbrekking van de keten proximaal van de aanhechtingen is er totaal geen effect van het aanspannen der oorspiertjes op het gehoor. Bij perceptieslechthorenden zou het effect op minder dan 60 dB. boven de drempel kunnen optreden. Hierdoor zouden wij moeten verwachten, dat er eerder positieve afwijkingen, dan negatieve afwijkingen ontstaan.

8. Facilitatie. Hiermee bedoelen wij, dat een prikkel van een nabij gelegen perceptor de drempel van een andere perceptor verlaagt. Wij weten niet of er facilitatie kan optreden wanneer men bij perceptiedoofheden een toon aanbiedt temidden van een ruis met een gat er in; d.w.z. of het mogelijk is onder bijzondere omstandigheden een toon te horen, die ligt onder de met toonaudiometrie bepaalde drempel. Indien dit zo is, dan hebben wij met een totaal onbekende discrepantie van ruis en toondrempel te maken.

Men zou in zo'n geval kunnen zeggen, dat bij een toenemende belasting het gehoorvlies kleiner wordt. Dit is ook wel eens gezegd als illustratie van recruitment. Normaliter is het natuurlijk onmogelijk de absolute drempel te meten bij geruisbelasting. De omschrijving als toegepast op recruitment is dus beeldspraak. Bij onze proeven kunnen we de absolute drempel wel degelijk nagaan onder geruisbelasting. Indien de negatieve resultaten berusten op facilitatie zou men terecht de bovenstaande omschrijving kunnen toepassen. Dat wil natuurlijk niet zeggen, dat het hier om recruitment zou gaan. Het fenomeen heeft geen verband met het recruitment, althans voor

zover wij hebben kunnen nagaan, en komt overigens in belangrijke mate voor bij aandoeningen van de zenuw en het centrale zenuwstelsel. Het verdient aanbeveling dit nader te onderzoeken.

9. Men zou kunnen stellen, dat de ruisdrempel bij slechthorenden niet op dezelfde hoogte ligt als de toondrempel. Dit zou dan van belang zijn voor de meting „zonder gat”. Bij een twintigtal patienten hebben wij nagegaan of de ruis- en de toondrempel gelijk aan elkaar waren. Dit bleek het geval te zijn, althans volgens de gangbare ijking van de ATLAS-audiometer.

CONCLUSIE

Hoe wij onze uitkomsten moeten verklaren is nog niet geheel duidelijk. In onze beschouwingen hebben wij alleen de relatieve waarden betrokken. Of dit juist is weten wij niet, maar iedere grond ontbreekt om met absolute waarden te rekenen, al zouden deze bij perceptieslechthorendheden wellicht beter kunnen zijn.

De negatieve afwijkingen.

Deze kunnen ontstaan zijn door:

1. Variabiliteit bij onze patienten,
 - a. door ongeoefendheid,
 - b. de gemiddelde waarde is bij patienten om de een of andere reden verschoven. In dat geval is er niets meer van de uitkomsten te zeggen. De proef is dan klinisch geheel onbruikbaar. Reeds eerder is uiteengezet dat deze verklaringen niet erg waarschijnlijk zijn.

Negatieve waarden hebben wij niet in onze „watjes serie” gevonden. Hier hebben wij met zuiver geleidingsverlies te maken. In alle andere series zien wij negatieve waarden, vooral bij 2 kHz.

Verder valt het op dat er in gat 4 meer negatieve waarden zijn dan in gat 3. Absoluut uitgezet zien wij echter zeer weinig negatieve waarden in gat 4. Bij otosklerose is het aantal negatieve waarden in gat 3 en gat 4, 2 kHz, relatief opvallend hoog. Dit valt in het gebied van de Carhart-notch. Het zou een aanwijzing kunnen zijn, dat de Carhart-notch toch een echt perceptieverlies is.

2. Facilitatie. Indien dit het geval is, dan zijn ook de positieve afwijkingen van betekenis als klinisch fenomeen.

Indien de positieve afwijkingen wel betekenis hebben, dan rijzen de volgende vragen:

1. Als er meer afwijkingen in gat 3 dan in gat 4 zijn, dan is met grote waarschijnlijkheid het kritieke bandmechanisme gestoord. Dit type afwijkingen vinden wij bij presbyakoesis, congenitale slechthorendheid, stoornis van de nervus octavus en centrale stoornis. Aangezien men niet met zekerheid de plaats van de laesie bij deze stoornissen kan aanwijzen, rijst toch de vraag, of de kritieke band wel, zoals wij hebben verondersteld, cochleair bepaald zou worden. Het lijkt zeer wel mogelijk, dat er andere (zenuw)

mechanismen (mede) verantwoordelijk zijn voor het bepalen van de kritieke band.

2. Zijn er meer positieve afwijkingen in gat 4 dan in gat 3, dan is dat te wijten aan „akoestische rommel” (d.w.z. vervormingsproducten, die het gat opvullen). Wij vinden dit bij otitis media en otosklerose, dus in geleidingslethorendheden, die veroorzaakt worden door een proces in het middenoor. Ook in de „watjes serie” is dit te vinden.

De „akoestische rommel” heeft geen betekenis voor het fenomeen van de kritieke bandbreedte.

Beschouwen wij onze uitgangshypothese die luidt: de kritieke band is cochleair bepaald (hetgeen, naar uit de literatuur blijkt, over het algemeen wordt aangenomen), dan zien wij, dat bij M. Ménière de positieve afwijkingen vooral in de lage frequenties voorkomen. Dit is ook het frequentiegebied waar audiometrisch het verlies het grootst is. Hier zou onze hypothese juist kunnen blijken. Eveneens is dit met het lawaaitrauma het geval. De meeste positieve afwijkingen vinden wij in de diskantzône, hetgeen weer klopt met de anatomische localisatie.

Bij presbykoesis zien wij de positieve afwijkingen vooral in de diskantzône. Dit loopt parallel met de mate van gehoorverlies. Waar hier de oorzaak voor het gehoorverlies ligt, valt niet met zekerheid te zeggen, maar er kan wel een cochleaire component toe bijdragen.

De stoornis in de N. VIII is theoretisch niet in de cochlea gelocaliseerd, hoewel het niet uitgesloten is, dat de cochlea abnormaal functioneert. Ook hier vinden wij meer dan het normale aantal positieve afwijkingen. Eveneens is dit bij centrale doofheid het geval. Dit pleit tegen onze veronderstelling.

Al met al kunnen wij niet zeggen, dat onze hypothese wordt bevestigd. De hypothese dient dan ook te worden verworpen. De kritieke band wordt noch in hoofdzaak cochleair bepaald, noch specifiek door cochleaire aandoeningen beïnvloed.

Onze methode om de kritieke band te meten leek volgens ons de enig klinisch toepasbare. Zij blijkt nu klinisch niet tot de diagnose bij te kunnen dragen. In onze reeksen vonden wij verder, dat de spraakverstaanbaarheid niet gecorreleerd is met een stoornis in de kritieke band. Blijkbaar liggen de componenten van de spraak zo ver uit elkaar, dat zij niet gestoord worden door een verbrede kritieke band.

SAMENVATTING

In hoofdstuk I worden de in deze verhandeling gebruikte termen omschreven. Op het begrip kritieke band wordt in hoofdstuk II nader ingegaan. De verschillende methoden ter bepaling van de kritieke band (Gäszler; Zwicker; Greenwood; De Boer-Bos) worden in dit hoofdstuk belicht. Deze methoden worden in hoofdstuk III kritisch beschouwd en van commentaar voorzien. In dat hoofdstuk wordt uiteengezet waarom wij de methode van De Boer-Bos (het T.I.G. experiment) voor onze waarnemingen hebben gekozen.

De opzet van het onderzoek met de latere veranderingen wordt in hoofdstuk IV beschreven. Het effect van het afsnijden van de ruisuiteinden wordt vergeleken met de resultaten van voorafgaande proeven zonder afsnijding.

Geheel onverwacht was daarbij de invloed van de intensiteit op de mate van de kritieke bandbreedte. De snijhelling hangt duidelijk af van de intensiteit. Dit is geheel in tegenstelling tot onze eerder uitgesproken verwachting.

In hoofdstuk V worden de uiteindelijke proefopstelling, de resultaten en de reproduceerbaarheid beschreven.

De mate van afwijkend verloop van de kritieke bandbreedte bij patienten wordt in hoofdstuk VI per groep nader bekeken.

De negatieve uitkomsten (dit zijn uitkomsten waar de waarden van de dipdiepte meer van het gemiddelde afwijken dan twee maal de standaarddeviatie) blijken moeilijk te verklaren. Hiervoor worden enige mogelijkheden gegeven. In dat hoofdstuk wordt benadrukt, dat wij in een volgend onderzoek het fenomeen facilitatie verder moeten onderzoeken.

In de conclusie in hoofdstuk VII wordt uiteengezet, dat de meting van de kritieke band vooralsnog zonder klinische betekenis is.

In chapter I the terms used in this thesis are defined.

The critical band concept is treated in detail in chapter II.

The various methods to determine the width of the critical band (Gäzler, Zwicker, Greenwood, De Boer-Bos) are described and illustrated in this chapter. These methods are critically examined in chapter III, in which it is further explained why we selected the method of De Boer-Bos for our clinical observations. The set-up of the investigation with the alterations made later is described.

The effect of cutting off the extreme frequency bands of the noise is compared with the results of former experiments without cutting off.

Totally unexpected was here the influence of intensity on the critical band.

In chapter V are described the ultimate results of the test and the reproducibility of the method. The differences in the course of the critical band-width in patients are further discussed in chapter VI.

The negative results (the instances where the values of the dip-depth differ more from the mean than two times the standard deviation) appear to be difficult to explain.

In this chapter we stress the point that in future tests the phenomenon of facilitation will have to be submitted to further investigation.

In chapter VII we conclude that measuring the critical band is, as yet, without clinical consequence.

TABEL 1

- 1e kolom; intensiteit in dB per tert's rondom de testfrequentie.
 2e kolom; testfrequentie in Hz.
 3e kolom; gatnummer (4 en 3). D = direct [d.w.z. drempel gemeten zonder gat].
 4e kolom; benaming: K = kolommen (proefpersonen); Rst = rest.
 5e kolom; vrijheidsgraden: voor 10 proefpersonen 9, voor 3 metingen per proefpersoon 2, totaal voor 10 proefpersonen en 3 metingen 29, rest $29 - 9 - 2 = 18$.
 6e kolom; kwadraatsom gemiddeld over de 10 kolommen, resp. over het totale aantal metingen (30).
 7e kolom; schatting van de varianties op grond van de metingen. Voor het geval K komt dit overeen met een schatting van σ_1^2 (variantie van proefpersoon tot proefpersoon). Voor het geval Rst met een schatting van σ^2 (meetfout). Een streepje duidt op een negatieve waarde, d.w.z. de beste schatting zou 0 zijn. De totale standaarddeviatie, die in Fig. V 2 is uitgezet, is berekend uit $\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma^2}$.
 De eenheid is 2,5 dB.
 8e kolom; Significantie. De toetsingsgrootte is 2,46 voor het quotient van de getallen uit de 6e kolom, dit geldt voor een overschrijdingskans van 5%. Zie voor verdere details het boek van Dixon en Massey.

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Int. dB	Freq. Hz.	Gat nr.	Benaming	Vrijh.gr.	Gem. kwadraat	Schatting* variantie	Significantie
60	1000	4	K Rst	9 18	3,17 1,137	0,68 1,14	+
60	1000	3	K Rst	9 18	2,50 1,13	4,59 1,13	○
60	1000	D	K Rst	9 18	0,67 0,90	— 0,90	○
60	2000	4	K Rst	9 18	9,35 1,39	2,66 1,39	+
60	2000	3	K Rst	9 18	9,48 0,57	2,97 0,57	+
60	2000	D	K Rst	9 18	0,56 0,71	— 0,71	○
60	4000	4	K Rst	9 18	9,67 1,40	2,76 1,40	+
60	4000	3	K Rst	9 18	10,8 2,58	2,74 2,58	+
60	4000	D	K Rst	9 18	4,28 1,49	0,93 1,49	+
60	500	4	K Rst	9 18	13,1 0,51	4,19 0,51	+

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Int. dB	Freq. Hz.	Gat nr.	Benaming	Vrijh.gr.	Gem. kwadraat	Schatting variantie	Significantie
60	500	3	K Rst	9 18	11,1 0,33	3,60 0,33	+
60	500	D	K Rst	9 18	0,76 0,40	0,12 0,40	○
75	1000	4	K Rst	9 18	2,52 0,59	0,64 0,59	+
75	1000	3	K Rst	9 18	4,28 0,73	1,19 0,73	+
75	1000	D	K Rst	9 18	1,20 0,63	0,19 0,63	○
75	2000	4	K Rst	9 18	6,83 0,79	2,01 0,79	+
75	2000	3	K Rst	9 18	11,5 1,36	3,39 1,36	+
75	2000	D	K Rst	9 18	0,83 0,73	0,033 0,73	+
75	4000	4	K Rst	9 18	13,3 1,18	4,03 1,18	+
75	4000	3	K Rst	9 18	13,9 2,41	3,83 2,41	+
75	4000	D	K Rst	9 18	2,74 0,66	0,69 0,66	+
75	500	4	K Rst	9 18	7,54 0,49	2,35 0,49	+
75	500	3	K Rst	9 18	3,20 0,29	0,97 0,29	+
75	500	D	K Rst	9 18	0,97 0,74	0,074 0,74	○
90	1000	4	K Rst	9 18	12,4 1,67	3,58 1,67	+
90	1000	3	K Rst	9 18	8,13 1,32	2,27 1,32	+
90	1000	D	K Rst	9 18	1,42 0,77	0,219 0,77	○
90	2000	4	K Rst	9 18	3,93 0,285	1,21 0,285	+

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Int. dB	Freq. Hz.	Gat nr.	Benaming	Vrijh.gr.	Gem. kwadraat	Schatting variantie	Significantie
90	2000	3	K Rst	9 18	16,6 9,66	2,31 9,66	○
90	2000	D	K Rst	9 18	2,28 0,88	0,467 0,88	+
90	4000	4	K Rst	9 18	14,5 1,26	4,43 1,26	+
90	4000	3	K Rst	9 18	21,3 3,09	6,06 3,09	+
90	4000	D	K Rst	9 18	2,28 1,97	0,104 1,97	○
90	500	4	K Rst	9 18	4,55 1,40	1,05 1,40	+
90	500	3	K Rst	9 18	4,01 1,03	1,00 1,03	+
90	500	D	K Rst	9 18	1,57 0,84	0,24 0,84	○
105	1000	4	K Rst	9 18	14,4 1,60	4,26 1,60	+
105	1000	3	K Rst	9 18	3,56 1,85	0,57 1,85	○
105	1000	D	K Rst	9 18	0,904 1,07	— 1,07	○
105	2000	4	K Rst	9 18	2,69 0,485	0,73 0,485	+
105	2000	3	K Rst	9 18	20,0 5,10	4,97 5,10	+
105	2000	D	K Rst	9 18	1,41 0,86	0,18 0,86	+
105	4000	4	K Rst	9 18	14,0 1,68	4,11 1,68	+
105	4000	3	K Rst	9 18	15,0 2,75	4,10 2,75	+
105	4000	D	K Rst	9 18	2,30 1,32	3,26 1,32	○
105	500	4	K Rst	9 18	5,72 1,42	1,43 1,42	+

I	II	III	IV	V	VII	VI	VIII
Int. dB	Freq. Hz.	Gat nr.	Benaming	Vrijh.gr.	Gem. kwadraat	Schatting variantie	Significantie
105	500	3	K Rst	9 18	5,32 1,00	1,44 1,00	+
105	500	D	K Rst	9 18	2,82 1,17	0,548 1,17	○
120	1000	4	K Rst	9 18	7,43 2,69	1,58 2,69	+
120	1000	3	K Rst	9 18	3,59 1,37	0,74 1,37	+
120	2000	4	K Rst	9 18	1,72 0,967	0,25 0,967	○
120	2000	3	K Rst	9 18	6,30 3,34	0,985 3,34	○
120	4000	4	K Rst	9 18	25,3 4,78	6,86 4,78	+
120	4000	3	K Rst	9 18	17,0 3,06	4,66 3,06	+
120	500	4	K Rst	9 18	11,9 2,23	3,23 2,23	+
120	500	3	K Rst	9 18	3,41 1,64	0,59 1,64	○

Bij de tabellen 2 t/m 9.

In kolom 1 staat het nummer van de patient.

De tweede kolom bevat het hoogste percentage, dat bij/zij in het spraakaudiogram kan halen. Staat er een R bij, dan duidt dit op de aanwezigheid van recruitment.

De derde t/m zesde kolom bevatten de waarden, die verkregen werden bij meting van gat 3 absoluut, d.w.z. de waarden vergeleken met die van dezelfde absolute sterkte bij normale proefpersonen.

In kolom 7 t/m 10 is dit relatief uitgezet, d.w.z. dat hier vergeleken is met de gemiddelde en standaarddeviatie bij dezelfde sterkte boven de drempel. Hier is dus het gehoorverlies gecorrigeerd.

O betekent: de verkregen waarden liggen binnen een gebied van tweemaal de standaarddeviatie om het gemiddelde.

+ betekent: de drempel ligt bij een hogere intensiteit dan verwacht, d.w.z. de gemeten diepte is kleiner dan de gemiddelde waarde minus tweemaal de standaarddeviatie.

— betekent: de drempel ligt bij een lagere intensiteit dan verwacht, d.w.z. de diepte is groter dan de gemiddelde waarde plus tweemaal de standaarddeviatie.

In de kolommen 11 t/m 18 zijn de waarden op dezelfde wijze voor gat 4 uitgezet als in de kolommen 3 t/m 10 voor gat 3. Wel zijn hier drie verschillende intensiteiten gebruikt, elk 10 dB van elkaar verschillend.

Tabel 2

OTITIS MEDIA

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
gat 3																	
absoluut						relatief						absoluut					
1/2	1	2	4	1/2	1	2	4	1/2	1	2	4	1/2	1	2	4	1/2	1
kHz																	
1 100	⊕			○	○	○	○	○	○	○	○	○	⊕	○	○	○	○
2 95 R	+	○	○	○	○	○	○	+	○	○	○	+	+	○	○	○	○
3 100	+	○	○	○	○	○	○	+	○	○	○	+	+	○	○	○	○
4 100	+	○	○	○	○	○	○	+	○	○	○	+	+	○	○	○	○
5 70	+	○	○	○	○	○	○	+	○	○	○	+	+	○	○	○	○
6 80 R	+	○	○	○	○	○	○	+	○	○	○	+	+	○	○	○	○
7 90	+	○	○	○	○	○	○	+	○	○	○	+	+	○	○	○	○
8 100	+	○	○	○	○	○	○	+	○	○	○	+	+	○	○	○	○
9 100 R	+	○	○	○	○	○	○	+	○	○	○	+	+	○	○	○	○

Tabel 3

OTOSKLEROSE

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
	gat 3										gat 4									
	absoluut					relatief					absoluut					relatief				
kHz	1/2	1	2	4		1/2	1	2	4		1/2	1	2	4		1/2	1	2	4	
1 100	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
2 100	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
3 100 R	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
4 100	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
5 100	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
6 100	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
7 100	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
8 100	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
9 100	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
10 100	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
11 100	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
12 100	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
13 100	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
14 100	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
15 100	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
16 20	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
17 100	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
18 90	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	

○: waarde binnen $2 \times S.D.$ +: waarde positief afwijkend (kleiner dan $2 \times S.D.$)—: waarde negatief afwijkend (groter dan $2 \times S.D.$)

⊕: grensgevallen

Tabel 4

LAWAALDOOFHEID

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	gat 4			17	18	
	gat 3										gat 4									
	absoluut					relatief					absoluut					relatief				
	1/2	1	2	4	1/2	1	2	4	1/2	1	2	4	1/2	1	2	4	1/2	1	2	4
kHz																				
1 80 R	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
2 100	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
3 100 R	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
4 90 R	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
5 60 R	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
6 80	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
7 100	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
8 100	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
9 100	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
10 100	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
11 80 R	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Tabel 5

M. MENIERE

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	gat 3				gat 4				gat 4				gat 4				relatief	
	absoluut		relatief		absoluut		relatief		absoluut		relatief		absoluut		relatief		absoluut	
	1/2	1	2	4	1/2	1	2	4	1/2	1	2	4	1/2	1	2	4	1/2	1
1 30 R	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
2 20 R	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
3 100	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
4 100	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
5 95	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
6 20 R	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
7 100 R	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
8 60 R	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
9 80 R	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
10 70	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
11 95	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
12 30 R	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
13 30 R	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
14 50 R	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
15 100	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
16 50 R	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
17 90 R	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
18 100	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
19 60 R	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Tabel 6

PRESBYAKOESIS

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	gat 3				gat 4				gat 4				gat 4				relatief	
	absoluut		relatief		absoluut		relatief		absoluut		relatief		absoluut		relatief		absoluut	
	1/2	1	2	4	1/2	1	2	4	1/2	1	2	4	1/2	1	2	4	1/2	1
1 100	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
2 90 R	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
3 80	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
4 75 R	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
5 60 R	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
6 60 R	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
7 80	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
8 75 R	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
9	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Tabel 7

CONGENTALE SLECHTHORENDHEID

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	gat 4			17	18	
	gat 3									gat 4									relatief	
	absoluut				relatief					absoluut				relatief					relatief	
	1/2	1	2	4	1/2	1	2	4	1/2	1	2	4	1/2	1	2	4	1/2	2	4	
kHz																				
1 80 R	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
2 90	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
3 60 R	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
4 95	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
5 95 R	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
6 90 R	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
7 100	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
8 100	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	

Tabel 8

STOORNIS N. VIII

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18			
	gat 3										gat 4										
	absoluut					relatief					absoluut					relatief					
	1/2	1	2	4	1/2	1	2	4	1/2	1	2	4	1/2	1	2	4	1/2	1	2	4	
kHz																					
1																					
2																					
3																					
4																					
5																					

Tabel 9

CENTRALE STOORNIS

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
	gat 3								gat 4											
	absoluut				relatief				absoluut				relatief							
	1/2	1	2	4	1/2	1	2	4	1/2	1	2	4	1/2	1	2	4	1/2	1	2	4
kHz																				
1 100	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
2 60 R	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
3 100	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
4 60	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
5 100	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

- BAUCH, H. – Die Bedeutung der Frequenzgruppe für die Lautheit von Klängen. *Acoustica* 6, 40 (1956).
- BAUMAN, R. C.; DIETER, C. L.; LIEBERMAN, W. J.; FINNEY, W. J. – The effects of very narrow band filtering on the aural recognition of pulsed signals in noise backgrounds. *J. Acoust. Soc. Amer.* 25, 190 (1953).
- BÉKÉSY, G. VON – Zur Theorie des Hörens. *Phys. Z.* 30, 115 (1929).
- BÉKÉSY, G. VON – Experiments in hearing. Mc Graw-Hill Book Company Inc. New York (1960).
- BÉKÉSY, G. VON – Abweichungen vom Ohmschen Gesetz der Frequenzauflösung beim Hören. *Akustische Beihefte*, Heft 1, 241 (1961).
- BENITEZ, J. T.; SCHUKNECHT, H. F. – Otosclerosis: A human temporal bone report. *Laryngoscope* 72, 1 (1962).
- BILGER, R. C.; HIRSCH, I. J. – Masking of tones by bands of noise. *J. Acoust. Soc. Amer.* 28, 623 (1956).
- BOER, E. DE – On the "residue" in hearing. Proefschrift Amsterdam (1956).
- BOER, E. DE – Pitch of inharmonic signals. *Nature (London)* 178, 535 (1956).
- BOER, E. DE – Measurement of the critical band-width in cases of perception deafness. Proceedings 3rd International Congress on Acoustics, Stuttgart 1959.
- BOER, E. DE – Note on the critical band-width. *J. Acoust. Soc. Amer.* 34, 985 (1962).
- BOER, E. DE; BOS, C. E. – On the concept of the critical band. Proceedings 4th International Congress on Acoustics, Copenhagen 1962.
- BOSATRA, A. B. – Otosclerosis of the inner ear: A clinical study. *J. Laryng.* 74, 209 (1960).
- BOSATRA, A. B.; DE'STEFANI, G. B. – The idiopathic sudden deafness, A clinical study. *Acta Oto-Laryngologica (Stockholm)*, suppl. 169 (1961).
- CARHART, R. – Atypical audiometric configurations associated with otosclerosis. *Ann. Otol.* 71, 744 (1962).
- DALZIEL DICKSON, E. D. – Acoustic trauma. *Journ. Laryngol. Otol* 77, 913 (1963).
- DAVIS, H. – A mechano – electrical theory of cochlear action. *Ann. Otol.* 67, 789 (1958).
- DE MARE, G.; RÖSLER, G. – Untersuchungen über den Verdeckungseffekt. *Acta Oto-Laryngologica* 38, 179 (1950).
- DISHOECK, H. A. E. VAN; BIERMAN, TH. A. – Causes of sudden deafness. *Ann. Otol.* 66, 963 (1957).
- DIX, M. R.; HOOD, J. P. – Modern developments in pure tone audiometry and their application to the clinical diagnosis of end-organ deafness. *J. Laryng.* 67, 343 (1953).
- DIXON, W. J.; MASSEY, F. J., Jr. – Introduction to statistical analysis. McGraw-Hill New York (1957).
- DOLOWITZ, D. A.; STEPHENS, F. E. – Hereditary nerve deafness. *Ann. Otol.* 70, 851 (1962).
- EISENBERG, R. B. – Loudness recruitment and differential diagnosis. *Arch. Otolaryng.* 68, 199 (1958).
- FELDMANN, A. S. – An investigation of secondary nerve degeneration in clinical otosclerosis. *Arch. Otolaryng.* 72, 425 (1960).
- FELDMANN, H. – Untersuchungen zum Phänomen der Höradaptation. *Arch. Ohren usw. Heilk.* 172, 341 (1958).
- FELDMAN, H. – Adaptationsmessungen durch Verdeckung-Prinzip und klinischen Bedeutung eines neuen Verfahrens, *Acta Oto-Laryngol. (Stockholm)* 49, 17 (1958).

- FELDTKELLER, R.; ZWICKER, E. – Das Ohr als Nachrichtenempfänger. S. Hirzel Verlag, Stuttgart (1956).
- FELDTKELLER, R. – Ueber die Zerlegung des Schallspektrum in Frequenzgruppen durch das Gehör. *Electrophys. Rdsch.* 9, 387 (1955).
- FLETCHER, H. – Speech and hearing in communication. D. van Nostrand, New-York, (1953).
- FLETCHER, H. – Loudness, masking, and their relation to the hearing process. *J. Acoust. Soc. Amer.* 9, 275 (1937).
- FLETCHER, H. – Auditory patterns. *Rev. mod. Phys.* 12, 47 (1940).
- FLETCHER, H.; MUNSON, W. A. – Relation between loudness and masking. *J. Acoust. Soc. Amer.* 9, 1 (1937).
- FRENCH, N. R.; STEINBERG, J. C. – Factors governing the intelligibility of speech sounds. *J. Acoust. Soc. Amer.* 19, 90 (1947).
- GARNER, W. R. – The effect of frequency spectrum on temporal integration of energy in the ear. *J. Acoust. Soc. Amer.* 19, 808 (1947).
- GÄSZLER, G. – Ueber die Hörschwelle für Schallerreignisse mit verschieden breiten Frequenzspektrum. *Akust. Beihefte* 1 (*Acustica*), 408 (1954).
- GLORIG, A.; NIXON, J. – Distribution of hearing loss in various populations. *Ann. Otol.* 69, 497 (1960).
- GLORIG, A.; NIXON, J. – Hearing loss as a function of age. *Laryngoscope* 72, 1596 (1962).
- GOZUM, E. – The effect on the cochlea of drilling in stapes surgery. *Ann. Otol.* 71, 965 (1962).
- GRAVENDEEL, D. W.; PLOMP, R. – Permanent and temporary diesel engine noise dips. *Arch. Otolaryng* 74, 405, (1961).
- GRAY, A. – Pathological changes in the auditory nerve in otosclerosis. *J. Laryng.* 47, 958 (1932).
- GREEN, D. M.; BIRDSALL, T. G.; TANNER Jr., W. P. – Signal detection as a function of signal intensity and duration. *J. Acoust. Soc. Amer.* 29, 523 (1957).
- GREEN, D. M. – Auditory detection of a noise signal. *J. Acoust. Soc. Amer.* 32, 121 (1960).
- GREENWOOD, D. D. – Auditory masking and the critical band. *J. Acoust. Soc. Amer.* 33, 484 (1961).
- GROEN, J. J.; HOOGLAND, G. A. – Bone conduction and otosclerosis of the round window. *Acta Oto-Laryng (Stockholm)* 49, 206 (1958).
- GROEN, J. J. – Adaptation. *Pract. Otol (Basel)* 19, 524 (1957).
- GROEN, J. J. – Leerboek der audiologie (gestencilde uitgave).
- HANSEN, C. C.; RESKE-NIELSEN, E. – Pathological studies in presbycusis. *Arch. Otolaryng.* 82, 115 (1965).
- HAWKINS, J. E.; STEVENS, S. S. – The masking of pure tones and of speech by white noise. *J. Acoust. Soc. Amer.* 22, 6 (1950).
- HOOD, J. D. – Auditory fatigue and adaptation in the differential diagnosis of end-organ disease. *Ann. Otol.* 64, 507 (1955).
- IVSTAM, B. – Cochlear and vestibular disturbances after stapedolysis. *Acta Oto-Laryng. (Stockholm)* 55, 365 (1962).
- JERGER, J.; CARHART, R.; LASSMAN, J. – Clinical observations on excessive threshold adaptation. *Arch. Otolaryng.* 68, 617 (1958).
- KAISER, W. – Das Békésy-Audiometer der T. H. Stuttgart. *Akust. Beihefte* 4 (*Acustica*), 235 (1952).
- KELEMAN, G. – The 4000-dip: anatomic considerations. *Acta Oto-Laryng. (Stockholm)*, 55, 365 (1962).
- KLOTZ, P. L. – La surdit  du troisi me  ge. *R adaptation* 102, 27 (1963).
- KNUDSEN, V. O. – The sensibility of the ear to small differences in intensity and frequency. *Phys. Rev.* 21, 84 (1923).
- KRYTER, K. D. – Hearing impairment for speech. *Arch. Otolaryng.* 77, 598 (1963).

KRYTER, K. D.; WILLIAMS, C.; GREEN, D. M. – Auditory acuity and the perception of speech. *J. Acoust. Soc. Amer.* **34**, 1217 (1962).

LANDES, B. A. – Recruitment measured by automatic audiometry. *Arch. Otolaryng.* **68**, 685 (1958).

LANGENBECK, B. – Measurement of the auditory fatigue and adaptation in patients; the "Kietz-test" and its clinical significance. *Zsch. Laryng.* **38**, 202 (1959).

LESHIN, N.; SHAPIRO, S. L.; SATZ, L. – Functional examination of hearing. *Arch. Otolaryng.* **70**, 512 (1959).

LEWIS DILL, J. – Neurosensory hearing loss due to acoustical trauma. *Mich. Industr. Med. Surg.* **32**, 227 (1963).

LICKLIDER, J. C. R. – A duplex theory of pitch perception. *Experientia* **7**, 128 (1951).

LIERLE, D. M. – Report of the committee on conservation of hearing. *Trans. Amer. Acad. Ophth. Otolaryng.* **63**, 236 (1959).

LOEB, M.; BINFORD, J. R. – Some factors influencing the effective auditory intensive difference limen. *J. Acoust. Soc. Amer.* **35**, 884 (1963).

MATZKER, J. – Two new methods for the assessment of central auditory functions in cases of brain disease. *Ann. Otol.* **68**, 1185 (1959).

MATHES, R. C.; MILLER, R. L. – Phase effects in monaural perception. *J. Acoust. Soc. Amer.* **19**, (1947).

MULLINS, C. J.; BANFS, J. L. – Relationships between speech discrimination and other audiometric data. *Acta Oto-Laryng. (Stockholm)* **47**, 149 (1957).

PLOMP, R.; BOUMAN, M. A. – Relation between hearing threshold and duration for tone pulses. *J. Acoust. Soc. Amer.* **31**, 749 (1959).

PLOMP, R.; LEVELT, W. J. M. – Musical consonance and critical bandwidth. *Proceedings fourth international congress on acoustics, Copenhagen 1962*.

RIESZ, R. R. – Differential intensity sensitivity of the ear for pure tones. *Phys. Rev.* **31**, 867 (1928).

RUEDI, L. – Pathogenesis of Otosclerosis. *Arch. Otolaryng.* **78**, 469 (1963).

SCHAFER, T. A.; GALES, R. S.; SHEWMAKER, C.; THOMSON, P. O. – The frequency selectivity of the ear as determined by masking experiments. *J. Acoust. Soc. Amer.* **22**, 490 (1950).

SCHARF, B. – Critical bands and the loudness of complex sounds near threshold. *J. Acoust. Soc. Amer.* **31**, 365 (a); **31**, 783 (b) (1959).

SCHARF, B. – Complex sounds and critical bands. *Psychol. Bull.* **58**, 205 (1961).

SHAMBAUGH, G. E. Jr. – The course of clinical otosclerosis. *Arch. Otolaryng.* **78**, 509 (1963).

SIMONTON, K. M. – End-organ deafness. *Arch. Otolaryng.* **66**, 262 (1957).

STEVENS, S. S. – Handbook of experimental psychology. John Wiley and sons, New York (1951).

STEVENS, S. S. – Calculation of the loudness of complex noise. *J. Acoust. Soc. Amer.* **28**, 807 (1956).

STEVENS, S. S. – Problems and methods of psychophysics. *Psychol. Bull.* **55**, 177 (1958).

SWETS, J. A.; GREEN, D. M.; TANNER, W. P. – On the width of critical bands. *J. Acoust. Soc. Amer.* **34**, 108 (1962).

TASELAAR, M. – Over de binaurale selectieve versterking en de verstaanbaarheid van de spraak. Proefschrift Groningen (1959).

WARD, W. D.; GLORIG, A.; SELTERS, W. – Temporary threshold shift in a changing noise level. *J. Acoust. Soc. Amer.* **32**, 235 (1960).

WEBSTER, J. C.; MULLER, P. H.; THOMPSON, P. C.; DAVENPORT, E. W. – The masking of pitch shifts of pure tones near abrupt changes in a thermal noise spectrum. *J. Acoust. Soc. Amer.* **24**, 147 (1952).

WEGEL, R. L.; LANE, C. E. – The auditory masking of one pure tone by another and its probable relation to the dynamics of the inner ear. *Phys. Rev.* **23**, 266 (1924).

ZWICKER, E.; GÄSZLER, G. – Die Eignung des dynamischen Kopfhörers zur Untersuchung frequenzmodulierter Töne. *Akust. Beiheft 3 (Acustica)*, 134 (1952).

ZWICKER, E. – Die Grenzen der Hörbarkeit der Amplitudenmodulation und der Frequenzmodulation eines Tones. *Akust. Beiheft (Acustica)*, **3**, 125 (1952).

ZWICKER, E. – Die Grenzen der Hörbarkeit der Amplitudenmodulation eines Tones. *Akust. Beiheft (Acustica)*, **3**, 125 (1952).

ZWICKER, E. – Die Verdeckung von Schmalbandgeräuschen durch Sinustöne. *Akust. Beiheft 1 (Acustica)*, 415 (1954).

ZWICKER, E.; FELDTKELLER, R. – Ueber die Lautstärke von gleichförmigen Geräuschen. *Acustica* **5**, 303 (1955).

ZWICKER, E. – Die elementären Grundlagen zur Bestimmung der Informationskapazität des Gehörs. *Acustica* **6**, 365 (1956).

ZWICKER, E.; FLOTTORP, G.; STEVENS, S. S. – Critical bandwidth in loudness summation. *J. Acoust. Soc. Amer.* **29**, 548 (1957).

STELLINGEN

I

Men behandelde ovariumcarcinomen niet met endoxan.

II

Het brengen van de arts in een organisatorisch verband, waarbij hij de status van ambtenaar verkrijgt, zal uiteindelijk tot stand komen door onder andere de aandrang van de arts zelf.

III

Voor de behandeling van orbitafracturen is een goed orthoptisch onderzoek onmisbaar.

IV

De behandeling van het gemetastaseerde mammacarcinoom dient volgens het schema van de op dit moment gangbare methoden te geschieden.

V

Voor het stellen van de diagnose urineweginfectie is alleen het aantal bacteriën per mm³ bepalend.

VI

Het verdient aanbeveling bij kinderen met recidiverende infecties van de bovenste luchtwegen een onderzoek in te stellen naar de aanwezigheid van melkallergie.

VII

Het aanmeten van contactlenzen dient niet door een opticien te geschieden.

VIII

Het mucineuze mammacarcinoom dient wat type en prognose betreft als een afzonderlijke mammatumor te worden beschouwd.

IX

In de kliniek dient de zogenaamde „croupaire” door de „ouderwetse” stoomketel te worden vervangen.

X

Ook in bepaalde gevallen van personen boven 12 jaar, dient het ziekenfonds het aanschaffen van een dubbele hoorprothese te vergoeden.

XI

Bij het vestibulaire onderzoek met calorische stimulatie dient meer aandacht aan de snelheid, dan aan de duur van de opgewekte nystagmus te worden besteed.

XII

Op de middelbare school wordt te weinig aandacht aan de staat Israël besteed.