

Zoals het hoort

W.A. Dreschler

Zoals het hoort

rede

uitgesproken bij de aanvaarding
van het ambt van hoogleraar
in de klinische en experimentele audiologie
aan de Universiteit van Amsterdam
op donderdag 9 maart 1995

door

dr.ir. W.A. Dreschler

Colofon:

Bij de omslag:

Het binnenoor,
foto beschikbaar gesteld door dr. R.A. Tange, KNO-arts AMC

Gedekte orgelpijpjes,
foto beschikbaar gesteld door dr. H.B. Jonkhoff, KNO-arts

Vormgeving:

Colorado Grafische Communicatie

ZOALS HET HOORT

Mijnheer de Rector, zeer gewaardeerde toeboorders,

De titel van mijn inaugurele rede is voor meer dan één uitleg vatbaar. Vooraf zij gesteld dat de twee meest voor de hand liggende interpretaties wat mij betreft niet aan de orde zijn:

- de titel bedoelt niet te pretenderen dat dit een 'model' rede wordt, een rede zoals het hoort;
- de titel mag echter evenmin worden gelezen als van een rede 'zoals die er nu eenmaal bij hoort', alsof deze rede een verplicht nummer zou zijn.

Zoals U zult horen en zoals U wellicht verwacht speelt het gehoor in mijn rede een centrale rol: het oor als belangrijk instrument in de communicatie tussen mensen. De titel is echter op zich al een aardige illustratie van het feit dat communicatie complexer is dan het analyseren van de woorden die worden gezegd. Communicatie heeft soms niet genoeg aan de woorden, het dient verklankt te worden. En die klank *hoort* opgevangen te worden en te worden geïnterpreteerd. Dat is naar ik hoop één van de redenen dat U niet de gedrukte versie van deze rede afwacht, maar vanmiddag de moeite heeft genomen om mijn gehoor te zijn.

In de loop van deze rede wil ik aan drie interpretaties van de door mij gekozen titel nadere invulling geven:

- 'Zoals het hoort' betreft allereerst de functie van geluid en het proces van geluid opvangen: het belang van een gehoor dat hoort zoals het hoort.
- In de tweede plaats wil ik aandacht schenken aan 'Zoals het hoort, maar niet meer functioneert'. Dus eigenlijk meer 'Zoals het zou horen te horen': de effecten van een verslechterde auditieve functie en hetgeen hieraan gedaan kan worden, zowel op het gebied van de diagnostiek als op het gebied van de revalidatie.
- Tenslotte wil ik mijn rede 'Zoals het hoort' besluiten met enige bespiegelingen over ontwikkelingen of gewenste ontwikkelingen in en rondom het vakgebied van de audiologie.

'Zoals het hoort', het gezonde oor.

Horen lijkt zo natuurlijk. De meeste van ons zijn er zo aan gewend, dat wij ons niet eens kunnen voorstellen hoe het zou zijn zonder geluid. Sommigen vrezen de stilte zelfs zo, dat achtergrondmuziek onmisbaar is. Toch hoeven normaalhorenden niet bang te zijn voor complete stilte. Het is alleen onder extreem kunstmatige omstandigheden geheel stil, zoals in een zogenaamde akoestisch dode kamer. Het gehoor is een zintuig dat niet even kan worden afgezet.

En dat is niet ten onrechte. De primaire functie van het gehoor is een wak- en waarschuwingsfunctie. Mensen zijn aanspreekbaar dankzij hun gehoor, tenzij zij zich akoestisch hebben geïsoleerd door bijvoorbeeld een walkman. Daarnaast speelt het gehoor een belangrijke rol bij de ruimtelijke oriëntatie. Het vormt één van de bronnen van informatie voor het evenwichtssysteem. Dankzij onze twee-origheid kunnen wij richting en beweging van geluid vaststellen. Pas in de derde plaats komt het belang van het gehoor voor de communicatie. Binnen het bestek van deze rede hoeft niet te worden uitgelegd welk belang hiermee is gemoeid in onze maatschappij, waarin communicatie zo'n essentiële rol speelt. Mede dankzij het feit dat de mens is geschapen met twee oren kan het gezonde gehoor functioneren in uiterst ongunstige akoestische omstandigheden, zoals temidden van een drukke receptie of in een akoestisch holle ruimte, zelfs als het lawaainiveau het spraakniveau overtreft. Het oor is hierbij in staat een boodschap te decoderen naar inhoud, maar ook vaak naar de subtiele nuances, waarmee de boodschap wordt vertolkt. Vaak geldt immers: 'C'est le ton qui fait la musique'.

Als ik over subtiliteiten van het gehoor spreek, kom ik inderdaad bij de perceptie van muziek. Binnen verschillende kunstvormen speelt muziek een onmisbare rol. De muziek stamt van de Muzen, die met stem, fluit en lier de klassieke kunsten vertegenwoordigden van de poëzie, het fluitspel, de komedie en de tragedie, de dans en de hymnen. Niet toevallig belichaamden deze dochters van Zeus en Mnemósyne tevens de wetenschap. Kunst en wetenschap kunnen beiden een duidelijke meerwaarde voor het leven betekenen, stijgen er als het ware boven uit. De perceptie van muziek doet echter een stevig beroep op een onberispelijk werkend gehoor. Niet alleen is bij muziek het bereik in termen van frequentie en dynamiek veel groter dan bij spraak, het volgen van instrumenten en klankpatronen is een onvoorstelbaar complex gebeuren. Muzikaliteit en auditieve genialiteit gaan hierbij hand in hand.

In deze rede wil ik enkele aspecten van horen bespreken. Als leidraad neemt men doorgaans de anatomische structuren die er zorg voor dragen

dat het gezonde oor hoort zoals het hoort. De hoor-sensatie komt tot stand via een ingewikkelde keten met als onderdelen de gehoorgang, het trommelvlies, de gehoorbeentjes, het binnenoor en de gehoorzenuw. Als audioloog preferer ik meer functionele omschrijvingen in termen van de geleiding van geluid, de analyse van geluid en de verwerking van geluid.

De audiometrie bij het gezonde oor lijkt zich te kunnen beperken tot screening van het gehoor teneinde vast te stellen dat het gehoor een normale gevoeligheid heeft. Dit is dan ook een essentiële functie van de audiometrie, die bij jonge kinderen overigens nog wel enige vindingrijkheid vraagt. Ook dienen de frequenties boven de 8000 Hz soms te worden meegenomen, vooral als men na medicijngebruik ototoxische schade wil uitsluiten¹⁾. Maar uit bovenstaande functionele omschrijving blijkt dat de bevinding 'normaal toon-drempel audiogram' niet automatisch hoeft te leiden tot de diagnose 'normaal gehoor'. Immers, een goede detectie betekent dat de meer perifere structuren, noodzakelijk voor de detectie, hoogst waarschijnlijk intact zijn. Voor discriminatie, identificatie en begrip is echter méér dan horen nodig: een complete analyse van het geluid, startend bij de frequentie-analyse van het binnenoor, via tijd-analyse naar meer centrale functies als de kennis van de taal.

Daarom lijkt de diagnostiek van het oor met een normaal toonaudiogram alleen op het eerste gezicht eenvoudig. Vele zogenaamd normaalhorenden kunnen toch problemen ondervinden in moeilijke luister-situaties zoals bij achtergrond-lawaai en nagalm. Centrale factoren kunnen hierbij een rol spelen en hierbij staat de audiologie eigenlijk nog in de kinderschoenen. Trouwens, niet zelden is de oorzaak van deze problemen ook te vinden in de vroege kinderjaren, namelijk een tijdelijke slechthorendheid in de kritische periode van taalverwerving. Niet zelden ook worden de slachtoffers bij gebrek aan een adequate afwijkende test-uitslag bejegend als querulant of simulant. Terwijl juist in de school- of werksituatie onvoorstelbaar hoge eisen gesteld kunnen worden aan de analyse-kracht van het gehoor. Galmende schoollokalen, kantoortuinen en akoestisch matige vergaderruimten eisen meer dan een normale gehoordrempel. Ook de toenemende internationalisering speelt hierbij een rol, want bij het communiceren in vreemde talen kan je minder gebruik maken van de overvloedigheid van de taal of redundantie, waar je als matig analyserende luisteraar afhankelijk van bent.

Het kan, alle lof voor de positieve beleving van het horen ten spijt, ook lastig zijn dat het gehoor niet even kan worden uitgeschakeld. Dientengevolge hebben velen van ons vaker last van het wel horen dan van het niet horen. Ieder kent de hinder die geluid van anderen kan veroorzaken en waarvoor vrijwel nooit afdoende afscherming mogelijk is. Het is de tol voor het alsmat alerte auditieve systeem en een gevolg van onze zucht naar geluid. 'Laten wij zacht zijn voor elkaar', een motto uit mijn be-

stuursperiode van de Nederlandse Stichting voor Geluidshinder, is dan ook nog steeds actueel. Voor de hinder op de werkplek zou meer onderzoek moeten worden geëntameerd naar het effect van matige lawaai-niveaus op de concentratie. Voor arbeid waarvoor een hoge concentratie is vereist kunnen lage niveaus van omgevingslawaai de produktiviteit negatief beïnvloeden. Het begrip 'leeszaal-stilte' zou ook buiten de bibliotheek dienen te worden ingevoerd.

Het niet kunnen uitschakelen van het gehoor is een extra probleem op plaatsen waar het geluid beschadigend kan zijn. Voor de gevaren van lawaai voor het gezonde oor kan nauwelijks genoeg worden gewaarschuwd. Lawaai-beschadiging is een sluipend en daardoor dikwijls onderschat proces, dat kan leiden tot een fors gehoorverlies, maar ook tot een type slechthorendheid dat uiterst moeilijk met een hoortoestel te revalideren is. Niet zelden gaat lawaai-slechthorendheid gepaard met continu oorsuizen, dat ondraaglijke vormen kan aannemen en meestal niet te verhelpen is. Het is dan ook essentieel dat lawaai zoveel mogelijk aan de bron wordt bestreden. Want geluid dat eenmaal is opgewekt, is alleen ten koste van heel veel moeite weer te bedwingen.

Individuele bescherming met watjes, kappen of op maat-gemaakte oto-plastieken is alleen effectief als het uiterst consequent wordt benut. Indien bijvoorbeeld dempers met 30 dB demping slechts gedurende 10% van de tijd worden afgezet, daalt de effectieve demping tot slechts 10 dB, zodat het effect van de overige 90% draagtijd minimaal is^[2]. Daarom wil ik pleiten voor een absolute draagplicht van lawaai-beschermers in situaties met beschadigende lawaai-niveaus.

Gecomplieerder ligt de lawaai-bestrijding voor de muziekliefhebbers, die hun gehoor vrijwillig blootstellen aan hoge lawaai-niveaus. Hard geluid is nu juist 'de kick' heb ik mij laten uitleggen. Maar het kenmerkt de ware muziekliefhebber, dat hij probeert zijn hele leven lang van muziek te genieten. En dan is het kortzichtig om het gehoor op de proef te stellen en de bevoeligen van de natuur zelf tegen overbelasting, de zogenaamde 'stapedius reflex', ongedaan te maken met elektronische foefjes als de zogenaamde 'bass boost'.

Samenvattend, moge het duidelijk zijn dat de audiologie ook voor het gezonde oor meer dient te betekenen dan screening. Op het gebied van de lawaai-preventie en het begrijpen van problemen in de werksituatie valt nog veel werk te verrichten. Zo willen wij in samenwerking met het TNO-Instituut voor Technische Menskunde in Soesterberg en het Nederlands Centrum voor Beroepsziekten onderzoeken of mogelijke problemen door middel van een zogenaamd 'expertsysteem' in kaart kunnen worden gebracht, kunnen worden begrepen en wellicht kunnen worden opgelost^[3].

Zoals het hoort', het pathologische oor.

Het proces van horen is niet alleen ingewikkeld, het is ook kwetsbaar. De man of vrouw die op latere leeftijd slechthorend wordt weet uit ervaring hoe vanzelfsprekend hijzelf het horen vroeger heeft gevonden en realiseert zich nu pas wat hij allemaal mist. De slechthorende ervaart nu bovendien hoe weinig de omgeving het zich voor kan stellen of hoe kort de omgeving er rekening mee houdt, mede omdat slechthorendheid een onzichtbare handicap is^[4]. Een goed verstaander heeft maar een half woord nodig, maar als je op halve woorden bent aangewezen merk je hoe vermoeiend dat kan zijn. Het invul-vermogen wordt tot het uiterste op de proef gesteld. De 'eeuwige' achtergrondmuziek - zo gezellig voor anderen - wordt een vijand die het nog moeilijker maakt de laatste 'flarden' geluid te analyseren. Eigenlijk worden bijna alle gezellige gebeurtenissen bedreigend. Het 'gezellig sociaal zijn' blijkt vaak niet zo sociaal ten opzichte van mensen met een auditieve handicap en vereenzaming dreigt.

Mijn leeropdracht begint niet voor niets met het woord 'Klinisch'. Ik wil nadrukkelijk bezig zijn met het gebied van de afwijkingen van het pathologische oor, die via functieverlies en beperkingen leiden tot de problemen die de slechthorende mens ondervindt: de handicap slechthorendheid.

audiologische diagnostiek

Zo kan er iets mis gaan bij de geleiding van geluid via gehoorgang en midden-oor, waarbij luchttrillingen via het trommelvlies worden omgezet in mechanische trillingen van de gehoorbeentjes en worden geleid naar het binnenoer. Het eerste deel van de geluid-voortplanting wordt het geleidingssysteem genoemd en storingen op dit niveau leiden tot een zogenaamd geleidingsverlies. In dit gebied is de rol van de KNO-arts/otoloog uitermate belangrijk, omdat alle onderdelen van het geleidingssysteem in principe voor hem bereikbaar zijn. Dientengevolge zijn eventuele verstoringen door middel van operatief ingrijpen te verhelpen en is therapie vaak mogelijk. Hier heeft de audiometrie primair een ondersteunende rol bij diagnostiek en evaluatie.

Toch is een therapeutische behandeling of ingreep niet altijd mogelijk en dan komen audioloog en otoloog elkaar weer tegen bij het vinden van de beste revalidatie-oplossing. Een geleidingsverlies is theoretisch succesvol te revalideren, omdat de resulterende vorm van slechthorendheid mag worden beschouwd als 'hard'horendheid: bij voldoende versterking zal in principe een normale perceptie mogelijk zijn, omdat de eigenlijke analyser, het binnenoer, nog intact is. Een complicatie vormt echter het feit dat soms de gehoorgang niet met een hoortoestel mag worden afgesloten.

De klassieke oplossing hiervoor is het beengeleider-hoortoestel, maar hieraan kleven vele bezwaren van praktische en cosmetische aard. In samenwerking met de KNO-arts dr. R.A. Tange is onderzocht in hoeverre een speciaal beengeleider-hoortoestel, via een magnetische koppeling verbonden met een in de schedel geïmplanteerde schroef, deze problemen kan oplossen. De eerste resultaten zijn bemoedigend, maar er is nog geen alles-omvattende oplossing¹⁵⁾. In de toekomst zijn verdere stappen te verwachten in de richting van gedeeltelijk of geheel implanteerbare hoortoestellen. Enerzijds wordt dit gestimuleerd door het streven naar onzichtbare hoortoestellen, anderzijds door het integreren van versterkende mechanismen in de reconstructieve oorchirurgie. KNO-arts en audioloog zullen op dit punt steeds nadrukkelijker in duo-verband moeten optrekken en ik verheug mij op een verdere uitbouw van de reeds vruchtbare samenwerking.

Als er afwijkingen zijn op het niveau van het binnenoor of meer centraal is de perceptie zelf in het geding: wij spreken dan van perceptieve verliezen. Er is niet langer sprake van hardhorendheid, maar van werkelijke slechthorendheid: ook harde geluiden zullen niet volledig meer worden geanalyseerd, want de analysekracht van het gehoor is aangetast. De klassieke audiometrie heeft veel energie gestoken in differentiaal-diagnostische tests om te onderzoeken of perceptieve verliezen hun oorsprong vinden in het binnenoor (cochleaire verliezen) of zijn gelokaliseerd in de gehoorzenuw of meer centraal (retrocochleaire verliezen). Deze testen lijken grotendeels te zijn achterhaald, enerzijds door de verbeterde voorspellende waarde van de electro-audiometrie en anderzijds door de enorme opkomst van de beeldvormende technieken. De rol van de klassieke audiometrie in de diagnostiek van perceptieve verliezen is daarmee bescheiden geworden.

'rehabilitative audiometry'

Des te belangrijker echter lijkt de rol van de audiometrie te worden op het gebied van de revalidatie. Als de analysekracht van het oor in het geding is, wordt het hoog tijd daaraan meer metingen te doen. Ik ga zo ver dit te willen betitelen als een aparte vorm van audiometrie, waarvoor de engelse term 'rehabilitative audiometry' waarschijnlijk de beste omschrijving is.

Het eerste doel van op revalidatie gerichte audiometrie is het nauwkeurig in kaart brengen van het functieverlies of - belangrijker nog - het vaststellen van de restcapaciteit van het slechthorende oor in termen van de resterende analyse-kracht. Dit is essentieel om te kunnen bepalen welke informatie wordt gemist en waar mogelijkheden zijn om het verloren gegane aan te vullen. Het bovenstaande impliceert dat hierbij soms zal worden aangestuurd op alternatieve luister-strategieën, maar bij meer gedetailleerde metingen blijkt de slechthorende zelf al volop van afwijkende strate-

gieën gebruik te maken. Het is juist de kracht van de in te voeren functie-metingen om hier zicht op te krijgen. Dit zal richtinggevend zijn voor de conceptvorming over het soort signaal-bewerkingen dat zinvol is als compensatie voor het pathologische gehoor, hetzij voor het individuele geval, hetzij voor een bepaalde groep slechthorenden.

De analysekracht van het oor wordt grotendeels bepaald door het auditieve oplossend vermogen in frequentie, tijd en intensiteit. Een eerste probleem dat hierbij optreedt is dat de meettijd en het arsenaal aan functie-testen in de kliniek meestal beperkt zijn. Metingen aan het oplossend vermogen van het oor lijken dan ook nog een utopie. Toch zullen hier de bakens moeten worden verzet. Jarelang is het excuus geweest dat het bepalen van gedetailleerde auditieve functies niet zinvol was, omdat deze kennis niet benut kon worden bij de instelling van het hoortoestel. Met het beschikbaar komen van meer methoden voor signaal-bewerking gaat dit excuus niet langer op en moet blijken in hoeverre de klinische audiologie werkelijk wil investeren om verder te komen¹⁶⁾.

Voor een gedetailleerde meting van de luidheidsopbouw zijn al verschillende goedwerkende methoden ontwikkeld. In plaats van de klassieke methoden van de balanstesten volgens Fowler, wordt steeds vaker een vorm van 'loudness scaling' toegepast. Dit resulteert per frequentie in een individuele luidheids-curve, die kan worden benut voor het bepalen van de intensiteit-afhankelijke versterkingsbehoefte en dus voor de gewenste ingang-uitgangskarakteristiek van een hoortoestel. Op basis van onze ervaringen op dit terrein en op basis van het werk van collega drs. A.R. Leeuw met filter-metingen in de klinische praktijk¹⁷⁾ zijn wij gesterkt in de idee dat 'rehabilitative audiometry' een volwaardige tak van de audiometrie kan worden, noodzakelijk voor het begrijpen van de verminderde analysekracht van het oor en voor het vinden van strategieën om ook perceptieve slechthorendheid zo goed mogelijk te compenseren. Ik ben dan ook van mening dat de klinische audiologie zich op het gebied van de gerichte functie-metingen meer zou moeten laten voeden door de experimentele audiologie. Vanuit de experimentele audiologie valt er nog heel veel te introduceren in de kliniek, waarbij het overigens een aparte kunst is om de meer laboratorium-achtige metingen van de experimenteel audiologen te vertalen en geschikt te maken voor klinisch gebruik bij slechthorenden.

Het tweede doel van op de revalidatie gerichte audiometrie is het schatten van de beperkingen, o.a. door gericht onderzoek naar spraakverstaan. Uit o.a. mijn promotie-onderzoek bij de Vrije Universiteit is gebleken dat het spraakverstaan in stilte nog wel redelijk voorspeld kan worden vanuit het toonaudiogram, maar dat bij het spraakverstaan in omgevingslawaai het frequentie- en tijdoplossend vermogen van het oor een belangrijke rol spelen¹⁸⁾. Metingen van de auditieve beperkingen voor de communicatie dienen dan ook gericht te zijn op het spraakverstaan in omgevingslawaai. Op dit punt heeft prof.dr.ir. R. P.omp baanbrekend werk verricht met de

door hem ontwikkelde zinstest in ruis¹⁹⁾. Hiermee konden vele onzekerheden van de losse woordlijsten worden omzeild en werd de modelmatige benadering van de evaluatie-metingen bevorderd. Het type testmateriaal verdient echter aanvulling, waarbij gedacht kan worden aan verschillende soorten achtergrondlawaai en nagalm, spraakmateriaal dat geschikt is voor o.a. zwaarder slechthorenden en spraakmateriaal dat herhaald toepasbaar is. Belangrijke aspecten die daarbij aandacht verdienen zijn o.a. het gemak waarmee een bepaalde drempel of score wordt bereikt en de aard van de fouten, die inzicht kunnen geven in meer kwalitatieve aspecten van de spraakperceptie.

Een derde doel en tevens de belangrijkste wetenschappelijke uitdaging ligt in een meer modelmatige benadering van slecht horen, die zijn startpunt neemt in de auditieve functies als hierboven besproken. Veel van de tot nu toe ontwikkelde modellen zijn rekenkundig van aard en gebaseerd op gemiddelde uitkomsten bij normaalhorenden. Juist de vertaling van pathologisch horen naar spraakverstaan vraagt een meer gedetailleerde benadering, die bovendien individueel kan worden geverifieerd en kan leiden tot een beter begrip van de effecten van cochleaire pathologie¹⁰⁾. Ook het effect van eventueel toe te passen signaalbewerkingen zou op deze manier kunnen worden voorspeld. Er dient nog veel onderzoek te worden verricht naar de samenhang van hoorbaarheid, perifere analyse-vermogen en meer centraal invul- en verwerkingsvermogen. Juist het terrein van meer centrale auditieve eigenschappen ligt nog grotendeels braak.

Op grond van het voorgaande ben ik dan ook blij met de toevoeging van het woord 'Experimenteel' in mijn leeropdracht. Bij de uitbouw van de op de revalidatie gerichte audiometrie langs bovengenoemde lijnen verwachten wij vruchtbaar samen te kunnen werken met de groep Experimentele Audiologie van de Vrije Universiteit o.l.v. prof.dr.ir. T. Houtgast en dr.ir. J.M. Festen. Ik verwacht van samenwerking tussen VU en AMC, bij voorkeur binnen de onderzoeksschool Neurowetenschappen, een duidelijke meerwaarde.

technische revalidatie

Uiteindelijk is veel van het hiervoor genoemde onderzoek gericht op de technische revalidatie van het pathologische gehoor. Concreet kan men zich afvragen welke kennis nu resulteert in verbeteringen van hoortoestellen. Voorlopig is nog niet alles opgelost, maar in de loop van de jaren is er wel veel veranderd in 'hoortoestellenland'¹¹⁾. Recent waren de belangrijkste ontwikkelingen verbetering van de cosmetische aspecten, verbetering van de instelbaarheid of de programmeerbaarheid en het invoeren van complexe signaalbewerkingen.

In cosmetisch opzicht kan men de slechthorende steeds meer bieden. De

hoortoestellen worden steeds kleiner en kunnen in verschillende kleuren worden geleverd. Steeds sterkere toestellen kunnen als in-het-oor hoortoestel worden uitgevoerd. Voor lichte gehoorverliezen zijn diepe - geheel in de gehoorgang gedragen - paratympane hoortoestellen mogelijk. En voor wie er voldoende geld voor over heeft kunnen de hoortoestellen worden ingebouwd in fraaie oorsieraden. Hoewel de wens tot een onzichtbaar hoortoestel begrijpelijk is, moet men zich realiseren dat hiermee tevens de onzichtbaarheid van de handicap slechthorendheid versterkt wordt. Het wordt voor de omgeving nóg moeilijker om rekening te houden met de slechthorende.

De ontwikkelingen zijn gelukkig niet blijven steken bij de cosmetische aspecten. De instelbaarheid is spectaculair gegroeid. Allereerst voor de aanpasser, die per computer hoortoestel-instellingen kan wijzigen. Maar door toepassing van een afstandsbediening ook voor de luisteraar. Er zijn meer programma toestellen op de markt voor verschillende luistersituaties. Niet langer hoeft het moeizame compromis te worden gezocht van de minst slechte afstelling in alle situaties. De verminderde flexibiliteit van het pathologisch gehoor kan worden geholpen met meer flexibiliteit in de hoorapparatuur. Het moeilijkst is het echter om het hoortoestel intelligenter te maken. Om de verminderde analyse-kracht van het gehoor te compenseren zijn complexe signaalbewerkingen nodig. Want het gaat om méér dan horen. En dan zijn er twee hoofdproblemen: het selectief luisteren in lawaai en het compenseren van de verminderde dynamiek van het gehoor.

Bij signaalbewerkingen in hoortoestellen is tot nu toe de meeste aandacht geschonken aan de dynamiek van slechthorenden, die juist bij perceptieve verliezen vaak verminderd is. Hoe pas je de dynamiek van spraak, die bij verschillende sprekers zeker 40 tot 60 dB kan bedragen, aan aan het gehoor van een slechthorende met een hoorspan van soms slechts 20 à 30 dB? Hiertoe worden wel compressie-regelingen toegepast, die harde geluiden minder versterken en zachte geluiden meer. Daarbij wordt echter te veel gedacht aan statische 'overall' niveaus, terwijl er ook binnen de spraak grote dynamische niveau-verschillen zitten, bijvoorbeeld tussen de harde klinkers en de zachte medeklinkers. Bij een vaste versterkingsfactor geeft dit complicaties, niet alleen voor de hoorbaarheid van de zachte medeklinkers, maar ook voor de interne maskering van de medeklinker door de voorafgaande klinker. Als de medeklinkers veel zachter zijn dan de klinkers moet niet alles even sterk worden versterkt, maar de medeklinkers dienen meer te worden versterkt dan de klinkers door een snelle aanpassing van de versterking van klank tot klank. Maar dat vraagt een zeer snelle compressor. Het grootste gevaar van snelle compressie is de introductie van temporele vervormingen, die juist bij een slecht tijd-oplossend vermogen kunnen worden verward met perceptieve kenmerken van het spraaksignaal¹²⁾. In een samenwerkingsproject van het Dijkzigt Ziekenhuis te Rotterdam en het AMC worden met succes digitale bewerkingen

toegepast om deze vervormingen te reduceren¹³¹. Verder onderzoek binnen het Europese HEARDIP-project is er op gericht de winst van deze technieken te optimaliseren en resterende vragen op te lossen, o.a. naar de toepasbaarheid van snelle compressie in verschillende frequentie-gebieden teneinde de dynamiek frequentie-afhankelijk te kunnen beïnvloeden. Nog een stap verder gaande, zou ook verminderde frequentie-resolutie sturend moeten zijn voor de toe te passen concepten. Een aanzet hiertoe is een zogenaamd 'anti-upward-spread-of-maskingfilter', dat moet voorkomen dat een te grote versterking van de lage frequenties de informatie vanuit de hogere frequenties maskeert¹⁴¹. Wellicht kan in de toekomst rekening worden gehouden met de scherpte van de auditieve filters op ieder punt van het spectrum, mits deze bekend zijn.

Ook aan het selectief luisteren in lawaai wordt binnen het HEARDIP-project aandacht gegeven. In het algemeen is het scheiden van gewenst en ongewenst signaal eenvoudiger naarmate het signaal en de storing meer van elkaar verschillen. Bij verschillen in frequentie-inhoud is eenvoudige filtering vaak effectief, bij verschillen in de tijdstructuur zijn ingewikkelder technieken nodig. Bij verschillen in lokalisatie kan gebruik worden gemaakt van richting-gevoelige microfoons. In samenwerking met dr. B.C.J. Moore (Cambridge) en prof.dr. B. Kollmeier (Oldenburg) worden verschillende technieken gecombineerd en verrijkt met o.a. het gebruik van de twee-origheid van de slechthorende. Dit zou binnen enkele jaren kunnen leiden tot een binauraal hoortoestel, waarbij een centrale processor bepaalt welke informatie rechts dan wel links wordt aangeboden.

Ondanks de geavanceerde technieken is het belangrijk de verwachtingen niet te hoog te stellen. Uiteindelijk blijft het een onmogelijkheid het gewenste signaal te herstellen nádat de pathologie het signaal heeft aangetaast. Wij kunnen slechts het signaal aanbieden in een vorm waarin het het meest resistent blijkt te zijn tegen de vervormingen die het pathologische oor er nog op los gaat laten. Veel onderzoek, inclusief ons eigen onderzoek tot nu toe, levert slechts bescheiden verbeteringen. Ten onrechte wordt in de pers nogal eens gesuggereerd dat het lawaai-probleem voor slechthorenden is opgelost. Het blijft echter een uitdaging dit hoofdprobleem van de gehoorrevalidatie te 'kraken'.

Verder blijft een aandachtspunt dat complexe hoortoestellen ook veel extra kennis vragen om optimaal te worden afgesteld op het individuele gehoor van de slechthorende. Het is belangrijk dat het ontwikkelen van nieuwe methoden van signaalbewerking hand in hand verloopt met het ontwerpen van strategieën voor aanpassing van het toestel aan het gehoor van de individuele slechthorende. De ervaringen op dit punt zijn tot nu toe bedroevend. Voor diverse commercieel reeds verkrijgbare complexe hoortoestellen zijn nauwelijks nog adequate aanpas-protocollen beschikbaar: een lacune waaraan wij zeker nog meer aandacht willen schenken¹⁵¹.

Hierbij zullen de reeds besproken functie-testen een belangrijke rol kunnen spelen. Met het beschikbaar komen van nieuwe technieken voor signaal-bewerking zal ook aan de hoortraining voor slechthorenden meer aandacht gegeven moeten worden. O.a. uit het werk van collega dr. A.J. Bosman en uit eigen werk weten wij dat het slechthorende oor slimmer is dan wij dachten. Veel informatie, die niet meer op de 'normale' manier kan worden verkregen, wordt op een alternatieve manier verkregen¹⁶¹. Het is de vraag in hoeverre deze alternatieve luister-strategieën kunnen worden aangeleerd. Maar de resultaten bij doven, die zijn uitgerust met een elektrisch binnenoar-implantaat hebben hoge verwachtingen gewekt. Tenslotte dient het onderzoek naar toekomstige hoortoestellen en aanpassing van bestaande hoortoestellen zich niet uitsluitend te richten op het spraakverstaan. Geluidskwaliteit en luistercomfort zijn wezenlijke aspecten, die tot nu toe zijn onderbelicht. Hoewel metingen op dit punt een grote mate van subjectiviteit zullen weerspiegelen, kunnen met de juiste psychofysische technieken betrouwbare resultaten worden behaald, die bepalend kunnen zijn bij de acceptatie van bepaalde hoortoestel-instellingen of signaal-bewerkingen.

Op het gebied van de revalidatie van slechthorenden is een hechte band ontstaan met het Audiologisch Centrum van het Dijkzigt Ziekenhuis te Rotterdam o.l.v. dr. J. Verschuure. Onze jarenlange samenwerking werd verleden jaar verbreed in Europees verband tot een consortium waar ik trots op ben. Ik ben er dan ook zeer aan gehecht toekomstig revalidatie-onderzoek binnen onze groep vorm te geven vanuit deze samenwerking.

Samenvattend, kan gesteld worden dat de audiologie volop in ontwikkeling is ter compensatie van slechthorendheid. Een betere structurele basis hiervoor kan worden verkregen als het nieuwe veld van de 'rehabilitatieve audiometry' tot ontwikkeling wordt gebracht. Probleemanalyse, selectie en instelling van de gewenste signaalbewerking, training en evaluatie zijn samenhangende onderdelen. Deze problematiek zal dan ook centraal staan bij de invulling van mijn leeropdracht, bij voorkeur in samenwerking met genoemde partners.

'Zoals het hoort', (gewenste) ontwikkelingen in en rondom het vakgebied van de audiologie.

Als derde en laatste invulling voor de titel 'Zoals het hoort' hoop ik dat U het mij toestaat enige opmerkingen te wijden aan bestaande of gewenste ontwikkelingen in en rondom het vakgebied van de audiologie. Het zal niemand verbazen dat mijn opmerkingen te maken hebben met de drie pijlers van een academisch medisch centrum: onderwijs, wetenschappelijk onderzoek en patiëntenzorg.

het onderwijs

Het onderwijs in de audiologie speelt in het curriculum van de geneeskunde studie slechts een bescheiden rol. Gezien de omvang van het auditieve systeem lijkt dit verklaarbaar, maar gezien het feit dat ruim één miljoen Nederlanders gehoorproblemen hebben en gezien de impact die een auditieve handicap kan hebben op het totale functioneren van de mens valt dit te betreuren. Slechthorendheid behoort tot de meest frequente chronische ziekten in Nederland¹⁷⁾. Inzicht in het verschijnsel slechthorendheid is noodzakelijk om te voorkomen dat de zich toch al geïsoleerd voelende slechthorende ook bij het bezoek aan zijn huisarts tegen een muur van onbegrip oploopt. Voor kinderartsen, bedrijfsartsen en KNO-artsen wordt de audiologie belangrijker en neemt ook de interesse toe naar aanleiding van de problemen die men in de praktijk tegenkomt. Voor deze groepen zouden de verschillende opleidingsprogramma's ten aanzien van de audiologie beter op elkaar afgestemd kunnen worden. Verder is voortdurende aandacht nodig voor postacademisch onderwijs in de audiologie.

Waar de audiologie binnen de Keel-, Neus-, Oorheelkunde in bepaalde opzichten een superspecialisme is geworden, geldt dit ook voor de audiologische werkzaamheden van de logo-akoepedist. Er is dringend behoefte aan logopedisten die zich reeds tijdens hun studie geheel richten op de taken van een gespecialiseerd audiologisch centrum.

Een officiële opleiding tot audioloog is pas sinds enkele jaren geformaliseerd. Dankzij de inspanningen van de Stichting tot Bevordering van de Klinische Audiologie (SBKA) heeft de opleiding een min of meer vaste structuur gekregen. De individuele invulling van deze structuur wordt echter nog te sterk gekleurd door de audiologische centra, die als opleidingsinstituut optreden. Meer uniformiteit is gewenst. Wellicht zouden voor dit doel zelfs een beperkt aantal vaste opleidingsinstituten moeten worden aangewezen, zoals dit bij de medische specialistische opleidingen het geval is. Ook is het belangrijk dat de opleidingen in verschillende Europese landen op elkaar worden afgestemd. Dankzij het baan-brekend

werk van prof.dr. H.C. Huizing Sr. en prof. J.J. Groen blijkt Nederland een buitenbeentje te zijn op het gebied van de participatie van fysici in de audiologie¹⁸⁾. Uit de vooraanstaande positie die de Nederlandse audiologie internationaal bekleedt mag worden afgeleid dat dit een gunstige omstandigheid is. Anderzijds dienen de fysici in opleiding tot audioloog zich te realiseren dat zij *klinisch* fysicus-audioloog worden.

het onderzoek

Het beschreven wetenschappelijk onderzoek is niet primair zuiver fundamenteel van aard. In die zin heeft er een koerswijziging plaatsgevonden ten opzichte van het overigens hoogstaande werk van mijn voorganger, prof.dr. E. de Boer. Ik streef naar onderzoek dat mede is gericht op de toepassing in de klinische audiologie. In het verleden zijn klinisch werkzame audiologen nogal eens terechtgewezen bij toegepast klinisch-wetenschappelijk onderzoek: de psychofysische werkelijkheid is vaak complexer dan de klinisch audioloog denkt of kan controleren. Hiermee geconfronteerd, heeft de klinisch audioloog de neiging er op te wijzen dat de resultaten van de experimentele audiologie - meestal met normaalhorenden - de klinische audiologie nog niet veel hebben opgeleverd. Zo lijken experimentele en klinische audiologie nogal eens een spanningsveld te vormen! Uit het voorgaande moge blijken dat zij elkaar desondanks nodig hebben. Onverlet de praktische beperkingen die vaak gelden bij klinisch toegepast onderzoek, schrijft het AMC nadrukkelijk in haar vaandel dat zij op basis van gedegen 'evidence-based' onderzoek richtlijnen wil ontwikkelen voor de klinische praktijk. En dat is wel degelijk mogelijk. Ik beschouw het in dat kader als een uitdaging te zijn benoemd in de klinische én experimentele audiologie.

Bij het meer toegepaste onderzoek is een nauwe afstemming op de mogelijkheden van de industrie een belangrijk gegeven. Bij de verdere innovatie van hoortoestellen dienen audiologische eisen en technologische mogelijkheden met elkaar in contact te worden gebracht d.m.v. een nauwe samenwerking met de industrie. Zoals ik tot nu toe ervaren heb, hoeft dit niet strijdig te zijn met de onafhankelijke positie van de wetenschap. Zowel in de patiëntenzorg als in de wetenschap heeft de audiologie niet alleen raakvlakken met de otologie. Het is dan ook een gelukkige omstandigheid dat naast de audiologie de research op het gebied van de vestibulologie (o.l.v. prof.dr. W.J. Oosterveld) en de stem-spraak-taal stoornissen (o.l.v. dr. P.P. Devriese) worden uitgevoerd binnen het Functiecentrum KNO. Met name het onderzoek naar de kwaliteit van de stem is sinds de komst van prof.dr. P.F. Schouwenburg als hoofd van de afdeling KNO volop in ontwikkeling. Het spreekt voor zich dat spraakproductie en spraak-perceptie onderzoek de belangstelling voor de fysische eigenschappen van spraak delen. Dit is een garantie voor een optimale afstemming van het onderzoek en het profiteren van elkaars expertise.

de patiëntenzorg

De vertaling van kennis en kunde op basis van goed onderwijs en goed onderzoek naar een kwalitatief hoogstaande patiëntenzorg is niet één op één. Wellicht is het U opgevallen dat ik tot nu toe meer heb gesproken over de revalidatie van het pathologische gehoor dan over de zorg voor de slechthorende mens, meer 'zoals het oor hoort' dan 'zoals hij of zij hoort', die slechthorend is. De slechthorende heeft dan ook meer nodig dan een kundige audioloog. In Nederland bestaat hiertoe een uniek netwerk van audiologische centra, waarin aan de verschillende aspecten van de revalidatie van de slechthorende mens vorm wordt gegeven door een multidisciplinair team¹⁹⁾. In de bijna 15 jaar dat ik leiding heb mogen geven aan een dergelijk team heb ik geleerd dat de psyche breder is dan de psychofysica en dat audiologische zorg breder is dan het selecteren van het beste hoortoestel op basis van nauwkeurige audiometrie. Wij moeten zuinig zijn op deze structuur van audiologische centra, zeker voor bepaalde doelgroepen als jonge slechthorende kinderen, slechthorenden met een complexe hoorhandicap, plotsdoven en patiënten met onverdraaglijk oorsuizen. Binnen de audiologische centra bestaat een boeiend evenwicht tussen diagnostiek in het kader van een behandeling en revalidatie als curatie niet mogelijk is. Met de geplande integratie van de spraak/taal-ontwikkelings problematiek ontwikkelen zich gespecialiseerde centra voor gehoor, taal en spraak.

Daartegenover staat dat het onderzoeken en revalideren van alle slechthorenden binnen audiologische centra onhaalbaar is, zowel qua kosten als qua capaciteit. Veel slechthorenden kunnen naar volle tevredenheid worden geholpen door hun KNO-arts, mits deze zijn audiologische kennis - ondanks de snelle ontwikkelingen - op peil heeft gehouden. Waar de audiologie in het verleden nog wel eens een tweede prioriteit dreigde te krijgen, stimuleert het bestuur van de Nederlandse Vereniging voor Keel-, Neus-, en Oorheelkunde en Heelkunde van het Hoofd-Halsgebied de laatste jaren een actieve rol van de KNO-arts in de audiologie. Gezien de animo voor de PAOG-cursus Hoorrevalidatie in Rotterdam blijkt dit te werken. Ook in mijn visie is het essentieel dat de KNO-arts de audiologie blijft beheersen en ook zelf actief is in het revalidatie-proces, al vergt dit onvermijdelijk extra inspanningen. De medische aspecten dienen op het niveau van de KNO-arts te worden beoordeeld en ook voor de inschatting van wat haalbaar en wenselijk is, is zijn specialistisch oordeel onmisbaar. Daarnaast kan een gericht voorschrijvende KNO-arts een hoortoestel kiezen, onafhankelijk van commerciële belangen. Zogezamde gebonden receptuur van hoortoestellen dient dan ook eerder regel dan uitzondering te zijn. Dit luistert nauw. De betrokkenheid van de KNO-arts dient te worden bevorderd door gerichte scholing, een adequate vergoeding en een gegarandeerde onafhankelijkheid.

Aan de rand van de mogelijkheden van de KNO-arts dienen audiologische

centra hun diensten aan te bieden, zowel op het gebied van diagnostiek en revalidatie als op het gebied van informatie, voorlichting en scholing. Een aardig voorbeeld van een dergelijke ondersteunende functie is het hoortoestel-documentatiesysteem OBLX, dat met steun van de Federatie van Nederlandse Audiologische Centra (FENAC) op het AMC is ontwikkeld. Om overzicht te kunnen houden over de audiologische en niet-audiologische eigenschappen van de honderden verschillende hoortoestellen en om tot een gerichte keuze te kunnen komen, werd een overzichtelijk en objectief documentatie- en selectiesysteem ontworpen, dat per personal computer kan worden aangeroepen. OBLX is geen aanpas-computer. Daarvoor is het aanpas-proces vooralsnog te complex. OBLX zal echter wel de KNO-arts tot steun zijn, en kan bovendien de uniformiteit van het selecteren en voorschrijven van hoortoestellen in Nederland bevorderen. Ook de Nederlandse Vereniging voor Audiologie bevordert een uniforme aanpak, o.a. met het uitgeven van de bundel 'Slechthorende en Hoortoestel'²⁰⁾.

Samenvattend, wil ik benadrukken dat ik het een gemiste kans zou vinden als mijn inbreng in de audiologie beperkt zou blijven tot de wetenschappelijke aspecten, hoe belangrijk deze ook zijn. Ook op het gebied van onderwijs en patiëntenzorg wil ik mijn krachten inzetten om waar mogelijk structuur te scheppen of te verbeteren. De klinische én experimentele vraagstellingen zijn daarbij twee brandpunten van dezelfde ellips. Ik voel mij meer klinisch-fysicus dan fysicus, maar niet voldoende klinicus om het zonder de medische inbreng te kunnen stellen. Dat geldt tevens voor al die andere disciplines, die de Audiologie maken tot een 'vak zoals het hoort': een multi-disciplinair vak, boeiend en veelkleurig.

Slotwoord

Mijnheer de Rector, zeer gewaardeerde toehoorders,

Zoals het hoort - maar zeker niet plichtmatig - wil ik graag tot slot een enkel dankwoord uitspreken. Allereerst dank ik het College van Bestuur van de Universiteit van Amsterdam, het AMC-bestuur en de Faculteitsraad voor mijn benoeming. Dankzij een actieve rol van het AZUA en van prof.dr. N.A.M. Urbanus in het bijzonder blijft een voltijds ordinariaat bestaan, zodat zowel aan experimentele als aan klinische audiologie in hun onderlinge samenhang voldoende aandacht kan worden besteed.

Verder ben ik dank verschuldigd aan mijn opleiders. Mijn promotor prof.dr.ir. R. Plomp dank ik voor de wijze waarop hij mij heeft geïntroduceerd in de experimentele audiologie. De geleerde degelijkheid tracht ik ook bij meer klinisch gerichte projecten vast te houden. In het Wilhelmina Gasthuis werd zijn begeleidende rol, zij het op enige afstand, overgenomen door prof.dr. E. de Boer. Ondanks de koerswijziging die bij het wisselen van de wacht zal optreden, heb ik bewondering voor het wetenschappelijk werk van mijn voorganger en heb ik veel van hem geleerd. In de klinische audiologie ben ik thuis geraakt door toedoen van dr. P. Kuiper en dr. H.B. Jonkhoff. Dat ik ondanks de druk van patiëntenzorg en organisatie bezig kon blijven met wetenschap dank ik aan de steun van collega drs. A.R. Leeuw en aan de structurele ondersteuning die door het Heinsius-Houbolt Fonds werd gegeven. Een en ander was eveneens onmogelijk geweest zonder de stimulerende rol van de opeenvolgende hoogleraren in de Keel-, Neus-, Oorheelkunde, prof.dr. L.B.W. Jongkees, prof. dr. N.A.M. Urbanus en prof.dr. P.F. Schouwenburg. Ik heb er alle vertrouwen in dat de afdeling KNO onder leiding van professor Schouwenburg een goede toekomst tegemoet gaat.

In de loop van deze rede heb ik een aantal namen genoemd van collega's waaraan ik veel te danken heb en met wie ik ook in de toekomst nauw hoop samen te werken. Ik realiseer mij scherp dat het noemen van namen gevaarlijk is omdat dit nooit uitputtend kan gebeuren. Anderzijds illustreert het duidelijk dat het aanvaarden van een hoogleraarschap in de Klinische en Experimentele Audiologie nooit een éénmans-zaak kan en mag zijn. Ik ben gevormd door vele al of niet genoemde collega's. Ik sta geworteld in de traditie van de team-aanpak, meegekregen van het multidisciplinair samengestelde audiologisch team van het AMC. En ik wil ook door samenwerking vorm geven aan mijn nu te aanvaarden leeropdracht.

Tenslotte ben ik mijn ouders dankbaar dat zij mij in de gelegenheid hebben gesteld te gaan studeren en voor hun stimulerende rol daarbij. En wat

zou er van mijn loopbaan terecht zijn gekomen als ik niet een ijzersterk thuisfront had en heb. Loes, Annemieke, Mark en Peter, jullie hebben mij best veel moeten missen. Voor het begrip en de ondervonden steun zijn eigenlijk geen woorden te vinden. Ik hoop dat ook jullie het de moeite waard vonden.

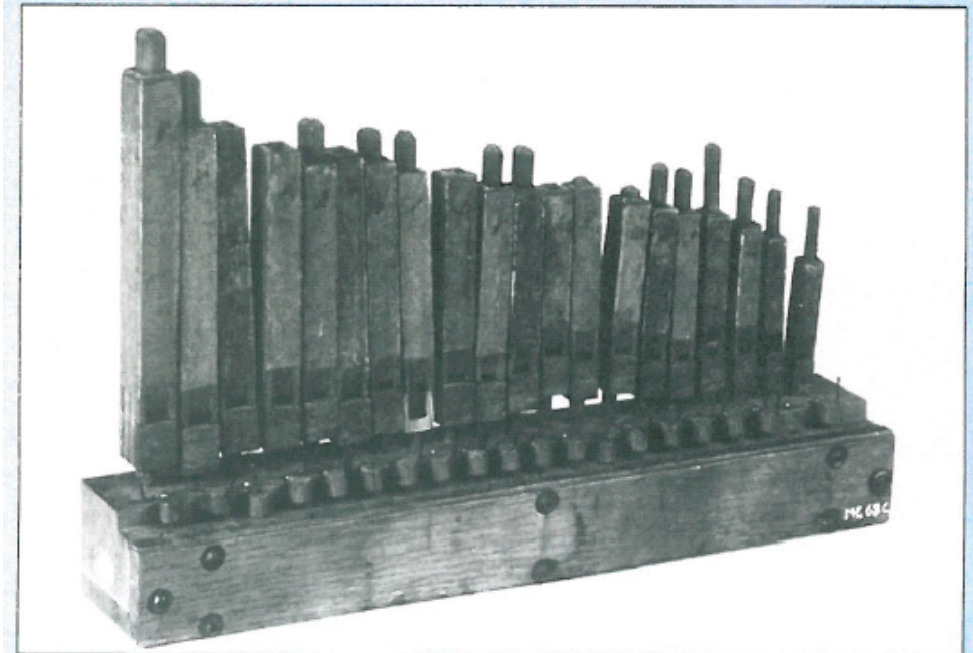
Boven de advertentie waarop ik heb gesolliciteerd stond in grote letters 'Twijfel is een eerbetoon aan de waarheid'. Deze uitspraak van de Franse geleerde Ernest Renan (1823-1992) beschrijft de kritische grondhouding die bij het uitvoeren van de wetenschap vereist is.

Niettemin kan het ook een eerbetoon aan de waarheid zijn om over bepaalde zaken geen twijfel te laten bestaan. Uit mijn oratie moge zonder twijfel blijken dat ik hier niet sta door eigen verdiensten alleen. Ik ben veel van U dankbaar voor uw steun.

Ik dank u voor uw aandacht.

Bronvermelding:

- [1] Hulst RJAM v/d. Hoge tonen audiometrie en platinum-ototoxiciteit - een methode voor de vroege detectie. Academisch proefschrift Universiteit van Amsterdam, 8 oktober 1987.
- [2] Hoeve LJ, Rodenburg M. Slechthorendheid ten gevolge van lawaai. De Tijdstroom, Lochem, 1981.
- [3] Bronkhorst AW. Functionele auditieve keuringstest: ontwikkeling van een expertsysteem. TNO-IZP rapport A-30, Soesterberg, 1993.
- [4] Danish National Council of Health Education. Als het gehoor ons in de steek laat. uitgever Svend Vognsen, 1975.
- [5] Zuidema T, Berg R v/d, Dreschler WA, Tange R. Implantable bone conductors: dutch experiences with a transcutaneous device. *Seminars in Hearing* 13/4, 347-356 (1992).
- [6] Dreschler WA. Amplification. *Current opinion in Otolaryngology & Head and Neck Surgery*, 2/2, 201-208 (1994).
- [7] Leeuw AR, Dreschler WA. Frequency-resolution measurements with notched noises for clinical purposes. *Ear & Hearing*, 15, 240-255 (1994).
- [8] Dreschler WA. Relations between psychophysical data and speech perception for hearing-impaired subjects. Academisch proefschrift, Vrije Universiteit, 7 oktober 1983.
- [9] Plomp R. A signal-to-noise ratio model for the speech-reception threshold of the hearing impaired. *J.Speech Hear.Res.* 22, 146-154, 1986.
- [10] Boer E de, Dreschler WA. Auditory psychophysics: spectrotemporal representation of signals. *Ann. Rev. Psychol.* 38, 181-202 (1987).
- [11] Gillissen JPA. Het hoortoestel door de jaren heen. Amsterdam, 1995.
- [12] Dreschler WA. The role of temporal resolution in phoneme perception via hearing aids with peak clipping or compression. *Audiology* 28, 49-60, (1989).
- [13] Dreschler WA, Maré MJ, Boermans PP, Verschuure J. Compression in hearing aids: frequency dependence and effects in background noise. in: *Recent developments in hearing instrument technology*. Beilin J and Jensen GR, eds., 253-272 (1993).
- [14] Verschuure J, Dreschler WA. Present and future technology in hearing aids. *J.Sp.-Lang. Pathology and Audiology*, suppl. 1, 65-73 (1993).
- [15] Dreschler WA. Fitting multi-channel compression hearing aids. *Audiology* 31, 121-131 (1992).
- [16] Bosman AJ. Speech perception by the hearing impaired. Academisch proefschrift, Universiteit van Utrecht, 1989.
- [17] RIVM-rapport 'Volksgezondheid toekomstverkenning - de gezondheidstoestand van de Nederlandse bevolking in de periode 1950 to 2010'. Staatsdrukkerij, 1993.
- [18] Olphen AF van, Rodenburg M, Huizing EH, Tolk J. Veertig jaar Audiologie in Nederland. *Ned.Ver.voor Audiologie*, Amsterdam, 1990.
- [19] Köster HJ e.a.: Audiologische Centra, advies van de Gezondheidsraad van het ministerie voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne nr. 30, 1975.
- [20] Kapteyn TS, Clemens A, Glazenburg, BE, Joustra J, eds.: Slechthorende en hoortoestel. *Ned.Ver.voor Audiologie*, Amsterdam, 1994.



Gedekte orgelpijpjes, door dr. H. Zwaardemaker gebruikt als toongenerator bij audiologisch onderzoek.