

21 MAART 1939

Oorzaken
(*audiologische onderwerpen*)

Dr. Ir. H.P. Wit



Oorzaken
(audiologische onderwerpen)

Rede

Uitgesproken bij de aanvaarding van het ambt van
gewoon hoogleraar in de Audiologie
aan de Rijksuniversiteit Groningen
op 24 januari 1989.

door

Dr.Ir. H.P. Wit

*Meneer de Rector Magnificus,
Dames en Heren,*

In 1932 promoveerde Hendrik Cornelis Huizing tot doctor in de wis- en natuurkunde aan deze universiteit op het proefschrift: "Absolute metingen der geluidsintensiteit ter bepaling van het minimum audible". Promotor was de hoogleraar Zernike. Het onderzoek, waarvan in dit proefschrift verslag wordt gedaan, werd verricht in het Otologisch Laboratorium van het Academisch Ziekenhuis alhier. Hoofd van de kliniek voor Keel-, Neus- en Oorheelkunde was toentertijd professor Benjamins, die kennelijk tot het inzicht was gekomen dat hij er verstandig aan deed om een fysicus aan zijn laboratorium te verbinden. In het eerste hoofdstuk van zijn proefschrift geeft Huizing aan wat hiervoor zeer waarschijnlijk de reden is geweest. Ik citeer: "De uitvinding en volmaking van nieuwe hulpmiddelen, meest van elektrische aard, hebben het experimenteel onderzoek in geheel nieuwe banen geleid, welke dikwijls een outillage vragen, waaraan alleen door een modern industrielaboratorium zal kunnen worden voldaan. Waar vroeger van een enkelvoudig trillingssysteem sprake was, ontmoet men thans stelsels van meer gecompliceerde structuur, van gemengde aard: mechanisch-electrisch-acoustisch. De electro-acoustiek is een op zich zelf staand geheel geworden met karakteristieke werkmethode, waarin de aanmerkelijk verbeterde microfoon, de luidspreker en de triode in al zijn schakeringen steeds weer de hoofdelementen zijn. Het meten van enkelvoudige tonen van constante intensiteit, doch willekeurig in te stellen hoogte, welke in meerdere onderzoekingen een uitgangspunt vormen, is langs elektrische weg mogelijk gebleken. Hierdoor is de physiologische acoustiek, waaraan een deel der verdere beschouwingen gewijd zal worden, weer meer op de voorgrond getreden. Het klinisch onderzoek van patiënten, waarbij men tot nu toe op stemvorken, fluiten en het monochord aangewezen was, heeft in de audiometer een nieuw hulpmiddel gevonden, dat in

Amerika en Duitsland reeds veelvuldig wordt toegepast. Het aangeven van de doofheidsgraad op fysieke basis, het vaststellen van de resultaten eener therapie, het opsporen in de spraakzone van eilanden in de gehoorfunctie geschiedt met een continu-variabele audiometerbron gemakkelijker dan met eenige andere geluidsbron".

Tot zover dit citaat, dat op treffende wijze de reden van het ontstaan van de audiologie als aparte discipline weergeeft: de apparatuur voor het onderzoek van de gehoorsfunctie was zo gecompliceerd geworden, dat de hulp werd ingeroepen van een fysicus of een elektrotechnisch ingenieur.

In de zestig jaren volgend op dit prille begin hebben eerst de pioniers der Audiologie, en later hun opvolgers, het vak een centrale plaats gegeven binnen het multidisciplinaire team, dat werkzaam is in een Audiologisch Centrum. Van dergelijke centra zijn er thans in Nederland 22 erkend, en aangesloten bij de FENAC, de Federatie van Nederlandse Audiologische Centra. Hiertoe behoren ook de Audiologische Centra van de Academische Ziekenhuizen, die zijn opgenomen in de organisatie van de kliniek voor Keel-, Neus- en Oorheelkunde. Daarnaast zijn er verspreid in het land zelfstandig gehuisveste zogenaamde perifere centra; met vanuit Groningen gezien als dichtstbijzijnde voorbeelden de centra in Leeuwarden en in Zwolle; beide onder leiding van in Groningen geschoolde audiologen.

Dat ik zo uitgebreid stilsta bij het bestaan van Audiologische Centra heeft zijn reden. De laatste tijd zijn er signalen, waaruit men kan afleiden dat sommigen betwijfelen of de zorg, zoals die thans door deze centra aan slechthorenden en doven wordt gegeven, niet beter door anderen zou kunnen worden verzorgd. Doorgaans bedoelen zij dan met die anderen zichzelf. Of erger nog: men vraagt zich af of al die zorg nu wel nodig is. Dit is een slechte zaak, omdat hierdoor dreigt te worden afgebroken wat in de afgelopen jaren weldoordacht en door de bijdragen van velen is opgebouwd.

Kort zal ik ter toelichting de ontstaansgeschiedenis van de huidige organisatievorm van de Audiologische Centra schetsen. Een belangrijke stap in dit proces werd op 8 maart 1971 gezet door de toenmalige staatssecretaris van Sociale Zaken en Volksgezondheid, toen hij zich schriftelijk wendde tot de Gezondheidsraad met het verzoek hem van advies te dienen omtrent de meest gewenste opzet, doelstelling en werkwijze van Audiologische Centra. De voorzitter van de Gezondheidsraad stelde daarop een uit 22 personen bestaande commissie samen, die tot taak kreeg het gevraagde advies uit te brengen. De commissie werd op 8 maart 1972 geïnstalleerd en kreeg als voorzitter de Keel-, Neus- en Oorarts Dr. H.J. Köster. Het door de commissie geproduceerde rapport met als titel "Gezondheidsraad, Advies omtrent Audiologische Centra" is bij insiders dan ook beter bekend onder de naam: "Het rapport Köster". In dit rapport wordt gesteld dat "bij de beoordeling der consequenties die een stoornis in het waarnemingsvermogen via het gehoor kan hebben vaak factoren van psychologische, pedagogische en sociale aard essentieel zijn". Dit komt tot uitdrukking in het feit dat "veelvuldig zo diepgaand onderzoek nodig is, dat dit door specialisten uit de betreffende disciplines moet gebeuren". Daarom worden bij de vereiste personeelssamenstelling, naast de K.N.O.-arts, audioloog en audiologie-assistenten, ook genoemd de psycholoog en de maatschappelijk werker, terwijl de aanwezigheid van een orthopedagoog in het team als gewenst wordt beschouwd.

Het is natuurlijk waar dat het rapport Köster werd samengesteld in een tijd waarin de bomen in het bos in "Gezondheidszorgland" nog tot in de hemel leken te groeien. We leven nu in een tijd waarin de kosten van de gezondheidszorg terecht ter discussie staan. Dit betekent echter niet dat nu het bos met de botte bijl zou moeten worden uitgedund.

Na aldus kort mijn zorg over de toekomst van Audiologische Centra te hebben uitgesproken, wil ik het hebben over de patiën-

en ervan. En wel in het bijzonder over een speciale categorie: de ouderen, of zoals ze tegenwoordig heten: de senioren. Zij maken verreweg het grootste deel uit van de groep slechthorenden die een hoortoestel dragen. Waarschijnlijk kent U wel zo iemand en heeft U zich afgevraagd hoeveel een hoortoestel eigenlijk helpt, omdat het U is opgevallen dat de hoortoesteldrager ook met toestel vaak moeite heeft met verstaan. Misschien heeft U zich daarbij ook afgevraagd of er door medisch ingrijpen geen halt kan worden toegevoerd aan de achteruitgang van het gehoor met het toenemen van de leeftijd. Op deze vragen wil ik wat dieper ingaan, daarbij gebruik makend van gegevens uit een recent verschenen overzichtsartikel in "The Journal of the Acoustical Society of America", onder de titel "Speechunderstanding and aging". Allereerst wordt duidelijk dat het bij de achteruitgang van het gehoor om een complex van factoren gaat. Dit blijkt ook uit de naam van de afwijking: presbycusis of ouderdomsslechthorendheid, in bovengenoemd artikel samengevat als "age-related auditory-dysfunction syndrome". Volgens het Medisch Handwoordenboek is een syndroom een reeks van met elkaar samenhangende verschijnselen, een complex van symptomen die vaak kenmerkend zijn voor een bepaalde ziekte. Het komt er dus op neer dat men zich beperkt tot een beschrijving van de verschijnselen, omdat de onderlinge samenhang ervan niet precies wordt begrepen.

Bij ouderdomsslechthorendheid valt allereerst op de achteruitgang van de gevoeligheid van het gehoor: zachte geluiden worden niet meer gehoord. Wanneer een gehoorstest wordt uitgevoerd blijkt uit het audiogram dat de gehoordrempel, vooral voor de hoge tonen, verslechterd is. Als dit gevoeligheidsverlies het enige probleem zou zijn, zou versterking van het geluid met een hoortoestel het probleem kunnen opheffen; ongeveer zoals we met een goede bril weer scherp zien. Er blijkt echter meer aan de hand te zijn. Bij spraakaudiometrie blijft de score beneden de honderd procent, die wel door normaalhorenden en patiënten met een zuiver geleidingsverlies wordt gehaald. Het komt er bij deze test op

neer dat woorden moeten worden nagezegd, die via een bandrecorder worden aangeboden. De sterkte wordt daarbij zodanig gekozen dat de woorden duidelijk hoorbaar zijn. Ze blijken echter niet allemaal verstaanbaar te zijn. Dit kan worden begrepen door ervan uit te gaan dat er in het binnenoer vervorming van de informatie optreedt. Naast gevoeligheidsverlies is er dus ook vervorming. De invloed van deze beide factoren wordt goed weergegeven in het eenvoudige A + D-model dat Plomp ongeveer tien jaar geleden publiceerde. A is hierin de afkorting van "attenuation" of verzwakking en D die van "distortion" of vervorming.

Nu is het niet zo erg als van afzonderlijke woorden, zoals ze bij de standaard spraakaudiometrie worden gebruikt, enkele niet goed worden verstaan. Vaak blijkt uit het zinsverband wel wat wordt bedoeld. Zo is "de duif zit naast de doffer" waarschijnlijker dan "de duif zit naast de dokter".

Dit voorbeeld geeft meteen aan dat slechter verstaan meer oorzaken kan hebben dan alleen een achteruitgang van het gehoororgaan. De betekenis van een zin wordt niet met de oren bepaald maar met de hersenen. Anders geformuleerd: Wat iemand verstaat hangt niet alleen af van het signaal dat het oor bereikt, maar ook van wat iemand verwacht te horen. Naast het signaalverwerkingsproces, dat begint in het oor en eindigt in de hersenschors, is er dus ook een proces dat in omgekeerde richting werkt. In het eerder genoemde artikel wordt het eerste proces een "bottom-up" mechanisme genoemd; het tweede heet dan "top-down". Of dit tweede proces echt in omgekeerde richting werkt valt te bezien. Misschien is het beter om te spreken van parallelprocessen, omdat binnenkomende informatie snel vergeleken moet worden met allerlei reeds opgeslagen informatie. Dat deze processen sneller en efficiënter verlopen voor de moedertaal dan voor een vreemde taal is ieder die meerdere talen spreekt bekend. Wanneer iemand naar spraak luistert maakt hij gebruik van syntactische en semantische kennis, van zijn kennis van de wereld

om hem heen en van wat er in een gesprek gebeurt, om -terwijl hij luistert- al vast te voorspellen wat er gaat komen. Kennis en ervaring helpen hem om de voortdurende stroom van akoestische informatie om te zetten in klanken, lettergrepen en woorden en om woorden -en uiteindelijk zinnen- van betekenis te voorzien.

Het is dus duidelijk dat deze "top-down" of eventueel parallelle processen van groot belang zijn voor het verstaan van spraak. Sterker geformuleerd: deze zogenaamde cognitieve processen spelen altijd een rol bij het verstaan. Het is bijvoorbeeld al sinds lang bekend dat de redundantie van spraak helpt bij het herkennen van zinnen. Sinds ongeveer tien jaar bestaan "on-line" methoden om de snelheid waarmee bepaalde cognitieve processen werken te meten. Met dergelijke methoden wordt begrip gemeten, terwijl spraak wordt aangeboden. Dit in tegenstelling tot methoden waarbij achteraf - "off-line" dus - iets wordt bepaald en waarbij een sterk beroep op het geheugen wordt gedaan. Als voorbeeld van de "on-line" methode kan dienen een in de literatuur beschreven experiment waarin wordt gemeten hoeveel tijd er nodig is om een foute uitspraak van een woord te detecteren. Proefpersonen luisterden naar zinnen zoals: In het pakje zat bloter. De verkeerde uitspraak van het woord "boter" werd sneller gedetecteerd wanneer er op de stippeltjes "ranzige" stond en boter dus een grote kans maakte om te volgen, dan in het geval van "afgekeurde" als bijvoeglijk naamwoord.

Sommige theoretici kwamen op grond van dergelijke resultaten tot de conclusie dat cognitieve processen bij spraakverstaan woord voor woord plaats vinden.

Hoe het ook zij, het zal nu duidelijk zijn dat het niet voldoende is om alleen de achteruitgang van het gehoor met toenemende leeftijd te bestuderen, als men wil begrijpen waarom ouderen slechter verstaan.

Nu valt het met dat verstaan nog wel mee bij gunstige akoestische omstandigheden. Dus wanneer er geen storend lawaai is en wanneer de akoestiek van de ruimte waarin gesproken wordt

goed is. Zodra er echter achtergrondlawaai aanwezig is zal iemand met een perceptief gehoorsverlies daar meer tot veel meer last van hebben dan iemand met een normaal gehoor. Dus bij een perceptief verlies is niet alleen de waarneming van geluid gestoord - denk aan de eerder genoemde vervormingsterm van Plomp - ook de invloed van stoorsignalen is groter. Meestal is er bij perceptief gehoorsverlies sprake van binnenoorschadiging. Kennelijk is het beschadigde binnenoor niet meer in staat het spraaksignaal zodanig te bewerken en te scheiden van stoorsignalen, dat de informatie die de hersenen bereikt voldoende is om de spraak te verstaan. Ook wanneer er sprake is van nagalm, zoals in een grote hol klinkende ruimte, treden er problemen op met verstaan voor iemand met een perceptief gehoorsverlies; ook bij afwezigheid van achtergrondlawaai. Eigenlijk produceert in een dergelijke situatie het spraaksignaal zijn eigen stoorgeluid, omdat gedeelten ervan na weerkaatsing tegen de wanden van de ruimte het oor later bereiken dan het signaal dat rechtstreeks vanaf de bron naar het oor gaat.

Nadere analyse van deze problemen door Houtgast en andere medewerkers van het Instituut voor Zintuigfysiologie van TNO heeft ons geleerd dat spraak onder minder gunstige akoestische omstandigheden vooral slechter verstaanbaar wordt omdat de sterktevariaties erin minder geprononceerd zijn dan bij afwezigheid van storing. Op grond van deze beschouwing is enkele jaren geleden een meetinstrument ontwikkeld dat thans door een gerenommeerde firma op het gebied van akoestische meetapparatuur op de markt wordt gebracht. Met dit apparaat is het mogelijk op grond van objectieve metingen in een zaal een betrouwbare voorspelling te doen over de verstaanbaarheid van spraak in die zaal.

Met dit apparaat kon al aangetoond worden dat de akoestische omstandigheden in veel recreatieruimten van bejaardenhuizen slecht zijn voor het verstaan van spraak. Iets wat de slechthorende bejaarden natuurlijk allang gemerkt hadden.

Dit brengt mij weer terug bij het probleem waar we het eigenlijk over hadden: slechthorendheid bij ouderen. Dat ik zo uitgebreid ben ingegaan op de problemen die voor slechthorenden ontstaan onder slechte akoestische omstandigheden, is niet alleen om begrip te wekken voor het feit dat ze U zo slecht verstaan op een receptie, terwijl U toch weinig van slechthorendheid had gemerkt tijdens een tweegesprek in een rustige kamer. Het maakt ook duidelijk waarom hoortoestellen slechts een beperkt hulpmiddel zijn. Het hoortoestel immers, dat door versterking moet compenseren voor gevoeligheidsverlies van het gehoor, zal het stoorgeluid evenveel versterken als het spraaksignaal. En als het spraaksignaal al vervormd is door nagalm, zal het hoortoestel dit niet meer kunnen herstellen.

De fabrikanten en leveranciers van hoortoestellen willen ons natuurlijk graag anders doen geloven en de quasi-wetenschappelijke argumenten zijn niet van de lucht. Een voorbeeld wil ik U niet onthouden. De laatste jaren worden, overigens op goede gronden, in-het-oor toestellen meer en meer voorgeschreven. Het gaat hierbij om apparaatjes die zo klein zijn dat ze in de oorschelp passen. Ze verdwijnen zelfs voor het grootste gedeelte in de gehoorgang. Door fabrikanten wordt beweerd dat je met dit type toestel beter kunt verstaan, omdat weer gebruik wordt gemaakt van de natuurlijke functie van de oorschelp. Wetenschappelijk onderzoek, waarvan de resultaten al vele jaren bekend zijn, heeft echter aangetoond dat de oorschelp pas een belangrijke rol speelt voor geluidsfrequenties boven ongeveer 5.000 Hertz. Voor de zeer hoge tonen dus. Maar de frequentiekenarakteristiek van een miniatuurhoortoestel houdt op bij ongeveer 4.000 Hertz; hogere tonen worden nauwelijks versterkt. De conclusie ligt voor de hand.

Ontwikkelingen in de electronica maken dat telkens nieuwe pogingen worden gedaan om een beter hoortoestel te maken. Het kon daarbij niet uitblijven dat ook het digitale hoortoestel zijn intrede deed op de markt. Er zijn daarvan twee typen. Het ene is eigenlijk niet echt digitaal. Het is een hoortoestel van het type zoals

we dan al jaren kennen. Maar in plaats van met een schroevendraaiertje wordt het met een toetsenbordje ingesteld. De schakelaartjes in het hoortoestel zijn van digitale codes voorzien. Het voordeel van dit soort digitale hoortoestel is dat het zeer veel instelmogelijkheden heeft, zodat minder typen nodig zijn. Verder is de mogelijkheid ontstaan om tijdens de aanpasprocedure gebruik te maken van in een computergeheugen opgeslagen protocollen. Met aanpasprocedure wordt hier bedoeld het zoeken van het juiste type digitale hoortoestel voor een bepaalde slechthorende. Het voordeel van dit type digitale hoortoestel lijkt te zijn dat de selectieprocedure door standaardisatie verbeterd kan worden. Maar de praktijk zal nu moeten uitwijzen of dit echt zo is. Hier ligt dus een taak voor de Audiologische Centra.

Het echte digitale hoortoestel is nog in het stadium van prototypes. Bij de ontwikkeling ervan treedt een heel prozaïsch probleem op: er is een hogere batterijspanning nodig dan de spanning die geleverd wordt door de nu in gebruik zijnde miniatuurcellen. En ook de benodigde stroomsterkte is groter, waardoor de batterij snel leeg is. Dus ondanks het feit dat ook digitale schakelingen in de vorm van de bekende chips heel klein gemaakt kunnen worden, zullen digitale hoortoestellen voorlopig groot zijn, omdat de batterijen groot moeten zijn. En de slechthorende was juist zo blij dat het hoortoestel zo klein was geworden, want hij draagt het liever niet zichtbaar. Het digitale hoortoestel moet dus wel heel veel meer te bieden hebben, wil de slechthorende het grotere formaat op de koop toe nemen.

In een echt digitaal hoortoestel wordt het binnenkomende spraaksignaal zodanig bewerkt dat het voor een perceptief slechthorende beter verstaanbaar wordt. Omdat perceptief slechthorenden extra veel last hebben van achtergrondlawaai komt zo'n bewerking neer op het meer versterken van de spraak dan van het achtergrondlawaai. Of, uitgedrukt in een vakterm: de signaal-ruis verhouding wordt verbeterd. De digitale bewerking van het signaal met een computerprogramma moet wel in "real time"

gebeuren. Als er bijvoorbeeld een seconde nodig is voor de bewerking van het signaal, zal het geluid dat aan het oor wordt aangeboden flink uit de pas lopen met het lipbeeld van de spreker. Dat dit zelfs bij kleinere tijdsverschillen al storend is weet ieder die wel eens een slechte "playback-show" heeft gezien.

De ontwikkelaars van het digitale hoortoestel hebben veel kunnen leren van onderzoekers die zich bezighouden met spraakherkenningssystemen. De bedoeling van zulke systemen is simpel gezegd als volgt: de deur gaat open als Piet voor de microfoon spreekt, omdat het systeem zijn stem herkent. Maar Jan komt er niet in, omdat de kenmerken van zijn stem niet in het systeemgeheugen zijn opgeslagen. Nu is het herkennen van een stem natuurlijk nog wel iets anders dan verstaan van het gesprokene. De tekstverwerker die meteen op het scherm laat verschijnen wat je dikteert is nog niet op de markt. Net zo min als de computer of de robot die je mondeling instructies kunt geven. Wel wordt er hard aan dergelijke systemen gewerkt. Eén van de problemen waar men mee worstelt is het slechte functioneren van zulke machines bij achtergrondlawaai; vooral als dit geproduceerd wordt door andere sprekers. Meer en meer wordt duidelijk dat de prestaties van ons gehoor niet te evenaren zijn, hoeveel computerpower er ook in de strijd wordt geworpen.

Hetzelfde geldt trouwens voor het zien. Iets wat wij gemakkelijk kunnen: iemand herkennen aan z'n uiterlijk, is voor een met een televisiecamera uitgeruste computer een gigantisch probleem. Daarom is men enkele jaren geleden vanuit de hoek van de informatica begonnen met te bestuderen hoe zintuigen werken; iets wat biofysici al veel langer doen.

Dat de biofysica een belangrijk multidisciplinair onderzoeksgebied is, wordt ook in Den Haag erkend. Zeer kort geleden heeft drs. Deetman, de minister van Onderwijs en Wetenschappen, in een brief aan de Raad van Advies voor het Wetenschapsbeleid gevraagd hem de positie te schetsen van multi- en interdisciplinair onderzoek in Nederland. De minister heeft de indruk dat de

biofysica er, in vergelijking met de traditionele vakken, wat bekaaid afkomt bij de onderzoekssubsidiëring.

Maar nu weer terug naar het eigenlijke onderwerp. In de natuur gebeurt het benodigde "rekenwerk" niet door transistorschakelingen in chips, zoals in computers, maar door met elkaar verbonden zenuwcellen. Deze zenuwcellen werken veel trager dan een transistorschakeling. Maar door de zenuwcellen op een slimme manier met elkaar te koppelen in zogenoemde neurale netwerken is de natuur voor veel taken superieur aan de computer. In dergelijke netwerken wordt de informatie via veel parallel lopende wegen gelijktijdig verwerkt. In een gewone computer gebeuren alle bewerkingen serieel, dat wil zeggen na elkaar. Deze "parallel processing" in neurale netwerken maakt deze netwerken snel genoeg voor de taken waarvoor ze door de natuur zijn ontworpen.

Het digitale hoortoestel maakt tot nu toe gebruik van "gewone", dat wil zeggen seriële, computertechnieken. Het zou wel eens zo kunnen zijn dat het, nog voordat het goed ontwikkeld is, wordt vervangen door een toestel waarin "parallel processing" wordt toegepast. En dan gaat het al een beetje lijken op het echte gehoororgaan. Maar of het ooit zo goed wordt is zeer twijfelachtig. We hoeven alleen maar even terug te denken aan de eerder genoemde cognitieve aspecten die bij spraakverstaan een rol spelen. Voorlopig handhaaf ik daarom de stelling: "Het beste hoorapparaat is een normaalhorende, die het gesprokene duidelijk herhaalt."

Verder zouden we bijna vergeten dat er bij de perceptief slechthorende iets beschadigd is: zijn binnenoer. In het binnenoer of de cochlea worden in een normaal geval geluidsignalen voorbereid door ongeveer tienduizend zintuigcellen, voordat ze door ongeveer dertigduizend zenuwvezels worden aangeboden aan het zich binnen de schedel bevindende neurale verwerkingssysteem. Een beschadigd binnenoer voert deze voorbereiding gebrekkig uit. En bij gebruik van een hoortoestel zal de informatie, hoe slim die

ook door het hoortoestel is bewerkt, altijd weer het gebrekkig functionerende systeem moeten passeren.

Daarom wil ik het in het laatste gedeelte van deze rede graag hebben over de werking van het binnenoor. De fundamentele research, zoals die op het Audiologisch Instituut wordt uitgevoerd, krijgt dan ook nog wat aandacht.

Ruim tien jaar geleden maakte de Engelse onderzoeker David Kemp melding van een merkwaardig verschijnsel: het menselijk oor was volgens hem in staat zwakke toontjes te produceren. Hij kon de toontjes opwekken door aan het oor kortdurende tikkende geluiden aan te bieden. In de tijd volgend op deze tikken kon geluid worden geregistreerd met een microfoon, die op de gehoorgang was aangesloten. Dit geluid was zo zwak dat er een speciale techniek moest worden toegepast om de aanwezigheid ervan aan te tonen. Deze techniek heet signaalmiddeling en komt er op neer dat de door een heleboel na elkaar aangeboden tikken opgewekte zwakke geluiden bij elkaar worden opgeteld. Dezelfde techniek wordt bijvoorbeeld gebruikt bij een objectieve vorm van gehooronderzoek: de brainstem-audiometrie. Alleen worden er in dat geval zwakke elektrische spanningen bij elkaar opgeteld. Deze spanningen of potentialen worden in het hoofd opgewekt, ook weer door tikkend geluid en zijn het gevolg van elektrische stroompjes in zenuwcellen.

Bij de metingen van Kemp zond het oor ongeveer eenhonderdste seconde na het aanbieden van een klik - want zo noemt men het tikkende geluid - weer geluid uit in de vorm van kort durende toontjes. Dit lijkt niet ongewoon, want als we in de echoput roepen komt er korte tijd later ook geluid terug. Maar als we uitrekenen welke afstand geluid aflegt in eenhonderdste seconde, wordt een simpele weerkaatsing van geluid als verklaring zeer onwaarschijnlijk. In lucht legt geluid in 1 seconde ongeveer 340 meter af. In eenhonderdste seconde is dat dus ruim drie meter. We kunnen ook nog denken aan weerkaatsingen in het binnenoor dat met vloeistof

is gevuld. Maar daarin legt geluid in een honderdste seconde ongeveer vijftien meter af. Kortom, als we weerkaatsingen in het oor als verklaring willen gebruiken voor de door Kemp gemeten toontjes, moet het oor afmetingen hebben van vele meters. Toch werd het verschijnsel in de eerste jaren na de ontdekking Kemp-echo genoemd, hoewel het geen echo is.

Wat is het dan wel? Het is een trilling die wordt opgewekt in het binnenoor. Daarvoor is in de jaren na de ontdekking van Kemp voldoende bewijs verzameld. En zoals de elektrotechniek een belangrijke rol speelde bij de ontwikkeling van de Audiologie, kwam ook nu de verklaring uit deze hoek. Of eigenlijk moet er gezegd worden dat de verklaring dertig jaar voor de ontdekking van het verschijnsel al was gegeven.

In de jaren na de tweede wereldoorlog kwam de Engelse fysicus Gold in contact met Pumphrey, die het gehoororgaan onderzocht. Gold raakte ervan onder de indruk hoe goed het oor in staat is om twee tonen met iets verschillende toonhoogte van elkaar te onderscheiden. Anders gezegd: hij realiseerde zich dat het oor een zeer grote frequentieselectiviteit heeft. Dit leek hem in strijd met het feit dat het binnenoor is gevuld met vloeistof. Vloeistof zal op trillende structuren in het binnenoor een zeer sterk dempende werking uitoefenen. En het was Gold als fysicus bekend dat sterke demping een slechte frequentieselectiviteit oplevert. Nu was het probleem van de frequentieselectiviteit een bekend probleem voor ontwerpers van radiotoestellen. Verschillende radiozenders zenden op verschillende frequenties uit. Soms liggen deze frequenties dicht bij elkaar. Toch is het de bedoeling dat het radiotoestel zo kan worden afgestemd, dat de ene zender duidelijk hoorbaar is, zonder dat de andere er doorheen klinkt. Om nu de frequentieselectiviteit van radiotoestellen voldoende groot te maken hadden elektrotechnici een truc bedacht, die positieve terugkoppeling heet. De truc komt er op neer dat een gedeelte van het uitgangssignaal van het apparaat wordt teruggevoerd naar de ingang. We kunnen ons er iets bij voorstellen als we denken aan de slinger van

een klok, die zijn eigen slingering in stand houdt, omdat er steeds op het juiste moment -via een mechaniekje- een duwtje tegenaan wordt gegeven. Gold's gedachte was dat ook in het binnenoor positieve terugkoppeling zorgt voor de grote frequentieselectiviteit.

Nu heeft positieve terugkoppeling een heel vervelende eigenschap: als de terugkoppeling te sterk is - dus als er teveel uitgangssignaal wordt teruggevoerd naar de ingang - raakt het hele mechanisme van slag. Het gaat uit zichzelf trillen en blijft dat doen. In het radiotoestel betekende dat een hinderlijk jankend geluid, bekend onder de naam: "de Mexicaanse hond". (Waarschijnlijk is de term in de Verenigde Staten bedacht.) Ook omroepinstallaties kunnen gaan fluiten of "rondzingen". Terwijl ik hier spreek wordt mijn stemgeluid door een microfoon opgevangen en versterkt door luidsprekers weer uitgezonden. Het signaal dat op de microfoon valt is het ingangssignaal van de installatie. Het geluid van de luidsprekers is het uitgangssignaal. Een gedeelte van dit uitgangssignaal valt weer op de microfoon. Er is dus ook hier positieve terugkoppeling aanwezig. Als nu de versterker te ver zou worden opgedraaid, zouden de luidsprekers hard gaan fluiten. De terugkoppeling is dan te sterk. Soms wordt deze vorm van terugkoppeling fraai gedemonstreerd bij de bekende telefoon-spelletjes voor de radio. Iemand spreekt in de uitzending - "life" dus - met de disk-jockey en wil eigenlijk zijn eigen stem ook wel weer graag horen uit z'n radiotoestel. Als hij dan de radio te hard zet, of met de telefoon te dicht bij zijn toestel zit, kan het resultaat weer een hinderlijk gefluit zijn. Het is interessant om even stil te staan bij de weg waarlangs in dit laatste voorbeeld de terugkoppeling plaats vindt: van radioluidspreker naar telefoonhoorn. Dan via de telefoonlijn naar de omroepstudio. Vandaar naar de zender. En van de zender door de atmosfeer terug naar het radiotoestel.

Het zal na deze voorbeelden duidelijk zijn dat positieve terugkoppeling als hinderlijk bijverschijnsel een voortdurende

oscillatie kan hebben. Gold, die veronderstelde dat ook in het binnenoor positieve terugkoppeling werkzaam is, voorspelde dat het mechanisme ontregeld zou kunnen raken. Het oor zou dan voortdurend oscilleren en heel zwakke toontjes uitzenden.

Bij de Kemp-echo is er sprake van kortdurende toontjes opgewekt door een klik. Volgens Gold's voorspelling zouden sommige oren ook voortdurend geluid moeten uitzenden. En inderdaad, dergelijke toontjes kunnen met een gevoelige microfoon worden gemeten en zijn ook door Kemp voor het eerst waargenomen. Hij noemde het verschijnsel objectieve tinnitus. Tinnitus is de medische term voor oorsuizen, zoals wij dat allemaal wel eens waarnemen. Het gaat dan om een kortdurende pieptoon in het oor. Bij sommige vormen van binnenoorslechthoerendheid is een dergelijke fluittoon permanent en vaak hinderlijk hoorbaar. Deze subjectieve tinnitus wordt echter alleen door de betrokkene zelf waargenomen. Er is vrij uitgebreid onderzoek gedaan om een verband aan te tonen tussen het optreden van objectieve en subjectieve tinnitus. Dit verband is niet gevonden.

De objectieve tinnitus en ook de Kemp-echo zijn nog steeds onderwerp van studie in verschillende laboratoria in Europa en de Verenigde Staten. De naam van de verschijnselen is inmiddels veranderd. We spreken nu van oto-akoestische emissies. In vertaling: door het oor uitgezonden geluidsignalen. De objectieve tinnitus heet nu spontane oto-akoestische emissie en de Kemp-echo is een vorm van opgewekte emissie of "evoked otoacoustic emission".

Ook op ons Instituut houden wij ons sinds ongeveer tien jaar uitgebreid bezig met onderzoek aan de oto-akoestische emissies. Zo konden we enkele jaren geleden in samenwerking met de Amerikaanse theoretisch fysisicus Bialek aantonen dat spontane emissies inderdaad worden geproduceerd door oscillatoren; voortdurend trillende structuren dus. Hierbij maakten we gebruik van signaalanalyse-technieken, waarmee allerlei eigenschappen van de zwakke door het oor uitgezonden geluidsignalen werden bepaald.

Dat we ons nog steeds voor deze emissies interesseren is omdat gedacht wordt dat deze oscillerende structuren de zintuigcellen in het binnenoor zijn. Onderzoek aan emissies kan dus informatie opleveren over het functioneren van deze zintuigcellen. Eerder in deze rede was er sprake van deze zintuigcellen in verband met perceptief gehoorsverlies. Dan werken de zintuigcellen niet meer goed. We kunnen onderzoek naar het functioneren van zintuigcellen in het oor dus maatschappelijk relevant noemen. Maar dit terzijde, want de eerlijkheid gebiedt mij te zeggen dat de voornaamste drijfveer voor fundamenteel onderzoek nieuwsgierigheid is; het willen oplossen van een puzzel.

Ik heb uitgebreid duidelijk gemaakt dat bij positieve terugkoppeling een verbinding nodig is tussen uitgang en ingang. Vertaald naar zintuigcellen in het oor, die door geluid veroorzaakte vloeistoftrillingen omzetten in elektrische stroompjes, betekent dit omgekeerd dat deze stroompjes in staat moeten zijn om een trilling te veroorzaken. En het is te mooi om waar te zijn: enkele jaren geleden is, eerst in de Verenigde Staten en later ook in Duitsland en Engeland, aangetoond dat zintuigcellen door elektrische wisselspanning in trilling kunnen worden gebracht. Deze zintuigcellen waren voorzichtig uit het binnenoor van een proefdier verwijderd. Of een dergelijk mechanisme ook in een intact binnenoor werkt, moet uit nader onderzoek blijken. Oto-akoestische emissies geven in ieder geval een sterke aanwijzing in die richting.

Dames en Heren, ik heb vanmiddag geprobeerd U inzicht te geven in de veelzijdigheid van de Audiologie. Dit heb ik gedaan met verschillende petten op. Eerst heb ik als directeur van een Audiologisch Centrum kort de ontstaansgeschiedenis geschetst van de Audiologie als apart vak en van de Audiologische Centra als multidisciplinaire eenheden, waar en van waaruit optimale zorg kan worden geboden aan slechthorenden en doven. Ook heb

ik mijn bezorgdheid uitgesproken over dreigende kwaliteitsvermindering van deze zorg.

Daarna heb ik als audioloog geprobeerd U inzicht te geven in het grootste probleem van de slechthorenden: een gestoorde communicatie door een verminderde spraakverstaanbaarheid. Verder heb ik geprobeerd om duidelijk te maken dat een hoorapparaat een weliswaar nuttig maar helaas beperkt hulpmiddel is. En ik heb gefilosofeerd over moderne technische ontwikkelingen op het gebied van hoorapparatuur.

Tenslotte ben ik als biofysicus uitgebreid ingegaan op een onderwerp van fundamenteel onderzoek dat inzicht moet geven in het functioneren van de zintuigcellen in het binnenoor. Het zijn deze zintuigcellen die bij mensen met een perceptief gehoorsverlies beschadigd zijn. Hoewel dergelijk onderzoek niet direkt aantoonbaar resultaat oplevert, ben ik van mening dat het thuishoort in een academische K.N.O.-kliniek. Als gevolg zal worden gegeven aan de hier en daar te horen roep om alleen onderzoek te doen dat direkt toepasbare resultaten oplevert, zal dit een verlaging van het niveau betekenen. Voor de medisch specialist is contact met fundamenteel onderzoek nuttig. Gelukkig sta ik niet alleen in deze mening. Enkele maanden geleden zijn de opleidingseisen voor Keel-, Neus- en Oorartsen opnieuw geformuleerd. Expliciet is vermeld dat aan een opleidingsinrichting verbonden moet zijn: een laboratorium dat is uitgerust voor de bestudering van de fysica, de fysiologie en de pathologie van het gehoororgaan en het evenwichtsorgaan. Dat een dergelijk laboratorium aan de K.N.O.-kliniek van het Academisch Ziekenhuis Groningen reeds vele jaren in bedrijf is, is U inmiddels duidelijk geworden.

Dames en Heren Studenten,

Hoewel de Audiologie maar een onderdeel is van een zogenaamd klein vak, zijn de gevolgen van slechthorendheid voor de betrokkene zeer groot. U zult daar als medicus mee worden geconfronteerd. De conclusie kunt U zelf trekken.

Ik heb gezegd.

Meneer de Rector, leden van het College van Bestuur, van het College van Dekanen, en van het bestuur van de Faculteit der Geneeskunde,

Ik dank U voor het in mij gestelde vertrouwen. Als de randvoorwaarden, waaronder ik word geacht te werken, het mij tenslotte niet verhinderen, zal ik dit vertrouwen niet beschamen. Helaas zijn deze randvoorwaarden de laatste jaren aan veranderingen onderhevig; en zeker niet in positieve zin.

Leden van Bestuur en Directie van het Academisch Ziekenhuis Groningen,

Sinds 12 jaar werk ik in Uw ziekenhuis en sinds ruim een jaar ben ik ook voor een deel van de tijd Uw werknemer. Als lid van een klinische vakgroep bevallen beide zaken mij goed. Uw dynamische bedrijf heet met recht een *Academisch* ziekenhuis.

Hooggeleerde De Waard, Hooggeleerde Niesen;

Hendrik en Bert, als promotor en co-referent hebben jullie een wezenlijke bijdrage geleverd aan mijn wetenschappelijke vorming. De nucleaire vaste stof fysica bleek een goede basis te zijn voor de biofysica, waarin de processen doorgaans complexer van aard zijn en moeilijker voor meting toegankelijk.

Hooggeleerde Ritsma,

Beste Roel, jij hebt de omstandigheden gecreëerd die het mij mogelijk hebben gemaakt om de Audiologie in al zijn facetten te leren kennen. Ik dank je daarvoor. Het zal niet gemakkelijk zijn om de centrale plaats die jij innam in het Nederlandse audiologische wereldje op een even voortreffelijke wijze weer in te vullen.

Hooggeleerde Blecker,

Beste Jaap, jij hebt mij geleerd dat een fysicus een zeer beperkte blik heeft zodra het gaat om onderzoek aan levende systemen. Het is jammer dat je niet twintig jaar jonger bent; wat hadden we nog veel samen kunnen doen.

Hooggeleerde Kuiper, Hooggeleerde Duifhuis;

Beste Jan en Diek, het is voor een kleine researchafdeling als die van het Audiologisch Instituut niet gemakkelijk om te overleven in deze tijd, waarin alles groter moet. De contacten die wij hebben met jullie biofysica-groep en de steun die wij van daaruit ondervinden zijn daarom voor ons van groot belang.

Hooggeleerde Herrmann,

Beste Ingo, jij moet nu de koers uitzetten voor K.N.O.-vakgroep en -kliniek, zowel voor wat betreft onderwijs en onderzoek, als patiëntenzorg. Ik help je daarbij graag. Twee kunnen meer als de delen samen, vooral als ze verschillende achtergronden hebben.

Assistenten in opleiding tot Keel-, Neus- en Oorarts,

Mijne dames en heren, als de meesten van U zich tijdens hun opleiding ook bekwamen in het uitvoeren en interpreteren van wetenschappelijk onderzoek zal ik pas echt tevreden zijn.

Medewerkers van het Audiologisch Instituut,

Zonder jullie steun en inzet kan ik het verder wel vergeten.