

## Spraakverstaanbaarheid als maat voor de winst van een binaurale hoortoestel-aanpassing

M. Boymans en W.A. Dreschler

*Audiologisch Centrum A.M.C., Amsterdam*

Dit onderzoek heeft tot doel het binaurale voordeel voor spraakverstaan in kaart te brengen met behulp van goed gedefinieerde tests, die bovendien klinisch toepasbaar zijn. Voor dit doel werden tests gebruikt die zoveel mogelijk overeenkomen met moeilijke luistersituaties in de dagelijkse praktijk. Naast het richtinghoren zijn de volgende tests met spraakmateriaal uitgevoerd: verstaanbaarheid van zinnen in spraak-gemoduleerde maskeeruis en dichotische discriminatie van woorden en getallen. Bij de spraaktesten werden de beide geluidsbronnen ruimtelijk van elkaar gescheiden (+45 en -45 graden azimuth).

Uit de metingen bij 12 hoortoestel dragers blijkt dat het dragen van twee hoortoestellen gunstig is voor zowel het richtinghoren als het spraakverstaan. De verbetering van het spraakverstaan kan met behulp van spraaktesten met stoorgeluid eenduidig worden bepaald en is het grootst voor spraak van de (monoraal) niet geprothetiseerde kant. De test met spraak in gemoduleerde ruis lijkt beter geschikt om in een klinische situatie de binaurale winst vast te stellen dan de dichotische discriminatie test.

### Inleiding

Het benutten van beide oren heeft een aantal objectieve voordelen (voor een overzicht zie Blauert, 1974). Allereerst maakt binauraal horen het eenvoudiger om te bepalen uit welke richting geluid komt. Hiermee hangt samen dat de ruimtelijke beleving van de akoestiek met twee oren veel natuurlijker is dan met één oor. Een tweede voordeel is het beter verstaan van spraak in een lawaaige omgeving. Dankzij het gebruik van twee oren kunnen wij het achtergrondlawaai beter naar de achtergrond drukken en ons concentreren op de gewenste boodschap. Tenslotte verkleint binauraal horen de hinderlijke werking van nagalm op het spraakverstaan. Dit effect wordt wel binaurale ontgalming genoemd.

Bovengenoemde voordelen hebben veel te maken met akoestische situaties waarin de slechthorende de meeste problemen heeft. Een veel gehoorde klacht van slechthorenden is dat zij niet goed kunnen verstaan in omgevingslawaai en/of bij nagalm. Bovendien zijn dit bij uitstek de situaties waarbij het hoortoestel slechts beperkt nut heeft. Het ligt dan ook voor de hand om juist voor de slechthorende de binaurale functie zo goed mogelijk te benutten, meestal door gebruik te maken van een tweezijdige of stereofonische hoortoestel-aanpassing (Markides, 1977). Binnen audiologische centra probeert men daarom het dragen van twee hoortoestellen te bevorderen en noemt men soms de tweezijdige aanpassing ook wel de *volledige* prothese.

Toch is het in de klinische praktijk moeilijk om de binaurale winst objectief vast te stellen omdat in de één-op-één situatie het binaurale systeem nauwelijks wordt benut. De officiële indicatie om voor een vergoeding van twee hoortoestellen in aanmerking te komen is gebaseerd op parameters van spraakverstaan en richtinghoren, maar de wijze waarop dit dient te worden gemeten is nogal vaag gespecificeerd. Tevens bestaat er een discrepantie met de dagelijkse situatie.

De betrouwbaarheid van scores voor het *spraakverstaan* is beperkt. Zeker indien de aanmeter de woorden 'live' aanbiedt (hetgeen in de klinische praktijk eerder regel dan uitzondering is) is de meetonnauwkeurigheid in dezelfde orde van grootte als het te bepalen effect. Waarom worden er losse woorden en geen hele zinnen – een situatie die veel meer overeenkomt met de praktijk – gebruikt? Daarnaast kan men zich afvragen of het spraakverstaan gemeten moet worden in stilte, of – meer realistisch – juist bij achtergrondlawaai en welk achtergrondlawaai is dan representatief voor de dagelijkse situatie. Wordt de meting uitgevoerd met of zonder lipbeeld en hoe is de ruimtelijke positie van de spreker en de luisteraar?

Dikwijls wordt alleen het vermogen tot *richtinghoren* bepaald. Het is jammer dat hiermee het binaurale effect dreigt te worden beperkt. Voor veel slechthorenden is het spraakverstaan immers primair. Daarom wordt in dit onderzoek gezocht naar een testprocedure om juist de meerwaarde van twee hoortoestellen bij het spraakverstaan vast te stellen.

Naast het onderzoek in de klinische praktijk is er veel laboratorium-onderzoek verricht naar het voordeel van binauraal horen. Dirks en Wilson toonden in 1969 reeds aan dat er binaurale winst meetbaar is indien de hoek tussen de spraakbron en de ruisbron 10 graden of meer bedraagt. Het effect werd vooral toegeschreven aan verschillen in aankomsttijd bij beide oren ('interaural time differences'). De auteurs wezen er op dat het effect met meerlettergrepige woorden en/of zinnen beter kon worden vastgesteld dan met monosyllaben. Plomp en Mimpen (1981) hebben het effect van de bron scheiding kwantitatief in kaart gebracht: bij een hoek van 45 graden werd een 6 dB gunstiger drempel voor zinnen gevonden dan bij een hoek van 0 graden.

Onderzoek bij slechthorenden doet vermoeden dat hun binaurale winst kleiner is dan bij normaalhorenden. Dit is volgens Bronhorst en Plomp (1989) vooral

te wijten aan een minder goed benutten van de niveau-verschillen tussen beide oren ('interaural level differences'). Hierbij speelt het restgehoor voor de hogere frequenties een belangrijke rol, omdat de effecten van de hoofdschaduw groter zijn naarmate de frequentie toeneemt. De te behalen winst bij gebruik van twee hoortoestellen is volgens de auteurs dan ook vooral gelegen in het beter kunnen benutten van de 'interaural level differences'. Zij vonden geen negatieve effecten ten aanzien van mogelijke verstoringen van de 'interaural time differences'. Voor klinische toepassingen bepleiten Bronkhorst en Plomp (1990) niet alleen steady-state ruis te gebruiken maar ook fluctuerende ruis, bij meetopstellingen met en zonder ruimtelijke scheiding tussen de signaalbron en de stoorbron.

In dit onderzoek willen wij proberen om het binaurale voordeel voor spraakverstaan in kaart te brengen met behulp van goed gedefinieerde tests, die bovendien klinisch toepasbaar zijn. Omdat het binaurale systeem juist voor akoestisch moeilijke luistersituaties een meerwaarde heeft, zijn de door ons geselecteerde tests een afspiegeling van dagelijkse situaties met achtergrondruis. Om de dagelijkse situatie nog verder te benaderen hebben wij geen woorden maar zinnen gebruikt. Uit een pilot-studie bleek bovendien dat het gebruik van een fluctuerende ruis de problemen van slechthorenden beter in kaart brengt dan een continue ruis. Veel slechthorenden profiteren namelijk, door een verminderd tijdoplossend vermogen, minder van de pauzes in de fluctuerende stoorruis (Duquesnoy, 1983).

Verder geldt dat de slechthorende in de dagelijkse situatie afgeleid kan worden door een concurrerende spreker, die tegelijkertijd spreekt. Om deze situatie na te bootsen hebben wij bovendien een test afgenomen met spraakmateriaal dat is afgeleid van de dichotische discriminatietest van Feldmann (1965).

## Methode

### *Proefpersonen*

Voor dit experiment werden twaalf proefpersonen geselecteerd. Zij zijn allen afkomstig van het audiologisch centrum en voldoen aan de volgende criteria:

- symmetrisch perceptief gehoorverlies (het gemiddelde verschil tussen beide oren < 15 dB)
- matig gehoorverlies: het gemiddelde verlies bij 1000, 2000 en 4000 Hz ligt tussen 40 en 70 dB
- twee (identieke) achter het oor toestellen zijn kort geleden aangemeten. De proefpersonen hadden tenminste 3 weken ervaring met het dragen van beide hoortoestellen, waarmee de test werd uitgevoerd.

In Tabel 1 wordt een overzicht gegeven van de individuele audiologische gegevens.

### *Proefopzet*

In ons onderzoek hebben wij allereerst het richtinghoren bepaald. Deze metingen

Tabel 1. Overzicht van enkele individuele parameters van de proefpersonen.

| pp. | sexe | lft. | verlies<br>AD (dB) | verlies<br>AS (dB) | max. discr.<br>AD (%) | max. discr.<br>AS (%) | hoortoestel         |
|-----|------|------|--------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|
| A   | M    | 70   | 45                 | 57                 | 83                    | 100                   | Philips P54 O       |
| B   | M    | 69   | 53                 | 57                 | 90                    | 90                    | Siemens 268 W       |
| C   | M    | 21   | 52                 | 50                 | 100                   | 100                   | Oticon Personic 400 |
| D   | M    | 47   | 53                 | 45                 | 90                    | 90                    | Philips M47/9       |
| E   | V    | 73   | 42                 | 53                 | 95                    | 93                    | Siemens 268 W       |
| F   | M    | 67   | 45                 | 48                 | 86                    | 83                    | Oticon E 31 V       |
| G   | V    | 88   | 55                 | 58                 | 90                    | 83                    | Philips M47 O       |
| H   | V    | 80   | 48                 | 52                 | 90                    | 76                    | Oticon E 40         |
| I   | V    | 76   | 65                 | 67                 | 95                    | 87                    | Danavox 143 V       |
| J   | V    | 79   | 65                 | 65                 | 86                    | 83                    | Philips P 47        |
| K   | V    | 78   | 57                 | 60                 | 90                    | 70                    | Danavox 123-3AGCI   |
| L   | V    | 28   | 42                 | 48                 | 95                    | 93                    | Dahlberg Extra PP   |

werden aangevuld met een tweetal nieuwe metingen, gericht op de winst van een binaurale aanpassing voor het spraakverstaan. De volgende experimenten werden afgenomen bij alle proefpersonen:

- RH: RichtingHoren tussen -90 en +90 graden
- SIR: Spraakverstaan voor zinnen In gemoduleerde Ruis
- DD: Dichotische Discriminatie voor woorden en getallen, uitgesproken door twee sprekers

Voordat de metingen begonnen, werd er een korte richtinghorentest gedaan met beide toestellen. Bij deze test werd vanuit verschillende richtingen ruis aangeboden, waarbij de proefpersoon moest aangeven uit welke richting de ruis kwam (voor details zie richtinghoren). De proefpersonen mochten op dat moment het volumewiel nog bijstellen. Gedurende de werkelijke test werd het volumewiel niet meer versteld. De proefpersonen werden verzocht het hoofd niet meer te draaien, zij bleven naar voren kijken (0 graden). Alle testen werden afgenomen onder de volgende condities:

- AD: alleen het rechter hoortoestel (het linker oor is open)
- AS: alleen het linker hoortoestel (het rechter oor is open)
- ADS: binaurale aanpassing

De bijdrage van het niet geprothetiseerde oor is uiteraard sterk afhankelijk van de mate van verlies, maar alleen op deze manier kan een schatting worden verkregen van de winst ten gevolge van het tweede hoortoestel in de dagelijkse praktijk. De volgorde van de condities werd gebalanceerd om volgorde-effecten te vermijden.

### *Richtinghoren*

Om te meten in welke mate de proefpersoon de richting van het geluid kan bepalen, is er gebruik gemaakt van een richtinghorenboog met 13 identieke luidsprekers. Deze stonden opgesteld op oorhoogte in een halve cirkel voor de proefpersoon (tussen -90 en +90 graden). De stimuli waren korte breedbandige ruisjes, 300 ms lang, die met een cosinusvormige omhullende werden aan- en uitgeschakeld om clicks te voorkomen. Er is een gemiddeld geluidsniveau gebruikt van 60 dBA, gemeten op de plaats van de proefpersoon. De volgorde van aanbieding was gerandomiseerd met behulp van een computer. De proefpersoon gaf als respons het nummer aan van de luidspreker waar de ruis vandaan zou komen.

Voor de kwaliteit van het richtinghoren werden twee maten gebruikt:

- de kwadratisch gemiddelde afwijking ('root mean square') tussen de hoek van stimulatie en de aangegeven hoek van perceptie (in graden). Deze maat geeft inzicht in de grootte van de gemaakte fouten, waarbij (t.g.v. het kwadrateren) een grote discrepantie tussen stimulus en respons zwaarder wordt gewogen dan kleine verschillen
- de correlatie coëfficiënt van het stimulus-respons patroon. Deze maat kan relatief gunstig uitvallen wanneer ondanks een vaste afwijking de ordening tussen stimulus- en responspatroon behouden blijft.

### *Spraakverstaan in ruis*

Om te bepalen of een tweede toestel het spraakverstaan in lawaai kan verbeteren, is er gebruik gemaakt van een SIR-test (Spraak-In-Ruis drempel) volgens Plomp en Mimpen (1978).

Bij een SIR-test worden zinnen tegelijk aangeboden met een spraakruis. De ruis heeft een constante sterkte, het niveau van de spraak wordt gevarieerd afhankelijk van de respons van de proefpersoon. De proefpersoon herhaalt de zin die hij heeft gehoord. Wanneer de zin geheel correct is herhaald worden de volgende zinnen telkens 2 dB zachter aangeboden totdat een zin niet meer correct wordt verstaan. Dan worden de volgende zinnen telkens 2 dB harder aangeboden. Er worden totaal 13 zinnen aangeboden. Over de laatste 10 zinnen wordt de gemiddelde sterkte beschouwd als de SIR-drempel. Bij normaalhorenden kan, in continue spraakruis, de spraak 6 dB zachter dan de ruis worden aangeboden terwijl 50% van de zinnen nog goed wordt verstaan. Voor normaalhorenden geldt dus dat de kritische signaal-ruisverhouding -6 dB is. Het belangrijkste voordeel is de grote meetnauwkeurigheid van deze methode, waardoor de drempel met een standaard deviatie van slechts 1 dB bepaald kan worden.

Wij gebruikten de SIR-test met gemoduleerde ruis (Festen en Plomp, 1990), zoals weergegeven op de FENAC-CD (Federatie van Nederlandse Audiologische Centra). Bij normaalhorenden ligt de kritische signaal-ruis verhouding in de regel 7 dB gunstiger dan bij niet-gemoduleerde ruis (Duquesnoy, 1983), omdat er gebruik kan worden gemaakt van de pauzes in de stoorruis. Dit vermogen blijkt bij slechthorenden te zijn aangetast (Festen en Plomp, 1990; Bronkhorst en Plomp, 1992). Daardoor is het verschil tussen normaalhorenden en slechthoren-

den voor gemoduleerde ruis meestal groter dan voor continue ruis. Als modulatie werd het omhullende spectrum van één spreker gebruikt. De storing is hiermee vergelijkbaar met één concurrerende spreker.

De ruis werd aangeboden met een gemiddeld geluidsniveau van 66 dBA. Bij de eerste twee zinslijsten kwam zowel de spraak als de ruis uit de luidspreker recht tegenover de proefpersoon. Daarna werden de stimuli ruimtelijk gescheiden om het effect van de binaurale aanpassing te vergroten. Per conditie (AD, AS en ADS) werd een meting verricht met spraak van de linker (-45 graden) en ruis van de rechter kant (+45 graden) en een meting verricht met spraak van rechts en ruis van links. De volgorde van deze aanbiedingen is gebalanceerd over de personen en de condities.

### *Dichotische spraakperceptie*

Bij het dichotisch luisteren werden er tegelijkertijd twee verschillende woorden aangeboden, één woord vanaf de linker zijde (-45 graden azimuth) en één woord vanaf de rechter zijde (+45 graden azimuth). De woorden bestonden uit drie lettergrepen, door dezelfde persoon uitgesproken. De proefpersonen moesten beide woorden zo goed mogelijk nazeggen. Er is gescoord hoeveel lettergrepen aan de verschillende kanten correct werden herhaald en hieruit werd het percentage correct gerespondeerde lettergrepen berekend. Een soortgelijke aanpak is gevolgd bij de getallen. De getallen bestonden uit vier lettergrepen waarvan de eenheden en de tientallen werden gescoord. In tegenstelling tot de vorige experimenten moesten de proefpersonen zich nu op beide kanten concentreren. Ook hier is (bij de monaurale aanpassing) onderscheid gemaakt tussen responses van de contralaterale kant (het woord aan de kant waar geen toestel zit) en de ipsilaterale kant (het woord aan de geprothetiseerde kant).

### **Resultaten**

De individuele resultaten van de 12 proefpersonen voor het richtinghoren worden gepresenteerd in het staafdiagram van Figuur 1. Per proefpersoon zijn twee staafjes afgebeeld, links de kwadratisch gemiddelde afwijking bij gebruik van één hoortoestel en rechts de kwadratisch gemiddelde afwijking bij gebruik van twee hoortoestellen. Voor de 'score' voor één hoortoestel zijn de meetresultaten van de condities AD en AS gemiddeld.

Bij 10 van de 12 proefpersonen zijn de resultaten met twee hoortoestellen gunstiger dan met één hoortoestel. Volgens de toets van Wilcoxon zijn de verschillen significant op 1% niveau. Bij sommige slechthorenden is de verbetering spectaculair, bij anderen geringer. (Bij F en H is er bijna geen verschil tussen een monaurale en een stereo aanpassing). Een geringe verbetering kan samenhangen met een licht verlies aan het niet geprothetiseerde oor, omdat dit oor ook 'ongewapend' nog kan bijdragen aan het richtinghoren. Het verband tussen de mate van gehoorverlies en de binaurale winst blijkt echter statistisch niet significant te zijn.

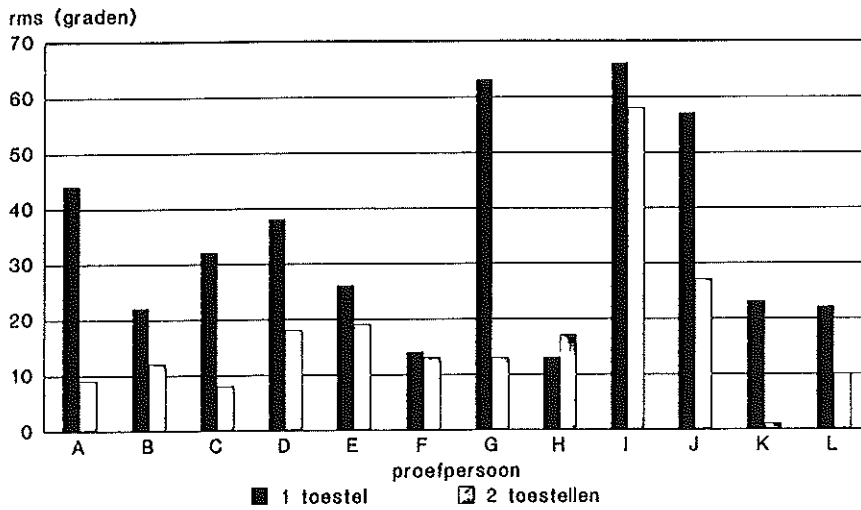


Fig. 1. Individuele resultaten bij de richtinghorentest. Er worden voor iedere proefpersoon (van A tot L) twee staven weergegeven die de RMS-waarden van het verschil tussen stimuli en respons in graden representeren. De donkere staven (links) geven de monaurale condities weer (AD en AS), de lichtere staven (rechts) de stereofonische conditie (ADS).

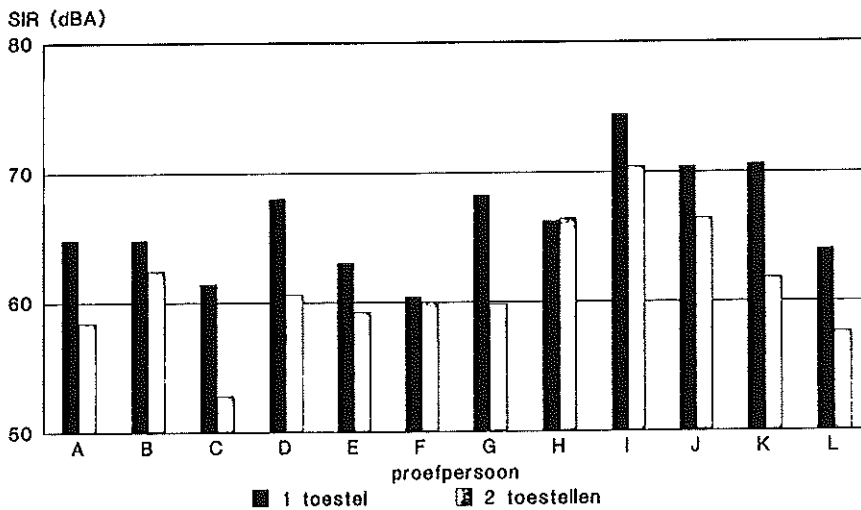


Fig. 2. Individuele resultaten van de SIR-test. Er worden voor iedere proefpersoon (van A tot L) twee staven weergegeven die de Speech-Reception Thresholds in 66 dBA fluctuerende ruis representeert. De donkere staven (links) geven de monaurale condities weer (AD en AS), de lichtere staven (rechts) de stereofonische conditie (ADS).

Tabel 2. Groepsresultaten van de richtinghorentest (RH). De gemiddelde waarden en de standaarddeviaties van de RMS van de afwijking en de gemiddelde correlatie coëfficiënten worden voor iedere conditie (AD, AS, ADS) weergegeven. (n=12).

|                 | rms van de afwijking |         | correlatie<br>coëfficiënt |
|-----------------|----------------------|---------|---------------------------|
|                 | gemiddelde           | st.dev. | gemiddelde                |
| hoortoestel AD  | 33 graden            | 26.8    | 0.76                      |
| hoortoestel AS  | 32 graden            | 16.2    | 0.84                      |
| hoortoestel ADS | 17 graden            | 14.6    | 0.92                      |

De groepsresultaten voor de rms-waarden van de afwijkingen en de correlatie-coëfficiënten van de stimulus-respons patronen zijn weergegeven in Tabel 2. De "monaurale" resultaten voor de condities AD en AS zijn apart weergegeven, waarbij de resultaten voor het hoortoestel op het linker oor (AS) iets gunstiger lijken (een lagere rms; een hogere correlatie-coëfficiënt). Deze verschillen zijn echter niet significant.

De kwadratisch gemiddelde afwijking is binauraal (16.8 graden) ongeveer tweemaal zo klein als monauraal (ongeveer 33 graden, AD of AS). De correlatie-coëfficiënt neemt relatief weinig toe: van 0.76 en 0.84 naar 0.92. Dit duidt er op dat het verband tussen het stimulus- en responspatroon ook bij een monaurale aanpassing nog redelijk in stand blijft. De kwadratisch gemiddelde afwijking van het richtinghoren bij een unilaterale hoortoestel aanpassing is gemiddeld kleiner dan 45 graden.

In Tabel 3 worden de groepsresultaten van de SIR-test weergegeven. De beide monaurale metingen zijn gebruikt als referentiewaarden voor de drempel bij de stereofonische aanpassing. De monaurale metingen die worden onderscheiden zijn:

- "SPRAAK-ipsi": hierbij wordt de spraak aangeboden aan de kant van het hoortoestel; aan de niet geprothetiseerde kant wordt de ruis aangeboden.
- "SPRAAK-contra": hierbij wordt de spraak aangeboden aan de niet geprothetiseerde kant en de ruis aan de geprothetiseerde kant.

In de tabel geeft de parameter "winst ruimtelijke scheiding" aan hoeveel het verschil in signaal-ruisverhouding is tussen de situatie waarbij spraak en ruis uit dezelfde luidspreker recht voor de proefpersoon komen en de situatie met spraak en ruis uit de hoeken  $-45$  en  $+45$  graden.

In Figuur 2. worden de individuele resultaten weergegeven. De donkere staaf geeft de gemiddelde drempel weer bij monaurale aanpassing (SPRAAK-contra). De lichte staaf geeft hetzelfde weer bij stereofonische aanpassing. Bij 10 van de 12 proefpersonen blijkt er een duidelijke verbetering in de signaal-ruisverhouding te zijn door stereo aanpassing. Dit effect is statistisch significant (Wil-



Tabel 3. Groepsresultaten van de SIR-test. De gemiddelde waarden en de standaarddeviaties worden weergegeven voor:

- "SPRAAK-*ipsi*": de verbetering in de kritieke signaal-ruisverhouding door het tweede hoortoestel wanneer het spraaksignaal aan de (monauraal) geprothetiseerde kant wordt aangeboden.
- "SPRAAK-*contra*": de verbetering in de kritieke signaal-ruisverhouding door het tweede toestel wanneer het spraaksignaal aan de (monauraal) niet geprothetiseerde kant wordt aangeboden.
- "*winst ruimtelijke scheiding*": de verbetering in de kritieke signaal-ruisverhouding door de ruimtelijke scheiding van ruis en spraak bij een binaurale aanpassing.

|                             | gemiddelde | st.dev. |
|-----------------------------|------------|---------|
| SPRAAK- <i>ipsi</i>         | 1.2 dB     | 2.6     |
| SPRAAK- <i>contra</i>       | 5.0 dB     | 3.0     |
| Winst ruimtelijke scheiding | 5.7 dB     | 2.0     |

coxon,  $p < .01$ ). Opnieuw zijn de resultaten het minst gunstig voor de proefpersoon F en H.

Er is een kleine verbetering merkbaar bij stereo aanpassing vergeleken met monaurale aanpassing aan de kant waar de spraak wordt aangeboden (SPRAAK-*ipsi*). Deze verbetering is echter niet significant.

De individuele effecten van het ruimtelijk scheiden van de spraak en de ruis (van 0 graden azimuth naar -45 en +45 graden) laat een verbetering van de signaal-ruisverhouding zien van 2 tot 9 dB. Dit is voornamelijk te danken aan het binaurale effect van twee toestellen. In de monaurale gevallen zal de verbetering naar verwachting minder zijn.

Uit deze resultaten blijkt dat door het tweede hoortoestel een betere signaal-ruisverhouding ontstaat. De verbetering is uiteraard voor SPRAAK-*contra* groter dan voor SPRAAK-*ipsi*. SPRAAK-*ipsi* geeft een kleine verbetering wanneer er een tweede toestel aan de contra-laterale wordt toegevoegd, ondanks het feit dat het tweede toestel vooral de ruis (van de contra-laterale kant) zal versterken. Wat meer opvalt, is dat de verbetering voor SPRAAK-*contra* ongeveer even groot is als de verbetering wanneer de spraak en de ruis ruimtelijk worden gescheiden. Wanneer de spraak en de ruis ruimtelijk worden gescheiden kan de slechthorende zich waarschijnlijk beter concentreren op één oor.

In Tabel 4 worden de groepsresultaten weergegeven van de dichotische discriminatietest. Bij de monaurale aanpassing worden er veel meer woorden (of delen van woorden) correct verstaan aan de ipsilaterale kant dan aan de contralaterale kant. Uit de resultaten blijkt ook dat getallen minder moeilijk zijn dan woorden.

Het voordeel van twee toestellen is vooral aanwezig t.o.v. de monaurale situatie "SPRAAK-*ipsi*". Er is door een stereofonische aanpassing dus een verbetering aan de eerst niet geprothetiseerde kant. Het effect is statistisch signifi-

Tabel 4. Groepsresultaten van de dichotische discriminatietest. Weergegeven zijn de gemiddelde percentages correct nagezegde woorden en getallen en hun standaarddeviaties voor de volgende parameters:

- "mono / SPRAAK-ipsi": de gemiddelde scores van het spraakmateriaal aangeboden aan de geprothetiseerde kant in een monaurale conditie.
- "mono / SPRAAK-contra": de gemiddelde scores van het spraakmateriaal aangeboden aan de niet-geprothetiseerde kant in een monaurale conditie.
- "stereo": de gemiddelde scores voor al het spraakmateriaal, aangeboden bij stereo aanpassing.

|                      | WOORDEN     |          | GETALLEN    |          |
|----------------------|-------------|----------|-------------|----------|
|                      | gem. scores | st. dev. | gem. scores | st. dev. |
| mono / SPRAAK-ipsi   | 34%         | 17.1     | 63%         | 15.0     |
| mono / SPRAAK-contra | 12%         | 10.5     | 32%         | 14.8     |
| stereo               | 32%         | 16.8     | 58%         | 15.5     |

cant (Wilcoxon,  $p < .01$ ), zowel voor woorden (van 12% naar 31%) als voor getallen (van 32% naar 58%). De resultaten van de woorden en getallen zijn gecorreleerd (correlatie coëfficiënt 0.73).

Soms ontstaat er een negatief effect door stereo aanpassing aan de ipsilaterale kant (vooral bij getallen). Dit effect is niet significant en is ook niet in overeenstemming met de resultaten van de SIR-test. Het verschil met de SIR-test is dat de proefpersonen zich bij de dichotische discriminatie-test op twee "bronnen" moeten concentreren in plaats van op één. De kleine achteruitgang kan wijzen op een toename van de interferentie tussen beide bronnen bij gebruik van twee hoortoestellen. In de dagelijkse praktijk zullen er echter grotere spectrale en temporele verschillen tussen concurrerende sprekers bestaan, waarvan de luisteraar kan profiteren.

## Discussie

In de klinische praktijk is het moeilijk om de binaurale winst van een tweede toestel objectief vast te stellen. In een goed gestandaardiseerde meetopstelling kan het effect van het tweede hoortoestel duidelijk worden gedemonstreerd om de slechthorende te overtuigen dat het de moeite loont om twee hoortoestellen te gaan dragen. Ook kan het voor de ziektekosten-verzekeraars een doorslaggevende factor zijn om in te stemmen met de aanschaf van twee hoortoestellen. De effecten voor het spraakverstaan lijken onderbelicht en er bestaat een discrepantie met de dagelijkse situatie.

Op basis van de resultaten van dit onderzoek blijkt een betere specificatie mogelijk van de condities waaronder de winst van het tweede hoortoestel kan worden vastgesteld. Dit is onderzocht voor 3 soorten tests, die ieder in verband

kunnen worden gebracht met moeilijke luistersituaties in de dagelijkse praktijk.

Voor de richtinghorentest blijkt een meer gestructureerde testprocedure te resulteren in een nauwkeuriger vaststelling van de binaurale winst. Er blijkt door stereo aanpassing een duidelijke verbetering te ontstaan in het richtinghoren bij 10 van de 12 personen (de gemiddelde afwijking werd twee keer zo klein). Het feit dat veel proefpersonen ook met een monaurale aanpassing al redelijk scoorden (afwijkingen binnen een hoek van 45 graden) kan zijn veroorzaakt door het gebruik van breedbandruis. Het richtinghoren is voor smalband ruizen moeilijker, vooral als hierin alleen hoge frequenties zijn vertegenwoordigd.

Bij de SIR test, het spraakverstaan van zinnen in gemoduleerde ruis, mag men er van uitgaan dat er een meer realistische benadering van de dagelijkse situatie wordt verkregen dan wanneer er uitsluitend gebruik wordt gemaakt van woorden in stilte, of van zinnen in continue ruis. In dit onderzoek zijn de condities voor iedere slechthorende gelijk en de presentatieniveaus zijn beter onder controle dan bij 'live' gesproken woorden. Dankzij het gebruik van zinnen is het eindresultaat nauwkeuriger. Uit de metingen blijkt dat het spraakverstaan door stereo aanpassing verbetert, vergeleken met monaurale aanpassing. Bij stereofonische aanpassing wordt beter gebruik gemaakt van de ruimtelijke scheiding tussen spraak en ruis. Onze resultaten zijn redelijk in overeenstemming met Bronkhorst en Plomp (1992) die een andere ruimtelijke scheiding tussen spraak en ruis gebruikten. De gemiddelde verbetering in de kritieke signaal-ruisverhouding bedraagt 5 dB wanneer het tweede toestel aan de zijde van de spraak wordt toegevoegd. Er is zelfs een klein positief effect aan de (monauraal) geprothetiseerde kant aanwezig wanneer er een tweede hoortoestel wordt toegevoegd. Omdat een verschil van 5 dB bij de SIR-drempel overeenkomt met 75% verstaanbaarheid bij de kritieke signaal-ruisverhouding, zijn deze effecten veel groter dan bij de tot nu toe vaak gebruikte test met losse woorden in stilte. De door de ziektekostenverzekeraars gewenste 10% verbetering in spraakverstaan zal met losse woorden slechts bij een enkeling kunnen worden vastgesteld, omdat zelfs de monaurale scores vaak hoger zijn dan 90% (zie Tabel 1). De SIR-resultaten tonen bij 10 van de 12 proefpersonen een significante verbetering in het spraakverstaan en blijkt dus een veel gevoeliger maat te zijn voor het vaststellen van de binaurale winst.

De dichotische spraaktest geeft evenals de SIR-test een realistische nabootsing van de werkelijkheid, maar het "stoorgeluid" is nu spraak in plaats van ruis. Het verschil met de SIR test is helaas ook dat het hier om woorden en getallen gaat in plaats van zinnen. Men zou voor dit doel apart zinsmateriaal kunnen ontwikkelen. Er bestond een significant binauraal voordeel bij de dichotische discriminatie vergeleken met de monaurale conditie met de spraak aan de (monauraal) niet geprothetiseerde kant. Het blijkt dat deze test erg moeilijk is, omdat de proefpersonen zich tegelijkertijd op twee doelen moeten concentreren. Vooral het verstaan van woorden is moeilijk, waarschijnlijk omdat de voorspelbaarheid minder groot is dan bij getallen. Stereo aanpassing blijkt bij deze test niet altijd voordeliger te zijn met name voor informatie van de (monauraal) geprothetiseerde kant. Een suggestie voor vervolgonderzoek is dat er voor de dichotische

spraak alleen getallen worden aangeboden en dat de proefpersoon de opdracht krijgt zich te concentreren op één spreker.

De voordelen van een tweede toestel bij de SIR-test en de dichotische discriminatie test blijken aan elkaar te zijn gerelateerd. Voor de condities waarin de spraak werd aangeboden aan de (monauraal) niet geprothetiseerde kant zijn de verbeteringen van de SIR-test en de dichotische discriminatie test met getallen significant gecorreleerd (correlatie coëfficiënten liggen tussen 0.49 en 0.67).

Een hypothese is dat het goed functioneren van centrale processen bijdraagt aan zowel de binaurale winst voor spraakverstaan als de verbetering van richtinghoren. De verbetering bij het richtinghoren is significant gerelateerd aan de verbetering bij de SIR-test voor het (monauraal) niet geprothetiseerde oor. ( $r = 0.74$ ,  $p < 0.01$ ). Het richtinghoren is echter niet significant gerelateerd aan de dichotische discriminatietest. De reden is waarschijnlijk dat de dichotische discriminatietest te moeilijk is en dat concentratie hierbij een grote rol speelt. Ook is de relatie tussen SIR en richtinghoren onvoldoende om op basis van het richtinghoren de binaurale winst voor het spraakverstaan te kunnen voorspellen. Het apart vaststellen hiervan is dan ook een waardevolle aanvulling bij de evaluatie van de binaurale hoortoestel aanpassing.

## Conclusies

1. Het dragen van twee hoortoestellen is gunstig voor zowel het richtinghoren als voor het spraakverstaan. Het verdient aanbeveling beide aspecten afzonderlijk vast te stellen.
2. De verbetering van het spraakverstaan kan met behulp van spraaktests met stoorgeluid eenduidig worden bepaald.
3. De binaurale winst voor spraakverstaan is het grootst voor spraak van de (monauraal) niet geprothetiseerde kant.
4. De SIR-test lijkt beter geschikt om in een klinische situatie de binaurale winst vast te stellen dan de dichotische discriminatie test.

## Dankbetuiging

Dit onderzoek werd mogelijk door financiële ondersteuning van het Heinsius-Houbolt Fonds. De auteurs danken dr.ir. J.P.L. Brokx, dr. P.P. Devriese, dr. B. Maassen en dr.ir. A.F.M. Snik voor hun commentaar op een eerdere versie van het manuscript.

## Summary

The benefit of stereophonically fitted hearing-aids is investigated in tests that simulate difficult listening conditions in daily life. The following experiments were conducted: sentence perception in speech-modulated masking noise, dichotic discrimination for words,

and directional hearing. In the speech tests the sound sources were spatially separated (+45 and -45 degrees azimuth).

The results of 12 hearing-aid users show definite improvements for binaural fittings both for directional hearing and speech intelligibility. The speech tests with background noise are efficient in the determination of the benefit in speech intelligibility. Maximum benefit for the binaural fitting is obtained in conditions in which the speech signal comes from the (monaurally) unaided side. The sentence perception test in modulated masking noise proves to be more applicable for clinical use than the dichotic discrimination test.

## Literatuur

- Blauert, J. (1974). *Räumliches Hören*. Stuttgart, Hirzel.
- Bronkhorst, A.W. & Plomp, R. (1989). Binaural speech intelligibility in noise for hearing-impaired listeners. *J. Acoust. Soc. Am.* 86 (4), 1374-1384.
- Bronkhorst, A.W. & Plomp, R. (1990). A clinical test for the assessment of binaural speech perception in noise. *Audiology*, 29, 275-285.
- Bronkhorst, A.W. & Plomp, R. (1992). Effect of multiple speechlike makers on binaural speech recognition in normal and impaired hearing. *J. Acoust. Soc. Am.* 92, 3132-3139.
- Dirks, D.D. & Wilson, R.H. (1969). The effect of spatially separated sound sources on speech intelligibility. *J. Speech. Hear. Res.* 12, 5-38.
- Durlach, N.I., Thompson, C.L. & Colburn, H.S. (1981). Binaural interaction in impaired listeners. A review of past research. *Audiology* 20, 181-211.
- Duquesnoy, A.J. (1983). Effect of a single interfering noise or speech source upon the binaural sentence intelligibility of aged persons. *J. Acoust. Soc. Am.* 74, 739-743.
- Feldmann, H. (1965). Dichotischer Diskriminationstest, eine neue Methode zur Diagnostik zentraler Hörstörungen. *Arch. Ohren-, Hals-, Nasen- und Kehlkopfheilkunde* 184, 294-329.
- Festen, J.M. & Plomp, R. (1990). Effects of fluctuating noise and interfering speech on the speech-reception threshold for impaired and normal hearing. *J. Acoust. Soc. Am.* 88, 1725-1736.
- Gatehouse, S. (1992). The time course and magnitude of perceptual acclimatization to frequency responses: evidence from monaural fitting of hearing aids. *J. Acoust. Soc. Am.* 92, 1258-1268.
- Kuyper, P. (1992). Hearing aid fitting: a problem for HIFI-engineers. *Proc. 6th FASE conference*, Zürich, 1992, 213-216.
- Leeuw, A.R. & Dreschler, W.A. (1987). Speech understanding and directional hearing for hearing-impaired subjects with in-the-ear and behind-the-ear hearing aids. *Scand. Audiol.* 16, 31-36.
- Markides, A. (1977). *Binaural Hearing Aids*. London: Academic Press.
- Plomp, R. & Mimpfen, A.M. (1978). Improving the reliability of testing the speech-reception threshold for sentences. *Audiology* 18, 43-52.
- Plomp, R. & Mimpfen, A.M. (1981). Effect of the orientation of the speaker's head and the azimuth of a noise source on the speech reception threshold for sentences. *Acustica* 48, 325-328.
- Pröschel, U.L.J. & Döring, W.H. (1992). Richtungsabhängiges Sprachverstehen unter Störschalleinfluss bei Störungen der auditiven Selektionsfähigkeit und bei seitengleicher Innenohrschwerhörigkeit. *Audiologische Akustik* 6, 192-204.
- Wedel, H. von (1977). Sprachverstehen und dichotisches Hören. *Audio Technik* 28, 3-12.