

SAMENVATTING

Dat de mens beter hoort met twee oren dan met één oor, lijkt een evident, zelfs triviaal, gegeven. De voordelen van het binauraal horen zijn evenwel veelomvattender en complexer van aard dan men op het eerste gezicht zou vermoeden. Allereerst is er het vermogen tot richtinghoren, dat voornamelijk is gebaseerd op een ingewikkeld verwerkingsproces van tussen beide oren optredende verschillen in aankomsttijd en geluidniveau. Een tweede belangrijk voordeel is de betere waarneming van geluiden in lawaai. Eenieder kan dit effect voor zichzelf eenvoudig vaststellen door bij het volgen van een conversatie in een rumoerige omgeving één oor af te sluiten. Men zal merken dat het verstaan dan onmiddellijk veel moeilijker wordt. De binaurale winst in een dergelijke situatie kan niet worden verklaard uit een eenvoudige optelling van de intensiteiten van de beide monauraal waargenomen geluiden. Aangezien dan zowel spraak als lawaai worden opgeteld, zou de intensiteitsverhouding tussen nuttig signaal en ruis (S/R verhouding) ongewijzigd blijven, zodat er geen winst zou resulteren. Er is integendeel gebleken dat het proces meer lijkt op een soort aftrekking van de linker en rechter signalen, voorafgegaan door intern optredende tijdsvertragingen. Het effect treedt op wanneer de aankomsttijden aan beide oren van spraak en lawaai verschillend zijn; dit is meestal het geval wanneer spraak en lawaai uit verschillende richtingen komen.

Dit opmerkelijke vermogen om stoornislawaaï enigermate te onderdrukken is in de 40'er jaren ontdekt en sindsdien uitgebreid wetenschappelijk onderzocht. De aandacht heeft zich hierbij steeds meer verlegd naar per hoofdtelefoon aangeboden artificiële geluidstimuli. Zodoende werd minder aandacht besteed aan de invloed van interaurale geluidniveauverschillen, veroorzaakt door de schaduwwerking van het hoofd, die bij het normaal luisteren eveneens optreden. Voor een goed begrip van de invloed van het binauraal horen op het spraakverstaan in dagelijkse omstandigheden is het evenwel noodzakelijk de werking van beide effecten - en ook hun wisselwerking - te bestuderen. Ook is het van belang hierbij niet alleen normaalhorende, maar ook slechthorende luisteraars te gebruiken, om meer inzicht te krijgen in de problemen die de laatsten ondervinden in lawaaiige omstandigheden. Deze beide overwegingen vormden de leidraad van het onderzoek dat in dit proefschrift is beschreven.

Een bijzonder aspect van de hier gebruikte experimentele methode is dat er een scheiding tot stand werd gebracht van de beide bovengenoemde effecten. Daartoe werden geluidopnamen gemaakt in een reflectievrije ruimte met een met microfoons uitgerust kunsthoofd; de opnamen werden vervolgens gedigitaliseerd, met de computer bewerkt, en tenslotte via hoofdtelefoons aan luisteraars aangeboden. De computerbewerking was erop gericht, signalen te genereren met ofwel enkel interaurale tijdverschillen (ITD, interaural time differences), ofwel enkel interaurale niveauverschillen (ILD, interaural level differences). Door gebruik te maken van deze signalen en van de oorspronkelijke opnamen konden de bijdragen van ITD en ILD zowel apart als in

combinatie worden bepaald. Het opgenomen materiaal bestaat uit lijsten met korte, eenvoudige zinnen, en ruis met hetzelfde gemiddelde frequentiespectrum als de spraak (Plomp en Mimpen, 1979). Er werden zinnen gebruikt in plaats van losse woorden, omdat deze de alledaagse spraak dichter benaderen. De drempel voor de verstaanbaarheid van de zinnen (SRT, speech-reception threshold) werd met een adaptieve methode bepaald. Hierbij wordt het aanbiedingsniveau 2 dB verlaagd wanneer een zin in zijn geheel correct wordt nagezegd, en 2 dB verhoogd, wanneer er een fout wordt gemaakt. Deze methode geeft een efficiënte en nauwkeurige schatting van de drempel. Een nadeel is dat hij minder goed kan worden gebruikt bij ernstig slechthorenden, omdat zij vaak niet aan het criterium zullen kunnen voldoen.

De kunsthoofdopnamen en de met de computer bewerkte signalen zijn in verschillende experimenten, beschreven in de Hoofdstukken 2 en 3, aangeboden aan in totaal 34 normaalhorende en 34 perceptief slechthorende luisteraars. De daarbij gesimuleerde configuratie bestond uit een spraakbron recht voor de luisteraar (een hoek Φ van 0°), en één stationaire ruisbron onder een hoek Φ in het horizontale vlak, met Φ tussen 0° en 180° . Doordat de signalen per hoofdtelefoon aangeboden werden bestond de mogelijkheid bij de normaalhorenden éénzijdige slechthorendheid of doofheid te simuleren door één kanaal te verzwakken of uit te schakelen. Een dergelijke verzwakking (of versterking) kon ook bij de slechthorenden worden toegepast, om de werking van een éénzijdig hoortoestel te imiteren. De resultaten laten allereerst zien dat de spraakdrempels in ruis (SRT) voor de slechthorenden duidelijk hoger zijn dan voor de normaalhorenden. De gemiddelde verschillen voor de diverse luistercondities variëren tussen de 3 en 7 dB. Voor beide groepen geldt dat het naar opzij brengen van de ruisbron de SRT fors doet dalen: gemiddeld is de maximale winst 10 dB bij de normaalhorenden en ongeveer 6 dB bij de slechthorenden. Het blijkt dat deze winst minder is dan de som van de individuele effecten van ITD en ILD; 2 à 3 dB raakt verloren doordat het "aftrekkings"proces ten gevolge van ITD blijikbaar minder efficiënt verloopt wanneer er tegelijkertijd ILD aanwezig is. Verder blijkt uit de vergelijking van monaurale en binaurale drempels dat de door ILD veroorzaakte winst uitsluitend door het oor met de gunstigste S/R verhouding wordt bepaald (in de gemeten situatie is dit het oor aan de van de ruisbron af gerichte zijde), en dus in feite een monauraal effect is. Doordat de hoofdschaduw toeneemt als functie van de frequentie geldt die gunstige S/R verhouding enkel voor de hoge frequenties. Er is dan ook gevonden dat slechthorenden met een hoge tonen gehoorverlies minder profijt hebben van de hoofdschaduw, en dat hun prestatie afhangt van het aanbiedingsniveau van de signalen aan de "gunstige" zijde. De winst ten gevolge van ITD blijft daarentegen vrijwel gelijk wanneer de signalen aan één zijde worden verzwakt of versterkt. Dat de werking van ITD wel door ILD en nauwelijks door een éénzijdige verzwakking of versterking wordt beïnvloed komt waarschijnlijk doordat in het laatste geval geen verandering optreedt van de S/R verhoudingen aan beide oren. Dit resultaat geeft aan dat het aan één zijde dragen van een hoortoestel nauwelijks invloed zou moeten hebben op de winst ten gevolge van ITD.

In een volgend tweetal experimenten, beschreven in Hoofdstuk 4, is wederom gebruik gemaakt van de kunsthoofdopnamen, maar deze waren nu bewerkt en in verschillende combinaties bij elkaar opgeteld om het effect van meerdere storende sprekers te kunnen simuleren. De bewerking bestond uit een modulatie van de ruis overeenkomstig de fluctuaties van de omhullende van een doorlopend spraaksignaal, waarbij de gemiddelde intensiteit van het signaal gelijk gehouden werd (Festen, 1990). De gesimuleerde configuratie bestond uit een spraakbron die recht voor de luisteraar is geplaatst, en tussen 1 en 6 ruisbronnen, alle verschillend gemoduleerd, die ofwel ook recht voor de luisteraar, ofwel in een symmetrische of asymmetrische verdeling rond de luisteraar zijn geplaatst. Als proefpersonen werden 17 normaalhorende en 17 perceptief slechthorende luisteraars gebruikt. Het meest opmerkelijke van de gevonden resultaten is dat de slechthorenden nauwelijks van de fluctuaties van het maskeersignaal blijken te kunnen profiteren, zelfs niet diegenen met slechts lichte gehoorverliezen. De normaalhorenden behalen daarentegen tot 5 dB winst doordat zij blijkbaar effectief van de "gaten" in het stoorsignaal gebruik kunnen maken. Deze winst vermindert wanneer het aantal stoorbronnen toeneemt: bij 4 stoorbronnen is de maskerende werking vrijwel gelijk aan die van stationaire ruis. De verdere resultaten zijn vergelijkbaar met die van de vorige experimenten: de SRTs voor de slechthorenden zijn duidelijk verhoogd (gemiddeld 4 tot 10 dB), de door de hoofdschaduw veroorzaakte winst is minder bij diegenen met een gehoorverlies voor de hoge tonen, en de winst ten gevolge van ITD is ongeveer gelijk voor beide groepen luisteraars. Een interessante gevolgtrekking op basis van de gevonden resultaten is dat een normaalhorende een spreker kan blijven verstaan wanneer er tot zes even luide storende sprekers om hem heen staan, terwijl een slechthorende met een matig perceptief gehoorverlies het al moet opgeven als er meer dan drie storende sprekers zijn.

Het laatste experiment, dat in Hoofdstuk 5 beschreven staat, was gericht op de ontwikkeling van een klinisch toepasbare test voor binauraal spraakverstaan in lawaai. Er werd gekozen voor een luisteromgeving met een zekere nagalm, waarbij de luisteraar zich in het directe of indirecte veld van de spraakbron en/of de ruisbron bevond. Zodoende kon de invloed van nagalm op het spraakverstaan worden bepaald. Verder waren er condities waarbij de ruis fluctuerend was in plaats van stationair, en condities waarbij de ruisbron aan de linker of rechter zijde van de luisteraar geplaatst was. Er werden 10 normaalhorende en 18 perceptief slechthorende proefpersonen gebruikt. Vier van de slechthorenden droegen één of twee hoortoestellen tijdens de test. De resultaten laten zien dat elk van de slechthorenden significant slechter scoort dan de gemiddelde normaalhorende op tenminste twee van de volgende onderdelen: (1) spraakverstaan in stationaire ruis, (2) binaurale winst ten gevolge van het naar opzij brengen van de ruisbron, en (3) winst veroorzaakt door fluctuaties van het maskeersignaal. Deze bevinding is wellicht de verklaring van het feit dat vrijwel alle slechthorenden klagen over slecht spraakverstaan in lawaai. Het blijkt daarentegen dat de slechthorenden van nagalm vrijwel evenveel last (door vervorming van de spraak), en ook evenveel profijt

(door binaurale ruisonderdrukking net als bij ITD) hebben als de normaalhorenden. De resultaten laten verder zien dat de (kleine groep) geteste hoortoestel-dragers niet afwijkend presteerde vergeleken met de andere slechthorenden. Het experiment toont aan dat het belangrijk is om bij een klinische test van spraakverstaan in rumoer niet alleen stationair maar ook fluctuerend stoornis te gebruiken, en dat het tevens aanbeveling verdient de spraak en het lawaai niet alleen vanuit dezelfde, maar ook vanuit verschillende richtingen aan te bieden.