

Ser. 4  
S57-9

2<sup>e</sup> lxx.

**SZW**

Ministerie van Sociale Zaken  
en Werkgelegenheid

**De invloed van het dragen  
van gehoorbeschermers en  
van gehoorverliezen ten  
gevolge van lawaai op het  
richtinghoren**

**S 57-9**

Nederlands Instituut voor Arbeidsomstandigheden



\*NIA0061956\*

Arbeidsinspectie

# De invloed van het dragen van gehoorbeschermers en van gehoorverliezen ten gevolge van lawaai op het richtinghoren

**G.F. Smoorenburg  
F.W.M. Geurtsen**

Nederlands Instituut voor  
Arbeidsomstandigheden NIA  
bibliotheek-documentatie-informatie  
De Boelelaan 30, Amsterdam-Buitenveldert

ISN-nr. 0720  
plaats Ser. 4, 257-9 (2<sup>e</sup> ex.)  
datum  
25 MEI 1992

Onderzoek uitgevoerd in opdracht van het  
Directoraat-Generaal van de Arbeid door het  
Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, Soesterberg

april 1992

## **CIP-gegevens Koninklijke Bibliotheek, Den Haag**

Smooenburg, G.F.

De invloed van het dragen van gehoorbeschermers en van gehoorverliezen ten gevolge van lawaai op het richtinghoren / G.F. Smooenburg, F.W.M. Geurtsen. - Den Haag: Arbeidsinspectie, Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid. - III. - ([Studie / Arbeidsinspectie, Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid], ISSN 0921-9218; S 57-9)

Opdrachtgever: Directoraat-Generaal van de Arbeid. - IZF 1991 C-17. - Met lit. opg. - Met samenvatting in het Engels.

ISBN 90-5307-271-3

Trefw.: lawaai / gehoor.

<b>INHOUD</b>	<b>Blz.</b>
<b>SAMENVATTING</b>	<b>5</b>
<b>SUMMARY</b>	<b>6</b>
<b>1 INLEIDING</b>	<b>7</b>
<b>2 LITERATUUR</b>	<b>8</b>
<b>3 EXPERIMENTELE OPZET</b>	<b>10</b>
3.1 Meetmethode	10
3.2 Omschrijving van signaal en stoorlawaai	11
3.3 Meetschema	13
3.4 Proefpersonen en gehoorverliezen	14
<b>4 ANALYSE VAN DE AANTALLEN CORRECTE RESPONSIES</b>	<b>15</b>
4.1 Variantie-analyse	15
4.2 Effect van het type signaal	16
4.3 Effect van de bronrichting	16
4.4 Effect van het gehoorverlies	18
4.5 Effect van gehoorbeschermer	18
4.6 Reproduceerbaarheid	21
<b>5 ANALYSE VAN DE FOUTEN IN DE RESPONSIES</b>	<b>21</b>
5.1 Links-rechts verwisselingen en links-rechts symmetrie	21
5.2 Voor-achter verwisselingen en dispersie	22
5.3 Voor-achter verwisselingen en dispersie als functie van gehoorverlies en gehoorbescherming	24
5.4 Verwisselingen per stimulus-response combinatie als functie van het gehoorverlies	26
5.5 Verwisselingen per stimulus-response combinatie als functie van de gehoorbescherming	27
5.6 Verwisselingen per stimulus-response combinatie als functie van gehoorverlies en gehoorbescherming	29
<b>6 DISCUSSIE</b>	<b>31</b>
<b>7 BETEKENIS VAN DE RESULTATEN VOOR DE PRAKTIJK</b>	<b>33</b>
<b>LITERATUUR</b>	<b>35</b>

## **De invloed van het dragen van gehoorbeschermers en van gehoorverliezen ten gevolge van lawaai op het richtinghoren**

**G.F. Smoorenburg en F.W.M. Geurtsen**

### **SAMENVATTING**

De invloed van het dragen van oordoppen en van een oorkap op het richtinghoren werd onderzocht bij proefpersonen met een vrijwel normaal gehoor en bij personen met een gehoorverlies ten gevolge van lawaai oplopend tot ongeveer 50 dB, gemiddeld over de waarden voor 2 en 4 kHz gemeten aan beide oren. De richtingwaarneming werd gemeten op basis van identificatie van één van acht luidsprekers die een enkele toonstoot met energie in de frequentieband van 300 tot 3000 Hz voortbracht. De luidsprekers waren opgesteld in een cirkel onder hoeken van 45 graden in een ruimte met geluidabsorberende wanden. Tijdens de geluidaanbiedingen nam het hoofd een vaste positie in gericht op één van de luidsprekers. Zonder gehoorbescherming en zonder gehoorverlies was het aantal fouten gemiddeld reeds 35%. De meeste fouten zijn voor-achter verwisselingen. Links-rechts verwisselingen kwamen vrijwel niet voor. Het dragen van een kap deed het aantal fouten sterker stijgen (met 12%) dan het gebruik van doppen (5%). Het effect van de gehoorbescherming was sterk afhankelijk van het gehoorverlies: voor normaalhorenden een stijging van 4% voor de kap en van 2% voor de doppen; voor slechthorenden met een verlies, gemiddeld over 2 en 4 kHz, van 35 dB en meer een stijging van 17% voor de kap en 8% voor de doppen. Bij het dragen van doppen werden geluiden die van voren komen vaker als van achteren komend gehoord; bij het dragen van een kap werden geluiden die van schuin-voor of van schuin-achter komen vaker onder 90 graden geplaatst.

## **The effect of earplugs and an earmuff in combination with noise-induced hearing loss on sound localisation**

G.F. Smoorenburg and F.W.M. Geurtsen

### **SUMMARY**

The effect of wearing earplugs and an earmuff on sound localisation was investigated in individuals with near normal hearing and in individuals with noise-induced hearing loss up to about 50 dB, average hearing loss across 2 and 4 kHz in both ears. Sound localisation measurements were based upon identification of one out of eight loudspeakers producing a single tone burst in the frequency band from 300 to 3000 Hz. The loudspeakers were positioned in a circle at angles of 45 degrees in a room with sound absorbing walls. Head position was fixed in the direction of one of the loudspeakers. Without hearing protection and without hearing loss the number of mistakes was 35%. Most mistakes were front-back errors. Left-right errors were virtually absent. The number of mistakes increased by 12% using the earmuff and by 5% using the plugs. The effect of hearing protection depended on hearing loss: for normal hearing the increase was 4% with the muff and 2% with the plugs; for noise-induced hearing loss exceeding 35 dB at 2 and 4 kHz it was 17% with the muff and 8% with the plugs. When the plugs were worn, sounds from the front were more frequently identified as coming from the back; wearing the muff sounds produced at 45 and 135 degrees were more frequently identified as coming from 90 degrees.

## 1 INLEIDING

Wanneer het lawaainiveau op een arbeidsplaats te hoog is kan men het lawaai waaraan een werknemer staat blootgesteld terugbrengen met behulp van akoestische voorzieningen aan de lawaaibron of met gehoorbeschermingsmiddelen. De eerstgenoemde oplossing moet op haalbaarheid worden onderzocht alvorens men besluit tot de tweede over te gaan omdat er aan het gebruik van gehoorbeschermingsmiddelen een aantal bezwaren kleven. Eén van de bezwaren van gehoorbeschermingsmiddelen is het risico van onvolledige bescherming. In de praktijk wordt niet altijd de volledige bescherming verkregen omdat de gehoorbeschermer soms niet wordt gedragen en soms niet volledig afsluit door slijtage of door slordige plaatsing. Het niet dragen van een gehoorbeschermer kan het gevolg zijn van door de beschermer veroorzaakte huidirritatie of van ongemak tijdens het dragen omdat de beschermer, met name een oorkap, bij de arbeid in de weg zit.

Een ander nadeel van het dragen van gehoorbeschermers kan zijn dat men minder contact heeft met de omgeving. Draggers van gehoorbeschermers klagen soms over verminderde verstaanbaarheid van spraak en slechtere waarneembaarheid van waarschuwingssignalen. In het algemeen behoeft men deze klachten niet te verwachten. In lawaaiige industrieën waar gehoorbeschermers worden gedragen zal het lawaainiveau zo hoog zijn dat het lawaai, na verzwakking door de gehoorbeschermer, nog boven de gehoordrempel uitkomt. Het verschil tussen het niveau van het geluid dat moet worden gehoord en het niveau van het omgevingslawaai (de signaal-ruis afstand) is dan bepalend voor de waarneembaarheid van het geluid en deze afstand wordt door de gehoorbeschermer niet beïnvloed omdat signaal en lawaai in gelijke mate door de beschermer worden verzwakt. De klachten kunnen echter wel worden verwacht wanneer de betrokkene een gehoorverlies heeft. In dat geval zou het geluid, door de verzwakking van de gehoorbeschermer, op een niveau onder de (verhoogde) drempel van de slechthorende kunnen worden gebracht met ongunstige gevolgen voor de verstaanbaarheid van spraak en de waarneembaarheid van waarschuwingssignalen.

Een nadelig effect dat voor alle dragers van gehoorbeschermers, ongeacht het gehoorverlies, kan worden verwacht is een slechtere richtingwaarneming. Het horen van de richting van waaruit een geluid komt wordt voornamelijk bepaald door een verschil in aankomsttijd van het geluid aan de twee oren en door een verschil in geluidniveau aan de twee oren. Het laatste verschil wordt veroorzaakt door het hoofd dat het van de geluidbron afgewende oor afschermt van de geluidbron. Deze twee factoren kunnen door een oorkap worden beïnvloed. Er is echter nog een ander aspect. Op basis van de twee genoemde factoren kan niet worden aangegeven of een geluid van voren dan wel van achteren komt. In het algemeen kan op basis van deze twee factoren moeilijk worden aangegeven of een geluid in het horizontale vlak onder een hoek  $\alpha$  of onder een hoek  $(180 - \alpha)$  invalt. (0 graden representeert de richting recht vooruit.) Bij het voor-achter onderscheid speelt de geluidafscherming door de oorschelp een rol. Het

dragen van een oorkap zou dit onderscheid dus sterk kunnen beïnvloeden en ook van oordoppen kan een effect worden verwacht omdat de doppen het effect van de oorschelp op het richtinghoren verstoren.

Het effect van de oorschelp op het richtinghoren uit zich vooral bij de hoge frequenties. Dit betekent dat dit effect kleiner zou kunnen zijn bij gehoorverliezen ten gevolge van lawaai omdat deze verliezen juist bij de hoge frequenties optreden. Aangezien gehoorverliezen ten gevolge van lawaai onder de dragers van gehoorbeschermers verwacht mogen worden leek het raadzaam dit soort gehoorverliezen te betrekken in deze studie.

Op grond van bovenstaande gegevens werd besloten te onderzoeken hoe de richtingwaarneming wordt beïnvloed door het dragen van oordoppen (E.A.R, patent NL 169678) en van een oorkap (Peltor H7). Er werden 52 proefpersonen in het onderzoek opgenomen. Een klein gedeelte van de proefpersonen had een vrijwel normaal gehoor, de anderen hadden gehoorverliezen ten gevolge van lawaai die onderling in omvang van elkaar verschilden. De waarschuwingssignalen werden in lawaai aangeboden. Er werden twee signalen gebruikt die ten aanzien van de sterkte van de hoog-frequent componenten van elkaar verschilden. In het onderzoek werden twee condities zonder gehoorbescherming opgenomen: één conditie met het signaal- en lawaainiveau op het niveau dat ook met gehoorbescherming werd gebruikt en één waarbij beide niveaus omlaag werden gebracht om, wanneer een effect van de gehoorbeschermers zou worden gevonden, na te kunnen gaan of dit effect aan de geometrische verstoring van het geluidveld zou moeten worden toegeschreven dan wel aan de verzwakking van het geluid.

## 2 LITERATUUR

Over de invloed van gehoorbeschermers op het richtinghoren is nog weinig gepubliceerd. Dit onderwerp is voornamelijk onderzocht door Atherley, Noble en Russell in Engeland en Australië. Bij de eerste proeven werd gebruik gemaakt van een zuivere toon als stimulus met een frequentie van 1000 Hz (Atherley & Noble, 1970; Noble & Russell, 1972). De toon werd voortgebracht door één van zes luidsprekers, opgesteld in een cirkel onder hoeken van 60 graden in een kamer met geluidabsorberende wanden. De proefpersonen werd gevraagd hun hoofd tijdens de aanbieding van de signalen niet te bewegen. Het aantal correcte responsies zonder oorkap bedroeg in het eerste experiment (Atherley & Noble, 1970) 76%; met oorkap daalde dit tot 50%. In het tweede experiment (Noble & Russell, 1972) waren de uitkomsten resp. 48 en 36%. Het aantal links-rechts verwisselingen nam bij gebruik van de oorkap in het eerste experiment toe van 2 tot 16%; in het tweede van 6 tot 13%. In het eerste experiment werden tevens de voorwaarts en achterwaarts gerichte fouten geanalyseerd. Deze namen bij het gebruik van de oorkap toe van 8 tot 10%



(voorwaarts) en van 14 tot 18% (achterwaarts). In het tweede experiment werd onderscheid gemaakt tussen de voor- en achterwaarts gerichte verwisselingen tezamen en verwisselingen met de naastliggende luidspreker. Met de oorkap namen de voor-achter verwisselingen toe van 20 tot 22%; de verwisselingen met de naastliggende luidspreker van 21 tot 24%. Het aantal fouten bleek in dit experiment zonder oorkap dus al aanzienlijk te zijn terwijl dit aantal nog aanzienlijk steeg na plaatsing van de kap. De kap had vooral invloed op het aantal links-rechts verwisselingen.

In het tweede experiment werd ook met witte ruis als stimulus gewerkt. Hierbij traden aanmerkelijk minder verkeerde lokalisaties op. Het aantal correcte responsies bedroeg zonder oorkap 93%, met oorkap 63%. Voor oordopjes werd 82% correcte responsies gevonden. Het effect van gehoorbeschermers was dus nog aanmerkelijk. De links-rechts verwisselingen bleken bij de ruis vrijwel niet voor te komen. Bij de oorkap werden vooral voor-achter en naastliggende verwisselingen gevonden; bij de oordop vrijwel alleen voor-achter verwisselingen en wel hoofdzakelijk achterwaarts gerichte. Ook in een vervolgonderzoek, waarin uit luidsprekerposities onder hoeken van 30 graden moest worden gekozen (Russell & Noble, 1976), werden hoofdzakelijk achterwaarts gerichte verwisselingen voor oordoppen gevonden. Bij oorkappen werd door de auteurs benadrukt dat achter gelegen bronnen juist meer naar voren werden waargenomen. De resultaten suggereren echter dat er een voorkeur voor een richting van ongeveer 105 graden bestaat. In samenhang met een onderzoek naar de frequentie-afhankelijke geluidoverdracht van het uitwendige gehoororgaan zonder gehoorbescherming en voorzien van een dop of een oorkap (Russell, 1976) werd op grond van de resultaten van de luisterexperimenten geconcludeerd dat niet de verschillen in aankomsttijden en geluidsniveaus tussen de twee oren maar de spectrale samenstelling van het geluid, zoals het als functie van de geluidrichting werd beïnvloed door de gehoorbeschermer, bepalend was voor de waargenomen richting. Een geheel sluitend model werd echter niet verkregen.

Van verdere betekenis voor de opzet van dit onderzoek zijn nog de volgende literatuurgegevens:

Russell liet in 1977 zien dat men niet goed adapteert aan het dragen van een oorkap. Ook na een week oefenen werd vrijwel geen verbetering in het richtinghoren met een kap geconstateerd. De achteruitgang in het richtinghoren werd toegeschreven aan verlies van informatie waarvoor niet kan worden gecompenseerd. Dit resultaat suggereert dat men in een onderzoek waarbij zowel met gehoorbeschermer als zonder gehoorbeschermer wordt geluisterd niet al te bang hoeft te zijn voor leereffecten.

Burger (1958) en Noble (1981) lieten zien dat het wel of niet toelaten van hoofdbewegingen van wezenlijke invloed is op het vermogen een geluidbron te lokaliseren. In het onderzoek van Noble zakte de score voor een continue ruisband rond 1000 Hz bij luidsprekers onder 18 graden en het dragen van een

kap van 50% bij vrije hoofdbewegingen tot 24% zonder hoofdbewegingen. In het onderzoek van Burger werd bij het fixeren van het hoofd voor een ruisstoot met een duur van 100 ms in een voor-achter discriminatietoets een terugval van de score van ongeveer 10% gevonden.

Tenslotte lieten Hafter en Briolle (1989) nog zien dat de akoestiek van invloed is op het lokaliseringsvermogen. De aanwezigheid van echo's heeft een nadelige invloed op de richtingwaarneming.

Een overzichtelijk memorandum op het gebied van de effecten van gehoorbeschermers op de spraakcommunicatie en de waarneming van waarschuwingssignalen werd recent door Suter (1989) opgesteld.

### 3 EXPERIMENTELE OPZET

#### 3.1 Meetmethode

De meetmethode was gebaseerd op de identificatie van één van acht luidsprekers die het signaal voortbracht (Fig. 1). De acht luidsprekers waren op oorhoogte in een cirkel met een straal van 1,5 m opgesteld onder onderlinge hoeken van 45 graden. (0 graden representeert de richting recht vooruit.) De proefpersoon zat in het middelpunt van de cirkel. Elke luidspreker kon het geluid met gelijke kans voortbrengen. Het stoorniveau kwam van een recht boven de proefpersoon opgehangen, naar beneden gerichte luidspreker.

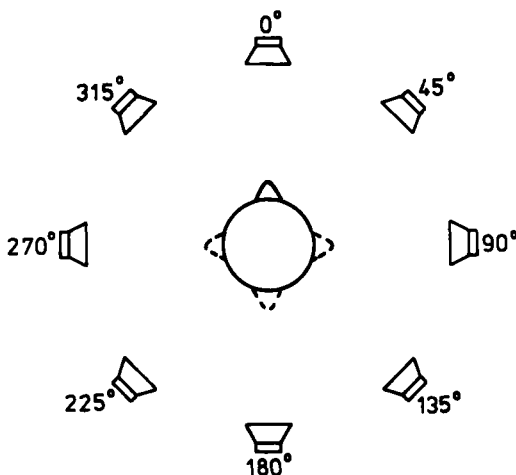


Fig. 1 Opstelling van de luidsprekers. De op een draaibare stoel gezeten proefpersoon keek in vier richtingen: 0, 90, 180 en 270 graden.

De luidsprekers werden zorgvuldig geselecteerd op uniforme spectrale overdrachtsfuncties opdat men een luidspreker niet aan een voor de luidspreker specifieke klankkleuring zou kunnen herkennen. De overdrachtskarakteristieken van de acht luidsprekers waren per 1/3-octaf band gemeten binnen 2 dB aan elkaar gelijk. We trachtten de kans dat een luidspreker toch nog aan een kleine specifieke klankkleuring zou kunnen worden herkend nog verder terug te brengen door de toonhoogte van aanbieding tot aanbieding te variëren. Tenslotte werd het gebruik van mogelijke, niet-bedoelde, subtiele afwijkingen in de geluidreproductie voor de identificatie van de juiste luidspreker nog verder tegengegaan door de waarnemer in vier verschillende richtingen te plaatsen. De waarnemer zat in een draaibare stoel die op instructie over een veelvoud van 90 graden moest worden verdraaid.

De waarnemer moest rechtop zitten met het hoofd recht vooruit tegen een hoofdhouder. De juiste positie van het hoofd werd mechano-optisch gecontroleerd. Bij een onjuiste positie kreeg de proefpersoon via een lichtsignaal een waarschuwing en werd de signaalaanbieding automatisch opgehouden totdat weer een goede hoofdpositie werd geconstateerd.

De waargenomen richting van het signaal werd via één van acht in een cirkel opgestelde knoppen kenbaar gemaakt. De tijd die een proefpersoon voor een responsie ter beschikking had werd niet beperkt. Een response werd na ongeveer 2 s gevolgd door een nieuw signaal. De proefpersoon kreeg geen melding over de juistheid van zijn response. Alvorens het eigenlijke experiment werd gestart, werd de proefpersoon vertrouwd gemaakt met het draaien van de stoel en met de responstaak zonder en met een oorkap.

Een computer stuurde het gehele experiment, voerde de controle van stoel- en hoofdpositie uit, leverde de signalen en verzamelde de responsies. Het experiment vond plaats in een kamer voorzien van wanden die geluidcomponenten boven 80 Hz volledig absorbeerden. De proefleider bewaakte het meetproces met behulp van een beeldscherm buiten deze kamer en kon de handelingen van de proefpersoon in de kamer via een videomonitor volgen.

### **3.2 Omschrijving van signaal en stoerlawaai**

Volgens ISO/DIS 7731 moet een waarschuwingssignaal componenten bezitten in het frequentiegebied van 300 tot 3000 Hz. Het signaal mag smalbandig zijn. Uit de hiervoor beschreven literatuur bleek echter duidelijk dat een breedbandig signaal de voorkeur verdient. Voor dit experiment kozen we een breedbandig signaal bestaande uit 10 harmonischen van een grondfrequentie rond 300 Hz. Het gehele frequentiebereik van 300 tot 3000 Hz werd dus door dit signaal bestreken. De ter voorkoming van het gebruik van oneigenlijke kenmerken ingevoerde verschuivingen van de grondfrequentie lagen binnen -60 en +60 Hz. De niveaus van de harmonischen van één van de twee signalen volgden een

helling van -3 dB per octaaf, de helling van het andere signaal bedroeg -9 dB per octaaf. Het spectrum van het stoorniveau liep, in 1/3-octaven gemeten, met toenemende frequentie enigszins op. Zie Fig. 2.

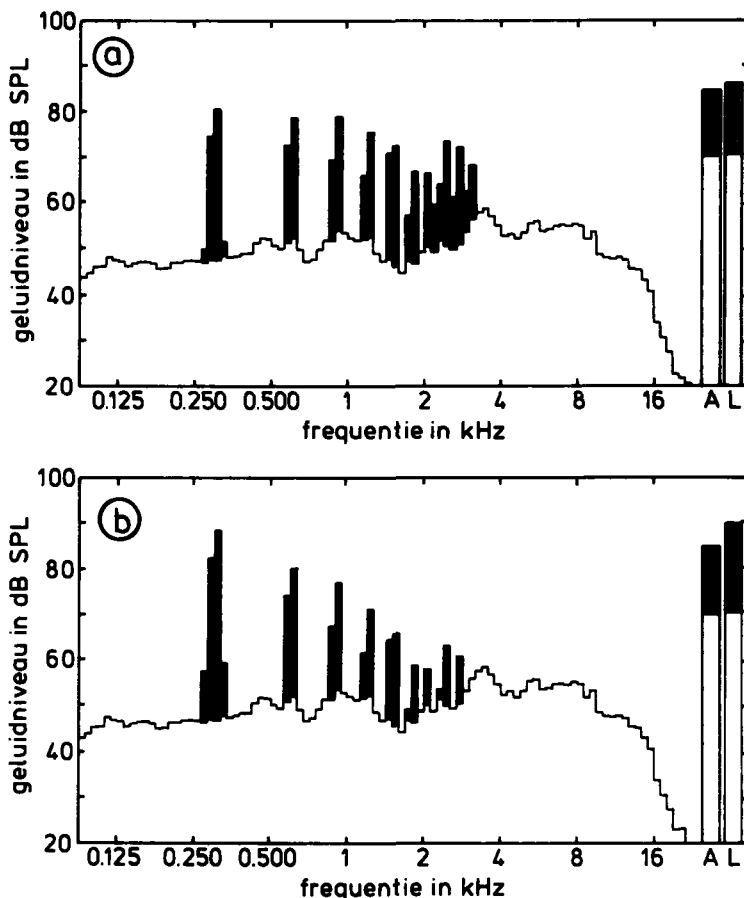


Fig. 2 Akoestische spectra van het signaal ten opzichte van het stoorniveau in 1/6-octaven gemeten. Rechts staan apart het A-gewogen (A) en het lineaire niveau (L) aangegeven. Grafiek A: signaal 1 met de -3 db per octaaf helling; grafiek B: signaal 2 met de -9 dB per octaaf helling.

Ten aanzien van de temporele structuur geven zowel ISO/DIS 7731 als ISO/DIS 8201 aan dat een waarschuwingssignaal bij voorkeur gepulseerd moet worden. Het pulseren van een signaal verbetert de richtingwaarneming omdat de aanzet van het signaal bij de richtingwaarneming een grote rol speelt. Aangezien men niet mag verwachten dat in de praktijk altijd pulserende waarschuwingssignalen zullen worden gebruikt en het soms van vitaal belang kan zijn dat men goed op de eerste signaalstoot reageert, kozen we voor een éénmalige aanbieding. Experimenteel gezien zou de aanbieding van meerdere signaalstoten tevens de vraag met zich hebben meegebracht of men dan oriëntatiebewegingen van het

hoofd zou moeten gaan toelaten. Zoals hierboven in het literatuuroverzicht werd beschreven kunnen hoofdbewegingen een belangrijke invloed hebben op de nauwkeurigheid waarmee een geluidbron wordt gelokaliseerd. Mede daarom werd in deze fase van het onderzoek afgezien van pulserende waarschuwingssignalen. Het invoeren van hoofdbewegingen als een extra variabele zou het experiment te omvangrijk hebben gemaakt.

Het signaal had een duur van 300 ms met in- en uitklinktijden van 20 ms. Het stoorlawaai was constant aanwezig.

Volgens ISO/DIS 8201 moet een waarschuwingssignaal (een evacuation signal) minstens een niveau van 65 dBA hebben, een weksignaal een niveau van minstens 75 dBA. In dit onderzoek kozen we voor een signaalniveau van 85 dBA omdat we uitgingen van arbeidsomstandigheden waarin gehoorbeschermers zullen worden gedragen. Volgens ISO/DIS 7731 moet de signaal-ruis afstand echter minimaal 15 dB bedragen. Deze minimale waarde aanhoudend verkregen we voor het niveau van het stoorlawaai een waarde van 70 dBA. Alhoewel dit lawaainiveau geen aanleiding geeft tot het gebruik van gehoorbeschermers werd er afgezien van het gebruik van hogere niveaus omdat we de proefpersonen in de onbeschermd conditie niet aan hogere niveaus dan het signaalniveau van 85 dBA wilden blootstellen. Aan het signaalniveau van 85 dBA en stoorlawaai-niveau van 70 dBA werd een tweede conditie met voor elk niveau 30 dB lagere waarden toegevoegd. In deze conditie werd zonder gehoorbeschermers gemeten om na te kunnen gaan of de verzwakking van het geluid op zich (zonder verstoring van het geluidveld) het richtinghoren beïnvloedt.

### 3.3 Meetschema

Iedere conditie werd gemeten met vier stoelposities, in willekeurige volgorde. Bij iedere stoelpositie kwam iedere luidspreker (van de acht) in willekeurige volgorde tweemaal aan bod. Het totale aantal responsies per conditie bedroeg dus 64. Per type signaal (-3 dB/oct of -9 dB/oct) werd eerst een meting zonder gehoorbescherming verricht op het hoge of het lage signaal- en lawaainiveau, vervolgens twee metingen met de oordoppen en de kap en tenslotte weer een meting zonder gehoorbescherming, maar nu op het andere geluidniveau. Het totale aantal signaalaanbiedingen per proefpersoon bedroeg dus  $64 \cdot 2 \cdot 4 = 512$  (toonstoten\*signalen\*gehoorbeschermingscondities). De totale duur van het experiment was ongeveer een uur per proefpersoon.

De volgorde van de geluidniveaus in de twee condities zonder gehoorbescherming, de volgorde doppen-kap en de volgorde van de twee waarschuwingssignalen werden volgens het schema weergegeven in Tabel I over proefpersonen gealterneerd om systematische effecten van de volgorde van meting op het meetresultaat zoveel mogelijk te onderdrukken. Op deze wijze werd een cyclus van acht proefpersonen verkregen.

Tabel I Volgorde van de acht meetcondities in een cyclus van acht proefpersonen. De gebruikte code is: zh: zonder gehoorbescherming, hoog niveau; zl: zonder gehoorbescherming, laag niveau; d: oordoppen; k: oorkap; -3: signaal met -3 dB per octaaf helling; -9: signaal met -9 dB per octaaf helling.

pp	signaal	gehoorbesch.	signaal	gehoorbesch.
1	-3	zh k d zl	-9	zl d k zh
2	-3	zh d k zl	-9	zl k d zh
3	-9	zh k d zl	-3	zl d k zh
4	-9	zh d k zl	-3	zl k d zh
5	-3	zl k d zh	-9	zh d k zl
6	-3	zl d k zh	-9	zh k d zl
7	-9	zl k d zh	-3	zh d k zl
8	-9	zl d k zh	-3	zh k d zl

### 3.4 Proefpersonen en gehoorverliezen

Ten einde een homogene populatie te verkrijgen werden de 52 proefpersonen, ook de personen met vrijwel geen gehoorverlies, gerecruteerd onder werknemers van twee machinewerkplaatsen. Bij de selectie werd getracht een zo gelijkmatig mogelijke verdeling van de grootte van de gehoorverliezen te bereiken. Deze verdeling staat voor de linker en rechter oren tezamen weergegeven in Fig. 3.

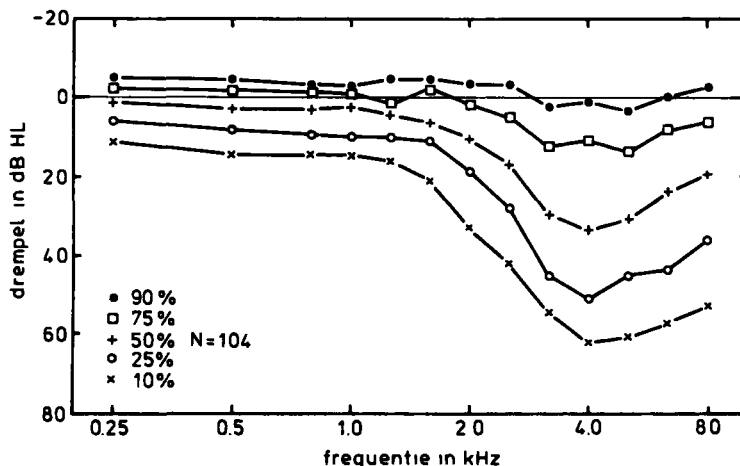


Fig. 3 Gehoorverliezen in dB Hearing Level (HL) als functie van de frequentie. Boven 800 Hz werden de gehoordrempels op afstanden van een 1/3-octaf gemeten. De grafieken geven het verlies aan dat door het vermelde percentage van de oren (104 oren, 52 proefpersonen) werd overschreden.

De verliezen in linker en rechter oor waren bij de meeste proefpersonen ongeveer even groot. De correlatie tussen de gemiddelde waarden van de verliezen bij 2 en 4 kHz, links en rechts gemeten bedroeg  $r = 0,88$ . Personen die op grond van hun medische geschiedenis een gehoorverlies zouden kunnen hebben ten gevolge van een andere oorzaak dan lawaai werden van deze studie uitgesloten.

#### 4 ANALYSE VAN DE AANTALLEN CORRECTE RESPONSIES

In deze eerste analyse beperken we ons tot de correcte responsies; in een later stadium zullen ook de fouten worden geanalyseerd.

##### 4.1 Variantie-analyse

Tabel II Percentage variantie in de correcte responsies verklaard door de vier variabelen: signaal (N=2: -3 dB/oct of -9 dB/oct), gehoorbescherming (N=4: zonder beschermer hoog-niveau, zonder beschermer laag-niveau, met kap, met dop), richting van de geluidbron (N=8) en proefpersoon (N=52) afzonderlijk (hoofdeffecten) en door hun onderlinge combinaties (interacties). De significantie van het effect van elke variabele en van de combinaties staan tevens vermeld.

variabele	% verkl. var.	% signif.
<b>hoofdeffecten:</b>		
signaal	0,0	55
bescherming	1,3	0
richting	51,0	0
proefpers	2,2	0
<b>interacties:</b>		
signaal*bescherming	0,0	63
signaal*richting	0,0	59
signaal*proefpers	0,3	0
bescherming*richting	0,8	0
bescherming*proefpers	0,9	0
richting*proefpers	28,2	0
signaal*bescherming*richting	0,0	44
signaal*bescherming*proefpers	0,2	0
signaal*richting*proefpers	0,8	0
bescherming*richting*proefpers	3,0	0

De invloed op het aantal correcte responsies van het type signaal (helling van -3 of -9 dB per octaaf), het dragen van gehoorbescherming (inclusief de twee

condities zonder gehoorbescherming), de proefpersoon (met zijn gehoorverlies) en de richting waaronder het geluid aankwam werd bepaald met behulp van variantie-analyse. Het resultaat staat vermeld in Tabel II. De effecten worden hieronder punt voor punt nader beschouwd.

#### 4.2 Effect van het type signaal

Nemen we voor elk van de twee signaaltypen het aantal correcte responsies samen over de vier condities met en zonder gehoorbescherming, de acht bronrichtingen en de 52 proefpersonen dan blijken deze aantallen correcte responsies niet significant van elkaar te verschillen ( $p=0,55$ ; er is geen hoofdeffect van signaaltype). Beschouwen we de aantallen correcte responsies voor de twee signalen per gehoorbeschermingsconditie of per bronrichting (in Tabel I resp. signaal\*bescherming en signaal\*richting), dan worden er ook geen significante verschillen gevonden (resp.  $p=0,63$  en  $p=0,59$ ).

Opgesplitst naar proefpersoon werd echter wel een significant verschil tussen de correcte responsies voor de twee signalen gevonden ( $p<0,01$ ). Dit zou kunnen betekenen dat de invloed van het type signaal op het aantal correcte responsies afhankelijk is van het gehoorverlies. Bepaling van de correlatie tussen het gehoorverlies, gemiddeld over de waarden bij 2 en 4 kHz aan het linker en rechter oor gemeten, en het verschil tussen de aantallen correcte responsies voor de twee signalen leverde een correlatiecoëfficiënt van slechts 0,2. Het gehoorverlies is dus van geen betekenis voor het van proefpersoon tot proefpersoon variërende verschil in het aantal correcte responsies voor de twee signaaltypen. De verschillen zouden kunnen zijn ontstaan door verschillen in oplettendheid van sommige proefpersonen bij de twee signalen of door volgorde-effecten die door de opzet van het experiment zoveel mogelijk over proefpersonen werden uitgemiddeld maar binnen een meetreeks van één proefpersoon enige rol hebben gespeeld (zie 4.4). Aangezien deze mogelijke oorzaken van de verschillen geen rol speelden in de vraagstelling van dit onderzoek en geen duidelijke correlatie met het gehoorverlies werd gevonden werden de verschillen tussen de twee signalen per proefpersoon als onbelangrijk ter zijde gesteld en concludeerden we voor het hoofdeffect en alle interacties dat het type signaal niet van invloed was op het meetresultaat. In de verdere analyse wordt daarom uitgegaan van een gereduceerd model waarin geen onderscheid meer wordt gemaakt naar signaalvorm.

#### 4.3 Effect van de bronrichting

Het aantal correcte responsies werd het sterkst beïnvloed door de bronrichting. Deze significante factor ( $p<0,01$ ) is zelfs verantwoordelijk voor 51% van de variantie die in het aantal correcte responsies van conditie tot conditie optreedt.



Het aantal correcte responsies per bronrichting staat vermeld in Tabel III. De tabel laat zien dat de variantie vooral wordt veroorzaakt door een groot verschil tussen de resultaten voor enerzijds de bronrichtingen achter (180 graden) en schuin-achter (135 en 225 graden) en anderzijds de overige richtingen. De scores voor de bronrichtingen achter en schuin-achter liggen aanmerkelijk lager. Het resultaat suggereert dat men de geluidbron eerder vóór dan achter plaatst (zie verder hoofdstuk 5).

Tabel III Percentage correcte responsies per bronrichting (0 graden komt overeen met de richting recht vooruit) gemiddeld over de twee signalen, de vier gehoorbeschermingscondities en de 52 proefpersonen.

richting	0	45	90	135	180	225	270	315
% correct	80	81	94	24	33	20	94	77

In volgorde van afnemende grootte blijkt de volgende factor die aan de variantie bijdraagt de bronrichting te zijn wanneer de resultaten worden opgesplitst naar proefpersoon (in Tabel II de interactie richting\*proefpersoon). Deze factor verklaart 28% van de variantie en is significant ( $p < 0,01$ ). De invloed van de proefpersoon zou het gevolg kunnen zijn van het gehoorverlies. Dit werd nagegaan door de proefpersonen naar de grootte van het gehoorverlies in vier groepen van gelijke omvang (13 personen) op te delen. De maat voor het gehoorverlies werd gebaseerd op de gemiddelde waarde van de verliezen bij 2 en 4 kHz aan de twee oren. Zo werden groepen verkregen met (1) een verlies kleiner dan 9 dB, (2) een verlies tussen 9 en 22 dB, (3) een verlies tussen 22 en 35 dB en (4) een verlies groter dan 35 dB. Tevens werd de vergelijking vereenvoudigd door de resultaten voor een situatie rechts en die voor de gespiegelde situatie links (alfa en 360-alfa graden) samen te nemen. De resultaten voor deze twee situaties leken sterk op elkaar (zie 5.1). Het resultaat staat vermeld in Tabel IV.

De aantallen correcte responsies voor de richtingen vóór en schuin-vóór laten een afname zien met toenemend gehoorverlies; voor de richtingen achter en schuin-achter wordt juist een toename gevonden. Deze verschuivingen zijn voor de richtingen schuin- vóór en schuin-achter iets groter dan voor de richtingen vóór en achter. De correlatie tussen het gehoorverlies en het aantal correcte responsies bedroeg voor de vijf richtingen van 0 graden tot 180 graden resp.  $r = -0,14; -0,45; -0,04; +0,31$  en  $+0,19$ . Een correlatiecoëfficiënt van 0,28 of meer is significant op het 5% niveau; een coëfficiënt van 0,36 of meer op het 1% niveau.

Tabel IV Percentage correcte responsies per bronrichting waarbij de links-rechts gespiegelde situaties zijn samengenomen voor vier groepen slechthorenden met oplopend gehoorverlies en voor alle proefpersonen tezamen. De resultaten zijn gemiddeld over de twee signaaltypen en de vier gehoorbeschermingscondities.

richting	0	45+315	90+270	135+225	180	tot
groep1	87	90	95	13	23	63
groep2	71	81	92	25	42	63
groep3	90	81	95	14	22	61
groep4	72	65	94	38	45	64
totaal	80	79	94	22	33	63

#### 4.4 Effect van het gehoorverlies

Het aantal correcte responsies bleek in beperkte mate van proefpersoon tot proefpersoon te variëren wanneer werd gemiddeld over alle andere factoren. Slechts 2% van de variantie kwam voort uit deze factor. Het effect was wel significant ( $p < 0,01$ ). De correlatie met het gehoorverlies was slechts  $r = 0,03$ . Dit resultaat laat zien dat de prestaties van de proefpersonen onderling zeer weinig verschilden en dat de verschillen in gehoor dus geen invloed hadden op het totale aantal correcte responsies per proefpersoon. Hierboven zagen we echter reeds dat er per bronrichting wel effecten van gehoorverlies voorkomen, met name bij 45+315 en 135+225 graden.

#### 4.5 Effect van gehoorbeschermer

De volgende factor van belang was het dragen van een gehoorbeschermer. Alhoewel deze factor significant was ( $p < 0,01$ ) kwam er slechts 1,3% van de variantie uit voort. Het percentage correcte responsies staat vermeld in Tabel V. Er blijkt vrijwel geen verschil aanwezig te zijn tussen de scores voor de twee onbeschermden condities (zh en zl). De verzwakking van het geluid heeft op zich dus geen effect op de score. De score voor de doppen lag evenwel 5% lager, die voor de kap 12% lager dan de onbeschermden conditie.

Tabel V Percentage correcte responsies voor de conditie zonder gehoorbescherming met hoog signaal- en stoorlawaaniveau (zh), de conditie zonder bescherming met lage niveaus (zl) en de condities met oordoppen (d) en oorkap (k) gemiddeld over de twee waarschuwingssignalen, de 52 proefpersonen en de acht bronrichtingen.

conditie	zh	zl	d	k
% correct	68	67	62	56

Tabel VI Percentage correcte responsies voor de twee condities zonder gehoorbescherming (zh en zl) en de condities met doppen (d) en kap (k) opgesplitst naar bronrichtingen. De resultaten zijn gemiddeld over de twee signaaltypen en over de 52 proefpersonen.

conditie	zh	zl	d	k	tot
0 graden	89	80	79	74	80
45+315 graden	90	87	78	62	79
90+270 graden	95	96	92	93	94
135+225 graden	23	27	23	16	22
180 graden	34	37	33	28	33
totaal	68	67	62	56	63

De invloed van gehoorbescherming op het aantal correcte responsies bleek significant afhankelijk te zijn van de bronrichting (de interactie bescherming\*richting in Tabel II;  $p < 0,01$ ) alhoewel uit deze afhankelijkheid slechts 0,8% van de variantie voortkwam. Het percentage correcte responsies staat vermeld in Tabel VI waarbij de resultaten voor links-rechts gespiegelde situaties weer zijn samengenomen.

De resultaten van Tabel VI laten zien dat de score voor de conditie zonder gehoorbescherming en lage niveaus (zl) tegenover de conditie zonder gehoorbescherming en hoge niveaus relatief laag is voor 0 graden, ook wat lager is voor 45+315 graden en juist wat hoger voor 135+225 en 180 graden. Deze scores suggereren dat het zachte signaal vaker achter wordt gehoord (zie ook Tabel X en XII). Dit resultaat kan een artefact van de experimentele opzet zijn. Het lage signaalniveau, met name ten opzichte van de andere conditie zonder gehoorbescherming, zou een herkomst van het geluid van achteren kunnen suggereren.

Tegenover de conditie zonder gehoorbescherming en hoge niveaus laten de scores voor de doppen zien dat het dalen van de totale score voor de doppen vooral het gevolg is van lagere scores voor de bronrichtingen 0 en 45+315

graden. Dit suggereert een toename van de voor-achter verwisselingen bij deze bronrichtingen (zie verder 5.3, Tabel X en XII). De scores voor de kap liggen lager bij alle bronrichtingen behalve bij 90+270 graden. Een verschuiving naar 90+270 graden zou een direct effect van het verlies van de oorschelpfunctie kunnen zijn.

Als laatste bleek de invloed van gehoorbescherming op het aantal correcte responsies ook significant afhankelijk te zijn van de proefpersonen ( $p < 0,01$ ) alhoewel uit deze afhankelijkheid slechts 0,9% van de variantie voortkwam. Het percentage correcte responsies staat vermeld in Tabel VII waarbij de resultaten zijn opgesplitst naar de reeds eerder genoemde vier groepen van proefpersonen met oplopend gehoorverlies.

Tabel VII Percentage correcte responsies voor de twee condities zonder gehoorbescherming (zh en zl) en de condities met doppen (d) en kap (k) opgesplitst naar vier groepen proefpersonen met oplopend gehoorverlies en alle groepen tezamen. De resultaten zijn gemiddeld over de twee signaaltypen en over de acht bronrichtingen.

conditie	zh	zl	d	k	tot
groep1	65	65	63	61	63
groep2	68	70	62	53	63
groep3	66	65	60	54	61
groep4	71	67	63	54	64
totaal	68	67	62	56	63

Uit Tabel VII blijkt dat het aantal correcte responsies bij het dragen van een oordop of oorkap in groep 1 (normaalhorenden) nauwelijks daalde ten opzichte van het aantal correcte responsies dat zonder gehoorbescherming werd gevonden. De dalingen bedroegen resp. 2 en 4%. Bij de grootste gehoorverliezen (groep 4) daalde het aantal correcte responsies tegenover de conditie zonder gehoorbescherming (zh) met resp. 8 en 17%. De in de eerste alinea van dit onderdeel vermelde terugval in de score voor alle proefpersonen tezamen van 5% bij het dragen van doppen en 12% bij de kap is dus hoofdzakelijk het gevolg van een terugval in score wanneer men een gehoorverlies heeft. De correlatie tussen het aantal correcte responsies en het gemiddelde gehoorverlies bij 2 en 4 kHz links en rechts gemeten bedroeg voor de vier condities zh, zl, d, en k resp. 0.18, 0.04, 0.06 en -0.15. Deze coëfficiënten waren niet significant ( $p > 0,05$ ).

## 4.6 Reproduceerbaarheid

Wanneer de correcte responsies op de twee verschillende waarschuwingssignalen als replica's worden opgevat omdat er geen significant effect van signaaltype werd gevonden kunnen we op basis hiervan een schatting van de onzekerheid in de metingen maken. Deze schatting geeft aan dat 14% van de totale variantie voortkwam uit inconsistente responsies.

## 5 ANALYSE VAN DE FOUTEN IN DE RESPONSIES

In dit hoofdstuk wordt de richtingwaarneming nader geanalyseerd door niet alleen de invloed van het dragen van gehoorbescherming, van de proefpersonen en van de bronrichting op het aantal correcte responsies na te gaan maar ook de fouten in de richtingwaarneming bij de analyse te betrekken. De waargenomen richtingen staan, over alle proefpersonen en gehoorbeschermingscondities (en de twee signaaltypen) tezamen, als functie van de richtingen van waaruit het geluid kwam, vermeld in Tabel VIII. Tabel VIII vormt een verwisselingsmatrix. De diagonaal van deze matrix correspondeert met de percentages correcte responsies die vermeld werden in Tabel III.

Tabel VIII Aantal keren dat de horizontaal aangegeven richting werd waargenomen als functie van de verticaal aangegeven bronrichting.

	waargenomen richting								tot
	0	45	90	135	180	225	270	315	
bronrichting									
0	2672	42	9	40	477	64	5	19	3328
45	5	2697	285	321	16	2	0	2	3328
90	3	113	3115	93	2	1	0	1	3328
135	4	1709	810	800	4	1	0	0	3328
180	1901	116	23	116	1095	48	7	22	3328
225	8	3	2	0	7	681	596	2031	3328
270	3	7	1	0	7	69	3135	106	3328
315	6	1	1	0	8	293	445	2574	3328
totaal	4602	4688	4246	1370	1616	1159	4188	4755	26624

### 5.1 Links-rechts verwisselingen en links-rechts symmetrie

Tabel VIII laat duidelijk zien dat er vrijwel geen links- rechts verwisselingen optraden. Op de rechts gelegen bronrichtingen van 45, 90 en 135 graden kwamen in totaal slechts 7 links gerichte responsies voor (225, 270 en 315 graden); op de

links gelegen bronrichtingen van 225, 270 en 315 graden slechts 15 rechts gerichte responsies. Op een totaal van ongeveer 20000 responsies is dit dus slechts 1 promille. De links-rechts verwisselingen zullen verder buiten beschouwing worden gelaten. In de literatuur (hoofdstuk 2) bleek ook dat deze verwisselingen bij breedbandige stimuli van ondergeschikt belang zijn.

Tabel VIII toont tevens duidelijk de reeds eerder aangekondigde links-rechts symmetrie. De responsies van 0 tot 315 graden op bijvoorbeeld de bronrichting van 45 graden vertonen een grote gelijkenis met het responsepatroon voor de bronrichting van 315 graden wanneer de responsies worden doorlopen in de tegenovergestelde richting van 0 via 315 tot 45 graden. Hetzelfde geldt voor de combinaties van bronrichtingen 90,270 graden en 135,225 graden.

Op basis van dit resultaat werd het aantal responsies van beta graden op bronrichtingen van alfa graden (alfa,beta) samengenomen met het aantal responsies (360-alfa,360-beta) voor  $0 \leq \text{alfa} \leq 180$  en  $0 \leq \text{beta} < 360$ . Door het samenemen van deze meetgegevens werd de statistische betrouwbaarheid van het resultaat verhoogd. Als consequentie van de links-rechts symmetrie werden de responsies op bronrichtingen van 0 en 180 graden dus opgeteld bij hun links-rechts gespiegelde bronrichtingen. Het resultaat staat weergegeven in Fig. 4.

## 5.2 Voor-achter verwisselingen en dispersie

De resultaten van Fig. 4 voor 0, 90+270 en 180 graden laten zien dat de foute responsies in twee categorieën kunnen worden ingedeeld: (1) de voor-achter verwisselingen en (2) kleine afwijkingen van de bronrichting die we met dispersie zouden kunnen aanduiden. De voor-achter verwisselingen zijn aanzienlijk. Voor de bronrichting van 0 graden vinden we 477 ofwel 14% responsies van 180 graden; voor de bronrichting van 180 graden zelfs 1901 ofwel 57% responsies van 0 graden!

De fouten die bij de bronrichtingen van 45+315 en 135+225 graden werden gemaakt zouden ook op deze wijze kunnen worden ingedeeld. Dispersie en voor-achter verwisseling blijken echter niet additief te zijn. Veronderstellen we om te beginnen symmetrisch om de bronrichting optredende dispersie dan kan de dispersie bij een bronrichting van 45+315 graden worden afgelezen aan de response bij 0 graden ( $N=11$ ; denk aan het gebruik van de logaritmische schaal in Fig. 4) De voor-achter verwisselde responsies vinden we op 135+225 graden. De dispersie hiervan lezen we af van de responsies op 180 graden ( $N=24$ ). Op 90+270 graden vinden we de dispersie van zowel de bronrichting als van de voor-achter verwisselde richting. Het aantal responsies in deze richting bedroeg 730; veel meer dan de som van de afzonderlijke dispersies op de goede richting en de voor-achter verwisselde richting. (Deze som was 35.) Eenzelfde discrepantie wordt gevonden voor de bronrichting 135+225 graden. Het blijkt dus niet mogelijk te zijn de fouten te beschrijven met symmetrische, additieve dispersie.

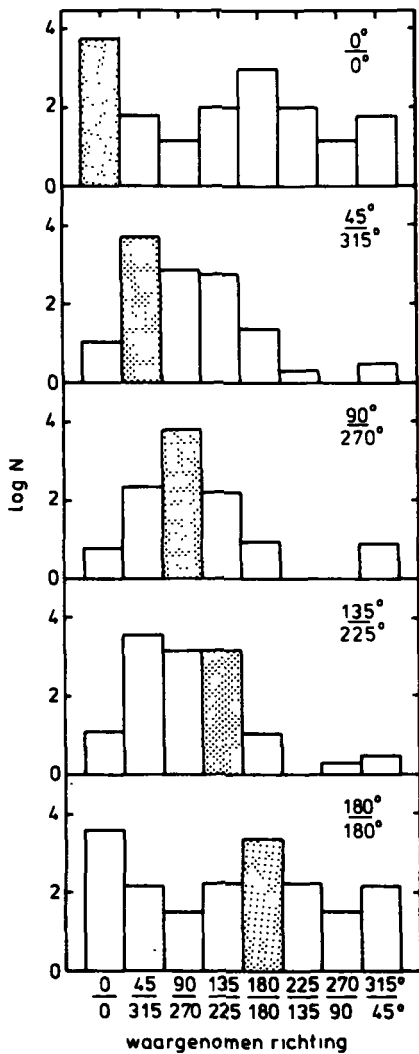


Fig. 4 Aantal keren dat de horizontaal aangegeven richting werd waargenomen bij bronrichtingen van 0 graden, 45+315 graden, 90+270 graden, 135+225 graden en 180 graden. De correct waargenomen richtingen staan gearceerd aangegeven. De logaritme van het aantal responsies werd uitgezet ten einde een goede vulling van de histogrammen te verkrijgen.

Aangezien een model gebaseerd op voor-achter verwisselingen en dispersie als voordeel zou hebben dat de invloed van gehoorbescherming en gehoorverlies op de responsies op eenvoudige wijze beschreven zou kunnen worden in termen van hun invloed op de twee factoren van het model werd deze mogelijkheid nog nader onderzocht. Het model kan worden uitgebreid met een dispersie die niet symmetrisch is. De dispersie bij 0, 90+270 en 180 graden is weliswaar in eerste benadering symmetrisch ten opzichte van de bronrichting maar tevens hoekafhankelijk. Bij 0 graden is de dispersie naar de twee naastliggende richtingen in totaal 2,2%; bij 90+270 graden 5,7%. Een verwisseling van 45 naar 90 graden zou dus vaker kunnen voorkomen dan een verwisseling van 45 naar 0 graden. Nemen we ten aanzien van de perceptieve verwisselingen symmetrie aan tussen bronrichting en waargenomen richting (dus een gelijke kans van voorkomen van responsies van 45 graden op een bronrichting van 90 graden als responsies van 90 graden op een bronrichting 45 graden) dan kunnen we het aantal responsies van 90+270 graden op de bronrichting 45+315 graden afschatten aan de hand

van de dispersie in de responsies op de bronrichting 90+270 graden. Deze afchatting levert een aantal van 104 tegenover de 730 gemeten responsies. Het geschatte aantal is dus beduidend hoger dan in de eerste benadering met symmetrische dispersie werd verkregen ( $N=35$ ) maar nog steeds veel lager dan de gemeten waarde. Er werden nog andere varianten van dit model onderzocht maar ook die varianten leidden niet tot een adequate voorspelling. Een beschrijving in termen van voor-achter verwisselingen en dispersie wordt daarom hieronder slechts gegeven voor de bronrichtingen 0, 90+270 en 180 graden. Vervolgens zullen de foute responsies voor iedere stimulus-response combinatie afzonderlijk worden gezien.

### **5.3 Voor-achter verwisselingen en dispersie als functie van gehoorverlies en gehoorbescherming**

Bij de berekening van de voor-achter verwisselingen en de dispersie worden de volgende definities gehanteerd:

**D**, dispersie van de bronrichting: het aantal responsies in de twee naastliggende richtingen gedeeld door de som van dit aantal en het aantal responsies in de bronrichting,

**VA**, voor-achter verwisseling: het aantal responsies in de voor-achter verwisselde richting plus de dispersie in die richting gedeeld door de som van dit aantal en het aantal responsies in de bronrichting plus de dispersie,

**DVA**, dispersie in de voor-achter verwisselde responsies: het aantal responsies in de twee richtingen naast de voor-achter verwisselde richting gedeeld door de som van dit aantal en het aantal voor-achter verwisselde responsies.

In Tabel IX staan bovenstaande grootheden in percentages vermeld voor de vier reeds eerder naar oplopend gehoorverlies ingedeelde groepen proefpersonen. De dispersie, **D**, blijkt bij bronrichtingen van 0 en 180 graden met het gehoorverlies toe te nemen terwijl de dispersie bij 90+270 graden geen duidelijke relatie met het gehoorverlies vertoont. De dispersie in de voor-achter verwisselde responsies, **DVA**, wordt bij 0 graden duidelijk groter zodra er een gehoorverlies aanwezig is terwijl deze bij 180 graden vooral bij de groep met de grootste gehoorverliezen een toename laat zien. De voor-achter verwisselingen, **VA**, vertonen geen duidelijk verband met het gehoorverlies. Deze effecten zijn echter van relatief weinig belang. In 4.3 werd reeds geconstateerd dat het aantal correcte responsies bij de bronrichtingen 0, 90+270 en 180 graden niet significant correleerde met het gehoorverlies.



Tabel IX Aantal keren (in procenten) dat het aangegeven type verwisseling voorkwam in de vier groepen van proefpersonen met oplopend gehoorverlies en in alle groepen tezamen. D, dispersie; VA, voor-achter verwisseling, DVA, dispersie in de voor-achter verwisselde responsies.

bronrichting type verwisseling	0 D	0 VA	0 DVA	90+270 D	180 D	180 VA	180 DVA
groep1	1,5	11,4	4,2	4,6	8,6	74,9	5,6
groep2	2,0	27,2	20,0	7,2	11,8	52,1	3,7
groep3	2,5	7,0	17,2	5,3	15,8	73,5	7,4
groep4	3,1	24,6	22,2	5,9	14,9	47,0	11,1
totaal	2,2	17,5	17,9	5,7	13,0	61,8	6,8

In Tabel X staan D, VA, en DVA weergegeven als functie van de gehoorbescherming. De dispersie blijkt bij bronrichtingen van 0 en 180 graden tijdens het dragen van doppen en nog sterker tijdens het dragen van een kap toe te nemen. Ook bij 90+270 graden blijkt de dispersie enigszins toe te nemen voor de doppen en de kap terwijl bij deze bronrichting geen duidelijke invloed van het gehoorverlies werd gevonden.

Tabel X Aantal keren (in procenten) dat het aangegeven type verwisseling voorkwam in de twee condities zonder gehoorbescherming, zh en zl, en in de condities met doppen, d, en met kap, k en in alle groepen tezamen. D, dispersie; VA, voor-achter verwisseling, DVA, dispersie in de voor-achter verwisselde responsies.

bronrichting type verwisseling	0 D	0 VA	0 DVA	90+270 D	180 D	180 VA	180 DVA
zh	0,5	10,6	8,6	4,5	7,8	62,8	7,3
zl	1,9	18,4	17,1	4,1	11,8	57,9	6,5
d	2,4	18,9	12,8	7,9	14,7	61,1	5,2
k	4,4	22,4	27,6	6,6	18,3	65,5	8,0
totaal	2,2	17,5	17,9	5,7	13,0	61,8	6,8

De dispersie in de voor-achter verwisselde responsies vertoont bij een bronrichting van 0 graden een duidelijke toename met het dragen van een kap; bij een bronrichting van 180 graden is dit effect niet duidelijk aanwezig. De voor-achter verwisselingen nemen bij een bronrichting van 0 graden duidelijk toe bij het dragen van gehoorbescherming; het hoge percentage verwisselingen bij het lage

geluidniveau werd reeds eerder toegeschreven aan een artefact van de meetprocedure (zie 4.5). Bij een bronrichting van 180 graden is er vrijwel geen effect van het dragen van doppen of een kap op het aantal voor-achter verwisselingen. De resultaten voor de doppen bij een bronrichting van 0 graden bevestigen het vermoeden uitgesproken in 4.5 dat het aantal correcte responsies daalt als gevolg van voor-achter verwisselingen. Het zakken van het aantal correcte responsies voor alle richtingen bij de kap (in 4.5) vinden we hier terug in een toename van D en VA bij de drie bronrichtingen.

#### **5.4 Verwisselingen per stimulus-response combinatie als functie van het gehoorverlies**

In de variantie-analyse van het vorige hoofdstuk kwam naar voren dat het aantal correcte responsies per bronrichting sterker varieerde van proefpersoon tot proefpersoon dan van gehoorbeschermingsconditie tot gehoorbeschermingsconditie. Daarom zullen we nu eerst de invloed van het gehoorverlies op het responsiepatroon bepalen. In Tabel XI staan de waargenomen richtingen in percentages vermeld voor de vier reeds eerder, naar oplopend gehoorverlies ingedeelde groepen proefpersonen. De responsies van 225+135, 270+90 en 315+45 graden zijn uit Tabel X weggelaten omdat links-rechts verwisselingen, zoals in 5.1 vermeld, nauwelijks voorkwamen.

Bij de variantie-analyse bleek reeds dat het aantal correcte responsies voor bronrichtingen van 90+270 niet, en voor de bronrichtingen van 0 en 180 graden slechts weinig, werd beïnvloed door het gehoorverlies (Tabel IV). Uit Tabel XI blijkt nu dat er bij 0 en 180 graden ook geen duidelijke verschuivingen in de fout waargenomen richtingen met toenemend gehoorverlies optreden. Bij de bronrichtingen 45+315 graden en 135+225 graden worden echter verschuivingen van schuin-voor (45+315 graden) naar schuin-achter (135+225 graden) waargenomen. Bij 45+315 graden vinden we percentages voor de eerste groep van 90 (correcte responsies) tegen 5; bij de vierde groep van 65 tegen 18. Bij 135+225 graden bedragen deze percentages resp. 71 tegen 13 (13% correcte responsies) en 40 tegen 38.

Zoals reeds eerder bij de analyse van de correcte responsies werd verondersteld vinden we dus met toenemend gehoorverlies een toenemend aantal responsies schuin-achter. Dit betekent minder correcte responsies op de bronrichting 45+315 graden en meer correcte responsies op de richting 135+225 graden. Ook het aantal foute responsies van 90+270 graden blijkt bij deze bronrichtingen met het gehoorverlies toe te nemen: van 5 tot 16% bij een bronrichting van 45+315 graden en van 16 tot 22% (29% voor groep 3) bij 135+225 graden. Het effect van het gehoorverlies kan ook worden uitgedrukt in correlatie-coëfficiënten. Voor de responsies van 45+315 graden, 90+270 graden en 135+225 graden vinden we bij een bronrichting van 45+315 graden respectievelijk -0,45, 0,40 en

0,36; bij een bronrichting van 135+225 graden respectievelijk -0,41, 0,24 en 0,31. Deze coëfficiënten zijn significant op tenminste het  $p=0,05$  niveau.

Tabel XI Aantal keren (in procenten) dat de horizontaal aangegeven richting werd waargenomen door de vier groepen van proefpersonen met oplopend gehoorverlies en voor de vier groepen tezamen als functie van de verticaal aangegeven bronrichting.

richting	0	45+315	90+270	135+225	180
0					
groep1	87	1	0	0	11
groep2	71	1	0	3	22
groep3	90	1	0	1	6
groep4	72	1	0	3	19
tot	80	1	0	2	14
45+315					
groep1	0	90	5	5	0
groep2	0	81	11	8	1
groep3	0	81	12	7	0
groep4	0	65	16	18	1
tot	0	79	11	9	0
90+270					
groep1	0	4	95	1	0
groep2	0	5	92	2	0
groep3	0	3	95	2	0
groep4	0	2	94	4	0
tot	0	3	94	2	0
135+225					
groep1	0	71	16	13	0
groep2	0	57	18	25	0
groep3	0	57	29	14	0
groep4	0	40	22	38	0
tot	0	56	21	22	0
180					
groep1	71	2	0	1	23
groep2	50	1	0	3	42
groep3	66	3	1	2	22
groep4	41	3	0	4	45
tot	57	2	0	2	33

### 5.5 Verwisselingen per stimulus-response combinatie als functie van de gehoorbescherming

Het effect van gehoorbescherming op de waargenomen richting staat vermeld in Tabel XII. Deze tabel laat zien dat de verdeling van de responsies bij de bronrichting 90+270 graden niet wordt beïnvloed door de gehoorbescherming of door de geluidniveaus bij het onbeschermd oor.

Tabel XII Aantal keren (in procenten) dat de horizontaal aangegeven richting werd waargenomen per gehoorbeschermingsconditie (zh,zl,d,k) en voor de vier condities tezamen als functie van de verticaal aangegeven bronrichting.

richting	0	45+315	90+270	135+225	180
0					
zh	89	0	0	0	10
zl	80	1	0	2	15
d	79	1	0	1	16
k	74	2	0	3	16
tot	80	1	0	2	14
45+315					
zh	0	90	3	6	0
zl	0	87	3	10	0
d	0	78	9	12	1
k	0	62	29	8	0
tot	0	79	11	9	0
90+270					
zh	0	3	95	1	0
zl	0	2	96	2	0
d	0	4	92	4	0
k	0	4	93	3	0
tot	0	3	94	2	0
135+225					
zh	0	58	19	23	0
zl	0	58	15	27	0
d	0	52	24	23	0
k	0	56	27	16	0
tot	0	56	21	22	0
180					
zh	58	2	0	1	34
zl	54	2	0	2	37
d	57	2	1	3	33
k	60	3	1	3	28
tot	57	2	0	2	33

Voor het lage geluidniveau zonder gehoorbescherming (zl) kan bij de bronrichtingen 0 en 180 graden een kleine verschuiving van responsies van 0 graden naar responsies van 180 graden worden vastgesteld en bij de bronrichtingen 45+315 en 135+225 graden enige verschuiving van 45+315 naar 135+225 graden. Dit werd bij Tabel VI reeds verondersteld op basis van de verschuivingen in het aantal correcte responsies. Het werd toegeschreven aan een artefact van de experimentele opzet omdat de hoge en lage niveaus naast elkaar voorkwamen.

Bij het dragen van de doppen en bij de kap zien we bij de bronrichting van 0 graden ook een kleine verschuiving van responsies van 0 graden naar 180 graden; bij de bronrichting van 180 graden is er geen duidelijk effect van de

doppen en wellicht een kleine verschuiving in omgekeerde richting bij de kap. Een duidelijker effect van het dragen van gehoorbescherming wordt echter gevonden bij de bronrichtingen 45+315 en 135+225 graden. Bij deze bronrichtingen neemt het aantal responsies van 90+270 graden, vooral bij de kap, duidelijk toe. Bij 45+315 graden gaat deze toename vooral ten koste van het aantal correcte responsies op 45+315 graden; bij 135+225 graden enigszins ten koste van het aantal foute responsies van 45+315 graden bij de dop maar bij de kap duidelijk ten koste van de correcte responsies van 135+225 graden. Het grootste effect vinden we bij de kap en een bronrichting van 45+315 graden waar het aantal correcte responsies daalde van 90 naar 62% en het aantal foute responsies van 90+270 graden steeg van 3 naar 29%.

### 5.6 Verwisselingen per stimulus-response combinatie als functie van gehoorverlies en gehoorbescherming

De variantie-analyse van het aantal correcte responsies liet zien dat de score significant afhankelijk was van de factoren proefpersonen, gehoorverlies en gehoorbescherming in onderlinge combinatie wanneer de scores voor de twee typen signalen als replica's werden opgevat. Uit deze combinatie van factoren kwam 2,1% van de variantie voort. Dit was voldoende aanleiding om het effect van gehoorbescherming nog nader te bezien opgesplitst naar de vier groepen proefpersonen met verschillend gehoorverlies. Hierbij lieten we de conditie zonder gehoorbescherming en lage geluidniveaus (zl) vallen omdat gebleken is dat de richtingwaarneming, afgezien van een klein vermeend artefact, niet beïnvloed werd door het geluidniveau. Tabel XIII laat zien dat de effecten van gehoorbescherming die hierboven voor alle proefpersonen tezamen werden beschreven, groter worden naarmate het gehoorverlies toeneemt. Nemen we als voorbeeld het grootste effect dat bij de kap werd gevonden, de responsies van 90+270 graden op de bronrichting van 45+315 graden, dan zien we dat de daling van 90 naar 62% correcte responsies die voor alle proefpersonen tezamen werd gevonden (Tabel VI) slechts een daling van 96 naar 82% betekent voor de groep zonder gehoorverlies (groep 1) en een daling van 78 naar 45% voor de groep met de grootste gehoorverliezen (groep 4).

Het aantal foute responsies van 90+270 graden stijgt van 1 naar 14% bij groep 1 en van 6 naar 42% bij groep 4. Ook het reeds eerder als klein vermelde effect bij 0 graden (een daling van het aantal correcte responsies van 89 naar 74%) blijkt sterk afhankelijk te zijn van het gehoorverlies. De fractie correcte responsies daalt bij gebruik van een kap bij de groep zonder gehoorverlies van 93 naar 90%; bij de groep met de grootste gehoorverliezen van 92 naar 57%.

Tabel XIII Aantal keren in procenten dat de horizontaal aangegeven richting werd waargenomen per gehoorbeschermingsconditie (zh,d,k) voor de vier groepen proefpersonen met oplopend gehoorverlies en de vijf bronrichtingen.

groep	prot.	0	45+315	90+270	135+225	180
bron 0 graden						
1	zh	93	0	0	0	7
	d	82	0	0	0	17
	k	90	1	0	0	8
2	zh	75	0	0	1	22
	d	73	1	1	2	20
	k	62	2	0	5	24
3	zh	95	0	0	0	3
	d	91	2	0	0	4
	k	87	1	0	1	8
4	zh	92	0	0	0	5
	d	69	1	0	2	25
	k	57	2	1	6	24
bron 45+315						
1	zh	0	96	1	2	0
	d	0	87	4	9	0
	k	0	82	14	4	0
2	zh	0	94	2	4	0
	d	0	79	8	11	2
	k	0	60	31	8	0
3	zh	0	93	3	4	0
	d	0	78	13	9	0
	k	0	62	29	9	0
4	zh	0	78	6	16	0
	d	0	66	10	22	1
	k	0	45	42	13	1
bron 90+270						
1	zh	0	3	97	0	0
	d	0	5	93	2	0
	k	0	4	95	1	0
2	zh	0	6	94	1	0
	d	0	5	88	5	1
	k	0	7	88	3	0
3	zh	0	2	96	2	0
	d	0	3	93	4	0
	k	0	3	94	3	0
4	zh	0	2	95	3	0
	d	0	2	93	5	0
	k	0	2	94	4	0

Voortzetting Tabel XIII

groep	prot.	0	45+315	90+270	135+225	180
bron 135+225						
1	zh	0	74	15	11	0
	d	0	64	18	18	0
	k	0	72	18	10	0
2	zh	0	61	14	24	0
	d	0	54	19	25	1
	k	0	56	26	16	0
3	zh	0	56	27	16	0
	d	0	51	38	11	0
	k	0	57	35	9	0
4	zh	0	43	18	39	0
	d	0	41	22	38	0
	k	0	40	28	31	0
bron 180						
1	zh	71	2	0	1	23
	d	70	2	0	1	25
	k	77	1	0	1	18
2	zh	50	1	0	2	44
	d	51	1	0	3	41
	k	50	2	0	5	37
3	zh	68	3	1	1	22
	d	68	1	2	2	21
	k	69	3	1	2	17
4	zh	42	3	0	2	48
	d	40	2	0	5	45
	k	42	4	1	5	39

## 6 DISCUSSIE

Het meest opvallende resultaat van dit onderzoek is dat er zonder het gebruik van gehoorbescherming of de aanwezigheid van gehoorverliezen al veel fouten werden gemaakt bij de waarneming van de richting van waaruit de enkelvoudige signaalstoot kwam. Signalen die van achteren of van schuin-achter kwamen werden vaak als van vóór of van schuin-vóór komend gehoord. Deze fouten hoeven niet noodzakelijk te wijzen op een foute waarneming. Het is mogelijk dat men vaak niet in staat was om de richting te bepalen en in die gevallen met voorkeur een voorwaartse richting aangaf. In het onderzoek van Russell en Noble (1976) werd daarom niet alleen gevraagd naar de richting maar ook naar de zekerheid waarmee men het geluid uit die richting hoorde. In dit onderzoek is echter opvallend dat de voorkeur voor voorwaartse richtingen sterk minder was bij de groep met de grootste gehoorverliezen (Tabel IV). Dit suggereert dat een aspect van het signaal dat door de slechthorenden minder goed wordt gehoord aanleiding gaf tot de voorwaartse verwisselingen. Een aanleiding tot

deze verwisselingen zou gelegen kunnen hebben in het gebruik van twee signalen met onderling verschillende hoog-frequent bestanddelen. Ten opzichte van de signalen met de -9 dB per octaaf helling zouden alle signalen met de -3 dB helling vaker voorwaarts kunnen zijn geplaatst op basis van hun scherpere klank. Dit verschil zou bij de hoog-frequent slechthorendheid minder kunnen zijn opgevallen. De variantie-analyse heeft echter geen enkel significant effect van signaaltype laten zien. Daarmede blijft het relatief grote aantal voorwaartse responsies onbegrepen.

Een belangrijk resultaat van dit onderzoek is dat het lokaliseringsvermogen sterker afneemt met toenemend gehoorverlies wanneer doppen of een kap worden gedragen dan zonder gehoorbescherming. Men zou kunnen verwachten dat normaalhorenden door het dragen van gehoorbescherming meer worden gehinderd bij de richtingwaarneming dan de slechthorenden omdat het richtinghoren gedeeltelijk is gebaseerd op de afscherpende werking van het hoofd en de oorschelp. Deze afscherpende werking treedt vooral bij hoge frequenties op en voor die frequenties is men bij slechthorendheid ten gevolge van lawaai nu juist minder gevoelig. Bij de normaalhorenden zakte het aantal goede responsies evenwel slechts met 2% bij het dragen van doppen en met 4% bij de kap terwijl deze percentages voor de groep met de grootste gehoorverliezen resp. 8 en 17% bedroegen (Tabel VII). Het is dus waarschijnlijker dat de slechthorenden ondanks hun slechthorendheid toch nog gebruik maakten van het hoogfrequent gedeelte van het signaal en dat dit bij het dragen van de gehoorbeschermers door de geluidverzwakking minder goed mogelijk werd.

Bij het dragen van oordoppen werd er vooral een toename van voor-achter verwisselingen gevonden bij bronrichtingen van 0, 45 en 315 graden. Dit stemt overeen met de bevindingen in de literatuur (Noble & Russell, 1972; Russell & Noble, 1976). Deze verwisselingen werden door Russell en Noble (1976) en door Russell (1976) toegeschreven aan spectrale verschillen die door het opzetten van doppen of een kap worden geïntroduceerd. Een nadere analyse met behulp van aanvullende literatuurgegevens (Blauert, 1974; Shaw, 1974) leerde ons dat een geluidresonantie in het uitwendige gehoororgaan bij 2 tot 3 kHz hierbij een belangrijke rol moet spelen. Deze resonantie is zonder gehoorbescherming aanwezig bij bronrichtingen van 0 tot 90 graden en wordt minder geprononceerd bij bronrichtingen boven 90 graden. De resonantie wordt echter ook minder geprononceerd bij de bronrichtingen van 0 tot 90 graden wanneer gehoorbescherming wordt aangebracht. Hieruit kunnen de voor-achter verwisselingen worden verklaard.

De resultaten in Tabel XII en Tabel XIII lieten een opvallend resultaat zien voor de oorkap. Bij de bronrichtingen van 45 en 315 graden, en in mindere mate bij 135 en 225 graden, traden er relatief veel responsies op van 90 (op 45 en 135 graden) en 270 graden (op 225 en 315 graden). De responsies van 90 en 270 graden bij de kap bleken duidelijk toe te nemen met het gehoorverlies (Tabel XIII). Een verschuiving van de lokalisatie naar 90 of 270 graden zou kunnen



worden veroorzaakt door een toename van het verschil in aankomsttijd van het geluid bij de twee oren. Deze toename zou het gevolg kunnen zijn van een verschuiving van de ontvangpunten van het geluid van de oorschelp naar de buitenkant van de kap. De kappen staan verder van elkaar dan de oorschelpen en daarmee wordt het verschil in aankomsttijd op de ontvangpunten groter bij een ten opzichte van de bron gedraaid hoofd. De afstand van de kap tot de uitwendige gehoorgang is voor beide zijden gelijk. Deze wegverlenging heeft dus geen invloed op het tijdverschil. De hier naar voren gebrachte theorie moet nog experimenteel, langs fysische weg, worden geverifieerd. Het toenemen van de responsies van 90 en 270 graden met toenemend gehoorverlies zou vervolgens kunnen worden begrepen op basis van een bij slechthorenden relatief grote bijdrage van het verschil in aankomsttijden aan de lokalisatie. De bijdrage van de spectrale verschillen zou relatief klein kunnen zijn omdat deze verschillen vooral bij de hoge frequenties worden gevonden waar het gehoorverlies optreedt.

De verschuiving naar 90 of 270 graden kan in de literatuur niet worden teruggevonden op basis van de gerapporteerde verwisselingen omdat deze verschuiving niet past in de a-priori categorisatie waarmee de verwisselingen werden beschreven. Zoals uit de discussie in 5.2 al bleek moet men voorzichtig zijn met het categoriseren van de verwisselingen. Op basis van de correcte responsies die door Russell en Noble (1976) werden gerapporteerd concludeerden wij in hoofdstuk 2 echter reeds dat de responsies bij het dragen van een kap moesten zijn verschoven in de richting van 105 graden.

## 7 BETEKENIS VAN DE RESULTATEN VOOR DE PRAKTIJK

In dit onderzoek werd uitgegaan van een situatie die in enige opzichten afwijkt van de situaties die meestal in de praktijk zullen voorkomen. In de praktijk zullen er in de werkruimte vaak nagalm en echo's aanwezig zijn, zal men het hoofd vrij kunnen bewegen, zal men de geluidbron kunnen zien en kan het waarschuwingssignaal pulserend van karakter zijn. In dit onderzoek gingen we uit van een ruimte met volledig absorberende wanden zonder nagalm en echo's, van een vaste hoofdpositie, van een "onzichtbare" geluidbron en van een enkele toonstoot als waarschuwingssignaal. We kozen in dit onderzoek echter bewust niet voor een representatieve situatie om twee redenen:

- (1) een representatieve situatie dient representatief te zijn ten aanzien van de vraagstelling. Het effect van de verschillende praktijk-variabelen op de richtingwaarneming is echter nog onvoldoende bekend om een representatieve keuze te kunnen maken.
- (2) de gekozen situatie representeert een belangrijke ongunstige situatie die in de praktijk kan voorkomen.

In de praktijk kan het van levensbelang zijn dat er snel op de aanzet van een waarschuwingssignaal of op een kort geluid met een waarschuwend karakter (bijvoorbeeld een klap) wordt gereageerd. Daarbij kan de tijd voor hoofdbewegingen te klein zijn. Tevens kan men belemmerd zijn bij het maken van hoofdbewegingen door apparatuur in de buurt van het hoofd en/of door een oorkap. Alleen ten aanzien van de afwezigheid van nagalm en echo's zou men kunnen stellen dat de situatie gunstiger is dan men vaak in de praktijk zal tegenkomen. De keuze van de nagalmvrije ruimte is vanzelfsprekend primair gebaseerd op het streven naar een goed gedefinieerde situatie. Met deze keuze zullen we echter niet veel gunstiger zijn uitgekomen dan praktijksituaties met nagalm omdat vooral het eerst-aankomende geluid bij de richtingwaarneming belangrijk is.

Rekening houdend met bovenstaande overwegingen mogen we voor de praktijk het volgende concluderen:

- Bij een vaste hoofdpositie worden zonder gehoorbescherming en zonder gehoorverlies reeds veel fouten gemaakt in het waarnemen van de richting van waaruit een enkele toonstoot komt (35% fouten). Het is zeer belangrijk waarschuwingssignalen pulserend van karakter te maken.
- Voor-achter verwisselingen worden het meest gemaakt; links-rechts verwisselingen komen bij breedbandige waarschuwingssignalen slechts sporadisch voor.
- Het dragen van een oorkap leidt tot meer fouten in de richtingwaarneming dan het dragen van doppen (een toename van resp. 12 en 5%).
- Het nadelig effect van het dragen van gehoorbescherming op een goede richtingwaarneming is aanzienlijk groter bij personen met een gehoorverlies ten gevolge van de blootstelling aan lawaai dan bij normaalhorenden. Bij de normaalhorenden nam het aantal fouten bij het dragen van doppen toe met slechts 2% en bij een kap met 4%; bij slechthorenden met een verlies van 35 dB of meer, gemiddeld over de waarden bij 2 en 4 kHz en beide oren, nam het aantal fouten bij het dragen van doppen toe met 8% en bij een kap met 17%.
- Bij het dragen van doppen hoort men geluid dat van voren of van schuin-voor komt vaker van achteren of van schuin-achter komen; bij het dragen van een kap wordt geluid dat van schuin-voor of van schuin-achter komt vaker onder 90 graden geplaatst.

## LITERATUUR

- Atherley, G.R.C. and Noble, W.G. (1970). Effect of ear-defenders (ear-muffs) on the localization of sound. *Brit. J. Industr. Med.* 27, 260-265.
- Blauert, J. (1976). *Räumliches Hören*. S. Hirzel Verlag, Stuttgart.
- Burger, J.F. (1958). Front-back discrimination of the hearing system. *Acustica* 8, 301-302.
- Hafer, E.R. and Briolle, F. (1989). Localization of complex sounds in the presence of echoes. *Proc. 13th Int. Congr. on Acoustics*, 495-498.
- Noble, W.G. and Russell, G. (1972). Theoretical and practical implications of the effects of hearing protection devices on localization ability. *Acta Otolaryng.* 74, 29-36.
- Noble, W.G. (1981). Earmuffs, exploratory head movements, and horizontal and vertical sound localization. *J. Aud. Res.* 21, 1-12.
- Russell, G. (1976). Effects of earmuffs and earplugs on azimuthal changes in spectral patterns: implications for theories of sound localization. *J. Aud. Res.* 16, 193-207.
- Russell, G. and Noble, W.G. (1976). Localization response certainty in normal and in disrupted listening conditions: toward a new theory of localization. *J. Aud. Res.* 16, 143-150.
- Russell, G. (1977). Limits to behavioral compensation for auditory localization in earmuff listening conditions. *J. Acoust. Soc. Amer.* 61, 219-220.
- Shaw, E.A.G. (1976). The external ear. In: *Handbook of Sensory Physiology* (Redactie W.D. Keidel en W.D. Neff), Springer Verlag, Berlin, Hoofdstuk 14, 455-490.
- Suter, A.H. (1989). The effects of hearing protectors on speech communication and the perception of warning signals. *Technic. Mem. 2-89*, U.S. Army Human Engineering Laboratory, Aberdeen Proving Ground, Md, USA.

Soesterberg, 22 augustus 1991



Prof.dr. G.F. Smoorenburg