

TNO-rapport

**PERSOONLIJKE GEHOORBESCHERMINGSMIDDE-
LEN IN CONCRETE ARBEIDSSITUATIES**

**Fase 2a: Eerste veldonderzoek demping gehoorbeschermings-
middelen**

NIPG-publikatienummer
93.020

Mei 1993

Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag worden
vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt
door middel van druk, fotokopie, microfilm
of op welke andere wijze dan ook, zonder
voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd
uitgebracht, wordt voor de rechten en
verplichtingen van opdrachtgever en
opdrachtnemer verwezen naar de
'Algemene Voorwaarden voor Onderzoeks-
opdrachten aan TNO', dan wel de
betreffende terzake tussen partijen
gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport
aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© TNO

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

ISN-nr. 16.066
plaats 49-489
datum 13 AUG. 1993

R. van den Berg (TNO-NIPG, Leiden)
W. Passchier-Vermeer (TNO-NIPG, Leiden)
H. Crijns (Hoogovens, IJmuiden)

CIP-GEGEVENS KONINKLIJKE BIBLIOTHEEK, DEN HAAG

Berg, R. van den

Persoonlijke gehoorbeschermingsmiddelen in concrete
arbeidsituaties / R. van den Berg, W. Passchier-Vermeer,
H. Crijns. - Leiden: Nederlands Instituut voor
Praeventieve Gezondheidszorg TNO
Fase 2a: Eerste veldonderzoek demping
gehoorbeschermingsmiddelen.
NIPG-publicatienr. 93.020. - Met lit. opg.
ISBN 90-6743-250-4
Trefw.: gehoorbeschermingsmiddelen /
arbeidsomstandigheden

Deze uitgave is te bestellen door het overmaken van *f* 21,-- (incl. BTW) op postbankrekeningnr.
99.889 ten name van TNO-Gezondheidsonderzoek te Leiden onder vermelding van bestelnummer
93.020.

INHOUD	pagina
SAMENVATTING	i
1. INLEIDING	1
2. HET EERSTE VELDONDERZOEK	3
3. MEETMETHODEN	4
3.1 Toegepaste methoden en apparatuur in het veldonderzoek	4
3.2 Diepe kap methode	5
3.3 Referentiekap methode	5
4. SELECTIE VAN BRUIKBARE AUDIOGRAMMEN	7
4.1 Algemeen	7
4.2 Audiogrammen met grote drempelverschillen bij aanliggende frequenties	10
5. MEETRESULTATEN	13
6. BESPREKING EN CONCLUSIES	21
LITERATUUR	23
BIJLAGE	25

SAMENVATTING

In het kader van het vijfde EGKS-programma voor medisch onderzoek wordt door het NIPG-TNO in opdracht van Hoogovens een onderzoek uitgevoerd, getiteld "persoonlijke gehoorbeschermingsmiddelen in concrete arbeidssituaties".

De doelstellingen van het onderzoek zijn het ontwikkelen van een testmethode, die geschikt is om snel en betrouwbaar de demping van gehoorbeschermingsmiddelen bij individuele werknemers vast te stellen en het bepalen van de demping van gehoorbeschermingsmiddelen zoals deze in de kolen- en staalindustrie gedragen worden.

Het onderzoek is verdeeld in een aantal fasen. Dit rapport betreft fase 2, het eerste veldonderzoek. In dit deelonderzoek is de geluiddemping van gehoorbeschermingsmiddelen van een groot aantal werknemers bepaald. In totaal hebben 173 werknemers aan het onderzoek deelgenomen. De meetresultaten van 145 werknemers zijn uiteindelijk gebruikt.

Het vaststellen van de geluiddemping geschiedde, afhankelijk van het type gehoorbeschermingsmiddel, met de referentiekap methode (oorkappen, helmkappen en beugels) of de diepe kap methode (overige gehoorgangmiddelen). Beide methoden zijn reeds in fase 1a gerapporteerd.

Complicaties kunnen optreden bij de metingen met de referentiekap daar waar de gehoorscherpte een scherpe dip vertoont in het toonaudiogram. Verder is het gehoor van de werknemers (achteraf) geselecteerd op (mogelijke) middenoorafwijkingen waardoor eveneens problemen kunnen ontstaan in dit geval door schedelgeleiding als storende factor, vooral bij het meten met sterk dempende gehoorbeschermingsmiddelen.

Nadat selectie heeft plaatsgevonden op grond van voor bovengenoemde problemen afgeleide criteria zijn de gemiddelde dempingswaarden en standaarddeviaties berekend voor de diverse gehoorbeschermingsmiddelen zoals ze in de praktijk bij Hoogovens IJmuiden gedragen worden. Er is hierbij een verdeling gemaakt naar type en merk middel.

De algemene conclusie is dat in vrijwel alle gevallen (merk en frequentieband) de gemiddelde dempingswaarden gemeten in praktijksituaties lager zijn dan die gemeten bij proefpersonen in laboratoria onder gestandaardiseerde omstandigheden. De grootste verschillen treden op bij de beugels, doppen en watten.

1. INLEIDING

In het kader van het vijfde EGKS-programma voor medisch onderzoek wordt door het NIPG-TNO in opdracht van Hoogovens een onderzoek uitgevoerd, getiteld "persoonlijke gehoorbeschermingsmiddelen in concrete arbeidssituaties".

De doelstellingen van het onderzoek zijn:

- het ontwikkelen van een testmethode, die geschikt is om eenvoudig, snel en betrouwbaar de demping van gehoorbeschermingsmiddelen bij individuele werknemers in concrete arbeidssituaties in de kolen- en staalindustrie vast te stellen;
- het bepalen van de frequentie-afhankelijke gemiddelde dempingswaarden en standaarddeviaties in de dempingswaarden van gehoorbeschermingsmiddelen, zoals deze in de kolen- en staalindustrie onder praktijkomstandigheden gedragen worden.

Het uiteindelijke doel is te bewerkstelligen dat in de praktijk gehoorbeschermingsmiddelen worden gedragen die enerzijds voldoende demping bieden om beroepslethorendheid te voorkomen en anderzijds niet te veel demping bieden om isolement van de betrokkene en daardoor aversie tegen gehoorbeschermers tegen te gaan.

Vele situaties in de kolen- en staalindustrie maken het dragen van persoonlijke gehoorbeschermingsmiddelen noodzakelijk. Daarbij worden door de aard van het werk en de werkomstandigheden bepaalde eisen aan deze middelen gesteld. Een van de eisen is, op basis van de heersende geluidniveaus en de spectrale verdeling van de geluiden, voldoende demping van de gehoorbeschermingsmiddelen.

Mede gezien de uit onderzoek (o.a. Berg, R. van den, 1986) gebleken geringere gemiddelde demping en de zeer grote spreiding in individuele dempingswaarden in de concrete arbeidssituatie is het noodzakelijk om bij individuele werknemers de demping te kennen van de door hen persoonlijk gedragen gehoorbeschermingsmiddelen. Dan kan worden vastgesteld of het betrokken gehoorbeschermingsmiddel bruikbaar is of dat de gebruiksinstructie herhaald, c.q. verbeterd moet worden dan wel eventueel een ander middel moet worden voorgeschreven.

Het onderzoek is verdeeld in een aantal fasen:

- fase 1a experimentele fase, waarin in het laboratorium testmethoden worden voorbereid die in fase 2 bij veldonderzoek worden toegepast;
- fase 1b verzamelen en analyseren van geluidgegevens over arbeidsplaatsen bij Hoogovens; hierbij wordt een aantal standaard frequentiespectra van veel voorkomende geluidbronnen in de kolen- en staalindustrie samengesteld;
- fase 2 dempings- en gehoormetingen in veldonderzoek en analyse van gegevens: in het veldonderzoek wordt de frequentie-afhankelijke demping van diverse soorten gehoorbeschermingsmiddelen, zoals deze gedragen worden door individuele werknemers in arbeidssituaties bij Hoogovens, uitgebreid gemeten;
ontwikkelen van een verkorte meetmethode van de demping van gehoorbeschermingsmiddelen;
- fase 3 uittesten van de verkorte meetmethode in veldonderzoek;
- fase 4 herhaling verkorte meetmethode in veldonderzoek;

Dit rapport betreft fase 2, het eerste veldonderzoek. Het betreft een beschrijving van de metingen, de analyse van de meetgegevens en conclusies hieruit.

2. HET EERSTE VELDONDERZOEK

Het eerste veldonderzoek werd in de periode van 10 oktober tot en met 31 oktober 1991 uitgevoerd bij verschillende fabrieken van Hoogovens in IJmuiden. Het onderzoek werd uitgevoerd in de mobiele audiometrie-inrichting, verder audiomobiel genoemd, van het NIPG-TNO. Hiermee kon het onderzoek dicht bij de werkplek worden uitgevoerd.

Het onderzoek omvat het meten van de demping van diverse gehoorbeschermingsmiddelen. Hiervoor werd bij aanvang van het onderzoek gedacht aan ongeveer 150 werknemers verdeeld over een vijftal typen gehoorbeschermingsmiddelen.

Afhankelijk van het type gehoorbeschermingsmiddel werd de meetmethode gekozen (zie hoofdstuk 3). Werknemers van Hoogovens konden vrijwillig aan het onderzoek meedoen. Er zijn vooraf geen eisen aan het gehoor van de werknemers gesteld. Wel moest men regelmatig gehoorbescherming dragen. In eerste instantie werd een oproep gedaan via de mededelingenborden. Hierop kwam onvoldoende respons. Nadat echter eenmaal bij een fabriek gestart was volgden er meer aanmeldingen. Uiteindelijk werden onderstaande middelen, merken en aantallen gemeten.

Tabel 1 Gemeten middelen, merken en aantallen.

Type middel	Merk	Aantal	
KAP	Bilsom Viking	2	(-)
	Peltor H3	16	(13)
	MSA Mark IV	13	(12)
HELMKAP	Bilsom Comfort	21	(20)
	Peltor H3	2	(-)
	Optac Vario	6	(-)
	Silenta Super	1	(-)
	MSA Mark IV	2	(-)
BEUGEL	Ear Caboflex	31	(28)
WAT	Bilsom POP	11	(10)
DOP	Willson EP100	6	(6)
ROL	Ear	31	(29)
OTOPLASTIEK	Varifoon	15	(15)
	Elcea (grijs filter)	14	(12)
	Elcea (bruin filter)	2	(-)

De in tabel 1 tussen haakjes geplaatste aantallen zijn de uiteindelijke aantallen die gebruikt zijn voor de bepaling van de gemiddelde demping en de standaarddeviatie van het middel na selectie van bruikbare audiogrammen (zie hoofdstuk 4). In totaal hebben 173 werknemers aan het onderzoek deelgenomen. De meetresultaten van 145 werknemers zijn uiteindelijk gebruikt.

3. MEETMETHODEN

3.1 Toegepaste methoden en apparatuur in het veldonderzoek

Toegepaste methoden

Afhankelijk van het type gehoorbeschermingsmiddel werd de meetmethode vastgesteld.

Er wordt hierbij onderscheid gemaakt tussen middelen die in de gehoorgang gedragen worden (watten, doppen, rollen en otoplastieken) in het vervolg gehoorgangbeschermers genoemd en middelen die over of tegen de gehoorgang geplaatst worden (kappen, helmkappen en beugels).

Bij werknemers met gehoorgangbeschermers werd de "diepe kap"-methode toegepast met smalle band ruis, eerst met de middelen in, vervolgens zonder middelen, linker en rechteroor apart.

Bij werknemers met kappen en beugels werd de "referentiekap"-methode toegepast, eveneens met smalle band ruis. Hun gehoordrempel werd eerst vastgesteld met hun eigen middel op, vervolgens met de referentiekap op. Beide oren werden tegelijkertijd gemeten (binaural). Daarna werd nog een gehoortest afgenomen, met als testsignaal zuivere tonen, volgens een gangbare audiometrie-methode (ISO 6189).

Beide methoden (diepe kap- en referentiekap methode) zijn methoden afgeleid van de methode beschreven in ISO 4869 (1981). In de rapportage van de experimentele fase zijn deze methoden uitgebreid beschreven. In 3.2 en 3.3 volgt een korte samenvatting.

Voor de metingen werden enkele vragen aan de werknemers gesteld met betrekking tot het dragen van de middelen. Deze vragen zijn hieronder weergegeven. In een later stadium kan hierover een analyse gemaakt worden.

Tabel 2 Vragen aan de werknemers met betrekking tot het dragen van middelen.

-
- | | |
|----|---|
| 1. | leeftijd in jaren |
| 2. | hoe lang is middel al beschikbaar in jaren |
| 3. | draagt men de beschermer: altijd (1), meestal (5), soms (2), bijna nooit (3), nooit (4) |
-

Apparatuur

Alle metingen werden verricht in de audiomobiel van het NIPG-TNO. Bij alle metingen is gebruik gemaakt van dezelfde audiometer: Madsen type OB 802. Het geluidssignaal dat in geval van de referentiekap methode met behulp van een luidspreker wordt aangeboden, werd versterkt door een eindversterker behorend bij de audiometer.

De referentiekap was een Bilsom Viking, dezelfde als uit fase 1a. Ook de diepe kap en de hoofdtelefoon van de audiometer waren dezelfde als uit fase 1a.

3.2 Diepe kap methode.

Bij deze meetmethode wordt het geluid via een hoofdtelefoon, die ingebouwd is in een diepe oorkap, aan de proefpersoon aangeboden. De achtergrondgeluidniveaus in ruimten waar deze methode wordt toegepast kunnen hoger zijn dan bij de luidsprekermethode volgens ISO 4869. De diepe kap methode kan toegepast worden bij beschermingsmiddelen die in de gehoorgang gedragen worden. De hoofdtelefoon moet dan geheel over de beschermingsmiddelen vallen zonder deze te raken. Bij deze methode wordt per oor tweemaal de gehoordrempel gemeten: eenmaal met het middel in en eenmaal zonder het middel. Het verschil is een maat voor de geluiddemping van het middel.

De waarnemingen verkregen met de diepe kap methode zijn in fase 1a getoetst aan die verkregen met de luidsprekermethode volgens ISO 4869 voor het gehele frequentiegebied. Uit de meetresultaten blijkt dat er tussen de beide meetmethoden weinig verschil in de gemiddelde dempingswaarden gemeten wordt. De twee methoden blijken niet significant van elkaar te verschillen bij een betrouwbaarheid van 95% ($p < 0,05$) bij de gemeten frequenties.

3.3 Referentiekap methode

De diepe kap methode is alleen geschikt voor gehoorbeschermingsmiddelen die in de gehoorgang gedragen worden. Daarom is voor kappen en beugels een andere methode en wel een gemodificeerde methode volgens ISO 4869 toegepast, met dien verstande dat de drempelmeting zonder gehoorbeschermingsmiddel vervangen wordt door een drempelmeting met een kap, de *referentie-*

kap. Dit wordt gedaan omdat het achtergrondgeluidniveau in de meeste situaties te hoog zal zijn om een drempelmeting uit te voeren zonder gehoorbeschermingsmiddel.

Van de referentiekap zijn de dempingswaarden en standaarddeviaties in fase 1a gemeten. Dezelfde referentiekap is in de onderhouds fase van het onderzoek toegepast. In tabel 3 zijn de dempingswaarden van de referentiekap gegeven, zoals ze in fase 1a zijn vastgesteld. De dempingswaarden van de te onderzoeken kap of beugel kunnen nu hieruit afgeleid worden.

Tabel 3 Dempingswaarden in dB van de referentiekap (Bilsom Viking) volgens ISO 4869, metingen door het NIPG-TNO.

Frequentie (Hz)	125	250	500	1000	2000	3000	4000	6000	8000
Gemiddelde demping	14,2	22,9	28,3	35,0	36,3	40,4	44,2	47,1	42,5
Standaarddeviatie	1,9	2,6	2,5	3,0	4,8	3,3	4,2	4,5	5,8
Aangenomen demping (dB)	12,3	20,3	25,8	32,0	31,5	37,1	40,0	42,6	36,7

De aangenomen demping is de gemiddelde demping min eenmaal de standaarddeviatie (Arbeidsinspectie, 1987).

4. SELECTIE VAN BRUIKBARE AUDIOGRAMMEN

4.1 Algemeen

In dit hoofdstuk wordt nagegaan welke audiogrammen bruikbaar zijn voor de bepaling van de demping van gehoorbeschermingsmiddelen.

In bijlage I wordt nader op de afleiding ingegaan.

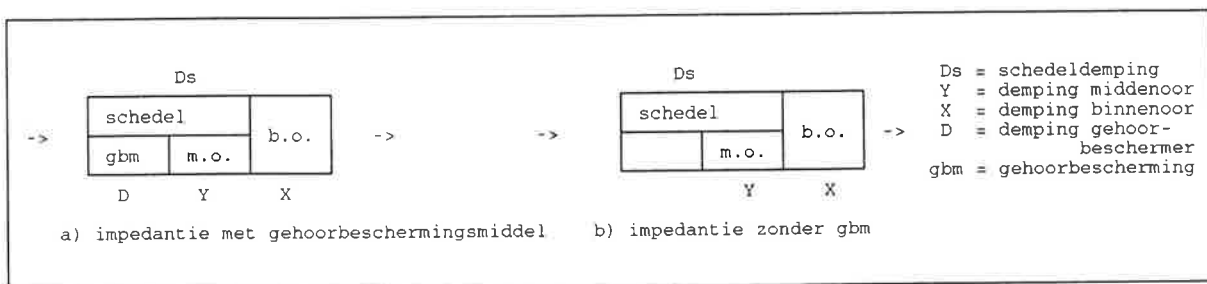
Er wordt onderscheid gemaakt tussen de metingen met de referentiekap en de metingen met de diepe kap omdat bij deze methoden op verschillende wijze de gehoordrempel is vastgesteld.

Er zijn twee parallelle wegen te onderscheiden waarlangs het geluid wordt voortgeplant, namelijk:

- via de gehoorgang en het middenoor;
- via de schedel.

Zonder gehoorbescherming en bij een normaal gehoor geeft de weg via het middenoor (m.o.) uiteraard de minste weerstand (demping). Via het binnenoor (b.o.) wordt het geluid tenslotte doorgegeven aan de gehoorzenuw en kunnen we geluid waarnemen. De diverse componenten zijn in figuur 1 aangegeven.

Figuur 1 De diverse componenten van de geluidwegen.



Er kunnen situaties optreden waardoor er geleiding via de schedel plaatsvindt. Dit is het geval als de geluidweg via het middenoor niet goed functioneert (geleidingsverlies) door een afwijking in het middenoor of wanneer er op de weg naar het middenoor een grote demping van geluid plaatsvindt, zoals mogelijk is bij gebruik van gehoorbescherming (zie figuur 1: gbm). In dit laatste geval is het mogelijk dat de zogenaamd gemeten demping van het gehoorbeschermingsmiddel niet de werkelijke demping is omdat tijdens het dragen van de gehoorbeschermer het horen van het geluid via de

schedel heeft plaatsgevonden. De werkelijke demping van het middel is dan hoger dan de gemeten demping.

Er bestaat ook een vorm van gehoorverlies die in het binnenoor optreedt (in de figuur aangegeven door X), dit is een binnenoorstoomis die een perceptieverlies geeft. Deze vorm van gehoorverlies is niet van invloed op de gemeten demping van gehoorbeschermers en derhalve ook niet op de hier gepresenteerde selectie van audiogrammen.

Volgens Berger (1983) heeft de demping door de schedel (D_s) de waarden zoals gegeven in tabel 4. In die tabel zijn tevens de dempingswaarden van de referentiekap opgenomen. Vergelijken we de demping door de schedel en die van de referentiekap, dan blijken deze dempingen elkaar vanaf 2000 Hz niet veel te ontlopen. De demping van de referentiekap blijkt iets geringer dan die door de schedel. Dat houdt dus in dat al bij geringe waarden van het geleidingsverlies Y de demping door de schedel geringer is dan de som van de demping van de referentiekap en het geleidingsverlies Y. Bij geringe waarden van Y zal er dus bij het meten met de referentiekap bij de hoge frequenties schedelgeleiding plaatsvinden en is een juiste bepaling van de demping van de referentiekap niet mogelijk. Eenzelfde redenering geldt ook voor andere gehoorbeschermers dan de referentiekap. Cruciaal bij de selectie van de werknemers waarvan de gegevens gebruikt kunnen worden in verband met het bepalen van de demping van hun gehoorbeschermers, is kennis van hun geleidingsverlies Y. Omdat vrijwel altijd geldt dat de demping van een gehoorbeschermer hoogfrequent veel groter is dan laagfrequent is met name de inschatting van het geleidingsverlies bij hogere frequenties van belang.

Tabel 4 Gemiddelde schedeldemping en gemiddelde demping referentiekap, waarden in dB.

Frequentie (Hz)	125	250	500	1000	2000	3000	4000	6000	8000
D_s	47	50	57	46	39	47	48	48	48
$D_{refk} (D)$	14	23	28	35	36	40	44	47	43
$\Delta r (=D_s - D)$	33	27	29	11	3	7	4	1	5

Een complicatie bij het selecteren van de werknemers treedt op omdat in het luchtgeleidingsaudiogram en bij de dempingsmeting het totale gehoorverlies ($X + Y$) gemeten is en niet de component X en de component Y afzonderlijk. Daarom is het noodzakelijk om ten behoeve van de selectie een aantal aannames te doen.

De vraag is dus wat het eventuele geleidingsverlies bij de hogere frequenties van de deelnemende werknemers is. Dat is niet af te leiden uit het luchtgeleidingsaudiogram bij die frequenties. Immers, in het luchtgeleidingsaudiogram bij de hogere frequenties ontstaan niet alleen door geleidingsverlies afwijkingen maar ook door blootstelling aan lawaai en tevens heeft de veroudering effect op de gehoorscherpheid bij de hogere frequenties. Bij de lagere frequenties zijn over het algemeen de effecten van leeftijd en blootstelling aan lawaai gering. Een mogelijk geleidingsverlies kan dus het beste afgeleid worden uit verliezen in het luchtgeleidingsaudiogram bij de lagere frequenties. Daarbij kan er bij 125 Hz door het omgevingsgeluid in de audiomobiel maskering zijn opgetreden, terwijl bij frequenties vanaf 1000 Hz de genoemde effecten van leeftijd en lawaai beginnen op te treden. De beste keuze is dus het (gemiddelde) gehoorverlies bij 250 en 500 Hz als indicatie voor een mogelijke geleidingsstoornis die effect heeft op het horen bij de hogere frequenties. Voorzichtigheidshalve wordt uitgegaan van een gemiddelde waarde bij 250 en 500 Hz van 15 dB.

Als de gemiddelde gehoordrempel in het luchtgeleidingsaudiogram bij 250 en 500 Hz groter is dan 15 dB, dan zou er bij de hogere frequenties een geleidingsverlies kunnen zijn waardoor het bepalen van de demping van het eigen gehoorbeschermingsmiddel of van de referentiekap niet mogelijk is. Dit lijkt echter alleen aannemelijk als de gehoordrempels bij 1000 en 2000 Hz ook minimaal zo'n 15 dB zijn. Anders is het waarschijnlijk dat een eventueel geleidingsverlies beperkt is tot de lagere frequenties. Bij de selectie van de werknemers die gehoorbeschermingsmiddelen dragen waarvan de demping wordt vergeleken met die van de referentiekap worden de gegevens van die werknemers niet meegenomen als hun gemiddelde gehoordrempel uit het luchtgeleidingsaudiogram bij 250 en 500 Hz tenminste 15 dB is, tenzij de gehoordrempel bij 1000 en/of 2000 Hz lager ligt dan 15 dB.

Als de complicatie van het meten met de zeer goed dempende referentiekap niet optreedt, zoals het geval is bij metingen met de diepe kap en als de demping van de eigen gehoorbeschermer ook (veel) geringer is dan die van de referentiekap, dan kunnen onder bepaalde voorwaarden de gegevens van die werknemers wel worden meegenomen. Immers, als de demping van het gehoorbeschermingsmiddel plus het geleidingsverlies kleiner is dan de schedelgeleiding, dan is de demping van dat middel te bepalen uit het verschil van de gehoordrempel gemeten met en zonder het middel. Kiezen we voor de schedelgeleiding 50 dB (zie tabel 4) en voor het geleidingsverlies het gemiddelde gehoorverlies bij 250 en 500 Hz dan worden de gegevens van die werknemers niet meegenomen waarvoor geldt dat het verschil tussen de gehoordrempel met en zonder gehoorbeschermer groter is dan $50 - HL_{\text{laagfrequent}}$, waarbij de laagfrequente gehoordrempel, gemiddeld over 250 en 500 Hz, tenminste 15 dB is.

Omdat de metingen met de diepe kap geschieden voor het linker- en rechteroor afzonderlijk mag het verschil tussen de gehoordrempel van het linker- en van het rechteroor niet te groot zijn. Hiervoor wordt een verschil van 40 dB als selectie criterium aangehouden.

In totaal zijn op deze wijze 14 werknemers uitgeselecteerd.

4.2 Audiogrammen met grote drempelverschillen bij aanliggende frequenties

Uit de drempelaudiogrammen gemeten met behulp van zuivere tonen is geconstateerd dat er bij sommige werknemers grote verschillen optreden in gehoordrempels bij twee aanliggende frequenties (lawaaidip). In verband hiermee is nagegaan hoe het verloop is van het niveau van de smalle band ruis als functie van de frequentie. De niveauafname van de smalle band ruis blijkt volgens opgave van de leverancier ongeveer 24 dB/oktaaf te bedragen.

Dit betekent bij meting met een smalle band ruis voor iemand met een verschil in gehoordrempel gemeten met zuivere toon van 25 dB of meer bij twee frequenties die een octaaf uit elkaar liggen het volgende. Als een smalle band ruis met een bepaalde middenfrequentie wordt aangeboden en die middenfrequentie is die van de relatief hoogste gehoordrempel, dan wordt deze ruis niet gehoord bij die middenfrequentie, maar bij andere frequenties. De meting levert dan niet de gehoordrempel bij de middenfrequentie van de smalle band ruis, maar bijvoorbeeld de gehoordrempel plus 24 dB bij een frequentie een octaaf lager.

In feite wordt niet de gehoordrempel bij de aangeboden (midden)frequentie gemeten maar bij andere frequenties die in het aangeboden ruissignaal hoorbaar zijn. Bij de intervallen van een 1/2 oktaaf (3000 en 6000 Hz) is dit al het geval bij een verschil van 12 dB.

Dit effect is duidelijk waarneembaar doordat de scherpe dippen, gemeten met zuivere tonen, niet meer in het drempelaudiogram gemeten met smalle band ruis voorkomen. Het gevolg hiervan is dat de dempingswaarden bij deze frequenties niet berekend kunnen worden. Dit effect wordt nog eens versterkt door de (mogelijke) toename van de demping van het te meten gehoorbeschermingsmiddel bij deze frequenties. Het effect treedt ook alleen op bij de hogere frequenties (boven 1000 Hz).

Drempelaudiogrammen met behulp van zuivere tonen zijn alleen afgenomen bij de onderzoeken verricht met de referentiekap methode, dus bij de werknemers die oorkappen, helmkappen of beugels dragen. Alleen voor deze populatie kan dus een selectie worden gemaakt.

Het drempelaudiogram (met smalle band ruis) wordt bij de referentiekap methode binaural gemeten, dat wil zeggen dat het signaal aan twee oren tegelijk wordt aangeboden. Dit betekent dat de drempel wel bepaald kan worden als de scherpe dip in het toonaudiogram slechts aan één oor optreedt.

Om niet onnodig materiaal verloren te laten gaan is in plaats van de theoretisch juiste waarde van 15 dB toch gekozen voor een mildere selectie en zijn alleen waarden vanaf 25 dB uit het onderzoek verwijderd. Bij grotere verschillen in de waarnemingen voor zowel het linker- als rechteroor voor opvolgende 1/2 oktaafbanden in het toondrempelaudiogram zijn deze waarnemingen uitgesloten van de berekening van de gemiddelde demping en de standaarddeviaties.

Een voorbeeld uit de praktijk: in tabel 5 zijn voor de hoge frequenties de gehoordrempels uit het toondrempelaudiogram links en rechts gegeven. Daarnaast is het verschil in gehoordrempel uit het toondrempelaudiogram met de voorgaande frequentie gegeven. Hierbij is de laagste waarde aangehouden in verband met het beste oor. Vervolgens twee kolommen waarin de drempelwaarden binaural gemeten met smalle band ruis voor de eigen kap en de referentiekap vermeld staan. Bij meting bij 6000 Hz wordt in feite het signaal bij 4000 Hz gehoord en dus gemeten, want het ruisbandje met middenfrequentie van 6000 Hz van 45 dB (met eigen kap) heeft bij 4000 Hz een niveau van $45 - 15 = 30$ dB en kan bij 4000 Hz gehoord worden. In de laatste twee kolommen tenslotte de gegeven dempingswaarde van de referentiekap en de berekende waarde voor de eigen kap. De berekende waarde voor de eigen kap is uiteraard ook fout omdat deze berekend wordt uit het verschil van de (foute) drempelwaarden vermeerderd met de dempingswaarde van de referentiekap.

Tabel 5 Voorbeeld met betrekking tot selectie van waarnemingen. Alle waarden in dB.

frequentie in Hz	toonaudiogram		verschil met voorgaande frequentie voor beste oor	drempelwaarden (ruis)		dempingswaarden	
	links	rechts		ref. kap	eigen kap	ref. kap	eigen kap
2000	5	5	0	40	30	36	26
3000	5	5	0	40	30	40	30
4000	5	5	0	40	60	44	34
6000	40	35	30	*55	*45	47	**37
8000	10	15	-20	60	40	42	22

* Complicatie in meting, ** verkeerde berekening.

Op deze wijze zijn enkele waarnemingen bij sommige frequenties uitgeselecteerd. In tabel 6 wordt aangegeven hoeveel waarnemingen (n) er per frequentie gebruikt konden worden. Overigens blijkt deze selectie niet van invloed te zijn op de gemiddelde dempingswaarde en de standaarddeviaties.

5. MEETRESULTATEN

Nadat selectie heeft plaatsgevonden op grond van de in hoofdstuk 4 vermelde voorwaarden zijn de gemiddelde dempingswaarden en standaarddeviaties berekend voor de diverse gehoorbeschermingsmiddelen zoals ze in de praktijk bij Hoogovens IJmuiden gedragen worden. Er is hierbij een verdeling gemaakt naar type en merk middel. Het aantal metingen moet volgens ISO 4869 meer dan 10 bedragen, waardoor voor enkele gemeten merken uit tabel 1 geen waarden berekend zijn.

Voor de kappen, helmkappen en beugels zijn de metingen en berekeningen verricht volgens de referentiekap methode, dat wil zeggen het verschil tussen drempelwaarden met eigen middel (HL_{kap}) en referentiekap (HL_{refk}) vermeerderd met de dempingswaarde van de referentiekap (D_{refk}) geeft de dempingswaarde van het eigen middel (D_{kap}):

$$D_{\text{kap}} = HL_{\text{kap}} - HL_{\text{refk}} + D_{\text{refk}}$$

De dempingswaarden van de referentiekap die in de experimentele fase gemeten zijn, zijn daarbij gebruikt voor de berekeningen. Dit zijn de waarden uit tabel 3.

Voor de overige (gehoorgang)middelen is het verschil tussen de drempelwaarde met en zonder middel de dempingswaarde. In tabel 6 zijn de resultaten weergegeven. Hierin zijn ook de aangenomen dempingswaarden berekend, dit is de gemiddelde demping min eenmaal de standaarddeviatie (Arbeidsinspectie, 1987).

Tabel 6 Gemiddelde dempingswaarden (eerste regel per middel: g.d.), standaarddeviaties (tweede regel per middel: s.d.) en aangenomen demping (derde regel per middel: a.d.). Alle waarden in dB. Voor kappen, helmkappen en beugels is tevens per frequentie het aantal metingen gegeven (zie ook hoofdstuk 4.4).

Type	Merk	Aantal		Frequentie in Hz									
				125	250	500	1000	2000	3000	4000	6000	8000	
KAP	Peltor H3	n	g.d.	14,2	23,3	28,7	31,2	36,3	37,2	38,4	37,1	32,5	
			s.d.	2,8	4,1	3,1	3,5	5,2	3,2	6,4	9,6	9,2	
			a.d.	11,4	19,2	25,6	27,7	31,1	34,0	32,0	27,5	23,3	
			n	13	13	13	13	13	11	12	13	13	
	MSA Mark IV	n	g.d.	14,6	21,1	24,6	31,2	30,4	36,6	36,6	36,0	29,2	
			s.d.	5,5	8,0	8,6	11,1	10,5	11,9	11,3	12,9	11,0	
			a.d.	9,1	13,1	16,0	20,1	19,9	24,7	25,3	23,1	18,2	
			n	13	13	13	13	13	12	13	11	13	
HELMKAP	Bilsom Comfort	n	g.d.	11,7	19,4	20,3	26,0	28,0	32,4	36,6	38,2	32,0	
			s.d.	4,0	2,3	4,8	4,1	6,4	6,6	6,8	7,7	10,1	
			a.d.	7,7	17,1	15,5	21,9	21,6	25,8	29,8	30,5	21,9	
			n	20	20	20	20	20	20	19	19	20	
BEUGEL	Caboflex	n	g.d.	10,1	15,6	10,1	11,3	18,3	26,0	27,7	32,1	25,2	
			s.d.	7,7	6,5	8,5	7,5	7,1	6,3	8,4	10,3	9,9	
			a.d.	2,4	9,1	1,6	3,8	11,2	19,7	19,3	21,8	15,3	
			n	28	28	28	28	28	27	27	26	28	
OTOPLASTIEK	Elcea H03 grijs filter	24	g.d.	7,7	11,5	13,5	21,9	30,2	33,5	33,1	34,0	32,5	
			s.d.	6,5	6,8	8,8	10,3	7,3	5,9	9,0	11,7	10,6	
			a.d.	1,2	4,7	4,7	11,6	22,9	27,6	24,1	22,3	21,9	
	Varifoon	30	g.d.	19,5	22,5	27,7	30,5	37,2	41,3	38,8	40,3	39,3	
			s.d.	7,7	8,1	10,4	9,6	6,9	7,9	8,0	8,7	9,6	
			a.d.	11,8	14,4	17,3	20,9	30,3	33,4	30,8	31,6	29,7	
ROLLEN	EAR-plugs	58	g.d.	19,5	22,5	24,5	25,6	35,5	40,4	42,3	43,0	43,8	
			s.d.	8,1	9,2	11,1	9,4	7,4	8,6	9,3	9,2	9,1	
			a.d.	11,4	13,3	13,4	16,2	28,1	31,8	33,0	33,8	34,7	
DOPPEN	Willson EP100	12	g.d.	7,9	8,3	9,2	9,6	15,4	19,2	19,6	18,3	17,1	
			s.d.	8,4	10,7	11,8	6,7	6,7	9,4	13,4	14,0	13,4	
			a.d.	-0,5	-2,4	-2,6	2,9	8,7	9,8	6,2	4,3	3,7	
WATTEN	Bilsom POP	20	g.d.	7,3	8,5	13,0	15,8	27,0	31,5	31,0	33,3	32,0	
			s.d.	6,4	9,0	8,7	8,3	6,4	6,5	9,9	9,3	8,0	
			a.d.	0,9	-0,5	4,3	7,5	20,6	25,0	21,1	24,0	24,0	

In tabel 7 zijn de gemiddelde dempingswaarden van de in het veldonderzoek betrokken middelen weergegeven zoals ze door de fabrikant zijn opgegeven. Over het algemeen zijn dit meetresultaten verkregen volgens de gestandaardiseerde methode ISO 4869, soms volgens een andere standaard.

Tabel 7 Gemiddelde dempingswaarden (g.d.), standaarddeviaties (s.d.) en aangenomen demping (a.d.) in dB volgens opgave leverancier of fabrikant.

Type	Merk		Frequentie in Hz								
			125	250	500	1k	2k	3k	4k	6k	8k
KAP	Peltor H3	g.d.	9,5	18,2	28,7	41,3	36,9	45,9	38,8	26,4	30,0
		s.d.	2,4	3,3	3,1	4,6	7,6	4,4	5,7	4,5	9,2
		a.d.	7,1	14,9	25,6	36,7	29,3	41,5	33,1	21,9	20,8
	MSA Mark IV	g.d.	14,2	19,1	28,4	33,6	36,5	39,6	40,3	40,0	40,5
		s.d.	2,2	1,4	1,9	1,7	2,2	3,0	3,0	2,6	3,9
		a.d.	12,0	17,7	26,5	31,9	34,3	36,6	37,3	37,4	36,6
HELMKAP	Bilsom Comfort	g.d.	8,2	14,7	23,2	31,0	36,9	-	43,3	-	34,8
		s.d.	5,9	4,1	3,8	3,7	3,9	-	2,8	-	8,8
		a.d.	2,3	10,6	19,4	27,3	33,0	-	40,5	-	26,0
BEUGEL	Caboflex	g.d.	26,7	26,5	25,3	27,6	28,2	-	38,0	-	37,8
		s.d.	4,0	5,3	7,6	5,4	5,2	-	5,8	-	7,1
		a.d.	22,7	21,2	17,7	22,2	23,0	-	32,2	-	30,7
OTOPLASTIEK	Elcea H03 grijs filter	g.d.	11,8	16,0	21,9	28,0	36,6	-	45,7	-	32,7
		s.d.	3,3	1,8	3,1	3,9	4,6	-	4,6	-	5,2
		a.d.	8,5	14,2	18,8	24,1	32,0	-	41,1	-	27,5
	Varifoon ¹⁾	g.d.	24,9	25,2	28,9	35,0	42,7	49,7	45,3	39,0	33,2
		s.d.	4,6	3,8	2,8	3,4	4,7	2,5	4,2	7,5	10,3
		a.d.	20,3	21,4	26,1	31,6	38,0	47,2	41,1	31,5	22,9
ROLLEN	EAR-plugs	g.d.	28,0	27,8	30,6	33,2	37,2	-	45,0	-	41,2
		s.d.	6,7	3,2	3,5	3,0	6,9	-	8,3	-	6,8
		a.d.	21,3	24,6	27,1	30,2	30,3	-	36,7	-	34,4
DOPPEN	Willson EP100	g.d.	21,0	20,5	21,5	22,5	31,0	-	45,5	-	42,5
		s.d.	5,5	6,5	8,0	5,5	3,5	-	7,5	-	5,5
		a.d.	15,5	14,0	13,5	17,0	27,5	-	38,0	-	37,0
WATTEN	Bilsom POP	g.d.	15,5	18,0	20,3	24,0	29,6	-	35,2	-	29,8
		s.d.	6,3	7,5	5,9	4,7	3,9	-	4,2	-	9,7
		a.d.	9,2	10,5	14,4	19,3	25,7	-	31,0	-	20,1

Overgenomen uit NIA-Koopwijzer (uitgezonderd MSA Mark IV en Bilsom producten, uit folder).

¹⁾ Verzwakkingsinstelling en meetmethode onbekend.

In tabel 8 zijn de verschillen in gemiddelde dempingswaarden tussen de door het NIPG-TNO in de praktijk bepaalde waarden en de opgaves volgens de fabrikant.

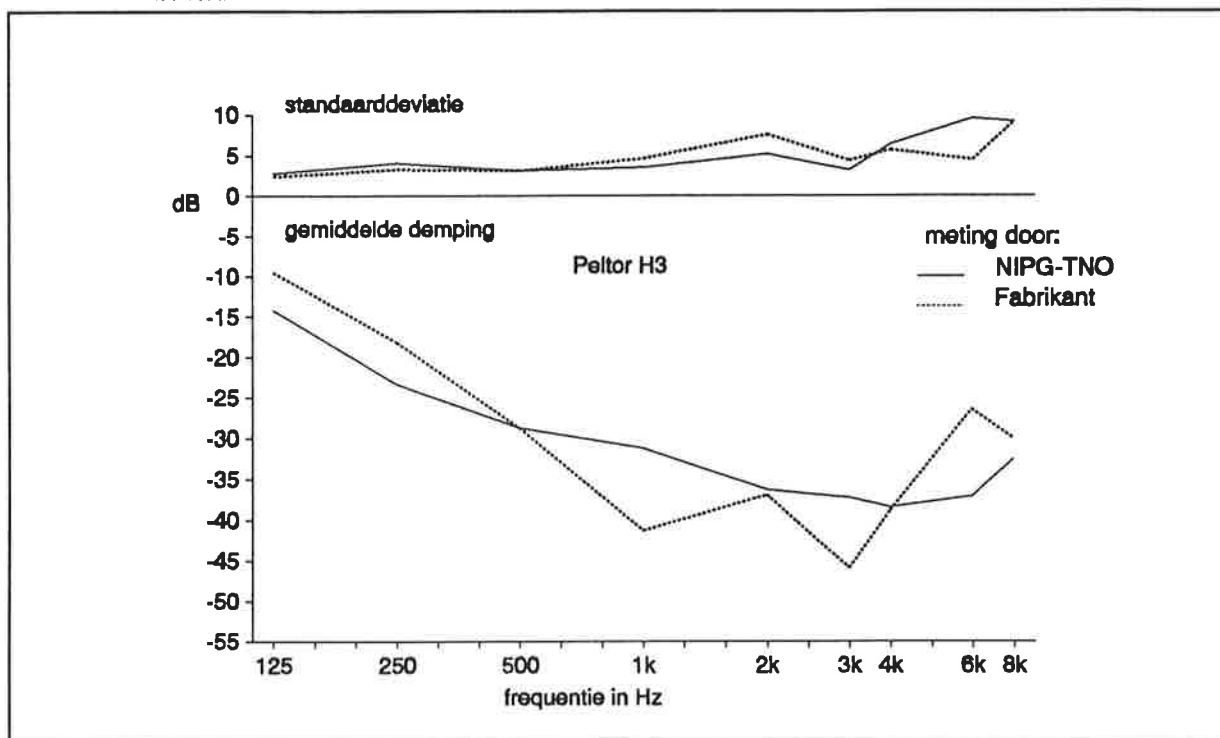
Tabel 8 Verschillen in gemiddelde dempingswaarden in dB tussen gestandaardiseerde metingen en praktijkmetingen.

Type	Merk	Frequentie in Hz								
		125	250	500	1k	2k	3k	4k	6k	8k
KAP	Peltor H3	-4,7	-5,1	0	10,1	0,6	8,7	0,4	-10,7	-2,5
	MSA Mark IV	-0,4	-2,0	3,8	2,4	6,1	3,0	3,7	4,0	11,3
HELMKAP	Bilsom Comfort	-3,5	-4,7	2,9	5,0	8,9	-	6,7	-	2,8
BEUGEL	Caboflex	16,6	10,9	15,2	16,3	9,9	-	10,3	-	12,6
OTOPLASTIEK	Elcea H03 (grijs filter)	4,1	4,5	8,4	6,1	6,4	-	12,6	-	0,2
	Varifoon	5,4	2,7	1,2	4,5	5,5	8,4	6,5	-1,3	-6,1
ROLLEN	EAR-plugs	8,5	5,3	6,1	7,6	1,7	-	2,7	-	-2,6
DOPPEN	Willson EP100	13,1	12,2	12,3	12,9	15,6	-	25,9	-	25,4
WATTEN	Bilsom POP	8,2	9,5	7,3	8,2	2,6	-	4,2	-	-2,2

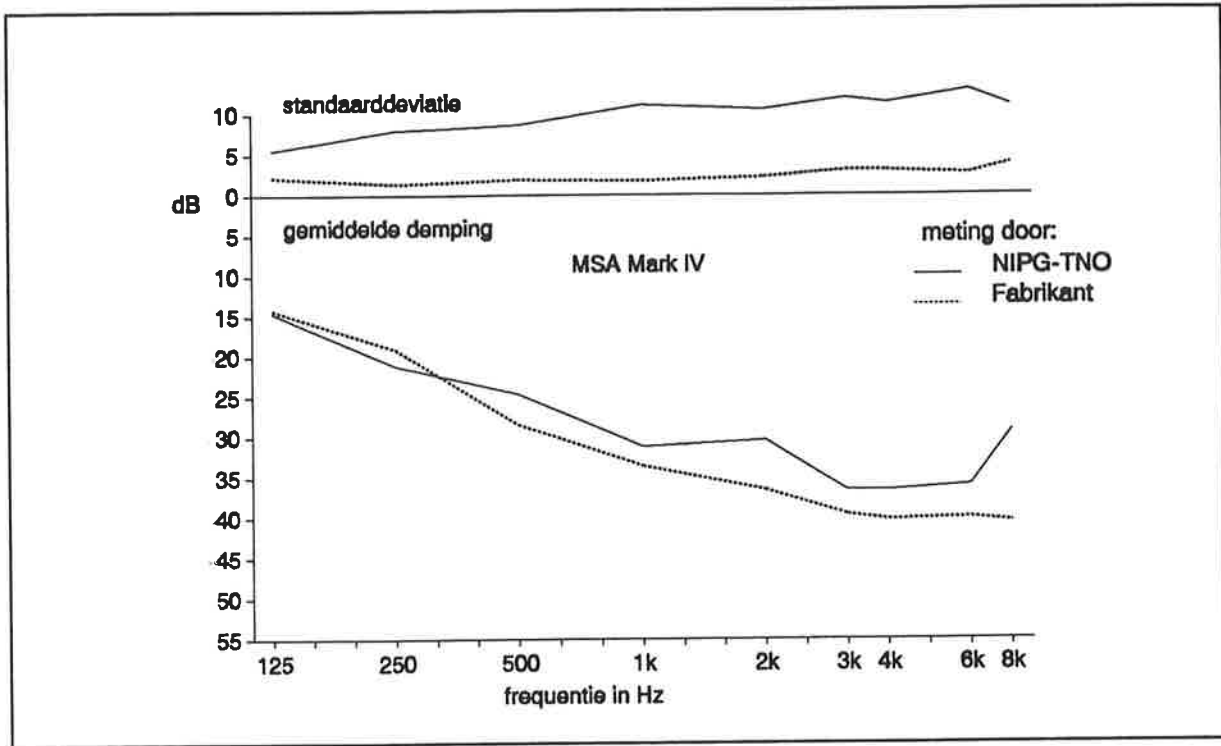
Een positieve waarde betekent dat de demping in de praktijktest lager is.

Tenslotte zijn de waarden uit de tabellen grafisch weergegeven per gehoorbeschermingsmiddel in de figuren 2 tot en met 10.

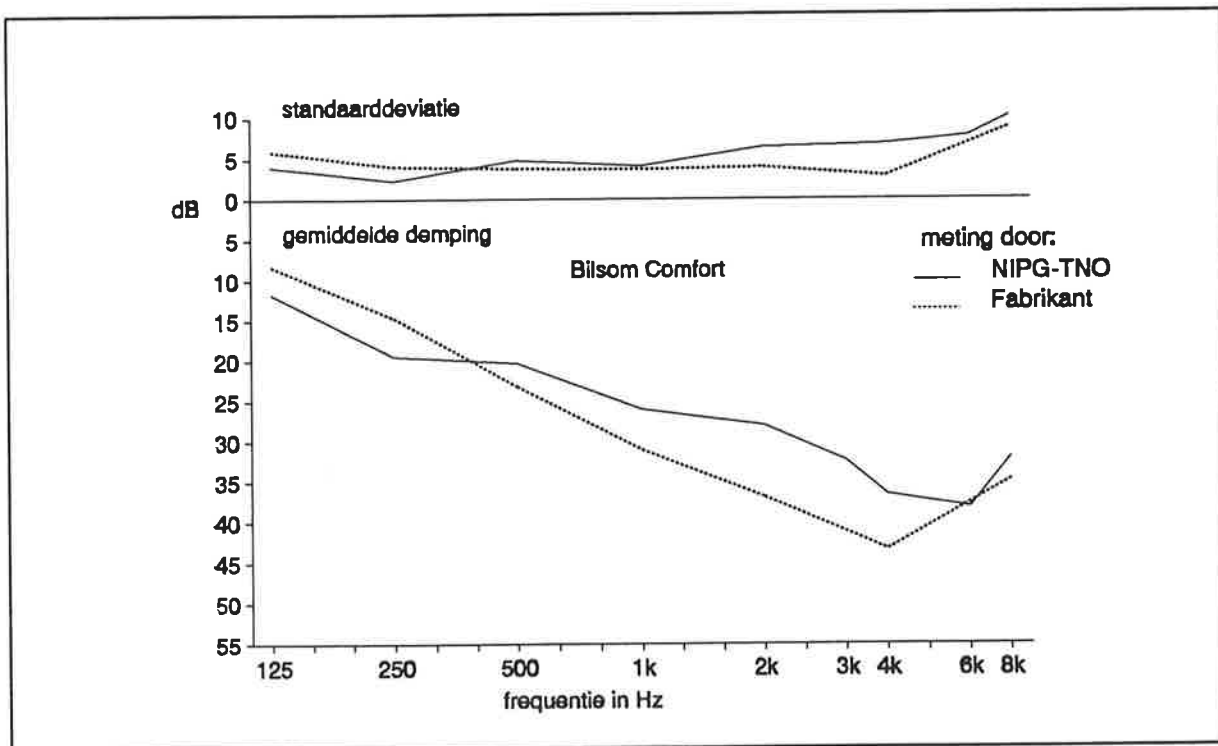
Figuur 2 Gemiddelde demping en standaarddeviatie voor de oorkap Peltor H3, zoals gemeten door het NIPG-TNO en zoals opgegeven door de fabrikant.



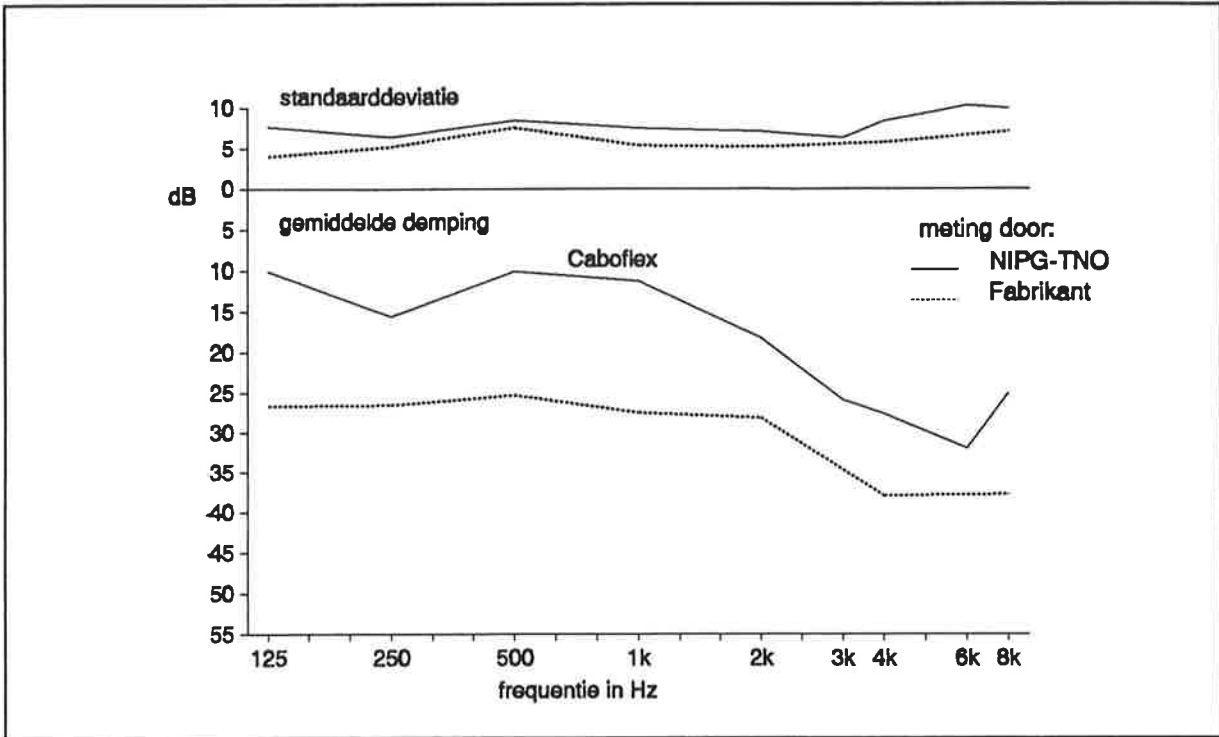
Figuur 3 Gemiddelde demping en standaarddeviatie voor de oorkap MSA Mark IV, zoals gemeten door het NIPG-TNO en zoals opgegeven door de fabrikant.



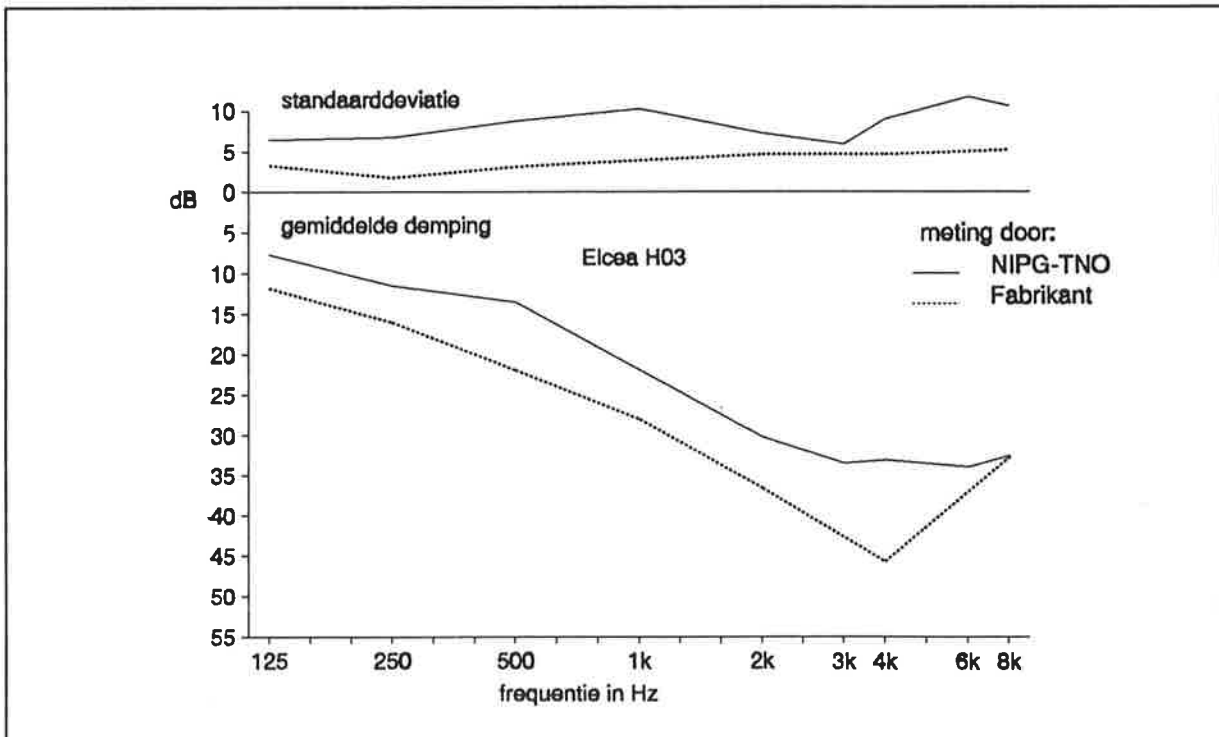
Figuur 4 Gemiddelde demping en standaarddeviatie voor de helmkap Bilsom Comfort, zoals gemeten door het NIPG-TNO en zoals opgegeven door de fabrikant.



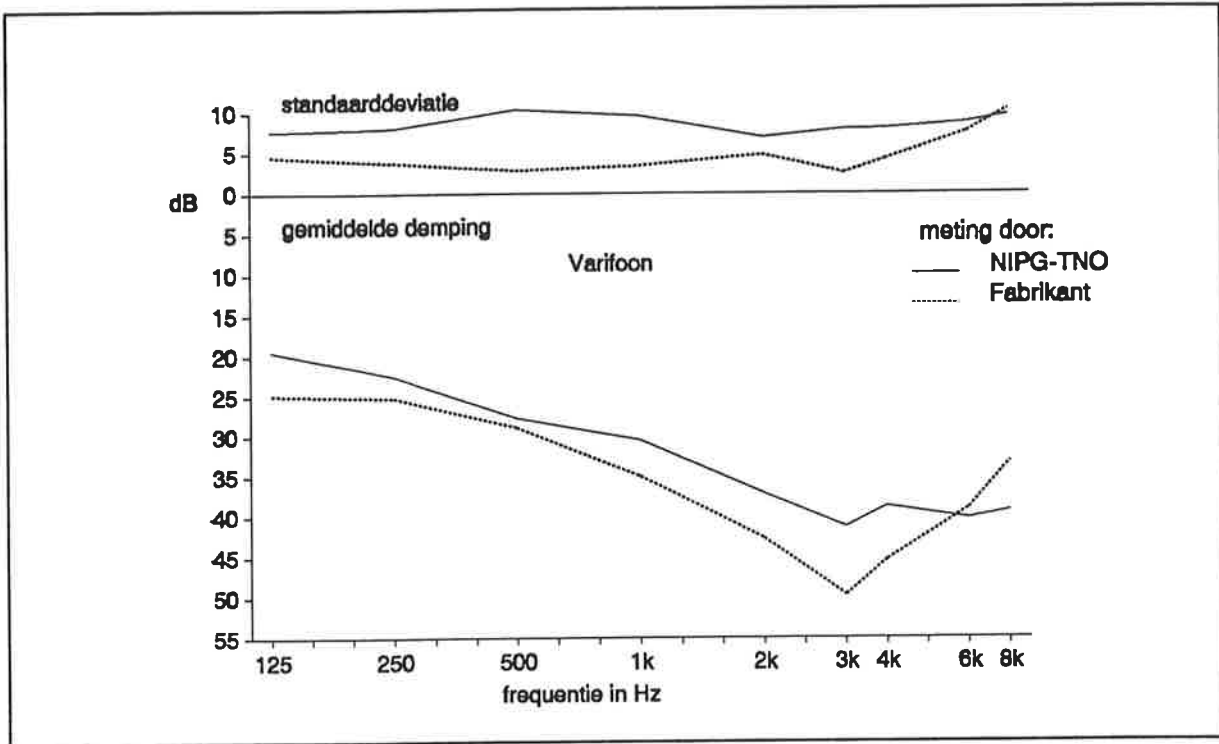
Figuur 5 Gemiddelde demping en standaarddeviatie voor de beugel Caboflex, zoals gemeten door het NIPG-TNO en zoals opgegeven door de fabrikant.



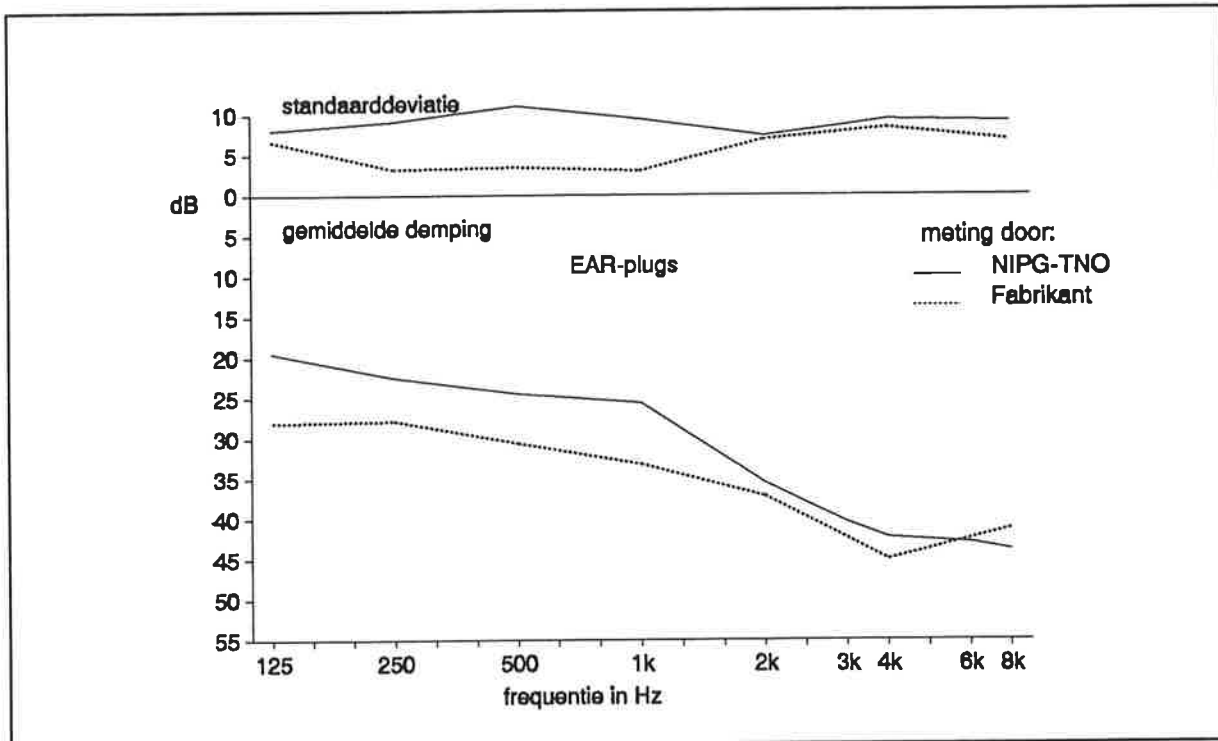
Figuur 6 Gemiddelde demping en standaarddeviatie voor het otoplastiek Elcea H03, zoals gemeten door het NIPG-TNO en zoals opgegeven door de fabrikant.



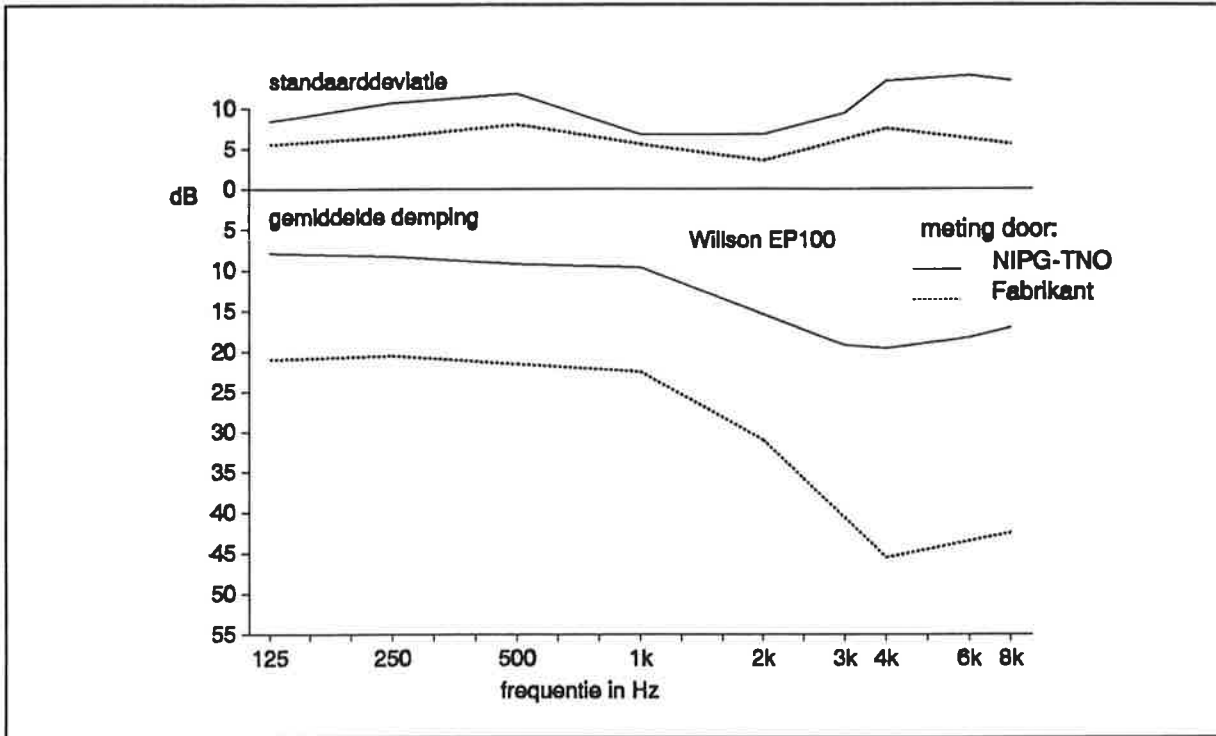
Figuur 7 Gemiddelde demping en standaarddeviatie voor het otoplastiek Varifoon, zoals gemeten door het NIPG-TNO en zoals opgegeven door de fabrikant.



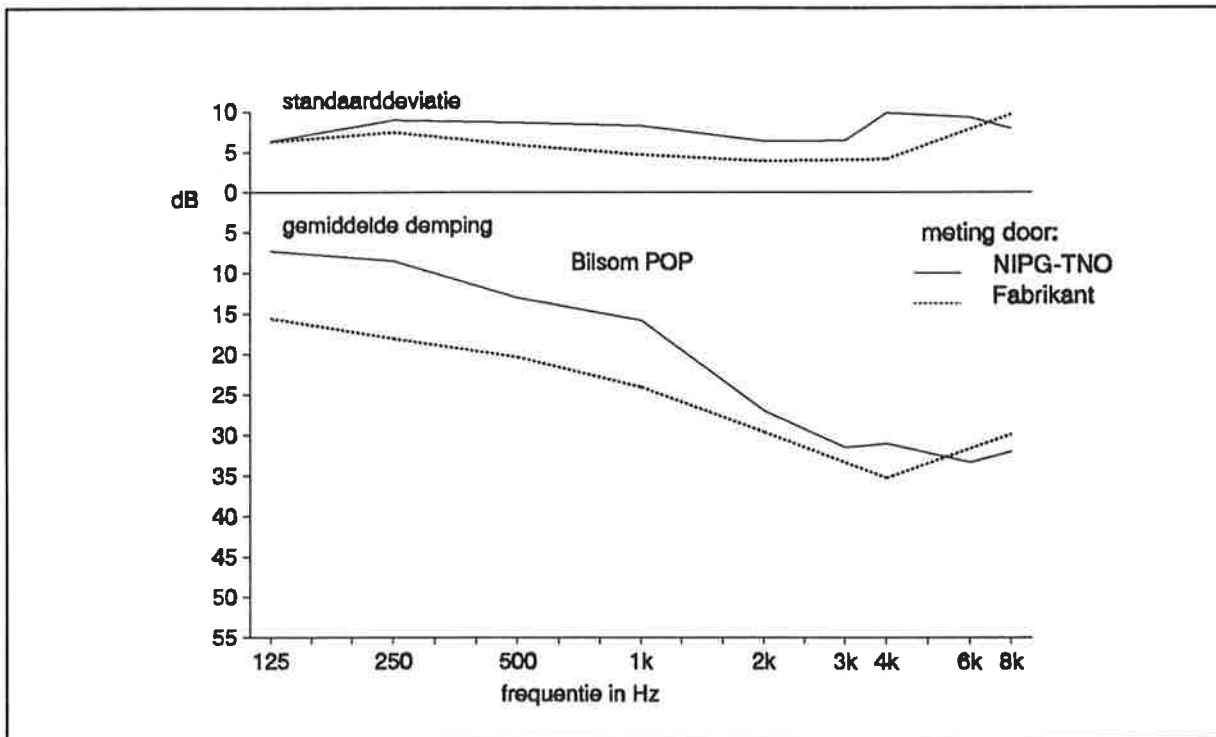
Figuur 8 Gemiddelde demping en standaarddeviatie voor EAR-plugs, zoals gemeten door het NIPG-TNO en zoals opgegeven door de fabrikant.



Figuur 9 Gemiddelde demping en standaarddeviatie voor doppen Willson EP100, zoals gemeten door het NIPG-TNO en zoals opgegeven door de fabrikant.



Figuur 10 Gemiddelde demping en standaarddeviatie voor watten Bilsom POP, zoals gemeten door het NIPG-TNO en zoals opgegeven door de fabrikant.



6. BESPREKING EN CONCLUSIES

Behar (1985) heeft de demping van kappen, rollen, watten en beugels eveneens onder praktijkomstandigheden gemeten. De samengevatte resultaten zijn in tabel 9 vermeld. Hierin worden de aangenomen dempingswaarden gemiddeld over 250 en 500 Hz gegeven. Dezelfde vergelijking is gemaakt voor het onderhavige onderzoek en wordt in tabel 10 gepresenteerd.

Opvallend is de overeenkomst in de uitkomsten van beide onderzoeken: de demping van kappen (mits zonder modificaties) behalen in de praktijk ongeveer dezelfde waarden als in het laboratorium. Alle overige middelen hebben in de praktijk een (veel) lagere dempingswaarde, met name de onderzochte doppen en watten.

Tabel 9 Aangenomen demping in dB, gemiddeld over 250 en 500 Hz, (Behar, 1985).

Type	Laboratorium	Praktijk
KAP (bedrijf C), netjes	16,2	14,0
(bedrijf A), slordig en modificaties	24,5	8,2
ROLLEN	30,0	10,4
WATTEN	22,5	4,2
semi-aural doppen (BEUGEL)	21,0	5,6

Tabel 10 Aangenomen demping in dB, gemiddeld over 250 en 500 Hz.

Type	Merk	Opgave leverancierpraktijk
KAP	Peltor H3	20,2
	MSA Mark IV	22,1
HELMKAP	Bilsom Comfort	15,0
BEUGEL	Caboflex	19,4
OTOPLASTIEK	Elcea H03 (grijs filter)	16,5
	Varifoon	23,7
ROLLEN	EAR-plugs	25,8
DOPPEN	Willson EP100	13,7
WATTEN	Bilsom POP	2,4

Behalve voor oorkappen zijn in vrijwel alle gevallen (merk en frequentieband) de gemiddelde dempingswaarden gemeten in praktijksituaties lager dan die gemeten bij proefpersonen in

laboratoria onder gestandaardiseerde omstandigheden. De grootste verschillen treden op bij de beugels, doppen en watten.

- De *kappen en helmkappen* vertonen weinig verschil; in de praktijk worden zelfs nog enkele waarden gemeten die hoger zijn. Opvallend zijn de hoge standaarddeviaties voor de MSA Mark IV kap, over het hele frequentiegebied, in vergelijking met de andere kappen.
- Bij de *beugels* liggen de gemiddelde dempingswaarden in de praktijksituatie over het hele frequentiegebied 10 tot 15 dB lager;
- bij *doppen* liggen de gemiddelde dempingswaarden in de lage frequenties 12 tot 15 dB en in de hoge frequenties zo'n 25 dB lager. De aangenomen demping is voor lage frequenties vrijwel 0. Voor de doppen zijn echter slechts 12 metingen verricht.
- Bij de *watten* liggen de praktijkwaarden laagfrequent (tot en met 1000 Hz) ook 10 tot 15 dB lager en hoogfrequent 0 tot 6 dB. De aangenomen demping is ook voor watten voor lage frequenties vrijwel 0.
- De gemiddelde dempingswaarden van de *otoplastieken* liggen over het gehele frequentiegebied ongeveer 5 tot 10 dB lager. Dit komt overeen met eerder gevonden resultaten van praktijkmetingen. Vergelijking van de meetgegevens van de Varifoon met de waarden opgegeven door de fabrikant wordt bemoeilijkt omdat hiervan niet bekend is welke gestandaardiseerde methode is toegepast en voor welke dempingsinstelling van de stelschroef deze uitgevoerd is.
- De *rollen* dempen voor lage frequenties gemiddeld 5 tot 8 dB minder dan de fabrikant opgeeft en als men uitgaat van de aangenomen demping zo'n 12 dB.

LITERATUUR

ARBEIDSINSPECTIE. Publikatieblad lawaai op de arbeidsplaats. Gehoorbeschermingsmiddelen. Voorburg: Arbeidsinspectie, 1987. P 166-2.

BEHAR A. Field evaluation of hearing protectors. Noise Cont Eng J 1985:24

BERG R van den, GRUNDEL A, PASSCHIER-VERMEER W. De effectiviteit van in de gehoorgang gedragen gehoorbeschermingsmiddelen in praktijksituaties. Leiden: Nederlands Instituut voor Praeventieve Gezondheidszorg - TNO, 1986.

BERG R van den, PASSCHIER-VERMEER W, CRIJNS H. Persoonlijke gehoorbeschermingsmiddelen in concrete arbeidssituaties. Experimentele fase: fase 1a. Leiden: Nederlands Instituut voor Praeventieve Gezondheidszorg - TNO, 1993. Publ.nr. 93.018.

BERGER EH. Laboratory attenuation of earmuffs and earplugs both singly and in combination. Am Ind Hyg Assoc J 1983;44(5):321-9.

INTERNATIONAL ORGANISATION FOR STANDARDIZATION (ISO). Acoustics: Measurement of sound attenuation of hearing protectors: subjective method. Geneva: ISO, 1981. ISO 4869-1981.

INTERNATIONAL ORGANISATION FOR STANDARDIZATION (ISO). Acoustics: Pure-tone air-conduction threshold audiometry for hearing conservation purposes. Geneva: ISO, 1983. ISO 6189-1983.

NEDERLANDS INSTITUUT VOOR ARBEIDSOMSTANDIGHEDEN (NIA). Koopwijzer Gehoorbeschermers. Amsterdam: NIA, 1987.

BIJLAGE

pagina

BIJLAGE 1 Afleiding selectiecriteria van bruikbare audiogrammen

27

BIJLAGE 1

Afleiding selectiecriteria van bruikbare audiogrammen

1. ALGEMEEN

In deze bijlage wordt nagegaan welke audiogrammen bruikbaar zijn voor de bepaling van de demping van gehoorbeschermingsmiddelen. Er wordt weer onderscheid gemaakt tussen de metingen met de referentiekap en de metingen met de diepe kap omdat bij deze methoden op verschillende wijze de gehoordrempel is vastgesteld.

2. METINGEN MET DE REFERENTIEKAP

2.1 Metingen bij personen zonder geleidingsverlies

De demping van de referentiekap (D_{refk}) is voor alle frequenties geringer dan de schedeldemping (D_s) (zie tabel 4). Als er geen geleidingsverlies is ($Y=0$) dan geldt voor de referentiekap:

$$HL_{refk} = D_{refk} + X + \gamma \quad \gamma: \text{ is een normeringsconstante afhankelijk van de condities}$$

en als aangenomen wordt dat de demping van een te meten kap of beugel (in deze paragraaf verder aangegeven met kap) niet groter is dan de schedeldemping ($D_{kap} \leq D_s$) dan geldt

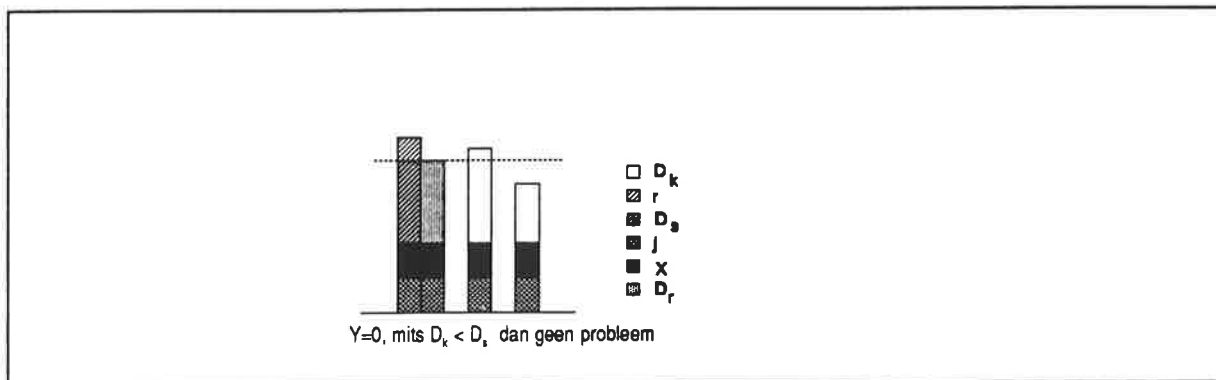
$$HL_{kap} = D_{kap} + X + \gamma$$

en dus geldt:

$$HL_{refk} - HL_{kap} = D_{refk} - D_{kap} \quad [1]$$

De conclusie hieruit is dat er geen problemen zullen optreden bij het bepalen van de demping van een kap of beugel (zolang de demping hiervan geringer is dan die van de schedel), ook niet als er een perceptieverlies is ($X \neq 0$). Immers D_{kap} kan uit HL_{refk} , HL_{kap} en D_{refk} volgens [1] worden bepaald, nadat HL_{refk} en HL_{kap} zijn gemeten en D_{refk} bekend is (zie ook figuur 11).

Figuur 11 Metingen bij personen zonder geleidingsverlies



2.2 Metingen bij personen met geleidingsverlies

Als er wel sprake is van geleidingsverlies dan geldt dat $Y > 0$.

Er zijn nu twee situaties te onderscheiden, namelijk:

- Δr is *groot*; uit tabel 4 blijkt dat dit bij 125, 250 en 500 Hz het geval is, en
- Δr is *klein*, voor frequenties vanaf 1000 Hz.

ad a) Δr is *groot* (bij 125, 250 en 500 Hz);

Als het geleidingsverlies *kleiner* is dan het verschil in demping tussen de schedel en de referentiekap ($Y < \Delta r$) dan geldt (zie ook figuur 12a):

$$HL_{refk} = D_{refk} + Y + \delta$$

$$HL_{kap} = D_{kap} + Y + \delta$$

$$HL_{refk} - HL_{kap} = D_{refk} - D_{kap}$$

Als blijkt dat $HL_{kap} \leq HL_{refk}$ dan is zeker juist dat

$$HL_{kap} = D_{kap} + Y + \delta$$

Maar als $HL_{kap} > HL_{refk}$ dan is bij het dragen van de kap schedelgeleiding mogelijk. Dat geldt als $D_{kap} + Y > D_s$, dus als

$$D_{kap} > D_s - Y$$

Conclusie: er zullen geen problemen zijn met het meten van de demping van een gehoorbeschermingsmiddel in de lage frequenties als het geleidingsverlies kleiner is dan

het verschil in demping tussen de schedel en de referentiekap *en* de demping van de gemeten kap kleiner is dan de demping van de referentiekap.

Als het geleidingsverlies *groter* is dan het verschil in demping tussen de schedel en de referentiekap ($Y > \Delta r$) dan zal het geluidtransport via de schedel bepalend zijn als de referentiekap gedragen wordt:

$$Y > \Delta r,$$

$$Y > D_s - D_{\text{refk}},$$

$D_s < Y + D_{\text{refk}}$, met andere woorden de demping van de schedel is kleiner dan de weg via het middenoor.

en geldt: $HL_{\text{refk}} = D_s + \delta$ (zie ook figuur 12b).

Als het geleidingsverlies groter is dan het verschil tussen schedeldemping en de demping van de referentiekap ($Y > \Delta r$) dan wordt schedelgeleiding gemeten en vergelijking met de demping van de te meten kap kan dan niet plaatsvinden. Ook geldt dat als $Y > \Delta r$ bij de lagere frequenties ($\Delta r = 27-33$ dB) er dan hoogstwaarschijnlijk een middenoorafwijking zal zijn.

Conclusie: Als HL (van het toonaudiogram) bij lagere frequenties meer dan 30 dB bedraagt, dan kan er schedelgeleiding optreden bij meting met de referentiekap en wellicht ook met de te meten kap. In dat geval is $HL_{\text{refk}} = HL_{\text{kap}} = D_s + \delta$.

Er is een selectie gemaakt bij frequenties van 125, 250 en 500 Hz voor de waarden van HL die groter of gelijk zijn aan 30 dB ($HL \geq 30$ dB).

ad b) Δr is *klein* (voor frequenties vanaf 1000 Hz), dat wil zeggen $Y > \Delta r$;

Hierbij kan aangenomen worden dat als er geleidingsverlies is, de demping van de referentiekap plus het geleidingsverlies altijd groter is dan de schedeldemping:

$$Y + D_{\text{refk}} > D_s, \text{ dat wil zeggen}$$

$$Y > D_s - D_{\text{refk}},$$

$$Y > \Delta r,$$

dus de drempelmeting met de referentiekap (HL_{refk}) is:

$$HL_{refk} = D_s + \delta \quad \text{waarin } \delta \text{ een normeringsconstante is.}$$

Als het verschil (Δk) tussen de schedeldemping (D_s) en de demping van de te meten kap (D_{kap}) kleiner is dan het geleidingsverlies ($Y > \Delta k$ of $Y > D_s - D_{kap}$) dan geldt:

$$HL_{kap} = D_s + \delta$$

en als $Y < \Delta k$ dan geldt:

$$HL_{kap} = D_{kap} + Y + \delta \quad (\text{Het geluid zal immers altijd de weg van de minste weerstand kiezen}).$$

In het eerste geval ($Y > \Delta k$) geldt: $HL_{refk} = HL_{kap}$ maar men mag hieruit niet concluderen dat $D_{refk} = D_{kap}$ (zie ook figuur 12c).

In het tweede geval ($Y < \Delta k$) geldt:

$$HL_{refk} = D_s + \delta$$

$$HL_{kap} = D_{kap} + Y + \delta$$

$$HL_{refk} - HL_{kap} = D_s - D_{kap} - Y$$

een voorbeeld: $D_{kap} = 25$, $Y = 10$, frequentie: 4000 Hz, $\Delta k = 23$.

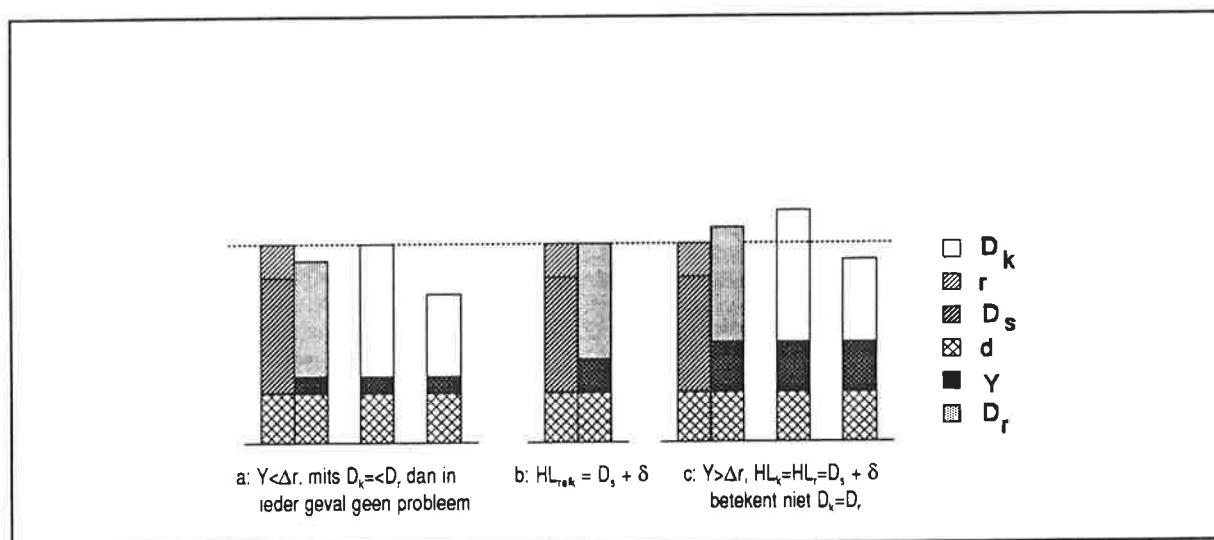
Bij 4000 Hz is $\Delta r = 4$ en $D_s = 48$, dus geldt: $Y > \Delta r$ en $Y < \Delta k$.

$$HL_{refk} = 48 + \delta$$

$$HL_{kap} = D_{kap} + Y + \delta = 25 + 10 + \delta = 35 + \delta$$

$$HL_{refk} - HL_{kap} = 48 + \delta - 35 - \delta = 13 \neq D_{refk} - D_{kap} (44 - 25 = 19)$$

Figuur 12 Metingen bij personen met geleidingsverlies



3. METINGEN MET DIEPE KAP

De verschillen in gehoordrempel tussen linker- en rechteroor mogen niet te groot zijn in verband met overhoren. Hiervoor wordt een verschil van 40 dB aangehouden.

Weer geldt dat moeilijkheden optreden als $D_s < D + Y$ (zie figuur 1 en 13).

Als $HL_{gbm} - HL_{zgb} + Y > D_s$, dat wil zeggen

$HL_{gbm} - HL_{zgb} > D_s - Y$ dan is de bepaling van de demping van het gehoorbeschermingsmiddel (D_{gbm}) niet goed mogelijk.

Stel als indicatie: $HL_{laag,gem} = 15$ dB en $D_s = 50$ dB.

Als $HL_{gbm} - HL_{zgb} < 35$ dB dan is meting van D_{gbm} mogelijk.

Als HL_{gbm} via de schedelgeleiding gemeten wordt, dat wil zeggen:

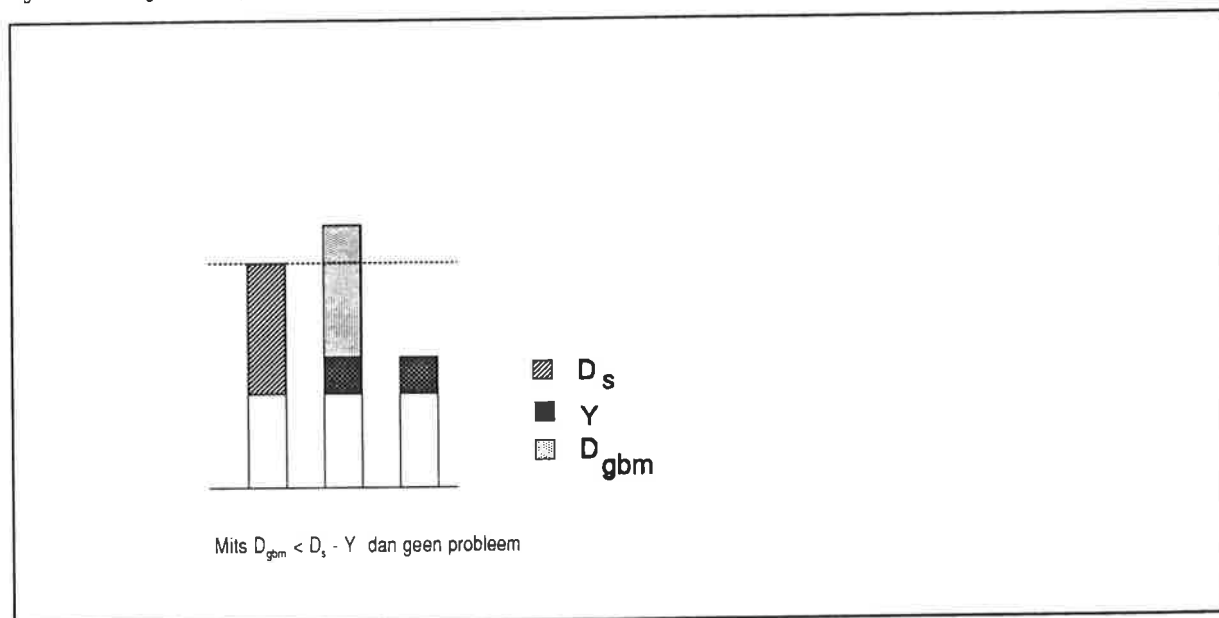
als gemeten is: $HL_{gbm} - HL_{zgb} \approx 35$ dB dan geldt dat bepaling van de demping van het gehoorbeschermingsmiddel niet mogelijk; Er kan slechts gesteld worden dat $D_{gbm} \geq 35$ dB.

Op deze wijze zijn alle personen geselecteerd met gehoordrempels met $HL_{laag,gem} > 15$ dB. Als hogere frequenties ook grotere verliezen vertoonden is nagegaan of

$HL_{gbm} - HL_{zgb} \approx D_s - HL_{laag,gem}$

Wanneer dit het geval was zijn ook deze gegevens niet meegenomen.

Figuur 13 Metingen met diepe kap



Reprografie: NIPG-TNO
Projectnummer: 3845