

TNO-rapport

**PERSOONLIJKE GEHOORBESCHERMINGSMIDDE-  
LEN IN CONCRETE ARBEIDSSITUATIES**

Experimentele fase: fase 1a

NIPG-publikatienummer

93.018

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.

plaats

datum

16.068

49-491

13 AUG. 1993

R. van den Berg (TNO-NIPG, Leiden)  
W. Passchier-Vermeer (TNO-NIPG, Leiden)  
H. Crijs (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  
Experimentele fase.  
NIPG-publikatienr. 93.018. - Met lit. opg.  
ISBN 90-6743-248-2  
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  
93.018.

INHOUD	pagina
SAMENVATTING	i
1. INLEIDING	1
2. MEETMETHODEN	3
2.1 ISO 4869 (1981) of luidsprekermethode	3
2.2 Diepe kap methode	4
2.3 Referentiekap methode	5
2.4 ISO 6189 (1983)	5
3. VRAAGSTELLING	6
4. EXPERIMENTEN	9
4.1 Experiment 1	9
4.2 Experiment 2	9
4.3 Experiment 3	10
4.4 Keuze apparatuur	10
4.5 Testsignalen, testfrequenties en geluidveld	12
4.5.1 Testsignalen	12
4.5.2 Testfrequenties	12
4.5.3 Geluidveld	12
4.6 Proefpersonen	15
4.7 Volgorde van de metingen	17
5. UITWERKING VAN DE VRAAGSTELLING	19
5.1 Metingen met gehoorgangbeschermers	19
5.1.1 Bepaling van de verschillen in demping van "gehoorgang"middelen in afhankelijkheid van de methode	19
5.1.2 Vergelijking gehoordrempels	22

	pagina
5.2 Metingen ten behoeve van oorkappen	25
5.2.1 Bepaling van de demping van oorkappen	25
5.2.2 Bepaling van de gehoordrempel met de referentiekap	26
5.3 Vergelijking gehoordrempelmetingen volgens ISO 6189	28
6. CONSEQUENTIES VOOR HET VELDONDERZOEK	30
LITERATUUR	31

## SAMENVATTING

In het kader van het vijfde EGKS-programma voor medisch onderzoek wordt 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 1a, de experimentele fase. Er zijn een aantal vragen geformuleerd waarop in deze fase geprobeerd is een antwoord te vinden ten einde tot de ontwikkeling van een meetmethode te kunnen overgaan.

Enkele vragen zijn:

- is er verschil in de gehoordrempels en in de demping van het in de gehoorgang gedragen gehoorbeschermingsmiddel, gemeten volgens ISO 4869 en gemeten volgens een methode waarbij hoofdtelefoons zijn ingebouwd in een diepe kap;
- wat is de demping van de referentiekap, die wordt gebruikt om de demping van oorkappen en oorbeugels te kunnen vaststellen;
- is er verschil in gehoordrempel, als de referentiekap gedragen wordt, zoals gemeten in de geluidkamer volgens ISO 4869 en zoals gemeten in de audiomobiel onder minder stringente condities als in de geluidkamer.

Ter beantwoording werden een aantal metingen met behulp van 12 proefpersonen uitgevoerd in de geluidkamer en audiomobiel van het NIPG-TNO in de periode van 26 augustus tot en met 6 september 1991. De geluidkamer voldoet daarbij aan alle stringente eisen gesteld in diverse ISO-documenten, terwijl de audiomobiel aan minder stringente eisen voldoet.

Met behulp van de Student-toets is nagegaan of er bij de dempingsmetingen significante verschillen optreden tussen de gestandaardiseerde methode volgens ISO 4869 en de "diepe kap" methode; er is tweezijdig getoetst met een betrouwbaarheid van 95%. Uit de toetsing blijkt dat bij geen enkele frequentie significante verschillen zijn, zowel wanneer met zuivere tonen als wanneer met ruisbanden gemeten wordt.

Verder is geconcludeerd dat de verschillen in de gehoordrempels gemeten volgens de gestandaardiseerde methode volgens ISO 6189 en de diepe kap methode vrij groot zijn, vooral voor de

meting met zuivere tonen. Vooralsnog wordt ervan uit gegaan dat deze verschillen als correctiewaarden op de gehoordrempels gemeten met de diepe kap methode kunnen worden toegepast om een indicatie te verkrijgen van de gehoordrempels gemeten volgens de algemeen gangbare gestandaardiseerde methode.

Om de demping van oorkappen te kunnen vaststellen wordt in de te ontwikkelen methode zo mogelijk gebruik gemaakt van een referentiekap. Van deze kap zijn de dempingswaarden gemeten volgens de gestandaardiseerde methode voor oorkappen volgens ISO 4869. Deze waarden blijken weinig te verschillen van de waarden opgegeven door de fabrikant.

De gehoordrempels gemeten met de referentiekap in de geluidkamer zijn vergeleken met die gemeten met de referentiekap in de audiocabine van de audiomobiel. Verschillen in beide metingen kunnen optreden omdat het geluidveld in de audiocabine aan minder stringente eisen voldoet. Toetsing met de Student t-toets (tweezijdig getoetst met een betrouwbaarheid van 95%) levert voor slechts 2 frequenties (250 en 6000 Hz) een gering significant verschil tussen de meetplaatsen op. Het betreft frequenties die bij de ontwikkeling van een verkorte methode naar verwachting minder belangrijk zullen zijn. Voor gebruik in het veldonderzoek zal dit geen consequenties hebben.

Per proefpersoon is tweemaal gemeten met 'normale' hoofdtelefoons volgens ISO 6189, namelijk eenmaal in de geluidkamer en eenmaal in de audiomobiel. De verwachting is dat er geen significante van nul afwijkende verschillen zullen optreden. Voor alle frequenties blijkt het verschil positief te zijn. Dat wil zeggen dat de metingen in de geluidkamer voor alle frequenties iets meer gehoorverlies vertonen. Een mogelijke oorzaak hiervan zou kunnen zijn dat er een zeker leereffect is opgetreden omdat de metingen in de audiomobiel altijd bij elke proefpersoon als laatste gedaan werden. Er is weer tweezijdig getoetst. Ook nu voor 2 frequenties een gering significant verschil tussen beide metingen, namelijk bij 250 en 2000 Hz.

Desondanks kan geconcludeerd worden dat het achtergrondniveau in de audiomobiel ten gevolge van het omgevingslawaai geen invloed heeft gehad op de meetresultaten.

## 1. INLEIDING

In het kader van het vijfde EGKS-programma voor medisch onderzoek wordt 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 te voorkomen.

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 geluidsniveaus en de spectrale verdeling van de geluiden, voldoende demping van de gehoorbeschermingsmiddelen.

Mede gezien de uit onderzoek (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 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; ontwikkeling 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 1a, de experimentele fase. Het betreft een beschrijving van de metingen, de analyse van de meetgegevens en conclusies hieruit.



## 2. MEETMETHODEN

Gestandaardiseerde methoden maken het mogelijk meetresultaten die onder gelijke en goed omschreven condities verkregen zijn, met elkaar te vergelijken. In dit deelonderzoek wordt veelvuldig gerefereerd aan een viertal meetmethoden. Twee daarvan zijn gestandaardiseerde methoden, te weten:

- ISO 4869, een methode om de demping van gehoorbeschermers te bepalen, in dit rapport ook wel "luidspreker"-methode genoemd;
- ISO 6189, een gangbare audiometrie-methode.

De twee andere methoden zijn afgeleide methoden:

- de "diepe kap" methode, een methode om de demping van gehoorgangbeschermers te bepalen;
- de "referentiekap" methode, een methode om de demping van oorkappen en beugels vast te stellen.

De kenmerken van alle vier de methoden worden in dit hoofdstuk in het kort weergegeven.

### 2.1 ISO 4869 (1981) of luidsprekermethode.

Voor het bepalen van de demping van gehoorbeschermingsmiddelen bestaat een meetmethode, die door de Internationale Organisatie voor Standaardisatie (ISO) is vastgelegd in ISO 4869 (1981). Het is een subjectieve methode voor het bepalen van de demping van gehoorbeschermingsmiddelen die bestaat uit het bepalen van de gehoordrempel van minimaal tien proefpersonen: bij elk éénmaal zonder en éénmaal met het beschermingsmiddel. Het verschil in de meetuitkomsten is de demping. Het geluidveld in de meetruimte wordt opgebouwd door een luidspreker en wordt daarom in dit rapport ook wel "luidsprekermethode" genoemd. De metingen worden dan ook in het "vrije veld" uitgevoerd in een meetruimte die aan bepaalde, strenge eisen moet voldoen. Eén van de eisen betreft het achtergrondgeluidniveau, dit moet bijzonder laag zijn en aan bepaalde waarden voldoen. Het geluidsignaal dat toegepast moet worden om de gehoordrempel te bepalen volgens deze methode is een smalle band ruis. Zou men zuivere tonen gebruiken zoals bij audiometrie met een hoofdtelefoon gebruikelijk is dan is er een grote kans dat er staande golven in de meetruimte ontstaan, waardoor er van plaats tot plaats grote verschillen in het geluidniveau kunnen optreden.

Een andere eis is dat er juist geen grote verschillen in het geluidniveau bestaan ter plaatse van het hoofd van de proefpersoon.

Het bepalen van de gehoordrempel gebeurt volgens een gestandaardiseerde audiometriemethode (zie 2.4).

## 2.2 Diepe kap methode.

Zoals vermeld dient voor de bepaling van de gehoordrempel volgens ISO 4869 (1981) het achtergrondgeluidniveau aan strenge eisen te voldoen. In de praktijk, bij fabrieken of bedrijven, zullen naar verwachting over het algemeen geen ruimten gevonden worden waar de achtergrondgeluidniveaus aan deze eisen voldoen. Daarom is in 1984 door het NIPG-TNO in navolging van anderen een meetmethode ontwikkeld die in de praktijk met hogere achtergrondgeluidniveaus wel toegepast kan worden. Bij deze meetmethode wordt het geluid via een hoofdtelefoon ingebouwd in een diepe oorkap aan de proefpersoon aangeboden. Deze methode wordt verder ook wel de "diepe kap methode" genoemd. De achtergrondgeluidniveaus in ruimten waar deze methode wordt toegepast kunnen hoger zijn dan bij de luidsprekermethode. De diepe kap methode kan alleen toegepast worden bij beschermingsmiddelen die in de gehoorgang gedragen worden. De hoofdtelefoon moet dan geheel over de beschermingsmiddelen vallen zonder deze te raken.

Er zijn experimenten gedaan waarbij het aan de proefpersonen aangeboden signaal de ene keer uit smalle band ruis bestond en een andere keer uit zuivere tonen.

De waarnemingen verkregen met de diepe kap methode (met smalle band ruis) zijn destijds (Van den Berg, 1984) getoetst aan die verkregen met de luidsprekermethode. Uit de meetresultaten bleek 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.

Tot nu toe werd door het NIPG-TNO bij deze methode een oorkap gebruikt van het merk NOISE-FOE Mark II. Deze is niet meer leverbaar. Gezien de wens dat een verkorte meetmethode toegepast kan worden door derden, bijvoorbeeld bedrijfsgezondheidsdiensten, verdient het sterke aanbeveling om zoveel mogelijk gebruik te maken van algemeen beschikbare middelen.

In Nederland is apparatuur op de markt gebracht door Veenhuis Medical Audio (merk Madsen, Midimate), waarmee de diepe kap methode kan worden uitgevoerd. De bij deze apparatuur

geleverde kap is gemaakt van een 'gewone' audiometer-hoofdtelefoon en een verlengstukje van ca. 2 cm.

### 2.3 Referentiekap methode

De diepe kap methode is alleen geschikt voor gehoorbeschermingsmiddelen die in de gehoorgang gedragen worden. Daarom zal voor kappen en beugels een andere methode en wel een gemodificeerde methode volgens ISO 4869 worden toegepast, met dien verstande dat de drempelmeting zonder gehoorbeschermingsmiddel vervangen wordt door een drempelmeting met een kap, de **referentiekap**. Dit wordt gedaan omdat het achtergrondgeluidniveau in de meeste gevallen te hoog zal zijn om in het vrije veld een drempelmeting uit te voeren zonder gehoorbeschermingsmiddel.

Indien van de referentiekap de dempingswaarden en standaarddeviaties bekend zijn dan kunnen de dempingswaarden van de te onderzoeken kap of beugel hieruit afgeleid worden. Het is daarom gewenst dat de standaarddeviaties van de referentiekap gering zijn, met name in de lage frequenties.

Een andere voorwaarden die aan een referentiekap gesteld moet worden is een goede demping.

Met behulp van de 'Koopwijzer Gehoorbeschermers' (NIA, 1988) is een kap geselecteerd die hieraan voldoet, namelijk de Bilsom Viking. In tabel 18 zijn de dempingswaarden van deze kap gegeven, zoals ze door de fabrikant zijn opgegeven.

### 2.4 ISO 6189 (1983)

Deze standaard betreft in de audiometrie gebruikelijke methoden om de gehoordrempel vast te stellen. Er wordt hierbij gemeten met behulp van een hoofdtelefoon en het aan de proefpersoon aangeboden signaal bestaat uit zuivere tonen.

In deze standaard worden eisen gesteld aan de audiometer (meetbereik, calibratie en dergelijke), maar ook aan het achtergrondgeluidniveau in de meetruimte om de gehoordrempel te kunnen meten vanaf 0 dB.

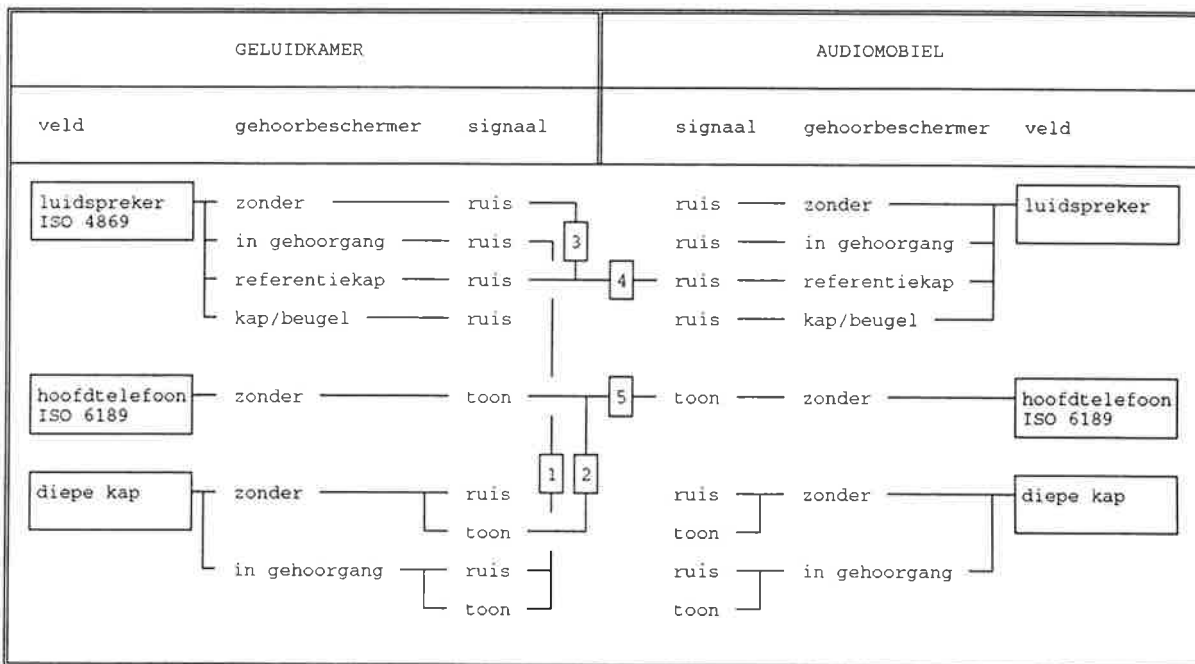
### 3. VRAAGSTELLING

Uit het voorgaande blijkt al dat er binnen dit onderzoek een groot aantal variabelen een rol spelen. Zo zijn er te onderscheiden:

- de manier van aanbieden van het signaal, dat wil zeggen met behulp van een luidspreker, een hoofdtelefoon of een diepe kap;
- de signaalsoort (smalle band ruis of zuivere tonen);
- het bepalen van de drempel met het type te onderzoeken gehoorbeschermingsmiddel (in de gehoorgang gedragen middelen, kappen en beugels) of zonder middel;

Ten slotte is er de variabele "meetplaats". In fase 2 zal gemeten worden met behulp van de audiomobiel. De relaties tussen al deze variabelen is in figuur 1 samengevat. Enkele relaties zijn voor het vervolg van het onderzoek belangrijk. Deze zijn in onderstaande vragen beschreven. De relaties tussen de variabelen uit de vraagstellingen zijn ook in de figuur aangegeven.

Figuur 1 Relaties tussen de onderzochte variabelen.



Vragen met betrekking tot de demping van in de gehoorgang te dragen gehoorbeschermingsmiddelen zijn (de nummering komt overeen met die in de figuur):

- 1 is er verschil in demping van het in de gehoorgang gedragen gehoorbeschermingsmiddel, gemeten volgens ISO 4869 en gemeten volgens de diepe kap methode. Zo ja, hoe groot is dit verschil gemiddeld.

De beschreven methode is in Van den Berg (1984) gecontroleerd voor 3 frequenties, namelijk bij 500, 1000 en 2000 Hz. Uit vervolgonderzoek werd de indruk gewekt dat voor de overige frequenties de verschillen ook gering zouden zijn. De validiteit van deze methode wordt in experiment 1 voor het hele frequentiegebied nagegaan.

- 2 is er verschil in de gehoordrempel gemeten volgens ISO 6189 en volgens de diepe kap methode. Zo ja, hoe groot is dat verschil gemiddeld. Ook van belang is de standaarddeviatie in de verschillen. Is deze standaarddeviatie ongeveer even groot als die van de ISO 6189 methode? Voor de beantwoording van deze vraag is experiment 2 opgezet.

Vragen met betrekking tot de demping van oorkappen en van oorbeugels zijn (experiment 3):

- 3 wat is de demping van de referentiekap, gemeten volgens ISO 4869;
- 4 is er verschil in gehoordrempel, als de referentiekap gedragen wordt, gemeten in de geluidkamer volgens ISO 4869 en gemeten in de audiomobiel met een "quasi free field" ?  
Zo ja, hoe groot is dit verschil gemiddeld, wat is de standaarddeviatie en kan het verschil verklaard worden ?

In fase 1a wordt tweemaal een gehoordrempelmeting met hoofdtelefoons volgens ISO 6189 uitgevoerd en wel in verschillende ruimten (namelijk in de geluidkamer en in de audiomobiel); nr. 5 in figuur 1.

- 5 Er moet verwacht worden dat er geen verschillen zullen bestaan tussen de uitkomsten van beide metingen. Dit wordt geverifieerd.

En ten slotte de laatste vraag:

wat is de standaarddeviatie in het verschil tussen de eerste en tweede gehoordrempelmeting volgens ISO 6189 ? (uit experiment 2 en 3).

De experimenten die in dit rapport beschreven zijn, hebben tot doel:

- het vaststellen van de in het veldonderzoek te hanteren meetmethoden voor de bepaling van frequentie-afhankelijke demping van oorkappen en van gehoorgang-beschermers;
- het vaststellen of de gehoorscherptheidsbepaling met de diepe kap methode voldoende indicatie geeft van de gehoorscherptheidsbepaling volgens de gangbare audiometriemethode met hoofdtelefoons.

Hiertoe zijn een drietal experimenten uitgevoerd, die hierna worden beschreven.

## 4. EXPERIMENTEN

### 4.1 Experiment 1

Experiment 1 betreft het meten van de demping van gehoorgang-beschermers volgens twee methoden (vraag 1):

- de luidsprekermethode (ISO 4869);
- de diepe kap methode.

Voor het te testen gehoorbeschermingsmiddel is gekozen voor EAR plugs. Dit middel wordt veel toegepast en heeft ook in het laagfrequente gebied goede dempingseigenschappen.

De volgende metingen zijn achtereenvolgens uitgevoerd: per proefpersoon is bepaald de gehoordrempel

- 1 met de luidsprekermethode, zonder gehoorbeschermingsmiddel met ruisbanden;
- 2 met de luidsprekermethode, met gehoorbeschermingsmiddel (EAR plug) met ruisbanden;
- 3 met diepe kap methode, met gehoorbeschermingsmiddel met ruisbanden;
- 4 met diepe kap methode, met gehoorbeschermingsmiddel met zuivere tonen;
- 5 met diepe kap methode, zonder gehoorbeschermingsmiddel met zuivere tonen;
- 6 met diepe kap methode, zonder gehoorbeschermingsmiddel met ruisbanden;

Om leereffecten te verdisconteren is bij ongeveer de helft van de proefpersonen de volgorde omgekeerd. Gedurende de tijd dat het gehoorbeschermingsmiddel gedragen is, is erop toegezien dat de positionering ervan niet veranderde.

### 4.2 Experiment 2

Dit experiment betreft het meten van de gehoorscherptheit volgens de gangbare ISO 6189-methode met hoofdtelefoons en volgens de methode met de diepe kap, zoals aangegeven in experiment 1. Door beide methoden met elkaar te vergelijken en eventueel correctiewaarden te berekenen wordt nagegaan of de diepe kap gebruikt kan worden als indicatie van het op gebruikelijke wijze (= ISO 6189) verkregen audiogram. Dit experiment beoogt een antwoord op de tweede vraag te geven.

### 4.3 Experiment 3

In experiment 3 wordt de demping bepaald van een referentiekap volgens de luidsprekermethode (ISO 4869) (vraag 3). Dit gebeurt in de geluidkamer. Vervolgens is de gehoordrempel met referentiekap bepaald in de audiomobiel (vraag 4).

Om na te gaan of in de audiomobiel dezelfde waarden gevonden worden voor het audiogram gemeten volgens ISO 6189 is de gehoordrempelmeting daar nog eens herhaald (vraag 5).

Samenvattend zijn de volgende metingen in dit experiment uitgevoerd:

- a. bepaling van de demping van de referentiekap in het vrije veld in de geluidkamer door:
  - a1. de gehoordrempel te bepalen zonder kap in het vrije veld;
  - a2. de gehoordrempel te bepalen met de referentiekap op, in het vrije veld;
 Het verschil tussen a2 en a1 is de demping.
- b. bepaling van de gehoordrempel met de referentiekap op in de audiomobiel, met behulp van een luidspreker;
- c. het bepalen van de gehoordrempel volgens de gangbare ISO-methode (ISO 6189) met hoofdtelefoons, eveneens in de audiomobiel.

### 4.4 Keuze apparatuur

In de experimenten is gebruik gemaakt van een klinische audiometer Madsen OB802. Ten behoeve van het opwekken van een geluidveld door een luidspreker, is in een aantal metingen gebruik gemaakt van een bij deze audiometer behorende eindversterker.

De calibratiewaarden van de audiometer met normale telefoons zijn opgenomen in tabel 1a. De geringe afwijkingen ten opzichte van de ISO-curve zijn bij de analyses verder niet in rekening gebracht.

Tabel 1a Calibratie audiometer met normale telefoon (TDH39) (verzwakkerstand audiometer 70 dB).

Frequentie in Hz	125	250	500	1000	2000	3000	4000	6000	8000
Meetwaarden in dB									
Links	111,5	95,0	82,0	76,5	78,5	80,5	81,0	85,0	84,5
Rechts	110,5	96,5	82,0	75,5	79,5	79,5	81,0	83,0	85,0
ISO 389 (IEC318)	45,0	27,0	13,5	7,5	9,0	11,5	12,0	16,0	15,5
Links afw. t.o.v. ISO	-3,5	-2,0	-1,5	-1,0	-0,5	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0
Rechts afw. t.o.v. ISO	-4,5	-0,5	-1,5	-2,0	0,5	-2,0	-1,0	-3,0	-0,5



Dempingswaarden en calibratiegegevens van deze gemodificeerde kap zijn niet voorhanden. In verband met de sterk afwijkende maten van de "diepe kap" kan deze kap niet op de 'normale' wijze gecalibreerd worden (volgens ISO 389).

Nagegaan is of het mogelijk is middels de calibratieapparatuur correctiewaarden te vinden waarmee het drempelaudiogram gemeten met de diepe kap gecorrigeerd kan worden om tot een schatting van de waarden van het drempelaudiogram te komen gemeten volgens de gestandaardiseerde methode (ISO 6189).

De 'calibratiewaarden' gemeten met behulp van de Brüel & Kjaer Artificial Ear type 4153 met toepassing van de 'vlakke plaat' (B&K Adaptor type DB0843) zijn in tabel 1b voor zuivere tonen en in tabel 1c voor ruisbanden gegeven. Op dezelfde wijze als voor de 'normale' audiometrietelefoons zijn hierin de afwijkingen gegeven ten opzichte van de in ISO 389 (IEC318) gegeven waarden. De waarden in tabel 1b en 1c geven echter geen verklaring voor de in tabellen 15 en 16 gevonden waarden voor het verschil tussen beide methoden van gehoordrempelmeting.

Tabel 1b Calibratie audiometer met diepe kap, zuivere tonen (verzwakkerstand audiometer 70 dB).

Frequentie in Hz	125	250	500	1000	2000	3000	4000	6000	8000
Meetwaarden in dB									
Links	84,0	64,5	51,0	43,5	61,0	52,0	50,5	89,0	83,0
Rechts	86,5	68,0	52,0	42,0	64,0	52,0	53,0	88,5	83,0
ISO 389 (IEC318)	45,0	27,0	13,5	7,5	9,0	11,5	12,0	16,0	15,5
Links afw. t.o.v. ISO	-31,0	-32,5	-32,5	-34,0	-18,0	-29,5	-31,5	3,0	-2,5
Rechts afw. t.o.v. ISO	-28,5	-29,0	-31,5	-35,5	-15,0	-29,5	-29,0	2,5	-2,5

Tabel 1c Calibratie audiometer met diepe kap, ruisbanden (verzwakkerstand audiometer 70 dB).

Frequentie in Hz	125	250	500	1000	2000	3000	4000	6000	8000
Meetwaarden in dB									
Links	93,0	77,0	60,0	53,5	71,0	68,5	81,5	91,0	95,5
Rechts	95,0	76,0	59,5	52,5	70,0	69,0	80,0	91,0	94,0
ISO 389 (IEC318)	45,0	27,0	13,5	7,5	9,0	11,5	12,0	16,0	15,5
Links afw. t.o.v. ISO	-22,0	-20,0	-23,5	-24,0	-8,0	-13,0	-0,5	5,0	10,0
Rechts afw. t.o.v. ISO	-20,0	-21,0	-24,0	-25,0	-9,0	-12,5	-2,0	5,0	8,5

## 4.5 Testsignalen, testfrequenties en geluidveld

### 4.5.1 Testsignalen

De testsignalen bestaan uit zuivere tonen en smalle-band ruis:

- de bepaling van de gehoordrempel volgens de gestandaardiseerde audiometriemethode (ISO 6189) geschiedt met zuivere tonen;
- de bepaling van de demping met behulp van de diepe kap geschiedt zowel met zuivere tonen als met ruisbanden;
- de bepaling van de demping van de referentiekap geschiedt met ruisbanden volgens ISO 4869.

De luidsprekermethode volgens ISO 4869 houdt in dat twee oren gelijktijdig gemeten worden. Bij de diepe kap methode en de gewone audiometrie worden de oren apart gemeten.

### 4.5.2 Testfrequenties

De testfrequenties zijn:

125, 250, 500, 1000, 2000, 3000, 4000, 6000 en 8000 Hz. Dit is het gehele vereiste frequentiegebied volgens ISO 4869, inclusief de optionele frequenties 3000 en 6000 Hz.

Bij controle van het geluidveld opgewekt met behulp van een luidspreker, zowel in de geluidkamer als in de audiomobiel, bleek dat bij toepassing van zuivere tonen er zodanige staande golven ontstonden dat het geluidveld bij een aantal frequenties niet voldeed aan de eisen gesteld in ISO 8253-2.

Omdat in de praktijk zeker niet gemakkelijk ruimtes gevonden zullen worden die wel aan de eisen voldoen voor het opwekken van een geschikt geluidveld met behulp van zuivere tonen is gekozen voor ruisbanden waar het metingen met een luidspreker betreft.

### 4.5.3 Geluidveld

De meest gewenste testruimte voor audiometrie in het "vrije veld" is die waar het geluid uit alle richtingen in gelijke mate door het oor wordt ontvangen. Een dergelijk geluidveld wordt bij

benadering bereikt wanneer het veld aan bepaalde eisen voldoet, die zijn gespecificeerd in ISO 4869. Het in ISO 4869 genoemde referentiepunt is gedefinieerd als het middelpunt van de lijn die de gehoorgangopeningen van de proefpersoon verbindt. De proefpersoon is bij onderstaande metingen van het geluidveld niet aanwezig. Kort samengevat luiden de eisen:

- de afwijkingen op 6 meetplaatsen, ieder op 15 cm respectievelijk links, rechts, voor, achter, boven en onder het referentiepunt, mogen niet meer bedragen dan  $\pm 2,5$  dB ten opzichte van het referentiepunt (ISO 4869); in ISO 8253-2 geldt voor een "quasi vrij veld" een waarde van  $\pm 2$  dB voor de punten links, rechts, boven en onder. De plaatsen voor en achter zijn gedefinieerd op een afstand van 10 cm en hier mogen de verschillen ten opzichte van het referentiepunt niet meer dan  $\pm 1$  dB bedragen.
- het verschil tussen links en rechts mag niet meer bedragen dan 3 dB (ISO 4869). In ISO 8253-2 is geen waarde gegeven voor het maximaal toegestane verschil tussen rechts en links.

Voor en na de metingen zijn de geluidvelden in de geluidkamer en de audiomobiel gecontroleerd op de eisen die aan het veld gesteld worden. Hieronder volgen de waarden en de afwijkingen ten opzichte van het referentiepunt gemeten op zes meetplaatsen zoals dat gedefinieerd is in ISO 4869 en ISO 8253-2.

Het referentiepunt in de geluidkamer bevond zich op ca. 2,5 meter van de geluidbron, in de audiomobiel op ongeveer 50 cm. Volgens ISO 8253-2 moet de afstand tussen geluidbron en referentiepunt minimaal 1 meter bedragen. Om praktische redenen is dit in de audiocabine van de audiomobiel niet mogelijk. Hiermee zal bij de te ontwikkelen meet- en berekeningsmethoden rekening worden gehouden.

In de cabine is een hoofdsteun gemonteerd om het hoofd tijdens de metingen min of meer te fixeren in verband met de geringe afstand tussen hoofd en luidspreker (een geringe afstandsverandering geeft al gauw een niet te verwaarlozen verandering van het geluidniveau).

**Tabel 2** Metingen in de geluidkamer, ruisbanden via de Madsen OB802 (70 dB), versterker en luidspreker.  
Referentiepunt: absolute waarden, overige meetplaatsen: afwijking ten opzichte van het referentiepunt (alle waarden in dB, afgerond op 0,5 dB).

Freq. (Hz)	Abs. waarde	Relatief t.o.v. referentiepunt						Verschil
	Ref. punt	Rechts	Links	Boven	Onder	Voor	Achter	Rechts-Links
125	72,5	0,0	0,0	0,5	0,5	0,0	0,0	0,0
250	72,5	-0,5	0,0	-0,5	0,0	-0,5	0,0	-0,5
500	72,0	-0,5	0,0	-0,5	-0,5	0,0	-1,0	-0,5
1000	70,5	-1,5	-1,5	-1,0	-0,5	-2,5	0,0	0,0
2000	68,5	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,5
3000	66,5	-0,5	0,0	-0,5	1,0	0,0	-1,0	-0,5
4000	66,0	0,5	0,5	0,5	1,5	0,5	-0,5	0,0
6000	66,0	1,0	0,0	0,0	-0,5	0,0	-0,5	1,0
8000	64,0	1,0	0,0	0,5	0,0	0,5	0,0	1,0

**Tabel 3** Metingen in de audiocabine van de audiomobiel, ruisbanden via de Madsen OB802 (70 dB), versterker en luidspreker.  
Referentiepunt: absolute waarden, overige meetplaatsen: afwijking ten opzichte van het referentiepunt (alle waarden in dB, afgerond op 0,5 dB).

Freq. (Hz)	Abs. waarde	Relatief t.o.v. referentiepunt						Verschil
	Ref. punt	Rechts	Links	Boven	Onder	Voor	Achter	Rechts-Links
125	90,5	-0,5	0,5	0,5	0,5	-1,5	1,5	-1,0
250	92,5	-0,5	1,5	0,0	2,5	-4,5*	2,5	-2,0
500	87,5	1,0	0,0	-0,5	-1,0	5,5*	1,5	1,0
1000	77,5	1,0	-0,5	-1,5	-1,0	1,0	0,0	1,5
2000	78,0	-2,0	-3,0*	-1,5	-2,5	0,0	3,0*	1,0
3000	77,0	-2,0	1,0	2,0	-1,5	0,0	-0,5	-3,0
4000	78,0	-1,5	0,5	1,0	-2,0	-1,0	-3,0*	-2,0
6000	78,5	1,0	-2,0	0,5	-2,0	-0,5	0,5	3,0
8000	77,5	1,5	-1,0	0,0	-2,0	0,5	0,0	2,5

\* Afwijking meer dan toegestaan

**Tabel 4** Verschil in meetwaarden in het referentiepunt bij de eerste en de tweede meting, zowel in de geluidkamer als in de audiomobiel.

Verschil (dB) in referentiepunt 1* en 2* meting		
Freq. (Hz)	Geluidkamer	Audiomobiel
125	-0,5	3,5
250	1,0	5,5
500	-0,5	0,0
1000	0,5	0,5
2000	-1,0	0,5
3000	-0,5	2,0
4000	-0,5	3,5
6000	-1,5	3,5
8000	-1,5	1,5

Geconcludeerd kan worden dat het geluidveld in de geluidkamer ruimschoots aan de eisen voldoet. Het geluidveld in de audiocabine van de audiomobiel voldoet niet op alle meetpunten aan de eisen: als de minst strenge norm wordt aangehouden ( $\pm 2,5$  dB verschil t.o.v. referentiepunt) dan zijn op 5 plaatsen waarden gevonden waar het verschil groter is (in tabel 3 aangegeven met een \*). Ook de

verschillen tussen de eerste en de tweede meting zijn in de audiocabine van de audiomobiel groter dan in de geluidkamer.

#### 4.6 Proefpersonen

Het minimum aantal proefpersonen bedraagt volgens ISO 4869 10. Zij moeten voldoen aan de voorwaarden gesteld in ISO 4869. In dit onderzoek is gekozen voor een aantal van 12 proefpersonen, allen van ongeveer 20 jaar.

Met betrekking tot het gehoor betreffen de voorwaarden:

- geen afwijkingen aan gehoorgang, trommelvlies en middenoor;
- geen ziekte van Ménière;
- geen specifieke gehoorafwijkingen, zoals oorsuizen;
- geen verschillen in het luchtgeleidingsaudiogram van linker- en rechteroor van 15 dB of meer in het te testen frequentiegebied;
- het niveau van de gehoordrempel van ieder oor mag niet meer bedragen dan 15 dB voor frequenties van 2000 Hz en lager, en niet meer dan 25 dB voor frequenties hoger dan 2000Hz.
- de gehoordrempel mag niet minder bedragen dan -10 dB.

In de volgende tabellen zijn de audiogrammen opgenomen van alle proefpersonen. Geconcludeerd kan worden dat slechts twee oren, ieder bij één frequentie, niet aan de gestelde eisen voldoen. Bij drie proefpersonen bedroeg het verschil tussen linker en rechteroor, bij één frequentie, 20 dB. Omdat de afwijkingen zeer gering zijn en het slechts om een paar frequenties gaat zijn de verdere analyses ook op deze proefpersonen toegepast.

Tabel 5 Gehoordrempels audiogram volgens ISO 6189 van alle proefpersonen.

Volgnr. p.p.	Frequentie (Hz)								
	125	250	500	1000	2000	3000	4000	6000	8000
1	5	5	10	5	0	0	5	15	5
	10	10	10	5	10	10	10	20	10
2	5	0	10	10	15	10	5	20	0
	-5	5	5	5	-5	5	-5	5	10
3	15	5	10	5	5	5	5	15	0
	15	5	15	10	5	5	5	10	0
4	5	5	5	5	0	0	-5	25	5
	5	5	5	0	0	-5	5	15	10
5	10	5	0	5	0	5	10	10	-5
	5	0	5	5	5	0	15	10	-5
6	10	10	5	10	5	0	-5	5	20
	10	5	5	5	5	-5	-5	10	5
7	10	10	5	5	5	0	10	10	5
	5	0	0	5	0	-5	0	15	10
8	10	5	5	10	15	10	5	30	15
	10	5	10	5	5	20	25	20	5
9	10	5	5	5	5	0	0	15	-5
	10	5	10	10	5	0	0	10	0
10	10	5	-5	10	15	5	0	25	0
	0	0	5	5	5	0	5	30	10
11	5	5	10	5	10	5	0	5	-5
	10	5	10	5	5	10	0	-5	5
12	10	0	5	5	5	10	5	20	-5
	10	5	5	5	10	10	5	20	15
Gemiddelde	7,9	4,6	6,3	6,0	5,4	4,0	4,0	14,8	4,4
St.dev.	4,4	2,9	4,2	2,5	5,1	6,1	6,9	8,4	7,1

Tabel 6 Verschillen in gehoordrempels audiogram volgens ISO 6189: links-rechts.

Volgnr. p.p.	Frequentie (Hz)								
	125	250	500	1000	2000	3000	4000	6000	8000
1	-5	-5	0	0	-10	-10	-5	-5	-5
2	10	-5	5	5	20	5	10	15	-10
3	0	0	-5	-5	0	0	0	5	0
4	0	0	0	5	0	5	-10	10	-5
5	5	5	-5	0	-5	5	-5	0	0
6	0	5	0	5	0	5	0	-5	15
7	5	10	5	0	5	5	10	-5	-5
8	0	0	-5	5	10	-10	-20	10	10
9	0	0	-5	-5	0	0	0	5	-5
10	10	5	-10	5	10	5	-5	-5	-10
11	-5	0	0	0	5	-5	0	10	-10
12	0	-5	0	0	-5	0	0	0	-20

#### 4.7 Volgorde van de metingen

Een aantal metingen uit de drie experimenten is geïntegreerd. In het onderstaande wordt een samenvatting gegeven van de uitgevoerde metingen. Tevens is hierin de volgorde van de metingen aangegeven.

Tabel 7 Samenvatting metingen.

Nr.	Bepalingen gehoordrempel volgens:
	<b>Metingen in de geluidkamer:</b>
0**	gehoordrempelmeting volgens ISO 6189 (hoofdtelefoon)
1*	'luidspreker', ruis, zonder gehoorgangmiddel
2*	'luidspreker', ruis, met gehoorgangmiddel
3*	'diepe kap', ruis, met gehoorgangmiddel
4*	'diepe kap', zuivere tonen, met gehoorgangmiddel
5*	'diepe kap', zuivere tonen, zonder gehoorgangmiddel
6*	'diepe kap', ruis, zonder gehoorgangmiddel
7	'luidspreker', ruis, zonder referentiekap
8	'luidspreker', ruis, met referentiekap
	<b>Metingen in de audiomobiel:</b>
9	'luidspreker', ruis, met referentiekap
10	gehoordrempelmeting volgens ISO 6189 (hoofdtelefoon)

\* ) Bij de helft van de proefpersonen is de volgorde gewijzigd.

\*\* ) Deze meting is ook nodig om de proefpersonen te kunnen selecteren, deze meting is altijd als eerste verricht.

Alle proefpersonen hebben de metingen 0 t/m 8 eerst ondergaan, in verband met de apparatuur die elke keer van de geluidkamer naar de audiomobiel moest worden overgebracht.

Vrijwel alle proefpersonen hebben alle metingen achter elkaar afgewerkt, afgewisseld met enkele kortdurende pauzes. De metingen werden uitgevoerd in de periode van 26 augustus tot en met 6 september 1991. De volgorde van de metingen is gegeven in tabel 8.

Tabel 8 Volgorde metingen bij de proefpersonen (p.p.).

Ruimte	Geluidkamer									Audiomobiel	
Signaal	TOON	RUIS			TOON		RUIS			RUIS	TOON
Veld	HT	LS		DK	DK		DK	LS		LS	HT
M/Z/ REF	Z	Z	M	M	M	Z	Z	Z	REF	REF	
p.p.	L/R			L/R	L/R	L/R	L/R				L/R
1	0	1	2	3	4	6	5	8	7	9	10
2	0	1	2	4	3	6	5	8	7	9	10
3	0	3	4	5	6	2	1	7	8	10	9
4	0	1	2	3	4	6	5	7	8	9	10
5	0	1	2	3	4	6	5	7	8	9	10
6	0	3	4	5	6	2	1	8	7	10	9
7	0	3	4	5	6	2	1	8	7	10	9
8	0	1	2	3	4	6	5	7	8	9	10
9	0	3	4	5	6	2	1	7	8	10	9
10	0	3	4	5	6	1	2	7	8	10	9
11	0	3	4	5	6	2	1	7	8	9	10
12	0	3	4	5	6	1	2	7	8	10	9

HT = hoofdtelefoon  
 LS = luidspreker  
 DK = diepe kap  
 Z = zonder gehoorbeschermer  
 M = met gehoorbeschermer  
 REF = met referentiekap  
 L = links, apart gemeten  
 R = rechts, apart gemeten

Onderstaand schema geeft samenvattend het verband tussen metingen en experimenten, tabellen uit hoofdstuk 5 en de vraagstellingen die daaraan ten grondslag liggen (de meting nummers verwijzen naar tabel 7, experimentnummers naar paragraaf 4.1, 4.2 en 4.3).

Experimenten	Metingen	Tabellen	Vragen
1	1,2 4,5 3,6	9 } 13 } 10 } 14 } 11 }	1
2	0,5 0,6	15 16	2
3	7,8 8,9 0,10	17 19 20	3 4 5



## 5. UITWERKING VAN DE VRAAGSTELLING

In dit hoofdstuk volgen de analyses en uitwerkingen van de vraagstelling zoals geformuleerd in hoofdstuk 3.

### 5.1 Metingen met gehoorgangbeschermers

#### 5.1.1 Bepaling van de verschillen in demping van "gehoorgang"middelen in afhankelijkheid van de methode

De bepaling van de verschillen in de demping van gehoorbeschermingsmiddelen die in de gehoorgang worden gedragen gebeurt door het berekenen van gemiddelde waarden, standaarddeviaties en het uitvoeren van de Student t-toets. De demping volgens de gestandaardiseerde methode (ISO 4869) van de EAR-plug is gegeven in tabel 9, de waarden gemeten met de diepe kap methode met zuivere tonen, gemiddelde van twee oren is gegeven in tabel 10, en voor ruisbanden in tabel 11.

De demping volgens ISO 4869 wordt voor beide oren tegelijkertijd bepaald, terwijl de diepe kap methode de demping voor linker- en rechteroor afzonderlijk bepaald.

In deze experimenten behoeven we een niet al te groot verschil in demping tussen rechts en links te verwachten. Daarom wordt voor de diepe kap methode gewerkt met gemiddelde waarden van rechter- en linkeroor.

Tabel 9 De demping van het "gehoorgang"middel EAR-plugs volgens ISO 4869 (1981).

Volgnr. p.p.	Frequentie (Hz)								
	125	250	500	1000	2000	3000	4000	6000	8000
1	30	25	25	35	40	45	45	45	40
2	15	15	20	25	35	40	40	40	35
3	20	15	15	20	30	45	45	40	35
4	20	15	20	25	30	40	40	40	30
5	25	30	25	25	35	40	45	35	45
6	25	25	25	30	40	50	45	45	35
7	15	20	20	25	30	30	25	35	25
8	20	25	25	25	30	50	50	50	50
9	30	30	35	30	45	50	45	55	45
10	30	30	30	25	35	30	40	35	35
11	20	25	25	20	35	40	45	40	40
12	25	15	15	20	30	35	35	45	30
Gemiddelde	22,9	22,5	23,3	25,4	34,6	41,3	41,7	42,1	37,1
St.dev.	5,4	6,2	5,8	4,5	5,0	7,1	6,5	6,2	7,2

Tabel 10 Demping van EAR m.b.v. zuivere tonen en de diepe kap, gemiddelde van 2 oren.

Volgnr. p.p.	Frequentie (Hz)								
	125	250	500	1000	2000	3000	4000	6000	8000
1	25,0	32,5	35,0	32,5	35,0	37,5	47,5	42,5	50,0
2	32,5	22,5	20,0	27,5	40,0	52,5	47,5	50,0	30,0
3	12,5	12,5	17,5	22,5	30,0	37,5	35,0	32,5	45,0
4	15,0	15,0	22,5	15,0	27,5	37,5	35,0	35,0	37,5
5	17,5	20,0	25,0	20,0	35,0	42,5	42,5	45,0	37,5
6	20,0	22,5	30,0	25,0	40,0	45,0	57,5	52,5	47,5
7	17,5	15,0	12,5	12,5	35,0	37,5	30,0	32,5	40,0
8	25,0	22,5	27,5	27,5	37,5	47,5	55,0	52,5	42,5
9	25,0	27,5	30,0	25,0	45,0	45,0	50,0	50,0	50,0
10	20,0	27,5	30,0	27,5	35,0	40,0	32,5	45,0	37,5
11	17,5	20,0	17,5	20,0	40,0	42,5	50,0	45,0	42,5
12	20,0	20,0	20,0	22,5	27,5	35,0	40,0	37,5	40,0
Gemiddelde	20,6	21,5	24,0	23,1	35,6	41,7	43,5	43,3	41,7
St.dev.	5,4	5,8	6,7	5,7	5,3	5,1	9,1	7,4	5,9

Tabel 11 Damping van EAR m.b.v. ruisbanden en de diepe kap, gemiddelde van 2 oren.

Volgnr. p.p.	Frequentie (Hz)								
	125	250	500	1000	2000	3000	4000	6000	8000
1	20,0	27,5	37,5	40,0	42,5	42,5	50,0	50,0	50,0
2	22,5	27,5	45,0	40,0	52,5	55,0	42,5	45,0	40,0
3	15,0	17,5	17,5	20,0	32,5	37,5	40,0	35,0	37,5
4	17,5	20,0	20,0	15,0	30,0	35,0	32,5	37,5	30,0
5	22,5	22,5	25,0	22,5	35,0	37,5	40,0	40,0	45,0
6	20,0	30,0	32,5	27,5	45,0	50,0	50,0	47,5	50,0
7	17,5	17,5	15,0	15,0	35,0	40,0	32,5	32,5	32,5
8	25,0	22,5	25,0	27,5	40,0	45,0	52,5	55,0	50,0
9	27,5	27,5	30,0	35,0	47,5	52,5	50,0	52,5	52,5
10	27,5	22,5	32,5	27,5	35,0	37,5	32,5	42,5	37,5
11	20,0	17,5	20,0	20,0	37,5	45,0	47,5	50,0	47,5
12	17,5	20,0	20,0	22,5	30,0	37,5	40,0	40,0	40,0
Gemiddelde	21,0	22,7	26,7	26,0	38,5	42,9	42,5	44,0	42,7
St.dev.	4,1	4,5	9,0	8,6	7,1	6,6	7,5	7,2	7,5

Ter vergelijking zijn in tabel 12 de dempingswaarden en standaarddeviaties opgenomen zoals die door de fabrikant worden verstrekt, en die waarschijnlijk ook volgens ISO 4869 (1981) zijn bepaald. Tevens zijn in deze tabel de aangenomen dempingswaarden opgenomen, dit zijn de gemiddelde waarden min eenmaal de standaarddeviatie.

Tabel 12 Dempingswaarden van EAR, zoals opgegeven door de fabrikant.

Frequentie (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	3150	4000	6300	8000
Gem. demping (dB)	26,4	28,0	27,8	30,6	33,2	37,2	-	45,0	-	41,2
St.dev. (dB)	7,8	6,7	3,2	3,5	3,0	6,9	-	8,3	-	6,8
Aangenomen demping (dB)	18,6	21,3	24,6	27,1	30,2	30,3	-	36,7	-	34,4

Het verschil tussen de gestandaardiseerde methode (ISO 4869) en de diepe kap methode, zowel met zuivere tonen als met ruisbanden gemeten, is per persoon gegeven in tabellen 13 en 14.

Tevens is met de Student-toets nagegaan of er significante verschillen zijn; er is tweezijdig getoetst, 11 vrijheidsgraden en met een betrouwbaarheid van 95% ( $t=2,2$ ).

Uit de waarden blijkt dat bij geen enkele gemeten frequentie er significante verschillen zijn tussen de gestandaardiseerde methode volgens ISO 4869 en de diepe kap methode, zowel met zuivere tonen als met ruisbanden uitgevoerd.

Tabel 13 Verschil in demping voor EAR-plugs tussen gestandaardiseerde methode en diepe kap methode met zuivere tonen, (gemiddelde 2 oren) en gegevens Student toets ( $t=2,2$ ).

Volgnr.	Frequentie (Hz)								
	p.p.	125	250	500	1000	2000	3000	4000	6000
1	5,0	-7,5	-10,0	2,5	5,0	7,5	-2,5	2,5	-10,0
2	-17,5	-7,5	0,0	-2,5	-5,0	-12,5	-7,5	-10,0	5,0
3	7,5	2,5	-2,5	-2,5	0,0	7,5	10,0	7,5	-10,0
4	5,0	0,0	-2,5	10,0	2,5	2,5	5,0	5,0	-7,5
5	7,5	10,0	0,0	5,0	0,0	-2,5	2,5	-10,0	7,5
6	5,0	2,5	-5,0	5,0	0,0	5,0	-12,5	-7,5	-12,5
7	-2,5	5,0	7,5	12,5	-5,0	-7,5	-5,0	2,5	-15,0
8	-5,0	2,5	-2,5	-2,5	-7,5	2,5	-5,0	-2,5	7,5
9	5,0	2,5	5,0	5,0	0,0	5,0	-5,0	5,0	-5,0
10	10,0	2,5	0,0	-2,5	0,0	-10,0	7,5	-10,0	-2,5
11	2,5	5,0	7,5	0,0	-5,0	-2,5	-5,0	-5,0	-2,5
12	5,0	-5,0	-5,0	-2,5	2,5	0,0	-5,0	7,5	-10,0
Gemiddelde	2,3	1,0	-0,6	2,3	-1,0	-0,4	-1,9	-1,3	-4,6
St.dev.	7,5	5,3	5,2	5,3	3,8	6,7	6,7	7,0	7,7
t (Student)	1,06	0,68	-0,41	1,51	-0,96	-0,21	-0,97	-0,62	-2,05
Signif. = S	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

Tabel 14 Verschil in demping voor EAR-plugs tussen gestandaardiseerde methode en diepe kap methode met ruisbanden, (gemiddelde 2 oren) en gegevens Student toets ( $t=2,2$ ).

Volgnr.	Frequentie (Hz)								
	p.p.	125	250	500	1000	2000	3000	4000	6000
1	10,0	-2,5	-12,5	-5,0	-2,5	2,5	-5,0	-5,0	-10,0
2	-7,5	-12,5	-25,0	-15,0	-17,5	-15,0	-2,5	-5,0	-5,0
3	5,0	-2,5	-2,5	0,0	-2,5	7,5	5,0	5,0	-2,5
4	2,5	-5,0	0,0	10,0	0,0	5,0	7,5	2,5	0,0
5	2,5	7,5	0,0	2,5	0,0	2,5	5,0	-5,0	0,0
6	5,0	-5,0	-7,5	2,5	-5,0	0,0	-5,0	-2,5	-15,0
7	-2,5	2,5	5,0	10,0	-5,0	-10,0	-7,5	2,5	-7,5
8	-5,0	2,5	0,0	-2,5	-10,0	5,0	-2,5	-5,0	0,0
9	2,5	2,5	5,0	-5,0	-2,5	-2,5	-5,0	2,5	-7,5
10	2,5	7,5	-2,5	-2,5	0,0	-7,5	7,5	-7,5	-2,5
11	0,0	7,5	5,0	0,0	-2,5	-5,0	-2,5	-10,0	-7,5
12	7,5	-5,0	-5,0	-2,5	0,0	-2,5	-5,0	5,0	-10,0
Gemiddelde	1,9	-0,2	-3,3	-0,6	-4,0	-1,7	-0,8	-1,9	-5,6
St.dev.	5,0	6,3	8,6	6,8	5,2	6,8	5,5	5,1	4,8
t (Student)	1,30	-0,12	-1,34	-0,32	-2,66	-0,85	-0,53	-1,27	-4,07
Signif. = S	NS	NS	NS	NS	S	NS	NS	NS	NS

### 5.1.2 Vergelijking gehoordrempels

Een vergelijking tussen de gehoordrempels gemeten volgens de gestandaardiseerde audiometriemethode (ISO 6189) en de diepe kap methode kan geschieden door allereerst per oor, per proefpersoon en per frequentie de verschillen in gemeten gehoordrempels te berekenen en vervolgens de gemiddelde verschillen en standaarddeviaties over alle oren te bepalen.

In tabel 15 worden de verschillen in gehoordrempels gegeven van de gestandaardiseerde methode (ISO 6189) en de diepe kap methode, gemeten met zuivere tonen, per proefpersoon en per oor. In tabel 16 hetzelfde voor metingen met de diepe kap met ruisbanden en de gestandaardiseerde methode (ISO 6189) met zuivere tonen.

Tabel 15 Verschil in gehoordrempels gemeten volgens gestandaardiseerde methode (ISO 6189) en de diepe kap methode, zuivere tonen.

Volgnr. p.p.	Frequentie (Hz)								
	125	250	500	1000	2000	3000	4000	6000	8000
1	-15	-25	-25	-30	-15	-15	0	10	0
	-15	-15	-25	-35	-10	-5	5	5	5
2	10	-15	-20	-15	0	0	0	20	-15
	0	-10	-25	-25	-15	-5	0	10	-5
3	-10	-25	-25	-35	-20	-15	-5	5	-10
	-10	-20	-20	-30	-20	-10	-10	5	-10
4	-10	-20	-25	-35	-20	-25	-20	20	-5
	-10	-15	-20	-35	-20	-15	-10	5	0
5	-10	-20	-25	-30	-20	-10	5	5	-10
	-15	-20	-25	-40	-25	-15	10	10	-30
6	-10	-20	-25	-25	-15	-10	-10	10	20
	-5	-15	-20	-30	-15	-15	-5	10	5
7	-5	-15	-25	-30	-10	-10	5	0	-5
	-15	-20	-30	-35	-15	-15	-5	5	0
8	-5	-15	-20	-35	-10	-10	0	20	-10
	-5	-20	-20	-35	-10	-15	0	15	-5
9	-5	-15	-25	-35	-10	-10	0	10	0
	-10	-25	-25	-40	-15	-20	0	10	-20
10	-5	-10	-25	-25	-10	-15	-10	15	-15
	-20	-20	-25	-30	-15	-15	-5	20	-5
11	-10	-15	-20	-35	-15	-15	0	10	-5
	-5	-15	-20	-35	-10	-10	5	-5	0
12	-10	-15	-20	-25	-15	-15	-10	5	-10
	-5	-10	-20	-30	-15	-10	-5	10	5
Gemiddelde	-8,3	-17,3	-23,1	-31,5	-14,4	-12,5	-2,7	9,6	-5,2
St.dev.	6,0	4,4	2,9	5,6	5,2	5,1	6,8	6,4	9,8

Tabel 16 Verschil in gehoordrempels gemeten volgens gestandaardiseerde methode (ISO 6189) en de diepe kap methode, ruisbanden.

Volgnr. p.p.	Frequentie (Hz)								
	125	250	500	1000	2000	3000	4000	6000	8000
1	-10	-15	0	-5	-5	-10	10	20	10
	-5	-5	-20	-25	5	0	10	20	10
2	10	5	15	15	25	20	10	25	5
	0	10	10	-5	0	10	0	10	15
3	10	-10	-20	-30	-5	-10	5	15	5
	10	-10	-15	-25	-10	-5	0	10	5
4	0	-5	-10	-25	-5	-10	-10	25	5
	0	-10	-15	-30	-10	-10	5	15	10
5	10	0	-15	-20	-10	-5	10	10	0
	5	-10	-10	-25	0	-5	20	10	0
6	5	0	-15	-15	5	0	0	10	30
	5	-5	-15	-25	5	-5	-5	15	15
7	5	0	-15	-20	0	-5	10	5	5
	0	-15	-25	-20	0	0	5	20	5
8	5	-10	-15	-15	5	0	5	25	20
	10	-5	-15	-25	-5	5	10	20	5
9	10	-5	-15	-20	5	5	5	20	5
	5	-10	-20	-15	5	0	5	15	10
10	10	-5	-15	-20	5	0	0	25	0
	0	-15	-15	-25	-5	-10	0	30	10
11	5	-5	-15	-25	0	0	5	15	5
	10	-5	-10	-25	0	5	10	5	15
12	10	-5	-10	-20	-5	0	0	15	0
	10	0	-15	-25	0	0	5	20	20
Gemiddelde	5,0	-5,6	-12,3	-19,6	0,0	-1,3	4,8	16,7	8,8
St.dev.	5,5	6,1	9,0	9,8	7,4	7,1	6,2	6,7	7,4

Geconcludeerd kan worden dat de verschillen tussen de diepe kap methode en de gestandaardiseerde methode (ISO 6189) vrij groot zijn, vooral voor de meting met de diepe kap met zuivere tonen. Bij de verschillen gemeten met ruisbanden blijkt het meetresultaat van proefpersoon nummer 2 sterk af te wijken. Zonder deze waarden zouden de standaarddeviaties voor alle frequenties tussen 5 en 7 dB liggen.

Vooralsnog wordt aangenomen dat de gemiddelde verschillen als correctie-waarden op het audiogram gemeten met de diepe kap kunnen worden beschouwd, om een indicatie te verkrijgen van het audiogram gemeten volgens de gangbare methode.

## 5.2 Metingen ten behoeve van oorkappen

### 5.2.1 Bepaling van de demping van oorkappen

Om in het veldonderzoek de demping van oorkappen te kunnen vaststellen wordt in de voorgestelde methode gebruik gemaakt van een referentiekap. Het is noodzakelijk van deze kap de dempingswaarden te kennen, gemeten volgens de gestandaardiseerde methode voor oorkappen (ISO 4869).

In experiment 3 zijn deze waarden gemeten en in tabel 17 weergegeven.

Tabel 17 Demping referentiekap volgens ISO 4869.

Volgnr. p.p.	Frequentie (Hz)								
	125	250	500	1000	2000	3000	4000	6000	8000
1	15	25	30	35	35	40	50	50	40
2	15	25	25	40	40	40	40	50	35
3	15	25	25	35	35	40	40	40	35
4	15	25	30	35	30	35	40	50	45
5	15	20	30	30	25	35	40	40	40
6	15	25	30	35	40	40	50	50	50
7	10	25	25	35	40	45	40	40	35
8	15	20	30	40	40	40	50	50	50
9	15	20	30	30	35	45	45	50	45
10	15	25	25	35	35	40	45	50	45
11	10	20	30	35	40	45	45	50	50
12	15	20	30	35	40	40	45	45	40
Gemiddelde	14,2	22,9	28,3	35,0	36,3	40,4	44,2	47,1	42,5
St.dev.	1,9	2,6	2,5	3,0	4,8	3,3	4,2	4,5	5,8

Ter vergelijking zijn in tabel 18 de dempingswaarden vermeld zoals ze door de fabrikant zijn opgegeven en wellicht ook zijn bepaald volgens ISO 4869.

Tabel 18 Overzicht van dempingswaarden (in dB) van de Bilson Viking, volgens fabrikant.

Merk en type	63	125	250	500	1000	2000	3150	4000	6300	8000
Gemiddelde demping	-	11,5	19,5	29,6	31,9	33,0	38,5	40,3	41,7	39,2
Standaard deviatie	-	1,7	2,7	2,2	3,9	3,7	3,5	4,9	5,5	5,0
Aangenomen demping (dB)	-	9,8	16,8	27,4	28,0	29,3	35,0	35,4	36,2	34,2

Zoals uit de tabellen blijkt zijn de verschillen in de gemiddelde waarden en de standaarddeviaties tussen de door ons vastgestelde waarden en de waarden die de fabrikant opgeeft zeer gering.

### 5.2.2 Bepaling van de gehoordrempel met de referentiekap

Verder zijn in dit experiment de gehoordrempels met luidsprekers gemeten met referentiekap, zowel in de geluidkamer als in de audiocabine van de audiomobiel.

De verwachting is dat de verschillen in gehoordrempels gelijk zullen zijn aan nul. Immers, dan zijn de meting in de audiomobiel en in de geluidkamer identiek.

In tabel 19 zijn de verschillen weergegeven in de meetuitkomsten tussen beide meetplaatsen (geluidkamer en audiomobiel). Hierbij is ten opzichte van het referentiepunt niet gecorrigeerd voor de absolute niveaus op beide plaatsen. Hiervoor kunnen de waarden uit tabel 2 en tabel 3 (2e kolom) gebruikt worden. De verschillen van deze waarden staan in onderstaande tabel bij 'corr.v-eld', dit zijn dus de waarden waarmee het gemiddelde nog moet worden gecorrigeerd. Toetsing met de Student toets levert voor slechts 2 frequenties een significant verschil tussen de meetplaatsen op. Er is tweezijdig getoetst, 11 vrijheidsgraden en met een betrouwbaarheid van 95% ( $t=2,2$ ).



Tabel 19 Verschil in gehoordrempels met referentiekap gemeten met de luidsprekermethode in de geluidkamer en in de audiomobiel.

Volgnr. p.p.	Frequentie (Hz)								
	125	250	500	1000	2000	3000	4000	6000	8000
1	20	25	15	5	5	15	15	15	15
2	15	20	5	5	0	0	5	5	5
3	25	35	25	20	20	20	15	10	15
4	20	25	15	15	10	10	10	10	15
5	20	25	15	10	5	10	10	5	10
6	15	20	10	0	5	10	10	10	15
7	20	25	10	0	5	5	-5	0	5
8	20	25	10	5	5	5	15	15	15
9	20	25	15	5	5	15	15	10	15
10	15	30	15	5	10	10	10	5	20
11	15	20	10	10	10	15	10	10	15
12	20	25	20	10	10	15	15	10	20
Gemiddelde	18,8	25,0	13,8	7,5	7,5	10,8	10,4	8,8	13,8
St. dev.	3,1	4,3	5,3	5,8	5,0	5,6	5,8	4,3	4,8
Corr. veld	18,0	20,0	15,5	7,0	9,5	10,5	12,0	12,5	13,5
Corr. gemidd.	0,8	5,0	-1,8	0,5	-2,0	0,3	-1,6	-3,8	0,3
t (Student)	0,84	4,06	-1,15	0,30	-1,39	0,21	-0,94	-3,00	0,18
Sig. (t=2,2)	NS	S	NS	NS	NS	NS	NS	S	NS

### 5.3 Vergelijking gehoordrempelmetingen volgens ISO 6189

Per proefpersoon is tweemaal gemeten met 'normale' hoofdtelefoons volgens ISO 6189, namelijk eenmaal in de geluidkamer en eenmaal in de audiomobiel. De verwachting is dat er geen significantie van nul afwijkende verschillen zullen optreden.

Voor alle frequenties blijkt het gemiddelde verschil gering, maar wel steeds positief te zijn. Dat wil zeggen dat de metingen in de geluidkamer bij alle frequenties hoger zijn. Een mogelijke oorzaak hiervan zou kunnen zijn dat er een zeker leereffect is opgetreden. Het is namelijk zo dat de gehoordrempelbepalingen volgens een gestandaardiseerde audiometriemethode in de geluidkamer altijd als eerste meting heeft plaatsgevonden (ter controle van de proefpersonen, voordat zij aan de overige experimenten konden deelnemen) en de meting in de audiomobiel altijd als een van de laatste metingen plaatsvond (zie ook volgordetabel 8).

Tabel 20 Verschil in gehoordrempelmeting volgens ISO 6189, gemeten op twee meetplaatsen ( $t=2,07$ ). (drempel<sub>geluidkamer</sub> - drempel<sub>audiomobiel</sub>).

Volgnr.	Frequentie (Hz)								
	p.p.	125	250	500	1000	2000	3000	4000	6000
1	-5	-5	-5	-5	0	-10	-5	0	0
	-5	0	-10	-5	-5	-5	-5	-10	0
2	-5	-5	5	5	5	0	5	15	5
	-15	0	0	5	0	5	-5	-20	5
3	5	0	5	0	5	5	0	0	5
	5	5	5	0	-5	5	0	5	5
4	0	0	0	5	5	0	0	15	-5
	-5	5	5	0	0	-5	5	-5	-10
5	0	5	5	10	5	5	15	-5	-5
	-5	0	5	0	0	0	15	-10	-5
6	0	0	-5	0	-5	5	0	-5	5
	5	5	0	0	0	-5	-5	5	5
7	0	5	0	5	5	0	5	-15	-5
	-5	0	-5	5	0	0	-5	15	0
8	10	0	0	0	0	-5	-5	-5	5
	10	0	0	0	5	0	0	0	0
9	0	5	5	0	5	0	10	0	-5
	0	0	-5	-5	0	-5	5	-20	-10
10	0	5	0	0	5	0	0	10	0
	-5	0	0	0	0	0	0	0	-5
11	5	5	5	0	5	0	0	5	0
	5	5	5	0	5	0	0	0	5
12	0	0	0	0	10	5	0	10	0
	5	5	5	5	5	5	0	20	10
Gemiddelde	0,0	1,7	0,8	1,0	2,1	0,0	1,3	0,2	0,0
St.dev.	5,7	3,2	4,3	3,6	3,9	4,2	5,8	10,8	5,3
T (Student)	0,00	2,56	0,94	1,42	2,63	0,00	1,06	0,09	0,00
Signif. = S	NS	S	NS	NS	S	NS	NS	NS	NS

Er is tweezijdig getoetst, 23 vrijheidsgraden en met een betrouwbaarheid van 95% ( $t=2,07$ ). Ook nu voor 2 frequenties toch een van nul gering significant afwijkend verschil tussen beide metingen, namelijk bij 250 en 2000 Hz.

Desondanks kan geconcludeerd worden dat het achtergrondniveau in de audiomobiel ten gevolge van het omgevingslawaaï geen invloed heeft gehad op de meetresultaten. Zou dat wel het geval geweest zijn, dan zouden de resultaten in de audiomobiel hoger geweest zijn dan in de geluidkamer, vanwege maskeringseffecten.

## 6. CONSEQUENTIES VOOR HET VELDONDERZOEK

Vastgesteld is dat de in dit experiment gehanteerde meetmethode voor het bepalen van de demping van in de gehoorgang gedragen beschermingsmiddelen met de 'diepe kap' vrijwel identieke meetresultaten geeft als de internationaal gestandaardiseerde luidspreekmethode (ISO 4869 (1981)). Dit betekent dat de diepe kap methode geschikt is om in het veldonderzoek gebruikt te worden als methode om de frequentieafhankelijke demping van in de gehoorgang te dragen gehoorbeschermingsmiddelen te bepalen.

De diepe kap methode is echter niet geschikt om op de gangbare manier een drempelaudiogram uit vast te stellen, enerzijds omdat absolute calibratie van de diepe kap niet is gestandaardiseerd en anderzijds omdat er soms grote frequentieafhankelijke verschillen zijn met het gewone audiogram. In het veldonderzoek zal wel gebruik gemaakt worden van de resultaten van de diepe kap methode als indicatie van het gewone audiogram door correctiewaarden toe te passen op de met de diepe kap verkregen gewone drempelwaarden. Deze correctiewaarden zijn in tabel 16 gegeven voor ruisbanden.

Met betrekking tot de meetmethode, toe te passen in geval van oorkappen of oorbeugels, is vastgesteld dat het geluidveld in de audiocabine van de NIPG-audiomobiel redelijk voldoet aan de gestelde eisen. De dempingswaarden van de referentiekap zijn gegeven in tabel 17.

Bij gebruik van de referentiekap zijn de gemeten gehoordrempels in de audiomobiel en in de geluidkamer van het NIPG-TNO vrijwel identiek. Dit heeft tot gevolg dat de methode met de referentiekap in de audiomobiel uitgevoerd kan worden, met als groot voordeel een korte loopafstand voor de betrokken werknemers naar de meetruimte.

## LITERATUUR

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

BERG R van den. Meetmethoden van de demping van gehoorbeschermingsmiddelen. Delft: Instituut voor Milieuhygiëne en Gezondheidstechniek-TNO, 1984. Rapport B572.

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.

INTERNATIONAL ORGANISATION FOR STANDARDIZATION (ISO). Acoustics: Standard reference zero for the calibration of pure-tone air-conduction audiometers, (including Addendum 01-1983 and Addendum 02-1986). Geneva: ISO, 1985. ISO 389.

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.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). Acoustics-audiometric test methods - Part 2: Sound field audiometry with pure-tone and narrow-band test signals. Geneva: ISO, 1992. ISO 8253-2.

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

Reprografie: NIPG-TNO  
Projectnummer: 3845