

TNO-rapport

**PERSOONLIJKE GEHOORBESCHERMINGSMIDDE-
LEN IN CONCRETE ARBEIDSSITUATIES**

Ontwikkeling van een verkorte testmethode van de demping
van persoonlijke gehoorbeschermingsmiddelen en bepaling
van dempingswaarden in concrete arbeidssituaties

NIPG-publikatienummer
93.022

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

16.064

49-407

13 AUG. 1993

W. Passchier-Vermeer (TNO-NIPG, Leiden)
R. van den Berg (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

Ontwikkeling van een verkorte testmethode van de demping
van persoonlijke gehoorbeschermingsmiddelen en bepaling
van dempingswaarden in concrete arbeidsituaties / W.

Passchier-Vermeer, R. van den Berg, H. Crijns

NIPG-publicatienr. 93.022 - Met lit. opg.

ISBN 90-6743-252-0

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
93.022.

| INHOUD | pagina |
|--|---------------|
| SAMENVATTING | i |
| 1. INLEIDING | 1 |
| 2. VOORWAARDEN VOOR DE TE ONTWIKKELEN MEETMETHODIEK | 2 |
| 3. VAN LABORATORIUM NAAR PRAKTIJK | 3 |
| 4. DE EERSTE STAP VAN UITGEBREIDE TESTMETHODE NAAR VERKORTE TESTMETHODE | 7 |
| 5. DE TWEEDE STAP NAAR EEN VERKORTE TESTMETHODE: HERHALINGSMETINGEN | 23 |
| 6. OVERWEGINGEN | 31 |
| 6.1 Vaststelling testfrequentie verkorte meetmethode | 31 |
| 6.2 Uitsluitingscriteria | 33 |
| 6.3 Toepassing verkorte testmethode | 35 |
| 7. CONCLUSIE | 38 |
| LITERATUUR | 39 |

SAMENVATTING

Het rapport beschrijft de ontwikkeling van twee methoden om snel en betrouwbaar de demping te bepalen van persoonlijke gehoorbeschermingsmiddelen, zoals deze door de individuele werknemer in praktijksituaties gedragen worden.

De methoden kunnen worden uitgevoerd in een kleine cabine van een audiomobiel die geschikt is voor de in de bedrijfsgezondheidszorg gangbare drempelaudiometrie. Ten behoeve van in de gehoorgang gedragen gehoorbeschermingsmiddelen, otoplastieken, oorrollen en oorwatten, is een methode ontwikkeld waarbij een testsignaal wordt aangeboden via hoofdtelefoons die in een speciaal daarvoor op de markt gebrachte diepe kap zijn ingebouwd.

Met betrekking tot de demping van oorkappen, helmkappen en oorbeugels is een methode ontwikkeld, waarbij het testsignaal via een luidspreker aangeboden wordt, en die berust op vergelijking van de gehoordrempel, terwijl de gehoorbeschermer gedragen wordt, met die, terwijl een referentiekap met bekende demping gedragen wordt.

Het testsignaal is in beide methoden een smalle bandruis met middenfrequentie 500 Hz. Eventueel kan in geval van de diepe kap methode gebruik gemaakt worden van een zuivere toon met frequentie 500 Hz. De keuze van 500 Hz als testfrequentie berust op een analyse van de verbanden tussen de frequentie-afhankelijke demping van 236 gehoorbeschermingsmiddelen en de geluiddruk niveaus van 13 representatieve geluidspectra. De dempingsmetingen zijn verricht bij werknemers uit de kolen- en staalindustrie en de spectra zijn eveneens uit die industrie afkomstig.

De reproduceerbaarheid van de meetmethoden is bepaald uit drie veldonderzoeken.

Bij een (kleine) categorie werknemers met grote gehoorschade leveren de ontwikkelde testmethoden geen correcte dempingswaarden op, ten gevolge van geleiding van het testsignaal via de schedel. In het rapport is beschreven om welke categorie werknemers het gaat.

In het rapport wordt tevens een verband gegeven tussen de gemeten demping bij 500 Hz van een gehoorbeschermingsmiddel en de totale demping in dB(A). Daarbij is onderscheid te maken naar de frequentie-samenstelling van het geluid. Tevens is een verband gegeven tussen het equivalente geluidniveau, waarin een werknemer dagelijks werkt en de demping bij 500 Hz van een gehoorbeschermingsmiddel die minimaal nodig is om gehoorschade door lawaai op de arbeidsplaats te voorkomen.

1. INLEIDING

In de bedrijfsgezondheidszorg blijkt steeds duidelijker de behoefte aan een mogelijkheid om vast te stellen wat de demping van een gehoorbeschermingsmiddel is zoals dat in de praktische situatie door een individuele werknemer gedragen wordt. Als deze demping bekend is, kan immers in het individuele geval, mede op basis van de resultaten van geluidmetingen, worden vastgesteld of de betrokken gehoorbeschermer voldoende bescherming biedt tegen het betreffende lawaai op de arbeidsplaats. Een van de doelstellingen van het in dit rapport te beschrijven project is om in deze geconstateerde behoefte te voorzien door een meetmethode te ontwikkelen waarmee in praktijksituaties de demping van door een werknemer gedragen gehoorbescherming bepaald kan worden. De andere doelstelling van het te beschrijven project is het bepalen van de demping van gehoorbeschermingsmiddelen, zoals ze door werknemers onder praktijkomstandigheden gedragen worden.

Het te beschrijven project is in het kader van het vijfde EGKS-programma voor medisch onderzoek in opdracht van Hoogovens B.V. door het NIPG-TNO uitgevoerd in de periode van mei 1991 tot april 1993. De ontwikkelde meetmethode is in eerste instantie, evenals de in het project bepaalde demping van gehoorbeschermingsmiddelen, toegespitst op de kolen- en staalindustrie. De ontwikkelde meetmethode heeft echter algemeen geldende toepasbaarheid. De in het project bepaalde dempingswaarden hebben evenwel slechts geldigheid voor de in het project aangetroffen situatie. In andere situaties, bijvoorbeeld wat betreft instructie van de werknemers over het dragen van gehoorbeschermingsmiddelen en het onderhoud van de gehoorbeschermers, zullen andere dempingswaarden aangetroffen worden.

De diverse onderdelen van het project zijn uitvoerig beschreven in een der vier NIPG-TNO rapporten 93.018, 93.019, 93.020 en 93.021. Dit rapport geeft de grote lijnen van het onderzoek en beschrijft de onderzoeksresultaten.

2. VOORWAARDEN VOOR DE TE ONTWIKKELEN MEETMETHODIEK

Om bruikbaar te zijn in het kader van de bedrijfsgezondheidszorg moet een methode om de demping van persoonlijke gehoorbescherming te bepalen, aan een aantal gebruiksvoorwaarden voldoen. Bij de aanvang van het project hebben ons in dat opzicht de volgende voorwaarden voor ogen gestaan:

- een methode moet bruikbaar zijn voor (vrijwel) elke werknemer die gehoorbescherming draagt. Daarbij moet er speciale aandacht aan besteed worden dat ook bij werknemers met gehoorschade door lawaai of met andere gehoorafwijkingen de meetmethode zonder systematische fouten toe te passen is;
- een methode moet bruikbaar zijn voor (vrijwel) elk gehoorbeschermingsmiddel. Daarbij is op voorhand een uitzondering gemaakt voor actieve gehoorbeschermers, dat wil zeggen gehoorbeschermers met een variabele geluiddoorvoer en beschermers met actieve geluidreductie;
- een methode moet gebruikt kunnen worden zonder hoge kosten met betrekking tot aanschaf van apparatuur;
- een methode moet eenvoudig toepasbaar zijn en snel en betrouwbaar tot een bruikbaar resultaat voeren;
- een methode moet dicht bij de arbeidsplaats van de werknemers kunnen worden uitgevoerd.

Met als basis deze vijf voorwaarden zijn gaandeweg in het project twee meetmethoden ontwikkeld. Al aan het begin van het project bleek het noodzakelijk om niet één, maar twee methoden te bezien: één voor gehoorbeschermingsmiddelen die in de gehoorgang worden gedragen, zoals oordoppen, oorwatten, otoplastieken, oorrollen, en één voor gehoorbeschermingsmiddelen die over de oren gedragen worden of de ingang van de gehoorgang afsluiten, zoals oorkappen, helmkappen (oorkappen die aan een veiligheidshelm bevestigd zijn) en oorbeugels. Wel is getracht om de beide meetmethoden zoveel mogelijk op elkaar af te stemmen, bijvoorbeeld wat betreft testsignalen, testapparatuur en testomstandigheden.

3. VAN LABORATORIUM NAAR PRAKTIJK

Voor het bepalen van de demping van gehoorbeschermingsmiddelen bestaat een meetmethode, die door de Internationale Organisatie voor Standaardisatie (ISO) is vastgelegd in ISO 4869, "Acoustics - Measurement of sound attenuation of hearing protectors - Subjective method".

Deze methode voor het bepalen van de demping van gehoorbeschermingsmiddelen bestaat uit het bepalen van de gehoordrempels van een voorgeschreven minimum aantal proefpersonen: bij elke proefpersoon eenmaal zonder en eenmaal met het gehoorbeschermingsmiddel. Het verschil in de meetuitkomsten is de demping. De testsignalen worden aangeboden aan de proefpersonen via een luidspreker en de test vindt tegelijkertijd aan beide oren plaats.

Voor de bepaling van de gehoordrempels dient het achtergrondgeluidniveau in de meetruimte aan strenge eisen te voldoen. In de praktijk - bij fabrieken en bedrijven - zullen naar verwachting dergelijke ruimten niet gevonden worden. Om deze strenge eisen wat betreft het achtergrondniveau in de meetruimte te kunnen ondervangen, zijn de volgende twee mogelijkheden benut:

- de testsignalen worden via hoofdtelefoons, die zijn ingebouwd in een diepe kap, aan de te testen personen aangeboden. Deze methode is alleen geschikt voor gehoorbeschermingsmiddelen, die in de gehoorgang gedragen worden. De diepe kap moet daarbij geheel over de gehoorbeschermingsmiddelen vallen zonder deze te raken.

Het gebruik van een diepe kap heeft het voordeel dat het achtergrondniveau in de meetruimte veel hoger mag zijn dan bij meting zonder diepe kap, omdat de diepe kap een bepaalde vermindering van het geluidniveau ter plaatse van de oren van de te testen personen tot gevolg heeft.

Er wordt met de diepe kap methode, aan beide oren afzonderlijk, één meting gedaan met het gehoorbeschermingsmiddel in de gehoorgang en één meting zonder gehoorbeschermingsmiddel. In het project is gebruik gemaakt van een diepe kap, die in Nederland op de markt is gebracht door Veenhuis Medical Audio. De hoofdtelefoons in de diepe kap zijn verbonden aan een klinische audiometer, merk Madsen en type OB802;

- in het geval van het meten van de demping van oorkappen etc. wordt gebruik gemaakt van een "referentiekap", waarvan de dempingskarakteristieken bekend zijn. De meting van de gehoordrempel zonder oorkap, zoals voorgeschreven in ISO 4869, wordt vervangen door een meting van de gehoordrempel, terwijl de referentiekap gedragen wordt.

Het verschil tussen de gehoordrempel gemeten met de referentiekap op en die gemeten bij het dragen van de betrokken gehoorbeschermer, levert samen met de bekende demping

van de referentiekap de demping van de betrokken gehoorbeschermer. De geluidsignalen worden, zoals omschreven in ISO 4869, tegelijkertijd aan beide oren van de proefpersonen via een luidspreker aangeboden.

In het project is gebruik gemaakt van de eerder genoemde audiometer Madsen OB802 en tevens van een bijbehorende eindversterker.

Omdat het in de praktijk zeer wenselijk is dat de metingen van de demping van de gehoorbeschermingsmiddelen dicht bij een arbeidsplaats van de betrokken werknemers worden uitgevoerd, is nagegaan of gebruik gemaakt kan worden van een audiomobiel. De ons ter beschikking staande audiomobiel is beschreven in Rapport S36 van het DGA "Integrale gehoorbeschermingsprogramma's", 1988. In deze audiomobiel is een kleine geluidsisolerende cabine, merk Philips, ingebouwd. De geluidsisolatie van deze minicabine is, tezamen met de geluidsisolatie van de audiomobiel, voldoende hoog om in de cabine op de in de bedrijfsgezondheidszorg gebruikelijke wijze drempelaudiometrie te mogen uitvoeren, ook al wordt de audiomobiel in een niet al te stille omgeving geplaatst. Het gebruik van de audiomobiel levert wat betreft het achtergrondgeluid bij het meten van de demping van gehoorbeschermingsmiddelen, bij gebruik van de diepe kap of van de referentiekap, dan ook geen problemen op. Wel was het de vraag of het geluidveld van de testsignalen, als ze in het geval van de referentiekap methode door middel van de luidspreker in de minicabine ten gehore werden gebracht, zouden voldoen aan de in ISO 4869 gestelde eisen. Bij controle bleek dat 5 van de 63 meetwaarden een iets grotere afwijking vertoonden dan was toegestaan volgens ISO 4869 (zie tabel 3 van het NIPG-TNO rapport 93.018). Deze afwijkingen konden voor een deel worden ondervangen door het hoofd van de te testen personen min of meer te fixeren met behulp van een hoofdsteen. Gelukkigigwijs mocht dus geconcludeerd worden dat de minicabine in principe geschikt was voor metingen met door de luidspreker geproduceerde testsignalen.

In de eerste, experimentele, fase van het project is ondermeer het volgende bepaald:

- de overeenkomst tussen de demping, van een in de gehoorgang gedragen gehoorbeschermingsmiddel, zoals bepaald volgens ISO 4869 en zoals bepaald met behulp van de diepe kap methode. Om geheel te voldoen aan de in ISO 4869 gestelde eisen zijn deze metingen uitgevoerd in de geluidkamer van het NIPG- TNO;
- de demping van de referentiekap. Deze demping is eveneens bepaald volgens ISO 4869 in de geluidkamer van het NIPG-TNO met gebruikmaking van de later in het project ook gebruikte meetprocedures;

- de overeenkomst tussen de gehoordrempels van proefpersonen als ze de referentiekap dragen, bij meting in de geluidkamer van het NIPG-TNO, waarbij geheel aan alle eisen volgens ISO 4869 is voldaan, en bij meting in de audiomobiel.

De resultaten van de experimentele fase waren dusdanig dat het verantwoord bleek om de metingen van de demping van gehoorbeschermingsmiddelen uit te voeren in de audiomobiel van het NIPG-TNO, zowel met de diepe kap methode als met de referentiekap methode. Voor een uitgebreid verslag zij verwezen naar het NIPG-TNO rapport 93.018. Op deze plaats lijken de volgende vier uitkomsten van belang.

1. De metingen met de diepe kap zijn uitgevoerd zowel met zuivere tonen als met smalle ruisbandjes. Het gemeten gehoorbeschermingsmiddel betrof oorrollen van het merk EAR. De overeenkomst tussen de met behulp van zuivere tonen gemeten demping en die volgens ISO 4869 bleek iets groter dan die tussen de met smalle ruisbandjes bepaalde demping en die volgens ISO 4869 (zie tabel 13 en 14 van het NIPG-TNO rapport 93.018). Hoewel op basis daarvan het meten met zuivere tonen bij de diepe kap methode enigszins de voorkeur zou verdienen boven het meten met ruisbandjes, is aan de laatste mogelijkheid toch de voorkeur gegeven, omdat bij de referentiekap methode gebruik gemaakt moet worden van smalle ruisbandjes, aangezien het geluidveld van zuivere tonen geheel niet voldeed aan de specificaties in ISO 4869.
2. De in het project gebruikte referentiekap was van het merk Bilsom, type Viking. De door het NIPG-TNO bepaalde gemiddelde demping van deze kap was bij vrijwel alle frequenties iets hoger dan die bepaald door de fabrikant. De standaarddeviaties in de dempingswaarden bleken bij de metingen door het NIPG-TNO over het algemeen iets kleiner dan volgens de fabrikant. De metingen door het NIPG-TNO geven dus een iets beter resultaat dan door de fabrikant opgegeven.
3. Bij negen frequenties zijn de gehoordrempels bepaald als de referentiekap gedragen werd en dat is zowel in de audiomobiel als in de geluidkamer gebeurd. Bij twee frequenties bleek het verschil tussen de uitkomsten op beide meetplaatsen statistisch significant. Bij 500 Hz lag de gehoordrempel in de geluidkamer gemiddeld hoger (groter gehoorverlies), en bij 6000 Hz lager. De geconstateerde verschillen zijn voor de praktijk niet van veel

belang, aangezien het bij dempingsbepalingen niet om absolute gehoordrempels gaat, maar om verschillen in gehoordrempels.

4. Ook al is de diepe kap methode geschikt om er de demping van in de gehoorgang te dragen gehoorbeschermingsmiddelen mee te bepalen, toch is het niet raadzaam om de diepe kap te gebruiken voor het vastleggen van een drempelaudiogram en wel om de volgende met elkaar verband houdende redenen. Ten eerste worden bij de gebruikelijke vormen van drempelaudiometrie de gehoordrempels bepaald ten opzichte van het internationaal gestandaardiseerde nul-niveau van een audiometer. Voor de diepe kap is er niet zo'n internationaal gestandaardiseerd nul-niveau. Wel is uit de experimentele fase van het project een indicatie te verkrijgen van het verschil van dit nul-niveau en dat van de gebruikelijke audiometer (zie tabel 15 en 16 van het NIPG-TNO rapport 93.018). Ten tweede blijkt dit verschil sterk frequentie-afhankelijk te zijn. Voor zuivere tonen bijvoorbeeld is bij 1000 Hz dit verschil 31,5 dB en bij 2000 Hz 14,4 dB; voor ruisbanden gelden weer andere waarden. Een en ander moet leiden tot de conclusie dat de diepe kap niet geschikt is voor het bepalen van een drempelaudiogram.

4. DE EERSTE STAP VAN UITGEBREIDE TESTMETHODE NAAR VERKORTE TESTMETHODE

Volgens ISO 4869 moet de demping van een gehoorbeschermingsmiddel bepaald worden bij minimaal negen frequenties in het gebied van 125 tot 8000 Hz. Om de meetmethode te bekorten is in het project nagegaan of volstaan kan worden met minder frequenties bij het testen van in de praktijk gedragen gehoorbeschermers.

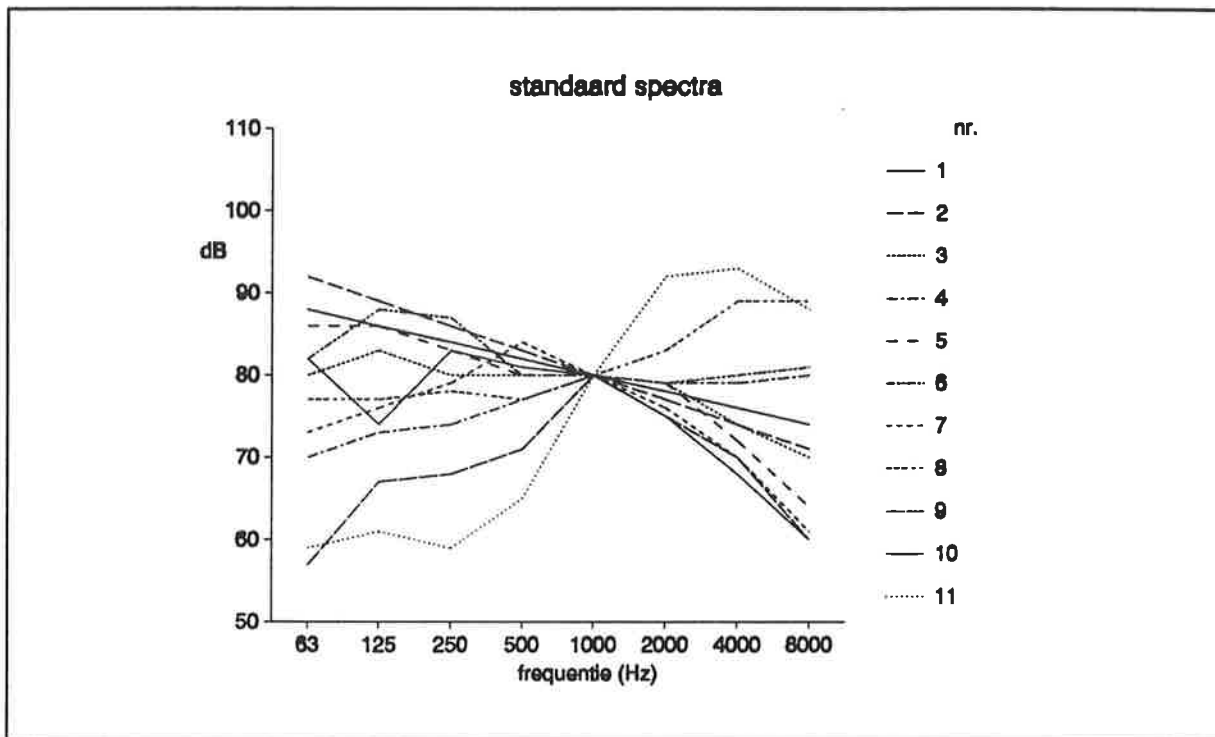
Over het algemeen is de demping van gehoorbeschermingsmiddelen frequentie-afhankelijk en ook de samenstelling van het lawaai op de arbeidsplaats is veelal een frequentie-afhankelijk verschijnsel. Dat is te zien uit op de arbeidsplaats opgenomen geluidspectra. Deze geluidspectra, dat wil zeggen de geluiddruk niveaus in bepaalde frequentiebanden uitgezet als functie van de middenfrequentie van de frequentiebanden, zijn over het algemeen niet recht. Om te beoordelen of een gehoorbeschermer het op de arbeidsplaats heersende lawaai voldoende dempt, speelt ook nog de weging van geluid volgens de A-karakteristiek een rol. Immers, de schadelijkheid van een situatie wordt bepaald uit het equivalente geluidniveau in dB(A) en uiteindelijk gaat het er bij een gehoorbeschermer om dat het geluid zodanig gedempt wordt dat er onder de gehoorbeschermer een geluid overblijft dat niet schadelijk is voor het gehoororgaan. In de praktijk zal bijvoorbeeld bij een (equivalent) geluidniveau van 95 dB(A) in de werkruimte de demping van de gehoorbeschermer 15 dB(A) moeten zijn om beneden de schadelijkheidsgrens van 80 dB(A) te komen.

Als van een gehoorbeschermingsmiddel de frequentie-afhankelijke demping bekend is, dan kan voor elk geluidsspectrum de demping $D(A)$ van het gehoorbeschermingsmiddel in dB(A) berekend worden. De dempingswaarden in dB(A) zijn afhankelijk van de vorm van het betrokken geluidsspectrum. Daarom was als eerste stap in het bekorten van de methodiek inzicht nodig in de geluidspectra, zoals die op arbeidsplaatsen voorkomen. In het project kon met betrekking tot de kolen- en staalindustrie gebruik gemaakt worden van in de afgelopen jaren bij Hoogovens op vele arbeidsplaatsen opgenomen geluidspectra (zie het NIPG-TNO Rapport 93.019). De 79 geluidspectra die ter beschikking stonden in de periode dat de methodiek bekort werd, zijn elk genormeerd op een waarde van 80 dB in de octaafband met middenfrequentie 1000 Hz met behoud van de vorm van het spectrum. Vervolgens zijn de 79 genormeerde spectra in elf clusters gegroepeerd, zodanig dat binnen een cluster de geluidspectra min of meer dezelfde vorm hebben. Op deze manier is het aantal spectra teruggebracht tot elf. Deze spectra worden standaardspectra genoemd.

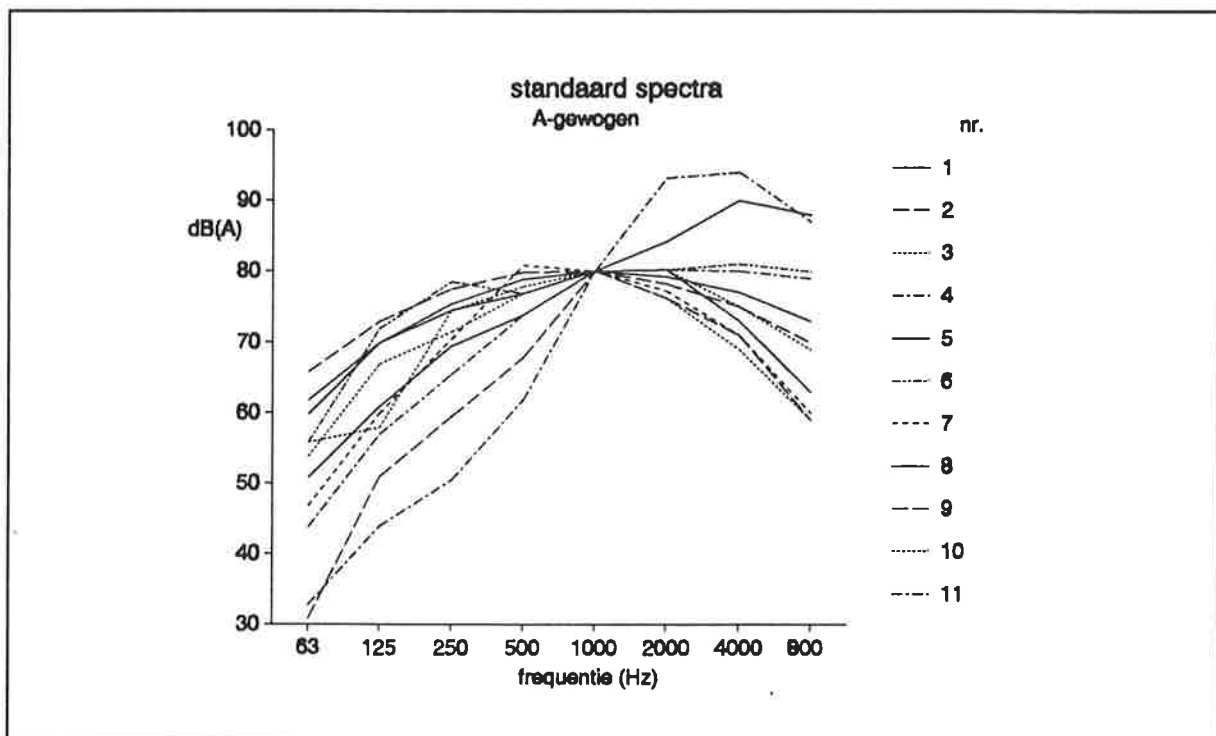
In figuur 1 en 2 zijn deze elf standaardspectra grafisch weergegeven: in figuur 1 ongewogen en in figuur 2 is de A-weging toegepast. Naderhand zijn de standaardspectra vergeleken met recentere

gegevens over 117 geluidspectra. Daaruit bleek dat in de standaardspectra een ondervetegenwoordiging was van laagfrequente geluiden. Om een representatiever beeld te verkrijgen van de geluidssituatie in de kolen- en staalindustrie is het nodig om de standaardspectra aan te vullen met twee laagfrequente spectra (spectrum 13 en spectrum 16 uit de bijlage 4 van rapport 93.019). Deze spectra zijn niet in de figuren 1 en 2 opgenomen, om deze figuren overzichtelijk te houden.

Figuur 1 Oktaafbandniveaus (ongewogen) in dB van de standaardspectra.



Figuur 2 Oktaafbandniveaus in dB(A) van de standaardspectra.



Naast inzicht in de geluidssituaties in de kolen- en staalindustrie is het voor het onderhavige probleem ook nodig de frequentie-afhankelijke demping te kennen van de gehoorbeschermingsmiddelen zoals deze gedragen worden door de individuele werknemers van Hoogovens Groep B.V. Deze frequentie-afhankelijke dempingen zijn bij 173 werknemers, voor diverse typen gehoorbeschermingsmiddelen, in het eerste veldonderzoek van het project bepaald (zie NIPG-TNO Rapport 93.020). De gemiddelde dempingswaarden evenals de standaarddeviaties in de dempingswaarden en de aangenomen demping (gemiddelde demping verminderd met éénmaal de standaarddeviatie) zijn na selectie van de bruikbare audiogrammen (zie hoofdstuk 4 van het NIPG-TNO Rapport 93.020) bepaald voor negen typen en merken gehoorbeschermingsmiddelen. De resultaten zijn opgenomen in tabel 1 en in de figuren 3 tot en met 11. In de figuren zijn tevens de door de fabrikant gegeven dempingskarakteristieken weergegeven.

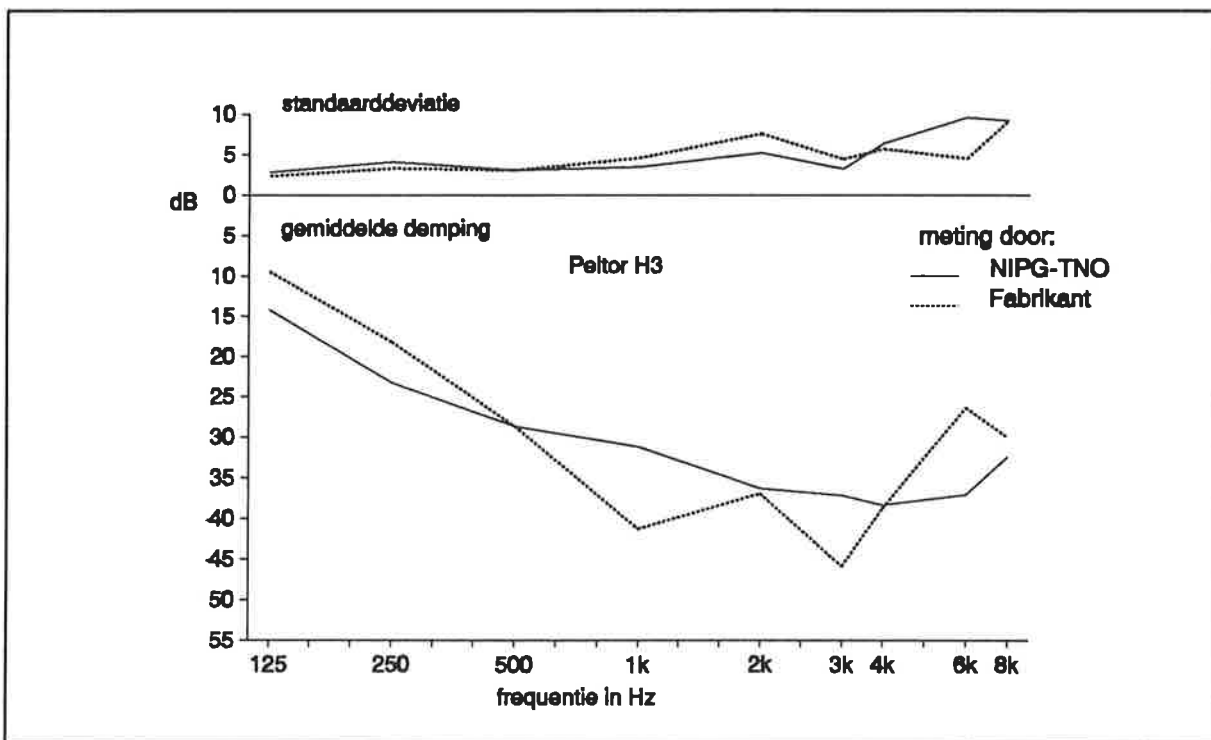
Tabel 1 Gemiddelde dempingswaarden (eerste regel per middel: g.d.), standaarddeviaties (tweede regel per middel: s.d.) en aangenomen demping (derde regel per middel: a.d.). Alle waarden in dB. Voor kappen, helmkappen en beugels is tevens per frequentie het aantal metingen gegeven.

| 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 |
| OTO- PLASTIEK | 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 |

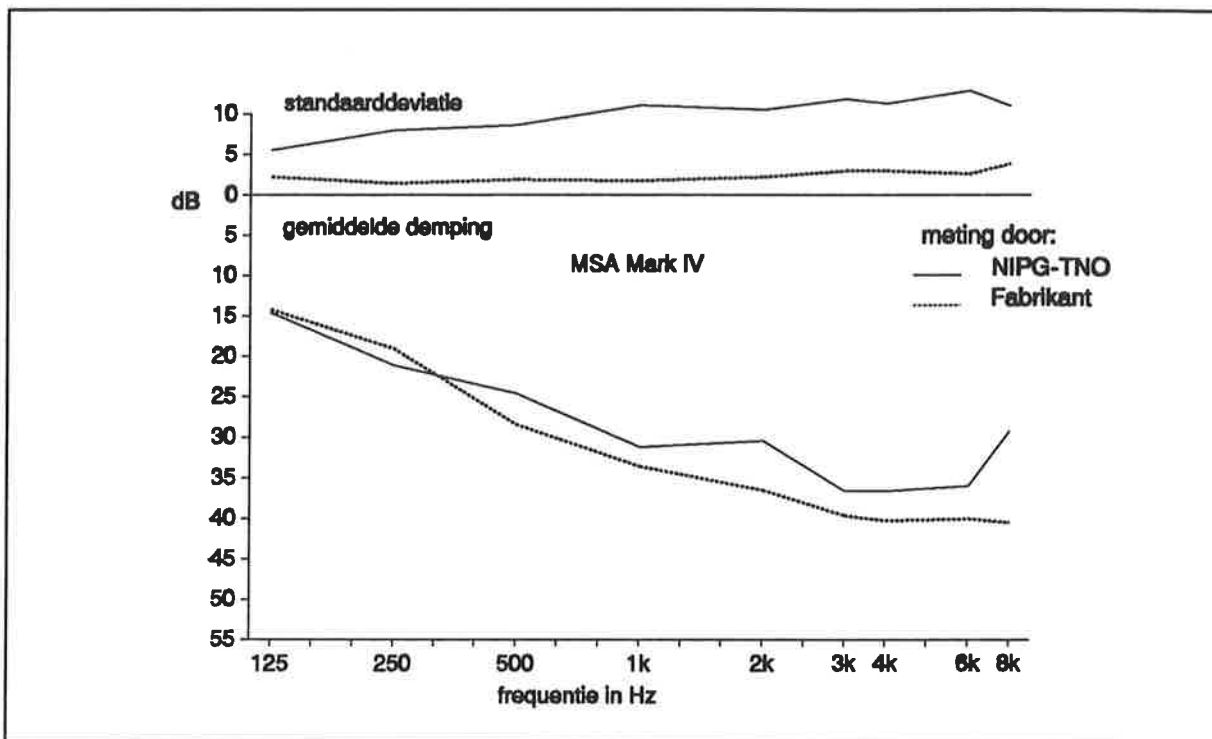
Vervolg tabel 1 Gemiddelde dempingswaarden (eerste regel per middel: g.d.), standaarddeviaties (tweede regel per middel: s.d.) en aangenomen demping (derde regel per middel: a.d.). Alle waarden in dB. Voor kappen, helmkappen en beugels is tevens per frequentie het aantal metingen gegeven.

| type | merk | aantal | | frequentie in Hz | | | | | | | | | |
|--------|--------------|--------|------|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
| | | | | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 3000 | 4000 | 6000 | 8000 | |
| DOPPEN | Wilson 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 | |

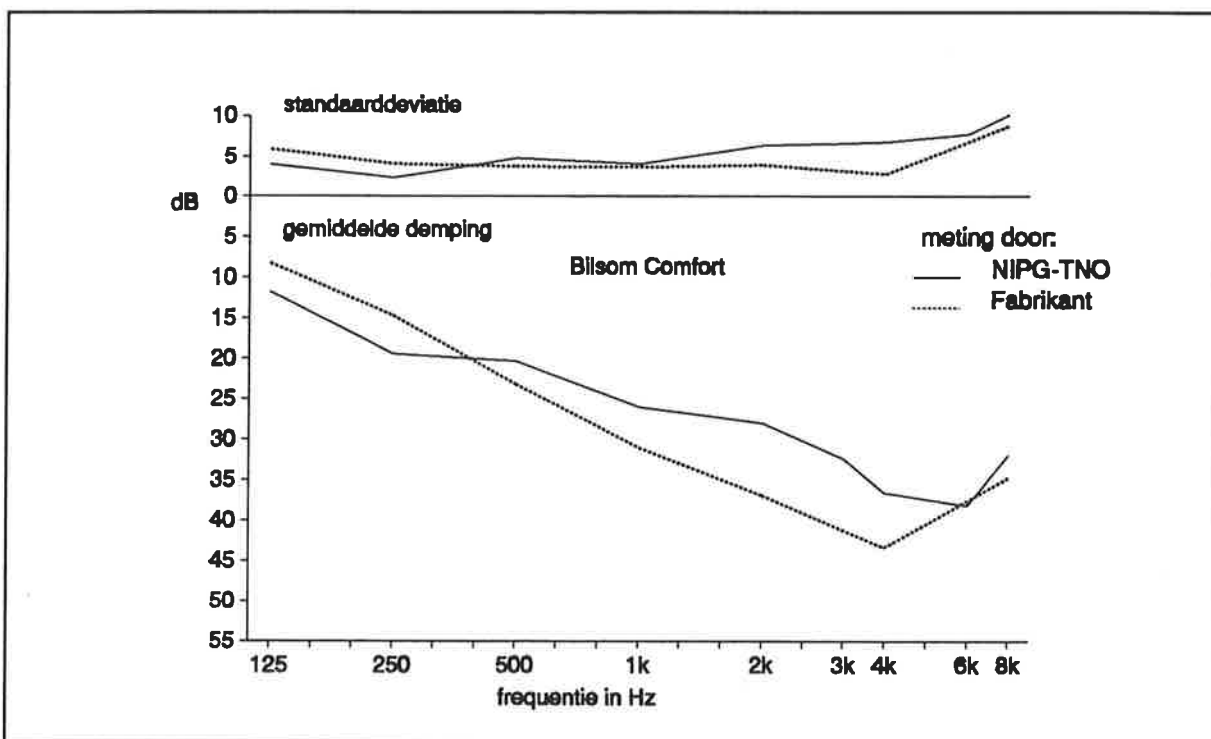
Figuur 3 Gemiddelde demping en standaarddeviatie voor de oorkap Peltor H3, zoals gemeten door het NIPG-TNO en zoals opgegeven door de fabrikant



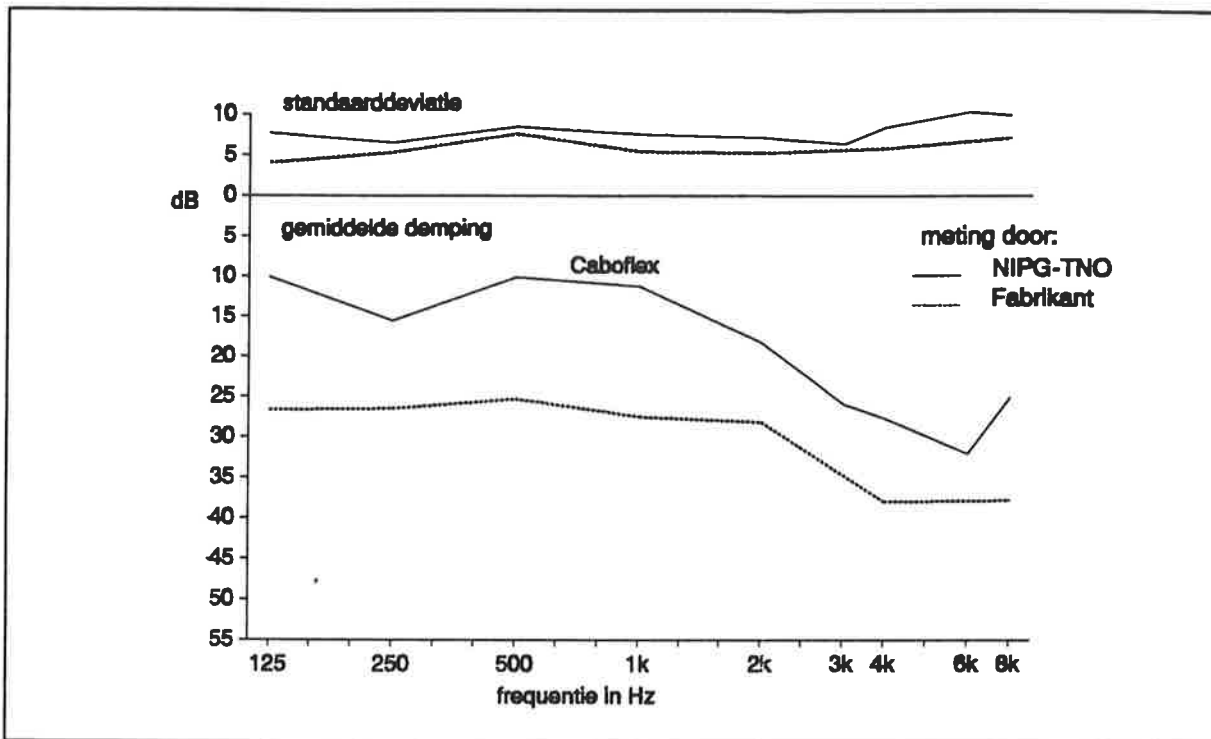
Figuur 4 Gemiddelde demping en standaarddeviatie voor de oorkap MSA Mark IV, zoals gemeten door het NIPG-TNO en zoals opgegeven door de fabrikant



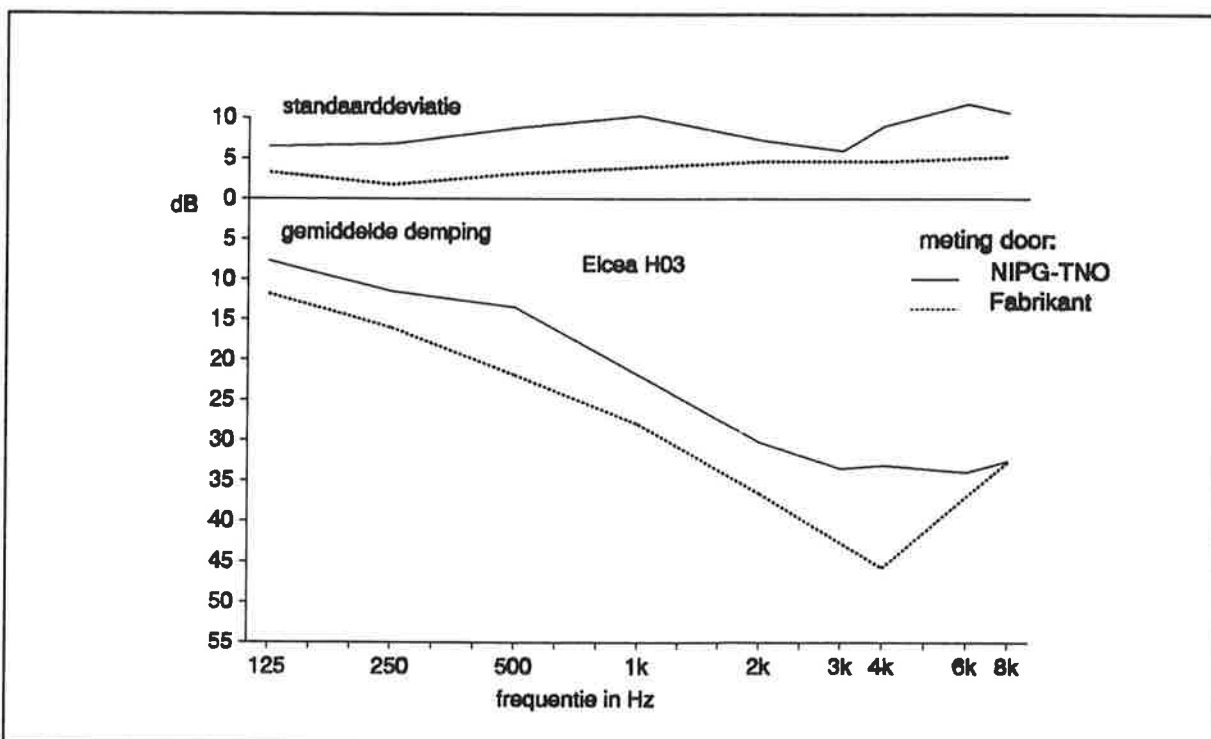
Figuur 5 Gemiddelde demping en standaarddeviatie voor de helmkap Bilsom Comfort, zoals gemeten door het NIPG-TNO en zoals opgegeven door de fabrikant



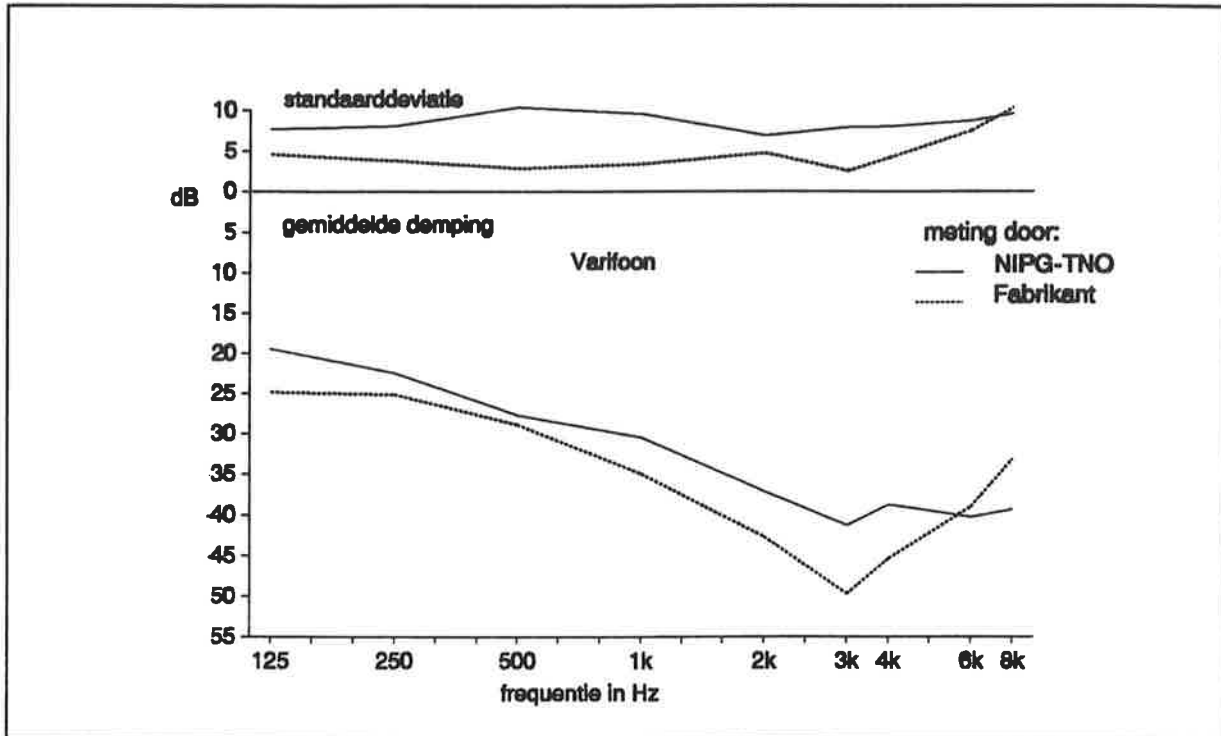
Figuur 6 Gemiddelde demping en standaarddeviatie voor de beugel Caboflex, zoals gemeten door het NIPG-TNO en zoals opgegeven door de fabrikant



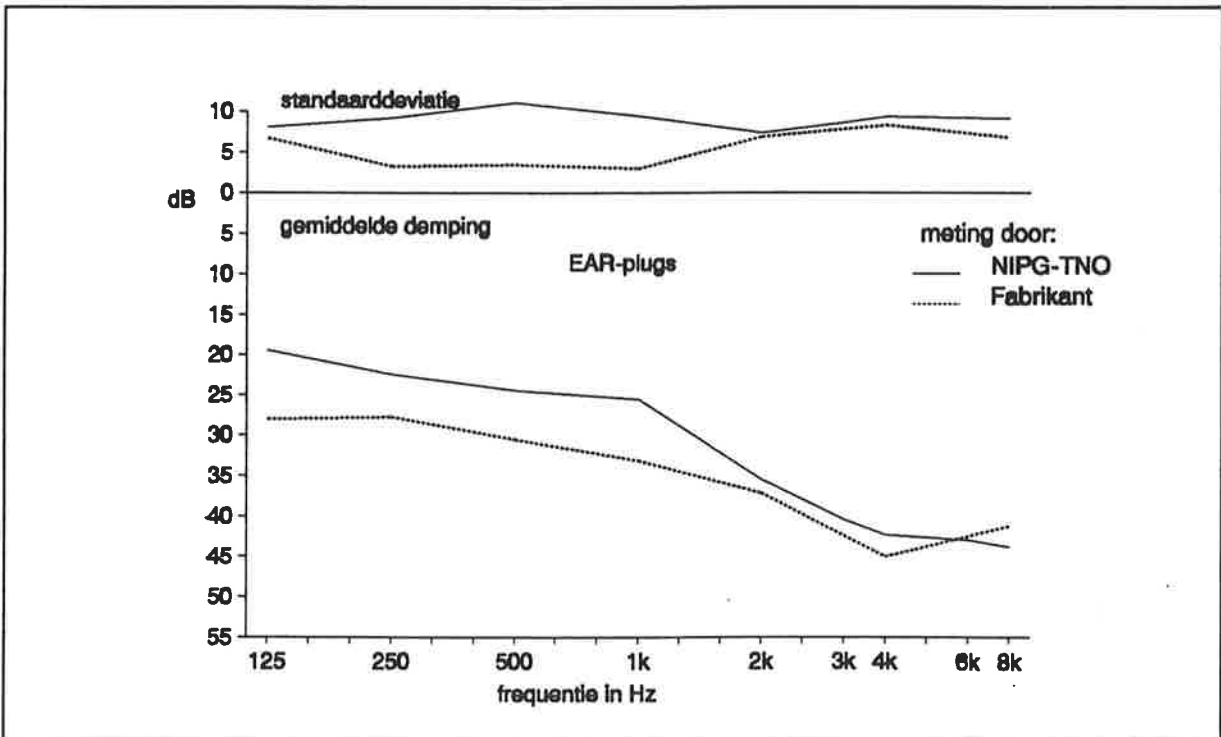
Figuur 7 Gemiddelde demping en standaarddeviatie voor het otoplastiek Eicea H03, zoals gemeten door het NIPG-TNO en zoals opgegeven door de fabrikant



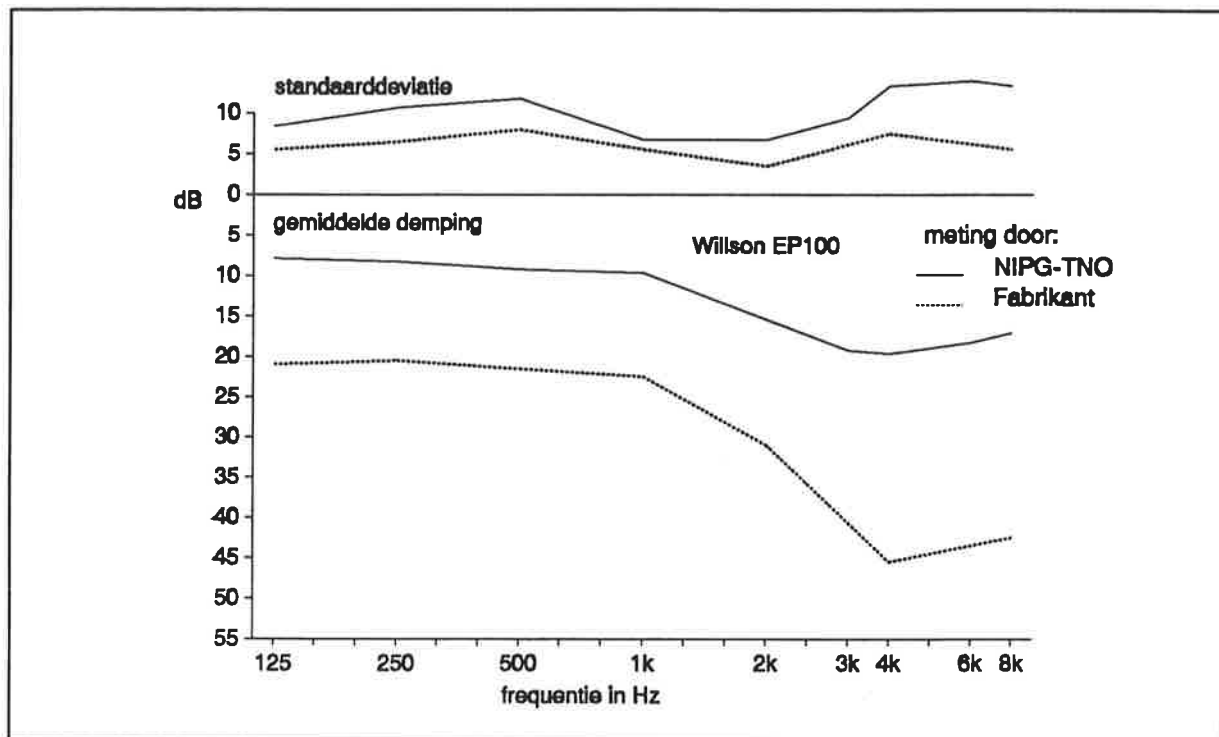
Figuur 8 Gemiddelde demping en standaarddeviatie voor het otoplastiek Varfoon, zoals gemeten door het NIPG-TNO en zoals opgegeven door de fabrikant



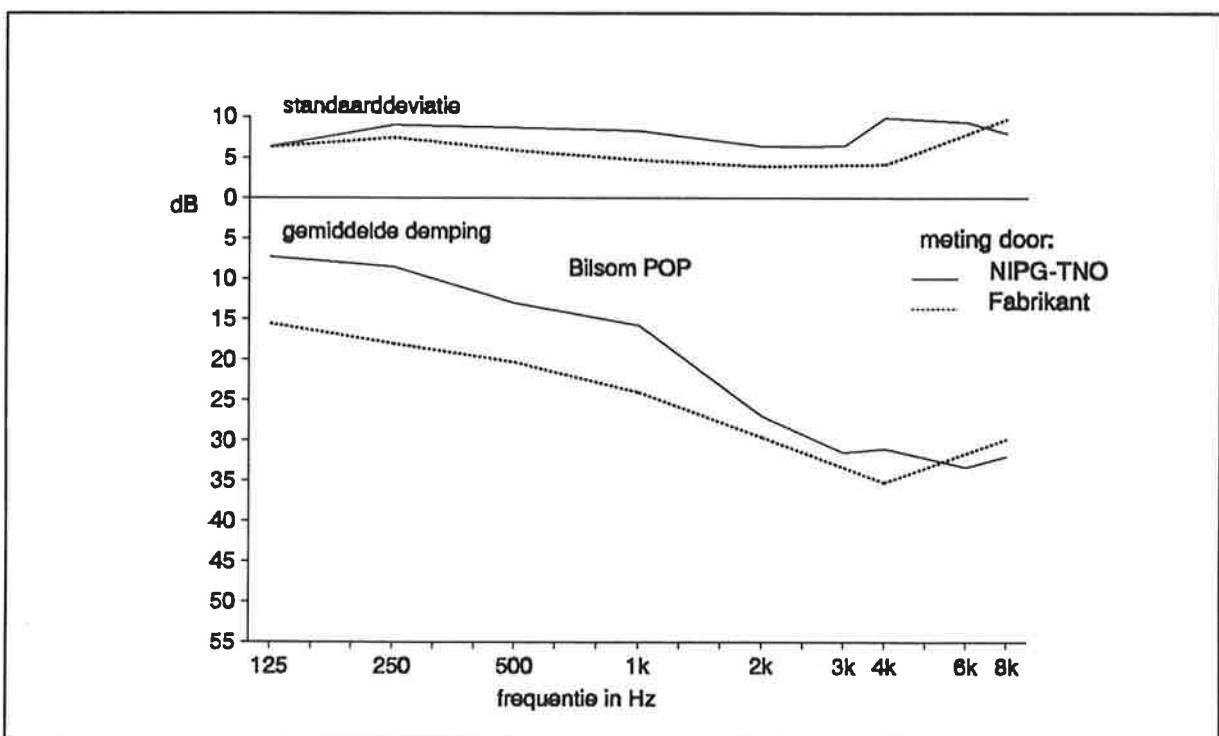
Figuur 9 Gemiddelde demping en standaarddeviatie voor EAR-plugs, zoals gemeten door het NIPG-TNO en zoals opgegeven door de fabrikant



Figuur 10 Gemiddelde demping en standaarddeviatie voor doppen Willson EP100, zoals gemeten door het NIPG-TNO en zoals opgegeven door de fabrikant



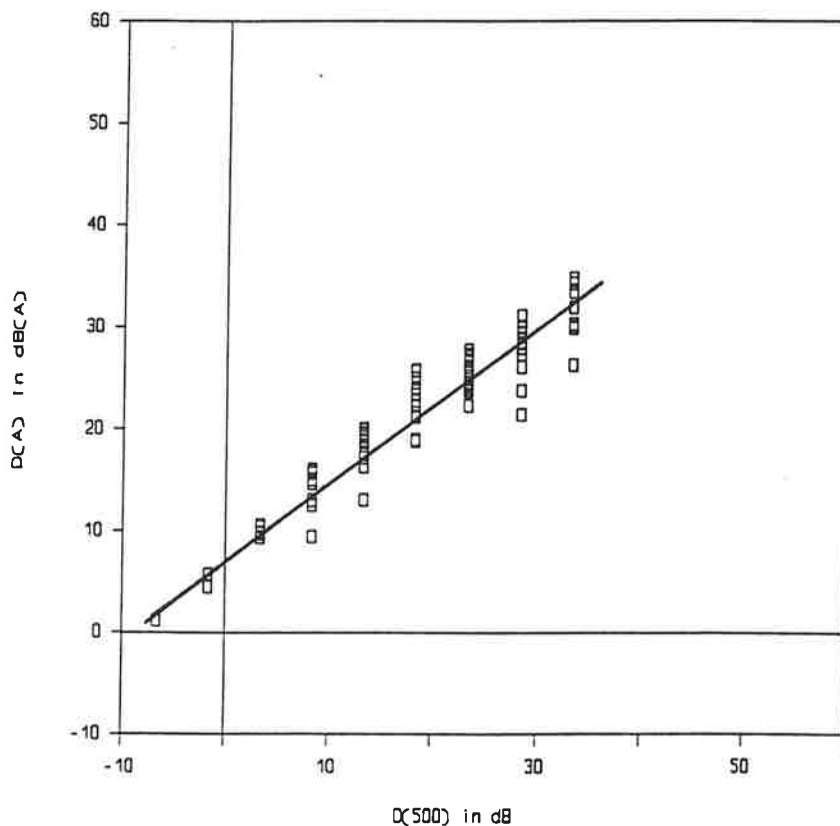
Figuur 11 Gemiddelde demping en standaarddeviatie voor watten Bilsom POP, zoals gemeten door het NIPG-TNO en zoals opgegeven door de fabrikant



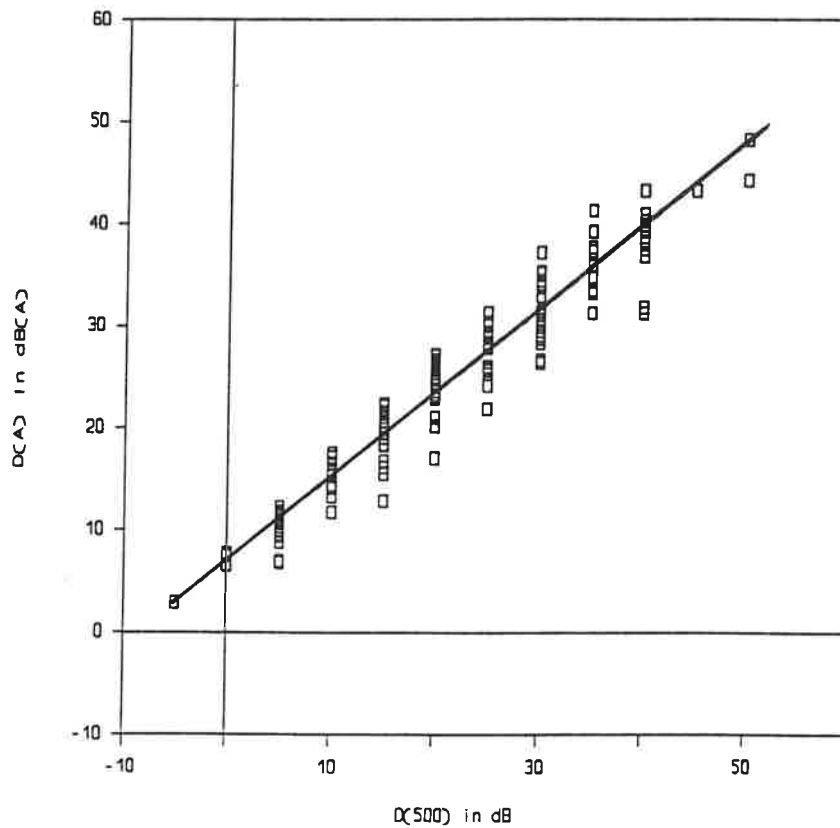
Voor een analyse ten behoeve van het bekorten van de meetmethoden voor de demping van gehoorbeschermingsmiddelen konden de dempingswaarden van 86 gehoorbeschermingsmiddelen, die bepaald waren volgens de referentiekap methode, en die van 150 gehoorbeschermingsmiddelen (gedragen door 75 personen in elk twee oren), die bepaald waren volgens de diepe kap methode, gebruikt worden. De in totaal 236 individueel bepaalde dempingskarakteristieken zijn vergeleken met de 13 standaardspectra. Om te komen tot een keus van de testfrequenties in de verkorte meetmethoden zijn de volgende aspecten van belang.

1. Per standaardspectrum (geluidssituatie) is er een spreiding in de individuele meetresultaten als $D(A)$ tegen de demping bij een bepaalde frequentie ($D(fr)$) uitgezet wordt. Dat is geïllustreerd in de figuren 12 en 13. In figuur 12 is de met de referentiekap methode bepaalde demping bij 500 Hz van alle betreffende gehoorbeschermingsmiddelen uitgezet tegen de demping in dB(A), en wel in het geval van standaardspectrum 3. In figuur 13 is dat gedaan voor alle betrokken gehoorbeschermingsmiddelen, die met de diepe kap zijn gemeten. In de figuren zijn tevens de volgens de kleinste kwadratenmethode bepaalde bestpassende rechten getekend.

Figuur 12 De demping, uitgedrukt in dB(A), in het geval van standaardspectrum 3, als functie van de demping bij 500 Hz van alle betrokken gehoorbeschermers, die zijn bepaald met behulp van de referentiekap methode.



Figuur 13 De demping, uitgedrukt in dB(A), in het geval van standaardpectrum 3, als functie van de demping bij 500 Hz van alle betrokken gehoorbeschermers die zijn bepaald met behulp van de diepe kap methode.



Om de spreiding tussen $D(A)$ en $D(fr)$ te karakteriseren is gebruik gemaakt van de correlatie-coëfficiënt r . Statistisch gezien is dit verantwoord, omdat het verband tussen $D(A)$ en $D(fr)$ lineair is (zie bijvoorbeeld de figuren 12 en 13). De frequentie waarbij de hoogste correlatie-coëfficiënt tussen $D(A)$ en $D(fr)$ optreedt, levert voor een bepaald standaardpectrum de beste schatting van $D(A)$. De berekende correlatie-coëfficiënten zijn gegeven in tabel 2.

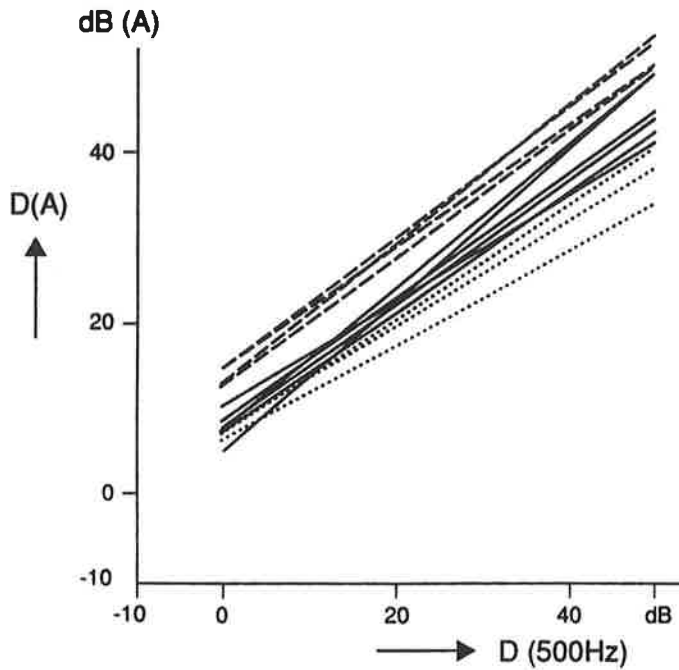
Tabel 2 Correlatie-coëfficiënten tussen D(fr) en D(A) voor frequenties van 125 tot en met 8000 Hz en voor de combinaties van 250 en 500 Hz en van 500 en 1000 Hz. Correlatie-coëfficiënten voor de afzonderlijke standaardspectra 1 tot en met 11 en de spectra 13 en 16 en voor de hoogfrequente spectra (nr. 4, 8, 9 en 11), middenfrequente spectra (nr. 1, 3, 5, 6, 7 en 10) en laagfrequente spectra (nr. 2, 13 en 16) tezamen. Gegevens voor de referentiekap methode en de diepe kap methode afzonderlijk.

| referentiekap | | | | | | | | | | | |
|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------|--------|
| | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 3000 | 4000 | 6000 | 8000 | 250+500 | 500+1k |
| 4 | 0,56 | 0,69 | 0,91 | 0,83 | 0,87 | 0,77 | 0,85 | 0,69 | 0,77 | 0,90 | 0,91 |
| 8 | 0,51 | 0,64 | 0,82 | 0,78 | 0,83 | 0,75 | 0,87 | 0,78 | 0,86 | 0,81 | 0,83 |
| 9 | 0,58 | 0,74 | 0,93 | 0,85 | 0,92 | 0,78 | 0,80 | 0,59 | 0,64 | 0,93 | 0,93 |
| 11 | 0,51 | 0,65 | 0,79 | 0,79 | 0,95 | 0,76 | 0,85 | 0,69 | 0,75 | 0,79 | 0,82 |
| gem | 0,54 | 0,68 | 0,86 | 0,81 | 0,89 | 0,76 | 0,84 | 0,69 | 0,76 | 0,86 | 0,87 |
| 1 | 0,69 | 0,77 | 0,94 | 0,83 | 0,81 | 0,74 | 0,76 | 0,56 | 0,60 | 0,96 | 0,93 |
| 3 | 0,66 | 0,76 | 0,95 | 0,84 | 0,84 | 0,76 | 0,77 | 0,56 | 0,61 | 0,96 | 0,94 |
| 5 | 0,71 | 0,78 | 0,93 | 0,83 | 0,82 | 0,73 | 0,75 | 0,53 | 0,57 | 0,95 | 0,92 |
| 6 | 0,73 | 0,80 | 0,89 | 0,80 | 0,82 | 0,73 | 0,79 | 0,61 | 0,66 | 0,94 | 0,89 |
| 7 | 0,57 | 0,73 | 0,99 | 0,85 | 0,80 | 0,76 | 0,74 | 0,55 | 0,60 | 0,97 | 0,96 |
| 10 | 0,60 | 0,79 | 0,97 | 0,84 | 0,81 | 0,75 | 0,74 | 0,54 | 0,59 | 0,98 | 0,94 |
| gem | 0,66 | 0,77 | 0,95 | 0,83 | 0,82 | 0,74 | 0,75 | 0,54 | 0,61 | 0,96 | 0,93 |
| 2 | 0,73 | 0,77 | 0,93 | 0,81 | 0,79 | 0,72 | 0,73 | 0,53 | 0,56 | 0,95 | 0,91 |
| 13 | 0,68 | 0,91 | 0,90 | 0,78 | 0,78 | 0,71 | 0,71 | 0,50 | 0,55 | 0,98 | 0,91 |
| 16 | 0,83 | 0,79 | 0,87 | 0,76 | 0,73 | 0,67 | 0,69 | 0,48 | 0,51 | 0,91 | 0,85 |
| gem | 0,75 | 0,82 | 0,90 | 0,78 | 0,77 | 0,70 | 0,71 | 0,50 | 0,54 | 0,95 | 0,89 |
| diepe kap | | | | | | | | | | | |
| | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 3000 | 4000 | 6000 | 8000 | 250+500 | 500+1k |
| 4 | 0,87 | 0,92 | 0,97 | 0,81 | 0,78 | 0,84 | 0,80 | 0,76 | 0,78 | 0,97 | 0,94 |
| 8 | 0,85 | 0,89 | 0,92 | 0,80 | 0,80 | 0,87 | 0,87 | 0,82 | 0,85 | 0,94 | 0,91 |
| 9 | 0,86 | 0,91 | 0,96 | 0,81 | 0,80 | 0,82 | 0,78 | 0,74 | 0,75 | 0,97 | 0,94 |
| 11 | 0,74 | 0,75 | 0,79 | 0,77 | 0,92 | 0,86 | 0,88 | 0,82 | 0,83 | 0,79 | 0,82 |
| gem | 0,83 | 0,87 | 0,91 | 0,80 | 0,83 | 0,85 | 0,83 | 0,79 | 0,80 | 0,92 | 0,90 |
| 1 | 0,92 | 0,96 | 0,96 | 0,79 | 0,72 | 0,79 | 0,75 | 0,71 | 0,72 | 0,99 | 0,93 |
| 3 | 0,91 | 0,95 | 0,97 | 0,80 | 0,74 | 0,80 | 0,75 | 0,71 | 0,73 | 0,98 | 0,94 |
| 5 | 0,92 | 0,96 | 0,95 | 0,79 | 0,73 | 0,79 | 0,74 | 0,70 | 0,72 | 0,98 | 0,92 |
| 6 | 0,93 | 0,97 | 0,94 | 0,78 | 0,72 | 0,78 | 0,74 | 0,71 | 0,72 | 0,98 | 0,91 |
| 7 | 0,87 | 0,92 | 0,99 | 0,80 | 0,71 | 0,79 | 0,75 | 0,71 | 0,72 | 0,99 | 0,95 |
| 10 | 0,88 | 0,96 | 0,97 | 0,80 | 0,71 | 0,79 | 0,74 | 0,71 | 0,72 | 0,99 | 0,94 |
| gem | 0,91 | 0,95 | 0,96 | 0,79 | 0,72 | 0,79 | 0,75 | 0,71 | 0,72 | 0,99 | 0,93 |
| 2 | 0,93 | 0,96 | 0,95 | 0,79 | 0,71 | 0,78 | 0,74 | 0,70 | 0,71 | 0,99 | 0,92 |
| 13 | 0,89 | 0,99 | 0,93 | 0,77 | 0,68 | 0,76 | 0,72 | 0,68 | 0,70 | 0,99 | 0,90 |
| 16 | 0,95 | 0,96 | 0,93 | 0,77 | 0,70 | 0,77 | 0,72 | 0,69 | 0,70 | 0,98 | 0,87 |
| gem | 0,92 | 0,97 | 0,93 | 0,78 | 0,70 | 0,77 | 0,73 | 0,69 | 0,70 | 0,99 | 0,90 |

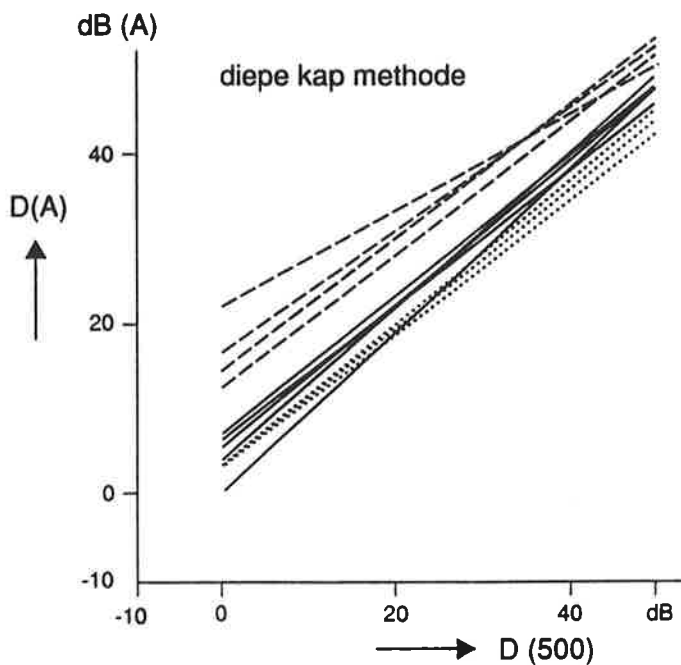
In tabel 2 zijn, vooruitlopend op hetgeen hierna wordt uitgelegd, de standaardspectra in drie categorieën ingedeeld: hoogfrequente, middenfrequente en laagfrequente spectra. Deze indeling is in navolging van ISO/DIS 4869-2.2 gebaseerd op het verschil tussen het C-gewogen en A-gewogen geluidniveau ($L_C - L_A$). Als $L_C - L_A$ kleiner is dan 1 dB, dan betreft het een hoogfrequent spectrum (de standaardspectra 4, 8, 9 en 11). Als $L_C - L_A$ ligt tussen 1 en 9 dB, dan betreft het een middenfrequent spectrum (spectra 1, 3, 5, 6, 7 en 10) en als $L_C - L_A$ groter is dan 9 dB betreft het een laagfrequent spectrum (spectra 2, 13 en 16). Per meetmethode en per soort spectrum zijn in tabel 2 de correlatie-coëfficiënten voor de beschouwde frequenties gemiddeld. Het blijkt dat in het geval van de diepe kap methode de gemiddelde correlatie-coëfficiënt tweemaal bij 500 Hz het hoogst is, en éénmaal bij 250 Hz. In het geval van de referentiekap methode is de correlatie voor de laag- en middenfrequente spectra ook het grootst bij 500 Hz en bij de hoogfrequente spectra bij 2000 Hz, gevolgd door 500 Hz. Om na te gaan of de correlatie hoger wordt als er een combinatie van frequenties genomen wordt, zijn de correlatie-coëfficiënten berekend in de gemiddelde demping bij 250 en 500 Hz en bij 500 en 1000 Hz. De resultaten zijn opgenomen in de laatste twee kolommen van tabel 2. Bij de combinatie van 250 en 500 Hz is in bijna alle gevallen de correlatie nog iets hoger dan bij een afzonderlijke frequentie en bij een combinatie van 500 en 1000 Hz vrijwel steeds iets lager. Al met al blijkt overtuigend dat de hoogste correlatie tussen $D(A)$ en $D(fr)$ bij één frequentie verkregen wordt met behulp van de frequentie 500 Hz.

2. Het is de bedoeling van de verkorte meetmethode om uit de gemeten demping bij één (of meer) frequenties ($D(fr)$) een schatting te kunnen maken van $D(A)$, onafhankelijk van de geluidssituatie (in dit geval gerepresenteerd door dertien spectra) waarin de gehoorbescherming gedragen wordt. Het gaat dus ook om de overeenkomst bij verschillende spectra van het verband tussen $D(fr)$ en $D(A)$. Deze overeenkomst kan worden nagegaan met behulp van de bestpassende rechten, bepaald volgens de methode van de kleinste kwadraten. Daarmee kan voor elk spectrum de bestpassende rechte berekend worden in de vorm van $D(A) = A_{yx} + B_{yx} D(fr)$. Een frequentie is geschikt als testfrequentie als de diverse bestpassende rechten (13 in totaal) bij die frequentie niet veel uiteen lopen. Ter illustratie zijn zowel voor de diepe kap methode als voor de referentiekap methode de dertien bestpassende rechten voor de frequentie 500 Hz in de figuren 14 en 15 opgenomen. Vooral figuur 14 demonstreert het verschil tussen de bestpassende rechten bij 500 Hz voor de vier hoogfrequente spectra en die voor de negen midden- en laagfrequente spectra.

Figuur 14 De bestpassende rechten van $D(A)$ op $D(500)$ voor de dertien spectra, in het geval van meting van de demping met de referentiekap methode. De ononderbroken rechten hebben betrekking op de zes middenfrequente spectra, de onderbroken rechten op de vier hoogfrequente spectra en de drie gestippelde rechten op de drie laagfrequente spectra.



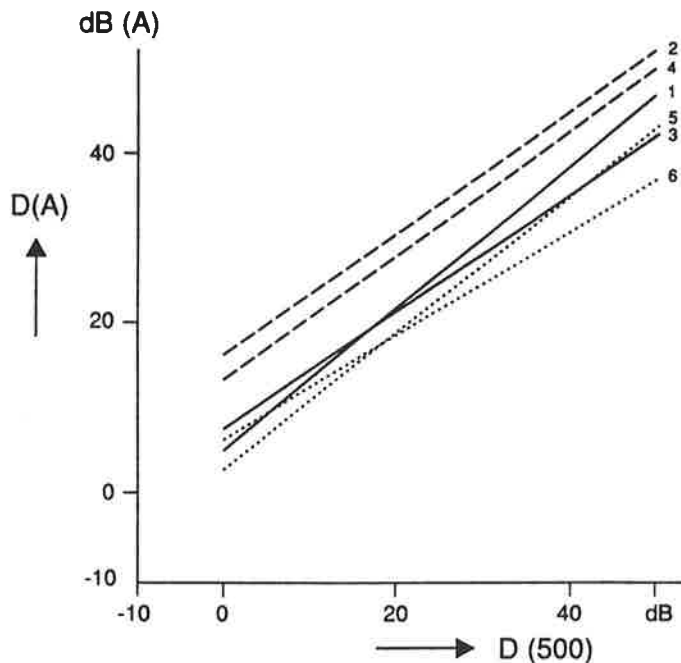
Figuur 15 De bestpassende rechten van $D(A)$ op $D(500)$ voor de dertien spectra, in het geval van meting van de demping met de diepe kap methode. De ononderbroken rechten hebben betrekking op de zes middenfrequente spectra, de onderbroken rechten op de vier hoogfrequente spectra en de drie gestippelde rechten op de drie laagfrequente spectra.



In figuur 16 zijn voor 500 Hz zes gemiddelde regressielijnen getekend, waarbij de middeling heeft plaatsgevonden na splitsing in gebruikte meetmethode en vorm van het spectrum.

Figuur 16 De gemiddelde bestpassende rechten van D(A) op D(500), waarbij middeling heeft plaatsgevonden naar de vorm van de spectra. De vergelijkingen van de bestpassende rechten zijn:

- 1- $D(A) = 5,3 + 0,83 D(500 \text{ Hz})$: diepe kap methode, middenfrequente spectra
- 2- $D(A) = 16,5 + 0,71 D(500 \text{ Hz})$: diepe kap methode, hoogfrequente spectra
- 3- $D(A) = 7,5 + 0,70 D(500 \text{ Hz})$: referentiekap methode, middenfrequente spectra
- 4- $D(A) = 13,4 + 0,73 D(500 \text{ Hz})$: referentiekap methode, hoogfrequente spectra
- 5- $D(A) = 2,3 + 0,82 D(500 \text{ Hz})$: diepe kap methode, laagfrequente spectra
- 6- $D(A) = 6,7 + 0,59 D(500 \text{ Hz})$: referentiekap methode, laagfrequente spectra



De spreiding in de bestpassende rechten bij andere frequenties dan 500 Hz is niet kleiner dan die bij 500 Hz. Op basis hiervan is er geen reden om aan andere frequenties dan 500 Hz de voorkeur te geven als testfrequentie.

Uit de regressielijnen, zoals gegeven in figuur 16, blijkt dat de demping van een gehoorbeschermingsmiddel niet alleen bepaald wordt door de demping ervan bij 500 Hz. Immers, als een gehoorbeschermingsmiddel gedragen wordt en D(500) is vrijwel nul, dan

is bijvoorbeeld bij middenfrequente spectra de demping 5 à 7 dB (A) ten gevolge van de demping bij andere frequenties dan 500 Hz.

3. Voor de praktische toepasbaarheid van een methode is het van belang dat de reproduceerbaarheid groot is. De reproduceerbaarheid van de dempingsmetingen zal van frequentie tot frequentie kunnen verschillen. Uit het voorgaande is gebleken dat aan 500 Hz als testfrequentie de voorkeur gegeven moet worden, eventueel gecombineerd met 250 Hz en/of 1000 Hz. In het project zijn dan ook herhalingsmetingen uitgevoerd, niet alleen bij 500 Hz, maar ook bij de twee andere genoemde frequenties. Op basis van het bovenstaande is verder veldonderzoek uitgevoerd met testsignalen bij de frequenties 250, 500 en 1000 Hz.

5. DE TWEEDE STAP NAAR EEN VERKORTE TESTMETHODE: HERHALINGS-METINGEN

In verband met de herhalingsmetingen van de demping van de gehoorbeschermingsmiddelen, is het geluidveld van de testsignalen in de minicabine van de audiomobiel nogmaals nagegaan. De resultaten van de metingen bleken vrijwel identiek aan die van de eerdere metingen tijdens de experimentele fase (zie tabel 3 van rapport 93.018 en tabel 2 van rapport 93.021).

In het tweede veldonderzoek hebben 151 van de 173 werknemers uit het eerste veldonderzoek geparticipeerd. Om diverse redenen (zie het NIPG-TNO rapport 93.021) kunnen de meetresultaten uit het eerste en tweede veldonderzoek van slechts 134 werknemers met elkaar worden vergeleken: 74 werknemers met gehoorbeschermingsmiddelen die met de referentiekap methode zijn getest en 60 werknemers waarvan de gehoorbescherming met de diepe kap methode is getest. In tabel 3 is het resultaat gegeven van de 74 gehoorbeschermers die met de referentiekap methode zijn getest.

Tabel 3 Vergelijking van de dempingswaarden van de gehoorbeschermingsmiddelen die met de referentiekap methode twee maal zijn getest. Gegeven zijn de gemiddelde verschillen, de standaarddeviaties in de verschillen en de uitkomst van toetsing volgens de Student-toets ($P = 0,025$, tweezijdig getoetst). Het betreft 74 metingen.

| | Frequentie in hertz | | |
|---------------------------------------|---------------------|------|------|
| | 250 | 500 | 1000 |
| gemiddeld verschil in demping (in dB) | 1,1 | 1,1 | 1,6 |
| standaarddeviatie in demping (in dB) | 6,0 | 5,8 | 7,3 |
| t-waarde | 1,64 | 1,60 | 1,92 |
| significant | nee | nee | nee |

Gemiddeld is er een verslechtering van ruim 1 dB in de demping gemeten tijdens de tweede test in vergelijking met die bij de eerste test. Deze verschillen zijn bij alle drie frequenties statistisch niet significant.

De standaarddeviatie in de verschillen van de dempingen tijdens het eerste veldonderzoek en die tijdens het tweede veldonderzoek variëren van 5,8 dB bij 500 Hz, 6,0 dB bij 250 Hz tot 7,3 dB bij 1000 Hz. Deze standaarddeviaties hebben ongeveer dezelfde grootte als die bij gehoordrempelmetingen volgens de gebruikelijke audiometrische meetmethode. Voor de in het project gehanteerde meetmethode (handbediende audiometrie bij vaste frequenties) is de standaarddeviatie in het verschil van twee gehoordrempelmetingen, zoals gebeurd bij dempingsbepalingen, bij de frequenties 250 tot 1000 Hz 4,2 dB (Passchier-Vermeer, 1988). De standaarddeviatie in de verschillen van twee

dempingsbepalingen is $\sqrt{2}$ maal zo groot als die in een enkele dempingsbepaling, dat wil zeggen 6,0 dB. Dit heeft het voor de praktijk zeer belangrijke gevolg dat een eventuele variatie in de demping van een gehoorbeschermingsmiddel zo gering is dat ze niet of temauwernood bijdraagt tot de standaarddeviatie in de dempingsverschillen. Rekening houdend met de bij gehoordrempelmetingen gebruikelijke meet-onnauwkeurigheid mag dus geconcludeerd worden dat:

- de demping van de gehoorbeschermingsmiddelen die met de referentiekap methode zijn gemeten (oorkappen, helmkappen en oorbeugels) bij de individuele werknemer van meting tot meting niet veel verschil vertoont;
- de metingen met de referentiekap optimaal zijn, in die zin dat geen grotere meetnauwkeurigheid gehaald kan worden, gezien de aard van de metingen.

Aangezien de standaarddeviaties in de dempingsverschillen bij 250 Hz en bij 500 Hz iets geringer zijn dan bij 1000 Hz, verdienen de eerstgenoemde frequenties wat betreft de reproduceerbaarheid van een testmethode enige voorkeur boven 1000 Hz als testfrequentie.

In tabel 4 zijn de resultaten gegeven voor de metingen in het tweede veldonderzoek met de diepe kap methode. Bij alle drie frequenties is de demping bij de tweede meting gemiddeld statistisch significant geringer dan bij de eerste metingen. Ook zijn de standaarddeviaties in de verschillen van de dempingswaarden groter dan op basis van gehoordrempelmetingen verwacht moet worden.

Tabel 4 Vergelijking van de verschillen in de dempingswaarden van de gehoorbeschermingsmiddelen die met de diepe kap methode twee maal zijn getest. Gegeven zijn de gemiddelde verschillen, de standaarddeviaties in de verschillen en de uitkomst van toetsing volgens de Student-toets ($P=0,025$, tweezijdig getoetst). Het betreft 122 metingen.

| | Frequentie in hertz | | |
|---------------------------------------|---------------------|------|------|
| | 250 | 500 | 1000 |
| gemiddeld verschil in demping (in dB) | 3,0 | 3,0 | 2,1 |
| standaarddeviatie in demping (in dB) | 8,6 | 9,2 | 8,6 |
| t-waarde | 3,83 | 3,63 | 2,70 |
| significant | ja | ja | ja |

In tabel 5 zijn de resultaten van de diepe kap methode uitgesplitst naar het type gehoorbeschermingsmiddel.

Tabel 5 Vergelijking van de verschillen in de dempingswaarden van de gehoorbeschermingsmiddelen die met de diepe kap methode twee maal zijn getest. Gegeven zijn de gemiddelde verschillen, de standaarddeviaties in de verschillen en de uitkomst van toetsing volgens de Student-toets. Het aantal metingen per gehoorbeschermingsmiddel is eveneens gegeven.

| Gehoorschermingsmiddel | Aantal metingen | Frequentie in hertz | | |
|---------------------------------------|-----------------|---------------------|-------|------|
| | | 250 | 500 | 1000 |
| <u>Otoplastiek ELCEA</u> | 22 | | | |
| gemiddeld verschil in demping (in dB) | | 1,8 | -0,7 | 3,6 |
| standaarddeviatie in demping (in dB) | | 6,1 | 6,6 | 9,1 |
| t-waarde | | 1,39 | -0,48 | 1,88 |
| significant | | nee | nee | nee |
| <u>Otoplastiek Varifoon</u> | 26 | | | |
| gemiddeld verschil (in dB) | | 4,2 | 5,4 | 3,8 |
| standaarddeviatie (in dB) | | 9,1 | 9,1 | 7,9 |
| t-waarde | | 2,38 | 3,02 | 2,49 |
| significant | | ja | ja | ja |
| <u>Schuimplastic oorrol EAR</u> | 50 | | | |
| gemiddeld verschil (in dB) | | 4,1 | 3,5 | 1,9 |
| standaarddeviatie (in dB) | | 8,9 | 9,9 | 8,3 |
| t-waarde | | 3,27 | 2,50 | 1,62 |
| significant | | ja | ja | nee |
| <u>Oorwatten Bilsom Pop</u> | 18 | | | |
| gemiddeld verschil (in dB) | | 1,9 | 3,9 | 0,6 |
| standaarddeviatie (in dB) | | 6,7 | 6,8 | 6,6 |
| t-waarde | | 1,23 | 2,43 | 0,35 |
| significant | | nee | ja | nee |

Bij een vergelijking van de uitkomsten per onderzocht gehoorbeschermingsmiddel blijkt dat de gemiddelde verschillen en de standaarddeviaties bij het otoplastiek ELCEA, behalve bij 1000 Hz, en de oorwatten kleiner zijn dan bij het otoplastiek Varifoon en de oorrol.

In het derde veldonderzoek zijn de dempingsmetingen met de diepe kap methode herhaald. Van de in het tweede veldonderzoek geteste 61 werknemers zijn er in het derde veldonderzoek 53 opnieuw getest. Het betreft daarbij slechts één werknemer met een otoplastiek ELCEA bruin en twee met Willson oordoppen, die bij de bepaling van de gemiddelde demping buiten beschouwing zijn gelaten. Ook zijn nog de resultaten van de gegevens van één werknemer, die ELCEA grijs droeg, in alle analyses niet meegenomen (zie hoofdstuk 5 van het NIPG-TNO rapport 93.021). De resultaten over de gemiddelde demping betreffen derhalve 49 werknemers, dat wil zeggen 98 sets dempingsmetingen; deze resultaten uit de drie veldonderzoeken zijn in tabel 6 opgenomen. De analyse van

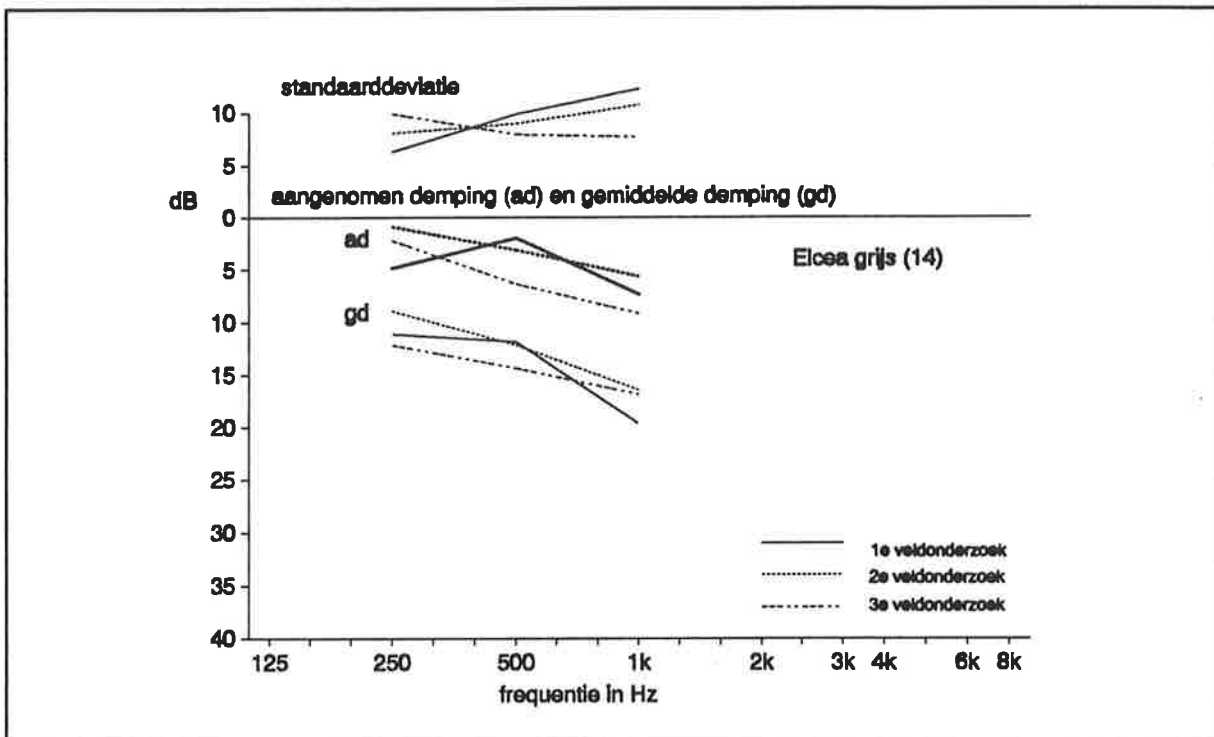
de individuele dempingswaarden heeft betrekking op 51 werknemers, dat wil zeggen 102 sets dempingsmetingen.

Tabel 6 Gemiddelde dempingswaarden en standaarddeviaties, evenals het aantal dempingsmetingen per middel. Alle waarden in dB.

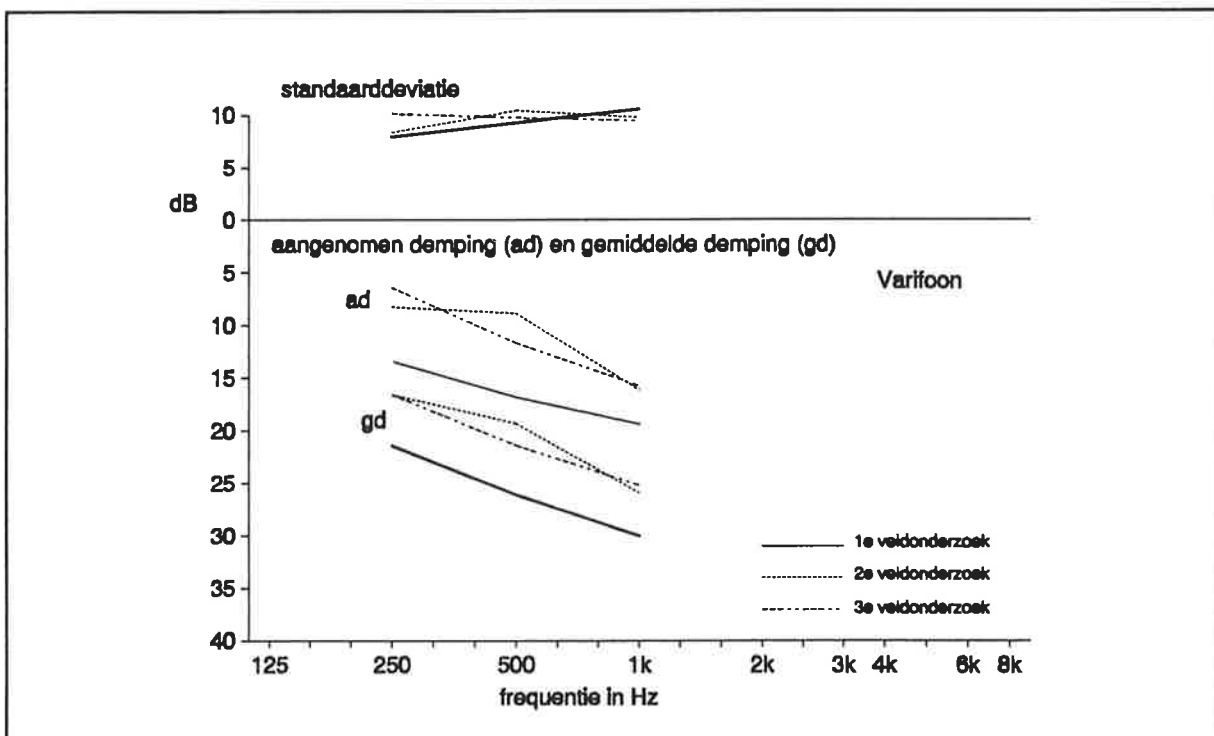
| Veld onderzoek | TYPE/MERK | aantal n | gemiddelde demping | | | standaarddeviatie | | |
|-------------------|---------------|-------------|--------------------|------|------|-------------------|------|------|
| | | | 250 | 500 | 1000 | 250 | 500 | 1000 |
| 1 | Otoplastiek | 14 | 11,1 | 11,8 | 19,6 | 6,3 | 9,9 | 12,3 |
| 2 | ELCEA grijs | | 8,9 | 12,1 | 16,4 | 8,1 | 9,0 | 10,8 |
| 3 | | | 12,1 | 14,1 | 16,8 | 9,9 | 8,0 | 7,7 |
| 1 | Otoplastiek | 22 | 21,4 | 26,1 | 30,0 | 8,0 | 9,3 | 10,6 |
| 2 | Varifoon | | 16,6 | 19,3 | 25,9 | 8,4 | 10,5 | 9,8 |
| 3 | | | 16,6 | 21,4 | 25,2 | 10,2 | 9,8 | 9,5 |
| 1 | Schuimplastic | 46 | 21,8 | 24,0 | 25,3 | 8,7 | 10,8 | 9,1 |
| 2 | Oorrol EAR | | 17,3 | 20,1 | 22,9 | 8,3 | 8,6 | 8,1 |
| 3 | | | 16,8 | 19,1 | 22,3 | 8,6 | 9,2 | 9,0 |
| 1 | Oorwatten | 16 | 7,2 | 11,9 | 15,6 | 9,2 | 8,3 | 8,6 |
| 2 | | | 5,3 | 7,8 | 13,8 | 5,1 | 5,9 | 6,5 |
| 3 | | | 6,6 | 8,4 | 13,8 | 7,6 | 7,2 | 6,7 |

De resultaten zijn grafisch weergegeven in de figuren 17 tot en met 20. De aangenomen demping is de gemiddelde demping verminderd met éénmaal de standaarddeviatie.

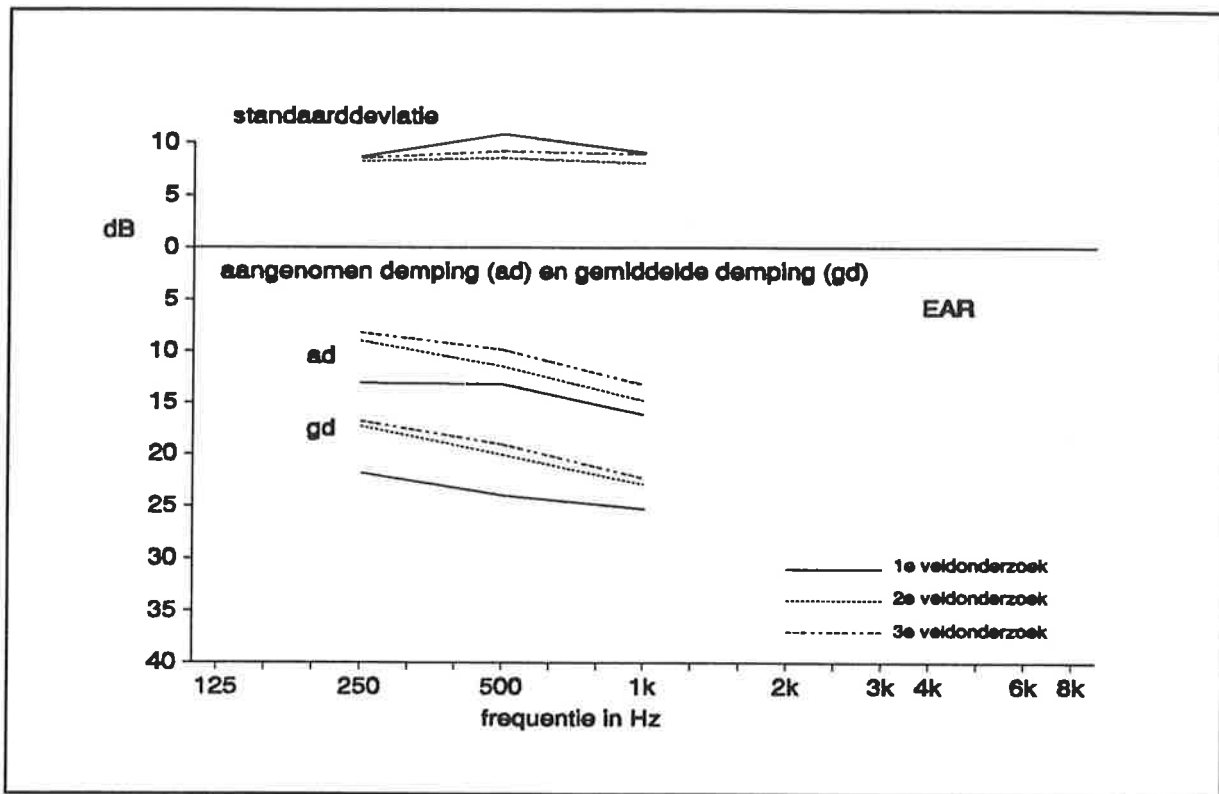
Figuur 17 Gemiddelde demping, aangenomen demping en standaarddeviaties in dempingswaarden uit de drie veldonderzoeken: Otoplastiek ELCEA grijs



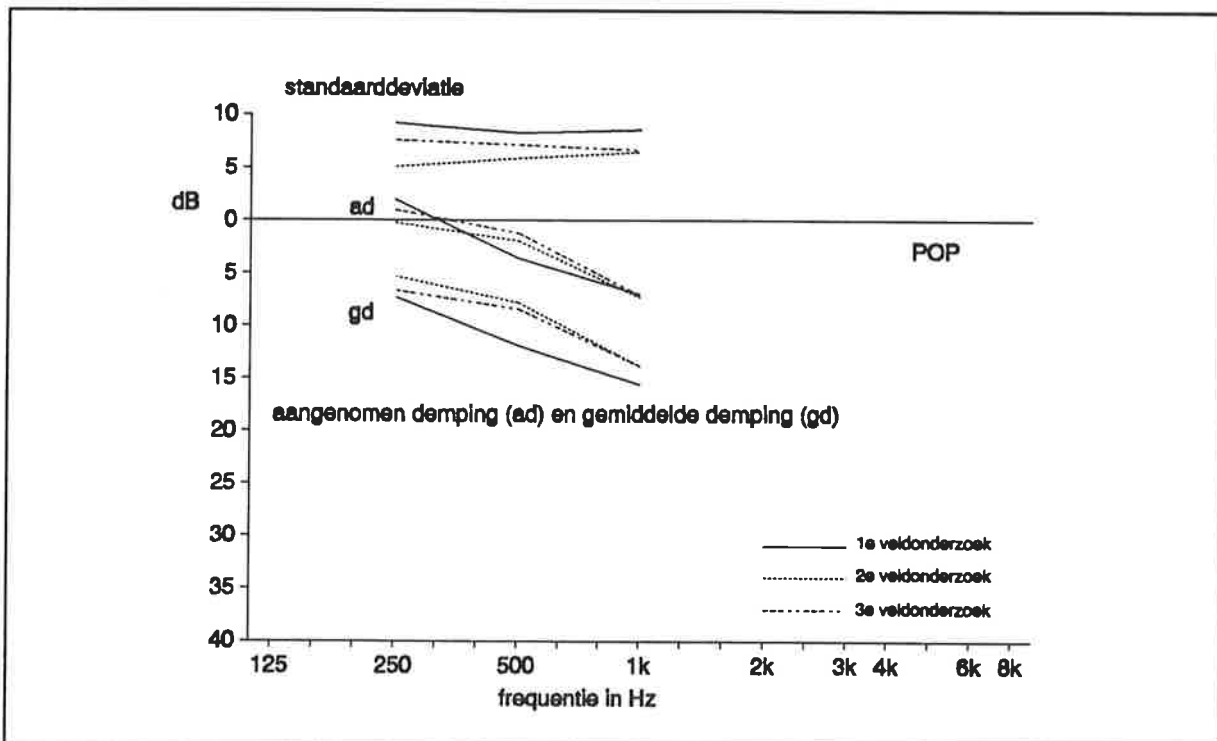
Figuur 18 Gemiddelde demping, aangenomen demping en standaarddeviaties in dempingswaarden uit de drie veldonderzoeken: Otoplastiek Varifoon.



Figuur 19 Gemiddelde demping, aangenomen demping en standaarddeviaties in dempingswaarden uit de drie veldonderzoeken: oorrollen.



Figuur 20 Gemiddelde demping, aangenomen demping en standaarddeviaties in dempingswaarden uit de drie veldonderzoeken: oorwatten.



In het bovenste gedeelte van tabel 7 zijn de gemiddelde verschillen en de standaarddeviaties in de dempingswaarden gegeven voor alle drie maal geteste gehoorbeschermingsmiddelen tezamen. Tussen de resultaten van het tweede en het derde veldonderzoek bij de drie frequenties, blijken kleine, niet significante, verschillen. Tussen het eerste veldonderzoek enerzijds en de twee laatste veldonderzoeken anderzijds zijn de verschillen groter.

Tabel 7 Gemiddelde verschillen en standaarddeviaties in de verschillen van de individuele dempingswaarden bij de verschillende veldonderzoeken (alle waarden in dB) en de uitkomsten van de Student-toets. n=102.

| VERSCHIL IN DEMPING: | | 250 Hz | 500 Hz | 1000 Hz | 250 Hz | t-toets | |
|----------------------|------------|--------|--------|---------|--------|---------|---------|
| | | | | | | 500 Hz | 1000 Hz |
| 1-2 | gemiddelde | 3,4 | 3,8 | 2,4 | 3,77 | 4,18 | 2,79 |
| | s.d. | 9,1 | 9,1 | 8,6 | S | S | S |
| 2-3 | gemiddelde | -0,5 | -0,4 | 0,5 | -0,70 | -0,51 | 0,66 |
| | s.d. | 7,7 | 7,7 | 7,4 | NS | NS | NS |
| 1-3 | gemiddelde | 2,8 | 3,4 | 2,8 | 3,22 | 3,81 | 3,40 |
| | s.d. | 9,0 | 9,0 | 8,5 | S | S | S |

| GEOHOORDREMPEL ZONDER GEGHOORBESCHERMING | | | | 250 Hz | t-toets | | |
|--|------------|------|------|--------|---------|---------|-------|
| | | | | | 500 Hz | 1000 Hz | |
| 1-2 | gemiddelde | -0,2 | -1,3 | -0,9 | -0,43 | -3,29 | -1,73 |
| | s.d. | 4,5 | 4,2 | 5,1 | NS | S | NS |
| 2-3 | gemiddelde | 0,3 | 0,3 | 0,6 | 0,67 | 0,74 | 1,29 |
| | s.d. | 4,4 | 4,6 | 4,6 | NS | NS | NS |
| 1-3 | gemiddelde | 0,1 | -1,0 | -0,3 | 0,21 | -2,03 | -0,52 |
| | s.d. | 4,6 | 5,1 | 5,6 | NS | S | NS |

| GEOHOORDREMPEL MET GEGHOORBESCHERMING | | | | 250 Hz | t-toets | | |
|---------------------------------------|------------|------|------|--------|---------|---------|------|
| | | | | | 500 Hz | 1000 Hz | |
| 1-2 | gemiddelde | 3,2 | 2,4 | 1,5 | 3,63 | 2,82 | 1,96 |
| | s.d. | 8,9 | 8,7 | 7,7 | S | S | NS |
| 2-3 | gemiddelde | -0,2 | -0,0 | 1,1 | -0,31 | -0,06 | 1,49 |
| | s.d. | 7,8 | 8,1 | 7,2 | NS | NS | NS |
| 1-3 | gemiddelde | 2,9 | 2,4 | 2,5 | 3,53 | 2,52 | 3,24 |
| | s.d. | 8,5 | 9,5 | 8,0 | S | S | S |

Om de tussen de diverse veldonderzoeken gevonden verschillen nader te analyseren, zijn de gehoordrempelmetingen, die zijn verricht als de gehoorbescherming niet wordt gedragen, met elkaar vergeleken. Dit is eveneens geschied voor de drie gehoordrempelmetingen als het gehoorbeschermingsmiddel wel gedragen werd. Het resultaat is gegeven in de laatste delen van tabel 7.

Daaruit blijkt dat de gehoordrempelmetingen, zowel met als zonder gehoorbeschermingsmiddel, uit het tweede en derde onderzoek niet significant van elkaar verschillen. Tussen het eerste en de latere twee onderzoeken is er slechts een gemiddeld verschil in gehoordrempel van ten hoogste 1 dB bij meting zonder gehoorbeschermingsmiddel, terwijl ook de standaarddeviaties in de verschillen tussen

de gehoordrempels bij de drie metingen zonder gehoorbescherming waarden hebben die op basis van de gebruikelijke gehoordrempelmetingen verwacht moeten worden.

Daaruit volgt dat de reproduceerbaarheid van de gehoordrempelmetingen zonder gehoorbeschermer ongeveer even goed is als die van gebruikelijke gehoordrempelmetingen. Dat ligt anders voor de metingen met gehoorbeschermingsmiddelen. De standaarddeviaties in de gehoordrempels met gehoorbescherming liggen in de orde van 8 à 9 dB, hetgeen veel hoger is dan voor gewone gehoordrempelmetingen geldt.

Als aangenomen wordt dat een gehoordrempelmeting met een gehoorbeschermingsmiddel in de gehoorgang even nauwkeurig is als eenzelfde meting zonder gehoorbeschermingsmiddel - en dat is aannemelijk op basis van resultaten uit de experimentele fase van het project - dan is de grotere standaarddeviatie in de gehoordrempelmetingen met gehoorbeschermers het gevolg van de variatie die in de dempingswaarden van een gehoorbeschermingsmiddel, waarbij dat middel door één werknemers gedragen wordt. De gebruikte meetmethode is dan niet debet aan de grotere spreidingswaarden in de metingen van de gehoordrempel met gehoorbeschermingsmiddel. De standaarddeviatie die het gevolg is van de variatie in de dempingswaarden van gehoorbeschermingsmiddelen ligt op ongeveer 6 dB (zie voor berekeningen het NIPG-TNO rapport 93.021).

Op basis van de herhalingsmetingen van de demping van in de gehoorgang te dragen gehoorbeschermingsmiddelen kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- de demping van de gehoorbeschermingsmiddelen die met de diepe kap methode worden gemeten (otoplastieken, oorrollen en oorwatten), is bij de individuele werknemer van meting tot meting verschillend, waarbij de standaarddeviatie in de demping ongeveer 6 dB is;
- de metingen met de diepe kap zijn optimaal, in die zin dat geen grotere meetnauwkeurigheid gehaald kan worden, gezien de aard van de metingen.

Met betrekking tot de keuze van de frequentie(s) van de testsignalen voor een verkorte meetmethode is in dit hoofdstuk vastgesteld dat in het geval van metingen met de referentiekap de standaarddeviaties in de dempingswaarden bij 250, 500 en 1000 Hz ongeveer gelijk zijn. Hetzelfde geldt voor de metingen met de diepe kap methode. Op basis van deze resultaten is er met betrekking tot een verkorte meetmethode geen voorkeur voor een van deze drie frequenties.

6. OVERWEGINGEN

6.1 Vaststelling testfrequentie verkorte meetmethode

In hoofdstuk 4 zijn drie aspecten genoemd die van belang zijn bij de keuze van de testfrequenties bij een verkorte testmethode. Het betreft de correlatie tussen $D(fr)$ en $D(A)$, de overeenkomst tussen de bestpassende rechten van $D(A)$ op $D(fr)$ bij de diverse standaardspectra en de reproduceerbaarheid van $D(fr)$. Uit de resultaten van de hoofdstukken 4 en 5 blijkt dat met betrekking tot de eerste twee genoemde aspecten de testfrequentie 500 Hz de voorkeur geniet en dat met betrekking tot het derde aspect de drie testfrequenties 250, 500 en 1000 Hz ongeveer even goed uit de bus komen.

Al met al moet dus aan 500 Hz de voorkeur gegeven worden, als met één testfrequentie volstaan wordt. Een combinatie van de testfrequenties 500 en 1000 Hz levert een lagere correlatie dan de testfrequentie 500 Hz alleen. Deze combinatie van deze twee frequenties is derhalve niet wenselijk. De andere beschouwde combinatie betreft de testfrequenties 250 en 500 Hz. Bij die combinatie neemt de correlatie-coëfficiënt met 0,01 toe in vergelijking tot die met 500 Hz als enige testfrequentie. Om twee, nog niet eerder genoemde redenen, is het niet wenselijk om 250 Hz als testfrequentie in het geval van gebruik in de bedrijfsgezondheidszorg mee te nemen.

De eerste reden betreft de mogelijkheid van maskering van het testsignaal bij 250 Hz ten gevolge van een te hoog achtergrondniveau in de audiometrieruimte. Hoewel er in de door het NIPG-TNO gebruikt minicabine geen maskering optrad van de testsignalen bij 250 Hz, is met betrekking tot maskering de laagste frequentie het meest kritische en levert in de dagelijkse praktijk van de bedrijfsgezondheidszorg wellicht onverhoopt problemen op.

De andere reden betreft de fysiologische ruis die bij 250 Hz vooral kan optreden bij het bepalen van de demping van in de gehoorgang gedragen gehoorbeschermingsmiddelen. Door het afsluiten van de gehoorgang met een gehoorbeschermingsmiddel wordt het niveau van de fysiologische ruis vlakbij het trommelvlies versterkt, waardoor de gehoordrempel ten gevolge van maskering door de versterkte fysiologische ruis te hoog gemeten wordt, waardoor de resulterende dempingswaarde te hoog berekend wordt. Uit onderzoek van Berger (Berger, 1983a) blijkt dat door de fysiologische ruis de gemiddelde demping bij 250 Hz 2 à 3 dB te hoog gemeten wordt.

Bij 500 Hz is dit effect nauwelijks aanwezig. Resumerend kan dus gesteld worden dat 500 Hz het meest gewenst is om als testfrequentie te dienen bij een verkorte methode om de demping in de praktijk van gehoorbeschermingsmiddelen te bepalen.

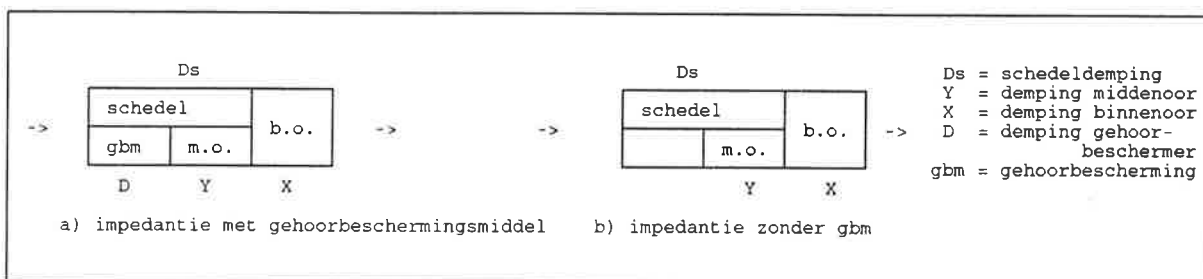
Er zijn nog een aantal redenen van meer algemene aard die tot gevolg hebben dat 500 Hz als testfrequentie een goede keus is. Deze redenen hebben betrekking op de eerste twee genoemde voorwaarden waaraan een verkorte testmethode moet voldoen: de methode moet bruikbaar zijn voor (vrijwel) elke werknemer, ongeacht zijn gehoortoestand en de methode moet bruikbaar zijn voor (vrijwel) elk type gehoorbeschermingsmiddel.

Bij een beoordeling van de bruikbaarheid voor de werknemers van testsignalen moet met de volgende twee verschijnselen rekening gehouden worden:

- de mogelijke geleiding van de testsignalen via de schedel van de werknemer
- de breedte van de smalle bandruis, waardoor testsignalen door werknemers met sterk frequentie-afhankelijke gehoorverliezen niet op de betreffende middenfrequentie van het ruisbandje gehoord worden, maar bij een lagere of hogere frequentie.

Met betrekking tot de geleiding van testsignalen via de schedel is het volgende van belang. Er zijn in principe twee parallelle wegen waarlangs het testsignaal naar het binnenoor wordt voortgeleid, namelijk via de gehoorgang en het middenoor en via de schedel. De daarbij optredende dempingen zijn in figuur 21 schematisch weergegeven.

Figuur 21 Grafische weergave van diverse dempingen van de testsignalen.



Als bij het dragen van een gehoorbeschermingsmiddel de demping (D) van dit middel plus het beengeleidingsverlies (Y) in het middenoor groter is dan de schedeldemping (D_s), dan zal het testsignaal via de schedel en het binnenoor gehoord worden. Als D groter is dan $D_s - Y$, dan kan D dus niet bepaald worden. De demping van de schedel is enigszins frequentie-afhankelijk en bedraagt 40 tot 57 dB. Voor sommige gehoorbeschermingsmiddelen benadert de hoogfrequente demping deze waarden. Voor de in het project gebruikte referentiekap, bijvoorbeeld, is het gemiddelde verschil tussen D_s en de demping D bij 2000 tot 8000 Hz slechts 1 tot 7 dB en bij 1000 Hz 11 dB. Al bij kleine beengeleidingsverliezen Y heeft men dus hoogfrequent te maken met

de schedelgeleiding bij het dragen van gehoorbeschermingsmiddelen. Bij 500 Hz is het verschil tussen de demping van bijvoorbeeld de referentiekap (28 dB) en de schedeldemping (57 dB) bijna 30 dB, zodat schedelgeleiding bij deze frequentie pas vanaf geleidingsverliezen van 30 dB begint op te treden. Om deze reden is het dus mogelijk om van veel meer werknemers de demping van hun gehoorbescherming laagfrequent te meten en daarom verdient 500 Hz als testfrequentie de voorkeur boven hogere frequenties.

Met betrekking tot het horen van het ruisbandje bij een andere frequentie dan de betreffende middenfrequentie het volgende. In het project is gebruik gemaakt van een in de audiometrie gangbare smalle band ruis met een niveau afname van 24 dB/octaaf. Dit betekent voor een werknemer met een verschil in de gehoordrempel van 25 dB bij twee frequenties die één octaaf uit elkaar liggen, dat bij aanbieding van het testsignaal met de middenfrequentie bij de hoogste gehoordrempel van de werknemer, de ruis niet bij deze middenfrequentie gehoord wordt, maar bij de frequentie met de lagere gehoordrempel. In feite wordt dus niet de gehoordrempel gemeten bij de aangeboden middenfrequentie, maar bij andere frequenties die in het aangeboden ruissignaal voor de betreffende werknemer hoorbaar zijn. Bij de intervallen van een 1/2 octaaf (2000, 3000, 4000, 6000 Hz) is dit ook het geval bij een verschil in gehoordrempel van 12 dB.

Met betrekking tot 500 Hz als middenfrequentie van het ruisbandje het volgende:

Uit tabel 1 kan worden afgeleid dat in de praktijk het gemiddelde verschil in dempingen bij 500 Hz en die bij 250 Hz 3 dB is en bij 500 Hz en die bij 1000 Hz -4 dB. Dat houdt in concreto in dat als de gehoordrempel bij 500 Hz 25 dB of meer hoger ligt dan bij 250 Hz, de demping gemiddeld 3 dB te laag geschat wordt en als de gehoordrempel bij 500 Hz 25 dB of meer hoger ligt dan die bij 1000 Hz, de demping 4 dB te hoog wordt geschat. Aangezien dit laatste vrijwel nooit het geval is, betekent dit dat er tengevolge van de bandbreedte van het testsignaal in de voorkomende gevallen een geringe onderschatting van de demping bij 500 Hz zal optreden. Dit lijkt voor de praktijk irrelevant.

6.2 Uitsluitingscriteria

Het is met de beschreven methoden niet mogelijk om de demping van een gehoorbeschermingsmiddel van elke werknemer te bepalen. Deze mogelijkheid hangt af van het gehoor van de betrokken werknemer. Het bepalen van de demping (D) van een gehoorbeschermingsmiddel bij een werkne-

mer met een beengeleidingsverlies Y is slechts mogelijk als $D + Y < D_s$. Bij het bepalen van de gehoordrempels met en zonder gehoorbescherming worden metingen verricht waarbij $D + X + Y$ of $X + Y$ worden bepaald en er is geen informatie over de afzonderlijke componenten X en Y van de gehoordrempel. Om dit te ondervangen kan de volgende procedure gevolgd worden om vast te stellen of de demping van een gehoorbeschermer bij een bepaalde werknemer bepaald kan worden en hoe groot de demping van deze gehoorbeschermer is. Er wordt aangenomen dat de schedeldemping bij 500 Hz 55 dB is. Berger (Berger 1983b) geeft een waarde van 57 dB.

Allereerst wordt aangenomen dat er weinig verschil is in de gehoortoestand van beide oren. Dan kunnen de volgende twee gevallen worden onderscheiden.

1. De gemeten gehoordrempel, waarbij gehoorbescherming gedragen wordt, is ten hoogste 55 dB. Dan is er geen sprake van schedelgeleiding en kan de demping van de gehoorbeschermer bepaald worden uit het verschil in gehoordrempel met en zonder gehoorbeschermer in geval van de diepe kap methode en uit het verschil in gehoordrempels met gehoorbeschermer en die met referentiekap in geval van de referentiekap methode.
2. De gemeten gehoordrempel met gehoorbescherming is meer dan 55 dB. Dan worden door vergelijking van de uitkomsten van beengeleidingsaudiometrie en van luchtgeleidingsaudiometrie de componenten X en Y van de gehoordrempel bepaald. Als dan blijkt dat de gemeten gehoordrempel met gehoorbeschermer verminderd met het luchtgeleidingsverlies X ten hoogste 55 dB is, kan de demping weer op de bovenbeschreven wijze bepaald worden. Als dit verschil in gemeten gehoordrempel en X groter is dan 55 dB, dan is bepaling van de demping niet mogelijk, omdat dan in elk geval bij het dragen van de gehoorbescherming de schedelgeleiding gemeten wordt bij het vaststellen van de gehoordrempel, omdat dan immers $D_s < D + Y$.

Vervolgens wordt aangenomen dat het verschil in gehoorscherppte tussen de twee oren van een werknemer (te) groot is. Ook dan is de schedelgeleiding soms van belang.

In het geval van de referentiekap methode wordt, omdat het testsignaal aan beide oren tegelijkertijd wordt aangeboden, bij de meting van de tweezijdige gehoordrempel met de gehoorbeschermer op en bij meting ervan met de referentiekap op in beide gevallen de laagste van de afzonderlijke gehoordrempels van één oor bepaald. Mogelijke schedelgeleiding tussen beide oren is dan niet van belang. Wel dient men zich te realiseren dat in feite slechts de demping aan het beste oor kan worden bepaald. Dit is overigens een euvel dat voor elke methode geldt waarbij de testsignalen tweezijdig worden aangeboden.

In het geval van de diepe kap methode kan de schedelgeleiding bij meting van de demping van een gehoorbeschermer aan het slechtste oor wel van belang zijn. Als immers het testsignaal aan het slechtste oor (oor 1) wordt aangeboden, zal het aan het andere oor (oor 2) gehoord worden als $D_1 + Y_1 + X_1$ groter is dan $D_2 + X_2$. In dat geval is weer een procedure zoals eerder beschreven noodzakelijk om vast te stellen of de demping van de gehoorbeschermer aan het slechtste oor vastgesteld kan worden. Als de gemeten gehoordrempel met gehoorbeschermer meer is dan 55 dB aan het slechtste oor, dan worden door vergelijking van de uitkomsten van been- en luchtgeleidingsaudiometrie de componenten X_1 , Y_1 , X_2 en Y_2 van de gehoordrempels bepaald. Als de gemeten gehoordrempel met de gehoorbeschermer aan het slechtste oor meer is dan 55 plus luchtgeleidingsverlies X_1 van het beste oor, dan is bepaling van de demping van de gehoorbeschermer aan het slechtste oor niet mogelijk.

De uitsluitingsprocedure kan derhalve als volgt samengevat worden:

Als er een gehoordrempel gemeten wordt die hoger ligt dan 55 dB, wordt er met behulp van een vergelijking van de uitkomsten van lucht- en beengeleidingsaudiometrie vastgesteld wat de lucht- en beengeleidingsverliezen aan beide oren zijn. Als de gemeten gehoordrempel met gehoorbeschermer verminderd met het luchtgeleidingsverlies groter is dan 55 dB, dan is bepaling van de demping niet mogelijk. Het luchtgeleidingsverlies betreft in het geval van meting met de referentiekap methode het kleinste luchtgeleidingsverlies van een van de twee oren en in het geval van meting met de diepe kap methode betreft het, bij meting van de demping van de gehoorbeschermer van het slechtste oor, het luchtgeleidingsverlies van het beste oor. De demping van de gehoorbeschermer van het beste oor is in het geval van meting met de diepe kap methode wel te bepalen.

6.3 Toepassing verkorte testmethode

In figuur 16 zijn de bestpassende rechten gegeven van $D(A)$ op $D(500)$ voor zes mogelijkheden. Daaruit is gebleken dat de bestpassende rechten vrijwel onafhankelijk zijn van de gebruikte methode en verschillen naar de vorm van het spectrum: hoog-, midden- en laagfrequent.

De gemiddelde rechten voor de hoogfrequente, middenfrequente en laagfrequente spectra zijn:

$$D(A) = 4,5 + 0,71 D(500): \text{ laagfrequent spectrum}$$

$$D(A) = 6,4 + 0,77 D(500): \text{ middenfrequent spectrum}$$

$$D(A) = 15,0 + 0,72 D(500): \text{ hoogfrequent spectrum}$$

Als simpele vuistregel kan gebruikt worden:

$D(A) = 4 + 0,75 D(500)$: laagfrequent spectrum

$D(A) = 7 + 0,75 D(500)$: middenfrequent spectrum

$D(A) = 15 + 0,75 D(500)$: hoogfrequent spectrum

Op deze wijze kan de A-gewogen demping berekend worden uit de demping bij 500 Hz. In het voorgaande is reeds aangegeven dat de meetonnauwkeuringheid van de demping bij 500 Hz in het geval van de referentiekap methode 6 dB is en in het geval van de diepe kap methode 8 dB. Daaruit volgt volgens de bovenstaande formules een onnauwkeurigheid in $D(A)$ van 4,5 en 6 dB(A).

De demping van gehoorbeschermingsmiddelen in concrete arbeidssituaties dient minimaal een waarde te hebben waardoor er voor de betrokken werknemer geen kans is op gehoorschade. Dat houdt in concreto in dat het equivalente geluidniveau op de betrokken arbeidsplaats verminderd met de demping $D(A)$ van de gehoorbeschermer ten hoogste 80 dB(A) mag zijn. Houden we daarbij rekening met de onnauwkeurigheid in $D(A)$ van ongeveer 5 dB(A), dan zal het verschil tussen het equivalente geluidniveau en $D(A)$ ten hoogste 75 dB(A) mogen zijn.

In formule:

$$L_{Aeq,8h} - D(A) \leq 75 \text{ dB(A)}$$

Uit de vuistregels kan dan worden afgeleid dat:

$D(500) > 4/3 (L_{Aeq,8h} - 79)$: laagfrequent geluid

$D(500) > 4/3 (L_{Aeq,8h} - 82)$: middenfrequent geluid

$D(500) > 4/3 (L_{Aeq,8h} - 90)$: hoogfrequent geluid

Deze formules mogen geenszins zo geïnterpreteerd worden dat er bijvoorbeeld in het geval van hoogfrequent geluid met equivalente geluidniveaus beneden 90 dB(A) geen gehoorbescherming nodig is, omdat $D(500)$ niet groter hoeft te zijn dan 0 dB. Immers, bij een demping van 0 dB bij 500 Hz is de demping bij, in dit geval, hogere frequenties zodanig dat in totaal over het gehele spectrum de demping toch voldoende om gehoorschade door lawaai te voorkomen

Bij het bepalen van de regressielijnen van $D(A)$ op $D(500)$ is slechts sporadisch een negatieve demping bij 500 Hz gemeten. Het lijkt dan ook niet verantwoord om uitspraken te doen over de demping van gehoorbeschermingsmiddelen als er bij 500 Hz een negatieve demping is vastgesteld. De bovenstaande formule wordt dan ook slechts toepasbaar geacht voor $D(500)$ -waarden groter dan 0 dB.

7. CONCLUSIE

In dit rapport is in grote lijnen beschreven hoe en op welke gronden de meetmethode voor de demping van gehoorbeschermingsmiddelen ten behoeve van praktijksituaties bekort kan worden. De conclusies zijn daarbij gebaseerd op situaties zoals deze zijn aangetroffen in de kolen- en staalindustrie. De geluidssituatie is in het project gekarakteriseerd met elf standaardspectra en twee andere spectra. Alvorens de resultaten toe te mogen passen op andere industriële situaties, is het noodzakelijk om na te gaan of de dertien spectra ook representatief zijn voor die industriële geluidssituaties.

Bij de ontwikkeling van de verkorte testmethoden is tevens uitgegaan van de in de praktijk bij Hoogovens aangetroffen frequentie-afhankelijke individuele dempingskarakteristieken. Het is niet te verwachten dat deze frequentie-afhankelijkheid in andere bedrijfsomstandigheden anders zou liggen. De ontwikkelde meetmethode is niet gebaseerd op de hoogten van de aangetroffen dempingswaarden en is dus niet afhankelijk van de kwaliteit van het dragen van de gehoorbeschermingsmiddelen. Overigens liggen de in het project aangetroffen dempingswaarden in de ranges die ook in andere praktijksituaties zijn aangetroffen. Daarbij zijn er dempingswaarden gemeten die hoger en (veel) lager liggen dan opgegeven door fabrikanten van de gehoorbeschermingsmiddelen. De conclusie lijkt dan ook gerechtvaardigd dat de bij Hoogovens aangetroffen gehoorbeschermingspraktijk geen invloed heeft gehad op de ontwikkelde meetmethode.

LITERATUUR

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

BERG R van den, PASSCHIER-VERMEER W, CRIJNS H. Persoonlijke gehoorbeschermingsmiddelen in concrete arbeidssituaties: Fase 1b: Geluidspectra bij Hoogovens. Leiden: Nederlands Instituut voor Praeventieve Gezondheidszorg-TNO, 1993. Publ.nr. 93.019.

BERG R van den, PASSCHIER-VERMEER W, CRIJNS H. Persoonlijke gehoorbeschermingsmiddelen in concrete arbeidssituaties: Fase 2a: eerste veldonderzoek demping gehoorbeschermingsmiddelen. Leiden: Nederlands Instituut voor Praeventieve Gezondheidszorg-TNO, 1993. Publ.nr. 93.020.

BERG R van den, PASSCHIER-VERMEER W, CRIJNS H. Persoonlijke gehoorbeschermingsmiddelen in concrete arbeidssituaties: Fase 3 en 4. Leiden: Nederlands Instituut voor Praeventieve Gezondheidszorg-TNO, 1993. Publ.nr. 93.021.

BERGER EH, KERIVAN JE. Influence of physiological noise and the occlusion effect on the measurement of real-ear attenuation at threshold. *J Acoust Soc Am* 1983a;74(1):81-94.

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

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

PASSCHIER-VERMEER W, BERG R van den, RÖVEKAMP AJM, REE D van der. Integrale gehoorbeschermingsprogramma's. Voorburg: DGA, 1988 (S 36). p.107-11.

Reprografie: NIPG-TNO
Projectnummer: 3845