

## Gehoerverlies tengevolge van continue expositie aan constant lawaai met een breed frequentiespectrum\*

### Inleiding

In 1966 werd in het kader van de werkzaamheden van de Werkgroep relatie lawaai en lawaaidoofheid een systematisch onderzoek begonnen naar het effect van lawaai op het gehoor van mensen die er gedurende hun werktijd aan zijn geëxposeerd. Toentertijd behandelde de ISO (International Organisation for Standardisation) ontwerpvoorstellen, waarin een grens tussen veilig en onveilig geluid werd genoemd, de z.g. NR-85 grens. Deze grens was gebaseerd op een onderstelde relatie tussen tijdelijke gehoerverliezen, bekend uit laboratoriumexperimenten, en permanente gehoerverliezen. Alleen bij 4000 Hz echter kon er een duidelijk verband worden aangetoond tussen beide grootheden. Omdat de werkgroep dit een nogal onbetrouwbare basis vond voor een veilige lawaai-grens werd besloten de werkelijke permanente gehoerverliezen te bepalen die ontstaan door langdurig werken in lawaai. Allereerst werd de eenvoudigste situatie onder de loep genomen nl. continue expositie gedurende 8 uur per dag, tenminste 5 dagen per week, aan constant lawaai met een breed frequentiespectrum.

Er werden voornamelijk gegevens uit de literatuur bewerkt; slechts een gering aantal gegevens is afkomstig uit onderzoek door leden van de Werkgroep relatie lawaai en lawaaidoofheid. In totaal konden de gegevens worden bewerkt van ongeveer 4500 mensen, bijna uitsluitend mannen. Deze mensen waren noch in een vorige werkkring geëxposeerd aan lawaai, noch hadden ze in militaire dienst blootgestaan aan knallen en/of explosies. Ze hadden tevens geen otologische afwijkingen tengevolge van bepaalde infectieziekten, ongevallen of erfelijkheid.

Op deze plaats worden geen details gegeven over de onderzoeksmethode; die zijn elders gepresenteerd (zie referenties 1 en 2). Alvorens echter de resultaten te geven, wordt het volgende naar voren gebracht.

Als iemand het effect wil weten van lawaai op het gehoor van mensen die eraan zijn blootgesteld tijdens hun werk, heeft men in ieder geval gegevens nodig over het gehoor van mensen die niet aan lawaai zijn blootgesteld tijdens hun werk. Deze gegevens en hun achtergrond zijn in dit supplement opgenomen in het artikel „Audiogram en leeftijd” van *Spoor*.

\* Publikatie nr. 407 van het Instituut voor gezondheidstechniek TNO

In dit artikel worden de relaties gegeven tussen het „noise-rating” getal voor 500 tot 2000 Hz van lawaai en

- het mediane gehoerverlies bij 7 frequenties tussen 5000 en 8000 Hz tengevolge van een tienjarige expositie aan lawaai
- de jaarlijkse toename van dit gehoerverlies voor expositietijden langer dan tien jaar
- de spreiding van de gehoerverliezen rond de mediaanwaarden.

Men kan aan de uitdrukking „gehoerverlies tengevolge van expositie aan lawaai” de volgende grootheden onderscheiden: gehoerverlies, expositie en lawaai. Aan deze termen zal eerst afzonderlijk aandacht worden geschonken.

### Gehoerverlies

Dit artikel beperkt zich tot gehoerverlies bij de volgende 7 frequenties: 500, 1000, 2000, 3000, 4000, 6000 en 8000 Hz. Het is duidelijk dat niet de gehoerverliezen van alle 4500 aan lawaai geëxposeerden afzonderlijk beschouwd kunnen worden. Om de algemene tendens aan te geven wordt gebruik gemaakt van het begrip mediaan gehoerverlies, d.w.z. het gehoerverlies dat door 50% der mensen van een groep juist niet overschreden wordt. Bij de beschouwing van de spreiding in de gehoerverliezen komen de gehoerverliezen ter sprake die juist niet overschreden worden door 90% en 10% der mensen van een groep, evenals de gehoerverliezen die juist niet overschreden worden door 75% en 25%.

### Expositie

Ten aanzien van deze term zij slechts opgemerkt dat dit onderzoek zich beperkt heeft tot totale expositietijden van 10 jaar tot 40 jaar.

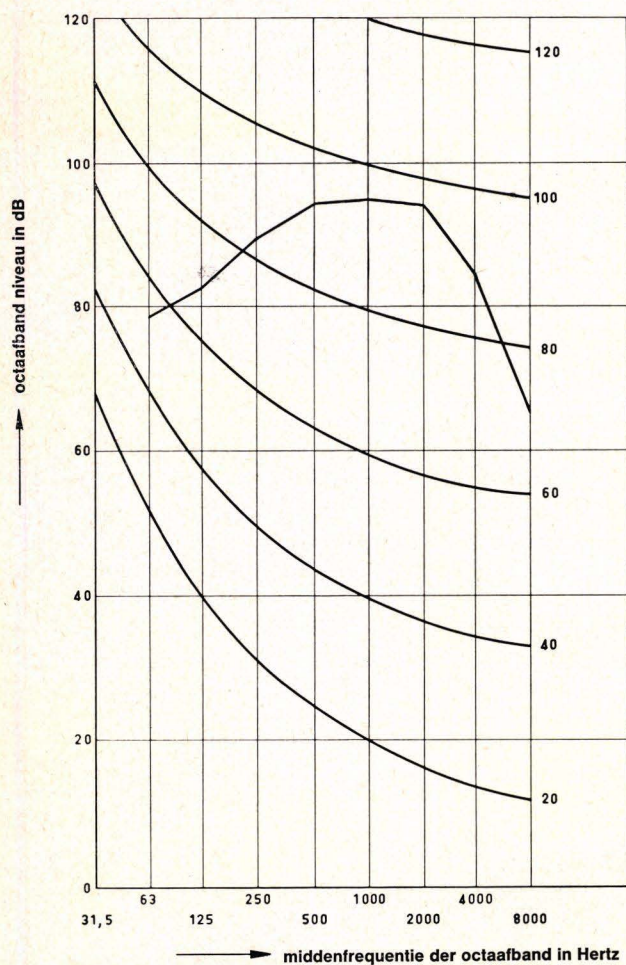
### Lawaai

Zoals in de inleiding vermeld is, beperken we ons tot constant lawaai met een breed frequentiespectrum, ook wel „steady-state broadband” genoemd. Hieronder wordt verstaan lawaai dat een vrij constant niveau heeft zowel gedurende de werkdag als in de loop der jaren, geen hoorbare tonen bevat en waarvan de geluidintensiteit vrij gelijkmatig over het frequentiespectrum verdeeld is.

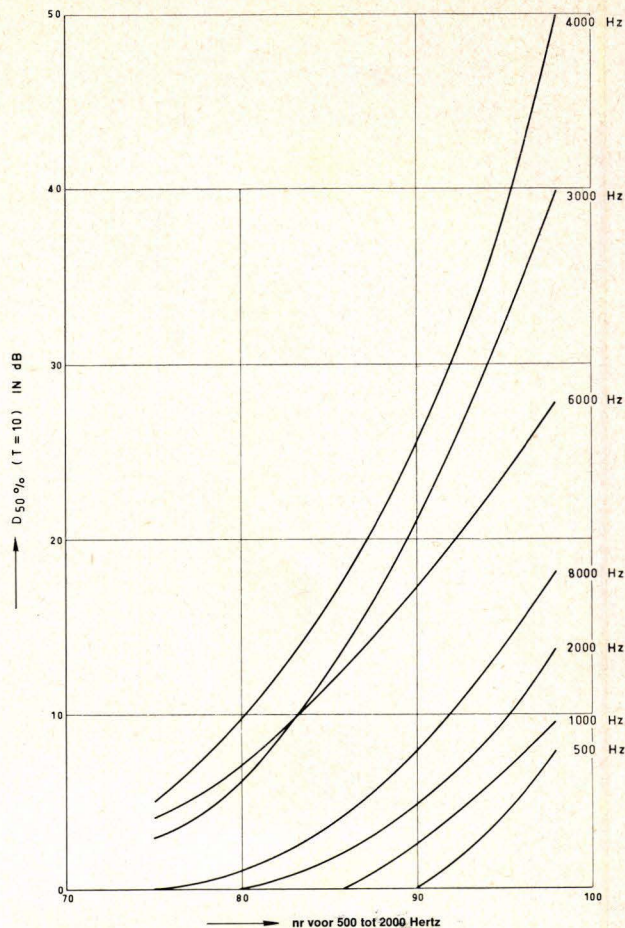
In dit artikel wordt lawaai gekarakteriseerd met het „noise-rating” getal van 500 tot 2000 Hz (NR van 500 tot 2000 Hz). Dat is het getal van die „noise-rating” curve die juist niet overschreden wordt door de octaafbandniveaus met middenfrequenties 500, 1000 en 2000 Hz van het octaafbandspectrum van het lawaai. Enige „noise-rating” curven zijn afgebeeld in *Figuur 1*, evenals een octaafbandspectrum. De NR voor 500 tot 2000 Hz van dit octaafbandspectrum is gelijk aan 96.

Hoewel de resultaten gegeven worden als functie van de NR voor 500 tot 2000 Hz, kunnen ze globaal „vertaald” worden voor geluidniveaus in dB (A). In heel veel gevallen is nl. de NR voor 500 tot 2000 Hz numeriek vijf kleiner dan het geluidniveau in dB (A). Lawaai met bijv. NR 96 zal dus globaal een geluidniveau van 101 dB(A) hebben. Ter informatie zij hier opgemerkt dat men in de huidige ISO-Recommendation (R 1999) betreffende lawaai in de industrie, lawaai karakteriseert met het geluidniveau in dB (A), zulks in tegenstelling tot vroegere ontwerpvoorstellen, waarin het lawaai gekarakteriseerd werd met de NR voor 500 tot 2000 Hz.

In het volgende zullen allereerst de mediane ge-



*Figuur 1.* „Noise-rating” curven en een octaafband spectrum



*Figuur 2.* Vergroting van het mediane gehoorverlies tengevolge van een 10-jarige expositie aan lawaai, als functie van het 'noise rating' getal voor 500 tot 2000 Hz

hoorverliezen worden beschouwd, waarna de spreiding in de gehoorverliezen rond deze mediaanwaarden aan de orde komt.

### Mediaan gehoorverlies

Wanneer een groep mensen, die tijdens hun werk zijn geëxponeerd aan lawaai, een bepaald mediaan gehoorverlies heeft, kan dit verlies niet in zijn geheel aan de invloed van dit lawaai worden toegeschreven. Immers, ook bij mensen die niet in lawaai werken neemt de gehoorschepthe af naarmate ze ouder worden.

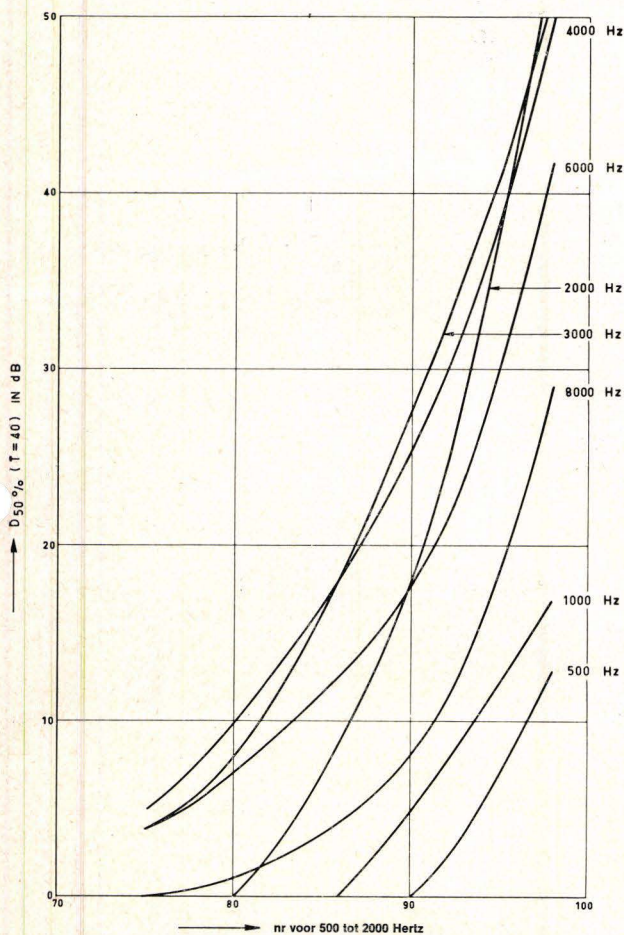
Om het effect te bepalen van lawaai op het mediane gehoorverlies van een groep mensen die in lawaai werken is het duidelijk dat van dit gehoorverlies het mediane gehoorverlies moet worden afgetrokken van een niet aan lawaai geëxponeerde groep mensen van dezelfde leeftijd. Het zo gevonden verschil is de door lawaai veroorzaakte vergroting van het mediane gehoorverlies; deze grootte wordt hier aangegeven met  $D_{50\%}$ .

*Figuur 2* geeft  $D_{50\%}$  voor een expositietijd van 10 jaar als functie van de NR voor 500 tot 2000 Hz met de frequentie als parameter. Uit deze figuur

blijkt dat voor deze expositietijd bij elke NR voor 500 tot 2000 Hz,  $D_{50\%}$  maximaal is bij 4000 Hz, hoewel er een niet zo groot verschil is tussen  $D_{50\%}$  bij 3000 Hz en 4000 Hz en er bij de lagere NR's zelfs weinig verschil is tussen  $D_{50\%}$  bij 3000, 4000 en 6000 Hz. Bij 2000 Hz is er bij NR's kleiner dan 80 geen door lawaai veroorzaakte vergroting van het mediane gehoorverlies; bij 500 Hz heeft zelfs lawaai met een NR tot 90 geen invloed op het mediane gehoorverlies.

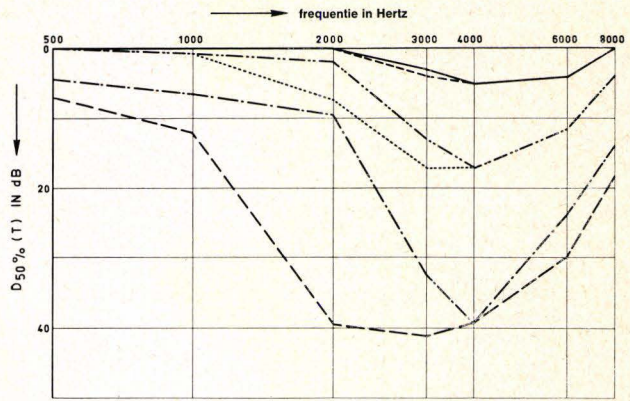
Na de resultaten voor een expositietijd van 10 jaar te hebben gegeven wordt nu  $D_{50\%}$  voor langere expositietijden beschouwd. Hierbij zij opgemerkt dat ter bepaling van  $D_{50\%}$  voor langere expositietijden gebruik is gemaakt van een lineair verband tussen  $D_{50\%}$  en de expositietijd; dit lijkt op grond van de verkregen gegevens een voldoende nauwkeurige benadering, althans voor expositietijden van tenminste 10 jaar.

Allereerst bleek dat  $D_{50\%}$  bij 4000 Hz niet meer toeneemt na 10 jaar expositie; dit is geheel in overeenstemming met het bekende resultaat van Glorig. Bij de overige frequenties neemt  $D_{50\%}$  wel toe na 10 jaar expositie, althans wanneer er bij een



Figuur 3. Vergroting van het mediane gehoorverlies tengevolge van een 40-jarige expositie aan lawaai, als functie van het „noise rating” getal voor 500 tot 2000 Hz

nr voor 500 tot 2000 Hz	expositietijd in jaren
75	10
	40
85	10
	40
95	10
	40



Figuur 4. Vergroting van het mediane gehoorverlies, als functie van de frequentie

tienjarige expositie reeds een door lawaai veroorzaakte vergroting van het mediane gehoorverlies is (d.w.z. voor  $D_{50\%}$  groter dan nul). Gelukkig bleek er een eenvoudig verband te zijn tussen  $D_{50\%}$  voor een expositietijd van 10 jaar en de toename van  $D_{50\%}$  na 10 jaar expositie, als beide grootheden tenminste per frequentie worden beschouwd. Voor 3000 Hz bijvoorbeeld bleek dat bij elke NR de jaarlijkse toename van  $D_{50\%}$  gelijk is aan 1% van  $D_{50\%}$  tengevolge van een tienjarige expositie. Voor de meeste andere frequenties werden andere percentages gevonden, maar steeds is van toepassing dat bij een bepaalde frequentie hetzelfde percentage per jaar geldt voor alle NR's. Slechts bij 6000 en 8000 Hz is de situatie gecompliceerder. Bij deze frequenties geldt dat voor NR's tot 92,  $D_{50\%}$  niet meer toeneemt na 10 jaar expositie en voor NR's groter dan 92 de jaarlijkse toename van  $D_{50\%}$  gelijk is aan 0,3 (NR-92)% van  $D_{50\%}$  na 10 jaar bij 6000 Hz en 0,4 (NR-92)% bij 8000 Hz. De resultaten bij elke frequentie zijn opgenomen in Tabel 1.

Tabel 1. Jaarlijkse toename van  $D_{50\%}$  voor expositietijden langer dan 10 jaar, uitgedrukt in percentage van  $D_{50\%}$  tengevolge van een tienjarige expositie

500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	3000 Hz	4000 Hz	6000 Hz	8000 Hz
2%	2,5%	10%	1%	0%	0,3 (NR-92)% NR < 92 : 0%	0,4 (NR-92)% NR < 92 : 0%

Figuur 3 geeft  $D_{50\%}$  voor een expositietijd van 40 jaar. Bij deze expositietijd zijn  $D_{50\%}$  bij 2000, 3000 en 4000 Hz ongeveer gelijk voor grote NR's, terwijl dit bij lagere NR's geldt voor 3000, 4000 en 6000 Hz. De resultaten zijn op een andere manier weergegeven in Figuur 4, waarin  $D_{50\%}$  voor expo-

sitietijden van 10 en 40 jaar is uitgezet als functie van de frequentie voor NR 75, 85 en 95.

Uit deze figuur valt ondermeer op te maken dat er bij NR 75 ternauwernood enig verschil is tussen  $D_{50\%}$  na 10 en 40 jaar; bij NR 85 is er enige toename van  $D_{50\%}$  bij 2000 en 3000 Hz in de loop der jaren. Voor NR 95 is er een steile dip bij 4000 Hz na 10 jaar expositie, welke zich in de loop der jaren sterk verbreedt, vooral naar de lage frequenties.

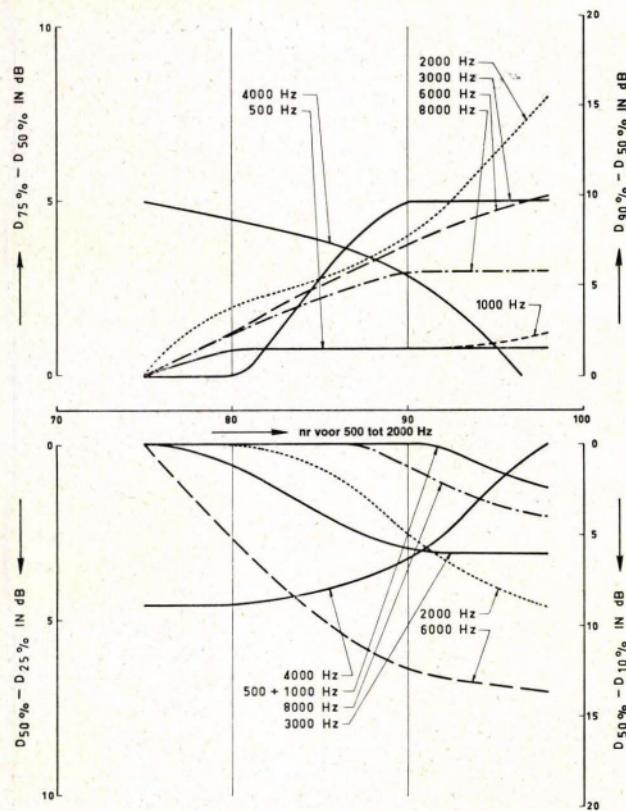
Tot zover de resultaten voor de door lawaai veroorzaakte vergroting van het mediane gehoorverlies. Uit de waarden van  $D_{50\%}$  tengevolge van een 10 jarige expositie (Figuur 2) en Tabel 1, die de toename van  $D_{50\%}$  na 10 jaar geeft is het mogelijk  $D_{50\%}$  te berekenen voor NR's tussen 75 en 98 of geluidniveaus tussen 80 en 103 dB (A), en voor expositietijden van 10 tot 40 jaar.

### Spreiding gehoorverliezen

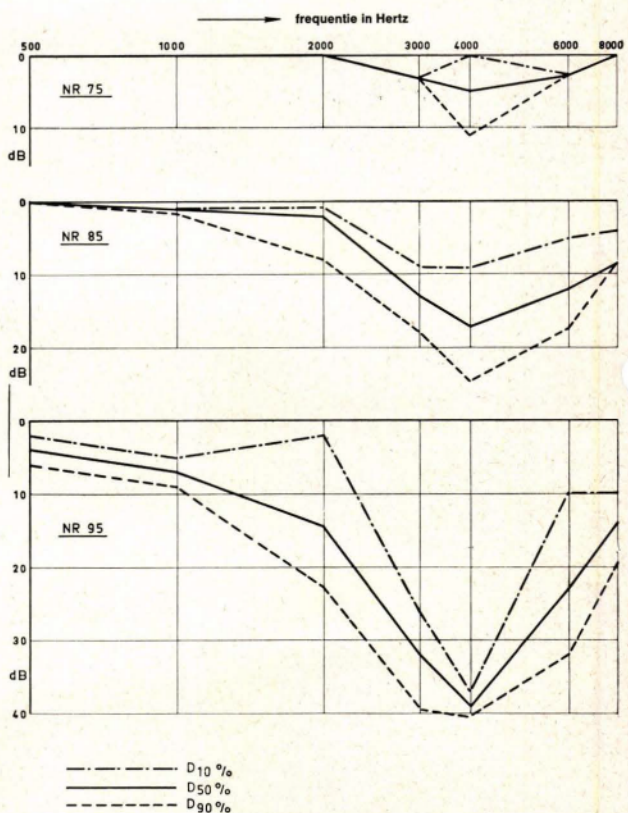
Tot nu toe is slechts de invloed van lawaai op het mediane gehoorverlies beschouwd. Hoewel dit een belangrijk gegeven is, is het niet voldoende om er een grens tussen veilig en onveilig lawaai op te baseren. Daartoe zijn gegevens nodig over de invloed van lawaai op de gehoorverliezen die groter zijn dan de mediaanwaarden; bijvoorbeeld de gehoorverliezen die niet worden overschreden door

75% of 90% der mensen. Om de invloed van lawaai te bepalen op het mediane gehoorverlies werd van dit gehoorverlies het mediane gehoorverlies afgetrokken van niet aan lawaai geëxponeerden met dezelfde leeftijd. Om de invloed van lawaai te bepalen op het gehoorverlies dat niet wordt overschreden door bijv. 75% van de geëxponeerden, moet van dit gehoorverlies het gehoorverlies worden afgetrokken dat niet wordt overschreden door 75% van de niet-geëxponeerden. Het zo gevonden verschil wordt aangegeven met  $D_{75\%}$ . Analooq worden  $D_{90\%}$ ,  $D_{25\%}$  en  $D_{10\%}$  gedefinieerd. Uit onze analyse bleek dat voor elke frequentie  $D_{75\%} - D_{50\%}$  onafhankelijk is van de expositietijd, althans voor expositietijden van tenminste 10 jaar. Dit geldt eveneens voor  $D_{90\%} - D_{50\%}$ ,  $D_{50\%} - D_{25\%}$  en  $D_{50\%} - D_{10\%}$ . De vier zojuist genoemde verschillen hangen echter wel af van de frequentie en de NR voor 500 tot 2000 Hz. *Figuur 5* laat zien dat ze toenemen met de NR voor elke frequentie, behalve voor 4000 Hz waar ze afnemende functies zijn van de NR.

Als  $D_{90\%}$ ,  $D_{50\%}$  en  $D_{10\%}$  aan elkaar gelijk zijn houdt dit in dat alle gehoorverliezen tussen de 90%- en 10%-waarde even veel zijn toegenomen tengevolge van de expositie aan lawaai, d.w.z. dat de hele verdeling van de gehoorverliezen door het lawaai verschoven is naar grotere verliezen. De



Figuur 5. De verschillen van  $D_{90\%}$ ,  $D_{75\%}$ ,  $D_{25\%}$ ,  $D_{10\%}$  met  $D_{50\%}$ , als functie van de NR voor 500 tot 2000 Hz. Deze verschillen zijn onafhankelijk van de expositietijd



Figuur 6. De tengevolge van een 10-jarige expositie aan lawaai veroorzaakte vergroting van het gehoorverlies dat niet overschreden wordt door 10%, 50% en 90% der geëxponeerden

spreiding in de gehoorverliezen van de aan lawaai geëxponeerden is in dit geval dan ook even groot als die van de niet aan lawaai geëxponeerden. Als  $D_{90\%}$ , groter is dan  $D_{50\%}$  en/of  $D_{10\%}$ , kleiner dan  $D_{50\%}$  betekent dit, dat de spreiding in de gehoorverliezen van de geëxponeerden groter is dan in die der niet geëxponeerden. Behalve een door lawaai veroorzaakte vergroting van het mediane gehoorverlies is er in dit geval dan tevens sprake van een door lawaai veroorzaakte vergroting van de spreiding in de gehoorverliezen.

Figuur 6 geeft  $D_{90\%}$ ,  $D_{50\%}$  en  $D_{10\%}$  voor NR 75, NR 85 en NR 95 en een expositietijd van 10 jaar. Zoals reeds is vermeld, zijn de verschillen tussen  $D_{90\%}$ ,  $D_{50\%}$  en  $D_{10\%}$  onafhankelijk van de expositietijd. Bij NR 75 verschillen  $D_{90\%}$ ,  $D_{50\%}$  en  $D_{10\%}$  alleen bij 4000 Hz. Dit betekent dat alleen bij deze frequentie de spreiding in de gehoorverliezen tengevolge van de expositie is toegenomen. Bij NR 85 is de spreiding in de gehoorverliezen toegenomen door de expositie bij 1000 Hz en hogere frequenties, aangezien in dit frequentiegebied  $D_{90\%}$ ,  $D_{50\%}$  en  $D_{10\%}$  een verschil vertonen. Bij NR 95 is de spreiding in de gehoorverliezen der geëxponeerden bij elke frequentie groter dan voor de niet-geëxponeerden, hoewel er slechts een geringe toename in de spreiding is bij 4000 Hz.

### Slotopmerkingen

Zoals in de inleiding is gesteld was de voornaamste reden van dit onderzoek gegevens te verkrijgen waarmee een grens van veilig lawaai kan worden vastgesteld en waarmee de oorspronkelijk voorgestelde ISO-grens van NR 85 getoetst kan worden. Op dit onderwerp wordt nader ingegaan in het in dit supplement gepresenteerde artikel „Een grens tussen veilig en onveilig geluid”. Als resultaat wordt hier vermeld dat:

- NR 75 de grens is tussen veilig en onveilig geluid, ongeval van constant lawaai, waaraan de werknemers 8 uur per dag, 5 dagen per week zijn geëxponeerd. Als het lawaai NR 75 overschrijdt acht de Werkgroep maatregelen noodzakelijk. Maatregelen kunnen zijn: technische geluidvermindering, het dragen van gehoorbeschermers, expositietijdverkorting en geregelde audiometrische controle van de werknemers.
- bij lawaai dat ligt tussen NR 75 en NR 85 wellicht volstaan kan worden met een geregelde audiometrische controle der werknemers en een individuele bescherming van het gehoor van de lawaaigevoeligste werknemers.
- bij lawaai dat NR 85 overschrijdt, algemene maatregelen noodzakelijk zijn. Hierbij wil de Werkgroep met name wijzen op technische geluidvermindering.

### Referenties

- 1 Passchier-Vermeer, W., Hearing loss due to continuous exposure to steady-state broadband noise. Report 35, Instituut voor gezondheidstechniek TNO, Delft
- 2 Passchier-Vermeer, W., Hearing loss due to continuous exposure to steady-state broadband noise. Supplement to Report 35, Instituut voor gezondheidstechniek TNO, Delft

### Summary

#### *Hearing loss due to continuous exposure to steady-state broadband noise*

The relations are presented between the noise-rating number for 500 to 2000 Hz of noise and

- the median hearing losses, at seven frequencies between 500 and 8000 Hz, due to exposure to noise for ten years
- the yearly increase of these hearing losses for exposure times longer than ten years
- the spread of the hearing losses around the median values.