

Ser. 4  
S 57-5

2<sup>e</sup> ed.

# Het equivalente geluidniveau en gehoorschade door lawaai op de arbeidsplaats bij groepen werknemers

Onderzoek

Uitgevoerd in opdracht van het Directoraat-Generaal  
van de Arbeid door het Nederlands Instituut  
voor Praeventieve Gezondheidszorg TNO

Directoraat-Generaal van de Arbeid

Nederlands Instituut voor Arbeidsomstandigheden



\*NIA0020877\*

S 57-5

Jc.

# Het equivalente geluidniveau en gehoorschade door lawaai op de arbeidsplaats bij groepen werknemers

Onderzoek  
Uitgevoerd in opdracht van het Directoraat-Generaal  
van de Arbeid door het Nederlands Instituut  
voor Praeventieve Gezondheidszorg TNO

auteur:  
W. Passchier-Vermeer

Nederlands Instituut voor  
Arbeidsomstandigheden NIA  
bibliotheek-documentatie-informatie  
De Boelelaan 32, Amsterdam-Buitenveldert

stamb. nr. 2198  
plaats Ser. 4, 957-5 (2<sup>e</sup> ed.)  
datum 09 APR. 1990

maart 1990

Ter begeleiding van dit onderzoek werd een begeleidingscommissie ingesteld. In deze commissie hadden zitting:

ir. M.A.P. Verwijmeren (voorzitter)	SZW/DGA
dr. J.H. Ettema	Coronel Laboratorium
ing. P.L.H. Schuurmann (secretaris)	SZW/DGA
prof. dr. G.F. Smoorenburg	IZF-TNO
ir. H. Staatsma	SZW/Arbeidsinspectie
ing. A. van der Weerd	RBB
drs. L. van Vliet	SZW/DGA

**CIP-GEGEVENS KONINKLIJKE BIBLIOTHEEK, DEN HAAG**

**Passchier-Vermeer, W.**

**Lawaai op de arbeidsplaats: het equivalente geluidsniveau en gehoorschade bij lawaai op de arbeidsplaats bij groepen werknemers / W. Passchier-Vermeer. - Voorburg: Directoraat-Generaal van de Arbeid van het Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid. - ([Studie] / Directoraat-Generaal van de Arbeid, Arbeidsinspectie, ISSN 0921-9218; S 57-5)**

Met lit. opg.

ISBN 90-5307-066-4

SISO 614.63 UDC 331.432

Trefw.: geluidshinder.

## Samenvatting

In het rapport wordt verslag gedaan van een onderzoek naar de relatie tussen geluid en gehoorschade die door blootstelling aan geluid op de arbeidsplaats bij groepen werknemers ontstaat. De vraag is met name of impulsgeluid dezelfde gehoorschade door lawaai veroorzaakt als constant geluid met hetzelfde equivalente geluidniveau over een representatieve werkdag.

Om deze vraag te beantwoorden werd een analyse uitgevoerd van epidemiologisch onderzoek dat de afgelopen zes jaar is gepubliceerd. Gebaseerd op een vergelijking van zeven recent gepubliceerde gegevensbestanden over gehoorverlies en leeftijd blijkt dat database ISO A uit ISO/DIS 1999.2 met enkele kleine aanpassingen kan dienen als referentiebestand voor otologisch geselecteerde populaties. Voor otologisch geselecteerde populaties kan database ISO A zonder aanpassingen worden gebruikt. Dit houdt in dat het equivalente geluidniveau inderdaad een bruikbare geluidmaat is om bij groepen werknemers de gehoorschade door lawaai - ongeacht het type lawaai - te voorspellen.

Uit een vergelijking van de gehoordrempels van populaties die aan impulsgeluid zijn blootgesteld met die van populaties die aan diverse soorten geluid zijn blootgesteld blijkt dat er geen verschillen tussen beide gehoordrempelverdelingen zijn. Uit de analyse kan daarom de conclusie worden getrokken dat met het nu beschikbare materiaal niet aangetoond kan worden dat gehoorschade door impulsgeluid groter is dan gehoorschade door constant geluid met eenzelfde lawaaiexpositieniveau.

In het rapport zijn tevens twee literatuuranalyses van de schrijfster uit 1973 en 1981 opnieuw bezien.

De gepresenteerde analyses zijn uitgevoerd met als uitgangspunt de gehoordrempelgegevens van groepen werknemers. Op basis van deze groepsgegevens is het niet mogelijk om een definitieve uitspraak te doen over de mogelijkheid om het equivalente geluidniveau over een werkdag te gebruiken als voorspeller van de gehoorschade door lawaai die bij de individuele werknemer optreedt.

## Summary

The report gives an account of a study which investigates the relationship between noise and hearing damage developing in groups of workers subjected to industrial noise. The question, specifically, is whether impulse noise causes the same amount of hearing damage as constant noise when produced at the same sound-level over a typical working day.

In order to answer this question, epidemiological studies published over the last six years were subjected to an analysis. Based on a comparison between seven recently published databases on loss of hearing and age, it appears that database ISO A from ISO/DIS 1999.2 (provided it undergoes some minor adaptations) can serve as reference file for otologically random populations. For otologically selected populations, database ISO A can be used without requiring any form of adaptation. This means that the equivalent sound-level is indeed a useful measure to allow forecasting of hearing damage for groups of workers subjected to noise - regardless of the kind of noise.

From a comparison between populations subjected to impulse noise and populations subjected to various kinds of noise, it appears that there is no difference in their threshold of audibility. The analysis therefore leads to the conclusion that the information presently available does not indicate that hearing damage resulting from impulse noise is greater than hearing damage resulting from constant noise, provided the sound-level is the same.

The report also reviews two literature analyses of the author dating from 1973 and 1981.

The analyses presented were conducted on the basis of threshold of audibility data for groups of workers. These group data do not permit any definite statement on the feasibility of using the equivalent sound-level over a working day to forecast hearing damage due to noise for any individual worker.

# INHOUD

blz.

## VOORWOORD

SAMENVATTING EN CONCLUSIES . . . . .	I
1. INLEIDING . . . . .	1
2. ACHTERGRONDINFORMATIE . . . . .	5
2.1 Algemeen . . . . .	5
2.2 Tijdelijke gehoordrempelverschuivingen . . . . .	8
2.3 Akoestische reflex . . . . .	20
2.4 Anatomische veranderingen in het binnenoor . . . . .	27
2.5 Frequentie-afhankelijke overdracht van het oor . . . . .	31
2.6 Conclusie . . . . .	33
3. GELUID OP DE ARBEIDSPLAATS . . . . .	35
3.1 Algemeen . . . . .	35
3.2 Impulsgeluid . . . . .	36
3.3 Conclusies . . . . .	57
4. ANALYSE VAN RECENT EPIDEMIOLOGISCH ONDERZOEK . . . . .	61
4.1 Inleiding . . . . .	61
4.2 Leeftijdsgebonden gehoorverliezen . . . . .	63
4.3 Gehoordrempels van populaties, die op het werk aan lawaai zijn geëxponeerd . . . . .	68
4.4 Expositie aan impulsgeluid . . . . .	76
4.5 Epidemiologisch onderzoek door Hohman . . . . .	80
4.6 Conclusies . . . . .	83
5. ANALYSE VAN OUDER EPIDEMIOLOGISCH ONDERZOEK . . . . .	85
6. OVERWEGINGEN . . . . .	98
7. REFERENTIES . . . . .	106
BIJLAGEN . . . . .	118

## VOORWOORD

Zoals bekend vindt blootstelling aan geluid in de arbeidssituatie op grote schaal plaats. Het NIPG-TNO houdt zich vanuit de invalshoek van preventie bezig met de relatie geluid en gezondheid. Hierbij wordt getracht door middel van wetenschappelijk onderzoek en het beproeven en helpen toepassen van de resultaten hiervan een bijdrage te leveren aan de oplossing van de geluidproblematiek.

Dit rapport betreft onderzoek naar de relatie tussen geluid en gehoorschade die door blootstelling aan geluid op de arbeidsplaats bij groepen werknemers ontstaat. De vraag is met name of impulsgeluid dezelfde gehoorschade door lawaai veroorzaakt als constant geluid met hetzelfde equivalente geluidniveau over een representatieve werkdag. Het equivalente geluidniveau is een soort gemiddeld niveau over een bepaalde periode, waarbij de tijdens die periode optredende geluidniveaus op een bepaalde manier gewogen zijn. Er is in het rapport vastgesteld dat het model volgens de Draft International Standard 1999.2 over de relatie tussen gehoorschade en lawaai bruikbaar is. Dit houdt in dat inderdaad het equivalente geluidniveau een bruikbare geluidmaat is om bij groepen werknemers de gehoorschade door lawaai - ongeacht het type lawaai - uit te voorspellen. Het verkregen resultaat is beleidsmatig van belang omdat het de technische basis van de huidige Nederlandse wet- en regelgeving inzake lawaai op de arbeidsplaats ondersteunt.

Uit de in het rapport gegeven overwegingen blijkt echter ook dat het niet waarschijnlijk is dat het equivalente geluidniveau een nauwkeurige voorspeller is van de gehoorschade van individuele werknemers, zelfs als daar leeftijd en blootstellingstijd bij betrokken worden. Vanuit preventief oogpunt blijft het derhalve van belang om het gehoor van de individuele werknemer, die in lawaai werkt, periodiek te onderzoeken en om een test te ontwikkelen op basis waarvan kan worden vastgesteld of de betreffende individuele

werknemer al dan niet gevoelig is voor het ontstaan van gehoorschade door lawaai.

Dr. C.L. Ekkers  
onderdirecteur NIPG-TNO



## SAMENVATTING EN CONCLUSIES

In opdracht van het Directoraat Generaal van de Arbeid van het Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid is het project "Het equivalente geluidniveau als geluidmaat met betrekking tot gehoorschade door lawaai op de arbeidsplaats" uitgevoerd. Dit rapport bevat een inventarisatie en analyse van onderwerpen en gegevens die betrekking hebben op de vraag of het equivalente geluidniveau over een representatieve werkdag een bruikbare maat is om er de op de lange duur bij groepen werknemers optredende permanente gehoorschade door lawaai op de arbeidsplaats uit te voorspellen.

Aan de hand van literatuurgegevens is nagegaan welke fenomenen, voornamelijk bepaald uit laboratoriumexperimenten, met betrekking tot het ontstaan van gehoorschade beschreven zijn en welke consequenties deze beschreven fenomenen wellicht kunnen hebben op de gevolgen op het gehoor van expositie aan lawaai op de arbeidsplaats. Deze fenomenen hebben in principe betrekking op:

- tijdelijke gehoordrempelverschuivingen (TTS),  $TTS_2$  (TTS gemeten 2 minuten na afloop van een expositie), vertraagd herstel van de gehoordrempel (delayed recovery), ATS (Asymptotische TTS);
- herstel van de gehoordrempel bij expositie aan intermitterend geluid tijdens de perioden van effectieve rust (effective quiet) met equivalente geluidniveaus van ten hoogste 65 dB(A);
- akoestische reflex;
- frequentie-afhankelijke overdracht van geluid door het menselijk oor;
- anatomische veranderingen in het binnenoor.

In het rapport blijkt uit een analyse van de karakteristieken van industrieel geluid op de arbeidsplaats, toegespitst op de kenmerken van industrieel impuls/impact-geluid, dat in industriële situ-

aties impulsen/impacts ten opzichte van verder in de industrie voorkomende (achtergrond)geluiden meer hoogfrequente componenten bezitten. Mede door de frequentie-afhankelijke overdracht van geluid door het menselijk oor zou het mogelijk kunnen zijn dat de permanente gehoorschade door impuls/impact-geluid groter is dan op grond van het equivalente geluidniveau, gemeten in dB(A), zou moeten worden aangenomen.

Gezien de in de industrie optredende hoge achtergrondniveaus bij expositie aan impuls/impact-geluid, die de eerder genoemde 65 dB(A) verre overschrijden, mag van een compenserend effect van rustige (herstel)perioden tussen de exposities aan impulsgeluid door geen effect verwacht worden.

Met betrekking tot de werking van de akoestische reflex bij industrieel impuls/impact-geluid is de conclusie dat zowel door het tijdpatroon van de reflex als door het tijdpatroon van industrieel impuls/impact-geluid niet veel effect verwacht mag worden van een beschermende werking ten gevolge van de impulsen als zodanig, maar dat er wellicht een beschermend effect uitgaat van de reflex omdat de hogere achtergrondniveaus, die in industriële situaties over het algemeen in combinatie met impulsgeluid optreden, iets minder schadelijk worden.

Uit de weinige beschikbare gegevens over ATS blijkt een indicatie voor een extra of andere gevoeligheid van het gehoor voor impuls-geluid in vergelijking met die voor constant geluid. Aangezien een relatie tussen ATS en permanente gehoorschade door lawaai (nog) niet is aangetoond, zijn de gegevens uit ATS-onderzoek niet interpreteerbaar met betrekking tot permanente gehoorschade door expositie aan lawaai op industriële arbeidsplaatsen. Op basis van de overige beschreven fenomenen kan resumerend gesteld worden dat in relatie tot de karakteristieke kenmerken van industriële situaties met impuls/impact-geluid, deze situaties zich slechts in negatieve zin van de andere situaties zouden kunnen onderscheiden wat be-

treft permanente gehoorschade, omdat industriële impulsen/impacts over het algemeen hoogfrequenter zijn dan de andere geluiden die in de industrie optreden.

Uit een analyse van in de afgelopen zes jaar verschenen epidemiologisch onderzoek is in het rapport het volgende aangetoond.

Gebaseerd op een vergelijking van zeven recent gepubliceerde gegevensbestanden over gehoorverlies en leeftijd blijkt dat data base ISO A kan dienen als referentiebestand voor otologisch ongeselecteerde populaties met de volgende kleine aanpassingen:

- de mediane gehoordrempel ligt 2 dB hoger dan gegeven in ISO A; deze 2 dB zijn onafhankelijk van leeftijd en frequentie van de gehoordrempel;
- de gehoordrempel die wordt overschreden door 10% van de gehoordrempels ligt 6 dB hoger dan gegeven in ISO A;
- de gehoordrempel die wordt overschreden door 90% ligt gelijk aan die van ISO A.

Voor otologisch geselecteerde populaties kan data base ISO A zonder aanpassingen gebruikt worden. Zowel data base ISO B als de onlangs door Robinson gepubliceerde analyse van oudere gegevens overschatten de leeftijdgebonden gehoordrempels van otologisch niet geselecteerde populaties die op de arbeidsplaats niet aan lawaai geëxponeerd zijn.

Uit een vergelijking van de gehoordrempels bij 4000 Hz van 56 op de arbeidsplaats aan lawaai geëxponeerde (sub)populaties met de gegevens uit ISO/DIS 1999.2 blijkt dat de mediane gehoordrempels van deze (sub)populaties over het algemeen zeer goed overeenkomen met de gegevens uit ISO/DIS 1999.2, als data base A (plus correctie van 2 dB voor otologisch niet geselecteerde populaties) als leeftijdgebonden data base gekozen is. Uit de gegevens van 33 (sub)populaties blijkt, dat er gemiddeld een systematisch verschil is in de gehoordrempels, die juist overschreden worden door 10%

van de waarden van deze (sub)populaties, in vergelijking met die volgens ISO/DIS 1999.2. Dit verschil is 2 dB(A) als de gehoordrempels omgerekend worden naar lawaaioxpositieniveau. Deze discrepantie kan door diverse oorzaken zijn ontstaan.

Uit een vergelijking van de gehoordrempels van (sub)populaties die aan impulsgeluid (eventueel gesuperponeerd op hoge achtergrondniveaus) zijn geëxponeerd met die van (sub)populaties die aan diverse soorten geluid zijn geëxponeerd blijkt dat er geen verschillen tussen beide gehoordrempelverdelingen zijn. Uit de analyse dient de conclusie getrokken te worden dat uit het beschikbare materiaal niet aangetoond kan worden dat gehoorschade door impulsgeluid groter is dan die door constant geluid met eenzelfde lawaaioxpositieniveau.

In het rapport zijn tevens de door schrijfster in 1973 en 1981 gepresenteerde analyses van literatuurgegevens herbezien. Met betrekking tot intermitterend geluid blijft de destijds (1973) gegeven samenvatting van kracht dat het er op lijkt dat de intermitterende exposities aan zeer hoge geluidniveaus minder schadelijk zijn dan op grond van het equivalente geluidniveau over de werkdag zou moeten worden aangenomen. In de vier betrokken gevallen betreft het intermitterende exposities aan hoge niveaus, variërend van gemiddeld 102 dB(A) tot 117 dB(A), die optreden in de mijnindustrie. Wellicht heersen er in de mijnindustrie dermate lage achtergrondgeluidniveaus, waarover geen gegevens in de publikaties worden verstrekt, dat herstel van het gehoor tussen de exposities aan de hoge niveaus mogelijk is. Voor de (sub)populaties, die aan variërend, niet-intermitterend geluid zijn geëxponeerd blijkt dat de mediane gehoorverliezen door lawaai goed overeenkomen met die volgens ISO/DIS 1999.2. Uit een nieuwe analyse van de door de schrijfster in 1981 gebruikte gegevens blijkt dat voor de beschouwde (sub)populaties niet aangetoond kan worden dat de be-

treffende mediane gehoorschade door impulslawaai groter is dan op basis van ISO/DIS 1999.2 verwacht mag worden.

Echter, hoewel er over het algemeen een goede overeenkomst is tussen de bij de aan lawaai geëxponeerde (sub)populaties geconstateerde gehoorverliezen en die volgens ISO/DIS 1999.2, blijkt er toch een groot verschil in mediane gehoordrempels te bestaan tussen (sub)populaties met dezelfde karakteristieken wat betreft leeftijd, expositietijd en lawaaiexpositieniveau. Bij een verschil in lawaaiexpositieniveaus van 5 dB(A) blijkt de resulterende mediane gehoorschade overeen te komen met een bereik van zo'n 10 dB(A) in de lawaaiexpositieniveaus. Gezien de grote diversiteit van de onderzochte literatuurbronnen konden de achterliggende oorzaken van deze vergroting van de spreiding in de mediane gehoordrempels niet opgespoord worden. Gezien de in het rapport gegeven analyses is het niet aannemelijk dat het optreden van impulsgeluid in de arbeidssituatie een belangrijke oorzaak is van deze vergroting.

De in het rapport gepresenteerde analyses hebben plaatsgevonden op de gehoordrempelgegevens van groepen werknemers. Op basis van de groepsgegevens is het niet mogelijk om een definitieve uitspraak te doen over de mogelijkheid om het equivalente geluidniveau over een werkdag te gebruiken als voorspeller van gehoorschade door lawaai die bij individuele werknemer optreedt.

## 1. INLEIDING

In opdracht van het Directoraat Generaal van de Arbeid van het Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid is het project "Het equivalente geluidniveaus als geluidmaat met betrekking tot gehoorschade door lawaai op de arbeidsplaats" uitgevoerd. Dit rapport bevat een inventarisatie en analyse van onderwerpen en gegevens die betrekking hebben op de vraag of het equivalente geluidniveau over een representatieve werkdag een bruikbare maat is om de op de lange duur bij groepen optredende permanente gehoorschade door lawaai op de arbeidsplaats uit te kunnen voorspellen. Immers, de mens wordt op de arbeidsplaats aan een heel scala van geluiden blootgesteld, zoals het lawaai van machines en werktuigen, de spraak van collega's, het slaan van deuren, etc. In de meeste arbeidssituaties varieert het omringende geluid van ogenblik tot ogenblik in sterkte. Om de geluidssituatie over een bepaalde periode te karakteriseren kan het equivalente geluidniveau over die periode gehanteerd worden. Het equivalente geluidniveau is zowel fysisch als meettechnisch exact gedefinieerd (zie bijlage 1). Het kan omschreven worden als een soort gemiddelde waarde van de optredende geluidniveaus over een bepaalde periode, waarbij de hogere niveaus zwaarder worden meegewogen dan de lagere niveaus en waarbij de verdeling van de geluidniveaus over de tijd geen rol speelt. Zo is bijvoorbeeld het equivalente geluidniveau in een situatie, waarbij er de eerste helft van de periode een hoog niveau heerst en gedurende de tweede helft een laag niveau, gelijk aan het equivalente geluidniveau in een situatie, waarbij tijdens dezelfde periode het hoge en lage niveau afwisselend gedurende bijvoorbeeld een seconde optreden. Het equivalente geluidniveau is derhalve onafhankelijk van de verdeling van de geluidniveaus over de beoordelingsperiode. Het hanteren van het equivalente geluidniveau heeft tegenwoordig het voordeel dat het een geluidgrootte is die relatief simpel te meten is met moderne meetapparatuur, zo-

zoals een integrerende geluidmeter of een geluidsdosismeter.

Als geluidmaat met betrekking tot gehoorschade door expositie aan lawaai is door een aantal instanties het equivalente geluidniveau over een representatieve werkdag gekozen (Nederlandse overheid bij de wetgeving op het gebied van lawaai op de arbeidsplaats in artikel 179a van het Veiligheidsbesluit voor fabrieken of werkplaatsen (1938) en de International Organization for Standardization in ISO/DIS 1999.2, een standaard die eveneens betrekking heeft op de beoordeling van geluid op de arbeidsplaats). Echter, zowel nationaal als internationaal is men zich daarbij bewust geweest van de mogelijkheid dat het equivalente geluidniveau over een representatieve werkdag niet in alle gevallen een bruikbare descriptor van de geluidssituatie is met betrekking tot het optreden van gehoorschade door lawaai. In hoofdstuk 2 wordt daarop nader ingegaan. Het is het doel van dit rapport en van de er achter liggende opdracht om na te gaan of en in hoeverre het equivalente geluidniveau over een representatieve werkdag een bruikbare maat is om de resulterende gehoorschade uit te kunnen voorspellen. Als beperking geldt daarbij dat de analyse slechts plaatsvindt met betrekking tot jarenlange beroepsmatige blootstellingen aan lawaai op de arbeidsplaats. Zo wordt bijvoorbeeld niet getracht om uitspraken te doen over de effecten op de gehoorscherpthe van schietlawaai of die van blootstellingen aan lawaai in de vrije tijd (popmuziek). Vormt het bepalen van een equivalent geluidniveau met moderne apparatuur daarbij geen probleem, de representativiteit met betrekking tot de lawaaiexpositie daarentegen wel. Voor werknemers met een vaste arbeidsplaats die de gehele dag hetzelfde werk verrichten bij machines/met werktuigen die de gehele werkdag hetzelfde constante geluid produceren, dat ook in de loop der jaren niet verandert, vormt het vaststellen van een representatieve expositie geen enkel probleem. Voor mobiele werknemers, daarentegen, met een van dag tot dag variërend werkpakket en met wisselende werkzaamheden bij

machines/ met werktuigen die geluiden produceren die in de tijd sterk variëren, is het vaststellen van een representatieve geluidsexpositie een ingewikkelde zaak. Over het algemeen hebben we op de arbeidsplaats te maken met vrij gecompliceerde geluidsexpositiepatronen.

De structuur van het onderhavige Rapport is als volgt. Allereerst wordt in hoofdstuk 2 na een algemene inleiding aan de hand van literatuurgegevens nagegaan welke fenomenen, voornamelijk bepaald uit laboratoriumexperimenten, met betrekking tot het ontstaan van gehoorschade beschreven zijn en welke consequenties deze beschreven fenomenen wellicht kunnen hebben op de gevolgen op het gehoor van expositie aan lawaai op de arbeidsplaats. Deze fenomenen hebben onder meer betrekking op:

- tijdelijke gehoordrempelverschuiving (TTS),  $TTS_2$  (TTS gemeten 2 minuten na afloop van een expositie), vertraagd herstel van de gehoordrempel (delayed recovery), ATS (Asymptotische TTS)
- halveringsparameter 5 dB(A) of 3 dB(A);
- intermitterend geluid met perioden van effectieve rust (effective quiet);
- akoestische reflex;
- frequentie-afhankelijke versterking van geluid door het menselijk oor.

Vervolgens wordt in hoofdstuk 3 aangegeven welke karakteristieken industrieel geluid op de arbeidsplaats heeft.

Hoofdstuk 4 is gewijd aan resultaten van gedurende de laatste zes jaar gepubliceerde epidemiologische onderzoeken naar het effect van lawaai op de arbeidsplaats op de gehoorscherpthe van populaties.

In hoofdstuk 5 wordt aan de hand van de resultaten uit hoofdstuk 4



teruggeblikt op de resultaten van eerder door mij gepubliceerde analyses (Passchier-Vermeer, 1973, 1980, 1982).

Hoofdstuk 6 bevat een aantal overwegingen naar aanleiding van de resultaten uit de eerdere hoofdstukken.

De referenties zijn gegeven in hoofdstuk 7.

Het rapport bevat 3 bijlagen: betreffende de gehanteerde definities, de werking van het menselijk gehoororgaan en ten slotte een Engelstalig rapport, waarop hoofdstuk 4 van dit rapport is gebaseerd.

## 2. ACHTERGRONDINFORMATIE

### 2.1 Algemeen

In het verleden zijn met betrekking tot gehoorschade en lawaai dosiseffectrelaties opgesteld voor exposities aan lawaai met een over de werkdag constant geluidniveau (Baughn, 1973; Robinson, 1968; Passchier-Vermeer, 1968). Ter bepaling van deze relaties zijn tevens die situaties geselecteerd waarbij in de betrokken werkruimten het geluidniveau van plaats tot plaats ook weinig varieert, zodat ook (enigszins) mobiele werknemers in een vrij constant geluidniveau verbleven. Voor een dergelijke situatie is het gemeten constante geluidniveau gelijk aan het equivalente geluidniveau.

Gedwongen door de eisen van de praktijk, die om een beoordelingsmethode voor elke voorkomende situatie vragen, heeft generalisatie van de dosis-effectrelaties plaatsgevonden van constant geluid naar in de tijd variërend geluid. Een typerend voorbeeld van een in de tijd variërend geluid is impulsgeluid. Impulsgeluid kan worden gedefinieerd als een geluid dat kort duurt (maximaal een à twee seconden), waarvan het niveau snel in hoogte toeneemt, slechts kort op het maximale niveau blijft en vervolgens weer snel in niveau afneemt. Onder impulsgeluid wordt ook verstaan het geluid dat veroorzaakt wordt door "impacts". (In de Engelstalige literatuur spreekt men van impact/impulse-noise). Voorbeelden van impuls/impact-geluiden zijn het geluid van het stansen van machines, het tegen elkaar stoten of vallen van metalen voorwerpen, het ontsnappen van perslucht, het geluid dat ontstaat doordat glas tegen glas of metaal slaat, het geluid afkomstig van hameren, klinken, heien, klikken of tikken in een machine. Impulsen kunnen geïsoleerd voorkomen (bijvoorbeeld het af en toe vallen van staalpla-

ten), maar veelal is er in de arbeidssituatie sprake van series impulsen, die met een zekere regelmaat optreden (klinken, stan-sen). In een door de groep Mens en Geluid van het NIPG-TNO ver-richt onderzoek zijn de karakteristieken van impulsgeluid in de Nederlandse industrie nader onderzocht (Leeuw, 1980; van den Berg, 1980; Passchier-Vermeer, 1980).

Bij de generalisatie van de dosis-effectrelaties van constant ge-luid naar in de tijd fluctuerend/variërend lawaai is daarbij veel-al als geluidmaat het equivalente geluidniveau over een represen-tatieve werkperiode gekozen. Met name na de publicatie in 1975 van de internationale standaard-ISO R 1999 (zie referenties) zijn vele landen overgegaan tot regelgeving met het equivalente geluidniveau over een representatieve werkperiode als basis (bijvoorbeeld Ne-derland, België, Zweden, Denemarken e.a.). Uitzonderingen vormen bijvoorbeeld West-Duitsland en de USA. Met betrekking tot impuls-geluid wordt er in ISO R 1999 een straffactor van 10 dB(A) op het gemeten geluidniveau aangehouden, dat wil zeggen dat volgens ISO R 1999 impulsgeluid met een zeker equivalent geluidniveau gehoorschade veroorzaakt die even groot is als de gehoorschade door constant geluid met een 10 dB(A) hoger equivalent geluidniveau. Thans is een herziening van ISO R 1999 afgesloten met een nieuwe stan-daard, die binnenkort verschijnt, voorafgegaan door ISO/DIS 1999.1 (1982) gevolgd door ISO/DIS 1999.2 (1985). Daarin wordt weer uit-gegaan van het equivalente geluidniveau over een representatieve werkperiode waarbij in ISO/DIS 1999.1 wordt gesteld: "Caution should be applied in the case of impulsive noise. The prediction method is based primarily on data collected with essentially stea-dy noise. The application to impulsive noise represents at present the best available extrapolation. Some users may, however, consi-der impulsive noise up to 5 dB(A) more harmful than steady noise". In vergelijking tot de oude ISO-standaard derhalve een verminde-ring van de straffactor voor impulsgeluid van 10 dB(A) tot maxi-

maal 5 dB(A). De hieraan ten grondslag liggende gedachte is dat de meetapparatuur in de afgelopen jaren zoveel verbeterd is dat het equivalente geluidniveau thans met integrerende geluidmeters in elke willekeurige situatie zonder fouten bepaald kan worden terwijl men zich in vroegere perioden baseerde op geluidmetingen met niet integrerende meters. Zowel voor de vroegere straffactor van 10 dB(A) als de huidige van maximaal 5 dB(A) geldt helaas dat niet is aangegeven in welke gevallen deze straffactor toegepast moet worden. Tevens dient opgemerkt te worden dat beide factoren in de desbetreffende werkgroepen die ISO R 1999, ISO/DIS 1999.1 en ISO/ DIS 1999.2 hebben voorbereid (en waarvan de schrijfster van dit Rapport tijdens het opstellen van de documenten lid was) met de natte vinger zijn bepaald, zonder een voldoende wetenschappelijke basis. Dit wordt ondersteund door een uitspraak van een International workshop on Impulse Noise, gehouden in 1981 in Southampton (en gerapporteerd in Von Gierke, 1981), waarbij nader onderzoek wordt aanbevolen met betrekking tot impulsgeluid in industriële en militaire situaties.

Naast generalisatie van dosis-effectrelaties van constant geluid naar situaties met impulsgeluid heeft tevens extrapolatie plaatsgevonden naar situaties, waarin rustige perioden tussen de lawaaige perioden optreden (intermitterend geluid). Wordt daarbij voor geluidexposities met impulscomponenten gevreesd dat het equivalente geluidniveau een onderschatting geeft van de resulterende gehoorschade, in het geval van intermitterend geluid is wellicht sprake van een overschatting. Immers, als het geluidniveau laag genoeg is heeft het gehoor de gelegenheid te herstellen van de voorgaande expositie, zoals blijkt uit laboratoriumonderzoek over tijdelijke gehoordrempelverschuivingen. Mogelijk wijst ook de relatief geringe gehoorschade door het beluisteren van popmuziek in discotheken en bij popconcerten in dezelfde richting (Passchier-Vermeer, 1981).

In het verleden is van Nederlandse zijde ruime aandacht besteed aan de vraag of het equivalente geluidniveau over een representatieve werkperiode bruikbaar is als maat voor de resulterende permanente gehoorschade. Zo is in 1971 (Passchier-Vermeer, 1971) op een Engels congres verslag gedaan van Nederlands onderzoek naar het effect van (langzaam) fluctuerend geluid op de gehoorscherpthe. In 1973 is op het tweede "International Congress on Noise as a Public Health Problem" te Dubrovnik een overzicht (Passchier-Vermeer, 1973) gegeven van de tot dan gepubliceerde literatuur met betrekking tot intermitterend en fluctuerend geluid (met uitzondering van impuls geluid). Ten behoeve van het eerder genoemde symposium te Southampton in 1981 is literatuur geanalyseerd met betrekking tot het effect van impuls geluid op de gehoorscherpthe (Passchier-Vermeer, 1981), terwijl deze analyse in een uitgebreider gezelschap nogmaals is gepresenteerd op het vierde "International Congress on Noise as a Public Health Problem" te Torino in 1983. Tevens heeft Smoorenburg (1979) grenswaarden opgesteld voor expositie aan impuls geluid, gebaseerd op een analyse van literatuurgegevens met betrekking tot de tijdelijke gehoordrempelverschuiving.

## 2.2 Tijdelijke gehoordrempelverschuivingen

Studies naar de effecten van geluid kunnen in het algemeen ingedeeld worden in twee categorieën: laboratoriumexperimenten en veldonderzoeken. In het laboratorium worden zowel experimenten met proefpersonen als dierexperimenten uitgevoerd. Bij dierexperimenten worden daarbij door lawaaiexposities zowel tijdelijke gehoordrempelverschuivingen (TTS) als permanente gehoordrempelverschuivingen (PTS) teweeggebracht en kunnen daarmee gepaard gaande cochleaire (anatomische) veranderingen worden bestudeerd. Experimenten met proefpersonen kunnen alleen tijdelijke effecten beogen, zowel

wat betreft gehoordrempelverschuivingen als fenomenen die betrekking hebben op veranderingen in hoorfuncties boven de gehoordrempel. De TTS in mens en dier werd lange tijd uitgedrukt in termen van  $TTS_2$  (de TTS die twee minuten na afloop van een expositie optreedt). In deze heeft vooral het in 1965 door de "National Academy of Sciences-National Research Council; Committee on Hearing, Bioacoustics, and Biomechanics (CHABA)" gepubliceerde rapport "Hazardous Exposure to Intermittent and Steady-State Noise" (Kryter, 1965) een belangrijke rol gespeeld. Deze commissie postuleerde dat

- $TTS_2$  een consistente maat is voor het effect van een dagelijkse expositie aan geluid;
- alle exposities die een bepaalde  $TTS_2$  geven even schadelijk zijn;
- NIPTS die onstaat na vele jaren expositie, 8 uur per werkdag, ongeveer gelijk is aan de  $TTS_2$  die in normale oren wordt veroorzaakt door een 8-urige expositie aan hetzelfde geluid.

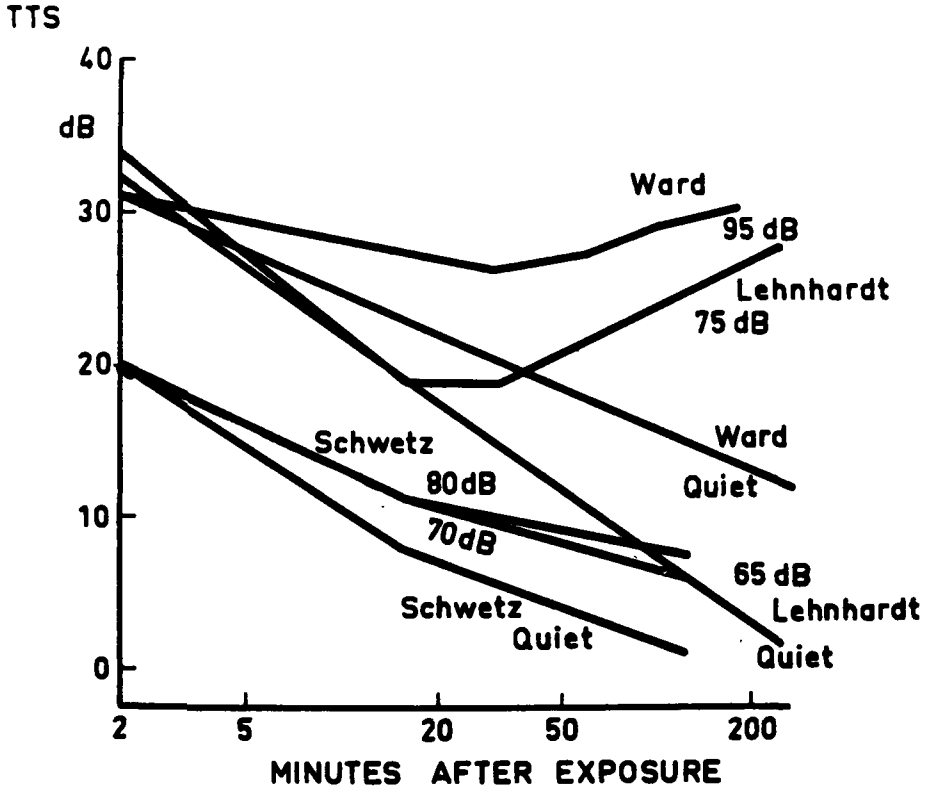
De in het rapport gegeven CHABA-contouren geven de mogelijkheid om de volgens CHABA toelaatbare exposities aan constant, fluctuerend en intermitterend geluid vast te stellen. Met betrekking tot intermitterend geluid, d.w.z. geluid dat volgens een regelmatig patroon een geluidniveau heeft dat afwisselend hoog en laag is, is een aparte set curven gegeven. Daarbij wordt ervan uitgegaan dat geluidstoten, die minder dan twee minuten optreden, worden afgewisseld met perioden van "effective quiet" (effectieve rust).

Hogere geluidniveaus zijn daarbij toelaatbaar als de geluidstoten korter aanhouden en de perioden tussen de geluidstoten langer is. Dit berust op de veronderstelling dat het gehoor zich gedurende de perioden van effectieve rust kan herstellen. De mogelijk geringere schadelijkheid van intermitterend geluid is dus afkomstig uit Amerikaanse bron en is gebaseerd op  $TTS_2$ -experimenten.

Een belangrijke tekortkoming van het CHABA-rapport betreft de de-

finitie van "effective quiet". Volgens het rapport en tegen Ward's inzichten (Ward, 1966) is er sprake van "effective quiet" als het geluiddrukkniveau ligt beneden het niveau dat 8 uur per dag toegestaan is (89 dB in de octaafband rond 500 Hz, 86 dB rond 1000 Hz en 85 dB rond 2000 en 4000 Hz), hoewel in de experimenten waarop de CHABA-contouren berusten en in de "effective quiet"-perioden niveaus van maximaal 30 à 40 dB(A) heersten. Op deze tekortkoming is ook gewezen door Passchier-Vermeer (1973). In dit kader is van belang het maximale geluidniveau dat na afloop van een expositie op kan treden zonder het herstel van de gehoordrempel te beïnvloeden. In Passchier-Vermeer (1973) wordt een drietal studies aangehaald waarin het effect van hogere geluidniveaus op het herstel van de gehoordrempel is bestudeerd (zie figuur 1) (Schwetz, 1970; Ward, 1960; Lehnhardt, 1968).

**Figuur 1** Gemiddelde TTS als een functie van de tijd na expositie. Schwetz: TTS gemiddeld over 1000, 2000, 3000 en 4000 Hz. Lehnhardt: TTS gemiddeld over 2000, 3000, 4000, 6000 en 8000 Hz. Ward: TTS gemiddeld over 3000 en 4000 Hz. Het octaafband geluidsdruk niveau is parameter.



Schwetz constateert verschil in herstel van TTS bij octaafbandniveaus vanaf 70 dB ten opzichte van rust (30 dB), Lehnhardt vindt verschillen tussen 65 dB en 75 dB en geen verschil tussen 65 dB en rust, terwijl Ward verschillen constateert tussen 95 dB en stilte. NIOSH (1972) beveelt een maximaal geluidsdruk niveau tijdens herstel van 65 dB aan en baseert zich daarbij op onderzoek door Schmidek (1972). Ward (1976) onderzocht in later onderzoek nogmaals de invloed van hogere achtergrondniveaus op het herstel van de TTS. Hij beveelt voor industriële situaties een maximaal geluidniveau van 75 dB(A) aan. Hetu (1982) onderzocht het herstel van de gehoor-



drempel in geluidniveaus van 50, 60, 70 en 80 dB(A). De resultaten toonden herstelcurven die onder de vier gegeven condities overlappen tot 60 à 120 minuten na expositie, waarna het geluidniveau van 50 dB(A) een sneller herstel te zien geeft dan de overige geluidniveaus en waarbij het geluidniveau van 80 dB(A) in plaats van een herstel een toeneming van de gehoordrempel laat zien, vanaf een uur na beëindiging van de expositie (zoals in figuur 1 bij Lehnhardt en bij Ward). Hetu concludeert dat een geluidniveau van ten hoogste 65 dB(A) gezien moet worden als bovengrens voor een onbevloed herstel van de tijdelijke gehoordrempelverschuiving na expositie aan lawaai.

De CHABA-commissie laat in haar rapport een aantal waarschuwendende geluiden horen bij de drie door hen gepostuleerde opvattingen en legt een aantal beperkingen aan bij het gebruik van hun damage-risk contours. In de daaropvolgende jaren echter zijn de door CHABA gepresenteerde contouren gesimplificeerd (Botsford, 1967) en zijn de waarschuwingen en beperkingen van de CHABA-commissie naar de achtergrond gedrongen. Naast de door Botsford aangegeven simplificatie van de CHABA-contouren verschenen er in 1967 in de USA door de "Intersociety Committee" opgestelde damage risk contouren. Daarbij geeft deze commissie aan dat de gegeven informatie kan worden benaderd met de simpele regel dat voor elke halvering van de expositietijd het geluiddrukkniveau met 5 dB mag worden verhoogd tot een maximum van 115 dB, gemiddeld over de drie octaafbanden van 300 tot 2400 Hz ( $\pm 122$  dB(A)) zonder het gevaar voor gehoorschade te vergroten. Deze 5 dB-regel is vervolgens overgenomen door de U.S. Department of Labor die in het kader van de Walsh-Healy Public Contracts Act in 1969 grenswaarden van geluid op de arbeidsplaats uitgaven.

In 1971 verscheen de eerste versie van de latere ISO Recommendation R 1999 "Assessment of Occupational Noise Exposure for Hearing

Conservation Purposes". In ISO R 1999 wordt het equal energy principe gehanteerd, gebaseerd op exposities gedurende 40 uur per werkweek. In feite ligt er geen enkele verificatie van het equal-energy principe aan ten grondslag. Immers, de basis van ISO R 1999 is het onderzoek van Baughn; dit onderzoek betreft exposities van drie omvangrijke populaties aan constant geluid gedurende de werkdag en uit dat materiaal kan dus nooit het gevolg van gedurende de werkdag variërende exposities afgeleid worden.

Een van de consequenties van het equal-energy principe is dat bij halvering van de dagelijkse expositietijd het geluidniveau met 3 dB(A) verhoogd mag worden bij gelijkblijvende schadelijkheid voor het gehoororgaan.

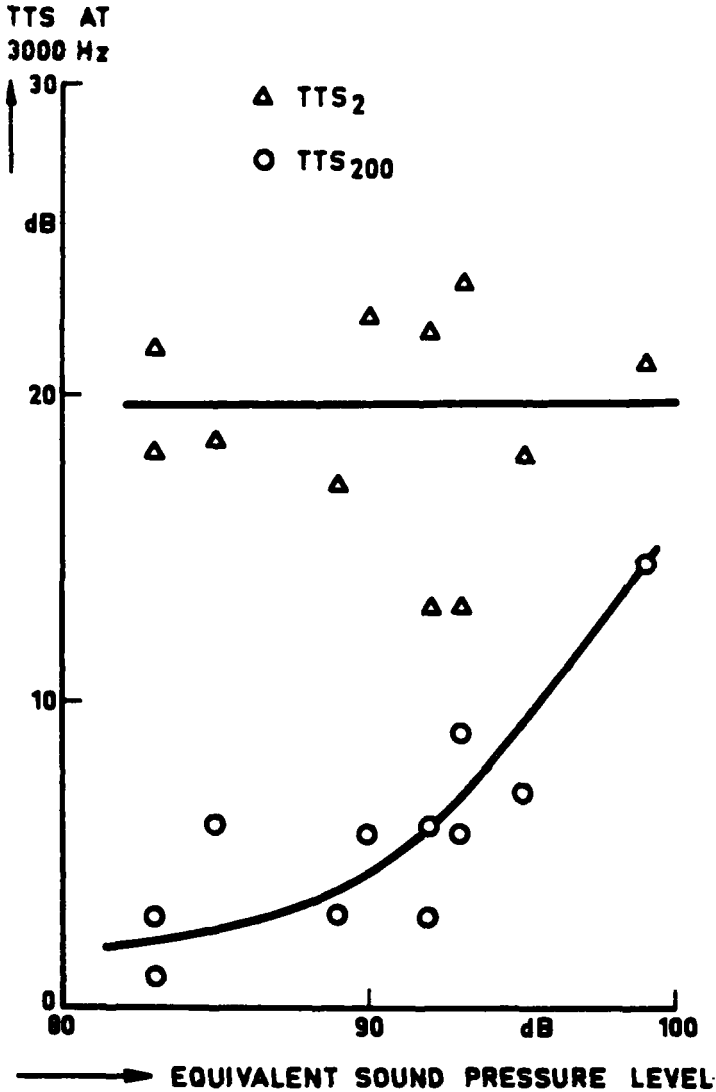
Uitgaande van een bepaalde grenswaarde voor een achturige werkdag (bijvoorbeeld 80 dB(A)) is de 3 dB(A)-regel strenger dan de 5 dB(A)-regel. Immers in het eerste geval is bijvoorbeeld 100 dB(A) gedurende 1% van 480 minuten, d.w.z. 4,8 minuten, toelaatbaar en bij de 5 dB(A)-regel is dat 30 minuten.

Zowel de 3 dB(A)- als de 5 dB(A)-regel heeft kritiek gekregen. De 3 dB(A)-regel omdat het geen rekening houdt met het veronderstelde gunstige effect van de rustige perioden bij intermitterende exposities (Ward, 1976; Eldredge, 1976) en de 5 dB(A)-regel omdat het enerzijds slechts gebaseerd is op  $TTS_2$ -experimenten en anderzijds ook nog op een oversimplificatie van de CHABA-contouren (Paschier-Vermeer, 1973; EPA, 1974; Hetu, 1982).

Bij de beoordeling van de mogelijke schadelijkheid van geluidexposities is, zoals bijvoorbeeld in het CHABA-rapport, vrijwel uitsluitend de  $TTS_2$  als basis gekozen. Daarbij veronderstelde men dat de  $TTS_2$  een eenduidige maat was, onafhankelijk van de geluidexposities die deze  $TTS_2$  veroorzaken. Daarbij was tevens de veronderstelling dat een gehoordrempel met een bepaalde  $TTS_2$ -waarde zich na afloop van de expositie steeds op dezelfde wijze herstel-

de, onafhankelijk van de betrokken geluidexposities. Voor constant geluid was dat redelijk aangetoond (Ward, 1959). Voor dit soort geluid bleek dat de TTS na afloop van de expositie, vanaf twee minuten na expositie, logaritmisch met de tijd afneemt. Wordt de TTS echter door andersoortige exposities, zoals intermitterende geluidexposities, veroorzaakt dan blijkt dat herstel van de gehoordrempel wel degelijk afhangt van de wijze waarop de TTS veroorzaakt is. Zo is bijvoorbeeld in figuur 2 een figuur uit Paschier-Vermeer (1973) gereproduceerd, waaruit blijkt dat het herstel van de gehoordrempel afhangt van het equivalente geluidniveau tijdens de expositie.

**Figuur 2** Tijdelijke gehoordrempelverschuiving (TTS) bij 3000 Hz, gemeten 2 en 200 minuten na expositie aan geluid, als functie van het equivalente geluid-niveau van de expositie.

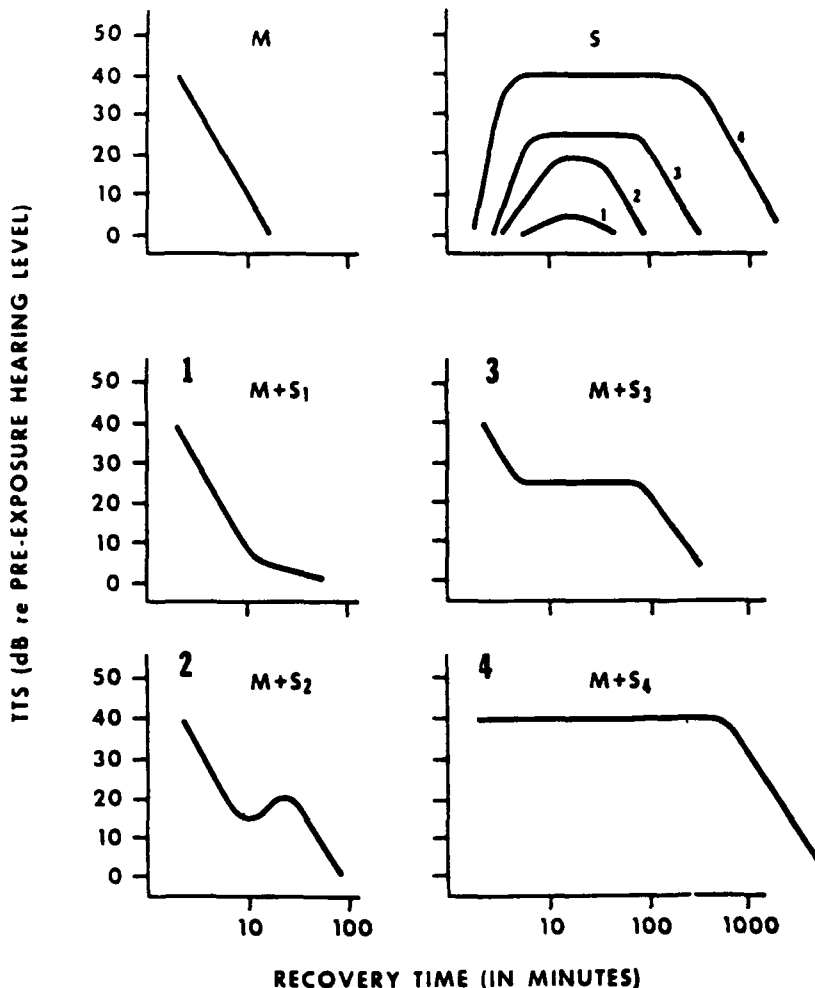


Het voorgaande over de tijdelijke gehoordrempelverschuivingen be-  
trof met name het effect, gemiddeld over een groep proefpersonen.  
In de begin zeventiger jaren werd vastgesteld dat bij sommige  
proefpersonen na bepaalde exposities de gehoordrempel zich niet

logaritmisch in de tijd herstelde, maar dat er sprake bleek van een vertraagd herstel (delayed recovery). Delayed recovery was al vastgesteld bij zeer hoge TTS-waarden, zoals van 40 tot 50 dB (Ward, 1959). Echter, meer recent onderzoek toonde aan dat delayed recovery ook bij kleinere TTS-waarden, zo'n 20 tot 30 dB, kan optreden als het langer durende exposities betreft (Mills, 1970; Melnick, 1974; Melnick, 1974) en expositie aan impulsgeluid met een hoog niveau (Ward, 1970). Luz (1971) geeft een model om het herstel van de gehoordrempel te beschrijven. Hij gaat er daarbij van uit dat twee, eventueel ruimtelijk en tijdelijk gescheiden, processen TTS veroorzaken: metabolische veranderingen (M) in de haarcellen en (zich herstellende) structurele veranderingen (S) in de draagcellen. De metabolische veranderingen beginnen onmiddellijk na het begin van de expositie en het herstel begint na afloop van de expositie. De structurele veranderingen treden echter pas op als de draagcellen te veel belast zijn en deze veranderingen beginnen pas enige minuten na afloop van de expositie. In dit opzicht is deze structurele verandering gelijk aan het optreden van edema (roodverkleuring van de huid) dat optreedt in huidcellen na bestraling door ultraviolet licht. De maximale verandering wordt enige tijd na expositie manifest.

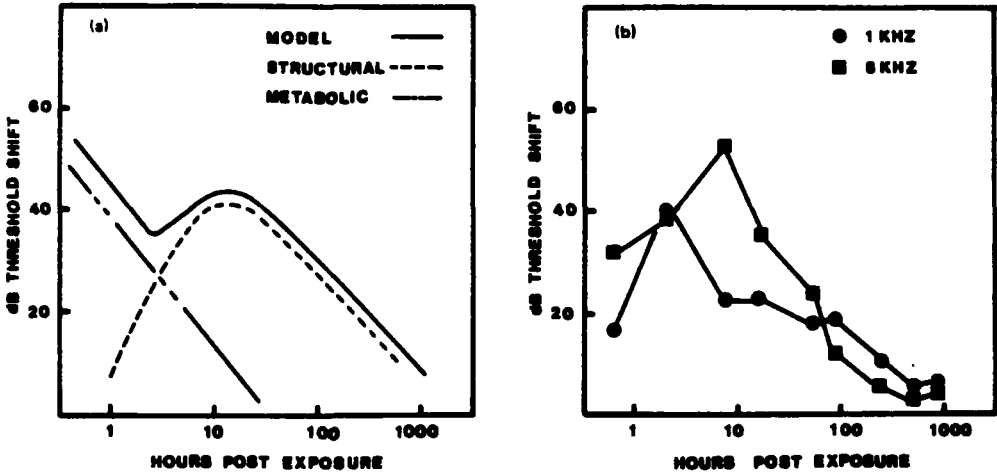
In figuur 3 is een en ander schematisch in beeld gebracht.

**Figuur 3** Schematische weergave van het herstel van de TTS na expositie aan (impuls)geluid. De curven in de onderste vier figuren zijn tot stand gekomen door superpositie van de herstelcurve aangegeven met M en één van de vier curven aangegeven met S (uit Luz, 1971).



Ook figuur 4 laat zien dat het herstel van de TTS tengevolge van expositie aan impuls geluid geen monotoon afnemende functie van de tijd is.

**Figuur 4** (a) Theoretische herstelcurven volgens Luz (1971).  
 (b) Gemeten tijdelijke gehoordrempelverschuivingen bij chincilla's die zijn geëxponeerd aan impulsgeluid (met piekniveaus van 155 dB) (uit Henderson, 1986).



Over het algemeen treden niet-lineaire herstelcurven slechts op na expositie aan (impuls)geluid met relatief hoge piekniveaus (meer dan 150 dB). Daarbij heeft het onderzoek (naar niet-lineaire effecten) zich de laatste 15 jaar ook voornamelijk beperkt tot onderzoek bij chinchilla's, nadat uit dierexperimenten gebleken was dat permanente gehoorschade door lawaai toonaudiometrisch afwezig kan zijn, maar dat bij microscopisch onderzoek van de cochlea toch haarcellen verwoest kunnen zijn. Dit heeft onderzoekers voorzichtig gemaakt om (te) grote (tijdelijke) drempelverschuivingen te veroorzaken bij proefpersonen.

Als proefpersonen of proefdieren gedurende een relatief lange periode, in de orde van dagen, worden geëxponeerd aan lawaai dan neemt de gehoordrempel toe gedurende een periode van 8 tot 48 uur en blijft dan constant op een asymptotisch niveau zolang de expositie voortduurt (Carder, 1972; Mills, 1976; Blakeslee, 1978; Henderson, 1982; Henderson, 1982).

Deze asymptotische tijdelijke gehoordrempelverschuiving (ATS) wordt heden ten dage door de betreffende onderzoekers wel gezien als de meest representatieve maat voor de TTS en zou volgens sommige onderzoekers ook gelijk zijn aan de maximale permanente gehoordrempelverschuiving die bij jarenlange expositie op zou kunnen treden. Dit laatste is echter nog niet aangetoond. Wel zou uit experimenten blijken dat het bereiken van een ATS-waarde door expositie aan impulsgeluid een ander verloop heeft dan bij expositie aan constant geluid. Uit de weinige beschikbare gegevens over ATS door expositie aan impulsgeluid trekt Henderson (1986) de volgende voorlopige conclusies:

- Impulsgeluid is in staat ATS te veroorzaken.
- Voor een bepaalde ATS-waarde is de expositietijd om die bepaalde waarde te bereiken veel korter bij expositie aan impulsgeluid dan bij expositie aan constant geluid.
- De toename per tijdseenheid van de TTS is sterk afhankelijk van het piekniveau van de impulsen; bijvoorbeeld bij piekniveaus van 99 dB zijn 4 tot 7 dagen nodig voor het bereiken van ATS en bij piekniveaus van 120 dB slechts één uur.
- De gehoordrempel gemeten voor expositie is geen belangrijke factor voor de hoogte van de ATS.
- De functie die het verband aangeeft tussen het piekniveau van de impulsen en het ATS-niveau is ingewikkeld. Bij piekniveaus beneden 110 dB neemt de ATS tussen 0,7 en 1 dB toe per toename van het piekniveau van de impuls met 1 dB, terwijl boven 110 dB de ATS met 2,5 tot 6 dB toeneemt per 1 dB toename van het piekniveau.

Deze verandering in de helling van de ATS als functie van het piekniveau zou een teken kunnen zijn van een overgang van primair metabolische veranderingen naar primair structurele veranderingen en zou verband kunnen houden met het idee van een kritische intensiteit (Ward, 1961; Ward, 1962; McRobert, 1973; Henderson, 1978).



- In geval van expositie aan impulsgeluid dat in ruimten wordt weerkaatst (reverberant impuls) is de TTS aan het eind van een achturige expositie gelijk aan de ATS die optreedt bij een ononderbroken expositie gedurende tien dagen.
- De spreiding in de individuele ATS-waarden ten gevolge van expositie aan impulsgeluid is veel groter dan die in de ATS-waarden ten gevolge van constant geluid.
- Uit ATS-onderzoek blijkt dat er belangrijke verschillen zijn in de ATS-verschijnselen bij impulsgeluid met die bij constant geluid, bijvoorbeeld in de tijd tot het bereiken van ATS en in de interindividuele spreiding.

Hoewel een relatie tussen ATS en permanente gehoorschade door impulsgeluid (nog) niet is aangetoond geeft een aantal hiervoor gegeven voorlopige conclusies toch een indicatie voor een mogelijke extra of andere gevoeligheid van het gehoor voor impulsgeluid in vergelijking met die voor constant of langzaam variërend geluid.

### 2.3 Akoestische reflex

Als een plotseling optredend geluid een voldoende hoog niveau heeft kan de akoestische reflex in werking treden. Deze akoestische reflex is een reflex waarbij de stapediusspier en de trommelvliespijler contraheert waardoor de voetplaat van de stijgbeugel kantelt en zo de impedantie van het middenoorsysteem vergroot waardoor er een reductie van de geluidtransmissie plaatsvindt. De mogelijkheid dat de akoestische reflex het binnenoor op deze wijze beschermt tegen gehoorschade door lawaai is uitgebreid onderwerp van studie geweest. In een aantal onderzoeken is de beschermende werking van de akoestische reflex op de tijdelijke gehoordrempelverschuiving aangetoond. Dit geldt zowel voor experimenten met dierproeven (Ta-

ruya, 1953, 1954; Hilding, 1961; Sokolowski, 1973) als voor onderzoek met proefpersonen (Fletcher, 1960; Zakrisson, 1975, 1977; Brask, 1977).

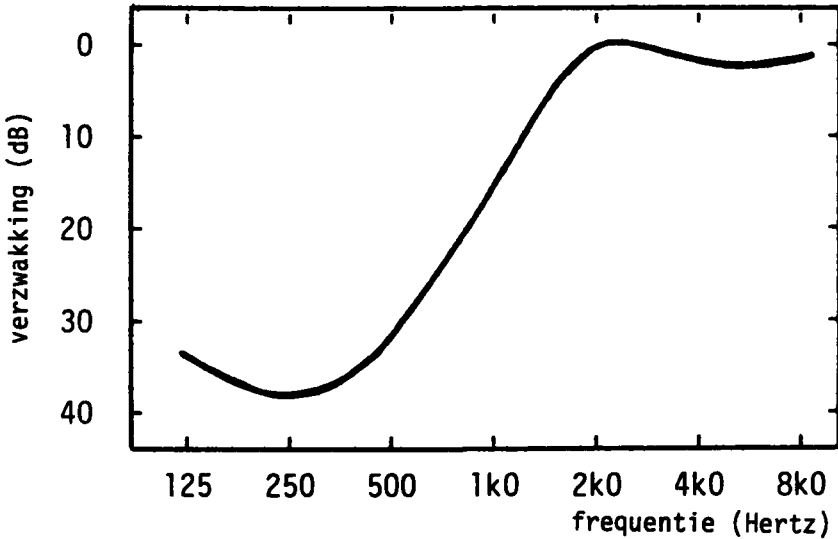
Er is veel onderzoek gedaan naar de duur waarover de akoestische reflex effectief is tijdens de expositie aan geluid. Daaruit blijkt dat er een zeer snelle adaptatie (in de orde van seconden) is van de akoestische reflex bij aanbieding van een konstant akoestisch signaal (Kato, 1913; Wersäll, 1958; Dallos, 1964; Djupesland, 1966; Johansson, 1967; Tietze, 1969; Anderson, 1969; Coles, 1969; Kaplan, 1976; Lutman, 1978; Wilson, 1978). Tevens is gebleken dat de reflex weer optreedt na zeer korte lawaaipauzes, geringe verhogingen in geluidniveau en na veranderingen in de frequentie-inhoud van het signaal (Lüscher, 1930; Kobrak, 1941; Metz, 1951; Wersäll, 1958, Gjaevenes, 1966; Borg, 1979; Lalande, 1982).

De verzwakking van de geluidtransmissie in het oor door de akoestische reflex is frequentie-afhankelijk. Uit experimenten met proefpersonen blijken verzwakkingswaarden tot 20 dB bij 500 Hz (Borg, 1968, 1974) en geringere waarden bij hogere frequenties: bij 1500 Hz blijkt de verzwakking vrijwel nihil. Ongeveer dezelfde waarden zijn geconstateerd door Rabinowiz (1977) en Zakrisson (1979), terwijl Brask (1977) verzwakkingswaarden tot 30 dB vindt en Morgan (1975) slechts tot 8 dB. Hohmann (1984) komt op basis van literatuurgegevens tot de volgende niveau-afhankelijke, maximale verzwakkingswaarden in het frequentiegebied tot 500 Hz:

- 30 dB bij 130 dB SPL;
- 20 dB bij 120 dB SPL;
- 10 dB bij 103 dB SPL;
- 6 dB bij 93 dB SPL.

De frequentie-afhankelijkheid van de maximale verzwakking is gegeven in figuur 5.

**Figuur 5** Maximale verzwakking door de akoestische reflex als functie van de frequentie waarbij de respons gemeten is (naar Hohmann (1984)).

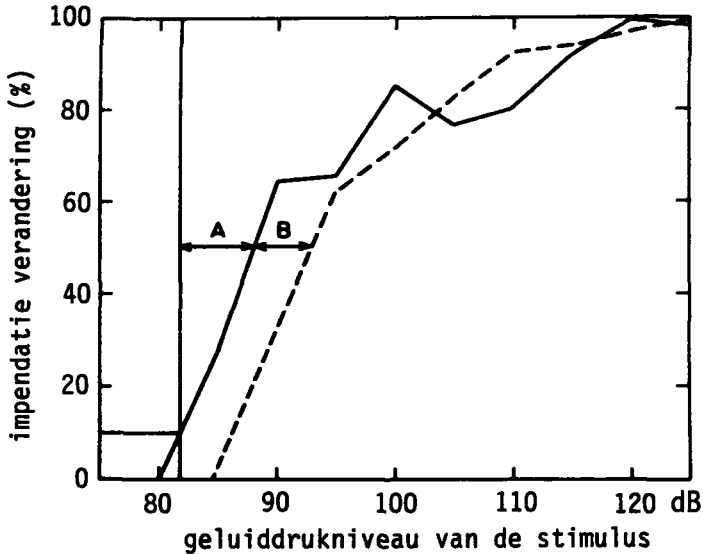


De latentietijd, gemeten als een verandering van de akoestische impedantie van het middenoor, is 50-100 ms. De maximale contractie wordt na een additionele 100-200 ms bereikt (Johansson, 1967; Liden, 1974; Borg, 1976). Hohmann (1984) geeft een gemiddelde latentietijd van 70 ms en een individueel bereik van 10-300 ms. De relaxatietijd, na afloop van een geluidsexpositie, blijkt in de orde van 100-500 ms te liggen (bij een vermindering tot 50% van de respons) en is veelal langer dan 1 s tot volledige relaxatie (Dallos, 1973; Borg, 1976). Hohmann (1984) geeft in zijn overzicht relaxatietijden van 200 ms tot 5 s.

Het gemiddelde drempelniveau, dat wil zeggen het niveau waarboven de akoestische reflex in werking treedt, is 80 tot 90 dB, met individuele variaties van 63 dB tot 130 dB (Dallos, 1964; Häsler, 1976).

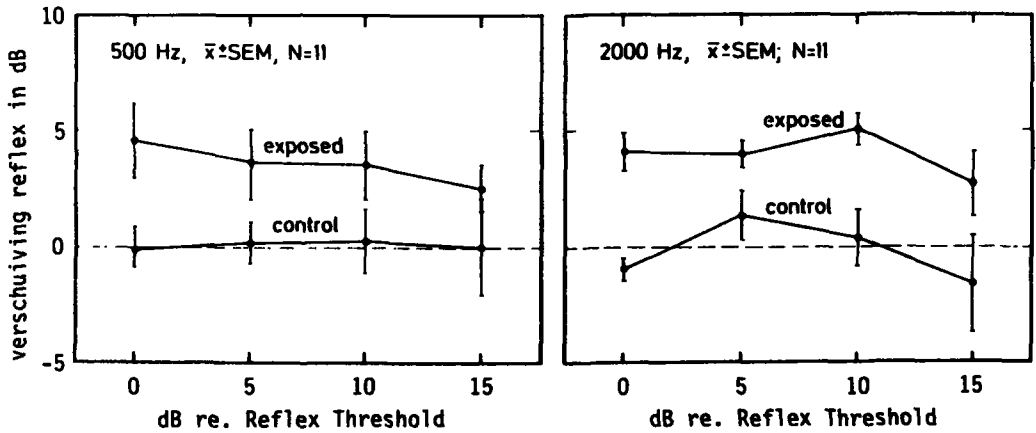
Tot zover de resultaten van laboratoriumexperimenten naar de werking van de akoestische reflex bij expositie aan synthetische geluiden. Nilsson (1983) voerde een aantal studies uit naar de werking van de akoestische reflex bij exposities aan industriegeluid (in dit geval geluid afkomstig van een scheepswerf). In de eerste studie werden 18 proefpersonen met een normaal gehoor gedurende 30 minuten aan scheepswerfgeluid (met een equivalent geluidniveau van 97 dB(A)) geëxponeerd. Het effect van deze exposities op de werking van de akoestische reflex werd daarbij bepaald. Een typerend voorbeeld van één proefpersoon is gegeven in figuur 6. Een algemene tendens is dat de stimulus-response curve na expositie ongeveer parallel loopt aan die opgenomen voor de expositie met een verschuiving naar hogere stimuluswaarden en een ongewijzigd response maximum. De interindividuele variatie in de verschuiving van de stimulus-response curve bleek groot: een gemiddelde van 5 dB en een range van -8 tot +12 dB.

**Figuur 6** Effect in een proefpersoon van expositie gedurende 30 minuten aan scheepswerflawaai ( $L_{Aeq,8h} = 97 \text{ dB(A)}$ ), op de stimulusresponse curve van de akoestische reflex. De continue lijn is voor expositie bepaald en de onderbroken curve geeft de impedantieverandering binnen één minuut na expositie. De reflexdrempel is gedefiniëerd bij een verandering van 10% van de maximale impedantievergroting en "A" geeft het aantal dB boven de reflexdrempel. "B" is de toename van het stimulusniveau om dezelfde impedantieverandering te bewerkstelligen voor en na expositie.



De tweede studie door Nilsson betraf de verandering in de akoestische reflex bij 11 proefpersonen na een gehele werkdag in scheepswerflawaai. Het resultaat is gegeven in figuur 7.

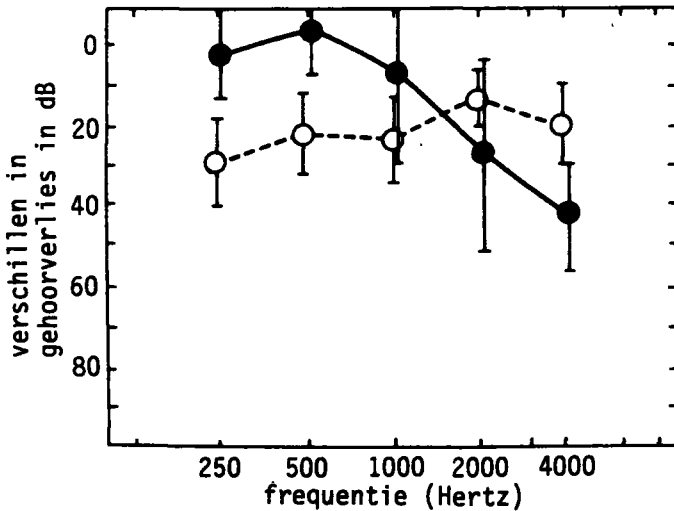
**Figuur 7** Gemiddelde waarden (plus standaarddeviaties) van de verschuivingen van de stimulus-response curven als functie van het stimulusniveau (boven de reflexdrempel) voor de aan lawaai geëxponeerde oren en voor de met gehoorbeschermers beschermde oren. Links het effect bij 500 Hz en rechts het effect bij 2000 Hz.



Uit een TTS-experiment met 10 proefpersonen met een eenzijdige aangezichtsverlamming constateerde Nilsson dat de gemiddelde TTS aan de verlamde zijde (waarbij tevens de akoestische reflex niet op kan treden) veel groter was dan die aan de niet verlamde zijde met een akoestische reflex die wel intact was.

Ten slotte heeft Nilsson de permanente gehoorschade onderzocht bij personen die reeds zeer vele jaren op een scheepswerf werkten en een eenzijdig geleidingsverlies hadden. Van de onderzochte populatie van 6500 werknemers op scheepswerven bleken er slechts 8 aan alle criteria te voldoen. Het resultaat van dit onderzoek is gegeven in figuur 8.

**Figuur 8** Resultaat van onderzoek bij 8 personen, werkzaam op een scheepswerf met een eenzijdig geleidingsverlies (onderbroken curve geeft het verschil in lucht- en beengeleidingsverlies aan de oren met het geleidingsverlies). De doorgetrokken curve geeft het gemiddelde verschil in beengeleidingsgehoorverlies tussen beide oren, dat wil zeggen de beschermende werking van het geleidingsverlies.



Uit het laatste beschreven onderzoek door Nilsson mag niet rechtstreeks geconcludeerd worden dat de akoestische reflex in staat is het binnenoor tegen permanente schade te beschermen. Immers, het geconstateerde effect is veroorzaakt door een andere middenoorproblematiek dan die van een niet werkende akoestische reflex. Echter, als de akoestische reflex ook blijft optreden tijdens expositie in werknemers die jarenlang aan industrieel geluid blootstaan, dan zou een dergelijke beschermende werking op het ontstaan van permanente gehoorschade ook door de werking van de akoestische reflex kunnen optreden.

## 2.4 Anatomische veranderingen in het binnenoor

Alhoewel in het kader van de opdracht van het Directoraat Generaal van de Arbeid ruime aandacht is besteed aan bestudering van literatuur betreffende anatomische en fysiologische verschijnselen die met gehoorschade door lawaai gepaard gaan, wordt dit onderwerp in dit rapport slechts summier behandeld omdat uit het vele verrichte onderzoek geen bruikbare relationele verbanden met permanent bij de mens optredende gehoorschade getrokken kunnen worden. Dierproeven, veelal uitgevoerd met chinchilla's en soms met muizen of guineese biggetjes, waarbij na afloop van een expositie aan lawaai het gehoor van de dieren microscopisch werd onderzocht hebben aangetoond dat door lawaai allerlei anatomische en fysiologische veranderingen optreden. In vele studies (onder andere Hamernik, 1974; Henderson, 1974, 1979, 1982; Nielsen, 1982) zijn zogenaamde cochleogrammen van het gehoor van de aan lawaai geëxponeerde dieren gemaakt. In een cochleogram wordt het aantal missende buitenste en binnenste haarcellen geteld, afhankelijk van de plaats van deze haarcellen op de basilair membraan. De meeste van deze studies hebben een parametrisch karakter, dat wil zeggen diverse parameters van de lawaaiexpositie worden gevarieerd en de veranderingen in het aantal missende haarcellen en in de audiogrammen worden vastgelegd. Deze studies tonen geen consistente relatie tussen het patroon van de missende haarcellen en enerzijds de fysische karakteristieken van de geluidexposities en anderzijds de veranderingen in het audiogram. Zo laat een aantal studies enige tijd na expositie een normale gehoordrempel zien terwijl toch aanzienlijk verlies van haarcellen aangetoond kan worden (Hunter-Duval, 1972; Henderson, 1974; Ward, 1971), terwijl andere experimenten gehoorverlies aantonen met intacte haarcellen (Spoedlin, 1971; Ades, 1974; Hunter-Duval, 1974).

Vergelijkenderwijs geldt wel dat naarmate de exposities in tijd en niveau toenemen het aantal missende buitenste haarcellen groter



wordt en het missende gebied over een groter deel van de basilair membraan wordt uitgebreid, terwijl ook de binnenste haarcellen worden aangetast.

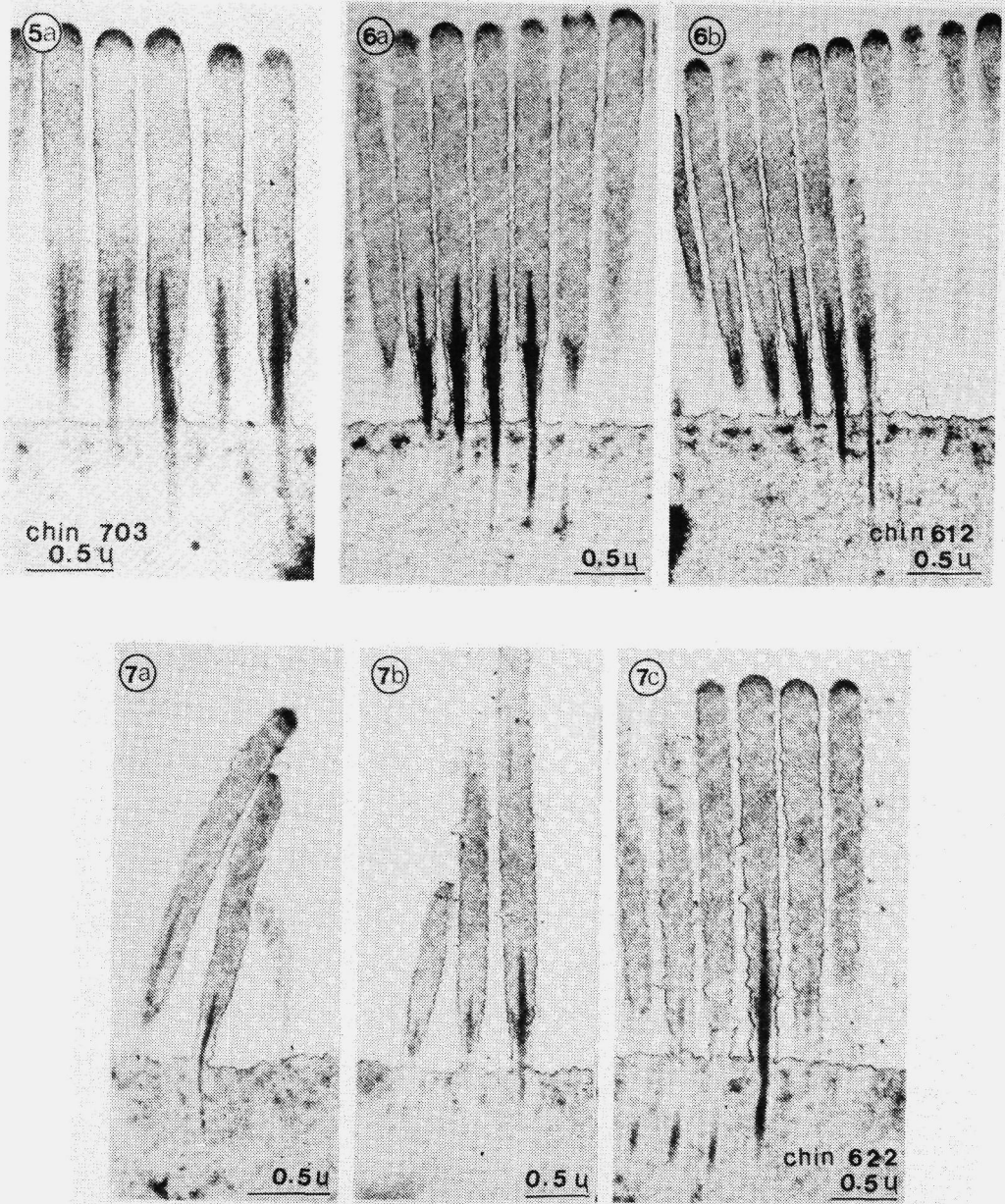
Over het algemeen treedt er pas verlies op van binnenste haarcellen, als het verlies aan buitenste haarcellen aanzienlijk is (bijvoorbeeld 20% van het totaal aantal buitenste haarcellen).

Tot aan de jaren tachtig werd bij de bestudering van cochleaire effecten gebruik gemaakt van de lichtmicroscop. Sinds enige jaren wordt ook onderzoek verricht met de (transmissie- en scanning-) electronenmicroscop, die een vergroting kan bereiken die veel hoger ligt dan die van de lichtmicroscop (Slepecky, 1982). Met behulp van de electronenmicroscop kunnen veranderingen aan de stereocilia ("haartjes") van de buitenste en binnenste haarcellen en in de samenstelling van de haarcellen bestudeerd worden.

Slepecky (1982) is van mening dat veranderingen in de samenstelling van de haarcellen soms niet verantwoordelijk zijn voor de audiometrisch geconstateerde gehoorschade. Wel wijst zij op veranderingen aan de stereocilia die goed correleren met audiometrisch geconstateerde gehoorschade. In figuur 9 is een en ander verduidelijkt. Volgens Slepecky kunnen permanente gehoorverliezen tot zo'n 30 dB optreden door defecten uitsluitend aan de stereocilia.

**Figuur 9** Opnamen met behulp van een electronenmicroscop van de stereocilia van de buitenste haarcellen:

- 5a Stereocilia van een chinchilla die niet is geëxponeerd aan geluid.  
6a, b Stereocilia van een chinchilla die wel aan (impuls)geluid is geëxponeerd, maar geen permanente gehoorschade heeft opgelopen. De stereocilia zien er normaal uit, met slechts een geringe torsie van het omringende membraan.  
7a, b, c Stereocilia van een chinchilla met een permanente gehoorschade tot 18 dB. De stereocilia vertonen tekenen van schade.

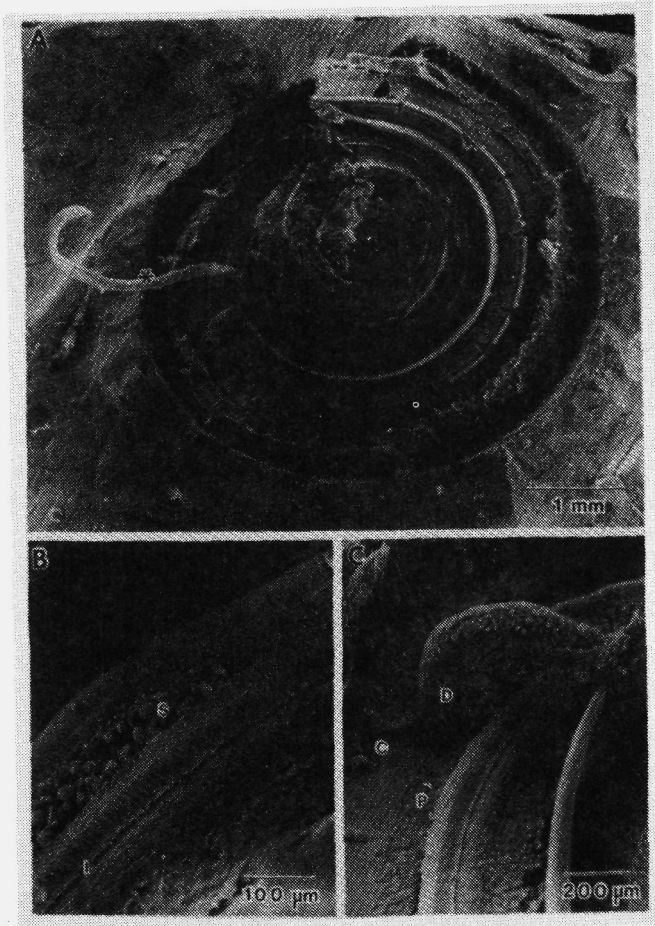


In hoeverre veranderingen in de stereocilia correleren met gehoorverlies door lawaai zal toekomstig onderzoek moeten aantonen. Thans dient deze ontdekking alleen nog maar gezien te worden als een mogelijkheid om zonder missende buitenste haarcellen gehoorschade door lawaai anatomisch te verklaren.

Naast deze veranderingen in de stereocilia bij langduriger exposities dient ook de mechanische schade genoemd te worden die kan optreden na expositie aan (impuls)geluid met hoge piekniveaus (zie figuur 10, naar Hamernik, 1984). Deze figuur toont de foto genomen met een scanning-electronenmicroscop van de eerste winding van de cochlea van een chincilla die aan ongeveer 100 impulsen met een piekniveau van 160 dB SPL is geëxponeerd. De figuur laat een scheuring zien in de bevestiging van het orgaan van Corti aan de basilaire membraan. Door deze scheuring raken vervolgens het perilymfe en het endolymfe uit de cochlea met elkaar vermengd waardoor de biochemische balans wordt verstoord hetgeen tot verdere morfologische veranderingen leidt. Dit wordt ondersteund door resultaten van onderzoek door Hamernik (1974) bij guineese biggetjes, waaruit bleek dat het oorspronkelijke gehoorverlies gedurende de eerste 4 tot 5 dagen stabiel bleef, terwijl tussen 5 en 30 dagen zowel de gehoorschade als het aantal missende haarcellen snel toenam als gevolg van biochemische processen die het resultaat waren van vermenging van de cochleaire vloeistoffen.

Figuur 10 Foto's, genomen met een electronenmicroscop, waaruit een scheuring blijkt van het orgaan van Corti.

- (a) Buitenste haarcellen en draagcellen zijn losgescheurd van de basilaire membraan.
- (b) - (c) Foto's met een grotere resolutie genomen, die het scheurvlak laten zien.



## 2.5 Frequentie-afhankelijke overdracht van het oor

In bijlage 2 is uitgebreid ingegaan op de werking van het gehoororgaan. Daar is aangegeven dat zowel in de gehoorgang als in het middenoor een frequentie-afhankelijke overdracht van het van buiten komend geluid optreedt (zie de figuren 2.3 en 2.5 van bijlage

2). De relatieve versterking van geluid door het buiten- en middenoor te zamen is gegeven in tabel 1. Het binnenoor heeft geen frequentie-selectieve overdracht. Tevens is in de tabel aangegeven de relatieve versterking die optreedt bij inschakeling van de A-karakteristiek bij het meten van geluid.

**Tabel 1** Relatieve signaalversterking (in dB) ten opzichte van 1000 Hz van de combinatie van buiten- en middenoor en die bij weging volgens de A-curve, en verschillen tussen beide versterkingen.

Frequentie (in hertz)	Relatieve versterking (in dB) en verschil tussen beide relatieve versterkingen		
	volgens buiten- en middenoor	volgens A-curve	verschil
125	-18	-18	0
250	- 5	-10	5
500	0	- 2	2
1000	0	0	0
2000	7	1	6
3000*	15	2	13
4000	13	1	12
8000	-12	- 2	-10

\* Benadering van de frequentie waarbij maximale versterking door het gehoor optreedt.

Uit het voorgaande blijkt dat de relatieve versterking volgens de A-karakteristiek in het frequentiegebied tussen 2000 en 4000 Hz veel minder is dan die van het gehoor. Dit betekent dat hoogfrequent geluid (2000-4000 Hz) met een bepaald geluidniveau (in dB(A)) meer door het oor versterkt wordt dan laagfrequent geluid met hetzelfde geluidniveau. Dit zou kunnen inhouden dat hoogfrequent geluid (met maximale niveaus in het frequentiegebied van 2000 tot 4000 Hz) meer schadelijk is dan lager frequent geluid met hetzelfde geluidniveau in dB(A).

Uit TTS-experimenten is gebleken dat bij expositie aan geluid met een smal frequentiespectrum (bijvoorbeeld een tertsband of octaafband breed) de maximaal optredende TTS een half octaaf hoger ligt

dan de middenfrequentie van het aangeboden geluid. Bijvoorbeeld, als aan proefpersonen een (octaafband)geluid rond 2000 Hz wordt aangeboden, dan zal de maximale  $TTS_2$  bij 3000 Hz optreden. Door sommige onderzoekers (Hohmann, 1984) wordt het bij permanente gehoorschade optredende maximum bij 4000 Hz verklaard uit de combinatie van de versterking van geluid dat maximaal is rond 3000 Hz, de verschuiving van  $TTS_2$  naar een half octaaf hoger dan de frequentie van het aangeboden signaal en de veronderstelling dat  $TTS$  en  $PTS$  aan elkaar gerelateerd zijn.

## 2.6 Conclusie

In het voorgaande zijn op basis van laboratoriumexperimenten de volgende verschijnselen opgespoord:

- het mogelijk beschermende effect van rustige perioden tussen de geluidexposities in (intermitterend geluid). Het maximaal tijdens de rustige perioden optredende geluidniveau zou 65 dB(A) zijn.
- het verschil in frequentie-afhankelijkheid van de overdracht van geluid door het gehoor in vergelijking tot de A-weging. Geluiden met hogere frequenties (2000 - 4000 Hz) zouden schadelijker kunnen zijn dan geluiden met lagere frequenties bij gelijk geluidniveau in dB(A).
- de akoestische reflex zou een beschermende werking kunnen hebben in het ontstaan van permanente gehoorschade. Uit laboratoriumexperimenten blijkt dat het drempelniveau 80-90 dB is, de latentietijd 50-100 ms en de relaxatietijd 200 ms - 5 s. De reflex treedt uitsluitend door geluiden met frequenties van 2000 Hz en lager op en verzwakt maximaal 30 dB. De maximale verzwakking is afhankelijk van het niveau van het aangeboden geluid: respectievelijk 30, 20, 10 en 6 dB bij 130, 120, 103 en 93 dB SPL.

- de ATS door impulsgeluid onderscheidt zich op verschillende punten in negatieve zin van de ATS door constant geluid. Hoewel een relatie tussen ATS en permanente gehoorschade door lawaai (nog) niet is aangetoond zou het ATS-onderzoek toch een indicatie kunnen geven voor een mogelijke extra of andere gevoeligheid van het gehoor voor het ontstaan van permanente gehoorschade door impulsgeluid in vergelijking tot constant geluid.

### 3. GELUID OP DE ARBEIDSPLAATS

#### 3.1 Algemeen

In 1986 is door het NIPG-TNO (van der Berg, 1986) een schatting gemaakt van de omvang van de lawaaiproblematiek in de Nederlandse industrie. Op basis van een steekproef in een viertal industriële bedrijfsklassen heeft toetsing plaatsgevonden, met behulp van resultaten van geluidmetingen, van tevoren opgestelde hypothesen. Extrapolatie van de resultaten naar de gehele Nederlandse industrie levert de in tabel 2 gegeven schattingen.

**Tabel 2** Verdeling van de werknemers uit de Nederlandse industrie naar hun lawaai-expositieniveau.

Lawaaiexpositieniveau (in dB(A))	Percentage werknemers in de Nederlandse industrie dat in een bepaalde lawaaiexpositieniveaукlasse werkt
< 80	51
80 - 85	18
85 - 90	22
90 - 95	7
> 95	3

Uit tabel 2 blijkt dat de helft van de Nederlandse industriële werknemers in lawaaiexpositieniveaus van ten hoogste 80 dB(A) werkt. Negentig procent van hen werkt in lawaaiexpositieniveaus van ten hoogste 90 dB(A) en 3% werkt in zeer hoge niveaus van meer dan 95 dB(A). Het percentage werknemers dat in de extreem hoge lawaaiexpositieniveaus van meer dan 100 dB(A) werkzaam is, is hoogstwaarschijnlijk minder dan 1%. Met de ongeveer 900.000 industriële werknemers betreft dit ongeveer 9000 personen. De in tabel 2 gegeven lawaaiexpositieniveaus zijn bepaald met moderne integreernde geluidniveaumeters. De geluidexposities betreffen constant, fluctuerend, intermitterend en impulsachtig geluid.

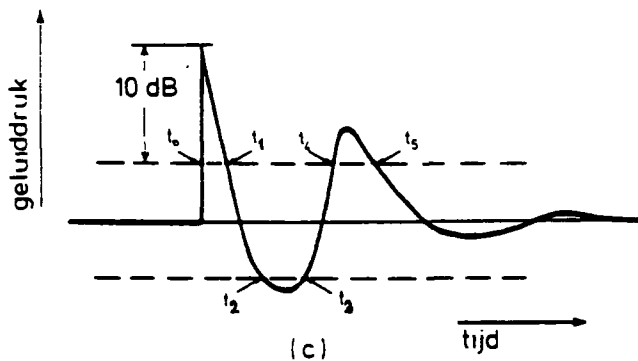
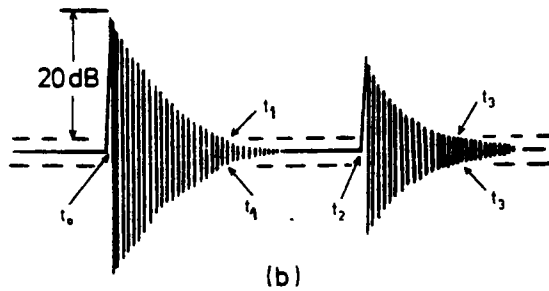
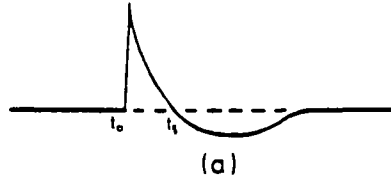


### 3.2 Impulsgeluid

Zoals reeds in de inleiding is uiteengezet wordt er door diverse instanties (o.a. in ISO/DIS 1999.2) aan impulsgeluid een extra schadelijkheid met betrekking tot het gehoor toebedacht. In het volgende wordt allereerst eens nagegaan welke karakteristieken impulsgeluid heeft zoals dat op de arbeidsplaats voorkomt. Daarbij wordt gebruik gemaakt van een in 1980 door Leeuw uitgevoerde inventarisatie in de Nederlandse industrie. Klassiek is de beschrijving van Coles (1968) van impulsen/impacts. Hij onderscheidt twee soorten impulsen, die gekarakteriseerd worden door enerzijds het piekniveau (vrijwel steeds ongewogen bepaald, dat wil zeggen in dB) en anderzijds een nader gespecificeerde duur. Een en ander is in figuur 11 in beeld gebracht. Figuur 11a stelt een impuls voor, die afkomstig is van een vuurwapen dat afgeschoten wordt en waarbij geen nagalm of reflecties aanwezig zijn. De "A-duration" is de voor deze impuls karakteristieke tijd. Als er wel reflecties aanwezig zijn (figuur 11b) dan neemt Coles als karakteristieke tijd de "B-duration". Pfander (1975) stelt een andere karakteristieke tijd voor: de som van de duur van de tijdsintervallen gevormd door de doorsnijding van het signaal met het -10 dB-niveau ten opzichte van de piekdruk.

**Figuur 11** Verschillende maten voor de duur van een impuls.

- a. A-duration: tijdsinterval tussen het begin  $t_0$  en de eerste nul-doorgang  $t_1$ .
- b. B-duration: tijdsinterval tussen het begin  $t_0$  en het moment waarop het niveau tot  $-20$  dB t.o.v. de piekdruk  $t_1^0$  is gedaald plus de reflexietijd  $t_3 - t_2$ .
- c. Pfander: de som van de tijdsintervallen gevormd door de doorsnijdingen van de golfvorm met het  $-10$  dB-niveau t.o.v. de piekdruk:  $(t_1 - t_0) + (t_3 - t_2) + (t_5 - t_4)$ .



Naast de meer ingewikkelde beschrijving van een impuls met het piekniveau en een bepaalde duur, kan een impuls ook beschreven worden door het equivalente geluidniveau, genormaliseerd naar een

bepaalde tijd (één seconde). Deze maat is het "single event noise exposure level"  $L_{Ax}$ . Bijvoorbeeld als een impuls twee seconden duurt en het equivalente geluidniveau gedurende deze twee seconden is  $x$  dB(A), dan is de  $L_{Ax}$ -waarde van de impuls  $x + 3$  dB(A). Als de duur  $\frac{1}{2}$  s zou zijn geweest, met hetzelfde equivalente geluidniveau van  $x$  dB(A), dan zou de  $L_{Ax}$ -waarde van de impuls gelijk zijn aan  $x - 3$  dB(A). Op deze wijze kunnen impulsen en kan een expositie aan diverse impulsen omgerekend worden naar een equivalent geluidniveau over de expositieperiode.

In een speciaal aan impulsgeluid gewijd congres te Malmö (1981) is een geluid gedefinieerd als een impuls als:

$$L_{A, \text{piek}} - L_{Ax} \geq 15 \quad (\text{dB(A)})$$

$L_{A, \text{piek}}$  is daarbij het maximaal optredende geluidniveau, gemeten met een oscilloscoop of een geluidmeter op stand piek of piek hold (met een tijdconstante van 50 tot 100  $\mu$ s).

Op de arbeidsplaats gaat impulsgeluid veelal gepaard met constant of fluctuerend achtergrondgeluid. Het totale equivalente geluidniveau waaraan werknemers dan worden geëxponeerd is opgebouwd uit twee componenten, die met het totale equivalente geluidniveau als volgt samenhangen:

$$L_{AeqT}(\text{tot}) = 10 \log \left[ 10^{\frac{L_{AeqT}(\text{imp})}{10}} + 10^{\frac{L_{AeqT}(\text{bg})}{10}} \right]$$

waarbij:  $L_{AeqT}(\text{tot})$  het totale equivalente geluidniveau over een periode  $T$  is

:  $L_{AeqT}(\text{imp})$  het equivalent geluidniveau over een periode  $T$  is tengevolge van de impulsen

:  $L_{AeqT}(\text{bg})$  het equivalent geluidniveau van het

achtergrondgeluid is, in de afwezigheid van de impulsen over een periode T.

Het verschil tussen  $L_{AeqT}^{(imp)}$  en  $L_{AeqT}^{(bg)}$  wordt aangegeven met v:

$$L_{AeqT}^{(imp)} - L_{AeqT}^{(bg)} = v$$

Door Passchier-Vermeer (1981) is de volgende voorlopige indeling van exposities aan lawaai gemaakt:

$v > 5$  : expositie aan impulsgeluid  
( $L_{AeqT}^{(tot)} - L_{AeqT}^{(imp)} < 1$ )

$-5 \leq v \leq 5$  : gecombineerde expositie

$v < -5$  : voornamelijk expositie aan het achtergrondgeluid  
( $L_{AeqT}^{(tot)} - L_{AeqT}^{(bg)} < 1$ )

In 1980 is verslag (Leeuw, 1980) gedaan van een inventariserend onderzoek naar impulsgeluid. Het onderzoek werd verricht op circa honderd arbeidsplaatsen in de Nederlandse industrie, waarvan men aannam dat er impulsgeluid heerste. Doelstelling was om inzicht te krijgen in de grootte van de diverse parameters van impulsgeluid. Het betrof daarbij de volgende parameters:

- stijgtijd: het tijdsinterval tussen het moment dat het geluidsdrukkniveau van het signaal voor het eerst groter is dan het geluidsdrukkniveau van de achtergrond of boven het niveau van de voorgaande impuls uitkomt en het moment dat de grootste geluidsdruk bereikt wordt;
- daaltijd tot 10 dB onder het piekniveau ( $t_{-10}$ ): het tijdsinterval tussen het tijdstip waarop de piek optreedt en het tijdstip

waarop het geluiddrukkniveau van het signaal voor het laatst een niveau heeft dat 10 dB onder het piekniveau ligt. Dit is de eveneens door Smoorenburg gehanteerde parameter (Smoorenburg, 1977).

- daaltijd tot de achtergrond ( $t_A$ ): het tijdsinterval tussen de piek en het tijdstip waarop het signaal van de impuls niet meer van het achtergrondsignaal te onderscheiden is of het tijdstip dat de volgende impuls begint;
- het piekniveau: het maximaal voorkomende niveau;
- achtergrondniveau;
- frequentiespectrum;
- herhalingsfrequentie van de impulsen over de werkdag.

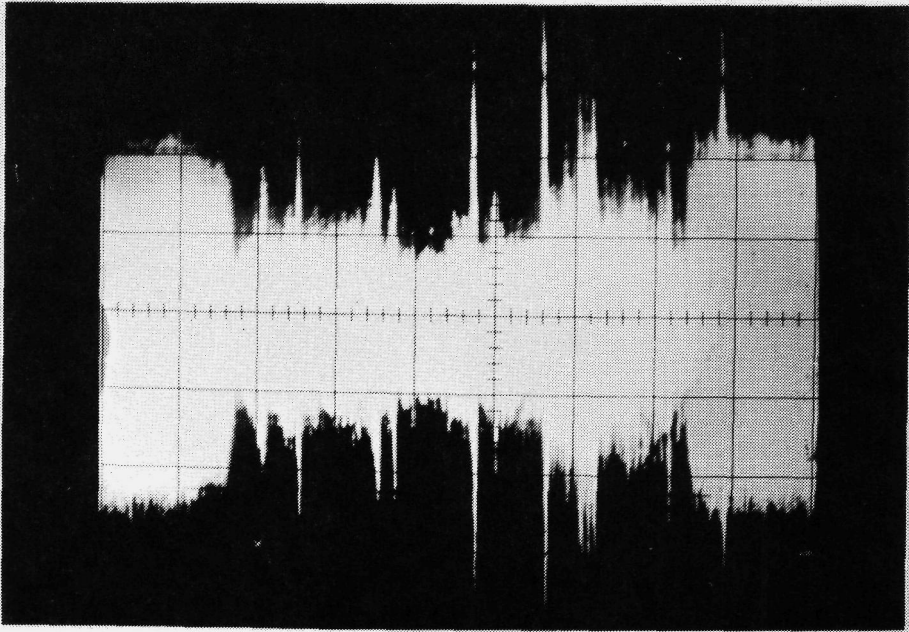
Naast een analyse van impulsen met een oscilloscoop zijn in het onderzoek door Leeuw tevens metingen verricht met een precisie-geluidmeter (Bruël en Kjaer 2607). Uit de metingen bleek dat de in de industrie voorkomende impulsen veelal een veel ingewikkelder vorm hadden dan zoals gegeven in figuur 11, waarbij de impuls zeer snel toeneemt tot het piekniveau en waarbij daarna de omhullende van de geluiddruk ongeveer met een e-macht afneemt. Een zeer ingewikkeld voorbeeld is gegeven in figuur 12.

Gesteld kan worden dat de impulsen op twee manieren afweken van het geïdealiseerde patroon:

- het kwam regelmatig voor dat de impulsen op een bepaalde meetplaats van verscheidene geluidbronnen afkomstig waren;
- de vorm van een impuls is veel ingewikkelder dan hiervoor beschreven.

Een extreem voorbeeld van het eerste is te zien in figuur 12, waarbij de geluiddruk op een plaats van iemand aan een automatische schaaftank in de loop van de tijd is weergegeven. In totaal komen er op die plaats impulsen van negen verschillende bronnen voor.

Figuur 12 Verloop van de geluiddruk bij een automatische schaaftank.  
Hor.: 1 Div = 0.5 s; Vert.: 1 Div = 0.55 Pa.



Ook kwam het voor dat impulsen van twee of meer bronnen niet of nauwelijks van elkaar te onderscheiden waren. Als criterium voor het samennemen van impulsen is door Leeuw gekozen dat twee of meer impulsen als één impuls beschouwd zijn als de laagste waarde van de omhullende van de geluiddruk tussen de impulsen niet kleiner was dan de helft van de kleinste van de twee piekdrukken van de impulsen.

De metingen zijn uitgevoerd in een dertigtal industriële bedrijven, op zo'n 120 arbeidsplaatsen. Het betrof de bronsoorten, gegeven in tabel 3.

**Tabel 3** Bronsoorten die door Leeuw worden onderscheiden en het aantal onderzochte impulsen per bronsoort.

nr. bronsoort	Omschrijving van de bron	Aantal gemeten impulsen
1	Stoten ontsnappende perslucht	20
2	Het stoten of vallen van metalen voorwerpen	30
3	Klikken of tikken in een machine	29
4	Het stansen van een automatische pers	19
5	Het stansen van een pers, waarbij voor elke slag van de pers iemand een handeling moet verrichten	18
6	Het schieten van een spijker in hout of beton	4
7	Klinken	5
8	Impulsen die ontstaan doordat glas tegen glas slaat	5
9	Heien	6
10	Het slaan met een hamer op een metalen of houten voorwerp	7
11	Overige impulsen	6

De resultaten van de metingen zijn als volgt:

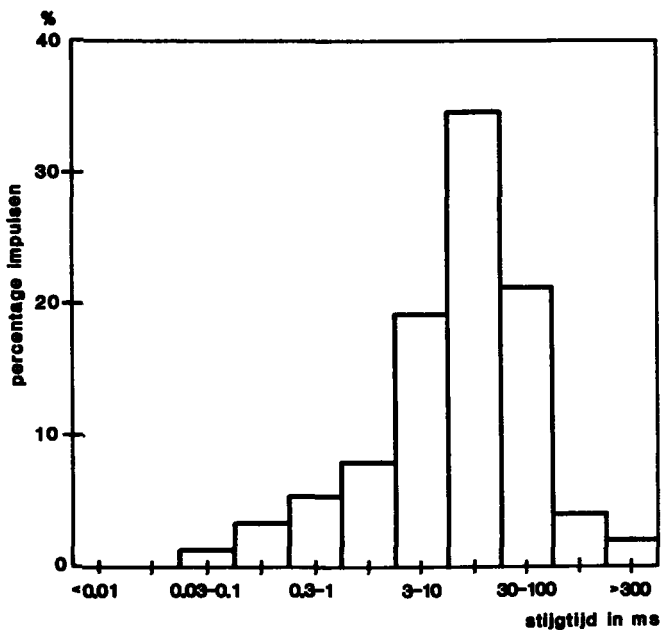
## Stijgtijden

**Tabel 4** De bij de impulsen van een aantal bronsoorten en bij alle impulsen gevonden verdelingen van de stijgtijd.

Stijgtijd in ms	Bronsoort (zie tabel)					Alle bronnen
	1	2	3	4	5	
0.03 - 0.1	1	0	1	0	0	2
0.1 - 0.3	0	1	2	0	0	5
0.3 - 1	0	0	3	0	0	8
1 - 3	1	4	3	0	1	12
3 - 10	7	3	6	1	6	29
10 - 30	6	13	9	5	5	52
30 - 100	3	7	3	11	5	32
100 - 300	1	2	2	1	0	6
300 - 1000	1	0	0	1	1	3
Gem. stijgtijd	11,0	14,4	5,5	41,0	17,6	10,9
Stand. afw.	6,1	4,3	7,3	2,7	4,3	5,7
Aantal	20	30	29	19	18	149

In figuur 13 is de verdeling van de stijgtijden voor alle bronsoorten te zamen in beeld gebracht.

**Figuur 13** Procentuele verdeling van de stijgtijden.





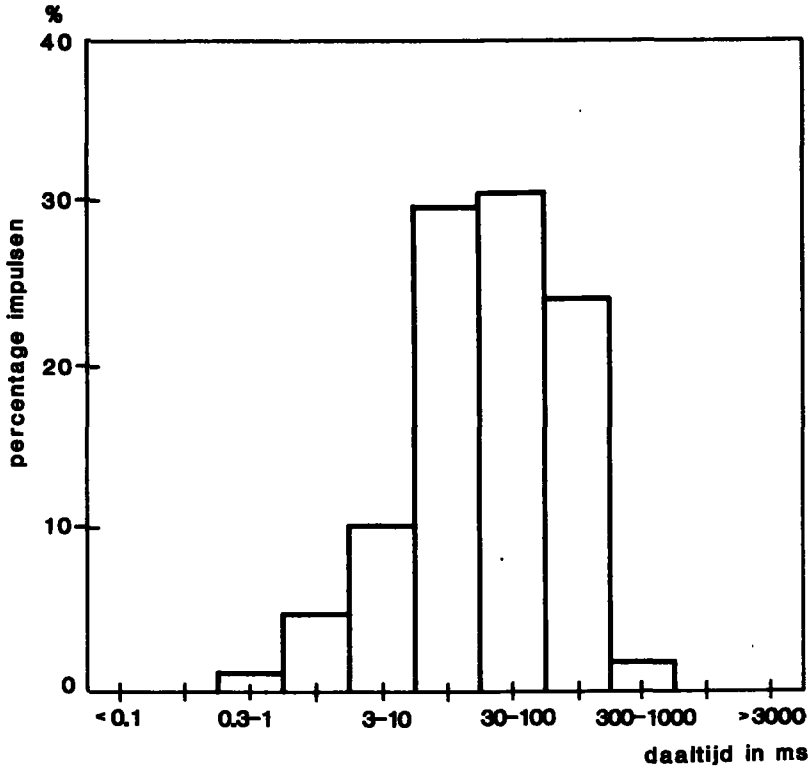
## Daaltijden

Zoals al eerder is vermeld zijn er per impuls twee daaltijden gemeten, namelijk  $t_A$  en  $t_{-10}$ . Dat in de tabellen soms kleinere waarden voor  $t_A$  voorkomen dan voor  $t_{-10}$  ligt in het feit dat de omhullende van het achtergrondgeluid soms minder dan 10 dB onder het piekniveau van de impuls lag.

**Tabel 5** De bij de impulsen van een aantal bronsoorten en bij alle impulsen bepaalde verdelingen van  $t_{-10}$ .

$t_{-10}$ Daaltijd in ms	Bronsoort					Alle bronnen
	1	2	3	4	5	
0.3 - 1	0	0	1	0	0	1
1 - 3	0	1	1	0	0	5
3 - 10	0	3	1	0	1	11
10 - 30	6	7	5	2	5	32
30 - 100	5	10	3	4	5	34
100 - 300	5	5	0	4	5	26
300 - 1000	1	0	0	0	1	2
Gem. daaltijd	55,7	33,3	12,3	62,0	51,7	33,6
Stand. afw.	3,4	3,4	3,7	2,3	2,9	39,2
Aantal	17	26	11	10	17	111

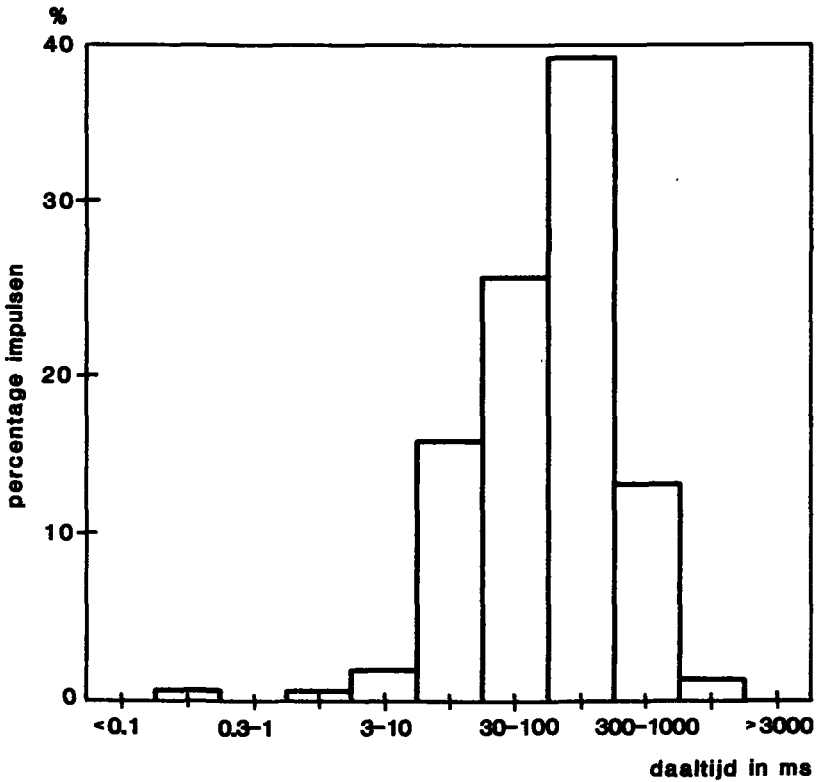
**Figuur 14** Procentuele verdeling van de daaltijden  $t_{-10}$ .



**Tabel 6** De bij de impulsen van een aantal bronsoorten en bij alle impulsen bepaalde verdelingen van  $t_A$ .

$t_A$ Daaltijd in ms	Bronsoort					Alle bronnen
	1	2	3	4	5	
0.1 - 0.3	0	0	0	0	0	1
0.3 - 1	0	0	0	0	0	0
1 - 3	0	0	1	0	0	1
3 - 10	0	1	1	0	0	3
10 - 30	4	4	8	1	2	24
30 - 100	3	9	8	6	4	39
100 - 300	10	9	10	11	6	59
300 - 1000	3	7	0	1	6	20
1000 - 3000	0	0	0	0	0	2
<b>Gem. daaltijd</b>	<b>107,8</b>	<b>94,8</b>	<b>40,7</b>	<b>117,9</b>	<b>147,4</b>	<b>90,0</b>
<b>Stand. afw.</b>	<b>3,2</b>	<b>3,1</b>	<b>4,8</b>	<b>2,2</b>	<b>2,9</b>	<b>3,6</b>
<b>Aantal</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>29</b>	<b>19</b>	<b>18</b>	<b>149</b>

Figuur 15 Procentuele verdeling van de daaltijden  $t_A$ .



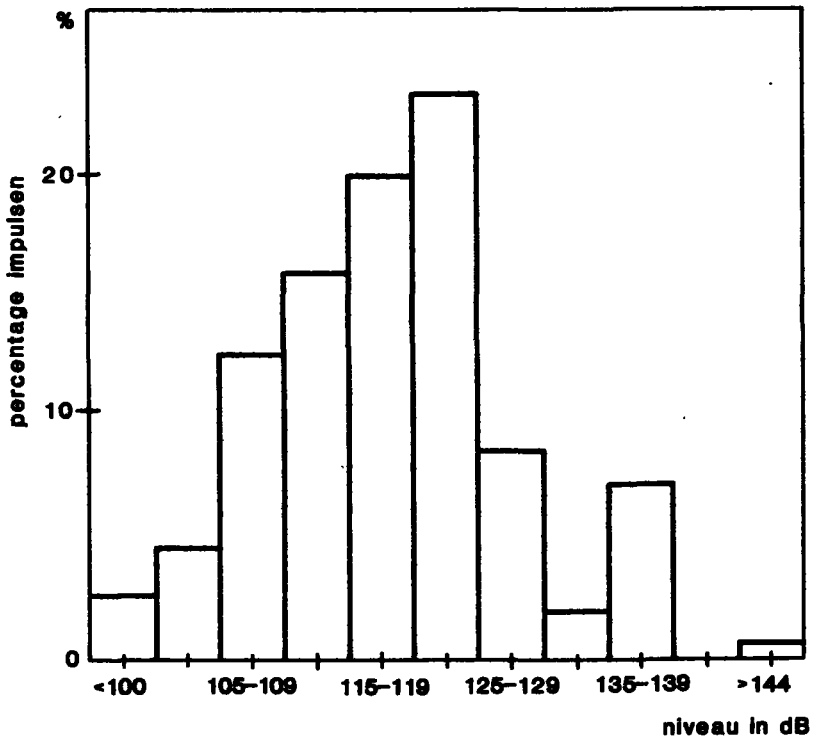
### Piekniveaus

De verdeling van de piekniveaus gemeten met de oscilloscoop, zijn gegeven in tabel 7 en figuur 16. Uitlezing van het piekniveau op een geluidmeter op stand piek of piek hold levert een identiek resultaat.

**Tabel 7** Verdeling van de piekniveaus gemeten met de oscilloscoop voor de verschillende bronsoorten.

Niveaus in dB	Bronsoorten					Alle bronnen
	1	2	3	4	5	
95 - 99	0	0	2	1	0	4
100 - 104	0	0	6	0	0	7
105 - 109	4	1	9	2	0	19
110 - 114	3	6	6	5	4	24
115 - 119	1	8	5	6	6	30
120 - 124	7	12	1	2	5	35
125 - 129	2	1	0	3	4	13
130 - 134	2	0	0	0	1	3
135 - 139	1	1	0	0	1	11
140 - 149	0	0	0	0	1	1
Gem. niveau	120	118	109	116	122	118
Stand. afw.	9	6	6	7	9	10
Aantal	20	29	29	19	22	147

**Figuur 16** Procentuele verdeling van de piekniveaus.



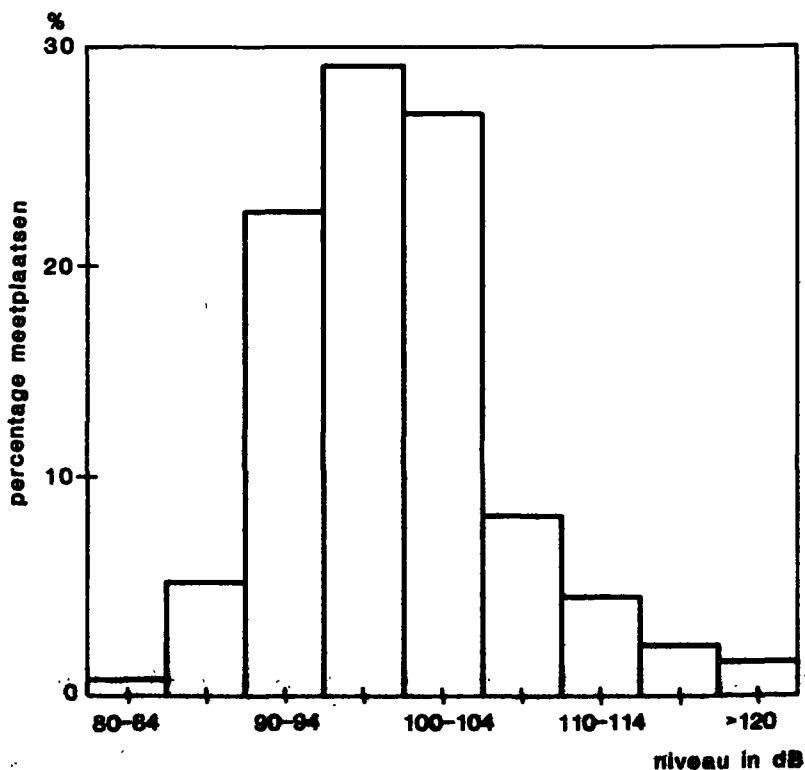
## Achtergrondniveaus

In figuur 17 en tabel 8 zijn de gemeten achtergrondgeluiddruk-  
niveaus gegeven, zoals ze bepaald zijn uit de omhullende van de ni-  
veaus tussen de impulsen in.

**Tabel 8** Verdeling van de achtergrondniveaus.

Niveau in dB	Aantal bronnen
80 - 84	1
85 - 89	7
90 - 94	30
95 - 99	39
100 - 104	37
105 - 109	11
110 - 114	6
115 - 119	3
≥ 120	2

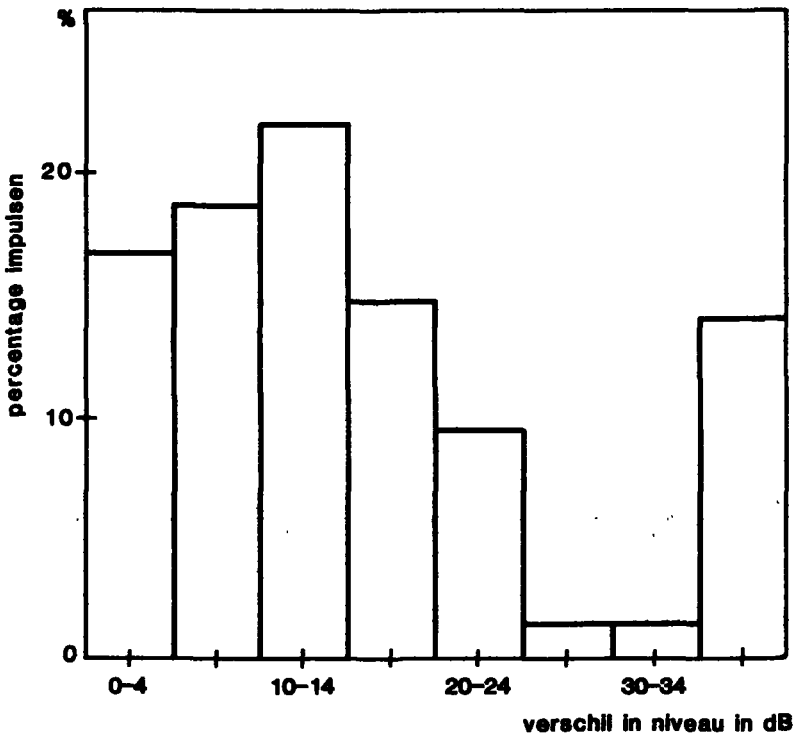
**Figuur 17** Procentuele verdeling van de achtergrondniveaus.



Als het verschil tussen piekniveaus en achtergrondniveau meer was dan 40 dB, kon vanwege de beperkte dynamiek van de meetapparatuur het juiste achtergrondniveau niet bepaald worden, zodat wellicht een aantal achtergrondniveaus in figuur 17 en tabel 8 een iets te hoge meetwaarde heeft.

Naast het niveau van het achtergrondgeluid is ook het verschil tussen het piekniveau en het achtergrondniveau bepaald. In figuur 18 is de verdeling van deze verschillen gegeven. Voor de piekniveaus zijn de met de oscilloscoop gemeten waarden genomen. Indien het achtergrondniveau niet gemeten kon worden vanwege de beperkte dynamiek van de apparatuur, werd aan het verschil een waarde toegekend van meer dan 40 dB. Dit leidde tot het grote aantal waarden in de laatste kolom.

**Figuur 18** Procentuele verdeling van het verschil tussen piekniveau en achtergrondniveau (piekhoogte).



## Het aantal impulsen in een bepaald tijdsinterval

Bij de verdeling van de impulsen over de tijd zijn twee situaties te onderscheiden, namelijk:

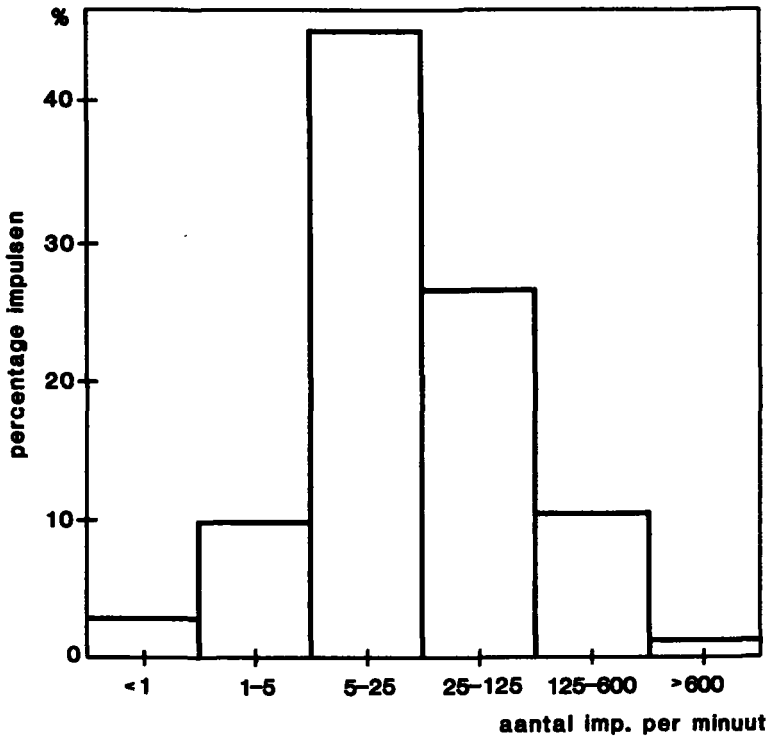
- a. de impulsen worden in een reeks gegeven, zoals bijvoorbeeld bij klinken en bij het slaan met een hamer of zoals het geval is bij automatisch stansen waarbij de impulsen met een bepaalde regelmaat gedurende de gehele werkdag optreden;
- b. de impulsen treden min of meer onregelmatig in de loop van de tijd op, zoals bijvoorbeeld het geval is bij het vallen van voorwerpen.

Aangezien bij slechts 13% van de metingen impulsachtig geluid volgens geval a. werd aangetroffen, is bij de verdere bewerking geen onderscheid gemaakt tussen geval a. en b. In figuur 19 is voor alle impulsen de verdeling van de gemiddelde herhalingsfrequentie gegeven, terwijl in tabel 9 deze verdeling tevens voor een aantal bronsoorten is opgenomen. Uit de figuur blijkt dat bij 95% van de metingen de herhalingsfrequentie tussen een per minuut en twee per seconde ligt. Uit de tabel blijkt tevens dat bronsoort 4 (automatische persen) duidelijk de hoogste herhalingsfrequentie heeft.

**Tabel 9** Verdeling van het gemiddelde aantal impulsen per minuut.

Aantal per min.	Bronsoorten					Alle bronnen
	1	2	3	4	5	
< 1	0	0	0	0	0	4
1 - 5	8	6	0	0	4	15
5 - 25	10	19	16	4	10	68
25 - 120	6	5	9	7	1	40
120 - 600	1	0	3	8	0	16
> 600	0	0	1	0	0	2
Log.gem.aant.	16	10	27	76	9	19
Stand. afw.	3	3	4	3	2	5
Aantal	20	30	29	19	15	145

**Figuur 19** Procentuele verdeling van het aantal impulsen per minuut.

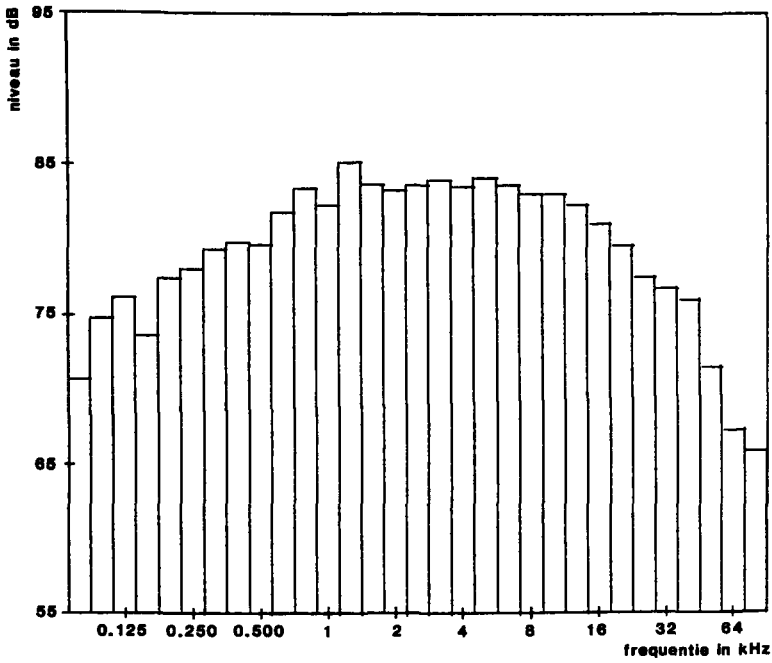




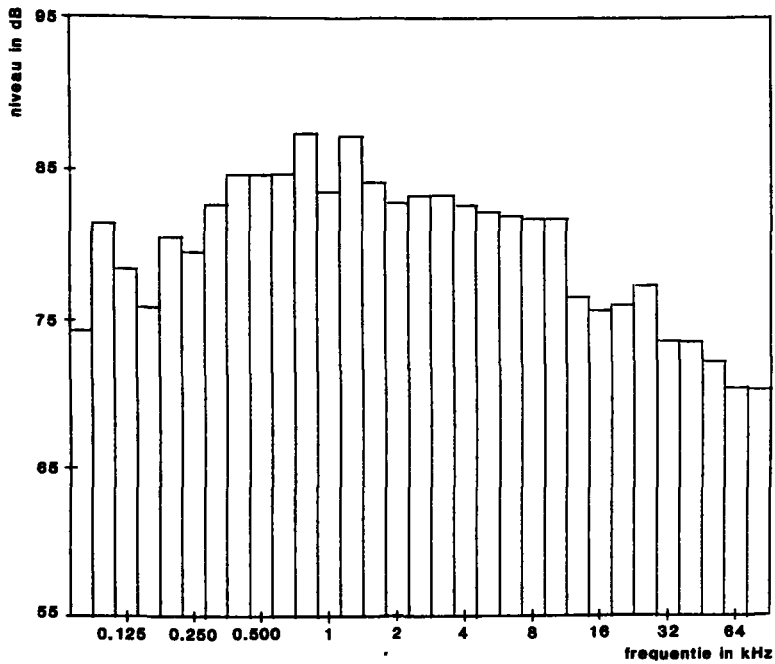
## Spectrale samenstelling

De frequentiespectra van de impulsen en van het achtergrondgeluid zijn bepaald door de bandopnamen met een Rhode und Schwarz real-time analysator te analyseren. Deze analysator meet de RMS-waarden met een integratietijd van 100 ms (stand F) in de stand hold, dat wil zeggen de hoogste RMS-waarde (bij de genoemde integratietijd) die voorkwam in een frequentieband. Er zijn op deze wijze tertsbandniveaus bepaald van zowel de impulsen als het achtergrondgeluid. Het geluiddrukkniveau van een impuls in een bepaalde tertsband was soms zo laag was dat hij niet te meten was, omdat in die tertsband het achtergrondgeluid of de ruis van de bandrecorder een te hoog niveau had. In dat geval werd aan die tertsband een niveau toegekend dat 5 dB lager lag dan het laagste tertsbandniveau van het spectrum dat nog juist wel gemeten kon worden. Dezelfde procedure werd gevolgd wanneer bij de analyse van het achtergrondgeluid het niveau van het achtergrondgeluid beneden de ruis van de bandrecorder lag. Van alle impulsen en van de achtergrondgeluiden is een relatief spectrum gemaakt, waarbij het totale niveau van elk spectrum op 100 dB werd gesteld. Vervolgens zijn deze relatieve spectra gemiddeld, hetzij per bronsoort, hetzij over alle impulsen. Het gemiddelde resultaat over alle impulsen is gegeven in figuur 20. Het gemiddelde spectrum van de achtergrondgeluiden is gegeven in figuur 21. De interpretatie van deze gemiddelde spectra aan de flanken dient met grote voorzichtigheid te gebeuren omdat immers aan lage, in feite niet te meten geluiddrukkniveaus in bepaalde (lage en hoge) tertsbanden een zekere waarde werd toegekend die in werkelijkheid geringer zal zijn.

**Figuur 20** Gemiddeld tertsbandspectrum van alle impulsen.



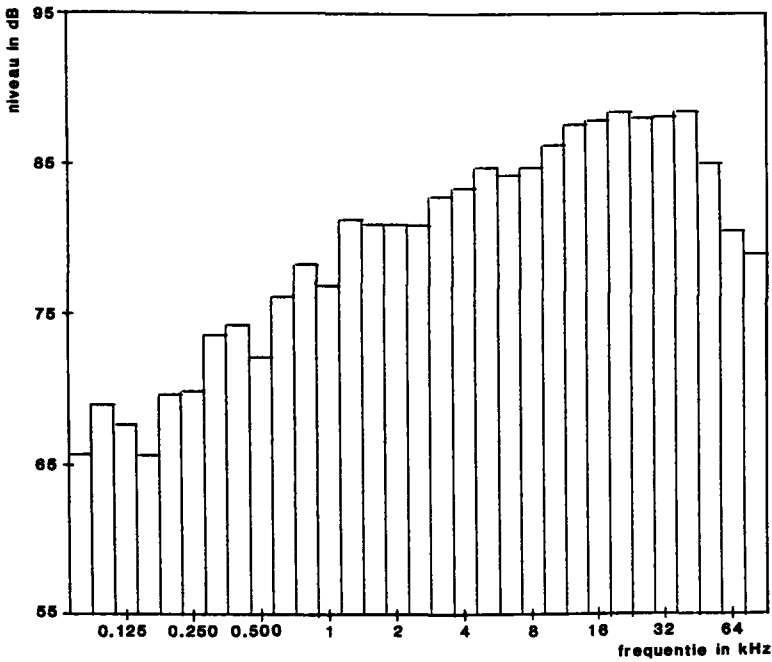
**Figuur 21** Gemiddeld tertsbandspectrum van de achtergrondgeluiden.



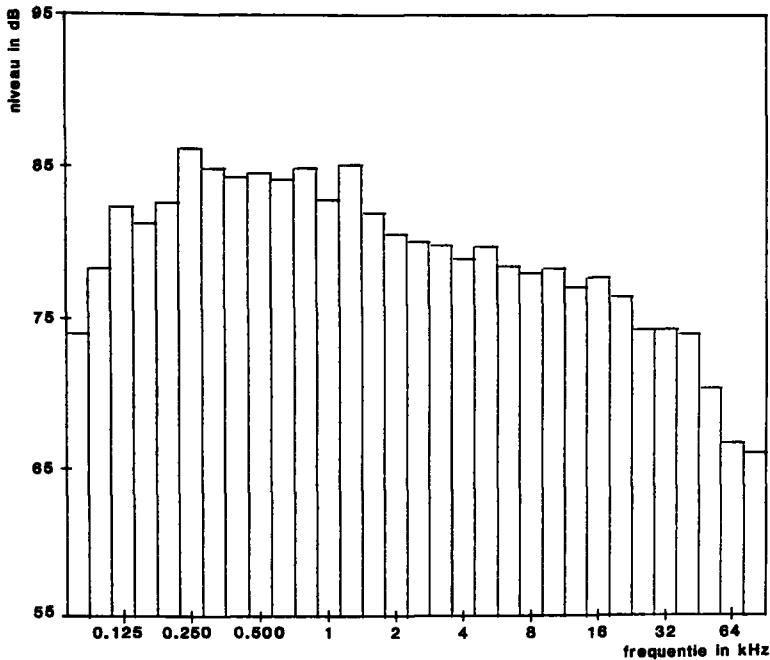
Hoewel de verschillen niet groot zijn, blijkt bij vergelijking dat het spectrum van de impulsen in de tertsbanden tussen de 2 en de 32 kHz relatief hogere niveaus heeft dan het spectrum van het achtergrondgeluid.

Er zijn duidelijke verschillen in de vorm van de relatieve spectra van de diverse bronsoorten, zoals bijvoorbeeld van perslucht (hoogfrequent) en van automatische persen (laagfrequent) (zie figuren 22 en 23).

Figuur 22 Gemiddeld tertsbandspectrum van perslucht.



**Figuur 23** Gemiddeld tertsbandspectrum van automatische persen.



Reeds in de zestiger jaren is door TNO een onderzoek gedaan naar de spectra van de geluiden in de Nederlandse industrie. Het resultaat van dit onderzoek is weergegeven in een CARGO-rapport (CARGO, 1963). Uit dit rapport is (Smooenburg, 1979) een gemiddeld relatief spectrum berekend, dat is weergegeven in tabel 10. Tevens is in deze tabel het vanuit het relatieve tertsbandspectrum berekende gemiddelde relatieve octaafbandspectrum van de impulsen gegeven, waarbij het hoogste tertsbandniveau ook op 100 is gesteld. Wanneer deze spectra met elkaar vergeleken worden dan blijkt ook hier dat het spectrum van de impulsen relatief hogere niveaus in de hogere frequenties heeft.

**Tabel 10** Gemiddeld spectrum in de Nederlandse industrie en van impulsen in de Nederlandse industrie.

Frequentie octaafband in kHz	0,125	0,250	0,5	1	2	4	8
Gemiddeld relatief spectrum in de Nederlandse industrie	97	98	100	100	99	97	93
Gemiddeld relatief spectrum van de impulsen	91	94	97	100	100	100	99

Bij de tabel moet wel bedacht worden dat de spectra ieder op een andere manier zijn gemiddeld. Uit de tabel kan dus niet geconcludeerd worden dat bij impulsgeluid de geluiddruk niveaus in de industrie gemiddeld anders liggen dan van achtergrondgeluiden.

In het rapport is nog een andere manier gehanteerd om de verschillen tussen de spectra van de impulsen en die van het achtergrondlawaai te bekijken. Daartoe is van zowel de spectra van het achtergrondgeluid als van de impulsen de tertsband met relatief het hoogste niveau bepaald. De frequentierange is vervolgens in drieën gedeeld: lager dan 800 Hz, van 800 tot 6300 Hz en hoger dan 6300 Hz. De berekende percentages zijn in de volgende tabel gegeven.

**Tabel 11** Percentage spectra met relatief het hoogste tertsbandniveau in een bepaald gedeelte van het spectrum.

	< 800 Hz	800 - 6300 Hz	> 6300 Hz
Impulsen	19	50	31
Achtergrondgeluid	42	44	14

Statistisch kon worden aangetoond dat er een significant verschil bestaat ( $p$  kleiner dan 0,01) tussen de spectra van de impulsen en die van de achtergrondgeluiden.

## Variatie in parameters van impulsen

De variaties van de diverse parameters van impulsen is groot. Worden achtereenvolgende ogenschijnlijk identieke impulsen geanalyseerd, dan blijkt er een variatie in piekniveaus van 3 tot 20 dB, de stijgtijden variëren een factor 4 tot 100, de daaltijden ( $t_{-10}$  en  $t_A$ ) een factor 2 tot 15 respectievelijk 1,5 tot 9. Dit betekent dat werknemers niet aan één impuls maar aan een scala van impulsen zijn geëxponeerd. De variatie in alle parameters is bij het automatisch persen het kleinst, bij het timmeren het grootst.

### 3.3 Conclusies

In hoofdstuk 2 is aangegeven dat op grond van voornamelijk laboratoriumexperimenten er drie verschijnselen zijn waarmee bij permanente gehoorschade door lawaai mogelijk rekening gehouden moet worden: rustige perioden met equivalente geluidniveaus van ten hoogste 65 dB(A), de frequentiesamenstelling van impulsgeluid ten opzichte van het achtergrondgeluid en de werking van de akoestische reflex.

Met betrekking tot het optreden van rustige perioden tussen exposities aan impulsgeluid kan uit tabel 8 geconcludeerd worden dat geen der achtergrondniveaus ook maar in de buurt komt van de 65 dB(A). Vrijwel alle achtergrondniveaus liggen boven 85 dB. Een mogelijk compenserend effect van lage geluidniveaus tussen impulsen door kan derhalve voor de praktijk verwaarloosd worden.

Met betrekking tot de frequentiesamenstelling van impulsen ten opzichte van verder in de industrie voorkomende (achtergrond)geluiden is aangetoond dat impulsgeluid een hoger frequente samenstelling heeft dan de overige geluiden. Ook Hohmann komt in zijn onderzoek tot eenzelfde conclusie. Gebaseerd op tertsbandanalyses

van de impulsen en rekening houdend met de frequentie-afhankelijke versterking van geluid in het buiten- en middenoor komt hij tot de conclusie dat bij 70% van de impulsen het maximale tertsbandniveau dat het binnenoor bereikt ligt rond de tertsband met middenfrequentie 3200 Hz en in bijna 90% van de impulsen ligt dit maximum rond 3200 Hz  $\pm$  2 tertsbanden. Het zou dus mogelijk kunnen zijn dat door een andere hoger frequente spectrale samenstelling van impulsen ten opzichte van andere geluiden op de arbeidsplaats de permanente gehoorschade door impulsen groter is dan op grond van hun equivalente geluidniveau (dat is een A-gewogen niveau) zou moeten worden aangenomen. Gemiddeld kan hier echter niet veel effect van verwacht worden omdat er gemiddeld niet veel verschil is tussen het relatieve spectrum van impulsen en dat van andere geluiden in de (Nederlandse) industrie. Gezien het relatief hoogfrequente spectrum van het geluid van perslucht zou met name deze bron het grootste negatieve effect op de gehoordrempel kunnen hebben.

Wat betreft de akoestische reflex kan het volgende opgemerkt worden. Verwacht moet worden dat door de aanwezige hoge achtergrondgeluiden de akoestische reflex in vele gevallen reeds in werking treedt, zelfs bij afwezigheid van de impuls geluiden. In deze onderscheiden arbeidssituaties met of zonder impuls geluiden zich niet van elkaar. Uit tabel 9 blijkt dat zo'n 70% van de impulsen een herhalingsfrequentie heeft van ten minste 12 per minuut, dat wil zeggen ten minste eens per 5 seconden. Bij de genoemde maximale relaxatietijd van 5 s zou voor deze impulsen de akoestische reflex nog niet geheel voorbij zijn als de volgende impuls het oor treft. De minimale relaxatietijd is echter 200 ms. Een dergelijke korte relaxatietijd zou, inclusief de gemiddelde duur van een impuls van 100 ms, een herhalingsfrequentie vereisen van 3 per seconde, dat wil zeggen 180 per minuut. Alleen automatische persen hebben een dergelijke hoge herhalingsfrequentie maar de overige bronsoorten niet. De genoemde latentietijd van 50 tot 100 ms van

de akoestische reflex is over het algemeen langer dan de stijgtijd van de impulsen (zie tabel 4). Slechts 6 à 7% van de stijgtijden is langer dan 100 ms. Globaal geldt dan ook voor industriële impulsen, zoals dat ook voor schietgeluid geldt, dat als de akoestische reflex vóór de impuls nog niet in werking is getreden, de reflex te traag is voor de snelheid waarmee de impuls haar maximum bereikt. Wel mag verwacht worden dat de akoestische reflex optimaal in werking is getreden voordat de industriële impuls voorbij is. Immers, slechts 20% van de daaltijden is korter dan 30 ms. Dit zou een klein beschermend effect kunnen geven.

Resumerend kan met betrekking tot het tijdpatroon van de akoestische reflex in relatie tot industrieel impulsgeluid gesteld worden dat, gezien de onzekerheden in de relaxatietijd van de akoestische reflex, geen uitspraak gedaan kan worden over een mogelijk extra beschermend effect van de nog optredende werking van de reflex bij een opeenvolging van impulsen. Globaal is ook de stijgtijd van industriële impulsen te gering voor een optimale bescherming door de akoestische reflex. Wel zou kunnen gelden dat in arbeidssituaties met impulsgeluid de optredende achtergrondniveaus zo hoog zijn dat de akoestische reflex in werking is door deze hoge achtergrondniveaus. In dat geval onderscheiden deze situaties zich niet van andere situaties waarin fluctuerend geluid optreedt. Tenslotte verdient nog verdisconteerd te worden dat de akoestische reflex slechts werkzaam is bij frequenties beneden 2000 Hz en het effect nihil is bij hogere frequenties. Gezien de frequentiesamenstelling van impulsen zou dat pleiten tegen een beschermende werking van de akoestische reflex. Met betrekking tot de werking van de akoestische reflex bij industrieel impulsgeluid moet de conclusie dan ook luiden dat niet veel verwacht mag worden van een beschermende werking ten gevolge van de impulsen als zodanig, maar dat er wellicht een beschermend effect optreedt door het optreden van de reflex door de hogere achtergrondniveaus die in industriële situaties over het algemeen in combinatie met impulsgeluid optre-



den.

Alle mogelijke fenomenen overziende kan gesteld worden dat impuls-geluid in industriële situaties zich slechts van de andere geluid-situaties in negatieve zin, wat betreft schadelijke effecten op het gehoororgaan, zou kunnen onderscheiden omdat de industriële impulsen over het algemeen iets hoogfrequenter zijn dan de andere geluidsoorten die in de industrie optreden. Van de akoestische reflex in industriële situaties met impuls-geluid mag met betrekking tot een beschermende werking ten gevolge van de impulsen niet veel verwacht worden.

## 4. ANALYSE VAN RECENT EPIDEMIOLOGISCH ONDERZOEK

### 4.1. Inleiding

In ISO/DIS 1999.2, die in 1985 heeft gecirculeerd als Draft International Standard in opvolging van ISO/DIS 1999.1 en die binnenkort als Internationale Standaard zal verschijnen, zijn relaties gegeven tussen gehoorschade door lawaai en expositie aan lawaai op de arbeidsplaats. De gegevens die de basis hebben gevormd voor ISO/DIS 1999.2 zijn afkomstig van onderzoek door Burns en Robinson (gepubliceerd in 1970; het betrokken epidemiologische onderzoek heeft echter rond 1965 plaatsgevonden) en Passchier-Vermeer (1968; onderzoek heeft eveneens rond 1965 plaatsgevonden). De betreffende onderzoeken hebben derhalve zo'n 20 tot 25 jaar geleden plaatsgevonden. Dit op zichzelf is al een reden tot verificatie van de relaties gegeven in ISO/DIS 1999.2 met resultaten van meer recent onderzoek. Daar komt nog bij dat generalisatie heeft plaatsgevonden van exposities aan (min of meer) constant geluid naar fluctuerende, intermitterende exposities en exposities aan impulsgeluid. Tenslotte is de in ISO/DIS 1999.2 gegeven relatie tussen de gehoordrempels (H) van aan lawaai geëxponeerde populaties, de permanente gehoorschade door lawaai (N) en leeftijdsgebonden gehoorverliezen (A) aangegeven met de formule:

$$H = A + N - A.N/120 \qquad \text{dB}$$

Daarbij bleek de term  $A.N/120$  noodzakelijk voor een correcte beschrijving van de gecombineerde resultaten van de onderzoeken door Burns en Robinson en door Passchier-Vermeer. Deze term is echter nooit geverifieerd en ook is de achtergrond ervan nooit gepubliceerd, hetgeen nog een reden is voor de verificatie van de relaties in ISO/ DIS 1999.2.

Van 1982 tot 1986 is het project preventie gehoorschade uitgevoerd in de Nederlandse industrie. In dat project zijn gedetailleerde geluidmetingen en audiometrische onderzoeken verricht bij ruim 2000 werknemers. De resultaten zijn geanalyseerd en het model gegeven in ISO/DIS 1999.2 is met de resultaten vergeleken (Paschier-Vermeer, 1986). Over het algemeen bleek dat de resultaten uit het project preventie gehoorschade zeer goed overeenkwamen met het model uit ISO/DIS 1999.2 voor equivalente geluidniveaus van 85 tot 90 dB(A); hieraan bleek overigens ook het merendeel der in het onderzoek betrokken werknemers geëxponeerd te zijn. Bij lagere equivalente geluidniveaus gaf het Nederlandse onderzoek grotere gehoorverliezen te zien dan volgens het model van ISO/DIS 1999.2 en bij hogere equivalente geluidniveaus kleinere gehoorverliezen. Daarbij dienen twee kanttekeningen gemaakt te worden. Ten eerste betrof het in het project preventie gehoorschade een heel scala van geluidexposities: aan constant, fluctuerend en impulsgeluid. Ten tweede bleek het niet mogelijk om betrouwbaar de geluidexposities van de betrokken werknemers in het verleden vast te stellen. Mogelijk zijn de geconstateerde afwijkingen met ISO/DIS 1999.2 (mede) veroorzaakt door niet ingecalculeerde exposities in het verleden aan hogere niveaus van (groepen) werknemers die tijdens het onderzoek in de equivalente geluidniveaus beneden 85 dB(A) werkten en is in het verleden het omgekeerde het geval geweest bij de groepen die tijdens het onderzoek aan hoge equivalente geluidniveaus waren geëxponeerd. Mede gezien deze beperkingen van het Nederlandse onderzoek, is besloten om de gegevens uit ISO/DIS 1999.2 te verifiëren met recente gegevens uit de internationale literatuur, inclusief die uit het Nederlandse onderzoek. Bij een selectie van de relevante publikaties is er op toegezien dat de geluidmetingen (onder meer) zijn uitgevoerd met moderne integrerende geluidmeters.

De verificatie van het model volgens ISO/DIS 1999.2 is toegespitst op 4000 Hz, de frequentie waarbij het effect van lawaai op de gehoorscherptheid het grootst is (ISO/DIS 1999.2). Een gedetailleerde analyse is gegeven in een Engelstalig rapport van NIPG-TNO, hier opgenomen als bijlage 3. Het onderhavige hoofdstuk is voor een deel beperkt tot de resultaten van de analyses en het bestaat uit twee onderdelen: allereerst wordt in hoofdstuk 4.2 ingegaan op de problematiek van de leeftijdsgebonden gehoorverliezen. (In het Nederlands is het tot nu toe gangbaar om de leeftijdsgebonden gehoorverliezen, dat wil zeggen de gehoorverliezen die gepaard gaan met het ouder worden, te betitelen als normale ouderdomsgehoorverliezen. In het Engels spreekt men van "age-related hearing threshold levels" en dat is hier vertaald met leeftijdsgebonden gehoorverliezen.) Vervolgens worden in de hoofdstukken 4.3 en 4.4 de gehoordrempels beschouwd van de aan lawaai geëxponeerde populaties, die in de buitenlandse en Nederlandse literatuur zijn beschreven. De belangrijke gegevens van Hohmann (Hohmann, 1984) met betrekking tot de schadelijkheid van impulsgeluid in arbeidssituaties konden niet in deze hoofdstukken verwerkt worden, omdat Hohmann zijn gegevens in een niet voor de hoofdstukken 4.3 en 4.4 bruikbare vorm geeft. Aan de publikatie door Hohmann is in hoofdstuk 4.5 aandacht besteed.

#### 4.2 Leeftijdsgebonden gehoorverliezen

In ISO/DIS 1999.2 zijn twee data bases gegeven voor leeftijdsgebonden gehoorverliezen: data base A met betrekking tot otologisch gescreende populaties zonder expositie aan lawaai op de werkplaats en data base B, die volgens ISO/DIS 1999.2 elke data base mag zijn die door de gebruiker relevant geacht wordt. Het voorbeeld van data base B dat in een annex van ISO/DIS 1999.2 gegeven is, is afkomstig van een bepaald grootschalig onderzoek dat zo'n

twintig jaar geleden is uitgevoerd in de USA. Zoals de annex al aangeeft: "some subjects in the population tested must be assumed to have had unreported occupational or other noise exposure". Het voorbeeld dat in de annex gegeven is heeft betrekking op een otologisch niet gescreende populatie. De data base wordt hier aangegeven met ISO B.

In het kader van het project preventie gehoorschade is een data base opgezet voor otologisch ongescreende populaties, die niet in lawaai werken (Passchier-Vermeer, I). Tezelfdertijd is in het kader van een transversaal gehooronderzoek in de bouwnijverheid eveneens een data base (Passchier-Vermeer, B) ontwikkeld. In beide gevallen is bij de selectie van de populaties uitvoerig geïnformeerd naar mogelijke blootstelling in heden en verleden aan lawaai op de arbeidsplaats en in de vrije tijd en zijn personen met een dergelijke expositie uitgesloten. Wonderlijk genoeg bleken de gehoordrempels van de otologisch niet gescreende Nederlandse populaties bijna identiek te zijn aan die uit data base ISO A, hoewel ISO A otologisch gescreende populaties betreft. Bij een vergelijking van de resultaten leek het er op alsof uitsluiting van personen op grond van mogelijke otologische afwijkingen geen of weinig effect heeft op de verdeling van de gehoordrempels van populaties.

Er zijn drie vrij recente onderzoeken die gegevens leveren over verschillen in gehoordrempelverdelingen van otologisch geselecteerde populaties en otologisch niet geselecteerde populaties: Irion (1983), Taylor (1984) en Passchier-Vermeer (1987) (zie ook Rõvekamp, 1988). In alle drie onderzoeken heeft otologisch onderzoek (met behulp van een otoscoop) plaatsgevonden en is er uitvoerig gevraagd naar allerlei aspecten met betrekking tot het gehoor en met betrekking tot blootstelling aan lawaai op het werk, thuis en elders. Dit resulteerde in een uitsluiting van 15 tot 25 procent van de personen uit de gehele populatie om de otologisch schone (sub)populaties te vormen. Het verschil tussen de gehoor-

drempels van de gehele otologisch ongeselecteerde populaties en die van de geselecteerde (sub)populaties is gegeven in tabel 12. Uit de drie studies bleek dat de verschillen onafhankelijk zijn van de frequentie waarbij de gehoordrempels zijn bepaald, de leeftijd en geluidexpositie tijdens het werk van de onderzochte populaties.

**Tabel 12** Verschillen in de gehoordrempels van otologisch ongeselecteerde populaties en die van otologisch geselecteerde (sub)populaties, voor frequenties tussen 500 en 6000 Hz.

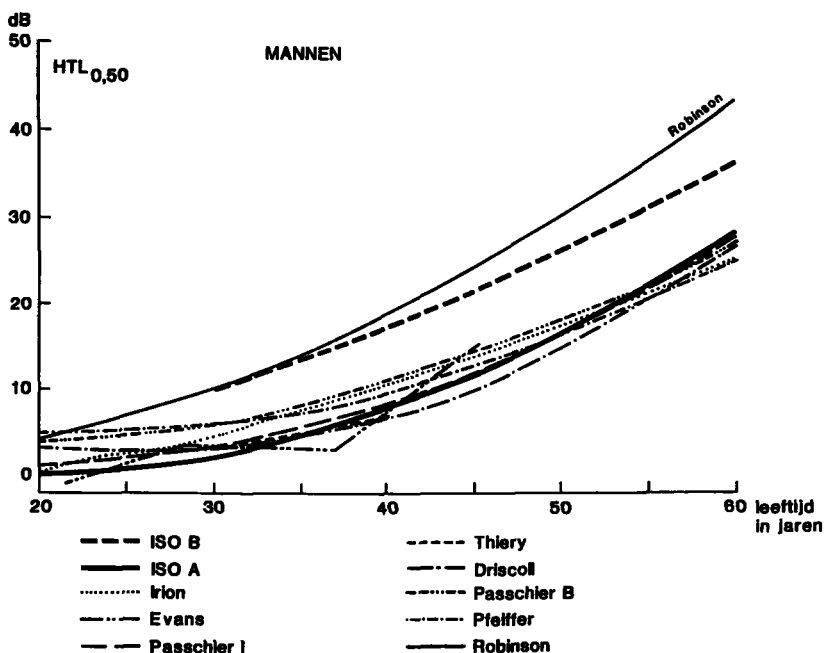
Fractie	Vershil (in dB)
0,90	0
0,50	2
0,10	6

Naast de twee Nederlandse data bases voor leeftijdsgebonden gehoorverliezen, zijn er in de internationale literatuur recentelijk 5 andere data bases gepubliceerd: Irion (1983), West-Duitse populatie; Pfeiffer (1985), eveneens een populatie uit West-Duitsland; Evans (1982), een populatie uit Hong Kong; Thiery (1988), een Franse populatie en Driscoll (1984), een populatie uit de USA van donkerkleurige mannen. Zowel de Nederlandse als de genoemde buitenlandse data bases, met uitzondering van die van Pfeiffer, zijn gebaseerd op gegevens uit onderzoeken van populaties van zo'n 300 tot 500 personen. In figuur 24 is het resultaat gegeven voor de mediane gehoordrempel, aangegeven met  $HTL_{0,50}$  (zie bijlage 1 voor de definitie). Alle curven hebben betrekking op otologisch ongeselecteerde populaties. Over de curve met het bijschrift "Robinson" volgt later een uitleg.

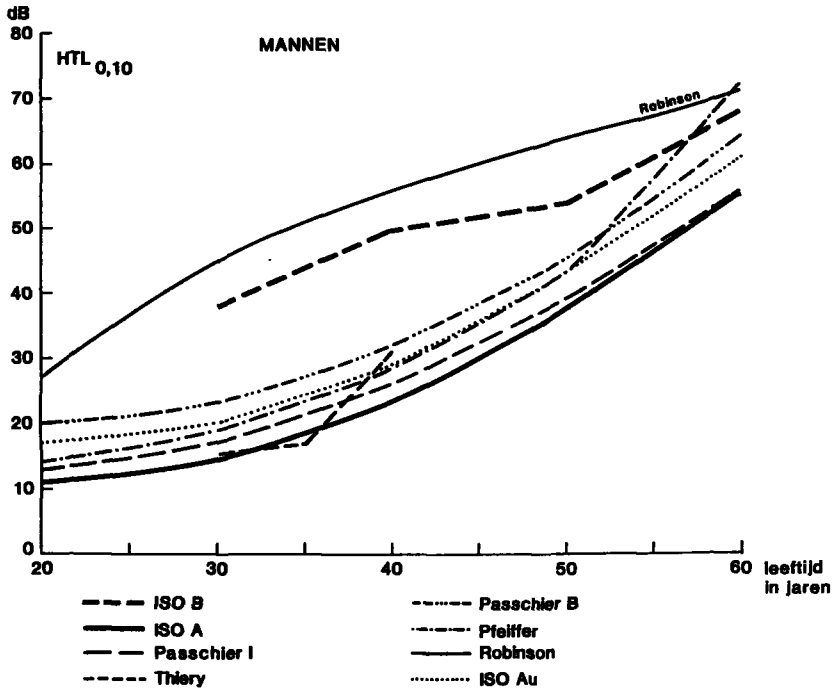
In figuur 25 zijn de gehoordrempels ( $HTL_{0,10}$ ) die juist worden overschreden door 10% van de populatie uitgezet als functie van de leeftijd (voor de definitie: zie bijlage 1). Ook de curven uit figuur 25 hebben betrekking op otologisch ongescreende populaties,

met uitzondering van de gegevens van Thiery, die een otologisch gescreende populatie betreffen. Om de curven te kunnen vergelijken met een otologisch ongescreende data base ISO A, is in figuur 25 tevens data base ISO Au getekend, waarbij ISO Au 6 dB hoger is ingetekend dan ISO A. De u is aan ISO A toegevoegd om aan te geven dat het een ongeselecteerde (unselected in het Engels) data base ISO A betreft, omdat er op ISO A een correctie is toegepast van 6 dB, zoals gegeven in tabel 12.

**Figuur 24** Mediane gehoordrempels bij 4000 Hz als functie van de leeftijd, volgens diverse data bases van otologisch ongeselecteerde populaties.



**Figuur 25** Gehoordrempels bij 4000 Hz, juist overschreden door 10% van de populatie, als functie van de leeftijd, volgens diverse data bases.



Kortgeleden heeft Robinson een set curven gepubliceerd (Robinson, 1988) betreffende "thresholds of hearing as a function of age and sex for the typical unscreened population". De curven zijn gebaseerd op gegevens van acht publikaties (Glorig, 1965; Glorig, 1957; Martin, 1975; Roberts, 1975; Roberts, 1970; Royster, 1979; Sutherland, 1978; Yaffe, 1961). Zes van de acht publikaties betreffen massaal opgezette epidemiologische onderzoeken, met in totaal meer dan 80.000 oren. Zoals de figuren 24 en 25 laten zien, liggen de Robinson-curven boven de andere curven, inclusief ISO B, speciaal voor de  $HTL_{0,10}$ -waarden. De discrepantie tussen de data base van Robinson en de overige data bases kan het gevolg zijn van diverse redenen, zoals het niet uitsluiten door Robinson uit de data base van personen die op de arbeidsplaats aan lawaai zijn blootgesteld, omdat de publikatie daar met geen woord over rept.



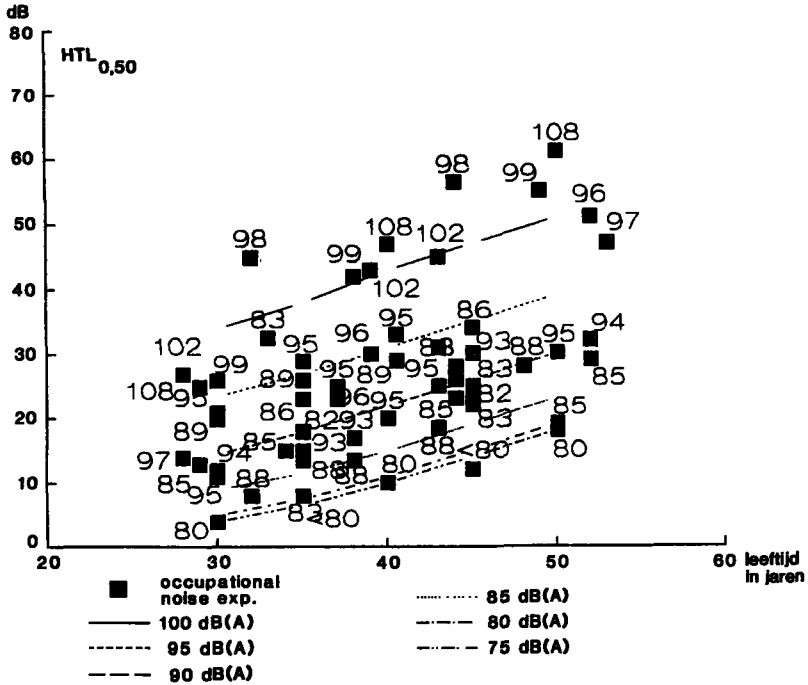
Robinson geeft zelf in een eerder rapport (Robinson, 1978) aan dat "the distinction between the unscreened (U) and public participation (P) groups is not only a matter of scale (though this is a characteristic of most of the examples), but the likelihood that other factors may be implicated, such as different environmental test conditions and the preparation and motivation of the subjects. The reliability of the data is unlikely to be in direct proportion to the numbers tested". Ook geldt dat de relaties die door Robinson worden gegeven gebaseerd zijn op onderzoeken die zo'n 20 tot 30 jaar geleden zijn uitgevoerd (de datum van publicatie ligt soms jaren na de datum van gegevensverzameling). Het is heel goed mogelijk dat de relaties tussen gehoordrempels en leeftijd tegenwoordig anders liggen dan bijvoorbeeld die van twintig jaren geleden. Immers een populatie mannen, die thans bijvoorbeeld 30 tot 40 jaar oud is, zou een andere gehoordrempelverdeling kunnen hebben dan een populatie die zo'n 25 jaar geleden dezelfde leeftijdsklasse had. Denk daarbij bijvoorbeeld aan veranderde medische omstandigheden en aan een mogelijk effect op de gehoordrempel van expositie in oorlogssituaties. Op de door Robinson gerepresenteerde data base wordt hierna nog nader ingegaan.

#### 4.3 Gehoordrempels van populaties, die op het werk aan lawaai zijn geëxponeerd

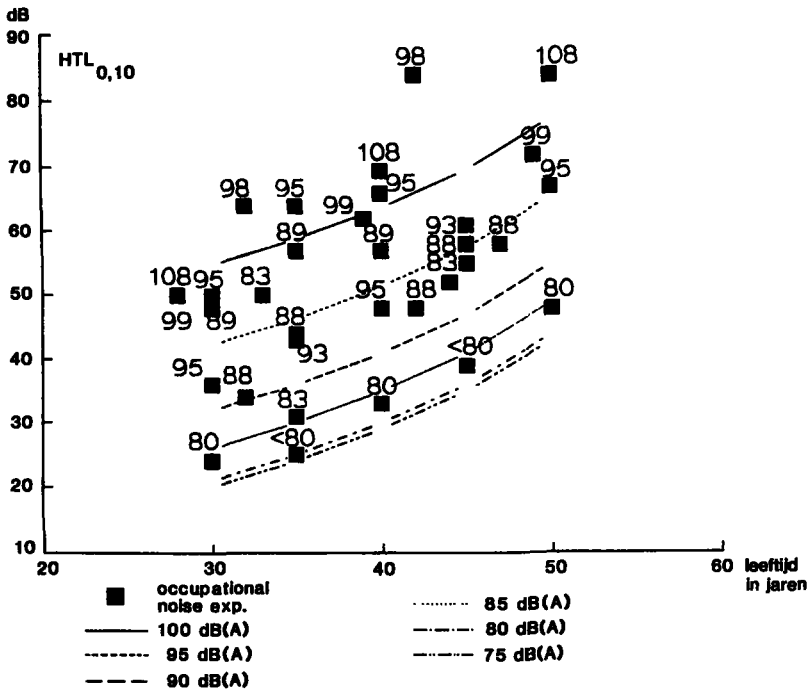
In de laatste jaren zijn er dertien publikaties verschenen over onderzoeken naar de gehoordrempels en lawaaiexposities van op de arbeidsplaats aan lawaai geëxponeerde groepen (Evans, 1982; Pfeiffer, 1985; Thiery, 1988; Taylor, 1984; Abel, 1984; Chung, 1986; Prosser, 1988; Szanto, 1983; Passchier, 1987; Irion, 1983; Waudby, 1984; Sataloff, 1984; Passchier, 1988). Als de gegevens dit toelieten, zijn de gehoordrempels bij 4000 Hz (zowel de mediane waarde als de waarde die juist wordt overschreden door 10% van de waar-

den) uitgezet als functie van de gemiddelde leeftijd van de betrokken (sub)populaties. Gekozen is daarbij voor een leeftijdsrange van zo'n 30 tot zo'n 50 jaar. De omvang van een (sub)populatie was vrijwel steeds minimaal 50 personen. In figuur 26 en 27 zijn  $HTL_{0,50}$  en  $HTL_{0,10}$  uitgezet als functie van de leeftijd, met het betreffende lawaaiexpositieniveau van de (sub)populatie als parameter. Met betrekking tot  $HTL_{0,10}$  betreft het 56 (sub)populaties en met betrekking tot  $HTL_{0,10}$  33 (sub)populaties. De uitgezette waarden zijn representatief voor otologisch niet geselecteerde populaties. De lawaaiexposities betreffen diverse soorten lawaai: constant, fluctuerend en impulsgeluid. Ook zijn in de figuren de gehoordrempels aangegeven, zoals uit ISO/DIS 1999.2 kan worden afgeleid, waarbij de expositietijd twintig jaar korter is gekozen dan de leeftijd en waarbij ISO A-plus correcties voor het otologisch niet geselecteerd zijn van de populaties (zie tabel 12) als data base voor het leeftijdgebonden gehoorverlies is genomen.

**Figuur 26** Mediane gehoordrempels bij 4000 Hz van otologisch niet geselecteerde populaties met het lawaaiexpositieniveau in dB(A) als parameter. De curven volgens ISO/DIS 1999.2 (voor lawaaiexpositieniveaus van 75 tot 100 dB(A)) zijn eveneens in de figuur opgenomen.



**Figuur 27** Gehoordrempels, juist overschreden door 10% van de waarden, bij 4000 Hz van otologisch niet geselecteerde populaties, met het lawaaiexpositie-niveau in dB(A) als parameter. De curven volgens ISO/DIS 1999.2 (voor lawaaiexpositieniveaus van 75 tot 100 dB(A)) zijn eveneens in de figuur opgenomen.



Teneinde de in de onderzoeken aangetroffen gegevens te vergelijken met de gegevens uit ISO/DIS 1999.2 zijn de gemiddelde waarden bepaald van de lawaaiexpositieniveaus van alle (sub)populaties die met hun gehoordrempel binnen twee in de figuren 26 en 27 gegeven curven vallen. Het resultaat is gegeven in de tabellen 13 en 14. Deze gemiddelde waarden zijn elk vervolgens uitgezet tegen het gemiddelde lawaaiexpositieniveau van de betrokken twee curven. Het resultaat is gegeven in de figuren 28 en 29.

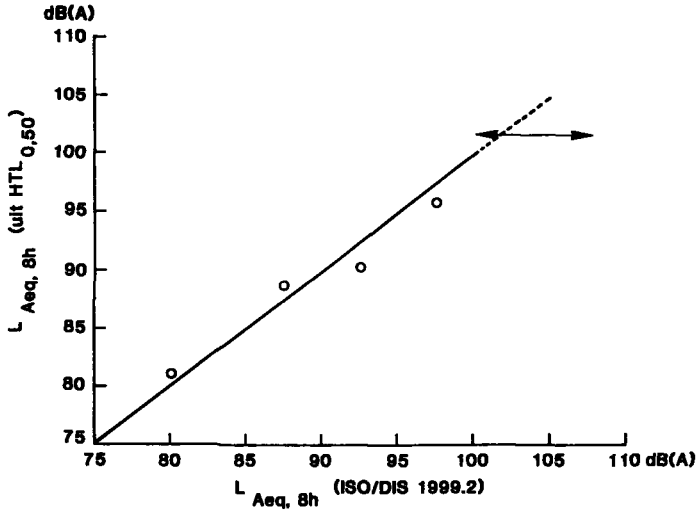
**Tabel 13** Gemiddelde waarden van  $L_{Aeq,8h}$  van aan lawaai geëxponeerde (sub)populaties, met  $HTL_{0,50}$  als basis.

$L_{Aeq,8h}$ -range volgens ISO/DIS 1999.2 (in dB (A))	aantal (sub)populaties	gemiddelde waarde van $L_{Aeq,8h}$ (in dB (A))
> 100	9	101,6
95 - 100	8	96,6
90 - 95	16	90,9
85 - 90	15	88,8
< 85	8	81,1

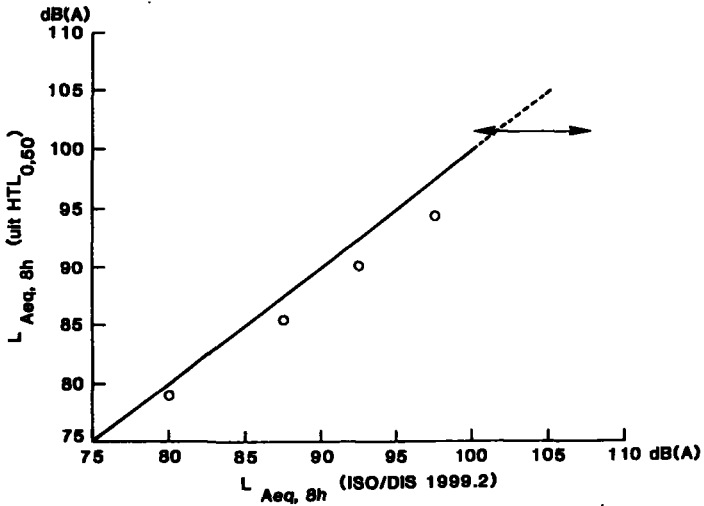
**Tabel 14** Gemiddelde waarden van  $L_{Aeq,8h}$  van aan lawaai geëxponeerde (sub)populaties, met  $HTL_{0,10}$  als basis.

$L_{Aeq,8h}$ -range volgens ISO/DIS 1999.2 (in dB (A))	aantal (sub)populaties	gemiddelde waarde van $L_{Aeq,8h}$ (in dB (A))
> 100	5	101,4
95 - 100	12	94,5
90 - 95	9	90,2
85 - 90	2	85,5
< 85	5	79

**Figuur 28** Gemiddelde waarden van  $L_{Aeq,8h}$  van aan lawaai geëxponeerde populaties, met  $HTL_{0,50}$  als basis, als functie van  $L_{Aeq,8h}$  volgens ISO/DIS 1999.2.



**Figuur 29** Gemiddelde waarden van  $L_{Aeq,8h}$  van aan lawaai geëxponeerde populaties, met  $HTL_{0,10}$  als basis, als functie van  $L_{Aeq,8h}$  volgens ISO/DIS 1999.2.



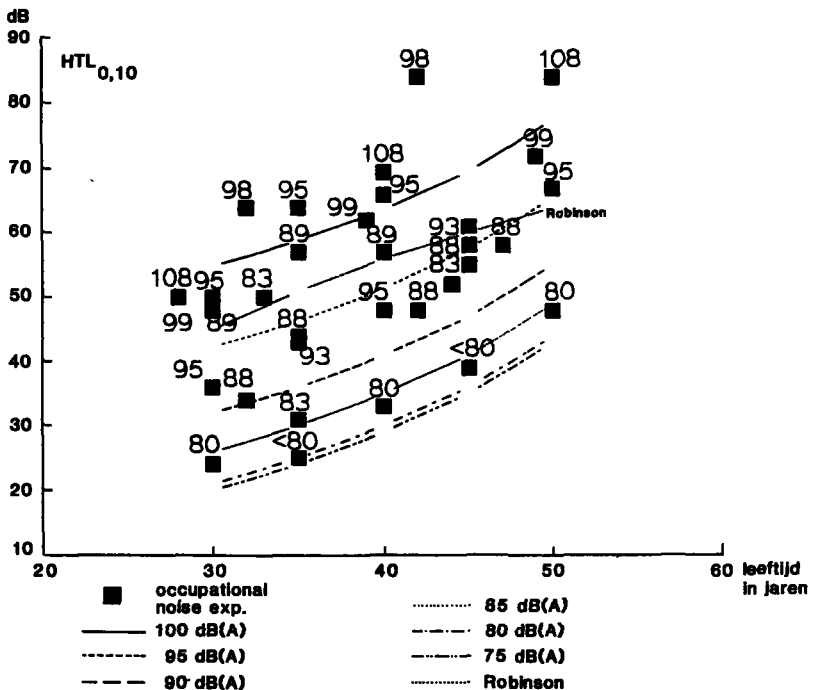
Uit figuur 28 blijkt een goede overeenkomst tussen de waargenomen lawaaiexpositieniveaus en die volgens ISO/DIS 1999.2, als de mediane gehoordrempels als basis worden genomen en als data base ISO Au als maat voor de leeftijdgebonden gehoorverliezen wordt genomen.

Uit figuur 29 blijkt dat systematisch de uit  $HTL_{0,10}$  bepaalde gemiddelde lawaaiexpositieniveaus lager zijn dan de waarden zoals gegeven in ISO/DIS 1999.2. Dit houdt in dat de bij de onderzochte (sub)populaties aangetroffen gehoordrempels hoger liggen dan volgens ISO/DIS 1999.2. Gemiddeld is het verschil ongeveer 2 dB(A). Deze kleine discrepantie kan door diverse redenen veroorzaakt zijn: de waarden van A.N/120 zijn te groot en derhalve zijn de volgens ISO/DIS 1999.2 bepaalde waarden van H te laag. Als er in plaats van 120 een waarde 80 zou zijn opgenomen, zou de geconstateerde discrepantie geringer zijn geweest. Ook kunnen afwijkingen van de waarden van  $Au_{0,10}$  en/of N, zoals gegeven in ISO/DIS 1999.2, met de werkelijke waarden de discrepantie veroorzaakt hebben. Mogelijkerwijs zou de geconstateerde discrepantie ook veroorzaakt kunnen zijn door een grotere spreiding in de lawaaiexpositieniveaus van de huidige populaties in vergelijking met die waarop ISO/DIS 1999.2 berust. Immers, ISO/DIS 1999.2 is afgeleid van exposities die gedurende de werkdag constant zijn en waarbij veelal in de gehele werkruimte waar de onderzochte werknemers verbleven min of meer hetzelfde geluidniveau heerste. De thans onderzochte groepen werken niet alleen in tijdens de werkdag fluctuerende geluidniveaus, maar ook moet verwacht worden dat de geluidniveaus van plaats tot plaats nogal variëren (van den Berg, 1987). Een grotere variatie in geluidniveau van plaats tot plaats zou daarbij een grotere variatie in de individuele geluidexposities teweeg brengen en dat zou weer een grotere variatie in de gehoorschade door lawaai kunnen veroorzaken, waardoor de waarden van  $HTL_{0,10}$  uit de huidige onderzoeken hoger zouden kunnen liggen dan de waar-

den uit ISO/DIS 1999.2. Alles bij elkaar kan de geconstateerde discrepantie veroorzaakt zijn door (een combinatie van) diverse oorzaken.

In figuur 30 is figuur 27 overgenomen, waarbij tevens is ingetekend de curve van Robinson met betrekking tot het leeftijdgebonden gehoorverlies van niet aan lawaai geëxponeerde populaties. Daaruit blijkt dat de Robinson-curve nog ligt boven die volgens ISO/DIS 1999.2 voor een otologisch niet geselecteerde populatie die in een lawaaiexpositieniveau van 95 dB(A) werkt. Aangezien veel van de gehoordrempels van de aan lawaai geëxponeerde populaties onder de Robinson-curve liggen, is deze curve, in elk geval voor de onderzochte populaties, niet de juiste referentiecure.

**Figuur 30** Gehoordrempels, juist overschreden door 10% van de gehoordrempels bij 4000 Hz van otologisch niet geselecteerde populaties, met het lawaaiexpositieniveau in dB(A) als parameter. De curven volgens ISO/DIS 1999.2 (voor lawaaiexpositieniveaus van 75 tot 100 dB(A)) zijn eveneens in de figuur opgenomen, evenals de curve volgens Robinson voor otologisch ongeselcteerde niet aan lawaai geëxponeerde populaties.





Kortgeleden publiceerde Robinson een rapport over de relaties tussen gehoorschade door lawaai en geluidexposities, waarin een nieuwe analyse is gegeven van oudere publikaties. Hij ontwikkelt een model, waarin de aan de leeftijd gerelateerde gehoorverliezen een kritische rol spelen. Zijn concept is inferieur aan dat gegeven in ISO/DIS 1999.2, omdat volgens het rapport van Robinson het betreffende model beperkt is tot de 0,25- tot 0,75-ste fractielen (extrapolaties naar de fractie 0,10 is gebaseerd op andere beschouwingen) en aangezien het slechts geldt voor een beperkt aantal frequenties (1000, 2000 en 4000 Hz) (voor bijvoorbeeld 3000 Hz is voor een andere methode gekozen). Voor lawaaiexpositieniveaus beneden 95 dB(A) blijkt er voor zowel otologisch geselecteerde als otologisch ongeselecteerde populaties een groot verschil, speciaal bij 4000 Hz, tussen de gehoordrempels volgens ISO/DIS 1999.2 en die volgens Robinson. Dit geldt zowel voor de medianen als voor de fractielwaarden (bijvoorbeeld zijn bij een lawaaiexpositieniveau van 85 dB(A) de HTL-waarden bij 4000 Hz volgens Robinson 10 tot 15 dB hoger dan die volgens ISO/DIS 1999.2). Aangezien de relaties van Robinson berusten op onjuiste schattingen van de leeftijdgebonden gehoorverliezen voor otologisch ongeselecteerde populaties, geeft Robinson een belangrijke onderschatting van gehoorschade door lawaai.

#### 4.4 Expositie aan impulsgeluid

In het vorige hoofdstuk (4.3) zijn de gehoordrempels gegeven van aan lawaai geëxponeerde (sub)populaties. Deze (sub)populaties zijn geëxponeerd aan diverse soorten geluid, zoals constant, fluctuerend en impulsgeluid. Soms betreft het bij één (sub)populatie zelfs een mengeling van diverse soorten exposities (Pfeiffer, Abel, Chung, Prosser, Irion, Waudby, Passchier-Vermeer), waarbij werknemers uit diverse bedrijven of bedrijfssituaties in één

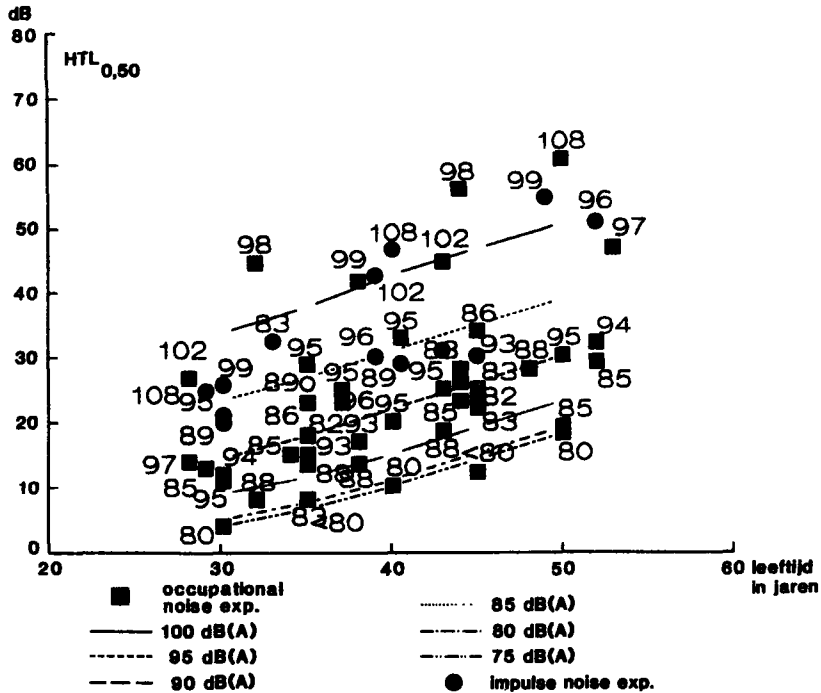
(sub)populatie zijn samengenomen op basis van hun individuele lawaaiexpositieniveau. Slechts in vier publikaties is sprake van expositie van (sub)populaties aan specifiek impulsgeluid (eventueel gesuperponeerd op een hoog, meer constant achtergrondgeluid), te weten in publikaties door Thiery, Taylor, Evans (één van de (sub)populaties) en Szanto (eveneens één van de (sub)populaties).

In de figuren 31 en 32 zijn de figuren 26 en 27 gereproduceerd, waarbij de (sub)populaties die aan impulsgeluid zijn geëxponeerd onderscheiden zijn aangegeven. Uit de figuren blijkt dat de betreffende (sub)populaties zich geenszins onderscheiden van de overige (sub)populaties. In de tabellen 15 en 16 is een en ander nog eens nader geanalyseerd op de wijze zoals uitgelegd met betrekking tot de tabellen 13 en 14.

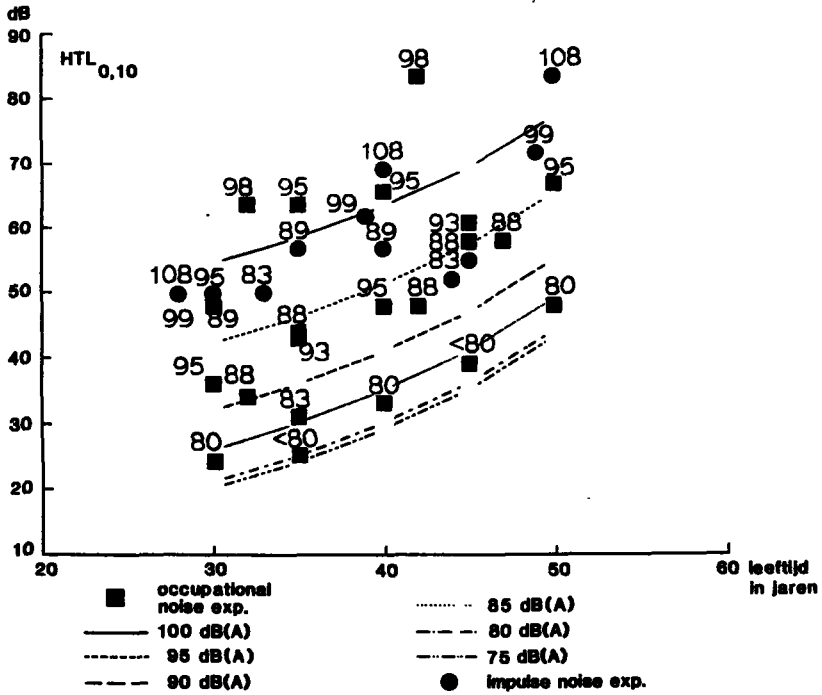
**Tabel 15** Gemiddelde lawaaiexpositieniveaus van aan impulsgeluid geëxponeerde (sub)populaties, met  $HTL_{0,50}$  als basis.

$L_{Aeq,8h}$ -range volgens ISO/DIS 1999.2 (in dB (A))	aantal (sub)populaties	gemiddelde waarde van $L_{Aeq,8h}$ (in dB (A))
> 100	5	102,0
95 - 100	4	96,5
90 - 95	4	89,3

**Figuur 31** Mediane gehoordrempels bij 4000 Hz van otologisch niet geselecteerde populaties met het lawaaïexpositieniveau (in dB(A)) als parameter. De populaties die aan impulsgeluid zijn geëxponeerd zijn onderscheiden aangegeven.



**Figuur 32** Gehoordrempels, juist overschreden door 10% der waarden, bij 4000 Hz van otologisch niet geselecteerde populaties met het lawaaiexpositieniveau (in dB(A)) als parameter. De populaties die aan impulsgeluid zijn geëxponereerd zijn onderscheiden aangegeven.



Tabel 16 Gemiddelde lawaaiexpositieniveaus van aan impulsgeluid geëxponeerde (sub)populaties, met HTL<sub>0,10</sub> als basis.

L <sub>Aeq,8h</sub> -range volgens ISO/DIS 1999.2 (in dB (A))	aantal (sub)populaties	gemiddelde waarde van L <sub>Aeq,8h</sub> (in dB (A))
> 100	2	108,0
95 - 100	8	93,9
90 - 95	1	83,0

De uitkomsten met de mediane gehoordrempel als basis zijn geheel overeenkomstig die van alle 56 beschouwde (sub)populaties. Helaas zijn er slechts weinig (sub)populaties waarop een vergelijking met HTL<sub>0,10</sub> als basis kan berusten. Beschouwen we slechts de range waarbinnen acht subpopulaties liggen (95 - 100 dB(A)) dan blijkt de gevonden gemiddelde waarde slechts een 0,5 dB(A) lager te liggen dan voor alle (sub)populaties te zamen geldt. Uit deze analyse kan dus niet de conclusie getrokken worden dat impulsgeluid meer gehoorverlies veroorzaakt dan andere exposities.

#### 4.5 Epidemiologisch onderzoek door Hohmann

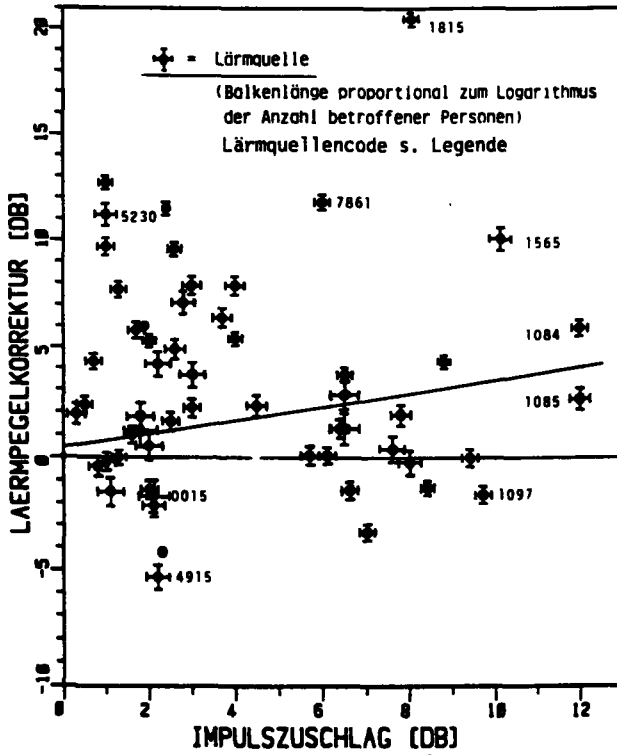
Hohmann heeft een zeer uitgebreid onderzoek verricht naar het effect op de gehoorscherpthe door expositie aan impulsgeluid op de arbeidsplaats. Hij heeft veel aandacht besteed aan de geluidmetingen door op vele arbeidsplaatsen met speciaal voor het onderzoek ontwikkelde apparatuur uitgebreid metingen te verrichten. De gehoorgegevens hebben betrekking op 261.543 personen.

Hohmann baseert zijn onderzoekresultaten op een intern binnen het onderzoek opgezet referentiekader. Na indeling van het gehele materiaal in 2662 deelgroepen naar geslacht, leeftijd, lawaaiexpositieniveau en expositietijd bepaalt hij referentiegehoorverliezen, als functie van de eerder gegeven parameters. Vervolgens maakt hij

een herindeling van de betrokken personen en bepaalt uit de gehoorschade van de (sub)populaties het volgens de opgestelde relaties bijbehorende lawaaioxpositieniveau. Het werkelijk gemeten lawaaioxpositieniveau wordt vervolgens vergeleken met het uit de gehoorschade bepaalde lawaaioxpositieniveau en het verschil wordt "Lärmpegelkorrektur" genoemd. De betrokken publikatie geeft vervolgens deze "Lärmpegelkorrektur" als functie van de impulsstoeslag (het verschil tussen het geïntegreerde niveau gemeten met de geluidmeetapparatuur in stand I en het lawaaioxpositieniveau. In figuur 33 is figuur 45 uit de publikatie van Hohmann integraal gereproduceerd. Uit figuur 33 blijkt dat er nauwelijks enige relatie bestaat tussen de "Lärmpegelkorrektur" en de impulsstoeslag, als maat voor de impulsachtigheid van een geluidssituatie.

De regressielijn, die in de figuur is ingetekend, heeft een helling van 0,29 en de helling is niet statistisch significant afwijkend van 0. Hohmann komt dan ook op basis van zijn onderzoek tot de conclusie dat het vooralsnog niet nodig is om een extra schade-lijkheid van impuls- geluid aan te nemen. Blijft echter wel, het overigens door hem niet expliciet vermelde, verschil in' gehoor- verlies door lawaai bij vergelijkbare (sub)populaties. Immers, er komen "Lärmpegelkorrekturen" voor van -5 tot +20 dB(A). Dit bete- kent dat het verschil in gehoorschade van vergelijkbare (sub)popu- laties zo groot is als een verschil in lawaaioxpositieniveau van 25 dB(A) kan veroorzaken. In hoofdstuk 6 wordt hierop ingegaan.

**Figuur 33** Het verband tussen impulstoeslag en "Lärmpegelkorrektur" volgens Hohmann (1984). De figuur 45 uit de publikatie van Hohmann is gereproduceerd om de verschillen in "Lärmpegelkorrektur" van diverse populaties te demonstreren.



0015	Abbauhammer	1815	Schmiedhammer
1084/85	Stanzmaschinen	4915	Offset-Rot.-Druckm.
1097	Schagscheren	5230	Websaal
1565	Giesserei: Auspacken	7861	Flaschenannahme

#### 4.6 Conclusies

Gebaseerd op een vergelijking van zeven recent gepubliceerde leeftijdgebonden data bases is aangetoond dat voor otologisch ongeselecteerde populaties data base ISO A kan dienen als data base met de  $0,90$ -waarden ongewijzigd, de mediane waarden verhoogd met 2 dB en de  $0,10$ -waarden verhoogd met 6 dB. Zowel data base B als de onlangs door Robinson gepubliceerde data base overschatten de leeftijdgebonden gehoordrempels van otologisch niet geselecteerde populaties die op de arbeidsplaats niet aan lawaai geëxponeerd zijn.

Uit een vergelijking van de gehoordrempels bij 4000 Hz van 56 op de arbeidsplaats aan lawaai geëxponeerde (sub)populaties met de gegevens uit ISO/DIS 1999.2 bleek dat de mediane gehoordrempels van deze (sub)populaties gemiddeld zeer goed overeenkomen met de gegevens uit ISO/DIS 1999.2 als data base A (plus correctie van 2 dB voor otologisch niet geselecteerde populaties) als leeftijdgebonden data base gekozen is. Uit de gegevens van 33 (sub)populaties blijkt dat er gemiddeld een systematisch verschil is in de  $HTL_{0,10}$ -waarden van deze (sub)populaties in vergelijking met die volgens ISO/DIS 1999.2. Dit verschil is 2 dB(A), als het uitgedrukt wordt in lawaaiexpositieniveau. Deze discrepantie kan door diverse oorzaken zijn ontstaan.

Uit een vergelijking van de gehoordrempels van (sub)populaties die aan impulsgeluid (eventueel gesuperponeerd op hoge achtergrondniveaus) zijn geëxponeerd met die van (sub)populaties die aan diverse soorten geluid zijn geëxponeerd blijkt dat er geen verschillen tussen beide gehoordrempelverdelingen zijn. Uit de analyse dient de conclusie getrokken te worden dat uit het beschikbare materiaal niet aangetoond kan worden dat gehoorschade door impulsgeluid groter is dan die door constant geluid met eenzelfde lawaaiexposi-



tieniveau.

Echter, hoewel er over het algemeen een goede overeenkomst is tussen de bij de aan lawaai geëxponeerde (sub)populaties geconstateerde gehoorverliezen en die volgens ISO/DIS 1999.2 blijkt er toch een groot verschil te bestaan tussen (sub)populaties met dezelfde karakteristieken wat betreft leeftijd en lawaaiexpositieniveau (zie de figuren 26 en 27). De reden van deze grote spreiding tussen populaties kan niet verklaard worden uit de oorspronkelijke publikaties. Hierop wordt in hoofdstuk 6 nader ingegaan.

## 5. ANALYSE VAN OUDER EPIDEMIOLOGISCH ONDERZOEK

In het verleden is door mij tweemaal een analyse uitgevoerd van in de internationale literatuur verschenen publikaties over onderzoek naar de relatie tussen gehoorschade en lawaai. De eerste analyse is gepresenteerd op een congres te Dubrovnik (Passchier-Vermeer, 1973). Het betrof daarbij een analyse van gegevens die betrekking hadden op gehoorschade door fluctuerend geluid, met nadrukkelijke uitsluiting van exposities aan impulsgeluid. Door een stringente selectieprocedure werden er elf van de meer dan honderd mogelijke relevante publikaties geselecteerd. Deze elf publikaties hadden betrekking op 20 (sub)populaties. In de betrokken publikatie kwam de moeilijkheid naar voren dat ter vergelijking van de gehoorverliezen van de twintig (sub)populaties niet duidelijk was welke dosis-effectrelaties voor constant geluid gebruikt moesten worden: de relaties gepresenteerd door Robinson (Burns en Robinson, 1968) of die door Passchier-Vermeer (Passchier-Vermeer, 1968). Gezien de resultaten uit het vorige hoofdstuk is thans vergelijking van de gehoorschade bij de twintig (sub)populaties met de gegevens uit ISO/DIS 1999.2 relevant. In de figuren 34 tot en met 39 is dan ook het mediane gehoorverlies door expositie aan lawaai van de 20 (sub)populaties vergeleken met de gegevens uit ISO/DIS 1999.2. Ter vergelijking zijn tevens de door mij destijds opgestelde curven in de figuren weergegeven. Daarbij de volgende kanttekeningen.

Ter berekening van het mediane gehoorverlies ten gevolge van expositie aan lawaai zijn van de mediane gehoordrempels die waarden van de mediane ouderdomsgehoorverliezen afgetrokken, die zijn gepubliceerd door Spoor. Aangevoerd is (Passchier-Vermeer, 1986) dat het verschil tussen de waarden gegeven door Spoor en die van data base ISO A nihil is. Dat is niet zo verwonderlijk omdat beide sets curven zijn afgeleid van dezelfde basisonderzoeken. Tevens is destijds het mediane gehoorverlies door lawaai berekend als het ver-

schil tussen het geconstateerde gehoorverlies en het mediane ouderdomsgehoorverlies, dat wil zeggen

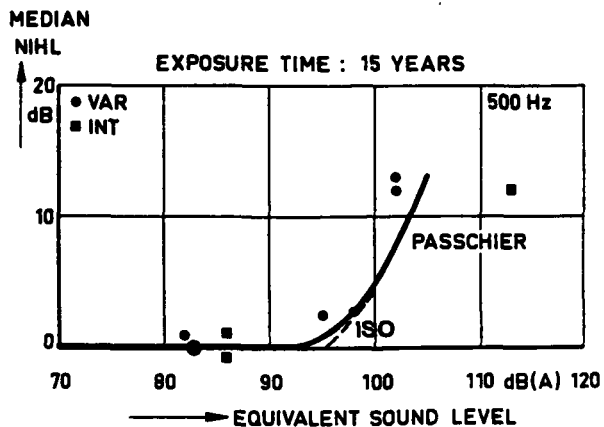
$$N' = H - A$$

In de figuren zijn derhalve de N'-waarden van de (sub)populaties getekend. Ook de curven aangegeven met Passchier betreffen N'-waarden. De ISO-curven daarentegen zijn N-waarden. Het verband tussen N en N' is:

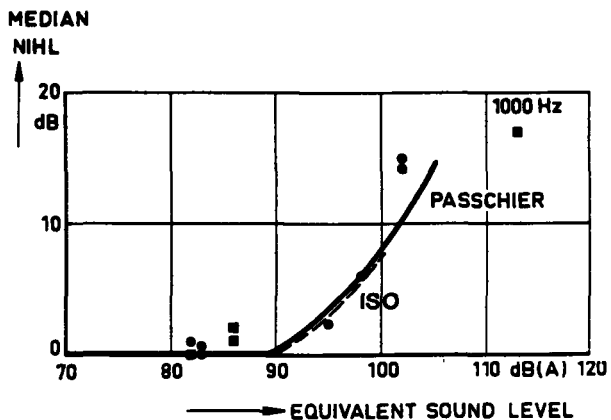
$$N = N' / (1 - A/120)$$

Bij een leeftijd van 40 jaar (gemiddeld de leeftijd van de betrokken (sub)populaties) is de term  $1/(1 - A/120)$  respectievelijk 1,02, 1,02, 1,03, 1,05, 1,07 en 1,08 bij 500, 1000, 2000, 3000, 4000 en 6000 Hz. De N-waarden van de (sub)populaties zijn derhalve maximaal 1,02 tot 1,08 maal de aangegeven N'-waarden. Bij een relatief hoge N'-waarde van 30 dB, zou N derhalve bijvoorbeeld bij 4000 Hz 32 dB zijn. Dergelijke kleine onderlinge afwijkingen zijn bij een bestudering van de resultaten niet relevant en worden derhalve hier verwaarloosd.

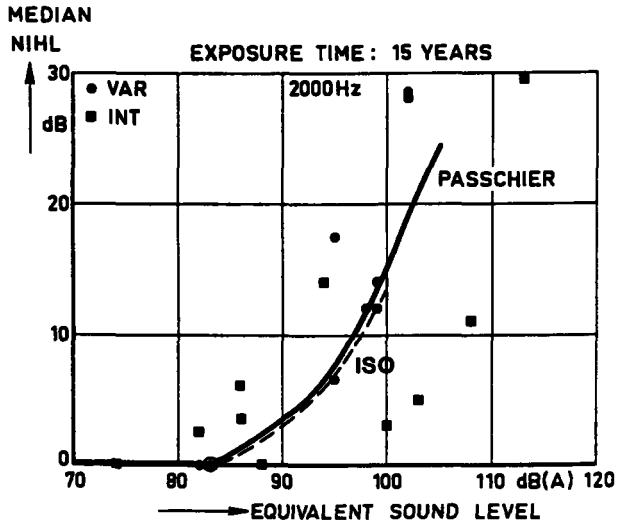
**Figuur 34** Mediaan gehoorverlies bij 500 Hz door lawaai als functie van het lawaaiexpositieniveau. De getrokken curve representeert de relatie tussen gehoorschade en lawaai, gegeven door Passchier-Vermeer. De onderbroken curve is berekend uit ISO/DIS 1999.2.



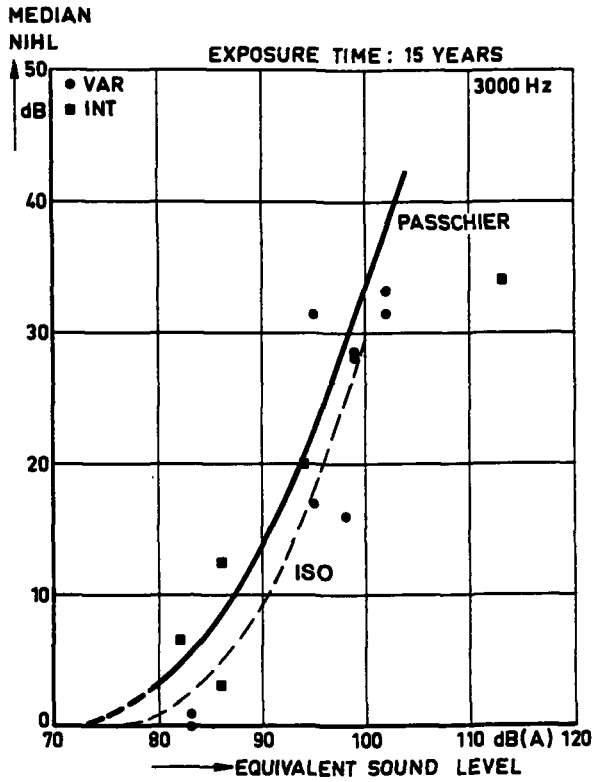
**Figuur 35** Mediaan gehoorverlies bij 1000 Hz door lawaai als functie van het lawaaiexpositieniveau. De getrokken curve representeert de relatie tussen gehoorschade en lawaai, gegeven door Passchier-Vermeer. De onderbroken curve is berekend uit ISO/DIS 1999.2.



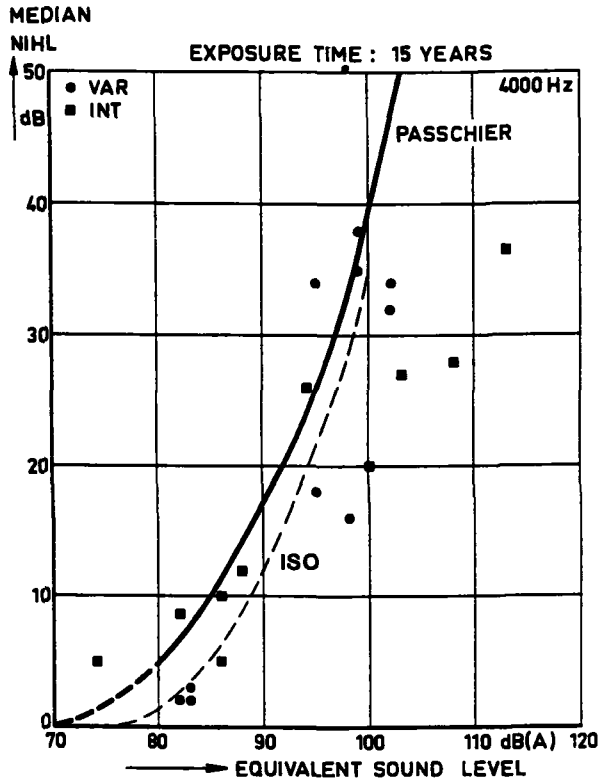
**Figuur 36** Mediaan gehoorverlies bij 2000 Hz door lawaai als functie van het lawaaiexpositieniveau. De getrokken curve representeert de relatie tussen gehoorschade en lawaai, gegeven door Passchier-Vermeer. De onderbroken curve is berekend uit ISO/DIS 1999.2.



**Figuur 37** Mediaan gehoorverlies bij 3000 Hz door lawaai als functie van het lawaaiexpositieniveau. De getrokken curve representeert de relatie tussen gehoorschade en lawaai, gegeven door Passchier-Vermeer. De onderbroken curve is berekend uit ISO/DIS 1999.2.

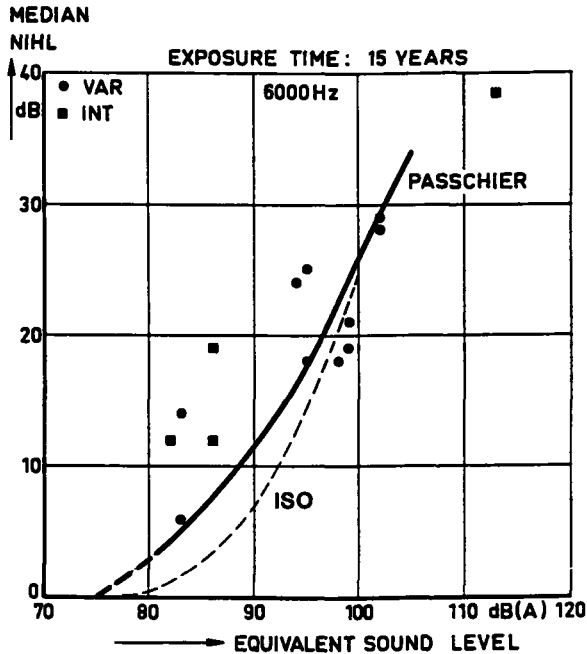


**Figuur 38** Mediaan gehoorverlies bij 4000 Hz door lawaai als functie van het lawaaiexpositieniveau. De getrokken curve representeert de relatie tussen gehoorschade en lawaai, gegeven door Passchier-Vermeer. De onderbroken curve is berekend uit ISO/DIS 1999.2.





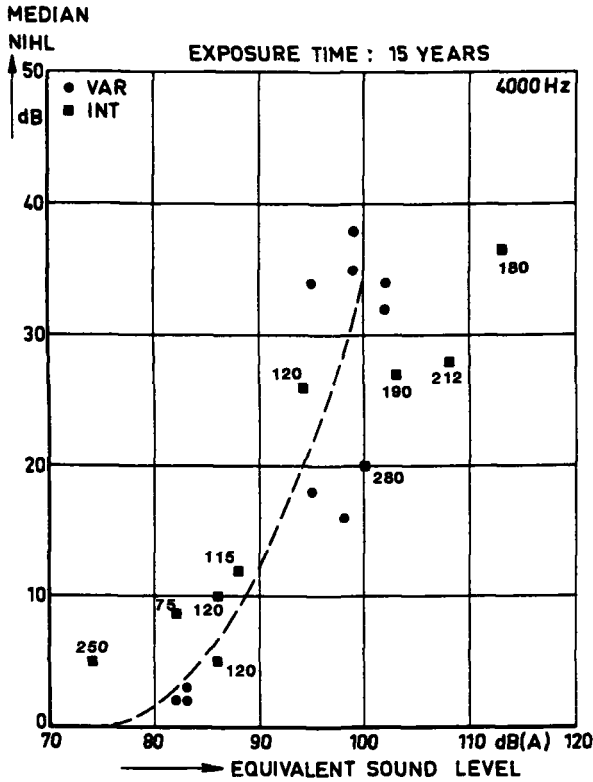
**Figuur 39** Mediaan gehoorverlies bij 6000 Hz door lawaai als functie van het lawaaiexpositieniveau. De getrokken curve representeert de relatie tussen gehoorschade en lawaai, gegeven door Passchier-Vermeer. De onderbroken curve is berekend uit ISO/DIS 1999.2.



In de figuren zijn zowel de mediane gehoorverliezen door expositie aan variërende geluidsniveaus gegeven als die door expositie aan intermitterend geluid. Daarbij werd in de publikatie gesteld dat "an attempt has been made to give a classification of the noise exposures based on details given in the papers. For the purpose of this paper a more specific definition of varying and intermittent noise is given. Intermittent noise is here defined as noise with a large difference (at least 20 dB(A) or so) between the highest and lowest sound levels where sound levels between these levels are present during a negligible time only. Varying noise is here defined as noise in which several sound levels occur in the course of time and where sound levels between the highest and lowest sound

levels are present during a considerable time." Negen van de tien bestudeerde (sub)populaties met intermitterende geluidexposities zijn geëxponeerd aan de hoge geluidniveaus gedurende meer dan twee tot vijf minuten per cyclus. Helaas wordt in de betrokken publicaties geen mededeling gedaan over de geluidniveaus tijdens de rustiger tussenliggende periodes. De duur van de exposities aan de hoge geluidniveaus varieert van 75 tot 280 minuten, dat wil zeggen van 16% tot 58% van de gehele werkdag. In figuur 40 is figuur 38 (betreffende 4000 Hz) gereproduceerd, waarbij de duur van de exposities aan de hoge geluidniveaus bij de intermitterende exposities als parameter is ingetekend en waarbij de curve, in figuur 38 aangegeven met Passchier, achterwege is gelaten.

**Figuur 40** Mediaan gehoorverlies bij 4000 Hz door lawaai als functie van het lawaaiexpositieniveau. De onderbroken curve presenteert relaties volgens ISO/DIS 1999.2. Parameter is het aantal minuten per werkdag aan de hoge intermitterende geluidniveaus.



Vergelijking van de curven gebaseerd op ISO/DIS 1999.2 met de resultaten voor de (sub)populaties geëxponeerd aan variërend geluid levert als resultaat dat voor alle frequenties geldt dat er een goede overeenkomst is tussen beide gegevens.

Met betrekking tot intermitterend geluid blijft de destijds gegeven samenvatting van kracht dat het er op lijkt dat de intermitterende exposities aan zeer hoge geluidniveaus minder schadelijk zijn dan op grond van het equivalente geluidniveau over de werkdag zou moeten worden aangenomen. In de vier betrokken gevallen betreft het intermitterende exposities aan hoge niveaus, variërend

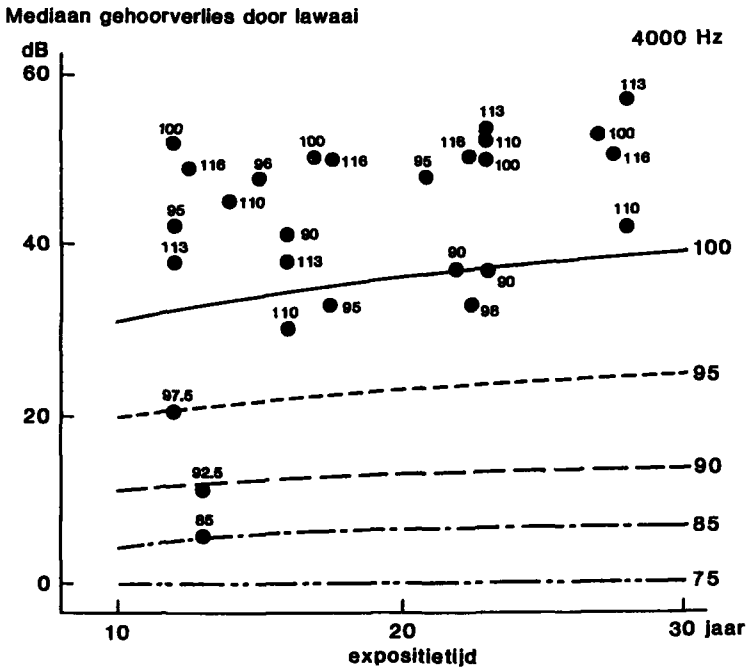
van gemiddeld 102 dB(A) tot 117 dB(A), die optreden in de mijnindustrie. Wellicht heersen er in de mijnindustrie dermate lage achtergrondgeluidniveaus dat herstel van het gehoor tussen de exposities aan de hoge niveaus mogelijk is. Betrekken we daarin de mogelijke werking van de akoestische reflex dan zou mogelijkerwijs het herstel in de rustiger perioden ruim opwegen tegen het eventueel niet in werking zijn van de akoestische reflex bij het begin van de expositie aan het hoge niveau. Voor de exposities aan lagere intermitterende geluidniveaus zou een compensatie van de tijdens expositie aan de hogere niveaus optredende effecten daarbij relatief veel geringer zijn, omdat immers deze effecten in absolute waarden veel kleiner zijn dan bij expositie aan de hoge niveaus. Daarbij zouden herstel en het niet in werking zijn van de akoestische reflex bij het begin van de exposities aan de hogere niveaus elkaar juist kunnen compenseren, zodat het netto effect op de gehoordrempel gelijk is aan het effect bij expositie aan constant geluid met hetzelfde equivalente geluidniveau.

In 1981 is op een workshop over de effecten van impulsgeluid op de gehoorscherpthe (zie von Gierke, 1981) door mij een analyse gepresenteerd over gehoorschade bij (sub)populaties die aan impulsgeluid zijn geëxponeerd (Passchier-Vermeer, 1981). Het betrof daarbij een vergelijking van onderzoekresultaten met hetzij de gegevens door Passchier-Vermeer (1968), hetzij die van Burns en Robinson (1968), afhankelijk van de wijze waarop de gegevens uit de publikaties beschikbaar waren. Immers, bijvoorbeeld Atherley (1971, 1973) presenteerde de onderzoekresultaten in een vorm waarin expositietijd en hoogte van de geluidniveaus vermengd waren zodat vergelijking met gegevens van Passchier-Vermeer niet mogelijk was. De resultaten van de analyse zijn destijds in kwalitatieve zin gegeven. Het bleek dat van de 15 onderzochte (sub)populaties er 9 meer gehoorschade en 6 evenveel gehoorschade hadden

opgelopen door expositie aan impulsgeluid als op basis van het lawaaiexpositieniveau verwacht zou moeten worden.

In het volgende zijn de gegevens uit de betrokken publikaties, die vergelijking met de gegevens uit ISO/DIS 1999.2 toelaten, vergeleken met die uit ISO/DIS 1999.2. Het betreft de resultaten uit de publikaties van Sulkowski (1980), Passchier-Vermeer (1971), Rangegrooy (1977), Ceypek (1973), Guberan (1971) en Bovenzi (1982).

**Figuur 41** Mediaan gehoorverlies bij 4000 Hz door expositie aan impulslawaai als functie van de expositietijd. Het lawaaiexpositieniveau is parameter. Tevens zijn curven volgens ISO/DIS 1999.2 opgenomen.



In figuur 41 is het mediane gehoorverlies door lawaai (N') bij 4000 Hz van de (sub)populaties uitgezet als functie van het aantal expositie jaren voor expositietijden tussen 10 en 30 jaar. Tevens zijn voor lawaaiexpositieniveaus van 75 tot 100 dB(A) de N-waarden

volgens ISO/DIS 1999.2 gegeven in stappen van 5 dB(A). (Als we aannemen dat er een verschil is van 20 jaar tussen gemiddelde leeftijd en expositietijd en we gebruiken het eerder gegeven verband tussen N en N', dan kan voor elk lawaaiexpositieniveau het verschil berekend worden tussen N en N'. Dit verschil is het grootst voor de hoogste lawaaiexpositieniveaus en is voor 100 dB(A) 4 tot 6 dB, afhankelijk van de leeftijd. Met dit verschil tussen N' en N is in het volgende geen rekening gehouden.) Er blijken slechts twee (sub)populaties beneden de ISO-curve voor 95 dB(A) te liggen. Zes (sub)populaties hebben mediane gehoorverliezen door lawaai, die tussen de ISO-curven voor 95 en 100 dB(A) liggen. Het gemiddelde lawaaiexpositieniveau van deze zes (sub)populaties is 96,8 dB(A). Het gemiddelde lawaaiexpositieniveau van de 19 (sub)populaties die boven de ISO-curve voor 100 dB(A) liggen is 106 dB(A). Op basis hiervan zou de uitspraak gerechtvaardigd zijn dat voor de beschouwde (sub)populaties niet aangetoond kan worden dat de betreffende mediane gehoorschade door impulslawaai groter is dan op basis van ISO/DIS 1999.2 verwacht mag worden. Echter, uit de lawaaiexpositieniveaus van de (sub)populaties die boven de ISO-curve voor 100 dB(A) liggen blijkt dat de range van deze niveaus van 90 tot 116 dB(A) is, waarbij er slechts weinig verschil blijkt te bestaan in de mediane gehoorverliezen door expositie aan lawaai met lawaaiexpositieniveaus van 90 en van 116 dB(A). Hierop wordt in het volgende hoofdstuk nader ingegaan.

## 6. OVERWEGINGEN

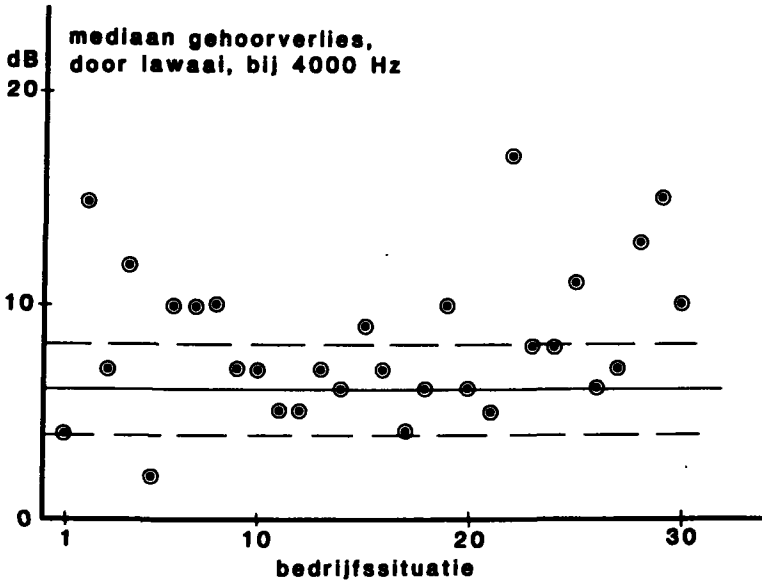
In het voorgaande is door analyse van veelsoortig beschikbaar materiaal nagegaan of het equivalente geluidniveau over een werkdag een bruikbare maat is om volgens het model gegeven in ISO/DIS 1999.2 gehoorschade door lawaai uit te schatten voor alle arbeids-situaties zoals die in de industrie voorkomen. Op basis daarvan acht ik de uitspraak gerechtvaardigd dat over het algemeen het model bruikbaar is voor de beschouwde situaties. Het mediane gehoorverlies door expositie aan lawaai en de mediane gehoordrempel kunnen over het algemeen goed geschat worden uit het model volgens ISO/DIS 1999.2. De gehoordrempel die door 10% der gehoordrempels overschreden wordt blijkt hoger te liggen dan volgens ISO/DIS 1999.2, waarbij het verschil tussen werkelijk optredende gehoordrempel en de schatting volgens ISO/DIS 1999.2 vertaald kunnen worden in een expositieniveau dat 2 dB(A) hoger ligt dan het gemeten niveau. Een dergelijke afwijking zou betrokken kunnen worden bij een bepaling van grenswaarden, wettelijke maatregelen en/of maatregelen in het kader van de preventieve gezondheidszorg.

Echter, zoals reeds hiervoor is gesteld, blijkt dat de gehoordrempels van groepen van groep tot groep sterk kunnen variëren, ook al hebben ze gelijke karakteristieken als lawaaiexpositieniveau, expositietijd en leeftijd. Dat blijkt zowel uit het werk van Hohmann (figuur 33), de analyse van recent epidemiologisch onderzoek en die van ouder onderzoek. Ook bij het opstellen van het projectvoorstel voor het onderhavige project kwam dit reeds naar voren. Bij het opstellen van het projectvoorstel van het onderhavige project is nagegaan of er op basis van de resultaten van het project preventie gehoorschade indicaties konden worden verkregen over de mogelijkheid dat het equivalente geluidniveau of lawaaiexpositieniveau niet de juiste maat zou zijn om de schadelijkheid van geluid met betrekking tot het ontstaan van gehoorverlies uit te

schatten. Daartoe zijn uit het gegevensbestand van het project preventie gehoorschade gegevens over (sub)populaties verzameld, waarbij de (sub)populaties aan een aantal criteria wat betreft leeftijd, expositietijd, lawaaiexpositieniveau en omvang, dienden te voldoen. Ten slotte zijn 30 (sub)populaties geselecteerd, waarvan in figuur 42 de mediane gehoorverliezen (N'-waarden) bij 4000 Hz, ten gevolge van expositie aan lawaai, zijn uitgezet in volgorde waarin ze tijdens het project zijn opgenomen. Het zijn alle groepen met lawaaiexpositieniveaus tussen 85 en 90 dB(A), expositietijden van 10 tot 25 jaar en leeftijden van 30 tot 45 jaar. Tevens is aangegeven het mediane gehoorverlies bij 4000 Hz door expositie aan lawaai met een expositieniveau van 85 tot 90 dB(A), evenals het 95%-betrouwbaarheidsinterval van de mediane waarde, uitgaande van de aangetroffen gemiddelde (sub)populatiegrootte (35 personen, 70 oren).



**Figuur 42** Het mediane gehoorverlies bij 4000 Hz door expositie aan lawaai van (sub)populaties uit het project preventie gehoorschade als functie van het bedrijfsnummer. Tevens aangegeven het mediane gehoorverlies door lawaai volgens de opgestelde relaties, evenals het 95%-betrouwbaarheidsinterval van dit mediane gehoorverlies.



Er blijkt een aanzienlijke spreiding in de mediane gehoorverliezen door lawaai te zijn bij de diverse (sub)populaties, die niet op statistische gronden aannemelijk te maken is. Zo komt het laagste aangetroffen mediane gehoorverlies overeen met een lawaaiexpositieniveau van 80 dB(A) en het hoogste met een lawaaiexpositieniveau van 92 dB(A).

Ook uit de in dit rapport geanalyseerde gegevens blijkt dat er aanzienlijke groepsverschillen optreden in de gehoorverliezen van ogenschijnlijk gelijke (sub)populaties en ook blijkt dat dezelfde mediane gehoorverliezen door lawaai worden veroorzaakt door lawaaiexpositieniveaus, die ver uit elkaar liggen. Beschouwen we figuur 26 uit hoofdstuk 4 dan blijkt allereerst dat gemiddeld er een goede overeenkomst is tussen de gegevens van de onderzochte

(sub)populaties en die van ISO/DIS 1999.2, zoals reeds is geconcludeerd. Echter, de range waarbinnen de geconstateerde lawaaiepositieniveaus liggen blijkt veel groter te zijn dan de klassen waarin de lawaaiepositieniveaus volgens ISO/DIS 1999.2 zijn verdeeld. In tabel 17 is naar analogie van tabel 13 de overeenkomst aangegeven tussen de gegevens van de onderzochte (sub)populaties en die van ISO/DIS 1999.2.

**Tabel 17** Spreiding in lawaaiepositieniveaus van (sub)populaties, met de mediane gehoordrempel als basis, zoals beschouwd in hoofdstuk 4.

Range van $L_{Aeq,8h}$ volgens ISO/DIS 1999.2 (in dB(A))	Range van $L_{Aeq,8h}$ van de beschouwde (sub)populaties (in dB(A))	Range van $L_{Aeq,8h}$ van de (sub)populaties, met uitzondering van de laagste en hoogste (sub)populaties (in dB(A))
> 100	98 - 108	
95 - 100	83 - 108	95 - 102
90 - 95	82 - 97	86 - 96
85 - 90	82 - 95	83 - 94
< 85	< 80 - 88	

Het blijkt voor de drie middelste klassen, dat binnen een range van het lawaaiepositieniveau volgens ISO/DIS 1999.2 van 5 dB(A) de overeenkomstige range van de onderzochte (sub)populaties groter is en in één geval zelfs 25 dB(A). Laten we per 5 dB(A)-klasse de hoogste en de laagste waarde van een (sub)populatie buiten beschouwing dan volgt, zoals gegeven in de laatste kolom van tabel 17, dat de range aanzienlijk afneemt en dan beperkt is tot ongeveer 10 dB(A), in plaats van de door ISO/DIS 1999.2 gegeven 5 dB(A).

In tabel 18 zijn op basis van de gegevens uit hoofdstuk 5, met betrekking tot exposities aan variërend en intermitterend geluid (figuur 40) ook de ranges opgenomen, waarbinnen de lawaaiepositieniveaus van de beschouwde (sub)populaties liggen. Daarbij be-

treft het in de klasse van 95 tot 100 dB(A) zes (sub)populaties en in de andere klassen drie tot vijf (sub)populaties, zodat er ternauwernood betrouwbare uitspraken mogelijk zijn. Echter, wederom is de tendens aanwezig dat de aangetroffen range groter is dan volgens de indeling met behulp van ISO/DIS 1999.2.

**Tabel 18** Spreiding in lawaaioxpositieniveaus van (sub)populaties, zoals in hoofdstuk 5 beschouwd voor intermitterende en variërende geluidexposities.

Range volgens ISO/DIS 1999.2 (in dB(A))	Aantal (sub)- populaties	Range van $L_{Aeq,8h}$ -waarden van (sub)populaties (in dB(A))
> 100	3	99 - 113
95 - 100	6	94 - 108
90 - 95	3	95 - 100
95 - 90	3	82 - 88
< 85	5	75 - 85

Tenslotte kunnen ook de gegevens uit het tweede gedeelte van hoofdstuk 5 betreffende impulsgeluidsituaties vanuit het gezichtspunt van de spreiding in lawaaioxpositieniveaus beschouwd worden. Uit figuur 41 blijkt de range van de lawaaioxpositieniveaus van de zes (sub)populaties die tussen de ISO-curven voor 95 en 100 dB(A) liggen van 90 tot 110 dB(A) te zijn. Voor de open klasse van 100 dB (A) en hoger is de range van de 19 lawaaioxpositieniveaus 90 tot 116 dB(A). Aangezien niets over de bovengrens geconcludeerd kan worden, omdat ISO/DIS 1999.2 slechts relaties geeft tot 100 dB(A), kan slechts opgemerkt worden dat de laagst aangetroffen waarden van 90 dB(A) 10 dB(A) onder de onderste grens van de klasse van meer dan 100 dB(A) liggen.

Resumerend dient derhalve gesteld te worden dat de spreiding in de mediane gehoorverliezen door lawaai bij aan lawaai geëxponeerde (sub)populaties in alle gerefereerde onderzoeken veel groter is dan volgens ISO/DIS 1999.2 verwacht zou mogen worden. In plaats

van een range van 5 dB(A) is de in de analyses aangetroffen spreiding veelal in de orde van 10 dB(A). Ook uit een hernieuwde bestudering van de oorspronkelijke publikaties konden geen achterliggende oorzaken voor deze grote spreiding in (sub)populatie-uitkomsten gevonden worden. Niettemin bestaat het vermoeden dat de achterliggende oorzaak mede gezocht moet worden in veranderingen in lawaaiexpositieniveaus die zijn opgetreden voor het begin van de betreffende onderzoeken. Immers, als ten tijde van de geluidmetingen een bepaald equivalent geluidniveau (of lawaaiexpositieniveau) wordt geconstateerd, dan moet de onderzoeker/ster veelal afgaan op het geheugen van betrokkenen met betrekking tot de situatie voor de metingen, in het verleden. Uit eigen ervaring is bekend dat de dan gegeven informatie niet altijd overeenkomt met de werkelijkheid, als toevalligerwijs deze werkelijkheid door destijds verkregen maatresultaten geverifieerd kon worden. Anderzijds is niet uit te sluiten dat de geconstateerde spreiding in de mediane gehoorverliezen van groepen ten gevolge van lawaai ook andere oorzaken heeft. Deze oorzaken kunnen echter, gezien de grote diversiteit van de onderzochte literatuurbronnen, niet opgespoord worden. Gezien de in dit rapport gepresenteerde analyses is het niet aannemelijk dat impulsgeluid in de arbeidssituatie een belangrijke oorzaak is van de geconstateerde spreiding in de groepsmedianen.

De in dit rapport gepresenteerde analyses hebben plaatsgevonden op groepsgegevens, en wel met name op de mediane gehoordrempel en de gehoordrempel, die juist overschreden wordt door 10% der gehoordrempels. Daarnaast ligt er de vraag of het equivalente geluidniveau over een representatieve werkdag ook bruikbaar is als voorspeller van gehoorschade door lawaai bij individuele werknemers. Bij een poging deze vraag te beantwoorden zijn er twee aspecten, die in dit licht herbeschouwd kunnen worden. Het eerste aspect betreft de spreiding die er optreedt in de gehoordrempels van een

groep aan lawaai geëxponeerde werknemers, die zijn geselecteerd naar leeftijd, expositietijd en lawaaiexpositieniveau. Gegevens hierover leveren bijvoorbeeld figuur 26 en figuur 27. Vergelijking van beide figuren levert zeer globaal voor de beschouwde groepen een gemiddeld verschil tussen  $HTL_{0,10}$  en  $HTL_{0,50}$  van ongeveer 20 dB. Het verschil tussen  $HTL_{0,50}$  en  $HTL_{0,90}$  is van dezelfde orde van grootte als het verschil tussen  $HTL_{0,10}$  en  $HTL_{0,50}$ . Dit houdt in dat zeer globaal het verschil tussen  $HTL_{0,90}$  en  $HTL_{0,10}$  ongeveer 40 dB is. Daarbij moet nog opgemerkt worden dat 10% van de werknemers uit een bepaalde populatie een slechter gehoor heeft dan  $HTL_{0,10}$  en 10% een beter gehoor dan  $HTL_{0,90}$ . Dit houdt in dat in extreme gevallen de gehoorscherpthe van de ene werknemer uit een bepaalde populatie wel 60 dB kan verschillen van die van een andere werknemer uit dezelfde populatie, waarbij de werknemers uit deze populatie geselecteerd zijn naar leeftijd, expositietijd en lawaaiexpositieniveau.

Het tweede aspect betreft de reeds geconstateerde verschillen tussen groepen in de mediane gehoordrempels, zelfs bij gelijke gemiddelde leeftijden, expositietijden en lawaaiexpositieniveaus. Als onbekend is of de betrokken werknemer al dan niet tot een groep behoort met relatief veel gehoorverlies, dient bij een individuele voorspelling van de gehoorschade van deze werknemer ook de geconstateerde spreiding in gehoorscherpthe tussen groepen in rekening gebracht te worden. Als voorbeeld kan gelden een vergelijking van een gemiddeld 28-jarige groep met een lawaaiexpositieniveau van 97 dB(A) en een mediane gehoordrempel van 13 dB (zie figuur 26) en een gemiddeld 32-jarige groep met een lawaaiexpositieniveau van 98 dB(A) en een  $HTL_{0,10}$ -waarde van 64 dB. Het verschil tussen  $HTL_{0,50}$  van de ene en  $HTL_{0,10}$  van de andere groep verschilt ruim 50 dB, alhoewel de groepen wat betreft leeftijd en lawaaiexpositieniveau goed overeenstemmen. Het verschil in gehoordrempel van iemand met een relatief goed gehoor uit de eerste groep met die van iemand

met een relatief slecht gehoor uit de andere groep zal waarschijnlijk tenminste 80 dB bedragen. Het ziet er derhalve niet zo waarschijnlijk uit dat uit leeftijd, lawaaiexpositieniveau en expositietijd te zamen een betrouwbare schatting gemaakt kan worden van de gehoordrempel van een individuele werknemer. Daarbij is een tweetal kanttekeningen te maken. Ten eerste zijn de in het rapport gebruikte equivalente geluidniveaus veelal gemiddeld over een aantal waarnemingen en de individuele lawaaiexpositieniveaus zullen een zekere spreiding hebben rond de in het rapport gebruikte gemiddelde waarden. Het zou daarbij kunnen zijn dat binnen een groep de grootste gehoorverliezen corresponderen met de hoogste individuele lawaaiexpositieniveaus.

Ten tweede is er een indicatie uit longitudinaal onderzoek (Howell, 1974), dat de gehoordrempel van een individuele werknemer aan het begin van zijn arbeidsleven mede bepalend is voor de gehoordrempel na een jarenlange expositie (in het gerefereerde onderzoek gemiddeld zeven jaar). Dit zou een indicatie kunnen zijn dat een combinatie van kennis van de gehoordrempel van een individuele werknemer met die van leeftijd, expositietijd en lawaaiexpositieniveau tot een nauwkeuriger schatting van de gehoordrempel op latere leeftijd, na vele jaren werken in lawaai, kan leiden dan bij het ontbreken van kennis van de gehoordrempel op een begintijdstip.

Al met al moet echter geconcludeerd worden dat het niet waarschijnlijk is dat uit verder onderzoek zal blijken dat het lawaaiexpositieniveau, in combinatie met leeftijd en expositietijd, een nauwkeurige voorspeller is van de gehoordrempel van de individuele werknemer.

7. REFERENTIES

- ABEL, S.M., C.A. HAYTHORNWAITE. The progression of noise-induced hearing loss - survey of workers in selected Canadian industries. *Journ.Otolaryng.* 13 suppl 13, 1984.
- ANDERSON, H., B. BARR and E. WEDENBERG. Intra-aural reflexes in retrocochlear lesions. In C.A. Hamberger and J. Wersäll (Eds.), *Nobel symposium 10, Disorders of the skull base region.* Almqvist & Wiksell, Stockholm, 1969, 48-54.
- ATHERLEY, G.R.C. Noise-induced hearing loss: the energy principle for recurrent impact noise and noise exposure close to the recommended limits. *Ann.Occup.Hyg.* 16 (1973), 183-192.
- ATHERLEY, G.R.C., A.M. MARTIN. Equivalent-continuous noise level as a measure of injury from impact and impulsive noise. *Ann.Occup.Hyg.* 14 (1971), 11-28.
- BERG, R. VAN DEN. Impulsgeluid in de Nederlandse industrie. Deel II. db(A)-metingen van impulsgeluid. *IMG-TNO Report B 436,* Delft, 1980.
- BERG, R. VAN DEN, D. VAN DER REE & A.A. JURRIENS. Analyse van factoren als basis voor een verbodswetgeving voor arbeidsplaatsen met een geluidexpositieniveau hoger dan 95 dB(A) en van een daaraan gekoppeld ontheffingenstelsel. *NIPG-TNO,* Leiden, 1985.
- BLAKESLEE, E.A., K. HYNSON, R.P. HAMERNIK and D. HENDERSON. Asymptotic threshold shift in chincillas exposed to impulse noise. *J.Acoust.Soc.Am.* 63 (1978), 876-882.
- BORG, E. A quantitative study of the effect of the acoustic stapedius reflex on sound transmission through the middle ear of man. *Acta Otolaryngol* 66 (1968), 461-472.
- BORG, E., J.E. ZAKRISSON. Stapedius reflex and monaural masking. *Acta Otolaryngol.* 78 (1974), 155.
- BORG, E., J.E. ZAKRISSON. The stapedius Muscle and Speech Reception. *Symp.Zool.Soc. London* 37 (1975), 51-68.
- BORG, E. Dynamic characteristics of the intra-aural muscle reflex. In S.S. Feldman and L.A. Wilber (Eds.), *Acoustic impedance and admittance. The measurement of middle ear function.* Williams and Wilkins, Baltimore, 1976, 236-299.

- BORG, E. and B. ODMAN. Decay and recovery of the acoustic stapedius reflex in humans. *Acta Otolaryngol.* 87 (1979), 421-428.
- BOVENZI, M., C. NEGRO, A. FIORITO, L. PETRONIO. Rischio di ipoacusia professionale da esposizione combinata a rumore continuo e impulsivo. *Med. Lavoro* 5 (1982), 515-525.
- BRASK, T. Extratympanic manometry in man. *Scand Audiol*, 1977, Suppl 7, 134-161.
- BURNS, W., D.W. ROBINSON. *Hearing and Noise in Industry*. Her Majesty's Stationery Office, London, 1970.
- BAUGH, W.L. Relation between daily noise exposure and hearing loss based on the evaluation of 6,835 industrial noise exposure cases. Joint EPA/USAF study, AMRL-TR-73-53, Wright-Patterson AFB, Ohio, 1973.
- CARDER, H.M., J.D. MILLER. Temporary threshold shifts (TTS) produced by noise exposures of long durations. *J. Speech Hear. Res.* 15 (1972), 603-623.
- CARGO-TNO. Inventarisatie van geluidspectra in de Nederlandse Industrie. 's-Gravenhage, 1963.
- CEYPEK, T., J.J. KUZNIARZ. Hearing loss due to impulse noise. A field study. *Proceedings of the Int. Congress on Noise as a Public Health Problem*. Dubrovnik, 1973, 219-228.
- CHABA. Proposed damage-risk criterion for impulse noise (gunfire). Rep. of Working Group 57, NAS-NRC Comm. on Hearing, Bioacoust. Biomech., Washington, D.C., 1968.
- CHUNG, D.Y. 6-kHz Notch in noise-induced hearing loss. Letter to the editor.
- COHEN, A., J.R. ANTICAGLIA, H.H. JONES. Noise-induced hearing loss. *Arch. Environ. Health* 20 (1970), 614-623.
- COLES, R.R.A., G.R. GARINTHER, D.C. HODGE, C.G. RICE. Hazardous exposure to impulse noise. *J. Acoust. Soc. Am.* 43 (1968), 336-346.
- COLES, R.R.A. Middle-ear muscle activity as a possible index of susceptibility to temporary threshold shift. *Sound*, 1969, 3, 72-74.



- DALLOS, P.J. Dynamics of the Acoustic Reflex: Phenomenological Aspects. *Journ.Acoust.Soc.Am.* 36 (11) (1964), 2175-2183.
- DALLOS, P.J. *The Auditory Periphery*. Academic Press, London/New York, 1973.
- DJUPESLAND, G., G. FLOTTORP, and F.O. WINTHER. Size and duration of acoustically elicited impedance changes in man. *Acta Otolaryngol. Suppl* 224, 1966, 220-228.
- DRISCOLL, D.P., L.H. ROYSTER. Comparisons between the median hearing threshold levels for an unscreened black non-industrial noise exposed population (NINEP) and four presbycusis data bases. *Am.Ind.Hyg.Assoc.* 45 (1984), 577-593.
- ELDREDGE, D.H. The problems of criteria for noise exposure. In D. Henderson, R.P. Hamernik, D.S. Dosanjh and J.H. Mills (Eds.), *Effects of Noise on Hearing*. Raven Press, New York, 1976.
- EPA, U.S. Environmental Protection Agency. Information on levels of environmental noise requisite to protect public health and welfare with an adequate margin of safety. Report 550/9-74-004, Washington, 1974.
- EPA, U.S. Environmental Protection Agency. Proposed OSHA occupational noise exposure regulation: Request for review and report. 39. *Fed.Reg.* 43802-43809, Washington, 1974.
- EPHRAIM, A.C. *Discontinuu lawaai*. Rapport van de Arbeidsinspectie, Voorburg, 1970.
- EVANS, W.A., H.Y. MING. Industrial noise-induced hearing loss in Hong Kong - A comparative study. *Ann.Occup.Hyg.* 25 (1) (1982), 63-80.
- FEISER, W., R. HAUF, U. HEUFT. Lärmessungen und audiometrische Untersuchungen in der holzverarbeitenden Industrie. *A.S.A.* 2 (1968), 38-43.
- FLACH, M., E. ASCHOFF. Zur Frage berufsbedingter Schwerhörigkeit beim Musiker. *Laryngologie* 43 (1966), 595-605.
- FLETCHER, J.L., A.J. RIOPELLE. Protective Effect of the Acoustic Reflex for Impulse Noises. *Journ.Acoust.Soc.Am.* 32 (1960), 401-404.
- GIERKE, H.E., von, D.W. ROBINSON, S.J. KARMY. Results of the impulse noise workshop. ISVR, Southampton, 1980.

- GJAEVENES, K., Th. SOHOEL. Reactivating the acoustic stapedius muscle reflex by adding a second tone. *Acta Otolaryngol.* 62 (1966), 213-216.
- GUBERAN, E., J. FERNANDEZ. et al. Hazardous exposure to industrial impact noise: persistent effect on hearing. *Ann.Occup.Hyg.* 14 (1971), 345-350.
- HAUSLER, R., R. SPENGLER, R. STÜRM, R. PICKEL. Gehörschadenprophylaxe in der Armee - Ergebnisse einer audiologischen Untersuchung in einer Infanterie-Rekrutenschule Schweiz. *Z. für Militär- und Katastrophenmedizin* 53 (3) (1976), 91-121.
- HAMERNIK, R.P., D. HENDERSON. Impulse noise trauma: A study of histological susceptibility. *Arch.Otolaryngol.* 99 (1974), 118-121.
- HAMERNIK, R.P., D. HENDERSON, D. COLING, N. SLEPECKY. The interaction of whole body vibration and impulse noise. *J.Acoust. Soc.Am.* 67 (1980), 928-934.
- HAMERNIK, R.P., D. HENDERSON, J.J. CROSSLEY, R.J. SALVI. Interaction of continuous and impulse noise. Audiometric and histological effects. *J.Acoust.Soc.Am.* 55 (1974), 117-121.
- HENDERSON, D., R.P. HAMERNIK. Impulse-noise: The effects of intensity and duration on the production of hearing loss. *Proc. 8th Int.Congr.on Acoust.*, 1974.
- HENDERSON, D., R.P. HAMERNIK. Impulse noise-induced hearing loss: An overview. In *Noise and Audiology*. D.M. Lipscomb (Ed.). University Baltimore, 1978, 143-166.
- HENDERSON, D., R.P. HAMERNIK, K. HYNSON. Hearing loss from simulated work-week exposure to impulse noise. *J.Acoust.Soc.Am.* 65 (1979), 1231-1237.
- HENDERSON, D., R.P. HAMERNIK. Asymptotic threshold shift from impulse noise. In *New Perspectives on Noise-Induced Hearing Loss*, R.P. Hamernik, D. Henderson and R.J. Salvi (Eds.), Raven, New York, 1982, 265-281.
- HENDERSON, D., R.J. SALVI, R.P. HAMERNIK. Is the equal energy rule applicable to impact noise? *Scand.Audiol. Suppl.* 16 (1982), 71-82.
- HENDERSON, H., R.P. HAMERNIK. Impulse noise: Critical review. *J. Acoust.Soc.Am.* 80 (2) (1986), 569-584.

- HETU, R. Temporary threshold shift and the time pattern of noise exposure. Canadian Acoustics, 10 (1982), 36-44.
- HILDING, D.A. The protective value of the stapedius reflex: An Experimental study. Trans Am Acad Ophtal Otolaryngol., 65 (1961), 297-307.
- HOHMANN, B.W. Untersuchungen zur Gehörschädlichkeit von Impuls-lärm. Diss. ETH nr. 7504, Zürich, 1984.
- HOLMGREN, G., L. JOHANSSON, B. KYLIN, O. LINDE. Noise and hearing of a Population of Forest Workers. Br.Ac.Soc.Spec.Vol.no. 1, 1971.
- HOWELL, R.W. A seven-year review of measured hearing levels in male manual steelworkers with high initial thresholds. Br.Journ.Ind.Med. 35 (1978), 27-31.
- INTERSOCIETY COMMITTEE. Guidelines for noise exposure control. Amer.Ind.Hyg.J. (1967), 418-424.
- IRION, H., R. ROSSNER, H. LAZARUS. Entwicklung des Hörverlustes in Abhängigkeit von Lärm, Alter und anderen Einflüssen. Bundesanstalt für Arbeitsschutz. Forschungsbericht nr. 370, Dortmund, 1983.
- ISO R 1999. Acoustics-Assessment of occupational noise exposure for hearing conservation purposes. Geneva, 1975.
- ISO/DIS 1999.1. Acoustics-Determination of occupational noise exposure and estimation of noise-induced hearing impairment. Geneva, 1981.
- ISO/DIS 1999.2. Acoustics-Determination of occupational noise exposure and estimation of noise-induced hearing impairment. Geneva, 1985.
- JIRAK, Z., B. MAUTNER, J. KOSTAL, A. ANDEL, C. LOSERT. Lärmherschäden bei Bergleute des Ostrau-Karwiner Kohlenreviers. Int.Arch.Arb.Med. 28 (1971), 49-61.
- JOHANSSON, B., B. KYLIN, M. LANGFY. Acoustic reflex as a test of individual susceptibility to noise. Acta Otolaryngol. 64 (1967), 256-262.
- KAPLAN, H.J., S. GILMAN, D.D. DIRKS. Dynamic properties of acoustic reflex adaption. Trans.Am.Acad.Ophtal.Otolaryngol. 82 (1976), 368-374.

- KATO, T. Zur Physiologie der Binnenmuskeln des Ohres. Pflügers Arch. 150 (1913), 569-625.
- KOBRAK, H.G., J.R. LINDSAY, H.B. PERLMAN. Experimental observations on the question of auditory fatigue. Laryngoscope 11 (1941), 798-810.
- KUIPER, J.P. Gehoorbeschadiging bij machinale houtbewerkers. Rapport van de Arbeidsinspectie, Voorburg, 1968.
- LALANDE, N.M., R. HETU. Recovery of the acoustic reflex response as a function of noise exposure and quiet interval. Can. Acoust. 10 (1982), 19-28.
- LEEuw, A.R. Impulsgeluid in de Nederlandse industrie. Deel I. Overzicht van een honderdtal metingen in fabrieken. IMG-TNO Rapport B 435, Delft, 1980.
- LEEuw, R., R. VAN DEN BERG. Impulse noise in the Netherlands Industry. IMG-TNO Report B 472, Delft, 1981.
- LEHNHARDT, E., J. BUCKING. Lärmpausen - eine Möglichkeit zur Prophylaxe der Lärmschwerhörigkeit. Int.Arch.Gewerbepath. Gewerbehyg. 25 (1968), 65-74.
- LIDÉN, G., E. NILSSON, O. LAASKINEN, B.E. ROOS, J. MILLER. The stapedius reflex and motor reaction time: A parallel investigation of the effect of drugs. Scand Audiol 3 (1974), 73-80.
- LINDEMAN, H.E., M.M. VAN DER KLAUW, F.A. PLATENBURG-GITS. Hearing acuity in male adolescents (young adults) at the age of 17 to 23 years. Audiology 26 (1987), 65-78.
- LÜSCHER, E. Die Funktion des Musculus stapedius beim Menschen. Z. Hals Nas Ohrheilk 25 (1930), 462-478.
- LUTMAN, M.E., A.M. MARTIN. Adaptation of the acoustic reflex to combinations of sustained steady state and repeated pulse stimuli. J Sound Vibr 56 (1978), 137-150.
- LUZ, G.A., D.C. HODGE. The recovery from impulse noise-induced TTS in monkeys and men: A descriptive model. J.Acoust.Soc. Am., 49 (1971), 1770-1777.
- McROBERT, H., W.D. WARD. Damage-risk criteria: The trading relation between intensity and the number of nonreverberant impulses. J.Acoust.Soc.Am. 53 (1973), 1297-1300.

- MELNICK, W. Human temporary threshold shift from 16-hours noise exposures. Arch.Otolaryngol. 100 (1974), 180-189.
- MELNICK, W., M. MAVES. Asymptotic threshold shift (ATS) in man from 24-hour exposure to continuous noise. Ann.Otol.Rhinol. Laryngol. 83 (1974), 820-829.
- METZ, O. Studies on the contraction of the tympanic muscles as indicated by changes in the impedance of the ear. Acta Otolaryngol. 39 (1951), 397-405.
- MILLER, J.D. Audibility curve of the chincilla. J.Acoust.Soc.Am. 48 (1970), 513-523.
- MILLS, J.H. Threshold shifts produced by a 90-day exposure to noise. In Effects of Noise on Hearing. D. Henderson, R.P. Hamernik, D.S. Dosanjh and J.H. Mills (Eds.). Raven Press, New York, 1976.
- MILLS, J.H., R.W. GENDEL, C.S. WATSON, J.D. MILLER. Temporary changes of the auditory system due to exposure to noise for one or two days. J.Acoust.Soc.Am. 48 (1970), 524-530.
- NIELSEN, D.W. Asymptotic threshold shift in the squirrel monkey. In New Perspectives on Noise-Induced Hearing Loss. R.P. Hamernik, D. Henderson and R.J. Salvi (Eds.). Raven Press, New York, 1982, 303-319.
- NILSSON, P., S. ARLINGER. International symposium on effects of impulse noise on hearing. Scand.Audiology, suppl. 12, (1980).
- NILSSON, R. The role of the acoustic reflex in industrial noise exposure. Thesis University of Göteborg, 1983.
- NIOSH, U.S. Dept. Health, Education, and Welfare. National Institute for Occupational Safety and Health. Criteria for a recommended standard: Occupational exposure to noise. HSM 73-11001, Washington, 1972.
- OSHA, U.S. Dept.Labor, Occupational Safety and Health Administration. Occupational noise exposure. Fed.Reg. 36, 10466 and 10518, Washington, 1971.
- PASSCHIER-VERMEER, W. Hearing loss due to exposure to steady-state broadband noise. Report 35, IG-TNO, Delft, 1968.

- PASSCHIER-VERMEER, W. Steady-state and fluctuating noise; its effect on the hearing of people. Br.Acoust.Soc.Spec. Vol. 1 (1971), 15-33.
- PASSCHIER-VERMEER, W. Steady-state and fluctuating noise: its effect on the hearing of people. In Occupational Hearing Loss, D.W. Robinson (Ed.). Academic Press, New York and London, 1971.
- PASSCHIER-VERMEER, W. Noise-induced hearing loss from exposure to intermittent and varying noise. In Proceedings of the International Congress on Noise as a Public Health Problem. EPA Report 550/9-73-008, Washington, 1973.
- PASSCHIER-VERMEER, W. Measurements of impulse noise at workplaces: relation between oscilloscopic measurements and measurements with an ordinary precision sound level meter. Scand.Aud.Suppl. 12 (1980), 85-97.
- PASSCHIER-VERMEER, W. The effect of hearing on longterm exposure to impulse noise at workplaces. IMG-TNO report 81-76. Delft, 1981.
- PASSCHIER-VERMEER, W. Measurement and rating of impulse noise in relation to noise-induced hearing loss. Proceedings of the Fourth International Congress on Noise as a Public Health Hazard. Volume 1, Torino, 1983, 143-157.
- PASSCHIER-VERMEER, W., A.J.M. ROVEKAMP. Transversaal gehooronderzoek bij referentiegroepen ten behoeve van gehooronderzoek in de bouw. IMG-TNO, Delft, 1984.
- PASSCHIER-VERMEER, W. De relatie tussen gehoorverlies en leeftijd. NIPG-TNO. Report 87030, Leiden, 1987.
- PASSCHIER-VERMEER, W. Gehoorschade door lawaai, I. NIPG-TNO. Report 87032, Leiden, 1987.
- PASSCHIER-VERMEER, W. Hearing threshold levels and noise-induced hearing loss in the building industry, in relation to hearing threshold levels of reference groups. NIPG-TNO. Report 88044, Leiden, 1988.
- PFANDER, F. Das Knalltrauma. Springer, Berlin, 1975.
- PFANDER, F., H. BONGARTZ, H. BRINKMAN, H. KIETZ. Danger of auditory impairment from impulse noise: A comparative study of the CHABA damage-risk criteria and those of the Federal Republic of Germany. J.Acoust.Soc.Am. 67 (1980), 628-633.

- PFEIFFER, B.H., J.H. MAUE. Impuls-Lärmbelastung in Bauberufen. Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit. Report 4/85, Sankt Augustin, 1985.
- PRESSEL, G. Hörschaden durch Lärm bei Ladearbeitern eines grossen zivilen Flughafens. Int.Arch.Arbeitsmed. 26 (1970), 231-249.
- PROSSER, S., M.C. TARTARI, E. ARSLAN. Hearing loss in sports hunters exposed to occupational noise. Br.Journ.Audiol. 22 (1988), 85-91.
- RABINOWITZ, W.M. Acoustic-reflex effects on the input admittance and transfer characteristics of the human middle ear. Thesis. Massachusetts Institute of Technology, 1977.
- RANGELROOY, P., VAN. Gehoorverlies door impulsvormig geluid in de industrie. Lab. voor Technische Natuurkunde. Afstudeerverslag. Delft, 1977.
- ROBINSON, D.W., J.P. COOK. The quantification of noise exposure. NPL Aero Report Ac 31, Teddington, 1968.
- ROBINSON, D.W., G.J. SUTTON. A comparative analysis of data on the relation of pure-tone audiometric thresholds to age. NPL. Acoustics Report Ac 84, Teddington, 1978.
- ROBINSON, D.W. Noise exposure and hearing. A new look at the experimental data. ISVR, University of Southampton. Research Report no 1/1987, Southampton, 1987.
- ROBINSON, D.W. Threshold of hearing as a function of age and sex for the typical unscreened population. Br.Journ.Audiol. 22 (1988), 5-20.
- ROVEKAMP, A.J.M., W. PASSCHIER-VERMEER. Anamnese tijdens gehooronderzoek bij de uitvoering van een gehoorbeschermingsprogramma. NIPG-TNO, Report 88045, Leiden, 1987.
- SATALOFF, J., R.T. SATALOFF, H. MENDUKE et al. Hearing loss and intermittent noise exposure. Journ.Occ.Med. 26 (9) (1984), 649-656.
- SATALOFF, J., L. VASSALO, H. MENDUKE. Hearing loss from exposure of interrupted noise. Arch.Environ.Health 18 (1969), 972-981.

- SCHMIDEK, M., T. HENDERSON, B. MARGOLIS. Evaluation of proposed limits for intermittent noise exposures with temporary threshold shift as a criterion. *Am.Ind.Hyg.Assoc.J.*, 33 (1972), 543-546.
- SCHMIDEK, M., B. MARGOLIS, T.L. HENDERSON. Effects of the level of noise interruptions on temporary threshold shift. *Am. Ind.Hyg.Assoc.J.*, 36 (1975), 351-357.
- SCHNEIDER, E.J., J.E. MUTCHLER, H.R. HOYLE, E.H. ODE, B.B. HOLDER. The progression of hearing loss from industrial noise exposure. *Amer.Ind.Hyg.Ass.J.* 31 (1970), 368-376.
- SCHRÖDER, K., E. REMPT. Untersuchungen zum Lärmpausenproblem. *Lärmbekämpfung* 6 (1962), 142-143.
- SCHWETZ, F., R. DONNER, G. LANGER, M. HAIDER. Experimentelle Hörermüdung und ihre Rückbildung unter Ruhe- und Lärmbedingungen. *M. Schrift Ohrenheilk.Laryng.Rhinol.* 104 (1970), 162-167.
- SMOORENBURG, G.F. Grenswaarden voor impulsvormige geluidbelasting ter voorkoming van gehoorverliezen. IZF-TNO, rapport 1977-19. Soesterberg, 1977.
- SMOORENBURG, G.F. Damage Risk Criteria for Impulse Noise. Report IZF 1980-26. Inst. for Perception, TNO Soesterberg, 1980.
- SULKOWSKI, W.J. Hearing impairment caused by impulse noise: survey in the drop forging industry. *Scand.Aud.Suppl.* 12 (1980).
- SULKOWSKI, W.J. Private communication to Lempert, B., (1980).
- SOKOLOWSKI, A. The protective action of the stapedius muscle in noise-induced hearing loss in cats. *Arch Ohr Nas Kehlkopfheilk* 203 (1973), 289-309.
- SPOENDLIN, H. Anatomical changes following various noise exposures. In *Effects of Noise on Hearing*, D. Henderson, R.P. Hamernik, D.S. Dosanjh and J.H. Mills (Eds.). Raven, New York 1976, 69-90.
- SZANTO, Cs., M. IONESCU. Influence of age and sex on hearing threshold levels in workers exposed to different intensity levels of occupational noise. *Audiology* 22 (1983), 339-356.
- TARUYA, T. Studies on the function of the intrinsic ear muscles. *Hiroshima J Med Sci* 2 (1953), 245-257.



- TARUYA, T. Studies on the function of the intrinsic muscles. Second report. Studies on the function of the stapedius muscle in the rabbit. Hiroshima J Med Sci 2 (1954), 351-360.
- TAYLOR, W., J. PEARSON, A. MAIR, W. BURNS. Study on noise and hearing in Jute Weaving. Journ.Ac.Soc.Am. 37 (1964), 113-120.
- TAYLOR, W., J. PEARSON, A. MAIR. The hearing threshold levels of dental practitioners exposed to air turbine drill noise. Br.Dent.Journ. (1965), 206-210.
- TAYLOR, W., B. LEMPERT, P. PELMEAR et al. Noise levels and hearing thresholds in the drop forging industry. J.Acoust.Soc.Am. 76 (1984) (3), 807-819.
- THIERY, L., C. MEYER-BISCH. Hearing loss due to partly impulsive industrial noise exposure. Submitted for publication to J.Acoust.Soc.Am.
- TIETZE, G. Zum Zeitverhalten des Akustischen Reflexes bei Reizung mit Dauertönen. Arch Ohr Nas Kehlkopfheilk. 193 (1969), 43-52.
- WARD, W.D., A. GLORIG, D.L. SKLAR. Dependence of temporary threshold shift at 4 kc on intensity and time. J.Acoust.Soc.Am. 30 (1958), 944-953.
- WARD, W.D., A. GLORIG, D.L. SKLAR. TTS from octave-band noise: applications to damage-risk criteria. J.Acoust.Soc.Am. 31 (1959), 522-528.
- WARD, W.D., A. GLORIG, D.L. SKLAR. TTS produced by intermittent exposure to noise. J.Acoust.Soc.Am. 31 (1959), 791-794.
- WARD, W.D., A. GLORIG, D.L. SKLAR. Relation between recovery from TTS and duration of exposure. J.Acoust.Soc.Am. 31 (1959), 600-602.
- WARD, W.D., A. GLORIG, W. SELTERS. TTS in a changing noise level. J.Acoust.Soc.Am. 32 (1960), 235-237.
- WARD, W.D. Recovery from high values of temporary threshold shift. J.Acoust.Soc.Am. 32 (1960), 497-500.
- WARD, W.D., W. SELTERS, A. GLORIG. Exploratory studies on temporary threshold shift from impulses. J.Acoust.Soc.Am. 33 (1961), 781-793.

- WARD, W.D. Studies on the aural reflex. II Reduction of TTS from intermittent noise by reflex activity; Implications for damage risk criteria. *J.Acoust.Soc.Am.* 34 (1962), 234-241.
- WARD, W.D. Effect of temporal spacing on temporary threshold shift from impulses. *J.Acoust.Soc.Am.* 34 (1962), 1230-1232.
- WARD, W.D. The use of TTS in the derivation of damage risk criteria for noise exposure. *Int. Audiol* 5. (1966), 309-313.
- WARD, W.D. TTS and damage-risk criteria for intermittent noise exposures. *J.Acoust.Soc.Am.* 48 (1970) (part 2), 561-574.
- WARD, W.D., D.A. NELSON. On the equal energy hypothesis relative to damage-risk criteria in the chincilla. In *Occupational Hearing Loss*, D.W. Robinson (Ed.). Academic Press London and New York, 1971.
- WARD, W.D., E.M. CUSHING, E.M. BURNS. Effective quiet and moderate TTS: Implications for noise exposure standards. *J.Acoust. Soc. Am.* 59 (1976), 160-165.
- WAUDBY, C. Hearing threshold levels according to age. *Br.Journ. Audiology* 18 (1984), 55-57.
- WERSALL, R. The tympanic muscles and their reflexes. *Acta Otolaryngol.*, 1958, Suppl. 139, 43-48.
- WILSON, J.P., J.R. JOHNSTONE. Basilar membrane and middle ear vibration in guinea pig measured by capacitive probe. *J. Acoust.Soc.Am.* 57 (1975), 705-723.
- ZAKRISSON, J.E. The role of the stapedius reflex in poststimulatory auditory fatigue. *Acta Otolaryngol.* 79 (1975), 1-10.
- ZAKRISSON, J.E. The effect of the stapedius reflex on attenuation and poststimulatory auditory fatigue at different frequencies. *Acta Otolaryngol. Suppl.* 360 (1979), 118-121.
- ZAKRISSON, J.E., E. BORG, S. BLOM. The acoustic impedance change as a measure of stapedius muscle activity in man. A methodological study with electromyography. *Acta Otolaryngol.* 78 (1975), 357-365.

## **BIJLAGEN**

## BIJLAGE 1

### DEFINITIES EN BEGRIPPEN

In het hiernavolgende is een aantal definities en begrippen tesa-  
mengevoegd.

#### GELUID

Geluid bestaat uit verdichtingen en verdunningen in de lucht, die zich vanaf een geluidbron in alle richtingen voortplanten. Op een bepaalde plaats gaat geluid gepaard met drukvariaties rond de atmosferische druk. Deze drukvariaties kunnen als functie van de tijd mathematisch beschreven worden als de som van een of meer sinusfuncties. Van het mathematisch eenvoudigste geluid - een zuivere toon - kan de geluiddrukvariatie beschreven worden met één sinus als functie van de tijd.

#### FREQUENTIE

Het aantal drukvariaties per seconde is de frequentie van een toon en wordt uitgedrukt in hertz (afgekort Hz). De frequentie is bepalend voor de toonhoogte: een hoge toon (4000 Hz) klinkt snerpand, piepend en een lage toon (200 Hz) klinkt als gebrom.

#### GELUIDDRUKNIVEAU

Naast de frequentie van een toon kan ook de sterkte van een toon worden onderscheiden. De sterkte van een toon kan worden uitgedrukt in het geluiddrukniveau. Net zoals bij een elektrische wisselstroom (ook een sinus als functie van de tijd) de effectieve stroomsterkte wordt bepaald, zo wordt bij geluid de effectieve geluiddruk bepaald. In de praktijk lopen de effectieve geluiddrukken ( $p_{\text{eff}}$ ) uiteen van minder dan 20  $\mu\text{Pa}$  tot meer dan 200 Pa, dat wil zeggen meer dan een factor  $10^7$  (10 miljoen). Daarom gebruikt men in de akoestiek niet de effectieve geluiddruk, maar een loga-

rithmische maat van deze druk ten opzichte van een referentiedruk. Deze referentiegeluiddruk (20  $\mu\text{Pa}$ ) heeft men zo gekozen dat een 1000 Hz-toon met een dergelijke effectieve geluiddruk gemiddeld juist gehoord wordt door iemand met een normaal gehoor. Het resultaat is dan het geluiddrukkniveau en wordt uitgedrukt in decibel (afgekort dB) ten opzichte van 20  $\mu\text{Pa}$ .

In formule

$$L = 10 \log \frac{p^2_{\text{eff}}}{p^2_0} \quad \text{dB}$$

( $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$ )

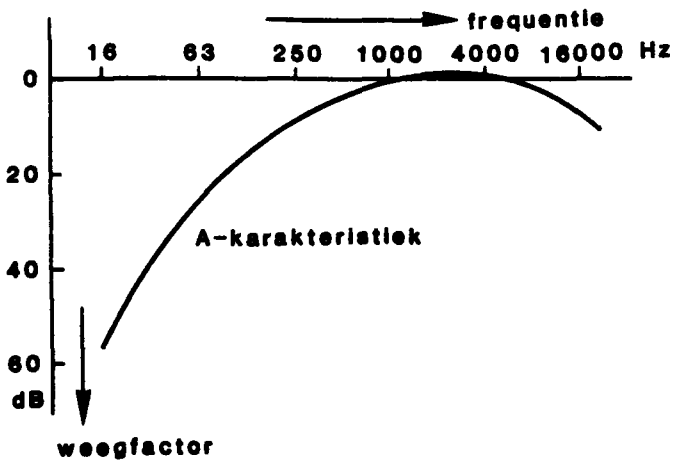
In het algemeen kan geluid mathematisch worden voorgesteld als de som van tonen met verschillende frequenties en effectieve geluiddrukken. Van een samengesteld geluid kan dan ook zowel het totale geluiddrukkniveau als de geluiddrukkniveaus in bepaalde frequentiegebieden bepaald worden. Bij aaneengesloten gebieden levert dit een frequentiespectrum of geluidsspectrum op. Kiest men de frequentiegebieden een octaaf breed, dan spreekt men van een octaafbandspectrum.

#### GELUIDNIVEAU

Het gehoororgaan van de mens is niet even gevoelig voor geluiden met hetzelfde geluiddrukkniveau, maar met verschillende frequenties. Om met deze gehoorgevoeligheid rekening te houden maakt men bij het meten van geluid vaak gebruik van een filter, dat de geluiddrukkniveaus bij de verschillende frequenties ongeveer zo waardeert in sterkte, als ons gehoor dat ook doet. Dit is een filter met een zogenaamde A-karakteristiek. In figuur 1.1 is deze A-karakteristiek grafisch weergegeven.

Meet men het geluiddrukkniveau van een geluid, terwijl men de A-weging toepast dan noemt men het resultaat het geluidniveau in dB(A).

Figuur 1.1 Frequentieweging van geluid.



#### EQUIVALENT GELUIDNIVEAU

Varieert de sterkte van geluid in de loop van de tijd, dan bepaalt men in de akoestiek voor vele toepassingen het zogenaamde equivalente geluidniveau over een bepaalde periode. Dit kan in formule als volgt worden weergegeven:

$$L_{AeqT} = 10 \lg \frac{1}{T} \int_0^T \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt \quad \text{dB(A)}$$

Daarbij is  $L_{AeqT}$  het equivalente geluidniveau over de periode  $T$  en  $p_A(t)$  de A-gewogen geluiddruk die op tijdstip  $t$  aanwezig is. In feite is het equivalente geluidniveau over periode  $T$  gelijk aan het niveau van de effectieve geluiddruk over dezelfde periode.

## EQUIVALENT GELUIDNIVEAU BIJ EEN WERKZAAMHEID

$L_{Aeqw}$  = equivalent geluidniveau bij een werkzaamheid.

$L_{Aeqw}$  is het equivalente geluidniveau dat tijdens een werkzaamheid ter plaatse van een werknemer geregistreerd wordt, waarbij de werknemer hetzij een vaste plaats inneemt, hetzij mobiel is.

## GELUIDEXPOSITIENIVEAU/LAWAAIEXPOSITIENIVEAU

$L(EX) = L(EX,8h) = L(Aeq,8h)$  = equivalent geluidniveau over een representatieve werkdag. De duur van de werkdag is genormeerd op 8 uur.

Het geluidexpositieniveau van een werknemer of groep werknemers is het equivalente geluidniveau waaraan de (groep) werknemer(s) op een representatieve werkdag (van 8 uur) is geëxponeerd.

## MEETTIJD

De meettijd is de tijd waarover het geluidniveau wordt gemeten.

## BEOORDELINGSTIJD

De beoordelingstijd is de tijd waarover het equivalente geluidniveau van een werkzaamheid, gemeten of berekend, wordt vastgesteld. Deze bedraagt minimaal 10 minuten; is de periodiciteit van een geluidpatroon meer dan 10 minuten, dan is de beoordelingstijd gelijk aan de periodetijd van het geluidpatroon.

## VERBLIJFTIJD

De verblijftijd is de tijd dat een (groep) werknemer(s) op een bepaalde arbeidsplaats verblijft, of de tijd dat de werknemer met een bepaalde werkzaamheid bezig is, al dan niet op dezelfde plaats.

## GEHOORDREMPEL

De gehoordrempel van een persoon, zoals die wordt vastgesteld met

behulp van een audiometer, waarbij de betreffende persoon testtonen te horen krijgt via een hoofdtelefoon. De gehoordrempel wordt uitgedrukt in dB (re ISO 389). Een gehoordrempel van x dB is identiek aan een gehoorverlies van x dB. Beide termen kunnen door elkaar gebruikt worden.

#### GEHOORDREMPELS VAN GROEPEN PERSONEN

De fractielen van de verdeling van de gehoordrempels van groepen aan lawaai geëxponeerde personen wordt aangegeven met de symbolen  $H_x$ , waarbij  $H_x$  de waarde is waarboven 100x % der gehoordrempels ligt.  $H_{0,50}$  is de mediane gehoordrempel. In plaats van H wordt ook wel HTL gebruikt, hetgeen een afkorting is van hearing threshold level.

De fractielen van de verdeling van de gehoordrempels van referentiegroepen, dat wil zeggen groepen personen die op de arbeidsplaats niet aan lawaai zijn geëxponeerd, worden aangegeven met de symbolen  $A_x$ , waarbij  $A_x$  de waarde is waarboven 100x % der gehoordrempels ligt.  $A_{0,50}$  is de mediane gehoordrempel van een referentiegroep.

#### GEHOORSCHADE DOOR LAWAAI

Gehoorschade door lawaai wordt uitgedrukt in het symbool N. Voor een aan lawaai geëxponeerde populatie geldt

$$H = A + N - AN/120$$

Bovenstaande formule geldt voor overeenkomstige fractielen van A, H en N.

#### EXPOSITIETIJD

Het aantal jaren dat een werknemer aan lawaai op de arbeidsplaats is geëxponeerd. De expositietijd wordt aangegeven met het symbool T (in jaren).

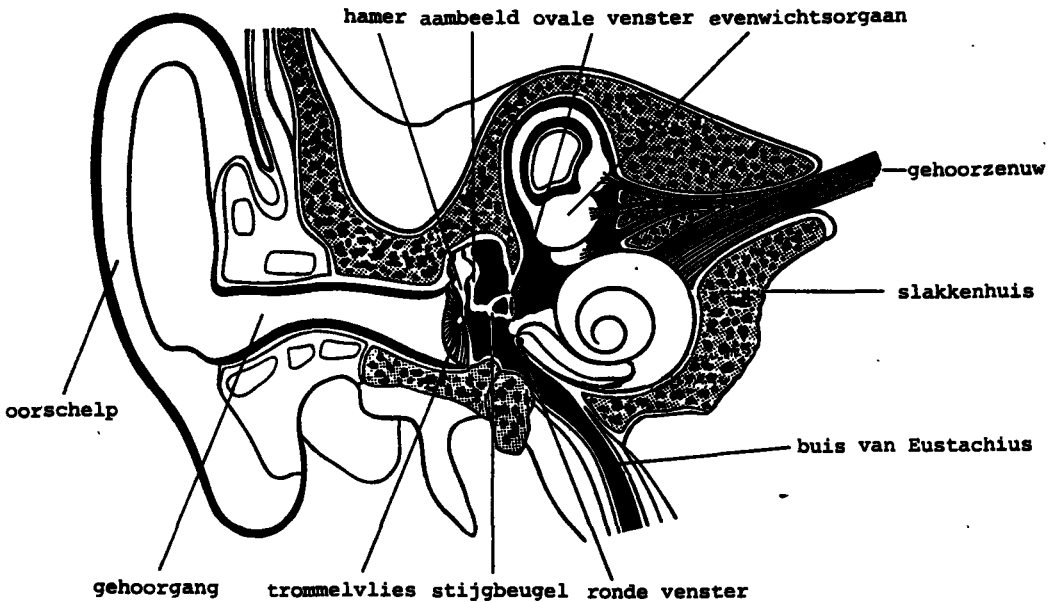


## BIJLAGE 2

### WERKING VAN HET GEHOOR

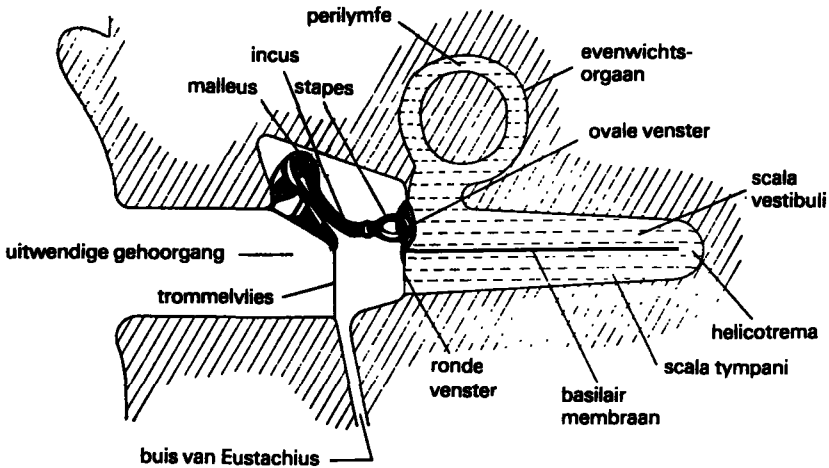
In het kort kan het horen van geluid als volgt worden voorgesteld. Geluid bereikt onze oorschelp (zie figuur 2.1). Via de uitwendige gehoorgang bereiken de geluidgolven het trommelvlies en brengen dit in trilling en deze trillingen worden in het middenoor doorgegeven via een keten van gehoorbeentjes aan het binnenoor. Daar wordt het binnenkomende signaal omgezet in zwakke elektrische stroompjes, die via de gehoorzenuw vervolgens naar de hersenen worden geleid. Dan nemen we het geluid waar en interpreteren deze geluidwaarneming.

Figuur 2.1 Het gehoororgaan.



Aan deze simpele beschrijving van de geluidwaarneming zit meer vast. In feite is de geluidwaarneming een heel ingewikkeld proces, waarnaar nog steeds bij voortdoring onderzoek wordt verricht. In het vervolg wordt gedetailleerder ingegaan op de hiervoor gegeven eenvoudige beschrijving. Daarbij is in figuur 2.2 het oor schematisch weergegeven, waarbij het slakkenhuis (cochlea) uitgerold is getekend.

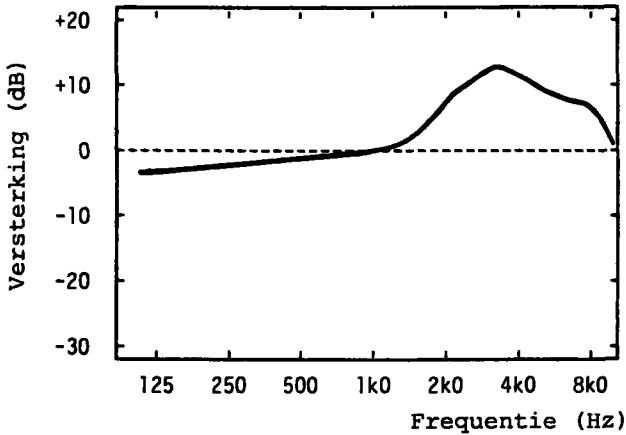
**Figuur 2.2** Schema van het gehoororgaan met uitgerold slakkenhuis.



Het buitenoor

Dit gedeelte van het gehoor bestaat uit de oorschelp en de uitwendige gehoorgang.

**Figuur 2.3** Overdracht van geluid door het buitenoor (verschil tussen geluidsdruk-niveau van diffuus geluidveld en geluidsdruk-niveau vlak voor het trommelvlies).



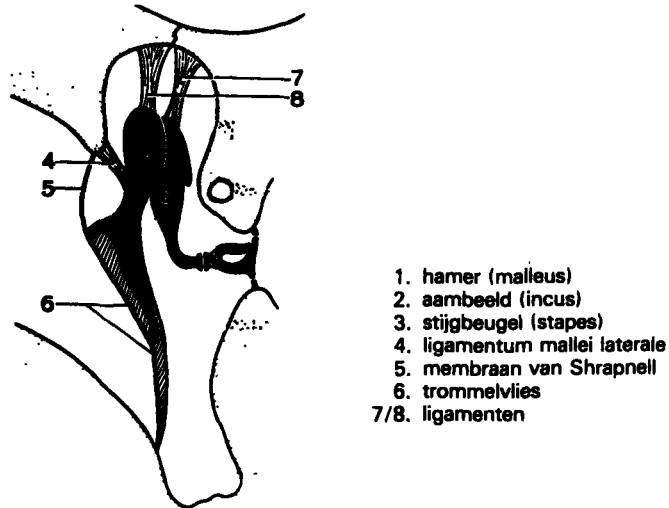
De oorschelp heeft een functie bij het richtinghoren. Omdat de uitwendige gehoorgang ten dele als een orgelpijp fungeert, treedt er resonantie op en wel rond 3000 Hz. Mede hierdoor treedt er een versterkte overdracht van het geluid op rond deze frequentie, van zo'n 10 tot 15 dB. Tevens fungeert de uitwendige gehoorgang als beschermer van het trommelvlies, vooral ten aanzien van mechanische beschadigingen.

### Het middenoor

De middenoorholte is van het buitenoor afgesloten door het trommelvlies. Met de neus-keelholte is er een open verbinding via de buis van Eustachius. De middenoorholte bevat de gehoorbeentjesketen bestaande uit hamer (malleus), aambeeld (incus) en stijgbeugel (stapes). De steel van de hamer ligt in het trommelvlies ingebed, zodat de door geluid veroorzaakte trillingen van het trommelvlies op de gehoorbeentjes kunnen worden overgebracht. De gehoorbeentjes kunnen ten opzichte van elkaar scharnieren (zie figuur 2.4). Ze zijn door bindweefselbanden met elkaar en met de wand van de middenoorholte verbonden. Aan de gehoorbeentjes zijn nog twee spier-

tjes gehecht: de musculus stapedius aan de stijgbeugel en de musculus tensor tympani aan de hamer. Deze spiertjes regelen mede de impedantie van de keten van gehoorbeentjes. De voetplaat van de stijgbeugel rust tegen het ovale venster, een vlies dat het middenoor van het binnenoor scheidt.

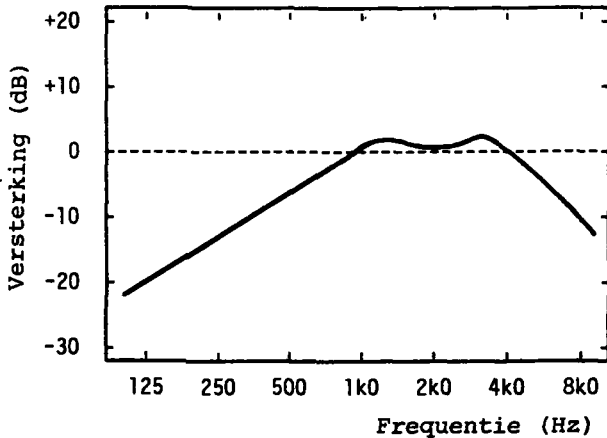
Figuur 2.4 Schematische voorstelling van de gehoorbeentjesketen.



1. hamer (malleus)
2. aambeeld (incus)
3. stijgbeugel (stapes)
4. ligamentum mallei laterale
5. membraan van Shrapnell
6. trommelvlies
- 7/8. ligamenten

De belangrijkste functie van de gehoorbeentjesketen is de mechanische impedantie-aanpassing van het luchtgeluid aan de vloeistof die zich in het binnenoor bevindt. Door het verschil in oppervlak van trommelvlies (ongeveer 60 mm<sup>2</sup>) en ovale venster (ongeveer 3 mm<sup>2</sup>) en door de hefboomwerking van de gehoorbeentjes worden de trillingen van het trommelvlies versterkt naar het ovale venster overgebracht. Ook hier is sprake van een frequentie-afhankelijke overdracht. De overdracht door het middenoorsysteem ten opzichte van die overdracht bij 1000 Hz is gegeven in figuur 2.5.

Figuur 2.5 Overdracht van geluid door het middenoor, ten opzichte van 1000 Hz.



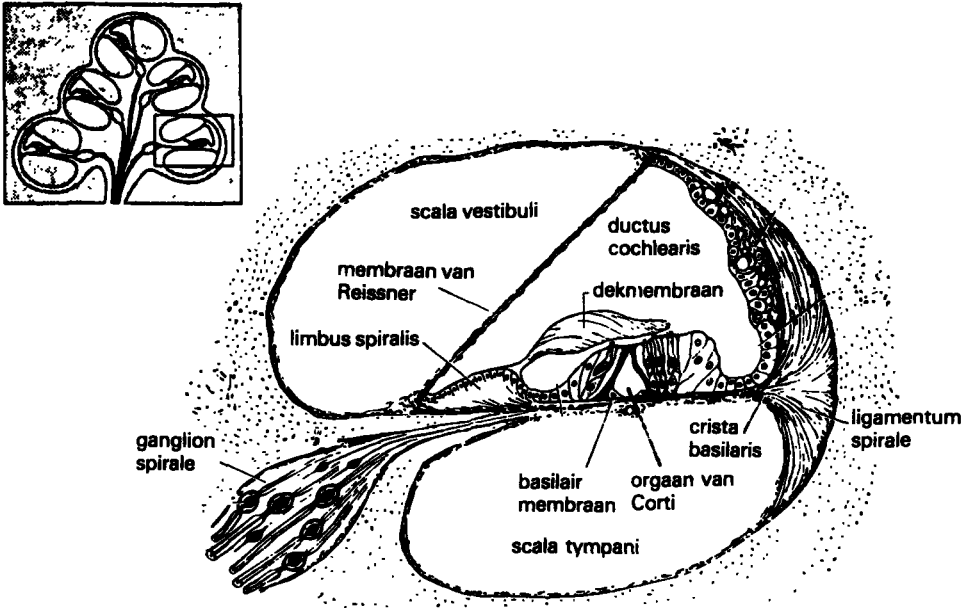
Naast een geleiding van trillingen via de gehoorbeentjesketen kunnen de trillingen ook worden voortgeleid via het bot van de schedel (beengeleiding naar het binnenoor). De geleiding van geluidstrillingen via de schedel is ongeveer 40 dB minder effectief dan die via de gehoorbeentjesketen.

### Het binnenoor

Dit is in principe een spiraalsgewijze gebouwde kanaal (slakkehuis, cochlea), dat verdeeld is in drie parallelle ruimten, te vergelijken met drie wenteltrappen: de scala vestibuli, de scala media en de scala tympani. De scala vestibuli en de scala tympani staan bovenin de cochlea met elkaar in verbinding en zijn gevuld met vloeistof (perilymfe). De scala vestibuli begint bij het ovale venster en de scala tympani eindigt bij het ronde venster. De scala media ligt tussen de beide andere scala's in, is gevuld met endolymfe en is gescheiden van de scala tympani door de basilair membraan. In de scala media ligt op de basilair membraan het sensitieve deel van het gehoororgaan: het orgaan van Corti. Het orgaan van Corti bevindt zich over de gehele lengte van de basilair membraan en bestaat uit haarcellen die met hun haartjes (stereoci-

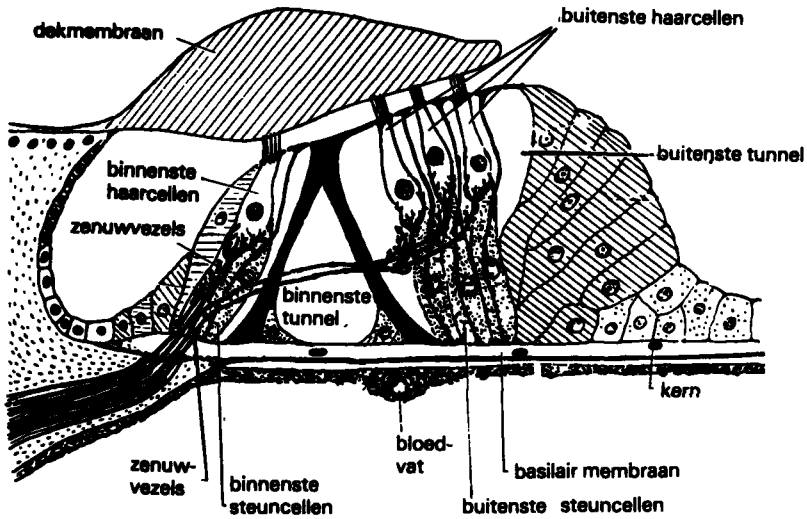
lia) in de zachte massa van de dekmembraan steken (zie figuur 2.6)).

**Figuur 2.6** Doorsnede van het slakkenhuis (linksboven) en het orgaan van Corti.



Er is één rij binnenste haarcellen en er zijn drie rijen buitenste haarcellen (zie figuur 2.7).

Figuur 2.7 Schematische dwarsdoorsnede door het orgaan van Corti.



Als het ovale venster trilt, dan fungeert dit venster als een soort zuiger en brengt de vloeistof in de scala vestibuli en de scala tympani in beweging. Door deze vloeistofbewegingen wordt de basilair membraan in beweging gebracht. Deze beweging is te beschrijven als een lopende golf van de basis (vlakbij het ovale venster) naar de top, waarbij de amplitude van de golf toeneemt, een maximum bereikt en weer afneemt. Dit is voor te stellen als een golf die zich over het wateroppervlak verplaatst. In het gebied van het maximum van de lopende golf worden de haarcellen die op die plaats op de basilair membraan rusten, geprikkeld. Door deze prikkeling ontstaan zenuwpulsen, die naar de hersenen worden geleid via de gehoorzenuw. In de hersenen wordt het binnengekomen signaal gedecodeerd en geïnterpreteerd.

De mechanische eigenschappen van de basilair membraan veranderen geleidelijk van de basis naar de top. Dit heeft tot gevolg dat voor geluidstrillingen met een hoge frequentie de bewegingsuitslag van de basilair membraan maximaal is aan de basis en voor geluid-

trillingen met een lage frequentie aan de top. Bij een samengesteld geluid heeft de basilair membraan op diverse plaatsen een maximale uitwijking. Het geluid wordt op deze wijze door de basilair membraan geanalyseerd (frequentie-analyse).

De hersenen zijn in staat de herkomst van de doorgezonden zenuwpulsen te bepalen en kunnen zodoende onderscheid maken tussen hoge en lage frequenties.

Niet alle haarcellen in het orgaan van Corti zijn gelijk. Er zijn haarcellen die reeds bij juist hoorbare tonen van de geschikte frequentie worden geprikkeld. Er zijn ook haarcellen die slechts worden geprikkeld als de tonen zeer luid zijn. Er wordt dan gezegd dat deze haarcellen verschillen in prikeldrempel. Mede door deze verschillen kan de sterkte van een toon worden waargenomen.

In het binnenoor, de gehoorzenuw en de hersenen treden geen frequentie-afhankelijke versterkingen van de geluidsignalen op, zoals beschreven voor het buitenoor en het middenoor.



Deze bijlage zal worden gepubliceerd in "Noise as a Public Health Problem, volume 4", uitgegeven door Swedisch Council for Building Research. Proceedings van het vijfde International Congress on Noise as a Public Health Problem, Sweden, 1988.

**W. PASSCHIER-VERMEER**

---

## **OCCUPATIONAL NOISE EXPOSURE AND HEARING**

**An analysis of recent publications on  
age-related hearing threshold levels  
and on hearing threshold levels of  
occupational noise-exposed populations**

---

**TNO INSTITUTE OF PREVENTIVE HEALTH CARE**

**NIPG-TNO**

**Leiden**

**July 1988**

Nederlands Instituut voor  
Praeventieve Gezondheidszorg TNO  
Wassenaarseweg 56 Leiden

Postadres:  
Postbus 124  
2300 AC Leiden

Telefoon: 071 - 178 888

© 1988 Nederlands Instituut voor Praeventieve Gezondheidszorg TNO  
Publikatienummer 88056

Voor de rechten en verplichtingen van de opdrachtgever met betrekking tot de inhoud van dit rapport wordt verwezen naar de Algemene Voorwaarden van TNO.

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, openbaar gemaakt, en/of verspreid door middel van druk, fotocopie, microfilm of op welke wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van het NIPG-TNO.

CONTENTS

	page.
SUMMARY . . . . .	I
1. INTRODUCTION . . . . .	1
2. AGE-RELATED HEARING TRESHOLD LEVELS . . . . .	3
3. HEARING THRESHOLD LEVELS OF OCCUPATIONAL NOISE-EXPOSED POPULATIONS . . . . .	10
4. CONCLUSION . . . . .	21
5. REFERENCES . . . . .	23
ANNEX 1 . . . . .	25
ANNEX 2 . . . . .	28
ANNEX 3 . . . . .	30
REFERENCES TO ANNEX 3 . . . . .	34

## SUMMARY

In ISO/DIS 1999.2 (1985) relations are given between noise-induced hearing loss and noise exposure. Using data bases of age-related hearing threshold levels, the draft Standard allows calculation of hearing threshold levels of populations exposed to occupational noise with  $L_{Aeq,8h}$ -values between 75 and 100 dB(A). The experimental data on which ISO/DIS 1999.2 (1985) is based have been collected some 25 years ago, and to these data unverified manipulations have been carried out. Therefore, predictions by ISO/DIS 1999.2 on hearing threshold levels of reference populations and of populations exposed to occupational noise have been verified with results of recent relevant publications. The analysis is mainly restricted to the test frequency 4000 Hz.

The main results are:

- Differences between hearing threshold levels of otologically unscreened populations and those of otologically screened populations are 0 dB for  $HTL_{0,90}$ -values, 2 dB for  $HTL_{0,50}$ -values and 6 dB for  $HTL_{0,10}$ -values, irrespective of age, noise exposure and test frequency.
- Recently published data bases on age-related hearing threshold levels (Irion, Evans, Pfeiffer, Thiery, Driscoll, Passchier (I), Passchier (B)) show that data base A can serve as a data base for otologically unscreened populations, if the correction values of 0, 2 and 6 dB given above are applied to it. Data base ISO B and the recently published data base for the typical unscreened population by Robinson largely overestimate age-related hearing threshold levels.
- Thirteen recent publications concerning hearing threshold levels of 56 occupational noise-exposed (sub)populations and the  $L_{Aeq,8h}$ -values of these (sub)populations, show that in general median hearing threshold levels agree very close with the values predicted by ISO/DIS 1999.2 for otologically unscreened populations, using the corrected data base A. This conclusion holds for  $L_{Aeq,8h}$ -values from below 80 dB(A) to over 100 dB(A), thus covering the complete noise-exposure range to which ISO/DIS 1999.2 is applicable. From the data of 33 (sub)populations a systematic difference of about 2 dB(A) has been observed between actual  $L_{Aeq,8h}$ -values and values calculated from ISO/DIS 1999.2,

if the latter are derived from the  $H TL_{0,10}$ -values of the occupational noise-exposed (sub)populations. This discrepancy of 2 dB(A) is considered acceptable for practical purposes.

- Although in general a very good agreement between observed hearing threshold levels and those predicted by ISO/DIS 1999.2 could be shown, a large dispersion exists between populations: hearing threshold levels of occupational noise-exposed populations having the same characteristics, such as age and  $L_{Aeq,8h}$ -value, may differ considerable. Further research/analysis may clarify the observed dispersion between populations.

## 1. INTRODUCTION

In ISO/DIS 1999.2, circulated in 1985 in succession of ISO/DIS 1999.1 which was circulated in 1982, relations are given between noise-induced hearing loss and noise exposure. Using age-related data bases for populations not exposed to occupational noise, the draft standard allows the calculation of hearing threshold levels of populations exposed to occupational noise. The data used in preparing ISO/DIS 1999.2 come from reports by Burns and Robinson (1970) and Passchier-Vermeer (1968), the latter based on an analysis of earlier studies. Therefore the experimental data on which ISO/DIS 1999.2 is based have been collected some 25 years ago. This seems a valid reason to verify the data given in ISO/DIS 1999.2 with results of more recent research.

At the same time, ISO/DIS 1999.2 gives a model to calculate hearing threshold levels (H) of occupational noise-exposed populations by taking into account in a specific way noise-induced permanent threshold shift (N) and age-related hearing threshold levels (A) by postulating:

$$H = A + N - A.N/120$$

The adjustment term (A.N/120) appeared necessary for a correct description of the combined results of the survey by Burns and Robinson and the survey by Passchier-Vermeer. The adjustment term, thus invented by the working group (ISO/TC 43/SC 1/WG 19) which prepared ISO/DIS 1999.2, has never been verified nor has the background of it been published. This seems another valid reason for verification of ISO/DIS 1999.2.

From 1982 up to 1986, hearing conservation programs have been realised in the Netherlands industry. Detailed noise surveys have been carried out on 2076 workers, together with reliable hearing threshold level determinations, according to the specifications given ISO 6189. The results have been analysed and the model of ISO/DIS 1999.2 has been verified (Passchier-Vermeer, 1986). It turned out that, in general, results from the Netherlands survey agreed very close to the ISO/DIS 1999.2 data for equivalent continuous A-weighted sound pressure levels for a nominal 8 h working day ( $L_{Aeq,8h}$ ) between 85 and 90 dB(A). At lower  $L_{Aeq,8h}$ -values the Netherlands survey showed higher hearing threshold levels and at higher  $L_{Aeq,8h}$ -values the hearing threshold levels in the Netherlands survey were less than those predictable from

ISO/DIS 1999.2.

At the moment, a research is carried out by our Institute on noise-induced hearing loss from occupational exposure to impulse noise. Due to various reasons, a heavy weight is put upon an analysis of published data in the international literature. Then, the question arises which relations between noise-induced hearing loss and noise exposure are the most relevant: the relations adapted from the Netherlands survey or those from ISO/DIS 1999.2. Therefore, it was decided to verify ISO/DIS 1999.2 with recent data from the international literature. This analysis is given in this report. Mainly data at 4000 Hz have been analysed.

The main contents of the report consists of two parts: first data on age-related hearing threshold levels have been analysed and then the hearing threshold levels of occupational noise-exposed populations.

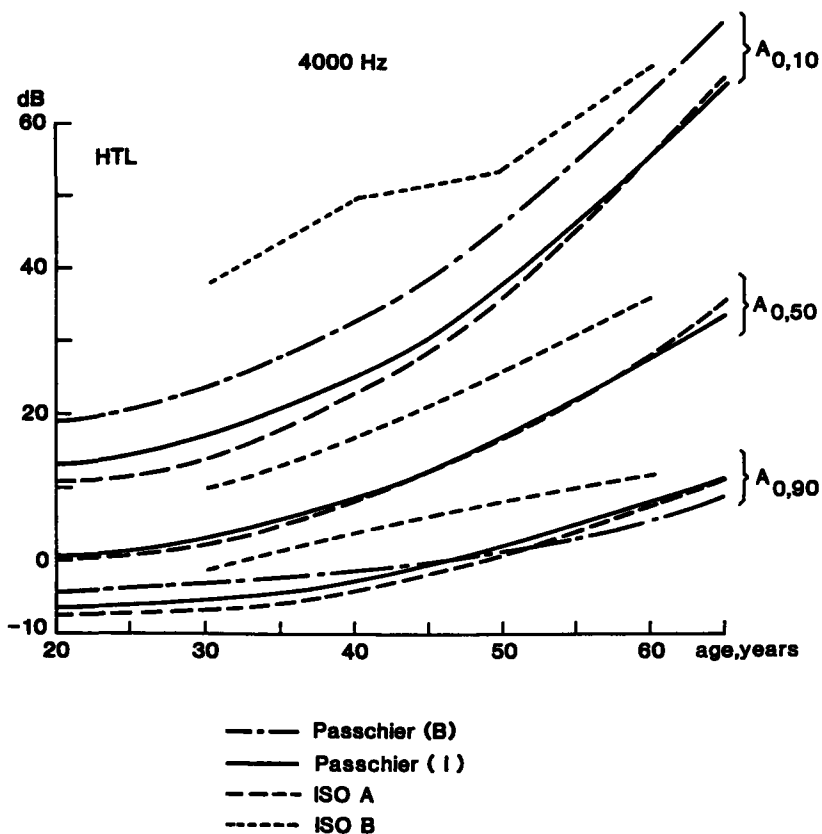
## 2. AGE-RELATED HEARING THRESHOLD LEVELS

In ISO/DIS 1999.2, circulated in 1985, two data bases for reference populations are given: data base A for otologically screened populations without occupational noise exposure and data base B: any data base considered applicable by the user. The example of data base B given in an annex of ISO/DIS 1999.2 gives data adapted from the results of a particular mass survey carried out in the USA. As the annex states: some subjects in the population tested must be assumed to have had unreported occupational or other noise exposure. The example given in the annex is in this paper referred as data base ISO B. It concerns an otologically unscreened population.

Since 1982, our Institute has been carrying out hearing conservation programs in Dutch industries. Audiometry is performed according to the specifications given in ISO 6189, using Madsen MTA 86 audiometers. At the initial stage of the project the audiometric results of the noise-exposed populations have been compared with data base ISO B, since data base ISO B was considered more applicable than ISO A, because the populations examined in the hearing conservation programs consist in principle of otologically unscreened subjects. Amazingly, hearing threshold levels of the otologically unscreened occupational noise-exposed subjects turned out to be better than those given in data base ISO B, even for populations exposed for their entire working life (40 years) to equivalent continuous A-weighted sound pressure levels for a nominal 8 h working day ( $L_{Aeq,8h}$ ) of 95 dB(A). Therefore, it was decided to set up a Netherlands data base (data base Passchier (I)), on otologically unscreened populations, applicable to hearing conservation programs in industry (Passchier-Vermeer, 1987). At the same time, another data base on otologically unscreened populations (data base Passchier (B)) was set up in a large scale study on the hearing of workers in the building industry, using continuous sweep-frequency audiometry (Passchier-Vermeer, 1984; in English see Passchier-Vermeer, 1988). Results are presented in figure 1 for test frequency 4000 Hz.



Figure 1. Hearing threshold levels at 4000 Hz as a function of age.



The median hearing threshold levels at 4000 Hz and other frequencies in both surveys turned out to be (almost) identical and quite comparable to data base ISO A, although data base ISO A concerns otologically screened populations and the Dutch data bases consist of otologically unscreened subjects. Therefore, it appeared as if exclusion of subjects based on otological reasons has little effect on the distributions of hearing threshold levels.

Three recent studies consider the question of differences in hearing threshold levels of otologically unselected and otologically selected populations, exposed to occupational noise: Irion (1983), Taylor (1984) and Passchier-Vermeer (1986; see also Røvekamp (1987)). In all three surveys thorough medical otological examinations were carried out and extensive questionnaires on aspects of hearing and occupational and

non-occupational noise exposure had to be answered by the workers. Details are given in annex 1 of this report. The conclusion of the analysis is given in table 1.

**Table 1.** Differences in hearing threshold levels (at three fractiles) of otologically unselected populations and otologically selected populations (otological screening resulting in 15-25% rejections).

Fractile	Difference (in dB)
0,90	0
0,50	2
0,10	6

The studies showed these differences to be largely independent of age, noise exposure and test frequency.

Apart from the two Netherlands data bases for male populations, five other data bases have become available recently (Irion (1983), German population; Evans (1982), population from Hong Kong; Pfeiffer (1985), German population; Thiery (1988), French population; Driscoll (1984), black USA population). They all, except one, are surveys on populations of 300 to 500 persons.

Some studies give median values and fractiles, others give mean hearing threshold levels. Some studies concern otologically screened populations, others otologically unscreened ones. Specifications are given in the following table. The data of Taylor (1984) have not been included, since they refer to a half male/half female population.

**Table 2.** Specifications of data bases, published in 1983-1988.

author	otologically screened/unscreened population	measure of central tendency and dispersion
Irion	screened	mean
Evans	screened	mean
Pfeiffer*	unscreened	median, fractiles
Thiery	screened	median, fractiles
Driscoll	unscreened	mean
Passchier, I	unscreened	median, fractiles
Passchier, B	unscreened	median, fractiles

\* Data about hearing threshold levels of painters have been adapted by taking into account the differences observed (Passchier-Vermeer, 1988) between the hearing threshold levels of painters and those of reference populations not exposed to occupational noise.

In figure 2, mean and median hearing threshold levels are plotted as a function of age, together with data base ISO A and ISO B. Mean values exceed the corresponding median values for those distributions skewed towards high values. Therefore, mean hearing threshold levels usually are somewhat higher than median values, when these values are not too far from the lowest hearing threshold level of the audiometric HL-range. At the same time, median values for screened populations are somewhat lower (2 dB) than those for unscreened populations. Both deviations might cancel each other out, if mean values of screened populations are compared with median values of unscreened populations. Analysing the data of Taylor (1984) of his noise-free population, it turns out that the mean value of his screened populations is on average only 1,4 dB higher than the median value of the unscreened population. Therefore, it is estimated that the three curves in figure 2 concerning mean values of screened populations may be considered as median values of unscreened populations.

**Figure 2.** Median hearing threshold levels at 4000 Hz as a function of age.

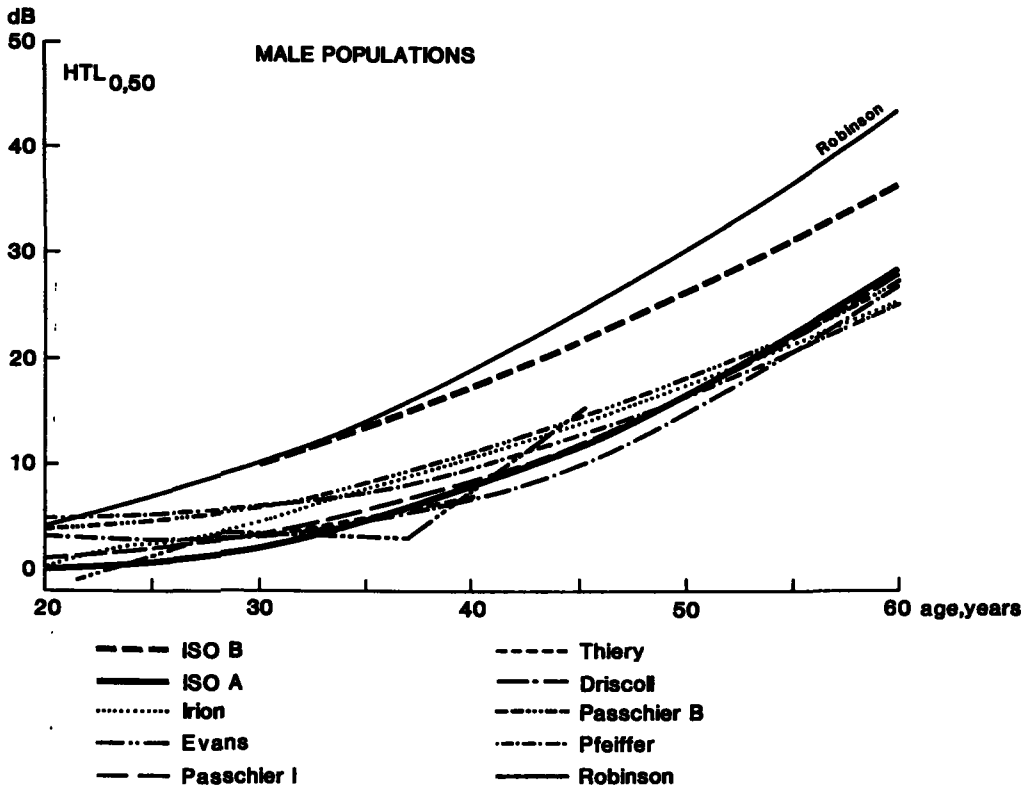
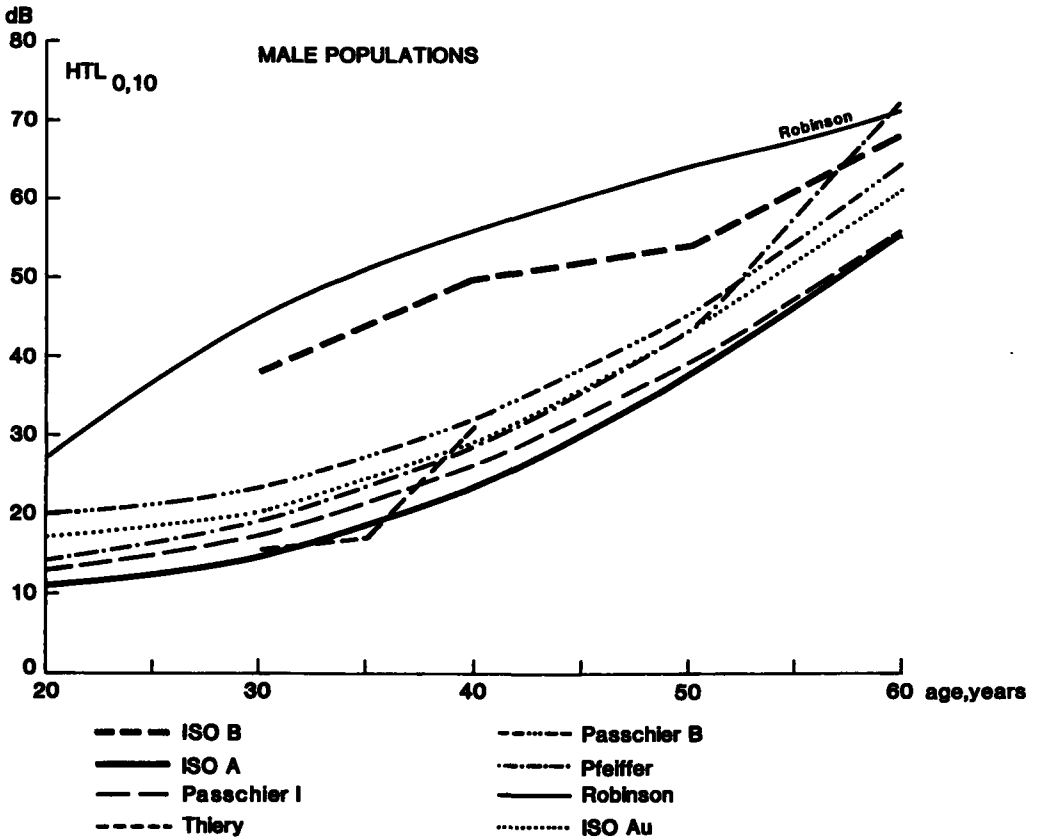


Figure 2 shows that median values of unscreened populations are very close to those of otologically screened data base ISO A. Annex 2 touches upon the differences between median hearing threshold levels of young populations relative to audiometric zero (ISO 389).

Figure 3 gives the hearing threshold levels ( $HTL_{0,10}$ ) for 0,10 of the population. The curves in figure 3 all refer to otologically unscreened populations, with exception of the curve representing the data given by Thiery. To compare the curves with a hypothetical curve representing an otologically unscreened data base ISO A, 6 dB has been added to data base ISO A (for the 6 dB, see table 1). This curve is indicated by ISO Au (u: unscreened). From the figure it is obvious that the various curves are in agreement with data base ISO Au and that, especially at the lower ages, a large discrepancy exists between the various curves and data base ISO B.

**Figure 3.** Hearing threshold levels, just exceeded by 0,10 of the population, at 4000 Hz, as a function of age.



Recently, also Robinson (Robinson, 1988) published sets of curves concerning thresholds of hearing as a function of age and sex for the typical unscreened population. The results are derived from a critical analysis of eight publications: Glorig (1965), Glorig (1957), Martin (1975), Roberts (1975), Roberts (1970), Royster (1979), Sutherland (1978) and Yaffe (1961). Six out of the eight publications are of the mass-survey type, covering in total more than 80 000 ears. The data base concerns otologically unscreened populations. As the figures 2 and 3 show, the Robinson data base has hearing threshold levels well above data base ISO B, especially for fraction 0,10. The discrepancy between the data base presented by Robinson and the other data bases may be due to inclusion in the Robinson data of subjects with occupational noise

exposure, since the paper does not touch upon that question. In an earlier report (Robinson, 1978), Robinson states that "the distinction

between the unscreened (U) and public participation (P) groups is not only a matter of scale (though this is a characteristic of most of the examples), but the likelihood that other factors may be implicated, such as different environmental test conditions and the preparation and motivation of the subjects. The reliability of the data is unlikely to be in direct proportion to the numbers tested". Moreover, the relations given by Robinson are based on surveys carried out 10 to 30 years ago. Especially the results of the oldest surveys may not be representative, for the relations of hearing with age, of populations of nowadays. Whether the Robinson data base may serve as a data base to provide realistic estimates of hearing threshold levels of unscreened noise-exposed populations, by relating noise-induced hearing threshold shifts to the values of the Robinson data base, is questionable. At the same time, comparison of the hearing threshold levels of occupational noise-exposed populations with the Robinson data base to determine the noise-induced component of the threshold shift would result in a serious underestimation of this noise-induced component and should therefore be withdrawn.

### 3. HEARING THRESHOLD LEVELS OF OCCUPATIONAL NOISE-EXPOSED POPULATIONS

In ISO/DIS 1999.2 (1985) relations are given between  $L_{Aeq,8h}$  and noise-induced permanent threshold shift (N), which together with an appropriate reference data base allows the calculation of hearing threshold levels (H) of occupational noise-exposed populations. According to ISO/DIS 1999.2 the relation between H, N and A is

$$H = A + N - A.N/120$$

The data used in preparing ISO/DIS 1999.2 come from reports by Burns and Robinson (1970) and Passchier-Vermeer (1968), the latter based on an analysis of earlier studies. Therefore, the experimental data on which ISO/DIS 1999.2 is based have been collected some 25 years ago. In recent years, publications have become available on the hearing threshold levels of occupational noise-exposed populations. Since the fourth International Congress (1982) thirteen of those publications came at hand with data on hearing threshold levels together with data on the noise-exposure of the populations (see table 3).

Table 3. Recent publications with data on hearing threshold levels of occupational noise-exposed populations with mean ages form 30 to 50 years.

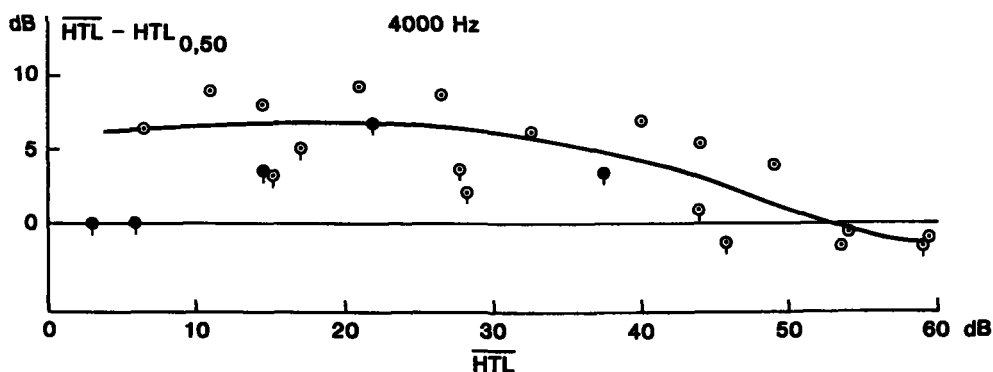
author	number of subjects	specification of otologically screened/unscreened population	measure of central tendency and dispersion
Evans	485	screened	mean
Pfeiffer	2513	unscreened	median, fractiles
Thiery	389	screened	median, fractiles
Taylor	860	unscreened	median, mean, s.d.
Abel	366	unscreened	mean
Chung	22396	screened	median, mean, fractiles
Prosser	88	unscreened	mean
Szanto	193	screened	mean, s.d.
Passchier	2076	unscreened	median, fractiles
Irion	839	screened	mean, s.d.
Waudby	1455	unscreened	mean
Sataloff	295	(un)screened	mean
Passchier	388	unscreened	median, fractiles

The hearing threshold levels of the populations with ages between 30 and 50 years have been plotted in figures 4 and 5. Table 3 gives a specific-

ation of the data. Some papers deal with otologically screened populations, some with unscreened ones. In seven publications mean hearing threshold levels are given, in four publications median values and in two publications mean and median values. These last two publications (Taylor, Chung) may serve as a guide on the differences between mean and median values of occupational noise-exposed populations. Since the data of Chung refer to otologically screened populations, the data from Taylor are also taken from the pathology free Taylor (sub)populations. Besides, the data of Taylor indicate that the observed differences between mean and median values do not depend upon otological screening, when noise-exposed populations are considered. In figure 4 the differences between the mean hearing threshold levels (HTL) and the median values have been plotted as a function of the mean value. The figure shows that up to an average value of HTL of 30 dB, the difference is 6 dB, decreasing to 0 dB at 50 dB and even to negative values above 50 dB HL. This last observation means that distributions of hearing threshold levels of older populations, exposed for longer times to high  $L_{Aeq,8h}$  values during working hours, are somewhat skewed towards lower values, and the distribution of younger populations skewed towards higher values.

**Figure 4.** The difference between the mean and median hearing threshold levels at 4000 Hz as a function of the mean value.

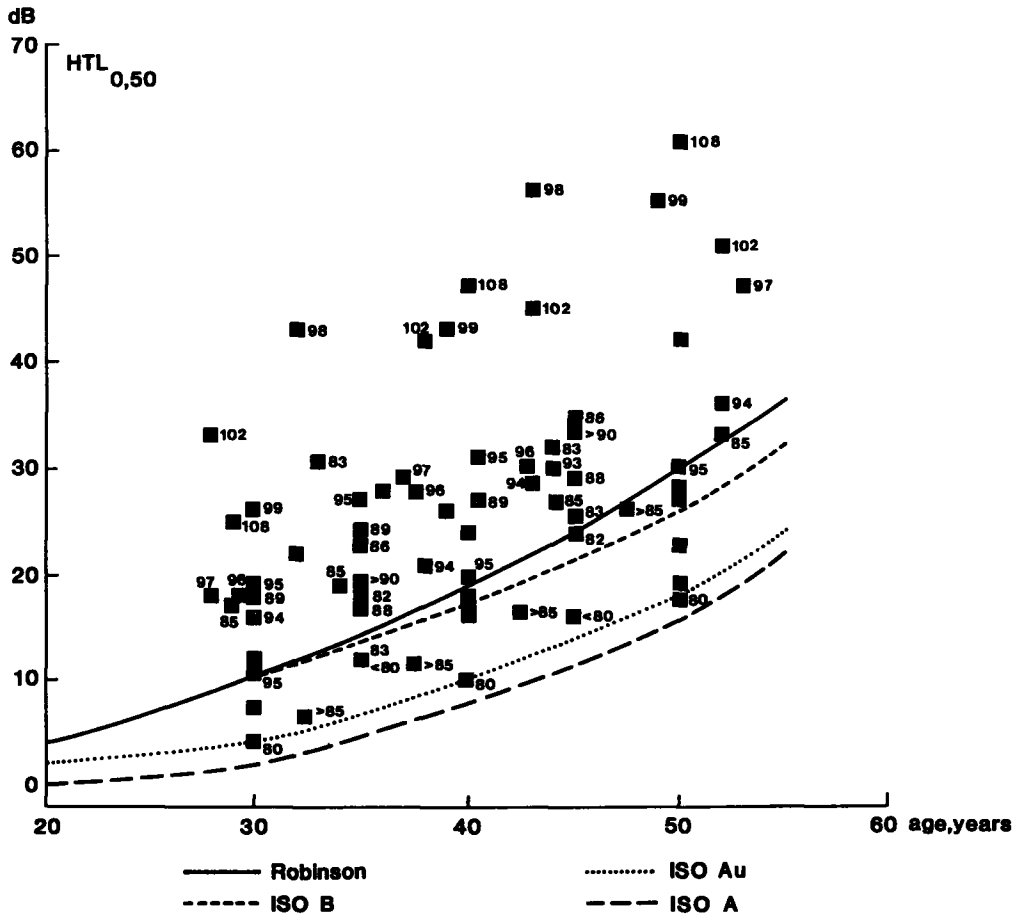
- Chung
- ⊙ Taylor, occupational noise-exposed (sub)populations
- Taylor, (sub)population not exposed to occupational noise.



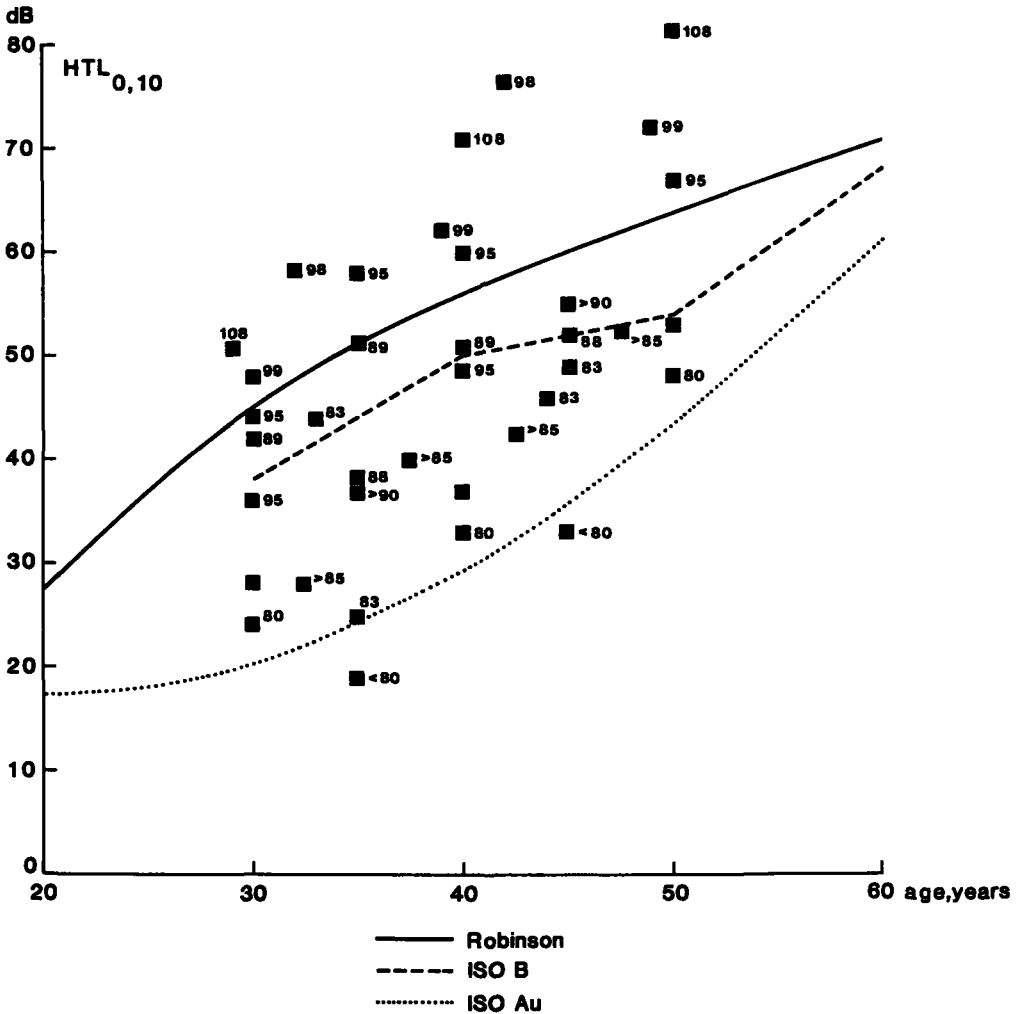


In figure 5 mean and median hearing threshold levels of the populations mentioned in table 3 are plotted without any modification as they appear in the publications. If possible, the  $L_{Aeq,8h}$ -values to which the populations are exposed are included in the figure. At the same time data bases ISO A, ISO Au, ISO B and Robinson's have been plotted too. In figure 6 the  $HTL_{0,10}$ -values, as far as available from the publications, have been plotted. If the mean value and the standard deviation of the hearing threshold levels of populations were available,  $HTL_{0,10}$  has been estimated according to  $HTL_{0,10} = HTL + 1,1 \text{ s.d.}$  (this relation has been derived from Passchier-Vermeer (1986) and Rövekamp (1987)). In the same figure, the data bases ISO Au, ISO B and Robinson's have been given.

**Figure 5.** Mean and median hearing threshold levels at 4000 Hz as a function of age. Data bases ISO A, ISO Au, ISO B and Robinson's are also given. Values of  $L_{Aeq,8h}$  of the occupational noise-exposed populations are included in the figure.



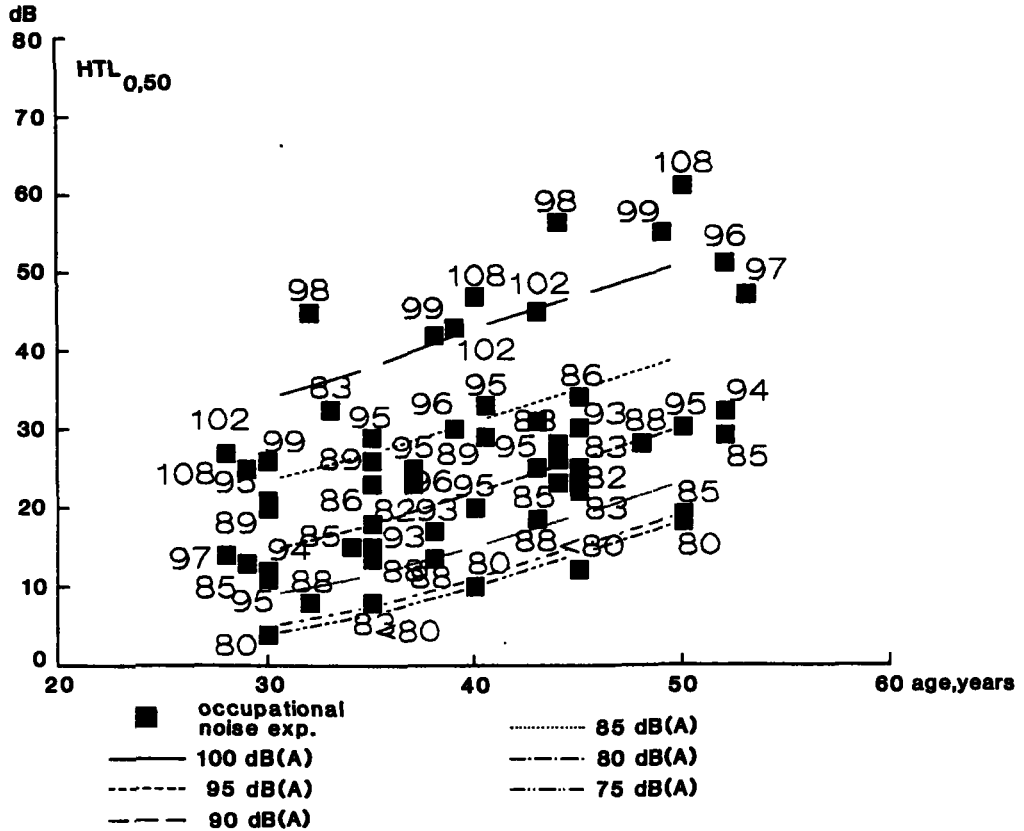
**Figure 6.**  $HTL_{0,10}$  at 4000 Hz as a function of age. Data bases ISO Au, ISO B and Robinson's are also given. Values of  $L_{Aeq,8h}$  of occupational noise-exposed subjects are included in the figure.



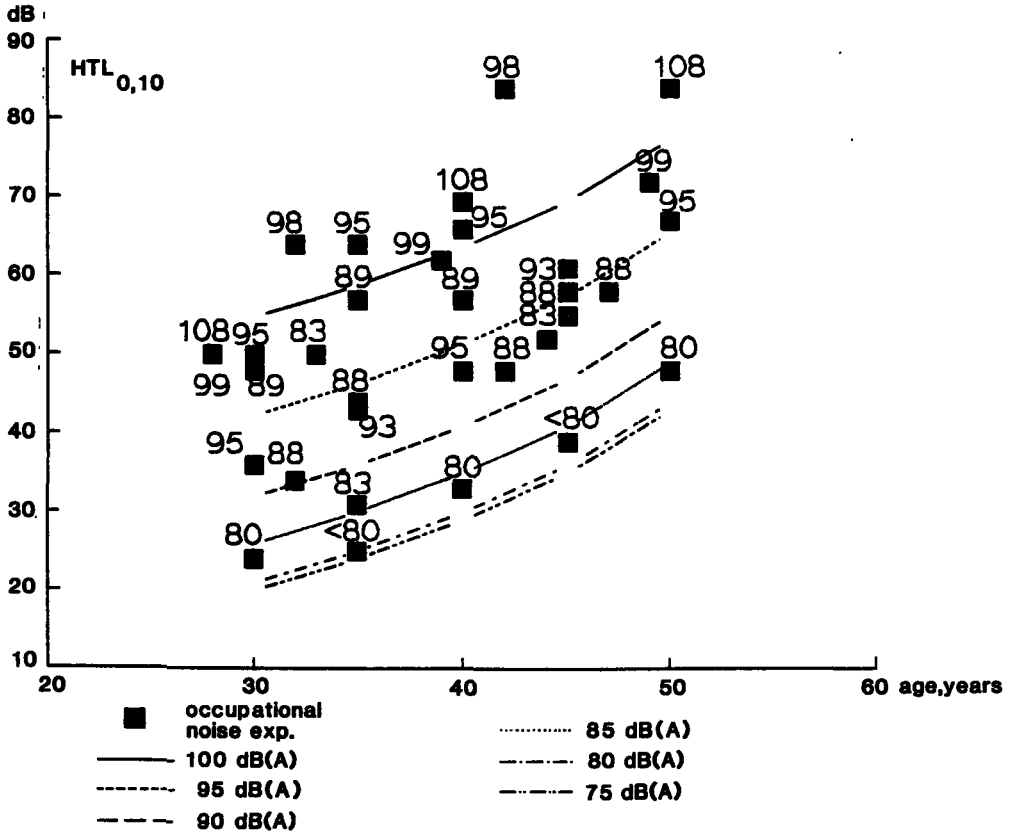
In order to compare the observed hearing threshold levels of the populations with those estimated by ISO/DIS 1999.2 for otologically unscreened populations exposed to occupational noise, the figures 7 and 8 have been constructed. Data points concerning mean values below 40 dB have been corrected with 6 dB, according to figure 4, and data points concerning screened groups have been corrected according to table 1, thus giving estimates of median values and 0,10-fractiles of hearing threshold levels of otologically unscreened populations. Those popu-

lations without sufficient specifications of noise exposure have been omitted. Also, hearing threshold levels according to ISO/DIS 1999.2 are given for  $L_{Aeq,8h}$ -values of 75 to 100 dB(A), assuming a difference of 20 years between age and exposure time and assuming data base ISO Au as the applicable data base.

**Figure 7.** Median hearing threshold levels at 4000 Hz as a function of age. Median hearing threshold levels for otologically unscreened populations according to ISO/DIS 1999.2, for  $L_{Aeq,8h}$ -values from 75 to 100 dB(A), have been plotted in the figure.



**Figure 8.**  $HTL_{0,10}$  at 4000 Hz as a function of age. Values for otologically unscreened populations according to ISO/DIS 1999.2, for  $L_{Aeq,8h}$ -values from 75 to 100 dB(A) have been plotted in the figure.



In the next step to compare the observed hearing threshold levels with those predicted by ISO/DIS 1999.2, mean values of  $L_{Aeq,8h}$  have been determined by taking all values of the populations which fall within the adjacent curves, indicating ranges of  $L_{Aeq,8h}$ -values of 5 dB(A) according to ISO/DIS 1999.2. The results are given in the tables 4 and 5, and in the figures 9 and 10 resp.

**Table 4.** Mean values of  $L_{Aeq,8h}$  for occupational noise-exposed (sub)populations, determined from their  $HTL_{0,50}$ -values.

$L_{Aeq,8h}$ -range according to ISO/DIS 1999.2 (in dB(A))	number of (sub)-populations	mean value of $L_{Aeq,8h}$ (in dB(A))
> 100	9	101,6
95-100	8	96,6
90-95	16	90,9
85-90	15	88,8
< 85	8	81,1

**Table 5.** Mean values of  $L_{Aeq,8h}$  for occupational noise-exposed populations, determined from their  $HTL_{0,10}$ -values.

$L_{Aeq,8h}$ -range according to ISO/DIS 1999.2 (in dB(A))	number of (sub)-populations	mean value of $L_{Aeq,8h}$ (in dB(A))
> 100	5	101,4
95-100	12	94,5
90-95	9	90,2
85-90	2	85,5
< 85	5	79

**Figure 9.** Mean values of  $L_{Aeq,8h}$  for otologically unscreened occupational noise-exposed populations, determined from their  $HTL_{0,50}$ -values, as a function of the  $L_{Aeq,8h}$ -values predicted by ISO/DIS 1999.2.

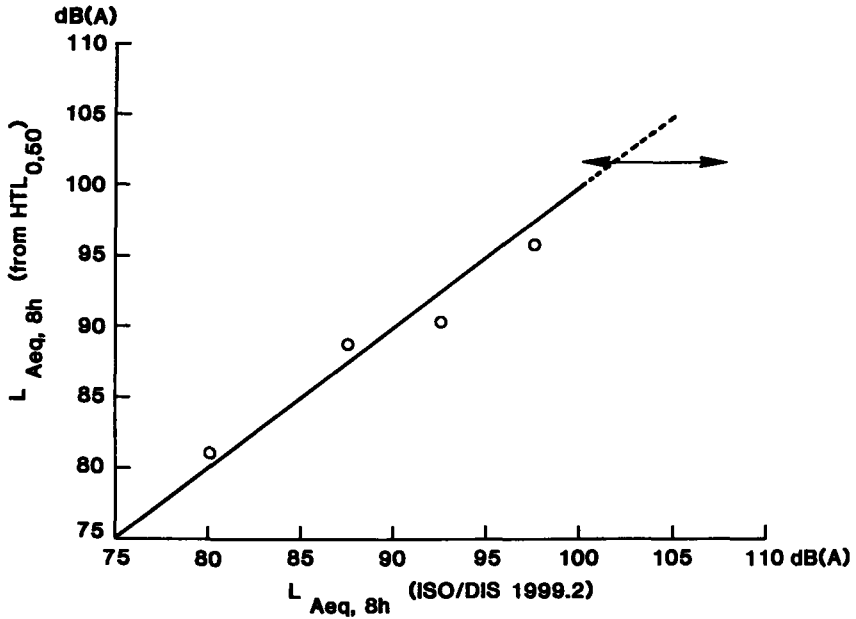
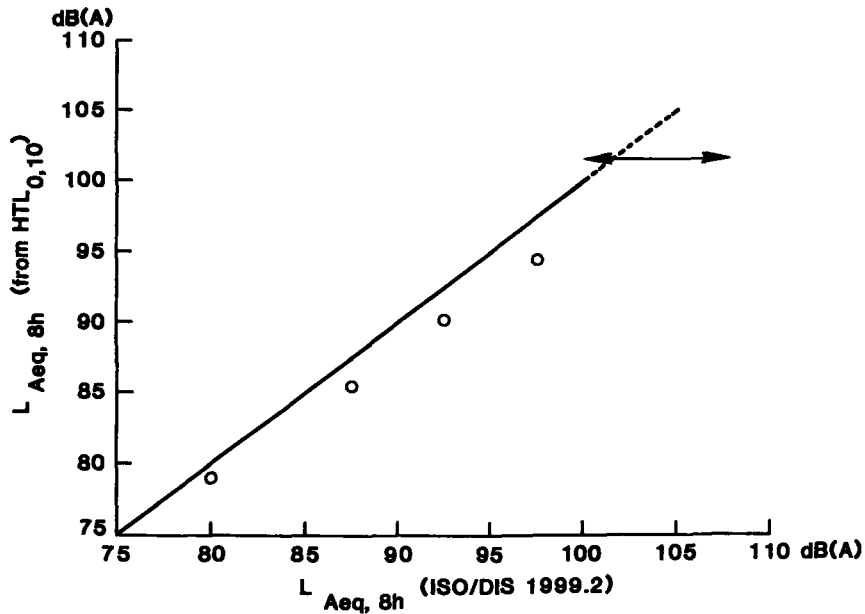


Figure 9 shows a good agreement between observed and calculated values of  $L_{Aeq,8h}$ , if they are calculated from median threshold levels according to ISO/DIS 1999.2 using ISO Au as reference data base.

**Figure 10.** Mean values of  $L_{Aeq,8h}$  for otologically unscreened occupational noise-exposed populations, determined from their  $HTL_{0,10}$ -values, as a function of the  $L_{Aeq,8h}$ -values predicted by ISO/DIS 1999.2.



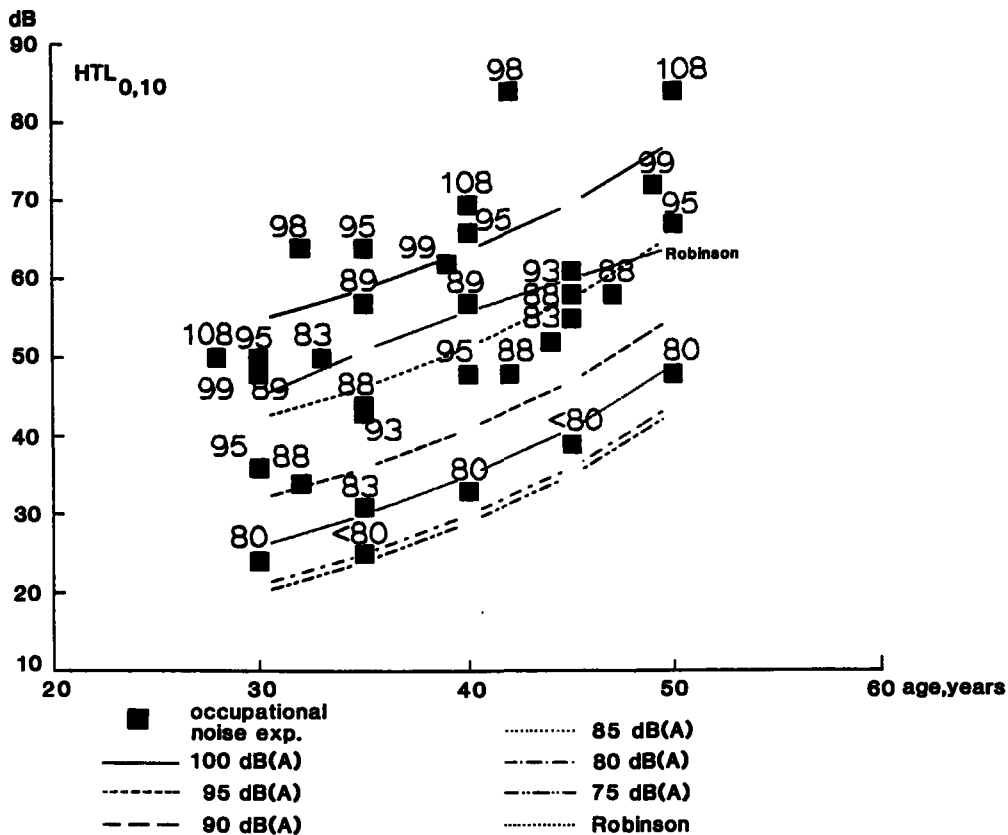
From figure 10 it is obvious that a systematic difference of about 2 dB(A) exists between observed and calculated  $L_{Aeq,8h}$ -values if the latter are derived from  $HTL_{0,10}$ -values according to ISO/DIS 1999.2. It means that observed hearing threshold levels are somewhat higher than given by ISO/DIS 1999.2. This small discrepancy may be due to several reasons: the "correction value" of  $A.N/120$  may be too large, thus giving too small values of  $H$  for larger values  $A$  and  $N$ . If the "correction value" would have been  $A.N/80$  the discrepancy between calculated and observed values would have been smaller. Also, deviations of  $Au_{0,10}$  and/or  $N$  from the actual values may cause the discrepancy observed. Another explanation for the observed discrepancy may be that nowadays a larger dispersion exists between the individual  $L_{Aeq,8h}$ -values to which workers of the same (sub)population, are exposed than existed in the surveys which were the basis of ISO/DIS 1999.2. Nowadays  $L_{Aeq,8h}$ -values to which workers are exposed, have standard deviations of 2 to 3 dB(A). Therefore, also a population of workers considered in first instance to

be exposed to the same  $L_{Aeq,8h}$ -values, apparently have different individual  $L_{Aeq,8h}$ -values. This will cause a larger variance in hearing threshold levels than observed in the surveys which were the basis of ISO/DIS 1999.2, if in those surveys the variation in  $L_{Aeq,8h}$ -values was less. At the same time ISO/DIS 1999.2 has been based on hearing threshold levels of workers exposed to constant noise, and in some of the present studies exposure to fluctuating and impulse noise was not excluded. All in all, the discrepancy between estimated  $L_{Aeq,8h}$ -values and the actual ones may be due to a combination of several reasons. However, a discrepancy of only 2 dB(A) is considered negligible for practical purposes.

Recently, Robinson (Robinson, 1987) published a report on the relations between noise-induced hearing loss and noise exposure, in which a new analysis is made of older experimental data. He develops a model on the relationship of noise-induced hearing loss and noise exposure, in which the age-related hearing threshold levels play a critical role. The concept is inferior to that of ISO/DIS 1999.2, since it is shown to yield for the limited part of hearing threshold levels from the 0,25th to the 0,75th fractiles only (extrapolations to 0,10th fractiles have been based on other considerations) and since it is given for a limited number of test frequencies (1000, 2000 and 4000 Hz) only (for 3000 Hz another method was adopted). Below  $L_{Aeq,8h}$ -values of 95 dB(A) there appears, for otologically screened and unscreened populations, a large discrepancy, especially at 4000 Hz, between the hearing threshold levels according to ISO/DIS 1999.2 and those according to Robinson's new data. This yields as well as for median values as for lower fractiles (e.g. at 4000 Hz, the ISO/DIS 1999.2 values exceed those of Robinson by 10 to 15 dB at an  $L_{Aeq,8h}$ -value of 85 dB(A)). As can be observed in figure 11, the values given by Robinson for  $HTL_{0,10}$  for otologically unscreened population not exposed to noise during working hours exceed those given by ISO/DIS 1999.2 (using data base ISO Au) for populations exposed to 95 dB(A) during working hours. Since so many data points of exposed (sub)populations are well below the Robinson curve for unscreened non-noise-exposed populations, these curves must be in error. They show a crucial underestimation by Robinson of the noise-induced part of the hearing threshold levels of otologically unscreened occupational noise-exposed groups.



**Figure 11.** HTL<sub>0,10</sub> at 4000 Hz as a function of age. Values for otologically unscreened populations according to ISO/DIS 1999.2, for L<sub>Aeq,8h</sub>-values from 75 to 100 dB(A) have been plotted in the figure.



#### 4. CONCLUSION

In the second chapter of this report it has been shown that data base ISO A may serve as a data base for otologically unscreened populations with the 0,90-fractile values unchanged and with median values increased by 2 dB and 0,10-fractile values increased by 6 dB. Data base ISO B and the recently published data base by Robinson (1988) both overestimate age-related hearing threshold levels of otologically unscreened populations not exposed to occupational noise. Possible explanations of this discrepancy may be the inclusion of subjects with occupational noise exposure in the reference populations from which the ISO B and the Robinson data base have been derived, or differences in the motivation and preparation of the subjects, since both data base ISO B and Robinson's data base are based upon mass surveys. At the same time, both data bases are based on surveys carried out 10 to 30 years ago.

In the third chapter of this report hearing threshold levels at 4000 Hz of occupational noise-exposed populations have been compared with those predicted by ISO/DIS 1999.2. In general, the median hearing threshold levels of 56 (sub)populations with their corresponding actual  $L_{Aeq,8h}$ -values agree very close to the values predicted by ISO/DIS 1999.2. This conclusion holds for  $L_{Aeq,8h}$ -values from below 80 dB(A) to over 100 dB(A), thus covering the complete noise-exposure range to which ISO/DIS 1999.2 is applicable.

From the data of 33 (sub)populations a systematic difference of about 2 dB(A) has been observed between the actual  $L_{Aeq,8h}$ -values and values calculated from ISO/DIS 1999.2, if the latter are derived from the  $HTL_{0,10}$ -values of the occupational noise-exposed (sub)populations. This small discrepancy may be due to several reasons, outlined in the report. Moreover, a discrepancy of only 2 dB(A) is considered negligible for practical purposes.

However, although there is on average a very good agreement between observed hearing threshold levels and those predicted by ISO/DIS 1999.2, a large dispersion exists between populations: hearing threshold levels of occupational noise-exposed populations having the same characteristics, such as age and  $L_{Aeq,8h}$ -values to which they are exposed, may differ

considerable. Only further research/analysis may clarify this observed dispersion between populations.

5. REFERENCES

- ABEL, S.M., C.A. HAYTHORNTWAITE. The progression of noise-induced hearing loss - survey of workers in selected Canadian industries. Journ.Otolaryng. 13 suppl 13, April, 1984.
- CHUNG, D.Y. 6-kHz Notch in noise-induced hearing loss. Letter to the editor.
- DRISCOLL, D.P., L.H. ROYSTER. Comparisons between the median hearing threshold levels for an unscreened black non-industrial noise exposed population (NINEP) and four presbycusis data bases. Am.Ind.Hyg.Assoc. 45 (1984) (9), 577-593.
- EVANS, W.A., H.Y. MING. Industrial noise-induced hearing loss in Hong Kong - A comparative study. Ann.Occup.Hyg. 25 (1982) (1), 63-80.
- IRION, H., R. ROSSNER, H. LAZARUS. Entwicklung des Hörverlustes in Abhängigkeit von Lärm, Alter und anderen Einflüssen. Bundesanstalt für Arbeitsschutz. Forschungsbericht Nr 370, Dortmund, 1983.
- ISO/DIS 1999.2. Acoustics-Determination of occupational noise exposure and estimation of noise-induced hearing impairment. International Organization for Standardization, Geneva, 1985.
- LINDEMAN, H.E., M.M. VAN DER KLAUW, F.A. PLATENBURG-GITS. Hearing acuity in male adolescents (young adults) at the age of 17 to 23 years. Audiology 26 (1987), 65-78.
- PASSCHIER-VERMEER, W. De relatie tussen gehoorverlies en leeftijd. NIPG-TNO. Report 87030, Leiden, 1987.
- PASSCHIER-VERMEER, W. Gehoorschade door lawaai, I. NIPG-TNO. Report 87032, Leiden, 1987.
- PASSCHIER-VERMEER, W., A.J.M. ROVEKAMP. Transversaal gehooronderzoek bij referentiegroepen ten behoeve van gehooronderzoek in de bouw. IMG-TNO, Delft, 1984.
- PASSCHIER-VERMEER, W. Hearing threshold levels and noise-induced hearing loss in the building industry, in relation to hearing threshold levels of reference groups. NIPG-TNO. Report 88044, Leiden, 1988.
- PFEIFFER, B.H., J.H. MAUE. Impuls-Lärmbelastung in Bauberufen. Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit. Report 4/85, Sankt Augustin, 1985.
- PROSSER, S., M.C. TARTARI, E. ARSLAN. Hearing loss in sports hunters exposed to occupational noise. Br.Journ.Audiol. 22 (1988), 85-91.
- ROBINSON, D.W. Threshold of hearing as a function of age and sex for the typical unscreened population. Br.Journ.Audiol. 22 (1988), 5-20.

- ROBINSON, D.W. Noise exposure and hearing. A new look at the experimental data. ISVR, University of Southampton. Research Report no 1/1987, Southampton, 1987.
- ROBINSON, D.W., G.J. SUTTON. A comparative analysis of data on the relation of pure-tone audiometric thresholds to age. NPL. Acoustics Report Ac 84, Teddington, 1978.
- ROVEKAMP, A.J.M., W. PASSCHIER-VERMEER. Anamnese tijdens gehooronderzoek bij de uitvoering van een gehoorbeschermingsprogramma. NIPG-TNO, Report 88045, Leiden, 1987.
- SATALOFF, J., R.T. SATALOFF, H. MENDUKE, et al. Hearing loss and intermittent noise exposure. Journ.Occ.Med. 26 (1984) (9), 649-656.
- SZANTO, Cs., M. IONESCU. Influence of age and sex on hearing threshold levels in workers exposed to different intensity levels of occupational noise. Audiology 22 (1983), 339-356.
- TAYLOR, W., B. LEMPERT, P. PELMEAR et al. Noise levels and hearing thresholds in the drop forging industry. J.Acoust.Soc.Am. 76 (1984) (3) 807-819.
- THIERY, L., C. MEYER-BISCH. Hearing loss due to partly impulsive industrial noise exposure. Submitted for publication to JASA.
- WAUDBY, C. Hearing threshold levels according to age. Br.Journ.Audiology 18 (1984), 55-57.

## ANNEX 1

### DIFFERENCES BETWEEN HEARING THRESHOLD LEVELS OF OTOLOGICALLY UNSCREENED POPULATIONS AND THOSE OF OTOLOGICALLY SCREENED (SUB)POPULATION.

Three recent surveys consider the differences between hearing threshold levels of otologically unscreened populations and those of otologically screened (sub)populations (Irion, 1983; Taylor, 1984; Passchier-Vermeer, 1986, see also Røvekamp, 1987). In all three surveys thorough medical otological examinations were carried out and extensive questionnaires on aspects of hearing and noise exposure had to be answered by the workers.

The survey by Irion concerns 1129 occupational noise-exposed workers. The number of workers with otological abnormalities, not due to occupational noise exposure, those having used ototoxic drugs and/or having had ototoxic infective diseases, those with hearing impairment from manipulations during world war II is in total 285, which is 25,2% of the total population (4,5% ototoxic drugs/infective diseases; 5,5% exposure during world war II).

The survey by Passchier-Vermeer concerns 2076 workers. The percentage of workers with otological abnormalities, not due to occupational noise exposure, and those having used ototoxic drugs or had ototoxic infective diseases or serious head injuries is 26,9% of the total population (10% solely due to the latter causes).

The survey by Taylor concerns hearing threshold levels of 370 control subjects, 244 press operators and 616 hammer operators, i.e. 1250 persons in total. Persons with otological pathology are 15,4% of the total population (controls 12,8%, press operators 13,5%, hammer operators 17,9%). In this survey no mention is made of ototoxic drugs, ototoxic infective diseases and head injuries. Therefore the percentages are somewhat lower than those in the surveys by Irion and by Passchier-Vermeer.

In the next table the differences between the hearing threshold levels of the otologically unscreened populations and those of the otologically screened (sub)populations are given for the fractiles 0,90, 0,50 and 0,10.

The differences given by Irion are taken from figure 1 at page 123 of his report, assuming that differences in mean thresholds are equal to differences in median thresholds. The differences between the 0,90 and 0,10 fractiles are estimated using the mean hearing threshold levels and the standard deviation (s.d.) by applying the relations of  $HTL_{0,10} = \overline{HTL} + 1,1 \text{ s.d.}$  and  $HTL_{0,90} = \overline{HTL} - 1,5 \text{ s.d.}$  For noise-exposed populations these relations give on average a reasonable estimate of  $HTL_{0,90}$  and  $HTL_{0,10}$  (adapted from Røvekamp, 1987).

The data of Passchier-Vermeer are taken directly from table 19 and table T3 of the report by Røvekamp (1987).

The data of Taylor have been calculated by averaging the results of the control subjects, hammer operators and press operators. It concerns the table VI and VII of this publication for the control subjects, the tables X and XI for press operators, the tables XIII and XIV for hammer operators. The values given by Taylor indicate that no effect on the differences exist between the various groups. At the same time, the differences do not appear to be related to the mean ages of the (sub)-populations, as could also be observed in the survey by Passchier-Vermeer. To determine the differences in median values, the median values of the various tables have been taken. To calculate differences in the 0,10- and 0,90 fractile of the hearing threshold levels, the relations as given before in the discussion on the Irion-data have been applied.

Table 1 of Annex 1. Differences between hearing threshold levels of otologically unscreened populations and otologically screened (sub)populations. Differences for the fractiles 0,90, 0,50 and 0,10.

Frequency (in hertz)	Differences in hearing threshold levels (in dB) for								
	fractile 0,90			fractile 0,50			fractile 0,10		
	Irion	Taylor	Passchier	Irion	Taylor	Passchier	Irion	Taylor	Passchier
500	1	-1	0	3	1	1	8	4	7
1000	0	-1	0	3	1	1	8	5	7
2000	0	0	0	3	1	1	9	3	7
3000	0	1	0	3	1	2	6	1	6
4000	1	1	0	3	1	2	8	1	6
6000	1	0	0	4	1	2	10	1	6

In the next table the values from table Annex 1 have been averaged over the three surveys. The mean values are given in full numbers.

Table 2 of Annex 1. Differences between hearing threshold levels of otologically unscreened populations and otologically screened (sub)populations. Differences for the fractiles 0,90, 0,50 and 0,10.

Frequency (in hertz)	Differences in hearing threshold levels (in dB) for		
	fractile 0,90	fractile 0,50	fractile 0,10
500	0	2	6
1000	0	2	7
2000	0	2	6
3000	0	2	4
4000	1	2	5
6000	0	2	6
average	0	2	6

It appears that differences are rather independent of frequency. Therefore an average estimate over the frequencies considered is also given in the table.



## ANNEX 2

DIFFERENCES BETWEEN MEDIAN HEARING THRESHOLD LEVELS AT AN AGE OF 18 YEARS AND AUDIOMETRIC ZERO ACCORDING TO ISO 389.

In ISO/DIS 1999.2 data base ISO A has been specified in Annex A. This data base is identical to values given in ISO 7029. The median hearing threshold levels of otologically screened populations are given relative to the median value at an age of 18 years. This median value is for practical purposes taken as zero as specified in ISO 389.

This annex deals with an analysis of the results of three Netherlands surveys, concerning otologically unscreened populations: data base Passchier-Vermeer (I) determined for application in hearing conservation programs in industry, data base Passchier-Vermeer (B), determined in a survey on the hearing of workers in the building industry, and Lindeman (1987) concerning the hearing of 163 male adolescents at the age of 17 to 23 years, attending secondary or technical school at the beginning of the longitudinal study. From the last publication, the data of the first investigation are taken referring to the populations at a mean age of 17,0 years.

In the first two surveys, hearing threshold levels are given as a function of age. The analysis allow an estimation of the median hearing threshold levels at an age of 18 years. These values are given in table 1 of this Annex.

The data from all three surveys refer to otologically unscreened populations.

Table 1 of Annex 2. Median hearing thresholds at an age of 18 years of otologically unscreened populations from three Dutch investigations.

Frequency (in hertz)	$A_{0,50;18}$ (in dB) from			
	Passchier (I)	Passchier (B)	Lindeman	Average
500	1,7	1,2	2,3	1,7
1000	1,2	-1,0	-0,5	-0,1
2000	0,2	-0,3	-0,8	-0,3
3000	0,5	1,8	2,6	1,6
4000	1,0	4,0	3,5	2,8
6000	2,7	6,7	5,3	4,9

To estimate  $A_{0,50;18}$  of otologically screened populations, the Netherlands data for differences between median hearing threshold levels of otologically unscreened and screened populations (Passchier-Vermeer, 1986) are applied to the average values given in the table 1 of this annex. The results are given in the next table. They are compared with data given by Robinson (Robinson, 1988) on otologically screened populations.

Table 2 of Annex 2. Median hearing threshold levels of otologically screened populations and those of otologically unscreened Dutch populations.

	$A_{0,50;18}$ (in dB)			
	unscreened Netherlands population	differences unscreened/ screened	screened Netherlands population	screened population Robinson
500	1,7	1,3	0,4	2,1
1000	-0,1	1,3	-1,2	0,7
2000	-0,3	1,3	-1,0	-0,8
3000	1,6	1,6	0,0	0,7
4000	2,8	1,6	1,2	0,9
6000	4,9	1,6	3,3	6,2

Relevant to this report are the values at 4000 Hz. Both the analysis of Robinson and the Netherlands investigations show a value of 1 dB of the median hearing threshold level of otologically screened populations. This value of 1 dB has not been taken into account in the calculations in this report.

### ANNEX 3

#### LONGITUDINAL STUDIES ON HEARING THRESHOLD LEVELS.

ISO/DIS 1999.2 specifies the relation between noise exposure and noise-induced hearing loss, which together with age-related data basis, allows the calculation of hearing threshold levels of populations. The model given in ISO/DIS 1999.2 has been based on results of cross-sectional studies. Therefore the model is applicable to populations and not to individuals. Only longitudinal studies on the progression of hearing threshold levels in the course of years can be the basis of knowledge about the progression of individual hearing threshold levels.

In the literature, longitudinal studies on hearing threshold levels are exceptional. Only 15 publications (Milne (1977), Lindeman (1987), Roche (1983), Richardson (1976), Axelsson (1987), Ostri (1986), Brown (1982), Moselhi (1979), Bergström (1986), Roche (1978), Irion (1983), Abel (1984), Erlandsson (1983), Howell (1978), Royster (1979)) concern longitudinal studies.

In evaluating the results of longitudinal studies two aspects have to be taken into consideration: reliability of hearing threshold level measurements and a possible learning effect. Some authors (Roche, Royster) report a learning effect, i.e. an observed improvement in hearing threshold levels in consecutive audiometric tests. Most authors did not observe a learning effect: either their surveys were not suitable for such observations or a learning effect was absent in their surveys. Reliability of hearing threshold level measurements is an important issue, since it obscures trends in the progression of individual hearing threshold levels.

With a view on the progression of hearing threshold levels of occupational noise-exposed subjects, the main question is whether individual curves of hearing threshold levels as a function of age follow the general trends of populations (e.g. given in ISO/DIS 1999.2) or whether there is a relevant deviation of individual changes in hearing threshold levels over time from the population trends. Therefore, from the publications an answer was searched to the question whether individual changes in hearing threshold levels over time depend

upon initial hearing threshold level for subjects exposed to occupational noise. With this in mind, the 15 publications mentioned earlier have been screened. Unfortunately seven publications do not deal with occupational noise-exposed subjects: five (Roche, Roche, Richardson, Axelsson, Lindeman) refer to (school) children and two (Milne, Ostri) to older people. Also, one survey (Brown) relates to changes in hearing threshold levels during the first year of employment and due to this limited exposure period and the reliability of audiometric tests, no conclusions can be drawn from Brown's paper. Although the data from Royster, Moselhi and Bergström refer to noise-exposed subjects, their results are only given as mean (or median) hearing threshold levels at different times and do not relate to changes in individual hearing threshold levels.

This leaves four surveys (Abel, Irion, Erlandsson, Howell) which will be discussed in more detail.

Erlandsson (1983) analysis the hearing threshold levels of 58 shipyard workers, annually measured over a period of 4 years using Békésy sweep-frequency audiometry. He compares the mean value of the yearly changes in the hearing threshold levels of the 58 workers with mean yearly changes in hearing threshold levels of reference populations and concludes that yearly changes as small as 2 dB (averaged over 2000 to 8000 Hz) establish a statistical significant threshold shift caused by exposure to noise. Unfortunately, the rate of change of the individual hearing threshold levels is not given as a function of initial hearing threshold level.

Irion (1983) gives the changes in hearing threshold levels, over a 7-year period, of 643 otologically unscreened and of 465 otologically screened subjects. He presents mean values and standard deviations of changes in hearing threshold levels of subjects, splitted up according to exposure time and equivalent sound level. Also, Irion does not give changes in hearing threshold levels as a function of initial hearing threshold level.

The same applies to Abel (1984). She presents results of longitudinal studies in three factories. In the survey at Ontario Hydro, no changes over years of hearing threshold levels are given. Results of Falcon-

bridge Nickel Mines show the progression of hearing threshold levels of 15 of the 77 drillers. It is also shown that the average change of the hearing threshold levels at 4000 Hz is 1,7 dB/year. Differences between hearing threshold levels from the earliest to the most recent tests are also given for motorman chute blasters, but the period between the tests is not stated. Data from the Dominion Foundries and Steel Limited (DOFASCO) show for 16 of the 47 pickle line workers, 10 of the 33 chippers and grinders and 10 of the 20 powerhouse workers, the hearing threshold levels as a function of test year (over a period of twelve years). Means and standard deviations of the hearing threshold levels at the first and last test (separated by 12 years) are also given. The yearly changes in the hearing threshold levels are on the average about 1 dB/year.

Howell (1978) reviews audiometric records of 449 male manual steelworkers. Subjects are between 15 and 54 years old at the time of the initial test and had a repeat audiogram 6 to 8 years later. They are classified into three occupational noise-exposure groups: below 90 dB(A), 90-99 dB(A) and 100 dB(A) and over. Measurements at 500, 1000, 2000, 3000, 4000 and 6000 Hz have been considered as the mean of the six frequencies, the mean at 500, 1000 and 2000 Hz and 6000 Hz only. The subjects are classified according to initial hearing threshold level. After standardization for age, it was found that those in the high initial threshold groups deteriorated no faster than the remainder of the (sub)population. The results are given in the table of this Annex. The table shows that the mean changes, during the seven-year period of exposure to the same equivalent sound level, are not dependent upon the initial hearing threshold level.

Table 1 to Annex 3. Age-standardised mean change in hearing threshold levels during the seven-year review (according to Howell).

Frequency (in hertz)	Initial hearing threshold level (in dB)	Mean change (in dB) in hearing threshold level during seven year exposure to a level of		
		100 dB(A) and over	90-99 dB(A)	less than 90 dB(A)
500-6000	< 12	7,5	7,8	6,2
	12-26	8,7	6,8	5,0
	> 26	7,1	7,3	5,2
500,1000,2000	< 6	6,4	5,6	4,1
	6-13	5,3	5,7	3,2
	> 13	3,9	5,3	2,8
6000	< 20	15,1	14,5	10,4
	20-39	11,2	11,4	7,8
	> 39	10,5	9,6	9,6

To conclude: in the literature only 15 publications concern longitudinal studies on hearing threshold levels. Of these, only one publication (Howell, 1979) relates the change in hearing threshold levels over time to the initial hearing threshold levels. The results of the publication show that the changes in the hearing threshold levels do not depend upon the initial hearing threshold level. This result should be verified by other surveys.

REFERENCES TO ANNEX 3

- ABEL, S.M., C.A. HAYTHORNHWAITE. The progression of noise-induced hearing loss. A survey of workers in selected industries in Canada. *Journ.Otolaryngol.* 13 (1984) suppl 13, 1-36.
- AXELSSON, A, A. ANIARSSON, O. COSTRA. Hearing loss in school children. *Scand.Audiol.* 16 (1987), 137-143.
- BERGSTROM, B., B. NYSTROM. Development of hearing loss during long-term exposure to occupational noise. A 20-year follow-up study. *Scand.Audiol.* 15 (1986), 227-234.
- BROWN, C.R. Comparison of hearing loss in the first year of employment in workers assigned to noise-hazard and non-noise-hazard areas at the state prison industries. *Am.Ind.Hyg.Assoc.J* 43 (1982) 39-42.
- ERLANDSSON, H. HAKANSON, A. IVARSSON, P. NILSSON, H. SHEPPARD. Hearing deterioration in shipyard workers. Serial audiometry over a four-year period. *Scand.Audiol.* 12 (1983) 265-270.
- HOWELL, R.W. A seven-year review of measured hearing levels in male manual steelworkers with high initial thresholds. *Br.Journ.Ind. Med.* 35 (1978), 27-31.
- IRION, H., R. ROSSNER, H. LAZARUS. Entwicklung des Hörverlustes in Abhängigkeit von Lärm, Alter und anderen Einflüssen. Bundesanstalt für Arbeitsschutz. Forschungsbericht 370. Dortmund, 1983.
- LINDEMAN, H.E., M.M. VAN DER KLAUW, F.A. PLATENBURG-GITS. Hearing Acuity in Male Adolescents (Young Adults) at the age of 17 to 23 years. *Audiol.* 26 (1987), 65-78.
- MILNE, J.S. A longitudinal study of hearing loss in older people. *Br. Journ.Audiol.* 11 (1977), 7-14.
- MOSELHI, M., Y.M. EL-SADIK, A. EL-DAKHAKHNY. A six-year follow up study for the evaluation of the 85 dB(A) safe criterion for noise exposure. *Am.Ind.Hyg.Assoc.J.* 40 (1979), 424-426.
- OSTRI, B., M. KATHOLM, J. PARBO, A. PARVING. Epidemiology of hearing impairment in male subjects: a follow-up investigation. *Br. Journ.Audiol.* 20 (1986), 269-275.
- RICHARDSON, K., C.S. PECKHAM, H. GOLDSTEIN. Hearing levels of children tested at 7 and 11 years. A National Study. *Br.Journ.Audiol.* 10 (1976), 117-123.
- ROCHE, A.F., D. MUKHERJEE, R.M. SIERVOGEL, Wm.C. CHUMLEA. Serial changes in auditory thresholds from 8 to 18 years in relation to environmental noise exposure. Proceedings of the fourth International Congress on Noise as a Public Health Problem. Turin (1983). Volume 1, 285-296.

ROCHE, A.F., R.M. SIERVOGEL, J.H. HIMES, D.L. JOHNSON. Longitudinal study of hearing in children: baseline data concerning auditory thresholds, noise exposure, and biological factors. J.Acoust. Soc.Am. 64 (1978), 1593-1601.

ROYSTER, L.H., J.D. ROYSTER. Methods of Evaluating Hearing Conservation Program Audiometric Data Bases. In: Personal Hearing Protection in Industry, edited by P.W. Alberti. Raven Press, New York (1982).