

Reproduceerbaarheid der continue audiometrie*

Drs. W. PASSCHIER-VERMEER te Leiderdorp

Ir. J. VAN DEN EIJK te Delft

Inleiding

In de Werkgroep relatie lawaai en lawaaidoofheid is onder andere de vraag naar de nauwkeurigheid van een gehoordrempelbepaling aan de orde gekomen. Vanuit bedrijfsgeneeskundig oogpunt is het van belang deze nauwkeurigheid te kennen bij de beoordeling van audiogrammen, die in de loop der jaren van iemand die in lawaai werkt zijn opgenomen, teneinde na te kunnen gaan of de gehoordrempel van deze persoon werkelijk verandert, of dat de waargenomen variatie in de gehoordrempel berust op meetonnauwkeurigheden. Omdat er in Nederland veelal geaudiometreerd wordt met een continue audiometer, is besloten het onderzoek naar de nauwkeurigheid van gehoordrempelbepalingen uit te voeren met een continue audiometer. Het onderzoek is in drie fasen verlopen. In elke fase werden proefpersonen geaudiometreerd met binnenoorafwijkingen, waarvan op grond van de anamnese verwacht kan worden dat deze afwijkingen stationair zijn. Er zijn slechts personen met binnenoorafwijkingen beschouwd, omdat het gehoorverlies dat ontstaat door werken in lawaai ook een binnenoorafwijking is.

De gevolgde meetmethode is beschreven in „Aanbevelingen voor audiometrisch onderzoek in de industrie”¹. Om de gehoordrempel te bepalen werd derhalve de overgang van niet horen naar wel horen vastgesteld bij variatie van de frequentie, waarbij de intensiteit van de toon een constant aantal dB boven de normale gehoordrempel gehouden werd. De audiogramkaarten zijn afgelezen in stappen van 5 dB bij de in de hierboven genoemde „Aanbevelingen” vermelde frequenties (zie Tabel 1).

Deelonderzoek 1

In dit onderzoek zijn enkele oriënterende metingen verricht door één audiometriste aan één proefpersoon met één audiometer. In de loop van een maand is van de proefpersoon telkens het linkeroor en het rechteroor geaudiometreerd op tien verschillende dagen. Tevens is de proefpersoon op één dag tien maal aan het linkeroor en aan het rechteroor geaudiometreerd. Voor het linkeroor en het rechteroor werd bij elke frequentie zowel het gemiddelde bepaald van de tien gehoordrempelmetingen op één dag als van de tien gehoordrem-

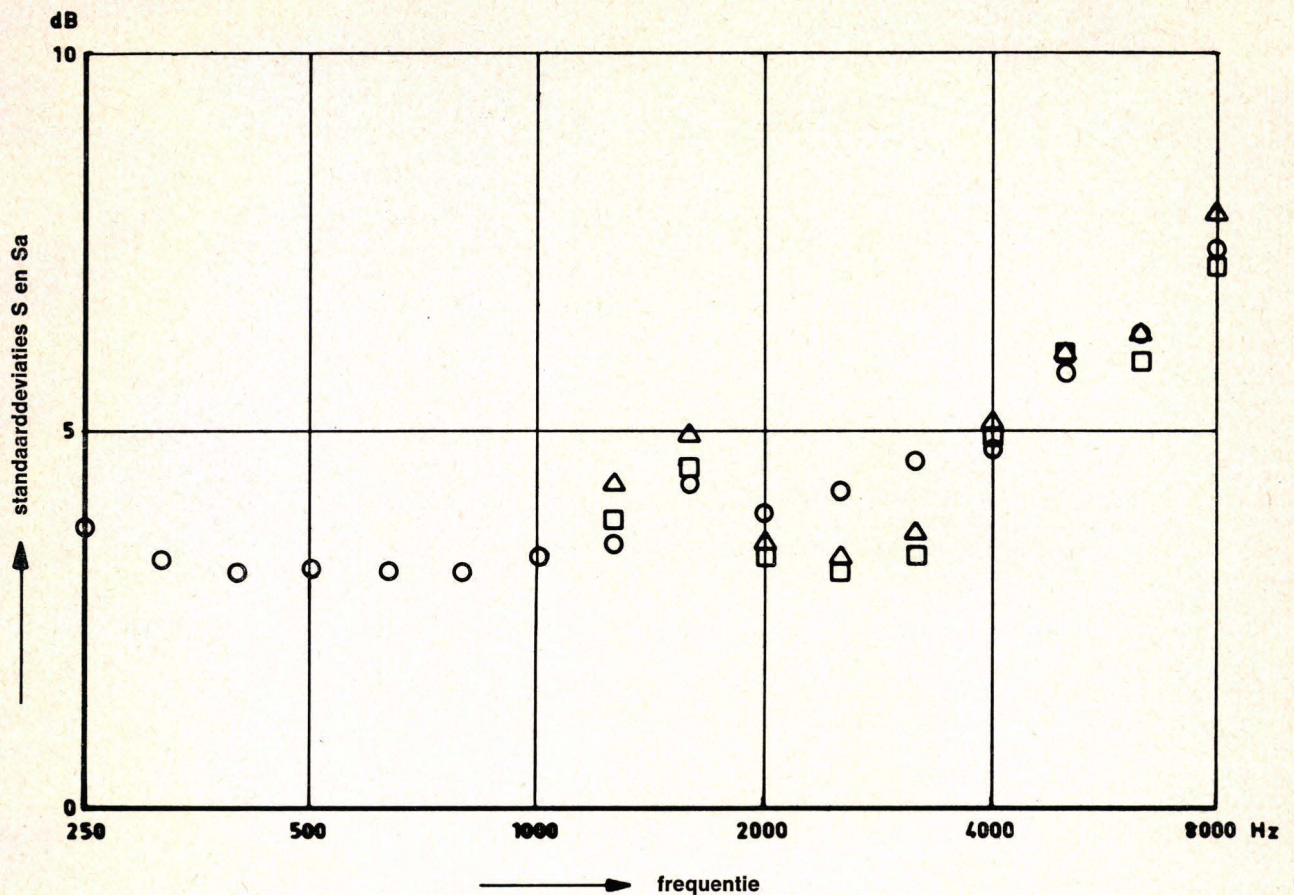
Uit onderzoek naar de reproduceerbaarheid van audiogrammen, die zijn opgenomen volgens de methode van de continue audiometrie, blijkt dat de standaarddeviatie van een gehoordrempelbepaling toeneemt van 3 dB bij 250 Hz tot 7 dB bij 8000 Hz. Om uit twee audiogrammen te mogen concluderen tot een reële toename van de gehoordrempel bij een bepaalde frequentie, moet deze toename tenminste 10 dB zijn voor frequenties lager dan 4000 Hz, tenminste 15 dB voor frequenties van 4000 tot 8000 Hz en tenminste 20 dB voor 8000 Hz (5%-significantieniveau), onafhankelijk van het feit of de audiogrammen zijn opgenomen door dezelfde of door verschillende audiometristen.

pelmetingen gedurende de maand. Als maat voor de spreiding in de meetuitkomsten is de standaarddeviatie gekozen. Het bleek dat zowel de gemiddelden als de standaarddeviaties practisch onafhankelijk zijn van het feit of de audiogrammen

Tabel 1. Standaarddeviatie van een, met een continue audiometer bepaalde, gehoordrempel als functie van de frequentie van de gehoordrempel

frequentie	deelonderzoek 2 1 audiometrist 10 proefpersonen	deelonderzoek 3 7 audiometristen 92 proefpersonen	standaarddeviatie van een gehoordrempelbepaling als de audiogrammen zijn opgenomen door:	
	één audiometrist	één audiometrist	een aantal audiometristen	
250 Hz	3,7	—	—	—
315	3,3	—	—	—
400	3,1	—	—	—
500	3,2	—	—	—
630	3,1	—	—	—
800	3,1	—	—	—
1000	3,3	—	—	—
1250	3,5	3,8	4,3	—
1600	4,3	4,5	4,9	—
2000	3,9	3,3	3,4	—
2500	4,2	3,1	3,2	—
3150	4,6	3,3	3,6	—
4000	4,8	4,9	5,0	—
5000	5,8	6,0	6,0	—
6300	6,3	5,9	6,3	—
8000	7,4	7,2	7,9	—

* Publikatie nr 408 van het Instituut voor gezondheids-techniek TNO



Figuur 1. Standaarddeviatie van een gehoordrempelbepaling als functie van de frequentie van de gehoordrempel
 ○ resultaat uit deelonderzoek 2; s is representatief voor een aantal dagen en één audiometrist
 □ resultaat uit deelonderzoek 3; s is representatief voor een aantal jaren en één audiometrist
 △ resultaat uit deelonderzoek 3; s_a is representatief voor een aantal jaren en verscheidene audiometristen

direkt na elkaar zijn opgenomen of op verschillende dagen. De gevonden spreiding schijnt inherent te zijn aan de gevolgde meetmethode en eventuele fluctuaties van de gehoordrempel op een dag en niet het gevolg van eventuele van dag tot dag optredende variaties in de ligging van de gehoordrempel.

Deelonderzoek 2

In dit onderzoek werden van tien proefpersonen door één audiometriste met één audiometer in de loop van ruim een maand zowel van het rechteroor als van het linkeroor audiogrammen opgenomen; elke proefpersoon werd op tien verschillende dagen geaudiometreerd. Uit de meetresultaten werd voor een aantal frequenties de standaarddeviatie berekend, waarmee rekening gehouden moet worden als het gaat om een eenmalig bepaalde gehoordrempel die representatief moet zijn voor een periode waarbinnen aangenomen wordt dat het gehoor niet wezenlijk verandert, dw.z. dat alleen toevalsfluctuaties in de metingen optreden. In *Figuur 1* is de standaarddeviatie als functie van de frequentie uitgezet. In *Tabel 1* zijn de waarden opgenomen.

Deelonderzoek 3

Voor dit onderzoek zijn audiogrammen bewerkt die zijn opgenomen in het kader van een onderzoek door het Nederlands instituut voor praeventieve geneeskunde TNO naar de gehoortoestand van LTS-leerlingen. In totaal zijn de audiogrammen van 97 proefpersonen bewerkt. Er waren 7 audiometristen bij het onderzoek betrokken, hoewel geen der proefpersonen door alle audiometristen is geaudiometreerd. Wel is elke proefpersoon door tenminste twee audiometristen geaudiometreerd. De audiogrammen zijn opgenomen met drie geregeld geijkte audiometers, in een aantal onderzoekruimten en in de loop der jaren op verschillende tijdstippen van de dag. Onder de audiometristen bevonden zich zowel geoefende als vrijwel ongeefende personen.

Vele audiogrammen zijn opgenomen in ruimten met vrij veel omgevingslawaai. Aangezien het mogelijk is dat de normale gehoordrempel door dit lawaai wordt gemaskeerd, is in deze gevallen als laagste niveau bij de gehoordrempelbepalingen 15 dB boven de normale gehoordrempel gekozen. Dit impliceert dat pas bij een gemeten gehoordrempel van méér dan 15 dB gesproken kan worden van een gehoordrempelbepaling; immers geeft de

proefpersoon te kennen het laagste niveau (15 dB) te hebben gehoord, dan betekent dit dat de gehoordrempel ten hoogste 15 dB is, maar eventueel ook bijv. 0 dB kan zijn. Deze procedure heeft tot gevolg gehad, dat beneden 1250 Hz bijna geen gehoordrempelbepalingen gedaan zijn, omdat bijna alle proefpersonen te kennen gaven beneden deze frequentie het 15 dB-niveau te horen. Om schattingen op grond van zeer weinig waarnemingen te voorkomen zijn derhalve slechts de resultaten voor frequenties van tenminste 1250 Hz bewerkt.

Er zijn uit de meetresultaten twee standaarddeviaties bepaald. De standaarddeviatie s_a van een enkele gehoordrempelbepaling heeft betrekking op zowel de onnauwkeurigheid van de meetuitkomst, waarin ook de fluctuaties in de gehoorscheppte van een persoon begrepen zijn, als op fluctuaties tussen audiometristen. Wordt, volgens een statistische methode, uit s_a de fluctuaties tengevolge van de verschillende audiometristen geëlimineerd, dan krijgt men de standaarddeviatie s van een enkele gehoordrempelbepaling, welke uitsluitend betrokken is op de meetonnauwkeurigheid (waarin wederom de fluctuaties van de gehoorscheppte begrepen is). In *Figuur 1* zijn s_a en s uitgezet als functie van de frequentie, terwijl in *Tabel 1* de waarden van s_a en s zijn opgenomen. Uit *Figuur 1* en *Tabel 1* blijkt dat er weinig verschil is tussen s_a en s . Kennelijk is het audiometristeneffect klein ten opzichte van de meetonnauwkeurigheid. Een gehoordrempel zal dan ook gemiddeld door alle audiometristen op ongeveer hetzelfde niveau gemeten worden. Het is duidelijk dat dit een eerste vereiste is voor een goede meetmethode.

Over het algemeen bestaat er een goede overeenkomst tussen de resultaten, wat betreft s , van de deelonderzoeken 2 en 3. Over de gevonden kleine verschillen zullen de onderzoekers zich dan ook geen zorgen maken.

In het vervolg zullen de resultaten van deelonderzoek 3 worden aangehouden, omdat deze zijn gebaseerd op verscheidene audiometristen, terwijl de audiogrammen tevens zijn opgenomen in een situatie die vergelijkbaar is met situaties die in de industrie gangbaar zijn. Bij frequenties van ten hoogste 1000 Hz zijn de resultaten van deelonderzoek 2 overgenomen. In *Tabel 2* is het eindresultaat opgenomen.

Bespreking resultaten

In *Tabel 2* zijn de standaarddeviaties s en s_a opgenomen. De standaarddeviatie s is die waarmee rekening gehouden moet worden als de gehoordrempelmeting wordt verricht door één audiometrist. Worden in de loop van de tijd audiogrammen opgenomen door verschillende audiometristen, dan is de standaarddeviatie s_a van toepassing. Wanneer men wil nagaan of het gehoorverlies van iemand in de loop van de tijd groter geworden is, dan moet men weten hoe groot het eventueel gemeten verschil tenminste moet zijn om hiertoe te kunnen

Tabel 2. Standaarddeviaties van gehoordrempels, die zijn bepaald met een continue audiometer door één of verscheidene audiometristen, als functie van de frequentie van de gehoordrempel

frequentie	standaarddeviatie van een gehoordrempelbepaling	
	één audiometrist s	verscheidene audiometristen s_a
250 Hz	3,7	—
315	3,3	—
400	3,1	—
500	3,2	—
630	3,1	—
800	3,1	—
1000	3,3	—
1250	3,8	4,3
1600	4,5	4,9
2000	3,3	3,4
2500	3,1	3,2
3150	3,3	3,6
4000	4,9	5,0
5000	6,0	6,0
6300	5,9	6,3
8000	7,2	7,9

concluderen. Dit verschil kan worden berekend uit de hierboven vermelde standaarddeviaties van een enkele waarneming. Om uit het verschil van twee waarnemingen aan het zelfde oor tot een werkelijke toename van het gehoorverlies te kunnen concluderen, moet dat verschil tenminste $1,65 s_a \sqrt{2} = 2,3 s_a$ of $1,65 s \sqrt{2} = 2,3 s$ zijn, waarbij er een kans is van 5% op een foute conclusie

Tabel 3. Minimaal verschil tussen twee gemeten gehoordrempels om tot significante (5%) toename van het gehoorverlies te mogen concluderen, als functie van de frequentie van de gehoordrempel

frequentie	minimaal verschil tussen twee gemeten gehoordrempels om tot significante (5%) toename van het gehoorverlies te mogen concluderen, wanneer de audiogrammen zijn opgenomen door	
	één audiometrist	een aantal audiometristen
250 Hz	8,5 dB	—
315	7,6	—
400	7,1	—
500	7,4	—
630	7,1	—
800	7,1	—
1000	7,6	—
1250	8,7	9,9
1600	10,4	11,2
2000	7,6	7,8
2500	7,1	7,4
3150	7,6	8,3
4000	11,3	11,5
5000	13,8	13,8
6300	13,6	14,5
8000	16,6	18,1

(éénzijdige overschrijdingskans). In *Tabel 3* is het resultaat opgenomen.

Wanneer de audiogramkaarten in stappen van 5 dB worden afgelezen valt uit *Tabel 3* af te leiden, dat het gemeten verschil beneden 4000 Hz tenminste 10 dB moet zijn, tussen 4000 en 8000 Hz (inclusief 4000 Hz) tenminste 15 dB en bij 8000 Hz zelfs 20 dB om tot een werkelijke toeneming van het gehoorverlies te kunnen concluderen, waarbij er 5% kans is dat deze conclusie onjuist is. Dit geldt zowel in het geval dat de audiogrammen door dezelfde audiometrist zijn opgenomen als in het geval van verschillende audiometristen.

Het zal in de praktijk vaak voorkomen dat het begin-audiogram van een werknemer vergeleken moet worden met een aantal vervolg-audiogrammen. Zijn er bijv. n vervolg-audiogrammen, dan moet het verschil bij een bepaalde frequentie tussen de gehoordrempel van het begin-audiogram en de gemiddelde gehoordrempel van de n vervolgaudiogrammen tenminste $1,65 s_a \sqrt{1 + 1/n}$ of $1,65 s \sqrt{1 + 1/n}$ zijn, als men slechts 5% kans op een foutieve conclusie wil hebben.

Zijn er bijv. 4 vervolg-audiogrammen, dan moet het verschil tenminste $1,65 s_a \sqrt{5/4} = 1,8 s_a$ of $1,8 s$ zijn.

Tenslotte de vraag of het mogelijk is door combinatie van de meetresultaten bij een aantal frequenties reeds bij kleinere verschillen dan hierboven opgegeven zijn, te komen tot de uitspraak, dat het gehoor van iemand over een bepaald frequentiegebied verslechterd is. Deze vraag moet helaas ontkennend beantwoord worden. Het volgende is nl. uit deelonderzoek 2 gebleken. Een aantal audiogrammen wordt opgenomen van iemand, wiens gehoor niet wezenlijk verandert en daaruit wordt één bepaald audiogram gekozen. Vervolgens bepaald men voor meerdere frequenties per frequentie het verschil tussen de gehoordrempel van dit ene audiogram en de gemiddelde gehoor-

drempel van de overige audiogrammen. Het blijkt nu dat over het algemeen deze verschillen positief gecorreleerd zijn, d.w.z. dat de tendens aanwezig is dat als het ene verschil positief (of negatief) is, ook het andere verschil positief (resp. negatief) zal zijn. Zeer simplistisch gezegd komt het erop neer dat ook bij een niet wezenlijk veranderd gehoor, het ene audiogram gunstiger uit kan vallen dan een ander audiogram. Het aanwijzen van de oorzaak of van de oorzaken van dit belangwekkende verschijnsel valt echter buiten het bestek van het hier gerapporteerde onderzoek.

Verantwoording

De statistische bewerking is verricht door de Afdeling bewerking waarnemingsuitkomsten TNO.* De audiogrammen van het deelonderzoek 3 zijn ter beschikking gesteld door het Nederlands instituut voor praeventieve geneeskunde TNO.

Referenties

- 1 Aanbevelingen voor audiometrisch onderzoek in de industrie, uitgegeven door de Gezondheidsorganisatie TNO, Postbus 297, 's-Gravenhage, 1962
- 2 Reproduceerbaarheid der continue audiometrie I, intern rapport B 156, Afdeling geluid en licht, Instituut voor gezondheidstechniek TNO, Postbus 214, Delft
- 3 Reproduceerbaarheid der continue audiometrie II, intern rapport B 187
- 4 Reproduceerbaarheid der continue audiometrie III, intern rapport B 226

Summary

Reproducibility of sweep-frequency audiometry

Results are given of an investigation into the reproducibility of audiograms, recorded by manual sweep-frequency audiometers. The standard deviation of a measured hearing level turned out to be 3 dB at 250 Hz up to 7 dB at 8000 Hz, irrespective whether the audiograms have been recorded by the same or by different audiometrists.

* Sinds 11 september 1970 Instituut voor wiskunde, informatieverwerking en statistiek TNO (IWIS-TNO) genaamd