

H.E. LINDEMAN, M.Sc.

MEDISCH-AUDIOLOGISCHE ASPEKTEN VAN
LAWAaidOOFHEID ALS GEVOLG VAN EEN
OVERMATIGE EXPOSITIE AAN LAWAAI

NEDERLANDS INSTITUUT VOOR PRAEVENTIEVE GEZONDHEIDSZORG TNO

LEIDEN

maart 1979

BIBLIOTHEEK NEDERLANDS INSTITUUT
VOOR PRAEVENTIEVE GEZONDHEIDSZORG TNO
POSTBUS 214, 2300 AC LEIDEN

ULC
L59 2)

Gehele of gedeeltelijke publikatie van dit rapport is alleen geoorloofd indien daartoe schriftelijke toestemming is verleend door het Nederlands Instituut voor Praeventieve Gezondheidszorg TNO.

ULC
L 59
(2)

MEDISCH-AUDIOLOGISCHE ASPEKTEN VAN
LAWAAIDOOFHEID ALS GEVOLG VAN EEN
OVERMATIGE EXPOSITIE AAN LAWAAI

H.E. LINDEMAN, M.Sc.

Samengesteld op verzoek van de
CUR-commissie C-39
Stichting commissie voor uit-
voering van research ingesteld
door de betonvereniging
betreft 'Lawaai bij het ver-
werken van betonspecie'

NEDERLANDS INSTITUUT VOOR PRAEVENTIEVE GEZONDHEIDSZORG TNO
LEIDEN
maart 1979

20/3/79

INHOUD

blz.

Inleiding	1
Anatomie van het gehoororgaan	1
Fysiologie van het gehoororgaan	3
Pathologie van het oor	6
Wetgeving en schadeclaims in Amerika	10
Geluidleer	11
Algemene audiologie	15
Ontwikkeling van het gehooronderzoek	20
Audiometrie	23
Extra auditieve invloeden van geluid op de mens	24
Eigen onderzoek	25
Literatuur	30
Bijlagen	
1. gehooronderzoek	
2. tabel mediaan en P75 van audiogrammen	
3. 16 grafieken van mediaanaudiogrammen	

MEDISCH-AUDIOLOGISCHE ASPEKTEN VAN LAWAAIDOOFHED ALS GEVOLG VAN EEN OVERMATIGE EXPOSITIE AAN LAWAAI

Inleiding

Alvorens op enige konsekwenties van blootstelling aan overmatig lawaai in te gaan is het noodzakelijk enkele grondbeginselen betreffende anatomie, fysiologie en pathologie van het menselijk gehoororgaan uiteen te zetten.

Anatomie van het gehoororgaan

Om de werking van het menselijk gehoororgaan goed te kunnen begrijpen is het een vereiste een goed inzicht in de macrostructuur (anatomie) van het gehoororgaan te hebben.

Het perifere menselijke gehoororgaan bestaat uit drie goed van elkaar te onderscheiden delen: namelijk het uitwendige, het midden- en het binnenoor.

Onder het uitwendige oor worden de oorschelp (auricula) en de uitwendige gehoorgang (meatus auditorius externus) gerekend, terwijl het uitwendige oor door het trommelvees (membrana tympani) van het middenoor wordt gescheiden.

Aan de andere kant van het middenoor, waar dit overgaat in het binnenoor, bevinden zich het ovale venster (fenestra ovalis) en het ronde venster (fenestra rotunda).

In het middenoor bevinden zich drie beweeglijk met elkaar verbonden gehoorbeentjes. Deze gehoorbeentjesketen bestaat uit hamer (malleus), aambeeld (incus) en stijgbeugel (stapes). De hamer zit met zijn steel (manubrium) vast aan het trommelvees, terwijl de voetplaat van de stijgbeugel door middel van het ligamentum annulare (ringband) beweegbaar het ovale venster afsluit. Tussen hamer en stijgbeugel bevindt zich dan nog het aambeeld.

Voorts is het middenoor door de buis van Eustachius (tuba auditiva) met de neuskeelholte verbonden. Dit is van groot belang, omdat onder normale omstandigheden daardoor de luchtdruk aan weerszijde van het trommelvees gelijk is.

In het middenoor vinden we ook twee spiertjes, de musculus (m.) tensor tympani (spanner van het trommelvees) en de m. stapedius (stijgbeugelspier), die voor een goede geluidoverdracht in het middenoor een

zeer belangrijke functie vervullen. De m. stapedius is het kleinste spiertje in het menselijk lichaam. De m. stapedius wordt geïnnerveerd (voorziening) door een tak uit de VIIe hersenzenuw, de n. facialis, terwijl de m. tensor tympani door een motorische tak van de Ve hersenzenuw, de n. trigeminus wordt geïnnerveerd.

Niet alle levende wezens beschikken over deze ingewikkelde keten van drie gehoorbeentjes: vogels hebben slechts één gehoorbeentje (columella).

Het binnenoor (benige en vliezige labyrinth) bestaat anatomisch gezien uit een gedeelte dat met drie halfcirkelvormige kanalen en het voorhof (vestibulum) het evenwichtsorgaan (vestibulair apparaat) vormt en een gedeelte dat in verband staat met het horen. Dit gedeelte van het labyrinth is het slakkenhuis (cochlea), het geluidwaarnemend (perceptief orgaan).

N.B.: Het evenwichtsorgaan blijft verder buiten beschouwing.

Het slakkenhuis bestaat uit twee en driekwart binding, welke door een vlies (membrana basilaris) geheel in twee delen is verdeeld, met uitzondering aan de top (helicotrema) waar beide delen met elkaar in verbinding staan.

Het bovenste gedeelte (voorhofstrap of scala vestibuli) sluit aan bij het ovale venster en is tevens met het vestibulair apparaat verbonden, terwijl het onderste gedeelte (scala tympani) in verbinding staat met het ronde venster.

Beide delen, de scala vestibuli en de scala tympani, zijn met eenzelfde vloeistof (perilymfe) gevuld.

Het eigenlijke zintuig orgaan, het orgaan van Corti, bevindt zich in de ductus of canalis cochlearis (ook wel scala media) genoemd. De ductus cochlearis kan beschouwd worden als een onderdeel van de scala vestibuli, maar is niet met perilymfe, doch met endolymfe gevuld.

N.B.: Perilymfe bevat meer natrium- en de endolymfe meer kaliumionen.

Aan de zijde van de scala vestibuli is de ductus cochlearis afgesloten door de membraan van Reissner en aan de kant van de scala tympani door de membrana basilaris. De ductus cochlearis is ter plaatse van het helicotrema gesloten.

Het orgaan van Corti bestaat uit een buitenste (drie rijen) en een binnenste (één rij) laag van zintuigcellen (haarcellen) welke voorzien zijn van korte 'haartjes'.

Over de gehele lengte worden deze haartjes bedekt door de membrana

tectoria (dakvlies). Verder bevatten de haarcellen uiterst fijne uitlopers van de slakkenhuiszenuw (nervus cochlearis), welke samen met de voorhofsenuw (nervus vestibularis) de achtste hersenzenuw (nervus acusticus) vormen, welke in verbinding staat met de acoustische hersenschors.

Verder bevinden zich in de ductus cochlearis onder andere nog de steuncellen van Deiters en de cellen van Hensen, waarop de haarcellen geplaatst zijn.

De membrana basilaris bestaat uit 20.000 tot 40.000 dwarsverlopende 'snaartjes' welke bij de basis van het slakkenhuis het kortst en bij de top van het slakkenhuis het langst zijn.

Fysiologie van het gehoororgaan

Onder fysiologie van het gehoororgaan verstaan we de natuurlijke verrichtingen van dit orgaan.

Het menselijk gehoororgaan is een zintuig dat in staat is om luchttrillingen als geluid waar te nemen indien het aantal trillingen tussen de 18 en 18.000 per seconde ligt, uitgedruk in Hertz (Hz).

De luchttrillingen bereiken de oorschelp, welke op zichzelf slechts minieme betekenis heeft voor het richting horen: met name of het geluid van voren of van achteren komt. Veel dieren zijn in staat om hun oorschelpen in een bepaalde richting te draaien. Zij kunnen veel beter dan de mens een bepaalde geluidbron opsporen, terwijl ze ook veelal hogere geluiden kunnen waarnemen. Voor het richting horen maken we gebruik van het waarnemen van faseverschillen als het tonen tot 800 Hz betreft en van intensiteitsverschillen als het tonen boven 800 Hz betreft. Het geluid komt nu via de ongeveer 3 cm lange uitwendige gehoorgang bij het trommelvlies terecht, dat de luchttrillingen opneemt. Door zijn enigszins gebogen vorm biedt de uitwendige gehoorgang enige bescherming van het trommelvlies en tegen uitdrogen door produktie van oorsmeer (cerumen) door de oorsmeerklieren (glandulae ceruminosae).

Het trommelvlies laat de luchttrillingen tot ongeveer 1500 trillingen per seconde onvervormd door. Hogere trillingen zouden enigszins gedempt worden. Deze demping komt tot stand doordat het handvat van de hamer met het trommelvlies is verbonden, zodat het laatste, in trilling gebracht, niet in zijn eigen trillingsgetal kan blijven doortrillen. De door het trommelvlies opgevangen luchttrillingen - in wezen zijn deze trillingen snelle luchtdrukwisselingen - worden via de gehoorbeentjesketen naar het binnenoor geleid.

Het middenoorsysteem moet beschouwd worden als een mechanisme dat de luchteigenschappen aanpast aan die van vloeistofeigenschappen, terwijl ook door het middenoorsysteem een versterking van ongeveer 30 decibel wordt verkregen.

Tevens hebben de gehoorbeentjes met de twee genoemde middenoorspiertjes een beschermende werking bij het optreden van harde (veelal impuls) geluiden. Behalve dit 'ingebouwde' beschermingssysteem heeft het oor nog een tweede systeem, namelijk het zogenoemde 'zachte pedaal'.

Dit is een efferente zenuwbaan die uit de oliva superior (medulla) komt en op de haarcellen eindigt (baan van Rasmussen).

Zoals reeds opgemerkt heeft de buis van Eustachius een belangrijke taak in het gelijk houden van de luchtdruk aan beide zijden van het trommelvlies.

Als de druk in het middenoor zou afnemen, betekent dit dat het trommelvlies ietwat naar binnen toe wordt gedrukt waardoor de gehoorbeentjesketen niet optimaal kan functioneren.

De stijgbeugelvoetplaat maakt een enigszins scharnierende beweging in het ovale venster. Als gevolg daarvan ontstaan in de vloeistof (perilymfe) van de scala vestibuli een wervelende beweging, welker beweging aan de ductus cochlearis met het zich daarin bevindende orgaan van Corti wordt medegedeeld. De basilair membraan met het orgaan van Corti volgen de vloeistofbeweging, zodat bij aanbieding van geluid vanaf het ovale venster er zich een lopende golf lang- de basilair membraan beweegt, naar de top van de cochlea.

De geluiden met het grootste aantal trillingen worden gepercipieerd aan de kant van het ovale venster en de laagste geluiden aan de top van het slakkenhuis.

Bij het ovale venster is de basilair membraan smal (0,16 mm) en bij het helicotrema breder (0,5 mm), terwijl de membraan bij het ovale venster tevens iets dikker is dan aan de top. Hieruit volgt dat de basilair membraan bij het begin zeer stijf is en naar de top toe, steeds slapper wordt.

De sterkte van het geluid (intensiteit) wordt waarschijnlijk geregistreerd door het aantal haarcellen, dat in beweging raakt bij aanbieding van geluid.

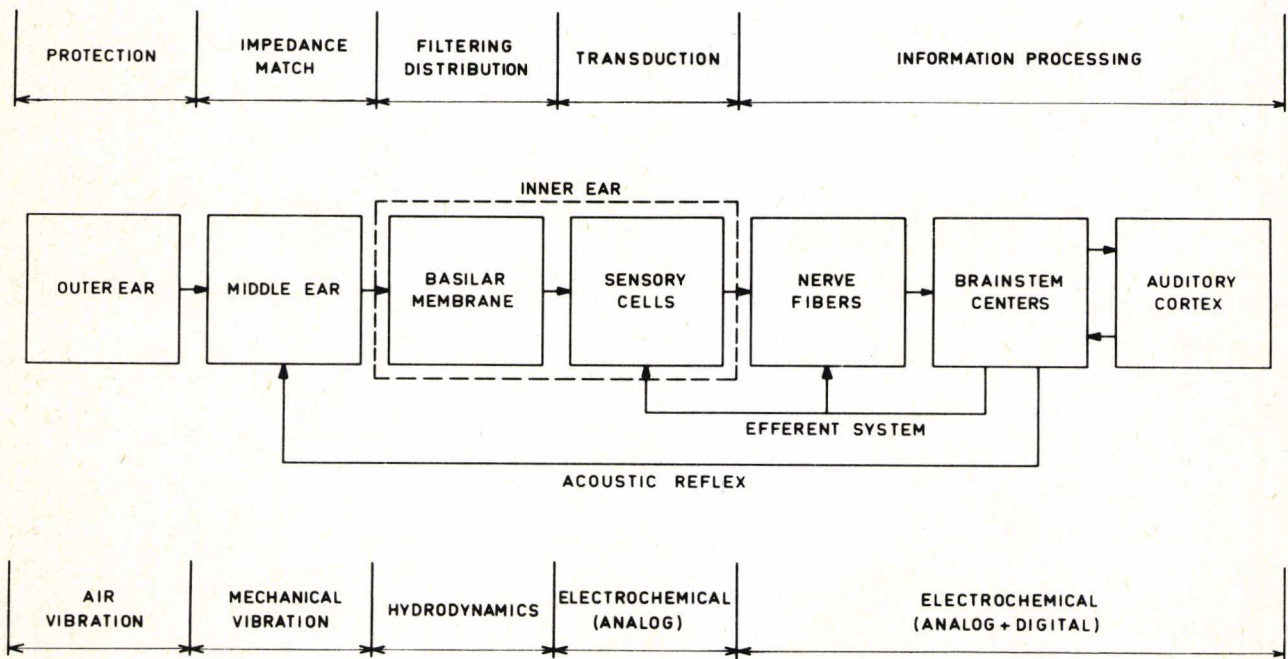
N.B.: Sinds het midden van de vorige eeuw tot op heden zijn er vele hoorthorieën opgesteld die alle een bijdrage hebben geleverd in een inzicht in het hoormechnisme maar die er tot nu toe niet in geslaagd zijn exact het gehoorgebeuren te beschrijven. Geluidgolven kunnen behalve via het uitwendige en het middenoor

ook via de schedel - die bij aanbieding van geluid ook enigszins in trilling raakt - het binnenoor bereiken. In het eerste geval spreken we van lucht- en in het tweede geval van beengeleiding (meestal afgekort met AC (air conduction) en BC (bone conduction). Na het dertigste levensjaar deelt het gehoororgaan het lot van de ouderwordende mens, dat zich uit in een lichamelijke en geestelijke funktievermindering.

Deze vermindering van de gehoorscherppte, die aangeduid wordt met de term presbycusis, uit zich in het minder goed kunnen horen - waarnemen - van hoge tonen.

Tegenwoordig spreken we liever van presbysocioacusis, omdat naast het ouder worden ook het toenemende lawaai onder andere in de rekreatieve sfeer, zijn tol eist.

Samenvattend kan gezegd worden dat luchttrillingen die het uitwendige oor bereiken, in het middenoor in mechanische trillingen (bewegingen) worden omgezet, in het binnenoor in vloeistoftrillingen (wervelingen) en tenslotte als elektrische impulsen (-80 mv) via de gehoorzenuw de hersenschors bereiken.



Blokschema menselijke gehoororgaan

Pathologie van het oor

Onder pathologie verstaan we de leer der ziekteverschijnselen en in dit geval de ziekte(n) die bij het oor kunnen optreden.

Grofweg is een indeling te maken die een onderscheid maakt tussen de ziekten van het uitwendige oor, ziekten van het middenoor en ziekten van het binnenoor.

Indien de afwijking gelokaliseerd is in het uitwendige of het middenoor spreken we van een geleidings- of transmissiedoofheid en van een 'sensorineural deafness' indien de gehoorafwijking in het binnenoor (cochlea) of in de gehoorzenuw en/of hersenschors (retrocochleair) zetelt.

Indien er sprake is van een combinatie van een middenoor- en een binnenoordooftheid spreken we van een gemengde doofheid.

Enige voorbeelden van een geleidingsdoofheid zijn:

1. een grote soms afsluitende prop oorsmeer (cerumen);
2. ontsteking van de uitwendige gehoorgang;
3. aangeboren misvormingen, zoals in een enkel geval het geheel ontbreken (atresia) van de uitwendige gehoorgang;
4. acute middenoorontsteking (otitis media acuta) waarbij vaak paracentese (in het trommelvlies wordt kunstmatig een gaatje gemaakt, waardoor afvoer van pus uit het middenoor mogelijk wordt) uitgevoerd wordt;
5. chronische middenoorontsteking (otitis media chronica).

Zowel de acute als de chronische middenoorontsteking zijn ziekten, die het meest in de kinderjaren voorkomen. Sinds de invoering en toepassing van de moderne antibiotica kunnen deze aandoeningen sneller en beter bestreden worden. Ook bij kinderen kunnen de veel voorkomende vergrote neus- en keelamandelen, die in de nabijheid van de uitmondin- gen van de tubae Eustachii liggen, in verband staan met hoormoeilijk- heden.

Een enkel voorbeeld van een gemengde doofheid:

1. otosclerose: deze afwijking begint met een abnormale botvorming aan de rand van het vestibulum, zodat de stijgbeugel vast komt te zitten in het ovale venster. Deze afwijking - die bij vrouwen frekwenter zou voorkomen dan bij mannen - begint als een geleidingsdoofheid, maar in een later stadium, als het geleidingsverlies ernstiger is geworden, ontstaan er ook een beengeleidingsverlies in het audiogram (gehoorkaart);

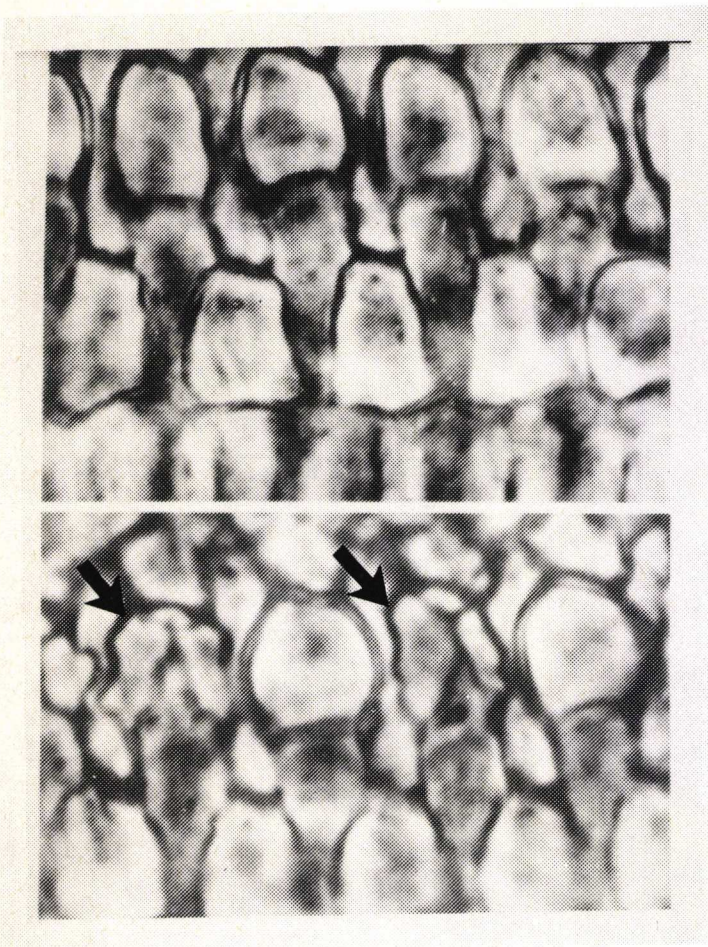
2. ook vele andere transmissiedoofheden hebben - zeker indien er sprake is van een ernstige afwijking - een tijdelijk beengelijksverlies in het audiogram.

Enige vormen van 'sensorineural deafness':

1. aangeboren binnenoorslechthorendheid;
2. toxische (vergiftiging) beschadiging van het binnenoor, zoals deze kunnen ontstaan na het gebruik van bepaalde geneesmiddelen, zoals salicyl, antibiotica, zoals dihydrostreptomycine, neomicine, kanmycine en vele andere;
3. ouderdomsslechthorendheid (presbycusis). Eigenlijk hoort deze progressieve afwijking niet onder het hoofdstuk pathologie thuis, maar onder het hoofdstuk fysiologie, omdat tengevolge van de veroudering - hetgeen een normaal fysiologisch gebeuren is - de lichamelijke en geestelijke functies afnemen en dat dit voor het oor een vermindering van de mogelijkheid tot het waarnemen van hoge tonen betekent en een verminderd vermogen om spraak te verstaan. Maar omdat presbycusis vaak 'gekoppeld' zit aan een andere vorm van een binnenoordoofheid, en hier bedoelen we de lawaaidooftheid, wordt de aandoening toch in dit geval onder het hoofdstuk pathologie ingedeeld. Waarschijnlijk begint presbycusis in de cochlea, met zowel een aantalvermindering als functieverandering (degeneratie) van de haarcellen, terijl ook in de zenuwgeleiding veranderingen optreden en ook arteriosclerose (verkalking) van de hersenvaten zijn aandeel levert;
4. ziekte van Menière: deze aandoening heeft een serie kenmerken (syndroom of symptomencomplex), welke zich openbaren in storingen van het evenwicht (duizeligheid of vertigo), oorsuizen (tinnitus), misselijkheid (nausea) en meestal een éézijdige progressieve vorm van binnenoordoofheid. De ziekte van Menière komt aanvalsgewijs voor;
5. lawaaidooftheid (noise-induced permanent hearing loss). Deze vorm van slechthorendheid ontstaat indien het oor wordt blootgesteld aan overmatig sterke geluidsprikkels. Deze lawaaidooftheid kan ontstaan door een éénmalig hard geluid zoals een knal en we spreken dan van een knaltrauma. Dit knaltrauma zien we vaak optreden na militaire oefeningen, waarbij met allerlei wapens wordt geschoten en bij blootstelling aan een explosie. In het geval van een knaltrauma zal het gehoor voornamelijk aan één zijde (monuraal) zijn beschadigd. Bij rechtshandigen zal dit meestal het

linkeroor betreffen.

Als het gehoororgaan voortdurend wordt geëxponeerd aan te sterke geluid-prikkels, zoals dat in vrijwel alle industriële situaties het geval zal zijn, treedt beiderzijds (binauraal) een gehoorverlies op, waarvan de ernst mede bepaald wordt door de intensiteit van het schadelijk geluid, alsmede de tijd waaraan een werknemer aan dit geluid is blootgesteld.



A. *Normaal haarcel
weefsel*

B. *Beschadigd haarcel
weefsel*

Deze vorm van lawaaidoofheid (in de Angelsaksische landen spreekt men van 'noise induced permanent hearing loss') is onder vele benamingen bekend, zoals weversdoofheid en kanonniersdoofheid. In het begin van de 18e eeuw was de koperslagersdoofheid al bekend, terwijl aan het eind van de vorige eeuw in Denemarken reeds een gehoorscherpsevenmin-dering werd gekonstateerd bij spoorwegmachinisten.

Door de overmatige, dus schadelijke geluidprikkels worden de zintuig-cellen (haarcellen) in het orgaan van Corti aangetast en op den duur vernietigd, terwijl nà het dertigste jaar deze aandoening nog wordt verergerd door de reeds eerder vermelde presbysocioacusic.

Bij de bewerking van de waarnemingsuitkomsten van het onderzoekmate-

riaal (audiogrammen) moet met deze factor rekening worden gehouden. Er wordt dan bij de bewerking ook een korrektie voor de leeftijd toegepast.

Een grove schatting leert ons dat ongeveer de helft van alle industrie-arbeiders in Nederland (ons land telt ongeveer driekwart miljoen industriewerknemers) een lawaaidoofheid in velerlei graden van ernst hebben opgelopen. Een aandoening dus die door het werk wordt veroorzaakt, maar die in tegenstelling tot vele andere Westerse landen in Nederland niet tot de beroepsziekten wordt gerekend en waarvoor tot op heden geen mogelijkheid voor de werknemer bestaat om aanspraak te maken op een geldelijke vergoeding. De wet op de arbeidsongeschiktheid (WAO) biedt wel de mogelijkheid, indien er een inkomstenderving zou zijn als gevolg van bijvoorbeeld overplaatsing naar een lager betaalde baan ten gevolge van lawaaidoofheid. Zover bekend bestaat hierover in Nederland nog geen jurisprudentie.

Wel zijn er een aantal wetten die stellen dat lawaaidoofheid voorkomen dient te worden en wel door het terugbrengen van de lawaaibron tot een niet schadelijk niveau.

In de gewijzigde Veiligheidswet van april 1971 staat onder artikel 20a lid 2f, dat een bedrijfsgeneeskundige dienst (BGD) onder andere als taak heeft 'het medewerken aan het weren en bestrijden van schadelijke invloeden waaraan een arbeider in verband met zijn arbeid kan zijn blootgesteld, onder meer aan schadelijk of hinderlijk geluid', en onder lid g van dit artikel 'het houden van toezicht op de omstandigheden waaronder de arbeid wordt verricht, zoals onder meer op geluid'.

Ook het gewijzigde Veiligheidsbesluit voor fabrieken en werkplaatsen van januari 1977 stelt duidelijk onder artikel 179a, dat het uitgangspunt moet zijn het kwaad bij de wortel, de geluid- of trillingenbron aan te pakken.

Ditzelfde artikel zegt ook dat bronbestrijding als methode beter is dan te volstaan met het voorschrijven van persoonlijke beschuttingsmiddelen.

Ook in het voorstel voor de Arbeidsomstandighedenwet wordt in de memorie van toelichting onder deel d. van artikel 4 gesteld, dat in beginsel is opgenomen dat beveiliging tegen gevaarlijke situaties allereerst en bij voorkeur 'bij de bron', dat wil zeggen in een zo vroeg mogelijk stadium, moet plaats hebben.

Wetgeving en schadeclaims in Amerika.

Sinds 1916 bestaat er in Amerika een arbeiderscompensatiewet. In het kader van deze wet werd voor het eerst in 1948 in de staat New York compensatie betaald voor verworven lawaaidoofheid. In 1955 is deze wet die de mogelijkheid tot het claimen van schade-uitkering voor lawaaidoofheid toelaat, als aparte wet aangenomen. Sommige andere staten kennen wetten op dit gebied maar er zijn nog geen algemeen geldende wetten. Dit komt doordat kleine industrieën niet in staat zijn om de hieraan verbonden kosten te betalen. Naar schatting hebben in de Verenigde Staten van Noord-Amerika 80% van de fabrieken minder dan 500 werknemers in dienst.

De eerste federale wet kwam in 1936 tot stand met als naam de 'Walsh Healey Contracts Act'. Deze wet dient de veiligheid en gezondheid van die bedrijven die staatsopdrachten ontvangen van tenminste \$ 10.000. Tot 1968 sprak deze wet niet over lawaai. Per mei 1969 is dit veranderd en mogen werknemers niet blootgesteld worden aan lawaai dat meer is dan 85 dB overall. (Tot 1 januari 1971 was dat 92 dB).^{*} Boven deze waarde moeten maatregelen worden genomen. Als technische preventie geen haalbare kaart is, moeten persoonlijke beschuttingsmiddelen worden uitgereikt. Deze wet van 1969 (dus als onderdeel van de Walsh Healey Act) geeft het aantal toelaatbare uren per dag en per intensiteit aan (zgn. 5dB-regel).

Volgens het Committee on Environmental Quality of the Federal Council for Science and Technology waren in 1968 in Amerika tussen de 6 en 16 miljoen mensen werkzaam in gevaarlijk geluid. Als slechts 10% van deze werknemers een schadeclaim zou indienen, schat genoemd comité dat jaarlijks 450 miljoen \$ uitgekeerd zou moeten worden (berekend op \$ 2.000 per claim). In 1966 werden in heel Amerika slechts 500 claims ingediend. Als voornaamste reden werd toengezien de onbekendheid met de mogelijkheid tot het claimen van schade.

^{*} Tegenwoordig geldt voor de meeste staten van Amerika de 90 dBA norm waarbij A aangeeft dat bij het meten van geluid rekening is gehouden met de mindere gevoeligheid van het menselijk oor voor lagere frequenties.

Bij een geluidsdruk-niveaumeter wordt, indien de stand A wordt ingesteld, de lagere frekwenties verzwakt met ongeveer 5 dB per oktaaf van 1000 Hz naar 250 Hz. Onder de 250 Hz worden geluiden nog eens met 10 dB per oktaaf verzwakt.

Sindsdien is het aantal zeer sterk toegenomen. In Californië bedroeg dat al 3000 gevallen in 1969. Ook de grootte van uitkering per staat varieert sterk. Voor totale doofheid bedraagt dat in Nebraska \$ 3.700 als laagste uitkering, variërend tot een bedrag van \$ 28.500 voor totale doofheid in Michigan.

Bij een congres in 1969 te Washington schatte senator Mark Hatfield dat de totale kosten voor compensatie voor lawaaidoofheid, produktieverlies en verminderd efficiënt werken per dag de industrie in de USA 12 miljoen dollar kost.

Bij een goed uitgevoerd hearing conservation program (intree audiogram plus follow-up plus gehoorbescherming) gerekend bij een beroeps-populatie die aan gevaarlijk lawaai is geëxponeerd van 16 miljoen, kost dit 32 miljoen per jaar (2 dollar per werknemer).

De meest effectieve methode van lawaaibestrijding is de bestrijding van de lawaaibron. Volgens het Committee on Environmental Quality kost dit \$ 26 per werknemer per decibel reductie. Om een winst van bijvoorbeeld 10 dB reductie te bewerkstelligen zou dit een fabriek met 100 werknemers \$ 26.000 kosten. Deze kosten zouden enorm gereduceerd kunnen worden indien zij bij de nieuwbouw waren ingekalkuleerd.

Geluidleer.

De bron van geluid is altijd het een of andere systeem dat in trilling verkeert, zoals bij voorbeeld een aangestreken vioolsnaar of piano-snaar, de membraan van een telefoon, een in trilling gebrachte stemvork of de menselijke stem welke op hun beurt de luchtdeeltjes in trilling brengen.

De ons omringende lucht bestaat voornamelijk uit stikstof en zuurstof (4 X zoveel stikstof als zuurstof).

Als we een elektrische bel onder de klok van een luchtpomp laten rinkelen en we verlagen de luchtdruk in de klok steeds meer, dan wordt het geluid steeds zwakker, totdat bij een luchtledig zijn van de klok ons geen enkel geluid meer bereikt. In theorie de beste vorm van lawaai-bestrijding.

Voor de voortplanting van het geluid vanaf de geluidbron is altijd een bepaald elastisch medium nodig om het menselijk gehoororgaan te bereiken.

Dit zal vrijwel altijd lucht zijn. In het geval van lucht is de voortplantingssnelheid van het geluid 340 meter per seconde. In water is

deze voortplantingssnelheid viermaal zo groot en als we ons oor te luisteren leggen op een spoorrail, horen we het geluid (door op deze rail op een bepaalde afstand met een hamer te slaan) via deze rail 14 maal eerder dan door de lucht. De voortplantingssnelheid van het licht is enorm veel groter. Bij onweer zien we eerste bliksem en horen - afhankelijk van de afstand - eerst later de donderslag.

Ons gehoororgaan is in staat slechts trillingen van een bepaald frequentiegebied als geluid waar te nemen. Zoals gezegd, ligt dit tussen de 18 en 18.000 trillingen per seconde, hetgeen met 10 oktaven overeenkomt. Het gevoeligste gebied van ons gehoororgaan ligt, globaal gesproken tussen 500 en 4.000 Hz met een optimum bij 2.300 Hz. De snelheid waarmee dit trillen geschiedt, geeft de frequentie van het geluid aan waarmee het aantal perioden dat per seconde wordt doorlopen, wordt aangegeven. Een periode is één volledige trilling. Duurt één periode bijvoorbeeld 1/1000 seconde, dan bedraagt de frequentie 1000 trillingen (perioden) per seconde. We spreken dan van een toon van 1000 trillingen per seconde of 1000 Hertz (Hz) of 1 kHz naar een Duits natuurkundige, die in de vorige eeuw leefde. In de Angelsaksische literatuur sprak men van bijvoorbeeld 1000 cps (cycles per second), maar nu wordt in die landen ook de Hz gebruikt.

Periode en frequentie zijn elkaars reciprook, dat wil zeggen dat, indien met elkaar vermenigvuldigd, ze als produkt 1 hebben ($1/1000 \times 1000 = 1$).

Als we een stemvork aanslaan, wordt door de intrilling gebrachte benen van de stemvork aan de lucht in alle richtingen regelmatig opeenvolgende verdichtingen en verdunningen (drukvariatiën) medegedeeld.

Subjectief ervaren we de frequentie van een bepaalde toon als een bepaalde toonhoogte. Deze toonhoogte is een indruk, zoals de luidheid de subjectieve waardering is voor de intensiteit van een bepaald geluid.

Als we een piano harder aanslaan, wordt de uitwijking (amplitude) van de trillingen groter en ervaren we de toon als sterker. De sterkte van de toon wordt dus bepaald door de grootte van de amplitude. Als het internationaal nulpunt heeft men bepaald bij welke geluidsdruk een toon van 1.000 Hz nog net waarneembaar is bij een normaal, jong en gezond gehoororgaan.

De geluidsdruk wordt uitgedrukt in het aantal dynes. Een dyne is de kracht die benodigd is om een massa van 1 gram een versnelling van 1 cm/sec^2 te geven, terwijl een microbar ($\mu \text{ bar}$) per definitie de druk is die 1 dyne op een oppervlakte van 1 cm^2 uitoefent ($1 \text{ dyne} =$

1 μ bar = ongeveer 1 milligram).

De net nog waarneembare geluiddruk voor het menselijk oor is bij 1000 Hz $0.0002 \text{ dyne} = 2 \times 10^{-4} \text{ dyne/cm}^2 = 2 \times 10^{-4} \text{ microbar} = 2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2 = 20 \mu \text{ Pa} = 0 \text{ decibel (dB)}$.

Tegenover deze net waarneembare geluiddruk ligt de pijngrens. Daarmee wordt bedoeld dat een bepaalde toon zo hard is geworden, een zo grote intensiteit heeft, dat er geen geluidindruk meer ontstaat, maar in de plaats daarvan een pijnsensatie voorafgegaan door een 'loudness discomfort level'.

De geluiddruk waarbij een pijnsensatie optreedt is ongeveer $2 \times 10^2 \text{ dyne/cm}^2$. De druk bij de pijngrens is 1 miljoen (10^6) maal zo groot als de net waarneembare toon.

De luchtdruk om ons heen is 1 atmosfeer groot, wat overeenkomt met 1 kg/cm^2 of circa 1 miljoen dyne/cm^2 .

Als we spreken, ontstaan er drukwisselingen die echter minimaal klein zijn: in de orde van 1 dyne/cm^2 of 1 millioenste van de atmosferische druk.

Als we bijvoorbeeld een stemvork in trilling brengen, ontstaan in het omgevende elastische medium (lucht)drukvariaties. Elke trilling heeft tevens een bepaalde energie, welke evenredig is met het kwadraat van de geluiddruk.

Bij de eenheid van geluiddruk ($2 \times 10^{-4} \text{ dyne/cm}^2$) is de intensiteit (energie) bij een toon van 1.000 Hz groot $10^{-16} \text{ watt/cm}^2$ (is gelijk aan $10^{-10} \text{ microwatt/cm}^2$). De bovengrens (pijngrens) ligt bij ongeveer $10^{-4} \text{ watt/cm}^2$.

Het gehoororgaan bestrijkt, zoals uit het bovenstaande blijkt, een enorm sterkte-interval van 10^6 in drukeenheden en van 10^{12} in energie-eenheden. Om in de praktijk met de vaak hoge waarden van de energieverhoudingen handzaam te kunnen werken is het begrip decibel (dB) ingevoerd. Een decibel is 1/10 deel van de Bell, naar Alexander Graham Bell, een Amerikaans natuurkundige en uitvinder van de telefoon. Een decibel is een logaritmische eenheid, welke de verhouding tussen twee energieën aangeeft (hoeveel maal sterker het één ten opzichte van het ander is).

Een logaritme is een in de wiskunde gebruikte eenheid, welke vele berekeningen sterk vereenvoudigt, met de volgende definitie: de logaritme (afgekort log) is de macht waartoe een bepaald grondgetal verheven moet worden om een bepaald getal te krijgen: bijvoorbeeld bij grondgetal 10 is de logaritme van 100 gelijk aan 2, omdat men 10 tot

de 2e macht moet verheffen om 100 te krijgen. $\log 1000 = 3$ etc. Voor de tussenliggende getallen is de logaritme een breuk, welke in zogenaamde logaritmetafels opgezocht kunnen worden.

Een van de oudste en bekendste voorbeelden van het gebruik van logaritme vinden we in de muziek. De afstand tussen de oktaven wordt daar gelijk genomen, terwijl het aantal trillingen per seconde per oktaaf is verdubbeld.

De decibel is 10 maal de logaritme uit de energieverhouding of 20 maal de logaritme uit de drukverhouding. In een formule uitgezet aldus:

$$\text{aantal (X) dB} = 10 \cdot \log \frac{E_1}{E_2} = 10 \cdot \log \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^2 = 20 \cdot \log \frac{P_1}{P_2},$$

waarbij $\frac{E_1}{E_2}$ de energieverhouding en $\frac{P_1}{P_2}$ de drukverhouding voorstelt.

De energie is recht evenredig met de druk, dus als de druk 2 X zo groot wordt, wordt de intensiteit 4 X groter. De hoeveelheid energie bij fluisteren is ongeveer $0.001 (10^{-3})$ microwatt en bij luid spreken is de energie ongeveer $1000 (10^3)$ microwatt. Het verschil in dB tussen fluisteren en luid spreken is dan:

$$10 \cdot \log \frac{10^3}{10^{-3}} = 10 \cdot \log 10^6 = 10 \times 6 = 60 \text{ dB}$$

Het eenvoudigste geluid dat we kennen is de zuivere, enkelvoudige toon, ook wel sinustoon of harmonische trilling genoemd.

Men kan zich voorstellen dat elk luchtdeeltje zich als het ware met een konstante snelheid op de omtrek van een cirkel loopt, waarbij de projectie van dit rondlopende punt op de verticale middellijn een sinusvormige beweging uitvoert. De door de sinustoon opgewekte luchttrillingen zijn grafisch als een zuivere sinuslijn voor te stellen. De grootte van de straal van de cirkel bepaalt de amplitude van de toon. De in trilling gebrachte stemvork doet in de omringende lucht zowel verdichtingen als verdunningen ontstaan, welke zich als longitudinale trillingen bolvormig voortplanten.

Longitudinale trillingen kunnen alleen in gassen en vloeistoffen voorkomen. In een vaste stof hebben we een transversale trilling. Bijvoorbeeld de fluit en de stemvork brengen vrijwel zuivere tonen voort, die dus door een enkele frekwentie zijn bepaald, maar andere muziekinstrumenten en ook de menselijke stem brengen behalve de grondtoon (eerste harmonische) tevens een aantal boventonen voort, welke veelvouden zijn van de grondtoon (bijvoorbeeld de 2e en 3e etc. har-

monische). Deze boventonen (harmonische) zijn verantwoordelijk voor het karakteristieke geluid van een bepaald muziekinstrument, die bijvoorbeeld in het geval van een viool en een fluit, welke beide dezelfde grondtoon hebben, door hun respektievelijke boventonen (verschillend in aantal en sterkte) van elkaar goed zijn te onderscheiden. We spreken dan van timbre of klank of toonkleur (nuance).

Nu komen zuivere tonen in de natuur nauwelijks voor, maar hebben we meestal te maken met complexe geluiden. Wel is het mogelijk om deze complexe trillingen te analyseren, waarbij blijkt dat het complexe geluid de algebraïsche som is van een bepaald aantal enkelvoudige tonen. In tegenstelling tot het geluid dat muziekinstrumenten voortbrengen en waar sprake is van een bepaalde periodiciteit, vinden we deze periodiciteit niet terug bij datgene wat we lawaai en geruis noemen. Aan zo'n geluid kan het gehoororgaan ook moeilijk een bepaalde toonhoogte toekennen. We omschrijven lawaai dikwijls als ongewenst geluid.

Als alle frekwenties in alle sterkteverhoudingen voorkomen in een bepaald geluid, spreken we - in analogie van het licht - van een witte ruis.

Als we op een bepaalde manier (door van speciale filters gebruikt te maken) de hoge tonen eruit halen of verzwakken, spreken we van een 'roze ruis', terwijl we daarentegen van een 'blauwe ruis' spreken als we de lage tonen verzwakken of eruit halen.

Als we uit bijvoorbeeld een witte ruis zowel een gedeelte uit het hoge als uit het lage gebied halen (filteren), spreken we over een bandruis.

Hoe breder zo'n bandruis is, des te meer deze bandruis op een witte ruis gaat lijken, terwijl we meer het karakter van een zuivere toon krijgen indien de bandruis zeer smal wordt gemaakt. De menselijke stem heeft kenmerken die tussen die van lawaai en muzikale geluiden in gedacht kan worden. Bij klinkers zijn voornamelijk lagere frekwenties het belangrijkste terwijl de hogere frekwenties meer bepalend zijn voor de consonanten (medeklinkers). In een spraakklank (foneem) zijn de trillingen veelvoudig van de frekwentie der stembanden. Bij een mannenstem bedraagt de basis (grond) frekwentie 125 Hz en bij een vrouwenstem 250 Hz.

Algemene audiologie.

Volgens de definitie van Professor Huizing dienen we onder audiologie het volgende te verstaan. 'De audiologie omvat elk fysisch, physio-

logisch, psychologisch en taalkundig begrip, verschijnsel of onderzoek, dat samenhangt met de opwekking, voortplanting, de voortgeleiding in het gehoororgaan, de waarneming en gewaarwording van geluid en daarmee verbonden reacties en alles wat daarop van invloed kan zijn'.

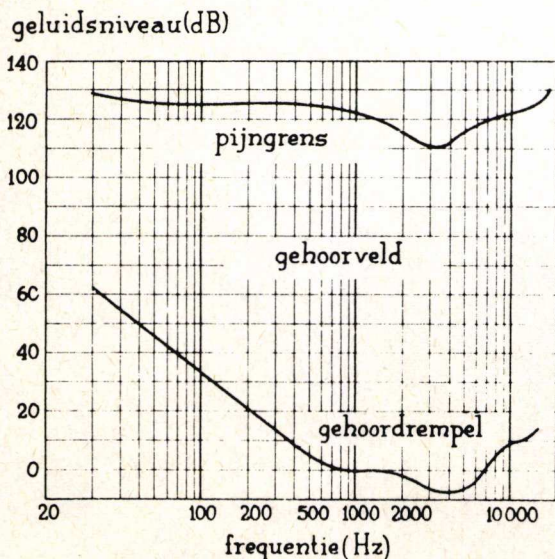
'Van Dale', het woordenboek der Nederlandse taal, definieert in de meest recente druk het begrip audiologie met: 'De leer van het gehoor en de ziekten daarvan'. Deze omschrijving vat in wezen de uitvoerige definitie van Huizing in één zin samen. Audiologie is een multidisciplinair vak met vele 'verbindingen' met disciplines als neurologie, otologie en psychologie.

Enige eigenschappen van het gehoororgaan zijn al bij de fysiologie van het gehoororgaan genoemd als ook de begrippen Hz en dB bij de geluidleer.

We zijn in staat met allerlei meetapparatuur (instrumenten) de frequentie en de intensiteit van bijvoorbeeld zuivere tonen en lawaai in fysische eenheden uit te drukken, maar de vraag rijst of het gehoor nu ook dezelfde sensatie heeft of dat er mogelijk subjectief iets aan de waardering van het geluid verandert.

Het gehoor kent aan de frequentie (fysisch door het aantal trillingen per seconde bepaald) subjectief een bepaalde toonhoogte (pitch) toe en aan de intensiteit (amplitude of geluidsterkte) de luidheid. Van 125 tot 2500 Hz bestaat er tussen frequentie en toonhoogte een bepaalde evenredigheid, terwijl die evenredigheid voor de geluidsdruk/luidheid bestaat in het gebied van 30 tot 60 dB. De metingen van de sensatie (toonhoogte en luidheid) noemen we psychometrische bepalingen.

Uit de geluidleer weten we dat als 0 dB die geluidsdruk is gekozen waarbij een toon van 1000 Hz nog net herkenbaar (nog net hoorbaar) is. De grootste gevoeligheid, dus met de kleinste drempelwaarde, ligt voor het gehoor in de buurt van 2300 Hz.



Niet voor alle toonhoogten is het gehoor even gevoelig. In het diagram is de intensiteit tegen de frequentie uitgezet. Om het enorme gebied dat het gehoororgaan bestrijkt in één diagram te kunnen opnemen, zijn beide grootheden (intensiteit en frequentie) in een logaritmische schaal uitgezet. Voor elke frequentie geldt een verschillende intensiteit.

Zowel bij tonen met een lagere als met een hogere frekwentie, dan bij het gevoeligste punt (2300 Hz) van het gehoororgaan, moet de intensiteit groter zijn om een toonsensatie te krijgen. Bijvoorbeeld: bij 100 Hz ligt de drempel in drukeenheden uitgedrukt 1000 X hoger dan bij 2300 Hz en bij 10.000 Hz ongeveer 100 X hoger.

De onderste curve in het diagram is de toondrempelcurve en de bovenste lijn geeft de pijndrempel aan. Deze twee drempels zijn een gemiddelde van een voldoende groot aantal normale oren, gemeten bij jeugdige proefpersonen.

Met een wat andere terminologie kunnen we ook zeggen dat luidheid het psychologische kenmerk van de intensiteit is, welke laatste in een fysische grootheid wordt uitgedrukt. Dit impliceert dat luidheid niet in een fysische grootheid kan worden uitgedrukt, maar wel in 'psycho-fysiologische' grootheden zoals de 'foon' en de 'soon'. De punten van gelijke luidheid zijn in het Fletcher-Munson diagram met elkaar verbonden. Het luidheidspeil in foon van een toon is die, welke vergeleken met een toon van 1000 Hz bij een bepaald aantal dB's, even luid klinkt. In het Fletcher-Munson isofonendiagram zien we bijvoorbeeld dat - vergeleken met een toon van 1000 Hz met een intensiteit van 70 dB (waar-aan we een bepaalde luidheid toekennen) - een toon van bijvoorbeeld 100 Hz dan 72 dB groot is en bij 8000 Hz 68 dB.

Een soon is per definitie de luidheid van een toon van 1000 Hz bij een intensiteit van 40 dB.

Aan een toon van 1000 Hz en een intensiteit van 40 dB kennen we de luidheid van 40 foon toe, zodat dus 1 soon gelijk is aan 40 foon. Deze soon wordt gebruikt indien we luidheden in 'zoveel maal zo luid' willen uitdrukken (het aantal fonen is niet, doch het aantal sonen is wel optelbaar).

Er bestaat een eenvoudige relatie tussen de soon en de geluiddruk in dB. Bij een toename van 10 dB in intensiteit wordt de luidheid nage-noeg verdubbeld.

Bij binauraal luisteren ligt de drempelcurve bij het gevoeligste deel van het oor ongeveer 6 dB lager.

Het gebied tussen de 18 en 18.000 Hz, dus voor de jonge mens hoorbare deel van het geluidspektrum, noemen we gehoorveld of hoorvaam en het gebied tussen de drempelcurve en de pijngrens is de oorspan. Bij de mens is het belangrijkste gedeelte van het gehele gehoorveld het zo geheten spraakgebied. Wat het frekwentiegebied betreft ligt dit tus-sen de 200 en 6000 Hz., met de oktaven waarvan 500, 1000 en 2000 Hz de middenfrekwenties zijn, als belangrijkste gebieden.

In het spraakgebied bestaat er een goede evenredigheid tussen de frekwentie en de toonhoogte. Ook de intensiteit is in het spraakgebied (tussen 30 en 60 dB) evenredig met de luidheid.

Voor een goede spraakverstaanbaarheid is een goede frekwentie-analyse, zoals dat bij een normaal funktionerend gehoor bestaat, onontbeerlijk. Om tonen van een bepaalde frekwentie gescheiden te kunnen waarnemen, moeten ze een bepaalde breedte hebben. Bij 1000 Hz is deze 'toonhoogtetrede' 3Hz groot. Wij kennen ook een 'toonsterktetrede'. Onder laboratorium-, dus ideale omstandigheden, is deze ongeveer 0.3 dB.

Als we mensen met een gestoorde frekwentie-analyse, zoals dat bij ernstige vormen van lawaaidoofheid het geval is, tijdens het gehooronderzoek hoge tonen (meestal boven de 2500 Hz) aanbieden van een bepaalde intensiteit, horen deze mensen wel een toon, maar zijn niet of nauwelijks in staat te konstateren of een toon hoger of lager wordt, indien de onderzoeker de toonhoogte varieert.

Behalve een gestoorde frekwentie-analyse bestaat er bij een cochleaire aandoening een bepaald fenomeen, dat we aanduiden met recruitment of regressie.

Onder recruitment of regressie verstaat men een abnormale luidheidsensatie: het verschijnsel dat een gehoororgaan met een cochleaire stoornis bij een geringe toename van de geluidsdruk (dus een klimmende intensiteit van de prikkel), gerekend vanaf de pathologische drempel, een versnelde aangroei van de luidheid vertoont.

Als men tegen mensen spreekt die last hebben van dit verschijnsel en men spreekt met een normale stem, klagen ze over onverstaanbaarheid, terwijl een geringe stemverheffing onmiddellijk als schreeuwen wordt ervaren.

Eveneens een zeer hinderlijk verschijnsel, dat vaak bij ernstiger vormen van lawaaidoofheid bestaat, is het oorsuizen (tinnitus). Eigenlijk hoort dit onderwerp onder de pathologie van het gehoororgaan thuis, maar omdat bij lawaaidoofheid de slechte frekwentie-analyse, het recruitmentfenomeen en het oorsuizen als een soort drie-eenheid wordt beschouwd, is het oorsuizen in dit hoofdstuk opgenomen.

Er zijn grofweg twee groepen van oorsuizen te onderscheiden: namelijk de overstembare en de niet-overstembare vormen. De niet-overstembare vorm zit meestal centraal (hersenen) en staat in nauw verband met de arteriosclerose, zoals dit vooral bij oudere mensen het geval zal zijn.

De minder ernstige, maar ook als zeer hinderlijk ervaren vorm van oorsuizen is die, welke van cochleaire aard is en als oorzaak de beschadigde haarcellen heeft. Deze beschadiging van de haarcellen is, zoals we weten, te wijten aan blootstelling aan schadelijk lawaai. Door een bepaalde bandruis aan te bieden, kunnen we dit oorsuizen van cochleaire aard overstemmen. Het blijkt dat, indien dit gebeurt, de frekventie van de bandruis overeenstemt met de door de lawaaidove beleefde ruis, terwijl de bandruisfrekventie samen zullen vallen met dat gedeelte van het audiogram waar de beschadiging geregistreerd is. Dit oorsuizen kan in allerlei vormen (fluiten, sissen), sterkte en tijdsduur voorkomen. In het beginstadium van een lawaaidoofheid verdwijnt het suizen enige tijd nadat men is opgehouden met werken in het schadelijk lawaai. Ook na de weekends en vakantie is het dan verdwenen. Maar bij het groter worden van de afwijking, die sterk gerelateerd is met de sterkte van het schadelijk geluid, de expositieduur per dag en het aantal dienstjaren, krijgt het suizen een steeds meer permanent karakter.

Als we het menselijk gehoororgaan enige tijd een zuivere toon, ruisband of lawaai van meer dan gewone intensiteit aanbieden, reageert het gehoor hierop met een tijdelijke drempelverhoging. In de Angelsaksische literatuur wordt dit verschijnsel met 'temporary threshold shift' (TTS) omschreven, onder welke afkorting ook wij dit verschijnsel aangeven. Deze afname van de gevoeligheid bij de aanbieding van acoustische stimuli kennen we ook onder de namen vermoeidheid en adaptatie (in de Angelsaksische benaming respectievelijk 'auditory fatigue' en 'auditory adaptation' genoemd).

Als de expositie aan schadelijk lawaai dag in, dag uit en jaar in, jaar uit plaats heeft - en in de meeste industriële situaties is dat zo - resulteert deze blootstelling in een blijvende drempelverhoging: eveneens noemen wij dit met een afkorting PTS van het Engelse 'permanent threshold shift'.

Dit vinden we in het audiogram terug, ongeacht de frekventiesamenstelling van het traumatiserende lawaai, als een daling (dip) tussen de 3000 en 6000 Hz met een specifieke voorkeur voor de 4000 Hz (C dip). Vooral in het beginstadium van een lawaaibeschadiging speelt de individuele gevoeligheid een grote rol. Mensen echter met een groot aantal dienstjaren en vrijwel identieke langdurige blootstelling aan hetzelfde lawaai hebben ook vrijwel identieke afwijkingen in hun audiogram.

Zoals uit de betekenis van het begrip TTS blijkt, is dit een reversibele (omkeerbare) zaak, maar zo gauw de TTS overgaat in de PTS is de afwijking manifest, dus irreversibel (niet omkeerbaar) en irreparabel (onherstelbaar) geworden. Tot nu toe is het juiste mechanisme van de TTS en PTS (of dit in de cochlea of de gehoorzenuw is gezeteld of gekombineerd) niet bekend en het is niet mogelijk om de TTS te gebruiken voor een testprocedure om speciaal lawaaigevoelige mensen te kunnen opsporen.

Nogmaals kort herhaald: een blootstelling aan schadelijk lawaai geeft eerst een tijdelijke drempelverhoging (TTS), die reversibel is. Deze adaptatie en vermoeidheid gaat via een uitputting, waarbij volledig herstel al niet meer mogelijk is, over in een blijvende beschadiging (PTS), die niet meer herstelt.

Ontwikkeling van het gehooronderzoek.

Eeuwenlang is men zich bewust dat slechthorendheid en doofheid voor de betrokkenen een grote sociale handicap betekent, maar de kennis van de funktiestoornissen dateert eerst van de laatste 150 jaar. Eerst tegen het eind van de 19e eeuw was men in staat met allerlei primitieve hulpmiddelen gehooronderzoek te verrichten.

Op het eerste gezicht lijkt het vrij eenvoudig om een betrouwbare meting te verrichten om de gehoorscherpthe van een patient te bepalen, maar de praktijk heeft anders geleerd.

Het heeft vrij lang geduurd (voornamelijk afhankelijk van het veranderende medische inzicht en de snelle technische ontwikkelingen) voordat men een betrouwbaar apparaat kon konstrueren, waarmee het mogelijk is reproduceerbare uitkomsten te vervaardigen.

Voordat de audiometer in zijn huidige vorm zijn intrede deed, werden diverse andere methoden gebruikt om zo goed en zo kwaad als het ging de gehoorscherpthe van patienten te bepalen.

Enige methoden die langzamerhand in onbruik zijn geraakt, zijn: het luisteren naar het tikken van een horloge, het Galtonfluitje, het vingerwrijven, het monochord (een éénsnarig instrument met verplaatsbare kam) en het stemvorkonderzoek.

Als de onderzochte een zuiver geleidingsdoofheid heeft, is de afwijking gelokaliseerd in het uitwendige of middenoor, zodat de beengeleiding volledig in tact is.

Als de afwijking een binnenoordoofheid betreft, zijn zowel de lucht- als de beengeleiding identiek gestoord, terwijl bij een gemengde doof-

heid voornamelijk de luchtgeleiding is gestoord en in mindere mate de beengeleiding. De beengeleiding kan nooit méér afwijkend zijn dan de luchtgeleiding.

Het stemvorkonderzoek nu berust voornamelijk op het vergelijken van beengeleiding met luchtgeleiding. Het is dus een uitstekend diagnosticum, het leert de onderzoeker waar in het gehoororgaan de afwijking is gelokaliseerd, of er dus sprake is van een geleidingsdoofheid, of een binnenoordoortheid, maar het zegt weinig over de ernst van de gehoorafwijking.

Daar het stemvorkonderzoek hier en daar nog toegepast wordt, zal in het kort op deze methode van onderzoek worden ingegaan. Men beschikt over een heel arsenaal van stemvorken met verschillende frekwenties (toonhoogten). De meest gebruikte frekwenties voor het gehooronderzoek zijn 125, 250, 500 en 1000 Hz. De meest gebruikte stemvork is die, welke de 512 Hz (C_2)toon produceert. Om de hoorfunctie via de luchtgeleiding na te gaan, houdt men de in trilling gebrachte stemvork voor het oor van de onderzochte. De beide benen van de stemvork liggen in het verlengde van de uitwendige gehoorgang. Om de hoorfunctie via de beengeleiding na te gaan, plaatst men de voet van de in trilling gebrachte stemvork op het mastoïed (tepelvormig uitsteeksel van het rotsbeen, vlak achter de oorschelp).

De belangrijkste met de stemvork ontwikkelde onderzoeksmethoden zijn: Indien de patient aan één oor slechthorend is, kan men zich met de lateralisatieproef van Weber (1834) snel oriënteren over de aard van de slechthorendheid, namelijk of dit een geleidingsdoofheid of een perceptiedoofheid is. Hiertoe wordt de steel van de in trilling gebrachte stemvork midden bovenop het hoofd van de onderzochte geplaatst. De patient moet zeggen in welk oor hij het geluid hoort. Via de beengeleiding komt het geluid even sterk bij beide oren aan. De patient hoort de toon in het oor dat het best de beengeleiding percipieert. Als de onderzochte een éénzijdige geleidingsdoofheid heeft, hoort hij het geluid van de trillende stemvork aan de afwijkende kant. Daarentegen hoort hij het geluid aan het goede oor indien hij aan een éénzijdige perceptiedoofheid lijdt. De stemvorkproef volgens Weber is dus een lateralisatieproef, omdat de trilling van de stemvork aan één bepaalde zijde wordt gehoord.

Een andere onderzoeksmethode met behulp van de stemvork is die volgens Schwabach (beenvergelijkingsproef). De aangeslagen stemvork wordt afwisselend op het mastoïed van de onderzochte en dat van de onderzoe-

ker geplaatst. Het is dus bij deze methode van onderzoek een absolute voorwaarde dat de onderzoeker over een normaal gehoor beschikt. Indien de onderzoeker de toon langer hoort dan de patient, spreekt men van een verkorte Schwabach, en weet men dat men met deze proef een cochleaire of meer centraalwaarts gelegen afwijking heeft opgespoord. Bij een verkorte Schwabach luidt dus de diagnose: perceptiehardhorendheid. Een laatste hier te noemen stemvorkproef is die volgens Rinne (vergelijking lucht- en beengeleiding). De trillende stemvork wordt afwisselend met de steel op het mastoïed gezet en voor het oor gehouden. Als de luchtgeleiding beter is, indien de onderzochte de stemvork langer hoort in de positie vóór het oor dan tegen het mastoïed, spreken we van een positieve Rinne. Indien de Rinne positief is, hebben we te maken met of een normaal gehoor of mogelijk een perceptiestoornis. Bij een negatieve Rinne, wanneer de onderzochte de beengeleidingstrilling luider waardeert dan de luchtgeleidingstrilling, hebben we te maken met een geleidingshardhorendheid.

Naast het stemvorkonderzoek wordt al van oudsher gebruik gemaakt van de fluister- en de konversatiestem. Het is vrijwel ondoenlijk in verband met de flexibiliteit van de levende spraak en de ondoenlijkheid voor de onderzoeker om zijn stem konstant te houden in de zin van de sterkte der aangeboden woorden, alsmede door beïnvloeding hierop van het in de onderzoekruimte aanwezige omgevingslawaaï, deze onderzoeksmethode als een exacte methode te hanteren.

De fluisterspraak, eerst goed uitademen en dan fluisteren met de reserve (residu) lucht, verzekert wel een vrij konstante sterkte van de aangeboden woorden, maar de frekwentiebanden van de fluisterspraak komen niet overeen met die van de konversatiespraak. Dit impliceert dat de vaardigheid voor het verstaan van spraak eigenlijk niet met de fluisterspraak bepaald kan worden, maar dat dit met de konversatiespraak moet gebeuren, waardoor dan tevens een grote mate van onnauwkeurigheid is ingebouwd. In de praktijk betekent dit bij lawaaidoofheid dat de uitkomst verkregen met de fluisterspraak in negatieve zin wordt vertekend, terwijl de uitkomst bij een geleidingshardhorendheid juist geflatteerd is.

Pas met de voortschrijding der ontwikkeling van de moderne elektrotechniek is men in staat geweest een audiometer te konstrueren. De eerste pogingen dateren uit het jaar 1919 (Dean & Bunch). Met de audiometer kan de gehoorscherptheit voor zuivere tonen bepaald worden voor lucht- en beengeleiding. De audiometer meet niet de absolute waarde,

maar meet het verlies ten opzichte van de toondrempelcurve in het Fletcher-Munson diagram. Deze toondrempelcurve is de normale menselijke fysiologische hoordrempel. Als we de audiometer instellen op een toon van 125 Hz met een sterkte van 0 dB, is de toon dus in wezen 30 dB sterk. Bij 8000 Hz betekent dit een sterkte van 10 dB bij de 0-instelling van de audiometer.

Met de audiometer beschikken we nu over een apparatuur, waarmee we op zeer nauwkeurige en reproduceerbare wijze een inzicht krijgen in het ontstaan en verloop van gehoorafwijkingen en voor ons doel, met name de lawaaislechthorendheid (doofheid).

Audiometrie.

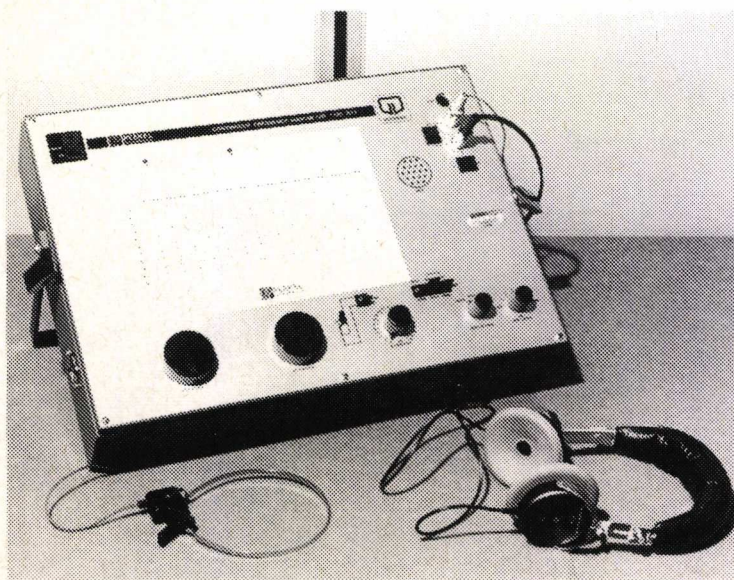
Een audiometer is een toongenerator, waarvan de frekwentie en de sterkte van het uitgangssignaal op geijkte wijze gevarieerd kunnen worden.

Er zijn vele typen audiometer zoals:

- a. continu-audiometer;
- b. oktaaf-audiometer;
- c. screenings- of identifikatie-audiometer;
- d. groepsaudiometer;
- e. automatische audiometer;
- f. spraakaudiometer.

Daarnaast kennen we onderzoekmethoden met behulp van ERA (evoked response audiometry), BSA (brainstem audiometry), Ecoch (electrocochleografie) en tympanografie.

Voor het vroegtijdig opsporen van lawaaidoofheid verdient de continu-audiometer volgens een door Professor van Dishoeck (Leiden) ontwikkeld systeem, de voorkeur.



Peekel D77 audiometer

Met deze audiometer wordt het gehele frekwentiegebied continu doorlopen terwijl de intensiteit op een bepaalde waarde wordt gefixeerd. Ergens tussen de 3000 en 6000 Hz zal de lawaaidip te voorschijn komen. Met andere vormen van audiometrie is de kans niet uitgesloten dat beginnende dips niet tijdig worden herkend.

Met deze continu-audiometer kunnen naast een lucht- en beengeleidingsaudiogram ook enige andere audiologische testen worden uitgevoerd.

Hiervan is de SISI (short increment sensitivity index) test voor de diagnose lawaaidoofheid wel de belangrijkste. Deze test maakt gebruik van de omstandigheid dat een oor met een zuiver cochleaire aandoening (per definitie zetelt lawaaidoofheid in de cochlea) in staat is kleinere verschillen in intensiteit te onderscheiden dan in het geval van geleidingsstoornissen, een retrocochleaire aandoening of een normaal oor. De grotere gevoeligheid voor kleine intensiteitsverschillen bij een cochleaire aandoening geldt alleen voor frekwenties boven de 1000 Hz. Een verder voordeel van deze vorm van audiometrie is gelegen in het feit dat de frekwentieschaal vrijwel in het gehele frekwentiegebied logaritmisch verloopt, zodat de visuele indrukken van het audiogram (gehoorkaart) overeenstemmen met de eigenschappen van het gehoor.

Extra-auditieve invloeden van geluid op de mens.

Hoewel de bestudering van extra-auditieve invloeden van geluid op de mens nog in de kinderschoenen staat wordt er momenteel in vele laboratoria onderzoek gedaan naar deze invloeden.

Empirisch is komen vast te staan dat prikkeling van het gehoororgaan, naast het opwekken van typische hoorfenomenen, tevens invloed uitoefent op andere delen van het lichaam en wel het zenuwstelsel in het bijzonder. Deze niet-auditief systeem-responsen zijn dus voornamelijk het gevolg van prikkeling door het auditieve systeem van zenuwsystemen die niet primair bij het hoorgebeuren zijn betrokken. Het geluid kan hierbij nog aanzienlijk onder het 'damage risk criterion' liggen. Ook kan lawaai-overlast van grote invloed zijn op de psyche van de mens; naast het verstoren van de communicatie kan het ook invloed hebben op de werkprestatie. Deze werkprestatie-vermindering wordt toegeschreven aan het afnemen van het concentratie-vermogen. Ook de privacy in de eigen woning kan verdwenen zijn.

Uit de literatuur is bekend dat geluid in staat is om een kunstmatige nachtblindheid op te wekken. Deze kunstmatige nachtblindheid zou berusten op het feit dat het oog - onder invloed van sterk geluid - niet

optimaal kan adapteren. Ook kunnen moeilijkheden optreden met kleurbenoemen. Bij bepaalde lawaainiveaus gaan mensen de complementaire kleuren benoemen, terwijl daarbij ook het gezichtsveld beperkter zou zijn. Vanuit de psychofysiologie wordt onderzoek gedaan naar de invloed van lawaai op het autonome zenuwstelsel, op hormonale veranderingen en op stofwisselingsveranderingen.

Eigen onderzoek.

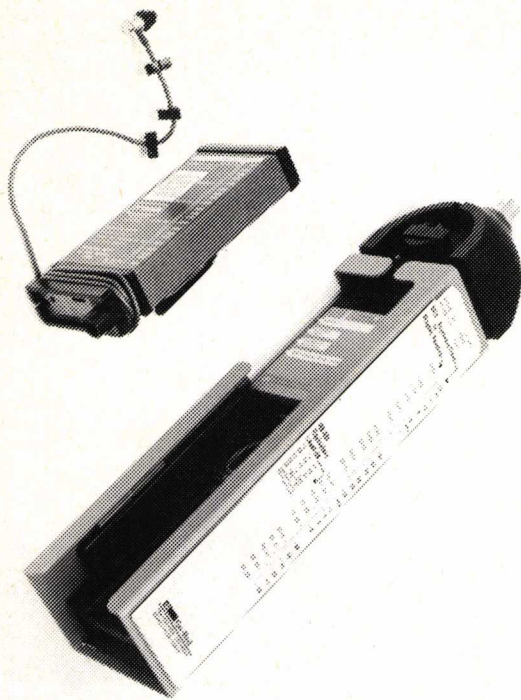
In het kader van een onderzoek* naar de betrouwbaarheid en uitvoerbaarheid van een in het veld van de geluidmeting nieuw ontwikkelde 'personal noise dosemeter' werd ook onderzoek gedaan bij werknemers werkzaam in een fabriek van voorgespannen betonelementen.

Tevens maakt dit onderzoek deel uit van een - bij voornoemde fabriek - op te zetten 'gehoorbeschermingsprogramma'.

Een 'personal noise dosemeter' - een slecht twee á driehonderd gram wegend apparaatje dat in de borstzak kan worden gedragen - is van belang op plaatsen waar het geluid fluctuerend van karakter is. De 'personal noise dosemeter' meet simultaan zowel het dBA-niveau als de expositietijd. Daarna kan uit dit cumulatieve noise exposure indexgetal van de 'personal noise dosemeter' (monitor) met behulp van een noise exposure monitor het equivalent continu geluidniveau (L_{eq}) worden berekend.

De A weging van de 'personal noise dosemeter' is in overeenstemming met IEC publikatie 123 en houdt in dat rekening is gehouden met de geringere gevoeligheid van het oor voor lage tonen. Het geluidniveau-bereik is van 80 tot 120 dBA (re 20 μ Pa). De dosemeter verwerkt piekniveaus tot 140 dB in het eindresultaat.

* Dit onderzoek werd uitgevoerd als onderdeel van een EEG ad hoc Working Group on Deafness te Brussel.



*Noise dose monitor +
noise exposure monitor*

Het equivalent continu geluidniveau (L_{eq}) berust op het 'equal energy principle' dat stelt dat 'de totale geluidenergie die het oor gedurende een werktijd treft bepalend is voor de mate van schadelijkheid en dat deze schadelijkheid onafhankelijk is van de verdeling van de geluidenergie over de werktijd'.

Dit energy concept is gebaseerd op de ISO Recommendation R 1999: Assessment of occupational noise exposure for hearing conservation purposes (1971) '.

Deze ISO aanbeveling hanteert de $q = 3$ norm, wat wil zeggen dat bij halvering van de expositieduur de totale geluidenergie met 3 dBA mag toenemen.

De Amerikaanse 'Occupational safety and health act (OSHA)' daarentegen past de $q = 5$ norm toe, terwijl de US Air Force regulation de $q = 4$ norm gebruikt.

De tabel laat zien wat dit in de praktijk betekent:

expositietijd	ISO-R 1999	US air force	OSHA
8 uur	90 dBA	90 dBA	90 dBA
4 uur	93 dBA	94 dBA	95 dBA
2 uur	96 dBA	98 dBA	100 dBA
1 uur	99 dBA	102 dBA	105 dBA
$\frac{1}{2}$ uur	102 dBA	106 dBA	110 dBA
$\frac{1}{4}$ uur	105 dBA	110 dBA	115 dBA

In Europa wordt de $q = 3$ norm gebruikt.

Behalve het meten van lawaai, zowel met de 'klassieke' geluiddruk-niveaumeter als met de 'personal noise dosemeter' om de lawaai-belasting van de werknemer te leren kennen moet in een gehoorbeschermingsprogramma tevens periodiek gehooronderzoek worden verricht. Dit gehooronderzoek geeft inzicht in het hoorvermogen van de werknemer bij indienst-treding (intree audiogram), terwijl daarnaast een follow-up onderzoek regelmatig nodig is bij die werknemers die in schadelijk lawaai werken. Een periodiek vervolgonderzoek is mede nodig omdat lawaainiveau kunnen veranderen en tevens om het effect van het dragen van gehoorbeschermings-middelen na te gaan.

Naast een uitvoerig audiologisch onderzoek bij werknemers van voornoem-de fabriek van voorgespannen betonelementen werd de lawaai-belasting (noise-load) gemeten zowel met behulp van 'personal noise dosimeters' als met behulp van geluidmetingen op de werkplaats.

Deze laatste meting werd uitgevoerd met een geluidsdruk-niveaumeter waar-mee naast de dBA waarde ook oktaafbandanalyses werden uitgevoerd.

Gebruikte onderzoekapparatuur:

	Personal noise dosemeter:	General Radio 1944 Noise Exposure Monitor, plus de General Radio 1944 Exposure Indicator.
Geluidmeting	Geluidsdruk-niveaumeter:	Brüel en Kjaer Precision Sound Level Meter type 2203, plus Octave Filter Set type 1613.
	Audiometer:	Peekel D7 continuous sweep frequency audiometer (cali-brated to ISO-R-389) met Beyer DT-48-S earphones.
Gehoor-onderzoek	Self recording audiometer:	Grason-Stadler 1703 audiometer.

In totaal zijn op 34 meetplaatsen in de fabriek met de geluidsdruk-niveaumeter metingen verricht. Dit betrof vier hallen voor de fabri-kage van betonelementen alsmede de vlechtloods, modellen werkplaats, de cementbereiding e.a.

De waarden van deze momentopnamen varieerden wat betreft de hallen van 76 tot 106 dBA terwijl in de overige afdelingen de gemeten waarden lagen tussen 78 en 86 dBA.

De aan het onderzoek meewerkende produktie-werknemers werden uitgerust met 'personal noise dosemeters'. Het gemiddelde L_{eq} voor een achturige werkdag werd berekend uit een veertigurige werkweek.

Wat betreft de hallen lage de L_{eq} waarden tussen 89 en 95 dBA terwijl dit voor de overige afdelingen varieerde van 83 tot 95 dBA.

Over het algemeen zijn de 'klassiek' met de geluiddruk-niveaumeter gemeten waarden hoger dan de L_{eq} waarden.

De 'personal noise dosemeter' geeft een beter beeld van de dagelijkse lawaai-belasting van de konstruktie-werknemer dan de momentopname met de geluiddruk-niveaumeter. Vooral in die gevallen waar de werknemers tamelijk mobiel zijn en zich door het gehele bedrijf bewegen.

Dit lijkt ook in overeenstemming met de geregistreerde audiogrammen die in een aantal bijlagen als mediaanaudiogram en de P75 gegeven zijn (het percentiel P50 is het tweede kwartiel of mediaan terwijl P75 het derde kwartiel is).

In 1967 is bij voornoemde fabriek een audiometrisch onderzoek uitgevoerd. Het was mogelijk bij een vervolgonderzoek in 1975, 41 personen te vervolgen die ook bij het eerste onderzoek betrokken waren.

Bij een derde onderzoek uitgevoerd in 1979 was het mogelijk 21 personen te 'vinden' die ook aan de twee eerste onderzoeken hun medewerking hadden verleend.

Helaas is van geen van de deelnemende werknemers een intree-audiogram bekend zodat niet meer nagegaan kan worden in hoeverre bepaalde gehoorafwijkingen al bestonden bij indiensttreding.

De mediaanaudiogrammen zijn zowel voor het rechter als voor het linker oor niet gekorrigeerd en wel gekorrigeerd voor de leeftijd, gegeven. Het blijkt dat steeds het mediaanaudiogram voor het linker oor ietwat afwijkender is dan die voor het rechter oor. Waarschijnlijk heeft dit te maken met het vervullen van de militaire dienstplicht, daar bij rechtshandigen bij schieten het linker oor de grootste lawaai (knal) belasting krijgt.

De grafieken I en II geven de mediaan voor 41 personen voor het onderzoek uitgevoerd in 1975 en 1979. Dit leert ons dat er geen enkele verslechtering is opgetreden in dit tijdsbestek.

Ditzelfde geldt in wezen voor de grafieken III en IV waar het onderzoek van 1967 mede in begrepen is. Zeker blijkt dit uit grafiek IV waar een leeftijds-korrektie is toegepast.

In de grafieken V en VI zijn de percentielen P75 van de onderzoeken van 1975 en 1979 tegen elkaar uitgezet. Hoewel dit slechts 8 personen betreft blijkt ook hier dat er geen toename van de gehoorafwijking heeft plaats gevonden, noch in de diepte van de dip van het audiogram als in de breedte. In dit laatste geval kunnen - als dit wel het geval geweest zou zijn - de voor het spraakverstaan zo belangrijke frequentie worden aangetast.

Ook tenslotte blijkt uit de grafieken VII en VIII dat indien de P75 van dit semi longitudinale onderzoek naast elkaar worden uitgezet er geen significante verslechtingen (veranderingen) hebben plaats gevonden. Afgaand op de gemeten waarden van de geluiddrukkniveaumeter wekt dit enige verbazing omdat werken bij deze lawaainiveaus grotere afwijkingen doen veronderstellen (bij dit bedrijf worden nauwelijk gehoorbeschermers gedragen).

Een mogelijke verklaring zou kunnen zijn dat de lagere waarden zoals gemeten met de 'personal noise dosemeter' inderdaad meer overeenkomen met de werkelijk lawaai-belasting. Anderzijds valt bij dit productieproces van voorgespannen betonelementen op dat de geluidsterkten liggend in de oktaafbanden liggend om de middenfrequenties 63 en 125 Hz een maximum vertonen. Daarboven nam de intensiteit af met gemiddeld 5 dB per oktaaf.

Het is bekend dat met name hoge geluidsterkten bij hogere frequenties schadelijk zijn voor het perifere gehoororgaan terwijl dit voor lagere frequenties in veel mindere mate geldt.

Gezien de betrekkelijk geringe verliezen in het mediaanaudiogram van werknemers in deze fabriek van voorgespannen betonelementen en de daarbij gevonden gemiddelde dBA waarden zou het mogelijk zijn te veronderstellen - met alle restricties - dat de dBA correctie zoals deze wordt toegepast voor gemiddeld fabriekslawaai, te gering is voor deze betonindustrie.

N.B.: Een identiek frequentiepatroon als bij deze betonindustrie wordt gevonden bij 'levende' popmuziek en in discotheken. De gemiddelde belasting van bezoekers van deze gelegenheden is, wat tijdsduur betreft, echter gelegen tussen 3½ en 6½ uur per week. Deze kortdurende belasting geeft geen permanente (PTS) maar wel direkt na afloop van de lawaai-expositie een meetbare, tijdelijke (TTS) gehoordrempelverhoging.

LITERATUUR

- BALLANTYNE, J. Deafness.
J. & A. Churchill, London 1970
- BELL, A. Noise. An occupational hazard and public nuisance.
World Health Organization, Geneva 1966
- BEROEPSHARDHORENDHEID EN DE BEDRIJFSARTS.
T.soc.Geneesk. 50, suppl. 2, bij nr 9, 1972
- BRAGDON, C.R. Noise pollution. The unquiet crisis.
University of Pennsylvania Press, Philadelphia, 1971
- BURNS, W. Noise and man.
John Murray, 50 Albemarle Street, London, 1973
- BURNS, W., et al. Hearing and noise in industry.
Her Majesty's Stationery Office, London, 1970
- DAVIS, H., et al. Hearing and deafness.
Holt, Rinehart & Winston, London, 1970
- ENGELBERG, M.W. Audiological evaluation for exaggerated hearing level.
Charles C. Thomas, Springfield, Illinois, 1970
- GLORIG, A. Noise and your ear.
Grune & Stratton, New York, London, 1958
- GLORIG, A, et al. Audiometry: principles and practices.
The Williams & Wilkins Company, Baltimore, 1965
- GRAHAM, A.B., et al. Sensorineural hearing processes and disorders.
Henry Ford Hospital International Symposium.
Little, Brown & Company, Boston, Massachusetts, 1967
- GROEN, J.J. Slechthorendheid en hoortoestellen.
De Nederlandse Bibliotheek der Geneeskunde, deel 30.
Stafleu, Leiden, 1968
- GROEN, J.J. Spraakaudiometrie als middel voor het vaststellen van de sociale betekenis van gehoorverlies.
T.soc.Geneesk. 45 (1967) 418
- HAMMELBURG, E., e.a. Validiteitsschattingen van het gehoor.
Suppl. 2 bij nr. 10 van T.soc.Geneesk. 45 (1967)
- HARRIS, C.M., et al. Handbook of noise control.
McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, Toronto, London, 1957
- HARRIS, J.D., et al. Forty germinal papers in human hearing.
Published by 'The Journal of Auditory Research', Groton,
Connecticut, 1969
- HASSALL, J.R., & K. ZAVERI. Acoustic Noise Measurements.
Bruël & Kjaer, 1979
- HENDERSON, D., et al. Effect of noise on hearing.
Raven Press, New York, 1976

- JERGER, J. Modern developments in audiology.
Academic Press, New York, 1973
- KATZ, J., et al. Handbook of clinical audiology.
Williams & Wilkins, Baltimore, 1972
- KRUISINGA, R.J.H. Slechthorendheid en het verstaan van spraak.
Thesis, Groningen, 1955
- KRYTER, K.D. The effects of noise on man.
Academic Press, New York, London, 1970
- LEEUWEN, H.A. VAN. Beroepshardhorendheid als bedrijfsgeneeskundig probleem.
Thesis, Leiden, 1955
- LEHNHARDT, E. Praktische Audiometrie.
Georg Thiem Verlag, Stuttgart, 1978
- LINDEMAN, H.E. Toepassing van spraakaudiometrie in het bedrijf.
T.soc.Geneesk. 45 (1967) 422
- LINDEMAN, H.E., & P. VAN LEEUWEN. Bepaling van de validiteit van het gehoor met behulp van een bedrijfsspraakaudiometer.
T.soc.Geneesk. 45 (1967) 814
- LINDEMAN, H.E. De 'onderzoekersfout' bij bedrijfsspraakaudiometrische uitkomsten.
T.soc.Geneesk. 47 (1969) 44
- LINDEMAN, H.E., & P. VAN LEEUWEN. De invloed van het spraakafzien op de uitkomst van het bedrijfsspraakaudiogram.
T.soc.Geneesk. 48 (1970) 279
- LINDEMAN, H.E. Possible reduction of speech intelligibility when wearing ear defenders.
Int.Audiol. 9 (1970) 358
- LINDEMAN, H.E. Relation between audiological findings and complaints by persons suffering from noise-induced hearing loss.
Amer.ind.Hyg.Ass.J. 32 (1971) 447
- LINDEMAN, H.E. Some aspects of ageing of the senses.
In: J.M. Dirken (ed.). Functional age of industrial workers.
Groningen, Wolters-Noordhoff, 1972, p. 67-75
- LINDEMAN, H.E. De invloed van geluid op de mens.
De Ingenieur 85 (1973) 127
- LINDEMAN, H.E. Spraakverstaan en gehoorbeschermers.
T.soc.Geneesk. 51 (1973) 331
- LINDEMAN, H.E. The SISI-test; the value of the SISI-test for a more reliable NIPHL diagnosis made by the industrial medical officer.
Leiden, NIPG/TNO, 1973, 82 p.
Dissertation University of Salford

- LINDEMAN, H.E. Importance of noise dosimetry in a hearing conservation programme.
Audiology 15 (1976) 264
- LINDEMAN, H.E. Audiologists in other nations. In noise and audiology.
Ed. D.M. Lipscomb (perspectives in audiology series, Ed. L.L. Lloyd).
University Park Press, Baltimore, 1978
- LIPSCOMB, D.M. Noise and audiology.
University Park Press, Baltimore, 1978
- LITTLER, T.S. The physics of the ear.
Pergamon Press, Oxford, London, etc. 1965
- MORAY, N. Attention. Selective processes in vision and hearing.
Hutchinson, London, 1969
- NEWBY, H.A. Audiology.
Vision, Press Limited, 1970
- O'NEILL, J., et al. Applied audiometry.
Dodd, Mead & Company, New York, Toronto, 1966
- PAPARELLA, M.M., et al. Biochemical mechanisms in hearing and deafness.
Research otology. International Symposium University of Minnesota.
Charles C. Thomas, Springfield, Illinois, 1970
- PETERSON, A.P.G., et al. Handbook of Noise Measurement.
General Radio, Concord, Massachusetts, 1974
- RICHARDSON, E.G., et al. Technical aspects of sound (volume I and II).
Elsevier Publishing Company, Amsterdam, etc., 1953
- ROBINSON, D.W., et al. Occupational hearing loss. Proceedings of a
Congress held at the National Physical Laboratory, Teddington.
Academic Press, London, New York, 1971
- ROSE, D.E. Audiological assessment.
Prentice Hall Inc., Englewoods Cliffs, N.J., 1978
- SATALOFF, J. Hearing loss.
J.B. Lippincott Company, 1966
- TOBIAS, J.V., et al. Foundations of modern auditory theory, Volume I and II.
Academic Press, New York, London, 1970, 1972
- VENTRY, I.M., et al. Hearing measurements. A book of readings.
Appleton-Century-Crofts, New York, 1971
- WELCH, B.L., et al. Physiological effects of noise. Papers presented
at an International Symposium on the Extra-Auditory Physiological Effects of Audible Sound held in Boston.
Plenum Press, New York, London, 1970
- WOLSTENHOLME, G.E.W., et al. Sensorineural hearing loss. A Ciba Foundation Symposium.
J. & A. Churchill, London, 1970

Bijlage

Een zo betrouwbaar mogelijke diagnose lawaaidoofheid vergt een nogal complex onderzoek.

Het onderzoek naar mogelijke lawaaischade aan het perifere gehoororgaan van konstrukie-werknemers van een fabriek voor de vervaardiging van voor- gespannen betonelementen werd uitgevoerd door de medewerkers van de Projektgroep Audiologie van het Nederlands Instituut voor Praeventieve Gezondheidszorg TNO te Leiden en omvat het volgende:

- a. een luchtgeleidingsaudiogram voor linker en rechter oor;
- b. indien het luchtgeleidingsaudiogram afwijkend is wordt tevens een beengeleidingsaudiogram gemaakt. In dit geval wordt het niet te onderzoeken oor gemaskeerd om overhoren te voorkomen;
- c. indien het lucht- en het beengeleidingsaudiogram identiek afwijkend zijn wordt als differentieel diagnosticum de SISI test uitgevoerd om een cochleaire van een retrocochleaire doofheid te differentiëren (lawaaidoofheid zetelt in de cochlea);
- d. een luchtgeleidingsaudiogram met de 'self recording audiometer'; bij een aantal gekozen frekwenties wordt de toon zowel kontinu als intermitterend aangeboden; met deze vorm van audiometrie kan men recruitment op het spoor komen, een verschijnsel dat bij lawaaidoofheid optreedt;
- e. een uitvoerige anamnese;
- f. oorspiegelen op cerumen en toestand van het trommelvlies;
- g. in sommige gevallen van een ééNZijdige doofheid de lateralisatie proef van Weber.

Mediaan en P75 van audiogrammen gemaakt in 1967, 1975 en 1979 van werknemers van een fabriek van voorgespannen betonelementen.

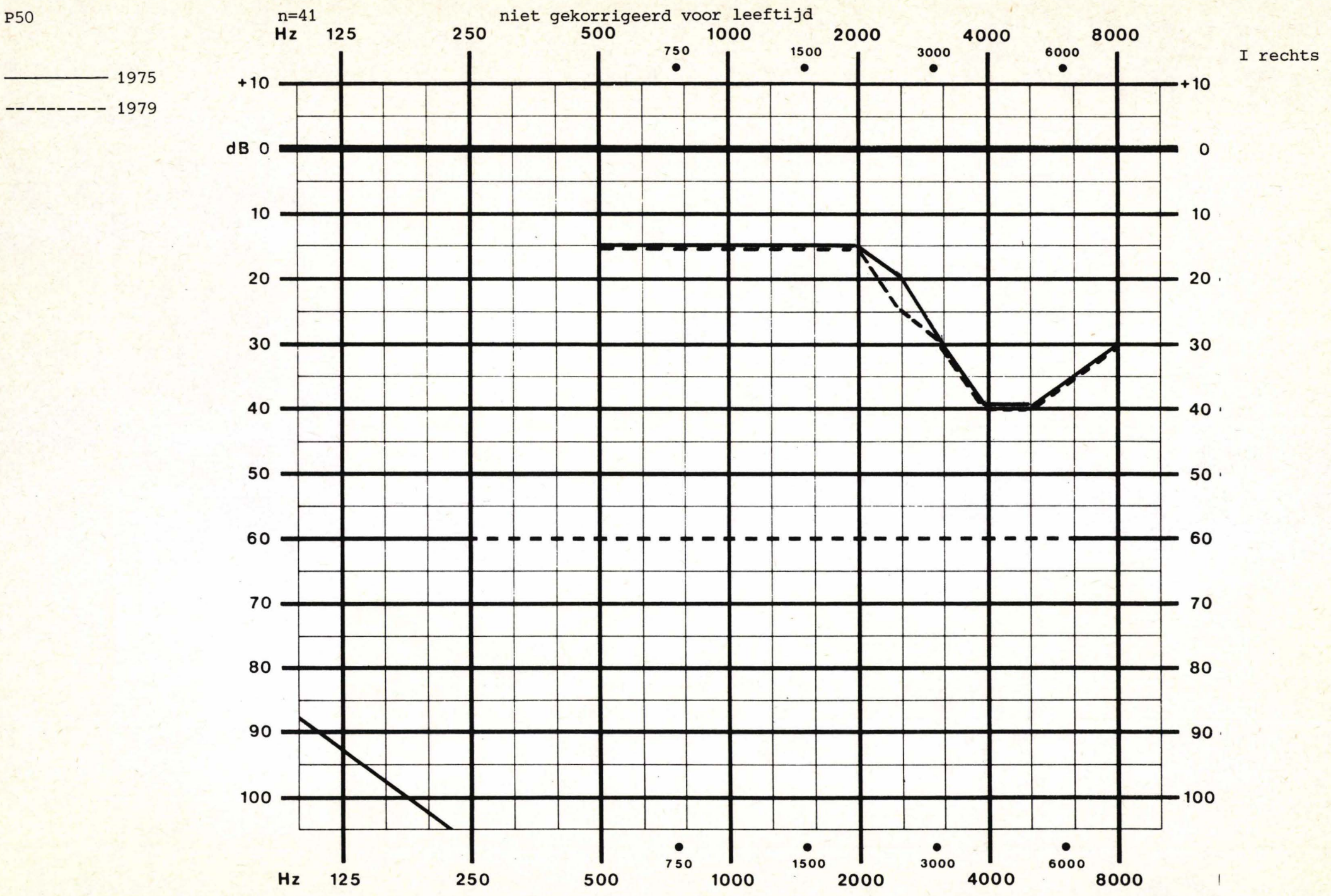
RECHTER OOR

LINKER OOR

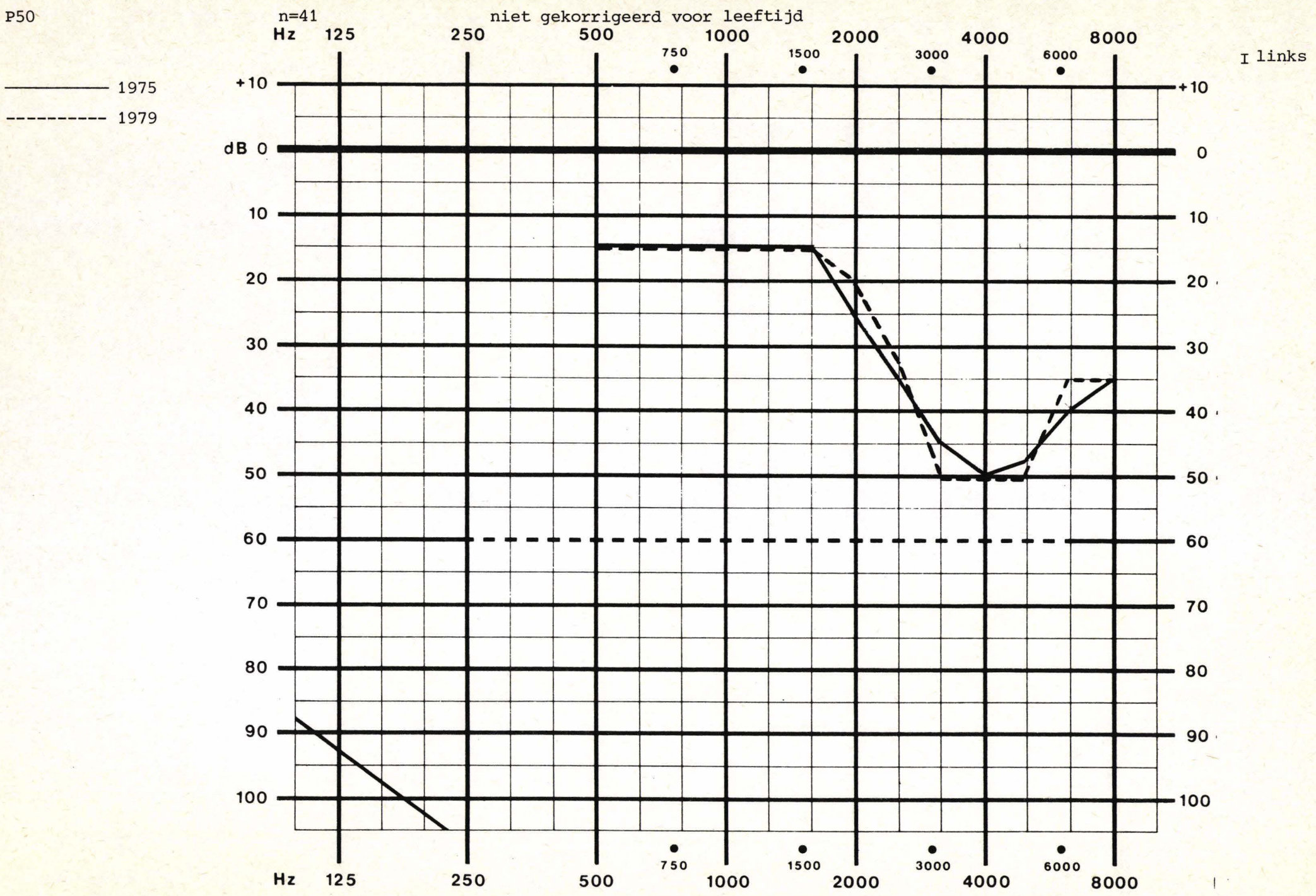
Gra- fiek no.			presb. corr.	n	500	1000	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000		500	1000	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	Hz
IR	P50	1975	niet niet	41 41	15 15	15 15	15 15	15 15	20 25	30 30	40 40	40 40	35 35	30 30	IL	15 15	15 15	15 15	25 20	35 32.5	45 50	50 50	47.5 50	40 35	35 35	
IIR		1975 1979	wel wel	41 41	15 15	15 15	15 14.5	15 14	18 16	24.5 22	29 29	27.5 30.5	21 25	17 17	IIL	15 14	15 14	15 14.5	19 15	29.5 26.5	34 34	36 34	32.5 33	25 30	24 20.5	
IIIR	P50	1967 1975 1979	niet niet niet	21 21 21	15 15 15	15 15 15	15 15 15	20 15 15	25 20 25	30 30 30	30 40 40	25 40 40	20 35 35	30 30 30	IIIL	15 15 15	15 15 15	20 15 15	25 25 20	35 35 32.5	40 45 50	37.5 50 50	30 47.5 50	25 40 35	25 35 35	
IVR		1967 1975 1979	wel wel wel	21 21 21	14 15 15	10 15 15	10 15 14.5	15 15 14	20 19.5 18	30 24.5 22	25 29 29	20 27.5 30.5	20 21 25	25 16 16	IVL	15 14.5 14.5	10 15 14.5	20 16 14.5	25 20 14.5	29 29 30	35.5 34 35.5	30 36 36.5	24 35.5 31.5	20 23 30	19.5 23 24	
VR	P75	1975 1979	niet niet	41 41	15 20	20 25	25 20	30 30	45 45	50 55	50 55	55 55	45 55	45 50	VL	15 15	20 20	30 30	35 40	45 50	55 60	60 65	55 65	50 65	50 50	
VIR		1975 1979	wel wel	41 41	15 17	15 22	19.5 20	23 20	31 32	36.5 39	44 44	42.5 42	28 31	31 32	VIL	17 15	20 17.5	25 26	38 35	38 38	48 47.5	49 49	47.5 46.5	41 38	39 45	
VIIR	P75	1967 1975 1979	niet niet niet	21 21 21	20 15 15	15 20 25	20 25 25	25 30 40	30 40 50	45 45 55	35 50 50	30 50 55	40 45 55	35 45 50	VIIIL	20 15 15	15 20 15	30 30 35	40 35 45	45 45 45	50 50 55	45 60 60	40 60 55	35 50 50	35 40 50	
VIIIR		1967 1975 1979	wel wel wel	21 21 21	19 15 15	15 15 22	20 19.5 17	25 25 30	30 31 38	40 34 41.5	34 41 44	25 35.5 32.5	30 28 30	35 27 26	VIIIL	20 15 15	15 15 15	25 25 29.5	35 32 40	38 37 43	48 39.5 47	45 48 46	35 47 45.5	28 41 40	30 27 37	

n = aantal personen

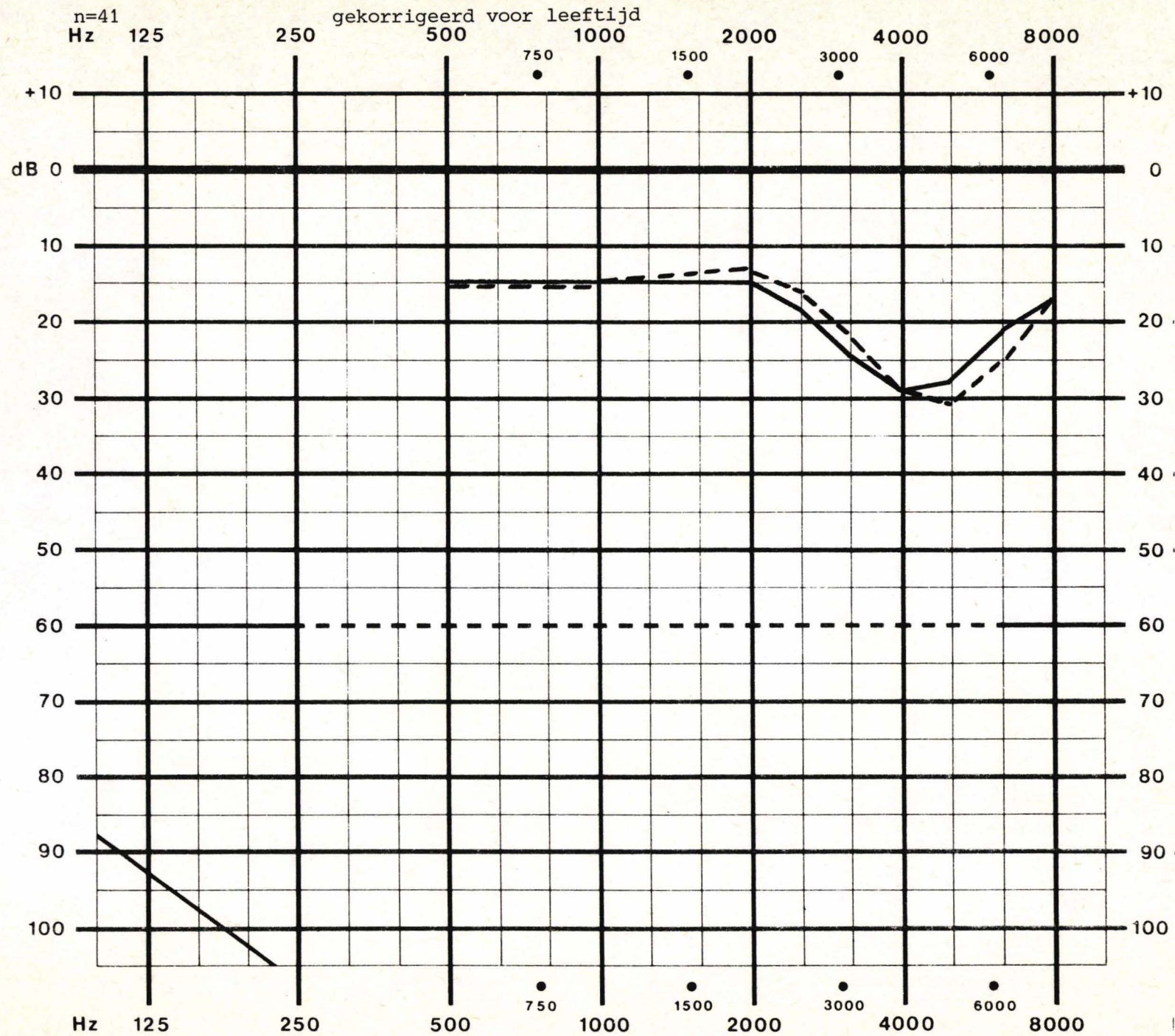
P50



P50



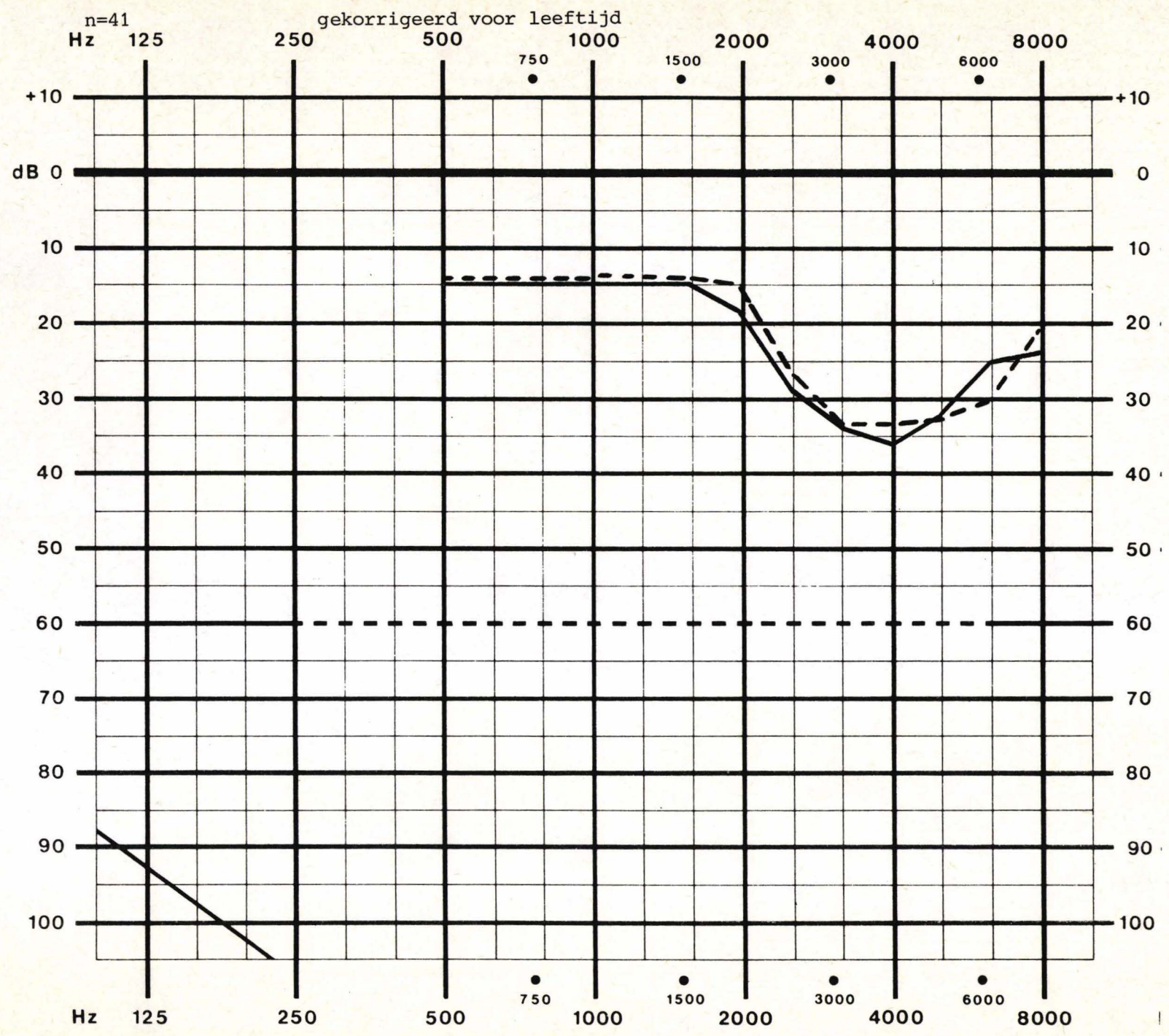
P50



II rechts

P50

— 1975
- - - 1979



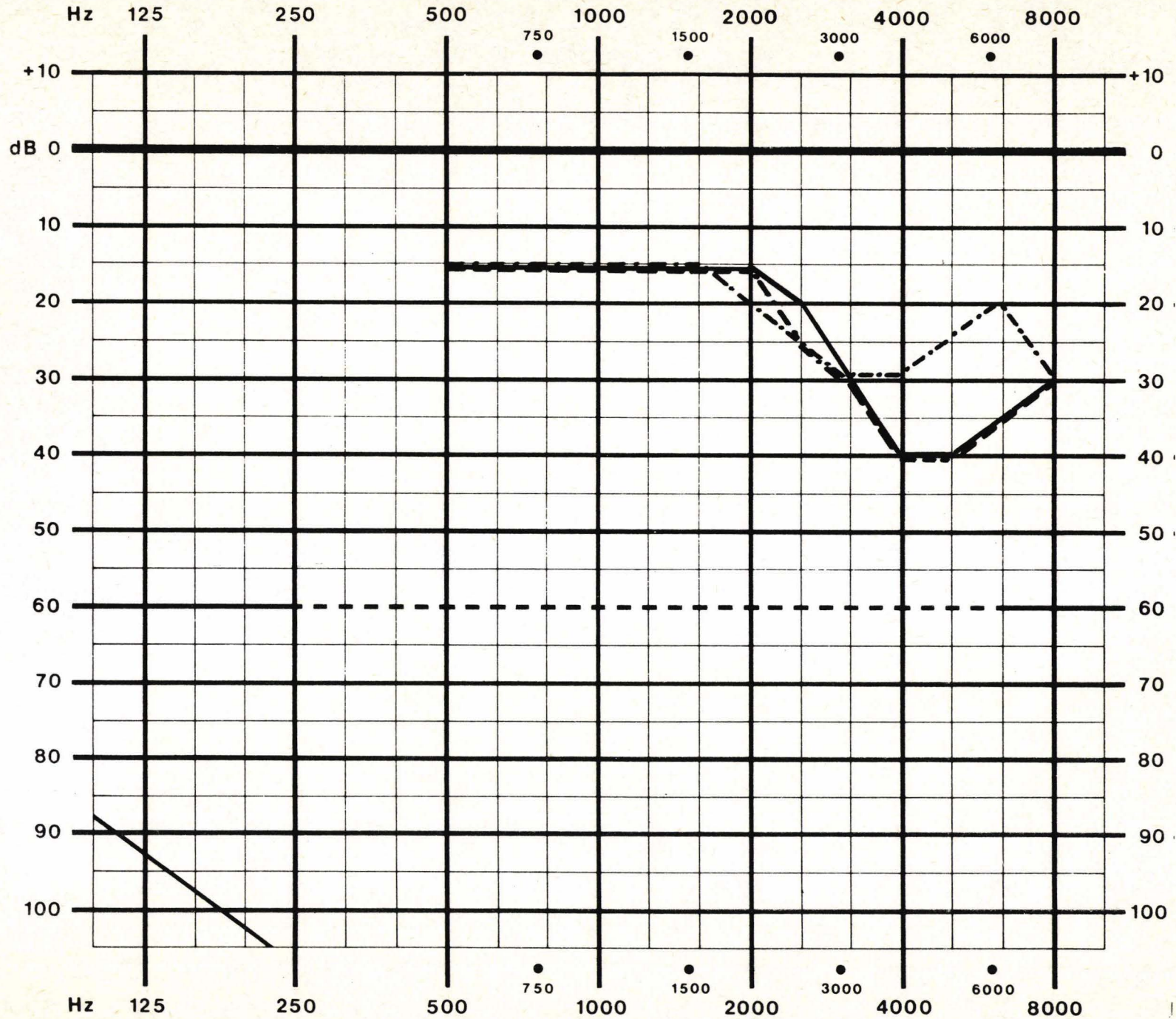
II links

n=21

niet gekorrigeerd voor leeftijd

III Rechts

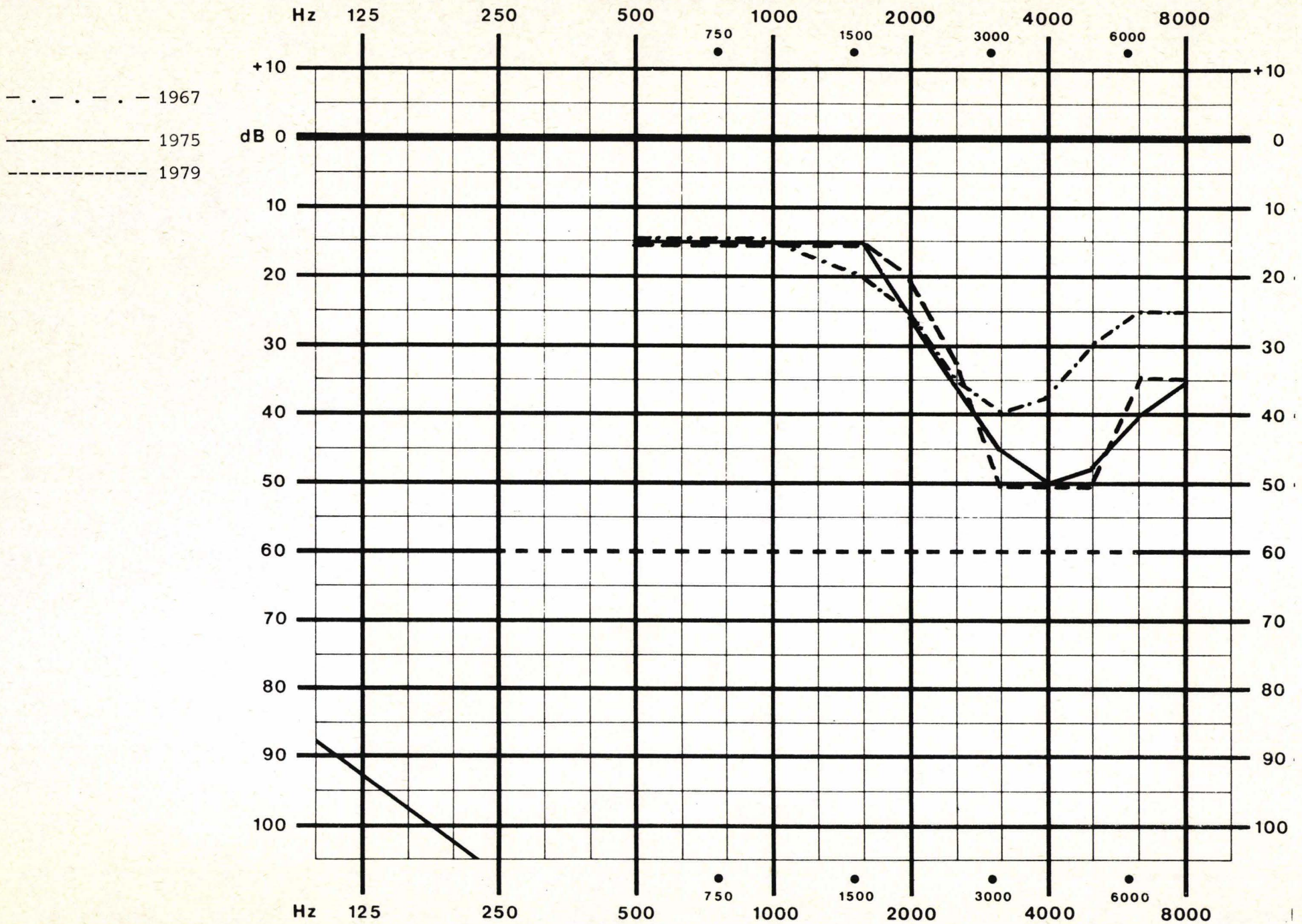
- . - . - 1967
— 1975
- - - 1979



P50

n=21

niet gekorrigeerd voor leeftijd



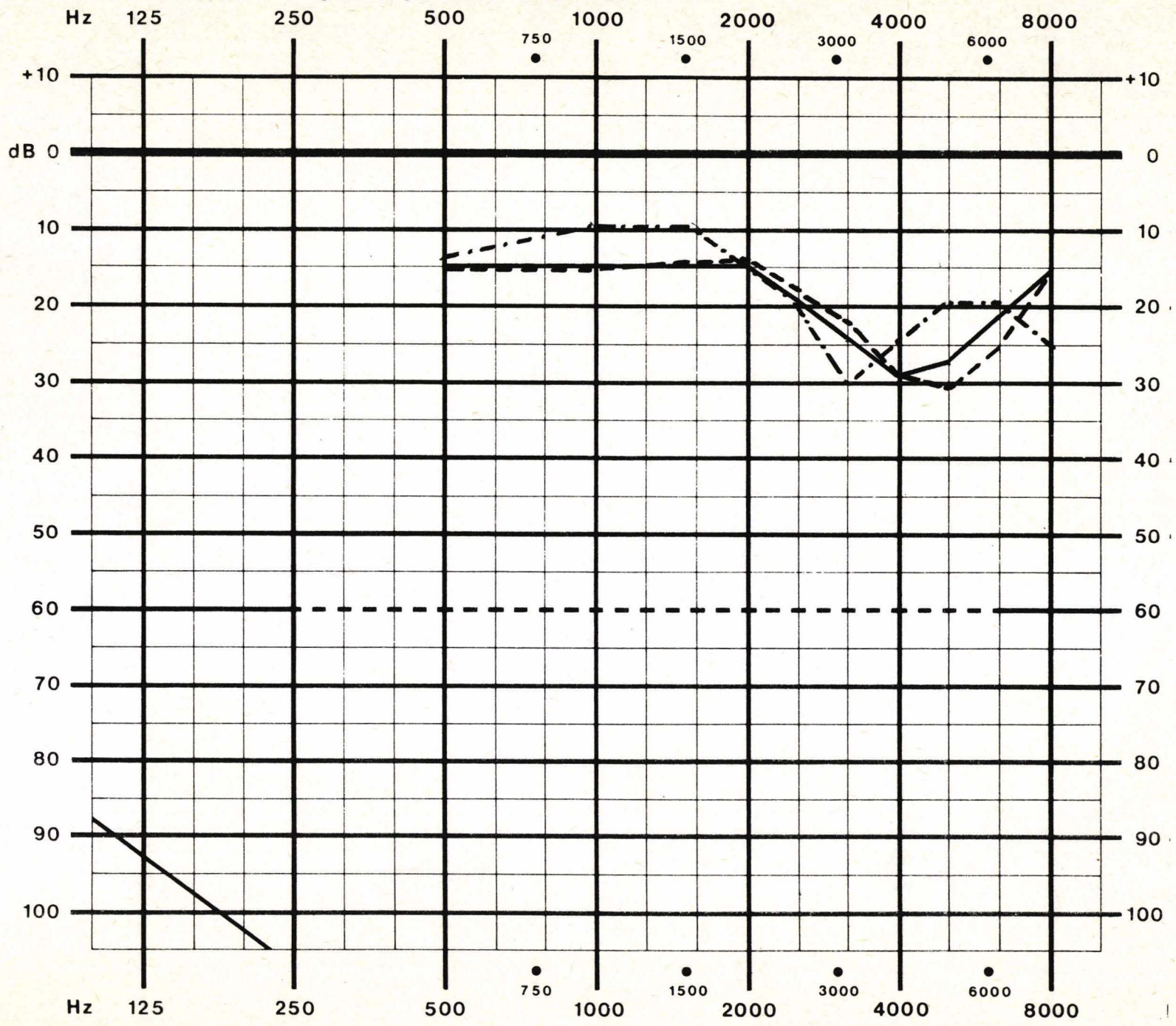
P50

n=21

gecorrigeerd voor leeftijd

IV Rechts

- . - . - 1967
— 1975
- - - 1979



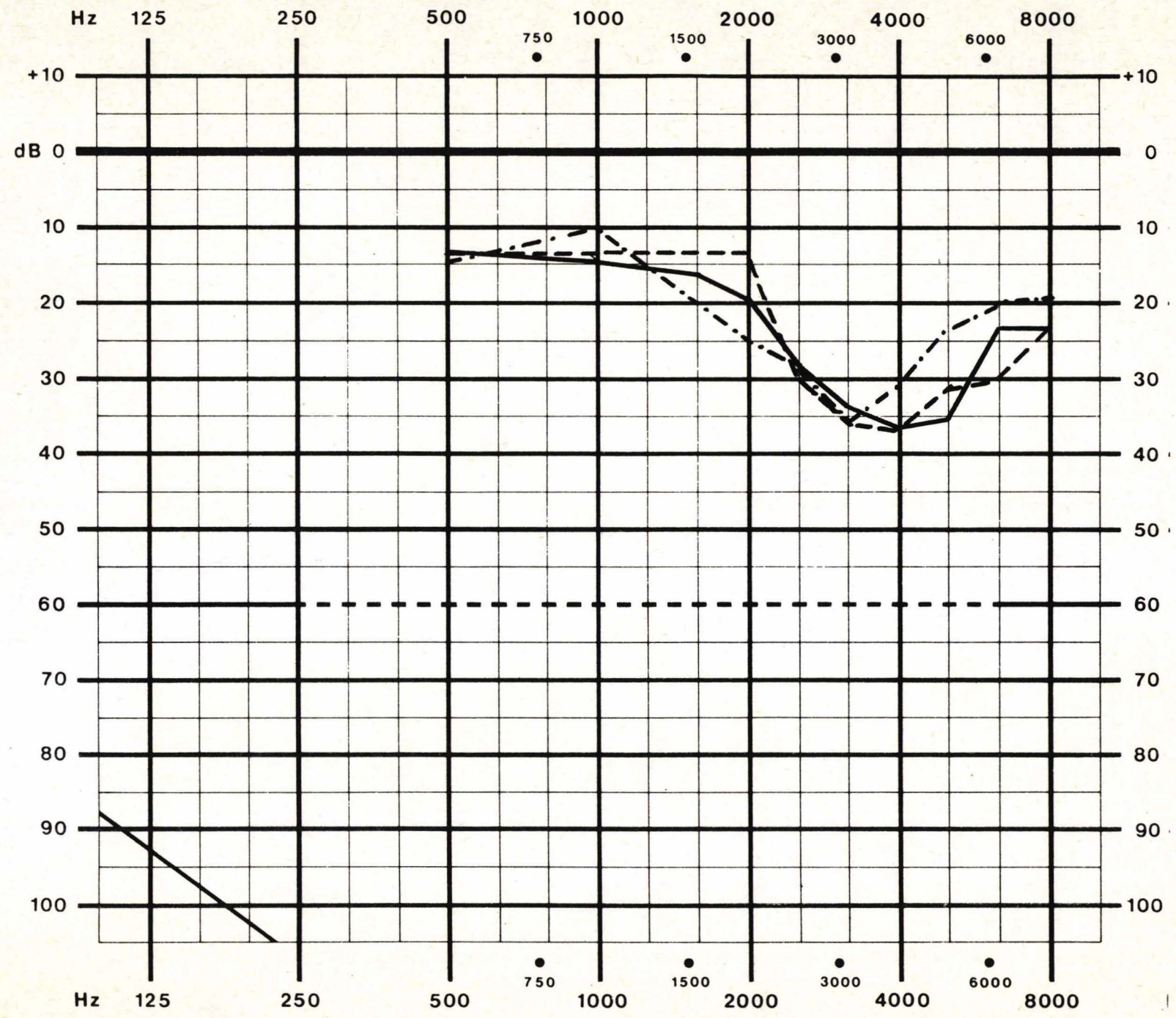
P50

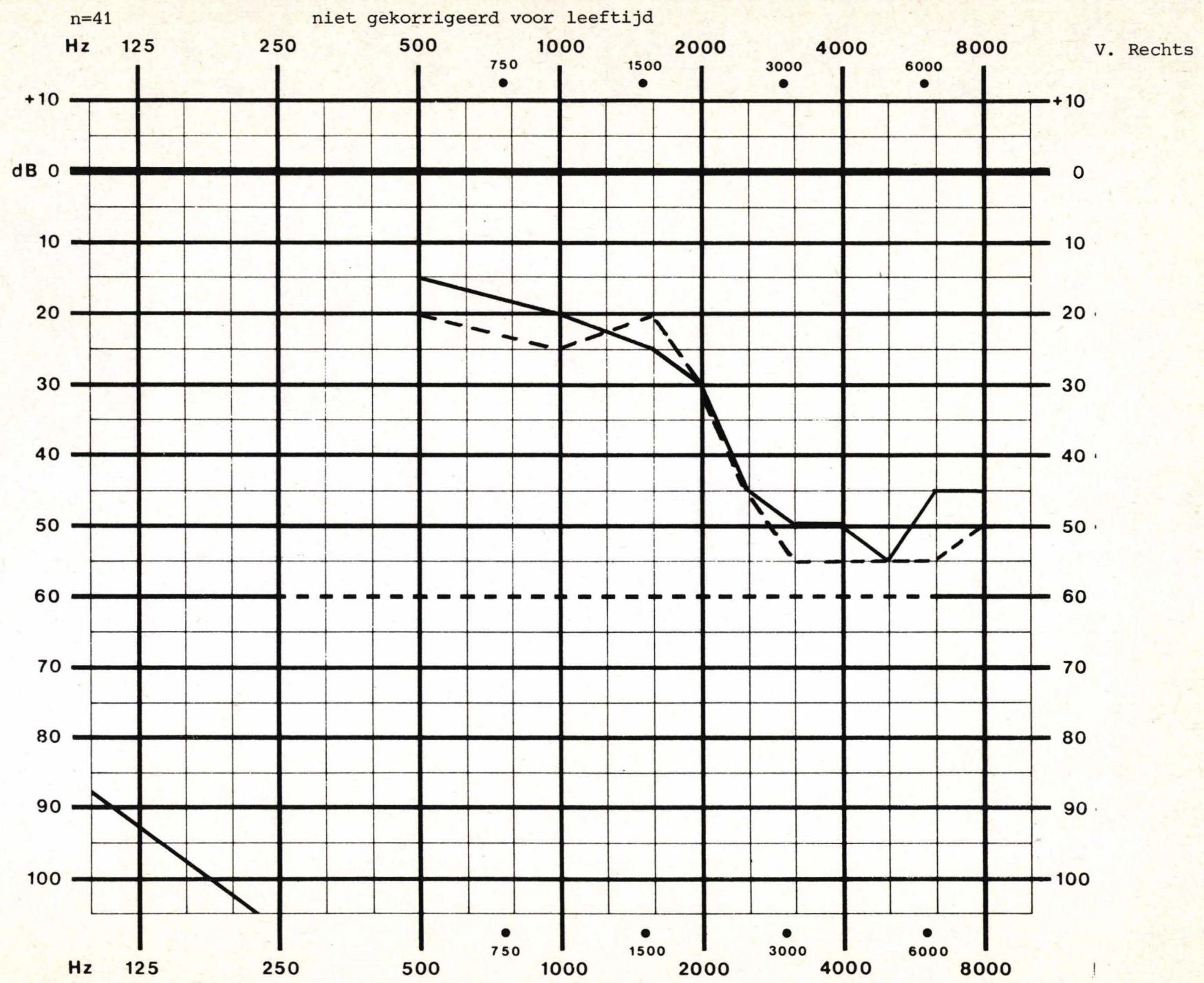
n=21

gecorrigeerd voor leeftijd

IV Links

- . - . - . - 1967
— 1975
- - - - - 1979



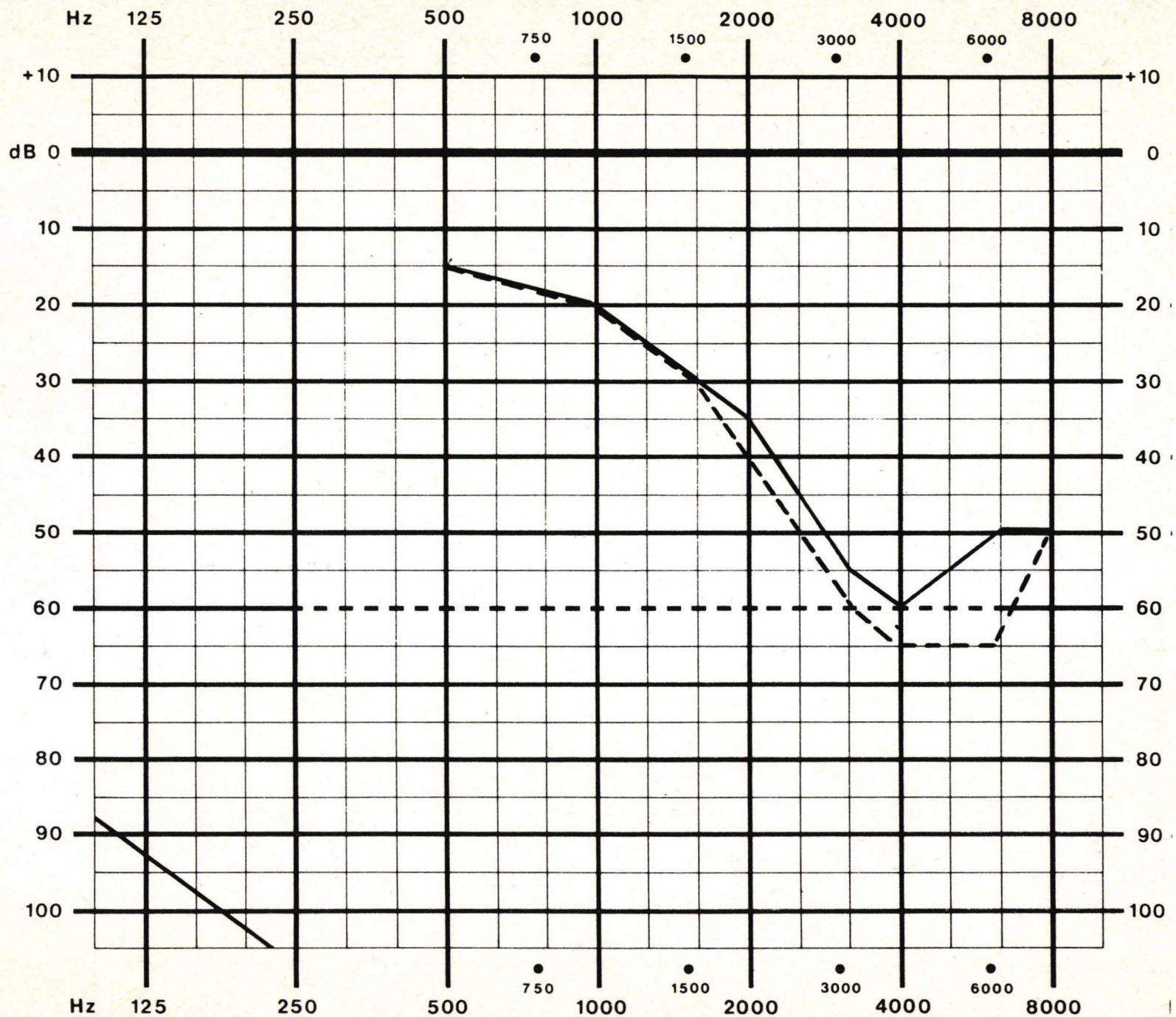


n=41

niet gekorrigeerd voor leeftijd

V. Links

— 1975
- - - 1979

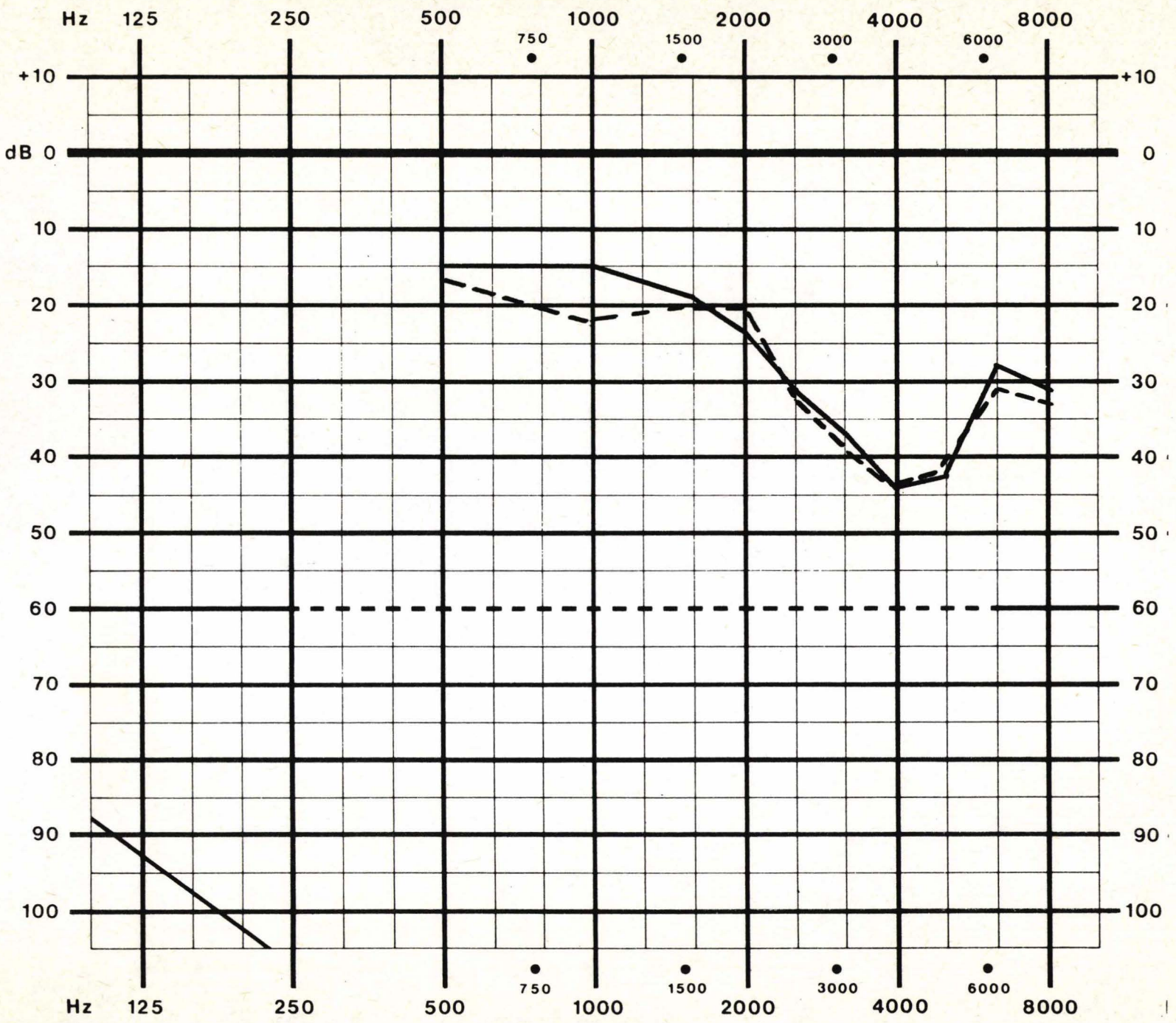


n=41

gecorrigeerd voor leeftijd

VI.Rechts

— 1975
- - - 1979



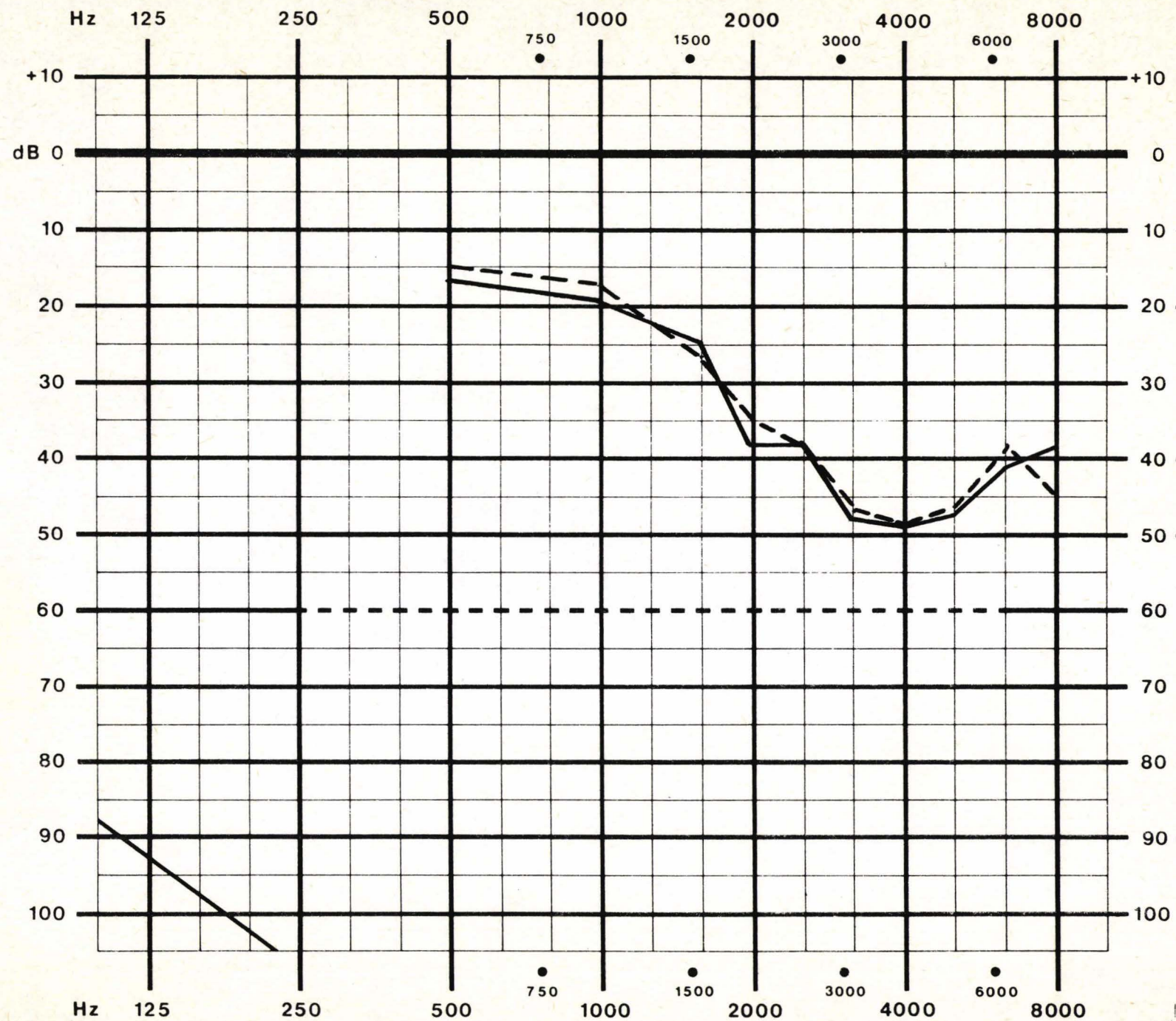
P75

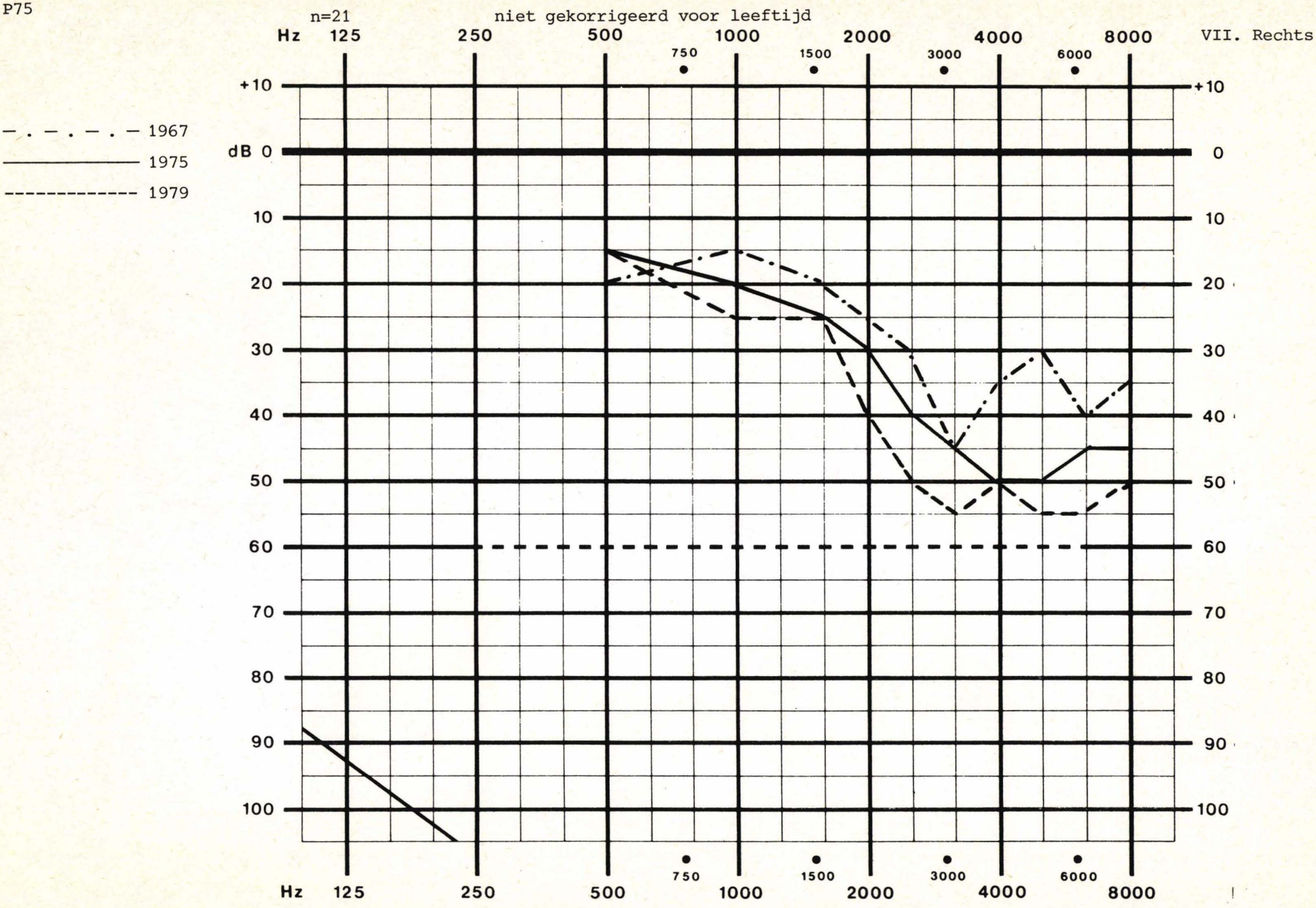
n=41

gecorrigeerd voor leeftijd

- . - . - 1967
— 1975
- - - 1979

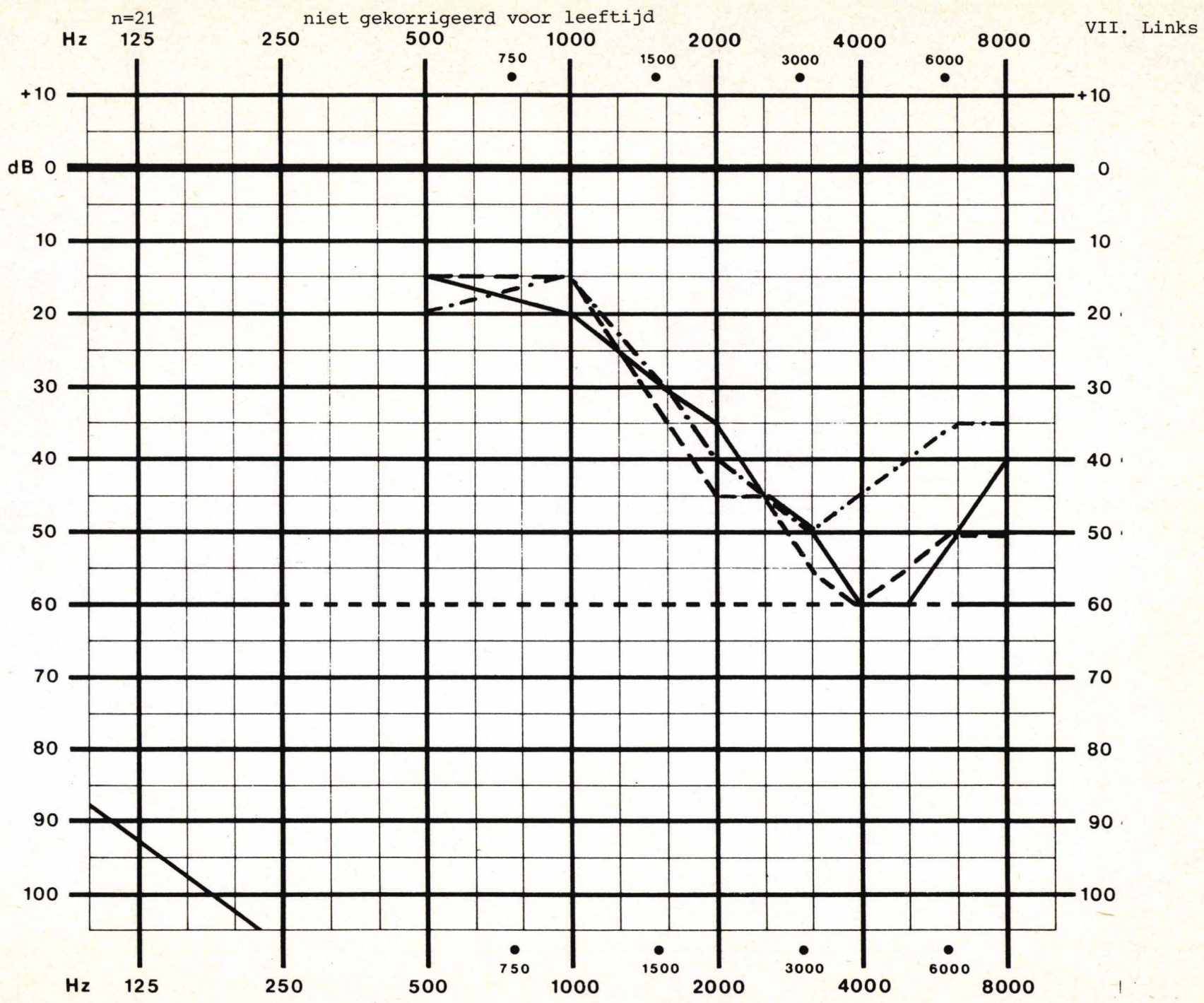
VI Links





P75

- . - . - . - 1967
— 1975
- - - 1979

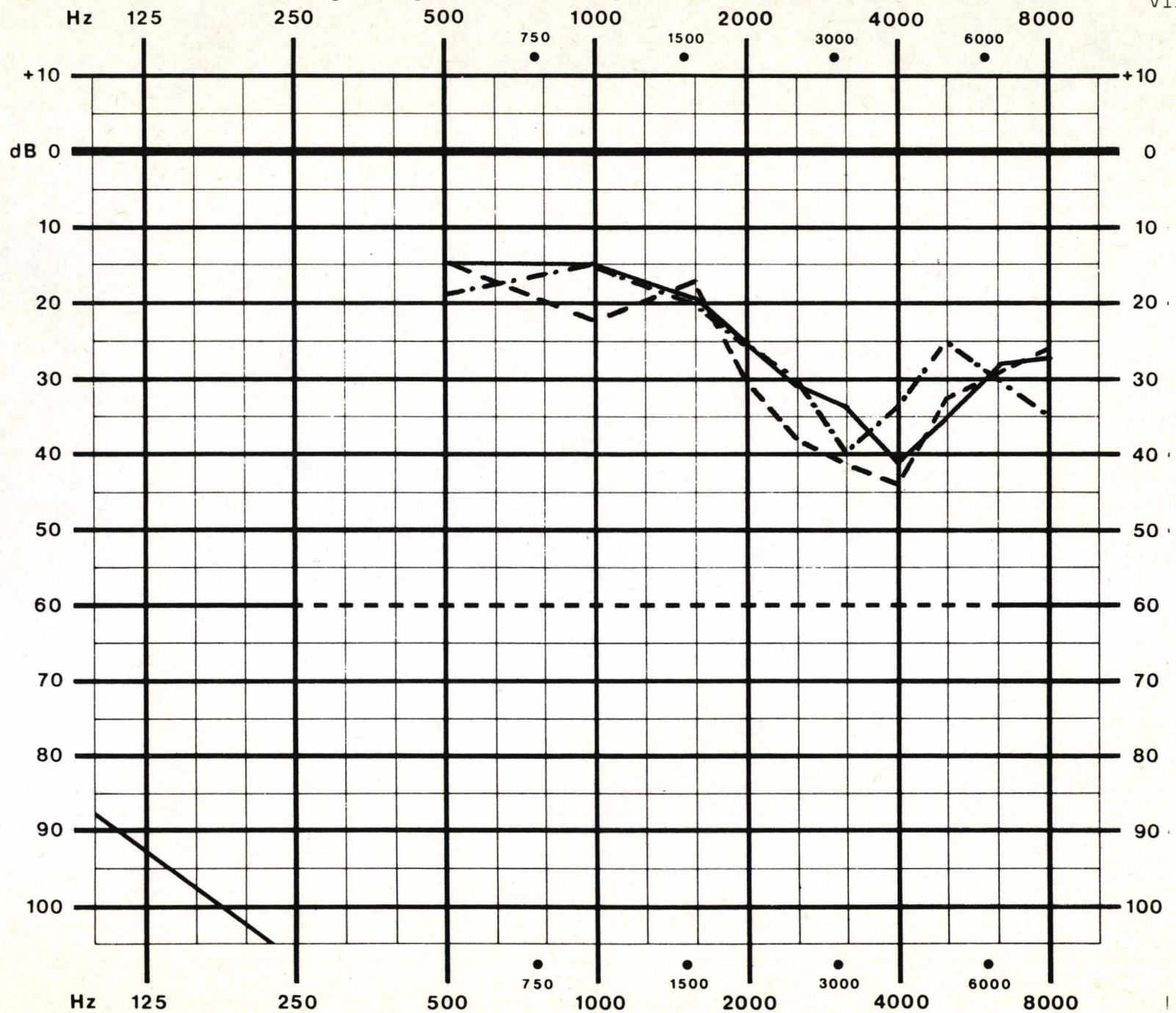


n=21

gecorrigeerd voor leeftijd

VIII. Rechts

- . - . - 1967
— 1975
- - - 1979



P75

