

Sound & Science: Digital Histories

Archives NAG: Publicatie No. 61 van de Geluidstichting, Van Dishoeck, H.A.E., van Den Eijk, J., van Leeuwen, H.A., Plomp, R. & Vanos, G.J. (1958). Lawaai- en beroepsdoofheid. Delft: Geluidstichting, 1958

<https://acoustics.mpiwg-berlin.mpg.de/text/publicatie-no-61-van-de-geluidstichting>



Scan licensed under: [CC BY-SA 3.0 DE](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/de/) | Max Planck Institute for the History of Science

LAWAAI- EN BEROEPSDOOFHEID

I. DE BETEKENIS VAN DE BEROEPSDOOFHEID

door Prof. Dr. H. A. E. VAN DISHOECK

II. HET METEN EN ANALYSEREN VAN GELUID

door Ir. J. VAN DEN EIJK

III. BEDRIJFSGENEESKUNDIGE ASPECTEN VAN DE BEROEPSSLECHTHORENDHEID

door Dr. H. A. VAN LEEUWEN

IV. WELK GELUID IS TOELAATBAAR? PERSOONLIJKE BESCHERMINGSMIDDELEN

door Ir. R. PLOMP

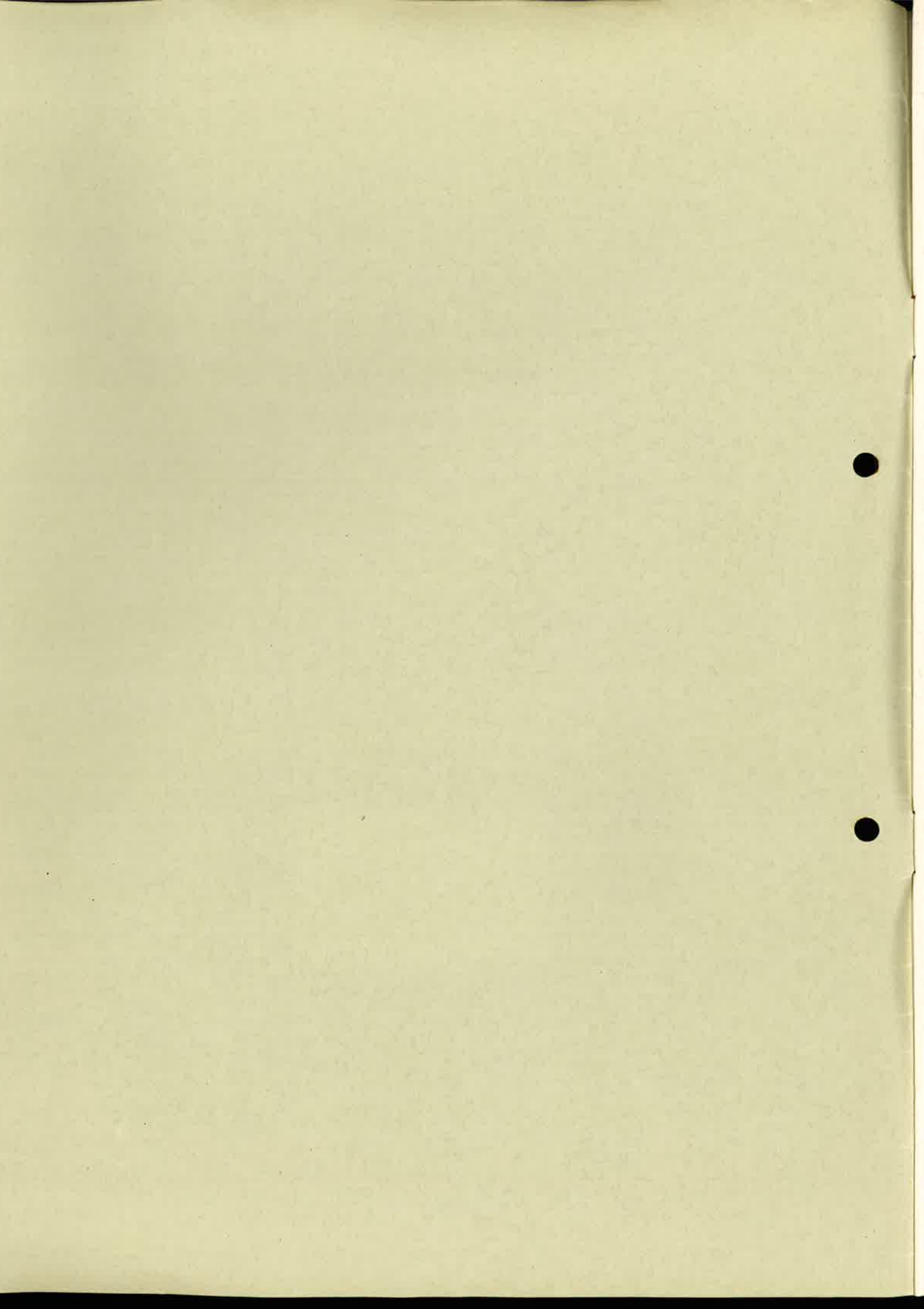
V. LAWAAIBESTRIJDING

door Ir. G. J. VAN OS

VI. BERAADSLAGING

PUBLICATIE No. *61*
VAN DE
GELUIDSTICHTING
DELFT - HOLLAND

K 718



Lawaai- en beroepsdoofheid ¹⁾

I. De betekenis van de beroepsdoofheid

door prof. dr. H. A. E. VAN DISHOECK,

Rijksuniversiteit Leiden, Kliniek voor Keel-, Neus- en Oorheelkunde

Summary: *Acoustic trauma by industrial noises.*

The incidence of acoustic trauma in the population increases with the amount of horse-power used in industry.

Industries producing noise above the traumatizing limit are spreading fast over the countries and thus every physician and every engineer may be confronted with the problem of noise prevention. Continuous audiometry proved to be helpful in the detection of noise trauma and also in studying experimental noise-fatigue. The phenomena of adaptation to noise and loudness recruitment are discussed and a theory explaining localisation of the tonal dip is ventured.

Het behoud van elke lichamelijke functie en dus ook van het gehoor behoort tot de taak van de medicus. In fabrieken worden overall wettelijk voorgeschreven maatregelen genomen tegen ongevallen en ter voorkoming van ziekten. Het besef, dat doofheid voorkomen kan en moet worden is pas laat uit de kring der oorartsen doorgedrongen in de sfeer van werkgevers en werknemers. Ongewijfeld zal de wetgever volgen en zullen alom, onder supervisie van de bedrijfsartsen, lawaaibescherminsdiensten ingesteld worden. Hierbij is een samenwerking met de ingenieurs noodzakelijk ten einde het lawaai aan de bron te verminderen.

De belangstelling van de oorartsen voor lawaaidoofheid stamt uit het begin der vorige eeuw, toen de huisindustrie ten gevolge van het invoeren van de stoommachine veranderingen werd door werk in fabrieken. De toename van het vermogen van de machines ging en gaat nog steeds gepaard met de toename van het aantal beroepsdoven. Aanvankelijk werden ketelsmeden, later kanonnières, wevers, machinisten en scheepsklinkers beschreven. Thans zijn er zoveel verschillende industrieën waar het lawaai de traumatiserende grens overschrijdt en deze zijn dusdanig over het land verspreid, dat iedere ingenieur en iedere huisarts met het probleem der lawaaibestrijding geconfronteerd kan worden. Het lawaai is gehoorsvijand no. 1 geworden.

Langdurige expositie aan sterk lawaai kan uiteindelijk doofheid ook voor spraak ten gevolge hebben. De betekenis van zulk een doofheid is voor de patiënt nauwelijks minder dan het verlies van het gezichtsvermogen. Door geluidssterkten boven de grens van 90 dB wordt een deel

¹⁾ Onderwerp der voordrachten gehouden in de gemeenschappelijke vergadering van de Afdelingen voor Gezondheidstechniek en voor Werktuig- en Scheepsbouw van het K.I.v.I., de Ned. Ver. voor Arbeids- en Bedrijfs-geneeskunde en de Geluidstichting, te Utrecht op 24 april 1958. Zie *De Ingenieur* 1958; No. 14, blz. A. 181.

van de zenuwcellen in het percipiërende orgaan van Corti beschadigd. Aanvankelijk zal dit een reversibele beschadiging zijn van een beperkt gebied tussen 3000 en 7000 Hz, dus boven het spraakgebied; later zal het herstel niet volledig zijn en uiteindelijk zal er een onherstelbare vernietiging resulteren over een grotere uitgebreidheid van de basilair-membraan. Wordt het spraakgebied, dat gelegen is in de 2de winding van het slakkenhuis waar de frequenties van 500—3000 Hz gelocaliseerd zijn, getroffen, dan wordt de sociale validiteit van de patiënt aangetast. Zijn alleen de hogere tonen beschadigd, dan zal hij bepaalde signalen niet meer horen en, zonder dit te beseffen, muziek vervormd waarnemen. De lage tonen, die in de punt van het slakkenhuis gelocaliseerd zijn, blijven het langst behouden.

Nadat de audiometer meting van intensiteit en toonhoogte exacter mogelijk gemaakt had dan vroeger met de stemvorken het geval was, hebben laboratoriumexperimenten onze kennis aangaande het lawaaitrauma aanmerkelijk vergroot. Ook is de audiometer een toongenerator, die exacte lawaaidosering mogelijk maakt.

Nog steeds wordt vaak voor dit doel de octaaf-audiometrie gebruikt. Bij deze methode wordt, in navolging van de oude stemvorken, voor 6 frequenties de hoordrempel door wisseling van de intensiteit bepaald. Hiervan liggen slechts 2 meetpunten in het hoge tonengebied, nl. 4096 Hz en 8192 Hz. Het is dan ook geen wonder, dat een gehoortrauma altijd bij 4096 Hz d.w.z. C₅ gelocaliseerd werd, zonder dat men zich realiseerde, dat het dieptepunt van de dip en ook de uitbreiding op deze wijze te enen male niet gemeten werden. Voor het experimenteel onderzoek van vermoeidheid door zuivere tonen bleek de octaafaudiometrie dan ook minder geschikt. Dit is de reden geweest, dat wij de continue audiometrie ingevoerd hebben.

Het principe van de continue audiometrie is, dat aan de patiënt een toon te horen gegeven wordt die in frequen-

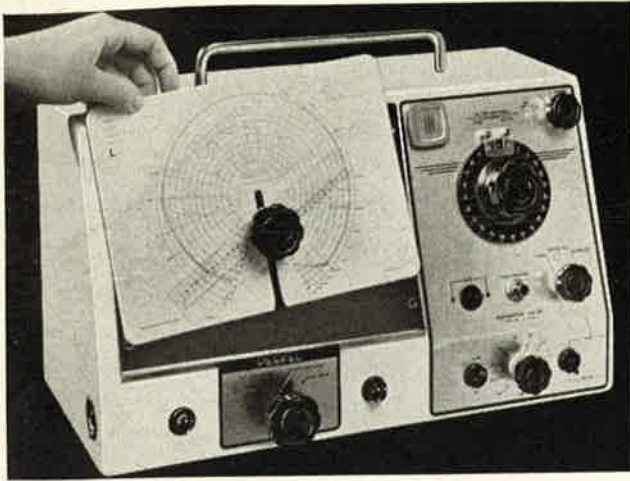


Fig. 1. Peekel audiometer geschikt voor continue audiometrie. De audiogramkaart heeft een polair assenstelsel. De gevonden drempelwaarden kunnen direct op de kaart aangetekend worden.

tie toeneemt van 100 Hz tot 16000 Hz. Elke onderbreking van deze toon, dus elk gehoorverlies, waar ook gelocaliseerd, zal aldus geregistreerd kunnen worden. In principe is voor dit doel elke audiometer te gebruiken die in staat is een gierton te geven. Het bezwaar is echter, dat het menselijk oor voor de hogere en lagere tonen tot 25 dB minder gevoelig is dan voor tonen rond 1000 Hz. Deze gevoeligheidscurve, genoemd naar *Fletcher*, is dus in de decibel schaal uitgezet een gebogen lijn. Aangezien gewone audiometers het fysische dB niveau volgen zal men, om bijvoorbeeld het normale gehoor te bepalen met een nauwkeurigheid van 5 dB, op 5 of 6 verschillende niveaus

moeten meten. Dit is tijdrovend en daarom heeft de firma Peekel een continue audiometer geconstrueerd, waarin een dusdanige compensatie aangebracht is dat de intensiteit van de gierton van 200 Hz—8000 Hz de normale nul-isofoon volgt (fig. 1 en 2). Hierdoor is dit apparaat uitermate geschikt geworden voor het "screenen" van grote groepen arbeiders of ook schoolkinderen. Immers, door op het 10 dB niveau de gierton aan een patiënt te laten horen, zal bij normaal gehoor geen onderbreking waargenomen worden en is men dus in een enkele minuut klaar. Is er wel een onderbreking, dan zal men ter plaatse enige aanvullende metingen moeten doen om de contour van de lawaaidip exact vast te stellen.

Bij proefnemingen over de invloed van geluid op de mens gebruikt men intensiteiten en inwerkingstijden die een reversible dip ten gevolge hebben. Men spreekt in dit geval liefst van een vermoeidheidsdip, omdat men als oorzaak aan een metabolische storing in de zenuwcellen denkt.

Bij deze proeven bleek, dat men met zuivere tonen reeds bij een intensiteit van 80 dB boven de drempel een geringe vermoeidheid kan verkrijgen. Verlengt men de duur van de inwerking, dan wordt al betrekkelijk snel een maximum bereikt. Bij langere inwerking neemt de diepte en grootte van de dip dus niet meer toe.

Verhoogt men nu de intensiteit, dan blijkt het traumatiserend vermogen toe te nemen en wel zodanig, dat de resulterende dip ongeveer een gelijk aantal dB dieper wordt. Deze dip is dus de uitdrukking van het traumatiserend vermogen van een toon van bepaalde frequentie en intensiteit bij een bepaalde proefpersoon.

De frequentie van de toon blijkt met de grootte van de dip op twee wijzen samen te hangen. In de eerste plaats zullen lage en zeer hoge tonen minder traumatiserend zijn dan het middengebied, omdat hun drempel hoger ligt. Zo

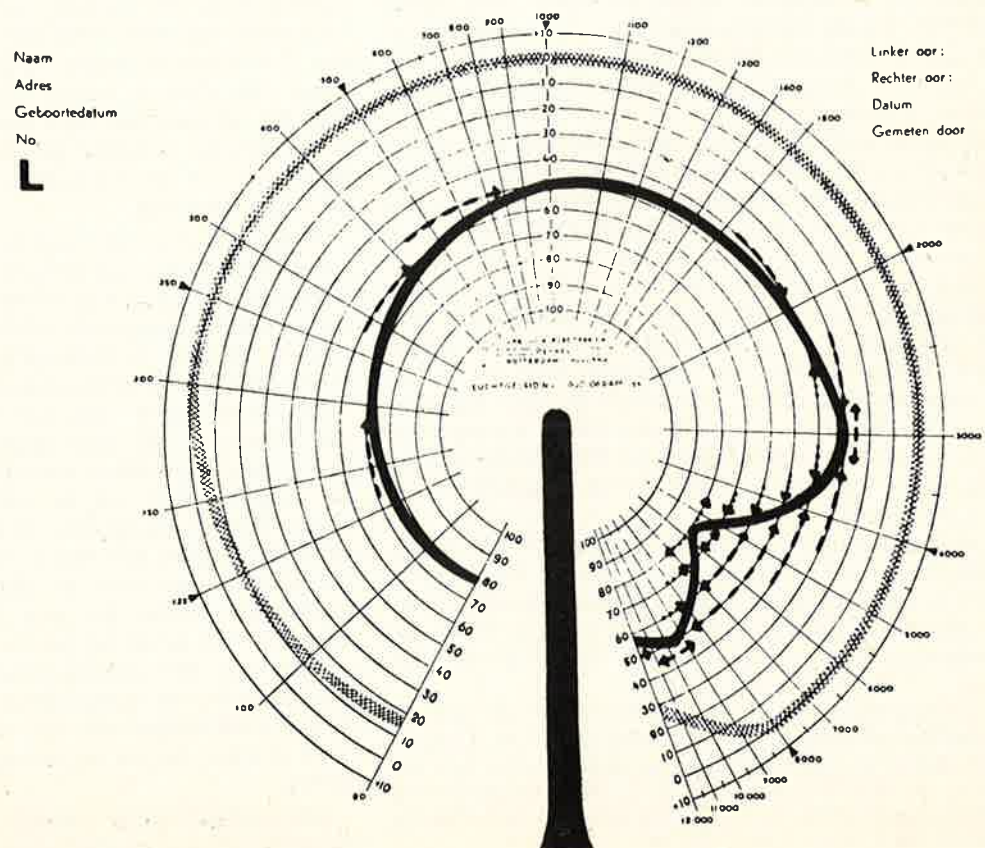


Fig. 2. Het opnemen van een continu audiogram. De dubbele rij x-en geeft de empirisch vastgestelde normale nul-isofoon weer. De getallen geven de volgorde aan van de metingen en de pijlen de richting, waarin de drempel bepaald wordt. De - - - - lijn geeft het interval aan, waarbij niet gehoord wordt.

zal bijvoorbeeld een toon van 500 Hz eerst bij 95 dB een dip veroorzaken, omdat de drempel 15 dB hoger ligt dan de referentietoon van 1000 Hz. In de tweede plaats echter blijkt, dat bij eenzelfde intensiteit boven de drempel, het traumatiserend vermogen van tonen boven 2000 Hz groter is dan van lagere tonen. Snepende metaalgeluiden, die door merg en been gaan, zijn dus het gevaarlijkst (fig. 3).

Naast intensiteit, frequentie en expositie speelt ook de individuele gevoeligheid een grote rol. Zelfs is er soms een verschil tussen het ene oor en het andere. *Van Leeuwen* heeft op 108 oren een toon van 2800 Hz, 100 dB sterk, gedurende 3 minuten laten inwerken. De drempelverschuivingen, die hij verkreeg varieerden van 0 tot 30 dB. De mediaan lag bij 10 dB.

Bij intermitterende tonen is volgens *Rol* de verhouding tussen de duur van de puls en de duur van de pauze van betekenis. Een langzaam ritme, waarin de duur van de puls en interval gelijk zijn, is het minst traumatiserend in vergelijking met andere geluidspatronen van dezelfde gemiddelde intensiteit.

De vorm en de plaats van de experimentele vermoeidheidsdip is zeer merkwaardig. Het maximum ligt steeds ongeveer een 1/2 octaaf hoger dan de frequentie van de traumatiserende toon, terwijl het zenuwgebied van de inwerkende toon zelf niet of nauwelijks getroffen is.

Voor het ontstaan van de vermoeidheid en het trauma zijn verschillende verklaringen gegeven. Deze concentreren zich op het vermeende optreden van het trauma bij 4000 Hz. Men zegt, dat deze plaats in de cochlea gevoeliger zou zijn, omdat de bloedvoorziening ter plaatse slechter zou wezen. Ook beweert men, dat door lawaai wervels zouden ontstaan, die onder 4000 Hz in tegengestelde richting draaien van de wervels, die boven 4000 Hz ontstaan. Hierdoor zou ter plaatse de membraan overrekt worden. Wij hebben een andere verklaring gegeven, die gebaseerd is op fysiologische gegevens en op berekeningen.

Bij de inwerking van een toon van 1000 Hz wordt de corresponderende plaats in de cochlea specifiek en adequaat geprikkeld. Dit blijkt uit het percipiëren van een zuivere toon en uit het adaptie-fenomeen, dat in een nauwe band rond deze frequentie aan te tonen is. Tevens blijkt uit het maskeringspatroon, dat een deel van de basilair-membraan boven 1000 Hz inadequaat geprikkeld wordt en hierdoor een drempelverhoging vertoont zonder toongenaarwording. *Von Békésy* nu heeft in modelproeven gezien, dat de membraan tot aan de vensters als geheel een trilling uitvoert. *Reboul* heeft berekend, dat het maximum van deze distorsie ongeveer 1/2 octaaf hoger

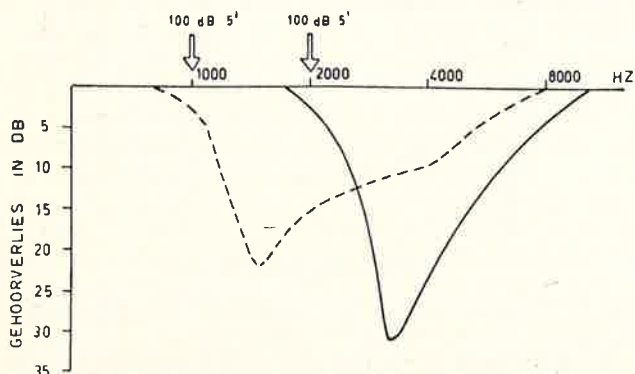


Fig. 3. Het verschil tussen toondips, verkregen met een 1000 Hz toon (---) en een 2000 Hz toon (—). Expositieduur: 5 min., intensiteit 100 dB. De 2000 Hz dip is groter en dieper dan de 1000 Hz dip.

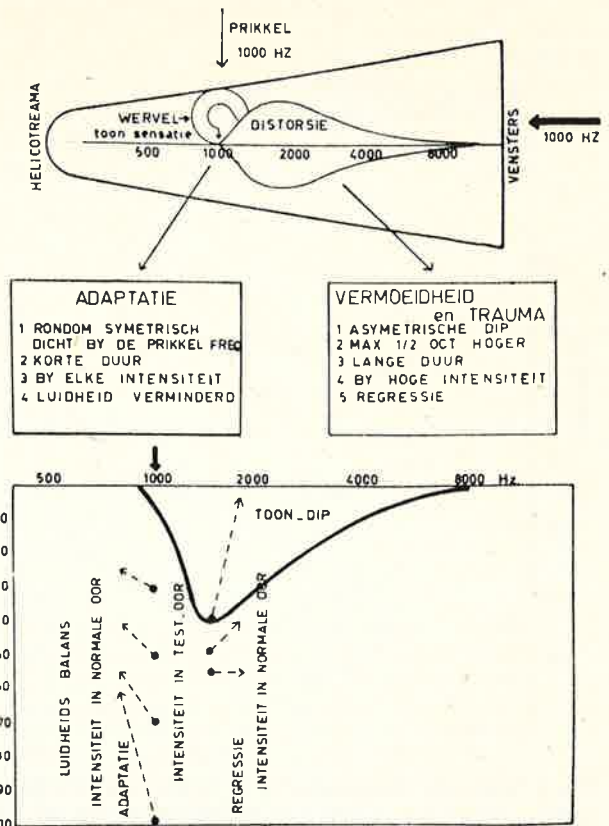


Fig. 4. Schematische voorstelling van de cochlea mechanismen, die ten grondslag liggen aan vermoeidheid en adaptatie.

- Vermoeidheid (distorsie van de basilair-membraan).
Eigenschappen: asymmetrisch; maximum 1/2 octaaf hoger dan de prikkel-frequentie; van langere duur; recruitment; treedt op bij hoge intensiteiten.
- Adaptatie (wervel in de cochlea endolymphe).
Eigenschappen: symmetrisch; maximum bij de prikkel-frequentie; van korte duur; geen recruitment; treedt op bij alle intensiteiten.

ligt, dan de prikkelende toon, dus op de plaats waar het trauma ontstaat. Wij menen dan ook, dat in deze distorsie de verklaring van het ontstaan van het akoestische trauma op 1/2 octaaf boven de prikkeltoon gezocht moet worden (fig. 4).

De adaptie van het oor aan geluid is te vergelijken met de adaptie van het oog aan licht. Het treedt echter sneller op en is ook sneller weer verdwenen. Men kan dit fenomeen bestuderen door één oor te adapteren aan een continue geluid en de luidheidssensatie hiervan te vergelijken met korte toonstoten aan het andere oor. Na ongeveer twee minuten wordt een continue toon van 70 dB even luid gehoord als een toonstoot van 40 dB aan het niet geadapteerde oor. Een drempelverhoging is bij adaptie niet aanwezig, tenzij men een intensiteit boven 80 dB gaat gebruiken (fig. 5).

Het tegendeel van de adaptie is het regressie-fenomeen, dat bij lawaai-vermoeidheid en lawaaitrauma regelmatig aangetoond kan worden. Regressie van doofheid is aanwezig, wanneer een patiënt met een drempelverhoging van bijvoorbeeld 40 dB een toon van 70 foon met normale luidheid waarneemt. Dit wil dus zeggen, dat bij hem de luidheidssensatie van 0 tot 70 foon toeneemt door een intensiteitsverhoging van het signaal van slechts 30 dB. Regressie is een symptoom van de beschadigde basilair-membraan (fig. 6).

In tegenstelling tot de geleidingsdove treedt bij de pa-

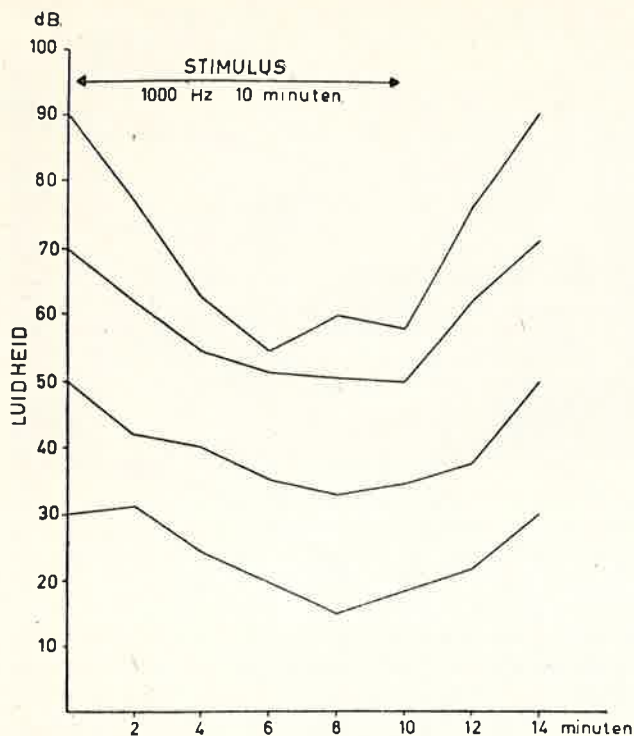


Fig. 5. *Adaptatie.* Verandering in de (subjectieve) luidheid van continu inwerkende tonen van 30, 50, 70 en 90 dB intensiteit. In de eerste minuten ontstaat een sterke daling in de luidheid, die daarna constant blijft. Voor een toon van 90 dB intensiteit is de luidheidsafname het sterkst. Voor de andere intensiteiten is de afname ongeveer gelijk. Herstel in enkele minuten.

tiënt met regressie het akoestisch trauma op bij dezelfde intensiteiten als bij de normale mens. De experimentele toondip, die resulteert, wanneer men twee dips dicht bij elkaar op de basilaire-membraan maakt, is een additie van de afzonderlijke dips. Het traumatiserend vermogen van een toon is dus onafhankelijk van de aanwezige drempelverhoging. Op grond van zulke proeven is te verwachten, dat verandering van het toonkarakter van het fabriekslawaai een vergroting van het lawaaitrauma van de arbeiders ten gevolge zal kunnen hebben.

De zeer belangrijke conclusie uit deze waarnemingen en proeven is, dat bij elk lawaainiveau een bepaald gemiddeld trauma behoort en dat dus de doofheid, die op zal treden in een bedrijf enigszins te voorspellen is op grond van het heersende lawaainiveau. Hierbij moet echter rekening gehouden worden met de ouderdom van de arbeiders. Reeds op 25-jarige leeftijd begint de ouderdomsdoofheid zich te ontwikkelen en op 50-jarige leeftijd heeft ieder mens reeds een belangrijk gehoorverlies. Bij de ouderdomsdoofheid gaan langzamerhand de cellen van het ganglion spirale numeriek te gronde, terwijl bij het akoestisch trauma het orgaan van Corti, dus het eerste neuron, beschadigd wordt. Door dit verschil in anatomisch substraat kunnen beide aandoeningen zich gezamenlijk voordoen. Ook tasten zij in het begin verschillende gebieden aan. De ouderdomsdoofheid begint nl. bij de hoogste tonen en het akoestisch trauma in het middengebied. De consequentie is, dat men om het akoestisch trauma zuiver te leren kennen, rekening moet houden met de leeftijd van de patiënt en zijn audiogram moet corrigeren met de voor die leeftijd vastgestelde presbycusis factor.

Omgekeerd echter kan men ook voorspellingen doen betreffende de te verwachten doofheid op hogere leeftijd, wanneer de traumagraad bekend is. Zo is het te verwachten, dat een jeugdige arbeider in een afdeling met een trauma van 30 dB in de hogere frequenties van het spraakgebied aanvankelijk geen last zal hebben, maar dat hij op 60-jarige leeftijd, ondanks het stationair zijn van dit trauma, toch aanzienlijk doof zal blijken te worden. Bij de opstelling van reële "deafness-risk" lijnen zal men dus niet alleen rekening moeten houden met het feit, dat het geluid een trauma kan geven, maar vooral hoe groot dit trauma is, of de spraakfrequenties bedreigd worden en ook wat de verwachtingen zijn op hogere leeftijd.

In sommige landen als Amerika en Zwitserland geeft beroepshardhorendheid recht op schadeloosstelling. In ons land wordt voor doofheid, veroorzaakt door een ongeval, vaak schadevergoeding geëist. De diagnose dient hierom met zo groot mogelijke zekerheid gesteld te kunnen worden. Hiervoor is nodig een audiogram bij het in dienst treden, kennis omtrent de aard van het lawaai waar de arbeider aan blootgesteld is geweest en gedurende welke tijden, en zijn individuele lawaai-gevoeligheid. Belangrijk is natuurlijk het uitsluiten van andere oorzaken voor binnenoordoorheid als bijv. infectieziekten, streptomycine-, kinine- en salicylgebruik. Kenmerkend voor het akoestisch trauma is ook, dat er een zeker herstel optreedt door een periode van rust. Het is om deze redenen, maar ook uit een oogpunt van praeventie, nodig dat elke arbeider, die in een schadelijk geluidsniveau werkt audiometrisch onderzocht wordt, vooral in het begin. Tevens dient hij geïnstrueerd te worden omtrent het gebruik van gehoorbeschermers.

Over de schadelijkheid van lawaai voor de werkprestatie zijn de meningen verdeeld. Sommigen menen, dat in lawaai de werkprestatie zou dalen, anderen hebben dit niet aan kunnen tonen. De aard van het werk en de instelling

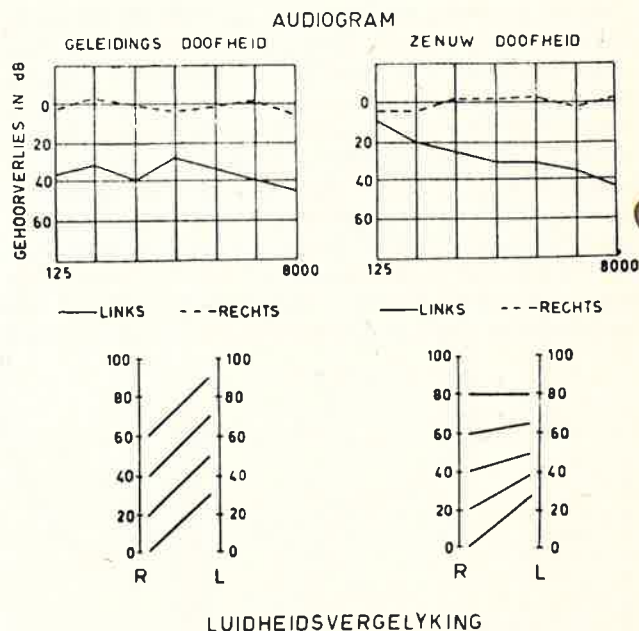


Fig. 6. *Regressiebepaling* door vergelijking van het gezonde oor met het zieke oor.

Bij geleidingsdoofheid blijft het luidheidsverschil bij toename van de intensiteit ongewijzigd. Bij zenuwdoofheid verdwijnt dit verschil bij hogere intensiteit. Er wordt dus aan de zieke zijde door een intensiteitstoename van 50 dB dezelfde luidheid bereikt, die aan de gezonde zijde met 80 dB verkregen wordt.

van de proefpersoon is hier zeker van belang. Sommigen vinden lawaai hinderlijk en worden nerveus, anderen kunnen zich er gemakkelijk van abstraheren. De meeste hinder geeft een kortdurend hoog geluid, waarvan men de bron niet weet. Dit geeft een schrikreactie met pols- en ademhalingsversnelling, bloeddrukstijging, darmactiviteit en zweetsecretie. Constant lawaai doet dit niet.

Het menselijk oor is klaarblijkelijk berekend op de natuurstaat en niet op de hoge geluidsintensiteiten van de moderne machines. Tegen dit door hemzelf geschapen nieuwe milieu moet hij zich beschermen, zo goed en zo kwaad en zolang dit mogelijk is. Men heeft reeds voorgesteld om het werk bij zeer intens lawaai, over te laten aan de toch reeds volledig doven.

II. Het meten en analyseren van geluid ²⁾

door ir. J. VAN DEN EIJK

Instituut voor Gezondheidstechniek T.N.O.

Summary: Measurement and analysis of sound.

As a rule use of a sound-level-meter is not sufficient to check whether a given noise is harmful to the hearing organism, because different frequency regions are differently dangerous. A certain analysis of the sound is therefore necessary. For substantially constant noise a small and light instrument was developed by the Technical Physics Department TNO and TH, containing 6 octave band-pass filters, a high-pass and a low-pass filter (fig. 2).

For non-steady noises the Research Institute for Public Health Engineering TNO developed an instrument that at the end of e.g. an hour or a day gives the percentages of the total time that each of several fixed sound pressure levels are surpassed. This is done simultaneously in eight octave bands (fig. 3).

Inleiding

De titel van deze verhandeling is nogal veelomvattend. Gezien het kader van het hoofdonderwerp — lawaai en beroepsdoofheid — zal de feitelijke inhoud worden beperkt tot de lawaaimeting in de industrie. Overigens moet men zich daarbij wel realiseren dat de term lawaaimeting eigenlijk enigermate tendentieus is. Immers, wanneer wij, buitenstaanders, een bedrijf binnenkomen, is men geneigd te vinden dat daar lawaai heerst. Men moet echter niet vergeten dat over het algemeen onder de term lawaai wordt verstaan: ongewenst geluid. En het is de vraag of die bedrijfsgeluiden door de erbij betrokken personen wel zo verafschuwd worden. Wanneer men met plezier werkt, kan het met dat werk verbonden geluid een positieve factor betekenen; het geluid kan een vertrouwd begeleidend verschijnsel van het werk zijn, dat de desbetreffende personen aangenaam is, hoewel het voor anderen sterk onangenaam is.

Overigens is deze opmerking niet meer dan een kanttekening, die slechts betrekking heeft op de subjectieve waardering van industriegeluiden en die geen invloed heeft op onze activiteit op het gebied van lawaaibestrijding. Wij lopen nog weinig gevaar dat de lawaaibestrijding zou leiden tot onaangename gevoelens die vergelijkbaar zijn met die welke worden ondergaan bij het uitvallen van het geluid bij de vertoning van een geluidfilm. Integendeel, wij zijn al heel blij als de allerergste excessen enigszins kunnen worden verbeterd. Hierbij gaat het om lawaai, dat tot klachten aanleiding geeft, hetzij over geluidhinder in het algemeen, in het bedrijf zelf, of in de omgeving, hetzij over gebrekkige mondelinge communicatie in het bedrijf, hetzij over het ontstaan van hardhorendheid.

Wil men aan deze klachten tegemoetkomen, dan zal bekend moeten zijn hoe sterk het desbetreffende geluid is en hoe sterk het zou mogen zijn. Op het eerste gezicht lijkt dit een vrij eenvoudige zaak. Men kope een der geluidsterktemeters, die alom in de handel verkrijgbaar zijn, en mete daarmee de geluidsterkte in en om een aantal bedrijven. Vraagt men daarbij tevens in hoeverre die bedrijven aanleiding geven tot klachten over algemene geluidhinder, over mondelinge communicatie of over beroepshardhorendheid, dan vindt men zo vrij snel bij welke geluidsterkten deze klachten optreden. Helaas, zo eenvoudig blijkt het niet te zijn, wat ook wel te begrijpen is.

Wat is geluid?

Geluid is iets wat ons uit het dagelijks leven bekend is als een zo levendig en variërend verschijnsel, dat de titel van deze verhandeling misschien niet alleen veelomvattend, maar bovendien wat pretentiefus genoemd moet worden. In feite zal de meting van alle subjectieve kenmerken, zoals toonhoogte, luidheid, hinder etc. vrijwel buiten beschouwing blijven. Trouwens het is de vraag in hoeverre bij deze subjectieve grootheden van „meten” gesproken kan worden, maar in elk geval bestaan er methoden om deze facetten althans „in verband te brengen” met getallen. Wij zullen ons in hoofdzaak beperken tot de natuurkundige kenmerken en het zal blijken dat men daaraan al meer dan genoeg heeft, zodat ook op dit gebied weer beperkingen nodig zijn.

Wat is geluid in de natuurkundige zin van het woord? Het antwoord is: „geluid is een trilling die aanleiding kan geven tot een geluidgevoel”. En in de gevallen waarmee men in bedrijven te maken zal hebben, is het een of ander machineonderdeel dat de trillingsbron vormt, terwijl de lucht het medium is dat de trillingen overdraagt.

Dergelijke trillingen kunnen zeer verschillend van karak-

²⁾ Publikatie no. 94 van het Instituut voor Gezondheidstechniek T.N.O.

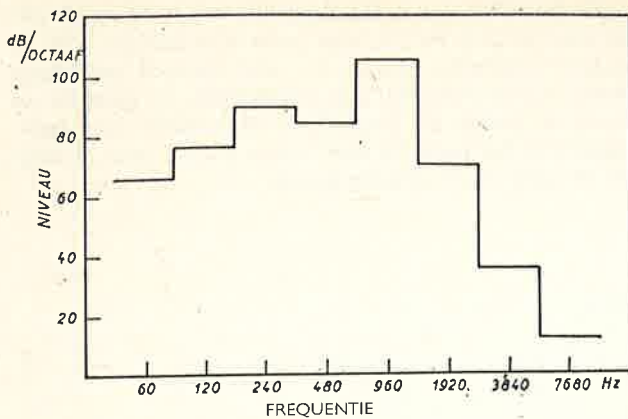


Fig. 1. Octaafbandspectrum.

ter zijn: het kan zijn dat alle vermogen geconcentreerd is in één enkelvoudige trilling (in muzikale termen: een toon zonder boventonen). Maar het kan ook een samenstel van dergelijke enkelvoudige trillingen zijn, die al of niet harmonisch t.o.v. elkaar liggen. Een andere mogelijkheid is dat het geluid helemaal geen periodiek karakter heeft, maar bijvoorbeeld een geruis of gesis is. In dergelijke geluiden is het vermogen min of meer continu over een, vaak vrij breed, toonhoogtegebied verdeeld.

Daarnaast kunnen een of meer componenten van het geluid, of ook het totaal, regelmatig of niet regelmatig in sterkte fluctueren.

In de praktijk heeft men nu helaas maar al te vaak te maken met niet constant geluid, bestaande uit een mengsel van geruis en enkelvoudige tonen, zodat het vastleggen daarvan in cijfers er op het eerste gezicht nogal hopeloos uitziet. In ieder geval zal men zich realiseren, dat het aangeven van de natuurkundige kenmerken van een geluid door één enkel getal slechts uiterst zelden zinvol kan zijn. Gelukkig is het anderzijds slechts zelden nodig een volledige analyse te geven.

De decibel (dB)

Geluid is, in natuurkundige zin, een trilling. Een zich door de lucht voortplantende geluidsgolf gaat gepaard met transport van trillingsenergie. De trillingsenergie die per seconde een oppervlak van een vierkante meter passeert, is de *intensiteit*, I . Deze intensiteit moet een zekere waarde I_0 hebben wil men iets horen. Voor een enkelvoudige toon van 1000 trillingen per seconde, 1000 hertz (Hz) ligt deze „gehoordrempel” bij een intensiteit $I_0 = 10^{-12}$ watt/m².

Heeft men nu een willekeurig constant geluid, bestaand uit één of meer tonen, frequenties, tegelijk, al of niet gecombineerd met ruis, met een totale intensiteit I_1 , dan is het intensiteitsniveau van dat geluid:

$$\log (I_1/I_0 = \log (I_1/10^{-12}) \text{ bel of } 10 \log (I_1/10^{-12}) \text{ decibel (dB)}.$$

Tijdens een normaal gesprek bereikt de toehoorder een geluidintensiteit van ongeveer 10^{-6} watt/m², dit is dus geluid met een intensiteitsniveau van 60 dB.

Wordt de intensiteit x keer zo groot, dan stijgt het niveau dus met $10 \log x$ dB. Draait b.v. eerst één machine en wordt daarna eenzelfde machine erbij aangezet, dan stijgt het niveau op een plaats die van beide machines even ver verwijderd is, met $10 \log 2 = 10 \times 0,3 = 3$ dB.

Was het niveau eerst b.v. 70 dB, dan wordt het na het aanzetten van de tweede machine dus niet $2 \times 70 = 140$ dB, maar $70 + 3 = 73$ dB!

Nu is het rechtstreeks meten van intensiteiten erg moeilijk. Het oor en de meeste microfoons reageren op *druk*-veranderingen in de lucht. Bij het passeren van een geluidsgolf schommelt de luchtdruk snel rondom de heersende barometerstand. Deze drukschommeling wordt door de microfoon omgezet in elektrische spanning, die, na versterking, met behulp van een voltmeter gemeten kan worden.

De intensiteit van een zich voortplantende enkelvoudige golf (d.w.z. een golf, waarin slechts één frequentie voorkomt), is evenredig met het kwadraat van de drukschommeling. Het *geluidsdrukniveau* van een dergelijke enkelvoudige golf is:

$10 \log (I_1/I_0 = 10 \log (p_1^2/p_0^2) = 20 \log (p_1/p_0)$ dB, als p_1 de effectieve waarde is van de luchtdrukschommeling in de desbetreffende golf, en p_0 die, behorende bij een juist hoorbare toon van 1000 Hz (2×10^{-5} newton/m²).

Bevat het te meten geluid een *aantal* trillingen met verschillende frequenties (toonhoogten) tegelijk, met geluidsdrukken p_1, p_2, p_3 enz., dan is het geluidniveau

$$10 \log \{ (p_1^2 + p_2^2 + p_3^2 + \dots) / p_0^2 \} \text{ dB}.$$

Het meten van het geluidsdrukniveau

Het meetinstrument moet dus aan de eis voldoen, dat de uitslag afhankelijk is van de som van de kwadraten der effectieve waarden van de verschillende componenten.

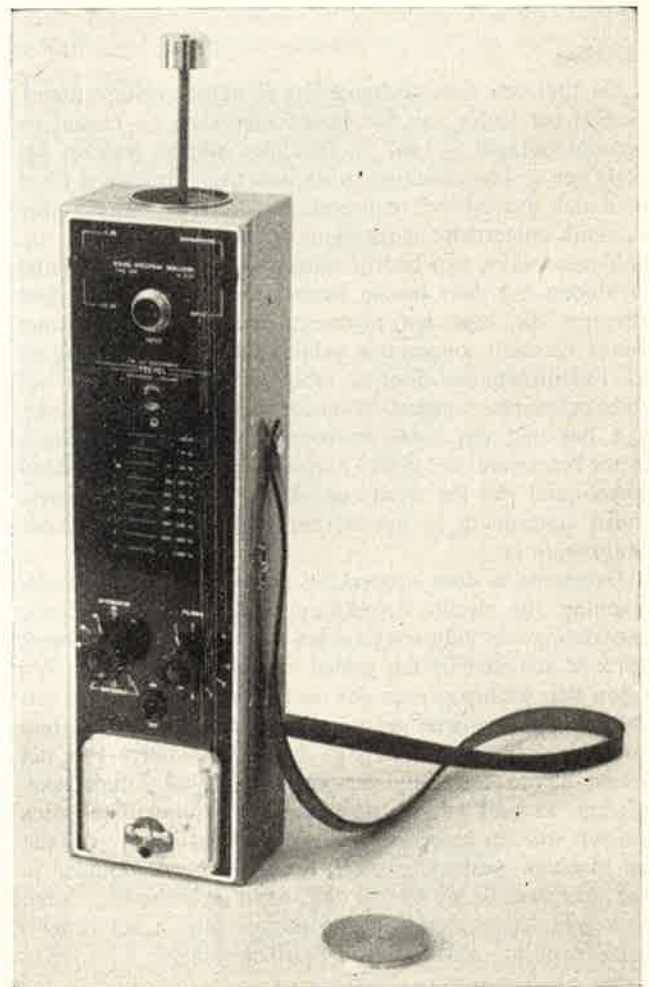


Fig. 2. De „G.R.B.” geluidniveau-analysator, bevattend 6 octaafilters, een high-pass en een low-pass filter.

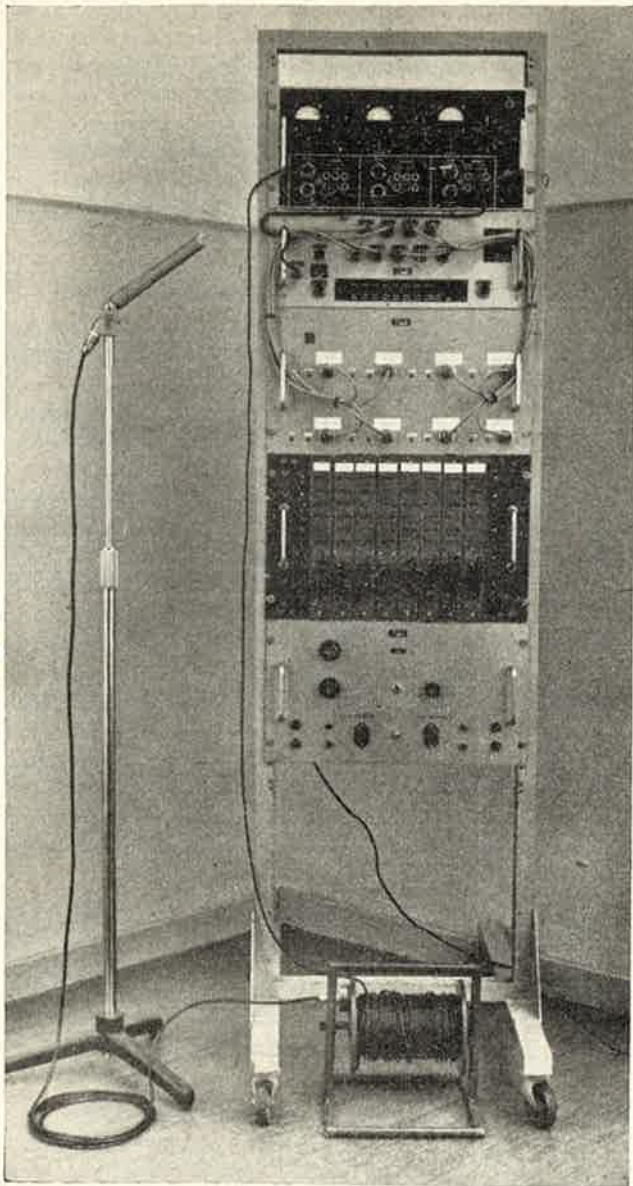


Fig. 3. De automatische analysator voor niet-constant geluid van het Instituut voor Gezondheidstechniek T.N.O.
De vijf compartimenten bevatten van boven naar beneden: microfoonversterker(s), 8 octaafbandfilters, 8 spanningsversterkers, registratiegedeelte, voedingsgedeelte.

En bovendien moet het bij voorkeur een logaritmische schaal hebben; een eis waaraan redelijk kan worden voldaan. Er zijn instrumenten in de handel verkrijgbaar die met een voor de meeste doeleinden voldoende nauwkeurigheid het geluidrukniveau aanwijzen.

Voor oriënterende metingen kan dienen de zeer kleine en lichte Sound Survey Meter van General Radio en soortgelijke apparaten van andere firma's. Voor iets nauwkeuriger metingen zijn wat grotere, maar toch gemakkelijk draagbare „Sound-Level Meters” of „Schalldruckmessgeräte” in de handel.

Men moet zich echter afvragen wat de betekenis is van de verkregen uitkomst, van dit „geluidrukniveau”.

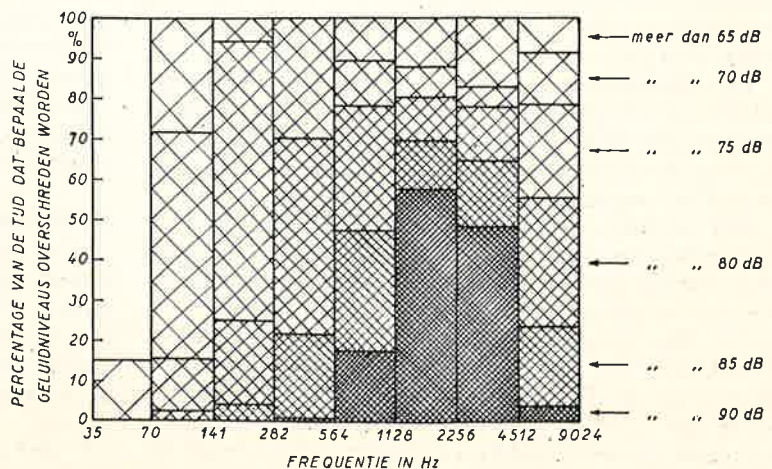
Om te beginnen zal men slechts zelden te maken hebben met één geluidsgolf, zoals hiervóór werd verondersteld. In het algemeen ondergaan de van een geluidsbron uitgaande geluidsgolven vele weerkaatsingen tegen muren, plafond en allerlei obstakels, zodat het oor van een arbeider en de microfoon van een meetinstrument getroffen worden door uit allerlei richtingen tegelijk aankomende geluidsgolven.

Gelukkig is dat geen bezwaar. Het gaat er in ons geval om, in hoeverre het oor bestand is tegen de geluiddruk waaraan het onderworpen wordt en het doet er daarbij niet toe of die geluiddruk het gevolg is van één geluidsgolf of van het samenstel van een groot aantal golven die uit verschillende richtingen komen. Zolang er gemeten wordt met een microfoon die op de geluiddruk reageert, zijn er geen moeilijkheden ten gevolge van het gecompliceerde karakter van het veld. Bepaald wordt het geluidrukniveau ter plaatse en het enige verschil met het geval van een lopende golf is, dat dit geluidrukniveau niet zonder meer als een maat voor de intensiteit (energiestroom per sec door eenheid van oppervlak) opgevat kan worden.

Ernstiger is het feit, dat eenzelfde geluidrukniveau is te verkrijgen bij zeer verschillende verdeling der geluiddrukken over het toonhoogtegebied. En in de meeste gevallen moet men zich wel degelijk interesseren voor het antwoord op de vraag *hoe* die verdeling is. Het is immers bekend dat het *gehoor* niet alleen zeer verschillend reageert voor verschillende toonhoogten, maar dat ook de kans op *beschadiging* van het *gehoororgaan* sterk afhangt van die verdeling, dus niet alleen van het zgn. „totaal niveau”, maar van het „spectrum”.

Nu zijn de geluidrukmeters voorzien van een schakelaar, waarmee het mogelijk is hun frequentie-karakteristiek enigszins te doen gelijken op die van het oor bij een drietal geluidsterkten, maar in de eerste plaats zijn deze „aanpassingen” vrij grof en in de tweede plaats zijn zij

Fig. 4. Statistisch overzicht van het lawaai in een werkplaats, verkregen met de automatische analysator.
Opnameduur: ½ uur.
Werkzaamheden: lassen, slijpen en pletten, met op de achtergrond een compressor.



alleen geldig voor zuivere tonen. Het belang van deze aanpassingsmogelijkheid is vooral dat men er mee kan voorkomen dat, wanneer het b.v. gaat om kwesties van geluidhinder, veel hogere geluiddruk-niveaus worden gemeten dan met de subjectieve indruk overeenkomt als het desbetreffende geluid veel lage tonen bevat, waarop het oor slechts matig reageert.

Voor het beoordelen van het spectrum van het te onderzoeken geluid is deze faciliteit dus niet voldoende.

Het meten van het geluidniveau in afhankelijkheid van de frequentie

Het is wenselijk naar behoefte de gevoeligheid tot bepaalde frequentiegebieden te kunnen beperken, zodat achtereenvolgens het geluid(druk)niveau voor elk van die frequentiegebieden afzonderlijk kan worden bepaald.

Tot dit doel zijn o.a. zgn. sound analysers in de handel, die met de sound level meter verbonden kunnen worden. Het is in feite een selectieve voltmeter, die een maximale gevoeligheid heeft voor een zeer smal frequentiegebied, terwijl voor frequenties, die aan weerszijden hiervan liggen, de gevoeligheid veel minder is. Men kan nu de plaats, waarbij de maximale gevoeligheid ligt, over het hele akoestische frequentiegebied verschuiven. Het hele gebied der hoorbare frequenties op deze wijze aftastend, vindt men een spectrum van het onderzochte geluid, nl. het verband tussen het geluidniveau en de frequentie of toonhoogte. Dit is van groot belang om bepaalde frequenties die met een hoog niveau in het spectrum voorkomen nauwkeurig te bepalen. Daarmee kan men nl. belangrijke aanwijzingen verkrijgen omtrent de mechanische oorzaak van het lawaai.

Door de grote selectiviteit van dergelijke analysatoren kan men echter slechts langzaam meten ten einde niets over te slaan, terwijl bij kleine frequentieschommelingen, die zich vaak voordoen in de praktijk, het afleesinstrument niet tot rust komt. Om beide redenen is het daarom vaak gewenst met een geringere selectiviteit te werken.

Er wordt dan ook veel gebruik gemaakt van octaafbandfilters. Door tussen de microfoonversterker en de in decibels geijkte voltmeter een octaafbandfilter te plaatsen bereikt men dat de uitslag van de voltmeter niet meer door alle in het samengestelde geluid voorkomende toonhoogten wordt bepaald, maar slechts door die welke zich bevinden binnen het door het filter doorgelaten octaaf. Op deze wijze bepaalt men afzonderlijk het geluiddruk-niveau voor een aantal bij elkaar aansluitende octaafbanden, waarmee snel een vrij goede benadering van het werkelijke geluid-spectrum verkregen is (fig. 1). Vindt men deze benadering voor een bepaald geval te grof, dan kunnen banden van een half octaaf breedte worden gebruikt. Voor bepaalde doeleinden worden ook wel banden ter breedte van $1/3$ octaaf gebruikt.

Een methode die èn zeer selectief èn snel is, is het gebruik van een geluidspectroscop, waarbij een lichtend punt op een kathodestraalbuis, b.v. in één seconde een kromme beschrijft die direct het verband tussen geluidniveau en frequentie aangeeft.

Een bezwaar van al deze analysatoren is, dat ze, hoewel veelal draagbaar, toch tamelijk zwaar en onhandig zijn, wanneer het er om gaat een globaal onderzoek in b.v. een bedrijf te verrichten.

Om deze reden heeft de Technisch Physische Dienst T.N.O. en T.H. een handige, kleine, lichte analysator ontworpen, de „G.R.B.”, die door de firma Peekel in Rotterdam vervolmaakt en in de handel gebracht is (fig. 2). Hiermede kan het geluidniveau gemeten worden in zes bij

elkaar aansluitende octaafbanden, en bovendien in de gebieden beneden het laagste en boven het hoogste octaaf. Met deze acht uitkomsten heeft men dan al vaak een voldoende goede indruk van de situatie. Bovendien kan ook het ongefilterde „totaal niveau” worden afgelezen.

Voor het doen van nauwkeurige metingen beschikt de Technisch Physische Dienst T.N.O. en T.H. over een speciale meetauto, die ook voor allerlei andere akoestische metingen buiten het laboratorium dienst doet.

Het meten van een niet constant geluidniveau

Dit alles geldt voor metingen bij een constant geluidniveau. Wanneer het te onderzoeken geluid niet constant is, maar voor de verschillende frequenties in de loop van de tijd in sterkte varieert, betekent dat een extra moeilijkheid voor de meting. Men zou dan b.v. het beeld van een geluidspectroscop kunnen filmen en later uitmeten. Uiteraard is dat zeer tijdrovend en het gaat bovendien nog alleen bij geluiden die gedurende de periode van één seconde niet veel variëren. Bij snellere variaties zou men zo te werk kunnen gaan, dat men b.v. acht verschillende octaafbanden parallel schakelt achter de microfoonversterker en met elk der acht uitgangen een registrerend instrument verbindt. Het bezwaar van deze methode is echter dat hij kostbaar is en dat het uitwerken zeer tijdrovend is. De hoge kosten zijn te vermijden door het geluid eerst op te nemen op een betrouwbare tape-recorder en daarna achtereenvolgens af te spelen over elk der bandfilters. Men kan dan met één registrerend instrument volstaan. Deze methode wordt ook toegepast in de praktijk, maar is uiteraard zeer tijdrovend. ³⁾

Een instrument, waarmee men direct na afloop van een meetperiode van b.v. één uur of één dag, kan zien gedurende hoeveel procent van de beschouwde periode het geluidniveau in de verschillende octaven bepaalde niveaus heeft overschreden, is bij het Instituut voor Gezondheidstechniek T.N.O. ontwikkeld (figuren 3 en 4).

Keuze van de plaats waar het geluid gemeten wordt

Uiteraard geven al deze metingen slechts inlichtingen over het geluidniveau ter plaatse van de microfoon. Men moet zich steeds van te voren goed beraden welke plaats het meest in aanmerking komt voor de microfoon.

Wanneer het b.v. gaat om bescherming tegen beroeps-hardhorendheid ligt het voor de hand het geluidniveau te meten op de plaats waar zich normaal het oor van de desbetreffende arbeider bevindt. Wanneer deze een vaste plaats heeft is de situatie het eenvoudigst. Verplaatst hij zich echter voortdurend, dan zullen vaak metingen op een aantal plaatsen nodig zijn, terwijl men zich dan bovendien rekenschap ervan zal moeten geven, hoe lang de man op die verschillende plaatsen verblijft. In wezen is dit probleem gelijk aan het verblijf in niet-constant lawaai.

Wanneer het verschil blijkt te geven of men dicht bij het hoofd van de betreffende arbeider meet of in diens afwezigheid, is laatstbedoelde waarde maatgevend.

Slotbeschouwing

Gaat het om algemene geluidhinder door een bepaald bedrijf, dan heeft men uiteraard niets aan metingen, die gedaan zijn ter plaatse van het oor bij een aantal arbeiders. Bovendien zal men daarbij vaak niet genoeg hebben aan de decibel uitkomsten, maar zal de foon- of nog liever de soon-eenheid moeten worden gebruikt.

³⁾ De T.P.D. heeft deze methode inmiddels geautomatiseerd.

Doordat het gehoor een zeer uiteenlopende gevoeligheid bezit voor verschillende toonhoogten, vooral bij niet zeer hoge geluidniveaus, moet b.v. bij een lage toon een hoger niveau worden aangeboden dan bij een hogere toon, wil men subjectief de indruk van gelijke luidheid krijgen. De maximale oorgevoeligheid ligt in het frequentiegebied van 2000—4000 Hz (hoogste octaaf van de piano). Daarboven neemt de gevoeligheid dus weer af.

Men kan zo in het dB-frequentievlak lijnen van constant „luidheidsniveau” of „equivalente luidheid” trekken. Bij lage intensiteiten, b.v. bij de gehoordrempel, vertonen deze curven een sterke helling; naarmate men met grotere intensiteiten werkt, gaan deze „isofonen” meer en meer horizontaal lopen, d.w.z. dat gelijk luidheidsniveau of equivalente luidheid dan meer en meer overeenkomt met gelijk geluid(druk)niveau.

De isofonen zijn genummerd. Elk punt van een isofoon correspondeert met een bepaalde dB-waarde en een bepaalde frequentie. Het aan een isofoon toegekende getal, de foon-waarde, is nu gelijk aan de voor deze isofoon geldende dB-waarde bij 1000 Hz.

Ook het luidheidsniveau van een samengesteld geluid kan in foons worden uitgedrukt. Het moet dan subjectief worden vergeleken met een toon van 1000 Hz van regelbare sterkte. Klinken het te beoordelen geluid en de toon

van 1000 Hz even luid als deze laatste op x dB is ingesteld, dan heeft het samengestelde geluid een luidheidsniveau of equivalente luidheid van x foon.

Hebben twee verschillende geluiden gelijke foonwaarde, dan zijn ze dus subjectief even „sterk”.

Heeft een geluid een foonwaarde die tweemaal zo groot is als die van een ander geluid, dan is het subjectief *niet* tweemaal zo „sterk”. Dat is een bezwaar van de foons. Men heeft daarom een nieuwe grootheid ingevoerd, de *luidheid*, uitgedrukt in soons. Daarvoor geldt wèl dat tweemaal zoveel soons ook overeenkomt met subjectief tweemaal zo luid.

Boven 20 foon geldt dat een verschil van 10 foon overeenkomt met ongeveer een verdubbeling (resp. halvering) van de soonwaarde, dus van de subjectieve luidheid. We gaan hier voorbij aan het probleem wat de waarde is van de uitspraak dat een geluid *tweemaal zo luid* is als een ander geluid. Het blijkt in ieder geval dat men reproduceerbare uitkomsten krijgt.

Resumerend kan gezegd worden dat men voor oriënterende metingen zeer veel profijt kan hebben van een eenvoudige draagbare analysator. Regelmatige controle daarvan is echter noodzakelijk. In een aantal gevallen zal het gebruik van uitgebreider akoestische meetapparatuur noodzakelijk zijn.

III. Bedrijfsgeneeskundige aspecten van de beroepslethorendheid

door dr. H. A. VAN LEEUWEN,
Bedrijfsgeneeskundige Dienst, Dordrecht

Summary: *The industrial physician and occupational deafness.*

Illustrated with data from an industrial investigation, the medical aspects of noise damage to hearing are reviewed.

The technical demands of hearing measurements are noticed.

Special attention is paid to the evaluation and comparison of audiometric data to which end the group-audiogram and the degree of damage were developed.

The subjective inconveniences of the deterioration of speechhearing together with the incurability of established damage and the inadequateness of hearing-aids to restore the understanding of speech are the chief reasons for the importance of an industrial hearing conservation program, which is discussed in some detail.

Some legal aspects are noticed.

Inleiding

De lawaai-problemen in het bedrijf zijn tot drie categorieën terug te brengen:

1. De hinder in het algemeen.

De invloed op produktiviteit, werklust, netheid of algemeen welbevinden is moeilijk te beoordelen. Het karakter van het geluid, het onregelmatig of onverwacht optreden en dergelijke zijn hier meer bepalend dan de sterkte.

2. De bemoeilijking van het onderling verstaan.

De „maskering” van spraak door lawaai verdient ook in fabrieken meer aandacht dan tot nu toe gebruikelijk was. Een bespreking valt buiten dit symposium; op het verschijnsel wordt straks nog teruggekomen.

3. De beschadiging aan het gehoororgaan.

Van deze facet is de theoretische achtergrond door prof. van Dishoeck beschreven. De praktische zijde van de beroepslethorendheid wordt hier nagegaan aan de hand van een klein recent onderzoek van de Bedrijfsgeneeskundige Dienst Dordrecht.

Bij de produktie van betonnen fundatiepalen heerst tijdens het schokken een hoog lawaainiveau. Toch werden bij een algemeen lichamenlijk onderzoek van de werknemers niet bijzonder veel slechthorenden gevonden.

Bij een lawaai-analyse met de Peckel geluidssterktemeter bleek vooral in het lage-tonen-gebied een grote geluidsintensiteit te bestaan van ongeveer 100 dB (fig. 1). Dit behoeft echter nog geen gehoorschade te veroorzaken. In de hogere octaven, die veel schadelijker zijn, werd slechts 85 dB gemeten. Maar bij vergelijking met metingen van andere soorten fabriekslawaai, waarvan reeds bekend was welke schade er door is ontstaan, bleek toch, dat deze analyse overeenkwam met spectra, waarvan lang niet zeker was of ze niet schadelijk waren.

Daarom is van enkele representanten van de geëxponeerde groepen het gehoor nagezien. Voor de techniek van het gehooronderzoek zij verwezen naar het artikel van prof. van Dishoeck. In de industrie verdient de continue audiometrie de voorkeur, o.a. omdat de kleine dips van beginnende lawaai-beschadiging snel naar plaats en uitbreiding te bepalen zijn.

Wanneer bij het opnemen van het drempelaudiogram tevens een storend geluid inwerkt, ontstaat een drempelverhoging bij de frequenties van het stoorgeluid en hoger, in grootte afhankelijk van de sterkte van het stoorgeluid. Dit maskeringsverschijnsel maakt het mogelijk een indruk van het lawaai-niveau te krijgen door na te gaan in welke mate het drempelaudiogram of het verstaan van spraak erdoor gestoord wordt:

In een niveau van 80 dB is normaal spreken nog verstaanbaar; zeer luid spreken nog in 90 dB. Bij 100 dB moet men luid aan het oor schreeuwen; dit niveau is zeker schadelijk.

Tijdens het audiometreren mag geen achtergrond-lawaai de opname storen. Rekening houdend met een zekere isolatie door de telefoonkap van de audiometer is een totaal achtergrond-niveau van 40 dB toelaatbaar, hetgeen vaak moeilijk bereikbaar is. Soms wordt met een speciale akoestische kast de onderzochte geïsoleerd.

Men kieze de onderzoekruimte

- a. zover mogelijk van de lawaai-bron,
- b. in een ander gebouw,
- c. niet aan een buitenmuur en is dit wel het geval dan zonder vensters,

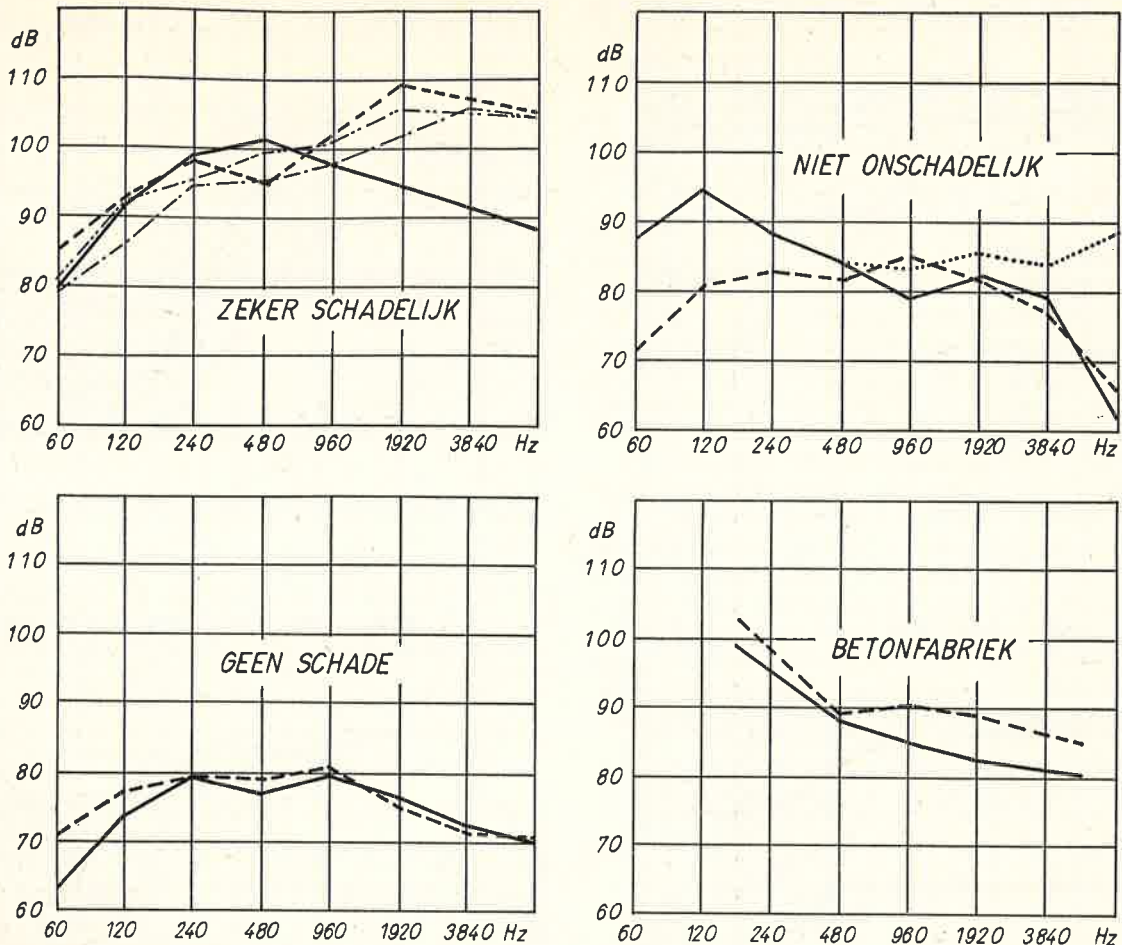


Fig. 1. Enkele groepen industriële geluidspectra (octaafbandanalyses), verdeeld naar de uitwerking op het gehoor van de erin werkende arbeiders.

- d. voorzien van dikke, zware muren en in ieder geval een goed sluitende deur (schuilkelder, kluis, archiefruimte),
- e. zonder communicatie naar buiten door luchtkanalen,
- f. zonder voortgeleide trillingen van in het gebouw opgestelde machines, van luchtinblaas, centrale verwarmingsinstallaties of waterleiding,
- g. zonder brom van TL-installaties.

Verder kieze men liever kortdurend stoorniveau, gedurende hetwelk men het onderzoek even stopt, dan een steeds wisselend stoorniveau van telkens weer andere geluiden. Bij een continu geruis van gelijkblijvend karakter moet een groepje proefpersonen in de gekozen ruimte worden geaudiometreerd onder normale opname-omstandigheden en bijvoorbeeld na werktijd of 's nachts, wanneer geen stoorniveau aanwezig is. Uit de verschillen weet men in hoeverre de drempelbepaling gestoord is en welke afwijkingen dientengevolge niet opgespoord kunnen worden.

Ter controle van de apparatuur moet men regelmatig opnieuw normale proefpersonen audiometreeren. Jaarlijkse technische ijking is noodzakelijk. Elke audiometrist moet tijdens een onderzoekperiode zeker wekelijks althans van zichzelf een controle-audiogram maken, waarbij hij niet alleen moet letten op de drempelcurve, maar ook op de dB-verzwakker, op de frequentieschaal, op ruis, brom of toononzuiverheden, op klikvrijheid van de toononderbreker en dergelijke.

Voor het noteren van de gegevens is naar Amerikaans voorbeeld een standaardformulier in ontwikkeling ter ver-

eenvoudiging van statistische bewerking en onderlinge vergelijking.

Het afdelings-audiogram

Van een dertigtal betonarbeiders werd het audiogram opgenomen, waarbij degenen, die vroeger oorzikten hadden gehad of mogelijk elders lawaai-beschadiging hadden gekregen, van verdere bewerking werden uitgesloten.

Om een overzichtelijke indruk te krijgen van de hoorbeschadiging in een afdeling wordt, liever dan met een eenvoudig gemiddeld audiogram, gewerkt met het afdelings- of groeps-audiogram. Hierin is voor een bepaald aantal frequenties aangegeven, waar de mediaan van de gevonden gehoorverlieswaarden ligt. Tevens wordt ingetekend de plaats van de kwartielen (en eventueel het eerste en laatste deciel), terwijl bovendien de hoogste en de laagste meetwaarde worden genoteerd. Hierdoor ontstaat een beeld van de spreiding der drempels in een bepaalde groep. Door middel van de groeps-audiogrammen kunnen we, speciaal lettende op de mediane 50 %-band, verschillende afdelingen onderling vergelijken naar hun hoorbeschadiging.

Uit fig. 2 blijkt, dat het onderzochte bedrijf een middenpositie inneemt tussen afdelingen met grote en die met geringe beschadiging.

Door tevens de in de afdelingen gemeten geluidsspectra in de vergelijking te betrekken, kan men in principe nagaan, welke "damage risk criterion" het best voldoet en

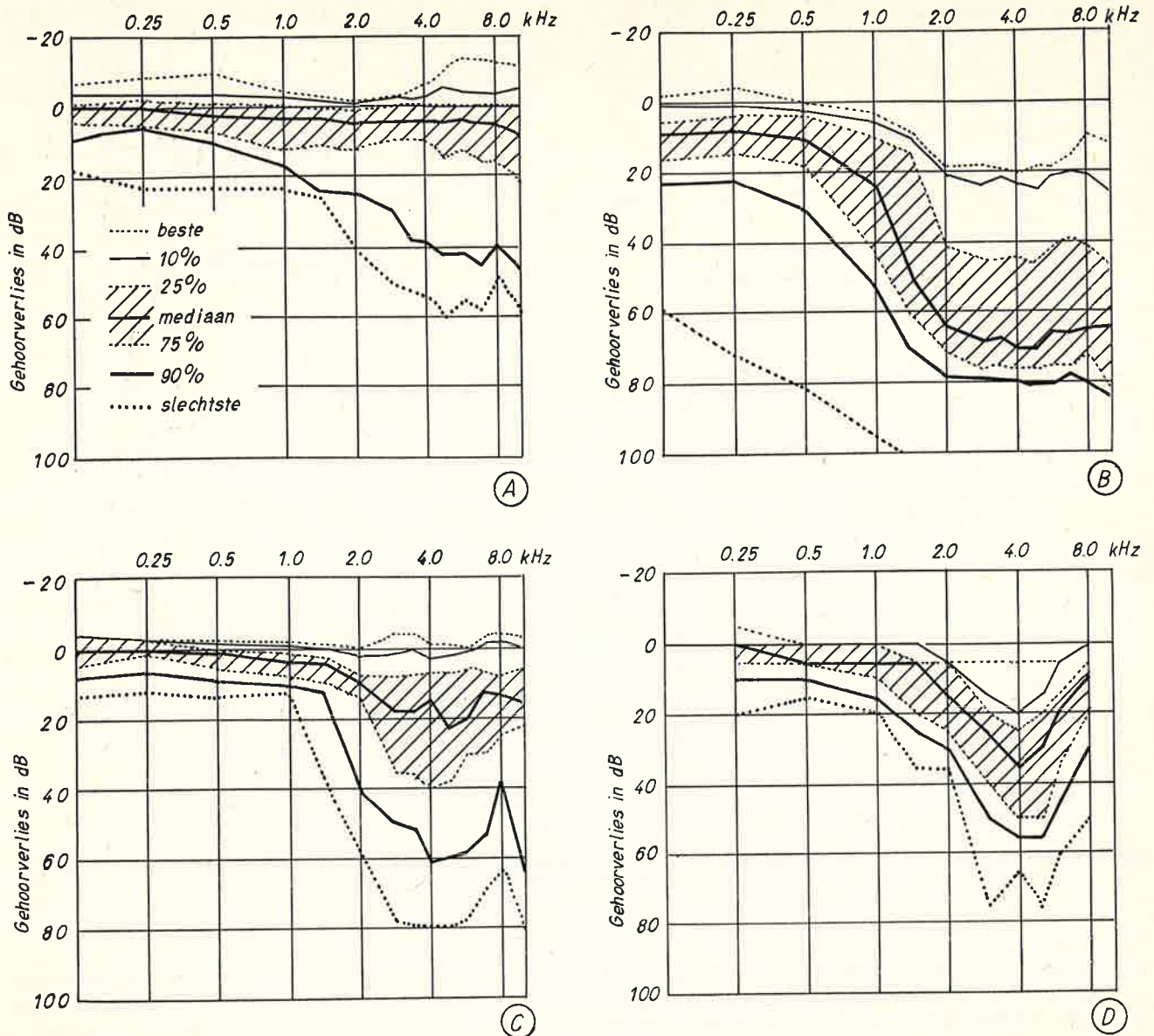


Fig. 2. Enkele voorbeelden van afdelings-audiogrammen.

- A. een afdeling zonder lawaai. Alleen de invloed van ouderdomsdoofheid is te zien.
- B. scheepsklinkers.
- C. een afdeling, waar een totaal niveau van 90 dB heerst. Lawaaischade gering, maar duidelijk aanwezig.
- D. betonfabriek (zie tekst).

waar men de grens tussen schadelijk en onschadelijk lawaai moet leggen.

Ook kan men trachten om afdeling voor afdeling van elk audiogram de graad van beschadiging uit te drukken in één getal. Het is vooral de diepte van de lawaai-dip, die maatgevend is voor de beschadiging. De uitbreiding in de breedte naar het voor het verstaan van spraak nodige frequentie-gebied is echter ook belangrijk. We drukken daarom de graad van schade uit als de som van de gecodificeerde gehoorverlieswaarden bij het maximum van de dip en bij 1500 Hz (fig. 3).

De figuren 4 en 5 geven aan, hoe ook op deze wijze een onderlinge vergelijking en beoordeling van de lawaai-criteria mogelijk is. Hier eveneens blijkt het besproken bedrijf in de middengroep te liggen.

De subjectieve lasten van lawaai-slechthorendheid

Wanneer een jonge arbeider met normaal gehoor in

een lawaaiige afdeling gaat werken, zal hij na de eerste dag 's avonds thuis komen met het gevoel of hij watten in de oren heeft. Het lawaai heeft „oorverdovend” gewerkt. Misschien heeft hij ook wat last van oorsuizen of fluiten, net alsof hij nog steeds het lawaai van zijn bedrijf hoort. De andere morgen zijn deze verschijnselen weg. Tijdens de arbeid is namelijk al gauw, bijvoorbeeld in het eerste uur, een vermoeidheid van een deel van het gehoorzintuig opgetreden, met als gevolg een tijdelijke verhoging van de gehoordrempel tussen 3000 Hz en 6000 Hz (dip). Deze herstelt zich langzaam als het werk afgelopen is. Door de overprikkeling of beschadiging van de hoorzenuwcellen ontstaat de sensatie van oorsuizen. Duurt de rustperiode tot hernieuwde expositie lang genoeg, dan zal volledig herstel kunnen optreden. Is echter de andere morgen de dip nog niet geheel verdwenen, dan kan het lawaai die dag een gehoorverlies veroorzaken, dat iets groter is dan het eerste. Betrekkelijk snel is nu een toe-

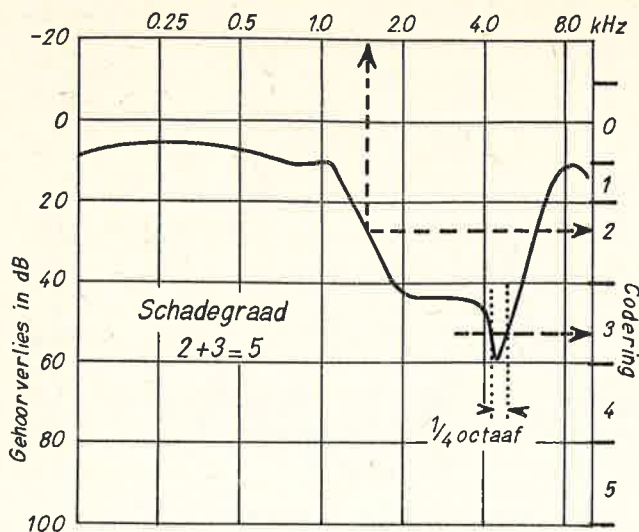


Fig. 3. De schade-graad.

Een methode om van elk audiogram de gehoorbeschadiging door lawaai in één getal uit te drukken. Het is de som van de gecodeerde gehoorverliezen bij 1500 Hz en bij het maximum van de dip, waarbij het onderste deel van spitse dips ter breedte van een kwart octaaf wordt verwaarloosd.

stand bereikt, waar ook bij zeer langdurige rust geen volledig herstel meer optreedt en dus een blijvende schade is achtergebleven.

De snelheid, waarmee dit gebeurt en de grootte van de dip hangen onder meer af van de sterkte van het inwerkende lawaai, de duur van de rustperioden, de gevoeligheid van de persoon voor het oplopen van lawaaischade en — gedurende vooral de eerste jaren — van de totale expositieduur aan het lawaai. Globaal kan gezegd worden, dat bij een vrij hoog lawaainiveau bij de meeste arbeiders in de eerste één à twee jaar reeds een dip is ontstaan van nagenoeg de omvang, die bij het betreffende lawaai „past”. Tijdens de verdere loopbaan neemt de grootte weliswaar nog wel iets toe, maar dit is mede voor een groot deel terug te brengen op de na het veertigste jaar optredende ouderdomsdoofheid.

De genoemde jonge arbeider merkt na twee of drie weken niet meer, dat hij elke dag getraumatiseerd wordt; hij is aan zijn (inmiddels misschien al wel grotendeels permanente) dip gewend geraakt, evenals aan het oorzuizen, dat dan minder sterk geworden schijnt te zijn.

Van enige doofheid, d.w.z. van enige stoornis in het verstaan van spraak heeft hij nog geen last. Immers voor het verstaan van spraak is slechts een beperkt frequentiegebied noodzakelijk, namelijk ongeveer van 300 Hz tot 3000 Hz; verdwijnt nu aan de bovengrens hiervan iets,

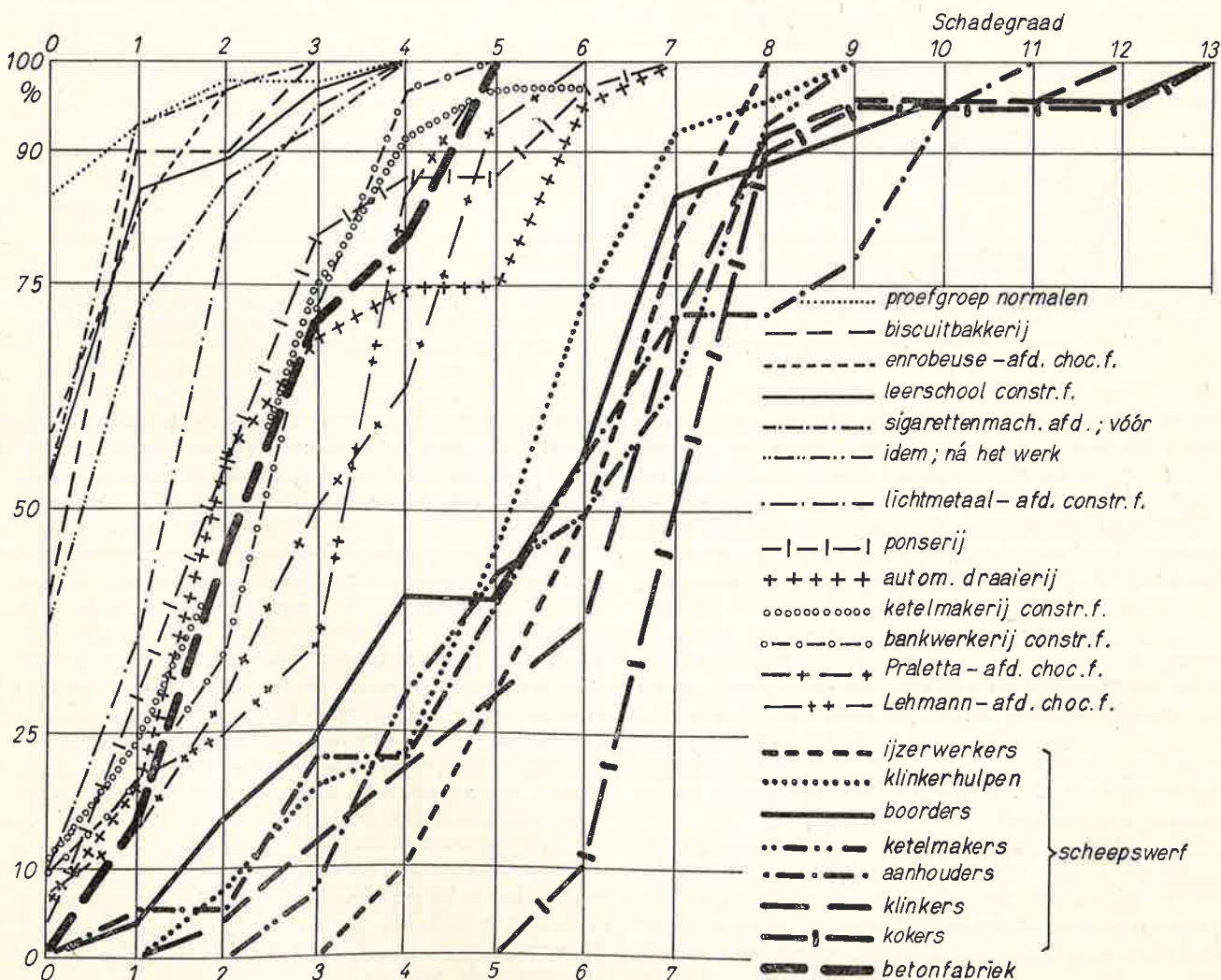


Fig. 4. Somfrequentie-curve van de procentuele verdeling der schadegraden per afdeling. Verticaal is aangegeven het percentage der audiogrammen, dat de horizontaal vermelde of een geringere graad van gehoorbeschadiging vertoont.

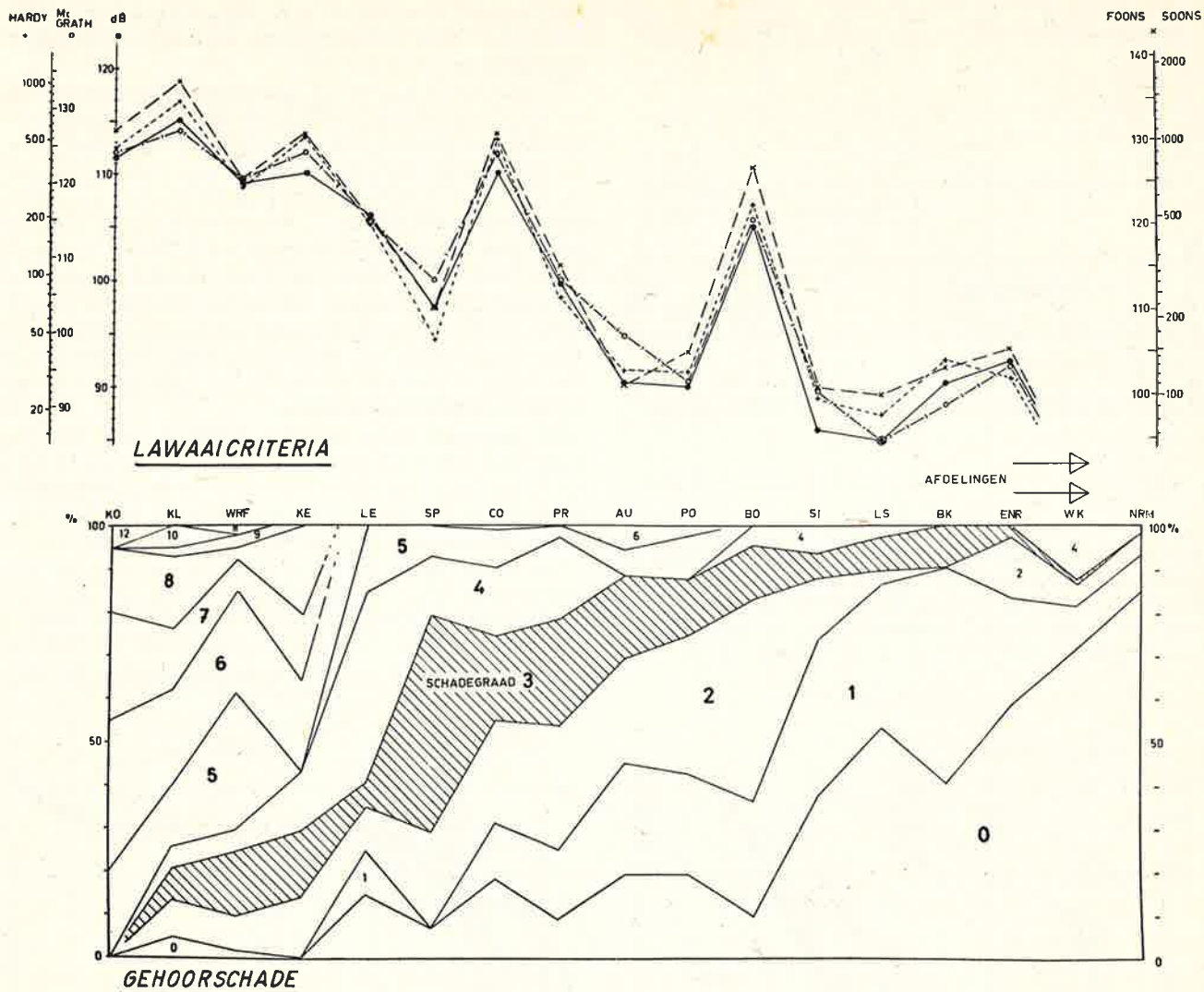


Fig. 5. Onderlinge vergelijking van verschillende lawaai-criteria tegenover de groepering der afdelingen naar de procentuele verdeling der schade-graden. In de afdelingen CO en BO heerste het weergegeven lawaainiveau slechts korte perioden per dag en bovendien werden hier reeds geruime tijd oordopjes gebruikt.

dan zal hij weliswaar niet alle losse woorden op den duur meer feilloos kunnen onderscheiden, omdat het verstaan vooral van medeklinkers slechter wordt, maar door het onwillekeurig spraakaflezen van de lippen en door het begrijpen uit zinsverband merkt hij niets van een hoorstoornis. Dit komt pas als de veranderingen optreden lager dan 2000 Hz of 1500 Hz. Door de langzame uitbreiding van de dip in de diepte en in de breedte went de arbeider zeer geleidelijk aan dit hoorbeeld en het voor doven zo belastende afgesloten zijn van de buitenwereld, doordat ze het omgevingslawaai niet meer horen, zoals het geloop van mensen om hen heen, het slaan van deuren, het verkeer op straat en dergelijke, treft de lawaaidove niet, omdat hij over een ongestoord lage-tonen-gebied beschikt. Daarom hoort men in de bedrijven waarschijnlijk zo weinig klachten over doofheid.

En zo lijkt het jarenlang goed te gaan tot de ouderdomsdoofheid optreedt. Het onderscheiden van medeklinkers valt nu nog sterker weg, wat bovendien in de hand gewerkt wordt door de regressie. Hierdoor worden zachte delen van de spraak (medeklinkers worden met minder energie gesproken dan klinkers) niet gehoord, maar luide gedeelten normaal. Deze overdreven dynamiek komt het verstaan niet ten goede. Tracht men het te verbeteren

door stemverheffing, dan worden de luide passages hinderlijk luid, zodat de dove reageert met: „Schreeuw niet zo, ik ben niet doof” en desondanks niet beter verstaat.

Grafisch wordt dit ook in het spraak-audiogram weergegeven.

Voor het bepalen hiervan biedt men een serie woorden aan op een bepaald sterkte-niveau. Afhankelijk van de sterkte zal een groter of kleiner deel juist worden verstaan, hetgeen in een curve volgens fig. 6 wordt uitgedrukt. Bij een geleidingsdove, bijvoorbeeld iemand met een prop in de gehoorgang, zal de spraakaudiogram-curve een normale vorm hebben, maar zoveel naar rechts verschoven zijn als het gehoorverlies bedraagt. Bij een perceptiedoofheid, zoals lawaaischade, wordt al spoedig een stadium bereikt, waarbij ondanks verhoging van de sterkte nooit 100 % spraakverstaan bereikt wordt.

Een lawaai-dove is dan ook zeer moeilijk te helpen met een hoortoestel, want de voor het spraakverstaan nodige hoge tonen is hij ontwend en accepteert hij niet, omdat ze hem te scherp zijn. Bovendien is het verschijnsel van de regressie, dat hier wel in de hoge, maar niet in de lage tonen optreedt, moeilijk in het toestel op te vangen.

In fig. 7 is weergegeven, hoe men met oordopjes in een continu lawaai beter hoort dan zonder dopjes.

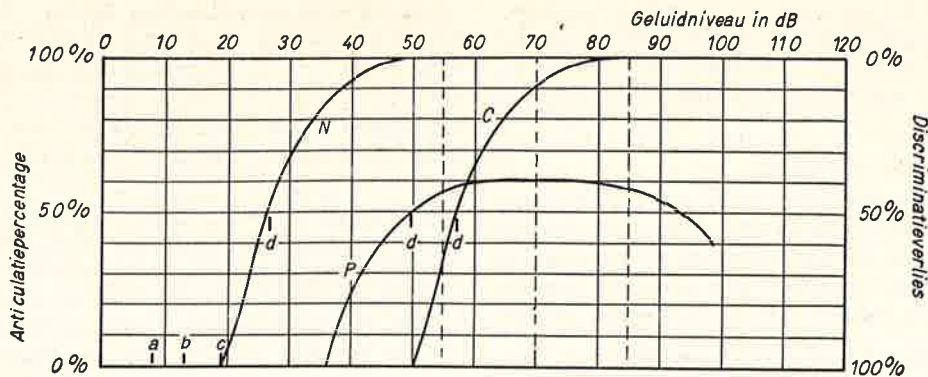


Fig. 6. Het spraak-audiogram, een grafiek die het verband aangeeft tussen het percentage correct verstane woorden uit een serie en het geluidsstrekte niveau, waarmee die serie werd aangeboden.

- N. normaal spraak-audiogram.
- C. voorbeeld van een geleidingsdoofheid.
- P. voorbeeld van een binnenoorddoofheid.

Preventieve maatregelen

Fabrieksdoofheid is, afgezien van de tijdelijke verdooving in het begin, ongeneeslijk. Alleen door preventie is ze te verminderen.

Een gehoorbeschermingsprogramma omvat

A. Gehooronderzoek.

1. Een begin-audiogram bij elke keuring voor, of overplaatsing naar een lawaai-afdeling.

Tijdgebrek maakt een volledig audiogram meestal onuitvoerbaar. Men heeft dan de keuze uit

a. groep-audiometrie: Verscheidene personen tegelijk krijgen, elk via een eigen telefoon, op een bepaalde manier verschillende tonen te horen, waarvan men de sterkte kan wisselen en waarvan elke proefpersoon op een formulier kan aangeven of hij ze gehoord heeft. Tegenover het voordeel, dat men verscheidene personen tegelijk onderzoekt, staat het nadeel van de beperking in het aantal onderzochte frequenties.

b. "screening": De Peekel-audiometer wordt op 20 dB boven de normale drempel ingesteld. Men kan nu door een enkele draai aan de frequentieknop nagaan of alle tonen gehoord worden, m.a.w. of geen grotere verliezen dan 20 dB aanwezig zijn, wat onbetekenend klein geacht mag worden. Tegenover het nadeel, dat men slechts telkens één persoon kan onderzoeken, staat het voordeel, dat men nu over alle frequenties is geïnformeerd en dat men eventueel direct aansluitend een volledig audiogram kan maken. Een groep-audiometer is in ontwikkeling.

c. audiometrie bij 4000 Hz: Men onderzoekt alleen de drempelverhoging van één frequentie uit het meestal gestoorde frequentie-gebied. Het grote voordeel is de goedkope van de apparatuur en de eenvoud en snelheid van de methode, maar het geeft onvoldoende gegevens voor een redelijke beoordeling.

2. Een controle-audiogram na enige dagen lawaaiig werk.

Bij de aanvangskeuring zou men graag al willen weten, wie gevoelig is om lawaaidoof te worden. Daartoe zijn wel proeven voorgesteld, maar de correlatie met de later optredende doofheid is nog niet voldoende duidelijk. Het is mij wel gebleken, dat de tijdelijke lawaaidip, die bij jonge mannen aan het einde van een dag werken in lawaai achter blijft, in grootte ongeveer overeenkomt met de lawaaidip van oudere arbeiders in dezelfde afdeling. Als men dus de pas-gekeurde mensen een week later 's avonds na het werk zou nazien, zou men misschien kunnen uitmaken, wie gevoelig is en beter niet in lawaai kan werken.

3. Follow-up.

Ook na de eerste week moet men trachten de arbeiders regelmatig te audiometreeren, bij voorkeur 6 weken en 3—6 maanden na de keuring en daarna om de 1—2 jaar. Voor deze onderzoeken kunnen weer dezelfde methoden gevolgd worden als bij het beginaudiogram zijn besproken. Men dient wel te bedenken, dat bij herhaald opnemen van

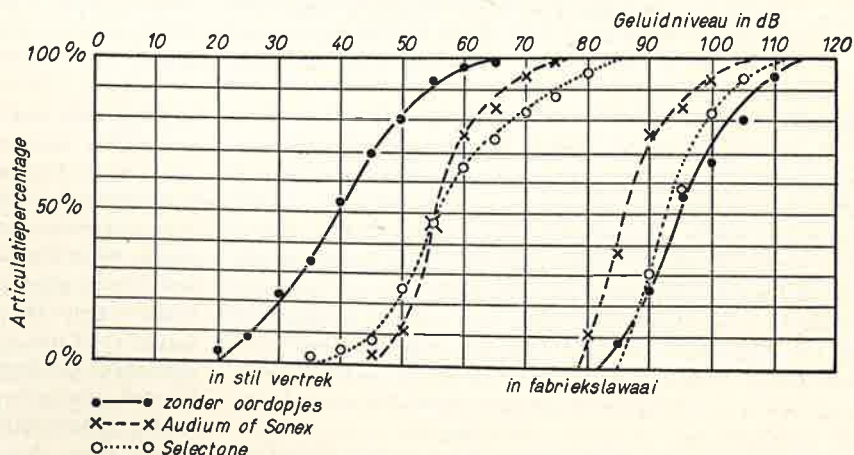


Fig. 7. Spraak-audiogrammen, opgenomen terwijl de uitwendige gehoorgang al of niet afgesloten was met verschillende typen gehoorbeschermers. Links het resultaat van metingen in een stille onderzoekkamer, rechts van metingen in een fabrieksafdeling met ongeveer 85 dB totaalniveau.

het audiogram bij één persoon vrij belangrijke spreiding kan optreden in de drempelwaarden, bijvoorbeeld 10—20 dB. Vindt men dus incidenteel verschillen van deze grootte, dan mag men hier niet direct vergaande conclusies aan verbinden.

B. Lawaai-analyse en bestrijding.

Ook het lawaai zal op gezette tijden opnieuw gemeten moeten worden, terwijl alles in het werk moet worden gesteld om het niveau omlaag te krijgen. Is verzwakking van de lawaai-bron niet mogelijk, dan moet men isolatie overwegen; helpt ook dat niet, dan is men aangewezen op:

C. Individuele bescherming door oordopjes of oorkappen.

Bij het verstrekken van oordopjes dient men

- a. de mensen te overtuigen van het belang van het dragen ervan,
- b. van elke werknemer de uitwendige gehoorgang te inspecteren en te zien welk dopje en welke maat voorgeschreven moet worden.
- c. bazen en voorlieden op het hart te binden, dat ze zelf ook de dopjes moeten dragen en er op toe zien, dat hun arbeiders het doen,
- d. zelf regelmatig na te gaan of de dopjes inderdaad gebruikt worden.

Lawaaidoofheid en wetgeving

Naar schatting zijn in Nederland tenminste 50.000 personen tijdens hun werk aan sterk lawaai blootgesteld. Volgens de algemene ervaring hebben hiervan enkele procenten een gehoorschade, die het verstaan van spraak zo goed als onmogelijk maakt; het totaal aantal werkelijk lawaaidoven kan men dus op enkele duizendtallen schatten. Hierbij bedenke men, dat het aantal lawaaislechtehorenden, personen met iets minder ernstige, maar toch zeer hinderlijke gehoorschade ongeveer twee en half maal dit aantal is.

Ondanks dat lawaaidoofheid wel zeer duidelijk met het beroep samenhangt en daarbij een betrekkelijk veel verbreid euvel is, is in Nederland deze aandoening nog niet officieel als beroepsaandoening in de zin der Ongevallenwet erkend, zodat slachtoffers niet voor compensatie in aanmerking komen. Dit is in vele andere landen wel het geval.

De werkgever moet echter rekening houden met het Burgerlijk Wetboek, dat in art. 1638x hem verplicht zijn arbeiders onder omstandigheden te laten werken, waarbij geen gevaar voor lijf, eerbaarheid of goed bestaat. Hij is slechts ontheven van zijn aansprakelijkheid ten aanzien van de gevallen, waarin door de Ongevallenwet en de Land- en Tuinbouwongevallenwet is voorzien, te weten de in verband met de arbeid opgetreden ongevallen en daarmee gelijkgestelde aandoeningen, zoals beroepsziekten.

Nawoord aan de Heren Technici

Overwegende, dat er een zeer hinderlijke beroepslechtehorendheid bestaat, die slechts door preventieve maatregelen te bestrijden en niet met een hoortoestel te helpen is, moet bij de constructie van nieuwe machines, ontwerp van nieuwe werkmethode of bij de inrichting van gebouwen, kortom overal waar technici hun invloed kunnen doen gelden, het probleem van het lawaai als oorzaak van doofheid in gedachte worden gehouden. Lawaai-vorming moet vermeden of bestreden worden.

Men mag zich niet in de war laten brengen door de merkwaardige lauwheid, waarmee de Nederlandse arbeider tot nu toe zijn beroepsdoofheid accepteert als een onvermijdelijk met zijn werk samenhangend kwaad, waar hij door het bedrieglijk langzaam optreden geleidelijk aan gewend is geraakt.

Wanneer bepaalde maatregelen, zoals het dragen van oordopjes, noodzakelijk zijn, moeten ook de technici mede werken door deze maatregelen zelf toe te passen.

IV. Welk geluid is toelaatbaar? Persoonlijke beschermingsmiddelen

door ir. R. PLOMP,

instituut voor Zintuigfysiologie R.V.O.-T.N.O., Soesterberg

Summary: Admissible noise levels. Individual protection.

At first the question is discussed what noise levels may be permitted to prevent hearing losses. The criteria of Kryter-Beraneck, McGrath and Hardy are mentioned. On base of these curves and the research of Rosenblith a.o. it can be stated, that in the frequency range 1500—6000 c.p.s. the transition between damaging and non-damaging noise levels is at about 80—90 db/oct. Below 1500 c.p.s. more noise is tolerable.

Further some data are mentioned about the noise reduction of some hearing protection devices.

Inleiding

In 1952 stelde Dr. J. Sterner aan een groot aantal personen, die als deskundigen mochten worden beschouwd, de vraag welke lawaainiveaus zij nog als toelaatbaar aanvaardden. Het is interessant en tekenend voor de onzekerheid die er op dit gebied bestaat, dat de vele curven die Dr. Sterner als antwoord op zijn vraag ontving, zeer uiteenliepen en een spreiding vertoonden van niet minder dan 40 dB. Dit toont ons wel zeer duidelijk, dat het geen eenvoudige opgave is aan te moeten geven waar de overgang ligt tussen lawaainiveaus die niet en die wel schadelijk zijn voor het menselijk gehoororgaan.

In de eerste plaats dienen we hierbij rekening te houden

met het feit, dat er tussen verschillende personen grote verschillen bestaan in de gevoeligheid voor lawaai. Het komt voor, dat personen door het dagelijks werken in een lawaaiige omgeving een gehoorbeschadiging krijgen met een maximale waarde van b.v. 60 dB, terwijl anderen, die in hetzelfde lawaai werken, hiervan nauwelijks of in het geheel geen nadelige invloed op hun gehoororgaan ondervinden. Dit betekent dus, dat een eventuele grens tussen al of niet toelaatbare lawaainiveaus nooit algemene geldigheid kan bezitten, maar slechts zal kunnen aangeven bij welk lawaainiveau in b.v. 50 % van de gevallen significante gehoorverliezen zullen optreden.

Dit voert regelrecht naar een tweede moeilijkheid.

Welke gehoorverliezen zal men nog toelaatbaar achten en welke gehoorverliezen niet meer? Het antwoord op deze vraag bepaalt in belangrijke mate welke lawaainiveaus men als aanvaardbaar zal mogen beschouwen. Wanneer b.v. geëist wordt, dat over het gehele frequentiegebied nergens een drempelverhoging van meer dan 10 dB mag optreden bij langdurige regelmatige blootstelling aan het lawaai, dan leidt dit tot een veel strengere eis t.a.v. het lawaainiveau dan wanneer wordt gesteld, dat in het voor de spraak belangrijkste frequentiegebied (ca 300—3400 Hz) nergens meer dan 30 dB verlies mag worden toegelaten. Men herinnere zich het feit, dat lawaai-beschadigingen maximaal plegen te zijn in het gebied van 4000—6000 Hz, met vrij scherpe begrenzingen, zodat het vaak voorkomt, dat een grote lawaaidip het spraakfrequente gebied nauwelijks of in het geheel niet aantast. Bovendien heeft men hierbij nog te maken met het probleem der ouderdomsdooftheid (presbycusis) waardoor het uiterst moeilijk is vast te stellen welk gedeelte van het gehoorverlies aan het lawaai is te wijten en welk gedeelte door de presbycusis is veroorzaakt. Op dit punt van de toelaatbare grootte der gehoorverliezen heerst nog veel onzekerheid. Een vaste regel is er niet. Persoonlijk lijkt mij de voorwaarde, dat de lawaaidip bij langdurige regelmatige arbeid in het lawaai niet groter dan ca 20 à 30 dB mag zijn (gemiddeld over vele personen) redelijk, mede met het oog op de precisie van het audiometrisch onderzoek.

Naast deze problemen is er voorts de kwestie van de aard van het lawaai. In de praktijk bestaan hier grote verschillen, die mede van invloed zijn op de grootte van het gehoorverlies, dus op de toelaatbaarheidsgrens. Enerzijds heeft men lawaai, dat men „continu” pleegt te noemen, zoals van straalmotoren, anderzijds zijn er zeer discontinu geluiden, zoals bij het schieten met vuurwapens. Tussen deze beide uitersten ligt een hele scala van mogelijkheden, b.v. in ketelmakerijen en op scheepswerven, bij verbrandingsmotoren en in weverijen, waarbij deze laatste twee over het algemeen als continu worden beschouwd.

Ten nauwste hiermede verbonden is de vraag naar de tijd gedurende welke het personeel per dag en per week aan het lawaai is blootgesteld. Het zal duidelijk zijn, dat men gedurende een korte tijd een hoger lawaainiveau mag toelaten, dan in het geval men hieraan continu, 8 uur per dag, 5 dagen per week is blootgesteld.

Dit alles moge aantonen, dat het een zeer zware en ook geen eenduidige opgave is vast te moeten stellen waar de grens ligt tussen al of niet toelaatbare lawaainiveaus. In het huidige stadium van het onderzoek is nog slechts een zeer bescheiden begin gemaakt met het nauwkeurig opsporen van de relaties tussen het lawaai en de gehoorverliezen. Eerst in de laatste jaren is, mede dank zij de ontwikkeling van betrouwbare geluidniveau meters en audiometers, dit onderzoek op gang gekomen en zijn in verschillende fabrieken lawaaispectra en audiogrammen opgenomen.

Wat daarom hier zal worden vermeld over lawaai-criteria, kan slechts zeer algemeen zijn en dient daarom als een eerste richtlijn te worden beschouwd. Het zal er daarbij om gaan een idee te geven bij welke lawaainiveaus werkelijke gevaren dreigen en bij welke niveaus men zich zeker niet ongerust hoeft te maken.

Achtereenvolgens zullen enkele criteria, die de grens van de toelaatbare lawaainiveaus als functie van de frequentie voorstellen, worden vermeld en aangegeven in hoeverre deze als betrouwbaar moeten worden beschouwd. Hierbij zal niet worden ingegaan op allerlei vragen, die

meer de specialist aangaan, maar slechts datgene worden vermeld, dat voor de praktijk van belang is.

Lawaai-criteria

Voor al sinds een door Kryter in 1950 geschreven overzicht van de gevolgen van lawaai op de mens [1], is het besef doorgedrongen, dat het aangeven van het totale lawaainiveau zeker niet voldoende is om te kunnen besluiten of personen in het betreffende lawaai kans lopen gehoorbeschadigingen te verkrijgen, maar dat ook de spectrale verdeling van het lawaai hierbij van groot belang is.

Kryter stelde zelf in het genoemde overzicht een lawaai-criterium voor, dat door Beranek met enkele wijzigingen t.a.v. de lage frequenties werd overgenomen [2]. Beranek neemt aan, dat wanneer een lawaaispectrum (gemeten in octaafbanden) in geen enkele frequentieband een niveau van 95 dB t.o.v. 2.10^{-5} N/m² overschrijdt, dit lawaai in het algemeen als ongevaarlijk kan worden beschouwd. Voor frequenties lager dan 300 Hz laat hij een hoger lawaainiveau toe. De curve van Beranek is in figuur 1 weergegeven. In de U.S.A. wordt deze curve nog steeds veelvuldig gebruikt, al zijn er toch wel bepaalde bezwaren tegen aan te voeren. Het is in de praktijk gebleken, dat in het gebied van ca 1500—6000 Hz het criterium van Kryter-Beranek te hoog ligt, daar ook lawaaispectra onder deze curve niet onbelangrijke gehoorverliezen ten gevolge blijken te hebben. Deze onderzoeken en ook laboratoriummetingen — waarover hieronder meer zal worden vermeld — hebben wel aangetoond, dat de hoge frequenties veel meer beschadigend inwerken dan de lage.

Door McGrath [3] zijn curven aangegeven, die met deze feiten veel meer rekening houden. McGrath nam aan — zij het op onhoudbare theoretische gronden, waarop hier niet dieper wordt ingegaan —, dat het schadelijk effect van lawaai wordt verdubbeld bij elke verdubbeling van de frequentie. Zijn curven zijn rechte lijnen met een helling van —6dB/octaaf. In figuur 1 is de overgang volgens McGrath tussen onschadelijke en schadelijke lawaainiveaus weergegeven.

Een derde criterium is afkomstig van Hardy [4]. Hij ging uit van bepaalde gehoorfysiologische veronderstellingen, die hier echter niet worden gereproduceerd, temeer omdat zij op verschillende punten aanvechtbaar zijn. Alleen het resultaat van de overwegingen van Hardy, namelijk de curve, die de grens aangeeft tussen al of niet schadelijk lawaai, is eveneens in fig. 1 opgenomen. Deze curve heeft een minimum bij ca 3000 Hz, welk minimum — zoals de schrijver dit zelf ook aangeeft — verband zou kunnen houden met het verschijnsel, dat de gehoorverliezen maximaal plegen te zijn bij 4000—6000 Hz, dus ca een half octaaf hoger dan de frequentie van het minimum in de curve.

De drie curven in fig. 1 geven slechts zeer globaal aan waar men de overgang zal moeten zoeken tussen al of niet schadelijke lawaaispectra. Zij zijn uiteraard niet ontstaan zonder verdiscontering van uit de praktijk bekende gegevens, maar bevatten geen specificaties t.a.v. de grootte van het gehoorverlies, dat bij overschrijding van de curven kan worden verwacht. Wel is bij de opstelling uitgegaan van continu lawaai, waarin personen langdurig, 5 dagen per week, 8 uur per dag, zijn blootgesteld.

Het gehooronderzoek van Rosenblith e.a.

Een werkelijk afdoend antwoord op de vraag naar de grens van toelaatbare lawaainiveaus kan slechts worden

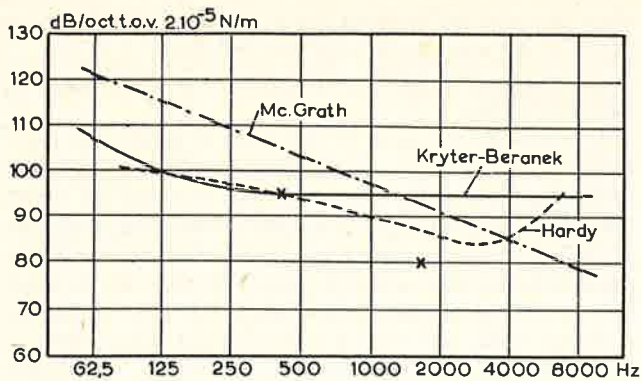


Fig. 1. Enige lawaaibeschadigingscriteria.

verkregen, wanneer men zou kunnen beschikken over een groot aantal wijd uiteenlopende lawaaispectra en tevens over de audiogrammen van grote aantallen personen die aan het lawaai zijn blootgesteld. Men zou dan nauwkeurig de relatie op kunnen sporen tussen de sterkte van het lawaai in de verschillende frequentiebanden en de gehoorverliezen die hiervan het gevolg zijn. Gedurende de laatste jaren wordt in deze richting intensief gewerkt, al zal het duidelijk zijn, dat hiermede zeer veel tijd gemoeid is. Ten onzent is door dr. H. A. van Leeuwen te Dordrecht een aantal bedrijven op deze wijze onderzocht [5], terwijl hier zeker ook mag worden genoemd het werk van de Werkgroep Gehoorbescherming onder voorzitterschap van dr. F. H. Bonjer, die onderzoekingen in verschillende textiel-fabrieken in Twente heeft verricht.

Het ligt niet in de bedoeling hier de resultaten van allerlei onderzoekingen op dit gebied mede te delen. Er wordt volstaan met het belangrijke onderzoek, dat in de U.S.A. volgens de aangegeven methode werd uitgevoerd door het "Exploratory Subcommittee Z 24-X-2 of the American Standard Association". Het rapport van deze commissie [6], dat in 1954 werd uitgebracht, bevat o.a. de resultaten van een audiometrisch onderzoek in een fabriek, waar op verschillende plaatsen in lawaai werd gewerkt. Gezocht werd naar de eventuele correlatie tussen het lawaainiveau in de verschillende octaafbanden en de gemiddelde gehoorverliezen (bij een aantal frequenties) van personen, dit als functie van het aantal jaren, dat in het lawaai werd gewerkt. De beste correlaties werden gevonden tussen:

- gehoorverlies bij 1000 Hz en het lawaainiveau in de 300—600 Hz band;
- gehoorverlies bij 2000 Hz en het lawaainiveau in de 300—600 Hz band;
- gehoorverlies bij 4000 Hz en het lawaainiveau in de 1200—2400 Hz band.

Op basis hiervan zijn de grafieken in figuur 2 ontstaan. Zij geven voor de genoemde frequenties in geïdealiseerde vorm het gehoorverlies als functie van de expositieduur, waarbij het lawaainiveau in de bijgezochte frequentieband als parameter dient. De curven zijn gecorrigeerd voor presbycusis, echter niet voor tijdelijke drempelverhogingen. Neemt men een gemiddelde drempelverhoging van ca 20 dB na ca 40 jaar werken in het lawaai als criterium, dan betekent dit, dat in de band 300—600 Hz ca 95 dB lawaai toelaatbaar is en in de band 1200—2400 Hz ca 80 dB. Deze punten zijn in figuur 1 als kruisjes aangegeven.

Het is echter wel de vraag in hoeverre deze resultaten

voldoende representatief zijn. Het genoemde correlatie-onderzoek is gebaseerd op slechts 200 audiogrammen. De punten, die als basis voor de grafieken in figuur 2 hebben gediend, vormden het gemiddelde van ca 10 personen. Deze aantallen zijn, gezien de grote variaties die plegen voor te komen, te gering om met enige zekerheid uit het materiaal te kunnen besluiten, dat de gevonden correlaties niet van toevallige aard zijn geweest. Echter is het wel zo, dat andere onderzoekingen in grote lijnen de plaats van de in figuur 1 aangegeven punten bevestigen.

Waarde van gehoorvermoeidheidsproeven

Tot dusverre is uitsluitend sprake geweest van hetgeen praktijkgegevens hebben opgeleverd t.a.v. een lawaai-beschadigingscriterium. Deze dienen uiteraard de basis te vormen voor elke nadere vaststelling van een dergelijke curve. Het bezwaar is echter, dat men daarbij volledig is gebonden aan de lawaaispectra, zoals deze in de praktijk

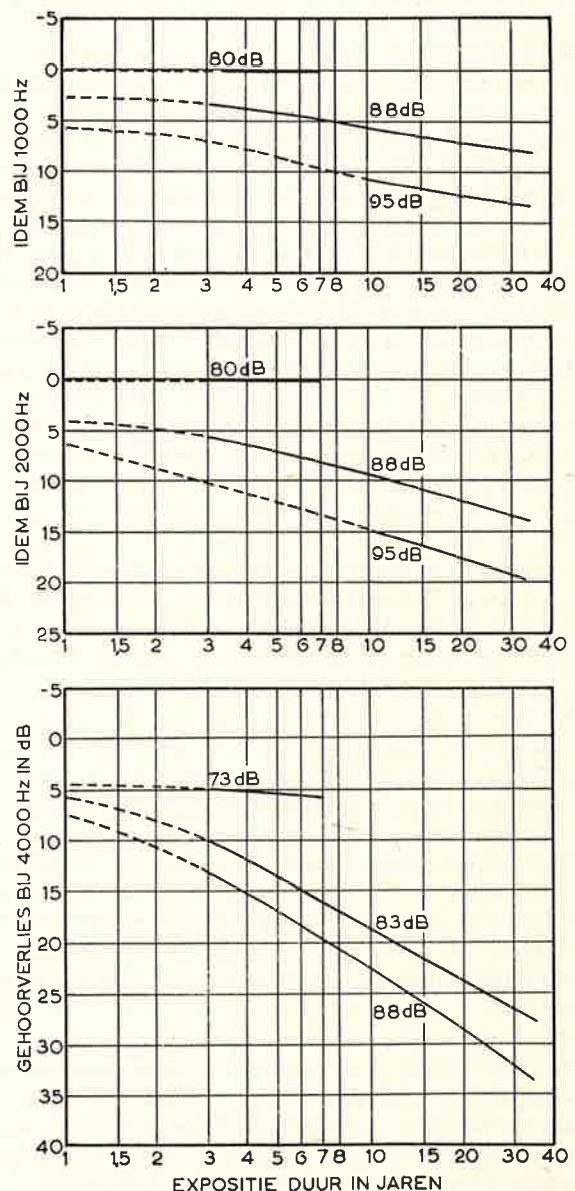


Fig. 2. Gehoorverlies bij 1000 Hz, 2000 Hz en 4000 Hz als functie van de leeftijd, volgens [6]. Parameter is in de bovenste twee grafieken het lawaainiveau in de band 300—600 Hz en in de onderste grafiek het lawaainiveau in de band 1200—2400 Hz.

voorkomen. Deze plegen over het algemeen een tamelijk vlak verloop als functie van de frequentie te hebben, terwijl het voor het onderzoek van de invloed van lawaai op het gehoororgaan juist van groot voordeel zou zijn over spectra te beschikken die b.v. uitsluitend lage of hoge frequenties zouden bevatten.

In dit verband kunnen laboratoriumproeven, waarbij men b.v. nagaat welke tijdelijke drempelverhogingen als gevolg van lawaai met een bepaalde frequentieband van b.v. één octaaf ontstaan, enige uitkomst bieden. Het is gebleken, dat tijdelijke lawaaidips ten gevolge van blootstelling van het gehoororgaan aan lawaai, zowel qua vorm als plaats van de dip, zeer goed met permanente lawaaidips van de praktijk overeen plegen te komen.

Vervolgens een enkel resultaat van dergelijke metingen, zoals zij in het Instituut voor Zintuigfysiologie zijn uitgevoerd. Het gehoororgaan van 5 personen werd met behulp van een luidspreker gedurende 3 minuten blootgesteld aan octaafbanden versterkte thermische ruis en steeds werd het verschil in gehoordrempel bepaald vóór en na de belasting met de ruisband. Deze drempel werd gemeten bij een frequentie die ½ octaaf boven de middenfrequentie van de ruisband lag, daar gebleken is, dat daar gemiddeld de dip maximaal is.

Door het uitvoeren van een groot aantal van dergelijke proeven bij verschillende frequentiebanden en verschillende lawaainiveaus is het mogelijk te bepalen welke niveaus bij de verschillende banden eenzelfde tijdelijke drempelverhoging geven. Figuur 3 geeft de intensiteit van de ruis, als functie van de octaafband, waarbij steeds gemiddeld een verschil van de drempel vóór de belasting en 3 minuten na de beëindiging van de belasting van 5 dB werd

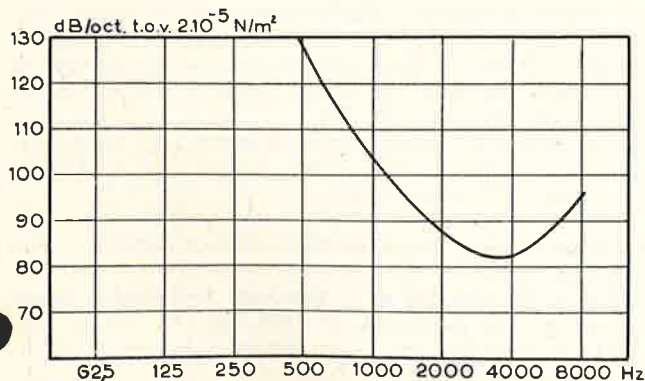


Fig. 3. Isotraumatische lijn (5 dB tijdelijke drempelverhoging na expositie van het gehoororgaan aan octaafbanden ruis, gemiddeld over 5 personen).

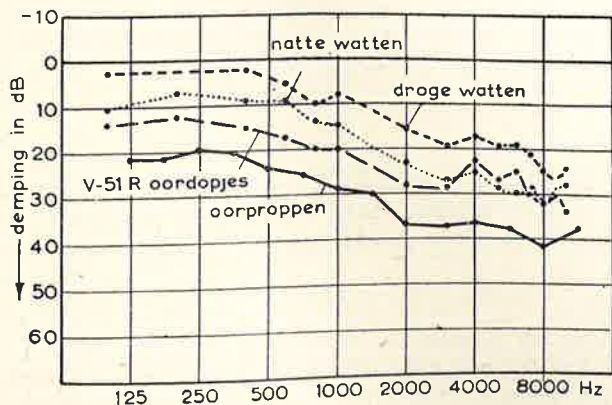
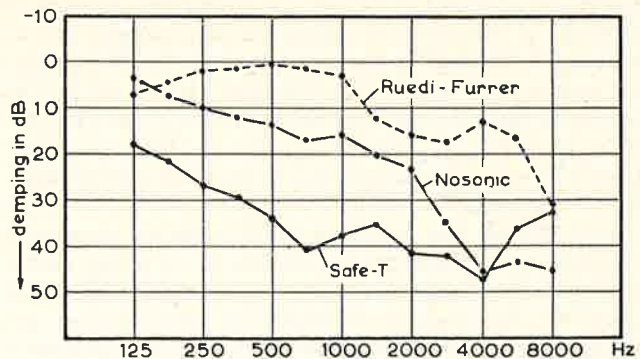


Fig. 4. Geluiddemping van enige gehoorbeschermingsmiddelen, die in de uitwendige gehoorgang worden aangebracht.

Fig. 5. Geluiddemping van enige oorkappen.



gevonden. De curve is een z.g. isotraumatische lijn. Uit deze proeven is tevens gebleken, dat er een duidelijke overgang bestaat tussen niveaus die geen en niveaus die een duidelijke drempelverhoging geven. We zien, dat volgens deze proeven vooral de frequenties rondom 2500—4000 Hz schadelijk zijn. Een vergelijkbaar resultaat is ook door andere onderzoekers gevonden.

Deze proeven tonen, dat de lage frequenties zeer waarschijnlijk veel minder beschadigend werken dan over het algemeen wordt verwacht. Zij kunnen tevens de verklaring geven van het feit, dat de lawaaidips praktisch altijd in het gebied rondom ca 4000—6000 Hz (dit is ca ½ octaaf boven het minimum in de curve van figuur 3!) maximaal zijn. De lawaaispectra in de praktijk verlopen nl. steeds vlakker dan de helling van de isotraumatische lijn, waardoor dus altijd in hetzelfde frequentiegebied (2500—4000 Hz) de curve maximaal wordt overschreden, zodat de dips ook in hetzelfde gebied ontstaan.

Conclusie

Op basis van hetgeen hierboven werd medegedeeld kan worden gesteld, dat in de praktijk vooral de componenten van het lawaai in het gebied rondom 3000—4000 Hz aanleiding geven tot gehoorbeschadigingen. De overgang tussen al of niet schadelijke lawaainiveaus zal in het gebied van 1500—6000 Hz liggen tussen ca 80—90 dB/oct.

Beneden 1500 Hz mag meer lawaai worden toegelaten. Wellicht kan de curve van Hardy momenteel een zekere richtlijn geven waar de grens ongeveer moet worden gezocht. Een verantwoorde curve is echter in het huidige stadium van het onderzoek nog niet aan te geven. Audiometrisch onderzoek blijft daarom in twijfelgevallen steeds geboden.

Gehoorbeschermers

Tenslotte enkele opmerkingen betreffende de mogelijkheden van persoonlijke beschermingsmiddelen in omgevingen waarin het lawaainiveau met het oog op het menselijk gehoororgaan ontoelaatbaar moet worden geacht.

Voor al in de laatste decennia heeft op dit gebied een uitgebreide research plaatsgevonden. In eerste instantie hield men zich hierbij voornamelijk bezig met gehoorbeschermers in de vorm van oordopjes, die in de uitwendige gehoorgang worden aangebracht. Dergelijke beschermers hebben het voordeel, dat zij klein en goedkoop zijn. Het in de oorlog in de U.S.A. ontwikkelde oordopje V-51 R is hiervan wel het bekendste voorbeeld [7]. Vele fabrieken hebben zich de laatste jaren op de productie van dergelijke oordopjes toegelegd.

In figuur 4 is de demping van het oordopje V-51 R weergegeven. Tevens is in deze figuur de demping aan-

gegeven van enige andere in de gehoorgang aan te brengen beschermingsmiddelen: een propje droge watten, natte watten en wasproppen. Deze laatste bestaan uit watten, gedrenkt in paraffine en tot een staafje geperst, welke, mits goed aangebracht, een uitstekende afscherming geven. Zij bieden grote voordelen in situaties waarin men slechts een korte tijd aan een hoog lawaainiveau wordt blootgesteld, zoals b.v. op schietbanen, daar de prijs zeer gering is en de proppen na afloop van de expositie kunnen worden weggegooid.

Het gebruik van oordopjes heeft, naast de genoemde voordelen ook verschillende nadelen. In de eerste plaats zijn ze moeilijk aan te brengen. Voorts moeten zij steeds i.v.m. de uiteenlopende diameters van de uitwendige gehoorgang in verschillende grootten in voorraad gehouden worden. Ook is wel een irritatie van de gehoorgang geconstateerd.

In de laatste jaren is het zwaartepunt i.v.m. de draagbaarheid en de demping voor een groot deel verlegd naar de oorkappen. Deze omsluiten over het algemeen de gehele oorschelp en geven daardoor vaak een betere draagbaarheid dan oordopjes e.d. Het grote nadeel is de prijs,

die uiteraard veel hoger is dan van de eenvoudige oordopjes.

In figuur 5 is van enkele in de handel verkrijgbare oorkappen de demping weergegeven. We zien, dat vooral de Safe-T oorkap, het resultaat van een recente ontwikkeling, een zeer goede demping geeft, terwijl de draagbaarheid van deze kap uitstekend moet worden geacht [8]. Deze oorkap heeft een rand met vloeistofvulling, hetgeen een goede afdichting waarborgt. De belangrijkste voorwaarden voor een maximale demping — starre verbinding met het hoofd en goede afdichting — zijn in deze oorkap uitstekend vervuld (figuur 6).

Een gecombineerd gebruik van oordopje of oorprop en oorkap geeft een hogere demping dan het gebruik van elk afzonderlijk, al mag men de demping niet bij elkaar optellen, daar deze begrensd wordt door de directe geleiding van het geluid via de schedel. Deze is ca 50 dB. Wil men een nog grotere demping dan zal men zijn toevlucht moeten nemen tot kappen die zoveel mogelijk het gehele hoofd omsluiten.

In hoeverre een dergelijke kap i.v.m. de steeds toenemende lawaaiproductie van de straalmotoren van vliegtuigen op grotere schaal zal moeten worden toegepast, zal in de naaste toekomst moeten blijken.



Fig. 6. De Safe-T oorbeschermer.

Literatuur

- [1] K. D. KRYTER: The effect of noise on man. Journal of Speech and Hearing Disorders, Monograph Supplement No. 1, september 1950.
- [2] L. L. BERANEK: Acoustics, blz. 416. McGraw-hill Publishing Company, New York, 1954.
- [3] R. M. McGRATH: An objective method of classifying industrial noise environments. Proc. Second Noise Abatement Symposium. Armour Foundation of Illinois Institute of Technology, oktober 1951.
- [4] H. C. HARDY: Tentative estimate of a hearing damage risk criterion for steady-state noise. Journ. Acoust. Soc. Amer., vol. 24, 1952, blz. 756—761.
- [5] H. A. VAN LEEUWEN: Beroepshardhorendheid als bedrijfs-geneeskundig probleem. Diss. Leiden; van Gorcum & Comp. N.V., Assen, 1955.
- [6] W. A. ROSENBLITH a.o.: The relations of hearing loss to noise exposure. American Standards Association, Inc., New York, 1954.
- [7] N. A. WATSON and V. O. KNUDSEN: Eardefenders. Journ. Acoust. Soc. Amer. vol. 15, 1944, blz. 153—159.
- [8] E. A. G. SHAW and G. J. THIESSEN: Improved cushion for ear defenders. Journ. Acoust. Soc. Amer., vol. 30, 1958, blz. 24—36.

V. Lawaaibestrijding

door ir. G. J. VAN OS,

Technisch Physische Dienst TNO en TH, Delft

Summary: Noise control.

Measures must be adapted to the necessary sound level reductions as a function of frequency, and to the transmission path involved between sound source and listener. The former data follow from sound measurements in situ or from predictions if noise prevention is the aim, and the noise criteria that are applicable to the case. Various control measures are described in principle.

Inleiding

De plaats van deze verhandeling over lawaai bestrijding in het symposium „Lawaai en beroepsdoofheid”, namelijk geheel aan het einde, is helaas in overeenstemming met de normale gang van zaken. Gunstige uitzonderingen daargelaten wordt gemeenlijk pas aandacht aan het lawaai geschonken, als dit er al is, en als blijkt dat dit lawaai een onhoudbare toestand veroorzaakt in de fabriek, het kantoor, het woonhuis, op straat of waar dan ook. Lawaai preventie: doelbewust maatregelen nemen om het ontstaan van lawaai te vermijden, en reeds bij het ontwerp van steden, fabrieken, kantoren en woonhuizen, bij de ontwikkeling van werktuigen en machines, bij de aankoop van vliegtuigen, voertuigen en motoren rekening houden met het lawaai aspect komt weliswaar gelukkig steeds meer voor, doch het is nog steeds uitzonderlijk. En daarom zou ik willen beginnen een lans te breken voor de bestrijding van lawaai dat er nog niet is. Men hoeft namelijk niet te vrezen dat deze strijd moeilijker zou zijn dan die tegen reeds aanwezig lawaai, integendeel; de noodzakelijke maatregelen zijn gewoonlijk veel gemakkelijker uit te voeren, zij zijn veel minder kostbaar, men vermijdt een onderbreking van werkzaamheden, enz. enz. Hetgeen hierna over de lawaai bestrijding vermeld zal worden is ongewijzigd van toepassing op de lawaai preventie.

Wat is lawaai?

Het antwoord op deze vraag is niet zo gemakkelijk als men in eerste instantie zou menen, althans wanneer dit antwoord een houvast moet bieden voor de lawaai bestrijder.

1) Onderwerp der voordrachten gehouden in de gemeenschappelijke vergadering van de Afdelingen voor Gezondheidstechniek en voor Werktuig- en Scheepsbouw van het K.I.v.I., de Ned. Ver. voor Arbeids- en Bedrijfsgezondheidskunde en de Geluidstichting, te Utrecht op 24 april 1958. Zie *De Ingenieur* Nos. 42 en 44 van 17 en 31 oktober 1958.

De meest gangbare definitie luidt: Lawaai is elk geluid dat de waarnemer liever niet zou horen. Deze defi-

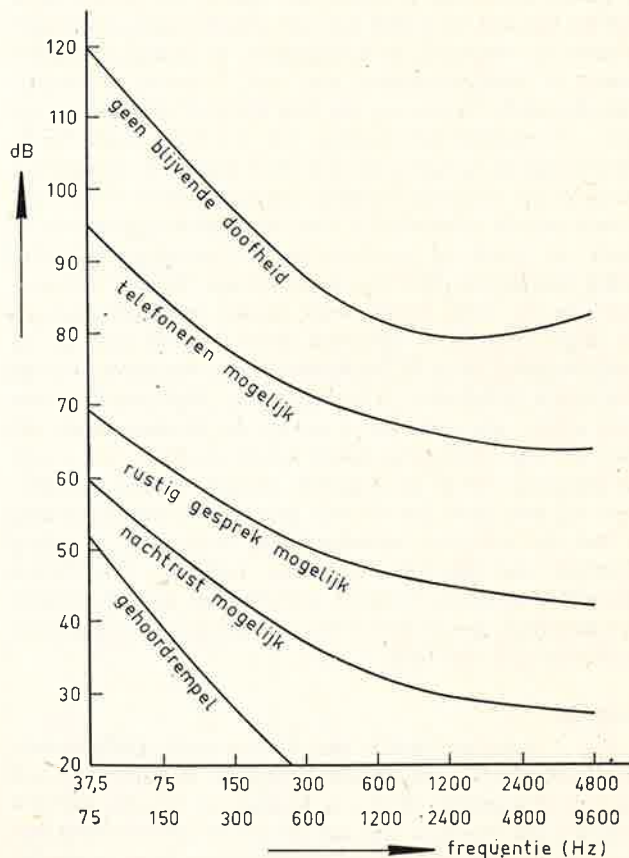
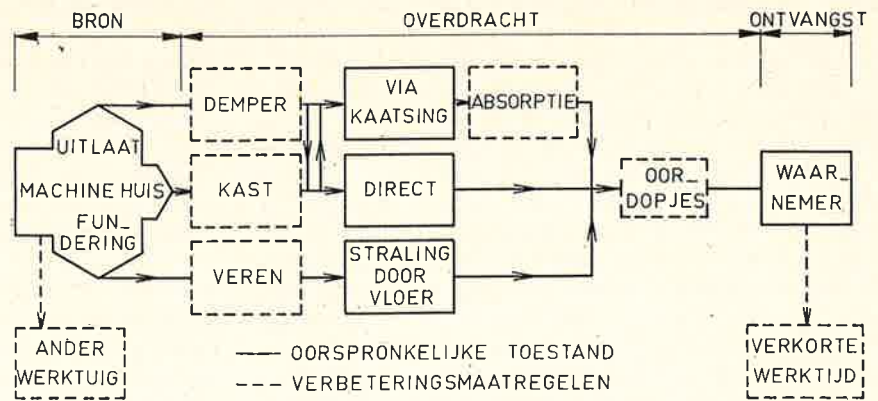


Fig. 1. Lawaai bestrijding betekent de geluidsniveaus verlagen tot acceptabele waarden, waarbij steeds het geluidsspectrum mede moet worden gezien. Overschrijdt het geluidsspectrum in een bepaald geval een der in de figuur getrokken lijnen, dan wordt aan de bij die lijn opgegeven eis niet voldaan. De noodzakelijke niveauperlaging volgt uit de mate van overschrijding.

Fig. 2. Het geluid van een machine bereikt de waarnemer langs verschillende wegen, welke in de figuur schematisch zijn aangegeven. Met stippellijnen zijn de zonnodig te treffen maatregelen aangegeven.



nitie is te zeer gericht op de individuele appreciatie van de luisteraar om praktisch bruikbaar te zijn. Want hoewel wij strikt genomen niet geheel kunnen ontkomen aan de subjectiviteit van het begrip lawaai, moeten wij proberen normen te vinden die ons in de praktijk in staat stellen een uitspraak te doen over de eventuele aanwezigheid van lawaai.

Men zou bijvoorbeeld kunnen zeggen dat „lawaai is elk geluid dat onder bepaalde omstandigheden voor de meerderheid van de eraan blootgestelde mensen onaantvaardbaar is.” Op deze wijze kan men voor verschillende omstandigheden normen opstellen; voldoet het geluid aan deze normen, dan is het tolerabel en behoeft er niets te worden gedaan; worden de normen overschreden dan is lawaai bestrijding geboden. Zo zijn er in de literatuur talrijke normen te vinden voor de geluidsniveaus die mogen heersen in woningen, in slaapkamers, in studios, in restaurants, in kantoorruimten, enz. enz., waarbij de onaantvaardbaarheid berust op het niet kunnen musiceren, slapen, converseren, telefoneren, enz. In het artikel van ir. Piomp wordt aangetoond hoe men tracht te komen tot normen, die aangeven wanneer van lawaai moet worden gevreesd dat dit schadelijk is voor het gehoororgaan van de mens; er wordt op gewezen dat de toelaatbare geluidsniveaus afhankelijk zijn van de frequentie. Bij lage frequenties kan de mens beslist meer geluid verdragen dan bij de hoge frequenties, ditzelfde geldt ook als niet de lawaaidoofheid, doch de nachtrust of een der andere bovengenoemde bezigheden in het geding is. Men zou dus kunnen stellen dat geluiden waarvan de niveaus lager zijn dan de van toepassing zijnde norm aangeeft niet onder de categorie lawaai gerangschikt mogen worden. Ik realiseer mij zeer goed dat dit niet geheel in overeenstemming is met het gangbare spraakgebruik, doch deze opvatting vermijdt enerzijds het tot lawaai verklaren van vrijwel elk geluid op aarde, en geeft anderzijds de lawaai bestrijder het plezierige gevoel tenminste in bepaalde gevallen klaar te komen met zijn taak.

Criteria

Fig. 1 geeft een enkele van de criteria in grafiekvorm. Verticaal zijn de geluidsniveaus uitgezet, horizontaal vindt men de frequentie, en wel in banden ter breedte van één octaaf. Elke kromme begrenst een gebied aan de bovenzijde, dus aan de kant van de hoge geluidsniveaus; komt in een bepaald geval het spectrum boven dit gebied uit, dan wordt aan het desbetreffende criterium niet voldaan. Het zij nogmaals opgemerkt: de criteria gelden voor de meerderheid van de waarnemers, en ieder individu behoudt dus het volste recht voor zich zelf strengere normen te prefereren, m.a.w. gevoeliger te zijn voor lawaai. Men zal

dus in voorkomende gevallen verstandig doen indien mogelijk een zekere reserve in acht te nemen, ten einde de gevoelige mensen ook een kans te geven op wat voor hen de lawaai-vrije toestand is.

Geluidwegen

Op welke wijze kan men nu het gestelde doel — geen lawaai — bereiken? Wij zullen voor het beantwoorden van deze vraag ons moeten verdiepen in de manier waarop het geluid van een of andere bron — een werktuig, een voertuig of wat dan ook — het oor van de waarnemer bereikt.

Figuur 2 geeft in schematische vorm een overzicht van het gehele systeem: bron — geluidweg — waarnemer. Als bron is een machine geschetst, die op drie manieren geluid produceert: via openingen waardoor koellucht of verbrandingslucht de machine binnenkomt of deze verlaat (verbrandingsmotoren, stofzuigers, ventilatoren, lichtdruk machines enz. hebben dergelijke openingen); vervolgens doordat sommige delen van de machine trillen en aldus geluid uitstralen; tenslotte doordat de machine via zijn steunpunten de vloer in trilling brengt en deze trillingen op reis gaan door het gebouw en elders als geluid worden uitgestraald en gehoord.

Laat ons nu deze drie porties geluid op hun weg volgen. Vlak bij de machine kunnen wij hen nog duidelijk onderscheiden, doch op enige afstand is het welhaast onmogelijk uit te maken of het uit- en inlaatgeluid, het directe geluid of het fundatiegeluid aansprakelijk is voor het lawaai. Doch het totaal arriveert bij de waarnemer, en het geluidsniveau en het spectrum daar ter plaatse zijn bepalend voor de vraag of er sprake is van lawaai. Wordt het criterium overschreden — is er dus lawaai — dan moet, alvorens maatregelen kunnen worden beraamd, nagegaan worden langs welke weg het meeste geluid wordt overgedragen, omdat uiteraard die weg als eerste zal moeten worden afgesloten. Het is in sommige gevallen zeer moeilijk om deze „hoofdweg” te localiseren.

Maatregelen

Beschouwen wij nogmaals figuur 2. Met stippellijnen is hierin aangegeven welke maatregelen in aanmerking komen.

a. Stillere machines

De meest afdoende maatregel is in vele gevallen het vervangen van de machine door een exemplaar dat in de vereiste mate geruislozer is, of het vervangen van de lawaaimakende onderdelen. De figuren 3, 4 en 5 geven voorbeelden van rumoerige en stille machines: een houtbewerkingsmachine (vierzijdige schaaftank) met twee typen beetelhouders; een tweetal tandwielkasten voor

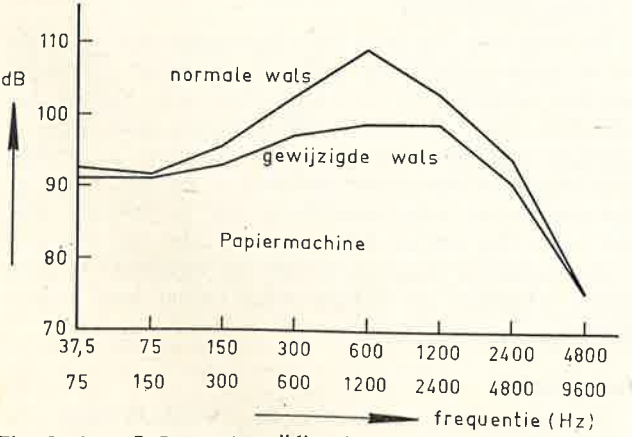
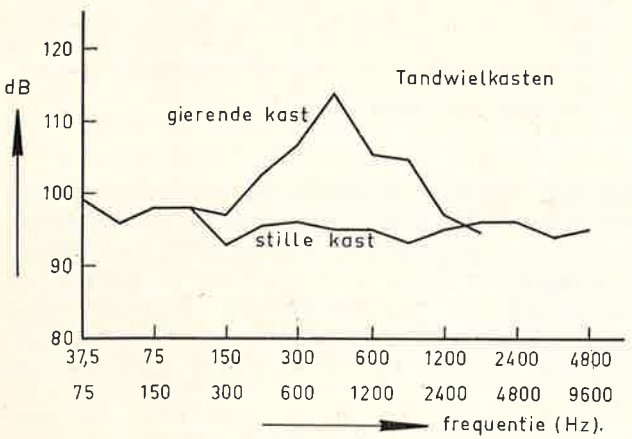
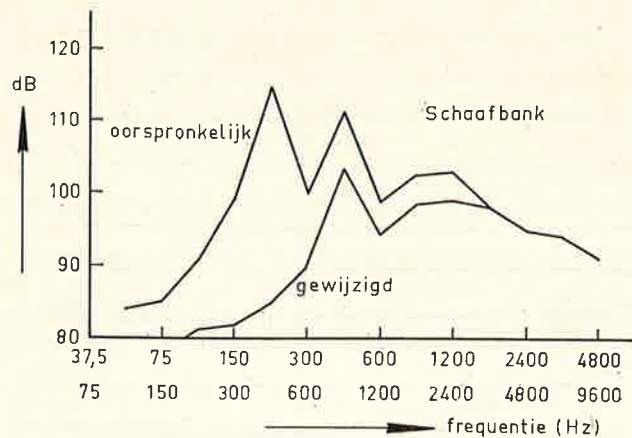


Fig. 3, 4 en 5. Lawaai bestrijding begint bij de bron. De drie figuren geven enige voorbeelden van hetgeen bereikbaar is in dit opzicht.

scheepsvorststuwingsinstallaties en een papiermachine waarbij de zuigwals waarmede de papierpulp van water wordt ontdaan een „loei” voortbracht, totdat een andere vorm van de afdichtingslijst aan dit geloei vrijwel een einde maakte. Zo zouden er nog tientallen voorbeelden te geven zijn; mijn bedoeling is echter slechts aan te tonen, dat men met lawaai bestrijding „bij de bron” zeer veel kan bereiken.

b. Geluiddempers toepassen

Moet echter, om welke reden dan ook, de bron ongewijzigd blijven, dan komt de reeds genoemde wegafsluiting in aanmerking. Dat men het geluid dat uit in- en uitlaatopeningen van machines pleegt te komen met zg. geluiddempers effectief kan verzwakken mag algemeen bekend worden geacht; het is echter te meer verwonderlijk dat nog zo talloos vele machinerieën in de handel zijn

waarbij men niet de moeite neemt deze kennis in praktijk te brengen. Toegegeven zij dat economische factoren hierbij vaak een beslissende rol spelen, maar zeer vele gebruikers zouden ongetwijfeld een effectieve demper gaarne met een paar gulden extra honoreren. Met passende constructies zijn ook de meest lawaaierige luchtstromen te temmen, en het ware gewenst dat dempers niet alleen voor motorvoertuigen wettelijk werden vereist, doch ook voor vele andere lawaai bronnen, die thans met gulle hand hun geluid over de omgeving uitstrooien. Ik denk hierbij aan het stoomafblazen van fabrieken, het vrijelijk laten uitmonden van aanzuigkanalen en afvoerkanalen van compressoren en ventilatoren, e.d. Figuur 6 geeft enkele voorbeelden van dempingskarakteristieken.

c. Machines inbouwen

Het direct door het huis van de machine uitgestraalde geluid kan men het effectiefste tegenhouden door de gehele machine in te bouwen in een zg. geluiddichte kast. Naarmate men de wanden van de kast zwaarder maakt zal het bereikte resultaat beter zijn, mits voor een voldoende afsluiting van kieren en naden om leidingen, bedieningshandels e.d. wordt gezorgd. Het is zeer aanbevelenswaardig aan de binnenzijde van de kast geluidabsorberende materialen aan te brengen; laat men dit na dan wordt het effect van de kast gedeeltelijk teniet gedaan doordat binnen in de kast een zeer hoog geluidniveau gaat heersen door de vele reflecties tegen de harde wanden. Dikwijls kan men ook reeds een voldoende resultaat bereiken door een gedeeltelijke omkasting aan te brengen,

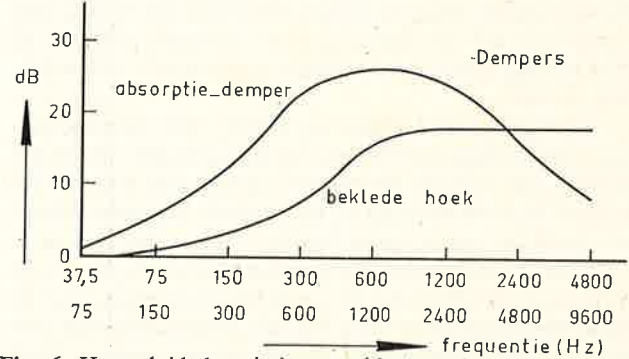


Fig. 6. Het geluid dat uit in- en uitlaatopeningen voor koel- lucht en verbrandingslucht van machines komt kan men onderdrukken door toepassing van geluiddempende constructies in de kanalen.

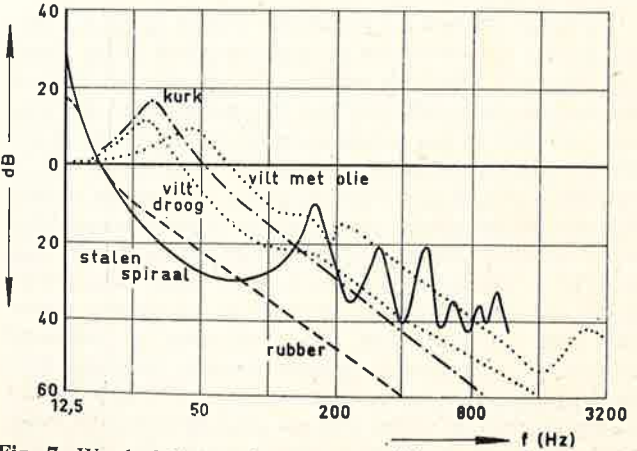
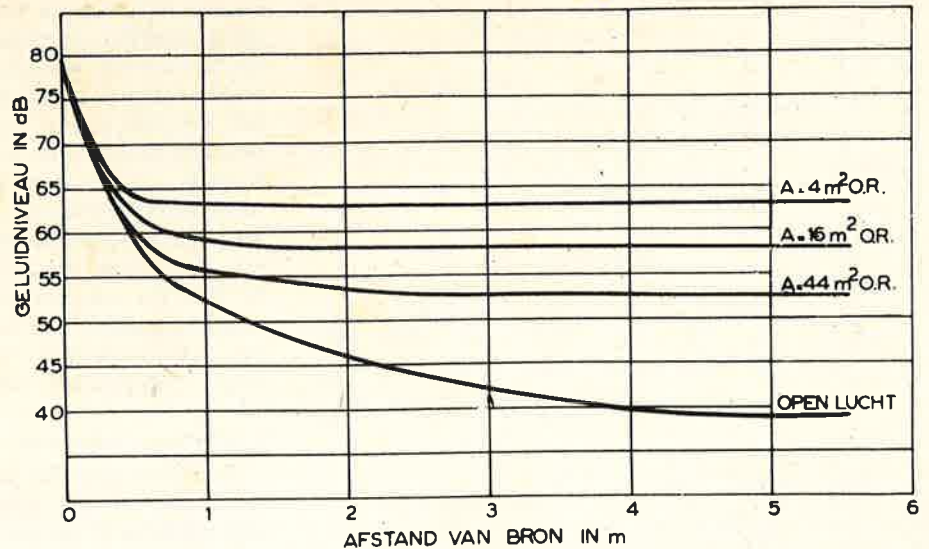


Fig. 7. Wordt het geluid van de machine overgedragen via de fundatie, dan zijn veren tussen machine en fundament op zijn plaats. De figuur geeft voorbeelden van de met deze veren theoretisch te bereiken verbeteringen.

Fig. 8. Een geluidbron, opgesteld in een sterk galmende ruimte veroorzaakt een veel hoger geluidniveau dan wanneer de ruimte akoestisch „dood” is. De figuur geeft het geluidniveau als functie van de afstand tot de bron, bij verschillende hoeveelheden absorptie in de ruimte.



waarbij alleen de sterkst geluidproducerende delen worden ingebouwd.

Zoals overal geldt ook hier dat men de maatregelen moet aanpassen aan de te bereiken resultaten: de vereiste constructie volgt uit het aantal decibels waarmee het niveau moet worden verlaagd.

d. Verend opstellen

Sommige machines tenslotte produceren zelf niet veel geluid, doch trillen vrij sterk, en via de ondersteuning geraakt ook de vloer in trilling. Wil men dit laatste vermijden dan ligt de oplossing voor de hand: verbind de machine niet vast met de vloer, doch maak de verbinding verend.

Veerkrachtige materialen als rubber, vilt, mineraalwol, kurk e.d. kunnen met succes worden gebruikt. Doch pas op: zulk een verende tussenlaag is alleen dan effectief als de vloer niet veerkrachtig is; het plaats van veren tussen een draaibank en een slap houten vloertje helpt niets.

Figuur 7 geeft isolatiecurven van rubber, kurk, vilt en staal voor het geval dat de ondergrond oneindig stijf is. Vanzelfsprekend dient men bij het verend opstellen van machines alle aansluitingen van leidingen eveneens flexibel te maken, anders loopt het geluid via deze leidingen om de veren heen en valt het resultaat bitter tegen.

e. Reflecties verzwakken

Bevinden machine en waarnemer zich in dezelfde ruimte, dan zal de waarnemer de machine zowel direct (langs de rechte lijn tussen de machine en zijn oor) als indirect (na een of meer reflecties van het geluid tegen de wanden, de vloer en het plafond van de ruimte) horen. Kaatsen nu deze wanden enz. het geluid goed terug, dan is het totaal van al het indirecte geluid vele malen sterker dan het directe geluid, vooral als de afstand tussen bron en waarnemer meer dan enkele meters bedraagt. Een dergelijke ruimte heeft voorts een lange nagalmtijd, zodat elke tik of klap die de machine maakt nog seconden lang hoorbaar blijft. Beide effecten: — verhoogd niveau en naklinken — kunnen worden verzwakt door het bekleden van het plafond en (eventueel gedeeltelijk) de wanden van de ruimte met een geluidabsorberend materiaal. Deze zijn in allerlei soorten verkrijgbaar; het is verstandig ook hier met de aard van het te bestrijden lawaai (voornamelijk hoge tonen of lage tonen enz.) rekening te houden bij het bepalen van de keuze van het absorptie-

materiaal. Men kan dan bereiken dat er overeenstemming bestaat tussen het lawaaispectrum en de absorptiecarakteristiek van het materiaal. Buitengewoon grote niveauverlagingen zijn echter in de regel niet te bereiken met toepassingen van geluidabsorberende materialen: men rekene niet op meer dan 6 à 10 dB, terwijl inkasten gemakkelijk reducties van 20 of 30 dB geeft. Zie ook figuur 8.

f. Gehoorbeschermers

Op onze weg van bron naar waarnemer zijn wij thans bij de laatste aangekomen, die wij, als andere maatregelen niet voldoende of niet uitvoerbaar zijn, kunnen beschermen tegen blijvende lawaaidoofheid door hem te voorzien van effectieve gehoorbeschermers. Ir. Plomp gaat hierop in zijn artikel uitvoerig in en hier wordt er dan ook slechts volledigheidshalve nog op gewezen. Ook een verkorting van de tijd dat de arbeider aan één stuk in de lawaaierige omgeving doorbrengt verschuift de grens tussen schadelijk en niet-schadelijk lawaai naar hogere niveaus.

Samenvatting

De belangrijkste regels van de lawaai bestrijding zijn de volgende:

- Voorkomen is beter dan genezen.
- Lawaai bestrijding begint bij de bron.
- Zowel onnodig veel als te weinig geluid wegnemen moet vermeden worden; het doel is niet „zo stil mogelijk” doch „zo stil als noodzakelijk”. Men raadplege hierover de criteria.
- Maatregelen moeten steeds zijn aangepast aan het probleem; een universeel middel is niet te geven.

Het bovenstaande pretendeert zeker niet meer te zijn dan een vluchtig, en verre van volledig overzicht over het gehele gebied van de lawaai preventie en de lawaai bestrijding. Ik hoop erin geslaagd te zijn aan te tonen, dat de principes van de lawaai bestrijding in wezen zeer simpel zijn, en dat voor elk probleem op dit gebied in theorie een oplossing gevonden kan worden. Dat een ander in de praktijk dikwijls niet zo simpel blijkt te zijn wordt gemeenlijk veroorzaakt door een te laat onderkennen van het probleem, waardoor de praktische of economische consequenties een oplossing onmogelijk maken.

VI. Beraadslaging

Vragen van D. W. GRAVENDEEL, arts, beantwoord door Dr. H. A. VAN LEEUWEN.

Vraag: Geeft de traumagraad voldoende informatie omtrent het aanwezige gehoorverlies, e.g. smalle en diepe dips tegenover brede ondiepe dips?

Antwoord: Een enkel getal geeft nimmer alle informatie over een curve. De meeste onderzoekers gebruiken alleen de diepte van de dip. Aanvankelijk gebruikte ik het oppervlak als maatstaf, maar dat vereist een planimeter en is tijdrovend. De breedte van de dip komt nu tot gelding door het meetellen van het verlies bij 1500 Hz. Of men alle soorten dips via de traumagraad met elkaar mag vergelijken is nog niet te zeggen. Schietdips blijken een andere vorm te hebben dan industriedips.

Vraag: De in Amerika gepropageerde methode om slechts bij 4000 Hz het gehoortrauma te controleren lijkt toch wel erg summier.

Antwoord: De voorstanders zijn realisten, die liever een gebrekkige, maar goedkope en onder industriële omstandigheden toepasbare methode zoeken, dan elke informatie te ontberen door te hoge eisen.

Vraag: Wat zijn Uw ervaringen betreffende de draagbaarheid voor oordopjes en de reactie van het personeel daarop? Geven dopjes voldoende bescherming?

Antwoord: Dopjes moeten goed aangemeten worden en dikwijls ontdaan van scherpe randen. Zij zijn goed draagbaar, vooral als ze niet te lang achtereen behoeven te worden gebruikt. Kneedbare wasproppen voldoen uitstekend, maar moeten elke dag worden aangemaakt. Pret-tig is ook een nieuw produkt, namelijk glasdons.

Gehoorgangirritaties worden maar weinig gezien.

De genegenheid om dopjes toe te passen is bij de arbeiders uiterst gering.

Voor alle normale industriële spectra geven dopjes een redelijke bescherming.

E. ASSELBERGHS, arts:

Vraag: Is leeftijd een belangrijke factor bij het ontstaan van lawaaidoofheid? Bestaat bij keuring van een arbeider van 16 jaar en van 40 jaar voor hetzelfde werk een even groot risico voor lawaaischade?

Dr. H. A. VAN LEEUWEN:

Antwoord: Met name bij Perlman vindt U de opvatting, dat ouderen gevoeliger zouden zijn dan jongeren. Ik heb dit zelf in eigen materiaal niet duidelijk gevonden en het wordt in de literatuur ook niet als vaststaand aanvaard. Bij de keuring van de 40-jarige heeft reeds een selectie gewerkt, daar een bijzonder gevoelige dit door opgetreden schade zal demonstreren. Elke man van 40 jaar is immers wel blootgesteld geweest aan enig schadelijk lawaai. Verder vindt U dan ook de tekenen van otosclerose en te vroeg optredende ouderdomsdoofheid.

H. DE MOOIJ, arts en Dr. G. J. FORTUIN, arts:

Vraag: Het is in de industrie onmogelijk alle arbeiders na enige tijd rust te audiometreren of na eenzelfde expositietijd. Hoe kan men dan onderscheiden tussen blijvende schade en tijdelijke verdooving?

Dr. H. A. VAN LEEUWEN:

Antwoord: Wil men, bijvoorbeeld voor compensatiedoeleinden of gerechtelijke beslissingen, precies weten welke blijvende gehoorschade bestaat, dan moet enkele malen de gehoordrempel bepaald worden, nadat gedurende

verscheidene dagen, weken of maanden geen lawaai-expositie heeft plaatsgevonden.

Maar meestal gaat het om de samenhang tussen expositie en resulterende schade. De tijdelijke verdooving gedurende de werkdag is zeer waarschijnlijk al na bijvoorbeeld een uur grotendeels ontwikkeld, al is in de loop van de werkweek nog wel enige progressie te constateren. Ik beschreef U, dat n.m.m. de tijdelijke verdooving een voorafschaduwning is van de na jaren voortgezette expositie te verwachten blijvende schade. Daarom is het m.i. meestal van voordeel om voor het samenstellen van het afdelingsaudiogram audiogrammen te gebruiken, waar de tijdelijke verdooving bij ingesloten is, terwijl het er betrekkelijk weinig toe doet hoe lang de direct voorafgaande expositie in uren heeft geduurd, mits deze niet al te kort was.

Vragen van ir. J. H. KRIETEMEIJER, beantwoord door dr. H. A. VAN LEEUWEN:

Vraag: Nieuwere werkmethoden in de scheepsbouw brengen sectiebouw in grote lashallen met zich mee. Heeft U ervaring met lawaaimetingen in deze loodsen?

Antwoord: Inderdaad hebben we daar hoge geluidintensiteiten gemeten. Het blijkt een ongunstige factor te zijn, dat industriehallen weinig geluidabsorberend materiaal bevatten. Hierdoor is het lawaainiveau buiten een kring van 10—20 meter rondom de lawaai-bron gelijk over de gehele ruimte, zodat alle arbeiders aan een hoog geluidniveau bloot staan. Daarbij zijn vaak ook frezers en dergelijken, die van de maskering van hun machinegeluid veel hinder ondervinden.

Vraag: Heeft U ervaring met besprekingen met de arbeiders?

Antwoord: Wij trachten in elke afdeling een groepje personen te kweken, dat de dopjes blijvend wil dragen en zodoende aanstekelijk kan werken op de anderen en vooral op de jongeren. Naar mijn mening is alleen langs de weg van instructieve besprekingen, vooral met leidinggevend en toezichhoudend personeel, gepaard met controle op de toepassing, resultaat te verwachten. Zoals bij alle persoonlijke beschermingsmiddelen vereist het, zelfs ook voor anti-lawaai propagandisten, een voortdurend hameren op hetzelfde aanbeeld.

F. J. VAN DER STEEN, arts:

Vraag: Wat is de invloed van ultra-geluid op het gehoororgaan?

Dr. H. A. VAN LEEUWEN:

Antwoord: Hierover is mij weinig bekend. Vermoedelijk zal het gehoorzintuig dezelfde eventuele algemene werking ondergaan als elk ander weefsel. Ik herinner me niet ooit van een specifieke gehoorschade gelezen te hebben. Het meten van ultra-geluid is moeilijk. In ieder geval neemt men aan dat afscherming eenvoudig zal zijn. Reeds in lucht treedt absorptie op.

Vragen van ir. C. J. KNOESTER, beantwoord door ir. J. v. d. Eijk:

Vraag: De A- en B-stand van de General Radio-apparatuur houdt rekening met de oorgevoeligheid, en is dus subjectief! Betere grootheden zijn dan wellicht luidheid en luidheidniveau. Vooral in de laatste tijd wordt veel gepubliceerd over de berekening van deze grootheden (in soons, foons) uit de dB-waarden. Dan wordt dus toch de lawaai-indruk in één getal weergegeven! Volgens mij

zijn A-, B-stand, foon- en soonwaarde voor de lawaai-bestrijding overbodig en verwarrend. Wat is hierover Uw oordeel?

A n t w o o r d : De A- en B-stand van de gebruikelijke geluidniveaumeters geven deze meters voor enkelvoudige tonen een gevoeligheid, overeenkomend met die van het gehoor bij twee verschillende geluidsterkten. Voor samenstellend geluid gaat deze overeenkomst verloren. Voor dergelijke gevallen kan het gebruik van deze frequentiekenarakteristieken alleen nog van nut zijn om de invloed van de lage tonen (die weinig of niet schadelijk zijn voor het gehoororgaan) op het totaalniveau uit te schakelen of te verminderen. Het is echter moeilijk aan te geven welke *kwantitatieve* waarde de zo verkregen uitkomst nog heeft. Ik zou niet zo ver willen gaan de soon als een overbodige grootheid te beschouwen. Voor de gehoorbeschadiging heeft hij inderdaad geen betekenis, maar voor de waardering van het verkregen resultaat bij lawaai-bestrijdingsmaatregelen kan de soon wellicht van nut zijn voorzover het alleen gaat om de subjectieve luidheidsindruk en niet om het gevaar voor gehoorbeschadiging.

De betekenis van de foon schat ik, evenals de heer Knoester, laag. Wanneer het verband tussen soon en foon voldoende vastligt, is het wellicht beter niet meer met de isofonen te werken maar met isosonen.

V r a a g : Voor sterk wisselend (periodiek) geluid bestaat ook een apparaat voor het meten van piekhoogte en -frequentie. (General Radio.) Heeft U hiermee ervaring?

A n t w o o r d : Met deze methode heb ik geen ervaring.

Vragen van ir. J. H. JANSSEN, beantwoord door ir. R. PLOMP:

V r a a g : Is het niet zo, dat eventuele uitspraken over al of niet toelaatbaarheid van lawaai i.v.m. mogelijke hardhorendheid moeten berusten op metingen aan grote groepen en dat deze metingen reeds voldoende betrouwbaar zijn om uitspraken te doen?

A n t w o o r d : Inderdaad zal men steeds grote groepen personen moeten audiometreeren om vast te kunnen stellen in hoeverre het lawaai tot gehoorverliezen heeft geleid. Men dient de resultaten steeds te vergelijken met de audiogrammen van een controlegroep, bijv. van personen met gemiddeld dezelfde leeftijd, die niet aan lawaai zijn blootgesteld geweest. Naarmate de groepen groter zijn, zal het gemiddelde betrouwbaarder zijn. Het is steeds een groot probleem in gevallen waarin slechts enkele personen in lawaai werken vast te moeten stellen of dit lawaai schadelijk is, vooral wanneer het lawaainiveau niet zeer hoog ligt.

V r a a g : Is er een hoogste grens aan te geven, waaronder een lawaaispectrum moet blijven om voor een grote groep veilig te zijn?

A n t w o o r d : Bij de huidige stand van het onderzoek naar de beschadigingskansen van het gehoororgaan ten gevolge van lawaai, leek het mij niet verantwoord in mijn voordracht dB-niveaus te noemen die zeker geen gehoorverliezen zullen geven. Nu dit toch expliciet gevraagd wordt, moge ik hierop antwoorden, dat m.i. boven 1500 Hz lawaainiveaus beneden 75 dB/oct. i.v.m. het feit dat geen gevallen bekend zijn waarbij lagere niveaus gehoorbeschadigingen ten gevolge hadden, als veilig kunnen worden beschouwd, ook wanneer het personeel hieraan regelmatig is blootgesteld. Beneden 1500 Hz zal men meer lawaai mogen toelaten; de helling van de curve kan men ongeveer evenwijdig stellen aan de kromme van *Hardy* (zie figuur 1).

V r a a g : Heeft het zin om de mate van beroeps- (lawaai)hardhorendheid te vergelijken met de presbycusis, zodat voor leken een begrijpelijke maat voor het lawaaidoofheidsrisico gegeven kan worden?

A n t w o o r d : De beroepshardhorendheid vindt zeer waarschijnlijk zijn oorsprong op een andere plaats in het gehoororgaan dan de presbycusis, terwijl ook het verloop als functie van de frequentie van de beide gehoorverliezen niet geheel vergelijkbaar is. Bovendien komt men in moeilijkheden als er sprake is van grote gehoorverliezen die geen equivalent vinden in de presbycusis op een bepaalde leeftijd. Om deze redenen acht ik het minder juist de mate van gehoorverlies ten gevolge van lawaai uit te drukken in een maat, die aan de presbycusis is ontleend. Wel kan men uiteraard ter illustratie deze twee met elkaar vergelijken om een indruk te geven welke bezwaren de gehoorverliezen, die door lawaai ontstaan, met zich meebrengen.

V r a a g : Is er een laagste grens waarboven lawaainiveaus altijd onveilig zijn?

A n t w o o r d : Hier geldt weer dezelfde restrictie als bij de beantwoording van de tweede vraag. M.i. kan men stellen dat boven 1500 Hz niveaus boven 95 dB/oct. steeds schadelijk zullen zijn bij regelmatige expositie. Onder 1500 Hz zal de curve ook weer als ongeveer evenwijdig met het criterium van *Hardy* mogen worden beschouwd. In alle gevallen, waarin het lawaainiveau in één of meer octaafbanden tussen de hier en in het antwoord op de tweede vraag genoemde niveaus ligt, is een gehooronderzoek van het personeel geboden om uit te kunnen maken in hoeverre het lawaai schadelijk is.

F. J. v. d. STEEN, arts:

V r a a g : Bij de proefstands voor straalmotoren van de K.L.M. hebben we te maken met zeer hoge lawaainiveaus waaraan het personeel steeds gedurende korte tijd is blootgesteld. Eerst zijn Nosonic oorkappen gebruikt, vervolgens Grason-Statler, terwijl momenteel Straightaway oorkappen in gebruik zijn, die nog het beste bevalen. Zijn deze kappen U bekend en welke fabrikant vervaardigt kappen die i.v.m. het verminderen van beengeleiding een groot gedeelte van het hoofd omsluiten?

Ir. R. PLOMP:

A n t w o o r d : De Straightaway oorkappen zijn mij inderdaad bekend. De geluiddemping van deze kappen bleek bij onderzoek in ons instituut praktisch gelijk te zijn aan de geluiddemping van de Nosonic oorkap (zie figuur 7). Het is zeer wel mogelijk, dat het personeel de Straightaway gehoorbeschermer preferert boven de Nosonic, i.v.m. het feit dat de laatste sterker tegen het hoofd drukt. Kappen, die een groot gedeelte van het hoofd omsluiten worden vervaardigd door Bill Jack Cie, Solana Beach, California (U.S.A.); de importeur is Handelmaatschappij Avio-Diepen N.V., vliegveld Ypenburg, Den Haag.

Vragen van ir. H. B. BOUWMAN, beantwoord door ir. R. PLOMP:

V r a a g : Waren de niveaus bij het diagram voor de isotraumatische lijn aangegeven in dB/oct. en had deze lijn betrekking op 5 dB gehoorverlies?

A n t w o o r d : Inderdaad.

V r a a g : Treedt dit gehoorverlies, als gevolg van hevige ruis in één band, over het gehele spectrum op?

A n t w o o r d : Neen, het tijdelijke gehoorverlies heeft de vorm van een lawaaidip, waarvan het maximum ligt op een frequentie ca. ½ octaaf boven het midden van de ruisband.

inschakelen bij de strijd tegen het lawaai, en moet men niet ook zoeken naar nieuwe technieken, die een kleinere geluidproduktie met zich brengen?

Ir. G. J. VAN OS:

A n t w o o r d : Het voorbeeld dat U aanhaalt is inderdaad voor de lawaaibestrijder een bijna hopeloos geval, waar alleen individuele beschermingsmiddelen schijnen te helpen, al kan men wellicht overwegen grote stukken metaalplaat tijdens de bewerking te dempen door er met behulp van elektromagneten plaatselijk zware gewichten

via een tussenlaag op te klemmen. Veelal wordt echter door de arbeiders al of niet bewust extra lawaai gemaakt, waardoor het succes van maatregelen geheel of gedeeltelijk teniet wordt gedaan. Opvoeding is hierbij even belangrijk als zij is in de strijd tegen onnodig verkeersruoer.

Wat betreft de wenselijkheid om waar mogelijk lawaai-erige technieken door stille te vervangen ben ik het geheel met U eens. Lassen i.p.v. klinken zou, zoals U opmerkte, een mooi voorbeeld zijn, als aan de lastechniek niet het bepaald niet stille afhakken en afslijpen van de lasnaden was verbonden.

