

Lawaaiproblemen in de krijgsmacht

Overdruk uit
DE MILITAIRE SPECTATOR 136(1967)P417
MOORMANS PERIODIEKE PERS N.V.
ZWARTEWEG 1 - DEN HAAG

dr. ir. R. Plomp

Plaatsvervangend directeur Instituut voor Zintuigfysiologie RVO-TNO, Soesterberg

Onder deze titel werd op 5 april 1967 in het Instituut voor Zintuigfysiologie van de Rijksverdedigingsorganisatie TNO te Soesterberg een symposium gehouden, waarvoor ca. vijftig personen, behorende tot de verschillende krijgsmachtdelen, waren uitgenodigd. Het doel van deze bijeenkomst was grotere bekendheid te geven aan de onderzoeken over de invloed van lawaai die in de loop van ruim tien jaar ten behoeve van de krijgsmacht in het Instituut voor Zintuigfysiologie zijn verricht. Na een welkomstwoord van prof. dr. G. J. Slzoo, voorzitter van de Rijksverdedigingsorganisatie TNO, werden onder voorzitterschap van dr. ir. P. L. Walraven, directeur van het Instituut, door enige medewerkers de volgende voordrachten gehouden:

dr. ir. R. Plomp: „Gehoorverliezen door lawaai“;
ir. L. C. W. Pols: „Geluidniveaus van lichte vuurwapens en akoestiek van schietbanen“;
ir. T. Houtgast: „Sprakcommunicatie in lawaai“;
ir. L. C. W. Pols: „Bandbreedtebeperking en automatische spraakdetectie“;
dr. A. F. Sanders: „Invloed van lawaai op de werkprestaties“;
dr. ir. R. Plomp: „Signaaldetectie in lawaai“.

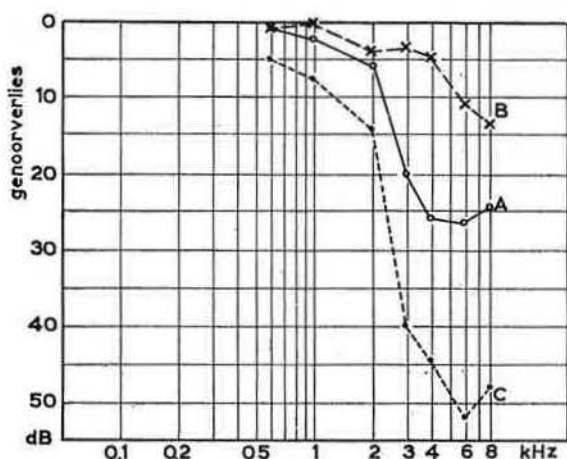
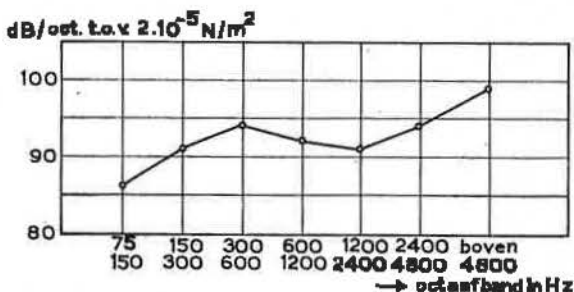
In dit artikel zal een samenvatting van deze voordrachten worden gegeven, waarbij de meer praktische aspecten enige voorrang zullen hebben.

Het lawaai als probleem

Door de voortdurend toenemende mechanisatie dreigt onze samenleving meer en meer overspoeld te worden door lawaai, waarbij ik me hier aan de gangbare, maar niet geheel bevredigende definitie wil houden dat lawaai *ongewenst geluid* is. Voor een groot deel wordt dit lawaai veroorzaakt door machines, waarbij de verbrandingsmotor als één van de belangrijkste lawaaiproductanten moet worden aangemerkt. Daarnaast speelt bij de krijgsmacht nog een ander type lawaai een grote rol, namelijk de mondingsknal van vuurwapens.

Wanneer we ons hier tot de inwerking van het lawaai via het gehoororgaan beperken, kunnen we een drietal nadelige gevolgen van hoge lawaainiveaus onderscheiden:

1. het lawaai kan het gehoororgaan beschadigen, waardoor gehoorverliezen ontstaan;
2. het lawaai kan de waarneembaarheid van ande-



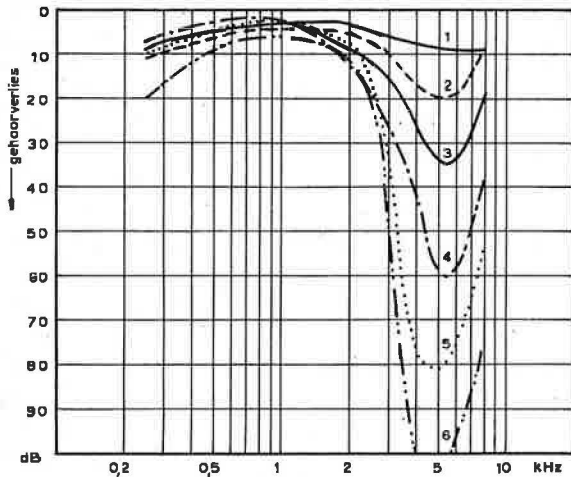
Afb. 1 Geluidsspectrum van lawaai waaraan arbeiders dagelijks waren blootgesteld en het gemiddeld gehoorverlies na meer dan tien jaren van 36 personen (kromme A), hiervan 13 personen met de geringste gehoorverliezen (kromme B) en 18 personen met de grootste verliezen (kromme C)

re geluiden, waarvan de spraak de belangrijkste is, moeilijk of onmogelijk maken;

3. het lawaai kan op het psychische vlak hinderlijk zijn, hetgeen zich o.a. kan uiten in verhoogde prikkelbaarheid, gevoel van onbehagen en verminderde werkprestaties.

Gehoorverliezen door lawaai

Het is reeds lang bekend dat personen die dagelijks blootstaan aan lawaai met een hoog geluidniveau hierdoor gehoorverliezen krijgen. Sinds het in gebruik komen van elektronische apparatuur om de gehoordrempel te meten, de zg. *audiometer*, weten we hoe deze gehoorverliezen zich manifesteren. Afb. 1 geeft een illustratie [1]. De bovenste grafiek geeft het geluidsspectrum weer van het lawaai waaraan



Afb. 2 Gemiddeld gehoorverlies van 43 schietinstructeurs, verdeeld in zes groepen:

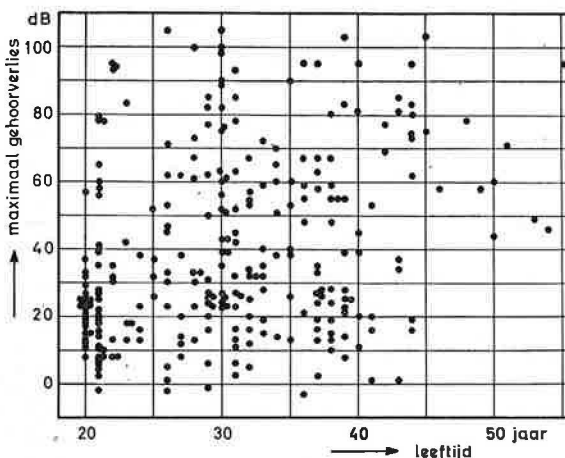
1. 6 personen met maximaal gehoorverlies tussen 0 en 20 dB;
2. 7 personen met maximaal gehoorverlies tussen 20 en 40 dB;
3. 13 personen met maximaal gehoorverlies tussen 40 en 60 dB;
4. 10 personen met maximaal gehoorverlies tussen 60 en 80 dB;
5. 5 personen met maximaal gehoorverlies tussen 80 en 100 dB;
6. 2 personen met maximaal gehoorverlies boven 100 dB

arbeiders dagelijks waren blootgesteld. Het geluidsdrukkniveau wordt uitgedrukt in dB (decibel) volgens

$$\text{geluidsdrukkniveau in dB} = 20 \cdot 10 \log \frac{P}{P_0}$$

met P_0 als referentie-geluidsdruk van $2 \cdot 10^{-5}$ Newton/m², ongeveer overeenkomend met de gehoordrempel bij 1000 Hz. Verticaal is uitgezet het geluidsdrukkniveau per (elektrische) filterband ter breedte van één octaaf. De onderste grafiek geeft het gemiddeld gehoorverlies van personen die tien jaar of langer in dit lawaai hadden gewerkt. Dit gehoorverlies is het verschil tussen de gemeten gehoordrempel en de normale gehoordrempel van jonge personen, eveneens uitgedrukt in dB. Het is gebruikelijk dit verlies niet naar boven maar naar beneden uit te zetten. De grafiek illustreert twee eigenschappen van de door lawaai, zoals dat in de praktijk

Afb. 3 Maximaal gehoorverlies, gemiddeld over linker en rechter oor, van 269 personen, uitgezet als functie van de leeftijd



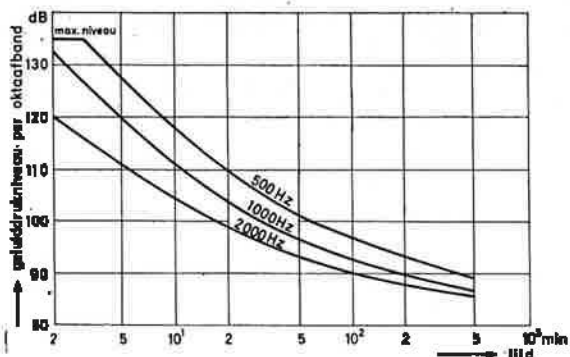
aanwezig is, veroorzaakte gehoorschadigingen: het grootste verlies treedt op bij 4000 à 6000 Hz en het verlies is voor sommige personen veel groter dan voor anderen.

Hetzelfde vinden we terug bij een eigen onderzoek van militairen die veelvuldig blootgesteld waren geweest aan het lawaai van lichte vuurwapens [2] (afb. 2). Gebleken is, dat de grootte van het maximale gehoorverlies een goede maat voor de gehoorschadiging is. In afb. 3 is deze waarde van 269 personen, meest schietinstructeurs, als functie van de leeftijd uitgezet [3]. Ook hier valt de grote spreiding direct op, hetgeen betekent dat de gevoeligheid voor lawaai van persoon tot persoon sterk uiteenloopt.

Op de vraag waardoor dergelijke gehoorverliezen ontstaan, wil ik slechts met een enkele opmerking ingaan. De geluidtrillingen worden via het trommelvlies, de middenoorbeentjes en de vloeistof van het binnenoer overgebracht op de zg. basilaire membraan en het zich daarop bevindende orgaan van Corti. Dit orgaan dat de mechanische trillingen omzet in zenuwactiviteiten is zeer kwetsbaar voor hoge geluidniveaus; na eenmalige expositie kan nog een volledig herstel plaatsvinden, maar bij dagelijkse blootstelling treedt blijvende beschadiging op.

Voor de praktijk is de belangrijkste vraag: welke geluidsdrukkniveaus zijn nog toelaatbaar ten einde gehoorschadiging te voorkomen? We zullen hier deze vraag behandelen voor continu lawaai, terwijl bij de bespreking van de geluidsdrukkniveaus van het lawaai van lichte vuurwapens nog iets gezegd zal worden over de tolerantiegrens voor dat type lawaai.

Gedurende de laatste jaren zijn verscheidene onderzoeken verricht over de nog toelaatbare geluidsniveaus, zowel met behulp van laboratoriummetingen waarbij de grootten van *tijdelijke* gehoorverliezen werden bepaald (zie o.a. [4]) als met behulp van praktijkstudies waarin werd nagegaan hoe het *permanente* gehoorverlies toeneemt met het geluidsniveau van het lawaai waaraan men dagelijks gedurende verscheidene jaren is blootgesteld geweest (zie o.a. [1]). Op grond van deze research is door de ISO (International Organization for Standardization) een voorstel gedaan dat een grote kans heeft internationaal te worden aanvaard. Dit voorstel gaat er van uit dat 10% van personen die dagelijks gedurende hun werktijden ononderbroken aan lawaai zijn blootgesteld na tien jaar of langere tijd geen groter gehoorverlies mag hebben dan 25 dB, gemiddeld over 500, 1000 en 2000 Hz. Dit criterium is vooral gericht op behoud van het voor de spraak essentiële frequentiegebied. Gesteld wordt dat daarvoor het geluidsdrukkniveau in de octaafband rond 500 Hz niet hoger mag zijn dan 89 dB, rond 1000 Hz niet hoger dan 87 dB en rond 2000 Hz niet hoger dan 85 dB. Is het lawaai niet de gehele dag, maar gedurende een kortere tijd aanwezig,



Afb. 4 Toelaatbaar geluidsniveau in drie octaafbanden als functie van de duur van één ononderbroken blootstelling aan het lawaai per dag

dan gelden de krommen van afb. 4. Voor een meer ingewikkeld expositiepatroon is ook de bepaling van het toelaatbare geluidsniveau ingewikkelder. De bovenstaande gegevens kunnen echter als een goede leidraad gelden. Wanneer men echter in een bepaald geval niet zeker is of het lawaai al of niet als acceptabel kan worden beschouwd of wanneer het geluidsspectrum beneden of boven het frequentiegebied van 500 tot 2000 Hz boven de genoemde waarden voor deze frequenties uitkomt, is audiometrisch onderzoek van de in het lawaai werkende personen gewenst.

We moeten ons wel realiseren dat het geluidsniveau in de praktijk in vele gevallen hoger is dan de gegeven tolerantiegrens. In de loop der jaren zijn door het Instituut talrijke geluidmetingen verricht die hebben aangetoond dat de geluidsniveaus in bv. de machinekamers van schepen, met name bij snellopende dieselmotoren, in rupsvoertuigen en in werkplaatsen (bv. vandiktebank en cirkelzaag) veelal niet aan de gestelde eis voldoen.

Wanneer dit het geval is, dienen maatregelen te worden genomen. De beste methode is het lawaai van de geluidbron zelf te reduceren. Ook kan men met behulp van wanden e.d. zorgen dat het geluid op de weg van bron tot oor zoveel mogelijk wordt

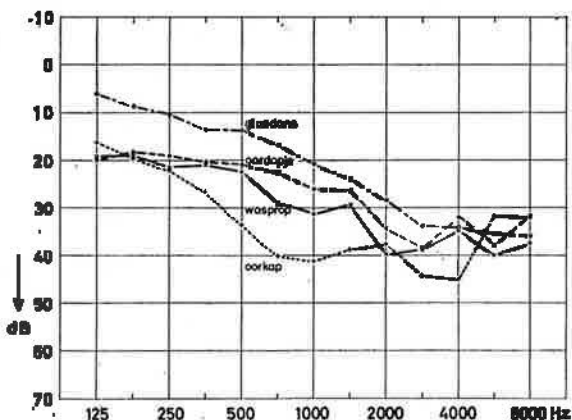
verzwakt. Een derde mogelijkheid, die echter pas in aanmerking behoort te komen als de zojuist genoemde maatregelen niet toereikend blijken, is het gebruik van persoonlijke beschermingsmiddelen zoals oordopjes of waspropgen die in de gehoorgang worden aangebracht of vorkappen die de gehele oorschelp omsluiten. Afb. 5 laat zien welke geluidverzwakking met enkele representatieve gehoorbeschermers kan worden bereikt [5] [6].

Geluidsniveaus van lichte vuurwapens

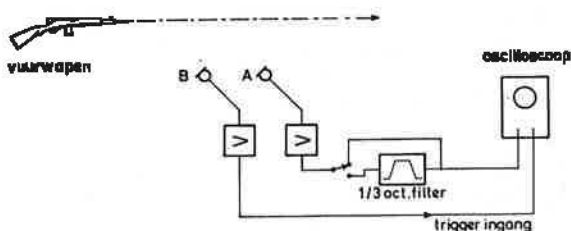
Zoals de afb. 2 en 3 illustreerden, veroorzaakt het schieten met lichte vuurwapens ernstige gehoorverliezen, vooral bij hoge frequenties. Daar het allereerst van belang is na te gaan hoe het met de geluidproductie van de bron zelf staat, is naast audiometrisch onderzoek grotere kennis van de door de wapens geproduceerde geluidsniveaus gewenst. Door het Instituut zijn hiervoor metingen verricht die nog niet zijn afgesloten, maar waarvan enige resultaten reeds kunnen worden meegedeeld [7].

Het meten van de mondingsknal is een groot probleem. We kunnen hiervoor door de snelheid van het verschijnsel geen geluidsniveaumeter gebruiken, maar zijn aangewezen op het aflezen van de uitslag op het scherm van een kathodestraalbuis. Afb. 6 geeft een idee van de meetopstelling. De meetmicrofoon A is een zg. condensatormicrofoon van hoge kwaliteit die frequenties tot ca. 80.000 Hz nog kan meten. De microfoon B staat iets dichterbij het wapen en heeft de functie de tijdbasis van de oscilloscoop te starten juist voordat de knal de microfoon A bereikt. Daardoor kan de kathodestraalbuis het drukverloop volgen en met een camera kan dit verloop blijvend worden vastgelegd.

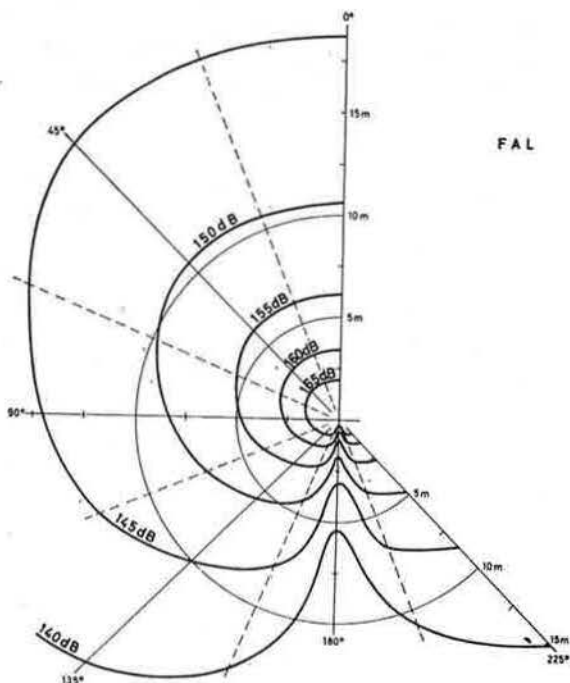
Met behulp van deze apparatuur is het geluidsniveau op een groot aantal punten rondom verschillende vuurwapens bepaald. Afb. 7 geeft als voorbeeld het richtingsdiagram van het geluid van de FAL. De oorsprong van het assenstelsel valt samen met de mond van het wapen, en de afvuur-



Afb. 5 Geluidverzwakking van vier gehoorschermers; Billeholmglastons, Focus Veilig-oordopjes, waspropgen en Willsen-oorkappen



Afb. 6 Meetopstelling voor het bepalen van het geluidsniveau van de mondingsknal van vuurwapens



Afb. 7 Richtingsdiagram van het maximale geluidrukniveau van de FAL

richting is naar boven. De dikke lijnen verbinden de punten waar het geluidrukniveau van de knal gelijk is. We zien dat het geluidniveau achter het wapen veel sneller afneemt dan vóór het wapen. Bij het linker oor van de schutter werd een waarde van 161 dB gemeten, hetgeen uitstekend overeenkomt met recente in Engeland en de Verenigde Staten gevonden waarden. Het is van belang er op te letten dat het geluidniveau op een afstand van ca. 2,5 m, ongeveer overeenkomende met de afstand tussen de schietpunten op een schietbaan, minstens even hoog is. Dit betekent dat het wapen van de naburige schutter een minstens even sterk gehoorbeschadigend effect heeft als het eigen wapen. Daarnaast is nagegaan hoe het frequentiespectrum er uit ziet. Gebleken is dat dit spectrum boven ca. 500 Hz bijzonder vlak is tot hoge frequenties toe. Bovendien zijn verschillende wapens met elkaar vergeleken. Bij het linker oor van de schutter werden de volgende niveaus gevonden: FAL 161 dB; MAG 154 dB; UZI 153 dB; karabijn 147 dB; pisool 159 dB.

Bij het rechter oor blijken, door de enigszins afscherpende werking van het hoofd, de geluidniveaus ongeveer 3 dB lager te liggen.

De vraag is nu, welk geluidrukniveau bij dit type lawaai toelaatbaar is. Een recent Engels-Amerikaans voorstel spreekt van 150 à 160 dB [8]. Onzes inziens is dit, gezien de grote gehoorverliezen die gevonden zijn (afb. 2 en 3), aan de optimistische kant. Daarentegen weten we op grond van het feit dat wasproppen een afdoende bescherming

bieden, dat 120 à 130 dB veilig is [9]. De tolerantiegrens zal tussen deze waarde en de gevonden geluidniveaus liggen; 140 dB lijkt daarom een redelijke waarde.

Akoestische maatregelen aan schietbanen

Uiteraard zou het probleem van de gehoorbeschadigingen ten gevolge van het schieten met lichte wapens het meest doeltreffend op te lossen zijn, wanneer het door het wapen geproduceerde lawaai zou kunnen worden gereduceerd. Hoewel hiertoe mogelijkheden aanwezig zijn en met behulp van geluiddempers goede resultaten zijn bereikt, wordt deze aanpak momenteel niet toegepast. Men zal daarom moeten trachten het geluid op de weg tussen bron en oor met behulp van schotten e.d. zoveel mogelijk te verzwakken. Langs deze weg is ter verzwakking van het geluid van het wapen van de naburige schutters op schietbanen wel iets te bereiken. Zo is bij een bepaald scherm een verzwakking van ca. 13 dB gevonden [10]. Ook de instructeur zou in de „geluidschaduw” van dit scherm kunnen gaan staan, hetgeen echter i.v.m. zijn taak bezwaren met zich mede blijkt te brengen. We moeten echter wel beseffen dat het niet mogelijk is de schutter zelf tegen het door zijn wapen geproduceerde lawaai af te schermen, zodat persoonlijke beschermingsmiddelen (oordopjes, wasproppen of oorkappen) noodzakelijk blijven. Een bezwaar blijft dat hierdoor tevens de spraakcommunicatie wordt belemmerd.

Teneinde de kans op gehoorbeschadiging op schietbanen zo klein mogelijk te maken en eveneens de geluidhinder zoveel mogelijk te reduceren, dient de baan uit akoestisch oogpunt gunstig te worden uitgevoerd. Voor poortkokerbanen betekent dit dat geluidreflecterende wanden moeten worden vermeden of anderszodanig moeten worden uitgevoerd dat het gereflecteerde geluid naar boven wordt afgestraald. Door schrijver dezes is enkele jaren geleden hierover een rapport samengesteld, waarin deze materie uitvoeriger is beschreven [11].

Bij geheel gesloten kokerbanen zijn akoestische maatregelen gebiedende eis [12]. Hiertoe behoort in de eerste plaats een bekleding van de wanden van de ruimte van waaruit geschoten wordt en tevens van de baan zelf met geluidabsorberend materiaal, teneinde de nagalm van de knal, veroorzaakt door de herhaalde reflecties van het geluid tegen de wanden, zoveel mogelijk te verminderen. Bovendien dienen de ventilatiekanalen van geluidabsorberende bekleding te worden voorzien, zodat zo weinig mogelijk lawaai langs deze akoestische „lekken” naar de omgeving wordt afgestraald. Met behulp van deze maatregelen kunnen uitstekende resultaten worden bereikt (voorbeeld: de kokerschietbaan van de Kon. Luchtmacht in fort Honswijk te Schalkwijk (Utr.)).

Spraakcommunicatie in lawaai

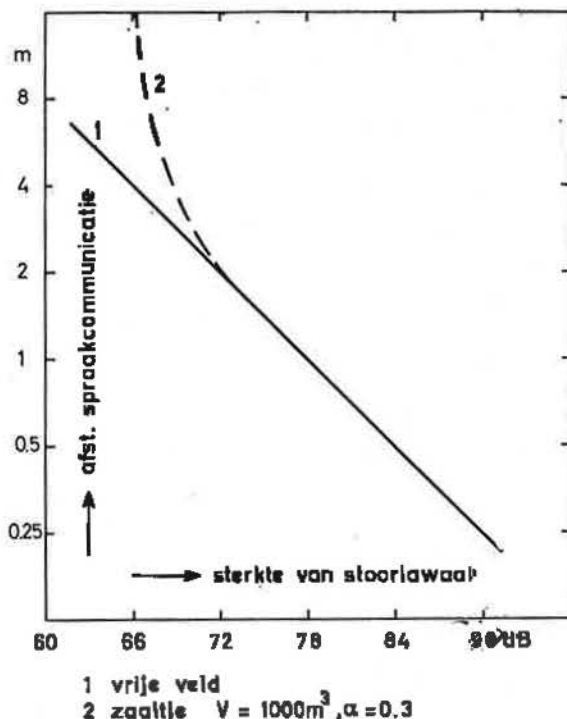
Ook al heeft men een geluidniveau dat nog niet tot gehoorbeschadiging leidt, dan kan dit lawaai om andere redenen een groot probleem zijn. Het belangrijkste is wel, dat het verstaan van de spraak in ernstige mate belemmerd wordt. Hierop zullen we nu wat dieper ingaan (zie voor uitvoerig overzicht [13]).

Afb. 8 geeft ter oriëntatie aan over welke afstand directe spraakcommunicatie bij luid spreken nog mogelijk is wanneer de spreker en de luisteraar aan hetzelfde lawaai zijn blootgesteld. Hierbij is er van uitgegaan dat het lawaai een tamelijk vlak geluidsspectrum heeft, zoals vaak het geval is. De aangegeven waarden van het geluidniveau hebben betrekking op het totale geluid, gesommeerd over alle frequenties. De gestippelde kromme geeft aan dat in een gesloten ruimte, dank zij de reflecties van het spraaksignaal tegen de wanden, de situatie bij niet te hoge geluidniveaus enigszins gunstiger kan zijn dan in de open lucht.

De hoorbaarheid van akoestische signalen, waaronder ook de spraak, wordt in hoge mate bepaald door de zg. *signaal-ruisverhouding*, waarbij het lawaai als ruis wordt aangemerkt. De signaal-ruisverhouding is het geluidniveau van het signaal minus het geluidniveau van het lawaai, beide uitgedrukt in dB. Is in een bepaald geval het geluidniveau van het lawaai bv. 5 dB hoger dan in een ander geval, dan moet ook het signaal 5 dB sterker zijn om even duidelijk te worden waargenomen.

Wanneer de signaal-ruisverhouding bij spraak te klein is om een aanvaardbare verstaanbaarheid te waarborgen, dan dienen maatregelen getroffen te worden. Deze maatregelen kunnen noodzakelijk zijn aan de zenzijde (bij de spreker) of aan de ontvangzijde (bij de luisteraar). Alvorens in te gaan op de wegen waarlangs de spraakverstaanbaarheid kan worden verbeterd, zullen we eerst bespreken op welke wijze deze verstaanbaarheid kan worden gemeten [14]. Meestal verdient het voorkeur het communicatiekanaal als één geheel te onderzoeken met behulp van het gesproken woord.

Wanneer deze metingen in het laboratorium kunnen worden uitgevoerd, maakt men hierbij meestal gebruik van zg. *logatomen*. Dit zijn losse woordjes bestaande uit een medeklinker, gevolgd door een klinker en weer een medeklinker, zoals *pit, loeg, kal* enz. In principe hebben de woorden geen betekenis, hoewel dit toevallig natuurlijk wel het geval kan zijn. Van deze woorden worden lijsten van 50 stuks gebruikt, die zo zijn samengesteld dat het aantal keren dat de verschillende medeklinkers en klinkers in de lijst voorkomen representatief is voor de taal. Met behulp van deze lijsten en enige sprekers en luisteraars kan een vrij exacte indruk van de kwaliteit van een telefoniesysteem worden verkree-



Afb. 8 Afstand over welke directe spraakcommunicatie nog mogelijk is als functie van het geluiddrukniveau van het lawaai

gen. Gevonden is dat wanneer meer dan ca. 30% van de logatomen door de luisteraars correct wordt genoteerd, de verbinding als voldoende kan worden beschouwd voor het verstaan van lopende zinnen.

Voor praktijkbeproevingen zijn deze logatoomlijsten echter niet zo geschikt, daar training van de luisteraars nodig is om constante resultaten te verkrijgen. Daarom is hiervoor in het Instituut een zg. *rijmtest* ontwikkeld. Hierbij wordt aan zenzijde bv. het woord *neer* uitgesproken, terwijl de luisteraar een lijstje van vier mogelijkheden heeft: *leer, neer, meer* en *weer*. Deze woorden hebben alle vier taalkundige betekenis en hij moet aanstrepen welk woord z.i. uitgesproken is. Hierbij worden dus in feite alleen medeklinkers onderzocht, hetgeen geen groot bezwaar is daar deze door de geringere verstaanbaarheid hoofdzakelijk de kwaliteiten van een verbinding bepalen. De rijmtest blijkt in praktijk-situaties, bv. in rijdende tanks, waarbij het personeel zelf de woorden uitsprekt en beluistert, uitstekend te voldoen. Ook hier wordt van lijsten gebruik gemaakt, bestaande uit 50 woorden. Wordt meer dan ca. 66% van de juiste woorden aangestreept, dan betekent dit een voldoende verstaanbaarheid voor lopende zinnen.

Laten we nu in het kort nagaan op welke wijzen aan zend- en ontvangzijde voor een zo gunstig mogelijke signaal-lawaaiverhouding kan worden gezorgd.

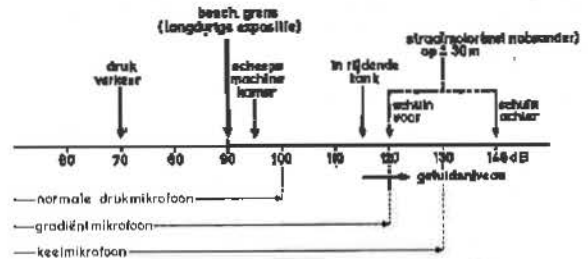
Aan de zenzijde is vooral de keuze van de microfoon belangrijk. Wanneer met een normale drukmicrofoon onvoldoende resultaten worden bereikt, kan men gebruik maken van een zg. *gradiëntmicrofoon* die de aantrekkelijke eigenschap heeft dat zij veel gevoeliger is voor een geluidbron op kleine afstand (de mond) dan op grote afstand (de lawaai-bron) [15]. Het is daarom van belang dat dit type microfoon zo dicht mogelijk voor de mond wordt gehouden. Het is in de praktijk gebleken dat het aanbrengen van een filter dat de hoge tonen sterk verzwakt een aanmerkelijke verbetering van de verstaanbaarheid geeft.

Vokloet ook de *gradiëntmicrofoon* niet meer, dan kan nog een goede kwaliteit *keelmicrofoon* worden toegepast. Daar deze microfoon haar ongevoeligheid voor omgevingslawaai paart aan verminderde verstaanbaarheid van de medeklinkers, dient pas op de keelmicrofoon te worden overgegaan wanneer het geluidniveau uitzonderlijk hoog is; bij lagere niveaus zijn de andere typen microfoon belangrijk gunstiger. Afb. 9 laat zien tot welke geluidniveaus de genoemde microfoons bruikbaar zijn.

Aan de ontvangzijde is het eveneens van belang de signaal-ruisverhouding zo groot mogelijk te maken. Men kan dit in principe op twee manieren bereiken, nl. door het spraaksignaal te versterken en door het lawaai te verzwakken. Aan de eerstgenoemde mogelijkheid zijn vaak grenzen gesteld door het uitgangsvermogen van de versterker en van de telefoon, terwijl ook moet worden gezorgd dat met het oog op mogelijke beschadiging van het gehoororgaan het geluidniveau van de spraak niet te hoog ligt. Het toepassen van zg. „peak-clipping” waarbij de amplitude van het signaal in de versterker wordt begrensd, kan hierbij nog enige uitkomst bieden, alsmede het gebruik van gehoorbeschermers in de gehoorgang die zowel het spraaksignaal als het lawaai verzwakken en dus de signaal-ruisverhouding niet aantasten (in feite neemt bij hoge geluidniveaus de verstaanbaarheid hierbij zelfs iets toe). De andere mogelijkheid is het verzwakken van het lawaai door gebruik te maken van goed afsluitende telefoonschelpen of -kappen. Hiermee is, zoals de praktijk heeft aangetoond, vaak nog veel te bereiken, daar een goede oorkap (zie afb. 5) het lawaai in het voor de spraak belangrijke gebied 30 tot 40 dB verzwakt. Wordt het spraaksignaal via een luidspreker weergegeven, dan moet er voor worden gezorgd dat de spraak en het lawaai zoveel mogelijk uit verschillende richtingen komen. Dit geldt uiteraard ook voor andere akoestische signalen.

Bandbreedtebeperking en automatische spraakdetectie

De zojuist behandelde problematiek van het verkrijgen van een aanvaardbare spraakoverdracht heeft in het Instituut tot de vraag geleid waardoor in feite



Afb. 9 Overzicht van de gebieden waarover de verschillende typen microfoon bruikbaar zijn

te de verstaanbaarheid van spraak bepaald wordt. Wanneer hierover meer kennis bestaat, zou dit belangrijke gevolgen kunnen hebben voor de mogelijkheden van spraakoverdracht, bv. door uitsluitend de voor de detectie van spraak essentiële factoren over te zenden, hetgeen tot een aanzienlijke bandbreedtebeperking van het kanaal zou leiden. Daarnaast zou men deze detectie niet door de mens maar door een apparaat kunnen doen plaatsvinden, waarbij de spraak langa visuele weg wordt herkend of met behulp van een „fonetische” schrijfmachine wordt vastgelegd.

Onderzoek in deze richtingen is reeds omstreeks 1920 in de Verenigde Staten gestart en het is hierbij wel gebleken dat de weg naar het succes uiterst moeizaam begaanbaar en slecht afgebakend is.

Op basis van binnen het Instituut verricht gehooronderzoek is getracht volgens een andere dan de tot nog toe gebruikte methoden enig inzicht te verkrijgen in de mogelijkheden de voor de herkenning essentiële gegevens uit het spraaksignaal af te leiden. Het is niet goed mogelijk de hierbij gevolgde gedachtegang in dit bestek uiteen te zetten en daarom moge ik volstaan met enkele opmerkingen.

Uitgangspunt is, dat het gehoororgaan een frequentie-analyse van het geluid uitvoert, waarbij de bandbreedte van de „filters” van het oor redelijk goed vergelijkbaar zijn met 1/3-octaf filters (bv. 100—125 Hz, 125—160 Hz enz.). Voor het gehele spraakfrequente gebied kunnen we volstaan met ca. 18 bandfilters. Voorzover het gehoororgaan de detectie van spraakklanken baseert op het frequentiespectrum, dus op de uitgangsniveaus van 18 bandfilters — en dit is in hoge mate het geval — kan elke spraakklank beschreven worden door 18 getallen, nl. de geluidniveaus in de verschillende frequentiebanden. De vraag is echter of inderdaad 18 getallen nodig zijn om de voor de detectie essentiële verschillen tussen de spraakklanken vast te leggen.

Er zijn in de laatste jaren nieuwe statistische technieken ontwikkeld die gebruikt kunnen worden om deze vraag te beantwoorden en tevens aangeven hoeveel getallen voldoende zijn. Toepassing van deze technieken zowel op klinkers als medeklinkers heeft getoond dat, wanneer men een scheiding

maakt tussen klinkers plus stemhebbende medeklinkers enerzijds en stemloze medeklinkers anderzijds, de detectie van spraakklanken binnen elk van deze groepen door 3 à 5 getallen wordt bepaald. Het is langs deze weg gelukt rekenmethodes te vinden, waarbij met een computer wordt vastgesteld welke spraakklank is uitgesproken. Hierbij is gebleken dat ca. 75 tot 90% correcte antwoorden werden verkregen, hetgeen hoopgevend is. Voor verdere informatie zij naar de publikatie verwezen, waarin een gedeelte van het onderzoek is vastgelegd [16].

Invloed van lawaai op de werkprestatie

Naast een belemmering van de spraakverstaanbaarheid heeft lawaai waarschijnlijk ook invloed op de werkprestatie. Hoe sterk dit effect onder specifieke werkomstandigheden is, staat nog weinig vast en de beschikbare literatuur beperkt zich tot het geven van een aantal suggesties.

In het algemeen kan men wel zeggen dat lawaai overwegend de motivatie voor het werk aantast of in sommige gevallen bevordert. Omdat de motivatie uiteraard nog door een groot aantal andere factoren wordt beïnvloed, is het moeilijk om het effect van lawaai kwantitatief te bepalen.

Lawaai kan afleidend of activerend werken. Het eerste vindt men met name bij perceptieve taken zoals inspectie en controle-arbeid. Activatie vindt men vooral bij overwegend motorische arbeid, en wel speciaal als het lawaai een ritmisch karakter heeft. Verder heeft men ook wel een positief effect van lawaai (continu geruis) gerapporteerd bij werken onder condities van gebrek aan slaap, terwijl uitgeruste proefpersonen onder dezelfde werkomstandigheden meer fouten maakten. Het schijnt dus dat als men ondergeactiveerd is, zoals bij gebrek aan slaap, het lawaai positief werkt, terwijl bij optimale activatie, zoals bij uitgeruste proefpersonen, het lawaai de prestatie negatief beïnvloed [17].

Weinig effect van lawaai wordt gevonden bij kortdurende taken (in principe korter dan een half uur ononderbroken arbeid) en bij geluidrukniveaus beneden 70 dB. Een krachtig effect wordt gevonden bij werk dat hoge aandachtsconcentratie vergt, zoals bij hoofdrekken, waarbij voortdurend reksen getallen even moeten worden onthouden. Verder heeft monotoon lawaai minder effect dan wisselend lawaai, waarschijnlijk omdat men bij het eerste type gemakkelijker adapteert [18].

Al deze kwalitatieve gegevens uit de literatuur zijn gebruikt bij het advies over maximaal toelaatbare lawaainiveaus aan boord van schepen [19] en in het verkeer [20]. Het is duidelijk dat deze richtlijnen een eerste aanzet zijn, die bij het beschikbaar komen van meer specifieke gegevens zeker revisie

behoeven. Het zal echter eveneens duidelijk zijn dat als terrein voor wetenschappelijk onderzoek de studie van het effect van lawaai op de werkprestatie veel voetangels en klemmen heeft.

Literatuur

1. W. A. Rosenblith e.a. — *The relations of hearing loss to noise exposure*. American Standards Association, Exploratory Subcommittee Z 24-X-2 (1954).
2. R. Plomp — *Gehoerverliezen van het personeel van het Infanterie-schietkamp te Harskamp en het Luchtvaartwerieschietkamp te Den Helder*. Rapport WW 1956-1.
3. R. Plomp, D. W. Gravendeel en M. A. Bouman — *Gehoerverliezen ten gevolge van het schieten met lichte vuurwapens*. Rapport WW 1956-9.
4. R. Plomp, D. W. Gravendeel en A. M. Mimpfen — *Relation of hearing loss to noise spectrum*. *J. Acoust. Soc. Am.* 35(1963)1234-1240.
5. R. Plomp en A. M. Mimpfen — *De geluidsdemping van enige gehoorbeschermingsmiddelen*. Rapport IZF 1962-C1.
6. F. van Laar, R. Plomp e.a. — *Geluidsverzwakking van tien verschillende gehoorbeschermingsmiddelen*. *Tijdschr. Soc. Geneesk.* 42(1964)(7).
7. L. C. W. Pols — *Geluidmetingen aan vuurwapens I*. Rapport IZF 1966-21.
8. R. R. Coles, G. R. Garinther e.a. — *Hazardous exposure to impulse noise*. *J. Acoust. Soc. Am.* (ter perse).
9. D. W. Gravendeel, M. A. Bouman en R. Plomp — *Het gehoorverlies ten gevolge van een eerste expositie aan schietlawaai; het effect van gehoorbeschermers*. Rapport WW 1957-5.
10. L. C. W. Pols en A. M. Mimpfen — *De geluidsverzwakking van proefjachermen op de schietbaan te Ossendrecht*. Rapport IZF 1966-16.
11. R. Plomp — *Over de akoestiek van schietbanen*. Rapport IZF 1964-20.
12. D. W. Gravendeel en R. Plomp — *Schietlawaai op kokerbanen*. Rapport IZF 1958-5.
13. R. Plomp — *Verstaanbaarheid bij spraakoverdracht*. Rapport WW 1954-9.
14. T. Houtgast — *Methoden ter bepaling van de spraakverstaanbaarheid van een verbinding*. Rapport IZF 1967-2.
15. T. Houtgast en R. Plomp — *Vergelijkend onderzoek aan gradient-mikrofoons*. Rapport IZF 1965-2.
16. R. Plomp, L. C. W. Pols en J. P. van de Geer — *Dimensional analysis of vowel spectra*. *J. Acoust. Soc. Am.* 41(1967)707-712.
17. D. E. Broadbent — *Differences and interactions between stresses*. *Quart. J. Exp. Psychol.* 15(1963) 205-211.
18. A. F. Sanders — *The influence of noise on two discrimination tasks*. *Ergonomics* 4(1961)253-259.
19. R. Plomp en A. F. Sanders — *Over toelaatbaar lawaai aan boord van oorlogsschepen*. Rapport IZF 1964-7.
20. A. F. Sanders en R. Plomp — *Over toelaatbaar lawaai in het verkeer*. Rapport IZF 1964-16.