

Risico's van lawaai bij de taakuitvoering

Binnen het Instituut voor Zintuigfysiologie (IZF), onderdeel van de Hoofdgroep Defensie Onderzoek van TNO, bestaat een lange traditie van onderzoek op het gebied van gehoorschade en geluidhinder ten gevolge van lawaai, met name van impulsvormig lawaai dat door wapens wordt geproduceerd. Bij hinder kan men denken aan irritatie en schrikreacties bij omwonenden van een schietinrichting, maar ook aan problemen bij de taakuitoefening in de krijgsmacht zelf, zoals bij het waarnemen van signalen en het verstaan van spraak. Op basis van het onderzoek kan worden aangegeven welke maatregelen dienen te worden genomen om gehoorschade te voorkomen, om hinder te minimaliseren en om de communicatie in lawaaiige omstandigheden te optimaliseren.

Een belangrijke vraag met betrekking tot de problemen die optreden bij de taakuitoefening binnen de krijgsmacht is of de genomen maatregelen, die in feite zijn geënt op situaties in vredetijd, ook tijdens oorlogssituaties doelmatig zullen zijn. Een infanterist te velde bv. moet enerzijds in staat zijn zijn commandant te verstaan, waarschuwingsignalen te horen en geluiden van de vijand waar te nemen, maar moet anderzijds zijn gehoor beschermen tegen het hoge impulsgeluid van de moderne zware wapens teneinde gehoorbeschadiging (en diensgevolge verminderde inzetbaarheid) te voorkomen. Dat een gehoorbescherming bij deze afweging als minder belangrijk wordt ervaren bleek bij een recente krijgsoperatie van een modern uitgerust leger waarbij door bijna een derde van de manschappen geen gehoorbescherming werd gedragen, hetgeen een relatief groot percentage lawaaitrauma's tot gevolg had. Het lijkt derhalve noodzakelijk een nadere analyse van de oorlogssituatie te maken, wil men de risico's van lawaai in oorlogstijd adequaat kunnen minimaliseren. Moderne ontwikkelingen, zoals gehoorbeschermers met elektronische versterking van

zwakke signalen, kunnen daarbij wellicht oplossingen bieden.

Gehoorschadiging door lawaai

Het mag bekend worden verondersteld dat harde geluiden een permanente verslechtering van het gehoor kunnen veroorzaken. De schade treedt voornamelijk op in het binnenoor (het slakkehuis), hoewel bij zeer hoge geluidsdrukken tevens schade kan ontstaan aan het trommelveel en de gehoorbeentjesketen. Typische lawaaislechthorendheid uit zich in het slechter kunnen horen van de hoge frequenties, iets wat aanvankelijk nauwelijks opvalt, maar wat bij toenemend verlies tot ernstige problemen bij de communicatie zal leiden. De schade is, zoals reeds vermeld, permanent en kan op geen enkele wijze door operatief ingrijpen of medicatie worden verholpen. Lawaaislechthorendheid gaat bovendien veelal gepaard met voortdurend oorsuizen, dat als stressverhogende factor kan fungeren en waartegen geen doeltreffende remedie bestaat.

De mate van slechthorendheid kan in kaart worden gebracht door het meten van een zg. toonaudiogram. Dat is een grafiek waarin de gehoordrempel voor zuivere tonen van verschillende frequenties staat uitgezet, relatief ten opzichte van de drempel van jonge, normaal horende personen. Als voorbeeld van het effect van regelmatige blootstelling aan schietlawaai zijn in afb. 1 gemiddelde audiogrammen getekend (met het gehoorverlies naar beneden uitgezet) van 43 schietinstructeurs, verdeeld in zes groepen, naar de ernst van het gehoorverlies [1]. Deze grafiek toont twee opmerkelijke aspecten. In de eerste plaats blijkt dat het gehoorverlies bij sommigen fors is; meer dan 100 dB voor de hoge tonen. Dat betekent dat geluid in dit frequentiegebied vrijwel niet meer

wordt gehoord. Overigens moet worden opgemerkt dat deze gegevens geruime tijd geleden zijn verzameld en dat ze betrekking hebben op een groep instructeurs die vaak zonder bescherming had geschoten. In de tweede plaats valt op dat er een enorme spreiding tussen de gehoorverliezen bestaat. Dat zal ten dele zijn veroorzaakt door verschillen in de individuele geluidsbelasting. De belangrijkste oorzaak ligt evenwel in het feit dat de gevoeligheid van het gehoororgaan voor lawaai van persoon tot persoon sterk verschilt. Dat is een factor die een grote rol speelt bij het vaststellen van normen voor de maximaal toelaatbare geluidsbelasting. Die kunnen immers niet worden gebaseerd op de gemiddelde gevoeligheid, aangezien dan de helft van de aan lawaai blootgestelde personen te veel gehoorschade zou oplopen. De grens wordt in de praktijk gelegd bij de 5 à 10% gevoeligste oren.

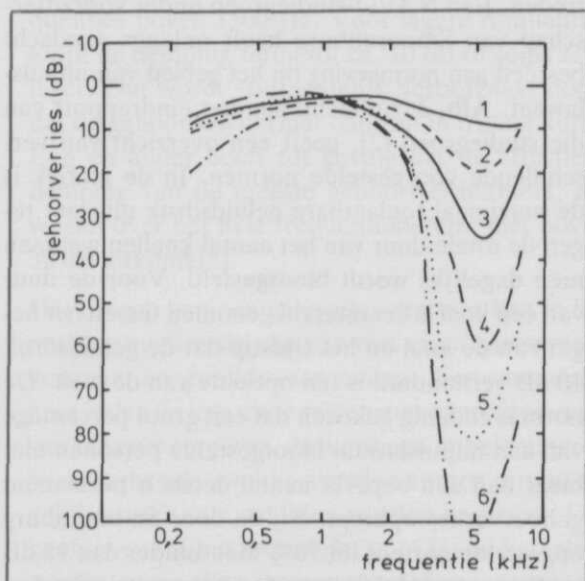
Niet alleen tijdens het schieten treedt bij de taakvervulling binnen de krijgsmacht een hoge geluidsbelasting op. In een tank, helikopter of straaljager heersen eveneens geluidsniveaus die gehoorbescherming noodzakelijk maken. Ook in een werkplaats kan er sprake zijn van een te hoog geluidsniveau ten gevolge van machinelawaai en „impact”-geluiden door klinken en hameren. Verder dient te worden bedacht dat er een groot verschil in geluidsbelasting bestaat tussen lichte en zware wapens. De moderne ontwikkelingen in de richting

van steeds zwaardere wapens gaan gepaard met een verhoging van de geluidsbelasting en een steeds onmisbaarder worden van gehoorbescherming. Uit onderzoek aan proefdieren is bovendien gebleken dat bij extreem hoge geluidsdrukken, die bv. optreden bij lading 9, tevens schade kan ontstaan aan keel, buik of longen (zie appendix 3 van [2]). Overigens worden deze geluidsniveaus in de huidige praktijk niet bereikt.

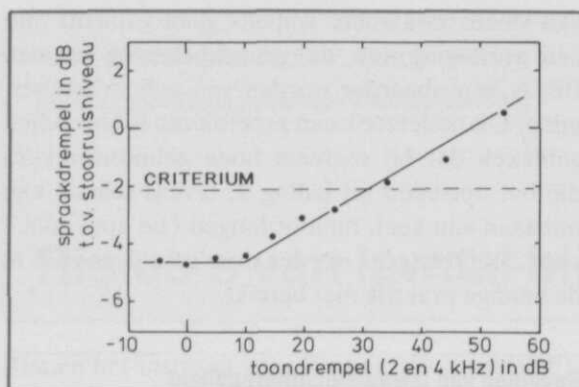
Gevolgen van lawaaislechthorendheid

De belangrijkste eisen die in de militaire praktijk aan het gehoor dienen te worden gesteld zijn: goed spraakverstaan en adequate waarneming van signalen (zoals waarschuwingssignalen en geluiden van de vijand), zowel in stilte als bij omgevingslawaai. Aangezien het gebruikelijk is de schade door lawaai-belasting als toonaudiometrisch verlies weer te geven, is het van belang deze eisen te herleiden tot criteria voor het audiogram.

Recent onderzoek bij het IZF heeft aangetoond dat het bij lawaaislechthorendheid inderdaad mogelijk is op basis van het audiogram een redelijk betrouwbare schatting van de spraakverstaandvaardigheid te maken [3]. Wel moet dan onderscheid worden gemaakt tussen spraakverstaan in stilte en bij lawaai. Uit het onderzoek bleek dat de in stilte gemeten spraakdrempel (het geluidsniveau waarbij spraak juist wordt verstaan) recht evenredig toeneemt met het gemiddelde van de toondrempels bij 500, 1000 en 2000 Hz. Voor de spraakdrempels in lawaai werd een ondubbelzinnig verband gevonden met het gemiddelde van de toondrempels bij 2000 en 4000 Hz. Aangezien de lawaaislechthorendheid het grootst is bij deze hoge frequenties (zie afb. 1), zullen de problemen met spraakverstaan dus eerder optreden in een lawaaiige dan in een rustige luisteromgeving. In afb. 2 is het verband tussen de toondrempels en het spraakverstaan in lawaai grafisch weergegeven. De spraakdrempels zijn hierbij als signaal/ruisverhouding gegeven. Een verhoging van de spraakdrempel van slechts enkele decibels kan een belangrijk effect op het spraakverstaan hebben omdat de verstaanbaarheid van zinnen bij de drempel met ongeveer 20% per dB vermindert. Wordt als criterium voor aanvaardbaar spraakverstaan in lawaai een verhoging genomen van 2,5



Afb. 1 Gemiddelde audiogrammen van 43 schietinstructeurs, verdeeld in zes groepen naar maximaal gehoorverlies



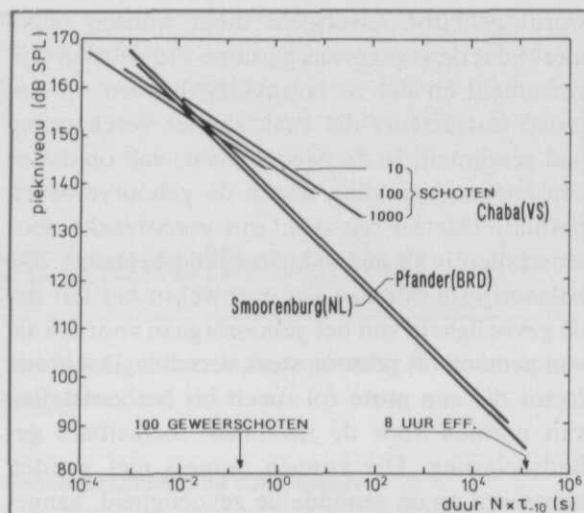
Afb. 2 Drempel voor spraakverstaan in lawaai als functie van het gemiddelde gehoorverlies bij 2000 en 4000 Hz; als criterium is genomen een verslechtering van 2,5 dB ten opzichte van de normale drempel

dB, vergeleken met normaalhorenden (dit betekent dus dat het percentage juist verstande zinnen in het ongunstigste geval met 50% is gedaald), dan kan dit volgens de grafiek worden vertaald in een maximaal gehoorverlies van 30 dB gemiddeld over 2000 en 4000 Hz.

In het geval van detectie van signalen is het lastiger tot algemene criteria te komen, omdat de prestatie van de luisteraar dan niet alleen van het audiogram, maar ook — in sterke mate — van het type signaal en de soort achtergrondslawaai zal afhangen. In de praktijk zullen de criteria voor geluidswaarneming en spraakverstaan in stilte en lawaai moeten worden afgestemd op de eisen die aan een specifieke functie moeten worden gesteld. Eén van de huidige onderzoekslijnen binnen het IZF richt zich op het vaststellen van deze functie-specifieke criteria en op het ontwikkelen van geschikte luistertests.

Normen voor toelaatbare geluidsbelasting

Het onderzoek naar normen voor maximaal toelaatbare geluidsbelasting heeft zich in het verleden voornamelijk gericht op continulawaai in bv. een industriële omgeving. Dat heeft geleid tot een aanbeveling voor een internationale norm (ISO/DIS 1999.2) die dosis-effectrelaties geeft voor het vaststellen van grenswaarden [4]. In Nederland wordt momenteel de limiet gelegd bij een equivalent geluidsniveau van 85 dB(A), op basis van een 8-urige dagelijkse belasting. Het gebruik van de eenheid dB(A) wil zeggen dat de sterkte van het geluid is gewogen naar de gevoeligheid van het ge-



Afb. 3 Vergelijkend overzicht van voorgestelde normen voor impulsulawaai; aangegeven is het maximaal toelaatbare piekniveau als functie van het product van aantal knallen en de duur van een enkele knal

hoor, die in het frequentiegebied tussen 2000 en 4000 Hz het grootst is en daarbuiten afneemt.

Bij het vaststellen van de grens van impulsvormige geluidsbelasting, zoals schietlawaai, kan in beginsel ook van een maximaal equivalent geluidsniveau worden uitgegaan. Dat betekent dat het piekniveau hoger mag zijn naarmate de duur van de knal korter is. De grenswaarde dient echter lager te worden gekozen dan voor continulawaai omdat bij impulsulawaai grotere individuele verschillen in gevoeligheid van het gehoororgaan optreden. Een NAVO-studiegroep onder voorzitterschap van Smoorenburg heeft onlangs aandacht besteed aan normgeving op het gebied van impulsulawaai. Afb. 3, ontleend aan het eindrapport van die studiegroep [2], geeft een overzicht van verschillende voorgestelde normen. In de grafiek is de maximaal toelaatbare geluidsdruk uitgezet tegen de totale duur van het aantal knallen waaraan men dagelijks wordt blootgesteld. Voor de duur van één knal is het interval genomen tussen het begin van de knal en het tijdstip dat de geluidsdruk 10 dB verminderd is ten opzichte van de piek. De norm is zodanig gekozen dat een groot percentage van aan impulsulawaai blootgestelde personen niet meer dan een beperkt aantal decibels permanent gehoorverlies oploopt. Bij de door Smoorenburg opgestelde norm is dit 90% met minder dan 15 dB verlies, gemiddeld over de audiometrische frequenties 1000, 2000 en 3000 Hz.

Een probleem bij het vaststellen van criteria is dat

het zeer moeilijk is tot praktische verificatie te komen. Over het algemeen worden daarom metingen van tijdelijke gehoorsvermindering door lawaai gebruikt om permanente verliezen te voorspellen. Verder bestaat er nog onduidelijkheid over de frequentieweging die op impulsgeluid moet worden toegepast (bv. de bovengenoemde A-weging) om tot een ondubbelzinnig verband tussen geluidsniveau en gehoorschade te komen. Meer onderzoek op het gebied van de geluidsbelasting door impulslawaai is dan ook noodzakelijk alvorens een definitieve internationale norm kan worden opgesteld.

Mogelijkheden van gehoorbescherming

Om de geluidsbelasting onder vastgestelde grenswaarden te houden is het gebruik van gehoorbescherming veelal onvermijdelijk. Een gehoorbeschermmer in de vorm van oorkap of -dop zal geen volledige afscherming van geluid kunnen geven maar wel een zekere demping die frequentieafhankelijk is, en nooit meer dan 50 à 60 dB kan bedragen. Deze limiet wordt veroorzaakt door het verschijnsel dat geluid het gehoororgaan niet alleen via trommelvlies en beentjesketen, maar ook via de schedel of via de mond en de buis van Eustachius kan bereiken. Het blijkt dat goede oorkappen en -doppen deze maximale verzwakking redelijk kunnen benaderen, echter alléén voor frequenties boven 1500 Hz. Voor lagere frequenties loopt de demping terug tot ca. 10 dB of soms zelfs lager. Dat wordt voornamelijk veroorzaakt doordat de gehoorbeschermmer dan zelf in trilling komt. Een en ander heeft tot gevolg dat de effectieve demping van de meeste gehoorbeschermers, gewogen over het hele frequentiebereik, niet boven 30 dB uitkomt [5].

Het dragen van een gehoorbeschermmer kan in bepaalde situaties strijdig zijn met eisen aan spraakverstaan en geluidswaarneming. Een mogelijkheid is dan de kap uit te rusten met microfoon, versterker en weergever, die voor een onbelemmerde overdracht van zwakke signalen zorgen terwijl tegelijkertijd harde geluiden worden begrensd. Dat heeft evenwel het nadeel dat in of bij de kap elektronica en voeding moeten worden megedragen. Momenteel wordt onderzocht of, alleen voor impulslawaai, een toenemende verzwakking bij hoge

geluidsniveaus ook met een akoestisch filter (dus zonder elektronica) kan worden bereikt, zodat het genoemde nadeel niet optreedt. Een andere nieuwe en veelbelovende ontwikkeling is het gebruik van actieve geluidsonderdrukking: het geluid binnen de oorkap wordt met een miniatuurmicrofoon opgevangen, vervolgens versterkt en in tegenfase aan het oorspronkelijke geluid toegevoegd. Hiermee kan de demping voor de lage frequenties (onder de 1000 Hz) met ca. 15 dB worden verbeterd. Een bijkomend voordeel is dat de benodigde elektronica tevens kan worden gebruikt voor de overdracht van zwakke signalen.

Gehoorbescherming in de praktijk

Hoewel het van groot belang is de werking van gehoorbescherming theoretisch en in de laboratoriumsituatie te onderzoeken, zal de uiteindelijke effectiviteit toch uit de praktijk moeten blijken. Binnen het IZF is aan dit aspect de laatste jaren veel aandacht besteed.

Een voorbeeld is een veldonderzoek, verricht op instigatie van de Geneeskundige Dienst van de Koninklijke luchtmacht, waarbij is gekeken naar de geluidsverzwakking die in de praktijk door de tot de psu behorende oordoppen wordt veroorzaakt [6]. Uit het onderzoek bleek niet alleen dat de gemiddelde verzwakking lager was dan wat in het laboratorium wordt gemeten, maar ook dat er grote individuele verschillen zijn. De resultaten zijn weergegeven in afb. 4. De curves met de rondjes geven, als functie van de frequentie, de in de praktijk gemeten verzwakking van de oordop aan die in een bepaald percentage der gevallen werd overschreden. De kruisjes geven aan welke gemiddelde verzwakking in het laboratorium werd bereikt. Uit de grafiek blijkt dat een dergelijke verzwakking in de praktijk in minder dan een kwart van de gevallen werd gehaald. Verder blijkt dat de helft van de doppen nauwelijks enige verzwakking onder de 1000 Hz gaf. Deze resultaten geven aan dat bij het vaststellen van de voor dragers van oordoppen toelaatbare geluidsniveaus een zekere veiligheidsmarge moet worden aangehouden. Om het risico van nauwelijks werkzame gehoorbescherming te verkleinen zal aandacht moeten worden besteed aan voorschriften voor het gebruik van oordoppen en controle op de nale-

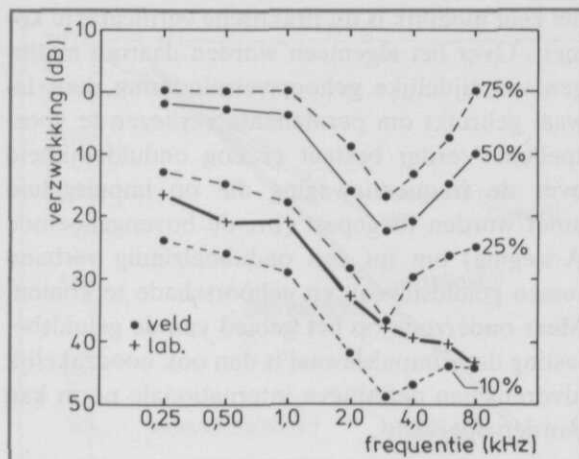
Afb. 4 Geluidsverzwakking van „twin-flange“-oordoppen als functie van de frequentie; de rondjes geven de verzwakking aan die in 75, 50, 25 en 10% van de in de praktijk gemeten gevallen werd overschreden, de kruisjes geven de mediaanwaarde aan van de verzwakking die in het laboratorium werd gehaald

ving ervan. Richtlijnen hiervoor staan vermeld in appendix 2 van voornoemd NAVO-rapport [2].

De geluidsdemping van oorkappen vertoont minder spreiding dan die van doppen, o.a. doordat ze wat plaatsing betreft minder kritisch zijn. Er kunnen evenwel andere problemen optreden. Zo kan een kap oncomfortabel zitten of lastig in het gebruik zijn. Hij kan in bepaalde omstandigheden in de weg zitten, bv. bij het richten van een wapen, of zelfs interfereren met het gebruik van andere bescherming, zoals helm en gasmasker. Verder kan de dempende werking verminderen wanneer tegelijkertijd een bril wordt gedragen. Het aspect van het draagcomfort en gebruiksgemak is door het IZF uitgebreid onderzocht [7]. Bij beproeving van een aantal akoestisch gelijkwaardige kappen door verschillende groepen militairen bleken er duidelijke verschillen in beoordeling op te treden. Dit onderzoek heeft ertoe geleid dat de krijgsmacht andere oorkappen zal gaan verstrekken dan het tot dusver gebruikte type.

Zoals reeds eerder genoemd heeft gehoorbescherming ook het belangrijke nadeel dat het gebruik ervan de communicatie en geluidswaarneming kan bemoeilijken. Met name dragers die aan lawaailechthorendheid lijden zullen hiervan last hebben. De grootste demping van gehoorbeschermers treedt namelijk op in de hoge tonen, juist het frequentiegebied dat het slechtst wordt gehoord. Daardoor zal er een grotere kans zijn dat deze frequenties in het geheel niet meer worden waargenomen. Dat aspect is van belang bij het vaststellen van functiespecifieke eisen die aan het gehoor moeten worden gesteld. Een ander onderwerp dat momenteel door het IZF wordt onderzocht betreft de gevolgen van het dragen van een oorkap voor het richtinghoren. Uit dit onderzoek blijkt dat het lastiger is een geluidsbron te lokaliseren wanneer een oorkap wordt gedragen. In het bijzonder posities voor en achter de luisteraar worden dan vaak verward.

De verschillende nadelen van gehoorbeschermers kunnen in de praktijk tot gevolg hebben dat er minder vaak, of zelfs helemaal niet, gebruik van



wordt gemaakt. Illustratief in dit verband zijn de (reeds in de inleiding aangehaalde) praktijkgegevens die betrekking hebben op een krijgsoperatie met een duur van twee maanden. Van een groep van 172 manschappen die allen wapens droegen bleek dat 32% de gehoorbescherming altijd had gebruikt, 14% meestal, 23% soms en 31% nooit. Verder bleek dat een relatief hoog percentage lawaaitrauma's was opgetreden: 10% diende als H3 te worden aangemerkt en 4% als H4. Een zeer opmerkelijk resultaat was dat geen significant verschil in gehoorverlies aantoonbaar was tussen manschappen met en zonder wapens. Dat betekent dat de lawaai-belasting van de laatste groep onverwacht hoog is geweest. Hoewel er geen gegevens beschikbaar zijn over de redenen waarom geen gehoorbescherming werd gedragen, is het waarschijnlijk dat praktische bezwaren, zoals boven genoemd, daarbij een belangrijke rol hebben gespeeld. Een andere factor was dat relatief veel oorkappen binnen korte tijd defect raakten. Dat suggereert dat de momenteel voor de sterkte van kappen gehanteerde normen ontoereikend zijn.

Op verzoek van de Koninklijke landmacht is onlangs door het IZF een oriënterend onderzoek verricht om inzicht te verkrijgen in de problemen ten aanzien van geluidsbelasting en gehoorbescherming die in oorlogstijd kunnen worden verwacht. Het bleek dat bij de cavalerie, artillerie en genie geen grote verschillen zijn te verwachten tussen de blootstelling aan geluid in vredes- en oorlogstijd. Voor deze onderdelen zouden derhalve de huidige gehoorbeschermende middelen afdoende moeten zijn, wanneer althans wordt uitgegaan van de momenteel gebruikte ladingen. Bij de infanterie zullen echter wel verschillen optreden,

met name bij de gevechtsteams die in het terrein aan de zware knallen van kanonnen en antitankwapens zullen worden blootgesteld op een wijze zoals die zich in vreedstijd niet zal voordoen. Het belang van goede communicatie, dat bij de moderne oorlogvoering toeneemt, zal het dragen van conventionele gehoorbescherming in dit geval on-

mogelijk maken. Toepassing van moderne gehoorbeschermers, die zachte geluiden normaal doorgeven maar harde geluiden verzwakken, zou hier op zijn plaats zijn. Deze middelen zijn momenteel echter beperkt beschikbaar en nog nauwelijks getest. Nader onderzoek op dit gebied is dan ook gewenst.

Literatuur

1. R. Plomp — Lawaai problemen in de krijgsmacht. *Mil. Spect.* **136**(1967)(9)417.
2. *Effects of impulse noise*. NATO AC243 (Panel 8/RSG.6)D/9. NAVO, Brussel (1987).
3. G. F. Smoorenburg — *Speech reception in quiet and in noisy conditions by individuals with noise-induced hearing loss in relation to their tone audiogram* (Rapp. 1989-11). IZF-TNO, Soesterberg (1989).
4. ISO/DIS 1999.2 Acoustics — *Determination of occupational noise exposure and estimation of noise-induced hearing impairment*. Int. Org. f. Standardization (1985).
5. G. F. Smoorenburg, A. M. Mimpfen en H. A. van Leeuwen — Gehoorbescherming (Suppl. 1 bij nr 25). *T. Soc. Geneesk.* **57**(1979)27.
6. G. F. Smoorenburg en A. M. Mimpfen — Assessment of personal hearing protection in practice. *Scand. Audiol. Suppl.* **16**(1982)13.
7. A. M. Mimpfen — *Praktijkonderzoek naar het comfort van acht typen oorkappen* (Rapp. 1987-5). IZF-TNO, Soesterberg (1987).



KONINKLIJKE VERENIGING TER BEOEFENING VAN DE KRIJGS WETENSCHAP

Op vrijdag 6 april 1990 verzorgt de vereniging voor de leden een

Battlefield-tour naar de Grebbeberg

Daaraan voorafgaande zal een medewerker van de sectie Militaire Geschiedenis van de Landmachtstaf in de Elias Beeckmankazerne, geb. 2 (off.mess), Nieuwe Kazernelaan 10, Ede, een briefing geven over de gebeurtenissen in mei 1940 op de Grebbeberg. Daarna zal met eigen vervoer worden verplaatst naar de Grebbeberg.

Aanmelding door storting van f 5,- (incl. koffie en lunch) op girorek. 7 88 28 t.n.v. penningmeester Kon. Ver. ter Beoefening van de Krijgswetenschap, Leiden, o.v.v. „Excursie Grebbeberg”.

Nadere gegevens omtrent tijdstippen en lokatie volgen na aanmelding.