

1 Rapport nr. BG-IR-10-01	7 Archief nr.	
2 Sub-titel Rapport Voorlopige evaluatie van de geluidhinder van schiet- inrichtingen	8 Datum Publicatie juni 1979	
	9 Rapport nr. Instituut IZF 1978-21	
3 Schrijver (a) G.F. Smoorenburg	10 Tijdschrift nr.	
4 Uitvoerend Instituut, Naam Adres Instituut voor zintuigfysiologie TNO Kampweg 5, Postbus 23 Soesterberg	11 Opdracht nr. A76/KL/005	
	12 Rapporttype en periode	
5 Opdrachtgever(s) Ministerie van Defensie		
6 Titel Onderzoekproject Geluidsproblemen van schietbanen en schietterreinen		
13 Samenvatting <p>Op basis van een uitgebreid literatuuronderzoek is er een methode ontwikkeld ter bepaling van de hinder die van schietgeluid kan worden verwacht. Deze methode kan worden toegepast op schietgeluid van zowel lichte als zware vuurwapens en eveneens op supersonische knallen. In aansluiting op ISO/R 1996 wordt de te verwachten geluidhinder afgeleid uit het verschil tussen een "rating sound level", L_p, voor schietgeluid en de voor de plaatselijke situatie vastgestelde grenswaarde of het ter plaatse heersende achtergrondniveau. L_p wordt bepaald door het aantal knallen dat per dag wordt geproduceerd en de geluidniveaus van de afzonderlijke knallen gemeten met de A-weging en de impuls karakteristiek. Het gebruik van de impuls karakteristiek is gebaseerd op eigenschappen van het gehoororgaan bij de waarneming van kortstondige geluiden. Wanneer de knallen veel laagfrequente energie bezitten (bv. bij zwaar geschut, explosies of supersonische knallen) dan moet tevens het piekniveau van de knal worden gemeten met een lineaire frequentieweging. Indien dit lin,peak-niveau het A,imp-niveau met meer dan 40 dB overschrijdt dan wordt L_p bepaald door het lin,peak-niveau. Het rapport begint met een inventarisatie van de geluidproductie van schietinrichtingen.</p>		
14 Begeleidingscommissie Kol.ir. A.K. van der Stai LKol.ir. J. Siuiter Maj. H. Botzen Kap. P. van Wanrooy Vdg.ir. A. Verloop ing. P.I. van de Weele mr. L. van Gijn ing. F.J. Werring	15 Bijbehorende Rapporten	
	16 Aantal blz. 47	17 Prijs f 7,50

VOORWOORD

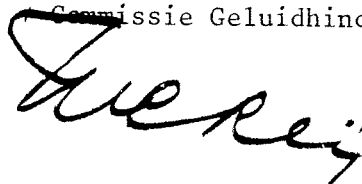
Het voorliggende rapport is het resultaat van een literatuuronderzoek verricht door het Instituut voor Zintuigfysiologie TNO.

Dit onderzoek werd opgedragen door de Kwartiermeester-Generaal als Officier ex artikel 8 van de Hinderwet binnen het kader van het onderzoekprogramma Bijzondere Geluidsonderwerpen van de Interdepartementale Commissie Geluidhinder. De in het buitenland toegepaste methoden voor het meten en beoordelen van knallen werden geëvalueerd en vergeleken.

Op basis van de verkregen gegevens werd een voorlopige beoordelingsmethode ontwikkeld.

In het bijzonder bij de vergunningverlening in het kader van de Hinderwet maar ook bij het opstellen van streek- en bestemmingsplannen kunnen de in dit rapport opgenomen gegevens worden gebruikt. Om bij het opstellen van voorschriften in het kader van de Wet Geluidhinder zoveel mogelijk rekening te houden met de ervaringen die met deze methode worden opgedaan worden reacties op dit rapport op prijs gesteld.

De Voorzitter van de
Interdepartementale
Commissie Geluidhinder,



ir. W.C. Reij

rapport no. IZF 1978-21

ex. no.

Voorlopige evaluatie van de geluidhinder
van schietinrichtingen

G.F. Smoorenburg

Dit rapport geeft een inventarisatie van de geluidproduktie van schietinrichtingen en een evaluatie van de hinder van schietgeluid op basis van literatuurgegevens. Opdracht A76/KL/005. Het onderzoek is opgenomen in het programma van de Interdepartementale Commissie Geluidhinder onder nr. BG 10.

Samenvatting	
Summary	
Inleiding	
DEEL I. KORT OVERZICHT VAN DE IN DIT RAPPORT ONTWIKKELDE BEOORDELINGS- METHODE VOOR DE HINDER VAN SCHIETGELUID	1
1. Meetmethode	1
2. Beoordelingsmethode voor lichte vuurwapens	2
3. Beoordelingsmethode voor zware vuurwapens	3
DEEL II. INVENTARISATIE VAN DE GELUIDPRODUKTIE VAN SCHIETINRICHTIN- GEN EN EVALUATIE VAN DE HINDER VAN SCHIETGELUID OP BASIS VAN LITERATUURGEGEVENS	4
4. Geluidproduktie van schietinrichtingen	4
1. Registratie-apparatuur	4
2. Beschrijving van knallen bij de bron	6
3. Beschrijving van knallen op grotere afstand tot de bron	8
4. Aantal knallen geproduceerd door verschillende soorten inrich- tingen	15
5. Fysische maten ter kwantificering van schietgeluid	17
1. Integratietijd	17
2. Spektrale weging	22
3. Vergelijking van de verschillende fysische maten in de praktijk	23
6. Vergelijkende literatuurstudie over hinder van schietgeluid	26
1. Geluidhinder in het algemeen	26
2. Beoordeling van het schietgeluid van lichte vuurwapens	27
3. Beoordeling van het schietgeluid van zware vuurwapens	36
7. Geraadpleegde literatuur	44

Voorlopige evaluatie van de geluidhinder van schietinrichtingen

G.F. Smoorenburg

Samenvatting

Op basis van een uitgebreid literatuuronderzoek is er een methode ontwikkeld ter bepaling van de hinder die van schietgeluid kan worden verwacht. Deze methode kan worden toegepast op schietgeluid van zowel lichte als zware vuurwapens en eveneens op supersone knallen. In aansluiting op ISO R-1996 wordt de te verwachten geluidhinder afgeleid uit het verschil tussen een "rating sound level", L_r , voor schietgeluid en de voor de plaatselijke situatie vastgestelde grenswaarde of het ter plaatse heersende achtergrondniveau. L_r wordt bepaald door het aantal knallen dat per dag wordt geproduceerd en de geluidniveaus van de afzonderlijke knallen gemeten met de A-weging en de impuls karakteristiek. Het gebruik van de impuls karakteristiek is gebaseerd op eigenschappen van het gehoororgaan bij de waarneming van kortstondige geluiden. Wanneer de knallen veel laag-frekwente energie bezitten (b.v. bij zwaar geschut, explosies of supersone knallen) dan moet tevens het piekniveau van de knal worden gemeten met een lineaire frekwentieweging. Indien dit lin,peak-niveau het A,imp-niveau met meer dan 40 dB overschrijdt dan wordt L_r bepaald door het lin,peak-niveau. Het rapport begint met een inventarisatie van de geluidproduktie van schietinrichtingen.

Tentative evaluation of annoyance caused by shooting noise

G.F. Smoorenburg

Summary

Based on an extensive survey of the pertinent literature a method is developed to determine the annoyance that may be expected from shooting noise. This method may be applied to shooting noise from both light and heavy fire-arms and also to sonic booms. Following ISO R-1996 the annoyance to be expected is derived from the difference between the "rating sound level", L_r , and the "noise criterion". L_r is determined by the number of shots per day and the sound levels of the respective shots measured with the A-weighting and the impulse characteristic. Application of the impulse characteristic is based on properties of the hearing organ in the perception of short sounds. If the sound impulses contain much low-frequency energy (e.g. heavy fire-arms, explosions or sonic booms) the peak level of the sound impulse must be measured with linear frequency weighting. L_r is determined by the lin,peak-level if this level exceeds the A,imp-level by more than 40 dB. An inventory of sound production from Dutch shooting ranges is also made in this report.

ZUSAMMENFASSUNG

Vorläufige Evaluierung der Geräuschstörung von Schiesseinrichtungen

Auf der Grundlage einer ausführlichen Literaturuntersuchung ist eine Methode zur Bestimmung der Störung entwickelt worden, die von Schiesslärm erwartet werden kann. Diese Methode kann sowohl auf Schiesslärm leichter als auch auf Schiesslärm schwerer Feuerwaffen und auch auf supersonische Knalle angewendet werden.

Im Anschluss an ISO/R 1996 wird die zu erwartende Geräuschstörung hergeleitet aus dem Unterschied zwischen einem "rating sound level", L_r , für Schiesslärm und dem für die örtliche Situation bestimmten Grenzwert oder dem an Ort und Stelle herrschenden Grundgeräuschpegel.

L_r wird bestimmt durch die Zahl der Knalle, die täglich produziert wird, und die Geräuschpegel der einzelnen Knalle, gemessen an der A-Wiegung und der Impulscharakteristik. Die Benutzung der Impulscharakteristik gründet sich auf Eigenschaften des Gehörorgans bei der Wahrnehmung von Geräuschen von kurzer Dauer. Wenn die Knalle viel Niederfrequenzenergie besitzen (zum Beispiel bei schwerem Geschütz, bei Explosionen oder supersonischen Knallen, muss zugleich der Spitzenpegel des Knalls mit einer linearen Frequenzwiegung gemessen werden. Wenn dieser lin. Spitzenpegel den A, imp. Pegel um mehr als 40 dB übersteigt, wird L_r durch den lin. Spitzenpegel bestimmt. Der Bericht fängt an mit einer Bestandsaufnahme der Geräuschproduktion von Schiesseinrichtungen.

RÉSUMÉ

Evaluation provisoire des nuisances acoustiques produites par les installations de tir

Sur la base d'une vaste étude bibliographique, une méthode a été mise au point pour déterminer les nuisances que peut produire le bruit du tir. Cette méthode peut s'appliquer au bruit du tir provenant aussi bien d'armes à feu légères que d'armes à feu lourdes et de bang supersoniques. En référence au rapport ISO/R 1996, les nuisances acoustiques auxquelles on peut s'attendre sont dérivées de la différence entre un "rating sound level" (niveau sonore évalué), L_r , pour le bruit du tir et la valeur limite fixée pour la situation locale ou le niveau de bruit ambiant.

L_r est déterminé par le nombre de détonations produites par jour et les niveaux sonores des différentes détonations mesurés en utilisant la pondération fréquentielle A et la caractéristique d'impulsion. L'emploi de la caractéristique d'impulsion se fonde sur des propriétés de l'organe auditif lors de l'observation de bruits de très brève durée. Lorsque les détonations ont une grande énergie de basse fréquence (par exemple, les tirs d'artillerie lourde, les explosions ou les détonations supersoniques), il faut également mesurer de façon linéaire le niveau de pointe de la détonation. Lorsque ce niveau de pointe linéaire excède de plus de 40 dB le niveau d'impulsion A, la valeur de L_r est alors déterminée par le niveau de pointe linéaire. Le rapport commence par un inventaire du bruit produit par des installations de tir.

Inleiding

Nu de hinder van geluid sterker in de belangstelling is komen te staan, is het niet verwonderlijk dat ook schietinrichtingen meer en meer in dit opzicht beoordeeld gaan worden. Terwijl vroeger bij de verlening van een hinderwetvergunning voor een schietinrichting eigenlijk slechts de veiligheid in het geding was en de geluidhinder nauwelijks werd genoemd, speelt nu de geluidhinder een belangrijke rol. Van de zijde van de omwonenden van een schietinrichting wordt er tegenwoordig vaak geprotesteerd tegen het schietlawaai. De Nieuwe Wet Geluidhinder die in 1975 aan de Tweede Kamer der Staten-Generaal werd aangeboden is vanzelfsprekend ook niet vreemd aan deze ontwikkeling. In de Memorie van Toelichting op deze wet, hoofdstuk III §6, worden schietterreinen met name genoemd als van nature lawaaige bronnen, waarbij de vaststelling van geluidzones wenselijk moet worden geacht.

Over de hinder van schietgeluid is nog weinig bekend. Het karakter van dit geluid is zo specifiek, dat het een aparte benadering noodzakelijk maakt. De aanbevelingen van de International Organization for Standardization, ISO R 1996, die in Nederland als uitgangspunt worden gebruikt voor de beoordeling van geluid op hinder, zijn niet toepasbaar op schietgeluid. Gezien de dringende behoefte aan een beoordelingsmethode voor schietgeluid worden in dit rapport voorlopige richtlijnen voor die beoordeling gegeven op basis van toepasbare literatuurgegevens. Meer onderzoek naar de hinder van schietgeluid is echter gewenst.

Dit rapport is in twee delen opgesplitst. Deel I geeft een kort overzicht van de in dit rapport ontwikkelde beoordelingsmethode voor de hinder van schietgeluid. De onderbouwing van deze beoordelingsmethode wordt in deel II gegeven. Deel II begint met een beschrijving van de geluidniveaus van knallen en een inventarisatie van het aantal knallen dat per dag door een schietinrichting wordt geproduceerd. Vervolgens wordt de fysische maat bepaald waarmee de knal zodanig kan worden gekwantificeerd dat een zo goed mogelijke relatie tot de ondervonden hinder kan worden verwacht. Dit resulteert in de keuze van de frekwentie-afhankelijke A-weging en een integratietijd van 35 ms die bij geluidniveaumeters is gerealiseerd als een stand 'impulse'. Daarnaast moet bij zwaar geschut nog het piekniveau (zonder integratietijd) worden gemeten met een lineaire frekwentieweging. De geluidniveaus van de knallen zijn ook in andere fysische maten vastgelegd om een vergelijking mogelijk te maken met literatuurgegevens waarin deze andere maten worden gebruikt. Tenslotte zijn op basis van alle beschikbare literatuurgegevens die redelijkerwijs konden worden toegepast op schietgeluid schattingen gemaakt van de hinder. Uit een onderlinge vergelijking van deze schattingen is de beoordelingsmethode gededuceerd die in dit rapport wordt gepresenteerd.

DEEL I. KORT OVERZICHT VAN DE IN DIT RAPPORT ONTWIKKELDE BEOORDELINGSMETHODE
VOOR DE HINDER VAN SCHIETGELUID

1. Meetmethode

Wanneer men de in dit rapport ontwikkelde beoordelingsmethode toepast dan heeft men een precisiegeluidniveaumeter nodig die is uitgerust met de volgende voorzieningen:

- *A-weging*
een frekwentie-afhankelijke weging volgens de genormaliseerde A-karakteristiek
- *impulse of impulse-hold meetstand*
hierbij wordt het geluid geïntegreerd over 35 ms
- *overload-indikatie*
een signalering bij oversturing van de versterkers van de geluidniveaumeter

Het meten met de *A-weging* en een integratietijd van 35 ms (de *impulse-stand*) is gebaseerd op de eigenschappen van het gehoororgaan bij de waarneming van kortstondige geluiden (zie §§ 5.1 en 5.2). De maximale meteraanwijzing wordt genoteerd in $\text{dB}(A, \text{imp})$. Een *overload-indikatie* is noodzakelijk omdat de geluidniveaumeter bij het meten van geluidimpulsen overstuurd kan raken terwijl de aanwijzing van de meter de volle schaalwaarde niet overschrijdt.

Met de *A,imp*-meting is de luidheid van de knal voldoende vastgelegd. Knallen met veel laagfrequentie energie (zwaar geschut, explosies, supersone knallen) kunnen echter ook hinderlijk zijn omdat ze trillingen introduceren waardoor b.v. ruiten gaan rinkelen. Bij dit soort knallen is daarom een aanvullende meting nodig waarbij het maximale geluidsdrukkniveau wordt gemeten dat op enig moment wordt bereikt. De geluidniveaumeter moet hiertoe voorzien zijn van:

- *lin-weging*
een vlakke frekwentiekarakteristiek die in het laagfrequentie gebied voldoende ver moet doorlopen opdat er bij de meting geen laag-frequent energie verloren gaat die bijdraagt aan het piekniveau; een frekwentie-analyse van de knal kan hier nodig zijn.
- *peak-hold meetstand*
een mogelijkheid om het hoogste geluidsdrukkniveau dat op enig moment wordt bereikt te meten.

De (maximale) aanwijzing waar de geluidniveaumeter op blijft staan wordt genoteerd in $\text{dB}(\text{lin}, \text{peak})$.

De geluidbelasting wordt niet alleen door de geluidniveaus van de afzonderlijke knallen bepaald maar ook door het aantal knallen dat per dag wordt geproduceerd. Men kan dit aantal direkt aan de hand van tellingen bepalen of via opgaven van de verschoten munitie.

De invloed van de weersomstandigheden op de meetresultaten zou zo klein mogelijk gehouden kunnen worden door te werken binnen het door de Technisch Fysische Dienst TNO opgestelde *meteoraam*. Voor de opstelling van de geluidniveaumeter en de eventueel toe te passen korrekties, zoals b.v. bij metingen voor een gevel, kunnen de normale voorschriften worden gehanteerd.

2. Beoordelingsmethode voor lichte wapens

Bij het opstellen van de beoordelingsmethode is getracht zo goed mogelijk aansluiting te verkrijgen bij de in Nederland algemeen gehanteerde internationale aanbeveling ISO R-1996, "Assessment of noise with respect to community response". In deze aanbeveling wordt het geluidniveau uitgedrukt in de "rating sound level", L_r , die wordt vergeleken met de ter plaatse geldende norm, het "noise criterion", om de reacties van de bevolking op het geluid te kunnen voorspellen. Wanneer L_r het "noise criterion" overschrijdt dan kan er gesproken worden van een hindersituatie. De relatie tussen de mate van overschrijding en de reacties van de bevolking kan men vinden in Tabel V, § 6.1. In de Nederlandse situatie kan men als "noise criterion" nemen de voor de plaatselijke situatie vastgestelde grenswaarde of het ter plaatse heersende achtergrondniveau, beide in dB(A).

Voor L_r geldt:

$$L_r = L_{\text{knal}} + 10 \log N - 42 \text{ dB}(A, \text{imp})$$

waarbij L_{knal} = geluidniveau van de afzonderlijke knal, gemeten in de stand A, imp

N = aantal knallen per dag.

Heeft men te maken met knallen van verschillend geluidniveau dan geldt:

$$L_r = 10 \log \left\{ \sum_i 10^{L_i/10} \right\} - 42 \text{ dB}(A, \text{imp})$$

waarbij L_i = geluidniveau van knal i

De eerste term is een energiesom.

In dit rapport worden de begrippen "geluidhindergrans" en "grens van ernstige geluidhinder" gehanteerd. Er wordt van de geluidhindergrans gesproken

indien L_r gelijk is aan de grenswaarde of het achtergrondniveau. De grens van ernstige geluidhinder wordt per definitie bereikt wanneer de tolerantiegrens van 1/3 deel van de aan het geluid blootgestelde bevolking wordt overschreden. Deze definitie werd door de Adviescommissie Geluidhinder door Vliegtuigen (C.W. Kosten e.a., 1967) gebruikt; de grens komt overeen met 45 Kosten-eenheden. Met deze definitie wordt de grens van ernstige hinder bereikt wanneer L_r de grenswaarde of het achtergrondniveau met 15 dB overschrijdt.

In ISO-1996 wordt L_r voor niet-kontinu geluid bepaald op basis van L_{eq} , het equivalente energieniveau. Wanneer het geluid een impuls karakter heeft dan geldt $L_r = L_{eq} + 5$ dB. De hier gepresenteerde beoordelingsmethode voor afzonderlijk in de tijd voorkomende knallen gaat niet uit van een L_{eq} -meting. Voor schietlawaai van lichte vuurwapens is echter bij het hanteren van de hier gepresenteerde beoordelingsmethode wel ongeveer de relatie tussen L_r en L_{eq} aan te geven; er geldt: $L_r \approx L_{eq} + 12$ dB.

3. Beoordelingsmethode voor zware vuurwapens

Zoals reeds opgemerkt in § 1 vereist de beoordeling van knallen van zware vuurwapens naast een *A,imp*-meting ook een *lin,peak*-meting omdat de laag-frequente energie in deze knallen tot bijzondere hindereffekten, zoals b.v. rinkelende ruiten, aanleiding kan geven.

Voor L_r geldt, evenals bij lichte vuurwapens:

$$L_r = L_{knaal} + 10 \log N - 42 \text{ dB}(A,imp)$$

tenzij het *lin,peak*-niveau meer dan 40 dB boven het *A,imp*-niveau uitkomt, in dat geval geldt (L_{knaal} nu gemeten in de standen *lin,peak*)

$$L_r \approx L_{knaal} + 10 \log N - 82 \text{ dB}(lin,peak)$$

Bij de beoordeling van L_r t.o.v. de grenswaarde of het achtergrondniveau wordt geadviseerd, zeker voor woonomgevingen, om de grenswaarde niet hoger te stellen dan 45 dB(A), zie § 6.3.5. Dit advies betreft knallen van zware vuurwapens of, iets algemener, situaties waarin het aantal knallen per dag kleiner is dan ongeveer 100.

DEEL II. INVENTARISATIE VAN DE GELUIDPRODUKTIE VAN SCHIETINRICHTINGEN EN
EVALUATIE VAN DE HINDER VAN SCHIETGELUID OP BASIS VAN LITERATUUR-
GEGEVENS.

4. Geluidproduktie van schietinrichtingen

4.1. Registratieapparatuur

4.1.1. Keuze en opstelling van de mikrofoon

De metingen moeten worden verricht met een mikrofoon van zeer goede kwaliteit, ontworpen voor geluidmetingen. De in dit rapport vermelde meetgegevens zijn verkregen met behulp van een Brüel & Kjaer (B & K) kondensatormikrofoon van 1 inch diameter (B & K, type 4131 en de laatste jaren ook B & K, type 4145; beide mikrofoons hebben een zo vlak mogelijk frekwentie-karakteristiek in het vrije veld, een z.g. free-field response) of, bij piekniveaus hoger dan 140 dB, met een condensatormikrofoon van $\frac{1}{2}$ inch diameter (B & K, type 4133, eveneens met een free-field response). De mikrofoon wordt vrij van objekten in de omgeving op 1,5 m hoogte opgesteld met het mikrofoondiafragma loodrecht op de voortplantingsrichting van het geluid. Ter plaatse worden de mikrofoons (en het daarop aansluitende meetsysteem) gekalibreerd met een geijkte geluidbron (B & K pistonphone, type 4220, of B & K sound level calibrator, type 4230).

De doorlaatband van de mikrofoon met volgversterker (B & K, type 1612) loopt, tussen de -3 dB punten, van ongeveer 10 Hz tot 20.000 Hz voor de 1 inch mikrofoon en van ongeveer 10 Hz tot 42.000 Hz voor de $\frac{1}{2}$ inch mikrofoon bij loodrechte inval van het geluid en bij gebruik van het normale beschermroostertje voor het mikrofoondiafragma. De 1 inch mikrofoon kan gebruikt worden voor de meting van piekniveaus tot ongeveer 150 dB. Bij lage geluidniveaus wordt met de 1 inch mikrofoon gewerkt, omdat de eigen ruis van het meetsysteem dan kleiner is dan bij gebruik van de $\frac{1}{2}$ inch mikrofoon.

4.1.2. Meting met de oscilloskoop

Het verloop van de geluidsdruk met de tijd kan worden vastgelegd met behulp van een oscilloskoop (zie Fig. 1). De doorlaatband van een oscilloskoop overlapt in het algemeen die van het mikrofoonstelsel, zodat het gebruik van de oscilloskoop geen beperking van de bandbreedte tot gevolg heeft.

De geluidsdruk-tijdregistratie (kortheidshalve druk-tijdregistratie te noemen) wordt veel gebruikt bij de bepaling van de schadelijkheid van een knal voor het gehoororgaan. Ook in de hinderproblematiek kan deze registratie

van belang zijn. Bij een schietbaan met geluidreflekterende wanden (of schermen) bijvoorbeeld, wordt het hiermee mogelijk op eenvoudige wijze de piekniveaus van de verschillende reflekties te vergelijken met het piekniveau van het direkt afgestraalde geluid en op basis daarvan te beoordelen welke akoestische voorzieningen het grootste effect zullen hebben.

4.1.3. Meting met de Impulse Sound Level Meter

Met standaard geluidniveaumeters is het niet mogelijk het piekniveau van een knal te meten, omdat het geluid over een zeker tijdinterval gesommeerd (geïntegreerd) wordt. Dit tijdinterval bedraagt voor de stand *fast* van de meter 100 tot 200 ms en voor de stand *slow* 700 tot 1300 ms. Bij Impulse (Precision) Sound Level Meters, zoals de B & K type 2209, en de General Radio type 1982, zijn de meters uitgebreid met een stand *impulse* (integratietijd 35 ms) en een stand *peak*, waarbij het hoogste niveau op enig moment wordt gemeten.

Voor piekniveaumetingen is de stijgtijd van de door ons gebruikte B & K geluidniveaumeter type 2209 kleiner dan 20 μ s. De doorlaatband van een 1 inch mikrofoon loopt tot 20.000 Hz (§ 4.1.1), hetgeen een minimale stijgtijd betekent van ongeveer 17 μ s. Bij gebruik van een 1 inch mikrofoon zal de B & K type 2209 de door de mikrofoon afgegeven signaalpieken dus nog kunnen volgen. Bij gebruik van een $\frac{1}{2}$ inch mikrofoon (stijgtijd 8 μ s) kan het echter voorkomen dat de B & K type 2209 de snelste pieken niet voldoende volgt. Tijdens veldmetingen aan zwaar geschut met een $\frac{1}{2}$ inch mikrofoon zijn door ons met de B & K type 2209 1 tot 2 dB lagere piekniveaus gevonden dan met de oscilloskoop.

4.1.4. Magneetbandregistratie

Om een nadere analyse van de knal, b.v. het frekwentiespektrum, in het laboratorium mogelijk te maken, worden de knallen vastgelegd op magneetband. Hiervoor wordt door ons een NAGRA (Kudelski), type IV BL, volspoor, 19 cm/s, gebruikt.

De uitsturingsindicatoren van magneetbandopnemers zijn in het algemeen te langzaam om bij knallen een betrouwbare aflezing van de uitsturing van de magneetband te verkrijgen. Daarom werd de geluiddruk-niveaumeter tevens gebruikt voor de bewaking van het uitsturingsniveau. Hiertoe werd de magneetbandopnemer aangesloten op de wisselspanningsuitgang (AC-output) van de B & K geluidniveaumeter type 2209, waarbij deze meter werd gebruikt in de stand

linear (geen frekwentie-afhankelijke weging) en *peak-hold*. Het opnameniveau werd zodanig afgeregeld dat volle wijzeruitslag van de B & K type 2209 correspondeerde met volle uitsturing van de band. Dit gold dan voor elk meetbereik van de geluiddruk-niveaumeter, zodat bij het kiezen van het juiste meetbereik tevens het opnameniveau in het goede bereik werd gebracht.

De doorlaatband van de magneetbandregistratie loopt van 30 Hz tot 15.000 Hz vlak binnen ± 2 dB. Enig verlies t.o.v. de doorlaatband van de geluiddruk-niveaumeter treedt dus op bij de registratie. Faseverschuivingen kunnen bij de metingen van het piekniveau ook nog aanleiding tot fouten geven. Een vergelijking tussen in het veld en in het laboratorium gemeten piekniveaus leert dat de in het laboratorium gemeten piekniveaus 1.0 ± 1.9 dB lager liggen. Dit resultaat is gebaseerd op 93 vergelijkingen van piekniveaus geproduceerd door een geweer in het open veld, op een schietbaan met houten schotten en op een schermenbaan. (Een schermenbaan is een, meestal door aarden wallen, omheinde schietbaan waarbij een serie verticale schermen die te hoog vliegende kogels moeten opvangen, achter elkaar dwars over de schietbaan zijn aangebracht.)

4.2. Beschrijving van knallen bij de bron

Fig. 1 geeft een voorbeeld van twee druk-tijddiagrammen; de linker voor een geweer (FAL) op 4 m afstand en de rechter voor een kanon op een AMX-tank gemonteerd (105 L 53) op 25 m afstand. De piekniveaus zijn resp. 155,5 en 161 dB. Het tijdsinterval tussen het begin van de knal en de eerste nuldoorgang bedraagt voor het geweer 0,4 ms en voor het kanon 4 ms. In beide gevallen werd de knal opgenomen onder 90° t.o.v. de vuurrichting. Onder deze hoek worden het duidelijkst enkelvoudige impulsen gemeten. Bij een meting in de schietinrichting wordt de knal, afkomstig van de monding van het wapen, voorafgegaan door een N-golf, die afkomstig is van het projectiel zelf. Deze N-golf breekt eerder op omdat het projectiel zich sneller dan het geluid voortbeweegt. Bij metingen achter het wapen ligt het piekniveau van de knal tot 20 dB lager, zodat trillingen van het wapen en reflecties van de knal het druk-tijddiagram vaak complexer maken.

Representatieve frekwentiespektra van een geweerschot en een kanonslag worden in Fig. 2 gegeven. In deze spektra kunnen twee aspecten worden onderkend, die in directe relatie staan tot het druk-tijddiagram. De frekwentie waarbij de top in het spectrum wordt gevonden, wordt bepaald door de lengte van het tijdsinterval tussen het begin van de knal en de eerste nuldoorgang

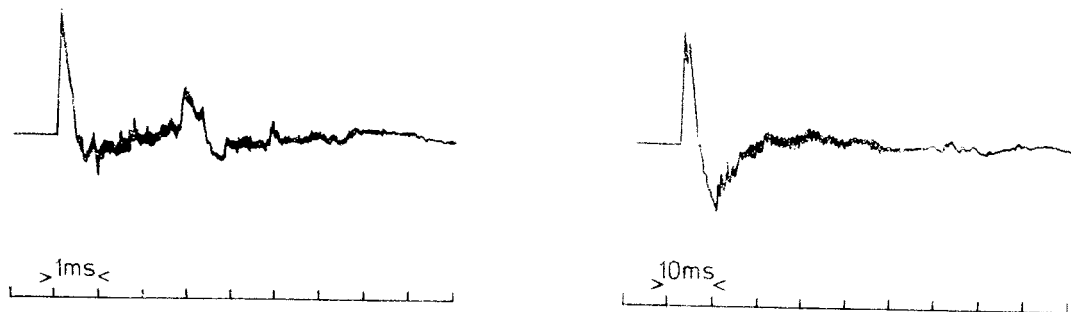


Fig. 1. Geluiddruk (lineair uitgezet) als functie van de tijd voor een FAL-geweerschot (links) op 4 m afstand en een 105 L 53-kanonslag (rechts) op 25 m afstand. Let op de faktor 10 verschil in de tijdschaal.

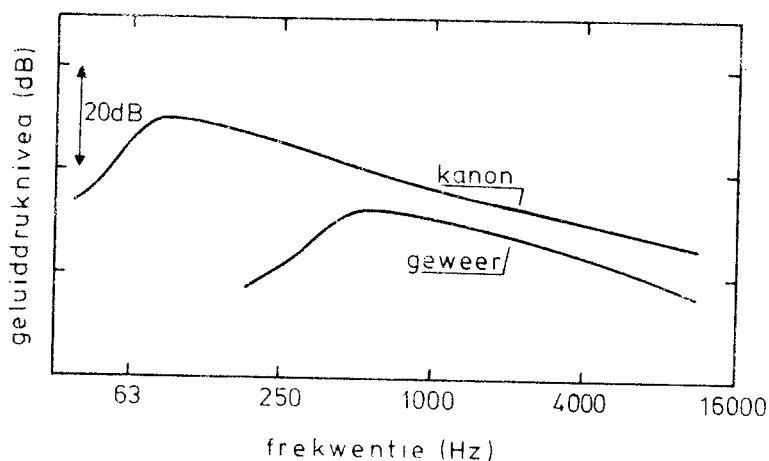


Fig. 2. Representatieve spektra van een geweerschot en een kanonslag. Getoond worden de geluiddruk niveaus bij een konstante relatieve bandbreedte over het gehele frequentiegebied (b.v. 1/3-oktaaf of oktaaf spektra).

(hoe groter dit tijdsinterval, hoe lager deze frequentie) terwijl het niveau waarop de met ongeveer 3 dB per oktaaf afvallende rechter flank van het spectrum wordt gevonden, wordt bepaald door het piekniveau.

Op korte afstand van de bron blijkt de knal goed te kunnen worden gekarakteriseerd met het piekniveau en het tijdsinterval tot de eerste nuldoorgang. In de gehoorbeschadigingsproblematiek, waarbij het gaat om hoge piekniveaus op korte afstand van het wapen, kan deze beschrijvingswijze dus worden gebruikt. In de volgende paragraaf zal blijken dat de druk-tijddia-

grammen op grotere, voor de lawaaihinderproblematiek meer relevante afstanden tot de bron complexer zijn.

4.3. Beschrijving van knallen op grotere afstand tot de bron

4.3.1. Druk-tijddiagrammen en spektra

In de Fig. 3 t/m 7 worden druk-tijddiagrammen en spektra gegeven, ontleend aan magneetbandregistraties van achtereenvolgens:

Fig. 3: pistool op 60 m onder 90° ; er werd van korte afstand op een aarden wal geschoten, van pistool tot mikrofoon liep het geluid evenwijdig aan de aarden wal

Fig. 4: als Fig. 3, maar nu voor een geweer

Fig. 5: geweer op 400 m onder 90° in een bos

Fig. 6: geweer op een schermenbaan; meting buiten de baan op 125 m van de schutter (op ongeveer 110 m van de aarden wal)

Fig. 7: AMX-kanon (105 L 53) op 800 m afstand onder 135° .

De druk-tijddiagrammen in de Fig. 3 t/m 7 blijken veel complexer te zijn dan die op korte afstand opgenomen en weergegeven in Fig. 1. Op 60 m van een pistool of geweer worden al verscheidene pieken in het druk-tijddiagram gevonden, op 400 m van een geweer in een bos blijkt de knal over meer dan 100 ms uit te klinken met een duidelijke laagfrequent component in het geluid (de tijdschaal is in Fig. 5 t/m 7 10 ms i.p.v. 1 ms), bij een schot op een schermenbaan is het uitklinken nog geprononceerder vanwege de vele reflekties tussen de schermen en op 800 m van een kanon blijkt de drukgolf overwegend laagfrequent te zijn, hetgeen wordt veroorzaakt door de spektrale samenstelling van de knal bij de bron met een maximum bij zeer lage frequenties en door de absorptie van de hoge frequenties over de 800 m lange weg die het geluid heeft afgelegd.

Gezien deze druk-tijddiagrammen zal het duidelijk zijn dat de knal niet meer volledig te karakteriseren is met het piekniveau (onder in de figuren gegeven) en het tijdsinterval tot de eerste nuldoorgang. Ten aanzien van de geluidhinder is het piekniveau echter een bruikbare maat. De geluidbelasting veroorzaakt door schietinrichtingen voor lichte vuurwapens kan op basis van het piekniveau in redelijke mate worden beoordeeld.

De spektra van de Fig. 3 t/m 7 zijn verkregen met een Rohde und Schwarz Real Time Audio Spectrum Analyzer (type FAR). In $22 \frac{1}{3}$ - oktaaf banden van 80 Hz tot 10.000 Hz wordt het maximale geluidniveau aangegeven, dat met een integratietijd van ongeveer 125 ms wordt bereikt op enig moment gedurende

Fig. 3.

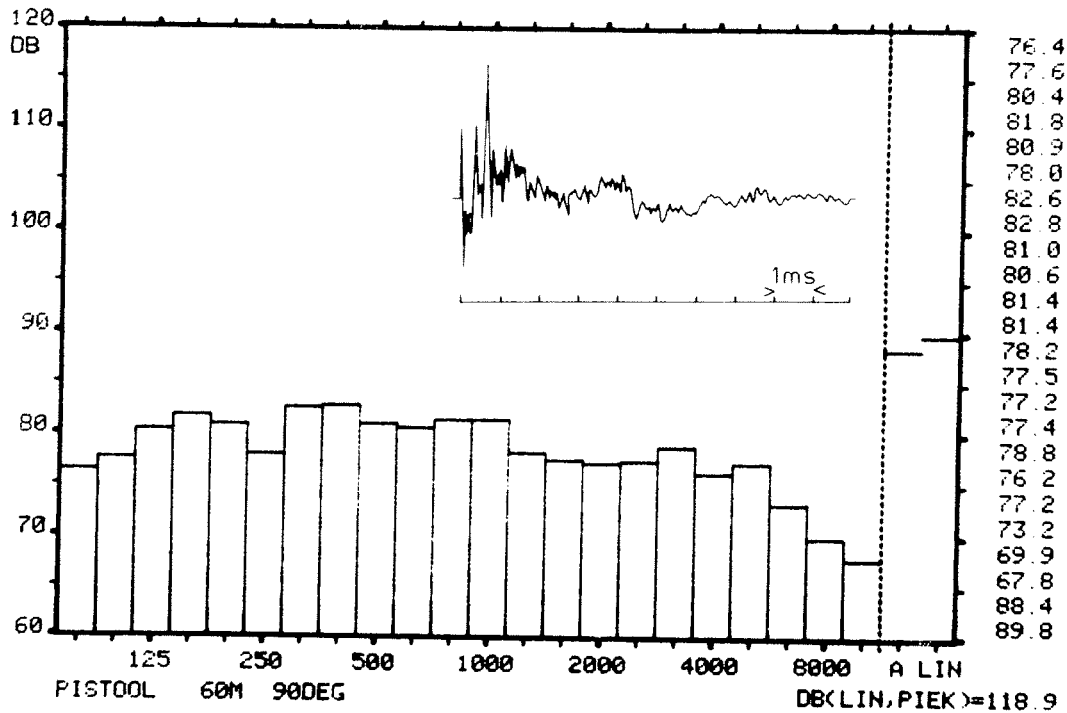


Fig. 3 t/m 7. Oscillogrammen en spektra van verschillende wapens gemeten in uiteenlopende situaties. Het type wapen, de afstand van het meetpunt tot het wapen en de hoek van de meetrichting t.o.v. de schietrichting staan links-onder in de figuren aangegeven. Het oscillogram toont de geluiddruk lineair weergegeven als functie van de tijd. De bijbehorende spektra geven de geluidsdrukniveaus (in dB) in opeenvolgende frekwentiebanden ter breedte van 1/3-oktaaf van 80 Hz tot 10.000 Hz aangevuld met het A-gewogen en het ongewogen (lineair) geluidniveau. De geluidsdrukniveaus per 1/3-oktaaf zijn de maximale geluidsdrukniveaus gedurende de knal na integratie met een tijdconstante van 125 ms. In de rechterkolom worden de geluidsdrukniveaus eveneens numeriek gegeven waarbij de waarden van boven naar beneden korresponderen met de grafisch weergegeven niveaus van links naar rechts. Het piekniveau gemeten zonder tijd-integratie en frekwentieweging staat rechts-onder vermeld.

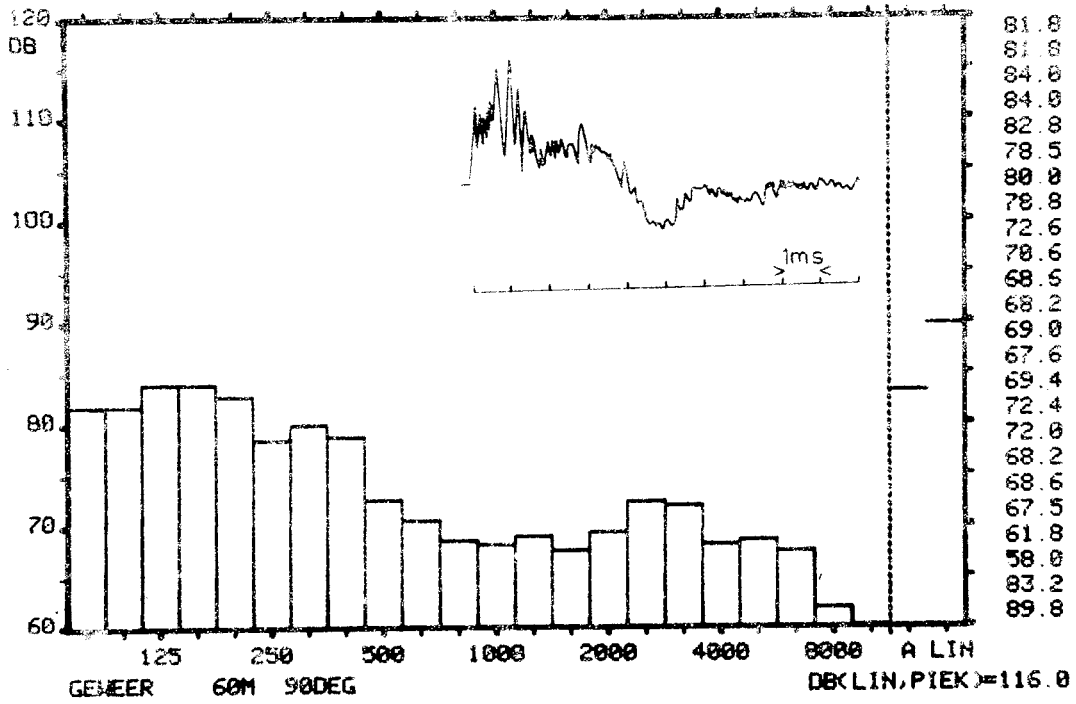


Fig. 4. Zie tekst onder Fig. 3.

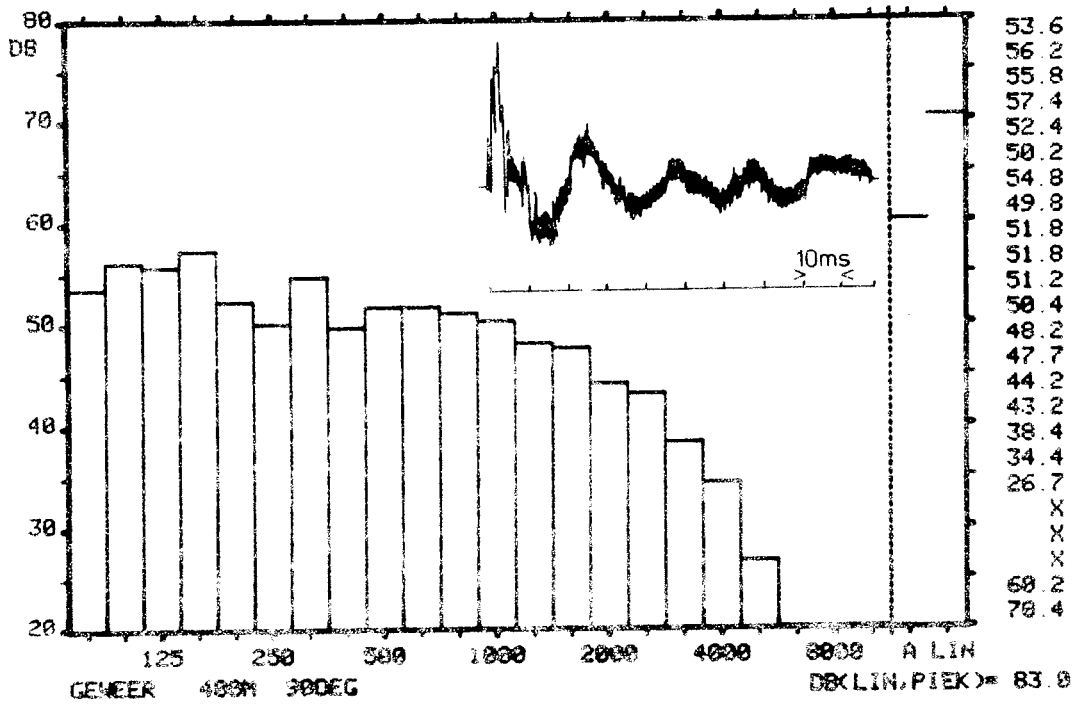


Fig. 5. Zie tekst onder Fig. 3.

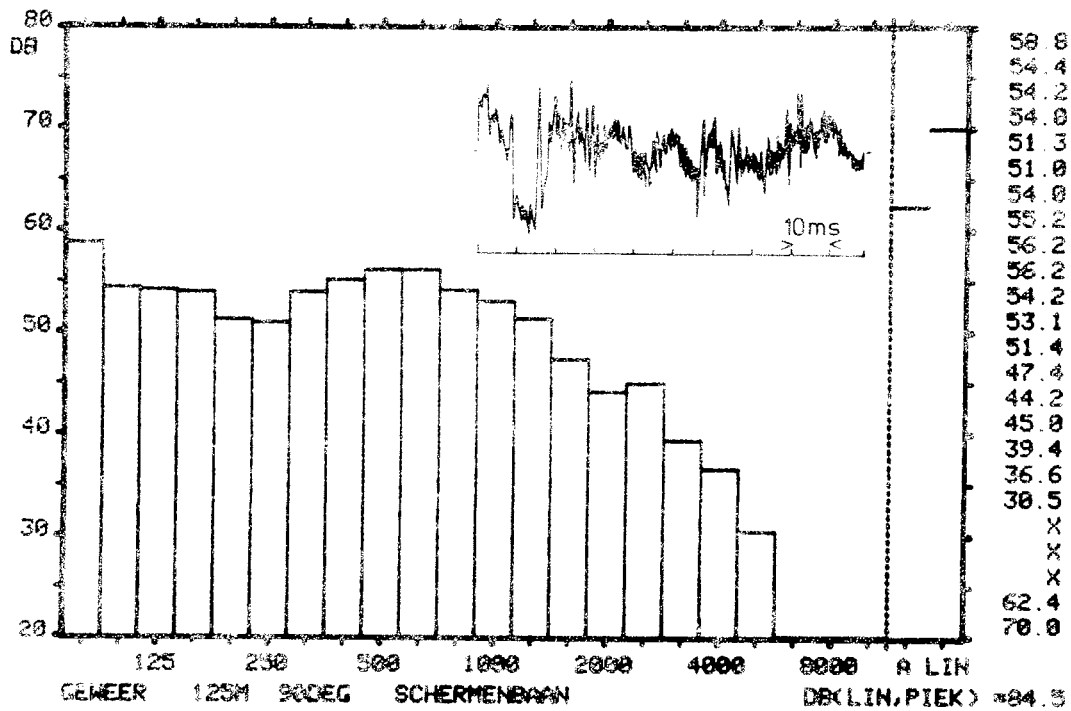


Fig. 6. Zie tekst onder Fig. 3.

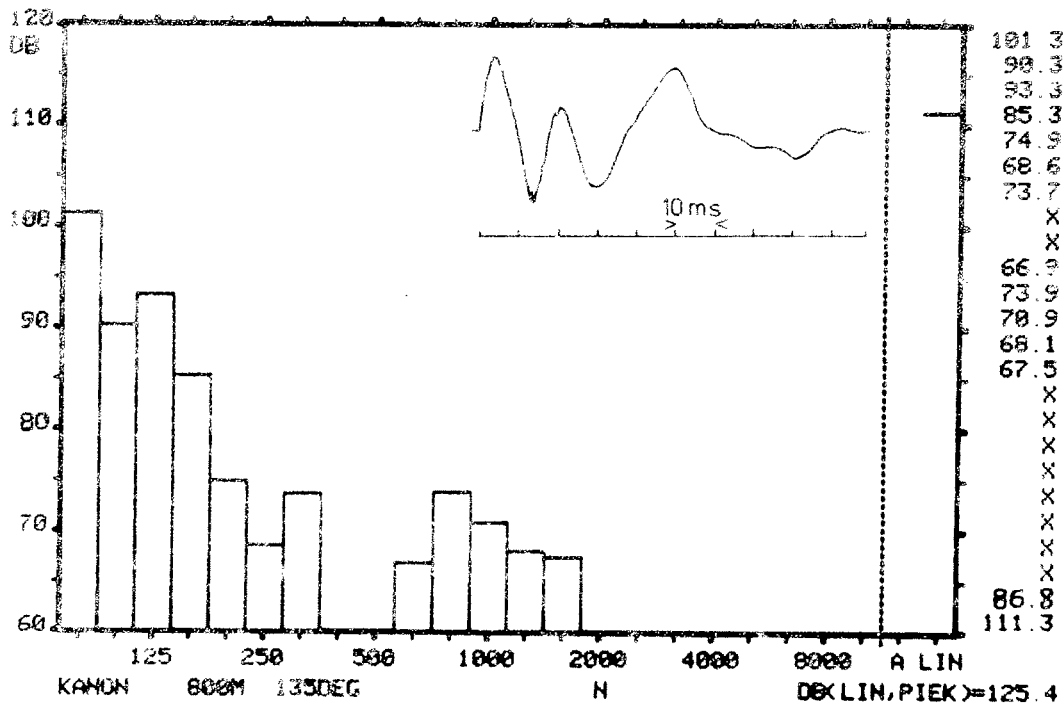


Fig. 7. Zie tekst onder Fig. 3.

de knal. Deze waarden worden in de figuren aangevuld met de maximale geluiddruk-niveaus zonder filtering (het lineaire niveau) en met de frekwentie-afhankelijke A-weging. De doorlaatband van dit apparaat, zonder filtering (en voorafgaand aan de A-weging), is breder dan het door de 1/3-oktaven omspannen bereik van iets minder dan 80 Hz tot iets meer dan 10.000 Hz. In feite wordt de bandbreedte in de stand lineair bepaald door de bandbreedte van de magneetbandregistratie (30-15.000 Hz). In Fig. 7 is het lineaire niveau duidelijk hoger dan het niveau dat men krijgt bij samenstelling van de 1/3-oktaafbandniveaus. Dit verschil moet dus gezocht worden in de niet weergegeven niveaus van de frekwentiebanden 30-80 Hz en 10.000-15.000 Hz. Het hoogfrequent gebied lijkt op grond van het verloop van het spektrum echter niet bij te dragen tot het totale geluiddruk-niveau, zodat geconcludeerd mag worden dat de hoogste niveaus in de magneetband-registratie van de kanonslag in de band van 30-80 Hz voorkomen.

Uit de spektra valt ook duidelijk af te lezen dat de niveaus in de hoogste frekwentiebanden relatief laag zijn wanneer de afstand tot de bron groot is.

4.3.2. Piekniveaus buiten schietinrichtingen voor lichte vuurwapens

Alhoewel de piekniveaus rondom schietbanen sterk afhankelijk blijken te zijn van de plaatselijke situatie, en de weersgesteldheid ook een relatief grote invloed heeft op de metingen, zal hier toch een indruk worden gegeven van het materiaal dat door ons in de jaren 1974-1978 werd verzameld. Daartoe wordt uitgegaan van de piekwaarden die terzijde (90° t.o.v. de schietrichting) van vijf schietbanen werden gevonden. Deze vijf schietbanen hebben met elkaar gemeen dat ze in enige mate afgeschermd van hun omgeving waren gesitueerd. Drie van de vijf schietbanen waren civiele banen, waarbij de afscherming bestond uit een enigszins verzonken ligging, houten schotten en aarden wallen, de overige twee banen waren militaire schermenbanen met aarden wallen. Rondom de schietbanen werd een matige begroeiing aangetroffen. Fig. 8 laat een gearceerde band zien waarin de piekniveaus als functie van de afstand tot de schutter liggen. De getoonde waarden betreffen het schieten met een geweer, zoals de FAL, MAG of Garand. Bij lichtere vuurwapens kunnen belangrijk lagere piekniveaus voorkomen.

De verzwakking van het geluid met toenemende afstand kan in eerste benadering theoretisch beschreven worden met een term van 6 dB per verdubbeling van de afstand die het gevolg is van de bolvormige uitbreiding van het geluidveld en een term van een aantal dB per 100 m, die de geluidabsorptie beschrijft. Geluidabsorptie vindt plaats door een zachte bodem (gras), het

gewas (struiken, bomen) en door de lucht. Na aftrek van de verzwakking door bolvormige uitbreiding blijkt de geluidverzwakking door absorptie bij de in Fig. 8 in de gearceerde band samengevatte meetresultaten 2 dB per 100 m te bedragen. Bij de matige begroeiing rondom de schietbanen kan op basis van de literatuur een absorptie van 5 dB(A) per 100 m verwacht worden. Deze waarde betreft echter A-gewogen spektra, terwijl bij de piekniveaumeting geen frekwentie-afhankelijke weging wordt toegepast. Buiten de afgeschermdde schietbanen worden de hoogste niveaus gevonden in lage frekwentiebanden (onder 200 Hz), zodat deze lage frekwenties belangrijk zullen bijdragen aan het piekniveau. De verzwakking van slechts 2 dB per 100 m van het piekniveau kan nu verklaard worden vanuit de relatief geringe absorptie van lage frekwenties (Parkin en Scholes, 1964).

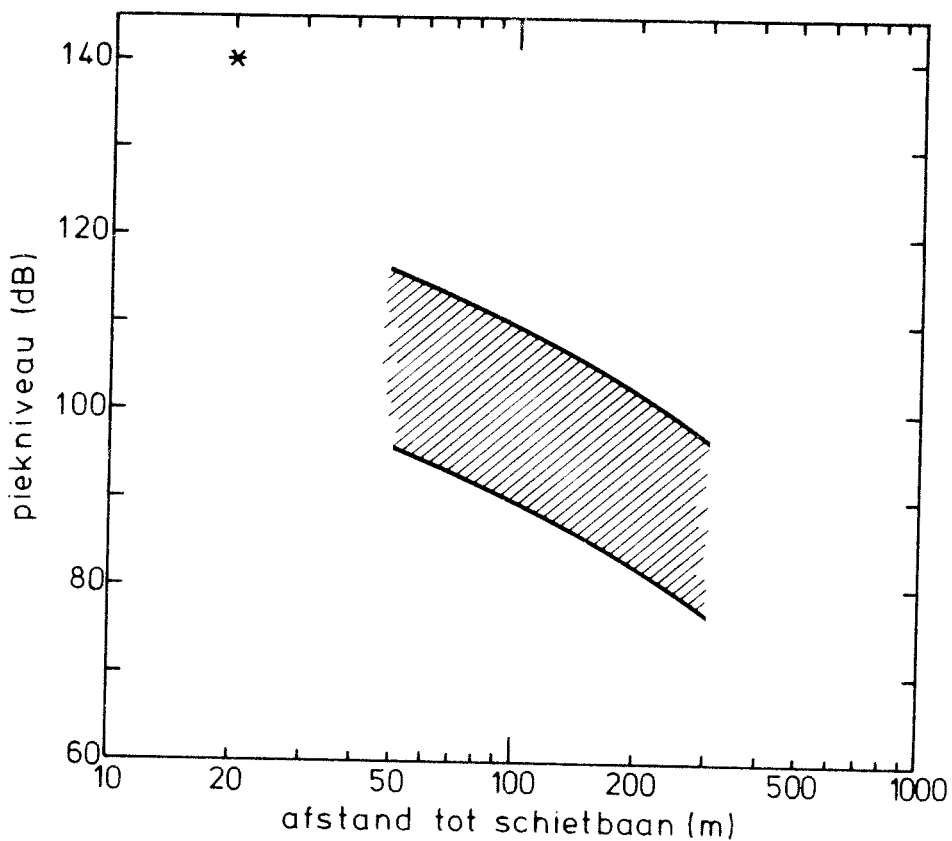


Fig. 8. Piekniveaus rondom afgeschermdde schietbanen van 100 m lengte als functie van de afstand tot de schietbaan wanneer er geschoten wordt met een geweer zoals de FAL, MAG of Garand. Ter vergelijking wordt het piekniveau dat onder 90° met de schietrichting op 20 m afstand wordt gevonden (geen belemmering tussen bron en mikrofoon) met een * aangegeven.

In de in Fig. 8 weergegeven band van piekniveaus kunnen meer meetresultaten worden samengevat dan de piekniveaus die terzijde van de schietbanen (onder 90° met de schietrichting) werden gevonden. In de schietrichting zijn de piekniveaus hoger. Wordt de afstand nu niet gerekend tot de schutter maar tot de kogelvanger aan het einde van de 100 m lange schietbanen (dus een 100 m kleinere afstand) dan vallen de gemeten piekniveaus goed in de gearceerde band van Fig. 8. Achter het wapen zijn de piekniveaus lager dan onder 90° t.o.v. de schietrichting. Zonder afscherming vallen de piekniveaus dan in de bovenste helft van de band in Fig. 8; met afscherming in de onderste helft of eronder. Vaak gebeurt het echter dat er schuin voor de schutter schermen staan opgesteld die het geluid reflektieren. De met een hoog piekniveau naar voren afgestraalde knal wordt dan naar achteren gereflekteerd, waardoor de piekniveaus achter de schutter in dit geval boven de band van Fig. 8 komen te liggen. Goede akoestische voorzieningen zijn dan dus gewenst. Samenvattend kan gesteld worden dat de gearceerde band in Fig. 8 de piekniveaus weergeeft, die rondom afgeschermd schietbanen worden gevonden, wanneer de afstand gerekend wordt tot aan de schietbaan en wanneer er geen knallen naar achteren worden gereflekteerd. Hieronder volgt nog een vergelijking in getallen van de piekniveaus, die bij verschillende schietbanen op 100 m (200 m van de schutter in de schietrichting) werden gevonden:

0° t.o.v. schietrichting, 200 m van de schutter:

open baan met aarden wal als kogelvanger	}	94 - 103 dB
baan met aarden wallen rondom		
schermenbaan		

90° t.o.v. schietrichting, 100 m van de schutter:

open baan	117 - 118 dB
schermenbaan of slechts aarden wallen rondom	90 - 109 dB

180° t.o.v. schietrichting, 100 m van de schutter:

naar achteren open baan, geen schermen schuin voor de schutter	}	103 - 107 dB
naar achteren open baan (aarden wal) met schermen schuin voor de schutter		
naar achteren gesloten baan (aarden wal) met schermen boven kogelbaan (schermenbaan).	}	113 dB

4.3.3. Piekniveaus buiten schietinrichtingen voor zware vuurwapens

Alhoewel de piekniveaus die rondom zware vuurwapens worden gevonden niet direkt kunnen worden vergeleken met die voor lichte vuurwapens, omdat

de knal van zware vuurwapens relatief meer laagfrequent geluidenergie bevat, geven we hier toch een indruk van de waarden die verwacht kunnen worden. Op 500 m afstand van het zware wapen zal het piekniveau afhankelijk van het kaliber van het wapen en de gebruikte lading liggen tussen 120 dB en 145 dB.

4.4. Aantallen knallen geproduceerd door verschillende soorten schietinrichtingen

4.4.1. Algemeen

Ter bepaling van de geluidbelasting is naast de piekniveaus van de knallen ook het aantal knallen van belang. Als maat wordt het aantal knallen per dag gebruikt. Bij de berekening van het aantal knallen per dag, uit jaaropgaven van het munitieverbruik wordt er uitgegaan van 200 schietdagen per jaar.

Militaire schietbanen zijn in gebruik van 8.00-16.00 uur en soms nog 2 uren in de vroege avond. Het gebruik van civiele banen kan hiervan enigszins afwijken. Bij dagopgaven kan eventueel het schieten na 19.00 uur apart worden beschouwd, omdat dan de grenswaarde voor de geluidbelasting 5 dB lager wordt gesteld (zie de Memorie van Toelichting op het Wetsontwerp Geluidhinder, pag.86 of de brochure Geluidhinder, 1973, van het Directoraat Generaal voor de Milieuhygiëne).

Verschillen in het aantal knallen kleiner dan een faktor 2 zijn voor de hinderproblematiek niet relevant.

4.4.2. Civiele schietbanen (voor lichte vuurwapens)

Uit de jaaropgaven van het munitieverbruik van een drietal civiele schietbanen kan worden afgeleid dat er gemiddeld ongeveer 1000 schoten per dag worden afgevuurd. Dit betreft dan zowel de schoten van zwaardere vuurwapens, zoals geweren en sommige soorten pistolen, als die van lichtere vuurwapens, zoals karabijn, buks en lichte pistolen. Het aantal schoten van de zwaardere wapens is in sterke mate bepalend voor de geluidbelasting. Dit aantal ligt voor de drie schietbanen tussen de 300 en 800 per dag. Tijdens wedstrijddagen kunnen 3000 tot 5000 schoten verwacht worden.

4.4.3. Militaire schietinrichtingen voor lichte vuurwapens

Van 2^o militaire schietinrichtingen in Nederland (die uit meerdere schietbanen kunnen bestaan) werd in de periode mei, juni, juli 1975 het aantal schoten per dag en per wapen geregistreerd. In Tabel I worden het ge-

middeld aantal geweerschoten per schietdag en het gemiddeld aantal schoten van alle wapens, inclusief de lichtere, gegeven voor een schietinrichting met een gemiddelde bezetting (de mediane waarde) en de inrichting waar het meest geschoten werd. Aangezien het aantal schoten per dag sterk kan wisselen, zijn naast de gemiddelde aantallen schoten de gemiddelde waarden plus één standaardafwijking tussen haakjes toegevoegd. Terwijl het gemiddeld aantal schoten ongeveer de helft van de schietdagen zal worden overschreden zal het gemiddeld aantal schoten plus één standaardafwijking slechts 16% van de schietdagen worden overschreden.

Tabel I. Mediaan en maximum van het gemiddeld aantal schoten per schietdag van 28 militaire schietinrichtingen in Nederland. Een opsplitsing is gemaakt naar geweerschoten en de schoten van alle wapens tezamen (inkl. geweer). Tussen haakjes staan, in aanvulling op het gemiddeld aantal schoten, de gemiddelde waarden plus één standaardafwijking vermeld.

	Mediaan	Maximum
geweer	1500 (2000)	4000 (7000)
alle wapens	3500 (5000)	6000 (9000)

4.4.4. Militaire schietinrichtingen voor zware vuurwapens

Hierover zijn bij ons geen systematische gegevens aanwezig. Bij munitieproeven en oefeningen ligt het aantal schoten naar onze ervaring in de orde van 10 tot 200 per dag.

5. Fysische maten ter kwantificering van schietgeluid

5.1. Integratietijd

5.1.1. Inleiding

In het vorige hoofdstuk werd de geluidsterkte van de knallen uitgedrukt in het piekniveau, terwijl er tevens op gewezen werd, dat de knal met het piekniveau slechts gedeeltelijk is beschreven. De duur en de spektrale samenstelling van de knal zijn aspecten die de geluidhinder mede kunnen bepalen. Systematisch onderzoek naar de invloed van de verschillende fysische parameters van de knal op de geluidhinder ontbreekt echter geheel. Een fysische maat, waarin de verschillende aspecten zodanig zijn verwerkt, dat een goede relatie met de geluidhinder verzekerd is, kan dus niet worden gegeven. Ten aanzien van de waarneembaarheid en de luidheid van geluiden is het effect van de duur van het geluid echter wel onderzocht. Het resultaat van dit onderzoek kan ook in de hinderproblematiek worden gebruikt, wanneer wordt aangenomen dat het effect van de duur door een algemene eigenschap van het gehoororgaan wordt bepaald. In de volgende paragrafen wordt het effect van de duur op de waarneembaarheid en luidheid van geluiden beschreven, terwijl in § 5.2. de invloed van de spektrale samenstelling op de luidheid ter sprake komt.

5.1.2. Integratietijd bij de signaaldetectie

Wanneer de duur van een juist waarneembare toonstoot verlengd wordt van b.v. 10 tot 100 ms, dan blijft de waarneembaarheid van deze toonstoot gelijk wanneer het geluidniveau met 10 dB verlaagd wordt. De totale geluid-energie van de toonstoot blijkt bepalend te zijn voor de waarneembaarheid. Boven een zekere duur van de toonstoot wordt de geluidintensiteit echter bepalend voor de waarneembaarheid; een verlenging van de toonduur heeft dan geen invloed meer op de waarneembaarheid. Dit gedrag van het gehoororgaan kan beschreven worden met een eenvoudige integrator, die over een beperkt tijdinterval, de integratietijd, het geluid sommeert. De integratietijd van het gehoororgaan is onderzocht voor toonstoten in stilte en in achtergrondlawaai. De metingen in achtergrondlawaai zijn voor de geluidhinderproblematiek het meest relevant, omdat absolute stilte praktisch nooit voorkomt. De gevonden integratietijden bij achtergrondlawaai liggen tussen 150 en 400 ms met een tendens van kortere integratietijden bij hogere frekventies (Plomp en Bouman, 1959). Voor breedbandige toonstoten of ruisstoten wordt in stilte

een vergelijkbare integratietijd gevonden (200 ms), maar bij achtergrondlawaai (waarbij tussen 40 en 80 dB het niveau van het achtergrondlawaai niet van invloed is) is de integratietijd slechts 50 ms en wordt er voor kortere toonstoten slechts een helling van 7 dB per tiendeling van de duur gevonden (Zwicker en Feldtkeller, 1967).

Het integratormodel blijkt ook het wegsterven van de activiteit in het gehoororgaan na het einde van de toonstoot goed te beschrijven. Hiervoor wordt een tijdconstante van ongeveer 200 ms gevonden (Plomp, 1961; Zwicker en Felutkeller, 1967).

5.1.3. Integratietijd bij de luidheidswaarneming

Ook bij de luidheidswaarneming vindt men een integratietijd van het gehoororgaan. De luidheid van korte geluiden neemt tot een zekere duur toe wanneer men de duur van het geluid verlengt (ongeveer de integratietijd, die we hier met τ zullen aanduiden). Het vergelijken van de luidheid van geluiden van verschillende duur is echter een moeilijke opgave. Men kan zich afvrager of proefpersonen daarbij wel in staat zijn een zuivere luidheidsbeoordeling te geven. Desondanks is er veel literatuur op dit gebied verschenen, waarvan in Tabel II een overzicht wordt gegeven.

Tabel II laat grote verschillen in de resultaten zien. De waarden voor τ variëren van 10 tot 230 ms en de verhoging van het geluidsniveau nodig om een tiendeling van de duur te compenseren wanneer men de luidheid konstant houdt, varieert tussen 5 en 15 dB. Deze laatste waarden liggen rond de theoretische waarde van 10 dB voor het integratormodel.

Een duidelijk effect van de frekwentie of de bandbreedte op τ blijkt niet uit Tabel II. Sommige onderzoekers vinden echter wel een effect van het geluidsniveau op τ . Met een toenemend niveau neemt τ dan af tot ongeveer de helft bij het hoogste niveau. Daarnaast is er enige indicatie voor een sterkere toename van τ wanneer het niveau tot vlak boven de drempel is gedaald (vooral bij Stevens en Hall). Dit zou een aansluiting kunnen betekenen op de integratietijd bij de signaaldetectie.

Reichardt en Niese hebben gewezen op een effect van de duur van het referentiesignaal bij de luidheidsvergelijking. Volgens hen mag de duur van het referentiesignaal niet veel verschillen van de duur van het te onderzoeken signaal (zie het verschil in hun resultaten in Tabel II). Hun relatief korte τ (30 ms), die aanleiding gaf tot het invoeren van de stand *impulse* op geluidsniveaumeters, werd echter ook gevonden door Small, die gebruik maakte

publicatie	frekw. in Hz	niveau	methode	τ in ms	dB per faktor ref. signaal 10 in duur	in ms	aantal proefpersonen
von Békés (1929)	800	-	instellen	180	6 à 8	200	-
Checholle (1938)	-	-	-	200	-	-	-
Garner (1942)	1000	40 dB SPL	instellen	10,200	5	500	6
	"	80 dB SPL	"	10,200	6	"	"
Miller (1943)	witte ruis	20 dB SL	instellen	150	9	1550	3
	"	30 dB SL	"	95	"	"	"
	"	50 dB SL	"	75	"	"	"
	"	70 dB SL	"	65	"	"	"
	"	90 dB SL	"	60	"	"	"
Munson (1947)	125,500	30-	kiezen	200	15	1000	6
Niese (1965)	5650	100 dB SL	en instellen	-	-	-	-
	zuivere tonen	-	-	15 à 30	-	-	-
Fort (1963)	smalle band: 350	10-	instellen	70	10	1200	8
	2500	70 dB SL	"	70	"	"	"
	10.000	-	"	200	"	"	"
Reichardt en Niese (1970)	brede band	55 dB SL	"	70	"	"	"
	1000	70 dB	instellen	70	-	450	50
	"	"	"	30	-	30	"
Roed (1973)	200	100 dB SPL	instellen	150	7,8	1 : 2	20
	"	"	"	80	"	1 : 25	"
Small e.a. (1962)	witte ruis	10 dB SL	instellen	50	12,5	500	12
	"	35 dB SL	"	30	"	"	"
	"	60 dB SL	"	15	"	"	"
Stevens en Hall (1966)	witte ruis	15 dB SL	schatten	230	12,5	-	12
	"	35-93 dB SL	"	150	"	-	"
Zwicker (1966a)	1000	65 phon	kiezen	100	10	1 : 3	75
	witte ruis	75 phon	"	120	"	1 : 3	83

Tabel II. Integratie-eigenschappen van het gehoororgaan bij de luidheidswaarneming.

Kolom 1: publicatie

2: frekwentie van toonstoot, danwel smalle band ruis of opgave brede band ruis

3: geluidniveau van de toonstoot in absolute waarde, SPL en phon, of t.o.v. de drempel (SL)

4: methode van luidheidsvergelijking: instellen op gelijke luidheid, kiezen van de luidere van twee toonstoten en schatter in getalvorm van de luidheid

Kolom 5: gevonden integratietijd:

6: verhoging van het geluidniveau, nodig voor gelijke luidheid, bij een tiendeling van de duur voor een duur kleiner dan 1

7: duur van het referentiesignaal

8: aantal proefpersonen, dat bij het experiment betrokken was

van een lang referentiesignaal. Zwicker, speciaal geïnteresseerd in dit probleem, vond weinig effect van de duur van het referentiesignaal op de waarde van τ .

De meetmethode zou ook van invloed kunnen zijn op het resultaat. Naar mijn mening verdient de methode van het kiezen van luidere (of zachtere) van twee geluiden of eventueel het schatten van de luidheid in getalvorm de voorkeur boven de methode waarbij op gelijke luidheid moet worden ingesteld. De eerste twee methoden zijn veel direkter dan de laatste, waardoor er een kleinere kans bestaat dat de proefpersoon het geluid analyseert. Er zijn evenwel onvoldoende gegevens beschikbaar om na te gaan of het gebruik van de eerste twee methoden ook tot kleinere verschillen in de resultaten zal leiden.

De grote verschillen in de meetwaarden van τ komen zeer dramatisch naar voren in het recente rapport over de "Round Robin Test on Impulsive Noise". Bij deze test waren 21 laboratoria over de gehele wereld betrokken. Alhoewel alle laboratoria hetzelfde geluidmateriaal op magneetband gebruikten en de meetprocedures goed waren vastgelegd, waarbij toonstoten van 1000 Hz met verschillen in duur van slechts 1:2 werden gebruikt, bleken de waarden voor τ zelfs het bereik 10-200 ms te overschrijden! Wanneer men toch een beste waarde voor τ wilde aangeven, dan bleek deze 80 ms te zijn.

Een verklaring voor de grote verschillen die in de waarden voor τ worden gevonden kan nog niet worden gegeven. Aan het begin van deze paragraaf werd reeds opgemerkt dat het vergelijken van geluiden van verschillende duur een moeilijk opgave is. De instructie van de proefpersoon en diens taakopvatting zouden een belangrijke invloed kunnen hebben op de waarde die voor τ wordt gevonden. De in de Round Robin Test gevonden significante verschillen tussen de resultaten van de participerende laboratoria zouden het gevolg kunnen zijn van verschillen in de wijze van instructie van de proefpersonen. Zelfs etnische verschillen worden in het rapport als een mogelijke oorzaak genoemd. Er zijn echter ook duidelijke verschillen tussen proefpersonen betrokken bij één experiment gevonden. Garner rapporteerde zelfs dat er twee categorieën proefpersonen konden worden onderscheiden; een groep met $\tau = 10$ ms en een groep met $\tau = 200$ ms.

De tot nu toe gegeven waarden voor τ hebben betrekking op geluidstoten en nog niet zo zeer op impulsen. Zeppler en Harel (1965) en Johnson en Robinson (1967) hebben rekenschema's gegeven voor de luidheid van supersone knallen. De relatie tussen de luidheid en het frekwentiespektrum speelt bij deze rekenschema's echter de belangrijkste rol. Voor de integratietijd

ontlenen ze de waarde van 70 ms aan Port (zie Tabel II). In de Round Robin Test werden ook vijf impulsvormige geluiden opgenomen (waaronder een geweerknal en een supersone knal). Deze vijf geluiden werden niet repeterend gepresenteerd. Daarnaast kwamen in deze test 9 repeterende impulsvormige geluiden voor (zoals een pneumatische hamer) die hier verder buiten beschouwing worden gelaten. De subjektieve beoordelingen van de luidheid bleken het best te korreleren met het piekniveau van de impulsen. De daaropvolgende beste correlatie werd gevonden met de stand *impulse* (integratietijd 35 ms) en een ongeveer even goede correlatie werd gevonden met een integratietijd overeenkomstig de duur van de impuls. Hierna volgden de standen *fast* en als laatste *slow*.

Ten aanzien van de *hinderlijkheid* van impulsgeluid is er, afgezien van supersone knallen, geen systematisch onderzoek verricht. Incidenteel, b.v. door Kitamura en Ishihara (1975) in het kader van de Round Robin Test of door Zwicker (1966b) als gevolg van de ervaringen bij zijn onderzoek naar de luidheid van impulsgeluiden (Zwicker, 1966a), wordt er op gewezen, dat luidheidsverschillen niet zonder meer mogen worden vertaald in hinderlijkheidsverschillen. Het is daarom raadzaam normen ten aanzien van de hinderlijkheid van schietlawaai niet vast te stellen op basis van luidheidsstudies. Wel lijkt het zinvol om de bij de geluidmetingen te gebruiken integratietijd te ontlenen aan de luidheidsstudies onder de aanname, dat het hier een algemene eigenschap van het gehoororgaan betreft, die men ook zal terugvinden in b.v. het verschil in hinderlijkheid van korte en lang uitklinkende knallen.

5.1.4. Keuze van de integratietijd bij geluidmetingen

Moderne geluidniveaumeters kunnen voorzien zijn van de standen *peak*, *impulse*, *fast* en *slow*. In de stand *peak* wordt het hoogste niveau gemeten (overdruk of onderdruk), dat op enig moment wordt bereikt (vgl. § 4.1.3). De stand *impulse* vertegenwoordigt een integratietijd van 35 ms, die goed is vastgelegd in DIN 45633, Blatt 2 (1969) en in de voorgestelde revisie van IEC 179 van december 1976. De integratietijden behorende bij de standen *fast* en *slow* zijn minder goed vastgelegd. In IEC 179 wordt slechts voorgeschreven dat bij een toonstoot van 200 ms de maximale wijzeruitslag in de stand *fast* moet liggen tussen -1 ± 1 dB t.o.v. de wijzeruitslag bij een continue toon en dat dit interval -4 ± 1 dB is voor de stand *slow* en een 500 ms toonstoot. Voor de stand *fast* betekent dit dat er slechts een maximum aan de integratietijd wordt gesteld; voor de stand *slow*, dat de integratietijd tussen 700 en 1300 ms moet liggen. In de concept-revisie van IEC 179 van december 1976 wordt dit probleem onderkend en worden integratietijden van 125 en 1000 ms

voorgesteld voor resp. de standen *fast* en *slow*. Er is echter bij de in gebruik zijnde geluidniveaumeters geen eenheid in integratietijd. Ten aanzien van de stand *fast* b.v. heeft de voor de figuren 3 t/m 7 gebruikte Rohde & Schwarz Analyzer een goed met de voorgestelde waarde van 125 ms overeenkomende integratietijd, terwijl deze van de (door ons gebruikte) B & K 2209 ongeveer 250 ms bedraagt en de GR 1982 (zie § 4.1.3) twee integratietijden heeft. Van dit laatste instrument is de digitale uitlezing in de stand *fast* gebaseerd op de integratietijd van de stand *impulse* (35 ms), terwijl bij de wijzeruitslag een grotere integratietijd is verkregen door de traagheid van het wijzerinstrument. Bij impulsgeluid korresponderen de twee uitlezingen dus niet met elkaar.

Uitgaande van de hiervoor beschreven metingen van de integratietijd van het gehoororgaan komen de standen *fast* (met $\tau = 125$ ms) en *impulse* voor gebruik in aanmerking, waarbij de keuze tussen deze twee op basis van de eigenschappen van het gehoororgaan moeilijk valt te maken. De verscheidenheid waarmee het integrerende netwerk voor de stand *fast* bij de verschillende meetapparaten is gerealiseerd, waardoor bij metingen aan impulsgeluid verschillen van zeker 5 dB kunnen voorkomen, geeft aanleiding tot de keuze van de beter gedefinieerde stand *impulse*.

5.2. Spektrale weging

Naast de integratietijd is ook de relatieve bijdrage van de verschillende frekwentiecomponenten aan het te meten geluidniveau van belang. Algemeen wordt de A-weging toegepast, die is gebaseerd op de gevoeligheid van het gehoororgaan als functie van de frekwentie bij een geluidniveau van ongeveer 40 dB. Met inachtneming van de kritische noot in de volgende alinea is er geen reden om van de algemeen gangbare A-weging af te wijken bij de bepaling van de geluidbelasting die een schietinrichting veroorzaakt.

Bij de luidheidswaarneming vindt er in het gehoororgaan geen simpele sommatie van de gewogen intensiteiten per frekwentieband plaats, hetgeen bij de A-weging (en de andere in gebruik zijnde wegingen, zoals B, C etc.) wel het geval is. Breedbandige geluiden met hetzelfde A-gewogen niveau als smalbandige (tonen) klinken veel luider. Dit effect komt duidelijk tot uiting in de resultaten van de Round Robin Test on Impulsive Noise, waarin breedbandige impulsgeluiden werden vergeleken met 1000 Hz toonstoten van korte duur. Eigenlijk moeten er voor de luidheidsbepalingen veel ingewikkelder rekenschema's worden toegepast, zoals o.v. gegeven door Stevens (1956, 1961) en Zwicker (1967). Wanneer men echter slechts breedbandige geluiden met

niet te geprononceerde spektra met elkaar vergelijkt, dan is het gebruik van de A-weging verantwoord.

Met de keuze van de A-weging en 35 ms integratietijd wordt er afgeweken van het eerder (Hoofdstuk 4) gebruikte piekniveau, waarbij tevens geen frequentieweging werd toegepast. Naar verwachting zal het gebruik van de *A-impulse*-maat tot een betere kwantificering van de impulsgeluidbelasting leiden, alhoewel incidenteel, afhankelijk van de onderzochte geluiden, de *lin, peak*-maat zeer goed blijkt te voldoen (b.v. in de Round Robin Test).

Bij supersone knallen en knallen van zwaar geschut kan het voorkomen dat de hinderlijkheid groter is dan hun luidheid zou doen verwachten omdat hun overwegend laagfrequentie energie niet zo zeer bijdraagt tot de luidheid, maar wel b.v. kopjes doet rinkelen en ruiten in trilling brengt, hetgeen tot angst voor vernielingen aanleiding kan geven. Bij dit soort knallen blijkt boven een bepaald niveau de C-weging (praktisch lineair in het audigegebied) tot een betere korrelatie met de hinderlijkheid te leiden (Schomer, 1977; CHABA Wgp 69, 1977). Voor knallen korter dan 1 s wordt voor dit niveau een waarde opgegeven van ongeveer 85 dB (*C, slow*), zie verder § 6.3.3.

5.3. Vergelijking van de verschillende fysische maten in de praktijk

De verschillende fysische maten zullen, gelijk hiervoor werd gedaan, worden aangeduid met de spektrale weging (*lin, A, C*) gevolgd door de integratietijd (*peak, impulse, fast* en *slow*). Aangezien in de literatuur vele maten voorkomen zal hier een indruk worden gegeven van de numerieke verschillen die bij het gebruik van de verschillende maten kunnen optreden. De vergelijkingen zijn gebaseerd op bandopnamen (waardoor dus de bandbreedte bij de lineaire spektrale weging wordt bepaald (§ 4.1.4)) van knallen geproduceerd door een geweer in een schermenbaan. In deze zin zijn de hier te presenteren vergelijkingen dus beperkt.

Tabel III geeft de verschillen op korte afstand van het wapen (meestal 4 m, hoogstens 50 m), waarbij het geluid de mikrofoon zonder belemmeringen bereikte. Wanneer we uitgaan van de veronderstelling, dat de duur van de knallen in dit geval korter is dan de kleinst gebruikte integratietijd van 35 ms (vgl. Fig. 2), dan kunnen het verschil tussen *fast* en *impulse*, en dat tussen *slow* en *impulse* direkt worden afgeleid uit de verhoudingen van de integratietijden. Met integratietijden van 35, 250 en 1000 ms voor resp. *impulse, fast* en *slow* worden deze twee verschillen -8,5 en -14,5 dB. De A-gewogen niveaus in Tabel III liggen zeer dicht bij deze theoretische waarden. In het lineaire geval vinden we echter kleine afwijkingen. Deze afwijkingen

duiden op een langere uitklinktijd dan 35 ms voor de laagste frekventies van de knal; de frekventies die door de A-weging sterk worden verzwakt.

Tabel III. Verschil tussen de aanwijzingen van een geluidniveaumeter B & K 2209 op de standen *peak*, *fast* en *slow* t.o.v. de aanwijzing op de stand *impulse*, wanneer de knal van een geweer de op korte afstand geplaatste geluidniveaumeter onbelemmerd bereikte (metingen in Gilze-Rijen, 1974). De eerste rij geeft de verschillen aan zonder dat een frekventie-afhankelijke weging werd toegepast (lineair), de tweede rij met de A-weging. De derde rij geeft het effect van de A-weging (t.o.v. lineair) voor de standen *impulse*, *fast* en *slow*. De standaardafwijking in de verschillen is per knal kleiner dan 1,5 dB; gemiddeld 0,7 dB. De opgegeven waarden zijn gemiddelden over 18 knallen.

	<i>peak</i>	<i>impulse</i>	<i>fast</i>	<i>slow</i>
lineair	+18,0	0	-7,8	-13,8
A-gewogen	-	0	-8,2	-14,0
effekt A-weging	-	-1,8	-2,2	- 2,1

Tabel IV geeft de verschillen tussen *peak*, *fast*, *slow* en *impulse* en het effect van de A-weging, wanneer op grotere afstand van de geluidbron wordt gemeten (150-350 m) met de aarden wal van de schermenbaan tussen de geluidbron en het meetpunt in. De verschillen zijn in dit geval kleiner, omdat de knal langer uitklinkt. Daarnaast heeft de A-weging meer effect, omdat de lage frekventiecomponenten een belangrijke bijdrage aan het lineaire geluidniveau leveren (vgl. § 4.3.1).

Tabel IV. Als Tabel III, maar nu op grotere afstand van de schutter (150 tot 350 m) en met de aarden wal van de schermenbaan tussen schutter en meetpunt (metingen in Gilze-Rijen, 1974 en 1977). De standaardafwijking in de verschillen is per knal kleiner dan 4 dB; gemiddeld 2 dB. De opgegeven waarden zijn gemiddelden over 52 knallen.

	<i>peak</i>	<i>impulse</i>	<i>fast</i>	<i>slow</i>
lineair	+12,0	0	-4,1	-7,4
A-gewogen	-	0	-3,9	-9,2
effekt A-weging	-	-7,2	-7,1	-8,6

Naast de *peak*, *impulse*, *fast* en *slow* maten wordt in de Verenigde Staten ook nog een maat gebruikt, waarbij de totale energie van het impulsgeluid over een onbeperkt tijdsinterval wordt bepaald en daarna uitgedrukt in het niveau van een geluidstoot van 1 s met dezelfde energie. Deze maat wordt de Sound Exposure Level (SEL) genoemd (Schomer, 1977; CHABA Wgp 69, 1977). Het gebruik van deze maat leidt tot een eenvoudige bepaling van het equivalente

geluidniveau L_{eq} door de *SEL*'s van alle knallen energetisch te sommeren en vervolgens door de relevante emissieperiode in sekonden te delen. De *SEL* van de knallen werd door ons met de computer bepaald via een numerieke berekening van $\int_0^T p^2 dt$, waarbij $t=0$ het begin van de knal representeert en p de geluidsdruk als functie van de tijd. Onmiddellijk voorafgaande aan de knal werd het achtergrondniveau bepaald uit $\bar{p}_a^2 = \frac{1}{T} \int_{-T}^0 p_a^2 dt$. De energie van de knal werd vervolgens verkregen uit $\int_0^{\infty} (p^2 - \bar{p}_a^2) dt$, waarbij de integraal bij een zekere t werd afgebroken indien verhoging van t geen toename van de integraalwaarde liet zien. Voor de knallen van de Tabellen III en IV bleken de *SEL*-waarden A-gewogen binnen 0,1 dB gelijk te zijn aan de *A,slow*-waarden en lineair (ongewogen) 0,5 dB (dichtbij, Tabel III) tot 1,2 dB (veraf, Tabel IV) lager te liggen.

Het zal nu duidelijk zijn dat aan de numerieke waarden van de niveaus van impulsgeluiden slechts betekenis kan worden toegekend indien de maat waarmee gemeten werd, vermeld wordt en verder dat men de bij deze maat behorende grenswaarden dan wel dosis-effekt relaties dient te hanteren.

6. Hinder van schietgeluid

6.1. Geluidhinder in het algemeen

Men kan door lawaai op verschillende wijzen gehinderd worden, b.v. bij het verstaan van spraak, bij de concentratie op het werk, bij het slapen, door schrik-effecten bij plotselinge geluiden of door minder specifiek aanwijsbare oorzaken, zoals een algemeen gevoel van irritatie dan wel mogelijke angstgevoelens bij laag overvliegende vliegtuigen of bij supersone knallen, die de ruiten in trilling brengen. Wanneer men een relatie tussen de geluidbelasting en de hinder probeert vast te leggen (een zg. dosis-effektrelatie), dan zal het duidelijk zijn dat deze afhankelijk is van het soort hinder dat men registreert. Een globale maat voor de geluidhinder, die veel wordt gehanteerd, is de community response, waarbij de response bestaat uit klachten over het lawaai. ISO R 1996, waarnaar in het ontwerp Wet Geluidhinder veel wordt verwezen, geeft aan dat er één dosis-effektrelatie voor vele situaties kan worden gebruikt als het lawaai van een bepaalde bron wordt beschouwd ten opzichte van een "noise criterion", dat gerelateerd is aan het ter plaatse heersende achtergrondniveau (zie Tabel V). In de Nederlandse literatuur wordt dit noise criterion de grenswaarde genoemd. De rating sound level L_r is hierbij het geluidniveau van de geluidbron, die beoordeeld moet worden, waarbij

Tabel V. De reacties van de bevolking (community response) op een geluidbron waarvan het geluidniveau (rating sound level L_r) de grenswaarde (noise criterion) met een gegeven aantal dB's overschrijdt. Overgenomen uit ISO R 1996.

Amount in dB(A) by which the rating sound level L_r exceeds the noise criterion	Estimated community response	
	Category	Description
0	None	No observed reaction
5	Little	Sporadic complaints
10	Medium	Widespread complaints
15	Strong	Threats of community action
20	Very strong	Vigorous community action

een correctie van +5 dB op het gemeten geluidniveau (in stand A, *fast*) wordt ingevoerd, wanneer het geluid een impuls karakter heeft, dan wel hoorbare tonale componenten bezit en correcties van 0 tot -30 dB worden toegepast, wanneer het geluid slechts een gedeelte van de tijd aanwezig is. In het laatste geval wordt er vanuit gegaan, dat de totale energie van het geluid bepalend

is voor de hinder. Het equivalente continue geluidniveau L_{eq} (equivalent in de zin van evenveel energie) wordt dan als maat voor de geluidbelasting gebruikt.

ISO R 1996 is niet bedoeld voor afzonderlijk in de tijd voorkomende geluidimpulsen. Schietlawaai mag dus niet op basis van L_{eq} beoordeeld worden, maar vereist een speciale behandeling.

6.2. Beoordeling van het schietgeluid van lichte vuurwapens

Via verschillende, door de literatuur aangegeven, procedures worden relaties afgeleid tussen de 'rating sound level' L_r enerzijds en het geluidniveau van de knal in $dB(A, imp)$ en het aantal knallen anderzijds. Vervolgens worden de grenzen van hinder en ernstige hinder bepaald.

6.2.1. De L_{eq} -impulse maat

In rapport 43/1 N 269 van ISO werkgroep 15 getiteld "Evaluation of fluctuating noise for the assessment of general negative human reactions" van januari 1976, wordt een methode voorgesteld om tot een betere maat voor de geluidbelasting van fluktuierend en impulsvormig geluid te komen. Men merkt op, dat de correctie van +5 dB op het gemeten niveau voor lawaai met een impuls karakter slechts een gemiddelde correctie is en dat deze eigenlijk afhankelijk zou moeten zijn van de mate van fluktuatie van het geluid. Na een vergelijking van vele fysische maten, waarin de mate van fluktuatie op verschillende wijzen verwerkt is, komt men tot de conclusie dat de L_{eq} -impulse maat een goede noemer van al deze maten is. Deze maat is gebaseerd op het gebruik van de stand A, imp in tegenstelling tot de in ISO R 1996 voorgeschreven stand $A, fast$. Na integratie van het geluidsignaal (met de integratietijd van 35 ms) volgt bij de L_{eq} -impulse maat nog een bewerking van het signaal waardoor de intensiteit slechts langzaam volgens een exponentiële kromme tot het rustniveau terugkeert. De afvaltijd, gedefinieerd als de tijd waarin de intensiteit tot $\frac{1}{e}$ maal de topwaarde terugvalt, is in de concept revisie van IEC 179 gesteld op 1,5 s (zie ook DIN 45633, Blatt 2). Dit betekent dat het niveau in dB terugvalt met 2,9 dB/s. De energie wordt nu gemeten inclusief deze exponentiële afval. Voor schietgeluid zou men deze afval kunnen interpreteren als de nawerking van de knal.

Gaan we nu uit van een 8-urige schietdag (vgl. § 4.4.1 en ook ISO R 1996, waarin voor de relevante periode de meest ongunstige 8 opeenvolgende uren overdag als voorbeeld wordt gegeven), waarop 1000 schoten worden afgevuurd, dan kan de correctie die op het gemeten A, imp -niveau moet worden toe-

gepast om L_r te verkrijgen direkt berekend worden uit de verhouding van de effectieve duur van één knal (bepaald door de nawerking van 1,5 s) maal 1000 en de 8-urige periode in sekonden: $\text{korrektie} = 10 \log (1,5 \times 1000) / (8 \times 60 \times 60) = -12,8 \text{ dB}$. Hierbij is aangenomen dat de knallen elkaar niet in tijd overlappen; de gemiddelde tijd tussen twee knallen bij 1000 knallen per 8 uur is 29 s. Resumerend: $L_r = L_{\text{knal}} - 12,8 \text{ dB}(A, \text{imp})$.

6.2.2. Methode van Meurers

Meurers (1975) geeft in het tijdschrift "Kampf dem Lärm" "... einen ersten Überblick gegenüber das mögliche ungefähre Ausmass einer Lärmbelästigung durch Schiesslärm und andere Häufungen ähnlicher Kurzzeitvorgänge". Ook deze auteur wijst op een langere subjektieve stoorfase van de knal, waarbij hij voor dit tijdinterval onder verwijzing naar de Duitse richtlijn VDI 2058, Blatt 1 een waarde van 5 s kiest. De periode waarover de geluidbelasting wordt bepaald is bij Meurers 16 uur. De metingen zijn in dit geval ook gebaseerd op de A, imp maat. Op basis van deze gegevens berekenen we een korrektiefactor van $10 \log (5 \times 1000) / (16 \times 60 \times 60) = -10,6 \text{ dB}$.

Dus: $L_r = L_{\text{knal}} - 10,6 \text{ dB}(A, \text{imp})$.

In vergelijking tot de berekening van de vorige paragraaf zou men vanwege de 16-urige periode waarover de geluidbelasting hier wordt bepaald kunnen overwegen om deze berekening uit te voeren op basis van meer dan 1000 schoten. Meurers rapporteert 10-urige schietdagen hetgeen overeenkomt met onze bevindingen wanneer er ook in de vroege avond wordt geschoten (§ 4.4.1). Gaan we uit van een evenredig hoger aantal schoten in 10 uren (dus 1250 schoten) dan wordt de korrektiefactor $-9,6 \text{ dB}$ i.p.v. $-10,6 \text{ dB}$. De korrektiefactor verandert hierdoor dus niet veel. Aangezien schietdagen ook vaak korter dan 10 uur zijn houden we eenvoudigheidshalve een 8-urige schietdag met 1000 schoten aan.

Meurers beoordeelt het schietgeluid ook op basis van het verschil tussen L_r en de grenswaarde voor het betrokken gebied (vgl. § 6.1). De door hem voor de Duitse situatie gebruikte grenswaarden liggen evenwel 5 dB hoger dan die voor Nederland.

6.2.3. Beoordeling van Hediger

Hediger (1972) heeft 22 daartoe uitgenodigde personen van verschillende beroepskategorieën en leeftijden, knallen van een geweer laten beoordelen op geluidhinder (*gêne*). De beoordeling van de hinder werd in dit geval dus niet direkt vanuit de eigen leefsituatie verkregen. Op 16 afstanden werden

steeds 4 knallen ten gehore gebracht. Het betrof hier dus een beoordeling van de knallen zelf, waarbij de herhalingsfrequentie waarmee, en het tijdbestek waarover geschoten werd niet meespeelden. De resultaten waren als volgt:

Appréciation subjective de la gêne due au tir isolé du fusil d'assaut.

inexistante	faible	moyenne	forte	insupportable
50	65	80	95	110 dB(A,fast)

Opvallend is het grote verschil per klasse (15 dB).

Op basis van deze subjektieve beoordelingen stelde Hediger voor Zwitserland de hieronder vermelde grenswaarden op (les valeurs maximum admissibles pour différentes zones urbaines - ceci en fonction de l'importance de la place de tir). Deze grenswaarden voor het niveau van de afzonderlijke schoten (in dB(A,fast)) worden vergeleken met de grenswaarden voor continu en fluktuierend lawaai, zoals die in Zwitserland worden toegepast (Verdan, 1974). De door Verdán opgegeven waarden zijn geluidniveaus die 50% van de tijd worden overschreden (L_{50}) terwijl ISO L_{95} hanteert. Het verschil tussen L_{50} en L_{95} is afhankelijk van het type geluid. Voor verkeerslawaai wordt op 200 m afstand van een weg $L_{50} - L_{95} = 4$ dB gevonden. In de hinderproblematiek wordt met stappen van 5 dB gewerkt bij het stellen van grenswaarden. De grenswaarden volgens Verdán zijn daarom met 5 dB verminderd hieronder weergegeven.

zone \ activité de tir	modérée	moyenne	intense	grenswaarde voor continu geluid
zone de cure	50	45	40	40
zone d'habitation	70	60	50	50
zone d'industrie et d'agriculture	75	75	65	60

Bij een gemiddelde schietactiviteit ligt de dB(A,fast)-waarde voor de afzonderlijke knallen dus ongeveer 10 dB boven de grenswaarde voor continu lawaai.

Helaas geeft de publikatie van Hediger niet aan wat onder een gemiddelde schietactiviteit moet worden verstaan. Uit een situatie-beschrijving van Hediger en ons eigen materiaal kan worden gekonkludeerd, dat 1000 schoten per dag een gemiddelde schietactiviteit mag worden genoemd. Een beperkte schietactiviteit (modérée) wordt dan 200 schoten per dag (25 per uur). De niveaus die Hediger hiervoor opgeeft komen goed overeen met door Verdán op-

gegeven grenswaarden voor "häufige Spitzen" waaronder 7 tot 60 "Schallspitzen pro Stunde" wordt verstaan.

De grenswaarden van Hediger kunnen pas met de voorgaande resultaten vergeleken worden, wanneer de $A,fast$ -waarden worden vertaald in A,imp -waarden. Op grotere afstand van de geluidbron is het verschil tussen de A,imp -waarden en de $A,fast$ -waarden +4,1 dB (§ 5.3, Tabel IV). Aanvullende veldmetingen op 300 tot 450 m van een schietbaan leverden een verschil op van $+4,6 \pm 3,7$ dB (de standaardafwijking per knal is 3,7 dB; die van het gemiddelde is 1,1 dB). Aangezien de grenswaarde meestal op nog grotere afstanden zal worden bereikt en het verschil groter wordt op kortere afstanden (vgl. § 5.3, Tabel III) lijkt 4 dB een goede waarde voor het verschil. Voor 1000 schoten per dag wordt dan een korrektiefactor verkregen van $-(10 + 4)$ dB, ofwel: $L_r = L_{knal} - 14 \text{ dB}(A,imp)$.

6.2.4. Evaluatie op basis van Perceived Noise Level en Composite Noise Rating

Kryter (1970) geeft algemene rekenregels voor de evaluatie van geluidshinder, die echter in opzet zijn ontwikkeld voor vliegtuiglawaai (overkomende vliegtuigen). Op de supersone knal toegepast geven deze rekenregels een onderschatting van de hinder (Kryter, p.423). De rekenregels zijn gebaseerd op de Effective Perceived Noise Level (EPNL), de geluidenergie over een 8 s interval. Het 8 s interval is representatief voor de duur van het geluid van langskomende voertuigen of overkomende vliegtuigen. Een betere maat voor de geluidbelasting kan worden verkregen, wanneer er gewerkt wordt met de maximale Perceived Noise Level in een 0,5 s interval. De maximale Perceived Noise Level (PNL_{max}) voor één knal is:

$$PNL_{max} = L_{knal} (A,slow) + 15 \text{ dB}(A')$$

De correctie van +15 dB(A') wordt door (vooral de spektrale) eigenschap van een knal bepaald; zie Kryter, Tabel 30.

Voor N knallen per schietdag wordt de Composite Noise Rating (CNR) bepaald:

$$CNR = L_{knal} (A,slow) + 15 + 10 \log N - 12$$

waarbij de term -12 dB afkomstig is van de definitie van de CNR. Met een vertaling van $A,slow$ -waarden naar A,imp -waarden volgens § 5.3, Tabel V verkrijgen we:

$$CNR = L_{knal} (A,imp) + 10 \log N - 6$$

Carter (1977) werkt ook op basis van de PNL en CNR. Hij neemt als uitgangspunt de experimenteel relatie tussen de maximale overdruk van de supersone knal (in psf, pound per square foot, om te zetten in *lin,peak*) en de PNL (in PNdB) van overkomende vliegtuigen, waarvoor de hinder gelijk wordt beoordeeld door woongemeenschappen die resp. niet, beperkt en geheel gewend zijn aan de supersone knal:

gewenning woongemeenschap	niveau super- sone knal	vergelijkbaar ni- veau van vliegtuig
niet gewend	1,7 psf = 132 dB(<i>lin,peak</i>)	119 PNdB
beperkt gewend	1,7 psf = 132 dB(<i>lin,peak</i>)	113 PNdB
geheel gewend	1,9 psf = 133 dB(<i>lin,peak</i>)	110 PNdB

dus:

$$PNL_{\max} = L_{\text{knal}} (\textit{lin peak}) -13, -19, -24 \text{ dB}$$

voor resp. niet, beperkt, geheel gewend

Volgens Carter zou dit ook de PNL voor schietlawaai zijn. Tegenover de grotere stijgtijden bij schietlawaai, met daaraan gepaard relatief sterkere hoogfrequentie componenten in de knallen, die tot een relatief grotere luidheid leiden, stelt Carter dat de supersone knallen eigenlijk dubbele knallen zijn. Deze twee effecten zouden ongeveer tegen elkaar opwegen. Met een vertaling van *lin,peak*-waarden naar *A,imp*-waarden volgens § 5.3, Tabel IV verkrijgen we dan:

$$CNR = L_{\text{knal}} (A, \textit{imp}) + 10 \log N -6, -12, 17 \text{ dB}$$

voor resp. niet, beperkt, geheel gewend

De eerder in deze paragraaf op basis van Kryters gegevens afgeleide CNR komt overeen met dit resultaat voor niet aan het lawaai gewende woongemeenschappen. Dit resultaat houden we aan. Over gewenning aan schietlawaai is niets bekend.

De CNR waarbij nog geen klachten voorkomen is 80 (Kryter, Fig. 238). Bij 1000 schoten per dag betekent dit:

$$L_{\text{knal}} = 56 \text{ dB}(A, \textit{imp})$$

ofwel 16 dB boven de basiswaarde van 40 dB(A) voor het achtergrondniveau.

6.2.5. Evaluatie op basis van Sound Exposure Level en Day-Night Average Sound Level

Uit het reeds eerder genoemde rapport van CHADA Wgp 69 (1977) blijkt dat men voor schietlawaai van lichte vuurwapens geen correctie toepast bij

de berekening van de Day-Night Average Sound Level (L_{dn}). Dit betekent, dat in feite een L_{eq} -berekening wordt toegepast. Bij explosies en de supersone knal kan laagfrequentie energie bijdragen tot de hinderlijkheid, omdat b.v. ruiten in trilling worden gebracht (angstaspecten). Dit wordt in rekening gebracht door voor deze typen lawaai de C-weging toe te passen bij de bepaling van de *SEL* (Sound Exposure Level, zie § 5.3). Voor lichte vuurwapens is dit echter niet van belang.

6.2.6. Vergelijking van de verschillende evaluatiemethodes

De korrektiefactoren in de §§ 6.2.1, 6.2.2 en 6.2.3 (resp. -12,8 dB, -10,6 dB en -14 dB) vertonen een grote overeenkomst, hetgeen ons in staat stelt in afwezigheid van dosis-effekt studies van schietlawaai, toch met enige zekerheid een korrektiefactor voor dit lawaai aan te geven. De evaluatie van § 6.2.4 legt minder gewicht in de schaal dan de voorgaande beoordelingsmethoden, omdat deze evaluatie niet aan schietlawaai is getoetst. Het resultaat van deze evaluatie wijkt evenwel niet veel af van die van de §§ 1, 2 en 3. Met het weglaten van een korrektiefactor voor impulsawaai (CHABA Wgp 69, § 6.2.5) kunnen we ons niet verenigen; er is te veel evidentie vóór de toepassing van een korrektiefactor.

Als eindresultaat wordt L_r voor 1000 schoten per dag:

$$L_r = L_{knal} - 12 \text{ dB}(A, imp)$$

De methoden van de §§ 6.2.1 en 6.2.2 geven aan dat met de correctie voor schietlawaai weer volgens het equivalente-energieprincipe kan worden gewerkt. Dit betekent, dat de korrektiefactor als functie van het aantal schoten per dag, N , gegeven wordt door: $-12 \text{ dB} + 10 \log N/1000$, ofwel

$$L_r = L_{knal} + 10 \log N - 42 \text{ dB}(A, imp)$$

De invloed van de schietactiviteit bij Hediger (§ 6.2.3) lijkt redelijk in overeenstemming met het equivalente-energieprincipe. Verder betekent de toepassing van dit principe dat knallen van verschillend geluidniveau op energiebasis kunnen worden gesommeerd.

We vergelijken nu dit resultaat met een berekening direkt op basis van L_{eq} . Het equivalente-energieniveau van één knal op 1 s basis (*SEL*) komt overeen met de $A,slow$ -waarde, die 9,2 dB lager ligt dan de A,imp -waarde (§ 5.3). Voor 1000 knallen over 8 uur vinden we dan:

$$\begin{aligned} L_{eq} &= L_{knal} - 10 \log \left\{ (1000 \times 1) / (8 \times 60 \times 60) \right\} - 9,2 \text{ dB}(A, imp) \\ &= L_{knal} - 23,8 \text{ dB}(A, imp) \end{aligned}$$

Het L_{eq} -niveau ligt dus 11,8 dB onder L_r . ISO R 1996 beveelt voor lawaai met een impuls karakter, zoals hameren of klinken, een correctie van +5 dB op het L_{eq} -niveau aan; voor schietlawaai is de correctie hier dus ongeveer +12 dB op het L_{eq} -niveau (deze correctie niet te verwarren met de hiervoor veel gebruikte correctie op het A,imp -niveau om tot L_r te komen!).

Voorheen zijn door ons richtlijnen voor de beoordelingen van schietlawaai opgesteld op basis van $lin,peak$ -waarden. De correctiefactor voor 1000 schoten per dag op het $lin,peak$ -niveau bedroeg -32 dB. Met een verschil van 19 dB tussen het $lin,peak$ -niveau en het A,imp -niveau (§ 5.3, Tabel IV) zou de correctiefactor op het A,imp -niveau in dat geval -13 dB zijn; dit is praktisch gelijk aan de nu voorgestelde waarde van -12 dB.

6.2.7. Grens van de geluidhinder

Nu L_r vastligt kan getracht worden de community response te schatten. Indien L_r de ter plaatse van toepassing zijnde grenswaarde (Brochure DGMH, Memorie van Toelichting Wet Geluidhinder), of (wellicht beter) het ter plaatse heersende achtergrondniveau niet overschrijdt, dan zullen er geen klachten zijn. Bij een overschrijding van 5 dB zal er slechts sporadisch geklaagd worden.

6.2.8. Grens van ernstige geluidhinder

Naast kennis van de grens waarboven geluidhinder kan optreden is het van belang te weten boven welke grens van ernstige geluidhinder moet worden gesproken. Door de Adviescommissie Geluidhinder door Vliegtuigen (1967) werd deze grens gelegd op een overschrijding van de tolerantiegrens voor circa 1/3 deel van de aan het lawaai blootgestelde mensen. Deze grens correspondeert met 45 Kosten-eenheden. De grens waarboven mensen gehinderd gaan worden door vliegtuiglawaai ligt uiteraard aanmerkelijk lager dan 45 Kosten-eenheden. Volgens Kryter (1970, Fig. 238) wordt de tolerantiegrens voor 1/3 deel van de mensen gevonden bij een niveau van 19 dB boven het niveau waarop nog niet geklaagd wordt (dus op 75 dB(A,imp) bij 1000 schoten per dag; vgl. § 6.2.4). Afgaande op een samenvatting van 12 lucht- en wegverkeerslawaaistudies in het rapport van CHABA Wgp 69 (1977; Fig. B-1) wordt een 23 dB hoger niveau gevonden en afgaande op een voorgestelde dosis-effektrelatie voor supersone knallen in hetzelfde rapport (Fig. VI-3) is dit verschil 18 dB. Een verschil van 18 dB komt overeen met ongeveer 25 Kosten-eenheden zodat, afgaande op de hierboven gevonden verschillen, de geluidhinder grens voor vliegtuiglawaai op ongeveer 20 Kosten-eenheden zou moeten liggen. De hierboven vermelde gegevens hebben alle (de in Nederland in gebruik zijnde Kosten-eenheden inbegrepen)

betrekking op relaties tussen de community response en absolute geluidniveaus. Ze zijn dus niet direkt bruikbaar voor de bepaling van de grens van ernstige geluidhinder ten gevolge van schieten omdat in dit rapport de beoordelingsmethode van ISO R 1996 wordt gevolgd waarbij het niveau van het schietgeluid moet worden vergeleken met het achtergrondniveau. De gegevens geven echter wel een indruk van het verschil tussen de grens van hinder en van ernstige hinder en een indruk van de beoordeling van vliegtuiglawaai.

In de hierboven aangehaalde literatuur wordt de "community response" bij de grens van ernstige geluidhinder omschreven als "group appeals to stop noise". Uit de in § 6.1 aangehaalde tabel van ISO R 1996 blijkt deze "community response" ongeveer te korresponderen met 15 dB overschrijding van het "noise criterion". Deze waarde zou voorlopig met voorzichtigheid ook voor de grens van ernstige hinder van schietgeluid kunnen worden aangehouden.

Resumerend:

Grens hinder	: L_r	= grenswaarde c.q. achtergrondniveau	+ 0 dB
Sporadische klachten	: L_r	"	+ 5 dB
Grens ernstige hinder	: L_r	"	+15 dB

6.2.9. Schrikeffekten

Bij hogere geluidniveaus zouden schrikeffekten bij het schietlawaai aanleiding kunnen geven tot afwijkingen van de algemene dosis-effektrelatie. In de tabel van Hediger (§ 6.2.3) blijken waarden boven $75 \text{ dB}(A, \text{fast}) \cong 79 \text{ dB}(A, \text{imp})$ niet voor te komen. Het is niet duidelijk of deze begrenzing aan schrikeffekten moet worden toegeschreven maar wel mogelijk. Kryter (persoonlijke mededeling) stelt dat schrikeffekten al voor kunnen komen bij $55 \text{ dB}(A, \text{slow}) \cong 64 \text{ dB}(A, \text{imp})$. Uit eigen bevindingen blijkt dat schrikeffekten voorkomen bij $90 \text{ dB}(\text{in peak}) \cong 71 \text{ dB}(A, \text{imp})$ in een rustige omgeving. Wil men schrikeffekten vermijden dan kan voorzichtig worden gekonkludeerd dat de knallen geluidniveaus van $70 \text{ dB}(A, \text{imp})$ bij een laag achtergrondniveau tot $80 \text{ dB}(A, \text{imp})$ bij een hoog achtergrondniveau niet mogen overschrijden.

6.2.10. Overzicht van de relaties tussen het geluidniveau van de knallen en hun effect

In Fig. 9 worden de resultaten grafisch weergegeven. Ter vergelijking is nog de drempel toegevoegd waarboven willekeurig in de tijd voorkomende impulsvormige geluiden (gewerschoot, kerkklok, leien, rangers) worden waargenomen. Dit drempelniveau werd uit recent onderzoek op het ICF-TNO verkregen en zal nog worden gepubliceerd.

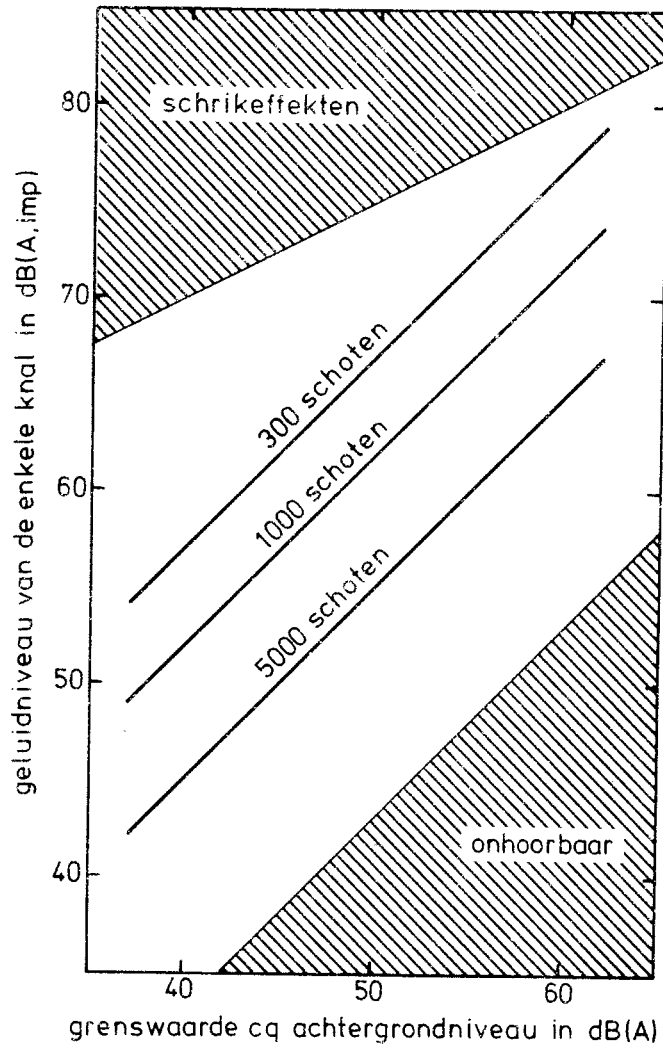


Fig. 9. Grenzen van de waarneembaarheid, van de geluidhinder bij verschillende aantallen schoten per dag en van schrikeffekten uitgedrukt in het geluidniveau van de enkele knal als functie van het achtergrondniveau.

6.2.11. Implicatie van de beoordelingsmethode voor schietinrichtingen voor lichte vuurwapens

In § 4.3.2 (Fig. 8) werden de piekniveaus gerapporteerd die buiten schietinrichtingen voor lichte vuurwapens werden gevonden. Op 100 m afstand tot de schietbaan liggen deze niveaus rondom 100 dB(*lin,peak*) ofwel 81 dB(*A,imp*) en op 300 m rondom 87 dB(*lin,peak*) ofwel 68 dB(*A,imp*). Uitgaande van 1000 schoten per dag vinden we $L_r = 69$ dB(*A,imp*) op 100 m en $L_r = 56$ dB(*A,imp*) op 300 m afstand tot de schietbaan. Schietbanen zijn vaak gelegen in bosachtige gebieden met enige woonhuizen waarvoor grenswaarden van 40 tot 45 dB(*A*) van toepassing zijn. Wil men ernstige geluidhinder vermijden dan moet dus zeker 300 m afstand tot de schietbaan worden aangehouden.

6.3. Beoordeling van het schietgeluid van zware vuurwapens

6.3.1. Specifieke problemen

Bij zwaar geschut zijn er verschillende aspecten in de geluidproductie te onderscheiden; n.l. de mondingsknal, de drukgolf van het projectiel zelf en de detonatie van het projectiel. De mondingsknal speelt een belangrijke rol bij de geluidhinder, de drukgolf van het projectiel zelf speelt slechts een rol wanneer het geluidgevoelige object zich ongeveer in de schietrichting bevindt en de detonaties kunnen soms ook belangrijk bijdragen tot de geluidhinder. De reacties van de bevolking op deze geluiden zijn nauwelijks onderzocht. Er is slechts enig onderzoek verricht naar de hinderlijkheid van explosies. We kunnen echter ook gebruik maken van uitgebreider onderzoek naar de effecten van de supersone knal. Zowel knallen van zwaar geschut als supersone knallen worden gekenmerkt door relatief veel laagfrequentie energie.

Naast het gebrek aan directe gegevens wordt de evaluatie van de geluidhinder door zwaar geschut nog bemoeilijkt door een drietal problemen.

Ten eerste: De concentratie van energie in de lage frequentiebanden heeft tot gevolg dat er geen nauwkeurige relatie is aan te geven tussen de totale energie van de knal en de waargenomen luidheid. De grootste bijdrage aan de luidheid wordt n.l. geleverd door de energie in het gebied van 1 tot 5 kHz. Dit betekent bijvoorbeeld dat naast het piekniveau ook de stijgtijd van de supersone knal nog een invloed op de luidheid heeft. (Dit effect komt ongeveer overeen met 10 dB voor de kortste ten opzichte van de langst voorkomende stijgtijd.) De supersone knallen worden echter meestal slechts beschreven met het piekniveau. Een extra complicatie komt voort uit het verschijnsel dat de laagfrequentie energie trillingen in woningen kan introdu-

ceren waardoor b.v. ruiten gaan rinkelen. Dit leidt tot vrees voor beschadigingen en een toename van de ondervonden hinder. Wanneer deze verschijnselen optreden dan is de laagfrequentie energie dus wel relevant.

Ten tweede: In de rapporten over de hinderlijkheid van explosies of supersone knallen komt het achtergrondniveau niet ter sprake, terwijl het achtergrondniveau wel van belang is bij de beoordeling volgens ISO R 1996. Om de verschillende beoordelingsmethodes te kunnen vergelijken zal worden uitgegaan van een achtergrondniveau van 45 dB(A). Deze waarde werd gekozen omdat de reacties van het publiek meestal betrekking hadden op de geluidshinder die in de eigen woonomgeving werd ondervonden en in die omgeving is het achtergrondniveau ongeveer 45 dB(A).

Ten derde: In de literatuur worden verschillende fysische maten gebruikt om het niveau van de knallen te beschrijven terwijl de gegevens meestal niet toereikend zijn voor omrekeningen naar een andere maat. Daarom worden de literatuurgegevens hier toegepast op de mondingsknal van een AMX 105 L 53 kanon die door ons op 800 m afstand onder ongeveer 135° t.o.v. de schietrichting uitgebreid werd opgemeten. De knallen werden op magneetband vastgelegd en in het veld werd extra aandacht besteed aan de geluidsniveaus in de laagfrequentie banden die niet goed meer op de magneetband konden worden geregistreerd. De bandbreedte van de Brüel & Kjaer geluidsniveaumeter type 2209 werd aan de laagfrequentie zijde ingesteld op 2 Hz. Er werd geschoten met brisant, TPT en DST. De relatie tussen de verschillende fysische maten bleek weinig afhankelijk van de gekozen lading te zijn zodat met gemiddelde waarden kan worden gewerkt.

6.3.2. Beoordeling geëxtrapoleerd vanuit die voor lichte vuurwapens

In § 6.2.6 kwamen we voor lichte vuurwapens tot de formule:

$$L_r = L_{\text{knal}} + 10 \log N - 42 \text{ dB}(A, \text{imp})$$

We zouden deze formule ook kunnen toepassen op de knallen van zwaar geschut. Dit betekent dat we aannemen dat het effect van het aantal knallen N ook bij kleinere aantallen nog goed beschreven wordt met de term $10 \log N$ en dat de luidheid van de knallen, die correspondeert met de A, imp -maat, bepalend is voor de hinder en niet de laagfrequent trillingen.

De hindergrens vinden we, per definitie, als L_r overeenkomt met het achtergrondniveau waarvoor we 45 dB(A) zouden nemen. Voor 10 schoten vinden we dan:

Grens hinder: $L_{\text{knal}} = 77 \text{ dB}(A, \text{imp})$

Ter wille van een vergelijking met de straks te presenteren supersone knal gegevens rekenen we dit om naar $\text{dB}(\text{lin}, \text{peak})$ op basis van de AMX 105 L 53 meetresultaten:

Grens hinder: $L_{\text{knal}} = 116 \text{ dB}(\text{lin}, \text{peak})$

De grens van ernstige hinder ligt 15 dB boven deze niveaus (vgl. § 6.3.2).

6.3.3. Beoordeling gebaseerd op Sound Exposure Level en Day-Night Average Sound Level

Op basis van onderzoek van Young (1975), waarbij speciaal aandacht werd besteed aan de hinderlijkheid van explosies in relatie tot ander lawaai, komen Schomer (1977) en de CHABA Wgp 69 (1977) tot de konklusie dat de geluidbelasting het best in de Sound Exposure Level (SEL) kan worden uitgedrukt. Normaal wordt daarbij de A-weging toegepast maar bij knallen met veel laag-frekwente energie moet boven een bepaald niveau de C-weging worden gebruikt vanwege de trillingen, rinkelende ruiten, etc. Dit grensniveau wordt gesteld op $85 \text{ dB}(\text{lin}, \text{SEL})$ overdag en $75 \text{ dB}(\text{lin}, \text{SEL})$'s nachts. Het werken met een dergelijke grens is nogal grof. Het verschil tussen A-weging en C-weging kan bij zwaar geschut wel 30 dB bedragen! In dat geval stijgt de waardering van het geluid plotseling met 30 dB, wanneer men boven de grens uitkomt.

Proberen we nu op basis van de SEL en L_{dn} (day-night average sound level) de grenzen van hinder en ernstige hinder te bepalen dan komen we tot het volgende:

grens hinder (L_r is gelijk aan het achtergrondniveau) betekent "no observed reaction" van de bevolking. Dit komt ongeveer overeen met $\text{CNR} = 80$ (vgl. § 6.2.4) waarbij toch nog 3 à 4% van de bevolking het lawaai onaanvaardbaar vindt. Dit korrespondeert met $L_{\text{dn}} = 53 \text{ dB}$.

grens ernstige hinder (onaanvaardbaar voor 1/3 deel van de bevolking) betekent $\text{CNR} = 99$ en $L_{\text{dn}} = 72,5 \text{ dB}$.

De relatie tussen L_{dn} en de SEL van een knal, L_{E_i} , wordt gegeven door

$$L_{\text{dn}} = 10 \log \left\{ \frac{1}{24 \times 60 \times 60} \sum_i^N 10^{L_{E_i}/10} \right\}$$

Voor 10 knallen wordt de hindergrens dan gevonden bij $L_{E_i} = 92,5 \text{ dB}$. De grens t.a.v. de C-weging van 85 dB wordt gevonden voor $N = 55$. Dus slechts bij meer dan 55 knallen wordt de hindergrens bereikt wanneer de Sound Exposure Levels van de knallen het grensniveau voor de C-weging niet overschrijden. We gaan

er daarom van uit dat in het algemeen de C-weging moet worden toegepast. Voor het AMX 105 L 53 kanon liggen de A,imp -waarden ongeveer 15 dB onder de C,SEL -waarden en de $lin,peak$ -waarden 24 dB erboven. Hiermede verkrijgen we voor 10 knallen:

grens hinder : $L_{knal} = 92,5 \text{ dB}(C,SEL) \equiv 77,5 \text{ dB}(A,imp) \equiv 116 \text{ dB}(lin,peak)$
grens ernstige hinder : $L_{knal} = 112 \text{ dB}(C,SEL) \equiv 97 \text{ dB}(A,imp) \equiv 136 \text{ dB}(lin,peak)$

Met andere uitgangspunten in vergelijking tot de vorige paragraaf (C-weging t.o.v. A-weging, geen impulscorrectie) komen we tot goed vergelijkbare niveaus.

6.3.4. Beoordeling op basis van hinder van supersone knallen

In Fig. 10 wordt het spectrum van de supersone knal vergeleken met dat van de mondingsknal van de AMX 105 L 53. De verhouding van de niveaus in de lage frequentiebanden tot die in de middelste frequentiebanden is voor beide soorten knallen ongeveer gelijk. De mondingsknal vertoont echter een kuil in het spectrum bij 250 Hz die bij de supersone knal niet wordt gevonden. Ook in het tijd domein is er verschil tussen beide soorten knallen. De supersone knal bestaat n.l. eigenlijk uit twee kort op elkaar volgende knallen. (Het interval is ongeveer 200 ms.) Deze verschillen zijn naar schatting voldoende klein om een beoordeling te kunnen geven op basis van die van supersone knallen.

De meest uitgebreide gegevens over de effecten van supersone knallen op de bevolking werden in de Verenigde Staten vergaard gedurende een onderzoek in Oklahoma City. Een overzicht van de onderzoeken naar de effecten van supersone knallen, waaronder het onderzoek in Oklahoma City, wordt gegeven door von Gierke en Nixon (1972). Naast deze Amerikaanse studie zijn een Zweedse studie van Rylander e.a. (1974) en een Engelse studie van Webb en Warren (1967) van belang. Genoemde studies hebben alle drie betrekking op de reacties van de bevolking op supersone knallen. Naast dit soort onderzoek is ook nog getracht in het laboratorium de hinderlijkheid van supersone knallen te vergelijken met die van vliegtuiglawaai om vervolgens op een reeds bekende relatie tussen vliegtuiglawaai en de reacties van de bevolking een schatting te maken van de te verwachten reacties op supersone knallen (zie b.v. von Gierke en Nixon, 1972). De hier geciteerde onderzoeken zullen hierna als uitgangspunt worden gebruikt.

De bevolking van Oklahoma City werd gedurende 10 maanden blootgesteld aan gemiddeld 8 supersone knallen per dag van 116 tot 136 dB($lin,peak$). Dit kan worden overgenomen voor 10 knallen per dag na, volgens voetnoot afgeleid:

grens hinder : $L_{\text{knal}} = 122 \text{ dB}(\text{lin,peak})$

grens ernstige hinder : $L_{\text{knal}} = 132 \text{ dB}(\text{lin,peak})$

Het verschil tussen de twee grenzen blijkt hier slechts 10 dB te zijn.

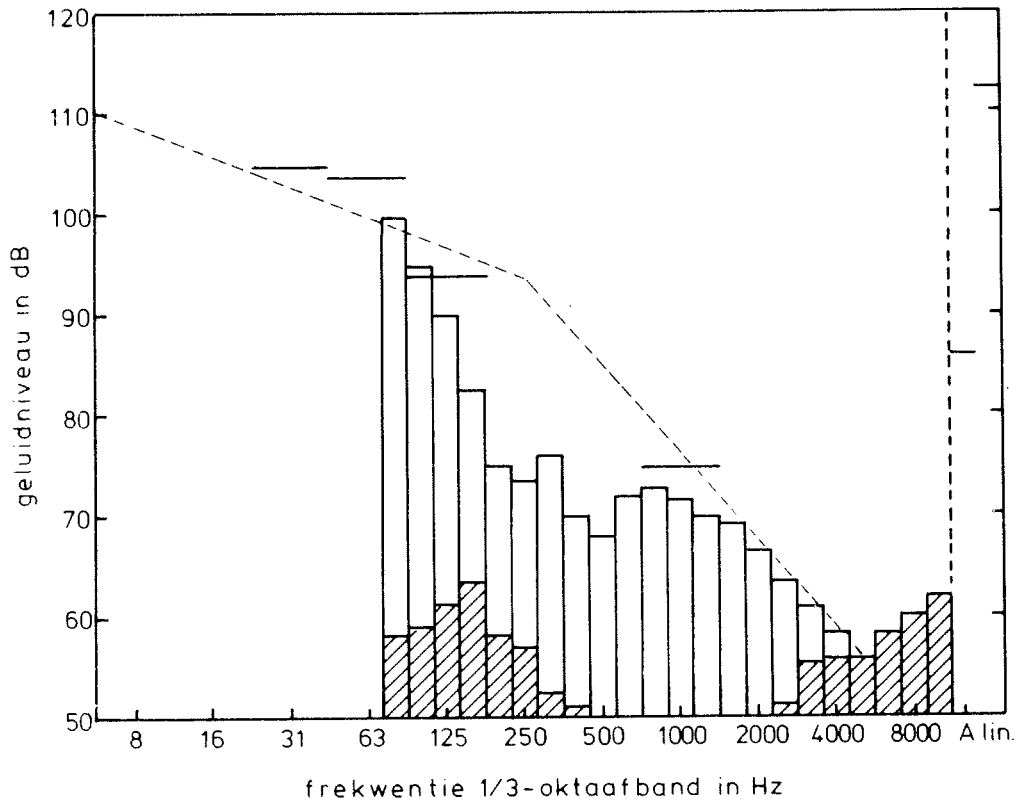


Fig. 10. Vergelijking van het spectrum van een supersone knal (gestippeld weergegeven) met het spectrum van de mondingsknal van een AMX 105 L 53 wanneer er geschoten wordt met TPT of DST. Het spectrum van de supersone knal is slechts globaal weergegeven voor een gemiddelde knal. De feitelijke spectra vertonen scherpe dips die voor verschillende knallen bij verschillende frequenties kunnen liggen. Het staafdiagram geeft de niveaus in 1/3-oktaafbanden en het A-gewogen en lineaire niveau aan zoals die vanaf de magneetbandregistratie worden gemeten met een integratietijd van 125 ms (vgl. Fig. 3 t/m 7). De geluiddruk niveaus die in het veld direct werden gemeten in gehele oktaafbanden en met de geluidniveaumeter in de stand *impulse* (integratietijd 35 ms) zijn met strepen ter breedte van één oktaaf aangegeven. Deze niveaus zijn gecorrigeerd voor de afwijkende integratietijd en in de figuur weergegeven alsof de geluidniveaus gelijk waren in de drie 1/3-oktaafbanden waaruit de betreffende oktaafband is samengesteld. Het gearceerde gebied geeft het ruisniveau van de meting aan.

Bij het Zweedse onderzoek van Rylander e.a. werden ten behoeve van een experiment dat primair gericht was op het meten van schrikacties, supersone knallen geproduceerd boven het eiland Gotland. In aanvulling op deze metingen werden de reacties verzameld van de bewoners van een op 8 km afstand gelegen dorp. Gedurende 6 dagen was het aantal knallen dat in het dorp het niveau van 108 dB(*lin,peak*) overschreed 18 (gemiddeld dus 3 per dag) waarbij het niveau gemiddeld 123 dB(*lin,peak*) bedroeg. De reacties van de bevolking waren vergelijkbaar met die van de bevolking van Oklahoma City op 8 knallen van 121,5 dB(*lin,peak*) hetgeen in geluidbelasting overeenkomt met 3 knallen van 126 dB(*lin,peak*). De resultaten van deze, in vergelijking tot het Oklahoma City onderzoek, kleine Zweedse studie blijken dus goed overeen te komen met die van Oklahoma City. Zo er al belang zou moeten worden gehecht aan het verschil van 3 dB dan is dit reeds aanvaardbaar op grond van het verschil in bevolking (stad t.o.v. rustig gelegen dorp). Aangezien we als uitgangspunt voor de woonomgeving een rustige woonwijk hadden gekozen en niet een woonwijk in een stad ligt een verlaging van de grenswaarden verkregen uit het Oklahoma City onderzoek met 3 dB voor de hand:

grens hinder : $L_{\text{knal}} = 119 \text{ dB}(\text{lin,peak})$

grens ernstige hinder : $L_{\text{knal}} = 129 \text{ dB}(\text{lin,peak})$

In het Engelse onderzoek van Webb en Warren (1967) werden gemiddeld 24 supersone knallen per dag van 136 dB(*lin,peak*) gesimuleerd. De knallen bestonden uit twee kort op elkaar volgende explosies van aan ballonnen opgehangen ladingen. Iedere maandag en dinsdag werden deze knallen gedurende 14 weken geproduceerd. De reacties van een kleine gemeenschap, die reeds gewend was aan supersone knallen, werden verzameld. De reacties bleken zeer gematigd te zijn. Op basis van de Oklahoma City studie zouden de hier verzamelde reacties verwacht worden bij 12 dB lagere niveaus. De resultaten van dit onderzoek zouden leiden tot:

grens hinder : $L_{\text{knal}} = 134 \text{ dB}(\text{lin,peak})$

grens ernstige hinder : $L_{\text{knal}} = 144 \text{ dB}(\text{lin,peak})$

Het is niet duidelijk waaraan dit verschil moet worden toegeschreven. De hogere geluidbelasting waarmee in dit onderzoek werd gewerkt, de beperking in het aantal dagen per week waarop de knallen werden geproduceerd, het duidelijk experimentele karakter van dit onderzoek en de vertrouwdheid van de gemeenschap met supersone knallen kunnen een rol gespeeld hebben. Als nevenresultaat van dit onderzoek moet nog vermeld worden dat een verdrievoudiging van het aantal knallen een effect had op de reacties van de gemeenschap vergelijkbaar met het effect dat gevonden wordt bij een verhoging van het

geluidniveau met ongeveer 6 dB. Dit komt goed overeen met een verwerking van het aantal knallen N in de geluidbelasting op basis van de gesommeerde energie (de term $10 \log N$ in de formule van § 6.3.2) waarbij een verdrievoudiging in aantal korrespondeert met 5 dB niveauverhoging.

Op basis van vergelijkingen tussen de hinderlijkheid van supersone knallen en overkomende vliegtuigen in het laboratorium en tussen de kanonnen op verstoring van de slaap bij deze twee typen lawaai kan worden afgeleid dat een supersone knal van 132 dB(*lin,peak*) ofwel 1,7 psf (pound per square foot) ongeveer evenveel effect heeft als een overkomend vliegtuig dat 111 PNdB produceert. Deze relatie geldt voor een bevolking die gewend is aan supersone knallen. Met behulp van de formule voor vliegtuiglawaai $CNR = L$ (in PNdB) + $10 \log N - 12$ en de grenzen van hinder en ernstige hinder op resp. $CNR = 80$ en $CNR = 99$ (zie § 6.3.3) vinden we voor 10 knallen:

grens hinder : $L_{\text{knal}} = 103 \text{ dB}(\text{lin,peak})$

grens ernstige hinder : $L_{\text{knal}} = 122 \text{ dB}(\text{lin,peak})$

Deze niveaus liggen laag ten opzichte van de drie vorige resultaten voor supersone knallen. Merkwaardigerwijs brengen von Gierke en Nixon (1972) deze door Kryter aangegeven evaluatie ook naar voren in hun overzichtsartikel terwijl zij dit verschil niet vermelden. Op grond van dit resultaat kan men zich afvragen of de vergelijkingsmethode wel mag worden gebruikt.

6.3.5. Vergelijking van de verschillende beoordelingsmethoden

Vergelijken we de verschillende beoordelingsmethoden behandeld in de §§ 6.3.2-6.3.4 dan blijkt de formule die voor lichte vuurwapens werd opgesteld (§ 6.3.2), voor zwaar geschut tot resultaten te leiden die zich goed laten vergelijken met die van de andere beoordelingsmethoden. We konkluderen dat de formule dus ook voor zwaar geschut kan worden toegepast. Het gebruik van de A, imp -maat impliceert echter dat de aanwezigheid van veel laagfrequent-energie niet meer tot uiting zou kunnen komen. Daarom is een aanvullende meting in de stand *lin,peak* noodzakelijk waarbij de geluidniveaumeter een bandbreedte moet hebben die tot lage frekwenties doorloopt (2 Hz). De onderzoeken naar de effecten van supersone knallen laten zien dat het *lin,peak*-niveau de grenzen op basis van het A, imp -niveau met niet meer dan 40 dB mag overschrijden. We vinden dus voor 10 knallen en een achtergrondniveau van 45 dB(A):

grens hinder : 77 dB(A, imp) en 117 dB(*lin,peak*)

grens ernstige hinder : 92 dB(A, imp) en 132 dB(*lin,peak*)

De grens van ernstige hinder op 132 dB(*lin,peak*) kan in een nog wat algemener licht worden gesteld. Boven 130 dB(*lin,peak*) gaat men schrikreacties bij mensen registreren, blijkt het aantal mensen dat wakker wordt van deze knallen na er langere tijd aan blootgesteld te zijn geweest niet te dalen en wordt er regelmatig geklaagd bij de autoriteiten. Het Bureau of Mines in de Verenigde Staten konkludeert dat men om schade aan gebouwen te vermijden bij regelmatige explosies een "caution threshold" van 128 dB(*lin,peak*) en een "maximum allowable level" van 136 dB(*lin,peak*) moet hanteren. Boven 140 dB kunnen gehoorbeschadigingen worden verwacht. Deze gegevens tonen duidelijk aan dat hogere niveaus dan 132 dB(*lin,peak*) bij een tiental knallen niet mogen worden toegestaan. Aangezien deze waarde betrekking heeft op een achtergrondniveau van 45 dB(A) en de beoordeling volgens ISO R 1996 wordt gebaseerd op het niveau van de knallen ten opzichte van het achtergrondniveau moet dan ook worden geadviseerd om bij hogere achtergrondniveaus de beoordeling te baseren op 45 dB(A) ofwel om het "noise criterion" niet hoger dan deze waarde te stellen; zeker niet voor woonomgevingen. Wel zou men bij lagere achtergrondniveaus in een woonomgeving de beoordeling op dat lagere niveau kunnen baseren. Men moet zich echter realiseren dat het achtergrondniveau bij deze problematiek van weinig knallen met een hoog niveau een kleinere rol gaat spelen. Het geluidniveau van de knallen komt ver boven het achtergrondniveau uit. Ook bij de beoordeling van vliegtuiglawaai op basis van Kosten-eenheden wordt in Nederland het aantal Kosten-eenheden meestal niet afgewogen tegenover het achtergrondniveau.

Samenvattend kan voor zwaar geschut worden gesteld:

$$L_r = L_{\text{knal}} + 10 \log N - 42 \text{ dB}(A, \text{imp})$$

indien het *lin,peak*-niveau meer dan 40 dB boven het *A,imp*-niveau ligt, geldt

$$L_r = L_{\text{knal}} + 10 \log N - 82 \text{ dB}(\text{lin,peak})$$

Bij de beoordeling van L_r ten opzichte van het "noise criterion" (ISO R 1996) wordt geadviseerd, zeker voor woonomgevingen, het "noise criterion" niet hoger te stellen dan 45 dB(A).

7. Geraadpleegde literatuur

- Adviescommissie Geluidhinder door Vliegtuigen, C.W. Kosten e.a. (1967).
Geluidhinder door vliegtuigen. Rapport uitgebracht aan de Minister van Verkeer en Waterstaat.
- Békésy, G. von (1929). Zur Theorie des Hörens; über die evenmerkbare Amplituden und Frequenzänderung eines Tones; die Theorie der Schwebungen. Phys. Zeits. 30, 115-125.
- Berglund, B., U. Berglund, T. Lindvall (1975). Scaling loudness, noisiness, and annoyance of community noises. Department of Psychology, Univ. of Stockholm, Report no. 461.
- Brochure Geluidhinder (1973). Directoraat-Generaal voor de Milieuhygiëne.
- Carter, N.L. (1977). A method for evaluating community response to noise from military firing ranges. Nat. Acoust. Lab., Australian Dep. of Health, Report No. 67.
- CHABA, Wgp 69 (1977). Guidelines for preparing environmental impact statements on noise. National Academy of Sciences, Washington D.C.
- Chocholle, R. (1938). Etude sur les courbes d'établissement de la sensation auditive. Travail humain 6, 172-176.
- Cops, A., H. Myncke (1976). Mesures subjectives et objectives du niveau de sonie des signaux sonores impulsifs; un projet de recherche international. Revue d'Acoustique 37, 98-104.
- DIN 45633, Blatt 2 (1969/70). Präzisionsschallpegelmesser, Sonderanforderungen für die Anwendung auf kurzdauernde und impulshaltige Vorgänge (Impulsschallpegelmesser). Benth-Vertrieb GmbH, Berlin.
- Feldtkeller, R., R. Oetinger (1956). Die Hörbarkeitsgrenze von Impulsen verschiedener Dauer. Acustica 6, 489-493.
- Fidell, S. (1977). Relationship between detectability and annoyance of low level signals. J. Acoust. Soc. Amer. 62, Suppl. 1, paper J7.
- Foster, G.A. Air blast - the major cause of complaints from blasting? Its monitoring and possible control.
- Garner, W.R. (1949). The loudness and loudness matching of short tones. J. Acoust. Soc. Amer. 21, 398-403.
- Gierke, H.E. von, C.W. Nixon (1972). Human response to sonic boom in the laboratory and the community. J. Acoust. Soc. Amer. 51, 766-782.
- Hediger, J.R. (1972). Problèmes actuels due bruit de tir. Revue d'Acoustique 20, 156-160.
- IEC 179 (1965). Precision sound level meters. International Electrotechnical Commission.

- IEC 179 (1976). Consolidated revision of IEC publications 123 and 179: "Sound-Level Meters", specifications of instruments for the measurement of sound level.
- ISO Recommendation R 1996 (1971). Assessment of noise with respect to community response.
- ISO 43/1 N 269, Wgp 15 (1976). Evaluation of fluctuating noise for the assessment of general negative human reactions. Revised report to TC 43/SC 1 from the chairman of Wgp 15.
- Johnson, D.R., D.W. Robinson (1967). The subjective evaluation of sonic bangs. *Acustica 18*, 241-258.
- Johnson, D.R., D.W. Robinson (1969). Procedure for calculating the loudness of sonic bangs. *Acustica 21*, 307-318.
- Kitamura, O., T. Ishihara (1975). Loudness and annoyance of impulsive sound. *Inter-Noise 75*, Tohoku University, Sendai 980, Japan.
- Kryter, K.D. (1970). The effects of noise on man. Academic Press, New York.
- Kryter, K.D., K.S. Pearsons (1963). Some effects of spectral content and duration on perceived noise level. *J. Acoust. Soc. Amer. 35*, 866-883.
- Meurers, H. (1975). Zur Beurteilung von Schiesslärm im Pegelbereich der Belästigung. *Kampf dem Lärm 22*, 157-160.
- Miller, G.A. (1948). The perception of short bursts of noise. *J. Acoust. Soc. Amer. 20*, 160-170.
- Munson, W.A. (1947). The growth of auditory sensation. *J. Acoust. Soc. Amer. 19*, 584-591.
- Niese, H. (1965). Methode zur Bestimmung der Lautstärke beliebiger Geräusche. *Acustica 15*, 117.
- Page, N.W., A.S. Kaye. Review of Sonic Boom. Department of supply, Australian Defence Scientific Service Aeronautical Research Lab., Aerodynamics Note 337.
- Parkin, P.H., W.E. Scholes (1964). The horizontal propagation of sound from a jet engine close to the ground at Radlett. *J. Sound Vibr. 1*, 1-13.
- Pedersen, O.J. (1977). Differences between steady noise and impulsive noise. *Inter-Noise 77*, Swiss Federal Institute of Technology, Zurich, Switzerland.
- Plomp, R., Bouman, M. (1959). Relation between hearing threshold and duration for tone pulses. *J. Acoust. Soc. Amer. 31*, 749-758.
- Plomp, R. (1961). Hearing threshold for periodic tone pulses. *J. Acoust. Soc. Amer. 33*, 1561-1569.
- Pollack, I. (1958). Loudness of periodically interrupted white noise. *J. Acoust. Soc. Amer. 30*, 181.
- Port, E. (1963). Über die Lautstärke einzelner kurzer Schallimpulse.

- Acustica 13, 212-223.
- Reichardt, W., H. Niese (1970). Choice of sound duration and silent intervals for test and comparison signals in the subjective measurement of loudness level. J. Acoust. Soc. Amer. 47, 1083-1090.
- Reichardt, W. (1970). Subjective and objective measurement of the loudness level of single and repeated impulses. J. Acoust. Soc. Amer. 47, 1557-1562.
- Rice, C.G., E.E. Zepler (1967). Loudness and pitch sensations of an impulsive sound of very short duration. J. Sound Vibr. 5, 285-289.
- Rood, G.M. (1973). The loudness level of transient sounds, with particular reference to sonic boom. Dissertation, Univ. of Southampton, England.
- Rylander, R., S. Sörensen, B.O. Andrae, G. Chatelier, Y. Espmark, T. Larsson, R.I. Thackray (1974). Sonic boom exposure effects - a field study on humans and animals. J. Sound Vibr. 33, 471-486.
- Scholl, H. (1962). Über die Bildung der Hörschwellen und Mithörschwellen von Impulsen. Acustica 12, 91-101.
- Schomer, P.D. (1977). Evaluation of C-weighted L_{dn} for assessment of impulse noise. J. Acoust. Soc. Amer. 62, 396-399.
- Small, A.M., J.F. Brandt, P.G. Cox (1962). Loudness as a function of signal duration. J. Acoust. Soc. Amer. 34, 513-514.
- Stevens, J.C., J.W. Hall (1966). Brightness and loudness as functions of stimulus duration. Percept. Psychophys. 1, 319-327.
- Stevens, S.S. (1956). The calculation of loudness of a complex noise. J. Acoust. Soc. Amer. 28, 807-832.
- Stevens, S.S. (1961). Procedure for calculating loudness: Mark VI. J. Acoust. Soc. Amer. 33, 1577-1585.
- Verdan, G. (1974). Interpretation und Handhabung der Lärmgrenzwerte. Immissionsschutztagung für eidgenössische und kantonale Fachbeamte, 19-20 nov. 1974, Bern.
- Webb, D.R.B., C.H.E. Warren (1967). An investigation of the effects of bangs on the subjective reaction of a community. J. Sound Vibr. 6, 375-385.
- Wetsontwerp Geluidhinder (Nederland) (1975).
- Young, J.R. (1975). Measurement of the psychological annoyance of simulated explosion sequences. Stanford Research Institute Project 3160, final report.
- Zepler, E.E., J.R.P. Harel (1965). The loudness of sonic booms and other impulsive sounds. J. Sound Vibr. 2, 249-256.
- Zwicker, E., R. Feldtkeller (1955). Über die Lautstärke von gleichförmigen Geräuschen. Acustica 5, 303.
- Zwicker, E. (1966a). Ein Beitrag zur Lautstärkemessung impulshaltiger Schalle.

Acustica 17, 11-22.

Zwicker, E. (1966b). Ein Beitrag zur Unterscheidung von Lautstärke und Lastigkeit. Acustica 17, 22-25.

Zwicker, E., R. Feldtkeller (1967). Das Ohr als Nachrichtenempfänger. . S. Hirzel Verlag, Stuttgart.

