TNO-rapport
TM-98-A050

titel

Een overzicht van onderzoek naar de hinder van schietgeluid

TNO Technische Menskunde

StAB-oE
(2)

TNO-rapport
TM-98-A050

titel
Een overzicht van onderzoek naar de hinder van schietgeluid

TNO Technische Menskunde

Kampweg 5
Postbus 23
3769 ZG Soesterberg

Telefoon 0346 35 62 11
Fax 0346 35 39 77

auteur
J. Vos

datum
16 september 1998

Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen partijen gesloten overeenkomst.
Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 1998 TNO

aantal pagina's : 82 (incl. bijlagen, excl. distributielijst)

TNO Technische Menskunde is onderdeel
van TNO Defensieonderzoek
waartoe verder behoren:
TNO Fysisch en Elektronisch Laboratorium
TNO Prins Maurits Laboratorium

Nederlandse Organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek TNO

Management uittreksel TNO Technische Menskunde, Soesterberg

titel:	Een overzicht van onderzoek naar de hinder van schietgeluid
auteurs:	Dr. J. Vos
datum:	16 september 1998
opdrachtnr.:	A97/RIM/303
IWP-nr.:	786.3
rapportnr.:	TM-98-A050

In de huidige studie wordt in opdracht van het Ministerie van Defensie een overzicht gegeven van de thans beschikbare kennis op het gebied van de hinder ten gevolge van schietgeluid. Door het beschikbaar komen van de resultaten van een groot aantal nieuwe studies, en door gewijzigde inzichten met betrekking tot de beleving van vooral het door middelzware en zware vuurwapens geproduceerd schietgeluid, was het eerder in 1985 gegeven overzicht [Vos, rapport IZF 1985-24] niet langer actueel. In totaal konden zes nieuwe veldstudies naar de hinder van artillerieschietgeluid worden bestudeerd. Door de beschikbaarstelling van de ruwe onderzoeksgegevens konden voor drie van deze studies noodzakelijk geachte heranalyses worden uitgevoerd. De kennis over de hinder van door lichte vuurwapens veroorzaakt schietgeluid kon worden aangevuld met nieuwe gegevens van zowel veld- als laboratoriumstudies. De gewijzigde inzichten in de beleving van schietgeluid zijn tot stand gekomen door een aantal nieuwe laboratoriumstudies naar de hinder van lichte, middelzware en zware knallen, waaronder enkele omvangrijke experimenten die recentelijk door TNO-TM zijn afgerond.

De huidige studie leidde tot onder andere de volgende conclusies: 1) In verband met de voorspelbaarheid van de geluidhinder is de dosis van de individuele knal voldoende gekarakteriseerd door de SEL-maat die is gebaseerd op de in het signaal aanwezige energie. 2) Indien voor schietgeluiden met relatief weinig laagfrequente energie, zoals bijvoorbeeld de knallen van pistolen en geweren, alleen over het A-gewogen geluidexpositieniveau (ASEL) wordt beschikt, kan de hinderrelevante geluidbelasting L_r nog goed benaderd worden door het (buitenshuis bepaalde) A-gewogen jaargemiddelde geluidsniveau waarbij een correctie van 12 dB is opgeteld. 3) Indien voor schietgeluiden met relatief veel laagfrequente energie, zoals bijvoorbeeld de zware knallen van houwitsers, alleen over het C-gewogen geluidexpositieniveau (CSEL) wordt beschikt zou L_r tot op zekere hoogte nog benaderd kunnen worden door het (buitenshuis bepaalde) C-gewogen jaargemiddelde dag-nachtniveau vermeerderd met een correctie van ca. 5 dB. Indien veelvuldig in de nachtperiode wordt geoefend lijkt een grotere correctie noodzakelijk. 4) Uit diverse laboratoriumstudies is gebleken dat L_r bij voorkeur voor alle knaltypen, ongeacht de spectrale verdeling, bepaald dient te worden op basis van ASEL en CSEL, waarbij naast een constante van 12 dB de voorspelbaarheid op basis van ASEL nog aanzienlijk kan worden verbeterd door toevoeging van het gewogen product (CSEL-ASEL)ASEL. De formule ter bepaling van de bijdrage van één enkele knal, L_s, wordt gegeven door $L_s = L_{AE} + \beta(L_{CE}-L_{AE})(L_{AE}-\alpha) + 12$ dB. Toepassing van deze procedure is niet alleen nauwkeurig maar ook zeer praktisch, omdat het schietgeluid niet meer in categorieën hoeft te worden ingedeeld. 5) Een belangrijk nevenresultaat van het onderhavige overzicht is dat een zeer geschikte veldstudie is gevonden waarvan de uitkomsten kunnen worden gebruikt voor de validatie van de onder punt 4 genoemde beoordelingsprocedure.

INHOUD

	Blz.
SAMENVATTING	5
SUMMARY	7
1 INLEIDING	9
1.1 Beoordelingsprocedure op basis van hinderonderzoek van voor 1985	9
1.2 Actualiseren van de beoordelingsprocedure	9
1.3 Structuur van het onderhavige overzicht	10
2 DE BRUIKBAARHEID VAN SEL ALS BASISMAAT VOOR DE HINDER VAN IMPULSGELUID	11
2.1 Invloed van de fijnstructuur van een knal op de luidheid en/of hinderlijkheid	11
2.2 Voorkeur voor het A-gewogen of het C-gewogen geluidexpositieniveau?	13
2.3 Praktische overwegingen bij de keuze van een fysische maat	14
3 IMPULSGELUID MET RELATIEF WEINIG LAAGFREQUENTE ENERGIE	15
3.1 Veldstudies	16
3.1.1 Scandinavische veldstudie	16
3.1.2 Aanvullende analyses Duitse studie	22
3.1.3 Europese veldstudie	25
3.1.4 Enkele uitgangspunten voor heranalyse	26
3.1.5 De nieuwe correctie in de diverse onderzoeken	27
3.1.6 Conclusie	29
3.2 Laboratoriumstudies	29
3.3 Veldlaboratoriumstudies	30
3.4 Conclusies	32
4 IMPULSGELUID MET RELATIEF VEEL LAAGFREQUENTE ENERGIE	33
4.1 Amerikaanse veldstudies rond Fort Lewis en Fort Bragg	33
4.2 Duitse veldstudies naar de hinder van artillerieschietgeluid	35
4.2.1 Hinder van schietgeluid in de omgeving van diverse militaire oefenterreinen	35
4.2.2 Hinder van schietgeluid in de omgeving van Grafenwöhr	41
4.3 Duitse veldstudie naar hinder van artillerieschietgeluid en civiel wegverkeersgeluid	45
4.3.1 Inleiding	45
4.3.2 Heranalyse van dosis-effectrelatie voor schietgeluid	47
4.3.3 Heranalyse dosis-effectrelatie voor wegverkeersgeluid	49
4.3.4 Correctie voor schietgeluid	50
4.4 Australische studie naar hinder artillerieschietgeluid	50
4.5 Zweedse studie naar hinder artillerieschietgeluid	53
4.6 Experimentele studies	55
4.6.1 Een Duits-Amerikaanse studie	55
4.6.2 Een Zwitserse studie	59
4.6.3 Nederlandse studies	60
4.7 Conclusie	62
5 DISCUSSIE	62
5.1 Correctie voor impulsgeluid met relatief weinig laagfrequente energie	62
5.2 Correctie voor impulsgeluid met relatief veel laagfrequente energie	64
6 CONCLUSIES	65
REFERENTIES	67
BIJLAGE A Factoren die de bruikbaarheid van veldstudies beperken	73
BIJLAGE B Veldexperiment naar geluidhinder ten gevolge van zware knallen en wielvoertuigen	74
BIJLAGE C Verhoogde hinder in het weekend	82

Rapport nr.: TM-98-A050

Titel: Een overzicht van onderzoek naar de hinder van schietgeluid

Auteurs: Dr. J. Vos

Instituut: TNO Technische Menskunde
Afd.: Waarneming

Datum: september 1998

DO Opdrachtnummer: A97/RIM/303

Nummer in MLTP: 786.3

SAMENVATTING

In de huidige studie wordt in opdracht van het Ministerie van Defensie een overzicht gegeven van de thans beschikbare kennis op het gebied van de hinder ten gevolge van schietgeluid. Door het beschikbaar komen van de resultaten van een groot aantal nieuwe studies, en door gewijzigde inzichten met betrekking tot de beleving van vooral het door middelzware en zware vuurwapens geproduceerd schietgeluid, was het eerder in 1985 gegeven overzicht [Vos, rapport IZF 1985-24] niet langer actueel. In totaal konden zes nieuwe veldstudies naar de hinder van artillerieschietgeluid worden bestudeerd. Door de beschikbaarstelling van de ruwe onderzoeksgegevens konden voor drie van deze studies noodzakelijk geachte heranalyses worden uitgevoerd. De kennis over de hinder van door lichte vuurwapens veroorzaakt schietgeluid kon worden aangevuld met nieuwe gegevens van zowel veld- als laboratoriumstudies. De gewijzigde inzichten in de beleving van schietgeluid zijn tot stand gekomen door een aantal nieuwe laboratoriumstudies naar de hinder van lichte, middelzware en zware knallen, waaronder enkele omvangrijke experimenten die recentelijk door TNO-TM zijn afgerond.
De huidige studie leidde tot onder andere de volgende conclusies: 1) In verband met de voorspelbaarheid van de geluidhinder is de dosis van de individuele knal voldoende gekarakteriseerd door de SEL-maat die is gebaseerd op de in het signaal aanwezige energie. 2) Indien voor schietgeluiden met relatief weinig laagfrequente energie, zoals bijvoorbeeld de knallen van pistolen en geweren, alleen over het A-gewogen geluidexpositieniveau (ASEL) wordt beschikt, kan de hinderrelevante geluidbelasting nog goed benaderd worden door het (buitenshuis bepaalde) A-gewogen jaargemiddelde geluidsniveau waarbij een correctie van 12 dB is opgeteld. 3) Indien voor schietgeluiden met relatief veel laagfrequente energie, zoals bijvoorbeeld de zware knallen van houwitser 105, 155 en 203 mm, alleen over het C-gewogen geluidexpositieniveau (CSEL) wordt beschikt zou L_r tot op zekere hoogte nog benaderd kunnen worden door het (buitenshuis bepaalde) C-gewogen jaargemiddelde dag-nachtniveau vermeerderd met een correctie van ca. 5 dB. Indien veelvuldig in de nachtperiode wordt geoefend lijkt een grotere correctie noodzakelijk. 4) Uit diverse laboratoriumstudies is

gebleken dat de hinderrelevante geluidbelasting bij voorkeur voor alle knaltypen, ongeacht de spectrale verdeling, bepaald dient te worden op basis van ASEL en CSEL, waarbij naast een constante van 12 dB de voorspelbaarheid op basis van ASEL nog aanzienlijk kan worden verbeterd door toevoeging van het gewogen product (CSEL-ASEL)ASEL. De formule ter bepaling van de bijdrage van één enkele knal, L_s, wordt gegeven door $L_s = L_{AE} + \beta(L_{CE} - L_{AE})(L_{AE} - \alpha) + 12$ dB. Toepassing van deze procedure is niet alleen nauwkeurig maar ook zeer praktisch, omdat het schietgeluid niet meer in categorieën hoeft te worden ingedeeld.
5) Een belangrijk nevenresultaat van het onderhavige overzicht is dat een zeer geschikte veldstudie is gevonden waarvan de uitkomsten kunnen worden gebruikt voor de validatie van de onder punt 4 genoemde beoordelingsprocedure.

Rep.No. TM-98-A050

TNO Human Factors Research Institute
Soesterberg, The Netherlands

A review of research on the annoyance caused by shooting sounds

J. Vos

SUMMARY

Under contract with the Ministry of Defence, the present study reviews the existing knowledge about the annoyance caused by shooting sounds. Results from many new field and laboratory studies published in the last decade, and, especially for the sounds produced by medium-large and large firearms, new insights into the annoyance caused by single events, necessitated an update of a previous review [Vos, IZF-report 1985-24; see also Proceedings Internoise '85, Vol. 2, pp. 1029-1032]. For the community response to artillery sounds, six new field surveys were studied. The availability of the raw data from three of these surveys enabled the performance of necessary re-analyses. The previously reviewed information about the noise annoyance caused by small firearms was supplemented with the data from new field and laboratory studies as well. The new insights into the subjective effects of shooting sounds were based on new laboratory study results, including those obtained in extensive studies designed at our own institute.

From the present review the following conclusions could be drawn: (1) For the prediction of the annoyance, the dose of single impulses is sufficiently characterized by its sound exposure level (SEL). (2) If, for shooting sounds with relatively little energy in the low frequency bands (produced mainly by pistols and rifles), only the A-weighted sound exposure level (ASEL) is available, the rating sound level L_r might be approximated rather well by the A-weighted yearly average sound level to which a correction of 12 dB is added. (3) If, for shooting sounds with relatively much energy in the low frequency bands, such as those produced by medium-large (e.g., 25 mm cannons) and large firearms (e.g., mortars and howitzers), only C-weighted sound exposure level (CSEL) is available, L_r might only to a limited extent be approximated by the C-weighted yearly average sound level; moreover, a correction of 5 dB should be added to this level. If a considerable portion of shooting takes place in the night-time, a correction greater than 5 dB might be needed. (4) For all shooting sounds, L_r should preferably be based on ASEL and CSEL, where the predictability of the expected annoyance on the basis of ASEL can be considerably increased by adding not only a constant of about 12 dB, but also adding the weighted product (CSEL-ASEL)ASEL. For a single impulsive event $L_r = L_{AE} + \beta(L_{CE}-L_{AE})(L_{AE}-\alpha) + 12$ dB. (5) Especially one of the new field surveys on the community response to artillery shooting sounds was considered being appropriate for the validation of the latter procedure.

1 INLEIDING

1.1 Beoordelingsprocedure op basis van hinderonderzoek van voor 1985

Bij de berekening van de hinderrelevante geluidbelasting van schietgeluid wordt er naar gestreefd dat de uitkomsten direct vergelijkbaar zijn met die van geluiden met een meer continu karakter zoals wegverkeersgeluid. Dat wil zeggen dat bijvoorbeeld een 50 dB(A) contour rondom een schietkamp idealiter dezelfde mate van te verwachten hinder bij de omwonenden representeert als een 50 dB(A) contour langs een verkeersweg.
In opdracht van het Ministerie van Defensie werd een in 1985 voltooide literatuurstudie (Vos, 1985a, 1985b) uitgevoerd. Uit deze studie bleek dat indien voor zowel wegverkeersgeluid als impulsgeluid de dosis wordt uitgedrukt in het A-gewogen equivalente energieniveau (ALEQ, L_{Aeq}) en het effect wordt uitgedrukt in het percentage van de omwonenden die zeggen "ernstig gehinderd" te zijn, de twee verkregen dosis-effectrelaties nogal van elkaar verschillen. Uitgaande van de situatie waarbij 33% van de omwonenden als "ernstig gehinderd" moest worden beschouwd bleek het ALEQ van knallen van *lichte vuurwapens* 12 dB lager te zijn dan ALEQ van even hinderlijk wegverkeersgeluid. Voor knallen van *zware vuurwapens* was ALEQ naar schatting ca. 20 dB lager dan ALEQ van het even hinderlijke wegverkeersgeluid.
Eén van de resultaten van de zojuist genoemde literatuurstudie was dus dat men voor knallen van lichte vuurwapens 12 dB bij ALEQ moest optellen om ALEQ van even hinderlijk wegverkeersgeluid te vinden: de hinderrelevante geluidbelasting L_r (r van "rating"), voor dit soort schietgeluid is gelijk aan ALEQ + 12 dB. Dit resultaat bevestigde de juistheid van de eerder door Smoorenburg (1979) opgestelde voorlopige richtlijnen (zie ook Smoorenburg, 1981; Vos & Geurtsen, 1989).
Voor knallen van zware vuurwapens werd de correctie op basis van de uitkomsten van de literatuurstudie onder bepaalde voorwaarden geleidelijk van 12 dB naar maximaal 21 dB verhoogd. Deze procedure week op een aantal punten af van die van Smoorenburg (zie b.v. Vos & Geurtsen, 1989, voor een toepassing).

1.2 Actualiseren van de beoordelingsprocedure

Door het verschijnen van een groot aantal nieuwe veld- en laboratoriumstudies, en het ontstaan van nieuwe inzichten die uit enkele van deze studies zijn voortgekomen, gaf het Ministerie van Defensie opdracht het overzicht uit 1985 uit te breiden en te herzien.
Sinds de literatuurstudie van Vos (1985a) zijn de gegevens van maar liefst zes nieuwe veldonderzoeken naar de hinder van *artillerieschietgeluid* beschikbaar gekomen (Buchta, 1988, 1993a; Buchta e.a., 1986; Bullen & Hede, 1984; Rylander & Lundquist, 1996; Schomer, 1985) en werden twee veldlaboratoriumexperimenten naar de hinder van o.a. explosies en voertuigbewegingen gepubliceerd (Schomer e.a., 1994; Schomer & Wagner, 1995). Uit deze laatste twee publicaties kwam naar voren dat de hinder van zware knallen sneller toeneemt met het geluidsniveau dan de hinder van lichte knallen en voertuigbewegingen. Uit eigen recent laboratoriumonderzoek naar de hinder van lichte, middelzware en

zware knallen werd geconcludeerd dat de efficiëntie en de validiteit van de geluidzonering zou kunnen worden vergroot door voor alle knaltypen gebruik te maken van zowel de A- als de C-weging (Vos, 1996a, 1996b; Vos, 1998).
De eerder beschikbare kennis over de hinder van door *lichte vuurwapens* veroorzaakt schietgeluid is vooral aangevuld met nieuwe gegevens die in door de Europese Commissie geïnitieerde laboratoriumexperimenten zijn verkregen. In verband met nieuwe inzichten betreffende de periode waarover de geluidbelasting moet worden berekend (Vos & Geurtsen, 1992, 1995) kunnen de gegevens van reeds eerder beschouwde veldstudies, waar nodig, aan een heranalyse worden onderworpen.

1.3 Structuur van het onderhavige overzicht

Uit §1.2 is gebleken dat er zeer veel redenen zijn het overzicht uit 1985 te actualiseren. Om een vergelijking van de dosis-effectrelaties voor impuls- en wegverkeersgeluid mogelijk te maken moest in de vorige literatuurstudie (Vos, 1985a) het A-gewogen geluidexpositieniveau (in het Engels "Sound Exposure Level", hier afgekort met ASEL), overeenkomend met het ALEQ genormeerd naar een periode van 1 s, in een aantal gevallen geschat worden op basis van andere akoestische maten zoals A,imp en A,fast (met integratietijden van respectievelijk 35 en 125 ms) en zelfs lin,peak, dus het hoogste lineaire geluidsniveau dat op enig moment wordt bereikt.
De eerste vraag die in de huidige literatuurstudie aan de orde komt is of er met het oog op de hinderbeleving specifieke redenen zijn om ter bepaling van de hinderrelevante geluidbelasting van een andere basismaat dan het geluidexpositieniveau uit te gaan. Indien alleen de totale spectrale energie van de knal (indien van toepassing opgesplitst in mondings-, kogel- en detonatieknal, alsmede mogelijke belangrijke reflecties) uit het oogpunt van de hinderbeleving relevant is, zullen er minder eisen aan de modellering van de overdracht van het impulsgeluid behoeven te worden gesteld, dan wanneer ook de temporele omhullende van het signaal op ieder gewenst immissiepunt bekend moet zijn.
De tweede vraag, die direct met de eerste samenhangt, betreft de spectrale weging van de knallen. Al eerder werd aangegeven dat bij voorkeur voor alle knaltypen zowel de A- als de C-weging zou moeten worden gebruikt (Vos, 1996a, 1996b; Vos, 1998).
In twee aparte hoofdstukken wordt het overzicht van het hinderonderzoek geactualiseerd voor achtereenvolgens het impulsgeluid met relatief weinig en dat met relatief veel laagfrequente energie. Door het beschikbaarstellen van ruwe data konden voor diverse veldstudies noodzakelijk geachte heranalyses worden uitgevoerd.
De huidige literatuurstudie leverde een schat aan gegevens. Om een aantal redenen is de bruikbaarheid van deze gegevens echter minder groot dan men eigenlijk zou wensen. Beperkingen betreffen zowel de dosis- als de effectmaat.
Met betrekking tot de dosis is voor de lichte knallen meestal alleen ASEL of ALEQ, en voor de zware knallen alleen CSEL of CLEQ beschikbaar. Ook de bruikbaarheid van de in de diverse publicaties gegeven jaargemiddelde geluidbelasting is beperkt. Deze zou kunnen worden verhoogd indien de geluidbelasting kon worden herberekend met behulp van het

propagatiemodel van de instantie die de betreffende hinderresultaten wil toepassen. Dit kan alleen worden gerealiseerd indien alle emissiegegevens goed in kaart zijn gebracht. In opdracht van het Ministerie van Defensie is in ons land een dergelijke analyse zeer recentelijk toegepast.
Met betrekking tot de effectmaat is de onderlinge vergelijkbaarheid van het in de diverse studies vermelde percentage "ernstig gehinderden" niet altijd optimaal.
Voor een gedetailleerde bespreking van de factoren die de bruikbaarheid van veldstudies beperken wordt verwezen naar Bijlage A. Door de genoemde beperkingen zullen de resultaten van laboratoriumstudies in het huidige overzicht meer aandacht krijgen dan in de eerdere studie het geval was.

2 DE BRUIKBAARHEID VAN SEL ALS BASISMAAT VOOR DE HINDER VAN IMPULSGELUID

In tal van veldonderzoeken heeft men gezocht naar de "beste" akoestische voorspeller van de hinder. In de meeste studies is die maat niet eenduidig aan te wijzen omdat er een hoge correlatie tussen de diverse akoestische maten (zoals lin,peak, A,imp, A,fast en ASEL) bestaat. We bespreken hier daarom enkele studies die zich speciaal op dit aspect hebben gericht.
Verder zijn er onderzoekers die poneren dat door het kiezen van een specifieke frequentie-weging, die eventueel van bron tot bron kan verschillen, beoordelingsprocedures van impulsgeluid kunnen worden vereenvoudigd. Ook dit aspect komt hier aan de orde. Last but not least geven we nog een korte opsomming van praktische argumenten om voor een bepaald soort knal een specifieke akoestische maat boven andere maten te prefereren.

2.1 Invloed van de fijnstructuur van een knal op de luidheid en/of hinderlijkheid

We bespreken hier zowel studies waarin luisteraars werd gevraagd de hinder te beoordelen, als studies waarin de luidheid moest worden beoordeeld. De resultaten van die laatste studies zijn eveneens van belang omdat de subjectieve luidheid op z'n minst voor een deel de hinder bepaalt (zie b.v. Brennecke & Remmers, 1983; Buchta, 1990; Fastl, 1994; Fastl & Widmann, 1990; Fastl & Hunecke, 1995; Fastl e.a., 1994; Widmann, 1995).
Hoorbare faseverschillen tussen impulsgeluiden zoals met bijvoorbeeld een N-, driehoeks- of blokgolfvorm hebben geen significante invloed op de waargenomen hinder (Fidell e.a., 1970). Drie vervolgexperimenten van Fidell e.a. (1970), waarin de invloed van a) de signaalduur, b) de lengte van een stil interval tussen twee impulsen en c) het aantal impulsen in een stimulus op de hinder werd onderzocht, lieten zien dat de energie de bepalende factor is.
Vigran e.a. (1964) onderzochten het effect van de stijgtijd van een sinus en breedbandige ruis op de luidheid. Het bereik van de stijgtijd lag tussen 25 ms en 1.6 s. In het huidige overzicht is alleen de breedbandige ruis met stijgtijden tot hooguit ca. 100 ms interessant, omdat bij

schietgeluid langere stijgtijden niet voorkomen. Het effect van de stijgtijd op de luidheid is voor deze condities minder dan 0.5 dB.

In Japan hebben Namba en collega's veel onderzoek gedaan naar de luidheid van impulsgeluid. De resultaten van acht verschillende studies en een grootschalige round robin test zijn bijeengebracht door Kuwano e.a. (1987). De resultaten laten zien dat het lineaire geluidexpositieniveau (SEL) een goede voorspeller van de luidheid van impulsgeluid is, en dat het afzonderlijk in rekening brengen van parameters als nagalm, stijg- en daaltijd, en andere onregelmatigheden in de temporele omhullende nauwelijks voordeel heeft. Voor diverse repeterende impulsgeluiden, die in een tweede fase van bovengenoemde round robin test werden onderzocht, kwamen Sone e.a. (1987) tot de conclusie dat de luidheid van de impulsen goed (verklaarde variantie, r^2, gelijk aan 94%), en de lawaaiigheid[1] van de impulsen zeer goed (r^2 = 98%) door SEL konden worden beschreven.

Ook Namba e.a. (1987) komen voor impulsgeluiden met korte stijgtijden en variabele daaltijden (2 ms-1 s) tot deze conclusie, maar waarschuwen dat voor zeer korte signalen (b.v. 2 ms stijgtijd, direct gevolgd door daaltijden kleiner dan ca. 50 ms) SEL de luidheid van het impulsgeluid enkele decibellen kan onderschatten.

In een laboratoriumexperiment onderzochten Zepler en Harel (1965) de luidheid van supersone knallen waarvan naast het maximale geluidsniveau ook de stijgtijd en de duur werden gevarieerd. Johnson en Robinson (1967) gebruikten in hun onderzoek naast supersone knallen ook door explosies opgewekte dubbele knallen. Hun onderzoek was opgezet als een veldexperiment en de proefpersonen beoordeelden de hinder van de geluiden niet alleen binnen maar ook buiten. In zowel het onderzoek van Zepler en Harel (1965) als dat van Johnson en Robinson (1967) bleken de beoordelingen goed te correleren met de op basis van de gewogen energie in de diverse frequentiebanden berekende luidheid.

De luidheid van supersone knallen werd ook onderzocht door May (1971). Hij was vooral geïnteresseerd in effecten van de stijgtijd en de voorspellingskracht van diverse modellen. Ofschoon volgens May de luidheid ook met minder ingewikkelde modellen kan worden voorspeld, zijn zijn resultaten niet in strijd met die van de twee eerder genoemde studies.

In een laboratoriumexperiment van Leatherwood en Sullivan (1994), tenslotte, werd de luidheid van een groot aantal supersone knallen beoordeeld die onderling sterk in de vorm van de temporele omhullende konden verschillen. In het onderzoek lag het accent op de inklinkfase van de knallen, die werd opgebouwd uit twee stijgtijden, één relatief korte, en vanaf een variabel tijdstip dat correspondeerde met een niveau dat een bepaald aantal decibellen onder het maximum niveau lag, een langere stijgtijd. De luidheidsverschillen tussen de diverse knallen konden zeer goed met ASEL worden beschreven. De verklaarde variantie bedroeg 92%, terwijl met CSEL een significant lager percentage van 74% werd verkregen. Met lin,peak kon slechts 24% van de variantie in de luidheidsbeoordelingen worden verklaard.

---

[1] Met luidheid wordt meestal het perceptieve aspect van geluid bedoeld dat verandert door aan bijvoorbeeld de volumeknop van de geluidsinstallatie te draaien. Lawaaiigheid ('noisiness') wordt geassocieerd met het kwalitatieve karakter van het geluid. Een luid geluid hoeft nog niet lawaaiig te zijn. Met hinder wordt een subjectief aspect van geluid bedoeld, zoals ervaren in een concrete situatie (zie b.v. Berglund e.a., 1975).

2.2 Voorkeur voor het A-gewogen of het C-gewogen geluidexpositieniveau?

We hebben in de inleiding van dit hoofdstuk al aangegeven dat in de meeste onderzoeken de akoestische maten zoals lin,peak, A,imp, A,fast en ASEL sterk gecorreleerd waren.
Door middel van paarsgewijze vergelijking lieten Kryter e.a. (1968, zie Galloway, 1981, of Kryter, 1985, Hfdst. 5) luisteraars de hinder van vliegtuiggeluid en de door drie verschillende vliegtuigen veroorzaakte supersone knallen beoordelen. De beste correlatie tussen het niveau (in SEL) van vliegtuiggeluid en het niveau van even hinderlijke supersone knallen werd verkregen door voor vliegtuiggeluid het niveau in ASEL, en voor de supersone knallen in CSEL uit te drukken. Overigens bestond er nog wel een systematisch verschil van 5 dB tussen het niveau van vliegtuiggeluid (in ASEL) en supersone knallen (in CSEL) met dezelfde hinder: numeriek gelijke ASEL en CSEL waarden garanderen dus geen gelijke hinder, het in rekening brengen van een positieve correctie van 5 dB blijft nodig. Zie ook Schomer (1978), waarin naast deze data ook data van Young opnieuw worden geanalyseerd en Schomer tot de conclusie komt dat de groei van de hinder van beide typen geluid gelijk is indien de frequentieweging plaats vindt zoals zojuist is beschreven.
In een ander experiment (Schomer, 1977) beoordeelden proefpersonen de hinder van artilleriegeluiden. Ook werd de hinder van het geluid van opstijgende en landende vliegtuigen, en dat van sirenes en brekend glas beoordeeld. Voordat Schomer nader op de validiteit van de C-weging van impulsgeluid wilde ingaan verhoogde hij het eerder aan het oor van de proefpersoon gedefinieerde geluidsniveau van de knallen getalsmatig met 5 tot 10 dB: in de praktijk wordt het geluidsniveau buiten aan de gevel bepaald en de gevelreductie voor de zware knallen is nu eenmaal geringer dan die voor de overige geluiden. Met deze getransformeerde gegevens werd het belang van de C-weging voor het impulsgeluid bevestigd: het verband tussen SEL en hinderscore kon voor de gehele verzameling van geluiden met één functie worden beschreven indien voor de knallen de C- en voor de overige geluiden de A-weging wordt toegepast. Indien het voor de verschillen in gevelverzwakking gecorrigeerde niveau van de knallen ook in ASEL zou worden uitgedrukt zou de resulterende functie tussen ASEL en hinder ruim 20 dB verschoven zijn ten opzichte van de functie voor de overige geluiden: voor gelijke binnenshuis ervaren hinder moet het buitenshuis gemeten ASEL van zware knallen tenminste 20 dB lager zijn dan dat van de overige geluiden.
Toch moeten we voorzichtig zijn met de interpretatie van de hierboven beschreven resultaten. De referentie betreft hier vliegtuiggeluid, terwijl bij de studies van bijvoorbeeld Buchta (Buchta, 1990, 1993a; Buchta e.a., 1983) wegverkeersgeluid de referentie was. Veldonderzoek van Hall e.a. (1981) en van Kryter (1982) heeft uitgewezen dat het geluid van luchtverkeer hinderlijker is dan dat van wegverkeer: het A-gewogen dag-nachtniveau (ADNL, L_{Adn}) van luchtverkeer dat correspondeerde met 33% ernstig gehinderden was ongeveer 10 dB lager dan dat van wegverkeer. De hinder van het impulsgeluid kan dus worden onderschat indien we zo maar voorbijgaan aan verschillen tussen de referenties.
Verschillen in hinderlijkheid tussen lucht- en wegverkeersgeluid worden echter niet altijd gerepliceerd: Uit een van de experimenten in ons eigen laboratorium, waarin de hinder van vliegtuigpassages met dat van wegverkeersgeluid werd vergeleken, bleek dat géén van de vier onderzochte vliegtuiggeluiden hinderlijker was dan het wegverkeer (Vos, 1990b, exp. 2).

Misschien geldt de door Schomer (1977) gevonden correctie van 20 dB voor de knallen van de artillerie (bij A-weging van schiet- en referentiegeluid) daarom ook indien geen vliegtuig- maar wegverkeersgeluid als referentie was genomen.
Uit een laboratoriumexperiment waarin de proefpersonen de door hen ervaren of te verwachten hinder beoordeelden van knallen afkomstig van een licht en een zwaar vuurwapen, bleek dat de hinder veel beter door het A,imp-niveau of ASEL kon worden beschreven dan door CSEL (Vos & Veltman, 1993; Vos e.a., 1994). Meloni en Rosenheck (1995) kwamen in hun laboratoriumexperiment (zie ook Meloni & Krüger, 1993; Rosenheck e.a., 1993) tot een zelfde resultaat: voor knallen van zowel een licht, een middelzwaar en een zwaar vuurwapen was ASEL een veel betere predictor van de hinder dan CSEL.
In een door TNO-TM uitgevoerd laboratoriumexperiment werd de hinder van 14 verschillende knaltypen, afkomstig van diverse vuurwapens variërend in kaliber van 7.62 mm tot 155 mm, onderzocht (Vos, 1996a, 1996b). De resultaten lieten zien dat in de conditie met "geopende ramen" de binnenshuis ervaren hinder van de knallen vrijwel geheel door het buiten aan de gevel geldende ASEL werd bepaald (de verklaarde variantie, r^2, door ASEL was 95%, voor CSEL was r^2 gelijk aan 54%). In de conditie met "gesloten ramen" werd de binnen beoordeelde hinder eveneens veel beter door ASEL dan door CSEL verklaard: Uitgaande van de buiten aan de gevel geldende niveaus was r^2 respectievelijk 85% en 50%; uitgaande van de binnen in de kamer gemeten niveaus was r^2 respectievelijk 88% en 33%.
Ofschoon bovengenoemde resultaten zich niet eenvoudig laten samenvatten lijkt de conclusie gerechtvaardigd dat indien bij de voorspelling van de hinder ten gevolge van een verzameling onderling sterk verschillende schietgeluiden van slechts één akoestische maat gebruik mag worden gemaakt, de voorkeur eerder naar ASEL dan naar CSEL uitgaat.
De belangrijkste conclusie van het zojuist genoemde laboratoriumexperiment was echter dat in de conditie met "gesloten ramen" de binnenshuis beoordeelde hinder nog aanmerkelijk beter kon worden voorspeld indien beide prediktoren werden gebruikt. Door toevoeging van CSEL als tweede predictor steeg de verklaarde variantie in de gemiddelde hinderscores van 85% naar 97% (Vos, 1996a, 1996b).
Op het belang van beide prediktoren was al eerder gewezen door collega's van het Institut für Lärmschutz (Krahé & Buchta, 1994; Buchta, 1996). In een vervolgexperiment door TNO-TM werd zeer recentelijk aangetoond dat het voordeel van de tweede predictor optreedt voor een grote diversiteit aan gevelgeluidsisolatiekarakteristieken (Vos, 1998).

2.3 Praktische overwegingen bij de keuze van een fysische maat

Een voordeel van de SEL-maat is dat het totale geluidsniveau van snel repeterende en elkaar overlappende geluiden op een eenvoudige wijze goed bepaald kan worden. Bij lin,peak of A,imp is dit moeilijk of zelfs onmogelijk. Ook kunnen reflecties, en eventueel mondings- en kogelgeluid in één keer worden meegenomen.
Bij het bepalen van het immissieniveau van knallen met relatief weinig laagfrequente energie is bij een uit overwegend laagfrequent wegverkeersgeluid bestaande achtergrond de signaal-ruisverhouding beter indien men voor de A-weging dan voor de lineaire weging kiest. Bij

knallen met relatief veel laagfrequente energie wordt een betere signaal-ruisverhouding bereikt door het toepassen van de lineaire of de C-weging dan door het toepassen van de A-weging. De C-weging verdient de voorkeur boven de lineaire weging omdat deze vanaf 5 tot 20 Hz internationaal gezien beter is gedefinieerd; voor een juiste interpretatie van de lineaire weging is het noodzakelijk de precieze instellingen van de geluidsniveaumeter te kennen.
Uit meettechnisch oogpunt wordt de keuze tussen CSEL of ASEL pas relevant bij grote afstanden tussen de bron en de ontvanger. Bij de geluidzonering rondom schietkampen zijn afstanden tot ca. 5 km veel belangrijker dan die tussen 5 en 10 km. Onder bepaalde meteorologische omstandigheden kan men knallen van zware vuurwapens ook op een afstand van 10 km nog goed horen, maar op zo'n grote afstand zal de geluidbelasting op jaarbasis verwaarloosbaar klein zijn.
Door de huidige groei van het inzicht in de geluidsoverdracht, en door de krachtige computers die ons thans ter beschikking staan, zullen de immissieniveaus in de toekomst ook steeds vaker worden berekend in plaats van worden gemeten[2]. Aangezien het in opdracht van het Ministerie van Defensie door TNO-TPD-TUD ontwikkelde geluidoverdrachtsmodel een volledig spectrale behandeling kent, kunnen voor iedere relevante bron op het gewenste immissiepunt zowel de ASEL- als de CSEL-waarden worden vastgesteld (Van den Berg e.a., 1996).

3 IMPULSGELUID MET RELATIEF WEINIG LAAGFREQUENTE ENERGIE

Sinds 1985 zijn er voor zover ons bekend geen nieuwe resultaten van veldonderzoek naar de hinder van door lichte vuurwapens geproduceerde knallen gepubliceerd. Door enigszins veranderde inzichten met betrekking tot de periode waarover het ALEQ van schietgeluid zou moeten worden berekend, worden de resultaten van enkele reeds in de vorige literatuurstudie (Vos, 1985a) uitvoerig behandelde veldstudies in §3.1 opnieuw geanalyseerd. Verder wordt hier door het beschikbaar komen van meer gedetailleerde informatie dieper ingegaan op de Australische studie van Hede en Bullen (1982).
Enkele jaren geleden kregen we nog de beschikking over een interne rapportage van onderzoek dat in 1982 en 1983 in Noorwegen, Zweden en Denemarken was uitgevoerd op initiatief van een Noord-Europese geluidgroep (Arntzen, 1984). Het betreft hier een omvangrijke studie waarin van ruim 1900 bewoners rondom in totaal 15 verschillende schietbanen volledig ingevulde enquêtes werden verkregen. In §3.1.1 worden de gegevens nader geanalyseerd.
In het kader van een door de Europese Commissie op gang gebracht internationaal onderzoeksproject naar de effecten van impulsgeluid op de mens zijn in de 80-er jaren diverse veld-

---

[2] Ook bij geluidsmetingen onder de condities van het meteoraam (Brackenhoff e.a., 1981) is het nog niet gegarandeerd dat men daarmee de met een gunstige geluidsoverdracht gepaard gaande hoge immissieniveaus heeft vastgesteld die grotendeels bepalend zijn voor de uiteindelijke jaargemiddelde geluidbelasting. Een ongunstige overdracht ten gevolge van een negatieve temperatuursgradiënt wordt niet altijd in voldoende mate door een positieve windgradiënt gecompenseerd (Van den Berg e.a., 1992).

en laboratoriumstudies uitgevoerd. In de vorige literatuurstudie werden de gegevens van dit veldonderzoek buiten beschouwing gelaten omdat de hinder niet in het percentage "ernstig gehinderden" was uitgedrukt. Door het ter beschikking stellen van alle ruwe data door TNO-PG waren we in staat deze gegevens nader te analyseren (zie §3.1.3).
In de vorige literatuurstudie werden de gegevens van slechts één in het kader van bovengenoemd Europees project uitgevoerde laboratoriumstudie opgenomen omdat het destijds de enige studie was waarin 1) de impuls- en wegverkeersgeluiden werden beoordeeld in aanwezigheid van continu achtergrondgeluid, en 2) de hinder kon worden uitgedrukt in het percentage "ernstig gehinderden". Na 1985 zijn er nog enkele nieuwe laboratoriumexperimenten uitgevoerd. Een overzicht van deze resultaten wordt gegeven in §3.2. De eerder gehanteerde eis dat de hinder moest zijn uitgedrukt in het percentage "ernstig gehinderden" is om twee redenen komen te vervallen.
Ten eerste is uit analyses gebleken dat de conclusies nauwelijks door het verschil in beide effectmaten worden beïnvloed (zie Vos & Smoorenburg, 1983, 1985). Ten tweede hebben laboratoriumexperimenten het voordeel dat de dosis veel beter is gedefinieerd dan die in veldstudies. Onzorgvuldige schattingen van het lange termijn ALEQ van schietgeluid op basis van veldmetingen leiden in veldstudies meestal tot een overschatting van de benodigde correctie voor impulsgeluid.
Naast de hieronder te bespreken veld- en laboratoriumstudies zijn er na 1985 ook nog zogenaamde veldlaboratoriumstudies uitgevoerd, waarin proefpersonen in of dichtbij echte huizen aan ter plaatse geproduceerd schietgeluid werden blootgesteld. De resultaten van dit soort onderzoek bespreken we in §3.3.
Een kort overzicht van een gedeelte van de in §3.1 t/m §3.3 te bespreken resultaten werd eerder gegeven in Vos (1995a).

3.1 Veldstudies

3.1.1 Scandinavische veldstudie

In het begin van de 80-er jaren werd door Noorwegen, Zweden en Denemarken een veldstudie naar de hinder van schietgeluid (lichte vuurwapens) uitgevoerd. Aan ca. 2600 omwonenden van 11 civiele en vier militaire schietbanen werd een vragenlijst toegestuurd. Meer dan 1900 volledig ingevulde enquêtes werden teruggestuurd. De response van 74% was iets lager dan de onderzoekers hadden verwacht, en de indruk bestond dat de mensen die *niet* door het schietgeluid gehinderd waren verhoudingsgewijs minder vaak de enquête hadden geretourneerd. Hierdoor is het niet uitgesloten dat de hinder in deze veldstudie iets wordt overschat.
Van belang voor deze literatuurstudie is de reactie op de vraag of men door het schietgeluid werd gehinderd (vraag # 23 in Arntzen, 1984). De vier antwoordmogelijkheden waren "erg", "tamelijk", "niet erg" en "niet gehinderd". In het rapport van Arntzen werd voor iedere relevante deelgroep van respondenten een percentage "gehinderden" gegeven. Uit latere correspondentie (Arntzen, 1992) bleek dat deze percentages waren gebaseerd op de respon-

denten die hadden aangegeven "tamelijk" of "erg gehinderd" te zijn. Ofschoon een hinderschaal meestal oploopt van "niet gehinderd" naar "heel erg gehinderd", zouden we ter vergelijking met andere veldonderzoeken kunnen zeggen dat alle respondenten met een score in de bovenste 50% van de schaal als gehinderd werden beschouwd. Aangezien de ruwe data van dit onderzoek niet meer beschikbaar zijn (Solberg, 1995) is het helaas onmogelijk het effect in het percentage "ernstig gehinderden" uit te drukken.
De percentages zijn vermeld in Tabel I, waarin voor iedere schietbaan de respondenten afhankelijk van het A,imp-niveau van de belangrijkste knallen zijn toegewezen aan een bepaalde geluidklasse. De in Arntzen (1984) gegeven jaargemiddelde niveaus zijn bepaald met een door KILDE (Falch, 1992) ontwikkeld propagatiemodel. In 14 van de 53 deelgebieden was het totaal aantal respondenten kleiner dan 10. Voor deze gebieden zijn de percentages cursief weergegeven. Het totaal aantal knallen op jaarbasis wordt vermeld in de tweede kolom van Tabel I.
Onder de aanname dat ASEL 10 dB lager is dan het A,imp-niveau[3], kunnen we voor ieder deelgebied een jaargemiddelde A-gewogen geluiddosis bepalen. Op basis van de globale informatie over de schiettijden in Arntzen (1984), en verdere correspondentie met Falch (1997) en Solberg (1997), is in Tabel II een schatting van het relatieve aantal schoten in een bepaalde periode van de dag gemaakt, waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen de werkdagen en de dagen in het weekeinde. Uit Tabel II blijkt dat, zoals te verwachten was, bij de meeste civiele schietbanen verhoudingsgewijs veel, en bij de militaire schietbanen verhoudingsgewijs weinig in het weekeinde wordt geschoten.
Door deze gedetailleerde informatie zijn we in staat het jaargemiddelde A-gewogen dag-avond-nachtniveau te bepalen, met correcties voor de avond- en nachtperiode van respectievelijk 5 en 10 dB. In het weekeinde is alleen voor het Deense Grindsted nog een correctie voor de avondperiode relevant. In het weekeinde zijn de schietgeluiden hinderlijker dan op de normale weekdagen (Vos, 1995b, en Bijlage C). Hier wordt rekening mee gehouden door de dosis in zowel de dag- als in de avondperiode met 5 dB te vermeerderen.

---

[3] ASEL van een met een licht vuurwapen geproduceerde knal is binnen een relevant afstandsbereik ca. 10 dB lager dan het A,imp-niveau (Buchta e.a., 1983; Smoorenburg, 1979; Sörensen & Magnusson, 1979). In situaties waarin de bijdrage van reflecties geringer is kan het verschil tussen A,imp en ASEL enkele decibellen groter zijn. Metingen van TNO-TPD-TUD en TNO-TM (Van den Berg e.a., 1992) komen uit op een iets groter verschil tussen A,imp en ASEL. Voor de lichte vuurwapens werden op 5 juli 1991 en 9 april 1992 bij een afstand van 100 m tussen het wapen en het immissiepunt (meethoogte 1.5 m) verschillen gevonden van gemiddeld 13.5 dB. Dit gemiddelde verschil nam iets af met de afstand, resulterend in een waarde van 12 dB bij een immisierelevante afstand van 800 m. De discrepantie van 2 dB (10 dB vs. 12 dB) hangt waarschijnlijk samen met de omgeving waarin de metingen zijn verricht. Bij de drie eerdere onderzoeken werd geschoten vanaf echte schietbanen en werd gemeten in of dichtbij bestaande woonwijken, waardoor tal van reflecties wel een verhogend effect op ASEL maar niet op A,imp hebben gehad. Aangezien bij Van den Berg e.a. (1992) alle metingen in het open veld zijn uitgevoerd moet de specifieke bijdrage van reflecties veel geringer zijn geweest.

Tabel I Percentage gehinderden door schietgeluid en het jaargemiddelde A-gewogen dag-avond-nachtniveau (ADANL, in dB), voor diverse onderzoeksgebieden rondom de betreffende schietbanen. De klassegrenzen zijn uitgedrukt in het jaargemiddelde A,imp-niveau van de belangrijkste knallen. Met de cursief weergegeven percentages wordt aangegeven dat het totaal aantal ondervraagde respondenten in een betreffende zone kleiner dan 10 was. In de tweede kolom is het totaal aantal knallen per jaar aangegeven.

Schietbaan	aantal schoten per jaar	klassegrenzen van het schietgeluid in dB(A,imp)											
		55-60		60-65		65-70		70-75		75-80		>80	
		%H	ADANL	%H	ADANL	%H	ADANL	%H	ADANL	%H	ADANL	%H	ADANL
Lerum (Z)	15000	7	19.8	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
Lesjöfors (Z)	25000	6	21.5	3	26.5	10	31.5	..	..	..	..	..	..
Fredrikstad (N)	45000	..	..	9	28.1	..	..	..	..	..	..	..	..
Drøbak (N)	50000	..	..	..	..	*14*	34.0	31	39.0	54	44.0	45	49.0
Kongsvinger (N)	50000	..	..	25	28.9	69	33.9	*20*	38.9	73	43.9	60	48.9
Viborg (D)	57000	..	..	28	29.8	28	34.8	*40*	39.8	*67*	44.8	..	..
Skjetten (N)	60000	..	..	41	29.6	47	34.6	*64*	39.6	*57*	44.6	61	49.6
Prinsdal (N)	75000	..	..	22	30.3	*33*	35.3	*20*	40.3	68	45.3	48	50.3
Ringsted (D)	80000	..	..	*13*	29.2	37	34.2	32	39.2	53	44.2	48	49.2
Grindsted (D)	90000	..	..	*0*	32.2	23	37.2	15	42.2	38	47.2	44	52.2
Arvoll (N)	115000	..	..	19	32.2	*33*	37.2	*67*	42.2	*67*	47.2	84	52.2
Århus (D)	125000	..	..	54	31.4	55	36.4	*43*	41.4	..	..	..	..
Viborg (D)	190000	..	..	63	34.3	58	39.3	..	..	..	..	..	..
Strängnäs (Z)	200000	..	..	3	34.3	2	39.3	7	44.3	..	..	..	..
Rinkeby (Z)	200000	..	..	..	..	17	39.0	52	44.0	..	..	..	..

Tabel II Percentage van het aantal schoten dat in een bepaalde periode van de dag wordt afgevuurd, voor de dagen in de week en de dagen in het weekeinde samen. Voor iedere schietbaan is naast de plaats van locatie tevens het betreffende land (Z = Zweden, N = Noorwegen, D = Denemarken) en het type (civiel of militair) aangegeven.

Schietbaan	Type	periode van de dag (ma-vr)			periode van de dag (za-zo)	
		dag	avond	nacht	dag	avond
Lerum (Z)	civiel	0	0	0	100	0
Lesjöfors (Z)	civiel	16.7	16.7	0	66.7	0
Fredrikstad (N)	civiel	43.0	43.0	0	14.0	0
Drøbak (N)	civiel	31	31	0	38	0
Kongsvinger (N)	civiel	35	35	0	31	0
Viborg (D)	civiel	25	25	0	50	0
Skjetten (N)	civiel	36	36	0	27	0
Prinsdal (N)	civiel	43	43	0	14	0
Ringsted (D)	militair	71.4	0	0	28.6	0
Grindsted (D)	civiel	12.5	12.5	0	62.5	12.5
Arvoll (N)	civiel	41	41	0	18	0
Århus (D)	militair	66.7	0	0	33.3	0
Viborg (D)	militair	63.6	12.1	6.1	18.2	0
Strängnäs (Z)	militair	70	13.3	6.7	10	0
Rinkeby (Z)	civiel	55.5	22.2	0	22.2	0

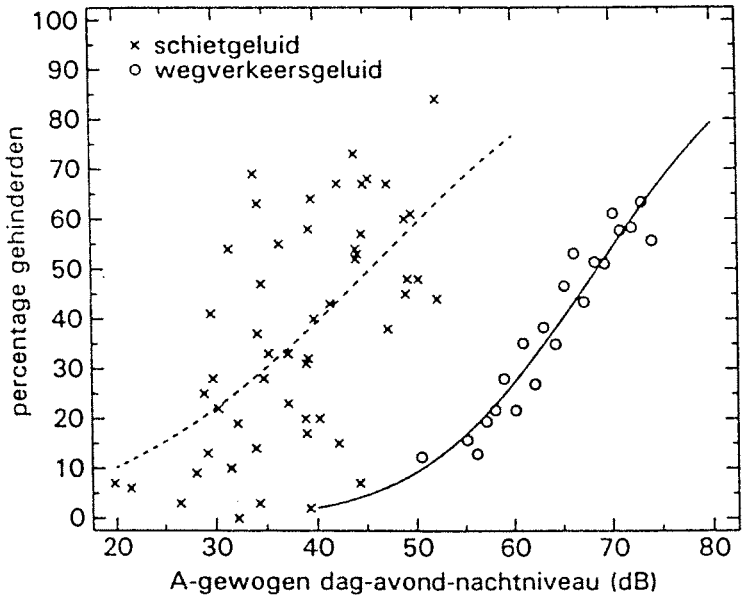

Fig. 1 Percentage gehinderden, zoals bepaald voor diverse groepen van omwonenden van Noorse, Zweedse en Deense schietbanen, als functie van het A-gewogen dag-avond-nachtniveau van het door lichte vuurwapens veroorzaakte schietgeluid. Als referentie is ook een gesynthetiseerde dosis-effectrelatie voor wegverkeersgeluid weergegeven.

Figuur 1 laat voor alle 53 deelgebieden het percentage "gehinderden" zien als functie van het op deze wijze berekende dag-avond-nachtniveau (L_{Adan}). De dosiswaarden worden ook in Tabel I vermeld. Ofschoon er een aanzienlijke spreiding in de hinderpercentages is, neemt

overall gezien het percentage gehinderden (y) significant toe met het geluidsniveau. De best passende functie (onderbroken lijn in Fig. 1) $y = \Phi[(L_{Adan}-45.4)/20.0]$ verklaart 35% van de variantie in de percentages. In deze functie wordt aangenomen dat de percentages een cumulatief normale verdeling (Φ) volgen. Zonder toepassing van de correctie voor het weekend zou de curve ca. 1.5 dB meer naar links zijn verschoven: $y = \Phi[(L_{Adan}-43.8)/20.1]$. De verklaarde variantie ($r^2 = 37\%$) wijkt niet wezenlijk af van het eerder gevonden percentage van 35%.

Als referentie is in Figuur 1 tevens een dosis-effectrelatie voor wegverkeersgeluid opgenomen, die met betrekking tot zowel de dosis- als de effectmaat zeer nauw bij die voor het schietgeluid aansluit. De data (open cirkels in Fig. 1) zijn overgenomen uit een recent rapport van Miedema en Vos (1996), met als dosis het A-gewogen dag-nachtniveau en als hindermaat het percentage van de respondenten die een hinderscore in de bovenste 50% van de schaal gaven. De door ons zelf aan deze data gefitte best passende functie (doorgetrokken lijn in Fig. 1) verklaart 92% van de variantie in het percentage gehinderden. De regressievergelijking wordt gegeven door $y = \Phi[(L_{Adn}-68.5)/14.0]$. Gegeven de emissiegegevens voor provinciale en rijkswegen (Vos, 1990c) zou het dag-avond-nachtniveau van het wegverkeersgeluid 0.5-1 dB hoger zijn dan het dag-nachtniveau.

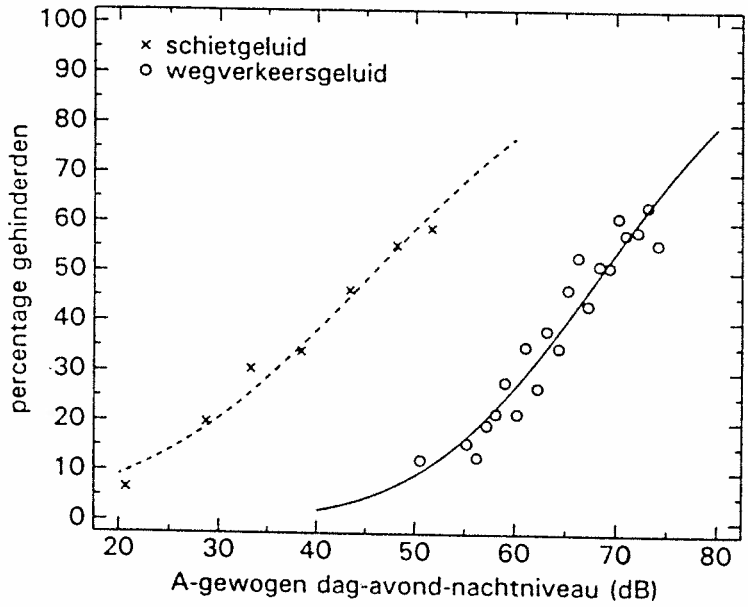

Fig. 2 Als Fig. 1, maar nu zijn de gegevens voor het schietgeluid gestratificeerd.

Door de op het schietgeluid betrekking hebbende data uit Figuur 1 te stratificeren[4] wordt het verband tussen de dosis en het effect veel duidelijker. Dit wordt geïllustreerd in Figuur 2. De functie is qua ligging vrijwel identiek aan die uit Figuur 1 (vergelijking $y = \Phi[(L_{Adan}-$

[4] Op basis van de betreffende dosiswaarde werden de percentages ondergebracht in één van in totaal zeven ADANL-klassen met een klassebreedte van 5 dB en midpoints vanaf 22.5 dB tot 52.5 dB. Per klasse werden vervolgens het gemiddelde percentage gehinderden en het gemiddelde ADANL berekend.

45.8)/19.3] , maar verklaart nu 98% van de variantie in de hinder. Voor een criterium van 25% en 50% "gehinderden" zou voor het schietgeluid een correctie van ca. 25 dB nodig zijn. Uit de in §3.1.2 uitgevoerde aanvullende analyses zal blijken dat de correctie voor het schietgeluid afhangt van het hindercriterium. De correctie die verkregen wordt door hantering van het door ons relevant geachte criterium "ernstig gehinderden" (zijnde het gemiddelde van de twee correcties die in §3.1.2 voor de "zeer sterk" en "sterk gehinderde" respondenten was gevonden) blijkt uit de analyse van de Duitse gegevens ca. 4 dB lager te zijn dan de correctie die, net zoals in het Scandinavische onderzoek, wordt verkregen door hantering van het 50%-criterium. In termen van het percentage "ernstig gehinderden" zou op grond van de huidige gegevens dus een correctie van 21 dB worden verkregen.
Uit verdere analyses is gebleken dat de ligging van de dosis-effectrelatie voor schietgeluid niet wezenlijk wordt beïnvloed door weglating van de informatie voor de 14 deelgebieden waarin het aantal respondenten kleiner was dan 10. De verklaarde variantie was zelfs vier procentpunten lager dan in de vorige analyse. Tot slot is nog onderzocht of de dosis-effectrelatie afhangt van het type schietbaan. De dosis-effectrelatie voor het op civiele schietbanen geproduceerde geluid is vrijwel gelijk aan de in Figuur 2 getoonde relatie, die was gebaseerd op de gegevens van de civiele en de militaire schietbanen samen ($y = \Phi[(L_{Adan}-45.4)/18.6]$, $r^2 = 0.97$). Voor de militaire schietbanen is de toename van het percentage gehinderden met het geluidniveau echter iets minder groot dan die voor de civiele schietbanen ($y = \Phi[(L_{Adan}-50.3)/27.8]$, $r^2 = 0.59$). De sterkte van het verband tussen de dosis en het effect is bij de militaire schietbanen lager dan dat bij de civiele schietbanen ($r^2 = 0.59$ vs. $r^2 = 0.97$), hetgeen wellicht verklaard kan worden door het feit dat de dosis-effectrelatie voor het militaire schietgeluid op minder gegevens is gebaseerd dan die voor het civiele schietgeluid (data voor 13 vs. 40 deelgebieden).

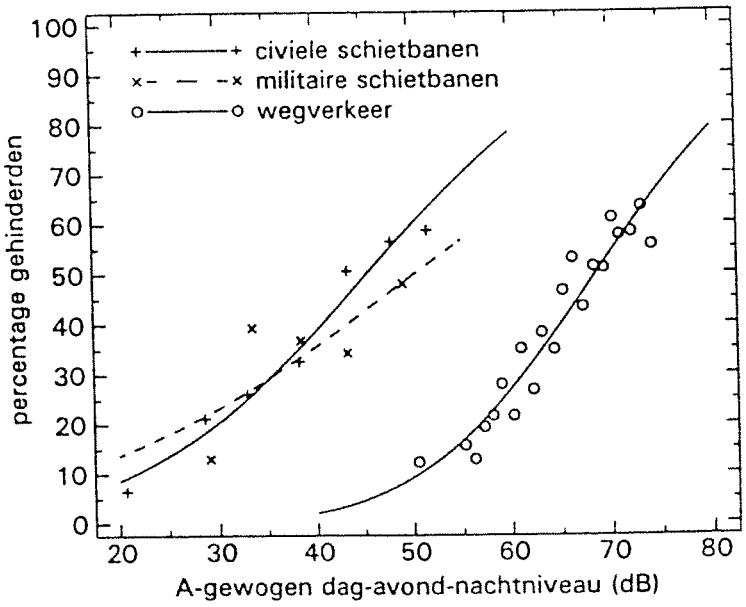

Fig. 3 Als Fig. 2, maar nu zijn de gegevens voor het schietgeluid afzonderlijk voor de civiele en de militaire schietbanen gestratificeerd.

Figuur 3 laat de verschillen tussen beide dosis-effectrelaties zien. Bij 50% "gehinderden" is het verschil in hinder equivalent aan 5 dB. De hierboven genoemde correctie van 21 dB, die was gebaseerd op de gegevens van de civiele en militaire schietbanen samen, zou dus voor militair schietgeluid met een niveau L_{Adan} ~ 45 dB worden gereduceerd tot ca. 16 dB.

3.1.2 Aanvullende analyses Duitse studie

In de vorige literatuurstudie is het Duitse veldonderzoek naar de hinder van schiet- en wegverkeersgeluid (Buchta e.a., 1983) vrij gedetailleerd besproken (zie Vos, 1985a, §4.2.1). Er zijn twee redenen om de gegevens van deze studie nader te analyseren.
Ten eerste bieden de gegevens de mogelijkheid na te gaan of de correctie voor impulsgeluid afhangt van de wijze waarop de effectmaat is gedefinieerd. In het algemeen wordt het effect uitgedrukt in het percentage "ernstig gehinderden". In de Scandinavische studie (zie §3.1.1) kon het effect alleen worden uitgedrukt in het percentage "gematigd gehinderden" (concreter: alle respondenten met een score in de bovenste 50% van de response schaal). Uit de aanvullende analyse over de Duitse data zal blijken dat de correctie voor impulsgeluid afhangt van het kriterium. Hierdoor is het van belang dat de schatting van de correctie voor het schietgeluid in de Scandinavische studie kan worden bijgesteld.
Ten tweede waren de percentages "ernstig gehinderden" in Buchta e.a. (1983) voor schietgeluid niet op precies dezelfde vragen gebaseerd als die voor wegverkeersgeluid. De vergelijkbaarheid van de twee dosis-effectrelaties zullen we nu optimaliseren door per brontype uit te gaan van de twee hindervragen die wèl identiek zijn.
We moeten ons hier dan beperken tot de hinder die voor elke bron afzonderlijk is gemeten met behulp van twee vragen. In de eerste vraag (A1 voor schietgeluid, B1 voor wegverkeersgeluid) wordt expliciet gevraagd naar de hinder in de woonomgeving, in de tweede vraag wordt de hinder gemeten die overdag wordt ervaren (A2 en B2). Steeds moest gekozen worden uit zeven antwoordalternatieven [van "niet gehinderd" (0), via "zeer zwak" (1), "zwak" (2), "duidelijk" (3), "sterk" (4) en "zeer sterk" (5) tot "onverdraaglijk sterk gehinderd" (6)].
De hinder wordt hier op drie verschillende manieren gekwantificeerd: bij de berekening van de diverse percentages "gehinderden" worden alle respondenten meegenomen die een antwoord gaven hoger dan 2, 3 of 4. Bij het lage kriterium (>2) tellen dus alle respondenten mee die een antwoord gaven in de bovenste 57% van de schaal. Voor de andere twee kriteria (>3 en >4) gaat het om respectievelijk de bovenste 43% en 29% van de schaal. Het laatste zeer strenge kriterium werd eerder door Schultz (1978) als uitgangspunt genomen voor schalen die alleen aan de uiteinden waren voorzien van een label. Bij antwoordschalen waar alle tussenstappen waren voorzien van een label, zoals hier, beschouwde Schultz alle respondenten "ernstig gehinderd" ("highly annoyed") die dat ook aangaven. Bij het ontbreken van dit label moest dit kriterium op de een of andere manier zo goed mogelijk worden benaderd, hetgeen niet altijd even gemakkelijk was (zie ook Fidell e.a., 1991).

Tabel III Gestratificeerde gegevens voor schietgeluid uit het Duitse veldonderzoek (Buchta e.a., 1983). De A-gewogen equivalente geluidniveaus (kolommen 1-3) zijn overeenkomstig de originele data berekend over 260 16-urige schietdagen per jaar. Het aantal respondenten (n) in iedere klasse wordt in kolom 4 vermeld. De reactie van de omwonenden wordt uitgedrukt in het percentage "zeer sterk gehinderden" (kolommen 5-7), het percentage "sterk gehinderden" (kolommen 8-10) en het percentage "duidelijk gehinderden" (kolommen 11-13). De vragen A1 en A2 worden in Buchta e.a. (1983) aangegeven met respectievelijk Sp. 51 en Sp. 205.

grenzen				% zeer sterk gehinderden			% sterk gehinderden			% duidelijk gehinderden		
laag (1)	hoog (2)	gem. L_{Aeq} (3)	n (4)	A1 (5)	A2 (6)	M (7)	A1 (8)	A2 (9)	M (10)	A1 (11)	A2 (12)	M (13)
32.5	36.4	35.1	72	2.8	5.6	4.2	9.7	11.3	10.5	34.7	28.2	31.5
36.5	39.4	37.9	91	8.9	4.4	6.6	18.9	15.4	17.2	41.1	36.3	38.7
39.5	42.4	41.1	59	10.2	8.6	9.4	20.3	15.5	17.9	44.1	32.8	38.5
42.5	45.4	44.1	85	18.8	13.3	16.0	32.9	19.3	26.1	56.5	49.4	53.0
45.5	48.4	47.0	45	22.2	13.6	17.9	33.3	29.6	31.5	51.1	50.0	50.6
48.5	51.4	50.1	18	33.3	27.8	30.6	44.4	50.0	47.2	66.7	72.2	69.5
51.5	54.4	52.7	6	83.3	66.7	75.0	100.0	83.3	91.7	100.0	100.0	100.0
54.5	57.4	55.8	4	100.0	25.0	62.5	100.0	75.0	87.5	100.0	100.0	100.0
57.5	60.4	59.3	4	50.0	75.0	62.5	75.0	75.0	75.0	100.0	100.0	100.0
60.5	63.4	61.5	6	33.3	50.0	41.7	50.0	50.0	50.0	83.3	83.3	83.3
			390									

Tabel IV Gestratificeerde gegevens voor wegverkeersgeluid uit het Duitse veldonderzoek (Buchta e.a., 1983). De A-gewogen equivalente geluidniveaus (kolommen 1-3) zijn bepaald door middel van geluidmetingen en verkeerstellingen. Het aantal respondenten (n) in iedere klasse wordt in kolom 4 vermeld. De reactie van de omwonenden wordt uitgedrukt in het percentage "zeer sterk gehinderden" (kolommen 5-7), het percentage "sterk gehinderden" (kolommen 8-10) en het percentage "duidelijk gehinderden" (kolommen 11-13). De vragen B1 en B2 worden in Buchta e.a. (1983) aangegeven met respectievelijk Sp. 47 en Sp. 208.

grenzen				% zeer sterk gehinderden			% sterk gehinderden			% duidelijk gehinderden		
laag (1)	hoog (2)	gem. L_{Aeq} (3)	n (4)	A1 (5)	A2 (6)	M (7)	A1 (8)	A2 (9)	M (10)	A1 (11)	A2 (12)	M (13)
43.0	45.0	44.8	49	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	1.0
46.0	48.0	47.5	39	0.0	0.0	0.0	5.1	0.0	2.6	10.3	5.1	7.7
49.0	51.0	50.0	102	2.0	1.0	1.5	5.9	1.0	3.4	6.9	2.0	4.5
52.0	54.0	53.0	59	0.0	0.0	0.0	3.4	1.7	2.5	8.5	5.1	6.8
55.0	57.0	55.4	42	7.1	2.4	4.8	19.1	4.8	11.9	26.5	11.9	19.1
58.0	60.0	58.7	25	4.2	0.0	2.1	8.3	8.0	8.2	25.0	12.0	18.5
61.0	63.0	62.3	21	28.6	23.8	26.2	38.1	28.6	33.3	61.9	52.4	57.2
64.0	66.0	64.9	47	31.9	42.2	37.1	61.7	46.7	54.2	72.3	62.2	67.3
67.0	72.0	68.5	8	37.5	28.6	33.1	37.5	42.9	40.2	50.0	57.1	53.6
			392									

Voor het schietgeluid worden de resultaten gegeven in Tabel III, voor wegverkeersgeluid in Tabel IV. Voor elk van de drie hindercriteria wordt het verband tussen de dosis en de gemiddelde percentages bepaald met behulp van een cumulatieve normaalverdeling. De vierde kolom van Tabel III laat zien dat het aantal respondenten in de laatste vier zones met $L_{Aeq} \geq$ 51.5 dB zeer klein was. Voor deze laatste vier zones zal steeds één percentage worden berekend, resulterend in 55%, 75% en 95% voor respectievelijk de "zeer sterk", "sterk" en "duidelijk gehinderden". Voor de dosis wordt steeds een gemiddelde waarde L_{Aeq} = 57.3 dB genomen.
Het aantal respondenten in de laatste zone van het wegverkeersgeluid (kolom 4 in Tabel IV) is ook heel klein. Dit datapunt zal geheel buiten beschouwing worden gelaten.

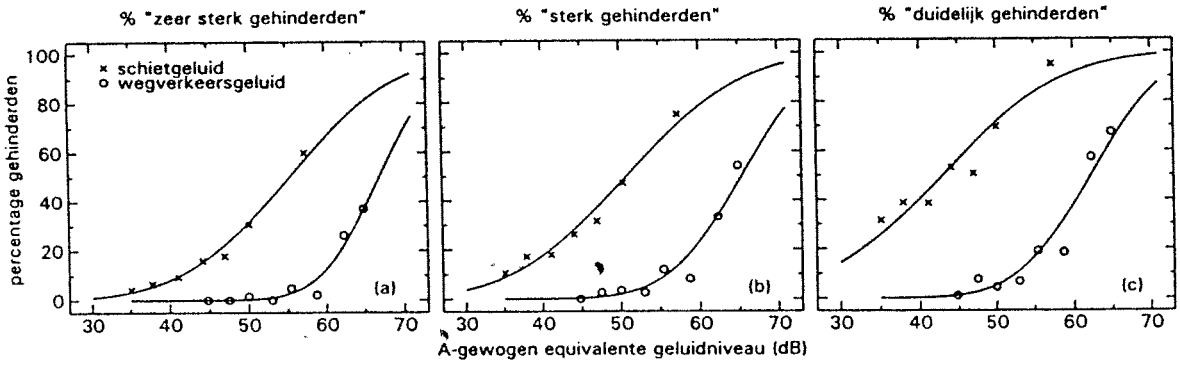

Fig. 4 Dosis-effectrelaties voor door lichte vuurwapens veroorzaakt schietgeluid en voor lokaal wegverkeersgeluid, als functie van het A-gewogen equivalente geluidniveau. Gebaseerd op gegevens van Buchta e.a. (1983). De hindermaat wordt uitgedrukt in het percentage a) "zeer sterk gehinderden", b) "sterk gehinderden" en c) "duidelijk gehinderden".

Alle geschikt bevonden datapunten worden weergegeven in Figuur 4. De doorgetrokken lijnen zijn de best passende curves. De dosis-effectrelaties voor schiet- en wegverkeersgeluid liggen steeds verder uit elkaar naar mate het hinderkriterium lager wordt. Uitgaande van bijvoorbeeld 33% gehinderden zou de correctie van schietgeluid toenemen van 14 dB voor de "zeer sterk gehinderden" [Fig. 4(a)], tot 16 dB voor de "sterk gehinderden" [Fig. 4(b)] en 21 dB voor de "duidelijk gehinderden" [Fig. 4(c)].
In Figuur 4 is de dosis voor het schietgeluid gebaseerd op 260 16-urige dagen per jaar. Indien men de dosis berekent op basis van 12-urige dagen, wordt de correctie 1 dB kleiner. Voor het bepalen van de correctie voor schietgeluid in de huidige literatuurstudie zullen we uitgaan van het gemiddelde van de correcties die gevonden waren voor de kriteria "zeer sterk" en "sterk gehinderden". Dit resulteert in een uiteindelijke correctie van 14 dB.

3.1.3 Europese veldstudie

In de vorige literatuurstudie werden de gegevens van een veldstudie naar de hinder van impulsgeluid, die in de 80-er jaren door verschillende landen in opdracht van de Europese Commissie is uitgevoerd, buiten beschouwing gelaten omdat de hinder niet in het percentage

"ernstig gehinderden" was uitgedrukt. Door het ter beschikking stellen van alle ruwe data door TNO-PG was het in principe mogelijk de gegevens nader te analyseren, zodat onder andere de hinder op een andere wijze zou kunnen worden gekwantificeerd. Deze analyse leek veelbelovend omdat dan tevens separate analyses zouden kunnen worden uitgevoerd over de hindergegevens rondom drie Nederlandse schietbanen (Bussum, Driebergen en Vught), één Duitse schietbaan (Resse) en één Franse schietbaan (Antibes). De gegevens van de industriële impulsgeluiden zouden op deze wijze schattingen van de correctie voor schietgeluid niet kunnen beïnvloeden.
Uit een nadere beschouwing van de diverse rapporten bleek echter dat de dosis onzorgvuldig is vastgesteld.
Uit het rapport betreffende de Nederlandse bijdrage (Groeneveld e.a., 1985) bleek dat voor géén van de drie schietbanen de geluidmetingen binnen het meteoraam waren uitgevoerd. Ofschoon de afstanden tussen de emissie- en immissiepunten in het geval van Bussum en Driebergen relatief klein zijn (100-500 m), kan volgens TNO-TPD-TUD voor een dergelijk afstandsbereik het meten buiten het meteoraam al een onderschatting van het relevante geluidniveau geven van maximaal 15 dB (Salomons, 1997). Voor een nauwkeurig schatting zou de tijdens de betreffende metingen voorkomende turbulentiegraad in de atmosfeer bekend moeten zijn. Deze data zijn uiteraard niet bekend.
In het Duitse rapport (Kastka & Ritterstaedt, 1984) wordt niets over de meteocondities tijdens de geluidmetingen vermeld. Uit een globale vergelijking van de door hen opgegeven geluidniveaus met die van het Institut für Lärmschutz, dat in ongeveer dezelfde periode omwonenden van schietkamp Resse enquêteerde (Buchta e.a., 1983), blijkt dat ook deze gegevens zelfs bij benadering nooit een jaargemiddeld niveau kunnen representeren. Met inschakeling van het Institut für Lärmschutz zouden de gegevens van Kastka en Ritterstaedt nog kunnen worden gebruikt. Zo'n heranalyse is echter voor de huidige studie niet haalbaar.
In het Franse rapport (SEDES, 1983) wordt wel iets vermeld over de meteocondities. Tijdens de metingen zou de windrichting overwegend noordwest moeten zijn. Volgens opgave was de wind op één dag westelijk, op de andere dagen variabel of onbekend. Tevens zijn er met betrekking tot de Franse gegevens onduidelijkheden over de codering van de meetlocaties en werd de (civiele) schietbaan hoofdzakelijk in het weekend gebruikt.
Geconcludeerd moet worden dat de geluidmetingen voor zowel de Nederlandse, Duitse en Franse schietbanen onbetrouwbaar zijn. Door het ontbreken van gegevens over het relevante munitieverbruik is voor de Nederlandse en Franse schietbanen herberekening van de dosis onmogelijk. Dit betekent dat in een nadere beschouwing over de correctie voor door lichte vuurwapens geproduceerd schietgeluid, deze data niet kunnen worden gebruikt.

3.1.4 Enkele uitgangspunten voor heranalyse

Berekening van het equivalente geluidniveau. In een onderzoek van Vos en Geurtsen (1992) werd de vraag gesteld over welke periode het equivalente geluidniveau (LEQ) zou moeten worden berekend teneinde een zo goed mogelijke aansluiting bij de hinderbeleving te verkrijgen. Voor geluiden die afkomstig zijn van onregelmatig gebruikte schietterreinen die slechts een paar uur per dag of een paar dagen per week geopend zijn, is deze vraag relevant.

Eén van de conclusies was dat de periode waarover LEQ moet worden berekend niet beperkt zou moeten zijn tot schietdagen; de schietvrije dagen moeten worden meegeteld (zie ook Vos, 1992b, 1992c). In een verwant onderzoek naar de geluidhinder van oefenende militaire voertuigen kwamen Versfeld e.a. (1995) tot dezelfde conclusies.
In de vorige literatuurstudie (Vos, 1985a) was voor een ander uitgangspunt gekozen: LEQ werd berekend over de periode waarin er werkelijk schietoefeningen werden gehouden. We zullen nu voor de diverse onderzoeken nagaan of LEQ van het schietgeluid moet worden bijgesteld. Een eventuele bijstelling resulteert dan eveneens in een nieuwe schatting van de correctie voor het schietgeluid.
Dosis-effectrelatie voor wegverkeersgeluid. In de vorige literatuurstudie werd als referentie voor het schietgeluid een dosis-effectrelatie voor wegverkeersgeluid samengesteld. Deze dosis-effectrelatie was gebaseerd op de gegevens van zeven in Schultz (1978) vermelde veldstudies naar de hinder van wegverkeersgeluid. De algemeen door Schultz bepaalde relatie werd opzettelijk niet gebruikt omdat die qua hinderbeleving uit drie significant van elkaar verschillende geluidbronnen was opgebouwd. Achteraf is overigens gebleken dat de door ons gebruikte dosis-effectrelatie nauwelijks van die van Schultz verschilde, omdat in de Schultz-curve de ten opzichte van het wegverkeer verhoogde hinder door luchtverkeersgeluid en de verlaagde hinder door railverkeersgeluid werden uitgemiddeld. De door Schultz verzamelde gegevens, die oorspronkelijk door een derdemachts functie werden samengevat, worden ook vaak door de exponentiële functie $y = 100/[1 + \exp(10.4-0.132L_{Adn})]$ beschreven, waarin y staat voor het percentage "ernstig gehinderden" en L_{Adn} het A-gewogen dag-nachtniveau (ADNL) representeert (zie b.v. Schomer, 1994).
Rekening houdend met de resultaten van door Miedema en Vos (1996) uitgevoerde aanvullende analyses over databestanden die nog groter waren dan de bestanden die Schultz ter beschikking had, beschrijft de exponentiële functie de dosis-effectrelatie voor wegverkeersgeluid nauwkeuriger dan de oorspronkelijke functie van Schultz. De exponentiële functie wordt daarom ook in de huidige literatuurstudie als referentie gebruikt.
Voor de analyses in §3.1.5 moet de geluiddosis voor het wegverkeer in het voor de dagperiode geldende ALEQ worden uitgedrukt. ALEQ op basis van het gehele etmaal is ca. 4 dB lager dan ADNL (Schultz, 1978; Fidell e.a., 1991). ALEQ in de dagperiode (07-19 h) is weer ca. 2 dB hoger dan ALEQ voor het etmaal. Het kriterium 33% "ernstig gehinderden" wordt bereikt bij L_{Adn} = 73 dB. We gaan er hier dus vanuit dat voor de dagperiode een zelfde mate van hinder wordt bereikt bij L_{Aeq} = 71 dB.

3.1.5 De nieuwe correctie in de diverse onderzoeken

Dosis-effectrelatie voor de Australische studie. Aanvankelijk kon de dosis van het schietgeluid in de Australische studie (Hede & Bullen, 1982) niet worden uitgedrukt in ALEQ. In een recentere publicatie van Bullen e.a. (1991) wordt het percentage "seriously affected", dat we hier gelijk zullen stellen aan het percentage "ernstig gehinderden" echter wèl gegeven als functie van ALEQ. Uit gegevens in Bullen en Hede (1982) kan worden geconcludeerd dat de periode waarover ALEQ is berekend gelijk is aan 365 24-urige dagen. In aanmerking genomen dat er alleen op zaterdag- en zondagmiddagen van de betreffende schietbaan gebruik

werd gemaakt, vinden we deze periode wel èrg lang. Wij vinden 104 [52(weken) × 2(dagen)] 12-urige schietdagen een beter uitgangspunt (Vos, 1995b).

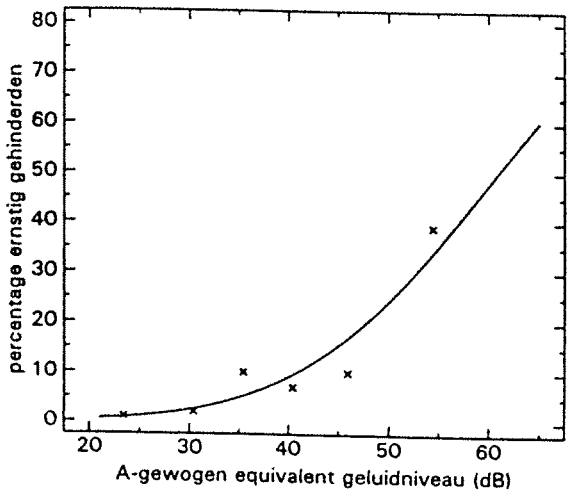

Fig. 5 Percentage "ernstig gehinderden" als functie van het herberekende A-gewogen equivalente geluidniveau van schietgeluid (lichte vuurwapens). Gebaseerd op gegevens van Bullen en Hede (1982) en Bullen e.a. (1991).

Figuur 5 laat het percentage ernstig gehinderden (y) zien als functie van het op deze wijze berekende ALEQ, dat dus 8.4 dB hoger is dan het ALEQ dat in Bullen e.a. (1991) wordt gegeven. De regressielijn heeft de vergelijking $y = \Phi\ [(L_{Aeq}-60.9)/15.7]$, $r^2 = 0.90$. Bij $L_{Aeq} = 54$ dB wordt ons criterium van 33% ernstig gehinderden bereikt. In Vos (1995b) en in Bijlage C laten we zien dat schietoefeningen in het weekend hinderlijker zijn dan op normale werkdagen. Onder de aanname dat dit weekend effect ca. 5 dB bedraagt zou op door de weekse dagen 33% van de bevolking ernstig gehinderd zijn bij $L_{Aeq} = 59$ dB. De correctie voor schietgeluid bedraagt dus 71 - 59 = 12 dB.

In het *Zweedse onderzoek* (Sörensen en Magnusson, 1979) gingen we uit van 220 4-urige schietdagen. Op basis van 260 12-urige schietdagen verschuift de dosis-effectrelatie in zijn geheel 5.5 dB naar links. Voor de bepaling van de correctie gaan we weer uit van het criterium 33% "ernstig gehinderden". Dit kriterium wordt bereikt bij $L_{Aeq} = 58$ dB. De nieuwe schatting van de correctie die bij ALEQ van het schietgeluid moet worden opgeteld om ALEQ van even hinderlijk wegverkeer te vinden bedraagt 13 dB.

In het *Zwitserse onderzoek* (Heintz, 1980) zullen we nu uitgaan van 364 12-urige dagen in plaats van 358 halve dagen van elk 4 uur. ALEQ wordt daardoor 5 dB lager, met als gevolg dat de nieuwe schatting van de correctie voor het impulsgeluid 14 dB bedraagt.

Voor het *Scandinavische onderzoek* werd in §3.1.1 de correctie geschat op 16 dB, terwijl voor het *Duitse onderzoek* van Buchta e.a. (1983) in §3.1.2 een nieuwe correctie van 14 dB werd gevonden.

3.1.6 Conclusie

De geschatte correcties in de Australische, Zweedse, Zwitserse, Duitse en Scandinavische studies bedroegen respectievelijk 12, 13, 14, 14 en 16 dB. De gemiddelde correctie van 13.8 dB voor schietgeluid lijkt 3 dB hoger te zijn dan de correctie die in een Engelse studie werd gevonden voor impulsgeluid dat van een bouwterrein afkomstig was (Large & Ludlow, 1976) en de correctie die in een Nederlandse studie voor impulsgeluid afkomstig van een industrieterrein werd gevonden (Groeneveld en Verboom, 1981; zie ook Vos, 1985a).
Voor schietgeluid bestaat de tendens dat de correctie iets afneemt met toenemend ALEQ. Alleen in het Zwitserse onderzoek werd een tegengesteld effect gevonden. Voor de Nederlandse en Engelse studies (geen schietgeluid) nam de correctie voor het impulsgeluid ook toe met ALEQ.

3.2 Laboratoriumstudies

In het eerder genoemde internationale onderzoeksproject naar de effecten van impulsgeluid op de mens werden onder andere laboratoriumstudies verricht waarin de hinder van pistoolschoten werd vergeleken met de hinder van wegverkeersgeluid. We richten ons hier op een achttal onafhankelijke studies, waarin het in de luisterruimte gemeten ALEQ van het schietgeluid varieerde van 25 tot 70 dB. Een overzicht van deze studies geven we in Tabel V.

Tabel V In diverse laboratoriumstudies verkregen correcties voor impulsgeluid, voor twee verschillende condities van het achtergrondgeluid. De correcties zijn afgeleid van hinderbeoordelingen voor pistool- en wegverkeersgeluid.

bron	niveau aan het oor van de luisteraar		geschat ALEQ bereik buitenshuis	bereik correctie impulsgeluid
	ALEQ bereik schietgeluid	ASEL van enkele knal		
Niveau van achtergrondgeluid zo laag mogelijk				
Rice (1983)[1]	35-65	38-68	55-85	10-0
Vos & Smoorenburg (1983)	35-65	38-68	55-85	14-4
Flindell & Rice (1986)[2]	35-65	38-68	55-85	10-0
Brambilla & Carretti (1989)[3]	35-70	38-73	55-90	10-0
Niveau van achtergrondgeluid 30-35 dB(A)				
Vos & Smoorenburg (1985)	30-60	33-63	50-80	12-5
Vos (1990a)	28-55	32-59	48-75	10-0
Vos (1992a), exp. 1	25-55	29-59	45-75	11-1
Vos (1992a), exp. 2	25-55	29-59	45-75	15-8

[1]gemiddeld over de resultaten van 3 deelnemende landen; [2]gemiddeld over de resultaten van 5 deelnemende landen; [3]gebaseerd op 3 afzonderlijke experimenten

In het algemeen duurde een experimentele conditie, waarin het schietgeluid of het wegverkeersgeluid ten gehore werd gebracht, 5 min, ofschoon in sommige condities kortere perioden

van 25 tot 45 s werden gebruikt. Het aantal aangeboden individuele pistoolschoten per minuut lag tussen de 25 en de 30. In de derde kolom van Tabel V wordt voor iedere studie het binnenshuis gemeten ASEL van de individuele knallen gegeven. Het geluidsspectrum van de pistoolschoten werd gedomineerd door de energie in een frequentieband tussen 200 en 2500 Hz. Met een dergelijk spectrum werd een luistersituatie gesimuleerd met een relatief lage gevelreductie, zoals dat voorkomt indien men de ramen op een kier laat staan. In experimenten van Schomer e.a. (1994) en Schomer en Wagner (1995) varieerde de gevelreductie voor geweerschoten met iets geopende ramen van 17 tot 23 dB (zie Tabel VI). Voor de in het internationale onderzoeksproject gebruikte knallen zullen de buiten voor de gevel geldende niveaus daarom naar schatting 20 dB hoger zijn geweest dan de niveaus die in de luisterruimte voorkwamen.

Het binnenshuis gemeten ALEQ van het wegverkeersgeluid varieerde van 30 tot 70 dB. Het geluid riep een vrij druk verkeersbeeld op, met globaal gezien om de twee seconden een duidelijk herkenbare passage van een individuele auto. Het wegverkeersgeluid had een spectrale piek rond 100 Hz. Voor hogere frequenties nam het geluidsniveau af met ca. 5 dB/oct.

De resultaten lieten op consistente wijze zien dat bij relatief lage gemiddelde niveaus het wegverkeersgeluid als minder hinderlijk werd beoordeeld dan het schietgeluid. Dit verschil werd echter steeds kleiner naarmate het niveau van de geluiden toenam. Dit betekent dat de benodigde correctie voor het schietgeluid niveauafhankelijk is. De laatste kolom van Tabel V geeft voor de diverse onderzoeken een overzicht van het gevonden bereik van de correcties. Na kleine aanpassingen voor niveauverschillen werd een gemiddelde correctie van 12 dB (standaarddeviatie, sd, gelijk aan 1.9 dB) verkregen voor een binnenshuis gemeten ALEQ van 30 dB. Bij een binnenshuis gemeten ALEQ van 65 dB is de correctie gedaald tot gemiddeld 1 dB (sd = 3.1 dB).

3.3 Veldlaboratoriumstudies

In experimenten van het US Army Construction Engineering Research Laboratory (Champaign, Illinois) en het Institut für Lärmschutz (Düsseldorf) werden honderden proefpersonen in of dichtbij echte huizen blootgesteld aan het ter plaatse opgewekt geluid van lichte vuurwapens (7.62 mm en M-16 geweren met respectievelijk oefen- en scherpe munitie), wielvoertuigen en andere bronnen (Schomer e.a., 1994; Schomer & Wagner, 1995). De voor de experimenten gebruikte huizen bevonden zich dichtbij op dat moment niet in gebruik zijnde militaire oefenterreinen.

De experimenten waren opgezet als een paarsgewijze vergelijkingstest waarin de proefpersonen na ieder paar aangeboden geluiden werd gevraagd aan te geven welk geluid zij hinderlijker vonden. Elke te beoordelen periode met geluid duurde 30 s; het begin en eind ervan werd aangegeven door middel van lampjes.

Het niveau en de spectrale inhoud van het schietgeluid werd gevarieerd door verschillende afstanden (100-400 m) tussen het schietpunt en het testhuis te kiezen. Bij het voertuiggeluid bedroeg de afstand tussen de weg en de gevel van het huis slechts 15 (Schomer & Wagner,

1995) of 20 m (Schomer e.a., 1994). Het niveau van het voertuiggeluid werd hier gevarieerd door verschillende voertuigen te gebruiken. Van klein naar groot konden dit bijvoorbeeld een bestelbusje, een jeep, een truck, een bus, een bergingsauto en een trekker met oplegger voor tanktransport zijn. Het is niet erg elegant om op deze wijze het geluidniveau van de vergelijkingsstimulus te variëren. Uitgaande van het aan het oor gemeten ASEL worden op deze wijze systematische verschillen in hinder geïntroduceerd van op z'n minst 5 dB (Versfeld e.a., 1994). Rekening houdend met de frequentieafhankelijke gevelreductie worden deze verschillen echter weer ten dele opgeheven.

Tabel VI A-gewogen over 30 s gemiddeld geluidniveau, ALEQ, van geweerschoten, zoals bepaald aan het oor van de proefpersonen of buiten bij de gevel van de testwoning, waarbij de knallen even hinderlijk waren als het geluid van voorbijrijdende voertuigen met een geluidniveau dat gelijk is aan de som van het geluidniveau van de geweerschoten en de correctie. Referentie I: Schomer e.a., 1994, Tabel 3 en 4; Referentie II: Schomer & Wagner, 1995, Tabel 3 en 5.

bron/conditie	niveau aan het oor van de luisteraar						niveau buiten			
	ALEQ van geweer-schoten		ASEL van enkele knal		correctie		ALEQ van geweer-schoten		correctie	
ref.	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
60 knallen, korte afstand										
gesloten ramen	36.2	38.9	33.2	35.9	12.5	13	65.2	70.2	13.5	13
geopende ramen	45.7	51.7	42.7	48.7	7	10	68.7	70.7	6.5	10.5
buiten	65.2	67.7	62.2	64.7	6	8.8	65.7	70.7	7	7.5
6 knallen, korte afstand										
gesloten ramen	26.2	31.2	33.2	38.2	13	8	56.2	60.9	8.5	11
geopende ramen	36.7	42.7	43.7	49.7	6.5	12.5	59.7	59.7	2.5	14.5
buiten	56.2	58.7	63.2	65.7	3.5	9	56.7	59.7	4.5	7.8
60 knallen, lange afstand										
gesloten ramen	28.7	31.2	25.7	28.2	8.5	6	54.7	61.2	7	9.7
geopende ramen	35.7	43.2	32.7	40.2	8.5	13.8	57.2	60.7	6.5	15
buiten	54.7	59.7	51.7	56.7	7	11.2	55.2	60.7	9	10.8

Op basis van de antwoorden van de proefpersonen werd het A-gewogen niveau van het door de voertuigen veroorzaakte vergelijkings- of controlegeluid bepaald waarbij evenveel hinder werd ervaren als het door de vuurwapens veroorzaakte testgeluid. Voor de schatting van het punt van gelijke hinder (dus waarbij 50% van de proefpersonen het ene geluid en 50% van de proefpersonen het andere geluid in het paar hinderlijker vond) werden een drietal functies gebruikt (een cumulatieve normaalverdeling, een sigmoïde functie en een logistische dosis-effectrelatie) waarbij de uiteinden (scores van 100% voor lage niveaus en scores van 0% voor hoge niveaus van het controlegeluid) op een kunstmatige manier werden gefixeerd. Het resultaat van de bestpassende functie in een bepaalde conditie werd uiteindelijk voor verdere analyse gebruikt. De Duitse onderzoekers gingen bij het bepalen van het punt van gelijke hinder alleen uit van de cumulatieve normaalverdeling maar voerden de berekeningen uit voor

kleinere subgroepen. Gemiddeld genomen komen de resultaten van de verschillende analysemethoden echter goed overeen.
Er waren in feite drie verschillende testgeluiden: zes schoten die vanaf een korte afstand van het huis werden afgevuurd en 60 schoten die vanaf zowel een korte als een langere afstand werden afgevuurd. Per stimulustype waren er steeds drie luistercondities: binnenshuis met gesloten of met gedeeltelijk geopende ramen, en buitenshuis in de tuin.
Tabel VI geeft een gedetailleerd overzicht van de resultaten die in de twee afzonderlijke studies zijn verkregen. De getallen in de tweede tot en met de vijfde kolom hebben betrekking op geluidniveaus die aan het oor van de luisteraars zijn bepaald. De getallen in de zesde en de zevende kolom zijn de benodigde correcties voor het schietgeluid die bij het gemiddelde geluidniveau van dit schietgeluid moeten worden opgeteld om het niveau van het even hinderlijke voertuiggeluid te verkrijgen. Deze correcties lagen tussen 3.5 en 13.8 dB (M = 9.2 dB, sd = 2.9 dB) en bleken noch met het geluidniveau noch met de luisterconditie een systematische samenhang te vertonen.
Voor het meten en beoordelen van omgevingsgeluid wordt normaal gesproken uitgegaan van buiten aan de gevel bepaalde geluidniveaus. Voor het schietgeluid geven we deze niveaus in de achtste en negende kolom van Tabel VI, terwijl de laatste twee kolommen de resulterende correcties laten zien. De op deze wijze verkregen correcties wijken niet wezenlijk af van de correcties die op de bij het oor van de luisteraars bepaalde geluidniveaus zijn gebaseerd.

3.4 Conclusies

In de veldstudies bedroeg de gemiddelde correctie voor het schietgeluid 13.8 dB (zie §3.1.6). De onderlinge spreiding in de correcties van de diverse veldstudies is zo klein dat het toepassen van verschillende gewichten (ongeacht de er mee samenhangende problemen; zie §6.1 in Vos, 1985a) weinig zin heeft. In deze studies werden de correcties afgeleid uit het verschil tussen die geluidniveaus voor wegverkeers- en schietgeluid waarbij 33% van de respondenten aangaf "ernstig gehinderd" te zijn. Deze mate van hinder werd in de betreffende studies bereikt indien het gemiddelde geluidniveau van het schietgeluid 50 à 60 dB bedroeg.
Voor de knallen die in de laboratoriumstudies (§3.2) werden gebruikt waren de buiten voor de gevel geldende geluidniveaus naar schatting 20 dB hoger dan de niveaus die in de luisterruimte voorkwamen. Voor binnenniveaus tussen 30 en 40 dB, en dus voor buitenniveaus tussen ca. 50 en 60 dB, bedroeg de correctie gemiddeld genomen 10 dB (sd = 2.1 dB).
In de in §3.3 besproken veldlaboratoriumstudies leverden de 12 condities waarin het buiten bepaalde niveau van het schietgeluid tussen de 50 en 61 dB lag, gemiddeld een correctie op van 9 dB (sd = 3.5 dB).
De resultaten van deze drie verschillende categorieën van onderzoek komen dus tamelijk goed met elkaar overeen. Alles bij elkaar genomen lijkt voor de geluidzonering van schietgeluid afkomstig van lichte vuurwapens een correctie van 12 dB een goed uitgangspunt.

4 IMPULSGELUID MET RELATIEF VEEL LAAGFREQUENTE ENERGIE

In de vorige literatuurstudie (Vos, 1985a) was de schatting van de correctie voor impulsgeluid met relatief veel laagfrequente energie gebaseerd op slechts één veldonderzoek naar de hinder van artillerieschietgeluid (Schomer, 1982) en twee studies naar de hinder van supersone knallen (Borsky, 1965a, 1965b; Rylander e.a., 1974), terwijl ter vergelijking ook nog twee andere studies konden worden opgenomen (Rylander e.a., 1972; Webb & Warren, 1967).
In 1985 publiceerde Schomer de resultaten van een tweede veldonderzoek (Schomer, 1985). Na 1985 verschenen er relevante rapportages over drie door het Institut für Lärmschutz in Düsseldorf uitgevoerde veldonderzoeken (Buchta e.a., 1986; Buchta, 1988; Buchta, 1993a) en één door Rylander opgezet veldonderzoek naar de hinder van artillerieschietgeluid (Rylander & Lundquist, 1996). Bovendien kregen we na 1985 de beschikking over de resultaten van een in Australië uitgevoerd veldonderzoek naar eveneens de hinder van artillerieschietgeluid (Bullen en Hede, 1984; zie ook Bullen e.a., 1991). Deze onderzoeken, die een essentiële aanvulling op ons eerdere databestand vormen, zullen we nu bespreken. Tot slot zullen we ook ingaan op de resultaten van eerder genoemde veldlaboratoriumexperimenten van Schomer en Buchta, waarin de geluidhinder van o.a. explosies en voertuigbewegingen werd bepaald (Schomer, e.a., 1994; Schomer & Wagner, 1995).

4.1 Amerikaanse veldstudies rond Fort Lewis en Fort Bragg

Na de veldstudie naar de hinder van artillerieschietgeluid rondom Fort Bragg, Noord Carolina (Schomer, 1982) zijn nu ook gegevens bekend van een vergelijkbare studie rondom Fort Lewis, Washington (Schomer, 1985). In Tabel VII geven we voor iedere onderzoekslocatie het aantal geënquêteerden en het door Schomer (1994) herziene CDNL. De geluidbelasting is gebaseerd op 365 dagen per jaar (Schomer, 1993). Ondanks dat op Fort Lewis maar 2% van het totaal aantal knallen 's nachts voorkomt, gaf een deel van de omwonenden toch aan tot op zekere hoogte in hun slaap te worden gestoord (Schomer, 1982, 1985).
De respondenten werden als "ernstig gehinderd" beschouwd indien ze op een algemene vraag naar de hinder ten gevolge van zware knallen hadden aangegeven "heel erg" of "extreem gehinderd" te zijn. Het percentage "ernstig gehinderde" respondenten in iedere onderzoeks-locatie geven we in de vierde kolom van Tabel VII. Net als in de eerdere veldstudie rond Fort Bragg corrigeerde Schomer deze percentages iets in verband met de bereidheid van de respondenten om te klagen (zie ook Vos, 1985a). De gecorrigeerde percentages geven we in de laatste kolom van Tabel VII.

Tabel VII Overzicht van enkele gegevens van Amerikaanse onderzoeken naar de relatie tussen de belasting en de hinder van artillerieschietgeluid rondom Fort Lewis en Fort Bragg (Schomer, 1982, 1985, 1994).

locatie	n	CDNL	percentage "ernstig gehinderden"	
			ongecorrigeerd	gecorrigeerd
Fort Lewis				
Clinton Park	126	47.5	8.8	9.4
Lake St. Clair	163	54.9	28.8	30.3
Mushroom Corner	150	52.0	14.0	13.4
Nisqually	149	55.9	22.8	23.5
Roy	154	59.5	29.2	27.9
Steilacoom	155	48.3	5.8	5.8
Yelm	204	57.4	23.5	23.6
(On-installation	206	50.0	19.4	18.1)
Fort Bragg				
High	72	65.5	30.6	33.9
Fay West	174	60.4	13.2	13.5
Fay East	919	54.9	8.4	8.4
South	74	60.4	18.9	17.4
Near West	251	59.2	6.8	7.1
Far West	42	53.7	0.0	0.0

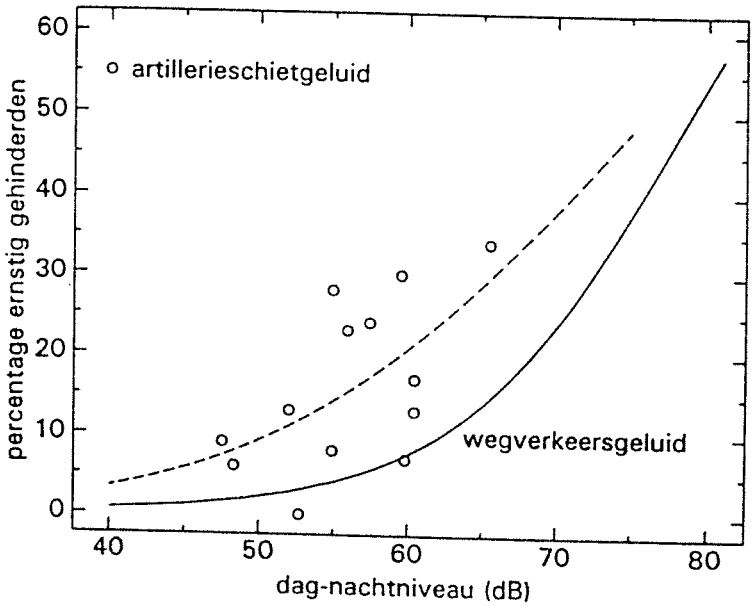

Fig. 6 Percentage "ernstig gehinderden" voor diverse groepen van omwonenden van Ft. Lewis en Ft. Bragg, als functie van het C-gewogen dag-nachtniveau van artillerieschietgeluid. Gebaseerd op Schomer (1994). Als referentie is ook de dosis-effectrelatie voor wegverkeersgeluid gegeven.

Deze percentages en die uit de studie rondom Fort Bragg (zie tweede gedeelte van Tabel VII), geven we ook in Figuur 6 als functie van CDNL. De best passende functie die de resultaten

van beide veldstudies samenvat heeft de vergelijking $y = \Phi[(L_{Cdn}-75.9)/19.5]$, waarbij weer is aangenomen dat de percentages (y) een cumulatief normale verdeling ($\Phi[z]$) volgen; $r^2 = 0.35$. De functie voorspelt dat 33% van de omwonenden "ernstig gehinderd" zal zijn bij $L_{Cdn} = 68$ dB.
Als referentie geven we in Figuur 6 ook nog de in §3.1.4 besproken dosis-effectrelatie voor wegverkeersgeluid. Hier wordt 33% "ernstig gehinderden" verwacht bij $L_{Adn} = 73$ dB.

4.2 Duitse veldstudies naar de hinder van artillerieschietgeluid

4.2.1 Hinder van schietgeluid in de omgeving van diverse militaire oefenterreinen

4.2.1.1 Inleiding en overzicht eerdere rapportage

In 1983 werden in 21 afzonderlijke woonwijken rondom vijf verschillende militaire oefenterreinen in totaal ca. 425 bewoners geënquêteerd (Buchta e.a., 1986). In deze studie ging het om de oefenterreinen van Munster, Senne, Hohenfels, Grafenwöhr en Bergen. De respondenten werd voor een groot aantal afzonderlijke geluidbronnen gevraagd tal van hinderrelevante vragen te beantwoorden. Naast op deze militaire oefenterreinen geproduceerd impulsgeluid door geweren, kanonnen en explosies, kwamen ook de geluiden van helicopters en laagvliegende militaire vliegtuigen, rups- en wielvoertuigen en civiel wegverkeer aan de orde. In 1985 werden er in de buurt van Senne en Bergen voor schietgeluiden met relatief veel laagfrequente energie tevens uitvoerige geluidmetingen verricht. De geluidbelasting bleek bepaald te worden door de mondingsknallen van de Leopard-1 (105 mm) en de Leopard-2 (120 mm); de mondingsknallen van het mortier (120 mm) en alle knallen van de detonaties bleken in de woongebieden minder belangrijk te zijn. Met het accent op de eerder genoemde mondingsknallen konden in het rapport van Buchta e.a. (1986) voor 105 respondenten dosis-effectrelaties worden opgesteld.
Evenals in een eerdere studie (Buchta e.a., 1983) maakte men onderscheid tussen object-gerichte, subject-gerichte en globale hinder. Voor object-gerichte hinder werd per respondent een gemiddelde score bepaald op basis van de antwoorden op een vijftal vragen met betrekking tot 1) tevredenheid over de luidheid van kanonnen, granaten en explosies van het oefenterrein, 2) hinder in de woonomgeving door het lawaai van kanonnen..., 3) frequentie waarmee men met het lawaai van kanonnen... te maken heeft, 4) luidheid van de knallen van kanonnen... bij gesloten ramen en 5) luidheid van de knallen van kanonnen... bij geopende ramen. Bij subject-gerichte hinder (met in totaal 18 vragen) ging het veel meer om dingen als zenuwachtigheid, opgewondenheid, angst, schrik, gewekt worden ten gevolge van de knallen van het oefenterrein, terwijl de globale hindermaat op de twee vorige maten was gebaseerd. Deze drie hindermaten werden elk gecorreleerd met een drietal akoestische maten: het gemiddelde knalniveau in a) dB(lin,peak), b) dB(C,fast) en c) dB(A,fast). Object-gerichte hinder (de correlatiecoëfficiënt, r, varieerde van 0.67 tot 0.70) en globale hinder (r was 0.65 of 0.66) correleerden sterker met de akoestische maten dan subject-gerichte hinder (r

varieerde van 0.48 tot 0.51), terwijl de C,fast-maat het een fractie beter deed dan de A,fast- en de lin,peak-maat.

Om een aantal redenen is de in Buchta e.a. (1986) gerapporteerde dosis-effectrelatie voor onze literatuurstudie ongeschikt.

Ten eerste wijkt de door hen gehanteerde definitie van "ernstig gehinderden" af van die in de overige studies: onder "ernstig gehinderden" rekenden zij respondenten die bijvoorbeeld op de hindervraag en de vraag naar de luidheid van de knallen "sterk", "zeer sterk" en "onverdraaglijk sterk", en op de vraag naar de frequentie waarmee men met het lawaai te maken heeft "vaak", "zeer vaak" en "voortdurend" hebben geantwoord. Uit een analyse van de ons door Buchta (1992) verstrekte ruwe gegevens van 350 respondenten bleek dat het percentage "ernstig gehinderden in de woonomgeving" (dus alleen de reacties op de tweede vraag) in vrijwel alle subgroepen duidelijk lager was dan de percentages die bij de overige vier vragen werden verkregen. In vergelijking met het gemeten effect in de overige veldstudies leidt het in Buchta e.a. (1986) gebruikte percentage "ernstig gehinderden" tot een overschatting van de hinder.

Ten tweede relateerden Buchta e.a. (1986) de hinder aan het C-gewogen equivalente geluidsniveau (CLEQ) in de dag- en avondperiode (tussen 06 en 22 h), terwijl in de vragen niet specifiek naar deze periode werd verwezen. Aangezien bij de vier oefenterreinen waarvan nu voldoende gegevens met betrekking tot de dosis en de beantwoording van de vragenlijst beschikbaar zijn, ook 's nachts werd geschoten, is het negeren van de geluidbelasting in de nachtperiode niet juist. We zullen straks zien dat de gerapporteerde hinder op z'n minst voor een deel ook door de schietactiviteiten in de nachtperiode bepaald moet zijn geweest.

In de huidige literatuurstudie zullen we de hinder relateren aan het CDNL, waarin immers de geluidbelasting in een geheel etmaal is verdisconteerd. In feite is op basis van aanvullende informatie, die ons door Buchta (1995) ter beschikking is gesteld, een volledige heranalyse van de resultaten uitgevoerd.

4.2.1.2 Heranalyse

In de eerste twee kolommen van Tabel VIII wordt een overzicht van de onderzochte woongebieden gegeven. Het aantal respondenten wordt vermeld in de derde kolom. Zoals al eerder is aangegeven werd de geluidbelasting in de woongebieden rondom Sennelager en Bergen bepaald door de mondingsknallen van het 105 mm en 120 mm kanon. In Munster werd de geluidbelasting bepaald door de mondingsknallen en de detonaties van de 155 mm houwitser. In Grafenwöhr waren naast de mondingsknallen van de 105 en 120 mm vuurwapens (kanonnen en mortieren) ook de detonaties belangrijk.

Het jaarlijks aantal schoten werd geschat op basis van uitvoerige gegevens over het munitieverbruik in de jaren 1986 tot en met 1990. Er waren geen indicaties dat het munitieverbruik in de 80-er jaren, noch ten aanzien van de gebruikte vuurwapens, noch ten aanzien van het jaarlijks aantal schoten, wezenlijk was veranderd. Met behulp van het geluidoverdrachtsmodel "Lärmlast" (Hirsch & Buchta, 1993), dat is gebaseerd op een groot aantal veldmetingen, werd CLEQ berekend voor 260 dagen van elk 16 uur [06-22 h] en 260 nachten van elk 8 uur

[22-06 h]. Omdat op elk van de vier oefenterreinen vanaf de grenzen in de richting van het centrum werd geschoten werd de kogelknal buiten beschouwing gelaten.

Tabel VIII C-gewogen jaargemiddeld geluidsniveau en percentages gehinderde respondenten, voor 18 door Buchta onderzochte woongebieden rond vier militaire oefenterreinen. Het aantal respondenten wordt gegeven met n. Het C-gewogen geluidsniveau (CLEQ) wordt gegeven voor de dag- en nachtperiode afzonderlijk; CDNL is het C-gewogen dag-nachtniveau. Het percentage gehinderde respondenten wordt gegeven voor drie verschillende criteria die in de tekst nader worden verklaard.

oefenterrein	immissiegebied	n	CLEQ in dB		CDNL in dB	% gehinderden		
			dag	nacht		I	II	III
Munster	Munster-Nord	31	68.3	63.6	70.8	32	13	22.5
	Munster-Nord-Ost	16	66.5	61.9	69.1	25	19	22
	Munster-Ost	23	68.3	63.7	70.9	61	22	41.5
	Munster-Süd	24	70.8	66.2	73.4	50	17	33.5
Sennelager	Augustdorf (A)	13	59.9	56.8	63.5	69	54	61.5
	Augustdorf (B)	13	68.9	65.8	72.5	84	46	65
	Schlangen	19	48.6	45.6	52.3	63	37	50
	Bad Lippspringe	20	45.6	42.6	49.3	30	25	27.5
	Sennelager	19	45.6	42.6	49.3	26	0	13
	Dahl	20	33.6	30.6	37.2	10	0	5
Grafenwöhr	Eschenbach	18	69.0	65.1	72.1	67	44	55.5
	Apfelbach	17	72.1	67.9	74.9	76	59	67.5
	Rosenhof	20	76.0	73.7	80.2	70	50	60
	Pressath	19	61.5	58.8	65.4	63	32	47.5
Bergen	Fallingbostel	20	63.1	53.5	63.2	40	15	27.5
	Dorfmark	20	65.9	58.0	66.7	75	70	72.5
	Offen	20	57.2	50.4	58.5	35	20	27.5
	Belsen	18	63.6	56.8	65.0	61	17	39
		350						

Lärmlast gaat er voor alle knallen vanuit dat de wind van het emissie- naar het immissiepunt waait. Ofschoon de windrichting uiteraard niet de enige factor is die bepaalt of het geluidsnelheidsprofiel een positieve gradiënt heeft, kunnen de berekeningen met Lärmlast toch niet als representatief voor het gehele jaar worden beschouwd. Het op jaarbasis gemiddelde geluidniveau hebben we benaderd door het voor de meewindsituatie geldende niveau te verminderen met 3.3 dB. De waarde van 3.3 dB is gebaseerd op gegevens uit Buchta (1988). Het op deze wijze voor de dag- en nachtperiode verkregen CLEQ wordt vermeld in de vierde en vijfde kolom van Tabel VIII. Het in de zesde kolom gegeven CDNL is, zoals gebruikelijk, verkregen door vóór de energetische middeling over het etmaal het geluidniveau in de nacht met 10 dB te verhogen.

Er was in feite maar één vraag die naar de hinder ten gevolge van het schieten met zware wapens informeerde. Bij de beantwoording van deze vraag kon gekozen worden uit zeven antwoorden: (1) niet, (2) zeer zwak, (3) zwak, (4) duidelijk, (5) sterk, (6) zeer sterk of (7) onverdraaglijk sterk gehinderd. Alle respondenten die aangaven sterk, zeer sterk of onverdraaglijk sterk gehinderd te zijn zouden we als "ernstig gehinderd" kunnen beschouwen

(kriterium I). Per immissiegebied geven we deze percentages in de zevende kolom van Tabel VIII.

In de achtste kolom van Tabel VIII vermelden we het percentage van de respondenten die de laatste twee categorieën, dus "zeer sterk" of "onverdraaglijk sterk gehinderd" hadden gekozen. Omdat we net als Schultz (1978) vermoeden dat de met behulp van dit kriterium bepaalde hinderpercentages door het extreme label "onverdraaglijk sterk gehinderd" wordt onderschat, geven we er, consistent met de in §3.1.2 gevolgde procedure, de voorkeur aan bij het bepalen van de dosis-effectrelatie uit te gaan van het gemiddelde van de in kolommen 7 en 8 gegeven percentages. Deze gemiddelden geven we in de laatste kolom van Tabel VIII.

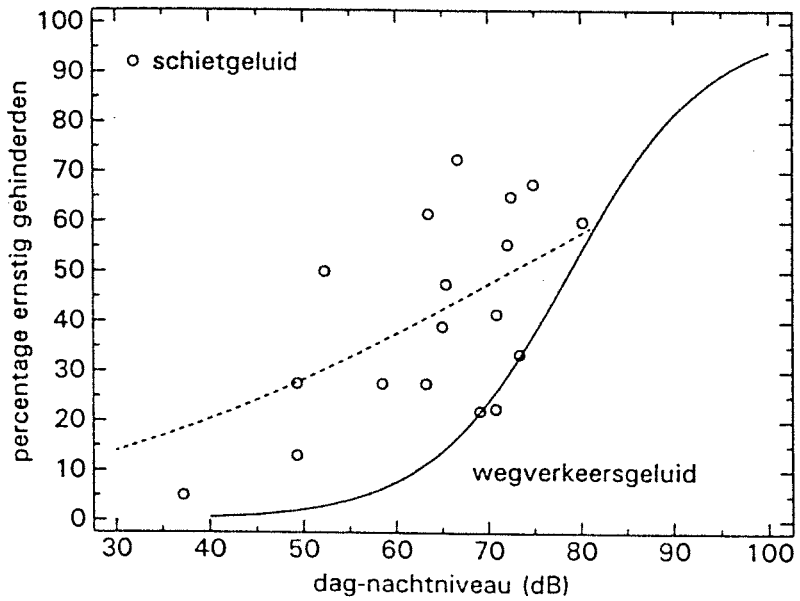

Fig. 7 Percentage "ernstig gehinderden" voor diverse groepen van omwonenden van Duitse militaire oefenterreinen, als functie van het C-gewogen dag-nachtniveau van artillerieschietgeluid. Gebaseerd op o.a. Buchta e.a.. (1986). Als referentie is ook de dosis-effectrelatie voor wegverkeersgeluid gegeven.

De hindervraag was zo opgesteld dat er slechts een globale reactie kon worden gegeven. Aangezien nu niet bekend is in welke mate men overdag, en in welke mate men 's nachts was gehinderd, zit er niets anders op dan in Figuur 7 het percentage "ernstig gehinderden" te relateren aan het CDNL. De eveneens in Figuur 7 weergegeven regressielijn heeft de vergelijking $y = \Phi[(L_{Cdn}-72.4)/39.1]$. Deze functie verklaart 36% van de variantie in de percentages.

Als referentie is ook de standaard dosis-effectrelatie voor wegverkeersgeluid in Figuur 7 opgenomen. Uit de ligging van de twee dosis-effectrelaties blijkt dat zelfs indien bij het bepalen van de geluidbelasting van schietgeluid de C-weging wordt toegepast, er nog steeds een aanzienlijke (niveau-afhankelijke) correctie nodig is. Voor een kriterium van 33% "ernstig gehinderden" bedraagt de correctie 17 dB.

Zoals al eerder aangegeven is het jammer dat Buchta de hinder niet afzonderlijk voor de dag- en nachtperiode heeft vastgesteld. Als de globale hinder door de schietoefeningen in de nacht is bepaald zou het niet correct zijn om de aanzienlijke correctie ook toe te passen op schietgeluid dat overdag wordt veroorzaakt. In het huidige veldonderzoek waren de gemiddelde geluidniveaus in de dag- en nachtperiode sterk gecorreleerd (r = 0.98). Daardoor heeft het geen zin na te gaan of de hinder wellicht beter door de geluidbelasting in de dagperiode dan door die in de nachtperiode kan worden beschreven.
Uit een nadere analyse van de antwoorden op een tweetal vragen over de frequentie waarmee men 's nachts door het schietgeluid gewekt werd, blijkt dat vaak gewekt worden, en daarmee het schieten in de nachtperiode, op z'n minst bij de helft van de respondenten geassocieerd kan worden met ernstige hinder.

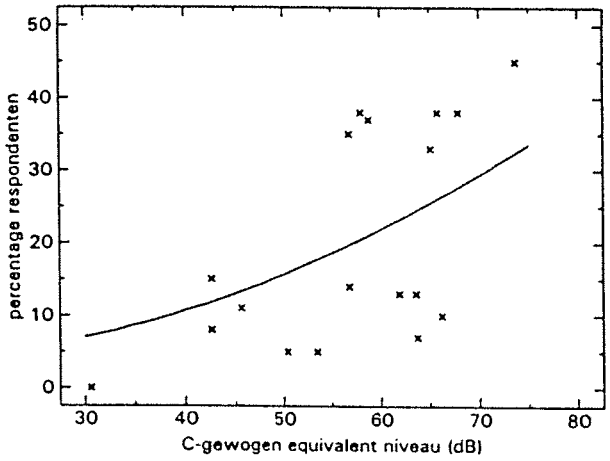

Fig. 8 Percentage van de respondenten die aangaven "vaak", "erg vaak" of "verschillende keren per nacht" door schietgeluid te zijn gewekt, voor diverse groepen van omwonenden van Duitse militaire oefenterreinen, als functie van het C-gewogen equivalente geluidniveau in de nachtperiode. Gebaseerd op o.a. Buchta e.a. (1986).

Figuur 8 laat als functie van CLEQ in de nachtperiode het percentage respondenten zien die aangaven "vaak", "erg vaak" of "verschillende keren per nacht" door het schietgeluid te zijn gewekt. Het percentage stijgt significant met het geluidniveau, de functie die aan de diverse percentages is gefit verklaart 38% van de variantie.
Figuur 9 laat zien hoe de frequentie waarmee men zei gewekt te worden samenhangt met de mate van hinder. Van de (74) respondenten die zeiden dat ze duidelijk gehinderd waren, zei ongeveer 10% dat ze vaak of zeer vaak 's nachts werden gewekt, terwijl dit percentage sterk toenam tot 60% voor de (38) respondenten die zeiden onverdraaglijk sterk te zijn gehinderd. Ongeveer de helft van de "ernstig gehinderde" respondenten (erg sterk en onverdraaglijk sterk) zei dus dat zij op z'n minst vaak werden gewekt.

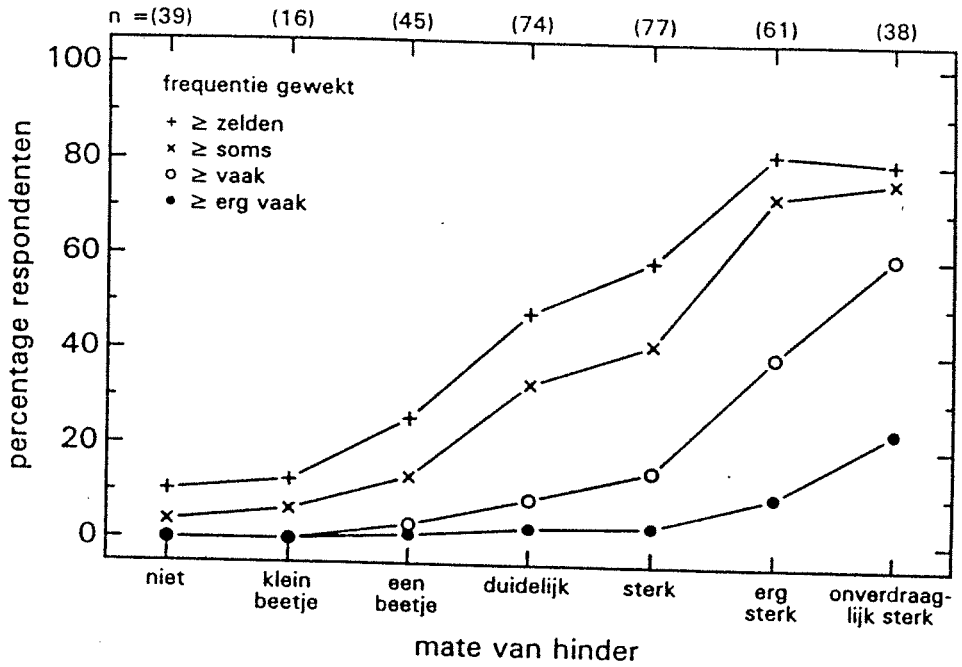

Fig. 9 Cumulatieve percentages van respondenten die aangaven hoe vaak ze gewekt werden door schietgeluid, als functie van de tevens door hen beoordeelde hinder. Bovenaan de figuur wordt vermeld hoeveel respondenten een bepaalde hinderscore selecteerden. Gebaseerd op o.a. Buchta e.a. (1986).

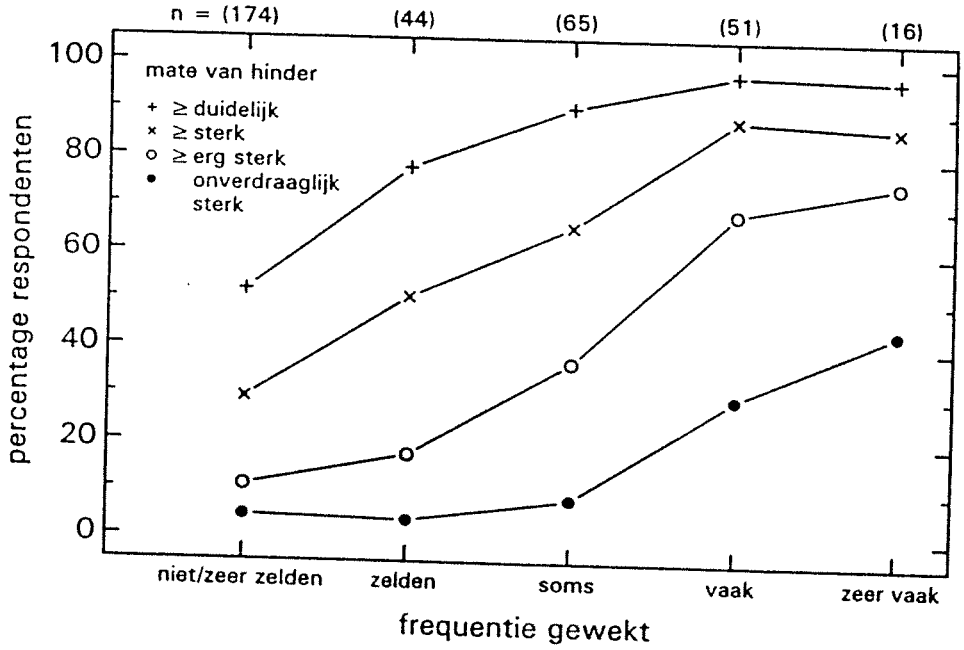

Fig. 10 Cumulatieve percentages van respondenten die aangaven in welke mate ze gehinderd werden door schietgeluid, als functie van de tevens door hen beoordeelde frequentie waarmee ze door het geluid waren gewekt. Bovenaan de figuur wordt vermeld hoeveel respondenten een bepaalde wekfrequentie selecteerden. Gebaseerd op o.a. Buchta e.a. (1986).

Op basis van dezelfde gegevens worden in Figuur 10 de cumulatieve percentages van de respondenten die aangaven in welke mate ze waren gehinderd weergegeven als functie van de door hen aangegeven frequentie waarmee ze 's nachts werden gewekt. Van de respondenten die aangaven niet of slechts zeer zelden te worden gewekt was ca. 10% "ernstig gehinderd", terwijl van de respondenten die vaak of zeer vaak werden gewekt ruim 70% "ernstig gehinderd" zei te zijn.
Het is dus niet zo dat omwonenden alleen maar ernstig zijn gehinderd als ze ook vaak gewekt worden (Fig. 9), maar dat de invloed van het nachtschieten een belangrijke oorzaak van de hinder is, lijkt op basis van de in Figuren 9 en 10 gegeven informatie toch wel te zijn aangetoond.

4.2.2 Hinder van schietgeluid in de omgeving van Grafenwöhr

4.2.1.2 Inleiding

In augustus 1986 werden in 10 afzonderlijke woonwijken rondom het in Duitsland gelegen militaire oefenterrein Grafenwöhr in totaal 260 bewoners geënquêteerd (Buchta, 1988); van deze enquêtes bleken er uiteindelijk 246 geschikt voor verdere analyse. Drie tot vier maanden nadat bij ca. 80 woningen de oude ramen waren vervangen door beter geluidisolerende nieuwe ramen, volgde in het begin van 1988 een tweede enquête, zodat het effect van deze geluidisolerende maatregel op de geluidhinder kon worden vastgesteld. Tussen november 1986 en oktober 1987 vonden in de 10 woonwijken simultane geluidmetingen plaats. Geschoten werd met wapens van verschillend caliber (onder andere het 105 en 120 mm kanon van de Leopard tank, het mortier 120 mm en de houwitser 155 en 203 mm). Naast de mondingsknallen van deze wapens, waren ook de detonaties in alle woonwijken belangrijk. In twee van de tien woonwijken leverden bovendien de mondingsknallen van 20-35 mm caliber wapens een belangrijke bijdrage aan de geluidbelasting.
De twee bezwaren die we in §4.2.1 tegen de door Buchta e.a. (1986) uitgevoerde analyse hadden, gelden eveneens voor de door Buchta (1988) uitgevoerde analyse van de gegevens uit de huidige veldstudie. Ook nu is op basis van aanvullende informatie (Buchta, 1995) een volledige heranalyse van de resultaten uitgevoerd.

4.2.2.2 Heranalyse

In de eerste twee kolommen van Tabel IX wordt een overzicht van de onderzochte woongebieden en aantal ondervraagde respondenten gegeven. Qua inventarisatie van het jaarlijks aantal schoten en de bepaling van CSEL in de immissiegebieden verwijzen we naar §4.2.1. Ter verkrijging van het jaargemiddelde geluidniveau konden de door Lärmlast berekende waarden op basis van de informatie in Buchta (1988) nu nauwkeuriger worden gecorrigeerd.
In Buchta (1988) werd per immissiegebied de geluidbelasting berekend voor de meewindconditie en voor een conditie waarin rekening werd gehouden met de verdeling van de windrichting op jaarbasis. Dit impliceerde dat afhankelijk van het immissiegebied de correctie varieerde tussen 2.7 en 3.8 dB. Deze correcties waren vrijwel onafhankelijk van de dag- en

nachtperiode. Het op deze wijze voor de dag- en nachtperiode verkregen CLEQ wordt vermeld in de derde en vierde kolom van Tabel IX. In de vijfde kolom wordt CDNL gegeven.

Tabel IX C-gewogen jaargemiddeld geluidsniveau en percentages "ernstig gehinderden", zoals bepaald met de vragen A1-A3, voor 10 door Buchta onderzochte woongebieden rond militair oefenterrein Grafenwöhr. Het aantal respondenten wordt gegeven met n. Het C-gewogen geluidsniveau (CLEQ) wordt gegeven voor de dag- en nachtperiode afzonderlijk; CDNL is het C-gewogen dag-nachtniveau. De hinder, zoals bepaald met vragen A1-A3, wordt globaal beschreven met Comb en M (zie tekst). De laatste kolom vermeldt het percentage respondenten die aangaven op z'n minst "vaak" door schietgeluid te worden gewekt.

immissiegebied	n	CLEQ in dB		CDNL	% respondenten					
					hinder					wek
		dag	nacht		A1	A2	A3	Comb	M	
Kürmreuth	12	64.3	61.4	68.1	66.7	58.3	50.0	41.7	58.3	37.5
Kaltenbrunn	21	65.5	63.2	69.7	76.2	38.1	71.4	38.1	61.9	47.6
Bärnwinkel	17	65.8	63.2	69.8	88.2	64.7	76.5	58.8	76.5	67.7
Felsleite	23	71.1	69.0	75.7	78.3	52.2	60.9	47.8	63.8	60.7
Rosenhof	74	76.6	74.4	80.9	93.2	83.8	93.2	81.1	90.1	85.8
Nitzlbuch	25	65.1	62.7	69.2	88.0	48.0	68.0	40.0	68.0	50.0
Eschenbach	19	69.1	64.9	72.0	94.7	78.9	78.9	52.6	84.2	81.6
Apfelbach	27	71.1	67.2	74.2	88.9	77.8	77.8	70.4	81.5	72.3
Kirchenthumbuch	12	64.7	62.6	69.1	83.3	66.7	66.7	58.3	72.2	58.3
Pressath	16	60.0	57.0	63.7	62.5	37.5	37.5	25.0	45.8	25.1
	246									

Ter bepaling van het percentage "ernstig gehinderden" kon in deze veldstudie gebruik worden gemaakt van de antwoorden op een drietal vragen, die alle specifiek naar de mate van de door de zware knallen veroorzaakte hinder informeerden. Bij twee vragen waren er vijf antwoordmogelijkheden, waaronder "sterk" en "zeer sterk" (vraag A1) , of "sterk" en "onverdraaglijk sterk" (vraag A2), en bij één vraag (vraag A3) moest het antwoord op een 10-puntsschaal gegeven worden die liep van 0 ("helemaal niet gehinderd") tot 9 ("extreem gehinderd"). Bij de eerste twee vragen moest men met tenminste "sterk" hebben geantwoord, en bij de derde vraag een score van 7, 8 of 9 hebben gegeven om als "ernstig gehinderd" te kunnen worden beschouwd. De voor elke vraag afzonderlijk berekende percentages geven we in de zesde tot en met de achtste kolom van Tabel IX. Vraag A1 leverde hogere percentages op dan de vragen A2 en A3.

Men zou natuurlijk het percentage "ernstig gehinderden" ook zo kunnen definiëren dat alleen die respondenten worden meegeteld die bij alle drie vragen aan het eerder genoemde criterium voldeden. Deze percentages worden gegeven in de negende kolom van de tabel. Omdat het kiezen van een antwoord onderhevig is aan een bepaalde statistische variatie, is het niet ondenkbaar dat het toepassen van een dergelijk streng criterium (iemand is pas gehinderd als dit uit alle drie de vragen blijkt) leidt tot een onderschatting van de hinder. Het lijkt redelijker om bij het vaststellen van een dosis-effectrelatie uit te gaan van het gemiddelde van de drie verkregen percentages (zie de tiende kolom van Tabel IX).

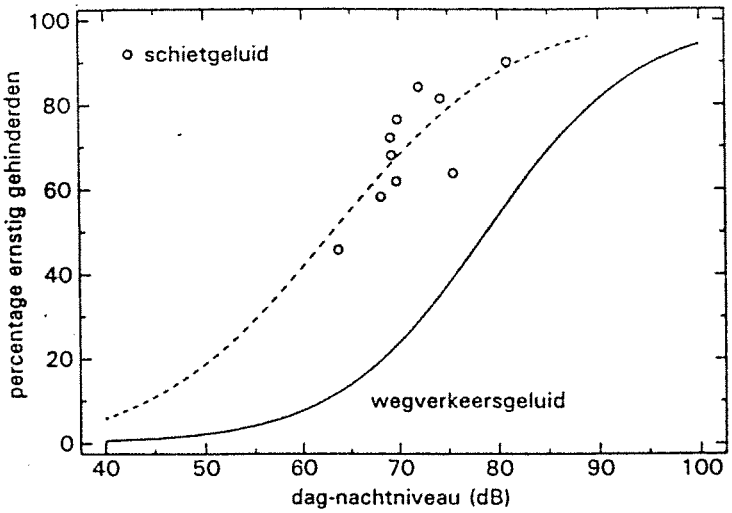

Fig. 11 Percentage "ernstig gehinderden" voor diverse groepen van omwonenden van het Duitse militaire oefenterrein Grafenwöhr, als functie van het C-gewogen dag-nachtniveau van artillerie-schietgeluid. Gebaseerd op o.a. Buchta (1988). Als referentie is ook de dosis-effectrelatie voor wegverkeersgeluid gegeven.

In Figuur 11 zijn deze gemiddelde percentages uitgezet als functie van CDNL. De percentages nemen opvallend sterk toe met het geluidniveau. De in Figuur 11 weergegeven functie heeft de vergelijking $y = \Phi[(L_{Cdn}-63.1)/14.7]$. De functie verklaart 61% van de variantie en voorspelt dat 33% van de omwonenden "ernstig gehinderd" zal zijn bij L_{Cdn} = 57 dB. Deze waarde is 16 dB lager dan ADNL van even hinderlijk wegverkeer.
Ook nu waren de jaargemiddelde geluidniveaus in de dag- en nachtperiode sterk gecorreleerd. Net als in de vorige studie bevatte de enquête weer twee vragen betreffende de frequentie waarmee men gemiddeld 's nachts door de zware knallen werd gewekt. Per vraag berekenden we het percentage van de respondenten in ieder immissiegebied die zeiden "vaak", "iedere dag", of "meerdere keren per dag" te zijn gewekt.
Figuur 12 laat de gemiddelde percentages zien als functie van het CLEQ in de nachtperiode. De functie die aan de data is gefit verklaart 68% van de variantie. De gemiddelde percentages worden eveneens in de laatste kolom van Tabel IX vermeld. Er is een zeer sterke overeenkomst tussen het percentage "ernstig gehinderden" en het percentage van de respondenten die op z'n minst vaak werden gewekt: de correlatiecoëfficiënt bedraagt 0.97. Het is goed mogelijk dat bij de omwonenden van dit oefenterrein de hinder in feite is bepaald door de schietactiviteiten in de nachtperiode.
Figuur 13 laat zien hoe de frequentie waarmee men zei gewekt te worden samenhangt met de mate van hinder. Van de 60 respondenten die zeiden dat ze duidelijk gehinderd waren, zei ongeveer 40% dat ze vaak, iedere nacht of verschillende keren per nacht werden gewekt, terwijl dit percentage sterk toenam tot 75% voor de 88 respondenten die zeiden sterk te zijn gehinderd en tot meer dan 90% voor de 74 respondenten die zeiden onverdraaglijk sterk te zijn gehinderd. Van een groep respondenten die allen als "ernstig gehinderd" kan worden

beschouwd, zoals zij in Figuur 13 die hadden aangegeven sterk of onverdraaglijk sterk te zijn gehinderd, zei dus bijna 85% dat zij op z'n minst vaak door het schietgeluid werden gewekt.

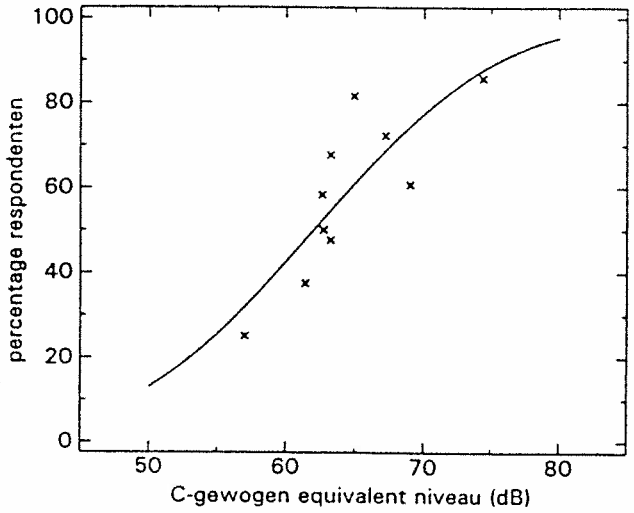

Fig. 12 Percentage van de respondenten die aangaven "vaak", "erg vaak" of "verschillende keren per nacht" door schietgeluid te zijn gewekt, voor diverse groepen van omwonenden van het Duitse militaire oefenterrein Grafenwöhr, als functie van het C-gewogen equivalente geluidsniveau in de nachtperiode. Gebaseerd op o.a. Buchta (1988).

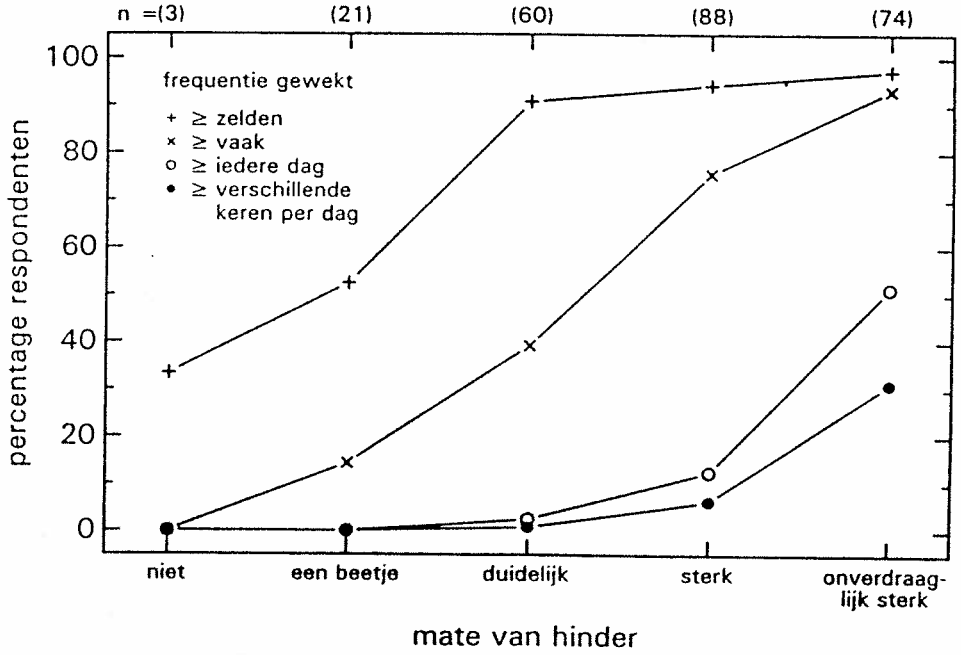

Fig. 13 Cumulatieve percentages van respondenten die aangaven hoe vaak ze gewekt werden door schietgeluid, als functie van de tevens door hen beoordeelde hinder. Bovenaan de figuur wordt vermeld hoeveel respondenten een bepaalde hinderscore selecteerden. Gebaseerd op o.a. Buchta (1988).

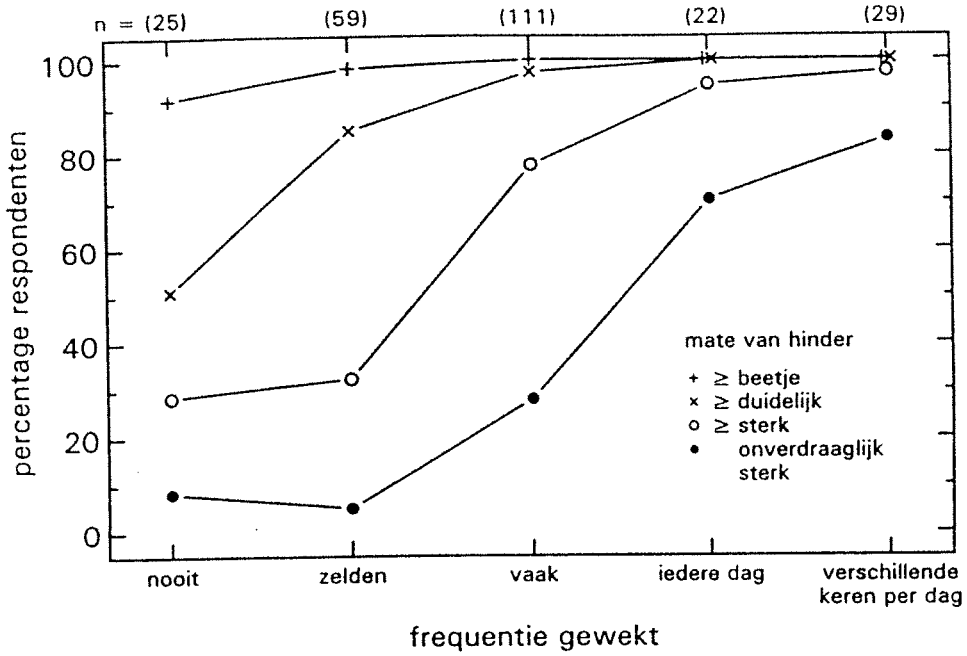

Fig. 14 Cumulatieve percentages van respondenten die aangaven in welke mate ze door het schietgeluid waren gehinderd, als functie van de tevens door hen beoordeelde frequentie waarmee zij door het geluid werden gewekt. Bovenaan de figuur wordt vermeld hoeveel respondenten een bepaalde wekfrequentie selecteerden. Gebaseerd op o.a. Buchta (1988).

Uit Figuur 14 blijkt dat van de respondenten die aangaven vaak te worden gewekt ruim 75%, en van de respondenten die aangaven iedere dag of verschillende keren per dag te worden gewekt zelfs ca. 95% "ernstig gehinderd" zei te zijn. Deze bevindingen doen sterk vermoeden dat de ernstige hinder in dit veldonderzoek door het nachtschieten is veroorzaakt.

4.3 Duitse veldstudie naar hinder van artillerieschietgeluid en civiel wegverkeersgeluid

4.3.1 Inleiding

In de zomermaanden van 1991 werden in 20 afzonderlijke woonwijken rondom oefenterreinen in de regio Bergen en Munster (Duitsland) in totaal ca. 425 bewoners geënquêteerd (Buchta, 1993a). Enige tijd later werd het aantal respondenten uitgebreid tot 515 (Buchta, 1993b). Men werd gevraagd hinderrelevante vragen te beantwoorden voor enerzijds door kanonnen geproduceerd impulsgeluid en anderzijds voor het geluid van civiel wegverkeer. In de rapporten komen voor beide typen geluidsbronnen slechts vijf vragen naar object-gerichte hinder aan de orde. Net als in voorgaande studies informeerden deze vragen naar 1) de mate van tevredenheid over de luidheid van de betreffende bron, 2) de geluidhinder, 3) hoe vaak men de geluiden hoorde, 4) hoe luid het geluid met gesloten, en 5) hoe luid het geluid met open ramen was.

Per respondent werden uiteindelijk twee gemiddelde subjectieve scores verkregen, één voor het schietgeluid en één voor het civiel wegverkeersgeluid. Ook was voor iedere respondent de geluidbelasting voor beide bronnen bekend. Voor het schietgeluid was dit CLEQ, berekend op basis van 300 16-urige dagen per jaar. Voor het wegverkeer werd ALEQ in de dagperiode geschat op basis van kortdurende geluidmetingen en tellingen van het aantal passerende personen- en vrachtauto's.
Aanvullende informatie (Buchta, 1995) stelt ons in de huidige literatuurstudie in staat de dosis van het schietgeluid veel nauwkeuriger te bepalen. Bovendien zullen we ons in de heranalyse hoofdzakelijk beperken tot de antwoorden op die vragen die rechtstreeks op de ervaren hinder betrekking hadden.

Tabel X C-gewogen jaargemiddelde geluidsniveau van schietgeluid en het percentage "ernstig gehinderde" respondenten, voor 17 woonwijken rondom het militaire oefenterrein Bergen/ Munster. Het aantal respondenten in iedere woonwijk wordt aangegeven met n. Het C-gewogen equivalente geluidsniveau (CLEQ) wordt afzonderlijk voor de dag- en de nachtperiode gegeven; de algehele geluiddosis wordt uitgedrukt in het C-gewogen dag-nachtniveau (CDNL). De reactie van de bevolking op het artillerieschietgeluid werd bepaald met twee verschillende vragen (A1 en A2). In drie van de 17 woonwijken werden de respondenten ook blootgesteld aan het schietgeluid van de testbaan van het in Unterlüß gevestigde Rheinmetall. De relevante gegevens voor deze geluiden worden onderaan de tabel vermeld.

			CLEQ in dB			% "gehinderden"		
nr.	woonwijk	n	dag	nacht	CDNL	A1	A2	M
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
Militair oefenterrein Bergen/Munster:								
1	Eschede	24	42.3	36.8	44.3	4.2	4.2	4.2
2	Schneverdingen	23	41.9	36.4	43.9	18.2	8.7	13.5
3	Neuenkirchen	23	45.7	37.3	46.3	17.4	21.7	19.6
4a	Unterlüß-Nord	27	48.0	43.4	50.6	15.4	13.8	14.6
5a	Unterlüß-Mitte	28	47.7	43.0	50.2	10.7	10.2	10.5
6a	Unterlüß-Süd	27	47.2	42.5	49.7	0.0	1.8	0.9
7	Sülze	23	53.6	46.6	54.9	26.1	17.4	21.8
8	Soltau	23	54.8	48.0	56.1	18.2	8.7	13.5
9	Bomlitz	23	55.9	45.7	55.8	34.8	26.1	30.5
10	Bergen	24	59.6	52.7	60.9	29.2	33.3	31.3
11	Fallingbostel	25	63.5	52.7	63.3	52.0	32.0	42.0
12	Wietzendorf	23	67.3	62.4	69.7	30.4	43.5	37.0
13	Munster-Nord	56	68.4	63.8	71.0	32.7	30.4	31.6
14	Munster-Süd	13	70.9	66.3	73.5	46.2	7.7	27.0
15	Meißendorf	23	64.7	55.6	65.0	47.8	34.8	41.3
16	Westenholz	23	70.7	60.9	70.8	60.9	65.2	63.1
17	Dorfmark	25	65.0	53.6	64.6	72.0	64.0	68.0
		433						
Testbaan Rheinmetall:								
4b	Unterlüß-Nord	27	63.3	...	61.5	48.2	44.4	46.3
5b	Unterlüß-Mitte	28	50.6	...	48.8	21.4	17.9	19.7
6b	Unterlüß-Süd	27	47.9	...	46.1	3.7	11.1	7.4

4.3.2 Heranalyse van dosis-effectrelatie voor schietgeluid

In kolommen 2 en 3 van Tabel X wordt een overzicht van de onderzochte woongebieden en het aantal ondervraagde respondenten gegeven. Het jaarlijks aantal schoten werd geschat op basis van het munitieverbruik in de jaren 1989 en 1990. Met behulp van Lärmlast werd CLEQ berekend voor 260 16-urige dagen en 260 8-urige nachten. Net als in §4.2.1.2 hebben we de uitkomsten verminderd met 3.3 dB. De uiteindelijke resultaten worden gegeven in de vierde en vijfde kolom van Tabel X. Het jaargemiddelde CDNL wordt in de zesde kolom vermeld.
Voor zowel het schietgeluid (kanonnen, granaten, explosies) als het civiele wegverkeersgeluid waren er twee vragen die direct de hinder beoogden te meten. Bij de eerste vraag (vraag A1 in Tabel X) moest gekozen worden uit de antwoordalternatieven "niet", "een beetje", "duidelijk", "sterk" en "zeer sterk". Respondenten die een van de laatste twee antwoordcategorieën hadden gekozen beschouwden we als ernstig gehinderd. In de zevende kolom van Tabel X geven we de percentages voor ieder immissiegebied afzonderlijk. Bij de tweede vraag (vraag A2 in Tabel X) moest de mate van door kanongeschut veroorzaakte hinder worden aangegeven op een 9-puntsschaal die links en rechts was voorzien van respectievelijk de verbale labels "niet hinderlijk" en "extreem sterk hinderlijk". Respondenten met de scores 7, 8 of 9 beschouwden we als ernstig gehinderd. De percentages staan in de achtste kolom van Tabel X vermeld. Voor vraag A1 was het verband tussen het percentage "ernstig gehinderden" en CDNL beduidend sterker dan voor vraag A2, de verklaarde variantie door het geluidniveau en de cumulatieve normaalverdeling bedroeg respectievelijk 58% en 39%.

Tabel XI Gestratificeerde gegevens uit Tabel X. Klassegrenzen en het gemiddelde van ieder klasse-interval wordt uitgedrukt in het C-gewogen jaargemiddelde dag-nachtniveau (CDNL in dB) van de schietgeluiden. Het aantal respondenten in iedere klasse wordt aangegeven met n. De reactie van de bevolking op het artillerieschietgeluid werd bepaald met twee verschillende vragen (A1 en A2) en uitgedrukt in het percentage "ernstig gehinderden". M staat voor de gemiddelde percentages.

klassegrenzen		gem.		% gehinderden		
laag (1)	hoog (2)	CDNL (3)	n (4)	A1 (5)	A2 (6)	M (7)
43	45	44.1	47	10.6	6.4	8.5
46	47	46.2	50	10.0	16.0	13.0
48	51	49.8	110	11.9	11.0	11.5
54	57	55.6	69	26.5	17.4	21.9
60	62	61.2	51	39.2	39.2	39.2
63	66	64.3	73	57.5	43.8	50.7
68	74	71.0	115	39.5	37.4	38.5

Omdat er diverse immissiegebieden zijn met vrijwel dezelfde geluidbelasting, zullen we de gegevens uit Tabel X stratificeren. Met de in Tabel XI gegeven klasse-intervallen werd een zinvolle hergroepering van de gegevens verkregen. Het verband tussen CDNL en het

percentage "ernstig gehinderden" was nu voor beide vragen ongeveer gelijk: voor vraag A1 (kolom 5 in Tabel XI) was r^2 gelijk aan 0.73, voor vraag A2 (kolom 6 in Tabel XI) was r^2 gelijk aan 0.77. Op basis van de in kolom 7 gegeven gemiddelde percentages was r^2 eveneens gelijk aan 0.77.

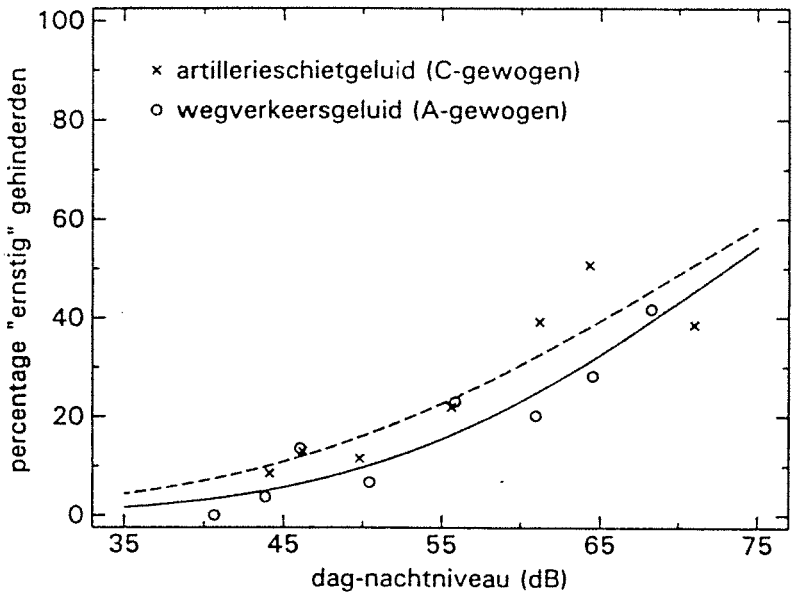

Fig. 15 Percentage "ernstig gehinderden" als functie van het C-gewogen dag-nachtniveau van artillerieschietgeluid en als functie van het A-gewogen dag-nachtniveau van wegverkeersgeluid. De gestratificeerde gegevens zijn afkomstig van een veldonderzoek rondom de militaire oefenterreinen Bergen en Munster, en de testschietbaan van Unterlüß. Gebaseerd op o.a. Buchta (1993).

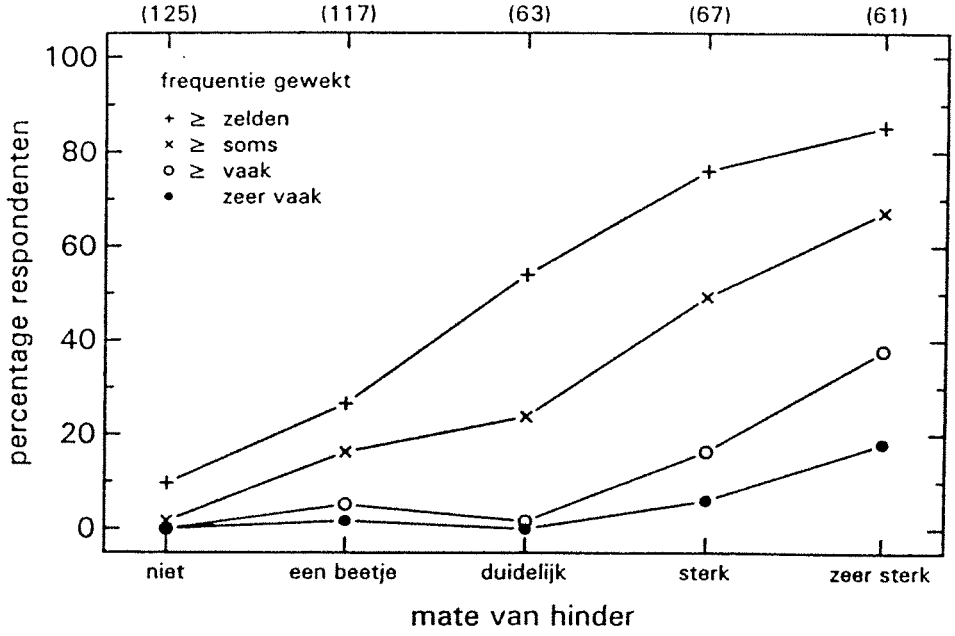

Fig. 16 Cumulatieve percentages van respondenten die aangaven hoe vaak ze gewekt werden door schietgeluid, als functie van de tevens door hen beoordeelde hinder. Bovenaan de figuur wordt vermeld hoeveel respondenten een bepaalde hinderscore selecteerden. Gebaseerd op o.a. Buchta (1993).

Figuur 15 laat deze gemiddelde percentages zien als functie van CDNL. De vergelijking van de aan deze gegevens gefitte functie (gebroken lijn in Fig. 15) wordt gegeven door $y = \Phi[(L_{Cdn}-70.6)/20.8]$.
Figuur 16 laat zien hoe de frequentie waarmee men zei gewekt te worden samenhangt met de mate van hinder. Van de (63) respondenten die zeiden dat ze duidelijk gehinderd waren, zei bijna niemand dat ze vaak of zeer vaak 's nachts werden gewekt. Van de (61) respondenten die zeer sterk gehinderd waren zei ca. 40% dat ze vaak of zeer vaak werden gewekt. Ongeveer 25% van de "ernstig gehinderde" respondenten (sterk en zeer sterk) zei dus dat zij op z'n minst vaak werden gewekt. Dit percentage is aanzienlijk lager dan de in §4.2.2.2 gevonden 85%. In de onderhavige studie bleek gewekt worden geen noodzakelijke voorwaarde om ernstig gehinderd te zijn.
Uit een aanvullende analyse bleek wel dat voor velen vaak gewekt worden een voldoende voorwaarde is om "ernstig gehinderd" te zijn: van de ruim 40 respondenten die hadden aangegeven vaak of zeer vaak door het schietgeluid te worden gewekt, kon meer dan 80% als "ernstig gehinderd" worden beschouwd.
Al met al tonen de gegevens niet aan dat de gerapporteerde hinder in dit veldonderzoek uitsluitend door de nachtschietoefeningen is bepaald. Uit een vergelijkbare analyse over de frequentie waarmee men zei dat men voor het slapen gaan de ramen moest sluiten, werd dezelfde conclusie getrokken.

4.3.3 Heranalyse dosis-effectrelatie voor wegverkeersgeluid

De hinderscores van de respondenten werden op basis van het corresponderende A-gewogen dag-nachtniveau (ADNL) van het wegverkeer toegewezen aan een van de in Tabel XII gegeven klasse-intervallen. De lage en hoge klassegrenzen waren zo gekozen dat voor tenminste zes klasse-intervallen het gemiddelde ADNL van het wegverkeer dicht bij het gemiddelde CDNL van de schietgeluiden lag (vergelijk Tabel XII met Tabel XI). Het aantal respondenten in ieder klasse-interval wordt in kolom 4 van Tabel XII vermeld. Het percentage "ernstig gehinderden" werd bepaald voor twee vragen, B1 en B2, die zowel ten aanzien van de formulering als ten aanzien van de antwoordalternatieven identiek aan die van de in §4.3.2 genoemde vragen A1 en A2 waren.
De door ADNL verklaarde variantie in de hinderpercentages bedroeg 85% voor vraag B1 en 86% voor vraag B2. Op basis van de in kolom 7 van Tabel XII gegeven gemiddelde percentages was r^2 gelijk aan 0.89. Deze gemiddelde percentages zijn eveneens in Figuur 15 opgenomen. De vergelijking van de aan deze gegevens gefitte functie (doorgetrokken lijn in Fig. 15) wordt gegeven door $y = \Phi[(L_{Adn}-73.1)/17.8]$.

Tabel XII Gestratificeerde gegevens voor 432 respondenten uit alle 17 woongebieden samen. Klassegrenzen en het gemiddelde van ieder klasse-interval wordt uitgedrukt in het A-gewogen jaargemiddelde dag-nachtniveau (ADNL in dB) van het wegverkeersgeluid. Het aantal respondenten in iedere klasse wordt aangegeven met n. De reactie van de bevolking op het wegverkeersgeluid werd bepaald met twee verschillende vragen (B1 en B2) en uitgedrukt in het percentage "ernstig gehinderden". M staat voor de gemiddelde percentages.

klassegrenzen		gem.		% gehinderden		
laag (1)	hoog (2)	ADNL (3)	n (4)	B1 (5)	B2 (6)	M (7)
35.5	42.4	40.6	21	0.0	0.0	0.0
42.5	45.0	43.8	68	4.4	2.9	3.7
45.1	47.5	46.0	33	18.2	9.1	13.6
47.6	52.7	50.4	89	6.7	6.7	6.7
52.8	58.4	55.8	69	18.8	27.1	23.0
58.5	62.9	61.0	89	19.1	21.4	20.2
63.0	67.9	64.5	39	30.8	25.6	28.2
68.0	69.4	68.3	24	41.7	41.7	41.7
			432			

4.3.4 Correctie voor schietgeluid

Op grond van de ligging van de twee in Figuur 15 getoonde dosis-effectrelaties mag worden geconcludeerd dat ter verkrijging van ADNL van even hinderlijk wegverkeersgeluid CDNL van het schietgeluid moet worden gecorrigeerd. Voor een criterium van bijvoorbeeld 20% "ernstig gehinderden" bedraagt deze correctie 5.0 dB, en voor een criterium van 40% "ernstig gehinderden" bedraagt deze correctie 3.2 dB. De resultaten impliceren dat de correctie niet wezenlijk van de jaargemiddelde dosis van de geluiden afhangt, en dat toepassing van een correctie van ca. 4 dB voldoende lijkt.

4.4 Australische studie naar hinder artillerieschietgeluid

In september en oktober 1981 werden in tien afzonderlijke sectoren rondom het bij Sydney gelegen artillerieschietkamp Holsworthy in totaal ruim 1600 bewoners geënquêteerd (Bullen & Hede, 1984; Bullen e.a., 1991). Ofschoon er in het kamp allerlei verschillende wapens werden gebruikt werd de geluidbelasting in de onderzochte woonwijken bepaald door de knallen van 105 en 140 mm kanonnen. In het jaar dat aan het onderzoek voorafging werden deze wapens op 66 dagen gebruikt en werden er in totaal ca. 6000 schoten afgevuurd. De meeste oefeningen vonden plaats in de dagperiode, slechts enkele gebeurden s avonds.
In totaal 34 vragen informeerden naar a) de algemene tevredenheid over de woonomgeving, b) de beleving van geluiden in het algemeen en die van het schietkamp in het bijzonder, c) de gevoeligheid voor geluid, d) attitudes tegenover het kamp en het leger en e) aspecten van demografische aard.

Tussen juni 1981 en juli 1982 werden er op 60 verschillende plaatsen geluidsmetingen verricht. Naast SEL-waarden in de relevante octaafbanden werden ook lineaire piek- en impulsniveaus bepaald. Door middel van multipele regressie werden de belangrijkste variabelen voor de berekening van de immissieniveaus opgespoord (meteorologische en topografische gegevens, wapentype en afstand). Uiteindelijk werd voor iedere schietdag afzonderlijk het equivalente geluidsniveau (met verschillende frequentiekarakteristieken) berekend. Ook andere maten werden bepaald zoals het cumulatieve lin,peak-niveau (de energetische som van alle piekniveaus per dag) en bijvoorbeeld het aantal knallen per dag die een bepaald immissieniveau overschreden. Op basis van deze daggegevens werden voor het gehele jaar representatief geachte overall niveaus vastgesteld.
De belangrijkste maat die Bullen e.a. (1991) gaven voor de beleving van het geluid is het percentage "ernstig gehinderden" (in hun termen "seriously annoyed"). Een respondent werd als "ernstig gehinderd" beschouwd wanneer hij een algemene hinderbeoordeling gaf die hoger was dan ca. 80% van de schaal. De algemene hinderscore werd in feite bepaald door de antwoorden op twee vragen a) "In welke mate wordt U al met al persoonlijk getroffen door het lawaai van het schietkamp", en b) "In welke mate bent U ontevreden over het lawaai van het schietkamp, zoals het in deze buurt klinkt". Andere aspecten als 1) globale hinder, 2) specifieke hinder, 3) bereidheid om te klagen en 4) het waarnemen van trillingen werden op zo'n wijze verdisconteerd dat er van een wezenlijke beïnvloeding van het op basis van de twee eerstgenoemde vragen verkregen gemiddelde door deze laatste vier componenten nauwelijks sprake kon zijn (zie ook Vos, 1985a, § 4.1.2).
Zowel alle op het "gelijke-energie" principe gebaseerde akoestische maten [zoals LEQ, ALEQ en CLEQ] als de door hen gebruikte cumulatieve lineaire piek- of impulsniveaus voorspelden het percentage "ernstig gehinderden" ongeveer even goed. Significant slechter waren maten die alleen rekening hielden met het aantal hoorbare knallen, of het aantal knallen met SEL hoger dan 70 of 80 dB.
Bij de door Bullen e.a. (1991) gegeven dosis-effectrelatie bleek het jaargemiddelde equivalente geluidsniveau berekend te zijn op basis van 365 24-urige dagen (Bullen, 1993). Aangezien er in het schietkamp alleen overdag en af en toe s avonds werd geschoten, en er waarschijnlijk in het weekend niet met het hier relevante soort vuurwapens werd geoefend, kunnen we het jaargemiddelde niveau beter berekenen op basis van 260 16-urige schietdagen. Dit resulteert in een verhoging van de originele waarden met 3.2 dB.
Figuur 17 laat de percentages zien als functie van het aangepaste CLEQ. Ondanks de lage CLEQ-waarden, het slechts 10 dB grote bereik en de relatief lage percentages werd er toch nog een significant verband tussen de dosis en het effect gevonden. Met behulp van de in Figuur 17 gegeven eenvoudige rechte $y = -48.0 + 1.33L_{Ceq}$ wordt 67% van de variantie in het percentage "ernstig gehinderden" verklaard. Met behulp van de vergelijking $y = \Phi[(L_{Ceq}-55.1)/8.9]$ wordt zelfs 70% van de variantie verklaard.
De in dit veldonderzoek verkregen gegevens laten een eenvoudige bepaling van het niveau waarbij 33% van de omwonenden "ernstig gehinderd" zou zijn niet toe. De twee zojuist besproken functies in Figuur 17 illustreren de moeilijkheid van zo'n vergaande extrapolatie: de ene functie voorspelt 33% "ernstig gehinderden" bij een niveau dat 10 dB hoger is dan wat

door de andere functie wordt voorspeld. Gemiddeld over beide extrapolaties zou een C-gewogen niveau van 56 dB resulteren in 33% "ernstig gehinderden".

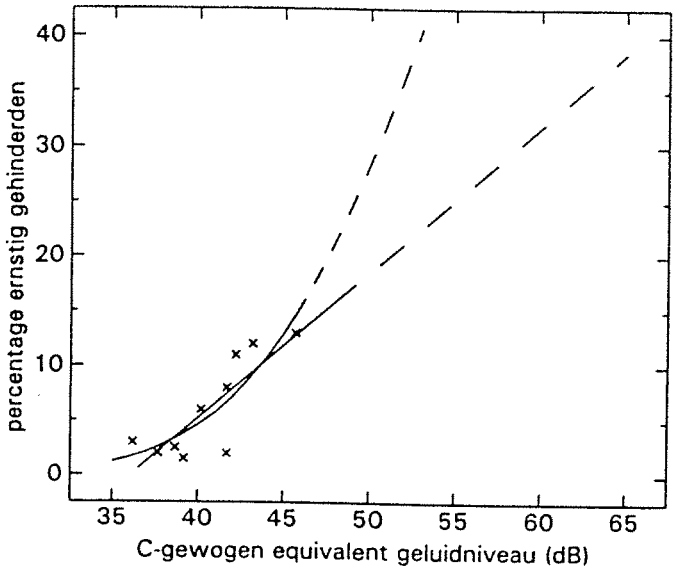

Fig. 17 Percentage "ernstig gehinderden" als functie van het C-gewogen equivalente geluidsniveau van artillerieschietgeluid. Gebaseerd op gegevens van Bullen e.a. (1991). Aan de data zijn een best-passende lineaire en een cumulatief normaal verdeelde functie gefit.

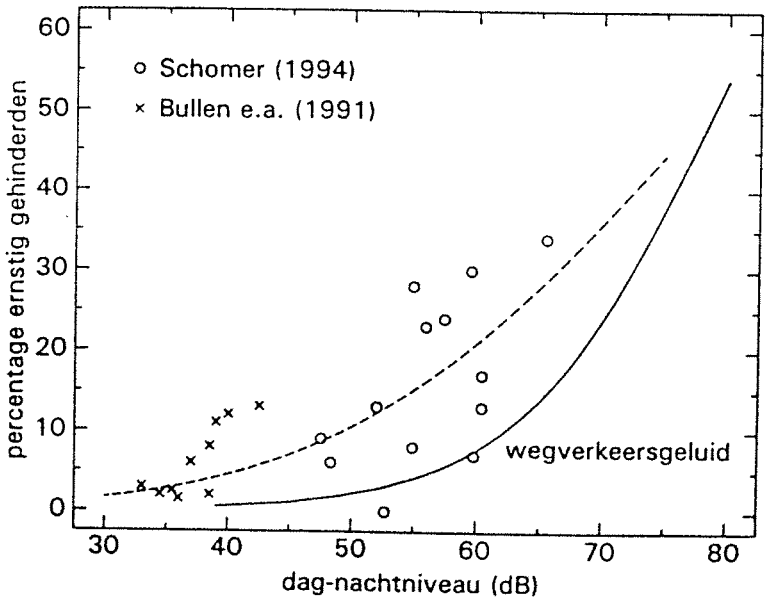

Fig. 18 Percentage "ernstig gehinderden" als functie van het C-gewogen dag-nachtniveau van artillerieschietgeluid, voor een studie van Bullen e.a. (1991) en studies van Schomer (1994). Als referentie is ook de dosis-effectrelatie voor wegverkeersgeluid gegeven.

Bullen e.a. (1991) vergeleken hun resultaten met die van Schomer (1982). Ze gingen daarbij uit van het percentage respondenten dat op de vraag "Hoe zou U Uw algemene reactie op

(...general feeling about) het schietgeluid in deze buurt willen beschrijven...", met de antwoordmogelijkheden "not at all", "slightly", "moderately", "considerably" en "highly annoyed", voor de hoogste categorie koos. Volgens ons is dit een te streng criterium: de ondervraagden die te kennen hadden gegeven dat ze aanzienlijk ("considerably") gehinderd waren kunnen we ook als "ernstig gehinderd" beschouwen. Omdat deze percentages niet gerapporteerd worden lijkt het al met al nog het beste uit te gaan van de eerder in Figuur 17 gegeven percentages "seriously annoyed".
Beide dosis-effectrelaties geven we in Figuur 18. Voor de Australische studie was CDNL gelijk aan het oorspronkelijk door hen berekende CLEQ, omdat er geen nachtoefeningen werden gehouden. Ofschoon bij een vergelijkbare geluidbelasting alle percentages uit het Australische onderzoek hoger waren dan die uit de Amerikaanse onderzoeken, lijken, gelet op de spreiding, de gegevens niet wezenlijk van elkaar te verschillen.

4.5 Zweedse studie naar hinder artillerieschietgeluid

In de tweede helft van de tachtiger jaren werden in 20 afzonderlijke woongebieden rondom acht verschillende Zweedse artillerieschietbanen ruim 2000 bewoners een schriftelijke enquête toegezonden (Rylander & Lundquist, 1996). Ongeveer 75% van de geadresseerden zonden de enquête volledig ingevuld terug. Per woongebied werd het percentage ernstig gehinderden bepaald.
Bij de vraag naar de hinder van het schietgeluid kon gekozen worden uit vijf antwoordalternatieven. Deze waren, vrij vertaald, "ik hoor het niet", "ik hoor het wel maar ik ben niet gehinderd", "een beetje gehinderd", "tamelijk gehinderd" en "erg gehinderd" (Rylander e.a., 1993). Een respondent werd als ernstig gehinderd beschouwd wanneer hij de laatste antwoordcategorie had uitgekozen.
CDNL werd berekend met een door Lundquist ontwikkeld computerprogramma. Aan deze berekeningen lag het met een integratietijd van 35 ms bepaalde C-gewogen niveau ten grondslag. Voor het verkrijgen van CSEL werd bij deze waarde de constante 10log(35/1000) = -14.6 dB opgeteld. Dit lijkt ons enkele decibellen te veel (Vos & Geurtsen, 1995). Aan de andere kant wordt bij het berekenen van de jaargemiddelde geluidbelasting niet gecompenseerd voor het feit dat uitsluitend van onder meewindcondities bepaalde geluidoverdrachtsfuncties gebruik werd gemaakt. Uiteindelijk lijken de in Rylander en Lundquist (1996) gegeven waarden wel correct.
Om rekening te houden met het werkelijk aantal schietdagen per jaar werd de geluidbelasting rondom zeven van de acht schietbanen nog met een constante van ca. 2-4 dB verhoogd (Rylander e.a., 1993, 1994). Gelet op onze eigen resultaten van onderzoek naar de hinder rond onregelmatig gebruikte schietbanen (Vos & Geurtsen, 1992), gaan we liever uit van de ongecorrigeerde dag-nachtniveaus.

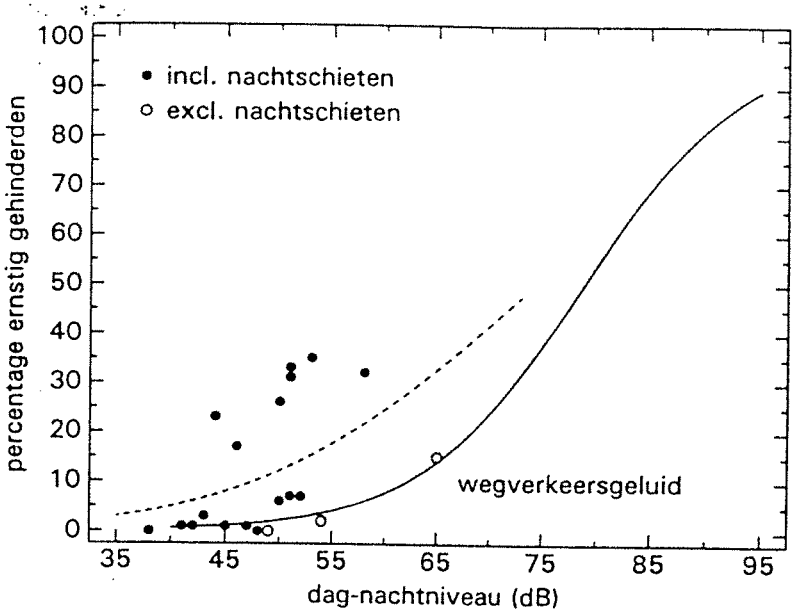

Fig. 19 Percentage "ernstig gehinderden" voor diverse groepen omwonenden van Zweedese artillerieschietbanen, als functie van het C-gewogen dag-nachtniveau. Gebaseerd op Rylander en Lundquist (1996). De best-passende functie is gebaseerd op de resultaten van elle groepen omwonenden, ongeacht of ze wel of niet aan nachtschietoefeningen waren blootgesteld. Als referentie is ook de dosis-effectrelatie voor wegverkeersgeluid gegeven.

Voor de twintig afzonderlijke woongebieden is in Figuur 19 het percentage ernstig gehinderden uitgezet als functie van dit ongecorrigeerde CDNL. De gevulde symbolen hebben betrekking op de woongebieden rondom schietbanen waarop ook 's nachts wordt geoefend, terwijl de open symbolen slaan op woongebieden waarin de bevolking niet aan schietgeluid in de nachtperiode wordt blootgesteld.

Uit Figuur 19 blijkt duidelijk dat nachtschietoefeningen een sterk effect op het percentage ernstig gehinderden (y) hebben. De weergegeven regressielijn $y = \Phi[(L_{Cdn}-74.3)/20.8]$ verklaart slechts 15% van de variantie in de scores ($r^2 = 0.15$). De gegevens van de woongebieden waarin geen nachtschietoefeningen worden gehouden vallen vrijwel samen met de dosis-effectrelatie voor wegverkeersgeluid.

Op basis van alle gegevens samen moet ca. 10 dB bij het CDNL worden opgeteld om ADNL van even hinderlijk wegverkeersgeluid te vinden. Op basis van de gegevens in Figuur 19 zou men ook kunnen zeggen dat CDNL er bij schietgeluid niet in slaagt de hinder in de dag- en nachtperiode juist te integreren. De nachtstraffactor van 10 dB is veel te laag. Door het ontbreken van specifieke informatie over de jaargemiddelde geluidsniveaus in de afzonderlijke perioden van de dag, zijn we helaas niet in staat een bevredigende schatting van de benodigde nachtstraffactor te geven.

Indien we ons alleen richten op de gebieden waarin zowel overdag als 's nachts wordt geschoten, en we ondanks alle bezwaren de dosis toch zouden willen uitdrukken in CDNL, zou een extra correctie bij dit niveau van 15-20 dB moeten worden opgeteld om ADNL van even hinderlijk wegverkeersgeluid te vinden. Dit wordt geïllustreerd in Figuur 20. De regressielijn $y = \Phi[(L_{Cdn}-60.9)/10.8]$ verklaart nu 42% van de variantie ($r^2 = 0.42$).

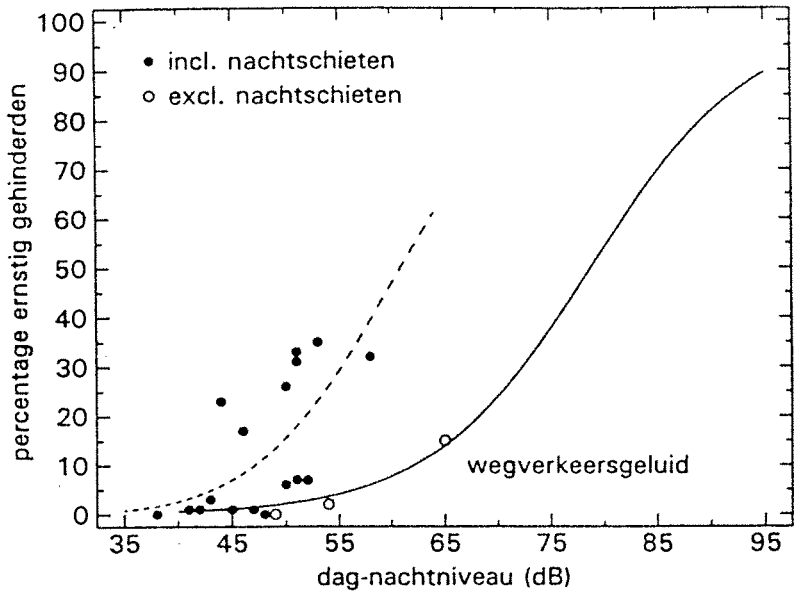

Fig. 20 Als Fig. 19. De best-passende functie is nu echter alleen gebaseerd op de resultaten van die groepen die zowel aan dag- als aan nachtschietoefeningen waren blootgesteld.

4.6 Experimentele studies

In onze vorige literatuurstudie stelden we dat de beschikbare laboratoriumresultaten niet goed bruikbaar waren omdat onder andere a) het geluid van de relatief zware wapens en supersone knallen waarschijnlijk niet goed was gereproduceerd, b) de referentieconditie met wegverkeersgeluid ontbrak en c) de bronafhankelijke specifieke invloed van de gevel in verband met de transformatie van de binnenshuis bepaalde niveaus naar niveaus buiten niet goed kon worden geschat (Vos, 1985a, §5.3). In de negentiger jaren werden enkele laboratoriumstudies zo opgezet dat de bruikbaarheid van de resultaten tot op bepaalde hoogte door op z'n minst twee van de drie genoemde aspecten niet langer werd belemmerd.

4.6.1 Een Duits-Amerikaanse studie

In reeds in §3.3 aangehaald onderzoek van Schomer en Buchta (Schomer e.a., 1994; Schomer & Wagner, 1995) werd de hinder van zware knallen vergeleken met de hinder van passerende wielvoertuigen. Met springladingen (0.2-4 kg TNT), die op een afstand van ca. 1 en 2 km van het testhuis tot ontploffing werden gebracht, beoogde men de knallen van grote vuurwapens te simuleren. De referentie bestond, zoals eerder vermeld, hoofdzakelijk uit het geluid van zware vrachtwagens. Het onderzoek was opgezet als een paarsgewijze vergelijkingstest waarin de proefpersonen na ieder paar aangeboden geluiden werd gevraagd aan te geven welk geluid zij hinderlijker vonden. We geven hier de resultaten slechts globaal weer. Voor details verwijzen we naar Bijlage B van het huidige rapport.

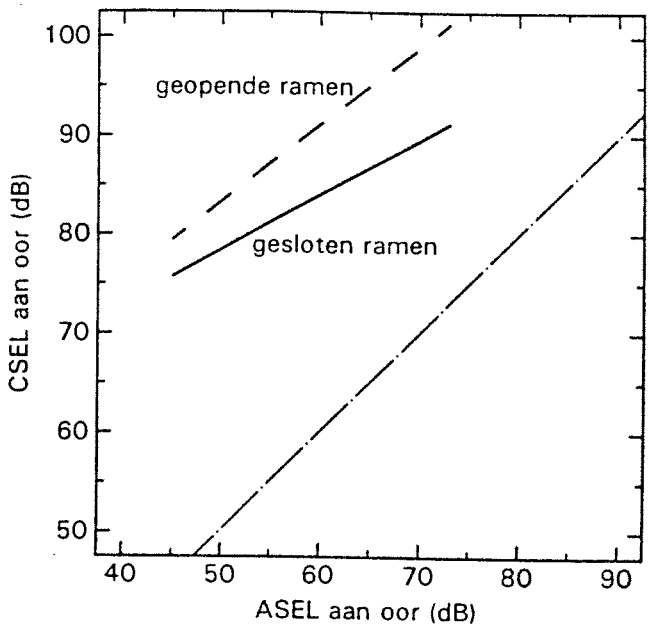

Fig. 21 Relaties tussen CSEL van zware knallen en ASEL van voertuigpassages die even hinderlijk werden gevonden. De hinder werd binnenshuis met iets geopende of gesloten ramen beoordeeld; de niveaus zijn binnen bepaald. Gebaseerd op gegevens van Schomer e.a. (1992).

Figuur 21 laat het CSEL-niveau van de knallen als functie van het ASEL-niveau van het even hinderlijke voertuiggeluid zien voor twee luistercondities. In de ene luisterconditie waren de ramen gesloten, in de andere conditie waren de ramen iets geopend. In beide gevallen werd het niveau dicht bij de zich in de kamer bevindende proefpersonen bepaald. Gemiddeld genomen blijkt bij gesloten ramen CSEL van de knal 25 dB hoger te zijn dan ASEL van een even hinderlijke voertuigpassage, bij iets geopende ramen is dit verschil zelfs 30 dB. Indien het niveau van de knal was uitgedrukt in ASEL zou dit verschil 20 tot 25 dB kleiner zijn geweest.

Verder laat Figuur 21 zien dat vooral de helling van de regressielijn voor de conditie met de gesloten ramen kleiner is dan 1. De gegevens impliceren dat een verhoging van CSEL met 10 dB bij gelijke hinder van de knallen en de voertuigpassages correspondeert met een verhoging van ASEL met 18 dB. Bij de geopende ramen is deze verhouding slechts 10:13 en waarschijnlijk niet significant afwijkend van de verhouding 1:1.

Figuur 22 laat voor de reeds in Figuur 21 besproken condities en een conditie waarin de proefpersonen de geluiden vanuit de tuin beoordeelden, de resultaten zien die in alle gevallen zo goed mogelijk zijn uitgedrukt in het niveau zoals die buiten aan de gevel of in de tuin zijn geweest. De numerieke verschillen tussen CSEL en ASEL bij gelijke hinder zijn nu globaal gereduceerd tot 10–15 dB. Verder blijkt dat de helling van de regressielijn voor de conditie met de gesloten ramen weer beduidend kleiner was dan 1: een verhoging van CSEL van de knallen met 10 dB correspondeert bij gelijke hinder van de knallen en de voertuigpassages met een verhoging van ASEL met 25 dB. Bij de conditie waarin de ramen iets geopend waren en de conditie waarin de proefpersonen zich buiten bevonden was deze verhouding respectievelijk 10:17 en 10:15.

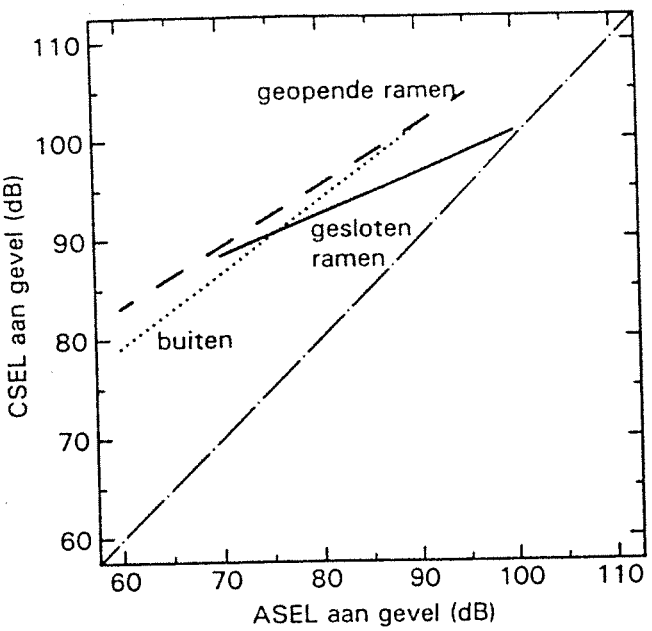

Fig. 22 Relaties tussen CSEL van zware knallen en ASEL van voertuigpassages die even hinderlijk werden gevonden. De hinder werd binnenshuis met iets geopende of gesloten ramen, of buiten in de tuin beoordeeld. CSEL werd buiten aan de gevel bepaald, ASEL aan de gevel werd geschat. Gebaseerd op gegevens van Schomer e.a. (1992).

Er is een grote discrepantie tussen deze resultaten en de uitkomsten van alle hier boven besproken veldonderzoeken. Dit wordt duidelijk als we de gegevens uit bijvoorbeeld Figuur 22 op een iets andere wijze weergeven. De meest voor de hand liggende manier is om net als in bijvoorbeeld Figuur 15 de hinder van de knallen en de voertuigpassages weer te geven als functie van de geluiddosis.

Figuur 23(a) laat zien dat bij geopende ramen de hinder van zowel knallen als van voertuiggeluid ongeveer in dezelfde mate met SEL toeneemt. Het blijkt dat hier een flinke negatieve correctie voor het impulsgeluid nodig is. Bij gesloten ramen [Fig. 23(b)] is niet alleen duidelijk te zien dat de hinder van knallen sneller toeneemt met SEL dan de hinder van voertuiggeluid, maar ook dat er een negatieve niveau-afhankelijke correctie voor het impulsgeluid in dit soort condities nodig is.

Uit de veldonderzoeken blijkt echter dat er een positieve correctie nodig is en de resultaten van de meeste veldonderzoeken wijzen er op dat deze positieve correctie bovendien afhangt van het niveau. Het is niet eenvoudig een verklaring voor deze in Figuur 23 weergegeven discrepantie te geven (zie ook Vos, 1997a).

In §2.2 was al eerder aangegeven dat uit diverse studies, waaronder die van Meloni en Rosenheck (1995), Vos e.a. (1994), Vos (1996b) en Vos (1998), was gebleken dat CSEL een minder goede prediktor van de hinder is dan ASEL.

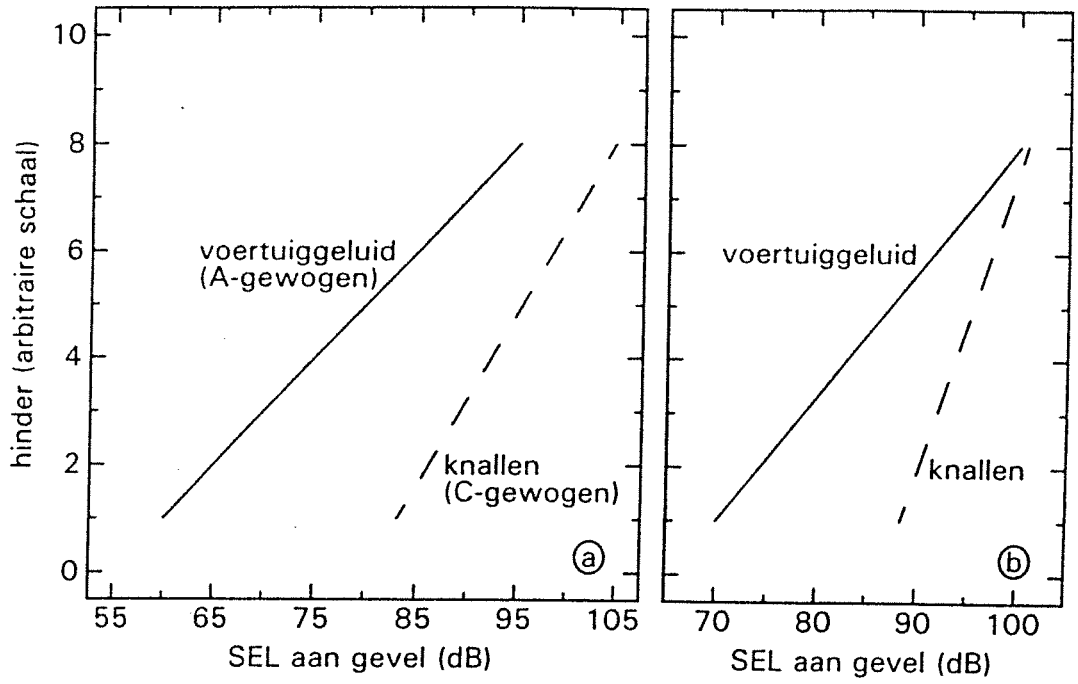

Fig. 23 Voor twee condities worden de resultaten uit Fig. 22 hier op een andere wijze weergegeven. In Fig. 23(a) werd de hinder bij iets geopende ramen, en in Fig. 23(b) bij gesloten ramen beoordeeld. De in arbitraire eenheden uitgedrukte hinder wordt voor het voertuiggeluid als functie van ASEL en voor de knallen als functie van CSEL gegeven.

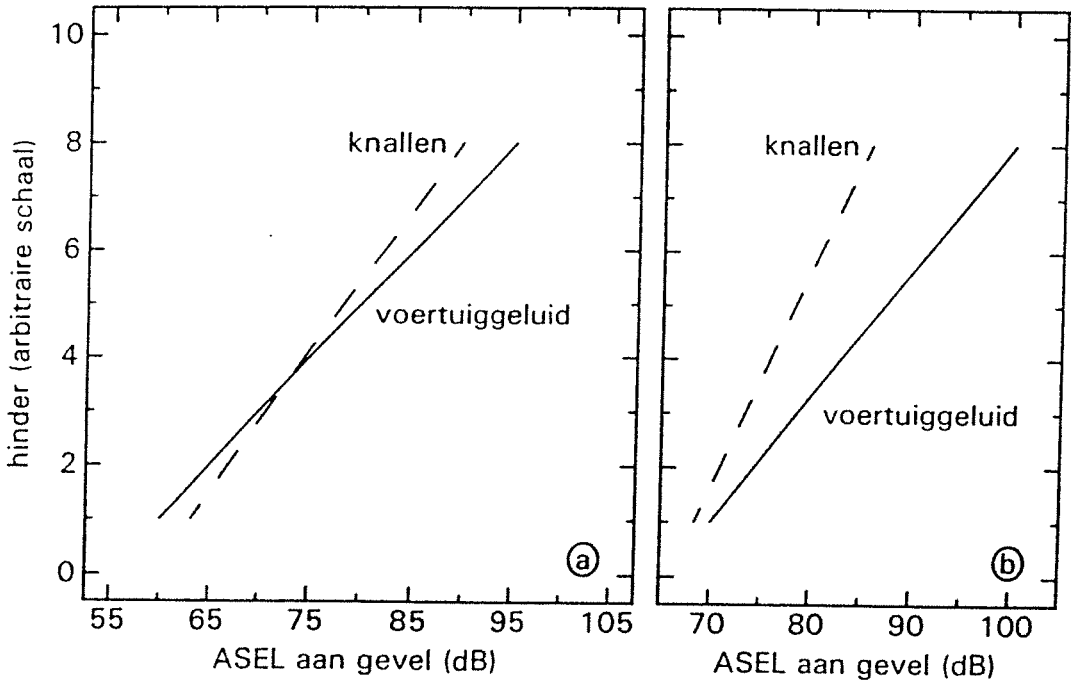

Fig. 24 Als Fig. 23, maar nu wordt de hinder voor beide bronnen uitgedrukt als functie van het aan de gevel geldende ASEL.

De relaties uit Figuur 23 kunnen daarom beter voor beide geluidbronnen als functie van ASEL worden weergegeven. Dit wordt gedaan in Figuur 24, waarbij is aangenomen dat voor de knallen met een relatief laag geluidniveau het verschil tussen CSEL an ASEL gelijk is aan 20 dB, en voor knallen met een relatief hoog geluidniveau dit verschil gelijk is aan 15 dB. Uit Figuur 24 blijkt dat vooral in de conditie met gesloten ramen [Fig. 24(b)] de hinder van de knallen sneller toeneemt dan dat van de voertuigpassages. In absolute zin zijn bij gelijke ASEL de verschillen in hinder tussen de knallen en de voertuigbewegingen kleiner dan men zou verwachten. Mogelijke verklaringen zijn dat het verschil tussen CSEL en ASEL groter was dan hier is aangenomen, en dat de aangeboden voertuigpassages als veel hinderlijker werden ervaren dan het voertuiggeluid waaraan men normaal in woonwijken wordt blootgesteld. Voor een bespreking van de representativiteit van de gebruikte voertuigpassages wordt verwezen naar Vos en Versfeld (1997) en Vos (1997b).

4.6.2 Een Zwitserse studie

In een laboratoriumexperiment lieten Meloni en Rosenheck (1995) de hinder van knallen beoordelen, die afkomstig waren van een licht, een middelzwaar of een zwaar vuurwapen (zie ook Meloni en Krüger, 1993). De gebruikte wapentypen waren een 7.5 mm geweer, een 83 mm anti-tank wapen en een 155 mm houwitzer. In luistercondities waarin werd gesimuleerd dat de ramen van de huiskamer wijd open stonden, zodat een geheel frequentie-onafhankelijke gevelreductie van slechts ca. 6 dB in rekening werd gebracht, kon de hinder voor alle drie wapentypen goed beschreven worden door ASEL. In deze conditie varieerde het aan het oor gemeten ASEL van de (individuele) middelzware knal van 53 tot 83 dB. Hun resultaten in de conditie met geopende ramen sluiten ten aanzien van het ontbreken van verschillen in hinder tussen lichte en zware knallen goed aan bij die van Vos e.a. (1994).
In de luistercondities waarin werd gesimuleerd dat de ramen (dubbelglas) waren gesloten, werden de knallen van het middelzware vuurwapen bij gelijke ASEL minder hinderlijk gevonden dan die van het lichte vuurwapen. Het verschil kwam overeen met een hindertoename ten gevolge van een 7 dB verhoging van ASEL van de lichte of middelzware knallen. In deze conditie varieerde het aan het oor gemeten ASEL van de middelzware knal van 55 tot 65 dB.
Op basis van de informatie in de Figuren 3, 4 en 6 uit het artikel van Meloni en Rosenheck (1995) hebben we zelf in Figuur 25 het geluidsniveau van even hinderlijke roze ruis uitgezet als functie van het aan de gevel optredende ASEL van de knallen. De binnen met gesloten ramen beoordeelde hinder van de knallen van het geweer en het anti-tank wapen kan zeer goed met één lineaire functie worden beschreven ($r^2 = 0.99$).
Uitgaande van ASEL aan de gevel werd er dus voor deze zeer luide knallen (75 dB $< L_{AE} <$ 90 dB) geen verschil tussen het lichte en het middelzware vuurwapen gevonden. Uit Fig. 25 blijkt dat de knallen van de houwitser wel hinderlijker zijn dan die van de overige twee vuurwapens. Dit verschil lijkt bovendien groter te worden met toenemend geluidsniveau.