

Technical Sciences
Oude Waalsdorperweg 63
2597 AK Den Haag
Postbus 96864
2509 JG Den Haag

www.tno.nl

T +31 88 866 10 00
F +31 70 328 09 61

TNO-rapport

TNO 2014 R10135 | 1.1

Toelichting op toepassen van methoden voor meten en rekenen aan schietgeluid

Datum 11 november 2015

Auteur(s) F.J.M. van der Eerden
F.H.A. van den Berg
D. Kaptein

Exemplaarnummer
Oplage
Aantal pagina's 30 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen 1
Opdrachtgever Ministerie van I&M
Projectnaam
Projectnummer 054.02768

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 opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2015 TNO

Inhoudsopgave

1	Inleiding	3
2	Emissiemeetmethoden voor schietgeluid	4
2.1	Inleiding	4
2.2	Geluidbronniveau uitgedrukt in het geluidexpositieniveau	5
2.3	Instrumentatie en data-acquisitiesysteem	5
2.4	Directe bronsterktebepaling van een wapen-munitiecombinatie.....	6
2.5	Bronsterktebepaling met bodemreflectiecorrectie	9
2.6	Bronsterktebepaling van baan-wapen-munitiecombinaties.....	10
2.7	Rapportage bronsterktemetingen	13
3	Modelleren van schietbanen	14
3.1	Inleiding	14
3.2	Schermenschietbanen	14
3.3	Kleiduivenschietbanen.....	17
4	Gebruik van wapencategorieën om de bronsterkte te bepalen	20
4.1	Vuistvuurwapen (pistool / revolver)	21
4.2	Geweer	22
4.3	Karabijn.....	23
4.4	Hagelgeweer.....	23
4.5	ISO correctie bij afwijkende gegevens voor de kogel.....	24
5	Referenties	25
6	Ondertekening	26
	Bijlage(n)	
	A Toelichting op gemaakte keuzes voor de categorieënindeling	

1 Inleiding

Dit document geeft een toelichting op het gebruik van het *Rekenvoorschrift buitenschietbanen* [1]. Zo worden meetmethoden beschreven om de geluidbronsterkte te kunnen bepalen van schietactiviteiten. Deze bronsterkten kunnen vervolgens toegepast worden conform het "*Rekenvoorschrift buitenschietbanen*" om de geluidbelasting op de omgeving te bepalen. Het uitgangspunt bij deze methoden is dat de bronsterkte alleen de geluidemissie beschrijft van een wapen en dat omgevingsinvloeden hierin niet zijn meegenomen. In de metingen zijn deze omgevingsinvloeden echter altijd terug te vinden. Denk hierbij aan invloed van bodemreflecties, luchtdemping en dergelijke. Verschillende methoden zijn beschikbaar om voor deze omgevingsinvloeden te corrigeren. Twee methoden worden beschreven voor wapen-munitiecombinaties die in het open veld worden gebruikt. Een derde methode is gegeven voor de bepaling van de bronsterkte van een baan-wapen-munitiecombinatie. Het wapen bevindt zich dan niet in het open veld maar in een complexe infrastructuur waar een veelvoud aan reflecties binnen deze constructie relevant zijn voor de geluiduitstraling naar de omgeving. Voor dit soort situaties kan de invloed van de constructie niet door de rekenmethode worden vastgesteld en dient het wapen inclusief de omliggende infrastructuur door een of meer vervangende puntbron(nen) te worden gemodelleerd.

Ook wordt in dit document een verdere toelichting gegeven hoe het "*Rekenvoorschrift buitenschietbanen*" voor civiele toepassingen gebruikt moet worden. Oorspronkelijk is dit rekenvoorschrift namelijk ontwikkeld voor militair gebruik, maar vervolgens ook van toepassing verklaard voor civiele toepassingen. Aangezien het civiele gebruik op sommige punten afwijkt van het militaire gebruik is deze nadere toelichting noodzakelijk. Twee verschillende onderwerpen worden beschreven.

Zo wordt in deze toelichting beschreven hoe sommige civiele banen voor de gegeven rekenmethode gemodelleerd dienen te worden om betrouwbaar en reproduceerbaar de geluidbelasting te berekenen. Denk hierbij bijvoorbeeld aan een kleiduivenschietbaan, die alleen een civiele toepassing kent.

Daarnaast is het aantal wapens dat voor niet-militaire toepassingen gebruikt kan worden veel groter. Voor de regulier toegepaste wapen-munitiecombinaties is het aanbevolen om de geluidbronsterkte op basis van metingen te bepalen. Het is echter ondoenlijk om dit voor alle wapen-munitiecombinaties te doen. Hiervoor zijn wapencategorieën gedefinieerd. Als gemeten bronsterktegegevens van minder reguliere wapen-munitiecombinaties niet beschikbaar zijn kan de bronsterkte, die aan een bepaalde wapencategorie is toegekend, in plaats daarvan gebruikt worden. Men moet zich daarbij wel realiseren dat de bronsterkte van een wapencategorie, op grond van het voorzorgsprincipe, conservatief is ingeschat. Een gemeten bronsterkte zal daarom over het algemeen een lager niveau hebben dan de bronsterkte van de categorie waar het gemeten wapen toe behoort. De procedure hoe bepaald kan worden tot welke categorie een bepaald wapen behoort en welke bronsterkte dan daarvoor gekozen kan worden wordt ook in deze toelichting beschreven.

2 Emissiemeetmethoden voor schietgeluid

2.1 Inleiding

Om de bronsterkte van schietgeluid te bepalen zijn meet- en analysemethoden gedefinieerd. De essentie bij deze methoden is dat ze zo zijn ingericht dat de bepaalde bronsterkte onafhankelijk is van de omgeving waar de metingen zijn uitgevoerd. Het is niet te voorkomen dat omgevingsinvloeden, zoals een bodemreflectie, in de metingen aanwezig zullen zijn. Verschillende methoden worden gegeven om hiervoor te corrigeren.

Daarnaast moet de bepaalde bronsterkte als invoer gebruikt kunnen worden voor een lineair akoestisch model om zo de geluidbelasting op de omgeving te bepalen. Dit stelt grenzen aan de afstand waarop de metingen minimaal kunnen worden uitgevoerd. Als op een te korte afstand van een wapen wordt gemeten zijn de geluidniveaus dermate hoog dat niet van een lineaire overdracht kan worden uitgegaan. Deze metingen kunnen dan niet worden gebruikt voor de bepaling van de 'lineaire' bronsterkte! Als grens wordt hiervoor het C-gewogen piekgeluidniveau gebruikt. Als dit minder is dan 154 dB (re 20 μ Pa) kan er van worden uitgegaan dat de verdere geluidpropagatie naar grotere afstanden door een lineair model kan worden beschreven. Voor lichte wapens (vuist- en handvuurwapens¹) is dit meestal het geval op een afstand groter dan 5 tot 10 m van het wapen. Voor zware wapens ligt deze grens verder en moet op afstanden groter dan 100 m van het wapen worden gemeten. Dit maakt de bronbepaling extra complex omdat de metingen dan ook voor meteorologische invloeden gecorrigeerd moeten worden. Voor civiele toepassingen is dit echter niet relevant en om deze reden zijn de in dit document beschreven methoden alleen toepasbaar voor lichte wapens (vuist- en handvuurwapens).

In dit hoofdstuk worden drie verschillende methoden beschreven:

1. Directe bronsterktebepaling van een wapen-munitiecombinatie;
2. Bronsterktebepaling met bodemreflectiecorrectie;
3. Bronsterktebepaling van een baan-wapen-munitiecombinatie.

Bij de eerste methode wordt ervan uitgegaan dat in het gemeten tijdsignaal de drukgolf, die rechtstreeks de microfoon bereikt, gescheiden kan worden waargenomen van de bodemreflectie. De bronsterkte wordt vervolgens bepaald van alleen het rechtstreekse tijdsignaal.

De tweede methode wordt gebruikt als het directe tijdsignaal niet gescheiden kan worden waargenomen van de bodemreflectie. Dit is veelal het geval als het wapen niet anders dan dicht bij de grond kan worden afgevuurd.

De derde methode wordt gebruikt als het wapen zich in een complexe constructie bevindt waar een veelvoud aan reflecties binnen die constructie relevant zijn voor de geluiduitstraling naar de omgeving. Voor dit soort situaties kan de invloed van de constructie niet door de rekenmethode worden vastgesteld en dient het wapen inclusief de omliggende constructie door één of meer vervangende puntbron(nen) te worden gemodelleerd.

De gegeven emissiemeetmethoden zijn grotendeels gebaseerd op een ISO norm die meetmethoden beschrijft voor schietgeluid [2].

¹ Ook te lezen als: vuist- en schoudervuurwapens.

2.2 Geluidbronniveau uitgedrukt in het geluidexpositieniveau

De bronsterkte van een wapen-munitiecombinatie L_{Eb} (of van een wapen-munitiebaancombinatie) wordt uitgedrukt in het geluidexpositieniveau, dat een functie is van de emissiehoek (0 graden is gelijk aan de schietrichting) en van de octaafband met middenfrequenties van 16 Hz tot 4000 Hz². Het geluidexpositieniveau is gedefinieerd in ISO 1996-1. De spectrale bronniveaus voor verschillende emissierichtingen worden bepaald uit gemeten geluidexpositieniveaus L_E op minimaal 7 meetposities (zie Figuur 2.1). Het bronniveau wordt hieruit met de volgende formule bepaald:

$$L_{Eb}(f_i, \phi_j) = L_E(f_i, \phi_{0,j}) + D_{geo} + D_{lucht} + D_{bodem} \quad (2.1)$$

met:

- f_i nominale frequentie van de i^{de} octaafband (16 – 4000 Hz);
- $\phi_{0,j}$ hoek tussen een lijn van het wapen naar het j^{de} meetpunt en de schietrichting geprojecteerd op een horizontaal vlak;
- ϕ_j werkelijke emissie hoek naar het j^{de} meetpunt;
- $D_{geo} = 10 \lg(4\pi x^2)$, geometrische reductie voor een afstand x tussen het uiteinde van de loop van het wapen en het meetpunt;
- $D_{lucht}(f_i)$ demping door luchtabsorptie conform ISO 9613-1. D_{lucht} is afhankelijk van de frequentie f_i , temperatuur en relatieve vochtigheid. Indien de meetafstand groter is dan 10 m moet deze term meegenomen worden, anders is deze bijdrage verwaarloosbaar;
- D_{bodem} De afname van het gemeten geluidniveau als gevolg van de bijdrage van de bodemreflectie. Indien deze reflectie met venstertechnieken uit het te analyseren tijdsignaal kan worden verwijderd wordt deze term niet meegenomen.

De werkelijke emissiehoek ϕ_j van het wapen wijkt af van de hoek $\phi_{0,j}$ als de microfoonhoogte afwijkt van de hoogte van het wapen. Deze werkelijke emissiehoek ϕ_j (ervan uitgaande dat het wapen horizontaal wordt afgevuurd) wordt bepaald uit de horizontale afstand r_p , bron- en meethoogte z_s en z_r en de hoek $\phi_{0,j}$ met behulp van onderstaande formule

$$\phi_j = \arccos \frac{r_p \cos \phi_{0,j}}{\sqrt{r_p^2 + (z_s - z_r)^2}} \quad (2.2)$$

Deze correctie wordt niet toegepast als de bronsterkte wordt vastgesteld van een baan-wapen-munitiecombinatie.

2.3 Instrumentatie en data-acquisitiesysteem

De instrumentatie en het data-acquisitiesysteem dienen aan de volgende specificaties te voldoen:

- De instrumentatie, bijvoorbeeld de microfoons, versterkers en analyzer moeten voldoen aan de specificaties zoals deze voor type 1 instrumenten zijn gespecificeerd in IEC 61672-1;
- De microfoons moeten maximaal een diameter hebben van ½ inch;

² De 16 Hz octaafband is met name voor “zware” wapens van belang zoals gebruikt op militaire oefenterreinen. Voor hand- en vuistvuurwapens is het toegestaan deze band achterwege te laten.

- De instrumentatie en in het bijzonder de microfoons moeten geschikt zijn om hier hoge niveaus mee te meten;
- Het complete systeem moet minimaal zowel voor als na de metingen gekalibreerd worden. De akoestische kalibrator moet voldoen aan de specificaties zoals deze in IEC 60942 zijn gedefinieerd;
- Het data-acquisitiesysteem moet een dynamisch bereik hebben van minimaal 90 dB en minimaal een bandbreedte van 10 Hz tot 20 kHz omvatten;
- Een hoogdoorlaatfilter dient te worden toegepast om DC-componenten uit het signaal te elimineren.
- Minimaal zal een bemonsteringsfrequentie van 50 kHz gebruikt moeten worden.

2.4 Directe bronsterktebepaling van een wapen-munitiecombinatie

2.4.1 Inleiding

Deze meet- en analysemethode wordt toegepast voor het vaststellen van de bronsterkte van een licht wapentype (vuist- of handvuurwapen) dat zich in het vrije veld bevindt en waarbij de meetposities zo gekozen kunnen worden dat de rechtstreekse drukgolf in het tijdsignaal van het mondingsgeluid te scheiden is van de bodemreflectie van deze drukgolf.

2.4.2 Meetopstelling

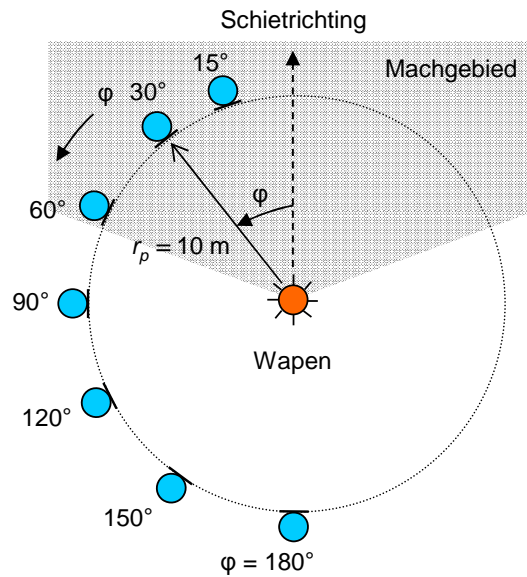
Aan de meetopstelling wordt als eis gesteld dat deze een homogene vlakke bodem heeft en er geen storende reflecties plaatsvinden tegen objecten die eerder bij de microfoon aankomen dan de reflectie tegen de bodem.

De windsnelheid gemeten op 10 m hoogte mag niet meer dan 5 m/s bedragen. Daarnaast moet de relatieve vochtigheid kleiner zijn dan 95%. Dit betekent dus ook dat tijdens regen geen metingen uitgevoerd mogen worden.

Bij de metingen wordt ervan uitgegaan dat de geluidemissie symmetrisch is ten opzichte van de schietrichting. De metingen hoeven daarom slechts aan één zijde van wapen of baan uitgevoerd te worden. De keuze aan welke kant wordt gemeten is in principe niet van belang en wordt gekozen op basis van praktische gronden zoals bijvoorbeeld de eventuele aanwezigheid van reflecterende obstakels. De metingen worden onder de volgende 7 hoeken ten opzichte van de schietrichting uitgevoerd: 15°, 30°, 60°, 90°, 120°, 150° en 180° (0° is hier de schietrichting en 180° de achterwaartse richting, zie ook Figuur 2.1). De hoek van 15° is gekozen om te voorkomen dat de microfoonopstelling door een kogel geraakt wordt.

Indien niet van symmetrie kan worden uitgegaan moeten de metingen over een volledige cirkel worden uitgevoerd waarbij de meetpunten ook dan een onderling hoekverschil hebben van 30 graden.

Genoemde hoeken zijn gedefinieerd zoals die in bovenaanzicht worden gezien, dus geprojecteerd op de bodem. De emissiehoek van het wapen naar de microfoonposities zal hiervan afwijken als de microfoon op een andere hoogte dan die van het wapen wordt geplaatst. Deze kan uit de geprojecteerde hoek worden berekend door toepassing van formule 2.2.



Figuur 2.1 Schematische weergave van de meetlocaties rond een wapen. Het grijs gearceerde gebied geeft het gebied aan waar mogelijk kogelgeluid kan worden waargenomen.

Het centrum van de cirkel is het eindpunt van de loop van het wapen. Om de metingen goed reproduceerbaar te kunnen uitvoeren dient tijdens de metingen de loop ondersteund te worden door een hiervoor geëigende constructie. Dit zorgt ervoor dat op een goed gedefinieerde plaats de metingen uitgevoerd worden en de afstand en emissiehoek naar de microfoons gedurende de metingen constant blijft. De microfoons worden op een hoogte geplaatst van 5 m en op een afstand van 10 m. Indien de C-gewogen piekniveaus groter blijken te zijn dan 154 dB(C) moet een grotere meetafstand worden gekozen. De maximale meetafstand tussen wapen en microfoons is 100 m. Over het algemeen zal dan het directe geluid niet te scheiden zijn van de bodemreflectie en zal de methode beschreven in paragraaf 2.5 moeten worden toegepast.

Pressure-field microfoons dienen verticaal te worden opgesteld, dus met het membraan naar boven. Free-field microfoons worden gericht met het membraan naar de bron. Afhankelijk van het type microfoon dienen eventueel frequentie respons correcties te worden uitgevoerd. Het wapen moet horizontaal en staand worden afgevuurd, tenzij dit met het wapen niet mogelijk is. De typerende hoogte zal dan ca. 1,60 m zijn.

In Figuur 2.1 is naast de meetpunten ook het zogenaamde Machgebied weer-gegeven. Dit is het gebied waar mogelijk kogelgeluid kan worden waargenomen als de afgeschoten kogel de loop supersoon verlaat. Het kogelgeluid komt altijd eerder bij de microfoon aan dan het mondingsgeluid van het wapen. Aan de rand van het Machgebied in het voorbeeld in Figuur 2.1 komt bij ongeveer 70 graden het kogelgeluid gelijk aan met het mondingsgeluid. Het kogelgeluid is dan niet meer in de tijd te scheiden van het mondingsgeluid waardoor de bronsterktebepaling voor die hoek niet goed mogelijk. Als dit voor een bepaald meetpunt optreedt dient de meethoek te worden aangepast. De hoek ξ_0 waarbij deze coïncidentie optreedt wordt gegeven door onderstaande formule:

$$\xi_0 = \arccos \frac{c}{v_0} \quad (2.3)$$

met

v_0 de startsnelheid van de kogel
 c de geluidsn snelheid tijdens de metingen

2.4.3 Meetprocedure

Per wapentype en emissierichting moet een serie van minstens tien schoten worden gemeten. Indien het verschil in geluidexpositieniveau tussen de grootste waarde en de kleinste waarde binnen een serie van tien schoten groter is dan 2 dB, dan dient de serie te worden aangevuld met tenminste 10 extra schoten. Bij twijfel heeft het dus de voorkeur om altijd 20 schoten te meten.

Het heeft de voorkeur dat alle richtingen tegelijkertijd worden gemeten. Als alternatief kan er voor gekozen worden om steeds op twee posities tegelijkertijd te meten, waarbij één microfoon (bijvoorbeeld onder 90 graden) steeds op dezelfde positie blijft staan en de andere microfoon steeds wordt verplaatst. Dit brengt wel met zich mee dat veel meer schoten afgevuurd moeten worden om hetzelfde meetresultaat te verkrijgen.

2.4.4 Spectrale analyse

Het complete tijdsignaal bevat de directe drukgolf van het mondingsgeluid, de reflectie hiervan tegen de bodem en mogelijk ook kogelgeluid met eventuele reflecties. Een rechthoekig venster wordt gebruikt om alleen het rechtstreekse mondingsgeluid uit het signaal te snijden. Indien mondingsgeluid niet te scheiden is van de bodemreflectie dient de indirecte methode te worden gebruikt (zie hiervoor paragraaf 2.5). Voordat een Fourieranalyse wordt uitgevoerd worden aan het uitgesneden tijdsignaal extra nul-samples toegevoegd zodat het tijdvenster voldoende breed is om in het smalbandig spectrum voldoende lijnen beschikbaar te krijgen. Dit is een vereiste om uit het smalbandig spectrum de verschillende octaafbandniveaus te kunnen berekenen. Als vuistregel geldt dat een aanvulling met nul-samples tot een 1 s lang tijdsignaal voldoende lijnen geeft in het Fourierspectrum zodat in alle relevante octaafbanden voldoende lijnen aanwezig zijn. De octaafbandwaarde wordt vervolgens verkregen door alle smalbandige lijnen van het Fourier amplitudespectrum binnen een octaafband energetisch te sommeren. De spectrumlijnen aan de randen van de octaafband worden meegenomen voor zover het rechthoekig gebied met een breedte van Δf (de onderlinge afstand van de frequentielijnen in het spectrum) en gecentreerd rond de frequentie van de spectrumlijn binnen de octaafband valt.

De aldus verkregen waarden per schot worden vervolgens energetisch gemiddeld over alle gemeten schoten aan de wapen-munitiecombinatie conform onderstaande relatie:

$$L_E(f_i) = 10 \log \left(\sum_{k=1}^N \frac{1}{N} 10^{L_E(f_i)_k / 10} \right) \quad (2.4)$$

Met

N aantal geldige metingen aan de wapen-munitiecombinatie
 f_i middenfrequentie van de i^{de} octaafband (16 – 4000 Hz).

Het verdient aanbeveling om de spectrale analyse te controleren door gebruik te maken van het theorema van Parseval (de energie in het tijddomein is gelijk aan de energie in het frequentiedomein).

Het bronspectrum wordt vervolgens berekend met formule 2.1. De term D_{bodem} wordt voor deze methode niet meegenomen, aangezien het bodemeffect door het uitsnijden van alleen het mondingsgeluid al verdisconteerd is.

2.5 Bronsterktebepaling met bodemreflectiecorrectie

2.5.1 Inleiding

Deze meet- en analysemethode wordt toegepast voor het vaststellen van de bronsterkte van een licht wapentype (vuist- of handvuurwapen) die zich in het vrije veld bevindt maar waarbij de rechtstreekse drukgolf in het tijdsignaal van het mondingsgeluid niet te scheiden is van de bodemreflectie van deze drukgolf. De meetopstelling en –procedure is hetzelfde als beschreven in paragraaf 2.4 alleen de spectrale analyse is anders aangezien voor de bodemreflectie, die ook in het te analyseren tijdsignaal aanwezig is, gecorrigeerd moet worden.

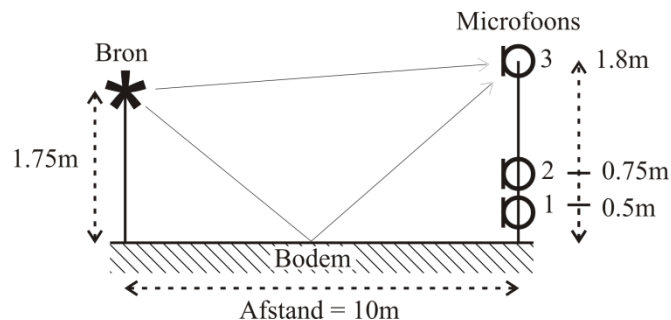
2.5.2 Spectrale analyse

Indien de bodemreflectie niet gescheiden kan worden waargenomen moet er voor deze bodemreflectie worden gecorrigeerd. De term D_{bodem} in formule 2.1 moet dan wel worden meegenomen bij de bepaling van de bronsterkte. Deze correctie wordt op het octaafbandspectrum uitgevoerd. De spectrale analyse (met de uitzondering dat de bodemreflectie nu niet uit het tijdsignaal verwijderd kan worden) is daardoor gelijk aan de aanpak zoals dit in paragraaf 2.4.4 is beschreven.

2.5.3 Bepaling bodemverzwakking

Er is geen unieke methode om de term D_{bodem} vast te stellen. De methode zoals die in de Handleiding meten en rekenen industrielawaai is beschreven, is voor deze toepassing echter niet toereikend aangezien deze geldig is vanaf enkele tientallen meters van de bron.

De meest betrouwbare resultaten worden verkregen als de bodemverzwakking op basis van metingen wordt vastgesteld. Hiervoor kan een bron worden gebruikt die een sterke impuls uitzendt (zoals bijvoorbeeld een vuistvuurwapen). In Figuur 2.2 is de meetopstelling weergegeven. De twee lage microfoons registreren hierbij de interferentie tussen het directe en bodem-gereflecteerde signaal. De bovenste microfoon is op een hoogte geplaatst waarbij het directe geluid is te scheiden van het bodem-gereflecteerde geluid. Dit directe geluid wordt gebruikt om de gemeten interferentie te schalen met de bronsterkte. Merk op dat bij het gebruik van een vuurwapen de schietrichting loodrecht dient te zijn op het vlak van de bron en de microfoons zodat de emissiehoek van het wapen naar alle drie microfoons hetzelfde is.



Figuur 2.2 Opstelling voor het meten van de interferentie van het directe en bodem-gereflecteerde geluid om zo de bodemverzwakking te kunnen bepalen.

Tenminste 5 metingen dienen te worden uitgevoerd om een gemiddelde bodemverzwakking te bepalen.

Met behulp van een eenvoudig overdrachtsmodel (met twee geluidstralen) en een impedantiemodel voor de bodem worden metingen en berekeningen met elkaar in overeenstemming gebracht door de bodemparameters van het impedantiemodel aan te passen. Dit model wordt vervolgens gebruikt om de bodemverzwakking D_{bodem} te bepalen voor de meetopstelling zoals gebruikt voor de bepaling van de bronsterkte. Een verdere toelichting op deze methode kan gevonden worden in [6].

Een beschrijving van het overdrachtsmodel, het impedantiemodel en de gevonden bodemparameters is onderdeel van de vereiste rapportage.

Indien er geen geschikte bodemimpedantiemetingen beschikbaar zijn dient de bodemverzwakking met behulp van een overdrachtsmodel en een impedantiemodel te worden ingeschat. Hierbij wordt de bodem gemodelleerd als een half-oneindig, poreus medium, dat gekarakteriseerd wordt door een parameter σ , de nominale stromingsweerstand. Voor de berekening van de akoestische impedantie van de bodem kan bijvoorbeeld gebruik gemaakt worden van de empirische formules van Delany en Bazley [4]. De waarden van σ zijn voor verschillende bodemtypen in de literatuur te vinden. Mogelijk kan een verdere verbetering verkregen worden door iets andere keuzes voor de stromingsweerstand voor de specifieke meetomstandigheden. Een algemeen recept is hiervoor niet te geven, dit moet op basis van akoestische ervaring worden uitgevoerd. Deze methode is daarom alleen toepasbaar voor specialisten.

2.6 Bronsterktebepaling van baan-wapen-munitiecombinaties

2.6.1 Inleiding

Deze methode wordt gebruikt voor wapens waarmee op schietbanen wordt geschoten en waarbij de infrastructuur dusdanig complex is dat het geluid via meervoudige reflecties de baan verlaat en de reductie door de baan van het schietgeluid niet door het rekenvoorschrift [1] kan worden berekend. De invloed van de baan op de geluidemissie van de wapen-munitiecombinatie wordt in dit geval in de bronbeschrijving meegenomen. De meet- en analysemethode om de bronsterkte voor deze baan-wapen-munitiecombinatie vast te stellen wordt in deze paragraaf beschreven.

Voor banen langer dan 100 m is deze methode niet geschikt. In dit geval moet apart rekening gehouden worden met de geluidbelasting door kogel- en mondingsgeluid. Ook als er maar vanaf één positie geschoten wordt zullen meer fictieve bronposities gekozen moeten worden om op een adequate manier de geluidemissie van de baan te kunnen beschrijven. De meetopzet hangt dan zo van de plaatselijke situatie af dat hiervoor niet een eenduidig schema is te geven.

2.6.2 Vervangende puntbron

De door deze methode verkregen bronsterkte wordt toegewezen aan een vervangende puntbron van een schietbaanobject als onderdeel van het computermodel dat van de schietinrichting gemaakt is. Aangezien met de vervangende puntbron de baaneigenschappen al zijn verdisconteerd, worden deze daarbovenop niet nog een keer in het schietbaanobject meegenomen. Het

schietbaanobject is dus transparant voor de bronnen die aan dit object zijn gekoppeld. Dit geldt niet voor bronnen die niet aan dit object zijn gekoppeld. Op deze manier kunnen mogelijk optredende reflecties tegen dit schietbaanobject van het geluid van andere bronnen in rekening worden gebracht. Het schietbaanobject is dus niet transparant voor de overige bronnen.

Indien op de schietbaan op verschillende doelafstanden geschoten wordt en de schutters daartoe op andere posities zijn opgesteld, wordt de schietbaan door meer dan één vervangende puntbron gemodelleerd. Zo kan het bijvoorbeeld voorkomen dat op een 100 m schermenbaan ook op een doelafstand van 25 m geschoten wordt en de schutters niet meer onder de overkapping staan maar hiervoor dichterbij het doel zijn gegaan. Vaak zijn op dit punt extra voorzieningen aangebracht om de geluidemissie te beperken. Het schieten op dit 25 m punt wordt door een extra vervangende puntbron gemodelleerd.

Voor 25 m lange banen wordt uitgegaan van slechts één bronpunt op het midden van de baan (12,5 m voor de overkapt schietpositie). Ook als er over de lengte van de baan meer schietposities worden gebruikt wordt maar één vervangend bronpunt gebruikt. Al het gemeten schietgeluid voor alle schietposities wordt aan dat ene bronpunt toegerekend.

Voor langere banen wordt de positie van de vervangende bron op de lengteas van de baan gekozen boven de positie waar de schutters zich gemiddeld bevinden. Invloeden van een iets andere geluidemissie door een andere positie dwars op de baan (maar met dezelfde doelafstand) worden uitgemiddeld en dus verdisconteerd in één vervangende puntbron. De hoogte van deze fictieve bron(nen) is gelijk aan de hoogte van de omringende constructie van de baan. Bij bijvoorbeeld een schermenbaan is dit de hoogte van de wal of muur waarop de schermen zijn aangebracht.

2.6.3 Meetopstelling

De manier waarop de geluidemissie van een schermenschietbaan wordt gemeten hangt samen met de lengte van de baan en van het aantal fictieve geluidbronnen waarmee de schietbaan gemodelleerd wordt. Bij de metingen wordt ervan uitgegaan dat de banen symmetrisch zijn ten opzichte van de lengte as en dus ook de geluidemissie dezelfde symmetrie kent. De metingen hoeven daarom slechts aan één zijde van de baan uitgevoerd te worden.

De afstand van de microfoons tot de positie van het vervangende bronpunt dient tenminste 1,5 m maal de baanlengte te bedragen. Voor een 25 m baan komt dat neer op een meetafstand van tenminste 38 m, bij een 100 m baan op een meetafstand tot 150 m. Alle metingen worden uitgevoerd op een hoogte van 10 m. Gemeten wordt onder de volgende 7 hoeken ten opzichte van de schietrichting op de baan: 0°, 30°, 60°, 90°, 120°, 150° en 180° (0° is hier de schietrichting en 180° de achterwaartse richting).

Het heeft de voorkeur dat de metingen onder meewindomstandigheden worden uitgevoerd. Dit betekent dat de windrichting tijdens de metingen onder een hoek van plus en min 60 graden moet liggen ten opzichte van de verbindinglijn tussen het bronpunt en de microfoon. Als er eventuele obstakels zijn, kan hiervan worden afgeweken. Echter als de meetafstand tot de fictieve bronpositie groter is dan 50 m dan kunnen de metingen alleen onder meewindomstandigheden worden uitgevoerd. Dit betekent dat bij schietbanen die langer zijn dan 25 m de metingen veelal niet op één dag kunnen worden uitgevoerd aangezien dan niet alle

meetpunten binnen het meteoraam liggen. De definitie van het meteoraam is gegeven in de Handleiding meten en rekenen industrielawaai.

Aan de meetopstelling worden de volgende eisen gesteld:

- Er mogen geen reflecterende obstakels tussen de baan en de microfoons aanwezig zijn;
- Als er in diverse schiethoudingen wordt geschoten, moeten de emissiemetingen voor alle relevante houdingen worden uitgevoerd;
- Aangenomen wordt dat het schieten op willekeurige posities in de breedterichting van een baan kan plaatsvinden. Dit kan gesimuleerd worden door bij metingen alleen uit te gaan van schieten over het midden van de baan;
- Bij metingen aan 25 m banen verdient het aanbeveling om ook de meteorologische situatie via metingen vast te leggen. Bij langere banen is dat noodzakelijk. De windsnelheid en de temperatuur worden gemeten op 1,5; 5 en 10 m hoogte, de windrichting op 10 m en de luchtvochtigheid op 5 m;
- De gemiddelde windsnelheid op 10 m hoogte mag tijdens de metingen niet meer zijn dan 3 Beaufort of 5 m/s.

2.6.4 Aantal schoten

Per wapentype, schietlocatie en emissierichting moet een serie van minstens 20 schoten worden gemeten (meten in een aantal richtingen tegelijkertijd heeft hierbij de voorkeur).

2.6.5 Verwerking van de metingen

Het octaafbandspectrum van het lineaire geluidexpositieniveau L_E van het gemeten schietgeluid moet bepaald worden via spectrale analyse. Conform relatie 2.4 wordt een gemiddeld octaafbandspectrum bepaald. Dit spectrum dient vervolgens via de relatie 2.1 te worden omgerekend tot een bronnspectrum op basis van de afstand tussen de meetmicrofoon en het van toepassing zijnde bronpunt boven de baan. Als de bronsterktemetingen op een afstand groter dan 50 m worden uitgevoerd dient de bodemdemping D_{bodem} te worden bepaald op basis van de meteorologische omstandigheden tijdens de metingen. Eerst wordt hiertoe op basis van de meteorologische metingen een geluidsnelheidsprofiel $c(h)$ bepaald met behulp van onderstaande relatie:

$$c(h) = 20.064 \sqrt{T}(h) + u(h) \cdot \cos(\varphi - \theta - 180^\circ) \quad (2.5)$$

met

h	hoogte boven het plaatselijk maaiveld;
$T(h)$	absolute temperatuur gemeten in Kelvin;
$u(h)$	windsnelheid in m/s;
φ	windrichting tov geografisch noorden ($\varphi = 90^\circ$ is oostenwind);
θ	geluidvoortplantingsrichting tov geografisch noorden ($\theta = 90^\circ$ voor de geluidvoortplanting van west naar oost).

Vervolgens wordt bepaald welk profiel van de 27 geluidsnelheidsprofielen zoals deze in paragraaf 4.4.2 van [1] zijn gedefinieerd het meest overeenkomt met het gemeten geluidsnelheidsprofiel. Indien de metingen op een afstand kleiner dan 50 m vanaf het fictieve bronpunt zijn uitgevoerd kan het neutrale profiel (profiel 11) hiervoor gehanteerd worden.

De bodemdemping wordt vervolgens bepaald voor het gekozen profiel zoals dat in paragraaf 4.4.2 in [1] is beschreven.

2.7 Rapportage bronsterktemetingen

De rapportage van de bronsterktemetingen dient minimaal de volgende onderdelen te bevatten:

- Eenduidige beschrijving van de wapens en de bijbehorende munitie:
 - Van het wapen het kaliber, type en merk en eventueel serienummer, bij voorkeur ook een foto van het wapen;
 - Van het munitietype (merk en type) het gewicht, lengte en maximale diameter van de kogel en de hoeveelheid voortdrijvende lading, bij voorkeur ook een foto van de munitie;
 - Uittreesnelheid van de kogel.
- Wanneer bij een schermenbaan wordt gemeten, worden de akoestisch relevante eigenschappen van de baan in de rapportage opgenomen inclusief tekeningen of foto's van de baan.
- Beschrijving van de gehanteerde meetmethode
- Beschrijving van de meetopstelling:
 - posities en hoogte van wapen en microfoon
 - beschrijving van de bodem
- Beschrijving van de gebruikte meetapparatuur
- Beschrijving van de gemeten meteorologische waarden
- Beschrijving van de analyse-methode
 - Methode voor vaststelling van de bodemdemping (voor zover relevant)
- Voorbeelden van enkele tijdsignalen
- Statistische gegevens per meetserie van de gemeten geluidniveaus
- Spectra van de gemeten geluidexpositieniveaus
- Berekende bronniveaus in octaafbanden

3 Modelleren van schietbanen

3.1 Inleiding

Bij buitenschietbanen wordt onderscheid gemaakt tussen banen in het vrije veld en banen waarbij het schieten gedeeltelijk wordt afgeschermd zoals bij schermenschietbanen.

Enkele speciale civiele buitenschietbanen worden op een geheel andere manier gebruikt dan militaire banen. Denk hierbij bijvoorbeeld aan kleiduvenschietbanen. Deze worden alleen door civiele schietverenigingen gebruikt. Op dergelijke banen kan de schietrichting sterk variëren. Dit vraagt een speciale modellering om betrouwbaar en reproduceerbaar de geluidbelasting te kunnen berekenen. In dit hoofdstuk wordt beschreven hoe diverse soorten buitenschietbanen zoals schermenbanen, kleiduivenbanen en trapbanen gemodelleerd kunnen worden.

3.2 Schermenschietbanen

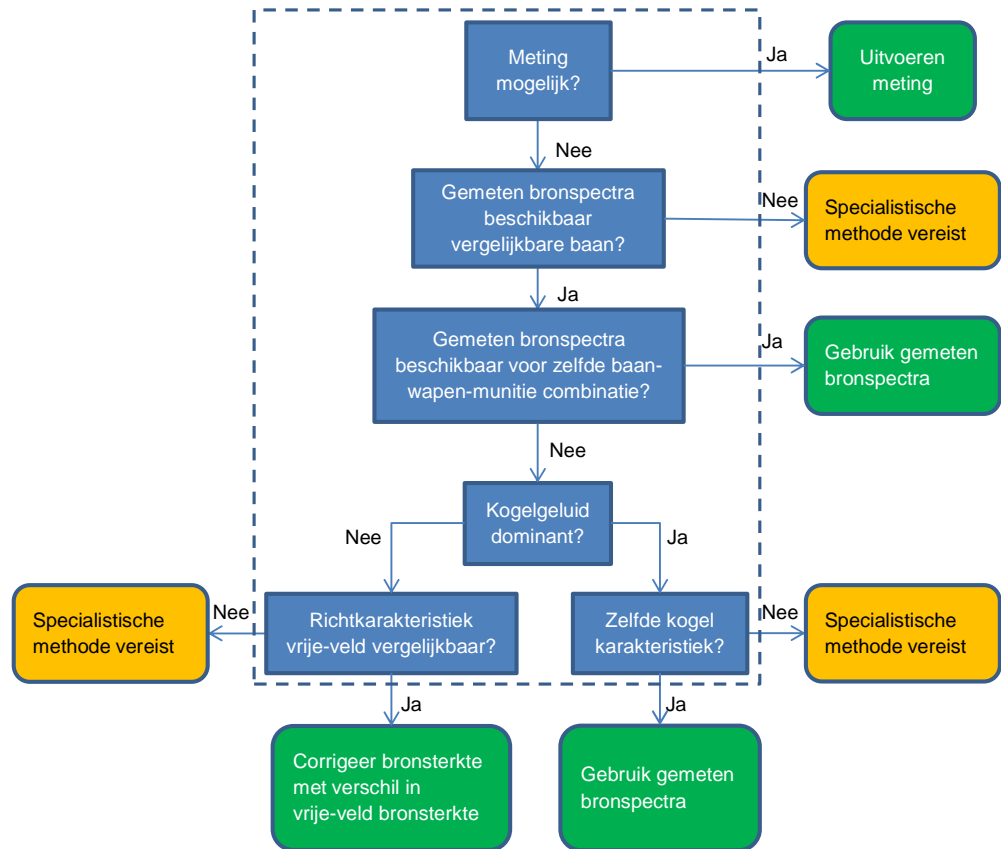
Globaal genomen zijn er schermenschietbanen met lengten van 25 m, 100 m, 200 m en 300 m. Op deze banen wordt vaak niet alleen van onder de overkapping geschoten, maar ook buiten de overkapping op locaties dicht bij de doelvoorstelling. De geluidemissie buiten de overkapping is anders dan de emissie bij het schieten onder de overkapping. Voor de verschillende locaties van waaraf geschoten kan worden dient daarom in het computermodel een fictief bronpunt te worden gehanteerd. Dit bronpunt wordt op dezelfde hoogte gelegd als de hoogte van de wallen (of muren) van de zijkant van een schermenschietbaan. Het is niet noodzakelijk om verschillende punten dwars op de baan te positioneren. Er kan volstaan worden met één bronpunt op de lengte as van de baan.

Op de banen wordt zowel staand als liggend geschoten of in een daar tussenliggende schiethouding. Het fictieve bronpunt voor de verschillende schiethoudingen ligt echter wel op dezelfde hoogte als hiervoor omschreven. Om rekentijd te sparen kan een gemiddeld bronspectrum voor de verschillende schiethoudingen worden gehanteerd gewogen naar de verhouding waarin de verschillende schiethoudingen worden toegepast.

3.2.1 *Bepalen ontbrekende bronsterkten voor een schermenschietbaan*

Wanneer brongegevens van wapens op een bepaalde schermenschietbaan ontbreken zijn er verschillende methoden beschikbaar om de benodigde brongegevens te verkrijgen. In onderstaande figuur is een stroomschema weergegeven welke stappen hiertoe doorlopen moeten worden. Het heeft de voorkeur om de bronsterkte door metingen vast te stellen. Als dit niet mogelijk is kan op een relatief eenvoudige manier een schatting gedaan worden van de bronsterkte. Men moet zich echter wel realiseren dat dit een schatting is en minder nauwkeurige resultaten geeft dan een meting. Niet in alle gevallen is een eenvoudige oplossing mogelijk. Er is dan een specialistische methode vereist om de bronsterkte te bepalen. In deze gevallen dient dan gebruik gemaakt te worden van geavanceerde rekenmodellen. Het ligt buiten de scope van deze toelichting om hier een receptmatige oplossingsrichting voor aan te geven. Het vereist bovendien een gedegen akoestische kennis om met deze modellen om te gaan.

De verschillende stappen van onderstaand stroomschema worden hieronder toegelicht.



Figuur 3.1 Stroomschema voor de bepaling van de bronsterkte van een baan-wapen-munitiecombinatie.

- **Meting mogelijk?**

Indien metingen mogelijk zijn dienen de brongegevens gebaseerd te worden op geluidmetingen. In paragraaf 2.6 is aangegeven hoe hieruit de brongegevens bepaald kunnen worden.

- **Gemeten bronspectra beschikbaar van een vergelijkbare baan?**

Alleen van vergelijkbare banen kunnen de brongegevens gebruikt worden³. In hoeverre banen met elkaar akoestisch vergelijkbaar zijn, is alleen kwalitatief aan te geven. Er zijn vele uitvoeringsvormen van schermenbanen die grote verschillen in geluidemissie laten zien. Een analyse in hoeverre de banen vergelijkbaar zijn zal daarom op basis van bouwtekeningen en getroffen akoestische maatregelen moeten plaatsvinden. Voor deze inschatting is deskundige akoestische kennis noodzakelijk. Voor deze vergelijking worden wel hieronder enige handvatten aangegeven. De volgende aspecten spelen hierbij een rol:

- Voor de geluiduitstraling van de baan naar achteren toe is de kapconstructie met name essentieel. Er worden vele uitvoeringsvormen gebruikt, waarbij de lengte en het materiaal van de kapconstructie nogal kan variëren. Bij de vergelijking dient na te worden gegaan of de massa van de kap in vergelijkbare mate het geluid isoleert. Daarnaast is het ook van belang of de lengte van de kap gelijk is, hoe hoog deze boven de baanvoet is aangebracht

³ Er zijn vooralsnog zeer beperkt geschikte metingen beschikbaar.

- en of er nog voorzieningen aan het einde van de kap zijn aangebracht om diffracties aan de rand van de kap zoveel mogelijk te reduceren.
- De achterzijde van de baan zal veelal gesloten zijn, maar er zijn ook voorbeelden dat deze aan de achterkant open is. Indien dit het geval zal dit een geheel andere uitstraling naar achteren toe geven. Aandachtspunt is ook of de deur van voldoende kwaliteit is en er geen geluidlekken zijn langs de deurranden.
 - De schermen, die boven de baan zijn aangebracht, zijn bedoeld om te voorkomen dat de kogel de baan verlaat. Tegen deze schermen weerkaatst het geluid als deze niet met gedegen akoestisch absorptiemateriaal zijn bekleed. Bij verschillen in uitvoering en akoestische afwerking van deze schermen zal dit (met name naar achteren toe) een andere uitstraling geven.
 - Het materiaal van de baan is bij de vergelijking ook van belang aangezien een gedeelte van het geluid via een bodemreflectie de baan verlaat. Dit is met name van belang voor de geluiduitstraling naar opzij en naar voren.
 - De zijanten van de baan kunnen op verschillende manieren zijn uitgevoerd. Soms zijn het aarden wallen, maar ook komen verticale betonnen wanden voor. De hoogte, en het materiaal waar ze van vervaardigd zijn en of bij wanden wel of niet absorptiemateriaal is aangebracht, bepaalt mede de emissie van het geluid. Het aanbrengen van absorptiemateriaal is van belang als de zijwanden verticaal zijn geplaatst. Bij een verticale zijwand kan kogelgeluid via een reflectie tegen de binnenwand tot hogere geluidniveaus leiden als er geen gedegen akoestische voorzieningen tegen de binnenwand zijn aangebracht. Dat geldt in principe ook voor het mondingsgeluid, maar dat is dan wel afhankelijk van de afstand van de schietpositie tot een mogelijk reflectiepunt op de zijwand. Deze afstand kan kort zijn als de schietpositie zich buiten de overkapping bevindt. Verschillen in uitvoeringsvorm kunnen dan grote verschillen te zien geven.
 - Zoals hiervoor is aangegeven, kan op de meeste schermenbanen vanaf verschillende doelafstanden worden geschoten. De schutters lopen dan meestal naar voren en schieten dan op kortere afstand naar dezelfde doelpositie. Vaak zijn op deze naar voren geschoven schietposities extra akoestische voorzieningen boven de schietposities aangebracht. Verschillen in uitvoeringsvorm kunnen grote verschillen in geluidemissies geven.
- **Gemeten bron spectra beschikbaar voor zelfde baan-wapen-munitie combinatie?**
Indien van een vergelijkbare baan brongegevens beschikbaar zijn voor dezelfde wapen-munitie combinatie dan kunnen deze rechtstreeks gebruikt worden voor het computermodel.
 - **Kogelgeluid dominant?**
Indien van een vergelijkbare schermenbaan alleen voor andere wapen-munitiecombinaties bronsterktegegevens beschikbaar zijn moet, om te bepalen of deze toegepast kunnen worden voor de gevraagde baan-wapen-munitie combinatie, eerst nagegaan worden of bij de schermenbaan de geluidemissie door mondingsgeluid of kogelgeluid gedomineerd wordt. Dit bepaalt in hoeverre correcties moeten worden toegepast op de beschikbare bronsterkte gegeven de verschillen in kogelgeluid of mondingsgeluid zoals deze in het vrije veld optreden. Kogelgeluid is bepalend als verregaande maatregelen getroffen zijn om bij het schieten onder de overkapping het mondingsgeluid af te schermen. Gedacht moet dan worden aan een verlengde overhuiving tot meer dan 16 m

voor het schietpunt en waarbij de voorkant van de overhuiving niet meer dan 3 m boven de baanlijn uitsteekt, zodat er slechts een beperkte openingshoek is voor het mondingsgeluid. Kogelgeluid is niet dominant voor schietposities die voor de overkapping zijn gepositioneerd. Als mondingsgeluid een rol speelt, kunnen correcties op de beschikbare brongegevens (van de baan-wapen-munitie combinatie) worden toegepast op basis van de vrije veld bronsterkte van de gevraagde wapen-munitiecombinatie (ervan uitgaande dat deze wel beschikbaar is). Als kogelgeluid dominant is dient nagegaan te worden of het kogelgeluid in het vrije veld vergelijkbaar is. Hieronder wordt hier verder op ingegaan.

- **Richtkarakteristiek vrije-veld vergelijkbaar?**

De vrije-veld bronsterkte van wapen-munitiecombinaties kent over het algemeen een sterke 'voor-achter verhouding'. Naar voren toe is de emissie over het algemeen meer dan 10 dB sterker dan naar achteren. Indien de richtkarakteristieken vergelijkbaar zijn van zowel de vrije-veld bronsterkte van de gevraagde wapen-munitiecombinatie als de wapen-munitiecombinatie waarvoor bronsterktegegevens van een vergelijkbare baan voorhanden zijn, kan de bronsterkte van de gevraagde baan-wapen-munitie combinatie bepaald worden.

- **Zelfde kogel karakteristiek?**

Indien kogelgeluid dominant is, dient vergeleken te worden of het kogelgeluid in het vrije veld van de genoemde wapen-munitiecombinaties vergelijkbaar is in niveau en in richtwerking. In [1] is aangegeven welke parameters een rol spelen voor het niveau van het kogelgeluid. Ook kan gebruik gemaakt worden van het programma ShowKog waarmee inzicht kan worden verkregen in verschillen in kogelgeluid.

- **Corrigeer meting met verschil in vrije veld bronsterkte**

Om vervolgens de gevraagde bronsterkte te bepalen wordt het verschil in vrije-veld bronsterkte van de eerder genoemde twee wapen-munitiecombinaties gebruikt als correctie op de bronsterkte van de beschikbare baan-wapen-munitiecombinatie.

3.3 Kleiduivenschietbanen

De geluidbelasting rondom een kleiduivenschietbaan wordt mede bepaald door de schietposities en schietrichtingen op de baan. Voor drie gangbare typen kleiduivenschietbanen wordt onderstaand ter illustratie beschreven hoe de geluidbelasting rondom een kleiduivenschietbaan kan worden bepaald. Het betreft hier:

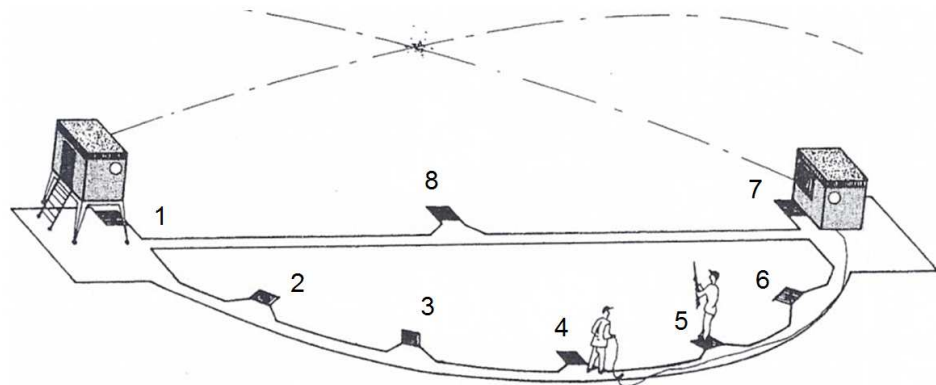
- Een skeetbaan, met 8 schietposities en 2 werpmachines,
- Een trapbaan, met 10 schietposities en centrale werpmachine(s),
- Een enkelvoudige oefenbaan. Dat is een baan met doelen die onder de 1,0 m hoogte blijven, zoals bijvoorbeeld een hazenbaan of een 'lopend varken'.

3.3.1 Skeetbaan

In Figuur 3.2 is een skeetbaan weergegeven met aan de linker en rechter zijde de werpmachine. Op een halve cirkel staan de 7 schietposities. Schietpositie nummer 8 ligt tussen de werpmachines in.

Om de geluidbelasting rondom de baan te bepalen wordt in het computermodel de baan gemoduleerd met 8 schietposities. Het totale aantal schoten wat op deze

baan verschoten wordt, wordt evenredig verdeeld over de 8 schietposities. Voor de 7 schietposities op de halve cirkel wordt een horizontale schietrichting gemoduleerd in de richting van het middelpunt. De keuze voor een horizontale schietrichting is gebaseerd op een maximale elevatie van het wapen van 14 graden en een nagenoeg gelijkblijvende bronsterkte tussen 0 en 14 graden. Voor schietpositie 8 is de elevatie van het wapen veel groter, en wordt er zowel naar de linker als rechter zijde geschoten. Voor deze schietpositie wordt uitgegaan van een uniforme bronsterkte rondom het wapen, waarbij de bronsterkte voor de schietrichting van 90 graden wordt gebruikt. De geluidbelasting rondom de baan is vervolgens de optelsom van de bijdrage van de 8 schietposities.



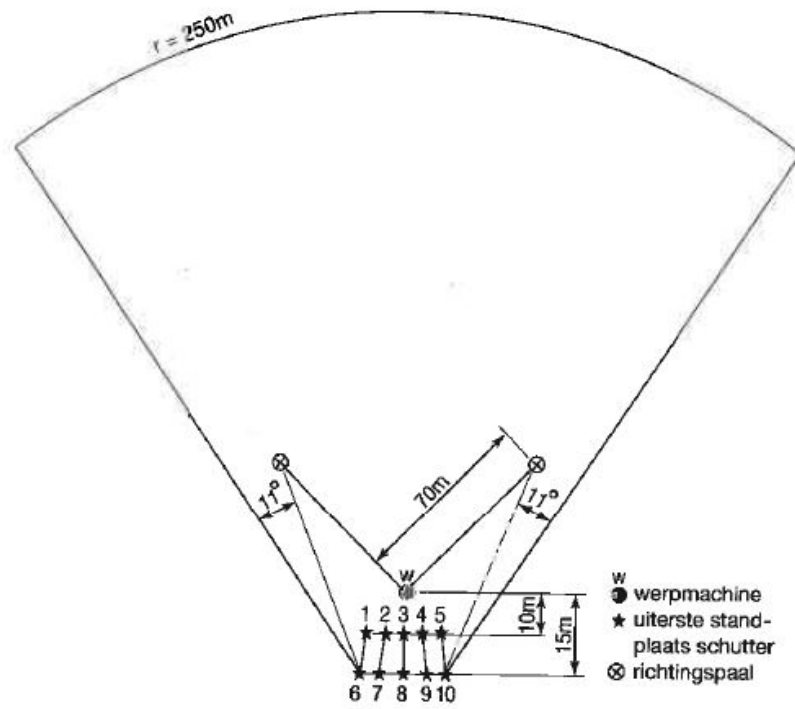
Figuur 3.2 Schematische weergave van een skeetbaan, met 2 werpmachines en 8 schietposities, waarvan één centrale schietpositie tussen de werpmachines.

3.3.2 Trapbaan

Voor een trapbaan, zoals weergegeven in Figuur 3.3, zijn er 10 mogelijke schietposities en die als zodanig in het computermodel worden gemodelleerd. De kleiduiven uit de werpmachine(s) hebben een horizontale richting tussen maximaal -45 en $+45$ graden (met 0 graden rechtstreeks van de schutter af). De onderlinge afstanden tussen de schietposities zijn gering (typerend kleiner dan 10 meter), zodat er één centrale schietpositie kan worden gekozen. Voor de schietrichtingen wordt in het computermodel uitgegaan van 3 horizontale richtingen: -30 graden, 0 graden en $+30$ graden. Het totale aantal schoten wordt evenredig over deze richtingen verdeeld. De maximale elevatie van het wapen is 14 graden zodat in het computermodel, net als voor de skeetbaan, kan worden uitgegaan van horizontaal schieten. De geluidbelasting rondom de baan is vervolgens de optelsom van de bijdrage van de 3 verschillende schietrichtingen.

3.3.3 Enkelvoudige oefenbaan

Voor een enkelvoudige oefenbaan, waar het doel onder de 1,0 meter blijft, kan voor het computermodel worden uitgegaan van horizontaal schieten. Voor bijvoorbeeld een oefenbaan met een "lopend varken" beweegt het doel in principe van rechts naar links over de baan op een vaste afstand van de schutter. De positie van de schutter op de baan ligt vast maar de schietrichting kan enigszins variëren. Voor het bepalen van de geluidbelasting rondom de baan kan worden uitgegaan van een gemiddelde schietrichting naar het centrale punt van het traject waarover zich het doel beweegt.



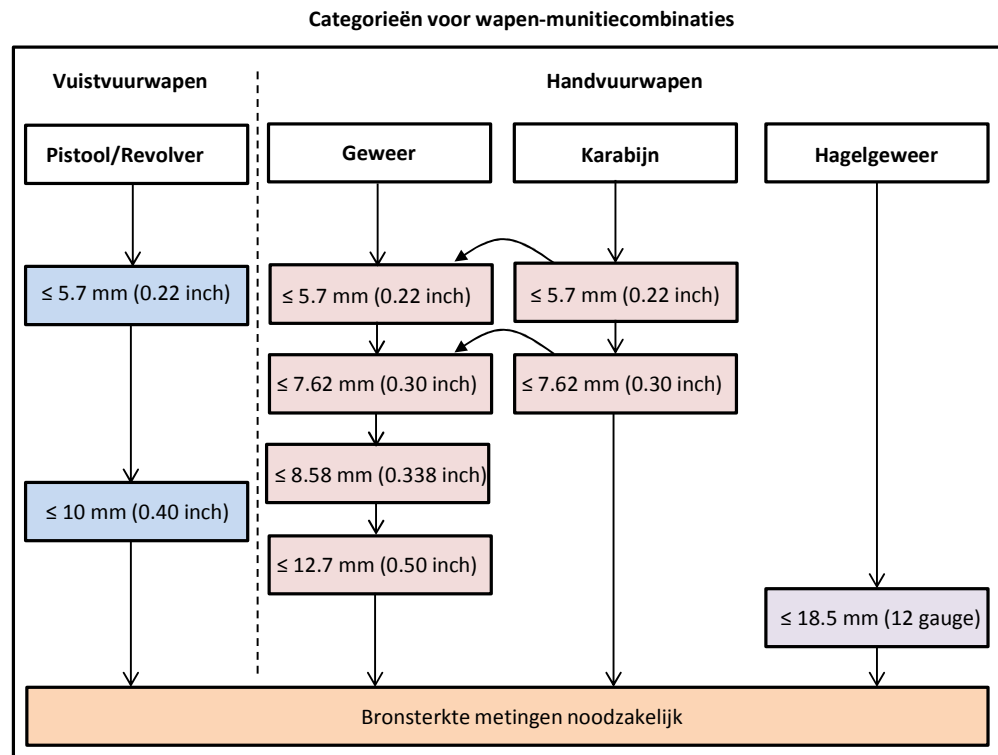
Figuur 3.3 Schematische weergave van een trapbaan, met 1 werpmachine en 10 schietposities.

4 Gebruik van wapencategorieën om de bronsterkte te bepalen

Indien voor een licht wapen (hand- of vuistvuurwapen) geen geschikte geluidmetingen beschikbaar zijn om de bronsterkte rondom te bepalen, kan gebruik gemaakt worden van de bronsterktegegevens van één van de volgende vier wapencategorieën:

1. Vuistvuurwapen;
2. Geweer (handvuurwapen);
3. Karabijn (handvuurwapen);
4. Hagelgeweer.

Een karabijn ('klein geweer') kan hierbij worden gezien als een geweer met een relatief korte loop. Voor bijvoorbeeld een handvuurwapen waarvan ook een versie met een kortere loop bestaat, kan worden aangenomen dat het om een karabijn gaat.



Figuur 4.1 Stroomschema voor de bepaling van de bronsterkte van een wapen-munitiecombinatie. Voor elk vak is een tabel beschikbaar met bronsterktegegevens.

Het bovenstaande schema geeft een overzicht van de indeling in kaliber voor elk van de vier categorieën. Voor elk kaliber is een tabel met bronsterkten gegeven. Voor grotere kalibers zijn bronsterkte metingen nodig.

Het schema is als volgt te gebruiken. Voor een vuistvuurwapen, zoals een pistool of revolver, wordt bepaald of het kaliber kleiner of gelijk is aan 5.7 mm. Zo ja, dan is er voor dat wapen een tabel gegeven met daarin de bronsterkte per octaafband en per emissierichting. Voor een kaliber tot en met 10 mm is een andere tabel van

toepassing. Voor grotere kalibers zijn bronsterkte metingen noodzakelijk. Voor een geweer, karabijn en hagelgeweer is eenzelfde methodiek van toepassing, waarbij voor het hagelgeweer één kaliber is gegeven.

De bronsterkten voor deze categorieën worden in de volgende paragrafen in tabelvorm gegeven. Hierbij is op basis van bestaande metingen aan verschillende wapens het hoogst optredende niveau per wapen en per hoek bepaald. De tabel vermeldt ook de basisgegevens voor de kogel. Indien voor een wapen-munitiecombinatie afwijkingen t.o.v. deze basisgegevens bekend zijn, is een correctie van de tabelgegevens mogelijk (zie paragraaf 4.5).

4.1 Vuistvuurwapen (pistool / revolver)

Voor het pistool wordt onderscheid gemaakt in klein kaliber, tot en met 5.7 mm (0.22 inch) en groot kaliber tot en met 10 mm (0.40 inch). De bronsterkte voor beide kalibers is weergegeven in Tabel 4.1. Dit is ongewogen, spectraal, en gebaseerd op de meetopzet zoals weergegeven in Figuur 2.1.

Voor een pistool of revolver met een kaliber groter dan 10 mm zijn metingen noodzakelijk.

Tabel 4.1. Bronsterkte voor categorie pistool.

Pistool of revolver t/m 5.7 mm (0.22 inch): bronsterkte rondom in dB									
Basisgegevens voor kogel: 2.6 gram en 715 m/s⁴									
Hoek\Freq.	16	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000
0	96	104	113	122	130	138	139	132	129
30	97	104	112	121	130	138	139	132	129
60	100	104	110	117	125	132	133	126	125
90	100	104	108	113	119	124	126	126	122
120	98	101	104	109	114	120	122	118	116
150	93	96	100	105	110	116	114	120	114
180	95	98	101	105	110	115	114	120	113
Pistool t/m 10 mm (0.40 inch): bronsterkte rondom in dB									
Basisgegevens voor kogel: 7.5 gram en 375 m/s									
Hoek\Freq.	16	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000
0	103	107	114	122	130	136	135	135	133
30	100	106	113	122	130	136	135	135	132
60	97	102	109	118	127	133	134	132	125
90	99	102	107	114	123	130	131	127	122
120	95	99	103	110	118	125	126	125	121
150	91	95	99	107	115	121	123	122	119
180	91	94	98	107	115	120	122	121	119

De bronsterkten uit Tabel 4.1 kunnen worden gecorrigeerd voor afwijkende gegevens voor de kogelsnelheid en kogelgewicht door de toepassing van ISO

⁴ Het is aan te raden voor deze categorie metingen uit te voeren met meer representatieve wapens. Hierbij kan onderscheid worden gemaakt tussen randvuur munitie en centraalvuur munitie (luider). De tabel is nu gebaseerd op metingen aan een machinepistool met centraalvuur munitie en een hoge kogelsnelheid.

17201-2 (voor type pistool). Een voorbeeld hiervan is gegeven aan het einde van dit hoofdstuk.

4.2 Geweer

Voor een geweer wordt onderscheid gemaakt in 4 kalibers

1. tot en met 5.7 mm (0.22inch),
2. daarboven, tot en met 7.62 mm (0.300 inch),
3. daarboven, tot en met 8.58 mm (0.338 inch),
4. daarboven, tot en met 12.7 mm (0.50 inch).

De bronsterkte voor deze kalibers geweren is weergegeven in Tabel 4.2. Dit is ongewogen, spectraal, en gebaseerd op metingen zoals weergegeven in Figuur 2.1.

Tabel 4.2 Bronsterkte voor categorie geweer.

Geweer t/m 5.56 mm (0.22 inch): bronsterkte rondom in dB									
Basisgegevens voor kogel: 4.1 gram en 900 m/s									
Hoek\Freq.	16	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000
0	111	120	128	136	144	149	144	141	136
30	112	120	128	136	144	149	144	141	136
60	109	117	124	132	140	145	141	137	133
90	109	115	121	127	134	138	139	135	133
120	103	109	116	122	129	133	131	131	129
150	99	106	112	119	125	126	131	130	127
180	99	106	112	119	125	126	131	130	127
Geweer t/m 7.62 mm (0.300inch): bronsterkte rondom in dB									
Basisgegevens voor kogel: 10 gram en 840 m/s									
Hoek\Freq.	16	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000
0	126	131	137	142	148	147	144	141	138
30	125	131	136	142	148	146	144	141	138
60	122	127	132	137	142	145	143	139	135
90	116	121	127	133	138	141	140	137	134
120	114	119	124	129	134	137	137	135	132
150	111	116	120	125	130	132	133	130	128
180	112	116	120	125	130	132	132	130	126
Geweer t/m 8.58 mm (0.338inch): bronsterkte rondom in dB									
Basisgegevens voor kogel: 13 gram en 925 m/s									
Hoek\Freq.	16	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000
0	111	120	129	138	144	144	138	136	137
30	112	121	130	138	144	144	138	137	137
60	113	119	128	136	142	141	139	136	133
90	110	119	128	135	141	142	137	134	131
120	108	117	126	134	140	140	136	133	131
150	108	117	125	133	138	139	137	133	130
180	108	116	125	133	137	138	137	133	130

Vervolg Tabel op volgende pagina

Geweer t/m 12.7 mm (0.50inch): bronsterkte rondom in dB									
Basisgegevens voor kogel: 40 gram en 860 m/s									
Hoek\Freq.	16	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000
0	122	132	141	149	152	142	146	145	140
30	122	132	141	149	152	143	146	145	140
60	120	129	138	146	149	149	143	141	136
90	116	125	133	141	144	143	141	136	134
120	112	120	128	135	138	138	136	133	131
150	109	117	125	132	135	136	136	132	128
180	108	117	125	132	135	135	137	133	129

4.3 Karabijn

Voor een karabijn wordt onderscheid gemaakt in 2 kalibers

1. tot en met 5.56 mm (0.22inch),
2. tot en met 7.62 mm (0.300inch),

Voor een karabijn met een kaliber groter dan 7.62 mm worden metingen aanbevolen.

De bronsterkte voor een karabijn wordt bepaald op basis van de bijbehorende tabel voor geweren. Echter, voor de hoeken 0 en 30 graden is 1 dB verhoging van toepassing, voor de hoeken 60, 90 en 120 is dat 2 dB, en voor de hoeken 150 en 180 graden is 3 dB verhoging van toepassing.

De bronsterkten voor geweer en karabijn uit Tabel 4.2 kunnen worden gecorrigeerd voor afwijkende gegevens voor de kogelsnelheid en kogelgewicht door de toepassing van ISO 17201-2 (voor type geweer). Een voorbeeld hiervan is gegeven aan het einde van dit hoofdstuk.

Sommige klein kaliber wapens (5.56 mm / 0.22inch) maken gebruik van zogenaamde randvuur munitie, in tegenstelling tot de gangbare centraalvuur munitie. De bronsterkte van deze wapen-munitiecombinatie kan aanzienlijke lager zijn. Hiervoor zijn echter (nog) geen geschikte metingen beschikbaar.

4.4 Hagelgeweer

Voor een hagelgeweer wordt uitgegaan van één kaliber, 18.5 mm (12 gauge), en een looplengte van 71 cm. Indicatieve geluidmetingen rondom het wapen tonen aan dat voor een langere looplengte van 90 cm circa 3 dB lagere geluidniveaus optreden. De diameter van de hagelkorrels geeft weinig verschil in de geluidniveaus. Diameters variëren van 3 tot 2 mm (nr. 5 tot 9).

De bronsterkte wordt nu bepaald door de massa van de hagellading (24 of 28 gram) en de hoeveelheid kruit ("standard" ST of "high velocity" HV). Dit resulteert in vier categorieën voor het hagelgeweer.

Er zijn vooralsnog geen geschikte meetgegevens beschikbaar voor deze categorieën. Als eerste indicatie is de bronsterkte voor een hagelgeweer, zoals gebruikt door Defensie, weergegeven in Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Bronsterkte voor categorie hagelgeweer.

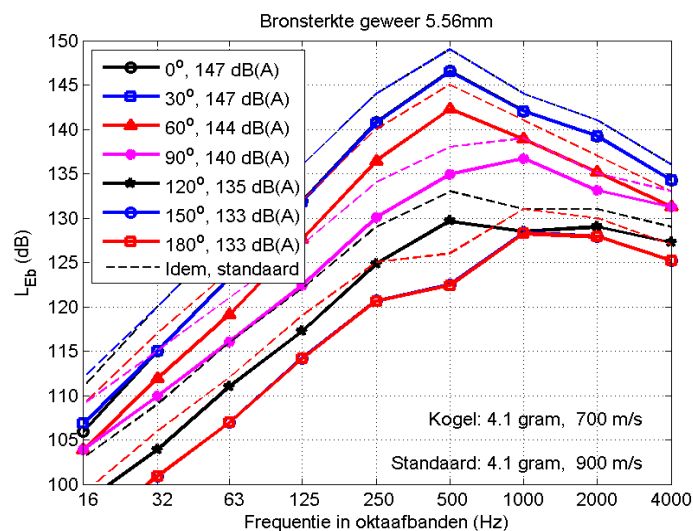
		Hagelgeweer 18.5 mm (12 gauge): bronsterkte rondom in dB								
		Basisgegevens voor patroon: standaard kruut (ST), 28 gram								
Hoek\Freq.		16	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000
	0	110	119	127	134	142	143	140	137	133
	30	109	118	126	135	140	143	137	137	132
	60	106	114	122	129	133	134	135	134	130
	90	103	109	117	123	127	127	131	132	127
	120	103	108	114	119	126	126	128	128	125
	150	97	100	108	115	123	120	125	123	121
	180	98	101	106	115	121	119	122	124	118

4.5 ISO correctie bij afwijkende gegevens voor de kogel

Voor pistool, geweer en karabijn is een correctie van de bronsterkte mogelijk als er andere meetgegevens beschikbaar zijn voor de kogelsnelheid en het gewicht dan de basisgegevens zoals vermeld in Tabel 4.1 en Tabel 4.2. De correctie mag worden toegepast als de afwijking 10% of meer is voor de kogelsnelheid en/of 20% of meer voor het gewicht. De procedure hiervoor is als volgt.

Eerst wordt de bronsterkte $L_{Eb}(basis)$ rondom het wapen bepaald volgens ISO 17201-2 [5] met de basisgegevens voor de kogel, als functie van de emissierichting en de octaafband. Vervolgens wordt de bronsterkte $L_{Eb}(afwijkend)$ bepaald met de gegevens van de kogel voor de te bepalen wapen-munitiecombinatie. Het verschil tussen beide bronsterkten, in dB per hoek en per octaafband, wordt tenslotte toegepast op de relevante bronsterkte uit Tabel 4.1 of Tabel 4.2.

In Figuur 4.2 is een voorbeeld getoond voor een 5.56 mm geweer met een lagere kogelsnelheid (700 m/s), maar met een niet afwijkend kogelgewicht (4.1 gram). Het figuur toont tevens de bronsterkte volgens Tabel 4.2 voor een 5.56 mm geweer. De A-gewogen afname per hoek is ongeveer 2 dB(A) door de lagere kogelsnelheid.



Figuur 4.2. Ongewogen bronsterkte in octaafbanden voor een 5.56 mm geweer met een afwijkende kogelsnelheid t.o.v. de gemeten bronsterkte met de standaard kogelsnelheid. Correctie op basis van ISO 71201-2 en de kinetische energie van de kogel.

5 Referenties

- [1] “Rekenvoorschrift Schietgeluid”, Bijlage 9 bij het activiteitenbesluit
- [2] “Acoustics – Noise from shooting ranges – Part 1: determination of muzzle blast by measurements”, ISO 17201-1:2005
- [3] “Handleiding meten en rekenen industrielawaai”, 1999
- [4] M.E. Delany and E.N. Bazley, “Acoustical properties of fibrous absorbent materials”, Applied Acoustics, Volume 3, Issue 2, April 1970, Pages 105–116
- [5] “Acoustics – Noise from shooting ranges – Part 2: Estimation of muzzle blast and projectile sound by calculation”, ISO 17201-2:2006
- [6] “Ground surfaces: Determination of the acoustic impedance”, Nordtest method NT ACOU 104, 1999.
Zie ook: “Revision of NT ACOU 104 for the Measurement of the Acoustic Impedance of Ground”, Hans Jonasson, SP & Svein Storeheier, SINTEF, 2006

6 Ondertekening

Den Haag, 17 februari 2015

TNO

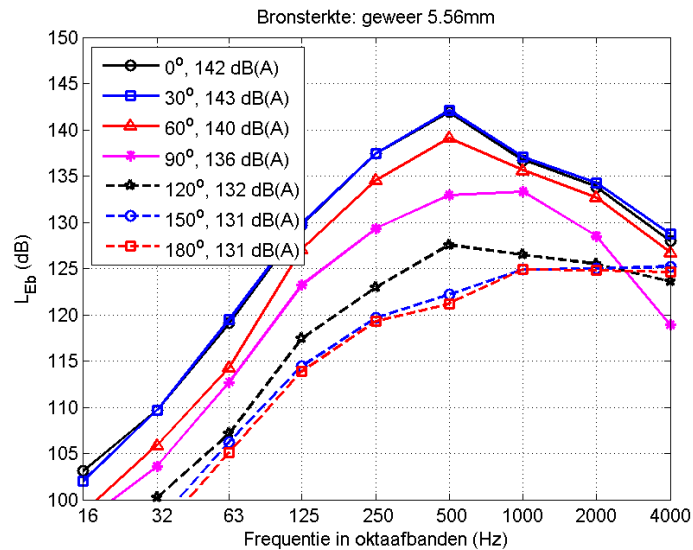
Coen Ort

Afdelingshoofd

F.J.M. van der Eerden
F.H.A. van den Berg
D. Kaptein
Auteurs

A Toelichting op gemaakte keuzes voor de categorieënindeling

Merk op dat voor supersone munitie het kogelgeluid wordt berekend. Daarvoor is o.a. de startsnelheid van de kogel, de vertraging tijdens de vlucht en de geometrie van de kogel van belang.



Figuur A.1 Bronsterkte L_{Eb} van een 5.56mm geweer in het vrije veld, weergegeven per emissierichting en per octaafband. De bronsterkten zijn bepaald op basis van metingen rondom het wapen.

In Figuur A.1 is als voorbeeld de gemeten bronsterkte van een 5.56mm geweer weergegeven, voor de hoeken 0, 30, 60, ... 180 graden ten opzichte van de schietrichting. En voor de 9 octaafbanden van 16 tot en met 4000 Hz. Het bronniveau van de mondingsknaal is hier weergegeven als het ongewogen geluidexpositie-niveau $L_{Eb}(f)$.

In de legenda is tevens het totale A-gewogen niveau weergegeven. De bronsterkte in de schietrichting is hier ruim 10 dB(A) groter dan achterwaarts. Deze sterke richtingsafhankelijkheid is voor veel hand- en vuistvuurwapens te zien.

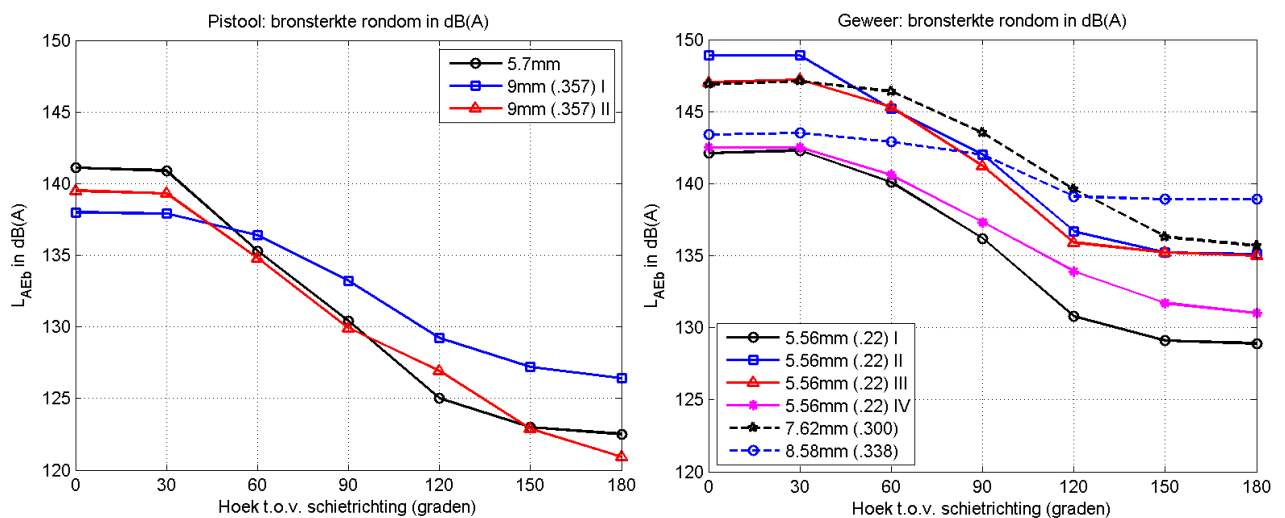
De geluidbelasting op een immissiepunt, volgens het Rekenvoorschrift buitenschietbanen, maakt gebruik van het totale A-gewogen geluidexpositie-niveau van een enkel schot: L_{AE} . Hierbij wordt het bronniveau gecorrigeerd voor o.a. de geluidoverdracht (spectraal) en het impulsmatige karakter van het schietgeluid. Maar er wordt ook gekeken naar laagfrequente componenten in het schietgeluid, waarbij het verschil tussen het A- en C-gewogen geluidniveau wordt gebruikt.

In Figuur A.2 en Figuur A.3 zijn voorbeelden weergegeven van bronsterkten in dB(A), op basis van geluidmetingen, rondom het wapen voor respectievelijk: een pistool, een geweer, een karabijn (korte versie van geweer) en van een

hagelgeweer Het kaliber van het wapen is in de legenda aangegeven in mm en inch.

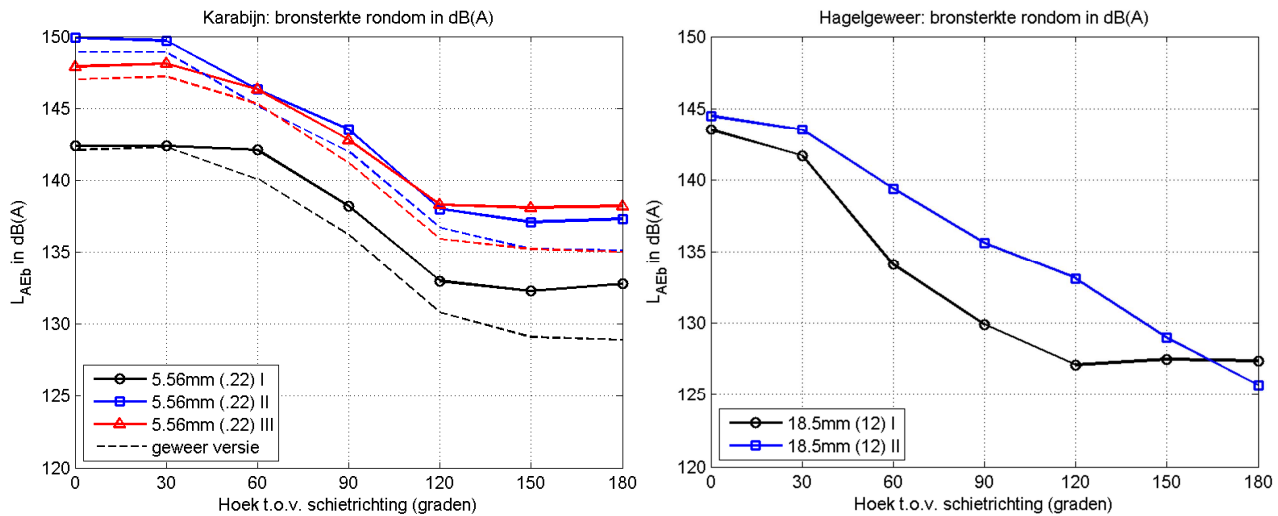
Deze metingen tonen aan dat de verhouding tussen voor- en achterzijde van het wapen in veel gevallen ruim boven de 10 dB(A) is.

Voor het geweer zijn 4 verschillende typen met een 5.56 mm kaliber weergegeven. Waarbij een vergelijkbare afname met toenemende hoek is te zien, maar waarbij een niveauverschil van 10 dB(A) optreedt tussen wapen I en wapen II.



Figuur A.2 Bronsterkte in dB(A) rondom een wapen. Links: voorbeeld van metingen voor een pistool. Rechts: voorbeeld van metingen rondom een geweer.

Voor de metingen voor drie verschillende typen van een karabijn, maar van hetzelfde kaliber, is ook een verschil van 10 dB(A) te zien. Echter, van deze wapens zijn ook de bijbehorende geweerversies weergegeven (met langere loop). Hieruit blijkt dat het niveau van de karabijn 1 tot 3 dB(A) hoger ligt, met name voor hoeken boven de 60 graden.



Figuur A.3 Bronsterkte in dB(A) rondom een wapen. Links: voorbeeld van metingen voor een karabijn (en de overeenkomende geweer versie). Rechts: voorbeeld van metingen rondom een hagelgeweer.

Indien er geen metingen beschikbaar zijn, dan is het mogelijke om een ISO norm te gebruiken. ISO 17201 deel 2 gaat over "Noise from shooting ranges: Estimation of muzzle blast and projectile sound by calculation" [5]. Deze ISO norm beschrijft een methode om de bronsterkte van een wapen-munitiecombinatie te bepalen op basis van een energie-beschouwing. De mondingsknaal is richtingsafhankelijk. Hiervoor zijn coëfficiënten voor 3 type wapens gegeven: een geweer, een pistool en een hagelgeweer.

Binnen deze methoden zijn er twee opties om de bronsterkte te bepalen:

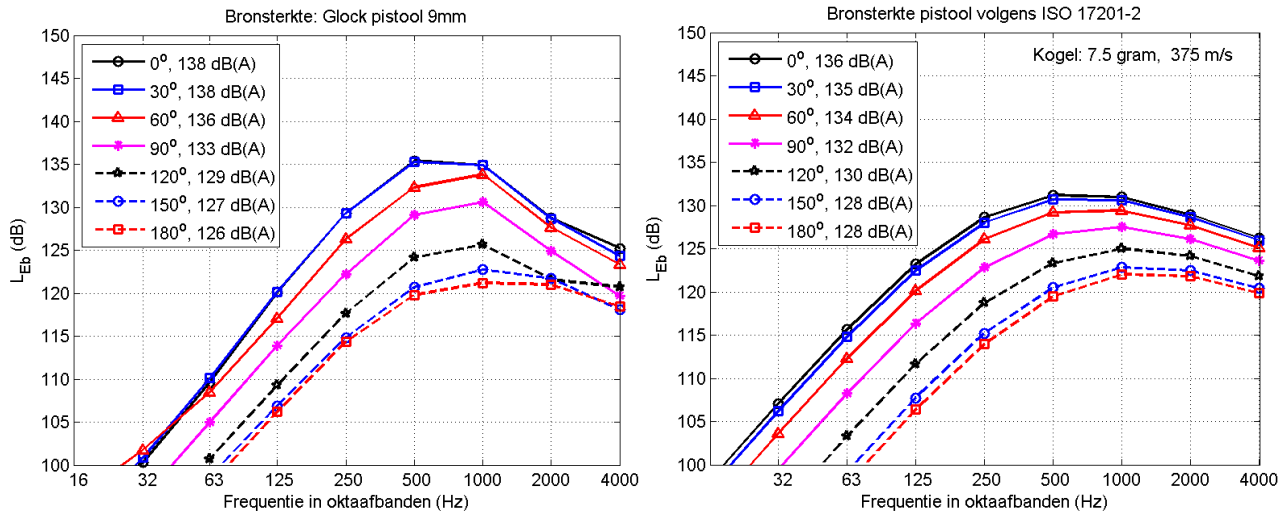
- Op basis van het gewicht van de voortdrijvende lading,
- Op basis van de massa en snelheid van de kogel.

Voor optie A zijn de gemeten bronsterkten vergeleken met de ISO 17201-2 berekening. Hieruit bleek dat het gemeten spectrum steiler op- en afloopt, rondom de dominante frequentie, dan het berekende ISO spectrum. Ook ligt de frequentie waar het spectrum piekt voor de metingen enigszins hoger dan voor ISO. Daarnaast is de voor-achter verhouding volgens ISO minder sterk dan de metingen aantonen. Voor bijvoorbeeld het 9mm pistool is deze verhouding volgens ISO 6 dB(A) lager. Dit geldt ook voor het geweer en het hagelgeweer, als metingen en berekeningen worden vergeleken.

Merk op dat het kaliber en de loop-lengte van het wapen niet van belang zijn voor deze optie van ISO. De sterkte van mondingsknaal wordt alleen bepaald door de massa van het kruit. Merk op dat in de praktijk vaak een langere loop voor een wat lagere bronsterkte zorgt (en een hogere kogelsnelheid).

Met optie B is het mogelijk de geluidenergie te schatten op basis van de massa en snelheid van de kogel. Voor bijvoorbeeld het 9mm pistool kan voor de kogel worden gebruikt: 7.5 gram en startsnellheid van 375 m/s. In Figuur A.4 is een vergelijking

getoond tussen de bronsterkte op basis van metingen en volgens het gebruik van de ISO methode met kinetische energie.



Figuur A.4 Ongewogen bronsterkte in octaafbanden. Links: op basis van metingen.

Rechts: op basis van ISO 71201-2 en de kinetische energie van de kogel.

Het verschil met de metingen is ongeveer 2 dB(A). Een belangrijk verschil is de voor-achter verhouding. ISO geeft voor de schietrichting 2 dB(A) lagere niveaus, en achterwaarts 2 dB(A) hogere. Daarnaast is het spectrum voor de metingen wat steiler rondom de frequenties van 500 en 1000 Hz, waarbij verschillen tot 5 dB per octaafband kunnen optreden.

Voor een bepaald type 5.56 mm geweer eveneens een vergelijking tussen de gemeten bronsterkte en ISO gemaakt. De massa van de kogel is 4 gram en de startsnelheid is 940 m/s. Het verschil met de metingen ligt hier rond de 1 tot 3 dB(A). Ook hier is het spectrum van de metingen scherper dan het vlakkere ISO spectrum.

Op basis van de getoonde voorbeelden wordt voor een categorie-indeling uitgegaan van reeds gemeten bronsterkten in een categorie. Bij (grote) afwijkingen van de munitie of het type wapen kan een correctie worden toegepast op basis van het bekende kogelgewicht en de kogelsnelheid volgens de ISO berekeningen. Er wordt dus niet gebruik gemaakt van de absoluut berekende ISO waarden.