Kampweg 5
Postbus 23
3769 ZG Soesterberg

www.tno.nl

T +31 34 635 62 11
F +31 34 635 39 77
info-DenV@tno.nl

TNO-rapport

TNO-DV 2010 C129

Meetmethode tweetonige hoornsignaal op voorrangsvoertuigen

Datum	mei 2010
Auteur(s)	dr. J.A.. Beintema ir. A.R. Eisses
Opdrachtgever	LFR, Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties
Projectnummer	032.30448
Rubricering rapport	Ongerubriceerd
Titel	Ongerubriceerd
Samenvatting	Ongerubriceerd
Rapporttekst	Ongerubriceerd
Bijlagen	Ongerubriceerd
Aantal pagina's	25 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	2

Alle rechten voorbehouden. Niets uit dit rapport mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke 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 de partijen gesloten overeenkomst.

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

© 2010 TNO

Samenvatting

Voorrangsvoertuigen dienen te zijn voorzien van een afwisselend toonsignaal, waarvan het geluidniveau voldoet aan de regeling optische en geluidsignalen 2009. In de praktijk levert het meten van het geluidsignaal veel variatie op. In opdracht van het ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties heeft TNO twee onderzoeken gedaan naar een verbetering in de meetmethode. Uit het eerste onderzoek uit 2008 bleek dat interferentie (plaats- en frequentieafhankelijke verzwakking of versterking van het signaal) te verminderen is door het positioneren van de meetmicrofoon vlak boven een hard reflecterende ondergrond. Het huidige onderzoek laat zien dat het geluidniveau van elk van de afzonderlijke tonen betrouwbaar is vast te stellen door het meten van het minimale en maximale geluidniveau. De resultaten en daaruit volgende meetvoorschriften zijn samengevoegd in dit document.

Summary

Emergency vehicles (police, ambulance and fire service) in the Netherlands are required to use a sound warning signal ('high-low') that complies to the Dutch Regulation on optical and sound signals 2009. In practice, difficulties are encountered to reliably measure the produced sound level in front of the vehicle. The Ministry of Internal Affairs has asked TNO to study the method of measurement. A first investigation in 2008 showed that sound interference effects can be reduced by positioning the microphone of the sound level meter just above the ground surface. The present investigation shows that the sound levels of individual tones can be obtained with reasonably accuracy by measuring the lowest and highest sound level. This document describes the current and previous study and the resulting protocol for measurement.

Inhoudsopgave

Samenvatting **2**

Summary **3**

1 Inleiding **5**

2 Meetvoorschrift **6**
2.1 Beperking aan meetmethode met geluidniveaumeters 6
2.2 Absolute en relatieve metingen 6
2.3 Meetomstandigheden 7
2.4 Meetapparatuur 7
2.5 Meetopstelling 9
2.6 Meetgrootheden 9
2.7 Meetprocedure 9
2.8 Verwerken van de meetgegevens 10
2.9 Correctie aan de hand van $L_{Aeq,T}$ 10
2.10 Meetverslag 11

3 Toelichting **12**
3.1 Doel: controle van de geluidsterkte 12
3.2 EU-richtlijk 70/388/EEG 12
3.3 Meetomgeving 12
3.4 Meetopstelling 13
3.5 Meten van de sterkte van een geluidbron 13
3.6 Meten sterkte geluidbron per toon 14
3.7 Toetsing van de meetuitkomst 15
3.8 Meetonnauwkeurigheid en significantie van afwijking 15
3.9 Extrapolatie naar andere afstanden 15

4 Referenties **17**

5 Ondertekening **18**

Bijlage(n)
A Meten van tonen-frequentieafhankelijke geluidoverdracht
B Meten van tonen: geluidniveau vaststellen per toon

1 Inleiding

De Regeling optische en geluidssignalen 2009 stelt eisen aan het tweetonige hoornsignaal van voorrangsvoertuigen van brandweer, politie en ambulance. Behalve eisen aan de frequentie-inhoud (grondtonen) en wisselfrequentie (tussen 0,5 en 5 Hz), worden ook eisen aan het geluidniveau gesteld. Voor elke toon geldt dat het A-gewogen geluidniveau op 7 meter afstand voor het voorrangsvoertuig dient te vallen binnen dezelfde minimale en maximale grenzen. Metingen volgens het oude meetvoorschrift gaven geen eenduidige resultaten. Het ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties (BZK) heeft daarom TNO gevraagd onderzoek te doen naar een betere meetmethode.

In een recent onderzoek (MON-MEM-033-DTS-2008-00681) is onderzocht hoe variatie door interferentie (uitdoving of juist versterking via indirect gereflecteerd geluid) te voorkomen is. De voorgeschreven meethoogte volgens het oude meetvoorschrift lag tussen 0,5 en 1,5 m boven het wegdek. Dit bleek tot plaats- en frequentieafhankelijke variatie in geluidniveau te leiden. Als oplossing werd voorgeschreven om niet alleen de omgeving rondom de meting vrij te houden van reflecterende objecten, maar ook de meetmicrofoon direct op een hard reflecterende wegdek te positioneren (zie appendix A).

Variatie in meetresultaten kan ook ontstaan bij grote verschillen in geluidniveau tussen de elkaar afwisselende tonen. Tonen kunnen flink in geluidniveau verschillen, afhankelijk van de gebruikte hardware en frequentieopbouw. Als de tonen elkaar te snel afwisselen voor een geluidniveaumeter (de voorgeschreven wisselfrequentie ligt tussen 0,5 en 5 Hz), levert dit een onderschatting van het geluidniveau van de sterkste toon tot 3 dB, maar mogelijk een veel grotere overschatting van het geluidniveau van de zwakkere toon. Door de logaritmische schaal van het geluidniveau kan het gemiddelde geluidniveau niet meer dan 3 dB zakken, zelfs indien de tweede toon geheel wordt weggelaten. Volgens de regeling hoeven beide tonen niet even sterk te zijn, maar moeten wel binnen de minimum en maximum grens blijven (tussen 110 en 125 dB overdag, en tussen 100 en 115 dB 's nachts). De Landelijke Faciliteit Rampenbestrijding (LFR), onderdeel van BZK, heeft TNO daarom gevraagd de mogelijkheden voor het meten van geluidniveaus voor beide tonen te onderzoeken en zo mogelijk het meetvoorschrift hierop aan te passen. Als oplossing is het gebruik van minimale en maximale geluidniveau meting bruikbaar (zie appendix B).

Op verzoek van de LFR is aan het voorschrift een methode toegevoegd, bedoeld om een afwijking in geluidniveau ten opzichte van een eerdere nulmeting te kunnen constateren. Deze “relatieve” meetmethode kan ook uitgevoerd worden met goedkopere meetapparatuur en vereist niet een meetomgeving die vrij hoeft te zijn van reflecterend objecten mits de omgeving constant blijft. De relatieve meetmethode is niet geschikt om vast te stellen of het absolute geluidniveau voldoet aan de regeling optische en geluidsignalen, maar kan wel dienen als indicatie of de geluidinstallatie nadere geïnspecteerd dient te worden.

Hoofdstuk twee beschrijft het meetvoorschrift en hoofdstuk drie bevat een toelichting hierop. De appendices geven details over de achterliggende onderzoeken.

2 Meetvoorschrift

2.1 Beperking aan meetmethode met geluidniveaumeters

Het gebruik van minimale en maximale geluidsniveau (L_{Amin} en L_{Amax}) is alleen een geschikt als meting van het geluidsniveau van individuele tonen, indien er geen stiltes tussen tonen optreden of sterke pieken (bv. harde kliks tussen overgangen).

Voor kleine stilteperiodes (in minder dan ca. 10% van de totale tijd) kan in bepaalde gevallen (kleine geluidniveauverschillen tussen tonen) het geluidniveau van de zwakste toon worden berekend uit een tijdsgeïntegreerde meting L_{Aeq} en het maximale geluidniveau L_{Amax}. In andere gevallen zal het geluidniveau per toon alleen door nadere analyse kunnen worden bepaald met geavanceerdere software.

2.2 Absolute en relatieve metingen

In het volgende meetvoorschrift wordt een onderscheid gemaakt tussen twee meetprocedures en bijbehorende eisen aan meetomgeving en meetapparatuur:

2.2.1 Absolute geluidniveaumetingen (doelgroep 1)

Deze metingen zijn bedoeld om te controleren of aan wettelijke eisen wordt voldaan (regeling optische en geluidsignalen 2009). De metingen dienen in het open veld te worden uitgevoerd met een hard reflecterend wegdek als ondergrond, gebruikmakend van klasse 1 meetinstrumenten. De doelgroep is daarbij typisch de leverancier/inbouwer die ingebouwde geluidapparatuur oplevert.

2.2.2 Relatieve geluidniveaumetingen (doelgroep 2)

Deze methode is bedoeld voor eindgebruikers (bijvoorbeeld hulpdiensten) die over beperktere middelen beschikken en hiermee op langer termijn (bijvoorbeeld jaarlijks) willen controleren of het geluidniveau hetzelfde gebleven is.
De nulmeting dient plaats te vinden direct na de absolute meting (deze meetwaardes kunnen verschillen omdat de meetomgeving anders is). Een herhaling van deze meting dient plaats te vinden onder dezelfde meetomstandigheden als tijdens de nulmeting. Een significante afwijking ten opzichte van de nulmeting van meer dan 2 dB mag als indicatie worden gezien voor nadere controle van de installatie. Ter vergelijking, 3 dB komt overeen met een halvering van het vermogen van een versterker, terwijl 1 dB net de op drempel van detecteerbare geluidniveauverschillen voor mensen ligt.
Indien een afwijking geconstateerd wordt, dient eerst te worden nagegaan of de oorzaak een wijziging in meetapparaat of meetomgeving (opstelling) ligt. Als check hiervoor is aan te raden om de metingen te verrichten bij meerdere voertuigen met dezelfde installatie. Indien bij een herhaalde meting dezelfde afwijking ten opzichte van de nulmeting wordt geconstateerd voor ieder voertuig, dan is de afwijking vermoedelijk niet het gevolg van een achteruitgang van de geluidinstallatie, maar een onbedoelde wijziging in de meetomgeving of defecte meetapparatuur. In dat geval dient de geluidniveaumeter te worden vervangen of te worden gecontroleerd bij een daartoe gecertificeerde instantie.

2.3 Meetomstandigheden

2.3.1 Absolute meting

Voor het betrouwbaar meten van geluidniveau dient de meting te worden verricht op een vrij liggend terrein met een vlakke, harde bodem, waar voldoende stilte heerst. De meetomgeving dient binnen een straal van 50 m rond de microfoonpositie vrij te zijn van reflecterende objecten zoals andere voertuigen, gebouwen en schuttingen. De bodem tussen voertuig en microfoon dient vlak geplaveid te zijn en akoestisch hard, zoals een wegdek van dicht asfaltbeton of cementbeton. Geluid van de omgeving en van de wind dient tenminste 10 dB(A) zwakker zijn dan het te meten geluid.

N.B. Voor absolute metingen is het gebruik van een hard reflecterend wegdek vereist. Het gebruik van een reflecterende plaat zoals bij de relatieve methode kan worden gebruikt is slechts een benadering van een hard reflecterend wegdek. Bij welke plaatafmeting de bijdrage van reflecties aan wegdek en tegen de rand van de plaat mogen worden verwaarloosd is niet nader onderzocht.

2.3.2 Relatieve methode

Voor de relatieve methode zijn de eisen ten opzichte van de absolute meetmethode minder strikt. De meetomgeving dient reproduceerbaar te zijn over langere tijd, maar hoeft niet per se vrij van reflecterende objecten te zijn. Een geschikte meetomgeving kan derhalve ook buiten op straat zijn, mits deze vrij is van verplaatsbare objecten (auto's) en de gebouwen over langere tijd constant zijn. Om variatie in meetresultaten door een variatie in precieze meetpositie te minimaliseren, dient de omgeving binnen een straal van 7 m rond de microfoon en binnen een straal van 7 m rondom de positie van de luidspreker vrij te zijn van reflecterende objecten.

Het gebruik van een grote harde reflecterende plaat onder de microfoon is aan te raden bij de relatieve metingen om seizoens- of weersinvloeden (nat of droog wegdek) op de geluidabsorptie te reduceren. De plaat dient voldoende akoestisch hard en groot te zijn om zowel de laagste en hoogst optredende frequenties te reflecteren. Dit kan een metalen plaat zijn, maar ook 18-mm geplastificeerd mdf (1,2 x 1,2 m) volstaat. Het oppervlak dient groot genoeg te zijn om ook de laagste frequentie te reflecteren en geen last van de rand overgang plaat naar wegdek te hebben. In theorie volstaat een plaat met afmeting van ca. 1 m x 1 m.

2.4 Meetapparatuur

2.4.1 Absolute methode

Geluidmetingen worden verricht met een geluidniveaumeter die is voorzien van een ½″-microfoon, die tenminste voldoet aan vereisten volgens IEC 61672[1] voor type 1 instrumenten. De meter dient voorzien te zijn van een mogelijkheid tot het meten van zowel het minimale en maximale A-gewogen geluidniveau (L_{Amin} en L_{Amax}) als het over langere tijd geïntegreerde A-gewogen geluidniveau ($L_{Aeq,T}$).

[1] IEC-standaard 61672-1, 2002. Electroacoustics - *Sound level meters* - Part 1: *Specifications*. International Electrotechnical Commission, Genève.

De microfoon dient op de bodem te kunnen worden gelegd en via een kabel zijn aan te sluiten.

De geluidniveaumeter wordt voor en na de metingen geijkt met een calibrator met minimaal een nauwkeurigheid volgens IEC 60942[2] conform klasse 1. De uitlezing van twee opeenvolgende ijkingen dient niet groter te zijn dan 0,5 dB. Als het verschil groter is, zijn tussentijds verrichte geluidmetingen ongeldig.

Van de geluidniveaumeter dient een daartoe bevoegd laboratorium minder dan twee jaar vóór de meting te hebben vastgesteld dat het meetsysteem voldoet aan de vereisten van IEC 61672[1].

Van de calibrator dient een daartoe bevoegd laboratorium minder dan een jaar vóór de meting te hebben vastgesteld dat het meetsysteem voldoet aan de vereisten van IEC 60942[2]

2.4.2 Relatieve methode

Voor relatieve geluidmetingen kunnen geluidniveaumeter en calibrator gebruikt worden met wat grotere tolerantiewaardes, mits ze tenminste voldoen aan de vereisten volgens IEC 61672 voor type 2 instrumenten en aan IEC 60942 conform klasse 2 instrumenten. Ook voor relatieve metingen geldt dat de microfoon op de bodem dient te kunnen worden gelegd en via een kabel zijn aan te sluiten. De meter dient voorzien te zijn van een mogelijkheid tot het meten van het minimale en maximale A-gewogen geluidsniveau (L_{Amin} en L_{Amax}). Het meten van het tijdsgeïntegreerde A-gewogen geluidsniveau ($L_{Aeq,T}$) is niet nodig tenzij er sprake is van korte stilte periodes tussen tonen.

Ook voor type 2 instrumenten geldt dat het verstandig is deze te laten ijken bij een daartoe bevoegd laboratorium of desnoods te vervangen (er vanuitgaand dat ze geijkt worden bij oplevering). Het opnieuw laten ijken van de calibrator is verstandig bij het constateren van een afwijking ten opzichte van de nulmeting.

Het wordt sterk aangeraden om voor relatieve metingen ook een geluidniveaumeter van type 1 te gebruiken. Uit proefmetingen blijkt namelijk dat het minimum en maximum geluidniveau (L_{Amin} en L_{Amax}) met een geluidsniveaumeter van type 1 betrouwbaarder en sneller gemeten te kunnen worden dan met een geluidniveaumeter van type 2. Ook zijn type 2 geluidsniveau meters niet voorzien van een tijdsintegrerende meetwaardes ($L_{A,eq}$).

Indien gebruikt wordt gemaakt van een type 2 geluidniveaumeter, dan moet rekening worden gehouden met sterk fluctuerend metingen. Bij proefmetingen bleek namelijk dat bij een type 1 geluidniveaumeter de meetwaardes binnen enkele seconden reproduceerbaar werden bereikt, terwijl met een type 2 geluidniveaumeter de eindwaardes soms pas na een meetperiode van halve tot hele minuut bereikt werden. De kans op een lange meettijd hing daarbij af van de wisselfrequentie en varieerde per nieuw start van het signaal. Vermoedelijk wordt in dit geval de waarde L_{Amin} en L_{Amax} niet over de gehele meetperiode bemonsterd, maar alleen op tijdsintervallen die synchroon lopen met de update van de cijferdisplay. De meetperiode dient daarom lang

[2] IEC-standaard 60942, 2003. Electroacoustics - *Sound calibrators*. International Electrotechnical Commission, Genève.

genoeg te zijn voor de geluidniveaumeter om een stabiele eindwaarde te bereiken. Of de meetperiode lang genoeg is voor een stabiele meting, kan worden geverifieerd door het herhalen van de meting waarbij het signaal opnieuw wordt opgestart.

2.5 Meetopstelling

De microfoon van de geluidniveaumeter wordt op de harde bodem gelegd, midden vóór het voertuig met de tweetonige hoorn, op 7,0 m (± 0,1 m) afstand van de voorzijde voor het voertuig, met het microfoonmembraan vertikaal en de as van de microfoon wijzend in de richting van het voertuig.

Het windscherm van schuim met open cellen heeft bij deze toepassing de vorm van ongeveer een halve bol.

Om invloed van het lichaam van eigen persoon op de meting te minimaliseren, dient de geluidniveaumeter op afstand achter de microfoon bediend en afgelezen te worden. Dit kan door de meter via een kabel op de microfoon aan te sluiten.

2.6 Meetgrootheden

Van de op het voertuig gemonteerde tweetonige hoorn worden gemeten:

1. Het A-gewogen[3] minimale geluidniveau L_{Amin} en het maximale geluidniveau L_{Amax} in de stand ‘fast’ van de geluidniveaumeter over een bepaalde meetperiode.
2. Het A-gewogen, gemiddelde geluidniveau $L_{Aeq,T}$ (alleen voor absolute metingen, doelgroep 1). De meettijd T waarover wordt gemiddeld omvat tien of meer cycli van het signaal.

2.7 Meetprocedure

Metingen dienen verricht te worden bij een in werking zijnde hoornsignaal bij de laagst mogelijke wisselfrequentie. Daarbij zijn de volgende stappen van belang.

1. Continue aflezing van het geluidniveau aan de hand van het A-gewogen geluidniveau in stand ‘fast’ op de analoge weergave (wijzer of staafdiagram) te volgen (L_A). De nauwkeurigheid is hierbij sterk beperkt door de grove schaalverdeling en snelle afwisseling in de tijd. Wel is hieruit af te leiden wat ruwweg het geluidniveau per toon is, of er verschillen zijn en welke toon het sterkst is.
2. Meting van L_{Amin} en L_{Amax}. Indien de geluidniveaumeter L_{Amin} en L_{Amax} niet tegelijkertijd kan meten en weergeven, dienen ze na elkaar in afzonderlijke meetperiodes gemeten te worden. Bij metingen van L_{Amax} is het van belang dat de metingen gedaan worden, zonder plotseling verstorend impulsgeluid of contactgeluid.
3. Meting van het gemiddelde geluidniveau $L_{Aeq,T}$ (indien voorhanden).
4. Herhaal bovenstaande metingen tenminste 5 keer, waarbij de meetmicrofoon opnieuw geplaatst wordt en het signaal opnieuw gestart wordt.

[3] NEN 10651, 1994 = IEC-standard 651, 1979. Electroacoustics - *Sound level meters*. International Electrotechnical Commission, Genève.

2.8 Verwerken van de meetgegevens

Afhankelijk van de geluideisen die aan de tweetonige hoorn worden gesteld en van de omschrijving van de eisen, kan het nodig zijn de meetuitkomst om te rekenen naar, bijvoorbeeld, het geluidniveau op een andere referentieafstand, of naar het geluidvermogenniveau.

Door de microfoon op de vlakke, homogene, harde bodem te leggen, is het te meten geluidniveau 6 dB hoger dan wanneer de meting in een reflectievrije ruimte zou worden uitgevoerd, op dezelfde afstand van de geluidbron.

2.9 Correctie aan de hand van $L_{Aeq,T}$

Indien naast L_{Amin} en L_{Amax} een tijdsgeïntegreerde meting $L_{Aeq,T}$ beschikbaar is, dan kan de laatste gebruikt worden om een betere schatting te verkrijgen van de sterkste of zwakste toon.

Is er sprake van korte stiltes tussen tonen (hoorbare stiltes, maar in minder dan 10% van de tijd), dan zal L_{Amin} niet representatief zijn voor het gemiddelde geluidniveau van de zwakste toon. Het niveau van de zwakste toon kan geschat worden op basis van L_{Amax} en $L_{Aeq,T}$, mits het verschil tussen L_{Amax} en $L_{Aeq,T}$ klein genoeg is (kleiner dan 2 dB). Neem hiertoe het gemeten verschil tussen L_{Amax} en $L_{Aeq,T}$ en tel het corresponderende verschil L_{Amax} - L_{Amin} uit Tabel 1 op bij L_{Amax}.

Een vergelijkbaar probleem ontstaat bij sterke pieken optreden in het signaal (bijvoorbeeld hoorbare klikken tussen overgangen). Dan zal L_{Amax} niet representatief zijn voor het gemiddelde niveau van de sterkste toon. Een indicatie hiervoor is als L_{Amax} meer dan 3 dB groter is dan $L_{Aeq,T}$. Op basis van $L_{Aeq,\,T}$ en L_{Amin} kan een betere schatting van het geluidniveau van de sterkste toon worden gegeven. Gebruik hiervoor tabel 1: zoek voor het gemeten verschil tussen L_{Amin} en $L_{Aeq,T}$ het corresponderende verschil L_{Amax} - L_{Amin} en tel dit op bij L_{Amin}.

Tabel 1. Verschil tussen minimale en maximale geluidniveau voor verschillende combinaties van tweetonen met eenzelfde tijdsgemiddeld geluidniveau $L_{Aeq,T}$. Geluidsniveaus van de zwakste toon (bovenste rij) en sterkste toon (middelste rij) zijn in dBA weergeven ten opzichte van het tijdsgemiddeld geluidniveau $L_{Aeq,T}$.

L_{Amin} - $L_{Aeq,T}$	-0,5	-0,8	-1,1	-1,4	-1,8	-2,1	-2,4	-2,8	-3,2	-3,6	-4	-4,4	-4,8	-5,2	-5,6	-6,1	-6,5
L_{Amax} - $L_{Aeq,T}$	0,5	0,7	0,9	1,1	1,2	1,4	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	2,3	2,4	2,4	2,5
L_{Amax} - L_{Amin}	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9

Als er sprake is van zowel pieken in het signaal als stiltes tussen tonen, dan kan het geluidniveau van individuele tonen alleen bepaald worden door off-line data analyse. Met standaard audio software kan het dBA-gewogen niveau bepaald worden over geselecteerde tijdsfragmenten.

2.10 Meetverslag

In het meetverslag worden minimaal opgenomen:

- Verwijzing naar dit meetvoorschrift.
- Omschrijving en kenteken van het voertuig.
- De locatie van de tweetonige hoorn op het voertuig en de wijze waarop de hoorn is gemonteerd.
- Omschrijving van de gebruikte apparatuur (fabricaat, type, serienummer, datum van laatste functiecontrole).
- Locatie, datum, begintijd en eindtijd van de metingen.
- Omschrijving van de meetomgeving waaruit blijkt dat deze voldoet aan dit meetvoorschrift.
- Aantal verrichte metingen.
- Meetuitkomsten:
  - L_{Amin} en L_{Amax}, elk in tienden decibels, meetonnauwkeurigheid, meettijd.
  - Indien gemeten: $L_{Aeq,T}$ in tienden decibels, met de bijbehorende meettijd T in seconden en het aantal cycli van het signaal van de tweetonige hoorn dat is gemeten in de meettijd T.

3 Toelichting

3.1 Doel: controle van de geluidsterkte

Het doel van de geluidmeting is de sterkte van de geluidbron te controleren, om te constateren of de tweetonige hoorn aan de geluidemissie-eisen voldoet (doelgroep 1) of gewijzigd is ten opzichte van een eerdere nulmeting (doelgroep 2).

Bij het opstellen van het meetvoorschrift is ervan uitgegaan dat tweetonige hoorns zullen worden beoordeeld op basis van het minimale en maximale geluidniveau L_{Amin} en L_{Amax} tijdens het in werking zijn van de hoorn.

Behalve de geluidsterkte is ook de richtingkarakteristiek van een tweetonige hoorn een belangrijke eigenschap voor de waarneembaarheid. Voorliggend voorschrift voorziet echter niet in de controle van de richtingkarakteristiek van een tweetonige hoorn door middel van geluidmetingen.

De richtingkarakteristiek van een tweetonige hoorn op een voertuig wordt bepaald door de geometrie van de hoorn en door eventuele obstakels onderdelen van de auto waarop de hoorn is gemonteerd in de directe omgeving van de hoorn. Als die niet gewijzigd worden, zal de richtingkarakteristiek ook niet veranderen. De geometrie van de hoorn en zijn directe omgeving kunnen op het oog worden gecontroleerd op veranderingen. Indien veranderingen geconstateerd worden die relevant kunnen zijn voor de richtingkarakteristiek van het geluid van de hoorn, is een uitgebreider onderzoek nodig dan voorliggend voorschrift beoogt.

3.2 EU-richtlijk 70/388/EEG

Uitgangspunt voor het meetvoorschrift is bijlage 1 van EU-richtlijn 70/388/EEG. Relevant is vooral hoofdstuk 2, waarin het meten van op een voertuig gemonteerde signaalinrichtingen op een open terrein wordt beschreven. Hiervan en van verwante normen zijn delen overgenomen, andere delen zijn vervangen om de nauwkeurigheid van de meetmethode te verbeteren (absolute methode) of toegankelijker te maken (relatieve methode). In het bijzonder is voor een andere microfoonpositie gekozen (de microfoon wordt op een vlakke, homogene, harde bodem gelegd, zie appendix A voor uitleg).

3.3 Meetomgeving

Voor de metingen door doelgroep 1 geldt het volgende:

- De bodem tussen voertuig en microfoon dient vlak geplaveid te zijn zonder oneffenheden als trottoirranden en akoestisch hard, zoals een wegdek van dicht asfaltbeton of cementbeton. Klinkerbestrating en open asfaltsoorten zoals ZOAB zijn ongeschikt.
- Obstakels zoals muurtjes die achter struikgewas schuilgaan, maar ook het lichaam van de persoon of personen die de metingen uitvoeren, gelden ook als ongewenste reflecterende obstakels, die ver genoeg van de meetlocatie verwijderd dienen te zijn.

Voor de metingen door doelgroep 2 gelden minder strikte regels wat betreft de bodem. De meetomgeving dient echter stabiel te zijn over langere tijd. Ook hierbij geldt dat het lichaam van de persoon of personen die de metingen uitvoeren, een mogelijke bron van variatie is, die ver genoeg van de meetlocatie verwijderd dient te zijn.

3.4 Meetopstelling

De microfoon dient op de harde bodem geplaatst te zijn (zie appendix A voor nadere details). De microfoon dient via een kabel op de geluidniveaumeter te worden aangesloten om deze op de harde bodem te kunnen leggen, en om reflectiebijdragen van het eigen lichaam te minimaliseren bij het bedienen en uitlezen van de geluidniveaumeter.

Het geluidniveau van de hoorn (ter plaatse van het meetpunt) moet tenminste 10 dB sterker zijn dan het niveau van andere geluidbronnen, om de invloed daarvan op de meetresultaten te kunnen verwaarlozen. Andere geluidbronnen zijn bijvoorbeeld wind of een verkeersweg in de omgeving van de meetlocatie. Indien het functioneren van de hoorn met draaiende motor moet worden getest, kan met dit criterium ook worden veiliggesteld dat het motorgeluid de meetresultaten niet beïnvloedt.

3.5 Meten van de sterkte van een geluidbron

Een geluidbron kan worden gekarakteriseerd door in relevante richtingen zijn geluidniveau te meten, op een bepaalde referentieafstand, in een omgeving die geen of een welbekende invloed heeft op het gemeten geluid.

Bij laboratoriumonderzoek is het gebruikelijk dergelijke metingen uit te voeren in een reflectievrije ruimte (echovrije ruimte of ‘dode kamer’). Voor het controleren van tweetonige hoorns van voetuigen is deze methode echter niet praktisch.

De eis van een minimale afstand van 50 m tussen het te meten voertuig met de tweetonige hoorn en geluidreflecterende obstakels in de omgeving is gebruikelijk voor dergelijke metingen en wordt voldoende groot geacht om geluidreflecties te mogen verwaarlozen.

In geval van relatieve metingen is de eis om een minimale afstand aan te houden van 7 m tussen geluidreflecterende obstakels en het te meten voertuig en tussen geluidreflecterende obstakels en de meetmicrofoon. Deze minimale afstand wordt voldoende geacht om de variatie in geluidniveau door kleine veranderingen in meetpositie binnen 1 dB te houden.

Door de microfoon op de vlakke, homogene, harde bodem te leggen, is het te meten geluidniveau 6 dB hoger dan wanneer de meting in een reflectievrije ruimte zou worden uitgevoerd, op dezelfde afstand van de geluidbron. De meting levert dus een goede maat voor de sterkte van de geluibron.
Het integreren van het geluidniveau over langere tijd middels een L_{Aeq} meting levert weliswaar een waarde die robuust is tegen tijdelijke variaties in het geluidniveau (bijvoorbeeld: korte stiltes of geluidniveaupieken bij de overgang tussen tonen), maar is niet geschikt indien er sprake is van grote verschillen in geluidniveau tussen tonen.
Het volgen van het geluidniveau over de tijd wordt bij een snelle afwisseling van tonen lastig.

Middels een enquête onder hulpdiensten en leveranciers en experimenten is een maat bedacht voor het vaststellen van het geluidniveau van individuele tonen.

Het meten van verschil in geluidniveau door het vergelijken van metingen bij verschillende frequentiefilters bleek bij het geringe verschil in frequentieopbouw tussen lage en hoge toon niet bruikbaar, evenals het continue uitlezen van het geluidniveau. Wel blijkt binnen toegestane wisselfrequenties en grenzen aan geluidniveaus, het geluidniveau per toon betrouwbaar te kunnen worden geschat door middel van een minimum en maximum metingen (zie appendix B voor meer details).

De benodigde meettijd totdat een stabiele eindwaarde bereikt wordt kan bij sommige geluidniveaumeters afhangen van de synchronie tussen wisseling van toon en de update van het cijferdisplay[4]. Controleer daarom eerst of de meettijd lang genoeg gekozen. De eindwaarde dient het zelfde te zijn bij het opnieuw starten van het signaal. Sterk wisselende meetwaardes duiden op een te korte meettijd.

3.6 Meten sterkte geluidbron per toon

Het integreren van het geluidniveau over langere tijd middels een L_{Aeq} meting levert weliswaar een waarde die robuust is tegen tijdelijke variaties in het geluidniveau (bijvoorbeeld: korte stiltes of geluidniveaupieken bij de overgang tussen tonen), maar is niet geschikt indien er sprake is van grote verschillen in geluidniveau tussen tonen. Het volgen van het geluidniveau over de tijd wordt bij een snelle afwisseling van tonen lastig.

Middels een enquête onder hulpdiensten en leveranciers en experimenten is een maat bedacht voor het vaststellen van het geluidniveau van individuele tonen.

Het meten van verschil in geluidniveau door het vergelijken van metingen bij verschillende frequentiefilters bleek bij het geringe verschil in frequentieopbouw tussen lage en hoge toon niet bruikbaar, evenals het continue uitlezen van het geluidniveau. Wel blijkt binnen toegestane wisselfrequenties en grenzen aan geluidniveaus, het geluidniveau per toon betrouwbaar te kunnen worden geschat door middel van een minimum en maximum metingen (zie appendix B voor meer details).

De benodigde meettijd totdat een stabiele eindwaarde bereikt wordt kan bij sommige geluidniveaumeters afhangen van de synchronie tussen wisseling van toon en de update van het cijferdisplay[5]. Controleer daarom eerst of de meettijd lang genoeg gekozen. De eindwaarde dient het zelfde te zijn bij het opnieuw starten van het signaal. Sterk wisselende meetwaardes duiden op een te korte meettijd.

[4] Bij proefmetingen met een type 1 geluidsniveaumeter werden de eindwaardes L_{Amin} en L_{Amax} binnen enkele seconden reproduceerbaar bereikt, terwijl met een ander type 2 geluidsniveaumeter de eindwaardes soms pas na een meetperiode van halve tot hele minuut bereikt werden. De kans op een lange meettijd hing daarbij af van de wisselfrequentie en varieerde per nieuw start van het signaal. Vermoedelijk wordt in dit geval de waarde L_{Amin} en L_{Amax} niet over de gehele meetperiode bemonsterd, maar alleen op tijdsintervallen die synchroon lopen met de update van het cijferdisplay.
.

3.7 Toetsing van de meetuitkomst

Indien metingen herhaald zijn om de meetonnauwkeurigheid te bepalen (zie punt 8), worden de meetuitkomsten rekenkundig gemiddeld. De gemiddelde waarden van L_{Amin} en L_{Amax} kunnen vergeleken worden met referentieniveaus $L_{Amin;ref}$ en $L_{Amax;ref}$, die gelden voor dezelfde meetpositie ten opzichte van het voertuig en vergelijkbare meetomstandigheden.

Indien de referentiewaarden $L_{Amin;ref}$ en $L_{max;ref}$ gelden voor een reflectievrije ruimte (echovrije ruimte of 'dode kamer') en een meetafstand r_{ref} [m], dient de meetuitkomst te worden gecorrigeerd:

- door 6 dB van het gemeten niveau af te trekken voor het effect van de harde bodem onder de microfoon;
- door $20 \cdot \lg(r/r_{ref})$ bij de meetuitkomst op te tellen, om het verschil tussen r_{ref} en de bij de metingen aangehouden meetafstand r te compenseren.

Het vermogenniveau L_W [dB re 1 pW] van de geluidbron dat behoort bij het op afstand r [m] bepaalde geluidniveau $L_p(r)$ [dB re 20 μPa] kan worden berekend met:

$L_W = L_p(r) + 10 \cdot \lg(4 \pi r^2/S_0)$,

waarin $S_0 = 1$ m^2.

3.8 Meetonnauwkeurigheid en significantie van afwijking

De meetonnauwkeurigheid kan in de praktijk worden bepaald door een meting te herhalen drie of vijf maal, bijvoorbeeld waarbij het meetinstrument en zo mogelijk het voertuig voor elke meting opnieuw worden gepositioneerd. Hiervoor kan de standaarddeviatie van het gemiddelde berekend worden (SE ofwel Standard Error). Als een simpele schatting van onnauwkeurigheid kan ook de helft van het verschil tussen laagste en hoogste gemeten waarde genoteerd worden, vermeerderd met de onnauwkeurigheid van het meetinstrument.

Een afwijking ten opzichte van het vereiste niveau kan als significant worden beschouwd indien het verschil groter is dan de geschatte meetonnauwkeurigheid. Voor een relatieve meting, dient overigens rekening te worden gehouden met de onnauwkeurigheid van de nulmeting en de herhaalde meting. Indien de nulmeting en herhaalde metingen gebaseerd zijn op hetzelfde aantal herhalingen, kan de gezamenlijke meetonnauwkeurigheid (SE_{pooled}) berekend worden uit de kwadratische som van de meetonnauwkeurigheid tijdens de nulmeting ($SE_{nulmeting}$) en meetonnauwkeurigheid tijdens de herhaalde meting ($SE_{nulmeting}$):

$SE_{pooled} = \sqrt{[SE^2_{nulmeting} + SE^2_{meting}]}$.

3.9 Extrapolatie naar andere afstanden

Bij extrapolatie van gemeten geluidniveaus naar een andere meetafstand, dient gerekend te worden met de afstand tussen microfoon en geluidbron. Indien de tweetonige hoorn zichtbaar is gemonteerd, bijvoorbeeld op het dak van het voertuig, geldt het midden van de voorzijde van de hoorn als bronpositie.

Bij tweetonige hoorns die zijn ingebouwd bijvoorbeeld onder de motorkap kan een eventuele onduidelijkheid omtrent de effectieve geluidbronpositie leiden tot een systematische fout in het geëxtrapoleerde meetresultaat.

Hierboven is bepaald dat de microfoon 7 m vanaf de voorzijde van het voertuig op de harde bodem wordt geplaatst. Indien de hoorn aan de voorzijde van het voertuig is gemonteerd, op hoogte h, dan is de meetafstand voor het extrapoleren van gemeten geluidniveau naar grotere afstanden:

$r = \sqrt{(7^2 + h^2)}$.

Is de hoorn verder op het voertuig geplaatst van de microfoon uit gezien een afstand d_h achter de voorzijde van het voertuig dan is de meetafstand:

$r = \sqrt{[(7+d_h)^2 + h^2]}$.

Is de hoorn in het motorcompartiment ondergebracht, dan fungeren een of meer openingen aan de voorzijde van het motorcompartiment wellicht als secundaire geluidbron(nen) en kan een opening als effectieve bronpositie worden gekozen. Deze keuze kan bij extrapolatie een systematische onnauwkeurigheid introduceren.

Bij het toepassen van de tweetonige hoorn is het van belang dat op enige afstand minstens het gewenste geluidniveau wordt gerealiseerd. Als bij extrapolatie van een gemeten geluidniveau naar een grotere afstand uitgegaan wordt van $r = \sqrt{(7^2 + h^2)}$ in plaats van $r = \sqrt{[(7 + d_h)^2 + h^2]}$, zal het geluidniveau op grotere afstand niet hierdoor worden onderschat. Indien bijvoorbeeld de tweetonige hoorn 1,5 m achter de voorzijde van het voertuig is geplaatst, op 1,5 m boven wegdekniveau, en het geluidniveau op grotere afstand wordt berekend uitgaande van $r = \sqrt{(7^2 + 1{,}5^2)}$ in plaats van $r = \sqrt{[(7 + 1{,}5)^2 + 1{,}5^2]}$, dan zal het berekende niveau 1,6 dB te laag zijn.
Deze systematische fout gaat niet ten koste van de waarneembaarheid van het hoornsignaal, maar kan onbillijk zijn als de hoorn zou worden afgekeurd omdat het signaal als een decibel te zwak zou worden aangemerkt.

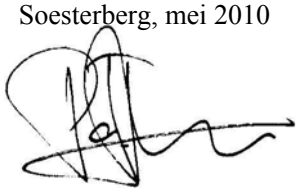
4 Referenties

A.R. Eisses. *Meetmethode voor de geluidemissie van meertonige hoorns op voorrangsvoertuigen van brandweer, politie en ambulance,*
(Memorandum MON-MEM-033-DTS-2008-00681. Delft: TNO Monitoring Systems.

Regeling optische en geluidssignalen 2009.

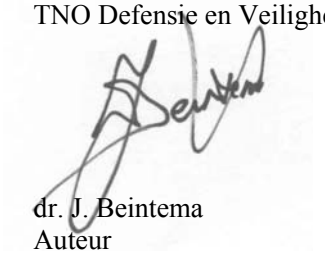
5 Ondertekening

Soesterberg, mei 2010



Ir. P.A.J. Punte
Afdelingshoofd

TNO Defensie en Veiligheid

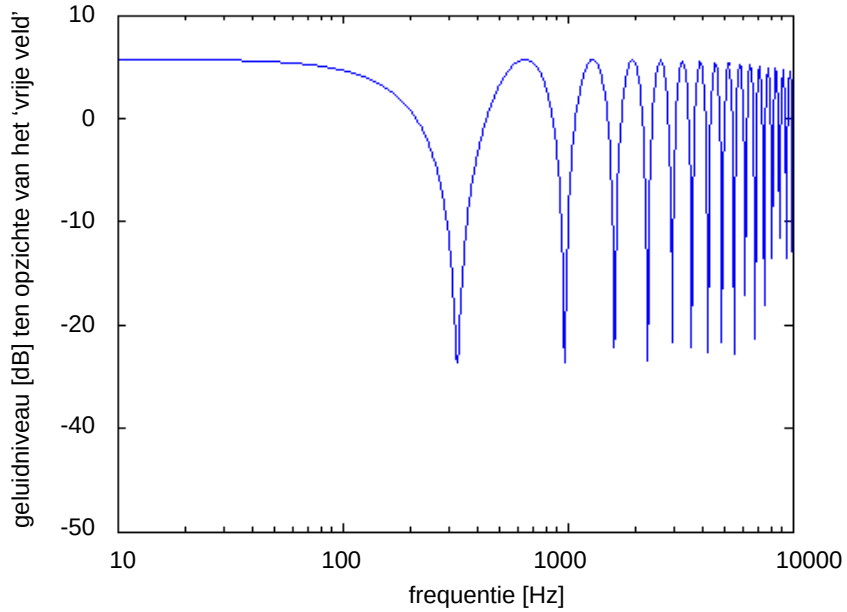


dr. J. Beintema
Auteur

A Meten van tonen-frequentieafhankelijke geluidoverdracht

De tweetonige hoorns waarvoor dit meetvoorschrift bedoeld is, zenden tonen uit. De sterkten van tonen op een bepaalde waarneempositie hangen af behalve van de sterkte van de geluidbron/hoorn van de waarneemafstand en van de omgeving. De omgeving bepaalt hoe ingewikkeld het geluidoverdrachtspad is en hoe de klankkleur van het geluid op de waarneempositie zich verhoudt tot de klankkleur van het uitgezonden geluid. Ook in een eenvoudige omgeving met alleen een harde bodem zorgt de geluidoverdracht voor een ‘verkleuring’ van het geluidspectrum. Sommige van de tonen waaruit het geluid is opgebouwd worden versterkt, andere worden verzwakt.

Figuur 1 toont een voorbeeld voor een situatie waarin een microfoon op een gebruikelijke meethoogte van 1,2 m boven een harde bodem is geplaatst, op 7,5 m van een geluidbron met kleine afmetingen die zich op 1,7 m boven de bodem bevindt. Bij lage frequenties wordt het geluid dat de microfoon via de kortste weg bereikt, versterkt door het geluid dat de microfoon bereikt na een reflectie via de bodem. Bij hogere frequenties kan die versterking ook optreden voor bepaalde frequenties, maar voor andere hoge frequenties treedt dan verzwakking op. Het gereflecteerde geluid en het directe geluid kunnen elkaar zelfs nagenoeg uitdoven.



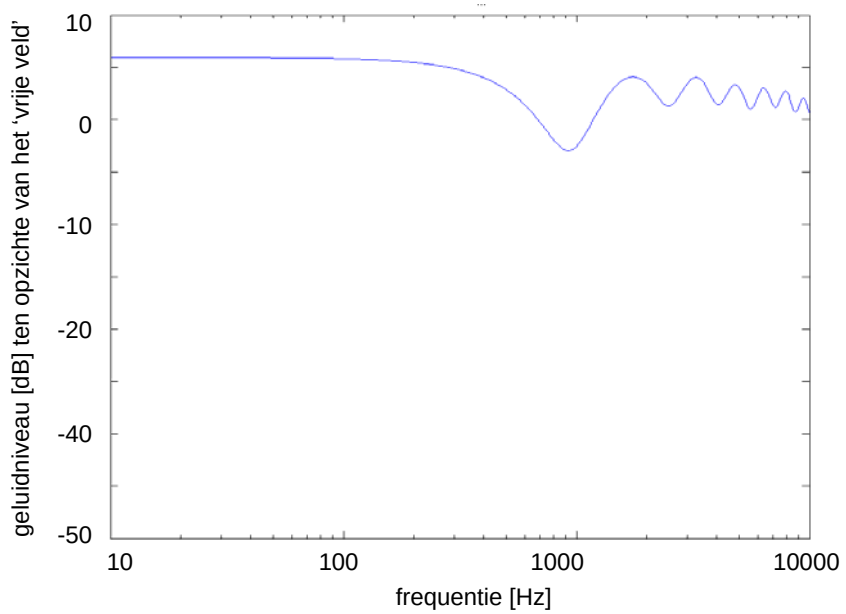
Figuur 1 De invloed van een harde reflecterende bodem op het spectrum van een geluidbron die zich op 1,7 m boven de bodem bevindt, als de afstand tussen geluidbron en microfoon 7,5 m is en de microfoon op 1,2 m boven de bodem wordt gehouden. Frequenties beneden 100 Hz worden 6 dB versterkt ten opzichte van de ‘vrije veld’-situatie in een reflectievrije ruimte; hogere frequenties kunnen met 6 dB worden versterkt, maar ook met enkele tientallen decibels worden verzwakt.

Overigens kunnen reflecties via een muur hetzelfde effect hebben. De frequenties waarbij een en ander gebeurt, hangen af van de geometrie van de meetopstelling. Een kleine verandering van meetpositie kan daardoor tot grote verandering in de meetuitslag leiden. Het nauwkeurig karakteriseren van de bronsterkte van een tweetonige hoorn vereist daarom een speciale aanpak.

Als de geluidbron zich in of op een voertuig bevindt, is de geluidoverdracht gecompliceerder, en minder geprononceerd als in het geval van figuur 1.

De meetuitkomst blijft echter een onnauwkeurige maat voor de sterkte van de geluidbron, omdat er frequenties zijn waarbij versterking optreedt en andere frequenties die verzwakt worden gemeten, terwijl onduidelijk is hoe groot het effect is bij de relevante frequenties van de tonen van de hoorn.

Middelen over verschillende bron- en/of waarneemposities verkleint de effecten uit figuur 1. Figuur 2 illustreert dit met een voorbeeld waarin de geluidbron uit het vorige voorbeeld de microfoon op 7,5 m afstand passeert, terwijl deze een traject van 40 m aflegt (van 20 m voor de microfoonpositie tot 20 m erna).

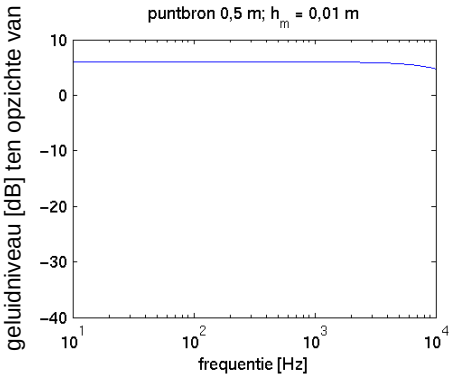


Figuur 2 De invloed van een harde reflecterende bodem op het gemiddelde geluidspectrum van een bewegende geluidbron die zich op 1,7 m boven de bodem bevindt, en wordt gemeten op 1,2 m boven de bodem, op 7,5 m van de lijn waarlangs de geluidbron over 40 m verplaatst wordt (van 20 m voor de microfoonpositie tot 20 m erna). Frequenties beneden 100 Hz worden 6 dB versterkt; hogere frequenties kunnen enkele decibels verzwakt of versterkt zijn.

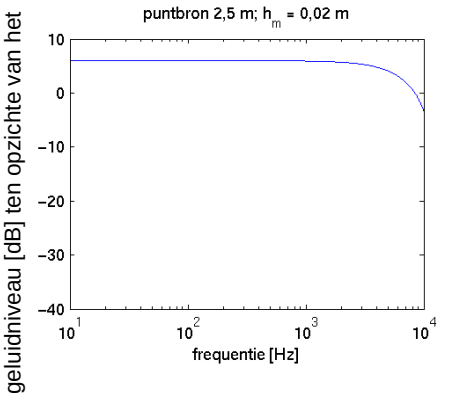
Uit figuur 2 blijkt dat ook in dit geval nog een verkleurd spectrum van de geluidbron wordt gemeten. Figuur 1 en figuur 2 geven een indicatie van de grootte van de effecten die verwacht kunnen worden, als op een hoogte van ongeveer 1,2 m wordt gemeten. De toppen en dalen in de curven kunnen onder praktische omstandigheden verschoven liggen.

Figuur 1 en figuur 2 laten zien dat voor lage frequenties de invloed van de omgeving resulteert in een constante versterking van 6 dB. Dit is een bekend effect dat optreedt als het geluidniveau in of vlak voor een hard oppervlak wordt bepaald. Als de microfoon op of dicht boven de harde bodem wordt geplaatst, wordt 6 dB versterking gevonden voor frequenties die beneden een bepaalde grens liggen. In de drie voorbeelden van figuur 3 die dit illustreren, is de versterking van het signaal 6 dB tot boven 1 kHz. Met de geluidbron op 0,5 m hoogte en de microfoon op 0,01 m (midden van een ½″-microfoon, liggend op de harde grond) is de versterking constant tot 5 kHz. Het probleem rond de reproduceerbaarheid wordt dus opgelost door een meetopstelling te kiezen met een harde bodem, die voor alle relevante frequenties een versterking geeft van 6 dB (ten opzichte van niveaus die in een reflectievrije ruimte zouden worden gemeten, waar alleen de geluidbron en de meetafstand de gemeten geluidniveau zouden bepalen).

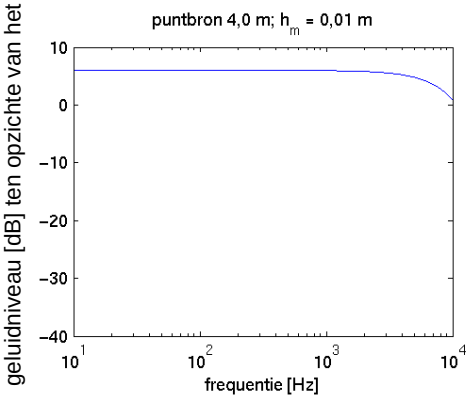
a. Geluidbron op hoogte 0,5 m; ½˝-microfoon op harde bodem. Versterking 6 dB beneden 5 kHz.



b. Geluidbron op hoogte 2,5 m; midden van microfoon 0,02 m boven harde bodem. Versterking 6 dB beneden 2 kHz.



c. Geluidbron op hoogte 4,0 m;½˝-microfoon op harde bodem. Versterking 6 dB beneden 3 kHz.



Figuur 3 Drie voorbeelden van invloed van een harde reflecterende bodem op het gemiddelde geluidspectrum dat wordt gemeten van een kleine geluidbron die zich op 0,5 m, 2,5 m of 4,0 m boven de bodem bevindt, met een microfoon op 0,01 of 0,02 m boven de bodem, en horizontaal gemeten 7 m van de geluidbron. Bij frequenties beneden 1000 Hz is de versterking 6 dB ten opzichte van de 'vrije veld'-situatie in een reflectievrije ruimte. Bij kleine bronhoogte (figuur a) is de versterking ook bij hogere frequenties nog 6 dB. Bij grotere bronhoogte en/of iets grotere microfoonhoogte neemt de versterking bij hogere frequenties af.

De nominale frequenties die het geluid van meervoudige hoorns bevat, zijn doorgaans enkele honderden Hertz. Meten met de microfoon op een harde bodem geeft een eenduidig meetresultaat, mits eventuele boventonen met frequenties boven 2 kHz geen significante bijdrage aan het signaalniveau leveren. (Het A-filter in de geluidniveaumeter helpt pas boven 10 kHz boventonen te onderdrukken.)

B Meten van tonen: geluidniveau vaststellen per toon

Middels een enquête onder hulpdiensten (brandweer, ambulance, politie en KLPD) en twee leveranciers/inbouwers is geïnventariseerd van welke mogelijkheden voor instellen van wisselfrequentie en van welke meetapparatuur en functionaliteit kan worden uitgegaan. Op basis hiervan is geanalyseerd welke methode zou kunnen werken. Met twee van de gebruikte geluidniveaumeters is experimenteel vastgesteld hoe betrouwbaar het laagste en hoogste geluidniveau gemeten kan worden.

B.1 Inventarisatie meetapparatuur en functionaliteit

De enquête resultaten zijn als volgt samen te vatten:

- Van 33 reacties van hulpdiensten geeft slecht 18% van de hulpdiensten te kennen te beschikken over een geluidniveaumeter van klasse 1. Een wat groter deel (27%) beschikt over een geluidniveaumeter van klasse 2 of ouder. Het merendeel van respondenten geeft aan niet te weten met welke apparatuur gemeten wordt of de metingen uit te laten voeren door de leverancier.
- Beide benaderde leveranciers/inbouwers beschikken over een geluidniveaumeter van klasse 1.
- Slechts een van de toeleveranciers voor hulpdiensten en een van de twee leveranciers/inbouwers geeft aan in staat te zijn om de wisselfrequentie kunstmatig te kunnen verlagen om een geluidniveaumeting per toon te meten.
- De noodzaak om metingen buiten te verrichten vormt voor vele hulpdiensten een praktisch probleem.

Gebruikte en nieuwe geluidniveaumeters in de prijsklasse van 1500 EUR of hoger (meestal type 1) zijn allen digitaal en voorzien van een mogelijkheid voor een tijdintegrerende meting (L_{Aeq}) en voor het onthouden van minimale en maximale geluidniveau (L_{Amin} en L_{Amax}). Deze meters beschikken over een data opslag functie om het signaal off-line te analyseren of real-time te analyseren via een extern aan te sluiten computer.
Nieuwe geluidniveaumeters in prijsklasse tussen 100 en 500 EUR zijn alle type 2 en veelal digitaal. Geen van allen beschikt over een tijdintegrerende functionaliteit (L_{Aeq}). Vanaf 300 EUR hebben geluidniveaumeters vaak een mogelijkheid voor dataopslag of real-time extern uit te lezen via een computer.
Nieuwe geluidniveaumeters in prijsklasse 400-500 EUR beschikken over een ingebouwde mogelijkheid voor het onthouden van de minimale en maximale waarde (L_{Amin} en L_{Amax}) en het verlengen van de microfoon via een kabel.

Gezien de hoge aanschafkosten van een type 1 geluidniveaumeter (vanaf ca. 1500 EUR) kan bij een meetmethode voor hulpdiensten niet worden uitgegaan van een $L_{Aeq,T}$ meting. Wel kan worden uitgegaan van een mogelijkheid tot minimale en maximale geluidniveau meting.

B.2 De mogelijkheden om de wisseling in geluidniveau over tijd te volgen:

De mogelijkheden om de wisseling in geluidniveau over tijd te volgen zijn beperkt:

- Het aflezen van de digitaal weergegeven L_A waarde in 'fast' mode. De update-rate van het cijfer display is ofwel 1 Hz of 2 Hz. De wisselfrequenties van tweetonige

signalen ligt in de praktijk typisch ook tussen 1 of 2 Hz. Het aflezen van de digitaal weergegeven L_A waarde in 'fast' mode is bij deze frequentie en geringe update-rate echter niet te doen.
- Analoog wijzer in de vorm van of continue staafdiagram met een update rate van 10 Hz. Deze 'analoge' weergave is handig om de continue variatie te zien, maar is heeft doorgaans een beperkte nauwkeurigheid bij het aflezen (1 dB op zijn best).
- Het uitlezen van minimale (L_{Amin}) en maximale (L_{Amax}) A-gewogen geluidniveau.
- Off-line analyse om de variatie in de geluidniveau af te lezen.

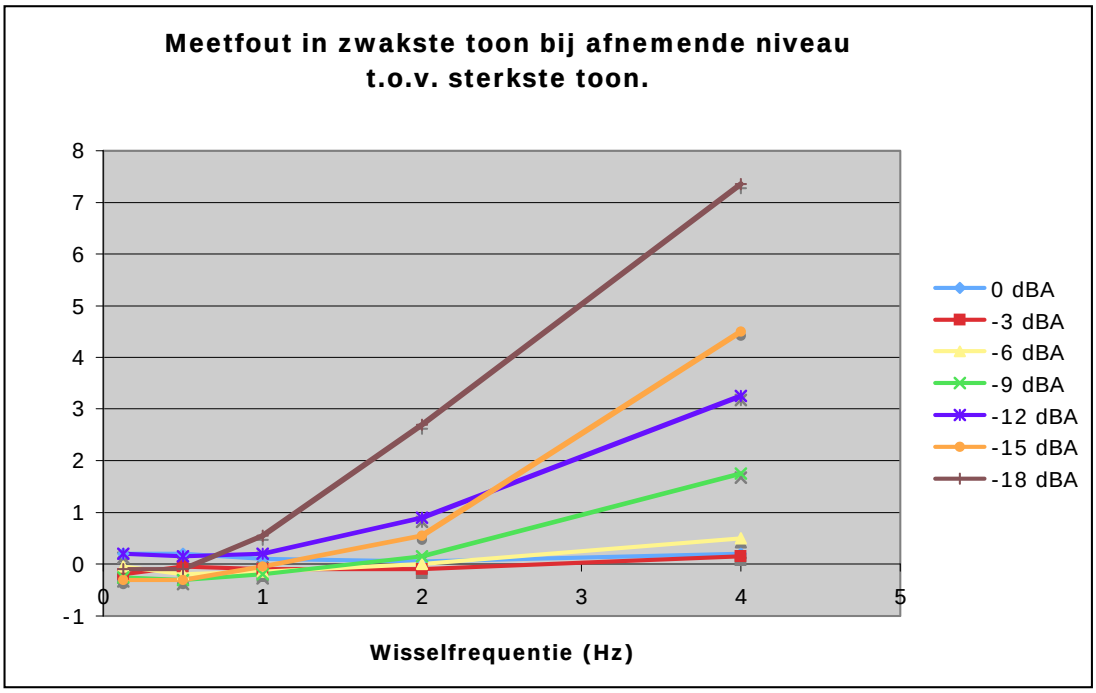
Geconcludeerd kan worden dat het meten van L_{Amin} en L_{Amax} de enige praktische mogelijkheid is om het geluidniveau per toon nauwkeurig te bepalen.

B.3 Betrouwbaarheid meetmethode met behulp van L_{Amin} en L_{Amax}

Om te onderzoeken in hoeverre L_{Amin} en L_{Amax} betrouwbare meetwaardes opleveren is een proef uitgevoerd met een duurdere (type 1) en goedkopere (type 2) geluidniveaumeter.

De metingen werden uitgevoerd in een reflectievrije ruimte (akoestisch dode kamer) bij TNO. De microfoons werden verlengd met bijgeleverde microfoonkabels en op een akoestisch harde plaat gepositioneerd, elk gericht op de geluidbron (hoornluidspreker). De geluidbron stond op 0,4 m hoger op 5,5 m afstand. Het signaal bestond uit een basis tweetoon die werd afgespeeld via een hoornluidspreker, waarbij de wisselfrequentie en het geluidniveau van iedere toon apart instelbaar was. De geluidniveaumeters waren vooraf gecalibreerd met een type 1 tooncalibrator.

In de proef werd de hoge toon met een constant geluidsniveau afgespeeld en de lage toon in stappen van 3 dB verzwakt weergegeven. Het gemeten maximale geluidsniveau (L_{Amax}) was constant, onafhankelijk van wisselfrequentie en geluidniveauverschil.
Het minimale geluidniveau (L_{Amin}) werd van 1 Hz systematisch overschat. Figuur 1 laat deze systematische overschatting van het aangeboden geluidniveau van de zwakste toon zien. Voor wisselfrequenties tot 2 Hz blijft de meetfout beperkt tot 1 dBA mits het geluidniveauverschil tussen de tonen kleiner dan ca. 15 dB is. De regeling optische en geluidsignalen 2009 staat verschillen groter dan 15 dBA niet toe (het minimum geluidniveau is 110 dBA en het maximum is 125 dBA) terwijl de maximale wisselfrequentie beperkt is tot 2,5 Hz (de maximale wisselfrequentie is 5 Hz maar er moet volgens de regeling ruimte zijn voor een verdubbeling van de wisselfrequentie). Een correctie voor een systematische onderschatting zal in de praktijk dus niet nodig zijn.



Figuur 1 Overschatting van het geluidniveau van zwakste toon bij uitlezing van $L_{Amin,}$ De fout neemt toe als functie van wisselfrequentie. De fout neemt ook toe naarmate het verschil tussen aangeboden geluidniveau van zwakkere en sterkere toon groter wordt (vergelijk verschillende curves). Elk punt is het gemiddelde van metingen met twee geluidniveaumeters (M_1 en M_2). Het aangeboden geluidniveau van de zwakste toon is bepaald uit L_{Amin} bij de laagste gemeten wisselfrequentie (0,125 Hz).

Voor het meten van het geluidniveau biedt L_{Amin} en L_{Amax} dus een betrouwbare oplossing. Deze methode kan zowel met goedkopere geluidniveaumeters (type 2) als met geavanceerdere (type 1) geluidniveaumeter worden uitgevoerd. Daarbij moet opgemerkt worden dat een kleine stilte tussen tonen meteen het laagste geluidsniveau (L_{Amin}) doet zakken. Het meten van de zachtste toon door middel van L_{Amin} is dus niet betrouwbaar indien er stiltes tussen de tonen hoorbaar zijn.

Distributielijst

Kijk voor het invoegen van de juiste distributielijst op uw lokale netwerk.

5 ex. Landelijke Faciliteit Rampenbestrijding, Ministerie BZK
dhr. P. Verhage.

2 ex TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Soesterberg,
Archief

1 ex. TNO Industrie en Techniek, vestiging Delft,
A.R. Eisses

3 ex. TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Soesterberg,
dr. J.A. Beintema,
J.A. Verhave
ir.P.A.J.Punte