



Bepaling van de meetonzekerheid en gelijkwaardigheid van onbemande geluidmeetinstallaties met methode U95

*Rein.C.Muchall
Geluidconsult bv.*

R.Muchall@geluidconsult.nl, Teleportboulevard 110 1043 EJ Amsterdam 020-4752058

Inleiding

De laatste jaren wordt steeds meer gebruik gemaakt van onbemande automatisch werkende geluidmeetinstallaties. Dat zijn installaties die met geprogrammeerde meetintelligentie automatisch ongewenste geluiden wegfiltert en een beoordelingsparameter produceert. De meest gebruikte toepassing hiervan is die ten behoeve van het meten van vliegtuiglawaai en industrielawaai. Ook in andere sectoren zijn ze te vinden zoals rond popconcerten of andere evenementen als auto- of motorrace circuits, langs bepaalde verkeerswegen of verkeerspleinen. In de toekomst kunnen ook onbemande meetinstallaties worden ingezet in verband met de in ontwikkeling zijnde regelgeving over emissieplafonds voor wegen en spoorwegen. Het grote voordeel van een dergelijke installatie is de besparing aan mankracht en de grotere representativiteit. Ook kunnen beter lawaai-incidenten worden opgespoord.

Een belangrijk aspect hierbij is de meetonzekerheid van de onbemande geluidmeetinstallatie en de vraag of ze als gelijkwaardig kunnen worden beschouwd aan een correct uitgevoerde bemande meting. Er is momenteel geen nog nationaal of internationaal erkende methode om de meetonzekerheid van een onbemande geluidmeet installatie te bepalen. Onderstaand wordt een poging gedaan hieraan tegemoet te komen.

Meetvoorschriften

In Nederland kennen we sinds meer dan 25 jaar een aantal door de Wet Geluidhinder voorgeschreven meet en rekenmethoden. Sinds enkele jaren zijn deze ondergebracht onder het Reken en meetvoorschrift Geluidhinder 2006. In dit kader zijn mogelijkheden van onbemande metingen en de criteria en behandeling van stoorlawaai van belang.

Industrielawaai

Bij industrielawaai wordt de Handleiding Meten en Rekenen Industrielawaai 1999, kortweg HMRI1999 wettelijk voorgeschreven. In deze handleiding wordt de mogelijkheid open gelaten om op andere wijze te meten dan in het voorschrift is aangegeven, mits aannemelijk wordt gemaakt dat die werkwijze:

-een belangrijke kostenbesparing oplevert en nagenoeg even nauwkeurig is of belangrijk nauwkeuriger is

-of voldoende nauwkeurig is en geen van de beschreven methoden tot een voldoende representatief equivalent geluidniveau leidt.

In de HMRI 1999 module C methode II.1, directe imissiemetingen, hoofdstuk 3.6.2 van de HMRI 1999 wordt expliciet ingegaan op de mogelijkheden van geluidbewakingsystemen rond grote industrieën. De eisen die hierbij gesteld worden zijn:

- De meting moet representatief zijn dat wil zeggen dat 20 % van de metingen moeten plaatsvinden bij weersomstandigheden die aan het meteoraam industrielawaai voldoen.*
- Er mag geen invloed zijn van stoorlawaai.*

Er is niet gedefinieerd wanneer er wel of geen sprake is van invloed van stoorlawaai. Bij andere werkvelden in de akoestiek wordt vaak gesteld dat indien het stoorlawaainiveau meer dan 10 dB onder het bronlawaainiveau ligt, de invloed van stoorlawaai kan worden verwaarloosd. Dit betekent dat bij een stoorlawaai correctie kleiner dan 0.413 dB geen correctie meer hoeft te worden toegepast. Dit betekent tevens dat de totale geluidenergie van het stoorlawaai na filtering niet meer dan 10 % van de totale geluidenergie van het bronlawaai mag bedragen.

Vliegtuiglawaai

Voor het meten van vliegtuiglawaai bestaat in Nederland geen meetvoorschrift. Wel is er een concept meetvoorschrift ISO-DIS 20906 “Unattended monitoring of aircraft sound in the vicinity of airports van 29-2-2008. Ten aanzien van de event detection worden drie criteria genoemd:

- 1 The expanded uncertainty of the measured cumulated exposure level of all aircraft sound events shall not exceed 3 dB.*
- 2 At least 50 % of true aircraft sound events shall be correctly classified as aircraft sound events*
- 3 The number of non-aircraft sound events which are incorrectly classified as aircraft sound shall be less than 50 % of the true number of aircraft sound events.*

The test period shall include at least 20 aircraft sound events of the same type of aircraft operation each of which produces an AS-weighted sound level

Het criterium van 3 dB lijkt erg groot. De grootste afwijking is echter toegerekend aan spreiding in de overdracht en in de bronsterkte. Voor afwijking door stoorlawaai is maar enkele tienden van decibellen beschikbaar.

Het criterium van 50 % correct geclassificeerde noise events lijkt erg ruim. In de praktijk betekent dit dat de luidste helft van de noise events goed geclassificeerd moet worden. Bij een

normale verdeling bevat deze bovenste helft 95 % van de totale geluidenergie. De andere onderste helft telt voor slechts 0.2 dB mee in de totale geluidbelasting.

Weg- en spoorweglawaai

Bij het Reken een Meetvoorschrift Geluidhinder 2006 wordt de meetmethode voor wegverkeer beschreven in bijlage III en voor spoorweglawaai in bijlage IV. De voorschriften zijn nagenoeg gelijkkluidend. Ten aanzien stoorlawaai wordt opgemerkt: tw:

Andere geluiden dan dat van het wegverkeer op het betreffende weggedeelte resp. spoorweggedeelte mogen het meetresultaat niet zodanig beïnvloeden dat een afwijking van 0.5 dB of meer optreedt.

Normen meetonzekerheid voor het milieu

Wat betreft de meetonzekerheid en gelijkwaardige meetmethoden in de milieusector zijn er recent twee Nederlandse normen gepubliceerd: de NEN 7778 in juli 2003 “gelijkwaardigheid van meetmethoden” en de NEN 7779 in februari 2008”Milieu meetonzekerheid”. Hoewel deze normen meer op het chemisch analytische laboratorium zijn gericht, is hieruit voor geluidmetingen een geschikte methode af te leiden. Omdat deze methode niet kijkt naar de wijze waarop het systeem werkt, maar alleen naar het eindresultaat kan deze methode als de “black box methode” worden aangeduid.

Black Box methode

Deze werkt als volgt: voer een aantal metingen uit van de beoordelingsparameter onder verschillende omstandigheden door middel van een referentie methode en door middel van de kandidaat gelijkwaardige methode en bepaal per meting het verschil d_i tussen de referentie en de kandidaat methode.

Bepaal het energetisch gemiddelde verschil d_g . volgens

$$d_g = 10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} 10^{\frac{d_i}{10}} \right) \dots\dots\dots [1]$$

Bepaal vervolgens de standaard meetonzekerheid u van de verschillen volgens:

$$u = RMS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} (d_i)^2} \dots\dots\dots [2]$$

Bepaal tenslotte de zgn. expanded uncertainty U_{95} die bij 95 % dekkingsgraad een zgn. coverage factor k van 2 vraagt dwz. twee maal de standaard meetonzekerheid.

$$U_{95} = 2 * u + d_g \dots\dots\dots[3]$$

Als er gecorrigeerd wordt voor de systematische afwijking, kan de d_g op nul gesteld worden.

Gelijkwaardigheidscriterium

Op grond van wat gesteld is bij de Nederlandse meetvoorschriften zoals boven toegelicht moet de U_{95} minder bedragen dan 0.5 decibel. De uitvoeringsdetails zijn hierbij van groot belang.

Beoordelingsparameter

De beoordelingsparameter is afhankelijk van het soort lawaai. Bij industrielawaai geldt als beoordelingsparameter het langetijd gemiddeld beoordelingsniveau $L_{Ar,LT}$ van een etmaalperiode, bestaande uit L_{dag} , L_{avond} en L_{nacht} . Bij vliegtuiglawaai is dat de L_{den} over een jaar. En bij weg- en spoorweglawaai het representatieve dag-avond en nachtniveau, waaruit de L_{den} kan worden bepaald.

Referentiemeting

De gelijkwaardigheid van de onbemande meting wordt bepaald ten opzichte van de referentiewaarneming. De meest zuivere vorm is een bemande meting volgens de HMRI-1999 waarbij de meting wordt gepauzeerd tijdens het optreden van stoornis. De betrouwbaarheid van de stoornis waarneming moet meer dan 98 % zijn om de validiteit van het meetsysteem met meer dan 95 % betrouwbaarheid te kunnen vaststellen.

Een bruikbaar praktisch alternatief is een niet-automatisch werkend onbemand geluidmeetsysteem waarbij van elk geluidmoment dat het heersende L_{95} niveau met meer dan 10 dB overschrijdt, een geluidopname wordt gemaakt. Er zijn verschillende meetsystemen op de markt die deze eigenschappen hebben. Zo'n referentiemeting kan extra meetparameters bevatten zoals registraties van hulpmicrofoons, microfoonhuizen, magnetische lussen, radarwaarnemingen etc. Essentieel is dat de classificatie van het stoornis gedaan wordt door een mens met 98% betrouwbaarheid.

Representativiteit

De omstandigheden tijdens de validatie metingen moeten representatief zijn voor het gehele jaar en in principe alle omstandigheden bevatten waaronder volgens de HMRI-1999 bemande metingen mogen worden uitgevoerd. Dat geldt vooral voor de aanwezigheid van stoornis. Om die representativiteit van stoornis te waarborgen moet een verkenning gemaakt worden van de verschillende op de meetlocatie te verwachten soorten stoornis. Dat kunnen bijvoorbeeld zijn: windgeruis, verkeerslawaai, menselijke stemmen, muziek etc. Bij een goede representativiteit komt het gemiddelde aan stoorgeluid type x tijdens de acht

validatiemetingen overeen met het gemiddelde aan stoorgeluid type x gedurende het hele jaar, maar bij de test moet ook een keer de extreme hoeveelheid stoorkawaai type x voorkomen. De mate van stoorkawaai is plaats gebonden. De test is daarom alleen geldig voor de onderzochte lokatie.

Dekkingsgraad

Volgens de NEN -7778 en 7779 en de ISO/DIS 20906, die weer gebaseerd is op de ISO Guide 98 "guide to the expression of uncertainty in measurements (GUM) dient bij de beoordeling van de meetonzekerheid een betrouwbaarheid van 95 % te worden aangehouden. Dat betekent dat in 95 % van de meettijd aan het criterium wordt voldaan. Bij een bedrijfsduur van 250 dagen per jaar komt dat neer op 237 dagen. Gedurende 13 dagen wordt dan niet voldaan aan het criterium. Dat sluit aardig aan bij het principe van de Wet MilieuBeheer dat bij extreme omstandigheden gedurende maximaal 12 dagen gesproken kan worden van een uitzonderings situatie.

Aantal en duur van de test.

In de NEN 7778 wordt voorgeschreven minimaal 8 monsters te nemen. Dit komt uit laboratoriumwereld met chemische analyses. Toegepast op geluidmetingen zou dat betekenen dat er 8 metingen moeten worden uitgevoerd om voldoende basis te hebben voor bepaling van de standaard meetonzekerheid.

De duur van elke test moet bij voorkeur gelijk zijn aan de duur van de beoordelingsparameter dwz. een gehele etmaalperiode. Dit kan praktische bezwaren opleveren. Een kortere testduur zou statistisch gezien toelaatbaar zijn omdat de spreiding van het gemiddelde van een korte meting in principe een factor $\sqrt{T_{lang} / T_{kort}}$ groter is dan die van een lange meting. Theoretisch geeft dat een benadering aan de veilige kant. Een praktische aanpak zou kunnen zijn 4 etmalen te meten en van elke etmaalperiode de helft te nemen. Er moet daarbij wel aan de representativiteits criteria worden voldaan. Als bij de verkorte meetduur net niet aan de criteria wordt voldaan kan de validatiemeting alsnog aangevuld worden tot de volle 8 etmalen of er kan als benadering worden geëxtrapoleerd naar de volle beoordelingsperiode volgens bovenstaande verhouding van de meettijden. Bij Vliegtuiglawaai is dat praktischer dan een half jaar bemand meten.

Invloed deelvarianties

Een nadeel van de blackbox methode is het feit dat bij de bepaling van de verschillen tussen onbemande en bemande meting een aantal partiële meetonzekerheden verborgen zijn die niets met de herkenningcapaciteit van de onbemande installatie te maken hebben. De totale variantie $\delta = u^2$ bestaat immers uit een aantal deelvarianties die voor bemande en onbemande geluidmeetsystemen grotendeels hetzelfde zijn tw:

$$u^2 = u^2_{\text{microfoon}} + u^2_{\text{geluidmeter}} + u^2_{\text{calibratie}} + u^2_{\text{geluidoverdracht}} + u^2_{\text{bronstekte}} + u^2_{\text{herkenning}}$$

Het is van belang gedurende de validatiemetingen te proberen de varianties van beide meetsystemen hetzelfde te houden. Dus meten op dezelfde locatie aan dezelfde bron, zo mogelijk met dezelfde microfoon en meter en calibreren met de zelfde calibrator.

Analytische bepalingmethode van de herkenningsfout

Naast de black box methode kan ook een andere methode gevolgd worden die alleen kijkt naar de onjuistheid van de classificatie van de geluidmomenten. Het gaat er hier niet om wat er goed geselecteerd wordt, maar om wat er aan fouten in het resultaat overblijft. Het voordeel van de analytische methode is dat er geen invloed is van spreiding van microfoon, calibrator etc. omdat de methode zich alleen richt op de herkenningsfout. Verder is het voordeel dat het een goed inzicht geeft welke soort stoorlawaaimomenten wel of niet goed wordt geclassificeerd. Voor ontwikkelingsdoeleinden is het daarom de aangewezen methode.

Er moet hierbij aan de volgende randvoorwaarden wordt voldaan:

-1-Het stoorlawaai moet in losse geluidmomenten (noise events) op te delen zijn die bij de bemande meting en door het onbemande systeem te onderscheiden zijn van het bronlawaai. Een geluidmoment wordt hierbij gedefinieerd als een geluidmoment dat het heersende L95 achtergrondniveau met minimaal 10 of 15 dB dB overschrijdt. Het bronlawaai wordt eveneens in afzonderlijke geluidmomenten opgedeeld. Bij vliegtuig-weg en spoorweglawaai is dat duidelijk. Bij continu industriellawaai kan dat worden gerealiseerd door de geluidenergie van het brongeluid tussen de stoorlawaai momenten, eventueel gecorrigeerd voor het achtergrondniveau, te registreren.

-2-Het onbemande meetsysteem moet voldoen aan alle eisen van het meetvoorschrift voor bemande metingen. Dit moet van tevoren zijn vastgesteld omdat hier alleen gekeken wordt of de stoorlawaai classificatie van het onbemande systeem goed genoeg werkt

De resterende herkenningsfout bestaat uit twee componenten: nl. het stoorlawaai dat ten onrechte niet is verwijderd: Esf en het bronlawaai dat ten onrechte is verwijderd omdat het filter hiervoor te streng werkt.: Ebf. Beide fouten werken tegengesteld en zijn in principe onafhankelijk van elkaar. In de meeste situaties compenseert de ene fout de andere voor een deel. Het kan dus zijn dat het meetsysteem nog vrij veel stoorlawaai doorlaat, maar dat dit gecompenseerd wordt door dat het tevens vrij veel bronlawaai uit de metingen verwijderd. De maximale fout op het eindresultaat treedt op als een van de fouten maximaal is en de andere fout is minimaal. Men moet dus voor de beoordeling weten hoe groot de afzonderlijke fouten zijn. Als dit verschil in 95% van de gevallen binnen de 10 % van het bronlawaai blijft is dat geen probleem.

Procedure

- 1)Bepaal gedurende elke validatiemeting bij de bemande referentie meting r van elk geluidmoment j het tijdstip t_{br,j} de geluidenergie E_{br,j} en de tijdsduur T_{br,j}. Bij deze meting wordt het stoorniveau apart geregistreerd met de aanduiding t_{sr,j}, E_{sr,j} en T_{sr,j}.
- 2)Laat het kandidaat automatische meetsysteem k eveneens van elk onderscheidbaar geluidmoment j het tijdstip t_{jk}, geluidenergie E_{jk} en tijdsduur T_{jk} bepalen.
- 3)Classificeer elk geluidmoment in de klasse bronlawaai, en verschillende klassen stoorniveau. Bij de referentiemeting gebeurt de classificering door een mens, bij het onbemande systeem doet het systeem dat aan de hand van de daarvoor ontwikkelde herkenningparameters.
- 4)Bepaal aan de hand van de vergelijking van het onbemande systeem met het referentiesysteem de geluidenergie van de geluidmomenten in de volgende klassen:

- E_{bg} goed geclassificeerde bronlawaaimomenten
- E_{sg} goed geclassificeerde stoorniveaumomenten
- E_{sf} onterecht goedgekeurde stoorniveaumomenten
- E_{bf} onterecht, dus fout afgekeurde bronlawaaimomenten

Geldige meettijd

Om tot een geluidniveau te komen moet de geluidenergie verdeeld worden over de geldige meettijd. De meting is alleen geldig als er geen sprake is van stoorniveau en als de geluidmeetinstallatie in bedrijf is. Volgens het meetvoorschrift moet er bij de bemande meting gepauzeerd worden tijdens het optreden van stoorniveau. Bij een onbemande meting moet de tijdsduur van het stoorniveau van de totale meettijd worden afgetrokken. Dit wordt gedefinieerd als ongeldige meettijd.

$$T_{\text{geldig}} = T_{\text{totaal}} - \sum T_{\text{ongeldig}} \dots\dots\dots [4]$$

De selectiecapaciteit wordt bepaald door de hoeveelheid stoorniveau die het systeem ingaat, gedeeld door de hoeveelheid die overblijft volgens:

$$\Delta L_{\text{selectie}} = 10 * \log \left(\frac{\sum E_{sr}}{\sum E_{sf} - E_{bf}} \right) \dots\dots\dots [7]$$

De fout die het onbemande meetsysteem maakt na selectie van de geluidmomenten bij meting j t.o.v de referentiemeting j bedraagt.

$$dL_{\text{fout},j} = d_j = 10 * \log \left(\frac{\sum E_{sf} - \sum E_{bf}}{T_{\text{geldig}}} \right) \dots\dots\dots [6]$$

Anders gezegd: de 10 log van energetische som van de fout geclassificeerde geluidmomenten gedeeld door de geldige meettijd van de referentiemeting. Dit wordt bepaald voor 8 verschillende onafhankelijke representatieve metingen.

Vervolgens wordt het gemiddelde verschil bepaald d_g en de standaardonzekerheid van de verschillen u bepaald zoals beschreven bij de black box methode. De uitgebreide meetonzekerheid bij 95 % dekkingsgraad bedraagt aldus:

$$U_{95} = 2 * u + d_g \dots\dots\dots[8]$$

Zoals eerder gesteld mag, om het onbemande meetsysteem gelijkwaardig te kunnen stellen aan een bemande meting volgens de HMRI-1999 de U_{95} niet groter zijn dan 0.5 dB.

Beperking van de meetomstandigheden

De volledige gelijkwaardigheid geldt alleen als het toepassingsbereik van de onbemande meting gelijk of beter is dan die van de bemande meting. Als het onbemande systeem niet in staat is om onder alle omstandigheden van het meetvoorschrift te meten is het systeem in principe niet 100 % gelijkwaardig. In dat geval moet de beperking duidelijk worden aangegeven en moet worden nagegaan of deze beperking van de meetcondities geen systematische afwijking introduceert. Een voorbeeld daarvan is beperking van de maximum windsnelheid. Bij een krachtige meewind is de geluidoverdracht van bron naar ontvanger relatief gunstig, waardoor er onder die omstandigheid een hoge geluidbelasting gemeten wordt. Als deze conditie wordt afgekap, kan de gemiddelde geluidbelasting lager uitvallen.

Rapportage

Aan de rapportage van een gelijkwaardigheidonderzoek worden in de NEN 7778 eisen gesteld. Dit moet tenminste de volgende informatie bevatten:

- de referentieprocedure
- de kandidaat gelijkwaardige procedure
- de onderzoeksperiode
- de naam van de verantwoordelijke onderzoeker en instelling
- de vergeleken prestatiekenmerken
- de gespecificeerde validatieprocedure incl apparatuur en hulpmiddelen
- de oorspronkelijke meetresultaten en de omstandigheden waaronder deze zijn verkregen
- de gevolgde rekenwijze
- de resultaten incl. randvoorwaarden van geldigheid
- een verwijzing naar de NEN 7778

Referenties

- NEN 7778-2003 “Milieugelijkwaardigheid van meetmethoden
- NEN 7779-2008 “Milieu-meetonzekerheid
- ISO/DIS 20906.2-2008 “unattended monitoring of aircraft sound in the vicinity of airports.
- Handleiding meten en rekenen industrielawaai 1999, min VROM, ISBN 90 422 02327