
Meetfout en spreiding bij geluidmetingen aan treinen door onbemande geluidmeetposten

Edwin Verheijen
dBvision, Vondellaan 104, 3521 GH Utrecht

Unmanned monitoring stations for railway noise: measurements errors and spread

Abstract

The infrastructure management organisation ProRail has installed five noise monitoring stations on the Dutch railway network for the purpose of monitoring the performance of trains. As the stations are able to identify individual trains by reading their electronic tags, a unique possibility is created for statistical analysis of railway noise and the monitoring of individual trains and vehicles.

In order to compare the rolling noise of trains measured at different track locations, it is required to apply a correction for rail roughness differences and train speed. After doing so, a fairly small spread remains: the standard deviation across a large number of trains of one type at various measurement sites is slightly over 1 dB. This residual spread is explained to a similar degree by variations within the train types and variations between sites. The variation within the train types seems to be dependent on the wheel roughness, as train types with smooth wheels have a larger spread than trains with rough wheels. The variation between measurement sites is probably related to variations between track constructions. Although the track construction is identical near all monitoring stations, it is known that for example the effective stiffness of the rail pads – which has influence on rolling noise – can differ in practice. But there is also evidence that the national method for rail roughness correction has shortcomings.

1. Introductie

Het meten met onbemande geluidmeetposten is gemeengoed bij het monitoren van het geluid van luchtvaart en industrie. Het gaat daar met name om de bepaling of bewaking van de gemiddelde geluidmissie over een bepaalde periode. Zulke standaardapplicaties zijn meestal niet toegerust voor het bepalen van de geluidemissie per type bron, omdat noodzakelijke informatie over de bron moet worden toegevoegd. Dit vereist het nodige maatwerk.

Voor de identificatie van de treinen kan in Nederland gebruik worden gemaakt van de elektronische tags (Radio Frequency Identification tags) die door NS voor onderhoudsdoeleinden op treinen zijn geïnstalleerd. Daarmee kunnen de reizigerstreinen automatisch worden herkend. Goederentreinen zijn op deze manier overigens niet te herkennen. De tag-database wordt beheerd door NS-dochter NedTrain en door ProRail.

In het kader van het Innovatieprogramma Geluid heeft ProRail sinds 2006 een vijftal onbemande geluidmeetposten geïnstalleerd op het hoofdspoorwiel. Een uitvoerige systeem-beschrijving wordt gegeven in [1]. De geluidmeetposten zijn op specificatie gebouwd door twee verschillende leveranciers.

Voor de analyse van de meetdata is een uitgebreid programma uitgevoerd, waarbij ook de invloed van de meetlocatie op de spreiding is gecontroleerd. De meetposten zijn uitgerust met tag-herkenning.

Het gemeten passagegeluid van een bepaalde trein hangt af van een veelheid van parameters die samenhangen met het spoor en de nabije omgeving. Om de gemeten geluidniveaus van treinen te middelen en/of onderling te vergelijken, moeten de meetlocaties akoestisch gelijkwaardig zijn. De Technische Regeling van het Reken en Meetvoorschrift stelt daarom eisen aan bovenbouwtype, railruwheid, meteokader, achtergrondlawaai, etc.. De meetposten staan op locaties die in principe aan deze eisen voldoen. De railruwheid verschilt wel tussen de diverse locaties, maar de gemeten geluidniveaus worden hiervoor gecorrigeerd. Verder worden aanvullende gegevens (meteo, railtrillingen, passageduur, aantal bakken) gemeten waarmee afwijkende metingen kunnen worden getraceerd en uitgesloten.

2. Spreiding bij passages van dezelfde trein

Bij geluidmetingen aan treinen treedt net als bij andere soorten metingen een zekere spreiding op, ook als steeds aan passages van dezelfde trein op dezelfde locatie (met dezelfde snelheid op dezelfde meetdag, dichtbij het spoor) wordt gemeten. Deze spreiding wordt mede verklaard doordat de trein steeds een iets andere rijlijn op de rails volgt, waarbij wielen en rails (dat zijn de belangrijkste geluidbronnen bij rolgeluid van treinen) een andere ruwheidsexcitatie ondergaan waardoor er variatie zal ontstaan in de geluidemissie.

De standaard deviatie van de geluidniveaus van één specifieke trein die meerdere keren op dezelfde dag met dezelfde snelheid langs dezelfde spoorlocatie rijdt, ligt bij bemande geluidmetingen normaliter tussen 0,2 en 0,5 dB. Dit kan worden opgemaakt uit passagemetingen aan testtreinen (zie bijvoorbeeld [2]).

Een vergelijkbare spreiding is gemeten bij de geluidmeetposten. Hiertoe zijn 22 treinen van type IRM, dit is een relatief stil treintype, gevolgd langs vier geluidmeetposten in de periode april tot juli 2006. De resultaten zijn gecorrigeerd voor snelheidsverschillen. Eerst is van elk van de 22 treinen de standaard deviatie berekend over zijn passages op elk van beide sporen van een geluidmeetpost. Vervolgens is per spoor het gemiddelde genomen van de standaard deviaties van de afzonderlijke treinen, zie tabel 1. De gemiddelde spreiding bedraagt 0,4 dB. Bij 5 treinen van type Mat64 werd een gemiddelde spreiding van 0,6 dB gevonden. Beide komen goed overeen met het genoemde bereik bij bemande metingen.

Tabel 1: Spreiding IRM-treinen.

meetpost+spoor	spoorlijn	locatie	stdev (dB)
Bussum A	Amersfoort → Amsterdam	km 16.800	0,4
Bussum B	Amsterdam → Amersfoort	km 16.800	0,3
Esch A	Eindhoven → Utrecht	km 56.700	0,8
Esch B	Utrecht → Eindhoven	km 56.700	0,4
Zeist A	Arnhem → Utrecht	km 50.700	-
Zeist B	Utrecht → Arnhem	km 50.700	0,2
Willemsdorp A	Lage Zwaluwe → Dordrecht	km 21.000	0,4
Willemsdorp B	Dordrecht → Lage Zwaluwe	km 21.000	0,4
gemiddeld			0,4

3. Spreiding per treintype

Door op één locatie te meten aan zeer veel treinen van hetzelfde type, wordt de spreiding in de meetresultaten van dat treintype bepaald. Bij bemande metingen bedraagt deze normaliter tussen 0,5 tot 2 dB afhankelijk van het materieeltype. Dit kan bijvoorbeeld worden opgemaakt uit de IPG-onderzoeken naar raildempers en akoestisch slijpen uit de periode 2002-2004. De minste spreiding treffen we bij de diverse types reizigerstreinen. Bij goederentreinen is de variatie van ordegrrootte 2 dB, omdat juist daar veel diversiteit is in de wagons: bijvoorbeeld verschillende aantallen assen en verschillende wagonlengten.

Bij de geluidmeetposten worden vergelijkbare spreidingscijfers gevonden, zie tabel 2. In deze tabel is ook het categorienummer uit het Reken en Meetvoorschrift Geluidhinder opgenomen voor de verschillende treintypes, alsmede een indicatie van de wielruwheid. Een hoge wielruwheid zorgt voor een hoger rolgeluidniveau.

Tabel 2: Spreiding binnen de treintypes, gemiddeld over alle meetposten.

	materieeltype	wielruwheid	aantal treinpassages (populatie)	spreiding σ (st. dev.)
cat. 1	Mat64	hoog	1700	1,2
cat. 2	ICR	hoog	1500	0,7
	ICM3	hoog	1400	0,9
cat. 3	SGM	laag	26	1,0
cat. 4	goederen	hoog	600	2,2
cat. 8	mDDM+DDM2	laag	850	1,7
	ICM4	laag	700	1,2
	IRM	laag	900	1,6
cat. 9	Thalys	laag	70	0,9

In deze lijst valt op dat de treintypes met een hoge wielruwheid in de meeste gevallen een geringere spreiding in geluidniveaus hebben dan treintypes met een lage wielruwheid. Kennelijk is er meer variatie in wielruwheid bij treinen met een lage wielruwheid dan bij treinen met een hoge ruwheid. Maar dit kan ook samenhangen met een beperkte nauwkeurigheid van de railruwheidscorrectie die is toegepast op de meetresultaten. Dit wordt in de volgende paragraaf nader toegelicht.

4. Meetlocaties

4.1 Correcties

In de inleiding is reeds genoemd dat de meetlocaties aan een aantal eisen moeten voldoen die een vergelijking van meetresultaten mogelijk maken. Zo is het bovenbouwtype van het spoor bij de geluidmeetposten steeds gelijk: NS90 betonnen dwarliggers, steenslag ballast, 54 E1 spoorstaven, FC9 onderlegplaatjes. Desalniettemin resteren er nog afwijkingen waarvoor gecorrigeerd zal moeten worden alvorens uitspraken te doen over de geluidemissie van een trein in relatie tot de nominale geluidemissie of emissies van andere meetlocaties:

1. passagesnelheid van de trein;
2. railruwheid op de meetlocatie;
3. akoestische overdracht (afstand microfoon en eventuele bodemabsorptie).

De meetresultaten uit de vorige paragrafen zijn hiervoor gecorrigeerd. Naast deze corrigeerbare factoren blijven nog andere factoren over waarvoor geen eenvoudige correctiemethode bestaat: spoorligging, effectieve stijfheid van de onderlegplaten en ballast, dikte van de railkop. We bespreken hier de drie corrigeerbare afwijkingen, en kijken dan naar de resterende variatie in geluidniveaus.

De snelheidscorrectie is het meest bekend. Grofweg stijgt de emissie van treinen met 1 dB(A) per 10% snelheidstoename. Als de materieelcategorie bekend is, kan de snelheidscorrectie echter met hoge nauwkeurigheid (tienden van dB's) worden toegepast.

De railruwheidscorrectie is opgenomen in de laatste versie van het Reken- en Meetvoorschrift. Voor deze correctie is het noodzakelijk railruwheidsspectra te meten. Er wordt gecorrigeerd naar gemiddelde ruwheid van het Nederlandse net. De waarde van de railruwheidscorrectie kan bij treinen met gladde wielen oplopen tot enkele dB's. Indien nog grotere correctiewaarden zouden moeten worden toegepast, loopt de nauwkeurigheid ervan terug en is het aan te bevelen het spoor bij de geluidmeetpost te slijpen.

De akoestische overdracht kan ook verschillen van locatie tot locatie. Deze is van belang wanneer conform de Technische Regeling de gemeten geluidniveaus worden omgerekend naar emissiekentallen. De invloed van de omgeving van het spoor is aanmerkelijk beperkt sinds de meetafstand tot 7,5 m is teruggebracht (in RMV1996 was dat 25 m). Daardoor is nauwelijks meer van belang of het spoor op een talud ligt, of dat het talud begroeid is en of er een zwakke meewind of tegenwind is, zie [3]. Wel is de werkelijke microfoonafstand van belang. Bij de meetposten te Willemsdorp en in mindere mate Zeist is afgeweken van de standaard meetafstand van 7,5 m (1,2 m boven BS). De microfoon zou dan namelijk op een onveilige plaats staan. Met overdrachtsberekeningen is daarom een correctie bepaald om de meetwaarden terug te rekenen naar de standaardafstand van 7,5 m.

4.2 Variatie tussen de locaties

Ondanks deze correcties resteert een redelijk grote plaatsafhankelijke variatie. Bij bemande metingen uit begin jaren negentig, waarbij van één Mat64-treinstel de railruwheid en geluidemissie op 30 locaties in Nederland is vastgesteld [4], trad na deze correcties een spreiding op van 1,5 dB. Bij deze 30 locaties waren enkele locaties met vrij ruwe rails.

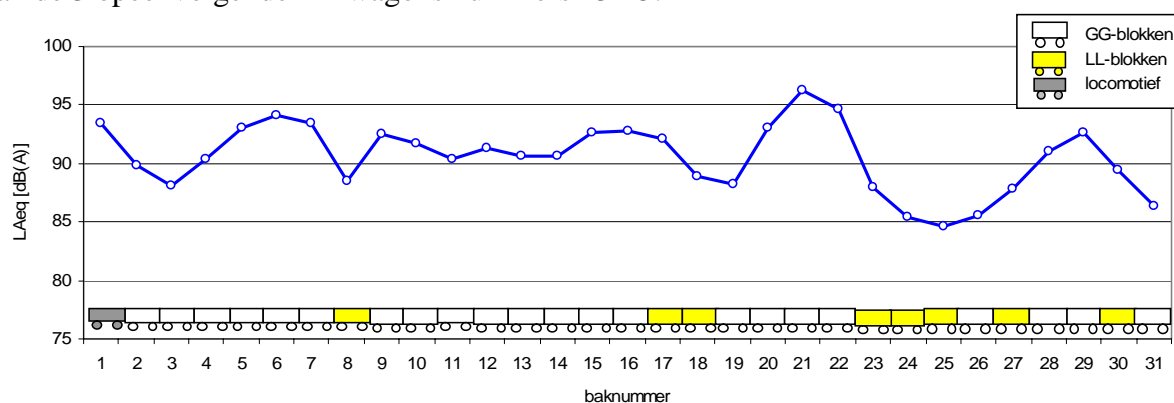
Tussen de meetposten, waarbij de gemeten railruwheid een lage tot matige waarde heeft, resteert na de correcties voor snelheid, ruwheid en overdracht nog een gemiddelde spreiding van $1,4 \pm 0,3$ dB bij IRM-treinen en $1,1 \pm 0,2$ dB bij Mat64-treinen. Het gaat daarbij om een gemiddelde over 22 IRM-treinen en 5 Mat64-treinen die langs alle meetposten reden. Omdat de spreiding bij IRM-treinen (gladde wielen) groter is dan bij Mat64 (ruwe wielen), bestaat het vermoeden dat de correctiemethode voor railruwheidsverschillen iets tekortschiet. Anders dan bij tabel 2 speelt hier namelijk geen variatie binnen het treintype meer mee.

Deze spreiding *tussen* de meetlocaties, 1,1 dB voor Mat64 en 1,4 dB voor IRM, kan verder worden vergeleken met de spreiding *binnen* die treintypes. Voor Mat64 is dat 1,0 dB en voor IRM is dat 1,2 dB, gemiddeld per locatie. Kennelijk is de variatie binnen een treintype vrijwel even groot als de spreiding tussen de meetlocaties (na correctie voor snelheid, ruwheid en overdracht).

5. Geluidniveaus per wagon

5.1 Beperkte resolutie

De geluidmeetposten geven per treinpassage ook de niveaus per wagon. Dit kan slechts met beperkte nauwkeurigheid, omdat op 7,5 m van het spoor niet alleen het geluid van de passerende wagon, maar ook dat van aangrenzende wagons wordt meegenomen. Figuur 1 illustreert dit aan de hand van een goederentrein waarin stille en luide wagons voorkomen. De wagons zijn identiek (type Sgns) op de remblokken na: gietijzeren “GG-blokken” die het loopvlak van het wiel opruwen bij elke rembeurt en kunststof “LL-blokken” die dit in veel mindere mate doen. Het geluidniveau van LL-wagon nummer 8 is 4 dB luider dan de stilste van de 3 opeenvolgende LL-wagons nummers 23-25.



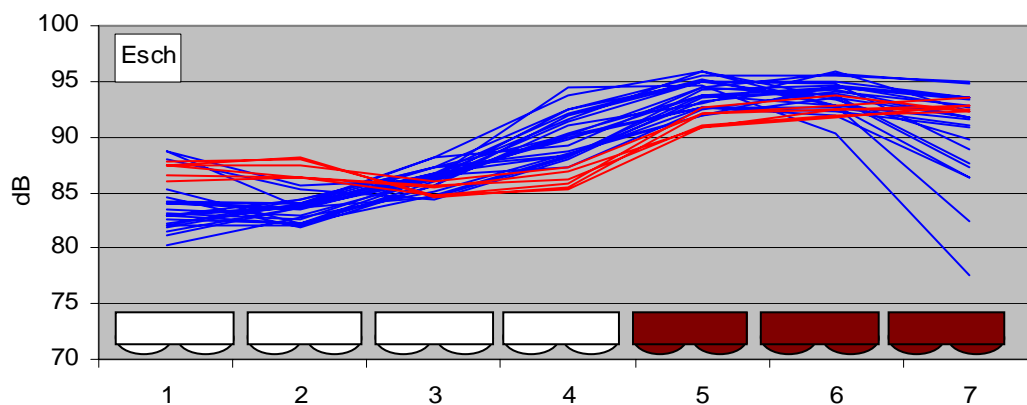
Figuur 1: Geluidniveau per wagon bij een treinpassage van een goederentrein met stille en luide wagons.

De figuur laat tevens zien dat niet alle wagons van hetzelfde type even luid zijn. Zo is GG-wagon 21 zo'n 5 dB luider dan GG-wagons 11 t/m 14. Dit is waarschijnlijk een gevolg van zogenoemde “vlakke plaatsen” op het ronde loopvlak. Deze kunnen ontstaan bij een sterke remming waarbij de wielen blokkeren voordat de trein stilstaat. Dit zorgt tijdens het verderrijden voor een karakteristiek pulserend geluid (1 puls per omwenteling).

5.2 Triggering

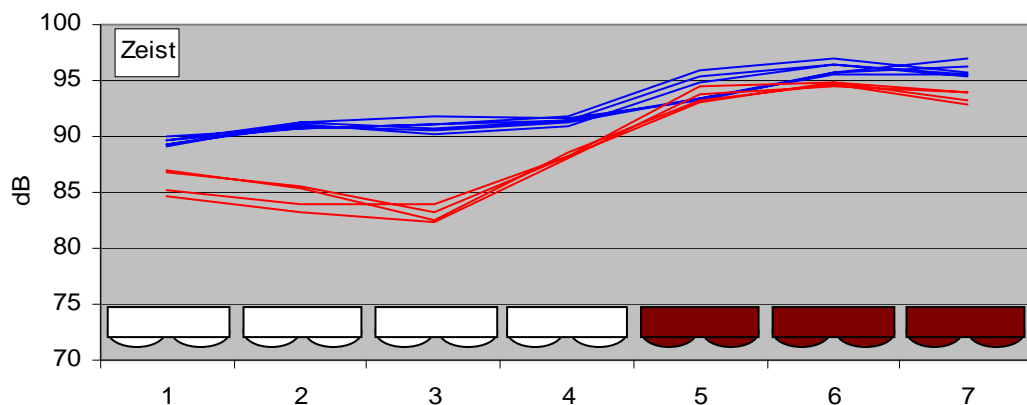
Doordat de meetposten geluidniveaus per wagon geven, kan worden nagegaan of de triggering van de onbemande metingen correct werkt. Hiervoor kunnen gekoppelde ICM4 en ICM3-treinstellen worden gebruikt. Deze rijden veelvuldig samen in de normale dienstregeling. ICM4-treinen zijn circa 7 dB stiller dan ICM3-treinen. De geluidmeetposten starten een passagemeting op basis van informatie van de trillingssensoren aan de spoorstaaf. Bij een correct werkende triggering ligt de overgang tussen de luide ICM3 en stille ICM4 wagons steeds op dezelfde plaats.

Figuur 2 illustreert een defect in de triggering bij geluidmeetpost Esch op spoor B. De wagon met nummer 1 is steeds de eerst passerende wagon van de ICM4. De ICM3 bestaat uit wagon 5, 6 en 7. Duidelijk is dat op spoor B (blauw) de meting soms nog doorloopt terwijl de trein al gepasseerd is. Wagon nummer 6 en 7 zijn dan schijnbaar stiller.



Figuur 2: Geluidverloop tijdens passage ICM4 (wit)-ICM3 (bruin) te Esch. Blauw = spoor A, rood = spoor B.

In Zeist kan geen verschuiving geconstateerd worden, zie Figuur 3. Hier werkt de triggering wel correct. De gepresenteerde niveaus zijn overigens niet gecorrigeerd voor de railruwheid: spoor A in Zeist is veel ruwer dan spoor B. Verder moet worden opgemerkt dat in de figuur van Zeist slechts 1 specifieke trein is opgenomen, terwijl in Esch verschillende treinen reden. Dit verklaart de grotere variaties in Esch.



Figuur 3: Geluidverloop tijdens passage ICM4 (wit)-ICM3 (bruin) te Zeist. Blauw = spoor A, rood = spoor B.

Conclusies

Een onbemande geluidmeetpost kan in principe even betrouwbaar zijn als bemande geluidmetingen. Daarvoor is het wel nodig de werking, met name de triggering, goed te controleren.

De Technische Regeling van het Reken en Meetvoorschrift Geluidhinder schrijft voor aan welke uiterlijke kenmerken de meetlocatie moet voldoen en hoe er voor de railruwheidsverschillen tussen locaties moet worden gecorrigeerd. Uit een vergelijking van de spreiding bij verschillende types treinen na railruwheidscorrectie komen verschillen naar voren die duiden op het tekortschieten van die correctiemethode. Verschillen tussen de meetlocaties blijken niet volledig te kunnen worden geëlimineerd. De resterende verschillen tussen de meetlocaties zijn overigens van dezelfde orde van grootte als de spreiding binnen elk treintype, namelijk ruim 1 dB voor reizigerstreinen. De spreiding bij herhaalde geluidmetingen aan één specifieke trein op één specifieke locatie is veel geringer, en bedraagt ongeveer 0,5 dB.

Dankbetuiging

Dit onderzoek maakt deel uit van het Innovatieprogramma Geluid van het ministerie van VROM en V&W. De analyse van meetdata van de geluidmeetposten is opgezet door het Kenniscentrum Spoorgeluid van ProRail[5]. De auteur is Chiel Roovers en Jan Willem Lammers van ProRail erkentelijk voor hun commentaar bij de totstandkoming van dat rapport.

Literatuur

1. Edwin Verheijen, Chiel Roovers, Jan van den Brink, "Statistical analysis of railway noise: trackside monitoring of individual trains", paper S5.1, Proceedings of the 9th International Workshop on Railway Noise, Munich 2007.
2. Edwin Verheijen, juni 2005, 'Bepaling geluidemissie Light Rail op basis van geluidmetingen aan A32-materieel', rapport met kenmerk AEAT/05/4400024/017.
3. Edwin Verheijen, juni 2003, 'Geluidreductie raildempers en slijpen, Proef Veenendaal (maart '03)', rapport met kenmerk AEAT/03/2400113/011, zie www.innovatieprogrammangeluid.nl
4. Pieter Dings, april 1994, 'Spoorstaafwueheid, spoorstaafdwersprofiel en geluid', rapport met kenmerk CTO/7/10448/0021.
5. Dit artikel is een bewerkte versie van hoofdstuk 2 van het rapport "Gebruiksvergoedingen en geluidmeetposten", kenmerk PRO020-01-09, 2 februari 2007. Verder is informatie uit het eindrapport "Geluidmeetposten langs het spoor - Eindrapport van het project Analyse Gegevens Geluidmeetposten" met kenmerk PRO020-01-36 gebruikt.