



Rapport

Langeduurmeting BISI-wand

Effectbepaling en bepaling
seizoenseffecten

Versie: 3.0

Status: Vrijgegeven

Datum: 20-03-2026

Kenmerk: D79-ANI-HS-RAP-
25003469



Autorisatieblad

Langeduurmeting BISI-wand

Effectbepaling en bepaling seizoenseffecten

	Naam	Akkoord	Datum
Opgesteld door	Anna Nieuwenhuis	√	20-03-2026
Gecontroleerd door	Wybo Gardien	√	20-03-2026
Vrijgegeven door	Floris Heuff	√	20-03-2026

Versiehistorie

Versie	Naam	Datum	Korte toelichting
1.0	Anna Nieuwenhuis	11-04-2025	Eerste versie
2.0	Anna Nieuwenhuis	23-04-2025	Opmerkingen ProRail verwerkt
3.0	Anna Nieuwenhuis	20-03-2026	Correctie waarden V_eff

Samenvatting

In het kader van het IBS programma (Innovatieve Bronaanpak Spoortrillingen) worden verschillende trillingsmaatregelen langs het spoor onderzocht en getest. Voor één van deze maatregelen, de BISI-wand, voert Movares een onafhankelijk trillingsonderzoek uit om de effectiviteit van de BISI-wand te meten. De maatregel bestaat uit een ondergrondse verharding van de bestaande grond. Van nature aanwezige bacteriën verharden de grond. Door voedingsstoffen voor deze bacteriën in de grond te injecteren wordt dit proces versterkt, en ontstaat er een verharde strook die als trillingsscherm fungeert. Het trillingsonderzoek van Movares bestaat uit meerdere metingen; een nul- en nameting van korte duur op maaiveld met meerdere sensoren, en een langeduurmeting op een vast punt tijdens een periode van zes maanden. Deze rapportage bespreekt de analyse van de langeduurmeting.

Er is twee weken lang gemeten voordat de BISI-wand werd geplaatst. Na het plaatsen kost het tijd voor de BISI-wand volledig is uitgehard, waarna er nog eens 4 maanden is gemeten. De trillingsmeter voor lange duur lag op 16 meter van het spoor. Door de metingen in verschillende perioden te vergelijken kan het effect van de BISI-wand worden bepaald en worden seizoenseffecten zichtbaar. Een positief effect betekent hier een trillingsverhoging, een negatief effect is een trillingsreductie.

Voor intercity's is in de richting horizontaal loodrecht op het spoor een positief effect gemeten. Dit komt overeen met de resultaten van de korte duur metingen, waar een negatief effect werd gemeten op 8 en 12 meter van het spoor en een positief effect op 16 meter van het spoor.

Voor goederentreinen zijn sterke schommelingen in het effect waargenomen. In de gewichtsklasse 10 tot 15 ton per as is een negatief of neutraal effect waargenomen in alle richtingen en frequenties. In andere gewichtsklassen zijn ook positieve effecten waargenomen bij bepaalde frequenties. Wel is overal een negatief effect waargenomen bij 50 Hz.

Bij het vergelijken van trillingssterktes per maand komt naar voren dat in november de laagste trillingen zijn gemeten, en dat de trillingen iedere maand toenemen. Dit effect is zichtbaar bij zowel intercity's als goederentreinen. Voor goederentreinen wordt dit effect deels verklaard doordat er in november naar verhouding meer treinen in de lage gewichtsklassen zijn gepasseerd. Het effect is echter ook zichtbaar bij de analyse per gewichtsklasse. De toename van trillingssterktes over tijd hangt samen met de gemiddelde dagtemperatuur in deze periode, die is afgenomen. Het is niet mogelijk te zeggen of dit een causaal verband is.

Summary

As part of the IBS program, various vibration measures along train tracks are being researched and tested. For one of these measures, the BISI wall, Movares is conducting an independent vibration study to measure the effectiveness of the BISI wall. The BISI wall consists of an underground hardening of the existing soil. This hardening is the effect of biological processes of naturally existing bacteria in the ground. By injecting nutrients for these bacteria, a hardened wall is created.

Movares' vibration study consists of multiple measurements; a short-term baseline and follow-up measurement with multiple sensors, and a long-term measurement at a fixed point during a period of six months. This report discusses the analysis of the long-term measurement.

Measurements were taken for two weeks before the BISI wall was installed. After installation, the BISI-wall had to harden for a few weeks. After that, measurements continued for another four months. The sensor for the long-term measurement was positioned at 16 meters from the train tracks. By comparing the measurements of different periods, the effect of the BISI wall is determined and seasonal effects become visible. The effect of the BISI-wall is positive if the vibrations increase, and negative if the vibrations are reduced.

For intercity trains, a positive effect was measured in the horizontal direction perpendicular to the tracks. This corresponds with the results of the short-term measurements, where a negative effect was measured at 8 and 12 meters from the tracks and a positive effect at 16 meters from the tracks.

For freight trains, strong fluctuations in the effect were observed. In the weight class of 10 to 15 tons per axle, a negative or neutral effect was observed in all directions and frequencies. In other weight classes, positive effects were also observed at certain frequencies. A negative effect was measured at 50 Hz for all weight classes, frequencies and directions.

By comparing average vibration strengths per month, it is determined that in November the lowest vibrations were measured, and the vibrations increase over time. This effect is visible for both intercity and freight trains. For freight trains, this effect is partly explained by the fact that in November more trains of the lower weight classes passed by. However, the effect is also visible in the analysis per weight class. The increase in vibrations seems related to the decrease in average daily temperature in this period. It is however not possible to say whether this correspondence is a causal relationship.

Inhoudsopgave

1	Inleiding	6
1.1	Aanleiding	6
1.2	Doel van het onderzoek	6
1.3	Leeswijzer	6
2	Situatie en uitgangspunten	7
2.1	Meetlocatie	7
2.2	Uitgangspunten en eerdere onderzoeken	7
3	Werkwijze	8
3.1	Meetopstelling langeduurmeting	8
3.2	Methode verwerking resultaten	9
4	Resultaten	10
4.1	Meetresultaten langeduurmeting	10
4.1.1	Vergelijking tertsbandspectra nulmeting en nameting per maand	11
4.1.2	Effectbepaling aan de hand van tertsbandspectra per maand	13
4.1.3	Vergelijking meetwaarden met weersgegevens	15
5	Conclusies en aanbevelingen	17
6	Bibliografie	18
	Colofon	19

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

ProRail test en onderzoekt verschillende innovatieve maatregelen tegen trillingen van spoor en spoorverkeer binnen het IBS-programma. Eén van deze maatregelen is de BISI-wand (Bio-Inspired Soil-Improvement), ontwikkeld door Cohere Consultants en Ground Water Technology. Deze maatregel gebruikt natuurlijk voorkomende bacteriën in de grond die de zandbodem cementeren tot lichte zandsteen. Door voedingsstoffen voor deze bacteriën in de grond te injecteren vindt dit proces in grotere mate plaats en ontstaat lokaal een stijvere strook in de bodem.

De maatregel is beproefd op een testlocatie nabij Diepenveen. Om de effectiviteit van de BISI-wand onafhankelijk vast te stellen voert Movares in opdracht van ProRail trillingsmetingen uit op de testlocatie. Daarnaast wordt een deel van de meetdata gebruikt door Cohere Consultants en Ground Water Technology om de theoretische modellen te valideren en kalibreren.

De trillingsmetingen omvatten:

- Een voormeting op maaiveld om de uitgangssituatie vast te stellen
- Een nameting op maaiveld na installatie van de BISI-wand om het effect te bepalen
- Een langeduurmeting van 6 maanden om het langetermijneffect en seizoenseffecten te bepalen

Deze rapportage beschrijft de resultaten van de langeduurmeting.

1.2 Doel van het onderzoek

Het hoofddoel van het onderzoek is het bepalen van de effectiviteit van de BISI-wand door middel van voor- en nametingen. Daarnaast worden de verzamelde meetgegevens in het format conform het Uniform Meetprotocol geleverd aan ProRail en gebruikt voor het theoretische model van Cohere Consultants en Ground Water Technology.

1.3 Leeswijzer

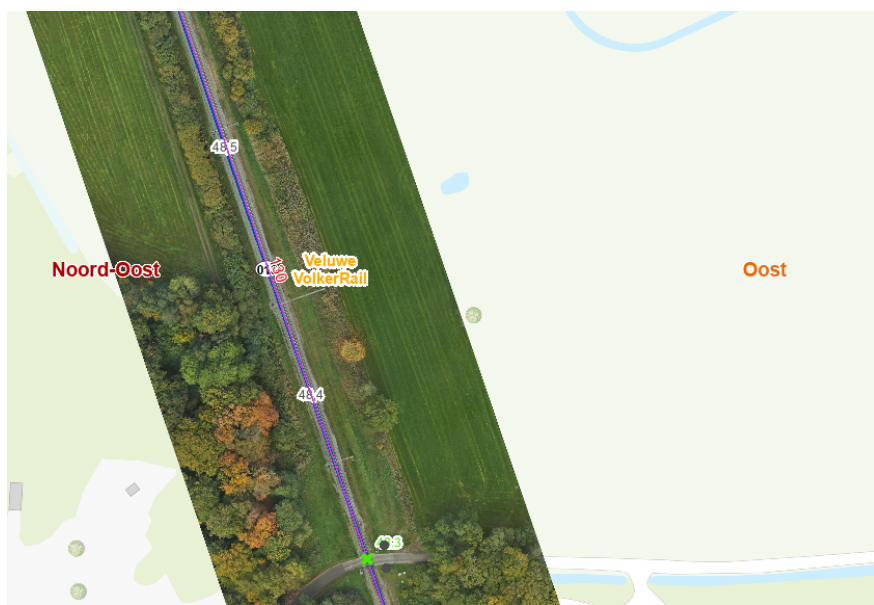
In Hoofdstuk 2 wordt de meetlocatie omschreven en worden de uitgangspunten en vorige rapporten benoemd. In Hoofdstuk 3 gaan we in op de werkwijze bij de meting en de dataverwerking. De resultaten van de metingen staan in Hoofdstuk 4. In Hoofdstuk 5 staan tenslotte de conclusies en aanbevelingen.

2 Situatie en uitgangspunten

2.1 Meetlocatie

De meetlocatie betreft geocode 018 Sallandweg KM 48.3, nabij Diepenveen. Hier ligt een enkel spoor, waar zowel goederen- als reizigerstreinen rijden. Dit is spoor 503_89AV_44.0. Cohere Consultants heeft hier indicatieve trillingsmetingen uitgevoerd [1]. Hieruit is geconcludeerd dat er voldoende aanstoting is in de verschillende frequentiebanden om de effectiviteit van de wand te kunnen bepalen.

De voor- en nameting van de maaiveldmetingen door Movares ([3] en [4]) duurden beide 2 weken. Dit is niet lang genoeg om voldoende goederentreinen te meten voor de minimale nauwkeurigheid in het Uniform Meetprotocol van ProRail [2] (verder in het rapport afgekort tot UMP). Hiervoor moeten per meetperiode minimaal 10 goederenpassages worden gemeten (zie Tabel 4 in het UMP). Bij de langeduurtmeting wordt dit aantal wel gehaald.



Figuur 2-1 Kaart van het meetgebied. Bron: Basisbeheerkaart ProRail

Op basis van de langeduurtmeting is een indicatie gemaakt van het aantal treinpassages per dag per treintype in Tabel 2-1. Daarnaast bevat deze tabel een indicatie van de gemiddelde snelheid op basis van camerabeelden gemaakt tijdens de maaiveldmetingen.

Tabel 2-1 Overzicht frequentie en snelheid treinpassages

Treintype	Gem. aantal passages per dag	Indicatie gemiddelde snelheid
IC	83	120 km/h
GO	1	85 km/h
Overig (zoals leeg materieel)	2	85 km/h

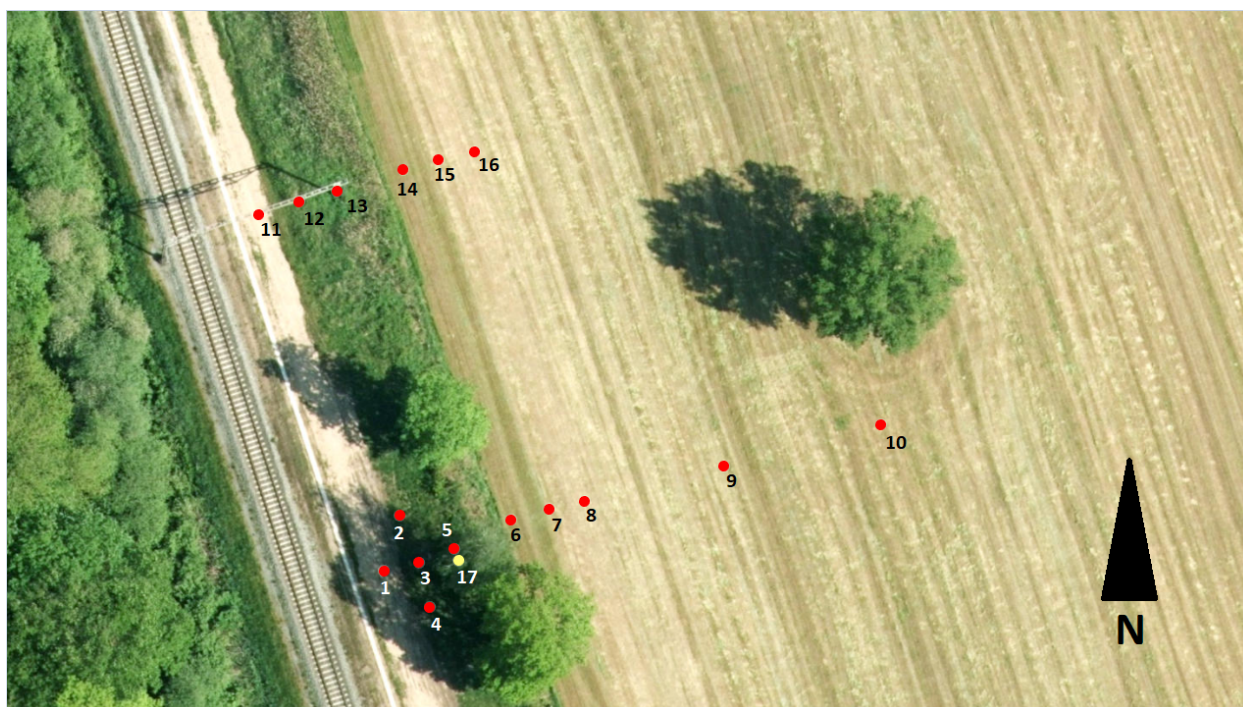
2.2 Uitgangspunten en eerdere onderzoeken

De meetlocatie en meetopstelling is gebaseerd op het Uniform Meetprotocol en het onderzoek van Cohere Consultants [1]. De trillingsmetingen worden uitgevoerd en geanalyseerd conform het Uniform Meetprotocol. Daarnaast bouwt dit rapport voort op het rapport van de nulmeting [3] en nameting [4] van Movares, waar een effectbepaling is uitgevoerd aan de hand van deze metingen.

3 Werkwijze

De meetopstelling is zoals beschreven in de rapportages van de maaiveldmetingen [3] [4]. Er zijn 16 sensoren geplaatst tijdens de nul- en nameting die voldoen aan 2.3.1, 2.3.2 en 2.3.5 uit het UMP met een aantal aanvullende punten. Daarnaast is bij aanvang van de maaiveldmeting een meetpunt voor de langeduurmetering geplaatst. De opstelling is weergegeven in Figuur 3-1. De meetpunten voor de maaiveldmetingen van korte duur zijn in rood aangegeven, het meetpunt voor lange duur is het gele punt met nummer 17. De BISI-wand is geplaatst op 8 meter van het spoor, in het schouwpad (onder sensor 1).

De (X,Y)-coördinaten van het meetpunt voor lange duur zijn (205923.421, 478863.087).



Figuur 3-1 Overzicht meetopstelling.. Meetpunten korte duurmeting in rood, meetpunt langeduurmetering in geel.

De meetrichtingen volgen de tekenafspraken volgens bepaling 2.3.9 uit het UMP:

- X-as: parallel aan het spoor
- Y-as: loodrecht op het spoor
- Z-as: verticale richting

3.1 Meetopstelling langeduurmetering

Voor de langeduurmetering is een Sigicom C22 trillingsmeter gebruikt. Dit is een geïntegreerd “off the shelf” meetsysteem van een datalogger met een sensor (3D geofoon), dat voldoet aan de eisen uit het Uniform meetprotocol (paragraaf 2.4).

De trillingsmeter is geplaatst op 16 meter van het spoor (sensor 17 in Figuur 3-1). Bij gebrek aan vaste objecten in de omgeving is ervoor gekozen om snelhardend beton te gebruiken om een vaste ondergrond te creëren. Op het meetpunt is een gat van 50 cm gegraven wat is volgestort met snelbeton. Hierop is de langeduur sensor bevestigd. De langeduurmetering vond plaats tussen 01-09-2024 en 01-03-2025. De nulmeting van de langeduurmetering vond in dezelfde periode plaats als de nulmeting van de maaiveldmeting, tussen 01-09-2024 en 12-09-2024. De nameting vond plaats tussen 01-11-2024 en 01-

03-2025. In de tussenliggende periode is de BISI-wand geïnstalleerd en uitgehard. De langeduurmeting is in deze periode blijven staan, en dus niet herplaatst.

3.2 Methode verwerking resultaten

De verwerking en analyse van de meetresultaten gebeurt volgens de voorgeschreven methodiek uit het Uniform Meetprotocol. De C22 trillingsmeter werkt met een vooraf ingestelde triggerwaarde, en meet bij een overschrijding van de trigger voor een periode van 20 tot 25 seconden. De verwerking van deze databestanden bestaat uit de volgende stappen.

1. Via een vergelijking met PAB-data worden daadwerkelijke treinpassages geselecteerd, en wordt informatie zoals treintype, treinlengte en gewicht per as gekoppeld aan de passage. Daarnaast wordt een inschatting gemaakt van de treinsnelheid op basis van de passagetijden in de PAB-data.
2. De tijdssignalen worden op gestandaardiseerde wijze ingekort conform het UMP.
3. Berekening van de effectieve trilsnelheid (V_{eff}).
4. Bepaling van de maximale trilsnelheid (V_{max}).
5. Een Fourier Transformatie wordt op het signaal uitgevoerd. Vervolgens wordt deze gereduceerd naar een tertsbandspectrum conform 4.1.6 in het UMP. Hierbij is gekozen voor de methode waarbij het niveau L_v wordt gedefinieerd over de periode T_p (en niet over de 5 seconden rond de $V_{eff,max}$ -waarde).

Na de signaalverwerking worden de effectbepaling en bepaling van seizoenseffecten uitgevoerd. Dit gebeurt door de gemiddelde tertsbandspectra per maand met de tertsbandspectra voor het plaatsen van de BISI-wand te vergelijken. Om de seizoenseffecten en de invloed van de weersomstandigheden te onderzoeken, wordt de meetdata vergeleken met de gemiddelde temperatuur en neerslag per dag. Deze weergegevens zijn opgehaald bij het KNMI voor het weerstation in Heino.

4 Resultaten

De ruwe meetdata van zowel de maaiveldmetingen van korte duur en de langeduurmetering worden apart met ProRail gedeeld. Hierin is per meetpunt het tijdssignaal van iedere passage opgenomen, samen met informatie zoals treintype en treinsnelheid van de betreffende passage. Daarnaast zijn meetjournaals bijgevoegd conform 5.1.2 uit het UMP.

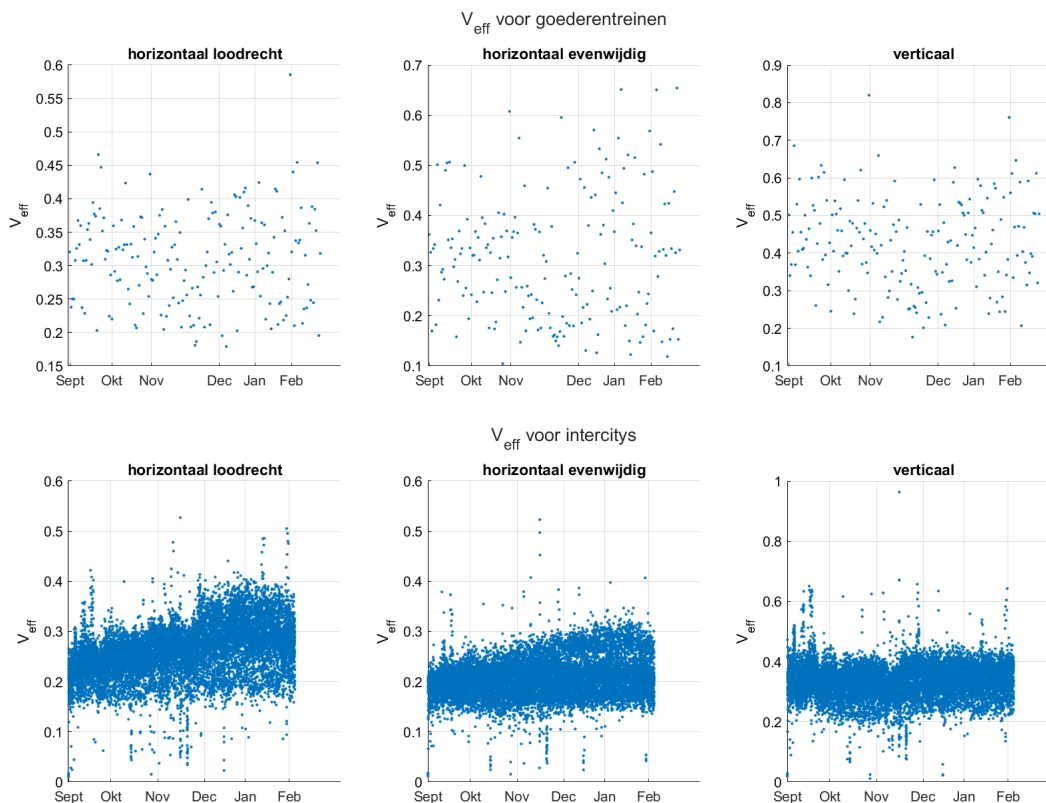
4.1 Meetresultaten langeduurmetering

Tabel 4-1 bevat het aantal gemeten passages per treintype, gewichtsklasse en maand.

Tabel 4-1 Gemeten aantallen passages per treintype

Treintype	Passages nulmeting	Passages nameting				
		Totaal	Nov	Dec	Jan	Feb
Intercity's	875	9823	2564	2248	2434	2577
Goederentreinen	16	125	50	26	27	22
0 tot 10 ton per as	6	51	20	11	11	9
10 tot 15 ton per as	1	33	18	5	6	4
15 tot 20 ton per as	6	31	9	8	8	6
20 tot 25 ton per as	3	8	3	2	2	1
Zonder gewichtsklasse	0	2	0	0	0	2

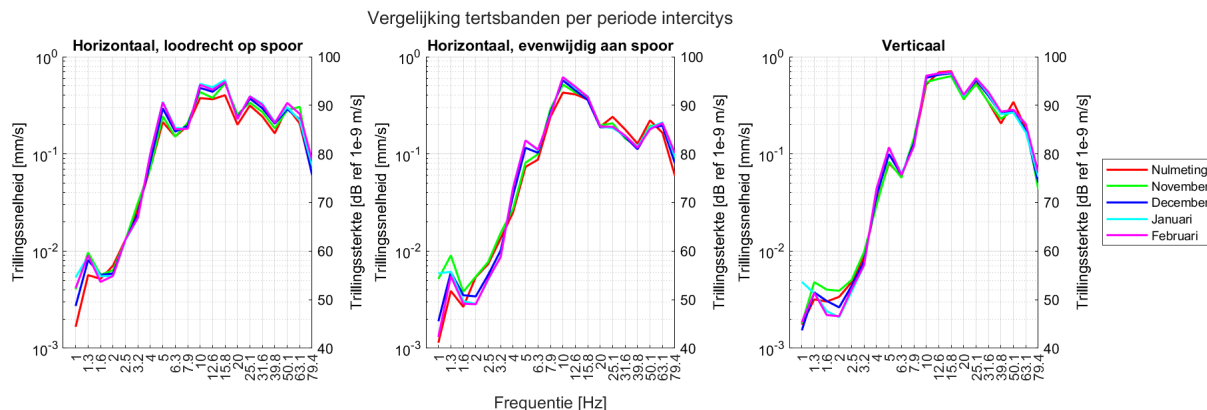
De resultaten van de langeduurmetering zijn opgenomen in onderstaande figuren. Hier is per treintype de gemeten waarde V_{eff} van iedere treinpassage opgenomen.



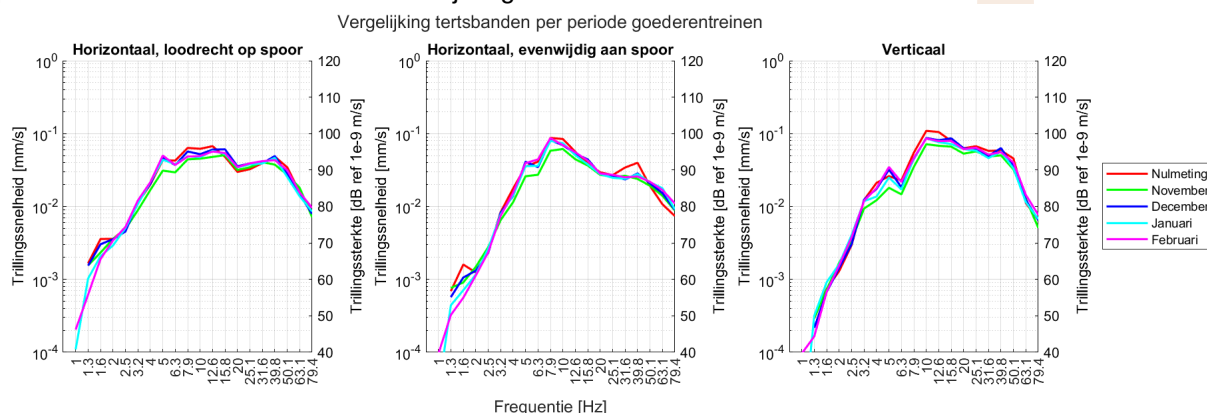
4.2 Vergelijking tertsbandspectra nulmeting en nameting per maand

Ten eerste worden de gemiddelde tertsbandspectra van passages voor en na het installeren van de BISI-wand vergeleken. Voor de periode na installatie wordt het gemiddelde spectrum per maand weergegeven, om mogelijke veranderingen gedurende de 4 maanden weer te geven. Bij goederentreinen wordt daarnaast onderscheid gemaakt tussen gewichtsklassen, waarbij het gewicht per as wordt gecategoriseerd in 0 tot 10 ton/as, 10 tot 15 ton/as, 15 tot 20 ton/as en >20 ton/as.

Bij intercity's is in de richting horizontaal loodrecht te zien dat het gemiddelde spectrum van passages bij de nulmeting tussen 8 en 50 Hz lager is dan het gemiddelde spectrum tijdens alle maanden van de nameting. Verder zijn uit deze grafieken geen duidelijke effecten op te maken.

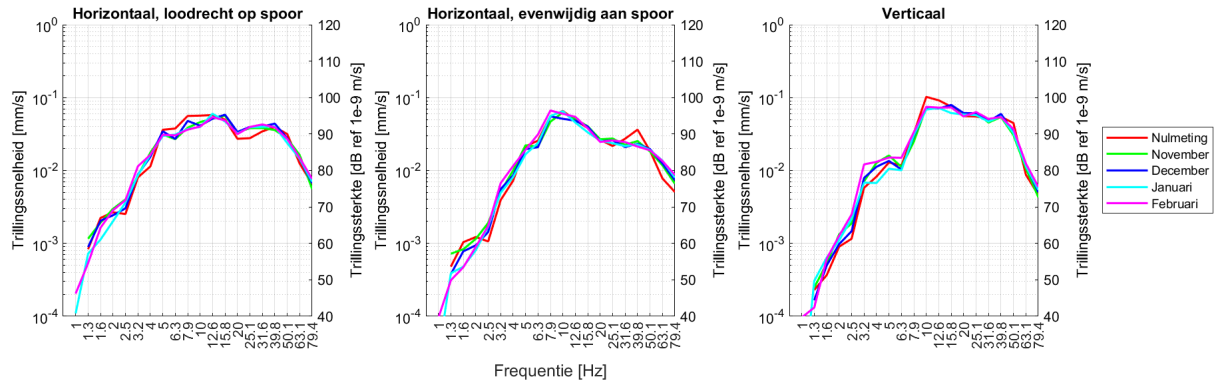


Bij goederentreinen zijn eerst alle gewichtsklassen samengenomen. Hier valt op dat het gemiddelde spectrum in november rond 5 Hz duidelijk lager is dan in andere maanden.

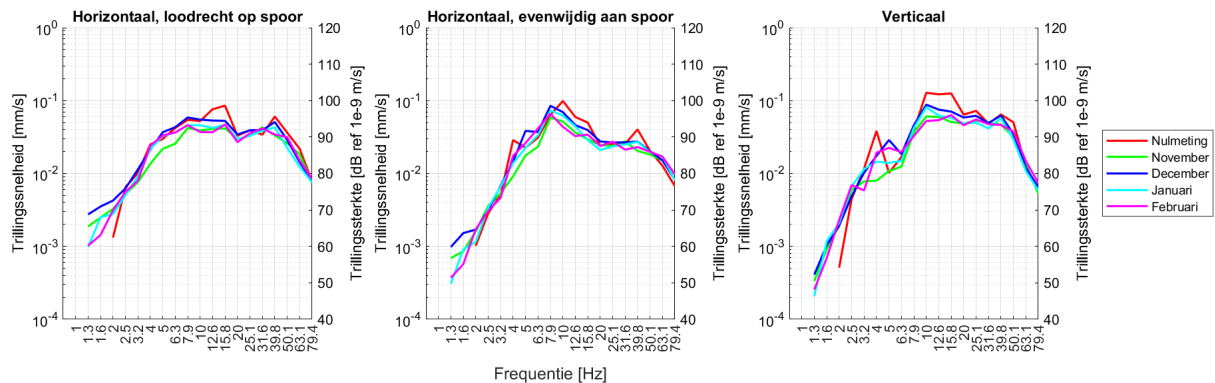


Bij de analyse per gewichtsklasse valt in de klasse 10 tot 15 ton per as op dat het spectrum tijdens de nulmeting hoger is dan tijdens de nameting. Bij de andere gewichtsklassen is dit niet zichtbaar in deze grafieken. In de hogere gewichtsklassen valt op dat de spectra in november een stuk lager zijn dan de andere perioden.

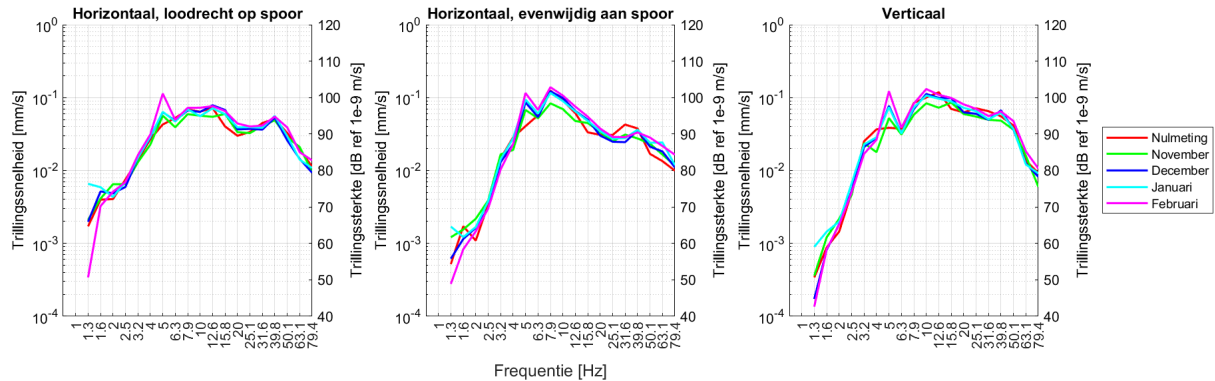
Vergelijking tertsbanden per periode goederentreinen, 0 tot 10 ton per as.



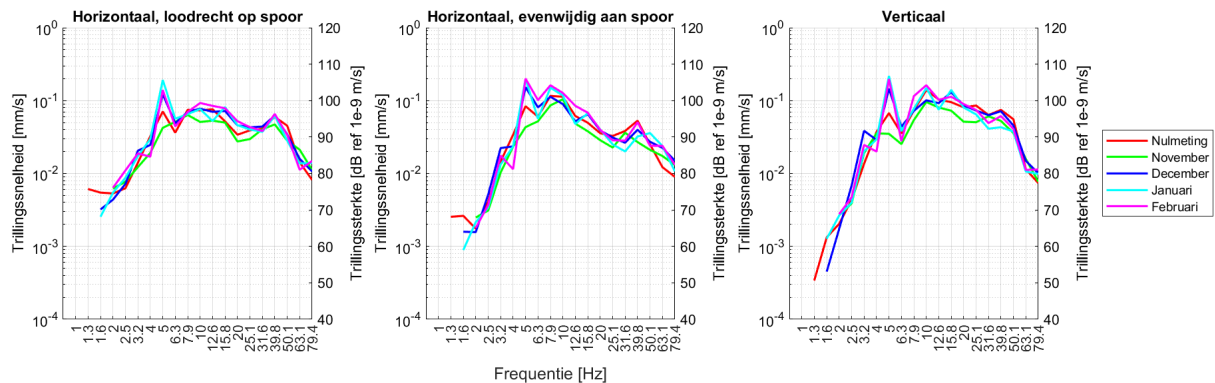
Vergelijking tertsbanden per periode goederentreinen, 10 tot 15 ton per as.



Vergelijking tertsbanden per periode goederentreinen, 15 tot 20 ton per as.



Vergelijking tertsbanden per periode goederentreinen, 20 tot 25 ton per as.



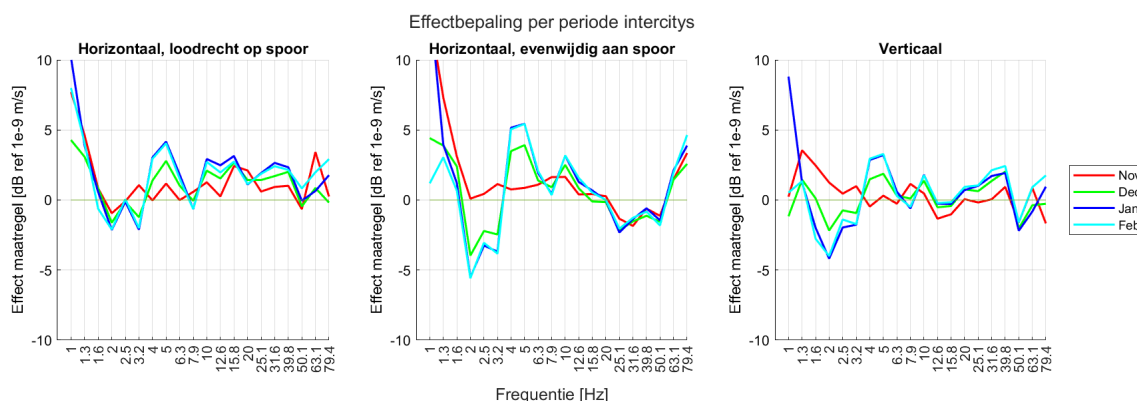
4.3 Effectbepaling aan de hand van tertsbandspectra per maand

Aan de hand van de vorige resultaten is een effectbepaling uitgevoerd conform het Uniform Meetprotocol. Hierbij worden de gemiddelde tertsbandspectra van elkaar afgetrokken. Een negatief effect betekent een trillingsreductie, een positief effect is een versterking van trillingen. Bij goederentreinen is wederom gebruik gemaakt van gewichtsklassen. Het effect is bepaald per maand.

Bij de effectbepaling voor intercity's is in de richting horizontaal loodrecht vooral een verhoging van trillingen zichtbaar boven 4 Hz. Dit geldt voor alle maanden, maar in november is de verhoging het minst sterk en in januari en februari het sterkste. Bij 8 Hz en bij 50 Hz is het effect in de meeste maanden juist 0 dB.

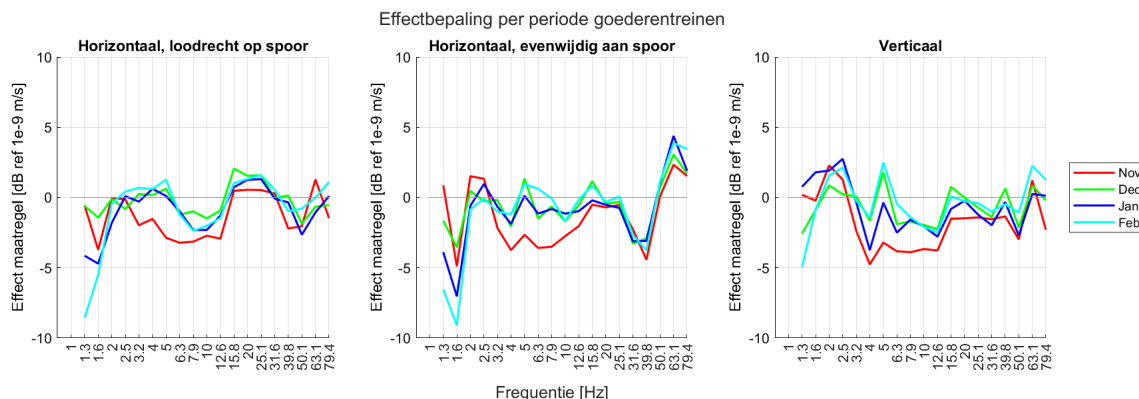
In de andere richtingen zijn schommelingen rond 0 dB zichtbaar, met een negatief effect (trillingsreductie) rond 50 Hz in beide richtingen. Daarnaast is bij 8 Hz weer een negatief effect zichtbaar. Tussen 4 en 8 Hz is juist een positief effect gemeten voor alle maanden behalve november.

Over het algemeen is een trend te zien bij het vergelijken van de gemiddelde tertsbandspectra over de maanden; in november zijn de trillingen het laagste, en in januari/februari het hoogste.



Bij goederentreinen wordt bij alle gewichtsklassen samen duidelijk dat de trillingen in november het laagste zijn. In deze maand is een duidelijk negatief effect gemeten tussen 2 en 12 Hz in alle richtingen. Ook bij 50 Hz is een negatieve uitschieter gemeten. In de andere maanden is vooral een effect rond 0 dB gemeten, met negatieve en positieve uitschieters. Wel is een consistente negatieve uitschieter gemeten bij 50 Hz. Tenslotte valt een sterk positief effect op bij de richting horizontaal evenwijdig bij de hoogste frequenties (> 50 Hz).

Hierbij moet worden opgemerkt dat de verhouding treinen per gewichtsklasse in november sterk afwijkt van de andere maanden en van de nulmeting. In verhouding zijn in november meer treinen in de laagste gewichtsklassen gepasseerd. Dit kan een verklaring zijn voor het grote verschil in trillingsniveaus. Hetzelfde geldt voor de vergelijking van november met de nulmeting, waarbij ook bijna drie keer zoveel treinen in november zijn gepasseerd als bij de nulmeting (50 tegenover 16). Dit kan de effectbepaling voor november beïnvloeden. Daarom is het belangrijk ook aan analyse per gewichtsklasse uit te voeren.



4.4 Effectbepaling goederentreinen per gewichtsklasse

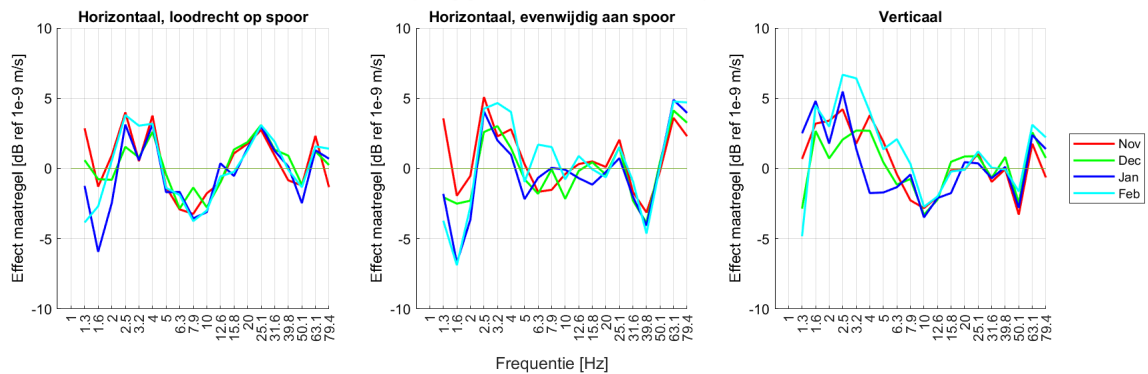
Door de goederentreinen in gewichtsklassen op te delen, heeft de ongelijke verdeling van treinen geen effect meer op de resultaten. Goederentreinen zijn in 4 klassen opgedeeld aan de hand van het totale gewicht per as. In de lichtste gewichtsklasse (0 tot 10 ton per as) is geen verschil zichtbaar tussen het effect in verschillende maanden. Bij de laagste frequenties (tot 8 Hz) is een positief effect tot 5 dB zichtbaar in alle richtingen. In de richtingen horizontaal loodrecht en verticaal is rond 8-10 Hz een negatief effect zichtbaar van 3 tot 4 dB. Verder schommelt het effect rond 0 dB met een duidelijk negatief effect van 2 tot 5 dB bij 50 Hz in alle richtingen.

In de zwaardere gewichtsklassen valt op dat de trillingen in november wel lager zijn dan de trillingen in de andere maanden. In december, januari en februari is geen eenduidig verschil te zien. Het verschil in verhouding van treinpassages in de verschillende gewichtsklassen is dus geen volledige verklaring voor de lagere trillingsniveaus in november.

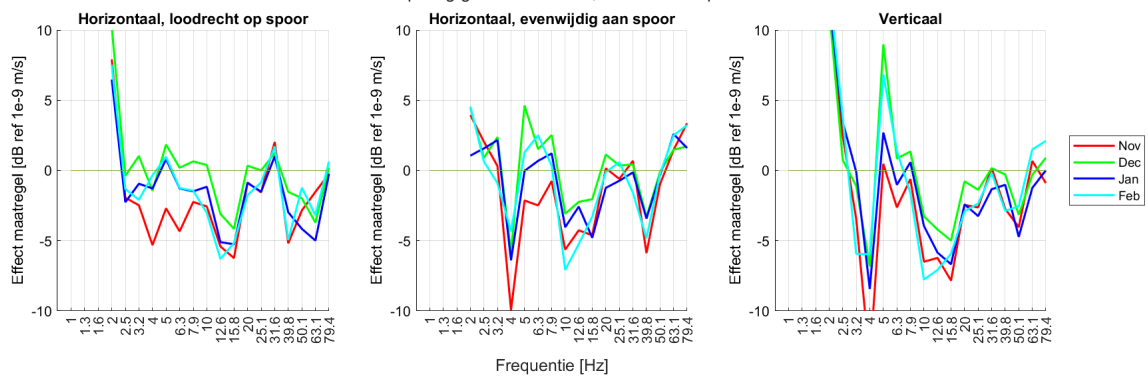
In de gewichtsklasse 10 tot 15 ton per as is bij de nulmeting maar 1 goederentrein gepasseerd. De effectbepaling wordt dus uitgevoerd aan de hand van een enkele trein als referentie, waardoor het effect met zeer hoge onnauwkeurigheid kan worden bepaald. In deze klasse is vooral het tijdseffect tijdens de nameting zichtbaar; in november zijn de trillingen het laagste, en in december het hoogste bij deze klasse. Wel opvallend aan de effectbepaling is dat bij alle richtingen weer een consistent negatief effect zichtbaar is bij 50 Hz en tussen 10 en 20 Hz.

In de gewichtsklasse 15 tot 20 ton per as zijn vooral sterke schommelingen rond 0 dB waargenomen. In januari en februari is bij 5 Hz een sterk positief effect zichtbaar van 5 tot 10 dB in alle richtingen. In de zwaarste gewichtsklasse van 20 tot 25 ton per as zijn vergelijkbare resultaten zichtbaar. Hier is ook in alle maanden hoogfrequent (>50 Hz) een positief effect waargenomen. Nog steeds is bij 50 Hz een negatief effect zichtbaar. In de zwaarste gewichtsklasse is het verschil tussen de trillingssterktes in november en in de andere maanden het grootst.

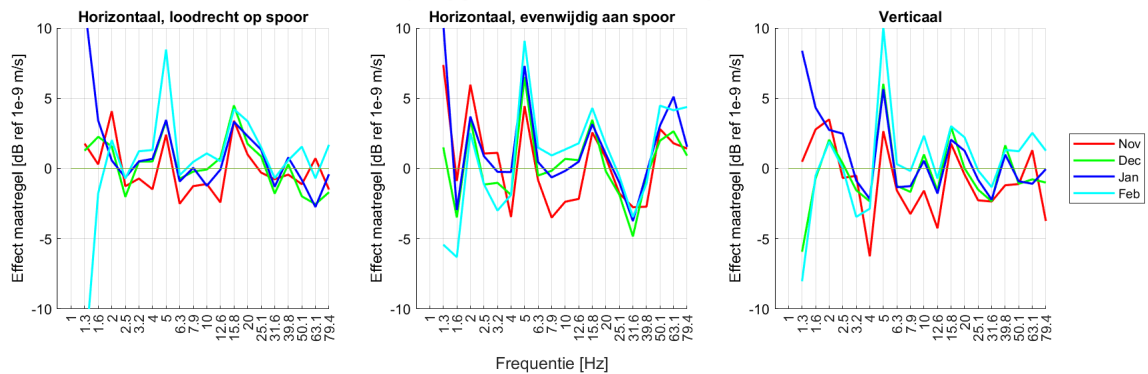
Effectbepaling goederentreinen, 0 tot 10 ton per as.



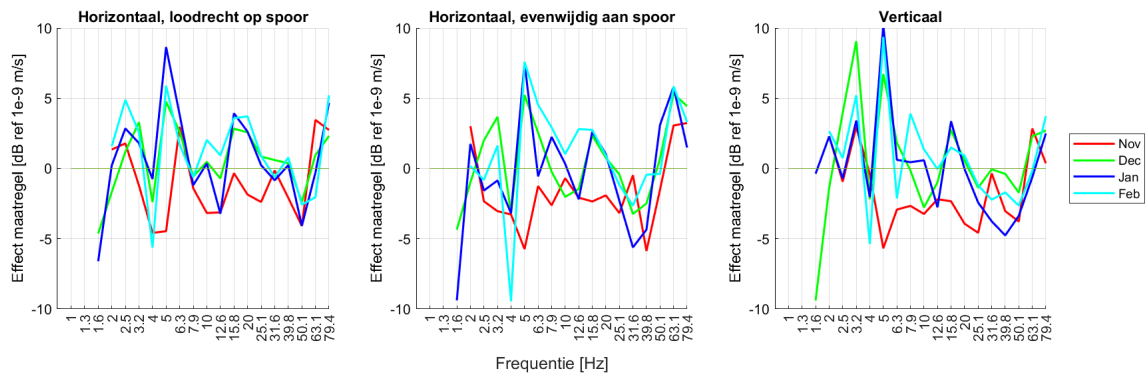
Effectbepaling goederentreinen, 10 tot 15 ton per as.



Effectbepaling goederentreinen, 15 tot 20 ton per as.



Effectbepaling goederentreinen, 20 tot 25 ton per as.



4.5 Vergelijking meetwaarden met weersgegevens

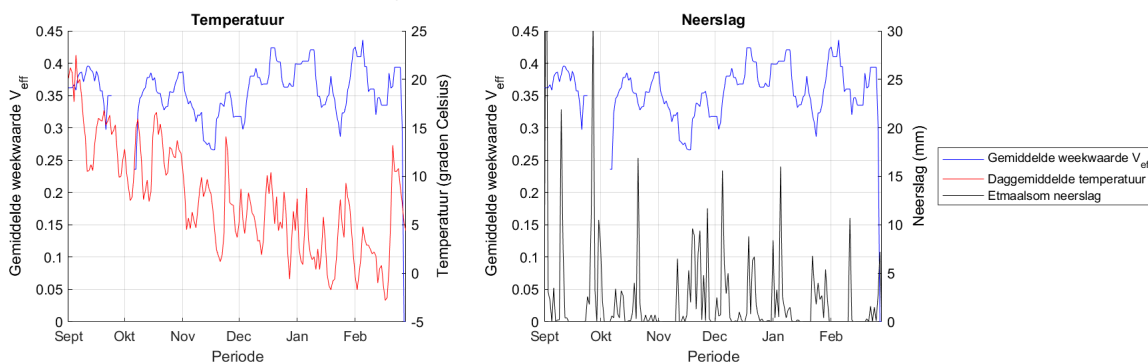
Om de effecten van het weer op de trillingssterktes te analyseren, worden een aantal grootheden vergeleken met de daggemiddelde temperatuur en de totale neerslag per dag. Deze meteorologische gegevens zijn verkregen uit de KNMI-database voor het weerstation in Heino. De weergegevens worden vergeleken met de gemeten waarden voor V_{eff} van ieder trillingssignaal, bepaald conform de SBR-B richtlijn. Voor intercity's is per dag de gemiddelde en maximale waarde van V_{eff} over de drie richtingen van alle passages per dag bepaald. Voor goederentreinen is het gemiddelde en maximum over de drie richtingen van alle waarden in een week bepaald, aangezien er niet iedere dag goederentreinen rijden.

Bij de vergelijking met de gemiddelde temperatuur per dag is een correlatie te zien; over de gehele meetperiode is het steeds kouder geworden, en de gemiddelde waarde V_{eff} is toegenomen. Dit is duidelijk zichtbaar bij intercity's, en in mindere mate bij goederentreinen door schommelingen in de gemiddelde waarde V_{eff} . Het verband heeft aan aantal mogelijke oorzaken.

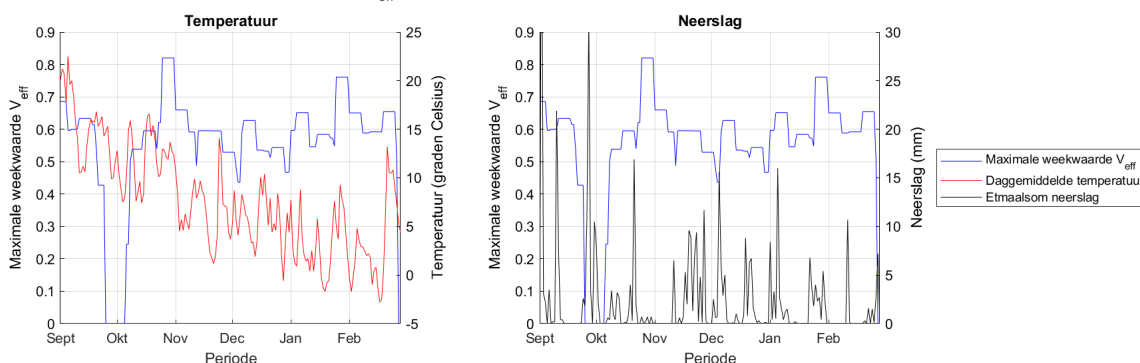
- Een mogelijke hypothese aan de hand van deze data is dat lage temperaturen een nadelig effect kunnen hebben op de spoorconstructie, bodem onder het spoor of bodem in het maaiveld wat betreft trillingen.
- Daarnaast kan de temperatuur mogelijk effect hebben op de werking van de BISI-wand.
- Het is ook mogelijk dat er geen causaal verband is tussen de temperatuur en de trillingssterkte. De conditie van het spoor kan verslechterd zijn tijdens de meetperiode, waardoor de trillingen zijn toegenomen, terwijl de temperatuur in dezelfde periode afnam.

Er is geen correlatie zichtbaar tussen de trillingssterktes en de neerslag.

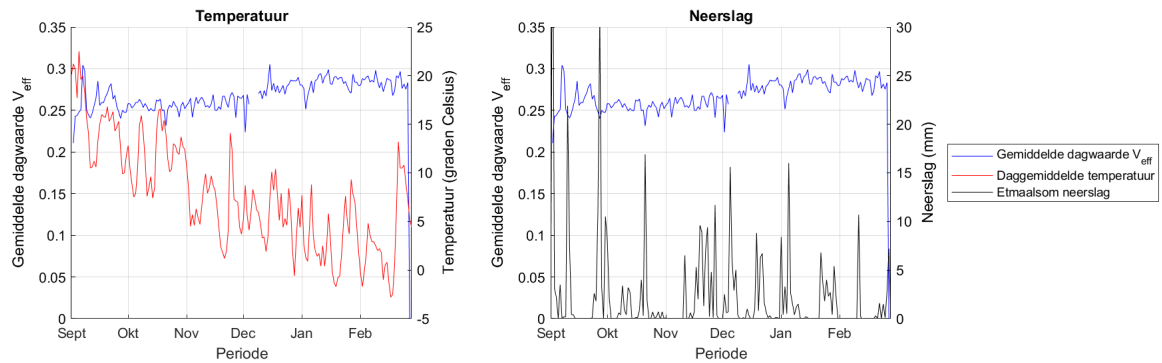
Gemiddelde weekwaarde V_{eff} en temperatuur en neerslag, goederentreinen



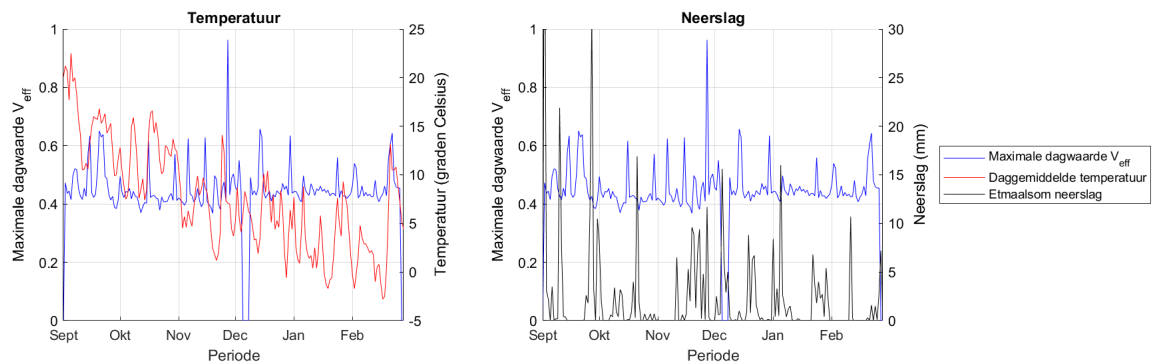
Maximale weekwaarde V_{eff} en temperatuur en neerslag, goederentreinen



Gemiddelde dagwaarde V_{eff} en temperatuur en neerslag, intercitys



Maximale dagwaarde V_{eff} en temperatuur en neerslag, intercitys



5 Conclusies en aanbevelingen

Aan de hand van de resultaten in Hoofdstuk 4 kunnen de volgende conclusies worden getrokken over het effect van de BISI-wand en de opgetreden seizoenseffecten.

- Bij intercity's wordt in de richting horizontaal loodrecht een verhoging van trillingen waargenomen. In de andere richtingen schommelt het effect rond 0 dB. Dit komt overeen met de resultaten van de korteduurmeting, waar op 16 meter van het spoor een trillingsverhoging werd waargenomen. Alleen dicht bij het spoor (op 8 en 12 meter) werd toen een trillingsreductie waargenomen.
- In de andere richtingen zijn bij intercity's schommelingen rond 0 dB waargenomen. Wel is overal een neutraal of negatief (trillingsreducerend) effect waargenomen bij 50 Hz.
- Bij de analyse van goederentreinen is duidelijk dat de trillingen in november het laagste zijn. In deze maand is in alle richtingen een negatief effect gemeten tussen 2 en 12 Hz en bij 50 Hz. In de andere maanden zijn schommelingen waargenomen en een minder sterk effect. Wel is overal bij 50 Hz een negatief (trillingsreducerend) effect zichtbaar.
- Een mogelijke verklaring voor de lagere trillingsniveaus in november is dat er in november naar verhouding meer treinen in de laagste gewichtsklasse zijn gepasseerd dan in de andere maanden of tijdens de nulmeting. Het verschil in trillingsniveaus komt echter ook naar voren bij een analyse per gewichtsklasse in de drie zwaarste klassen. Dit is dus niet een volledige verklaring voor de lagere trillingsniveaus in november.
- Bij een analyse per gewichtsklasse schommelt het effect over het algemeen rond 0 dB, met sterke positieve en negatieve uitschieters. Wel is in alle richtingen en klassen een negatief effect waargenomen bij 50 Hz.
- Bij de twee zwaarste gewichtsklassen is juist een positief effect waargenomen bij 5 Hz. Bij de zwaarste klasse is het verschil in trillingsniveaus per maand het grootst.
- In alle gewichtsklassen is in de richting horizontaal evenwijdig aan het spoor een trillingsverhoging waargenomen in de hoogste frequenties (boven 50 Hz).
- De analyse van de gemiddelde waarde voor V_{eff} per dag laat ook voor intercity's een patroon zien van trillingsverhoging over tijd. Bij goederentreinen is dit in mindere mate te zien door de schommelingen in het weekgemiddelde van V_{eff} . De toename van V_{eff} is gecorreleerd met een daling van de temperatuur. Mogelijk is dit een causaal verband doordat lagere temperaturen de spoorconstructie of bodem nadelig beïnvloeden. Het is ook mogelijk dat de spoorligging simpelweg verslechterd in de tijd, en het in deze periode steeds kouder werd zonder dat er een verband is tussen deze observaties.
- Er is geen correlatie zichtbaar tussen de neerslag en de gemiddelde of maximale waarde van V_{eff} voor beide treintypen.

6 Bibliografie

- [1] Cohere Consultants, „MEM20240402 Trillingsmeting proeflocatie BISI nabij Diepenveen signed, versie 1.0,” 10 april 2024.
- [2] ProRail , „Uniform Meetprotocol IBS Trillingen, versie 3.0,” 26 april 2024.
- [3] Movares, „IBS: 0-meting voor maatregel BISI, versie 2.0,” 9 december 2024.
- [4] Movares, „IBS: nameting voor maatregel BISI, versie 2.0,” 27 februari 2025.

Colofon

Opdrachtgever	ProRail B.V.
Uitgave	Movares Nederland B.V. Jaarbeursboulevard 280
Telefoon	+31 (0)30 - 265 55 55
Ondertekenaar	Anna Nieuwenhuis anna.nieuwenhuis@movares.nl
Projectnummer	M0006514
Kenmerk	D79-ANI-HS-RAP-25003469

© 2026, Movares Nederland B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden veeelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Movares Nederland B.V.

movares  smart
urban
engineering