



Rapport

Langeduurmeting Metabarrier

Effectbepaling en
seizoenseffecten

Versie: 3.0

Status: Vrijgegeven

Datum: 20-03-2026

Kenmerk: D79-ANI-HS-RAP-
25003977



Autorisatieblad

Langeduurmeting Metabarrier

Effectbepaling en 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	25-04-2025	Conceptversie naar ProRail
2.0	Anna Nieuwenhuis	22-05-2025	Commentaar ProRail verwerkt
3.0	Anna Nieuwenhuis	20-03-2026	Correctie waarden V_eff

Samenvatting

In het kader van het IBS programma onderzoekt ProRail verschillende maatregelen tegen spoortrillingen. Eén daarvan is de Metabarrier, een ondergronds trillingsscherm met een ingebouwd massa-veersysteem. Movares voert een onafhankelijk trillingsonderzoek uit om de effectiviteit van deze maatregel te bepalen. In deze rapportage wordt de langeduurmeting besproken. Dit betreft een maaiveldmeting van 6 maanden, waarbij het effect van de Metabarrier op lange termijn kan worden bepaald, evenals mogelijke seizoenseffecten. Hiervoor is gemeten voor en na het installeren van de Metabarrier, van oktober tot en met maart.

Het effect wordt bepaald aan de hand van de gemiddelde tertsbandspectra in verschillende perioden. Hieruit blijkt dat er boven 20 Hz bij alle treintypes een trillingsreducerend effect optreedt, wat oploopt tot -10 dB bij 80 Hz. Voor intercity's, sprinters en goederentreinen is dit effect het sterkste tussen oktober en december, wat kan worden verklaard door de lage grondwaterstand in deze periode. Voor hogesnelheidstreinen is het effect juist het sterkste in eind december en januari. Dit kan worden verklaard door de wijziging in de dienstregeling per 15 december, waardoor in deze periode minder zwaar materieel werd gebruikt voor dit treintype.

Onder 20 Hz is tussen oktober en december geen sterk effect zichtbaar, maar in de latere maanden is een trillingsverhogend effect zichtbaar. Ook dit kan worden verklaard door de verhoogde grondwaterstand.

Naast de grondwaterstand is ook de temperatuur en de neerslag vergeleken met de gemiddelde trillingssterkte per dag of week. Voor goederentreinen is een duidelijke correlatie zichtbaar tussen de grondwaterstand en de gemiddelde trillingssterkte. Bij reizigerstreinen is deze correlatie minder duidelijk; vooral de lage grondwaterstand en trillingssterkte in november vallen hier op. Bij hogesnelheidstreinen is de correlatie niet duidelijk zichtbaar. Dit geeft aan dat de grondwaterstand vooral invloed heeft op de trillingsbron. In de latere maanden is voor goederentreinen en hogesnelheidstreinen een positieve correlatie zichtbaar tussen de trillingssterkte en de gemiddelde temperatuur. Het is niet mogelijk te zeggen of dit een causaal verband is, en deze correlatie is niet zichtbaar voor intercity's en sprinters.

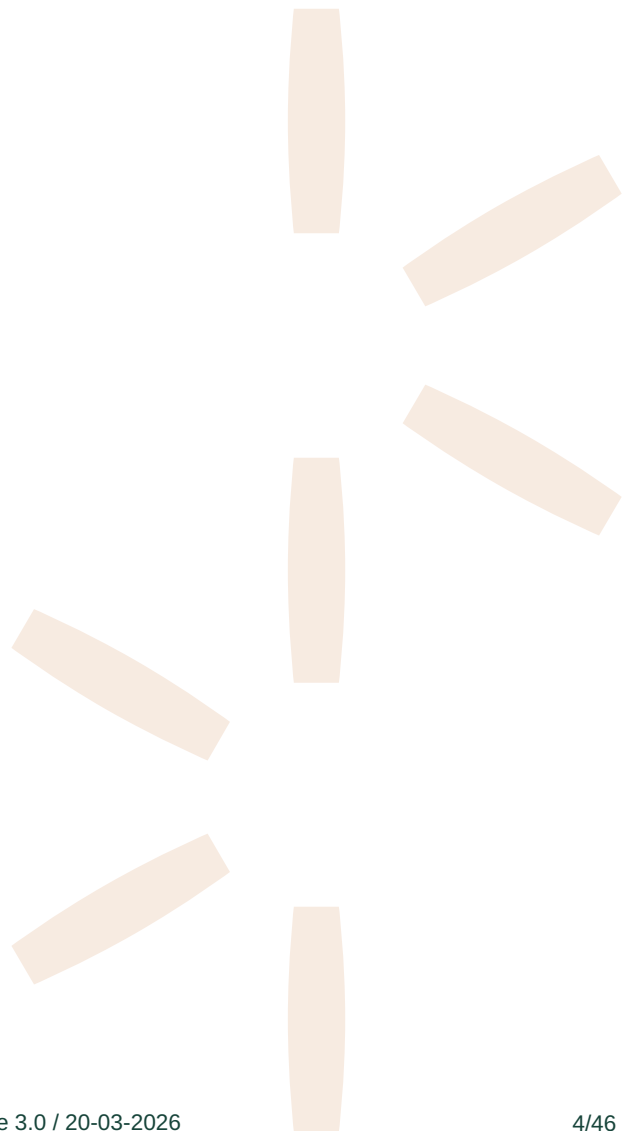
Summary

As part of the IBS program, ProRail is researching various measures against railway vibrations. One of these measures is the Metabarrier, an underground vibration screen with an integrated mass-spring system. Movares is conducting an independent vibration study to determine the effectiveness of the Metabarrier. This report discusses the long-term measurement that was performed. This involves a measurement over 6 months, during which the long-term effect of the Metabarrier can be determined, as well as possible seasonal effects. Measurements were done before and after the installation of the Metabarrier, from October to March.

The effect is determined based on the average third-octave band spectra in different periods. The analysis shows that above 20 Hz, a vibration-reducing effect occurs for all train types, increasing up to -10 dB at 80 Hz. For intercity trains, sprinters, and freight trains, this effect is strongest between October and December, which can be explained by the low groundwater level during this period. For high-speed trains, the effect is strongest at the end of December and January. This can be explained by the change in train timetable on December 15. Due to this change, less heavy equipment was used for high-speed trains, resulting in lower vibrations.

Below 20 Hz, no strong effects are visible between October and December. In the later months a vibration-increasing effect is observed. This can be explained by the increasing groundwater levels. In addition to the groundwater level, temperature and precipitation were compared with the average vibration strength per day or week. For freight trains, a clear correlation is visible between the groundwater level and the average vibration strength. For passenger trains, this correlation is less clear, but the low groundwater level and vibration strength in November stand out. For high-speed trains, the correlation is not clearly visible. This suggests that the groundwater level mostly influences the vibration source. In the later months, a positive correlation between vibration strength and average temperature is

visible for freight trains and high-speed trains. It is not possible to say whether this is a causal relationship, and this correlation is not visible for intercity trains and sprinters.



Inhoudsopgave

1	Inleiding	5
1.1	Aanleiding	5
1.2	Doel van het onderzoek	5
1.3	Leeswijzer	5
2	Situatie en uitgangspunten	6
2.1	Meetlocatie	6
2.2	Uitgangspunten en eerdere onderzoeken	7
3	Werkwijze	8
3.1	Meetopstelling	8
3.2	Meetapparatuur langeduurmeting	8
3.3	Methode verwerking resultaten	9
4	Resultaten	10
4.1	Meetresultaten	10
4.2	Gemiddelde tertsbandspectra per periode	12
4.3	Effectbepaling Metabarrier per periode	13
4.4	Vergelijking meetresultaten en bodem- en weercondities	16
5	Conclusies	17
6	Bibliografie	19
	Bijlage 1 Vergelijking meetdata weerseffecten	21
	Bijlage 2 Aantallen treinpassages	24
	Bijlage 3 Gemiddelde tertsbandspectra per periode	26
	Bijlage 4 Effectbepaling per periode per klasse en spoor	34
	Colofon	42

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 Metabarrier, aangedragen door WeBoost, Kampa en Arcadis. De Metabarrier bestaat uit een ondergronds trillingsscherm, uitgerust met een massa-veersysteem om trillingen van treinverkeer te absorberen. De maatregel is in een praktijksituatie beproefd. Om de effectiviteit van de Metabarrier onafhankelijk vast te stellen voert Movares in opdracht van ProRail praktijkmetingen op de testlocatie uit.

De praktijkmetingen omvatten:

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

Deze rapportage beschrijft de resultaten van de langeduurmeting. De resultaten van de kortere voor- en nameting (verder in het rapport ook 'maaiveldmetingen' genoemd) zijn behandeld in [2].

1.2 Doel van het onderzoek

Het doel van het onderzoek van Movares is het bepalen van de effectiviteit (invoegverlies) van de Metabarrier op een proeflocatie. Daarnaast wordt een deel van de meetdata door WeBoost gebruikt om het theoretische model te kalibreren. Het doel van de langeduurmeting is het in kaart brengen van mogelijke seizoenseffecten en langetermijneffecten.

1.3 Leeswijzer

In Hoofdstuk 2 wordt de meetlocatie omschreven en worden de uitgangspunten en vorige rapporten benoemd. In Hoofdstuk 3 worden de werkwijze bij de meting en de dataverwerking besproken. De resultaten van de metingen staan in Hoofdstuk 4, waar ook de analyse van de data en de effectbepaling wordt uitgevoerd. In Hoofdstuk 5 staan tenslotte de conclusies en aanbevelingen.

2 Situatie en uitgangspunten

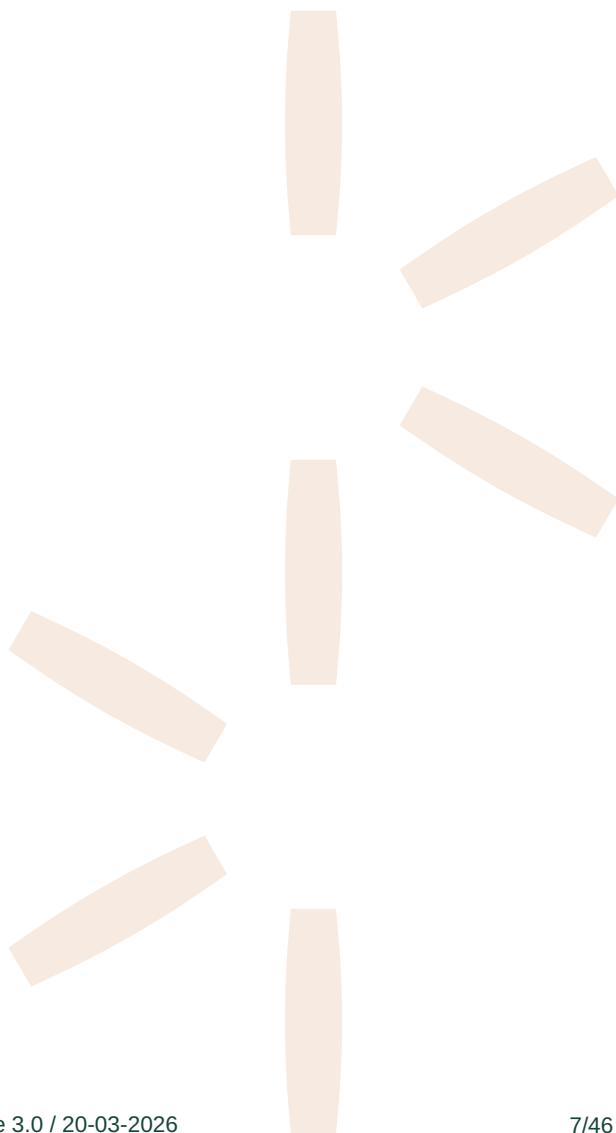
2.1 Meetlocatie

De meetlocatie betreft geocode 121, km 6.61, nabij Prinsenbeek. In Figuur 2-1 is een kaart van het meetgebied opgenomen.

- De sensoren liggen ten oosten van het spoor. Het langeduurmeetpunt is in geel aangeduid.
- Er zijn 4 sporen aanwezig, in Figuur 2-1 met paarse lijnen aangeduid:
 - De twee dichtstbijzijnde (de oostelijke) sporen zijn normale heavy rail sporen
 - De twee achterste (westelijke) sporen zijn van de HSL-zuid
- Tussen de meetlocatie en de sporen staat een deels transparant geluidsscherm.
- De locatie van de maatregel is met een oranje lijn aangeduid.

Bij de analyse zijn we vooral geïnteresseerd in het effect op treinen over de heavy rail sporen. Bij de maaiveldmetingen ([2]) is uit camerabeelden gebleken dat een groot deel van de hogesnelheidstreinen over de heavy rail sporen reden, en niet over de HSL-zuid. Daarom wordt ook het treintype “HSN” meegenomen in de analyse. Het is voor de langeduurmeting niet mogelijk te bepalen welke treinen precies over het heavy rail spoor hebben gereden, en welke over de HSL-Zuid.

In de analyse en rapportage wordt het meest oostelijke spoor aangeduid als ‘spoor 1’. Hier rijden treinen van zuid naar noord. Het andere heavy rail spoor, van noord naar zuid, duiden we aan als ‘spoor 2’. De HSL-Zuid sporen worden aangeduid met ‘spoor 3’ (zuid naar noord) en ‘spoor 4’ (noord naar zuid). Bij de verwerking wordt aangenomen dat hogesnelheidstreinen over spoor 3 en 4 rijden, al is bekend dat dit niet voor alle treinen klopt.





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

In Tabel 2-1 is een indicatie gegeven van het gemiddeld aantal treinpassages per dag per beoordeeld treintype. Deze getallen zijn bepaald aan de hand van de langduurmeting. Daarnaast is een indicatie van de gemiddelde snelheid opgenomen, welke is bepaald met een steekproef bij de maaiveldmetingen van korte duur.

Tabel 2-1 Overzicht frequentie en snelheid treinpassages

Treintype	Gemiddeld aantal passages per dag	Indicatie gemiddelde snelheid
IC	75	130 km/h
SPR	59	110 km/h
HSN	47	130 km/h (exclusief treinen op HSL sporen)
GO	40	80 km/h

2.2 Uitgangspunten en eerdere onderzoeken

De trillingsmetingen worden uitgevoerd en geanalyseerd conform het Uniform Meetprotocol [1]. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de PAB-data en QuoVadis data van de meetpunten in de buurt van de meetlocatie. Deze data is aangeleverd door ProRail. Daarnaast bouwt dit rapport voort op de rapportage van de korte duur metingen ([2]).

3 Werkwijze

3.1 Meetopstelling

De meetopstelling is zoals beschreven in de rapportage van de maaiveldmetingen [2], conform 2.3.1, 2.3.2 en 2.3.5 uit het UMP. De opstelling bestaat uit twee meetraaien met samen 14 sensoren voor korte duur, en een vast meetpunt voor de langeduurmeting. De opstelling is weergegeven in Figuur 3-1, waar de meetpunten voor korte duur in rood zijn aangegeven en het langeduur meetpunt (nummer 15) in geel. Het meetpunt voor lange duur ligt op 16 meter van het spoor. De Metabarrier is onder het schouwpad naast het spoor geplaatst, op 2.9 meter van spoor 1. Deze is met een oranje lijn aangegeven. De meetapparatuur is tijdens de installatie van de Metabarrier blijven liggen. De opstelling is dus precies hetzelfde bij de voor- en nameting, en is niet herplaatst.



Figuur 3-1 Meetopstelling trillingsmetingen Metabarrier. Sensornummers conform Tabel 3-1. Rode punten geven sensoren korte duurmeting aan; gele punt is sensor langeduurmeting. De oranje lijn geeft de locatie van de maatregel aan.

De meetrichtingen zijn bepaald conform 2.3.9 uit het UMP:

- De X-as ligt parallel aan het spoor
- De Y-as ligt loodrecht op het spoor
- De Z-as is de verticale richting.

De (X,Y)-coördinaten van het meetpunt voor lange duur zijn (108157.126, 403840.470). De voormeting vond plaats tussen 01-10-2024 en 10-10-2024. De nameting vond plaats tussen 14-10-2024 en 31-03-2025. In de periode hiertussen is de metabarrier geïnstalleerd.

3.2 Meetapparatuur langeduurmeting

Voor de langeduurmeting 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).

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.

3.3 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 tijdsignalen 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 5 seconden rond de $V_{eff,max}$ - waarde (en niet over de periode T_p).

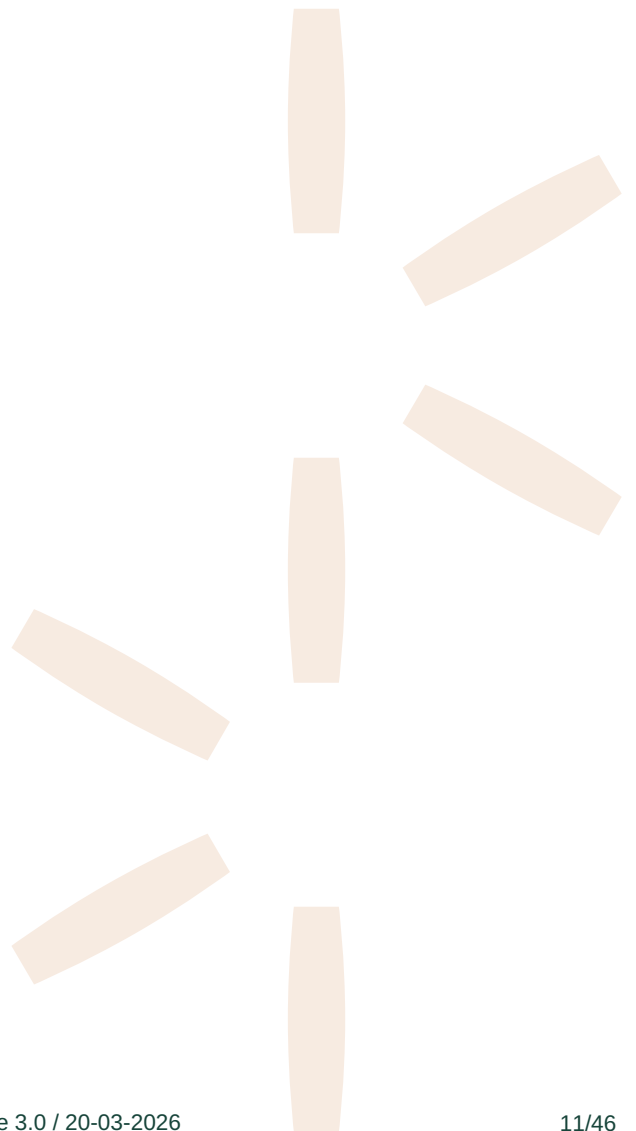
Na de signaalverwerking worden de effectbepaling en bepaling van seizoenseffecten uitgevoerd. Dit gebeurt door de gemiddelde tertsbandspectra per maand met de tertsbandspectra voor het plaatsen van de metabarrier te vergelijken. Om de seizoenseffecten en de invloed van de weersomstandigheden te onderzoeken, wordt de meetdata vergeleken met de gemiddelde temperatuur en neerslag per dag. Deze weergegevens zijn opgehaald bij het KNMI voor het weerstation in Gilze-Rijen. Daarnaast wordt de data vergeleken met de grondwaterstand die voor drie meetputten is opgevraagd via het DINO-loket. Dit betreft punt 27189 ('Noord'), 27008 ('Oost') en 70698 ('Zuid').

Bij de analyse wordt ook onderscheid gemaakt tussen snelheidsklassen (voor reizigerstreinen) en gewichtsklassen (voor goederentreinen). De indeling van deze klassen is opgenomen in Tabel 3-1. De snelheidsklassen zijn conform de woordenlijst van het UMP. De hoogste snelheidsklassen zijn weggelaten, aangezien deze snelheden op dit traject niet worden bereikt. Voor de gewichtsklassen in ton per as is een andere indeling gekozen, omdat veel goederentreinen in de laagste gewichtsklasse vallen en er zo meer onderscheid kan worden gemaakt.

Tabel 3-1 Indeling snelheidsklassen reizigerstreinen conform UMP en indeling gewichtsklassen goederentreinen

Snelheidsklassen	Gewichtsklassen; gemiddelde aslast
< 39 km/h	0 – 10 ton per as
39 – 43	10 – 15 ton per as
43 – 47.4	15 – 25 ton per as
47.4 – 52.3	
52.3 – 57.6	
57.6 – 63.5	
63.5 – 70	
70 – 77.2	
77.2 – 85.1	
85.1 – 93.9	

93.9 – 103.5
103.5 – 114.1
114.1 – 125.8
125.8 – 138.7
138.7 – 152.9
152.9 – 168.6



4 Resultaten

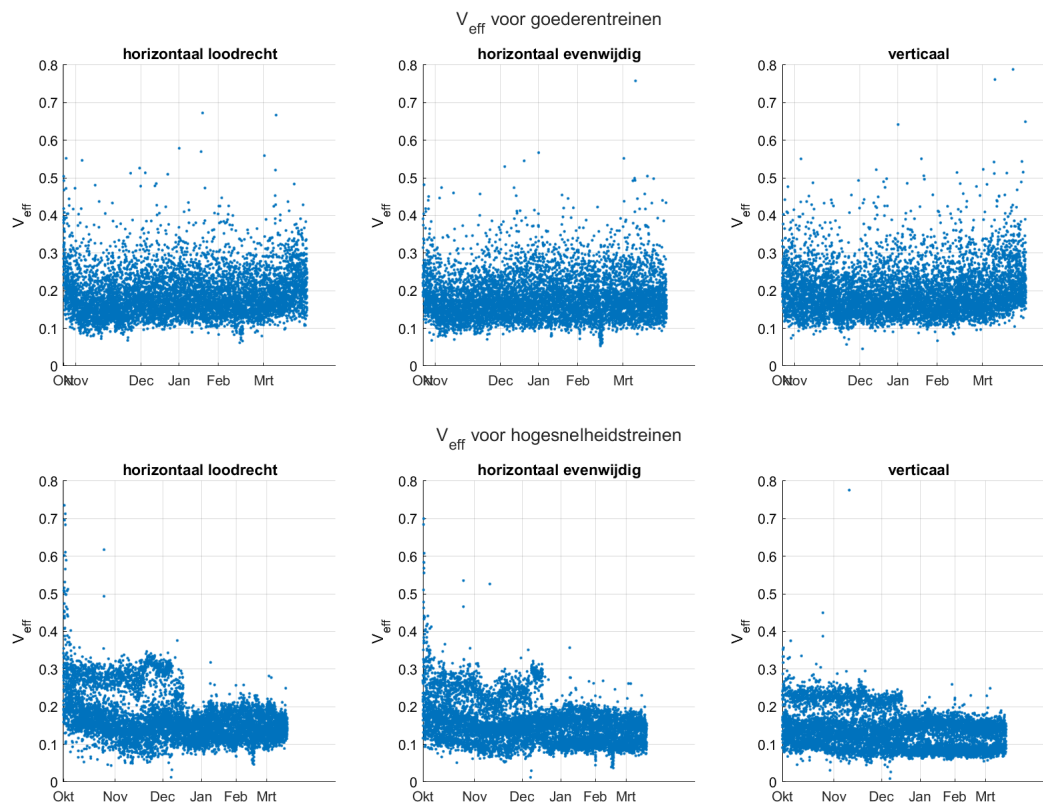
De ruwe meetdata van de langeduurmeting wordt apart met ProRail gedeeld. Het betreft hier de tijdsignalen met bijbehorende treingegevens conform 5.1.2 van het UMP, inclusief het meetjournaal.

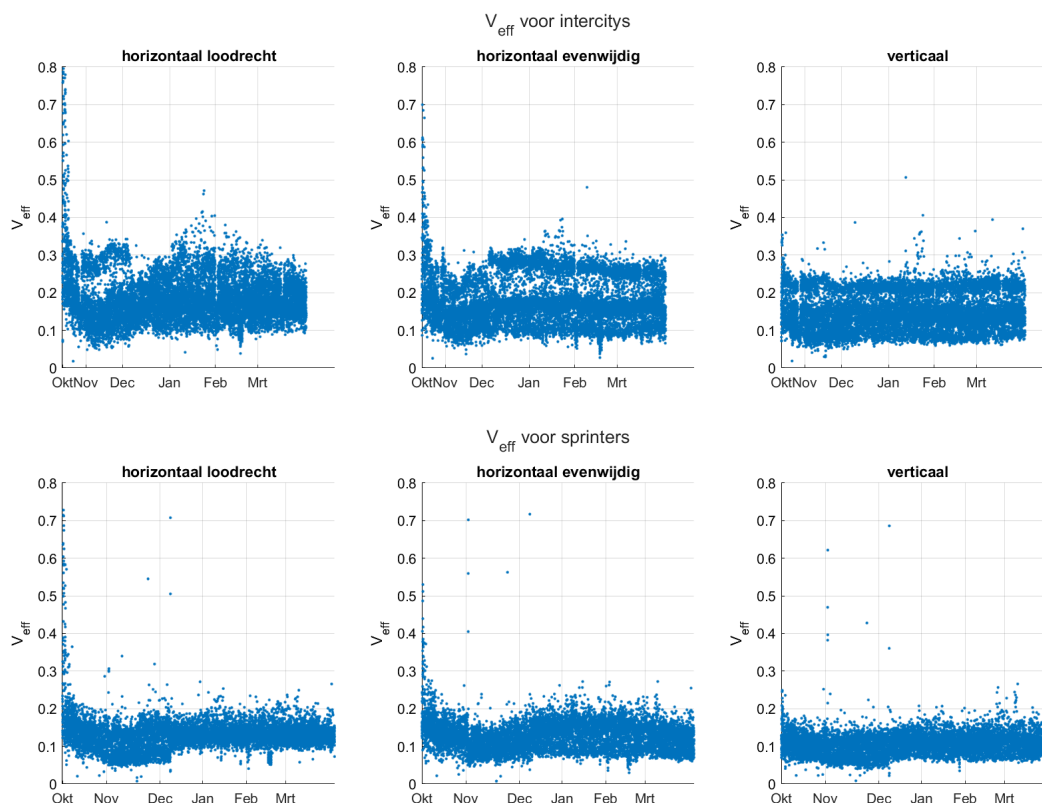
4.1 Meetresultaten

In Bijlage 2 zijn de aantallen treinpassages per treintype opgenomen. Per treintype is een tabel opgenomen met de aantallen passages per snelheidsklasse en spoor in verschillende perioden. Aan de hand van deze aantallen worden de analyses uitgevoerd.

- Voor reizigerstreinen wordt een analyse uitgevoerd per snelheidsklasse per spoor. Hierbij worden klassen met minder dan 10 treinen in de nulmeting weggelaten.
- Voor goederentreinen wordt een analyse uitgevoerd per gewichtsklasse en per spoor.
- De snelheidsbepaling is een inschatting aan de hand van PAB data, en is geen exacte bepaling. Daardoor zijn er snelheden bepaald boven de maximale snelheid op dit traject (160 km/h) en verschillen de treinsnelheden op spoor 1 en spoor 2. De snelheden zijn te gebruiken voor het indelen van passages in vergelijkbare categorieën, maar niet als absolute snelheden voor andere doeleinden.

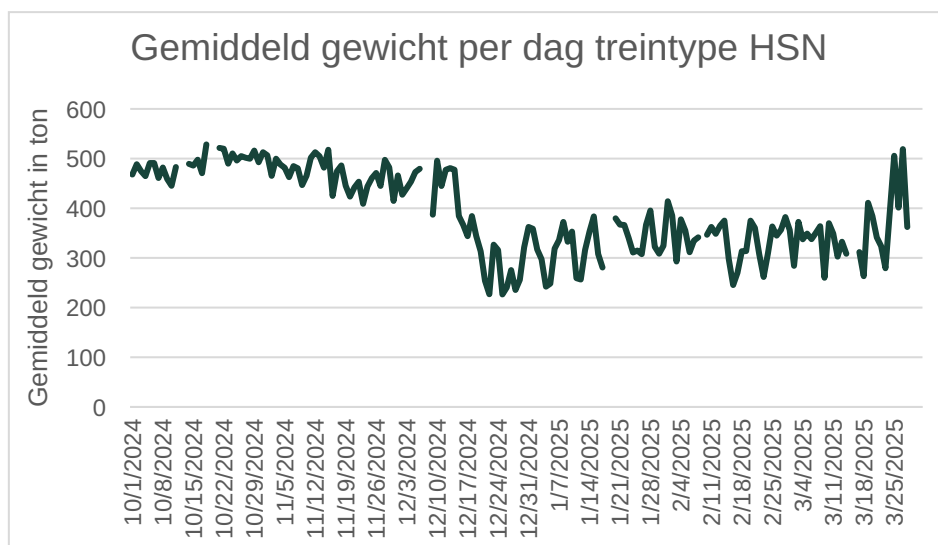
De meetresultaten per treintype zijn in onderstaande figuren weergegeven. Hier is voor iedere passage de gemeten waarde V_{eff} weergegeven.





Bij het bestuderen van de trillingsgrafieken vallen een aantal dingen op:

- Bij hogesnelheidstreinen is een duidelijke scheiding zichtbaar in de trillingssterktes vóór en na 15 december 2024. Dit komt door een dienstregeling-wijziging vanaf 15 december. De PAB-data bevestigt dat er vanaf die datum ander materieel is ingezet voor HSN-treinen, wat blijkt uit het gemiddelde treingewicht per dag (zie figuur hieronder).
- Bij alle reizigerstreinen zijn hoge trillingssterktes gemeten in de eerste week van oktober, voor het plaatsen van de metabarrier. Bij goederentreinen is dit effect minder zichtbaar.
- Bij intercity's zijn verschillende clusters van trillingssterktes te zien, wat waarschijnlijk duidt op het gebruik van verschillende soorten materieel.



4.2 Gemiddelde tertsbandspectra per periode

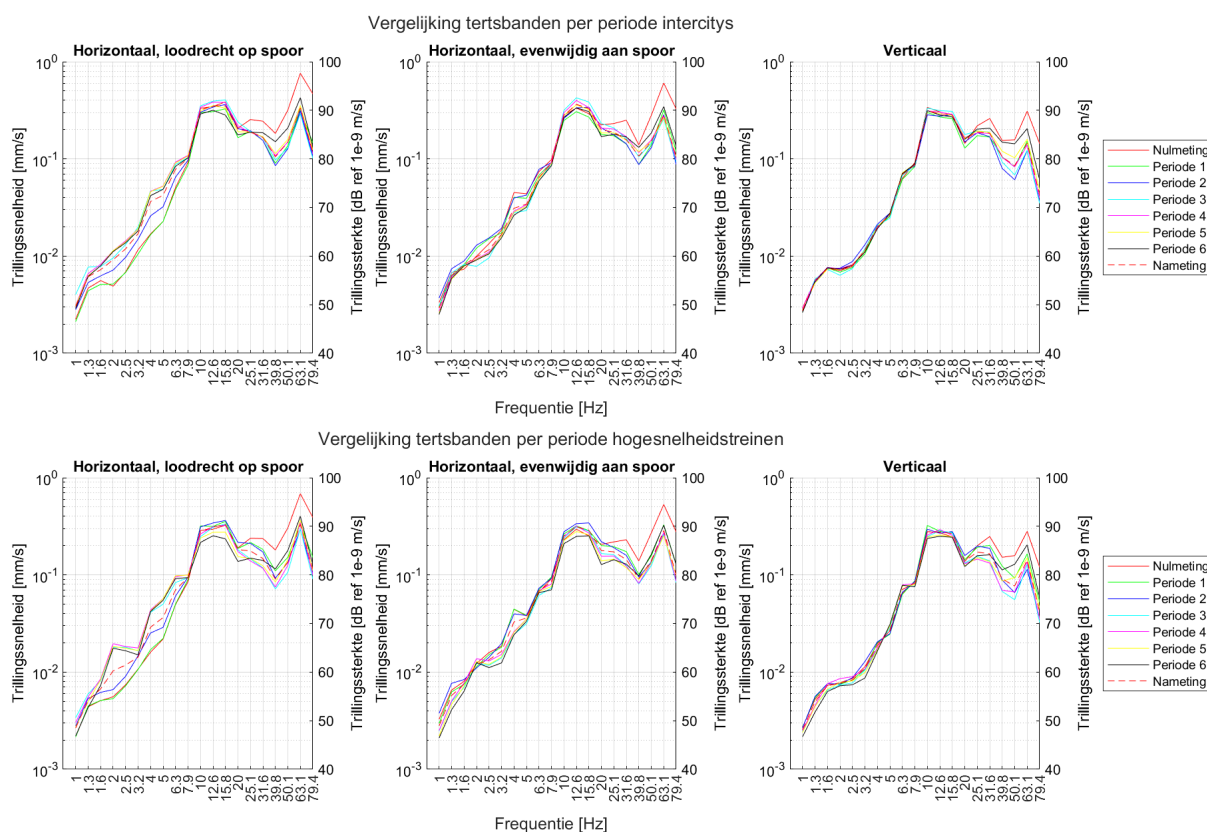
De analyses zijn op verschillende manieren uitgevoerd: per treinklasse, per spoor, en ook gecombineerd voor alle sporen en klassen. De resultaten hiervan zijn in de figuren hieronder te zien. Voor gedetailleerde resultaten per klasse en spoor wordt verwezen naar Bijlage 3.

Voor elk treintype tonen we het gemiddelde tertsbandspectrum van alle passages binnen specifieke periodes:

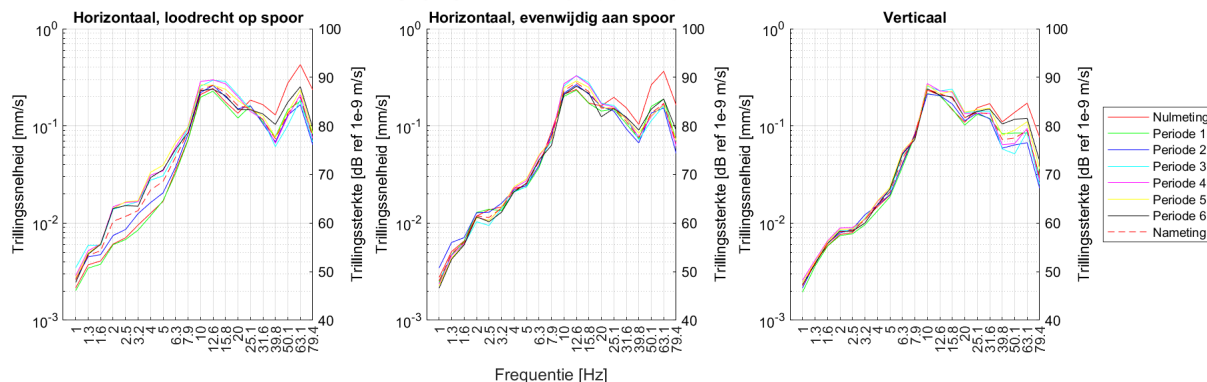
- De nulmeting (04-10-2024 t/m 10-10-2024)
- Zes opeenvolgende periodes zoals weergegeven in onderstaande tabel
- Het gemiddelde over de volledige nameting (14-10-2024 t/m 31-03-2025)

Belangrijk om op te merken is dat vanaf periode 3 de nieuwe dienstregeling van kracht werd. Deze wijziging heeft vooral bij het HSN-treintype significant effect gehad op de gemeten trillingssterktes.

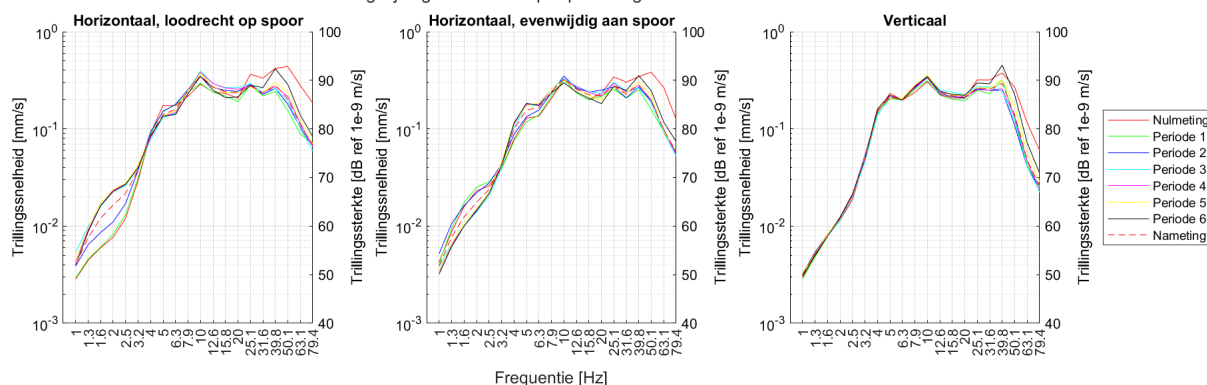
Periode	Datumbereik
Nulmeting	1 okt – 10 okt
Periode 1	14 okt – 14 nov
Periode 2	15 nov – 14 dec
Periode 3	15 dec – 14 jan
Periode 4	15 jan – 14 feb
Periode 5	15 feb – 8 mrt
Periode 6	9 mrt – 31 mrt
Nameting totaal	14 okt – 31 mrt



Vergelijking tertsbanden per periode sprinters



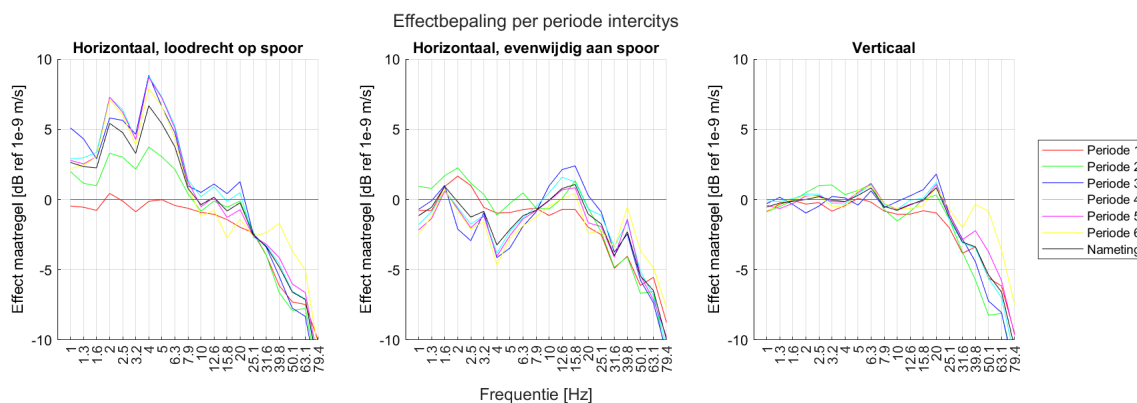
Vergelijking tertsbanden per periode goederentreinen



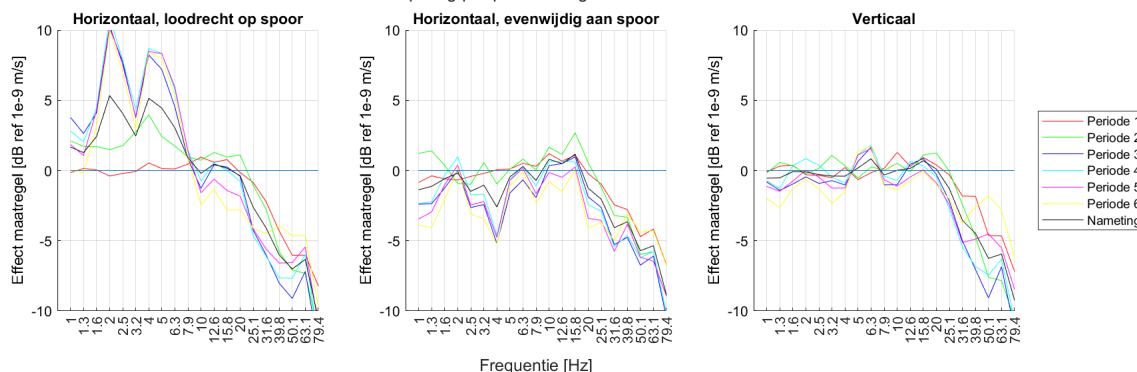
In deze figuren is duidelijk te zien dat boven 20 Hz bij alle treintypes een trillingsreducerend effect heeft plaatsgevonden die het sterkste is in de horizontale richtingen. Bij de laagste frequenties (tot 5 Hz) is het spectrum in veel periodes juist hoger dan tijdens de nulmeting. Na de nulmeting zijn in periode 1 en 2 in dit frequentiegebied de laagste trillingen gemeten. Om duidelijker onderscheid te maken tussen de verschillende periodes is de effectbepaling in de volgende paragraaf uitgevoerd.

4.3 Effectbepaling Metabarrier per periode

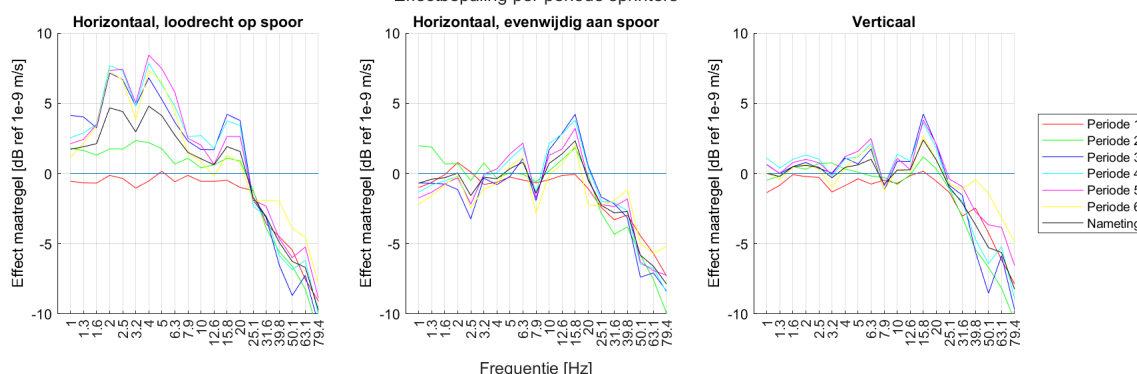
Om een preciezer beeld te krijgen van het effect van de Metabarrier in verschillende periodes, is een effectbepaling conform het UMP uitgevoerd. Dit houdt in dat het gemiddelde tertsbandspectrum van de nulmeting wordt afgetrokken van het spectrum van (periodes van) de nameting. Dit resulteert in een effect in dB. Een positief effect van meer dan 0 dB houdt in dat er een trillingstoename heeft plaatsgevonden. Een negatief effect van minder dan 0 dB houdt een trillingsreductie in. In onderstaande figuren zijn de resultaten weergegeven voor de verschillende treintypes. In Bijlage 4 zijn de resultaten weergegeven van de effectbepaling per snelheids- of gewichtsklasse en per spoor.



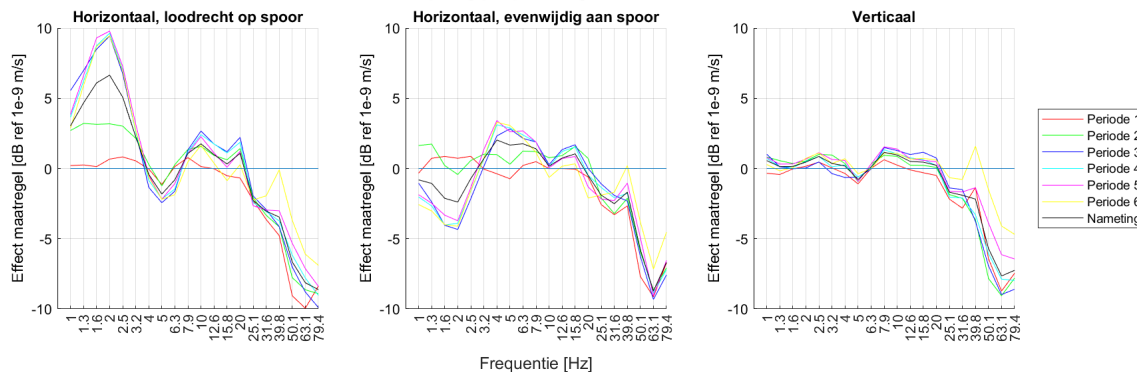
Effectbepaling per periode hogesnelheidstreinen



Effectbepaling per periode sprinters



Effectbepaling per periode goederentreinen



In deze figuren zijn een aantal patronen zichtbaar bij ieder treintype.

- Vanaf 20 á 25 Hz is het effect in iedere periode bij ieder treintype in iedere richting negatief (trillingsreducerend). De reductie neemt toe met hogere frequenties, en neemt toe tot -10 dB. De reductie is over het algemeen het sterkste in periode 3 (15 dec tot 14 jan), en het minst sterk in periode 6 (9 mrt tot 31 mrt).
- In de richting horizontaal loodrecht op het spoor is het effect tot 10 Hz (en bij sommige treintypes tot hogere frequenties) positief, dus trillingsverhogend. De verhoging loopt op tot 10 dB. Dit effect is vooral zichtbaar voor periode 3 t/m periode 6. In periode 1 ligt het effect juist rond 0 dB. Het effect in periode 2 zit hier tussenin.
- In de richting horizontaal evenwijdig aan het spoor en verticaal ligt het effect tot 20 Hz rond 0 dB, met uitzonderingen en schommelingen bij bepaalde treintypes en klassen.

Aan de hand van deze figuren en Bijlage 4 vallen per treintype en klasse daarnaast de volgende effecten op:

- Intercity's:
 - Het negatieve effect boven 20 Hz is het sterkste in periode 1 en 2 (horizontale richtingen) en periode 2, 3 en 4 (verticale richting). Het effect is het minst sterk in periode 6.
 - Richting horizontaal loodrecht op het spoor:
 - Bij spoor 2 is tussen 10 en 20 Hz een positief effect te zien (in plaats van een effect van 0 dB, zoals bij spoor 1). Dit effect is weer het sterkste voor periodes 3 t/m 6, terwijl het effect in periode 1 0 dB is. Het effect is het sterkste bij de lage snelheidsklassen.
 - Richting horizontaal evenwijdig aan het spoor:
 - In periode 1 en 2 is hier een effect rond 0 dB waargenomen.
 - Bij spoor 1 is het effect in periodes 3 t/m 6 schommelend, met een negatief effect tot 8 Hz en een positief effect tussen 10 en 20 Hz.
 - Bij spoor 2 ligt het effect in de periodes 3 t/m 6 rond 0 dB. Enkel in de hoogste snelheidsklasse is een negatief effect tot -5 dB waargenomen tot 10 Hz.
- Sprinters:
 - Het negatieve effect vanaf 20 Hz is het sterkste in periode 2, 3 en 4, en het minst sterk in periode 6.
 - Richting horizontaal loodrecht op het spoor:
 - Bij spoor 1 wordt tot 10 Hz een sterk positief effect waargenomen in de periodes 3 t/m 6. Bij spoor 2 is dit zichtbaar tot 20 Hz. Dit is (net als bij intercity's) het sterkste bij de laagste snelheidsklassen.
 - Richting horizontaal evenwijdig aan het spoor:
 - Tussen 10 en 20 Hz is hier een positief effect waargenomen. Dit is zichtbaar bij alle klassen en sporen. Bij spoor 2 is ook onder 10 Hz een positief effect waargenomen (bij spoor 1 lag dit meer rond 0 dB).
 - Richting verticaal:
 - Ook hier is tussen 10 en 20 Hz een positief effect waargenomen bij alle klassen en sporen.
- Hogesnelheidstreinen:
 - In alle richtingen is het negatieve (trillingsreducerende) effect boven 20 Hz het sterkste in periode 3 en 4 en het minst sterk in periode 1 en periode 6. In periode 1, 2 en 6 is ook het zwaarste materieel gebruikt (zie Hoofdstuk 4.1).
 - Richting horizontaal loodrecht op het spoor:
 - Het positieve effect onder 10 Hz bij periodes 3 t/m 6 is bij hogesnelheidstreinen sterker dan bij andere reizigerstreinen. Het effect loopt op tot boven 10 dB bij de hoge snelheidsklassen op spoor 3.
 - Richting horizontaal evenwijdig aan het spoor:
 - Tussen 2 en 4 Hz wordt in periodes 3 t/m 6 een negatief effect tot -5 dB waargenomen. In periode 1 en 2 ligt het effect rond 0 dB.
 - De trillingsreductie boven 20 Hz is op spoor 4 minder sterk dan op spoor 3. Bij 50 Hz ligt de reductie op spoor 4 bijvoorbeeld rond -5 dB, en op spoor 3 in een deel van de periodes tussen -7 en -10 dB.
- Goederentreinen:
 - De trillingsreductie boven 25 Hz is over het algemeen het sterkste in periode 1 en 2, en het minst sterk in periode 6.
 - Richting horizontaal loodrecht op het spoor:
 - In alle klassen en op alle sporen is op 5 Hz een trillingsreducerend effect zichtbaar tot -5 dB.
 - Tussen 5 en 10 Hz is een positief effect zichtbaar bij de hoogste gewichtsklassen op spoor 1 en spoor 2.
 - Bovengenoemde effecten zijn het sterkste voor periodes 3 t/m 6, en het minst sterk voor periode 1, waar het effect rond 0 dB ligt tot 20 Hz.

- Richting evenwijdig aan het spoor:
 - Op spoor 1 is tussen 2 en 20 Hz een sterk positief effect zichtbaar tot 8 dB. Dit is weer het minst sterk in periode 1. Het effect neemt toe bij de hogere gewichtsklassen.
 - Op spoor 2 is het effect rond 0 dB tot aan 30 á 40 Hz (in plaats van 20 á 25 Hz). Weer is bij de hoogste gewichtsklasse een positief effect zichtbaar tussen 2 en 20 Hz.

4.4 Vergelijking meetresultaten en bodem- en weercondities

Om mogelijke seizoenseffecten en weersinvloeden te identificeren, is de gemiddelde effectieve trillingssterkte vergeleken met neerslag, temperatuur en grondwaterstand. Voor reizigerstreinen is per dag de gemiddelde V_{eff} -waarde berekend over de drie richtingen, terwijl voor goederentreinen vanwege de lagere frequentie het weekgemiddelde over de drie richtingen is bepaald.

De volledige resultaten van deze analyse zijn te vinden in Bijlage 1. Op basis van deze vergelijking kunnen we de volgende conclusies trekken:

- De temperatuur daalt van oktober tot februari, en neemt dan weer toe tot en met maart. De gemiddelde trillingssterkte neemt bij goederentreinen ook sterk toe van februari tot en met maart, en lijkt hier gecorreleerd aan de temperatuur. In de periode oktober tot februari is echter een sterke daling van de trillingssterkte te zien in november, wat niet kan worden verklaard door de temperatuur.
- Bij intercity's en sprinters is ook te zien dat de trillingssterkte in november het laagste is. Er is echter geen stijging te zien na oktober zoals bij goederentreinen.
- Bij hogesnelheidstreinen zijn de trillingen in de periode oktober tot december juist het hoogste, en in de periode december tot februari lager. Dit is te verklaren door de nieuwe dienstregeling en het verschil in materieel vanaf 15 december.
- In de gemiddelde grondwaterstand valt op dat deze in de periode oktober tot december bij alle drie de punten het laagste is, en vanaf december flink stijgt. Bij de punten ten noorden en oosten van het meetpunt is de grondwaterstand in november het laagste. Dit kan een verklaring zijn voor de opvallend lage trillingssterktes die voor goederentreinen, intercity's en sprinters zijn gemeten in november.
- Bij goederentreinen is in de periode oktober tot februari een duidelijke correlatie zichtbaar tussen de grondwaterstand en de gemiddelde trillingssterkte. Bij de andere treintypes is deze correlatie minder sterk zichtbaar. Dit suggereert dat de grondwaterstand voornamelijk effect heeft op de trillingsbron, en minder op de trillingsoverdracht in de bodem. Daarnaast is bij hogesnelheidstreinen geen duidelijk effect te zien van de grondwaterstand. Dit kan komen doordat de baanconstructie van de HSL-zuid stabiel is en minder effect ondervindt van de grondwaterstand.
- Vanaf februari neemt de grondwaterstand weer af. Dit gaat echter niet gepaard met een daling van trillingssterktes. Mogelijk heeft de stijgende temperatuur hier een groter effect, en nemen de trillingen daardoor juist zelfs toe.
- Bij alle treintypes is geen directe correlatie zichtbaar tussen de neerslag en de gemiddelde trillingssterkte. De neerslag heeft wel effect op de grondwaterstand, en draagt zo bij aan de effecten die hierboven zijn beschreven.

5 Conclusies

Uit de effectbepaling en vergelijking met weersgegevens volgen onderstaande conclusies over het effect van de metabarrier in verschillende perioden en de seizoenseffecten op het trillingsbeeld.

Ten eerste wordt opgemerkt dat er in de 'metadata' van de treinpassages twee onzekerheden zitten:

- Er wordt aangenomen dat hogesnelheidstreinen op de HSL-Zuid (spoor 3 en spoor 4) rijden. Uit de maaiveldmetingen is gebleken dat dit niet voor alle treinen van het type HSN geldt. Het is niet mogelijk te achterhalen welke hogesnelheidstreinen precies op welk spoor hebben gereden.
- Aan de hand van de PAB data wordt aan iedere passage een snelheid toegekend door de gemiddelde snelheid over een bepaald traject uit te rekenen. Dit is een schatting en zal niet de precieze snelheid op moment van passeren weergeven. Daarom moeten deze snelheden enkel worden gebruikt om de passages in vergelijkbare categorieën te plaatsen, en niet als absolute meetdata.

Bij het analyseren van de meetdata, de effectbepaling en het vergelijken met weersgegevens komen verschillende patronen naar voren die onderling gerelateerd zijn. Hier worden de patronen beschreven met hun mogelijke verklaring.

- Vanaf 20 á 25 Hz is in iedere richting en bij ieder treintype, klasse en spoor een negatief (trillingsreducerend) effect waargenomen. Dit effect neemt toe bij hogere frequenties, tot -10 dB bij 80 Hz.
 - Bij intercity's, sprinters en goederentreinen is dit effect over het algemeen het sterkste in de eerste periodes, en minder sterk in periode 6. Een mogelijke verklaring voor de toename in trillingen in de laatste periode is een correlatie met de toenemende temperatuur. Deze correlatie is echter niet zichtbaar in periodes 1 t/m 3.
 - Bij hogesnelheidstreinen is het effect juist het sterkste in periode 3 en 4, en het minst sterk in periode 1 en 6. Dit kan worden verklaard door de wijziging in gebruikt materieel voor het type HSN die inging tussen periode 2 en periode 3. Na de wijziging in de dienstregeling is het gewicht van het materieel afgenomen, wat een mogelijke verklaring is voor de trillingsreductie in periode 3 en 4. In periode 6 is het gemiddelde gewicht weer iets toegenomen.
 - De beschreven wijziging in materieel van het treintype HSN is ook een verklaring voor de plotselinge wijziging in het trillingsbeeld in Hoofdstuk 4.1. Hier is zichtbaar dat de gemeten waarden voor V_{eff} vanaf 15 december plotseling sterk afnemen.
- In het frequentiegebied tot 20 Hz in de richting horizontaal loodrecht op het spoor is in periode 1 een neutraal effect rond 0 dB waargenomen, en bij latere periodes juist een positief effect. De sterkte van dit effect varieert per treintype en klasse.
 - Bij sprinters en intercity's is dit effect het sterkste bij lage snelheidsklassen op spoor 2. Bij hogesnelheidstreinen juist bij hoge snelheidsklassen.
 - Een verklaring voor het grote verschil in effect tussen periode 1, 2 en de latere periodes, is de grondwaterstand. Die was in periode 1 en 2 erg laag en heeft waarschijnlijk invloed op de trillingsbron. Vanaf periode 3 neemt de grondwaterstand toe, en daarmee ook de trillingen.
- Naast het tertsbandspectrum is ook de gemiddelde trillingssterkte per dag (reizigerstreinen) of week (goederentreinen) vergeleken met weersgegevens.
 - Voor goederentreinen is een positieve correlatie zichtbaar tussen de gemiddelde trillingssterkte en de grondwaterstand tussen oktober en maart. Vanaf maart neemt de trillingssterkte echter toe, terwijl de grondwaterstand afneemt. Dit kan mogelijk worden verklaard door de temperatuur die toeneemt vanaf februari, en vanaf februari positief gecorreleerd lijkt aan de trillingssterkte.

- Voor hogesnelheidstreinen is geen correlatie zichtbaar met weersgegevens. Halverwege december is een duidelijke scheiding te zien in de gemiddelde trillingssterkte, die kan worden verklaard door de wijziging in de dienstregeling.
- Voor intercity's en sprinters is de correlatie tussen grondwaterstand en trillingssterkte minder sterk dan bij goederentreinen. Wel is in beide een daling te zien in november. Het sterke trillingsreducerende effect in november kan dus worden verklaard door de daling in grondwaterstand. Verder is de gemiddelde trillingssterkte bij deze treintypes redelijk stabiel.
- De grondwaterstand heeft waarschijnlijk voornamelijk invloed op de trillingsbron. Dit verklaart waarom er bij goederentreinen een sterke correlatie zichtbaar is, en bij intercity's en sprinters minder. Daarnaast rijden veel treinen van type HSN over de HSL-Zuid, een stabiele baanconstructie die minder effect zal ondervinden van de grondwaterstand.



6 Bibliografie

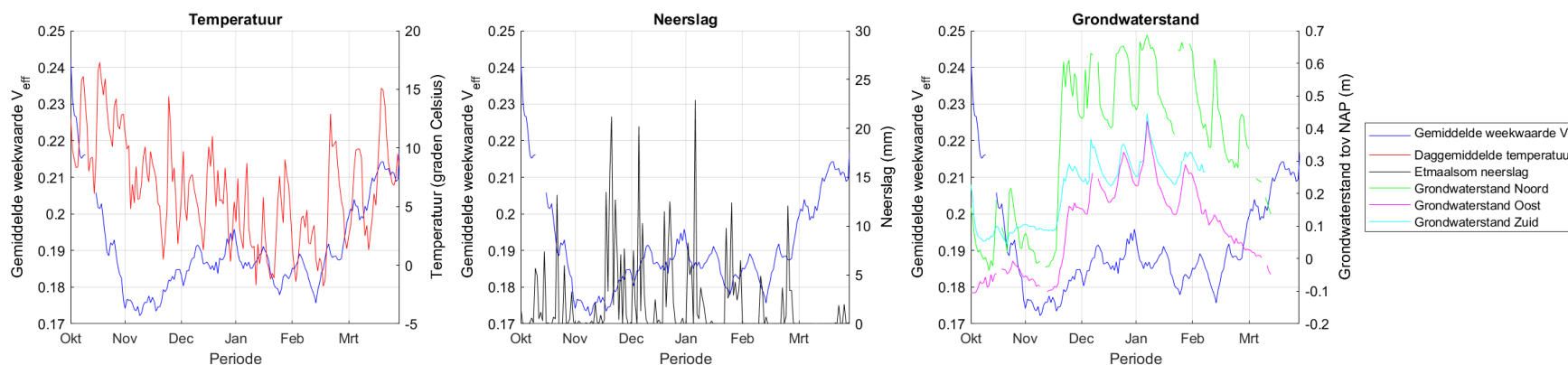
- [1] ProRail , “Uniform Meetprotocol IBS Trillingen, versie 3.0,” 26 april 2024.
- [2] Movares, “Effectbepaling meetregel Metabarrier, versie 2.0,” 27-02-2025



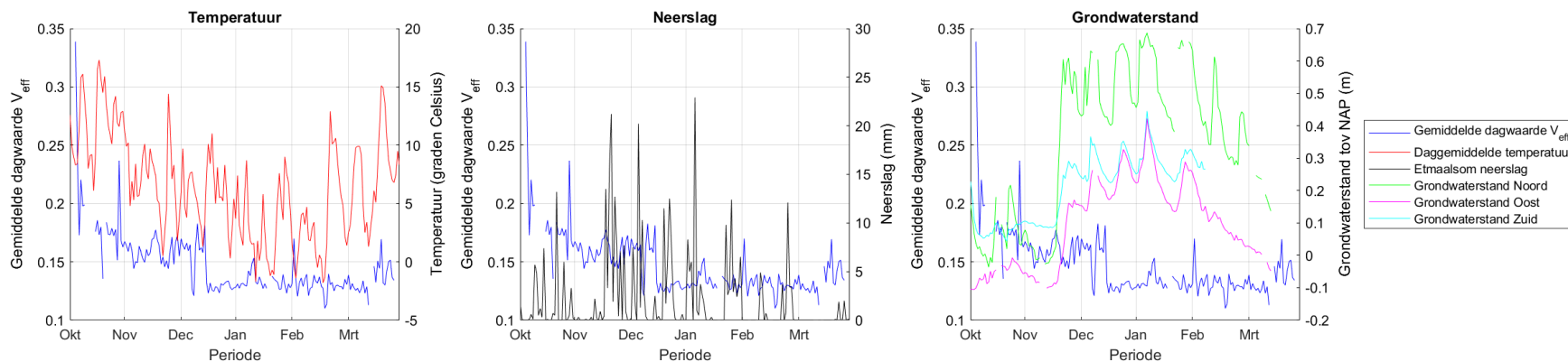
Bijlage 1 Vergelijking meetdata weerseffecten

In deze bijlage is de gemiddelde trillingssterkte per dag (reizigerstreinen) of week (goederentreinen) vergeleken met het daggemiddelde van de temperatuur, de etmaalsom van de neerslag en de gemiddelde grondwaterstand op drie punten om het meetpunt heen. De temperatuur- en neerslaggegevens zijn opgehaald bij het KNMI voor het meetpunt in Gilze-Rijen. De grondwaterstanden zijn opgevraagd bij het DINO-loket voor punt 27189 (Noord), 27008 (Oost) en 70698 (Zuid).

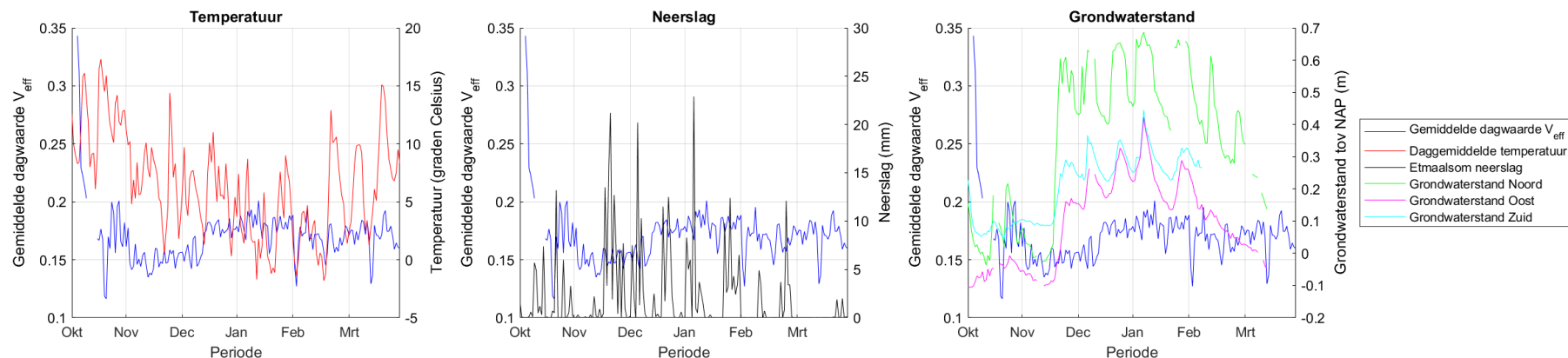
Gemiddelde weekwaarde V_{eff} en temperatuur, neerslag en grondwaterstand, goederentreinen



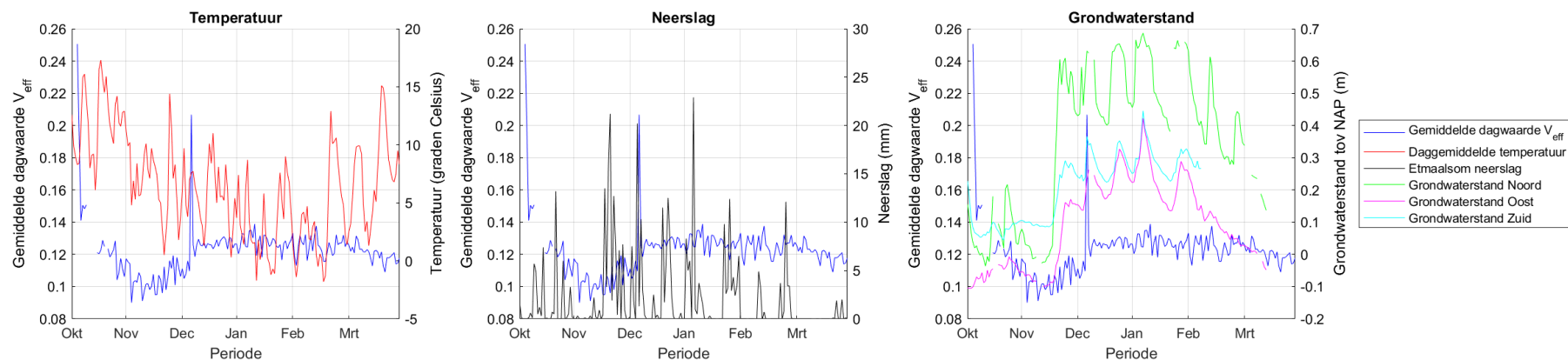
Gemiddelde dagwaarde V_{eff} en temperatuur, neerslag en grondwaterstand, hogesnelheidstreinen



Gemiddelde dagwaarde V_{eff} en temperatuur, neerslag en grondwaterstand, intercitsy



Gemiddelde dagwaarde V_{eff} en temperatuur, neerslag en grondwaterstand, sprinters





Bijlage 2 Aantallen treinpassages

De tabellen in deze bijlage bevatten de aantallen treinpassages per treintype, snelheidsklasse en spoor. Iedere tabel hoort bij één treintype (intercity's, sprinters, hogesnelheidstreinen en goederentreinen). Het aantal passages per klasse (rijen) en periode (kolommen) is weergegeven als xx / yy, waarbij het eerste getal het aantal passages op spoor 1 aangeeft (spoor 3 voor hogesnelheidstreinen) en het tweede getal het aantal passages op spoor 2 (spoor 4 voor hogesnelheidstreinen). De snelheidsbepaling is een inschatting aan de hand van PAB data, en is geen exacte bepaling. Daardoor zijn er snelheden gemeten boven de maximale snelheid op dit traject (160 km/h) en verschillen de treinsnelheden op spoor 1 en spoor 2. De snelheden zijn te gebruiken voor het indelen van passages in vergelijkbare categorieën, maar niet als absolute snelheden voor andere doeleinden.

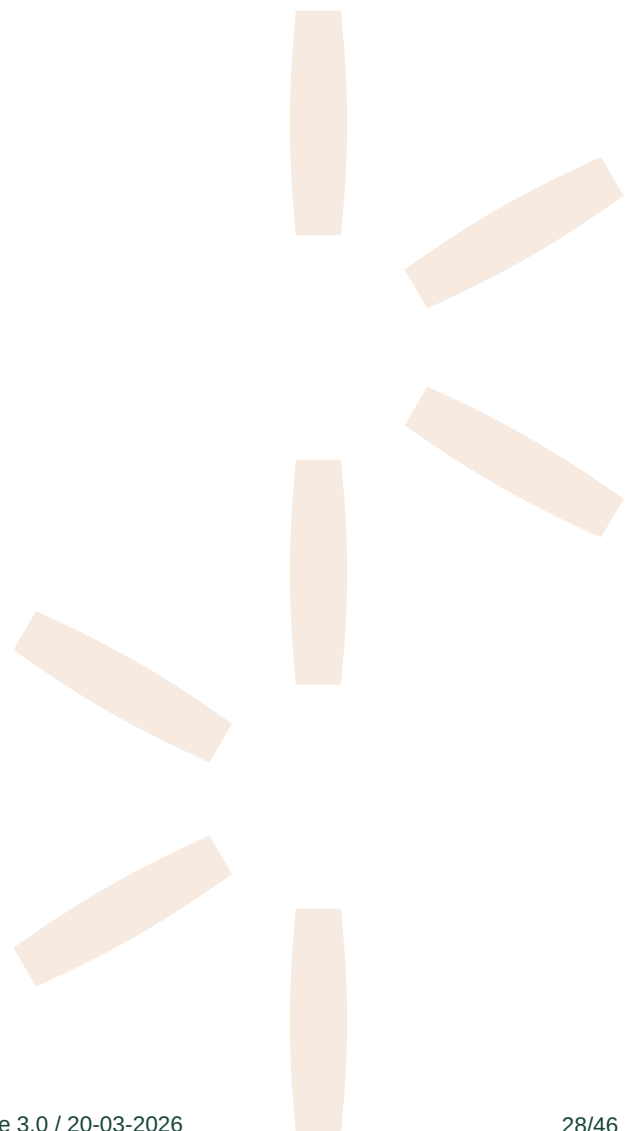
IC	Nulmeting	Periode 1	Periode 2	Periode 3	Periode 4	Periode 5	Periode 6	Nameting
Totaal	271 / 278	830 / 815	1065 / 1070	1327 / 1267	1362 / 1278	980 / 929	987 / 964	6551 / 6323
<39 km/u	0 / 0	3 / 0	0 / 0	0 / 0	7 / 0	1 / 0	0 / 0	11 / 0
39 – 43	0 / 0	0 / 0	1 / 0	3 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	4 / 0
43 – 47.4	0 / 0	0 / 0	3 / 1	1 / 0	4 / 0	0 / 1	1 / 0	9 / 2
47.4 – 52.3	0 / 0	0 / 1	6 / 0	2 / 1	1 / 4	0 / 0	1 / 0	10 / 6
52.3 – 57.6	0 / 0	0 / 1	2 / 0	5 / 5	2 / 1	0 / 1	2 / 1	11 / 9
57.6 – 63.5	0 / 0	1 / 2	1 / 7	3 / 6	4 / 8	1 / 6	3 / 5	13 / 34
63.5 – 70	5 / 1	3 / 3	2 / 9	8 / 5	5 / 6	9 / 8	1 / 1	28 / 32
70 – 77.2	0 / 7	1 / 4	4 / 19	4 / 13	5 / 15	1 / 11	3 / 14	18 / 76
77.2 – 85.1	0 / 3	4 / 12	4 / 22	6 / 14	5 / 14	2 / 11	2 / 19	23 / 92
85.1 – 93.9	3 / 1	6 / 11	7 / 21	10 / 18	8 / 22	9 / 18	1 / 23	41 / 113
93.9 – 103.5	1 / 13	1 / 30	5 / 37	9 / 51	11 / 62	14 / 45	4 / 71	44 / 296
103.5 – 114.1	2 / 27	9 / 82	24 / 75	24 / 96	20 / 93	13 / 79	13 / 104	103 / 529
114.1 – 125.8	9 / 131	21 / 365	22 / 483	39 / 649	46 / 602	22 / 421	25 / 406	175 / 2926
125.8 – 138.7	10 / 95	39 / 304	55 / 396	66 / 409	73 / 451	50 / 328	38 / 320	321 / 2208
138.7 – 152.9	132 / 0	418 / 0	525 / 0	534 / 0	628 / 0	477 / 0	446 / 0	3028 / 0
152.9 – 168.6	109 / 0	324 / 0	404 / 0	613 / 0	543 / 0	381 / 0	447 / 0	2712 / 0
168.6 – 185.5	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0
>185.8 km/h	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0

GO	Nulmeting	Periode 1	Periode 2	Periode 3	Periode 4	Periode 5	Periode 6	Nameting
Totaal	81 / 95	546 / 566	829 / 814	407 / 441	660 / 644	577 / 560	447 / 454	3466 / 3479
0-10 ton/as	43 / 28	282 / 108	385 / 142	197 / 171	270 / 194	243 / 125	169 / 131	1546 / 871
10-15 ton/as	33 / 52	230 / 274	401 / 380	176 / 196	353 / 338	298 / 300	256 / 251	1714 / 1739
15-25 ton/as	5 / 15	34 / 184	43 / 292	34 / 74	37 / 112	36 / 135	22 / 72	206 / 869

SPR	Nulmeting	Periode 1	Periode 2	Periode 3	Periode 4	Periode 5	Periode 6	Nameting
Totaal	232 / 241	1073 / 1060	1049 / 889	1023 / 531	1023 / 658	734 / 506	777 / 637	5679 / 4281
<39 km/u	3 / 0	1 / 1	2 / 1	3 / 3	1 / 3	5 / 2	2 / 1	14 / 11
39 – 43	1 / 0	1 / 3	0 / 5	0 / 2	2 / 2	1 / 1	0 / 3	4 / 16
43 – 47.4	0 / 1	2 / 12	0 / 9	0 / 7	0 / 9	0 / 8	0 / 6	2 / 51
47.4 – 52.3	1 / 1	1 / 7	1 / 7	0 / 11	0 / 9	0 / 6	0 / 5	2 / 45
52.3 – 57.6	0 / 5	2 / 12	3 / 8	1 / 9	0 / 9	0 / 7	0 / 9	6 / 54
57.6 – 63.5	2 / 2	6 / 5	6 / 8	6 / 7	4 / 6	5 / 4	3 / 6	30 / 36
63.5 – 70	2 / 2	12 / 8	14 / 6	2 / 4	9 / 6	3 / 4	6 / 2	46 / 30
70 – 77.2	6 / 3	44 / 7	23 / 5	13 / 5	17 / 8	16 / 4	19 / 1	132 / 30
77.2 – 85.1	2 / 2	17 / 11	21 / 12	25 / 8	22 / 4	13 / 4	19 / 1	117 / 40
85.1 – 93.9	1 / 0	13 / 16	7 / 9	5 / 10	5 / 3	8 / 3	7 / 2	45 / 43
93.9 – 103.5	5 / 1	15 / 11	18 / 13	5 / 1	13 / 5	6 / 2	6 / 4	63 / 35
103.5 – 114.1	25 / 12	109 / 60	127 / 59	28 / 7	37 / 7	24 / 13	43 / 8	368 / 154
114.1 – 125.8	180 / 32	826 / 185	801 / 178	897 / 73	873 / 107	613 / 110	639 / 119	4649 / 772
125.8 – 138.7	3 / 117	18 / 480	16 / 342	30 / 348	33 / 433	28 / 305	27 / 443	152 / 2351
138.7 – 152.9	1 / 59	5 / 227	4 / 212	7 / 16	6 / 31	8 / 21	6 / 16	36 / 523
152.9 – 168.6	0 / 2	0 / 6	3 / 7	1 / 7	0 / 6	1 / 7	0 / 7	5 / 40
168.6 – 185.5	0 / 2	0 / 6	2 / 4	0 / 6	0 / 9	1 / 1	0 / 4	3 / 30
>185.8 km/h	0 / 0	1 / 3	1 / 4	0 / 7	1 / 1	2 / 4	0 / 0	5 / 19

HSN	Nulmeting	Periode 1	Periode 2	Periode 3	Periode 4	Periode 5	Periode 6	Nameting
Totaal	171 / 182	1138 / 1210	770 / 815	702 / 556	657 / 562	545 / 450	184 / 170	3996 / 3763
<39 km/u	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0
39 – 43	1 / 0	4 / 0	2 / 1	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	4 / 1
43 – 47.4	1 / 0	1 / 1	1 / 1	0 / 1	0 / 0	2 / 0	2 / 0	6 / 3
47.4 – 52.3	0 / 0	3 / 3	4 / 7	0 / 3	3 / 2	0 / 1	0 / 1	10 / 17
52.3 – 57.6	1 / 1	0 / 13	0 / 13	0 / 3	2 / 0	3 / 1	0 / 2	5 / 32
57.6 – 63.5	1 / 3	5 / 13	2 / 14	1 / 5	2 / 1	3 / 5	0 / 2	13 / 40
63.5 – 70	0 / 3	7 / 11	8 / 17	1 / 6	0 / 1	4 / 2	0 / 0	20 / 37
70 – 77.2	4 / 2	13 / 20	3 / 11	2 / 1	2 / 4	3 / 7	1 / 1	24 / 44
77.2 – 85.1	5 / 4	7 / 23	4 / 19	3 / 5	4 / 2	3 / 5	2 / 0	23 / 54
85.1 – 93.9	1 / 3	9 / 20	5 / 20	10 / 2	3 / 3	6 / 6	1 / 2	34 / 53
93.9 – 103.5	3 / 7	8 / 42	15 / 30	8 / 13	10 / 18	6 / 25	3 / 7	50 / 135
103.5 – 114.1	4 / 8	16 / 97	18 / 39	7 / 18	13 / 32	10 / 37	1 / 9	65 / 232
114.1 – 125.8	1 / 76	37 / 526	31 / 383	21 / 213	32 / 222	16 / 166	7 / 67	144 / 1577

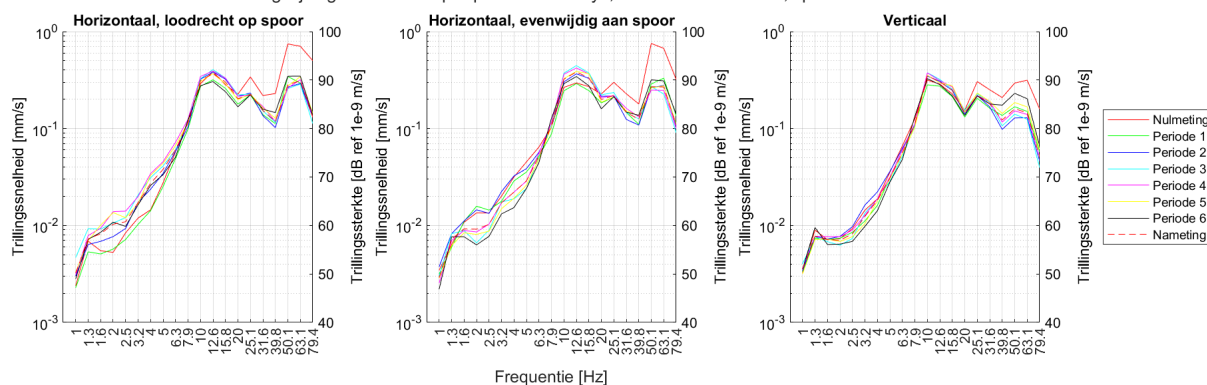
125.8 – 138.7	12 / 75	54 / 441	63 / 260	6 / 286	71 / 277	43 / 195	17 / 79	314 / 1538
138.7 – 152.9	92 / 0	527 / 0	347 / 0	433 / 0	376 / 0	336 / 0	100 / 0	2119 / 0
152.9 – 168.6	45 / 0	447 / 0	269 / 0	150 / 0	139 / 0	110 / 0	50 / 0	1165 / 0
168.6 – 185.5	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0
>185.8 km/h	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0



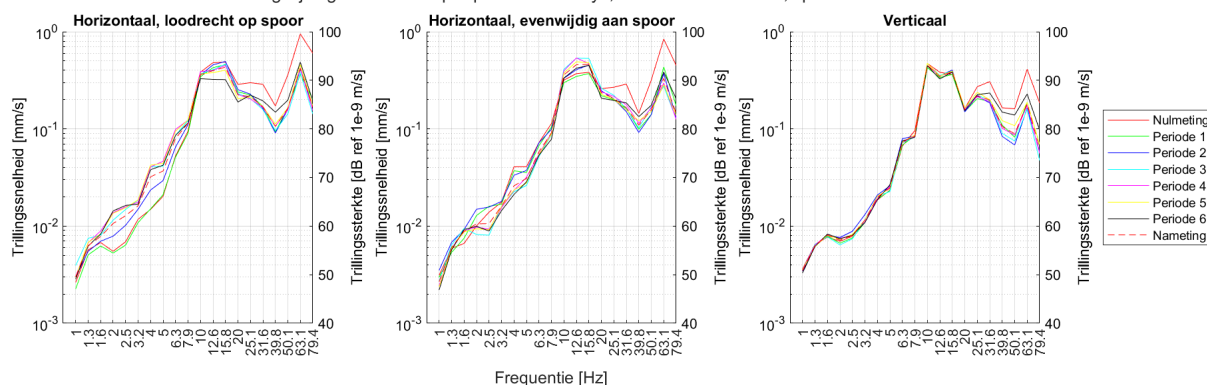
Bijlage 3 Gemiddelde tertsbandspectra per periode

In deze bijlage zijn de gemiddelde tertsbandspectra opgenomen van treinpassages waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen treintype, snelheids- of gewichtsklasse en bereden spoor. Enkel de spectra van klassen waarbij in de nulmeting minstens 10 treinen zijn gemeten (zie Bijlage 2) worden hier getoond.

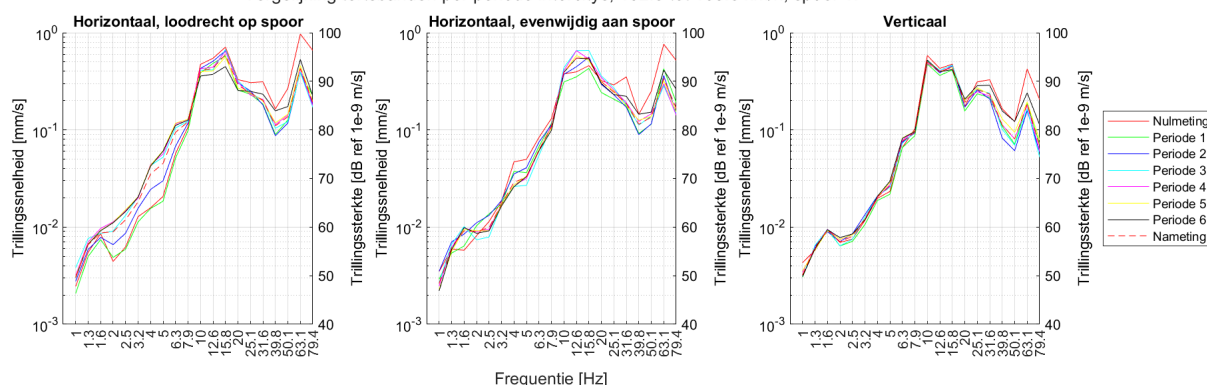
Vergelijking tertsbanden per periode intercitsys, 125.8 tot 138.7 km/h, spoor 1.



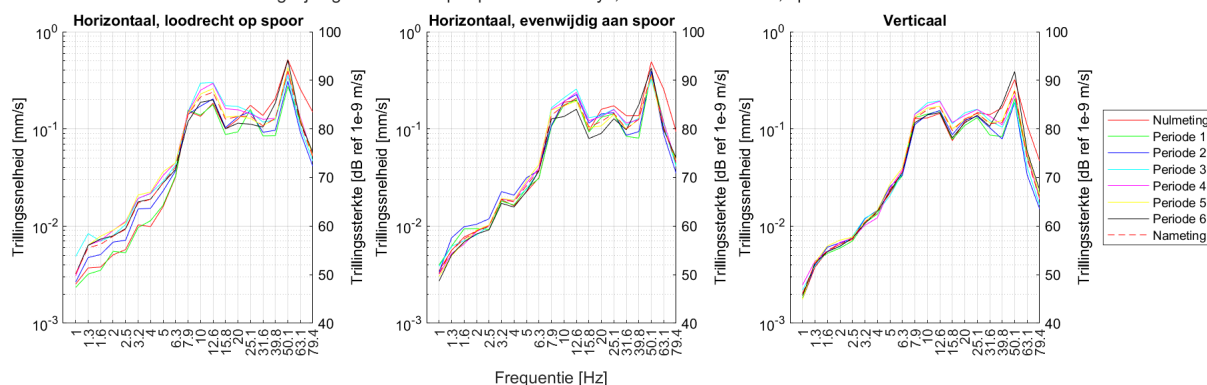
Vergelijking tertsbanden per periode intercitsys, 138.7 tot 152.9 km/h, spoor 1.



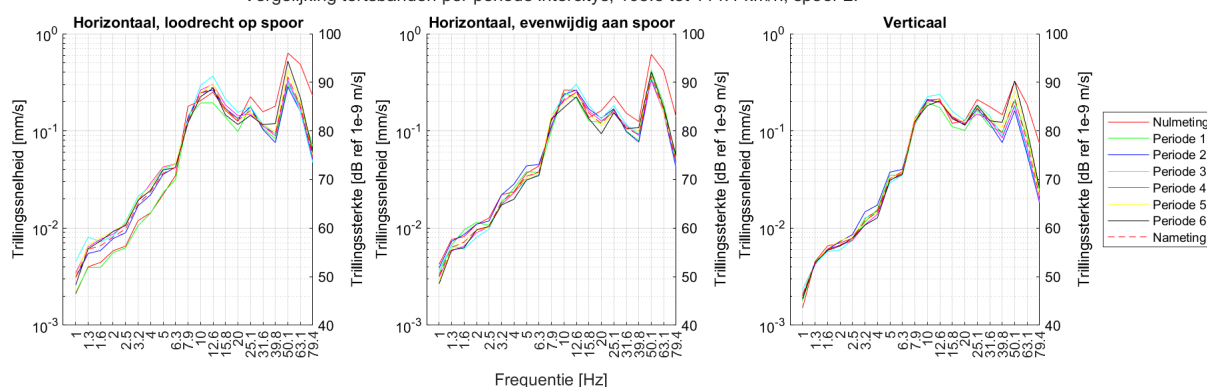
Vergelijking tertsbanden per periode intercitsys, 152.9 tot 168.6 km/h, spoor 1.



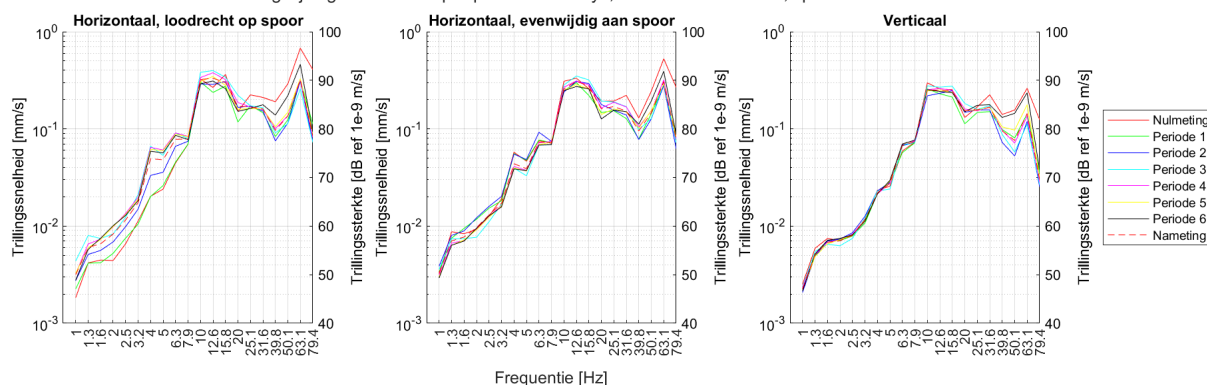
Vergelijking tertsbanden per periode intercitys, 93.9 tot 103.5 km/h, spoor 2.



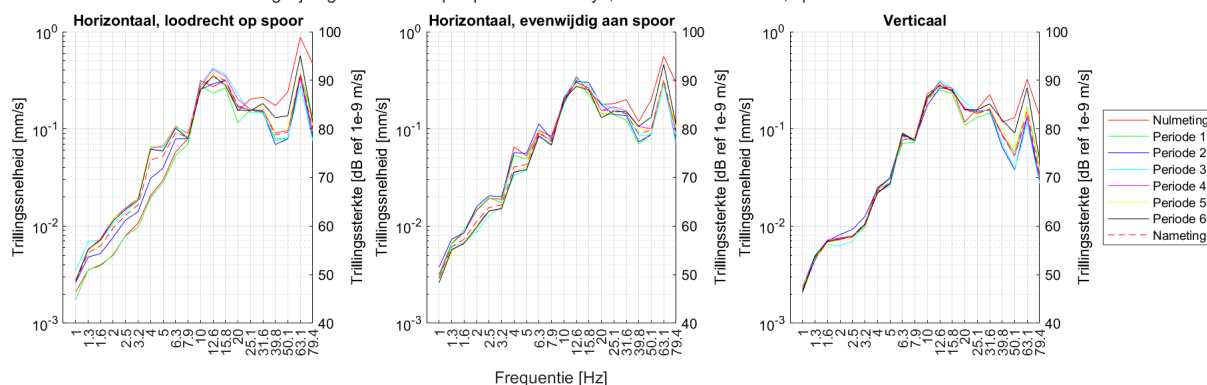
Vergelijking tertsbanden per periode intercitys, 103.5 tot 114.1 km/h, spoor 2.



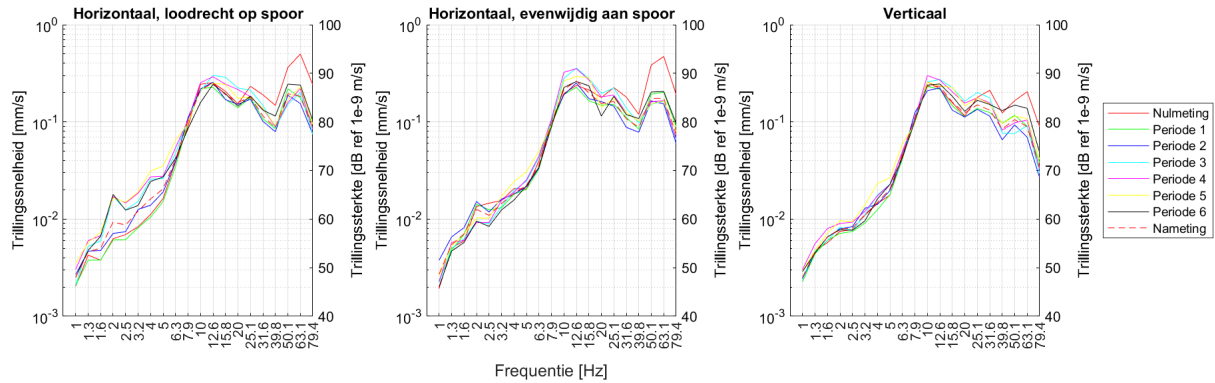
Vergelijking tertsbanden per periode intercitys, 114.1 tot 125.8 km/h, spoor 2.



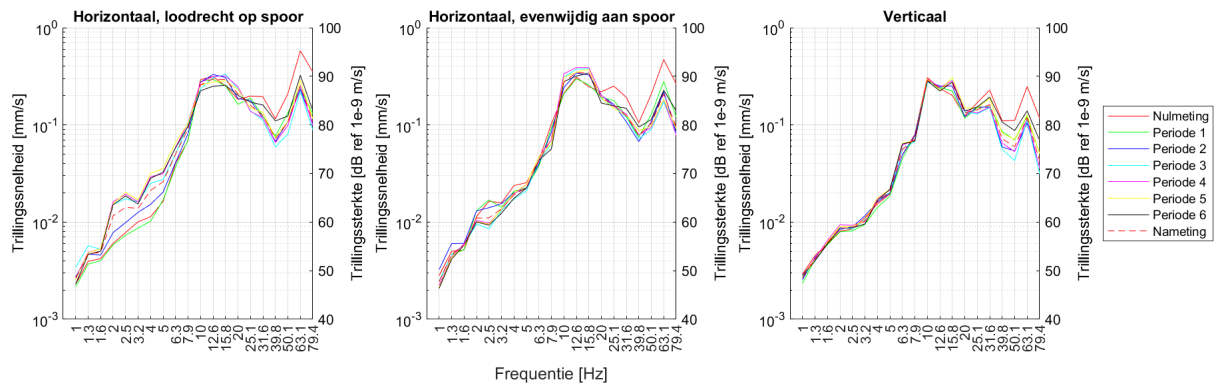
Vergelijking tertsbanden per periode intercitys, 125.8 tot 138.7 km/h, spoor 2.



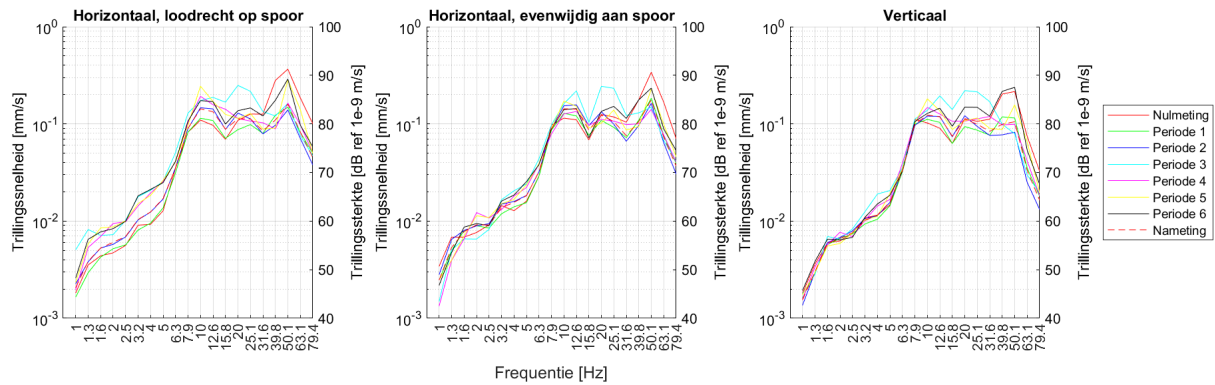
Vergelijking tertsbanden per periode sprinters, 103.5 tot 114.1 km/h, spoor 1.



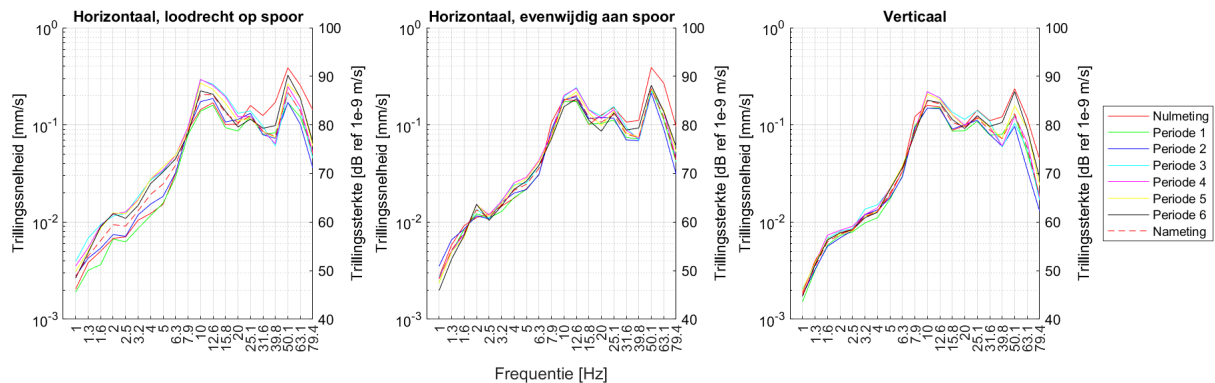
Vergelijking tertsbanden per periode sprinters, 114.1 tot 125.8 km/h, spoor 1.



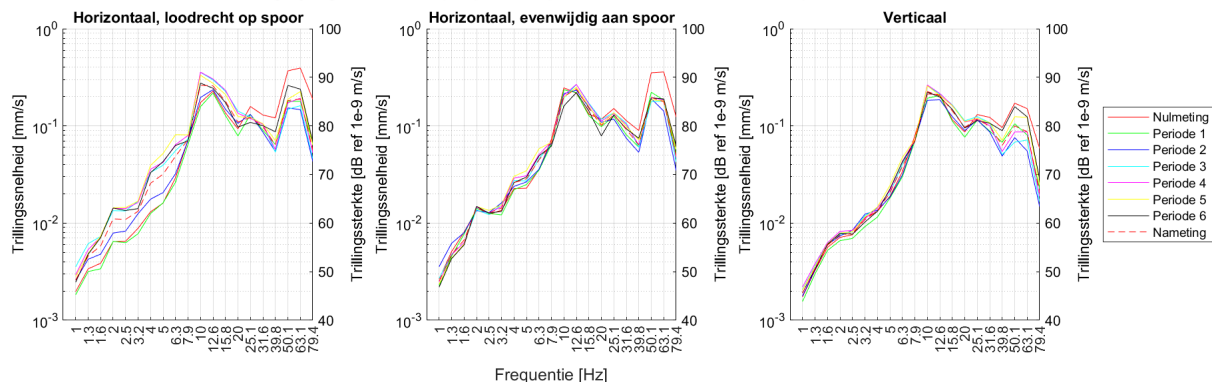
Vergelijking tertsbanden per periode sprinters, 103.5 tot 114.1 km/h, spoor 2.



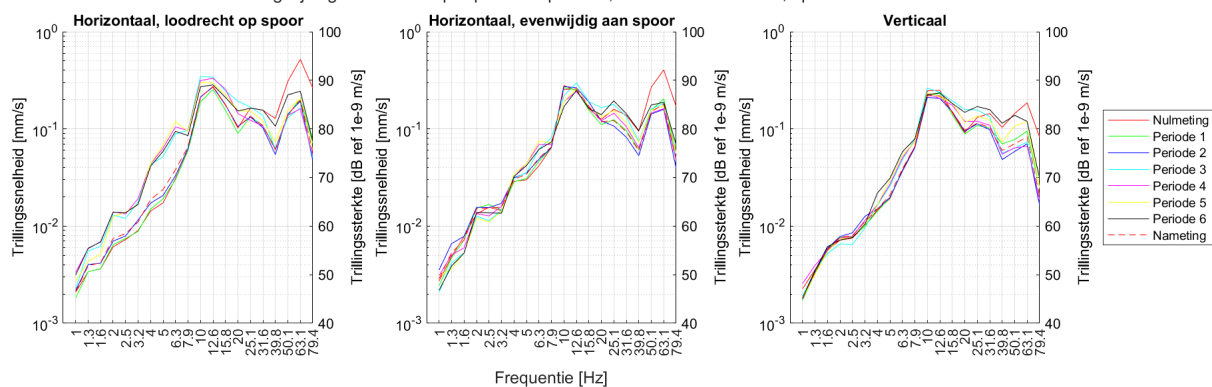
Vergelijking tertsbanden per periode sprinters, 114.1 tot 125.8 km/h, spoor 2.



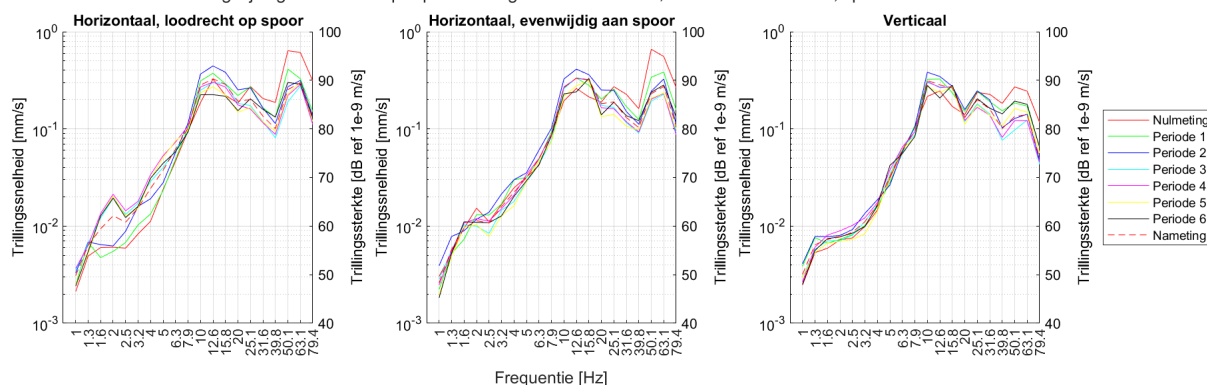
Vergelijking tertsbanden per periode sprinters, 125.8 tot 138.7 km/h, spoor 2.



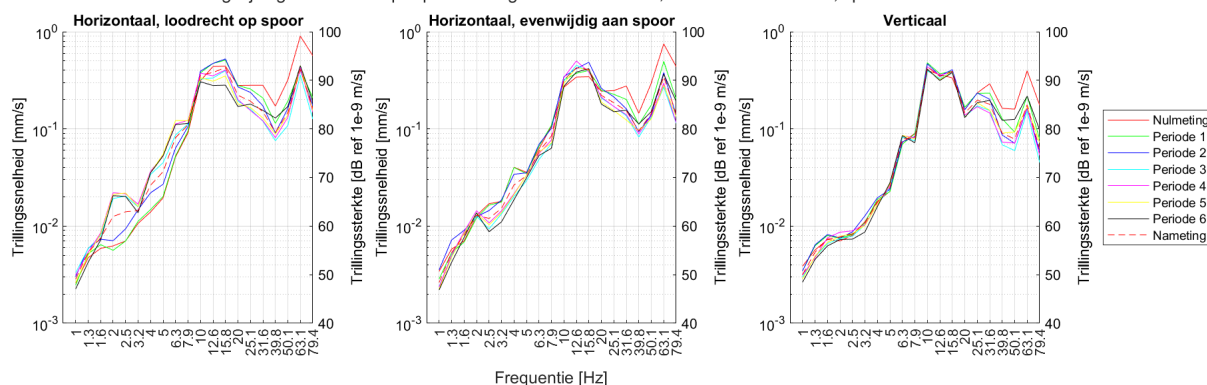
Vergelijking tertsbanden per periode sprinters, 138.7 tot 152.9 km/h, spoor 2.



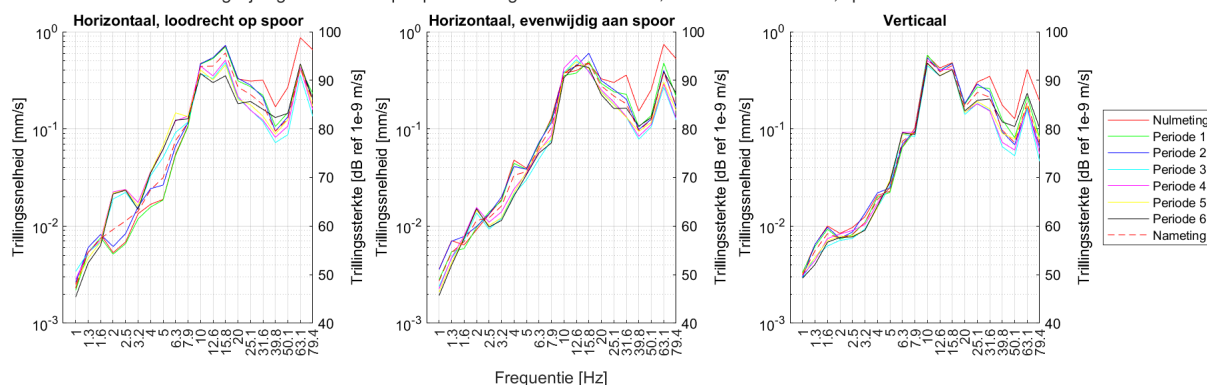
Vergelijking tertsbanden per periode hogesnelheidstreinen, 125.8 tot 138.7 km/h, spoor 3.



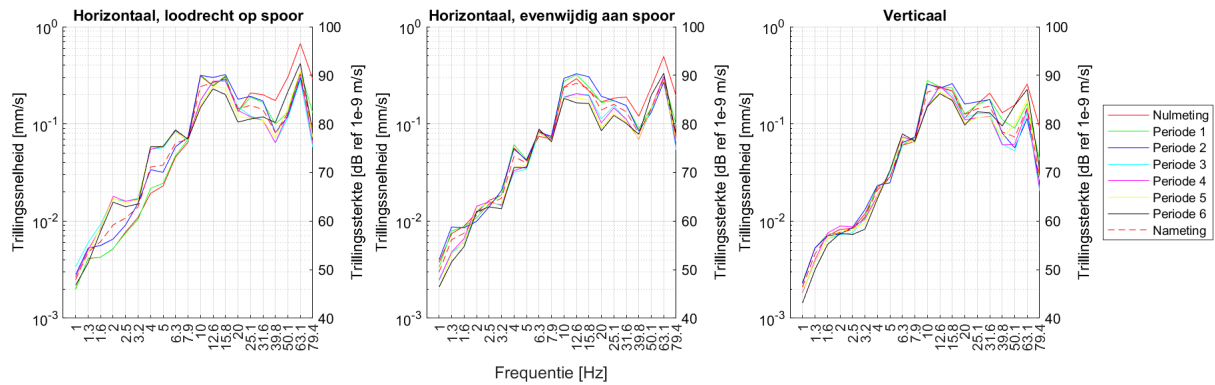
Vergelijking tertsbanden per periode hogesnelheidstreinen, 138.7 tot 152.9 km/h, spoor 3.



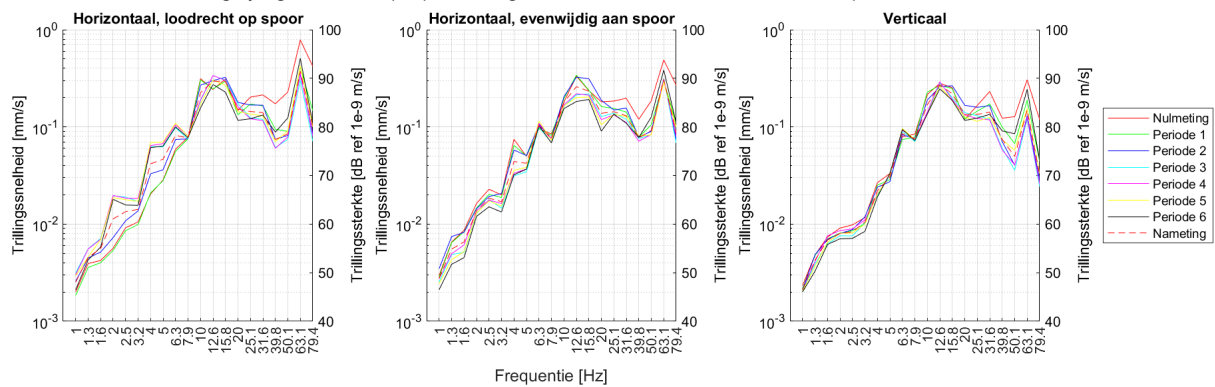
Vergelijking tertsbanden per periode hogesnelheidstreinen, 152.9 tot 168.6 km/h, spoor 3.



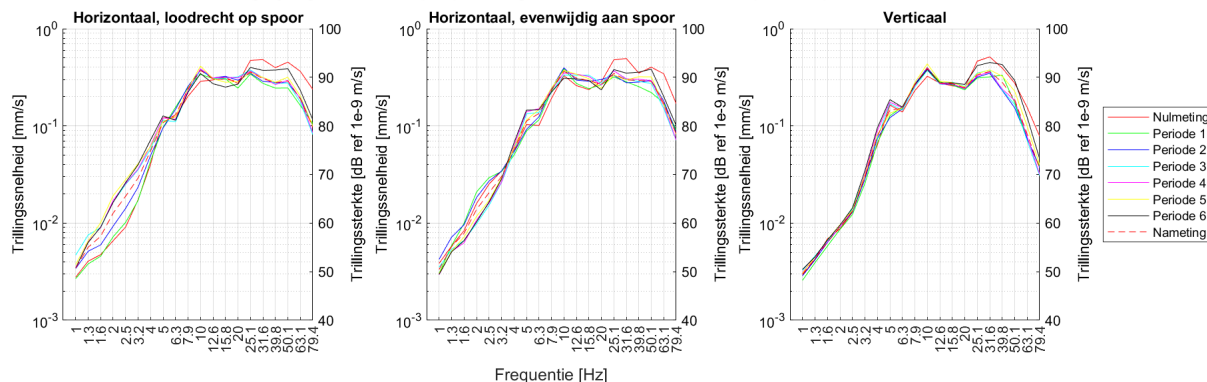
Vergelijking tertsbanden per periode hogesnelheidstreinen, 114.1 tot 125.8 km/h, spoor 4.



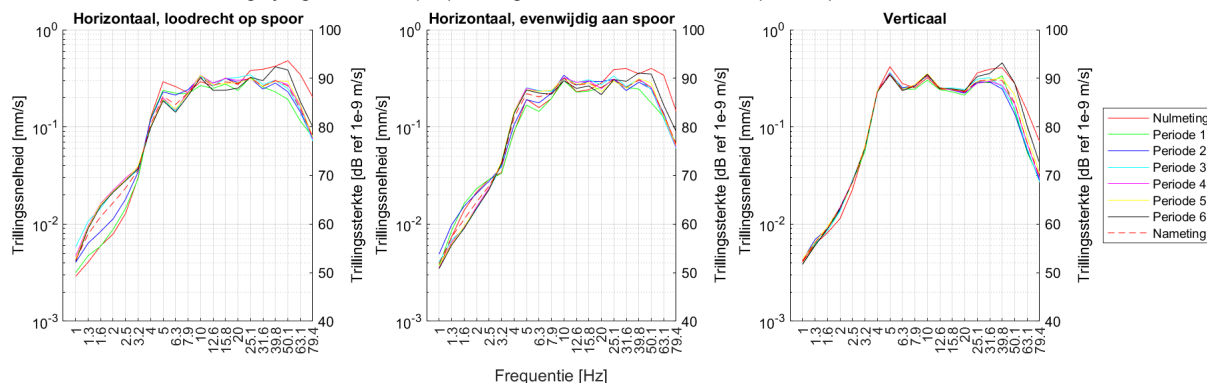
Vergelijking tertsbanden per periode hogesnelheidstreinen, 125.8 tot 138.7 km/h, spoor 4.



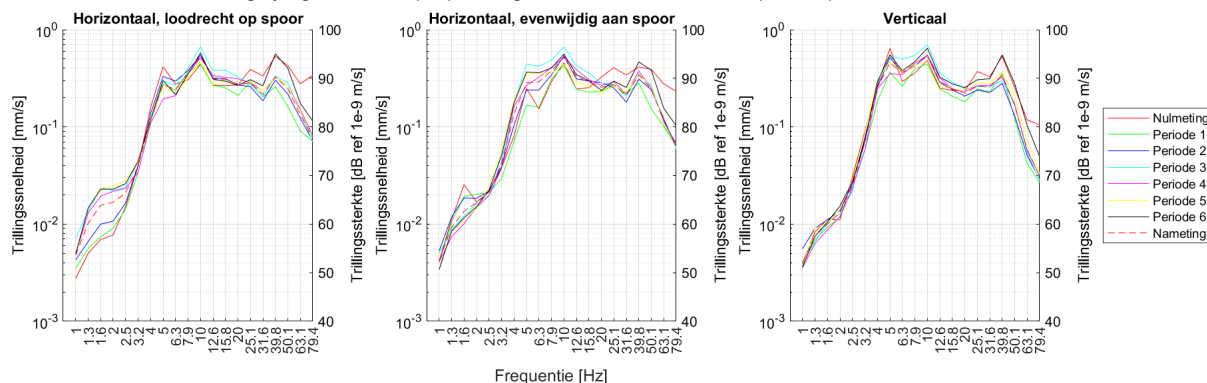
Vergelijking tertsbanden per periode goederentreinen, 0 tot 10 ton per as, spoor 1.



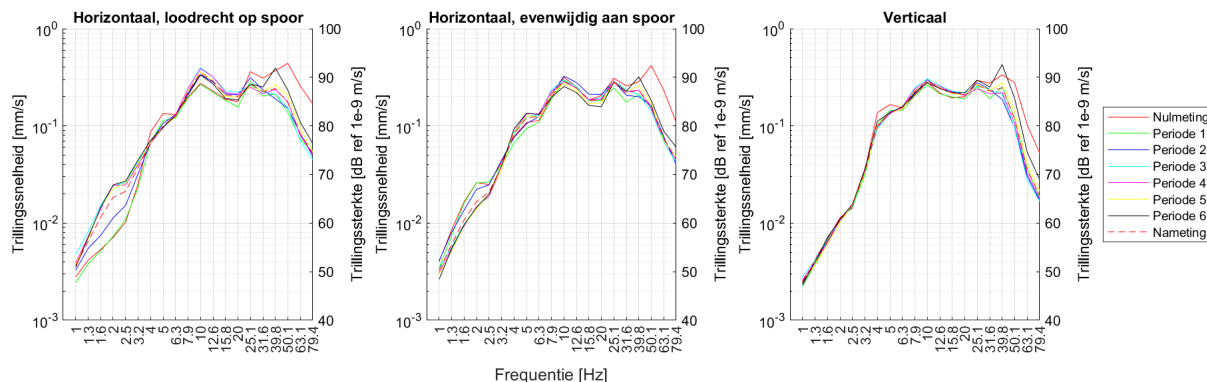
Vergelijking tertsbanden per periode goederentreinen, 10 tot 15 ton per as, spoor 1.



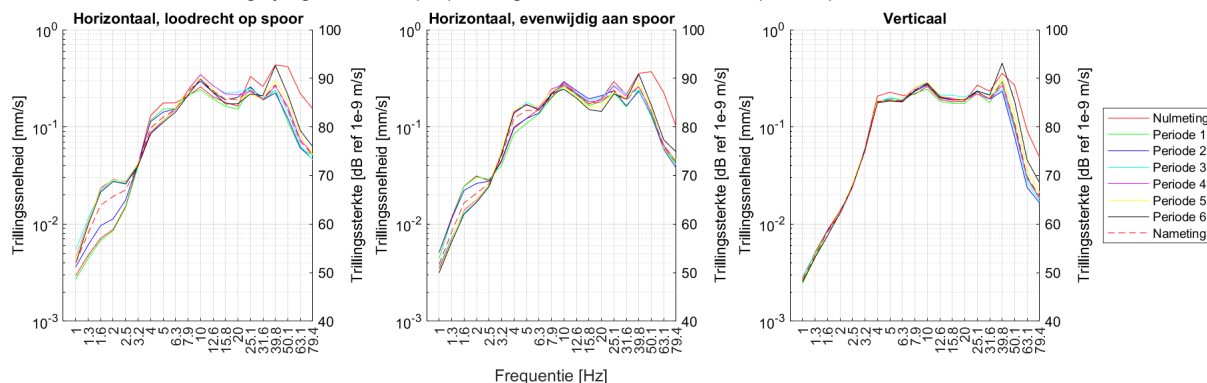
Vergelijking tertsbanden per periode goederentreinen, 15 tot 25 ton per as, spoor 1.



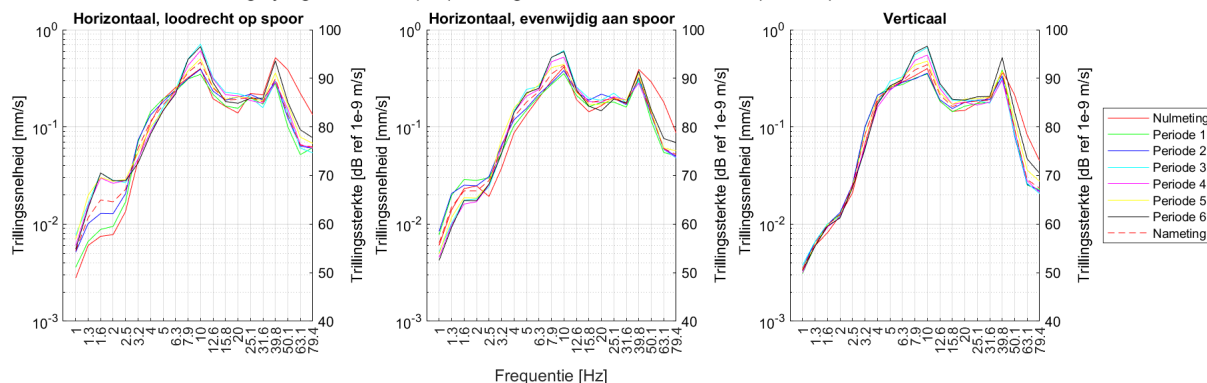
Vergelijking tertsbanden per periode goederentreinen, 0 tot 10 ton per as, spoor 2.



Vergelijking tertsbanden per periode goederentreinen, 10 tot 15 ton per as, spoor 2.



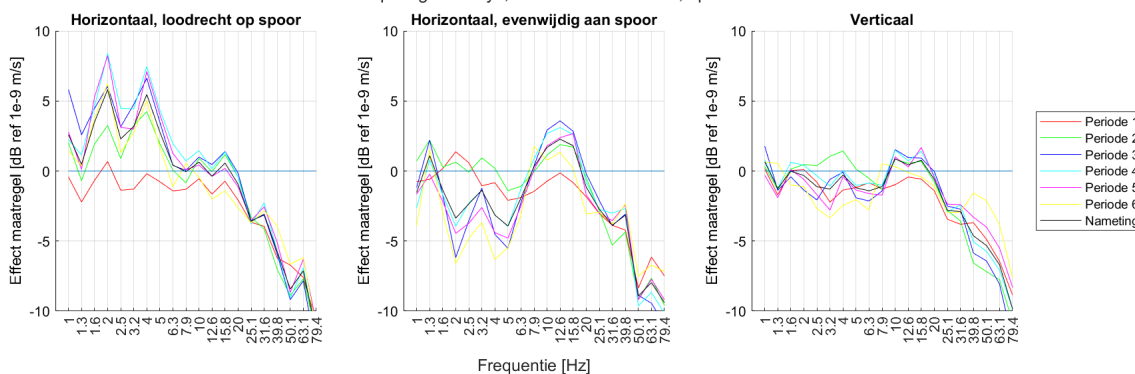
Vergelijking tertsbanden per periode goederentreinen, 15 tot 25 ton per as, spoor 2.



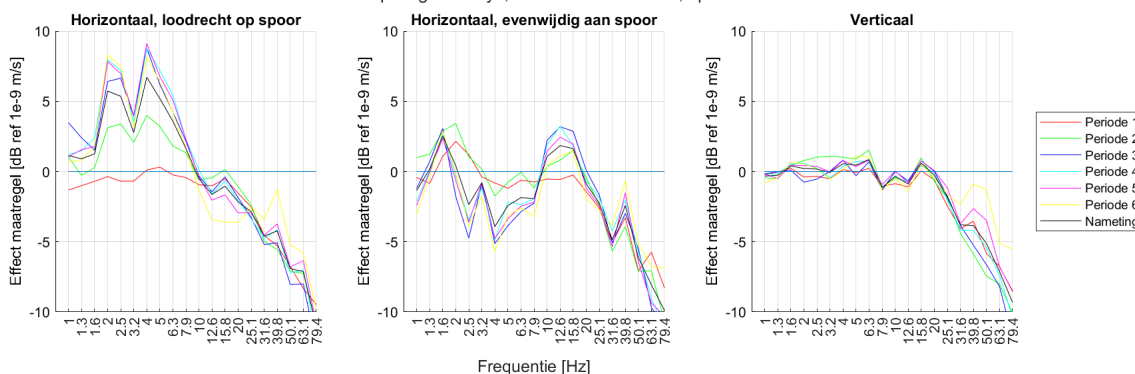
Bijlage 4 Effectbepaling per periode per klasse en spoor

In deze bijlage wordt de effectbepaling weergegeven per treintype, snelheids- of gewichtsklasse en per spoor. Een negatief effect in een bepaalde periode houdt in dat het spectrum in deze periode lager was dan in de nulmeting. Een negatief effect is dus een trillingsreductie, en een positief effect is een trillingstoename.

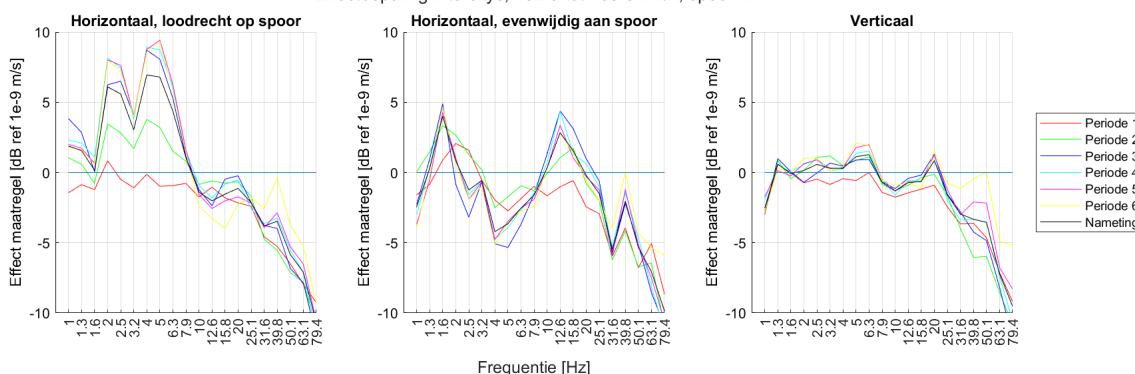
Effectbepaling intercitys, 125.8 tot 138.7 km/h, spoor 1.



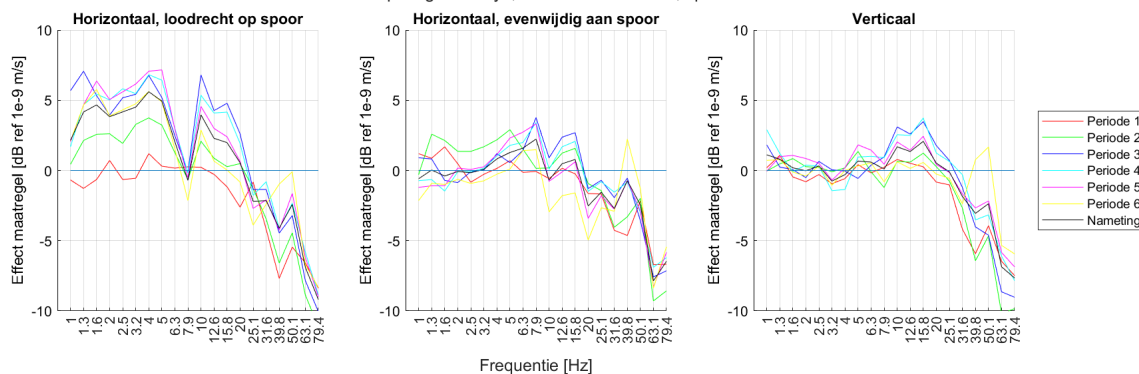
Effectbepaling intercitys, 138.7 tot 152.9 km/h, spoor 1.



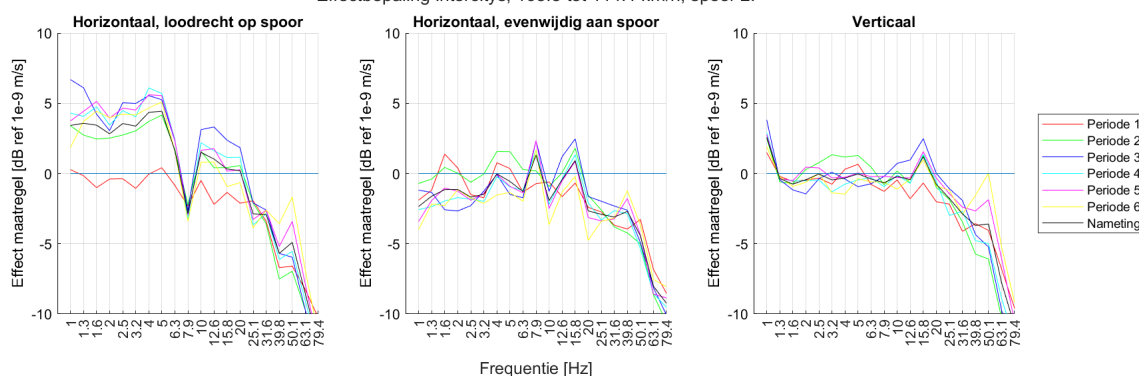
Effectbepaling intercitys, 152.9 tot 168.6 km/h, spoor 1.



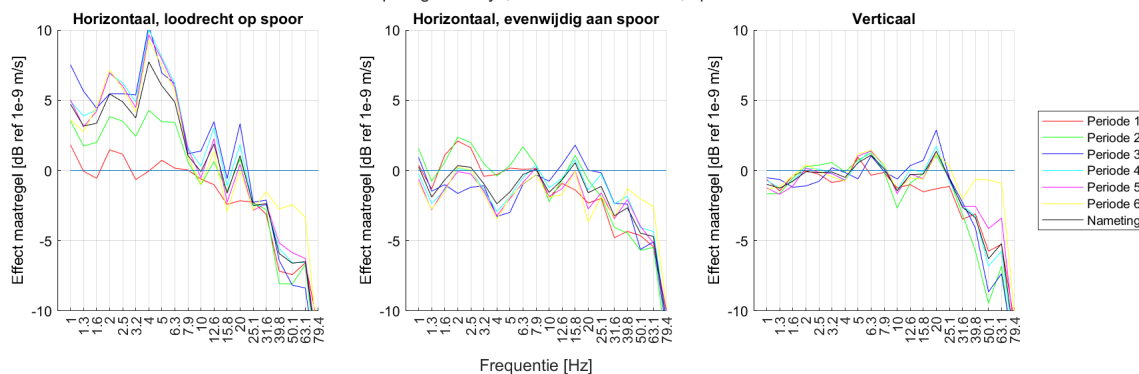
Effectbepaling intercits, 93.9 tot 103.5 km/h, spoor 2.



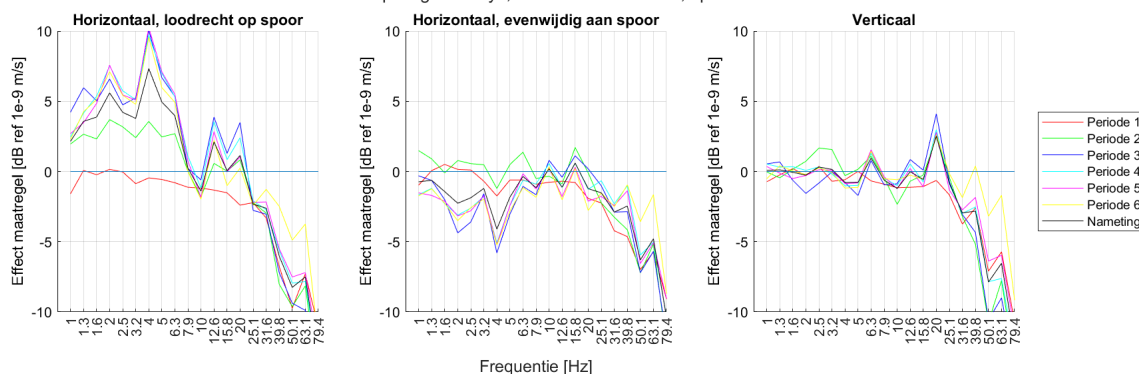
Effectbepaling intercits, 103.5 tot 114.1 km/h, spoor 2.



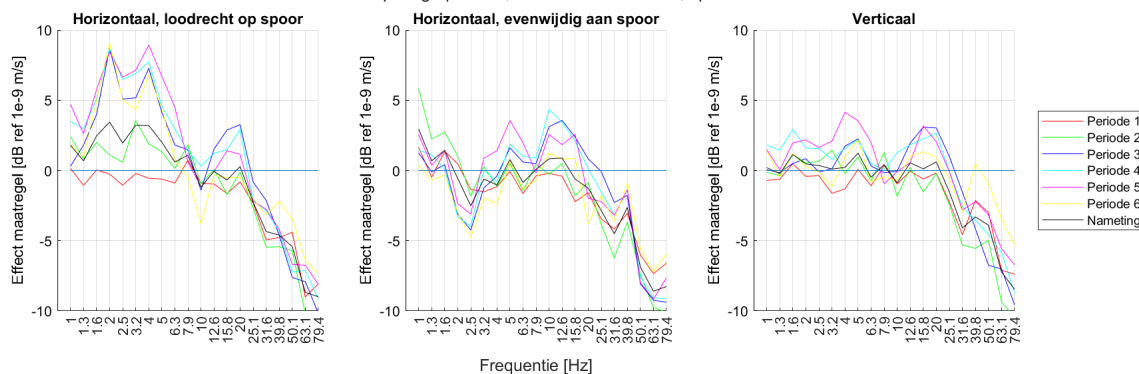
Effectbepaling intercits, 114.1 tot 125.8 km/h, spoor 2.



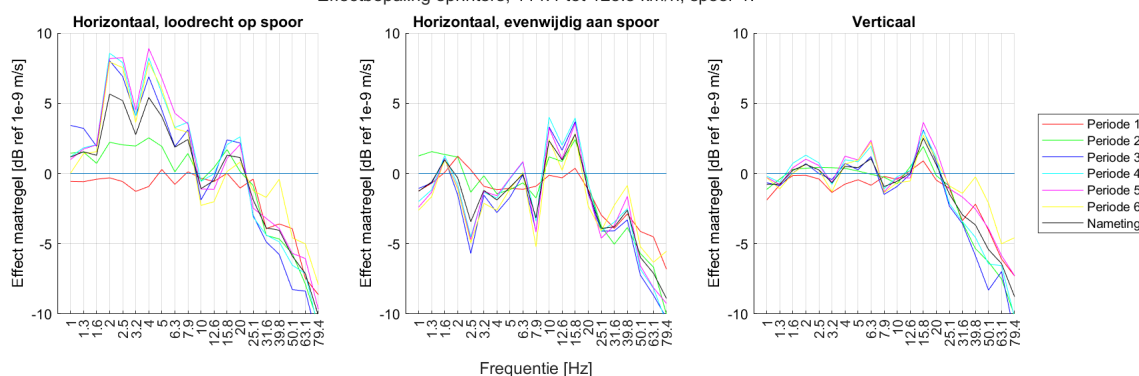
Effectbepaling intercits, 125.8 tot 138.7 km/h, spoor 2.



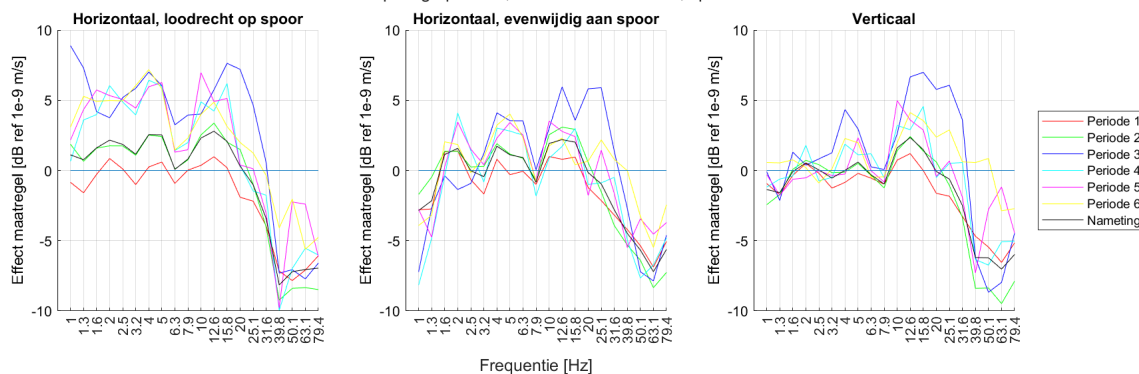
Effectbepaling sprinters, 103.5 tot 114.1 km/h, spoor 1.



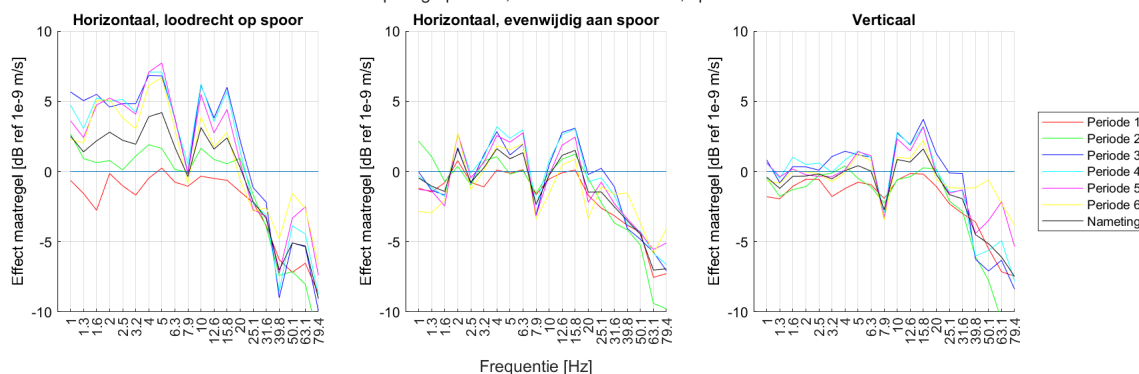
Effectbepaling sprinters, 114.1 tot 125.8 km/h, spoor 1.



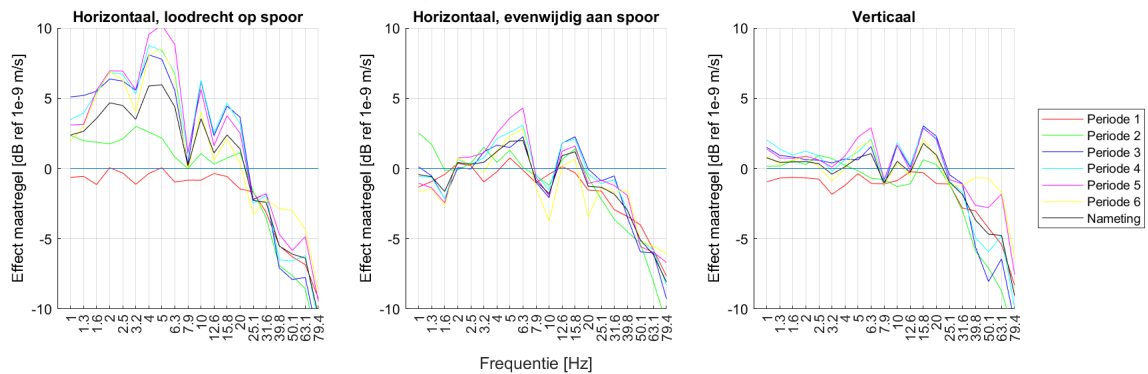
Effectbepaling sprinters, 103.5 tot 114.1 km/h, spoor 2.



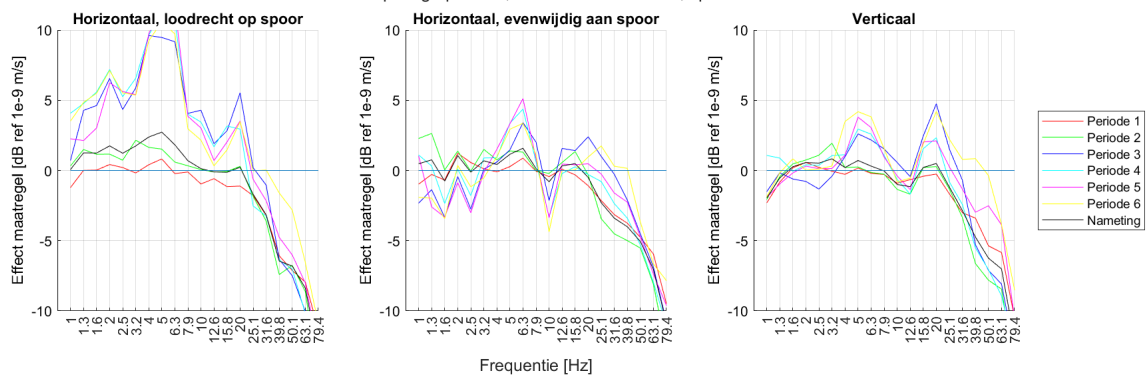
Effectbepaling sprinters, 114.1 tot 125.8 km/h, spoor 2.



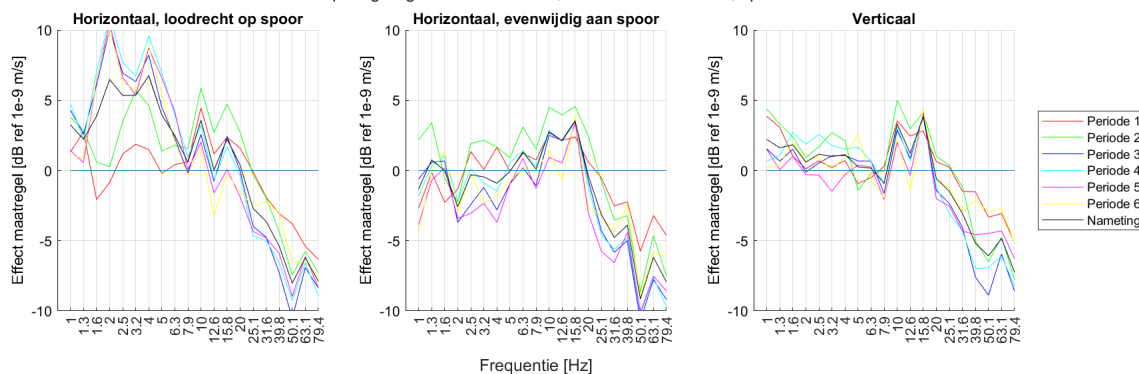
Effectbepaling sprinters, 125.8 tot 138.7 km/h, spoor 2.



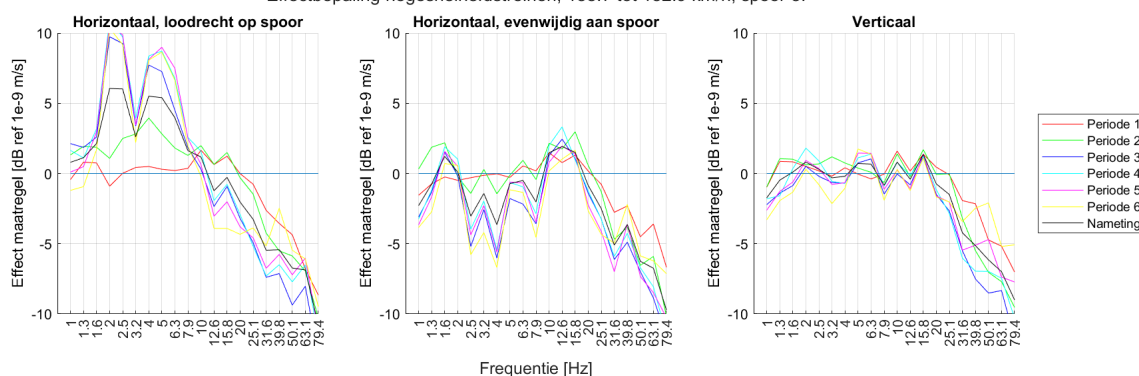
Effectbepaling sprinters, 138.7 tot 152.9 km/h, spoor 2.



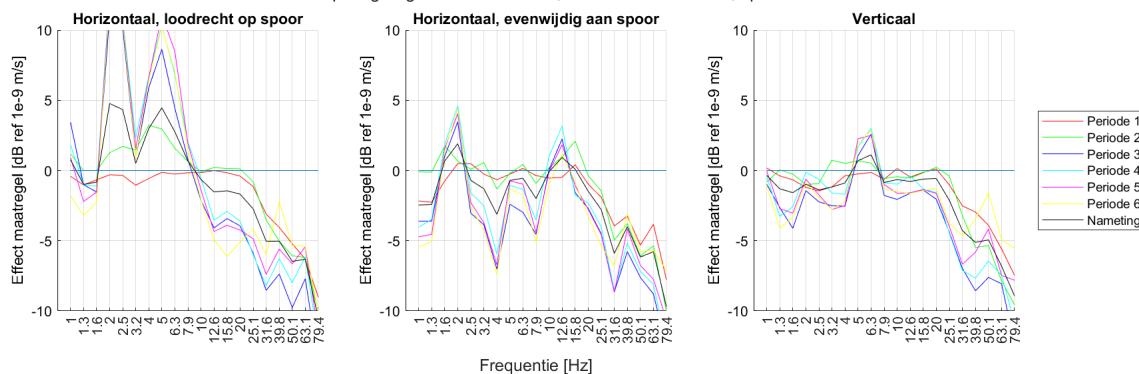
Effectbepaling hogesnelheidstreinen, 125.8 tot 138.7 km/h, spoor 3.



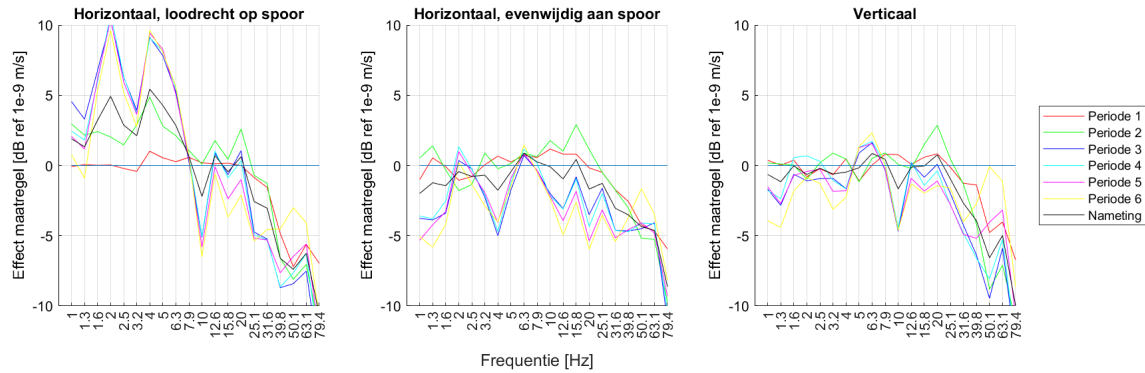
Effectbepaling hogesnelheidstreinen, 138.7 tot 152.9 km/h, spoor 3.



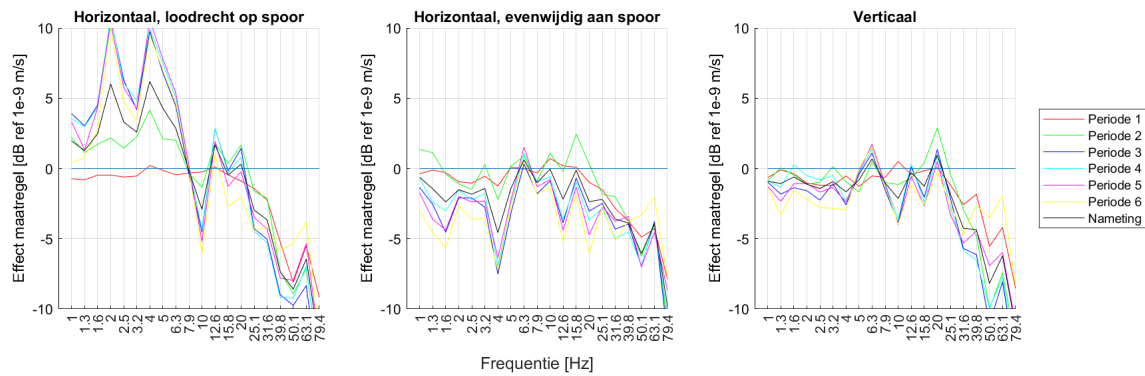
Effectbepaling hogesnelheidstreinen, 152.9 tot 168.6 km/h, spoor 3.



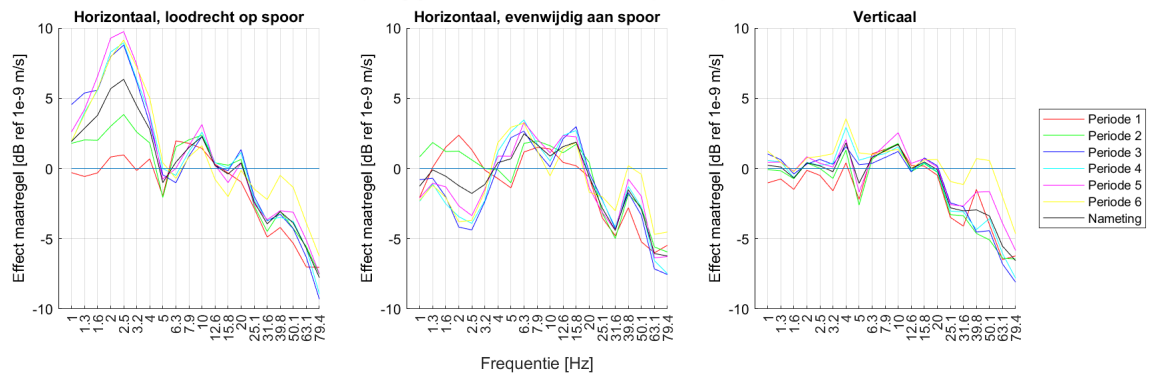
Effectbepaling hogesnelheidstreinen, 114.1 tot 125.8 km/h, spoor 4.



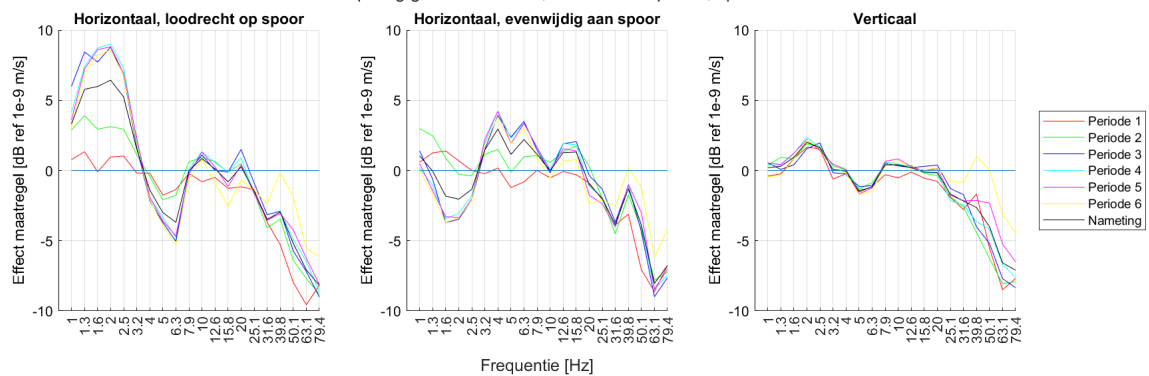
Effectbepaling hogesnelheidstreinen, 125.8 tot 138.7 km/h, spoor 4.



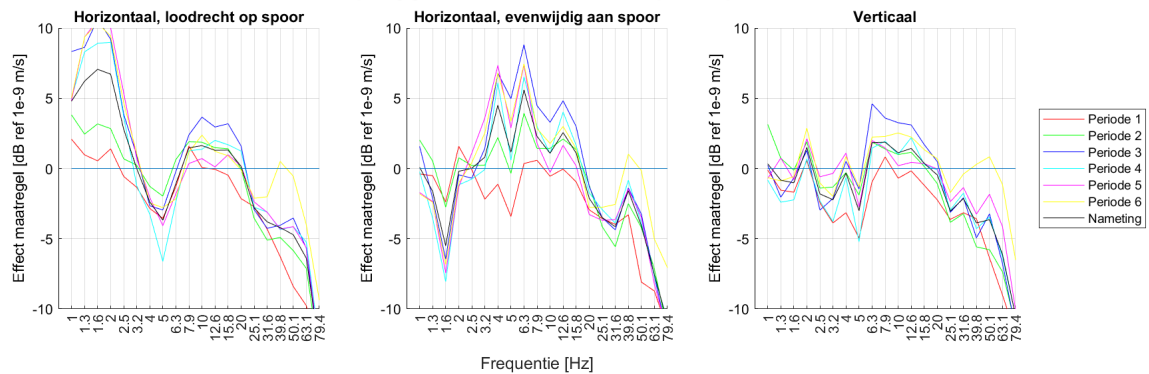
Effectbepaling goederentreinen, 0 tot 10 ton per as, spoor 1.



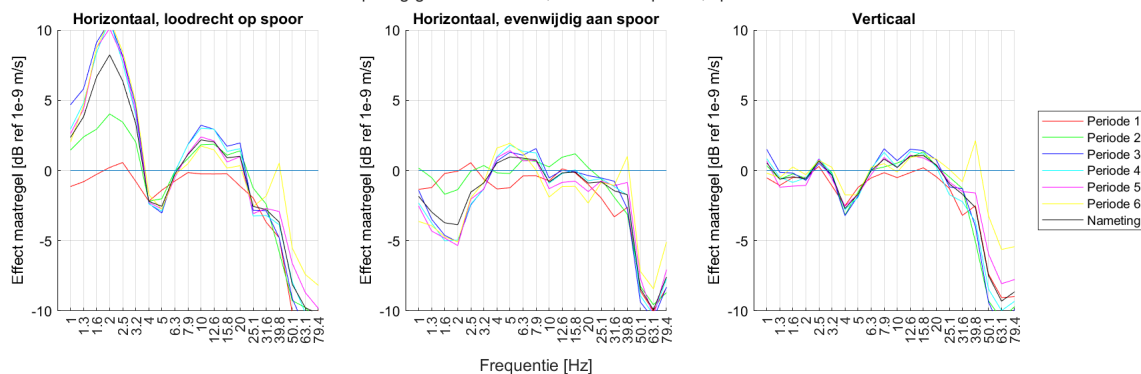
Effectbepaling goederentreinen, 10 tot 15 ton per as, spoor 1.



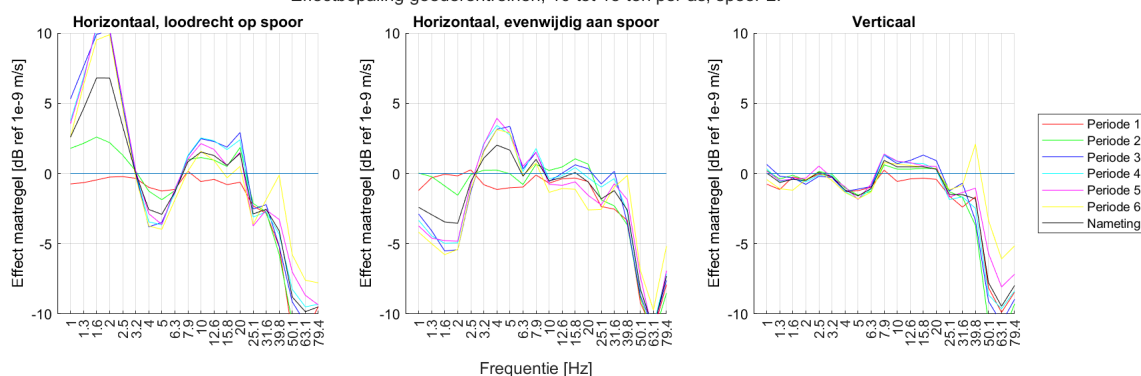
Effectbepaling goederentreinen, 15 tot 25 ton per as, spoor 1.



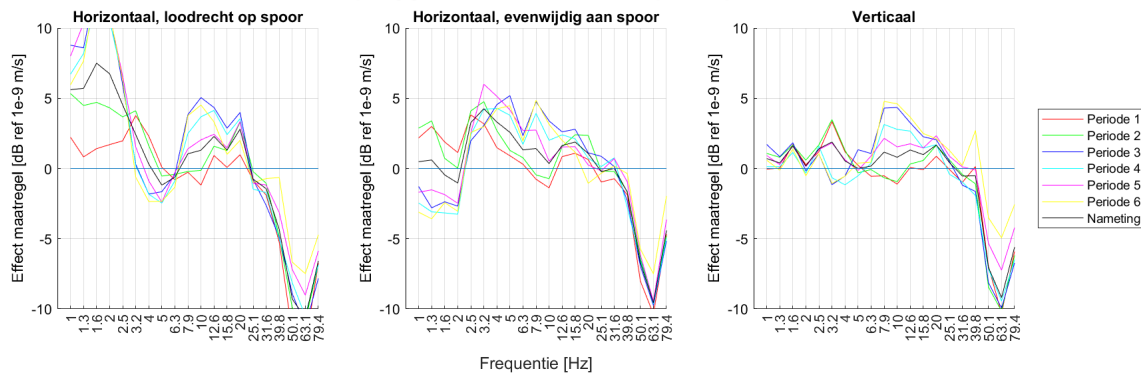
Effectbepaling goederentreinen, 0 tot 10 ton per as, spoor 2.



Effectbepaling goederentreinen, 10 tot 15 ton per as, spoor 2.



Effectbepaling goederentreinen, 15 tot 25 ton per as, spoor 2.



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	M0006565
Kenmerk	D79-ANI-HS-RAP-25003977

© 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