movares

smart
urban
engineering

Rapport

IBS trillingsmaatregelen

Effect wisselsanering Zevenbergen

Versie: 3.0
Status: Vrijgegeven
Datum: 07-04-2025
Kenmerk: D79-WGA-HS-RAP-25000879

Autorisatieblad

IBS trillingsmaatregelen

Effect wisselsanering Zevenbergen

	Naam	Akkoord	Datum
Opgesteld door	Gardien W (Wybo)	√	7-4-2025
Gecontroleerd door	Heuff FMG (Floris)	√	7-4-2025
Vrijgegeven door	Heuff FMG (Floris)	√	7-4-2025

Versiehistorie

Versie	Naam	Datum	Korte toelichting
1.0	Wybo Gardien	6-2-2025	Eindconcept ter review door ProRail
2.0	Wybo Gardien	11-3-2025	Definitief rapport met verwerking review ProRail

Samenvatting

In het kader van het IBS programma onderzoekt ProRail een aantal maatregelen en wijzigingen die van invloed zijn op trillingen door spoorverkeer. Eén van die wijzigingen is de sanering van wissels. ProRail heeft Movares gevraagd om trillingsmetingen uit te voeren in Zevenbergen op een locatie waar een wisseloverloop gesaneerd is om het effect van de wisselsanering op trillingen te bepalen. In de onderzoekslocatie bevinden zich 2 wissels: één in het westelijke spoor (spoor 1) en één in het oostelijke spoor (spoor 2).

Het onderzoek heeft geleid tot de volgende conclusies:

- Per wissel kunnen aanzienlijke verschillen optreden in het effect dat het wissel heeft op trillingen in de omgeving. In Zevenbergen gaf het wissel in spoor 2 aanzienlijk hogere trillingen dan het wissel in spoor 1.
    - *Het wissel in spoor 1:* een afname van trillingen door de sanering treedt vooral op in frequentiegebied van 20-40 Hz, en is ordegrootte 5-7 dB voor VIRM treinen en ordegrootte 5-10 dB voor SNG treinen.
    - *Het wissel in spoor 2:* een afname van trillingen door de sanering treedt vooral in het frequentiegebied van 20-50 Hz, en is maximaal ordegrootte 20 dB. Voor SNG treinen is de afname iets groter dan voor VIRM treinen.
    - De treinsnelheid in de nametingen week af van de treinsnelheid in de 0-meting. Dit betreft vooral de VIRM treinen, waarbij de treinsnelheid in nameting 2 gemiddeld 27 km/uur hoger was dan in de 0-meting. In de effectbepaling is hiervoor een lineaire correctie toegepast (ca. -2 dB voor beide sporen).
- Op grotere afstand (ordegrootte 40 meter en verder), hadden de wissels in Zevenbergen een kleiner effect op de trillingen dan dicht bij het wissel.
- Het aantal goederentreinen dat tijdens de metingen is gepasseerd, was te laag voor een effectbepaling.

Doordat het effect van het wissel in spoor 1 aanzienlijk verschilt van het wissel in spoor 2, is uit dit onderzoek geen algemeen toepasbare conclusie te trekken over het trillingseffect van een wisselsanering. De sanering van een wissel *kan* tot een aanzienlijke afname van trillingen leiden, maar dit hoeft niet altijd zo te zijn. Vermoedelijk hangt dit af van de staat en ligging van het wissel dat gesaneerd wordt. Dit kan bijvoorbeeld worden vastgesteld met een inspectie van het wissel, waarbij de puntstukgeometrie wordt opgemeten. Als een wisselsanering als trillingsmaatregel wordt toegepast, dan bevelen we aan om ter plaatse van het te saneren wissel te onderzoeken in hoeverre het wissel bijdraagt aan de trillingen in de omgeving.

Summary in English

As part of the IBS program, ProRail is investigating several measures and changes that affect vibrations caused by rail traffic. One of these changes is the removal of switches. ProRail has asked Movares to conduct vibration measurements in Zevenbergen at a location where a switch crossover has been removed to determine the effect of the switch removal on vibrations. There are 2 switches at the research location: one on the western track (track 1) and one on the eastern track (track 2).

The study led to the following conclusions:

- Significant differences can occur per switch in the effect that the switch has on vibrations in the area. In Zevenbergen, the switch on track 2 caused significantly stronger vibrations than the switch on track 1.
    - *The switch on track 1:* a reduction in vibrations due to the removal occurs mainly in the frequency range of 20-40 Hz, and is in the order of 5-7 dB for VIRM trains and in the order of 5-10 dB for SNG trains.
    - *The switch on track 2:* a reduction in vibrations due to the removal occurs mainly in the frequency range of 20-50 Hz, and is up to 20 dB. For SNG trains, the reduction is slightly greater than for VIRM trains.
    - The train speed in the follow-up measurements differed from the train speed in the baseline measurement. This mainly concerns the VIRM trains, where the train speed in follow-up measurement 2 was on average 27 km/h higher than in the baseline measurement. A linear correction was applied for this in the effect determination (approx. -2 dB for both tracks).
- At a greater distance (order of 40 meters and further), the switches in Zevenbergen had a smaller effect on vibrations than close to the switch.
- The number of freight trains that passed during the measurements was too low for an effect determination.

Since the effect of the switch on track 1 differs significantly from the switch on track 2, no generally applicable conclusion can be drawn from this study about the vibration effect of a switch removal. The removal of a switch can lead to a significant reduction in vibrations, but this is not always the case. This likely depends on the condition and location of the switch being removed. This can be determined, for example, by inspecting the switch and measuring the frog geometry. If a switch removal is applied as a vibration measure, we recommend investigating on-site to what extent the switch contributes to vibrations in the area.

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 7

3 Werkwijze 8

3.1 Meetopstelling 8

4 Meetresultaten 10

4.1 Nulmeting 10
4.2 Nameting 1 (met snelheidsbeperking) 10
4.3 Nameting 2 (zonder snelheidsbeperking) 11
4.4 Analyse effect wisselsanering 11

4.4.1 Effectbepaling conform uniform meetprotocol 11
4.4.2 Bepaling bodemdemping en geometrische uitbreidingsfactor 12

5 Conclusies en aanbevelingen 14

5.1 Aanbevelingen 14

Colofon 15

Bijlage 1 Eigenschappen meting 16

Bijlage 2 Meetresultaten 0-meting 17

Bijlage 3 Meetresulaten nameting 1 19

Bijlage 4 Meetresultaten nameting 2 21

Bijlage 5 Effectbepaling volgens meetprotocol 23

Bijlage 6 Bepaling bodemdemping nameting 2 28

Bijlage 7 Bepaling geometrische uitbreidingsfactor nulmeting (met wissel) 32

Bijlage 8 Geotechnische gegevens 36

Bijlage 9 Treinpassages 38

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

In het kader van het IBS programma onderzoekt ProRail een aantal maatregelen en wijzigingen die van invloed zijn op trillingen door spoorverkeer. Eén van die wijzigingen is de sanering van wissels. ProRail heeft Movares gevraagd om trillingsmetingen uit te voeren in Zevenbergen op een locatie waar een wisseloverloop gesaneerd is om het effect van de wisselsanering op trillingen te bepalen.

1.2 Doel van het onderzoek

Het onderzoek heeft het doel om te bepalen welk effect het saneren van wissels op trillingen in de omgeving heeft.

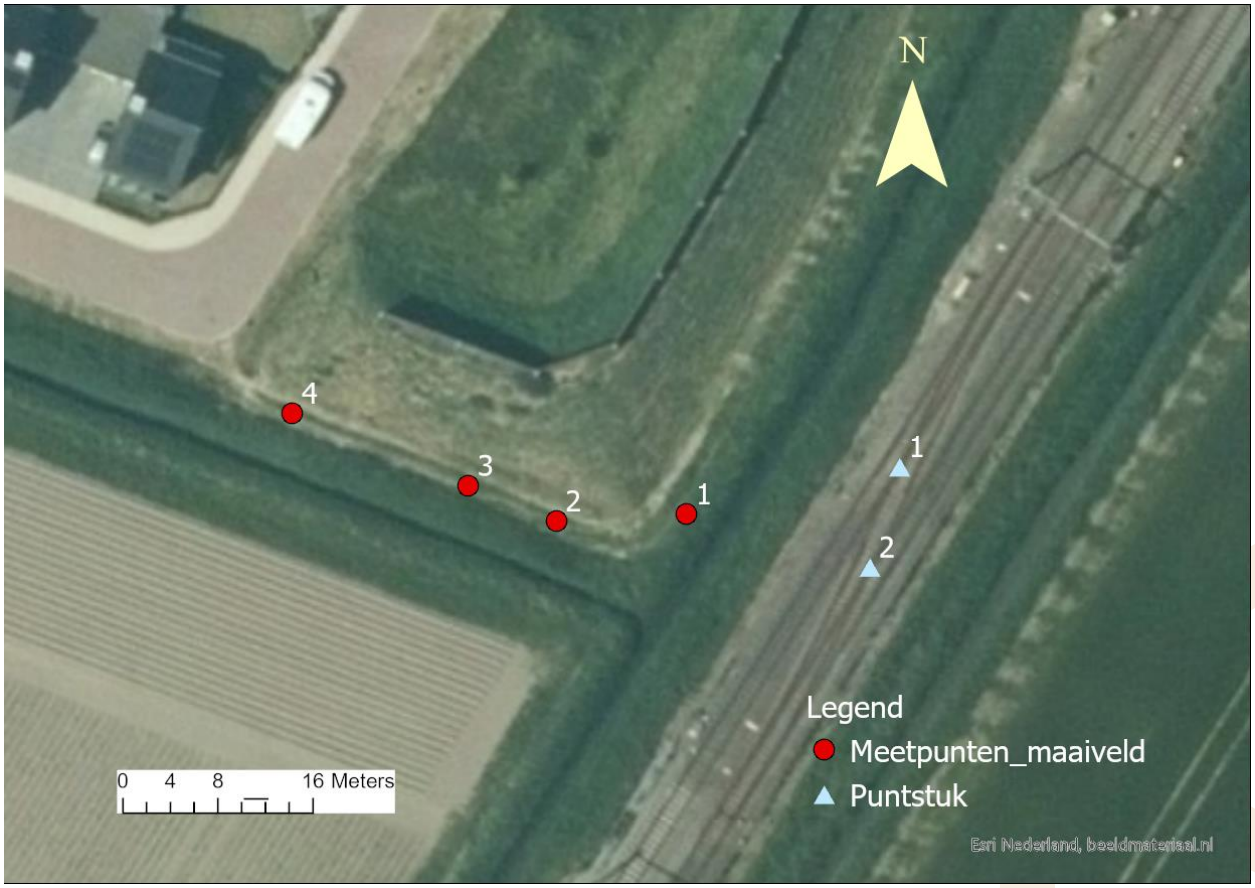
1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 is de situatie beschreven, en staan de uitgangspunten van het onderzoek. Hoofdstuk 3 behandelt de werkwijze, de verwerkingsmethode en de eigenschappen van de apparatuur. Vervolgens zijn in hoofdstuk 4 de resultaten en de effectbepaling opgenomen. Het rapport eindigt met de conclusies in hoofdstuk 5

2 Situatie en uitgangspunten

2.1 Meetlocatie

De meetlocatie is in Zevenbergen bij geocode 120, km 8.64. De meetpunten bevinden zich ten westen van het spoor nabij een geluidswal. De te saneren wisseloverloop bevindt zich in het spoor bij de meetlocatie. Een bovenaanzicht van de meetlocatie is opgenomen in Figuur 1. In de figuur zijn naast de meetpunten ook de puntstukken weergegeven. Meestal zijn de puntstukken de belangrijkste trillingsbronnen van wissels. In de ondergrond zijn in de bovenste 3 meter klei- en veenlagen aanwezig en daaronder is de bodem zandig (Bijlage 8).



Figuur 1 Meetlocatie wisselsanering Zevenbergen

2.2 Uitgangspunten

De trillingsmetingen zijn uitgevoerd en geanalyseerd op basis van het Uniform Meetprotocol van ProRail[1].

[1] ProRail , „Uniform Meetprotocol IBS Trillingen, versie 3.0," 26 april 2024.

3 Werkwijze

De meetopstelling bestaat uit een raai met de volgende meetpunten:

- 1 sensor nabij de wissels voor de geluidswal, op 12 m afstand van het meest nabije hart spoor
- 3 sensoren naast de geluidswal op 20, 28 en 44 m afstand van het meest nabije hart spoor
- 1 camera voor de registratie van de treinpassages en de bepaling van de treinsnelheid

Deze afstanden wijken af van de afstanden uit het Uniform Meetprotocol. Op 8 meter afstand van het meest nabije spoor bevindt zich een sloot. De meetpunten zijn daarom 4 meter verder van het spoor geplaatst. De locatie van de meetpunten is afgestemd met ProRail.

Per passage bepalen we de volgende grootheden:

- Effectieve trilsnelheid ($v_{eff,max}$) per meetkanaal;
- Piekwaarde trilsnelheid (v_{top});
- Dominante frequentie (uit smalbandig spectrum);
- $V_{rms,5s}$ over de 5 seconden rondom de veff,max waarde;
- 1/3 oktaafbandspectrum over de 5 seconden rondom de veff, max waarde;

3.1 Meetopstelling

De sensoren van de meetraaien worden in de bodem geplaatst, waarbij we per sensor de toplaag (>20 cm) verwijderen. De volgende apparatuur gebruikt:

- Deanton meetcomputer
- 4 3D geofoons
- Webcam

Tabel 1 Coördinaten meetpunten

Sensor	Omschrijving	RD X-coördinaat	RD Y-coördinaat	Kanaal
1	Sensor 12 m	100596.94	405180.25	1 (Y), 2(X), 3(Z)
2	Sensor 20 m	100585.97	405179.68	4 (Y), 5(X), 6(Z)
3	Sensor 28 m	100578.57	405182.67	7 (Y), 8(X), 9(Z)
4	Sensor 44 m	100563.77	405188.73	10 (Y), 11(X), 12(Z)

In de figuren in dit rapport zijn de sensoren ook aangeduid met hun sensor ID nummer. De volgende sensornummers zijn gebruikt:

Tabel 2 Gebruikte sensoren

Sensor	Nulmeting sensor ID	Nameting 1 sensor ID	Nameting 1 sensor ID
1	9_1	7_1	3_1
2	10_1	9_1	11_1
3	11_1	10_1	29_1
4	24_1	24_1	24_1

De puntstukken bevonden zich op de volgende locaties (bepaald op basis van luchtfoto):

Tabel 3 Locaties puntstukken

Puntstuk	RD X-coördinaat	RD Y-coördinaat
1	100614.89	405184.29

2	100612.39	405175.86

4 Meetresultaten

Op de meetlocatie zijn 3 metingen verricht:

Er zijn 3 metingen verricht:

	Kenmerk	Datum	Opmerking
Nulmeting	Meting met aanwezigheid van wissels	26-9-2023	Intercity's reden maximaal 80 km/uur bij station Zevenbergen
Nameting 1	Meting vlak na wisselsanering	7-12-2023	Treinsnelheidsbeperking 40 km/uur bij station Zevenbergen
Nameting 2	Meting 1 jaar na wisselsanering	24-10-2024	

Uit NS gegevens (treinspotter.nl) blijkt dat de intercity's tijdens de nulmeting met maximaal ca. 80 km/uur door station Zevenbergen reden. Tijdens nameting 1 was er voor alle treinen een snelheidsbeperking van 40 km/uur bij station Zevenbergen. In nameting 2 waren de snelheidsbeperkingen opgeheven, en remden de intercity's niet meer af voor station Zevenbergen. De VIRM intercity's hadden hierdoor bij de 3 metingen verschillende snelheden.

Tabel 4 Gemiddelde snelheid treinpassages (km/uur)

	Goederen		SNG		VIRM	
	Spoor 1	Spoor 2	Spoor 1	Spoor 2	Spoor 1	Spoor 2
Nulmeting	60	83	105	101	101	99
Nameting 1	58	40	95	84	76	77
Nameting 2	81	77	114	100	127	127

De meetresultaten zijn opgenomen in Bijlage 2 t/m 4. In de figuren met meetresultaten worden de sensoren steeds van boven naar beneden getoond in de volgorde van sensor 1 t/m sensor 4.

4.1 Nulmeting

De meetresultaten van de nulmeting zijn opgenomen in Bijlage 2.In deze meetresultaten is het volgende te zien:

- Gemiddeld geven goederentreinen de hoogste trillingsstrekte, en sprinters (SNG) de laagste trillingsstrekte. Intercity's (VIRM) zitten daar tussenin.
- Voor de sprinters en intercity's blijken er per meetpunt 2 groepen van datapunten te zijn met een verschil in trillingssterkte. Dit blijkt overeen te komen met het onderscheid tussen de 2 sporen. Het meest veraf gelegen spoor geeft gemiddeld hogere trillingen dan het dichterbij gelegen spoor.
- De dominante frequentie van de meeste passages ligt rond 10 Hz. Bij enkele passages is ook een sterkte laagfrequente bijdrage aanwezig rond 4 Hz. Dit betreffen passages van goederentreinen.
- Nabij het wissel is er ook een hoogfrequente bijdrage aanwezig tussen 16 en 50 Hz. Deze hoogfrequente bijdrage is niet meer te zijn op grotere afstand.

4.2 Nameting 1 (met snelheidsbeperking)

De meetresultaten van nameting 1 zijn opgenomen in Bijlage 3.In deze meetresultaten is het volgende te zien:

- De verschillende treintypen geven vergelijkbare trillingssterktes. Ten opzichte van de nulmeting is er een minder duidelijk onderscheid in de trillingssterkten van verschillende treintypen.
- Voor de sprinters en intercity's blijken er per meetpunt 2 groepen van datapunten te zijn met een verschil in trillingssterkte. Dit blijkt overeen te komen met het onderscheid tussen de 2 sporen.
- De trillingssterkten zijn gemiddeld lager dan in de nulmeting.
- De dominante frequentie van de meeste passages ligt meestal rond 8 Hz.

4.3 Nameting 2 (zonder snelheidsbeperking)

De meetresultaten van nameting 2 zijn opgenomen in Bijlage 4.In deze meetresultaten is het volgende te zien:

- Gemiddeld geven goederentreinen de hoogste trillingsstrekte, en sprinters (SNG) de laagste trillingsstrekte. Intercity's (VIRM) zitten daar tussenin.
- Voor de sprinters en intercity's blijken er per meetpunt 2 groepen van datapunten te zijn met een verschil in trillingssterkte. Dit blijkt overeen te komen met het onderscheid tussen de 2 sporen. Het meest veraf gelegen spoor geeft gemiddeld hogere trillingen dan het verder weg gelegen spoor.
- De trillingssterkten zijn gemiddeld hoger dan bij nameting 1.
- Dicht bij het spoor zijn de trillingen lager dan bij de nulmeting. Op de grootste afstand zijn de trillingen hoger dan bij de nulmeting.
- De dominante frequentie van de meeste passages ligt rond 10 Hz. Bij enkele passages is ook een sterkte laagfrequente bijdrage aanwezig rond 4-5 Hz. Dit betreffen passages van goederentreinen.

4.4 Analyse effect wisselsanering

Uit de meetresultaten blijkt dat bij de nulmeting en nametingen slechts enkele goederentreinen zijn gepasseerd, met onderling aanzienlijke verschillen in trillingssterkten van de passages. Intercity's (VIRM) en sprinters (SNG) zijn bij alle 3 de metingen wel regelmatig gepasseerd. In de meetresultaten is een onderscheid te zien tussen de 2 sporen. We beschouwen het effect van de wisselsanering daarom per spoor. Verder zijn de treinsnelheden tijdens nameting 2 meer vergelijkbaar met de nulmeting dan tijdens nameting 1. Bij nameting 1 waren de treinen ter plaatse van de meetlocatie sterk aan het afremmen vanwege de snelheidsbeperking bij station Zevenbergen. De effectbepaling doen we daarom voor nameting 2.

4.4.1 Effectbepaling conform uniform meetprotocol

In Bijlage 5 is een effectbepaling uitgevoerd volgens procedure 2 uit het meetprotocol (het effect van de wijziging wordt alleen in testsectie bepaald). Hierbij zij de tertsbandspectra eerst per treintype en spoor gemiddeld op basis van een lognormale verdeling. Waarden >0 dB betekenen een toename van trillingen na de wisselsanering, en waarden <0 dB een afname.

De onzekerheid in het effect van de wijziging wordt bepaald aan de hand van paragrafen 4.3.3.b en 2.3.10.c uit het Uniform Meetprotocol. Hierbij worden aan verschillende parameters variatiecoëfficiënten toegekend, waarna een totale variatiecoëfficiënt wordt bepaald. Aangezien we een herhaalmeting hebben uitgevoerd voor het vaststellen van het effect van de wijziging, hanteren we procedure 2 van paragraaf 2.3.10.c. Hierbij bepalen we variatiecoëfficiënten voor de parameters **trillingsbron**, **meetsysteem**, **herplaatsing** en **tijd**.

Onzekerheid	CV
Trillingsbron	0.18
Meetsysteem	0.10
Herplaatsing	0.30
Tijd	0.85

Goederentreinen

Het aantal goederentreinen bij de metingen was te laag voor een effectbepaling. Voor de goederentreinen is daarom geen effectbepaling opgenomen in Bijlage 5.

Correctie voor snelheidsverschil tussen 0-meting en nameting
Vanwege de verschillende rijsnelheden tijdens de 0-meting en de nametingen, is er in de effectbepaling een lineaire correctie toegepast voor de treinsnelheid. Voor de VIRM treinen komt dit neer op een correctie voor de effectbepaling van ca. -2 dB in de figuren in Bijlage 4. Voor de SNG treinen is de correctie -0.7 dB voor de treinen op spoor 1, en +0.1 dB voor de treinen op spoor 2.

In de effectbepaling vallen de volgende punten op:

- *VIRM treinen*
  - Bij de VIRM treinen op spoor 1 zijn er zowel toenamen als afnamen van trillingen. Een toename treedt bij alle meetpunten vooral op rond frequenties van 4 en 16 Hz. Een afname van trillingen (ordegrootte 5-7 dB bij alle meetpunten) is te zien rondom een frequentie van 25 Hz.
  - Bij de VIRM treinen op spoor 2 is tussen 20 en 50 Hz een sterke afname van trillingen te zien. Dicht bij het wissel is de afname voor bepaalde frequenties meer dan 20 dB.
  - Er is een groot verschil tussen het effect van spoor 1 en spoor 2. Voor spoor 2 heeft de wisselsanering een grotere invloed dan voor spoor 1.
  - De treinsnelheid was in nameting 2 gemiddeld 27 km/uur hoger dan in de 0-meting. In de effectbepaling is hiervoor een lineaire correctie toegepast (ca. -2 dB voor beide sporen).
- *SNG treinen*
  - Bij de SNG treinen op spoor 1 zijn er zowel toenamen als afnamen van trillingen. Net als bij VIRM treinen treedt een toename vooral op rond frequenties van 4 en 16Hz, echter in mindere mate dan bij VIRM treinen. Een afname van trillingen (ordegrootte 5-10 dB) is te zien rondom een frequentie van 25 Hz.
  - Bij de SNG treinen op spoor 2 is tussen 20 en 50 Hz een sterke afname van trillingen te zien. Dicht bij het wissel is de afname voor bepaalde frequenties meer dan 20 dB. De afname van trillingen is nog sterker dan bij VIRM treinen.
  - Er is een groot verschil tussen het effect van spoor 1 en spoor 2. Voor spoor 2 heeft de wisselsanering een grotere invloed dan voor spoor 1.
  - De treinsnelheid week in de nameting enigszins af van de treinsnelheid in de 0-meting. In de effectbepaling is hiervoor een beperkte lineaire correctie toegepast (ca. -0.7 dB voor spoor 1 en +0.1 dB voor spoor 2).

4.4.2 Bepaling bodemdemping en geometrische uitbreidingsfactor

Uit de effectbepaling blijkt dat de wisselsanering zowel gepaard ging met een toename van trillingen tussen 4 en 16 Hz op spoor 1 als met een afname van trillingen op spoor 2 tussen 20 en 50 Hz. Een toename van trillingen door een wisselsanering ligt niet in de lijn der verwachtingen. Om de effecten van de wisselsanering beter te duiden, hebben we de bodemdempingsconstante en geometrische uitbreidingsfactor onderzocht. Aan de hand van de geometrische uitbreidingsfactor is te zien voor welk frequentiegebied een puntbron (zoals een puntstuk) relevant is voor de trillingen in de omgeving.

We gebruiken hiervoor de Barkanvergelijking in de volgende vorm:

$$v(r,f) = v_0(r_0,f) \cdot \left(\frac{r_0}{r}\right)^{n(f)} \cdot e^{-\alpha(f)(r-r_0)}$$

$v(r,f)$ *De trillingssnelheid van een treinpassage op afstand r en bij frequentie f*
r_0 *De referentieafstand*
$n(f)$ *De geometrische uitbreidingsfactor (frequentie-afhankelijk)*
$\alpha(f)$ *De dempingsconstante (frequentie-afhankelijk)*

De geometrische uitbreidingsfactor hangt samen met het type bron. Voor een oppervlaktegolf heeft *n* een waarde van 0 voor een lijnbron en een waarde van 1 voor een puntbron (zoals een puntstuk). Voor puntbron in combinatie met een ruimtegolf, zoals een compressiegolf of schuifgolf, kan *n* nog een hogere waarde krijgen. De

waarde *n* is hoger naarmate er meer sprake is van een puntbron, zoals een puntstuk van een wissel. Het uitgangspunt is dat de aanwezigheid van een wissel niet van invloed is op de dempingsconstante (α). De samenstelling van de bodem wijzigt immers niet door een vervanging van de bovenbouw.

Om inzicht te krijgen of de trillingen voor de wisselsanering afkomstig waren van een puntbron (zoals de puntstukken), is de volgende werkwijze gevolgd:

- Op basis van nameting 2 zijn met een fitprocedure de Barkanparameters *n* en α bepaald voor zowel spoor 1 als spoor 2 en zowel voor intercity's (VIRM) als voor sprinters (SNG).
- Met de waarde $\alpha(f)$ die is vastgesteld voor nameting 2 (zonder wissel), bepalen we de geometrische uitbreidingsfactor *n* bij de nulmeting.
- Uit een vergelijking van de waarde *n* tussen nameting 2 en de nulmeting volgt in welke mate en bij welke frequenties een puntbron zorgt voor de trillingen bij de aanwezigheid van een wissel.

De bepaling van de parameters uit de Barkanvergelijking voor de situatie zonder wissels (nameting 2) is opgenomen in Bijlage 6. Naast de bodemdemping is ook het gemiddelde spectrum op 20 en 40 meter afstand bepaald.

De bepaling van de parameters uit de Barkanvergelijking voor de situatie met wissels (nulmeting) is opgenomen in Bijlage 7.

In de figuren uit Bijlage 6 en 7 is het volgende te zien:

- Voor de situatie zonder wissels (bijlage 6) geven de dempingsconstante (α) en geometrische uitbreidingsfactor (*n*) een min of meer vergelijkbaar beeld voor de verschillende sporen en treintypen.
- In de situatie zonder wissels geeft spoor 1 meer trillingen dan spoor 2. Dit blijkt uit de trillingsspectra op 20 en 40 meter afstand.
- In de situatie met wissels (bijlage 7) is de geometrische uitbreidingsfactor (*n*) aanmerkelijk hoger dan in de situatie zonder wissels (bijlage 6). Dit is vooral te zien in het frequentiegebied van 10-60 Hz, maar ook voor laagfrequente trillingen (<3Hz). Dit wijst er op dat de gemeten trillingen in dat frequentiegebied gedomineerd worden door een puntbron (zoals een puntstuk).
- In de situatie met wissels geeft spoor 2 meer trillingen dan spoor 1. Dit blijkt uit de trillingsspectra op 20 en 40 meter afstand. Vooral in het frequentiegebied van 20-40 Hz geeft spoor 2 aanmerkelijk hogere trillingen dan spoor 1.

5 Conclusies en aanbevelingen

Uit de meting in Zevenbergen bij de wisselsanering concluderen we:

- Per wissel kunnen aanzienlijke verschillen optreden in het effect dat het wissel heeft op trillingen in de omgeving. In Zevenbergen gaf het wissel in spoor 2 aanzienlijk hogere trillingen dan het wissel in spoor 1.
    - *Het wissel in spoor 1:* een afname van trillingen door de sanering treedt vooral op in frequentiegebied van 20-40 Hz, en is ordegrootte 5-7 dB voor VIRM treinen en ordegrootte 5-10 dB voor SNG treinen.
    - *Het wissel in spoor 2:* een afname van trillingen door de sanering treedt vooral in het frequentiegebied van 20-50 Hz, en is maximaal ordegrootte 20 dB. Voor SNG treinen is de afname iets groter dan voor VIRM treinen.
    - De treinsnelheid in de nametingen week af van de treinsnelheid in de 0-meting. Dit betreft vooral de VIRM treinen, waarbij de treinsnelheid in nameting 2 gemiddeld 27 km/uur hoger was dan in de 0-meting. In de effectbepaling is hiervoor een lineaire correctie toegepast (ca. -2 dB voor beide sporen).
- Op grotere afstand (ordegrootte 40 meter en verder), hadden de wissels in Zevenbergen een kleiner effect op de trillingen dan dicht bij het wissel.
- Het aantal goederentreinen dat tijdens de metingen is gepasseerd, was te laag voor een effectbepaling.

Algemene conclusie:
Vanwege het grote verschil in het effect van de wisselsanering tussen de 2 wissels, is een algemene conclusie over het effect van een wisselsanering niet mogelijk op basis van dit onderzoek. De sanering van een wissel *kan* tot een aanzienlijke afname van trillingen leiden, maar dit hoeft niet altijd zo te zijn. Vermoedelijk hangt dit af van de staat en ligging van het wissel dat gesaneerd wordt. Dit kan bijvoorbeeld worden vastgesteld met een inspectie van het wissel, waarbij de puntstukgeometrie wordt opgemeten.

5.1 Aanbevelingen

Uit de metingen blijkt dat het effect van wissel per wissel aanzienlijk kan verschillen. Een wisselsanering kan dicht bij het wissel een aanzienlijk effect hebben, maar dat hoeft niet zo te zijn. Als een wisselsanering als trillingsmaatregel wordt toegepast, dan bevelen we aan om ter plaatse van het te saneren wissel te onderzoeken in hoeverre het wissel bijdraagt aan de trillingen in de omgeving.

Colofon

Opdrachtgever	ProRail
Uitgave	Movares Nederland B.V. Daalseplein 100 Postbus 2855 3500 GW Utrecht
Telefoon	+31 (0)30 - 265 55 55
Ondertekenaar	Gardien W (Wybo) wybo.gardien@movares.nl
Projectnummer	M0005173
Kenmerk	D79-WGA-HS-RAP-25000879

© 2025, Movares Nederland B.V.

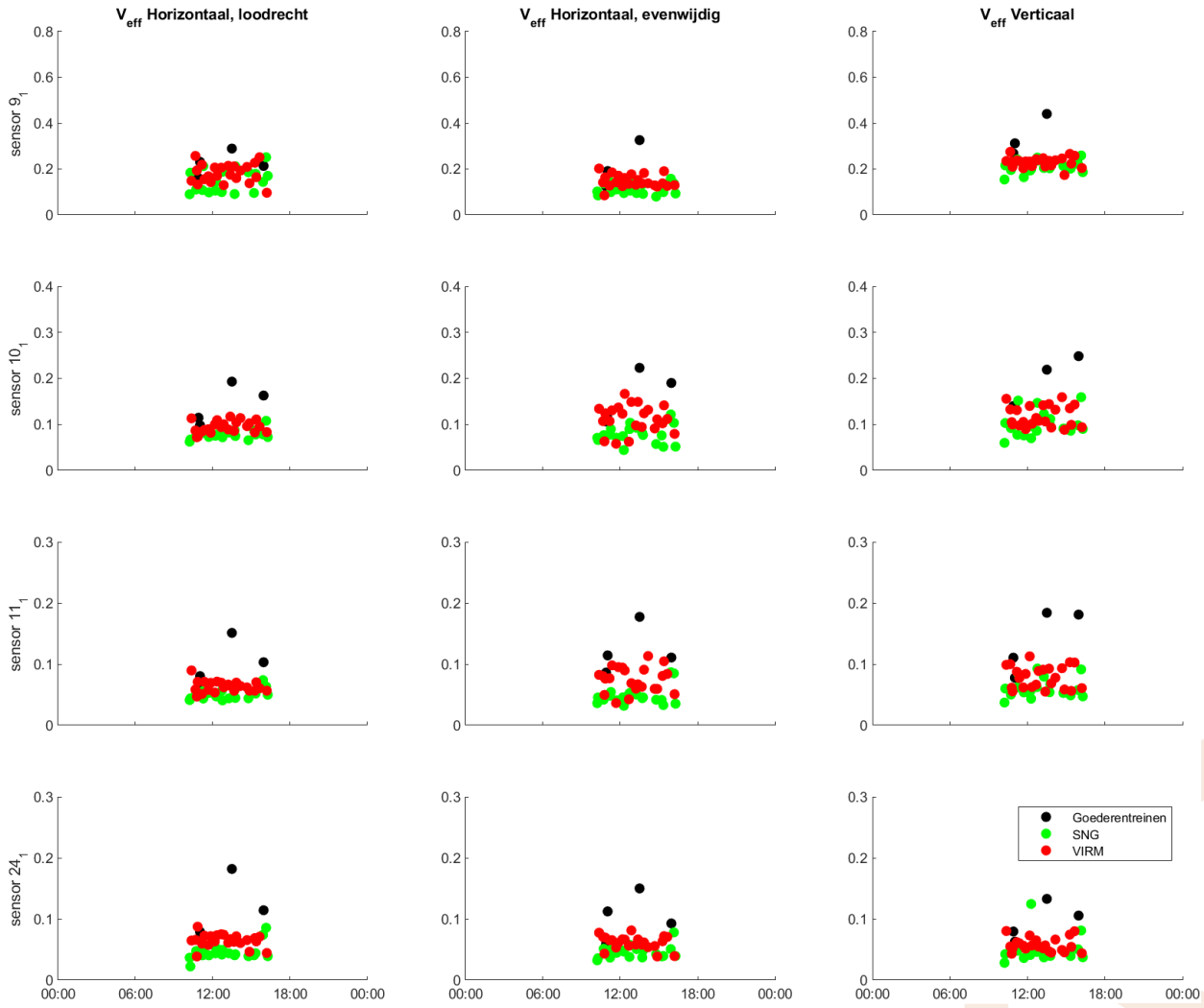
Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming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

Bijlage 1 Eigenschappen meting

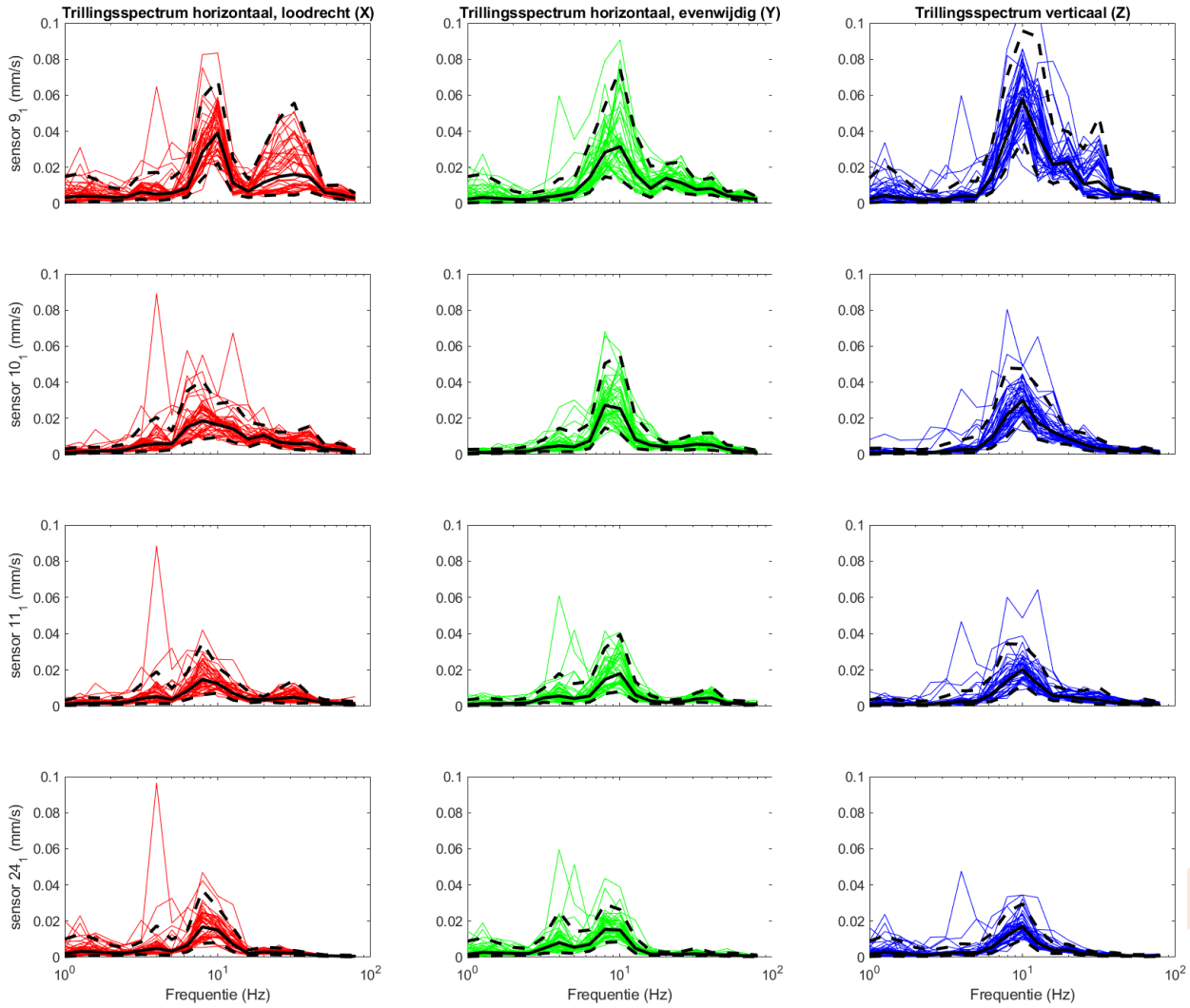
Conform de eisen in de SBR B-richtlijn, hoofdstuk 11, bevat deze bijlage de gegevens van de metingen.

1	Uitvoerende organisatie	*Movares Nederland B.V.* *Daalseplein 101* *3511 SX Utrecht*
	Verantwoordelijke persoon	*Wybo Gardien* *e-mail: wybo.gardien@movares.nl* *tel.: 06 - 22624927*
2	Meting uitgevoerd door	*André Fredriksz*
3	Tijdsperiode meting	*26-9-2023, 7-12-2023, 24-10-2024*
4	Type trillingsbron	*Treinen*
5	Gebouwomschrijving	*n.v.t. (Maaiveld)*
6	Locatie metingen	*Zie Bijlage 8*
7	Geotechnische gegevens	*Zie Bijlage 8*
8	Meetposities	*Zie* Figuur 1
9	Gebruikte meetopnemers	*4 3D-geofoons op maaiveld*
	Gebruikte registratieapparatuur	*Webcam gekoppeld aan meetcomputer*
	Gebruikte verwerkingsapparatuur	*Raspberry Pi met USB-DUX.* *Meetcomputers leggen zowel de trillingssterkte per passage als het tijdssignaal vast.*
10	Overzicht meetwaarden	*Zie hoofdstuk 4*
11	Motivatie classificatie gebouw	*n.v.t.*
12	Overige relevante omstandigheden	*Snelheidsverlaging bij nameting 1*

Bijlage 2 Meetresultaten 0-meting

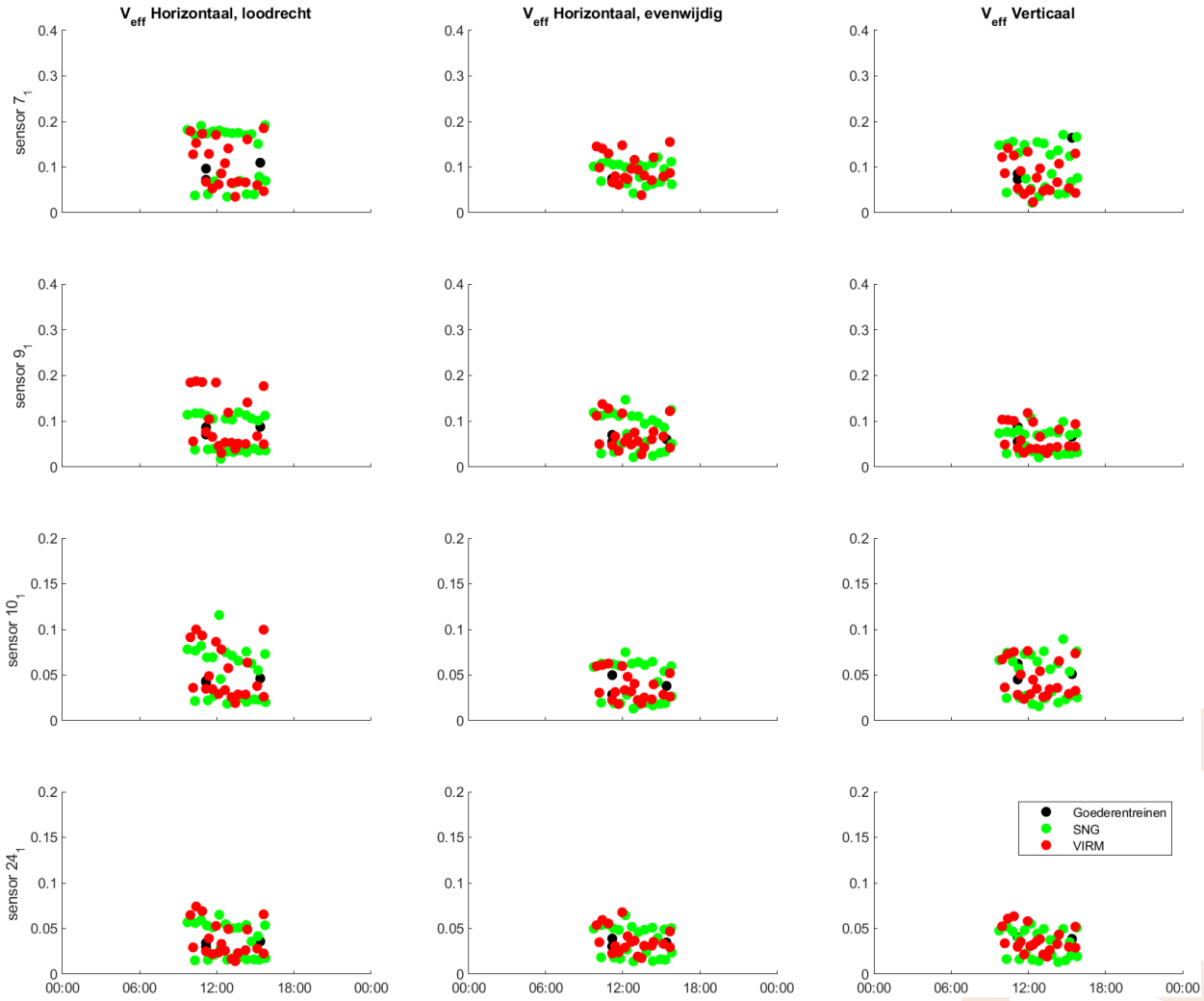


Figuur 1: gemeten trillingen (V_{eff}) per treinpassage en per sensor

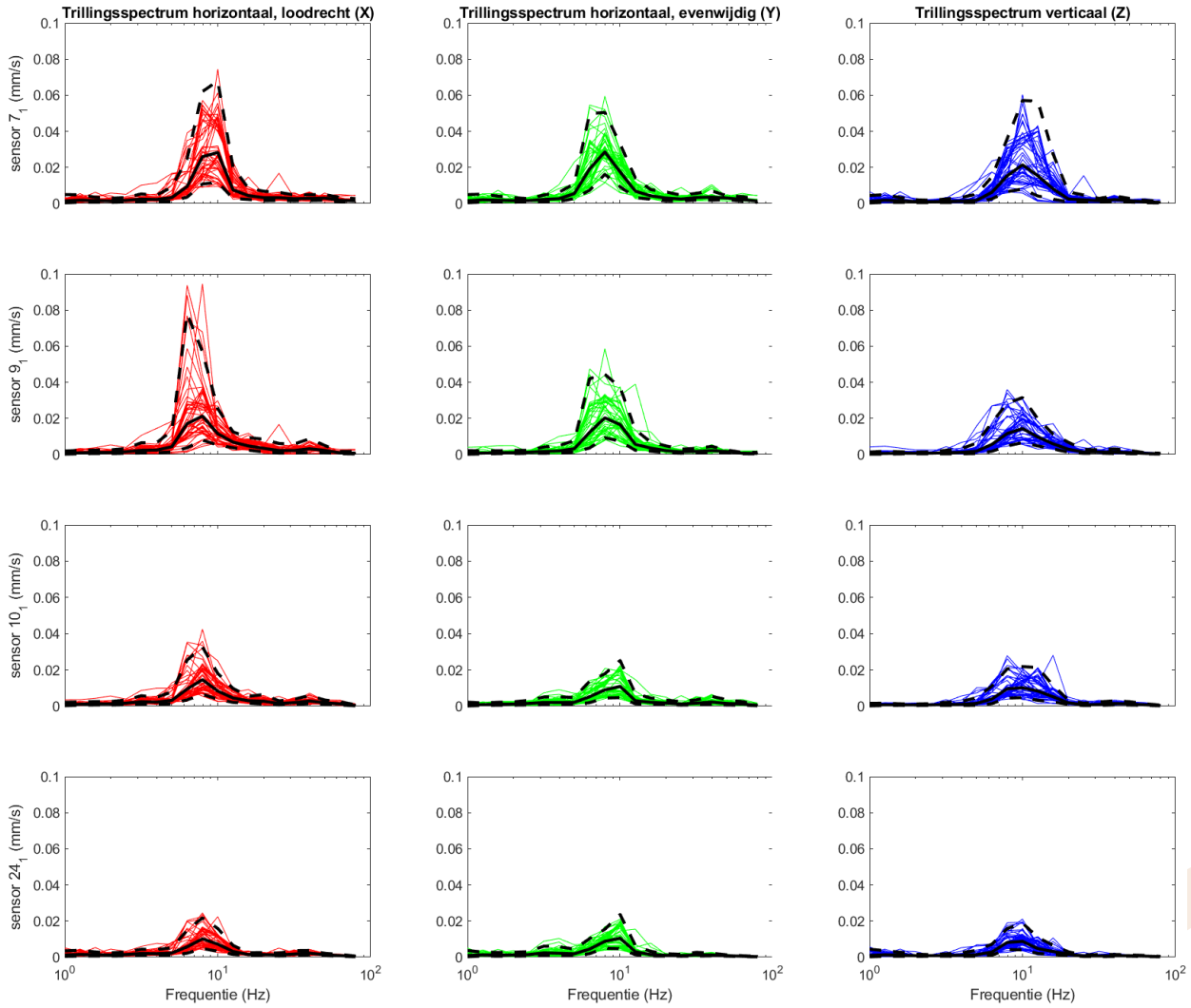


Figuur 2 Gemeten 1/3 oktaafbandspectra van gemeten trillingen

Bijlage 3 Meetresulaten nameting 1

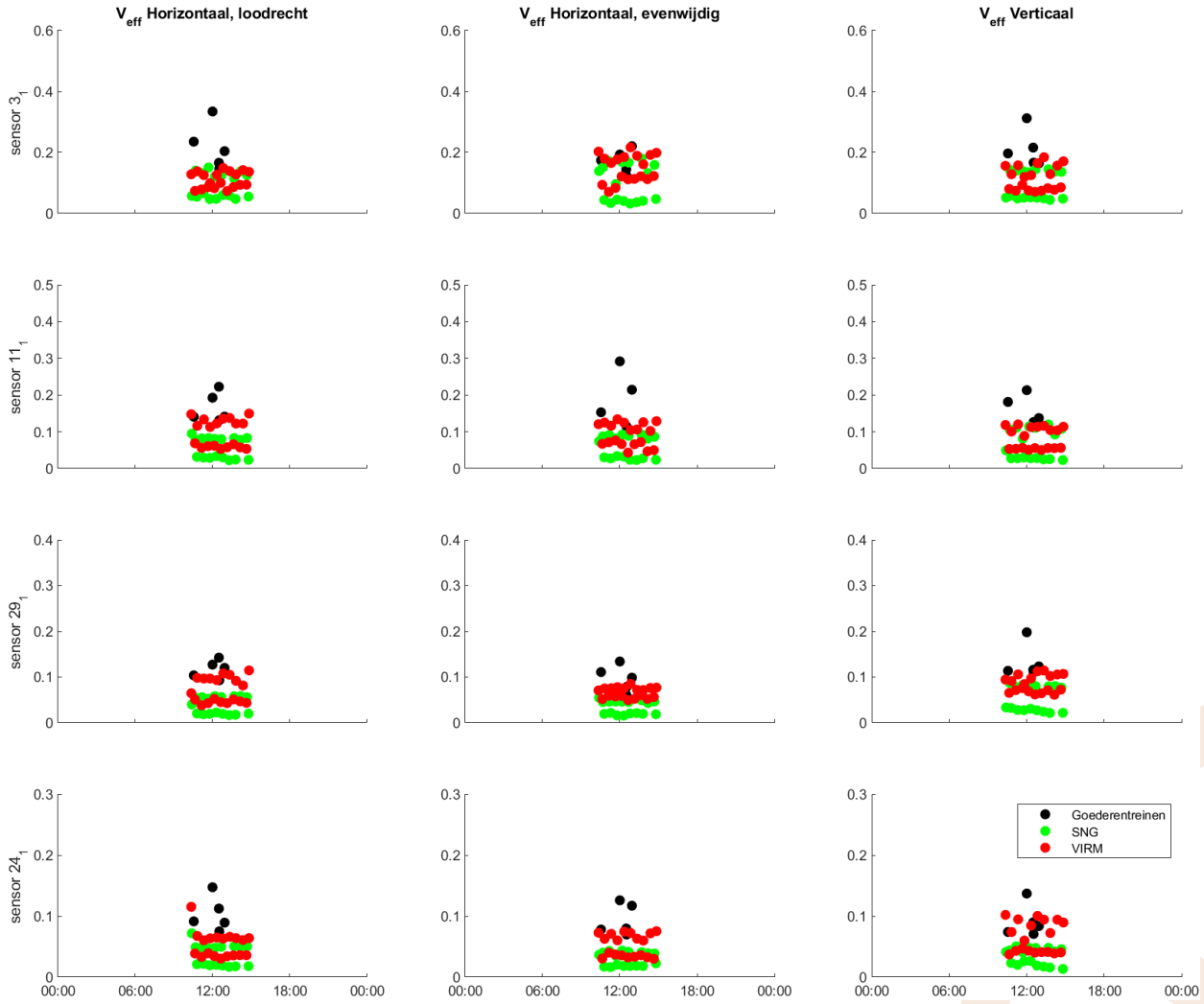


Figuur 1: gemeten trillingen (V_{eff}) per treinpassage en per sensor

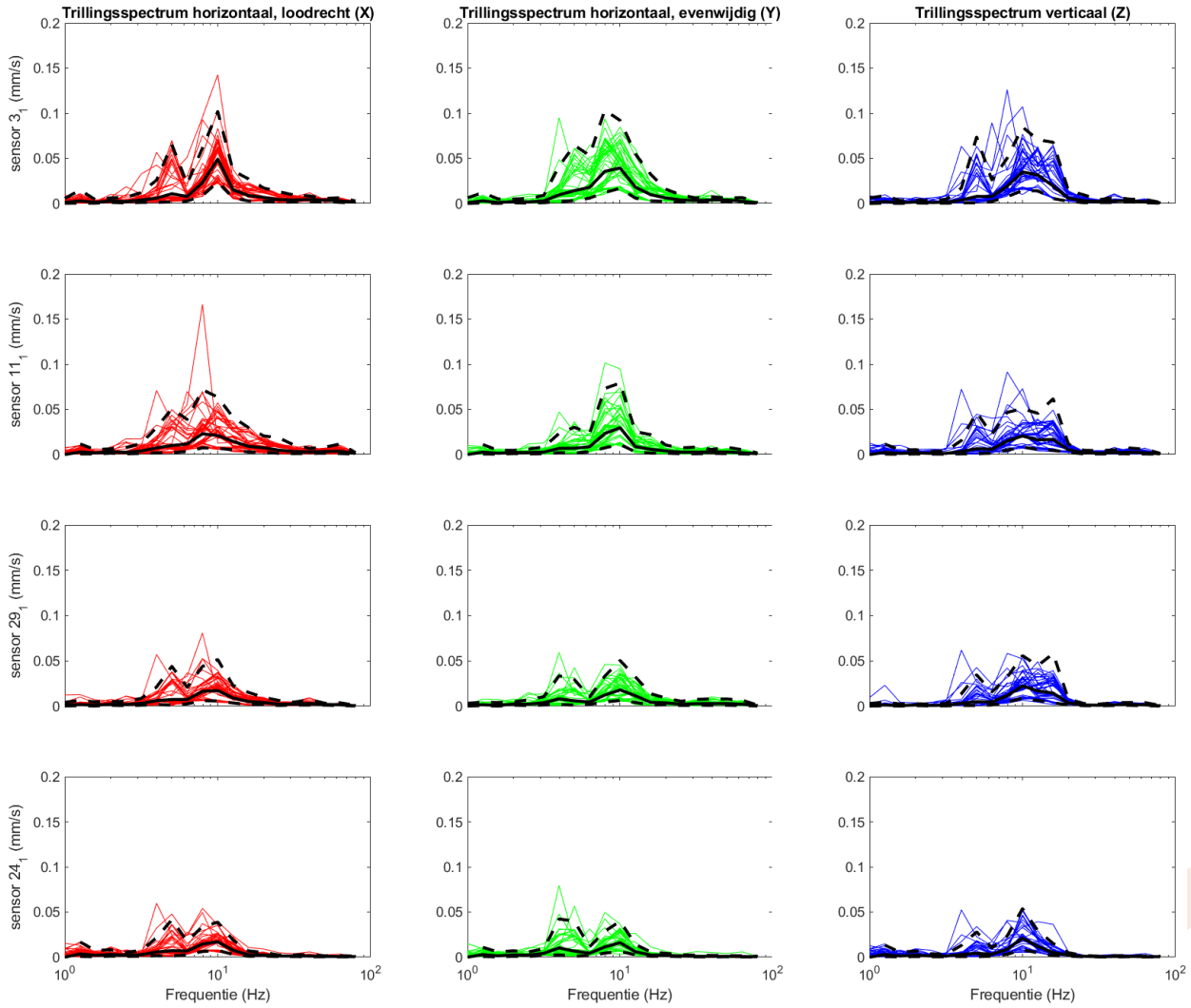


Figuur 3 Gemeten 1/3 oktaafbandspectra van gemeten trillingen

Bijlage 4 Meetresultaten nameting 2



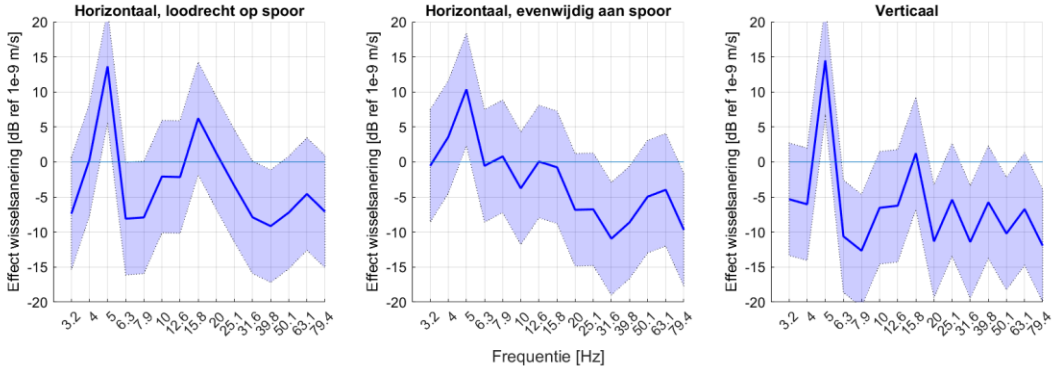
Figuur 1: gemeten trillingen (V_{eff}) per treinpassage en per sensor



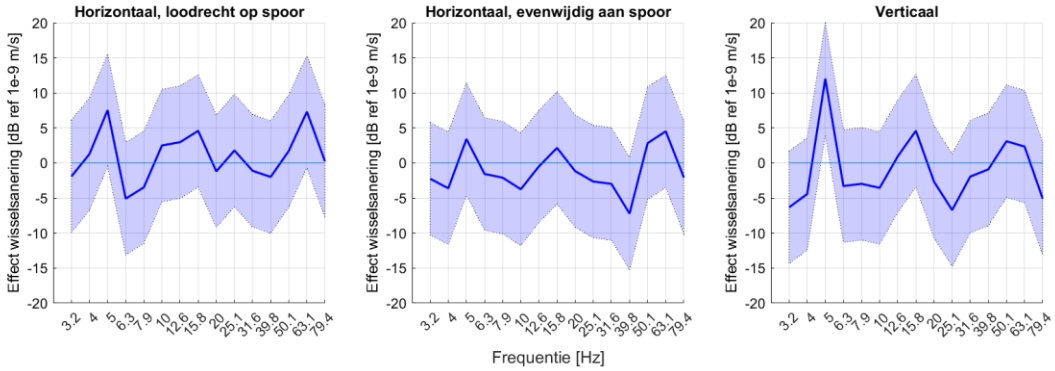
Figuur 4 Gemeten 1/3 oktaafbandspectra van gemeten trillingen

Bijlage 5 Effectbepaling volgens meetprotocol

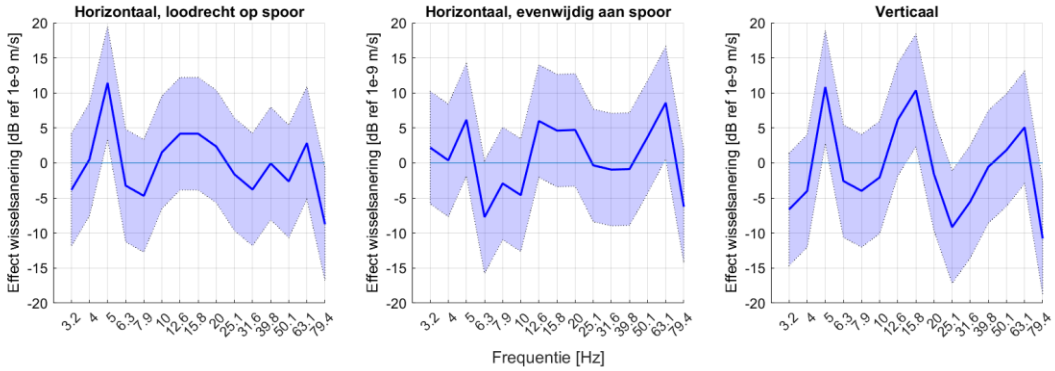
Effectbepaling VIRM op sensor 1 van het spoor 1



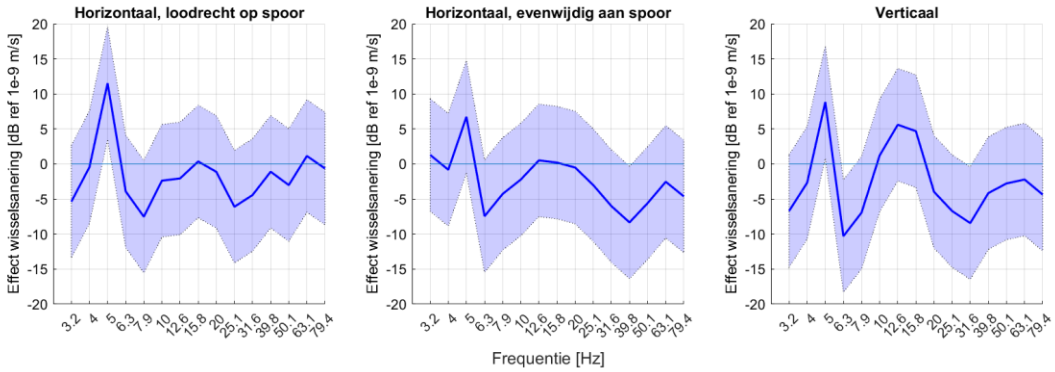
Effectbepaling VIRM op sensor 2 van het spoor 1



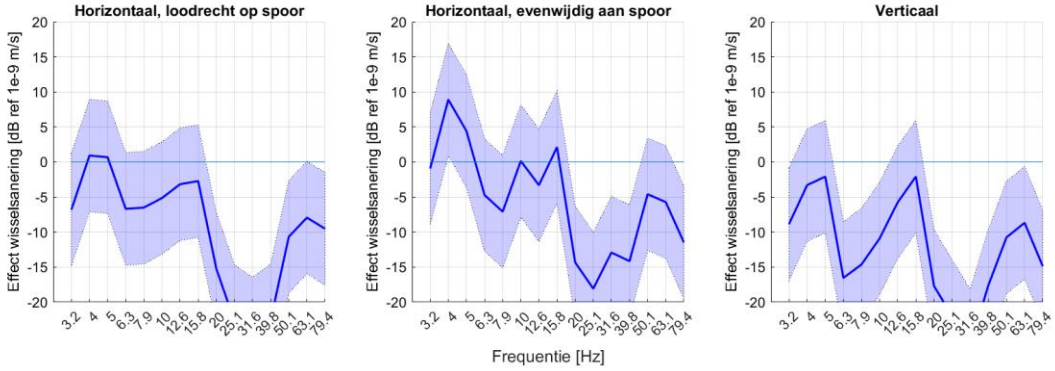
Effectbepaling VIRM op sensor 3 van het spoor 1



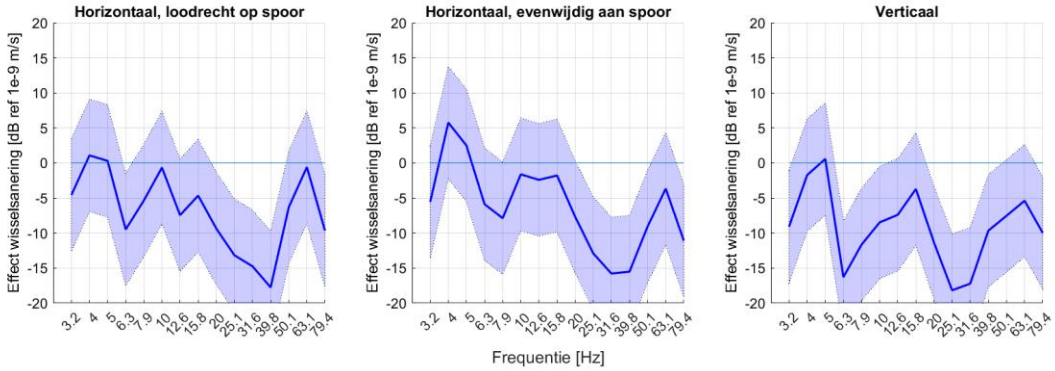
Effectbepaling VIRM op sensor 4 van het spoor 1



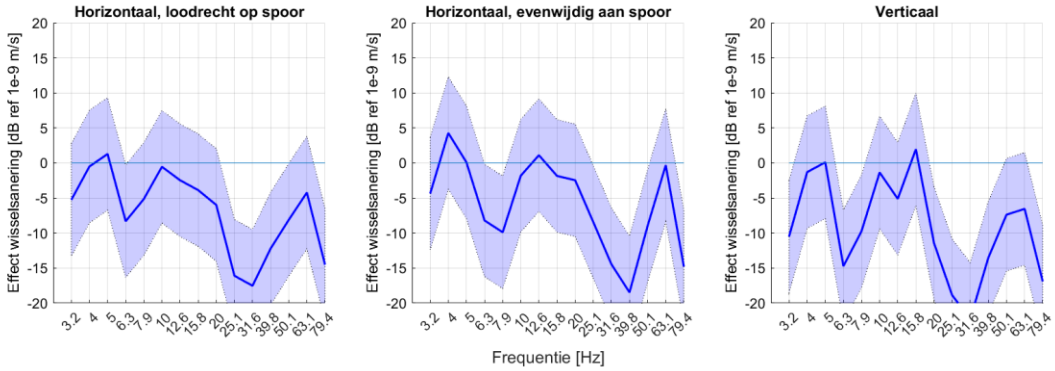
Effectbepaling VIRM op sensor 1 van het spoor 2



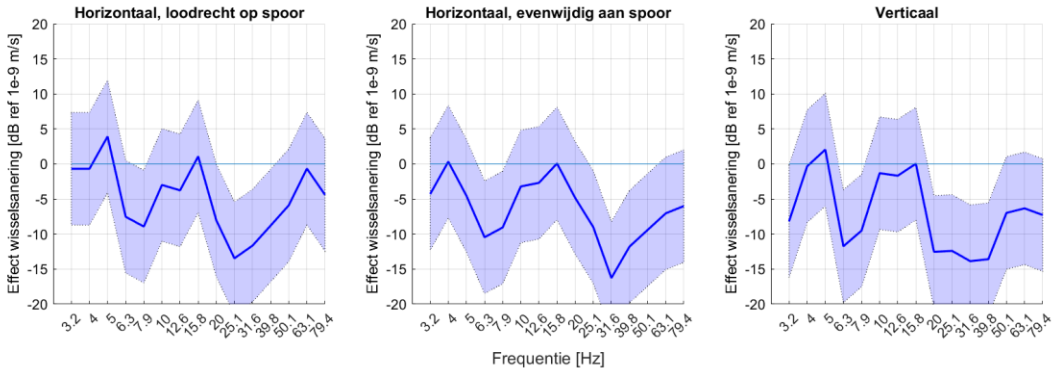
Effectbepaling VIRM op sensor 2 van het spoor 2



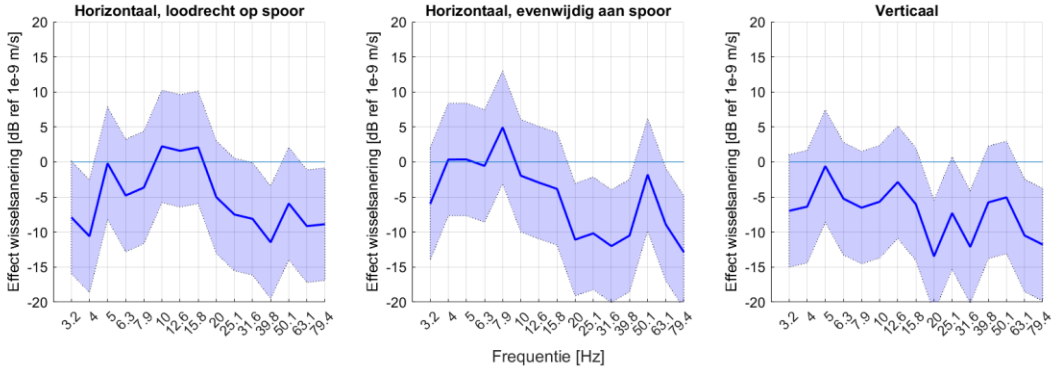
Effectbepaling VIRM op sensor 3 van het spoor 2



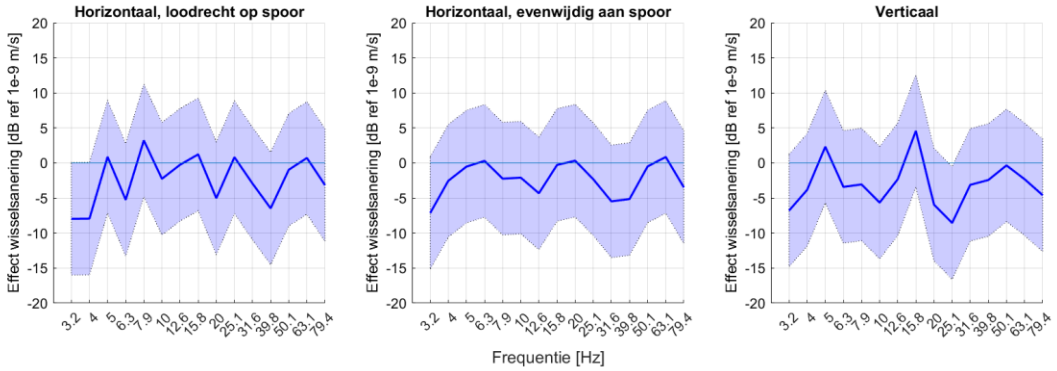
Effectbepaling VIRM op sensor 4 van het spoor 2



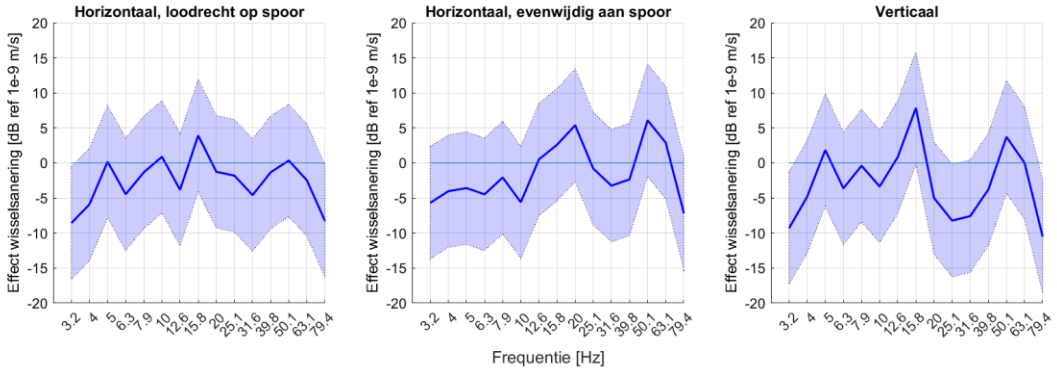
Effectbepaling SNG op sensor 1 van het spoor 1



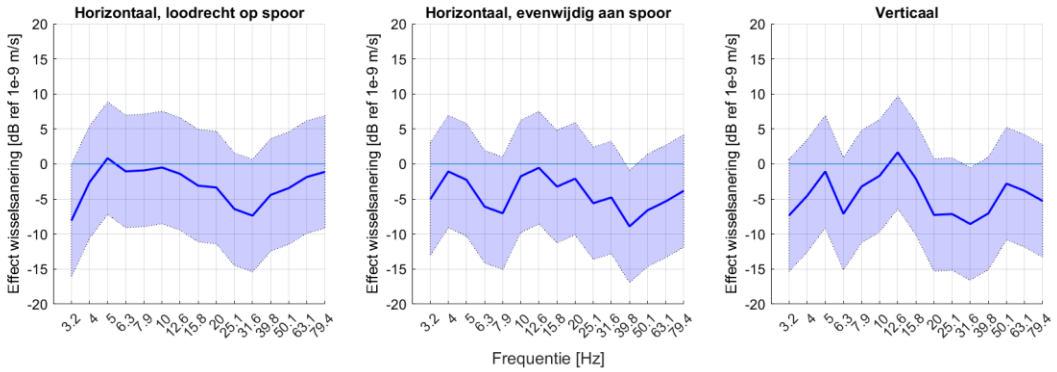
Effectbepaling SNG op sensor 2 van het spoor 1



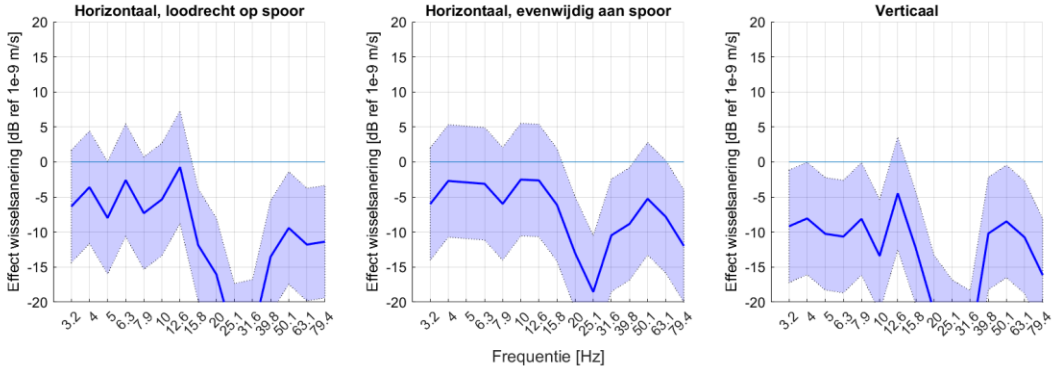
Effectbepaling SNG op sensor 3 van het spoor 1



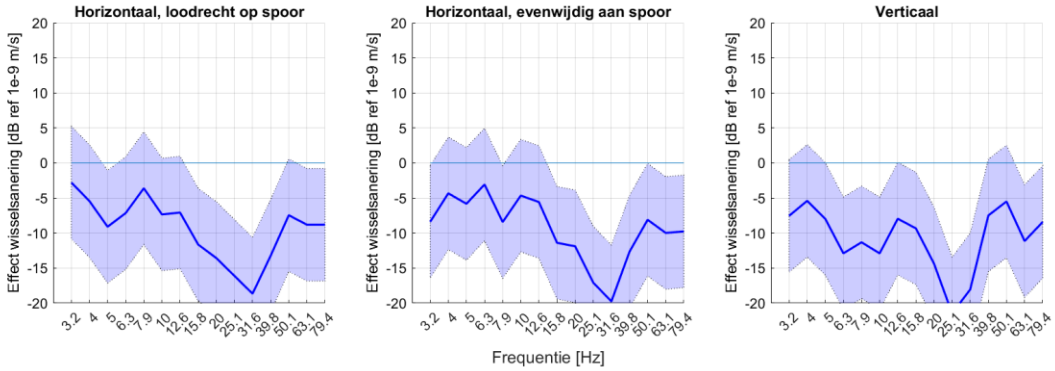
Effectbepaling SNG op sensor 4 van het spoor 1



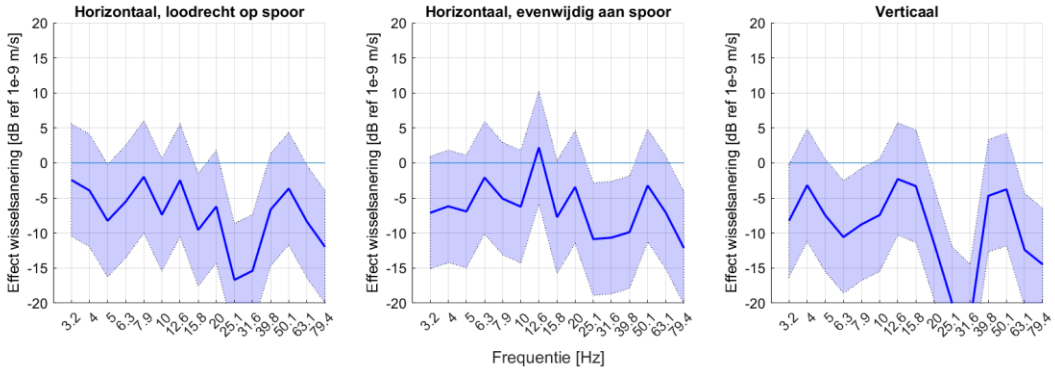
Effectbepaling SNG op sensor 1 van het spoor 2



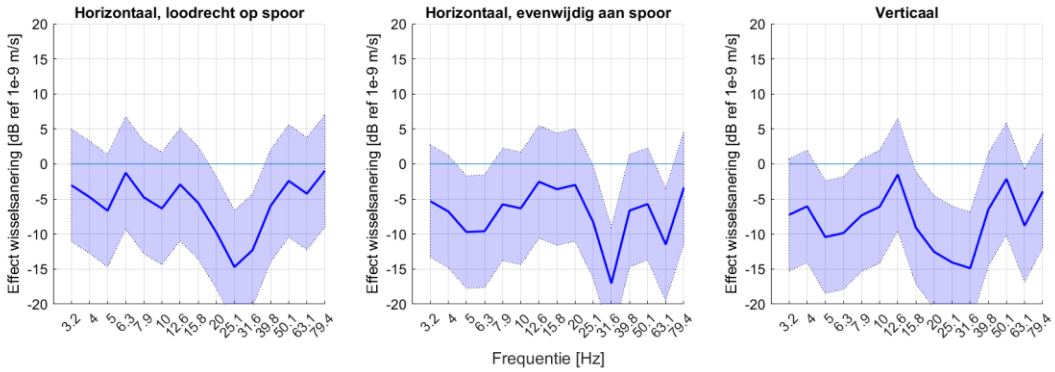
Effectbepaling SNG op sensor 2 van het spoor 2



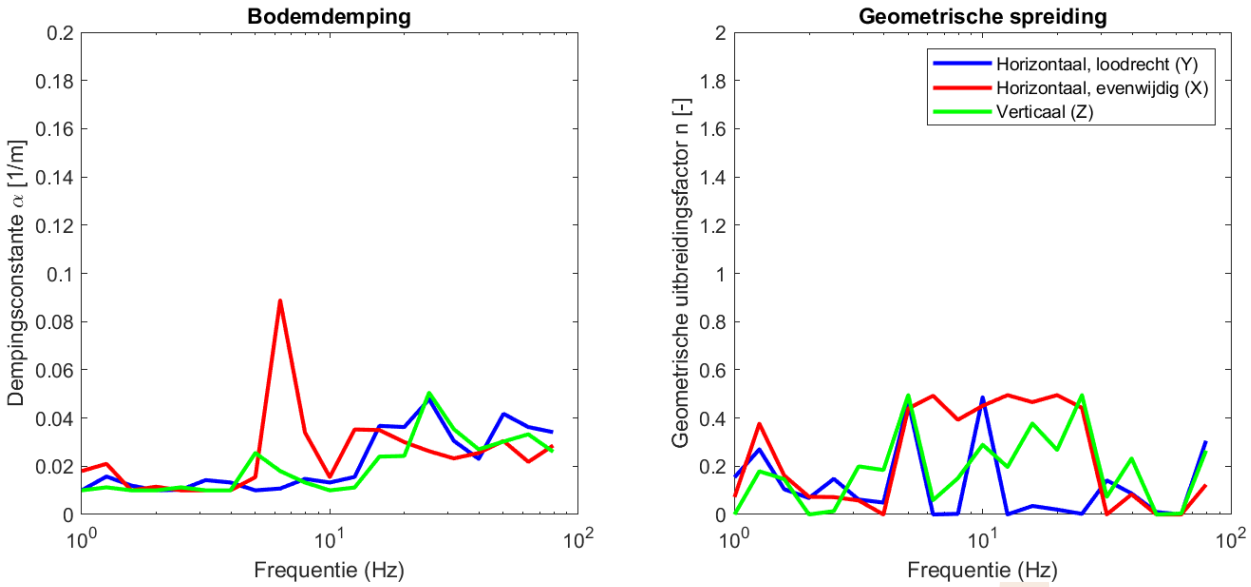
Effectbepaling SNG op sensor 3 van het spoor 2



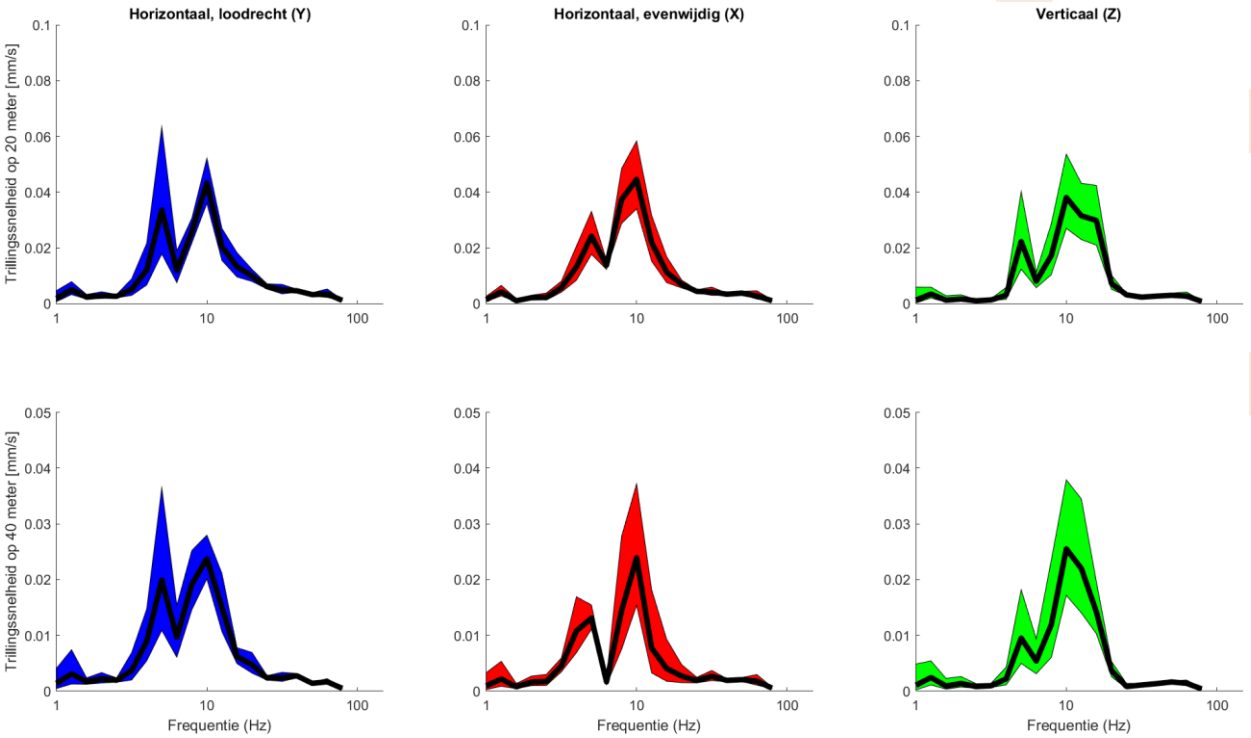
Effectbepaling SNG op sensor 4 van het spoor 2



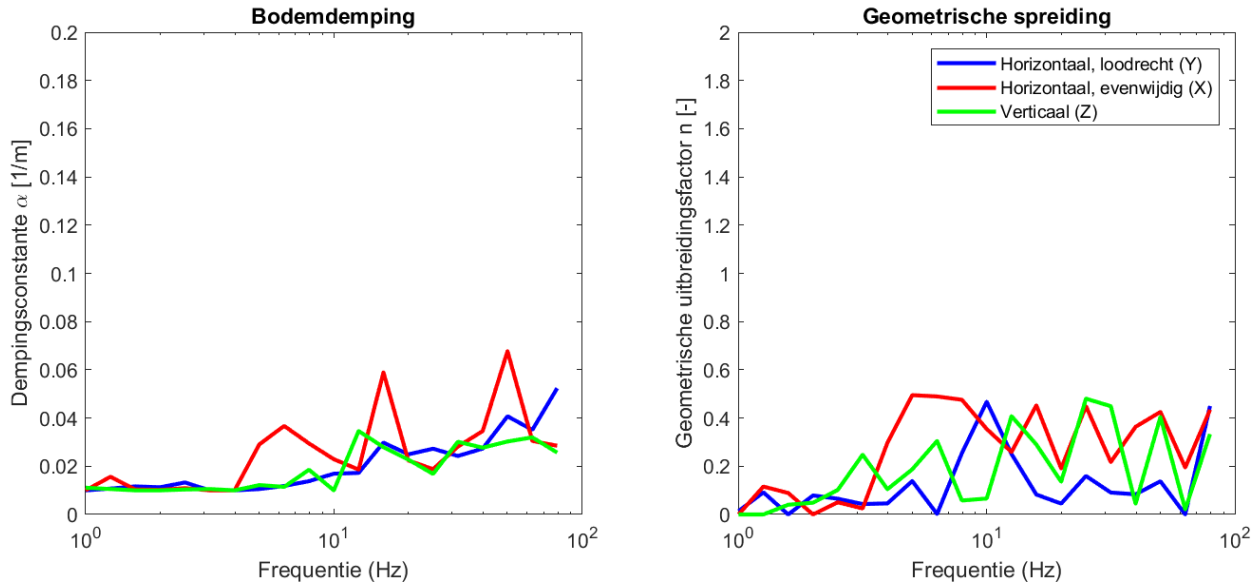
Bijlage 6 Bepaling bodemdemping nameting 2



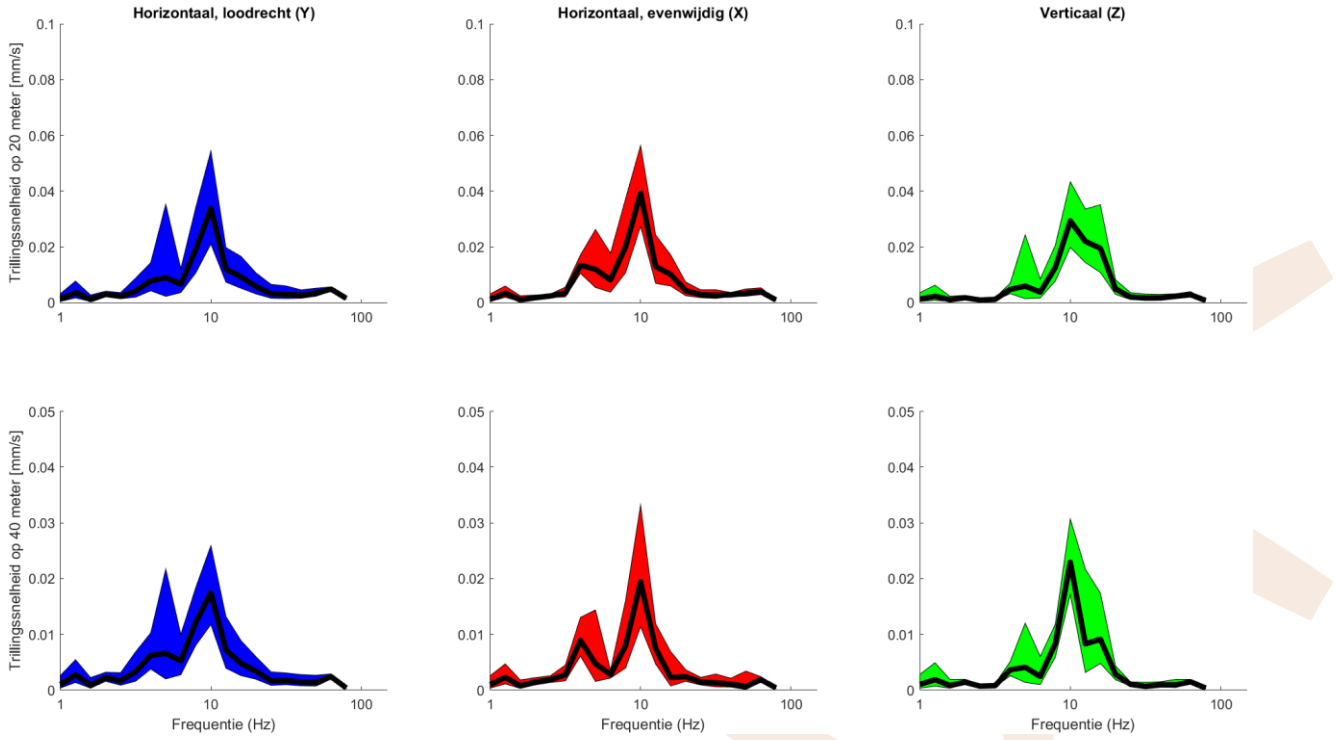
Figuur 1: Bodemdemping bepaald voor VIRM treinen op spoor 1 nameting 2



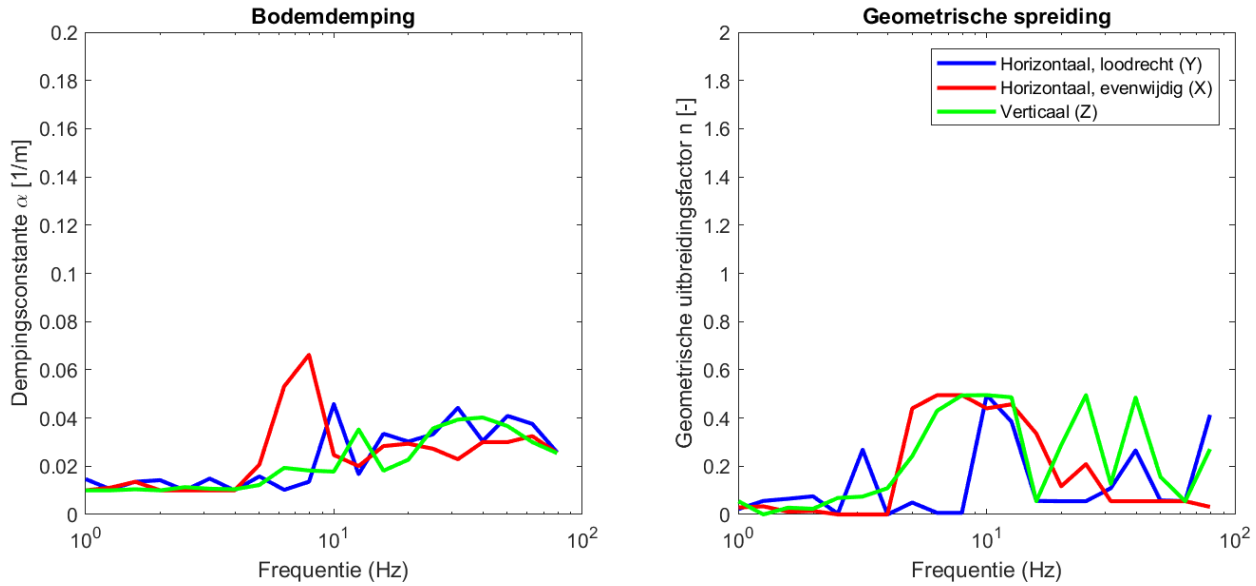
Figuur 2: Trillingsspectra bepaald voor VIRM treinen op spoor 1 nameting 2



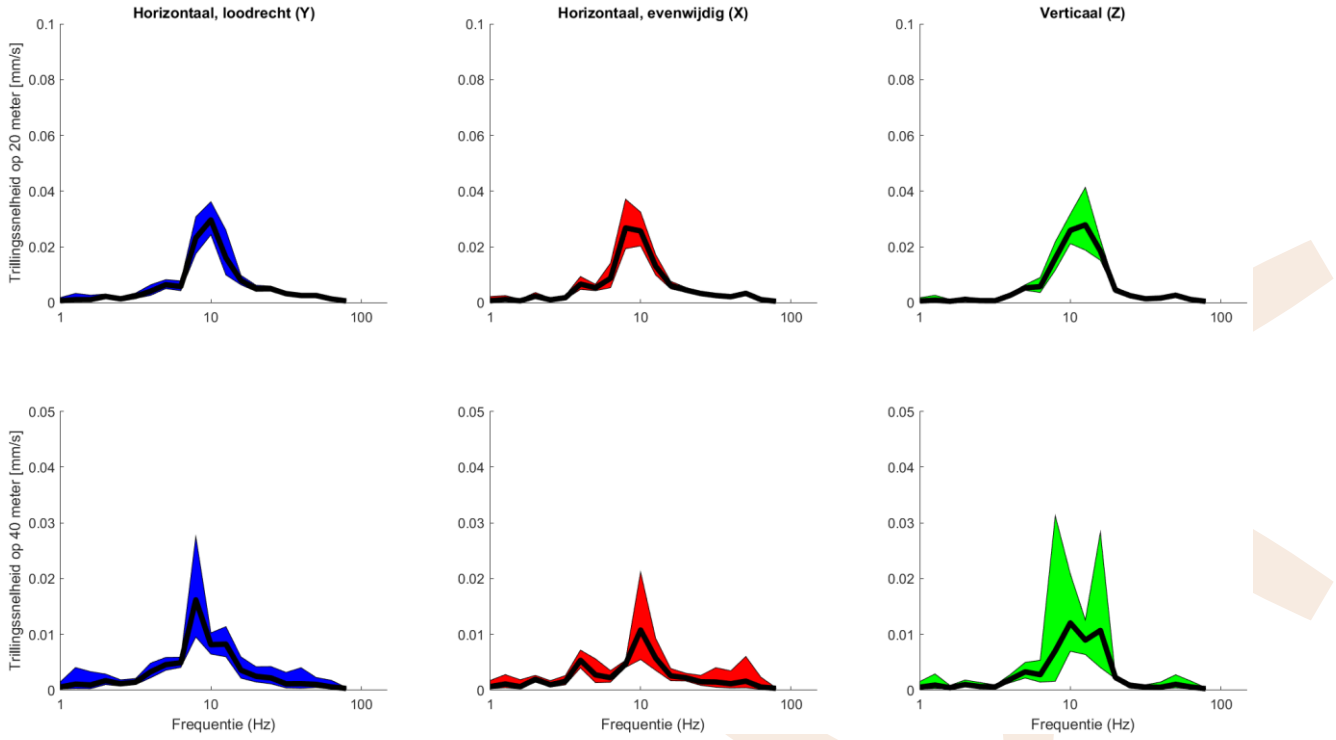
Figuur 3: Bodemdemping bepaald voor VIRM treinen op spoor 2 nameting 2



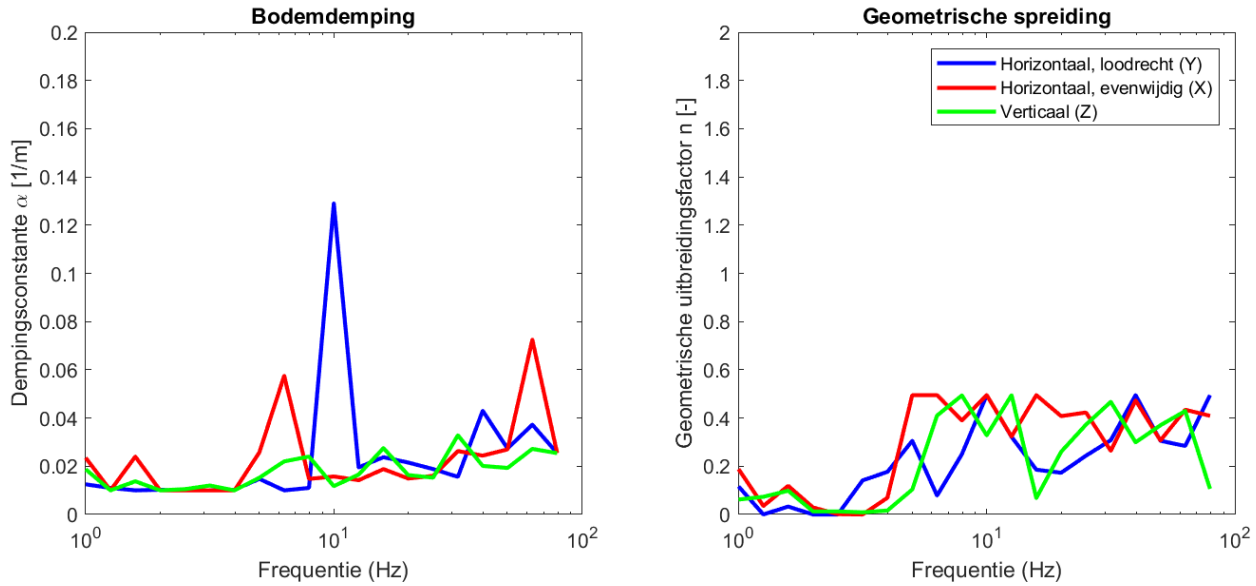
Figuur 4: Trillingsspectra bepaald voor VIRM treinen op spoor 2 nameting 2



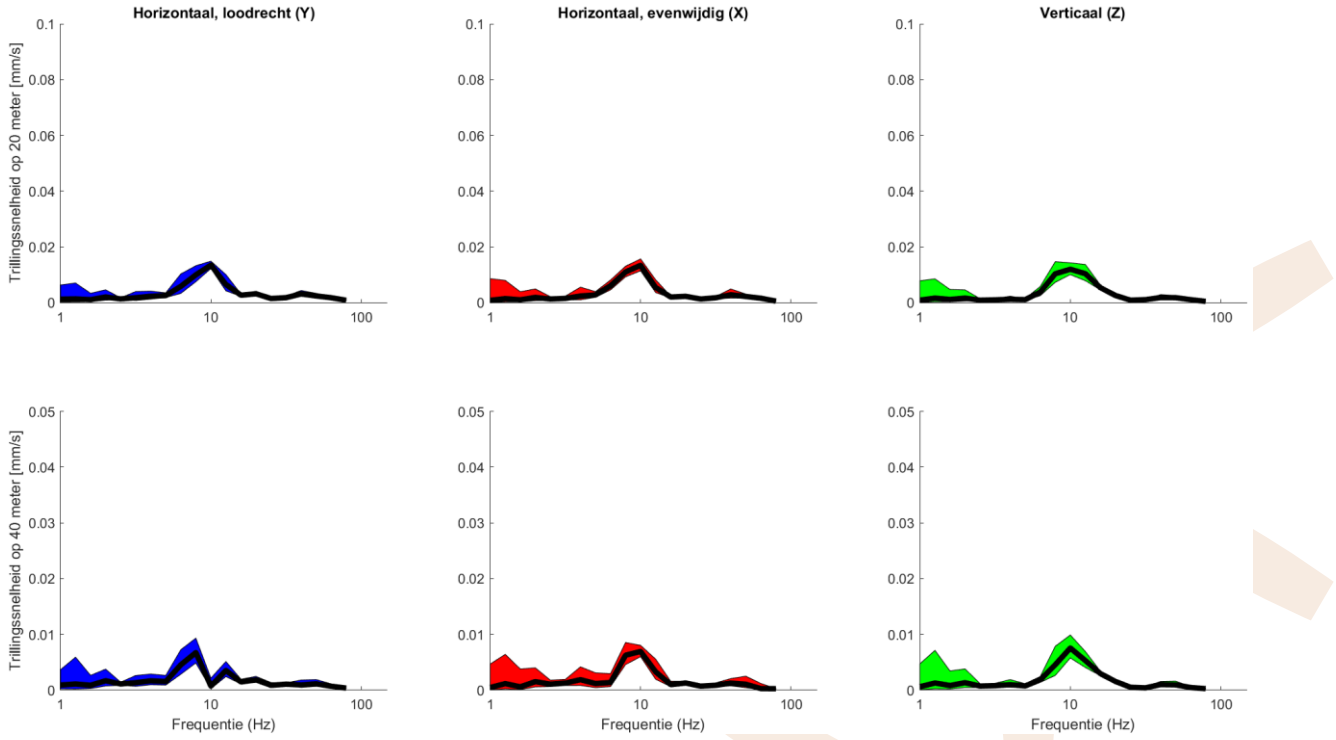
Figuur 5: Bodemdemping bepaald voor SNG treinen op spoor 1 nameting 2



Figuur 6: Trillingsspectra bepaald voor SNG treinen op spoor 1 nameting 2

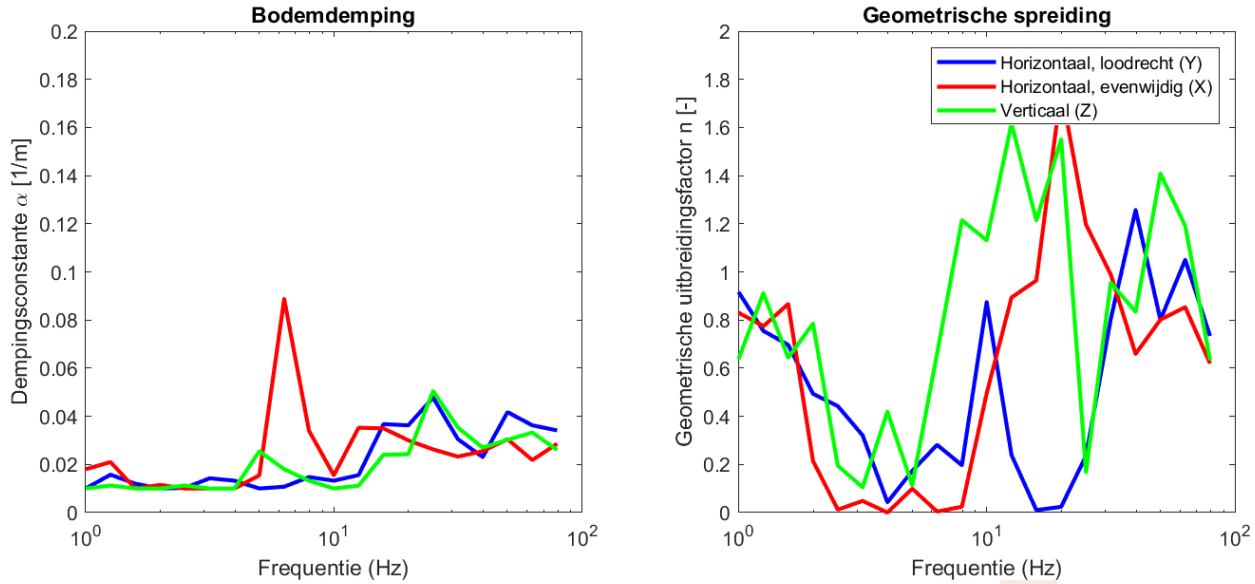


Figuur 7: Bodemdemping bepaald voor SNG treinen op spoor 2 nameting 2

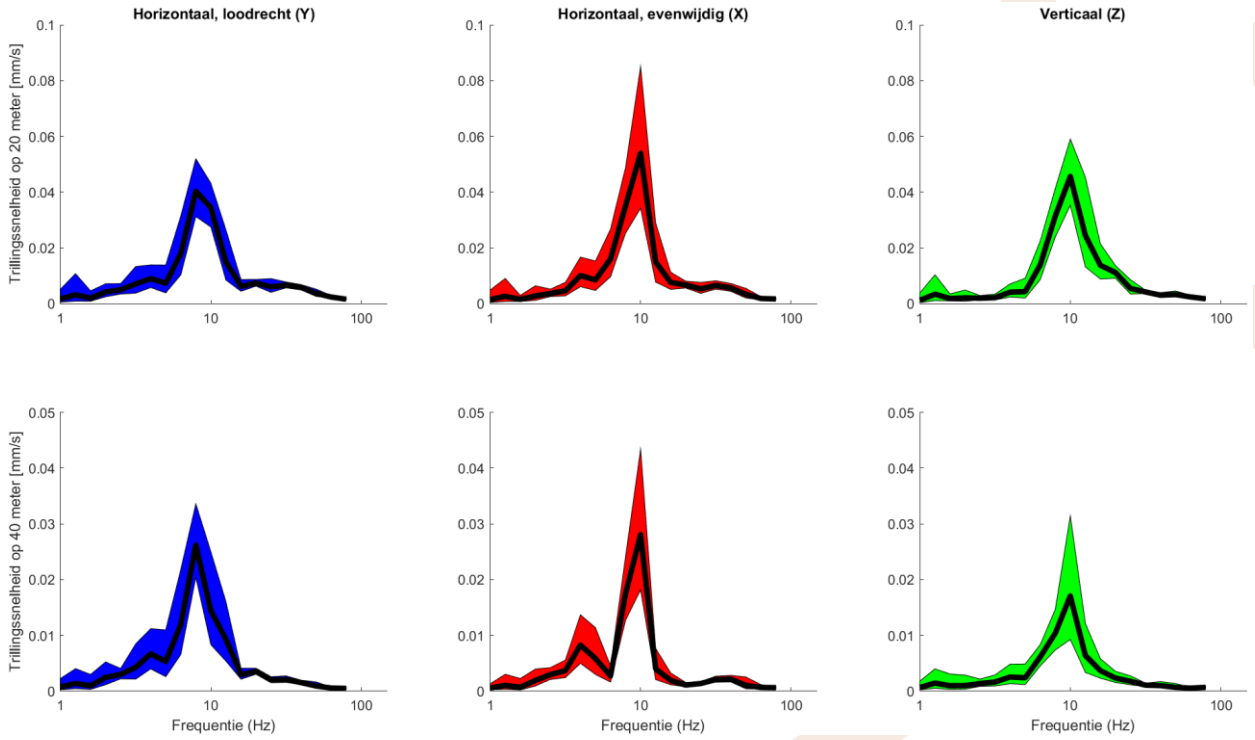


Figuur 8: Trillingsspectra bepaald voor SNG treinen op spoor 2 nameting 2

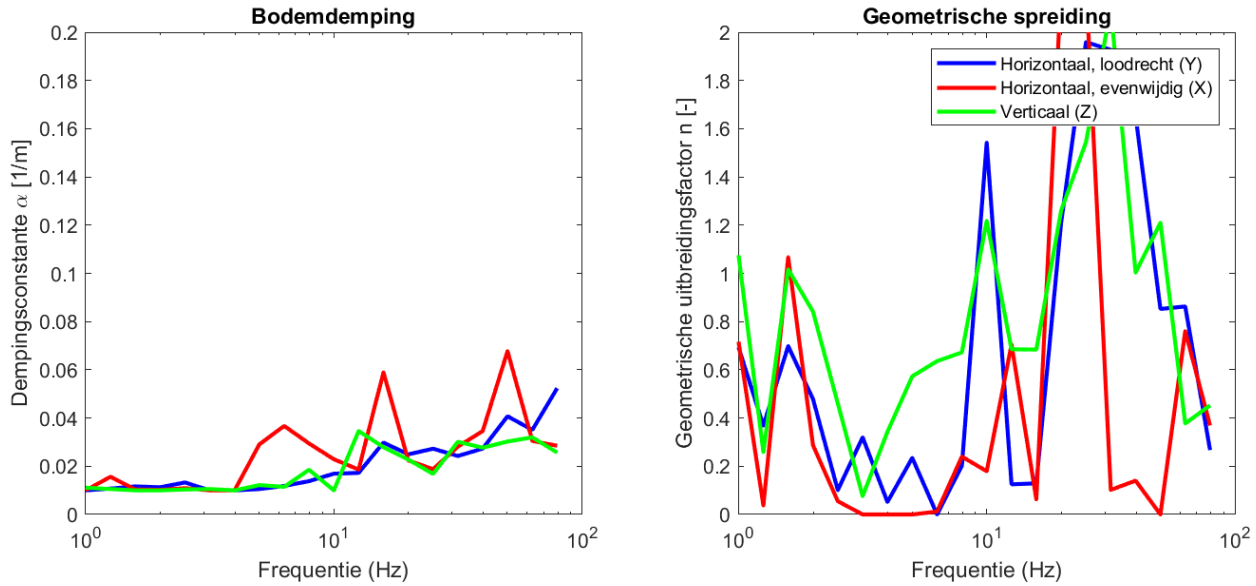
Bijlage 7 Bepaling geometrische uitbreidingsfactor nulmeting (met wissel)



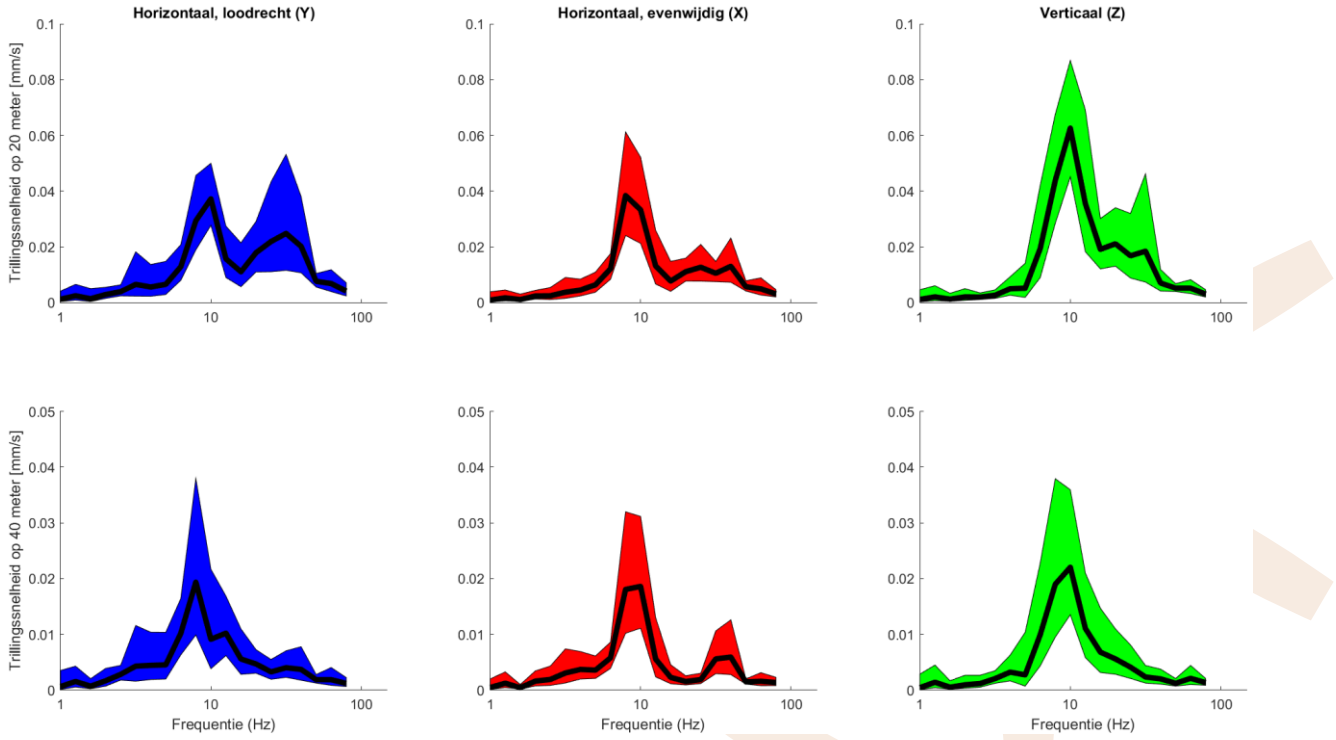
Figuur 1: Bodemdemping bepaald voor VIRM treinen op spoor 1 nameting 2



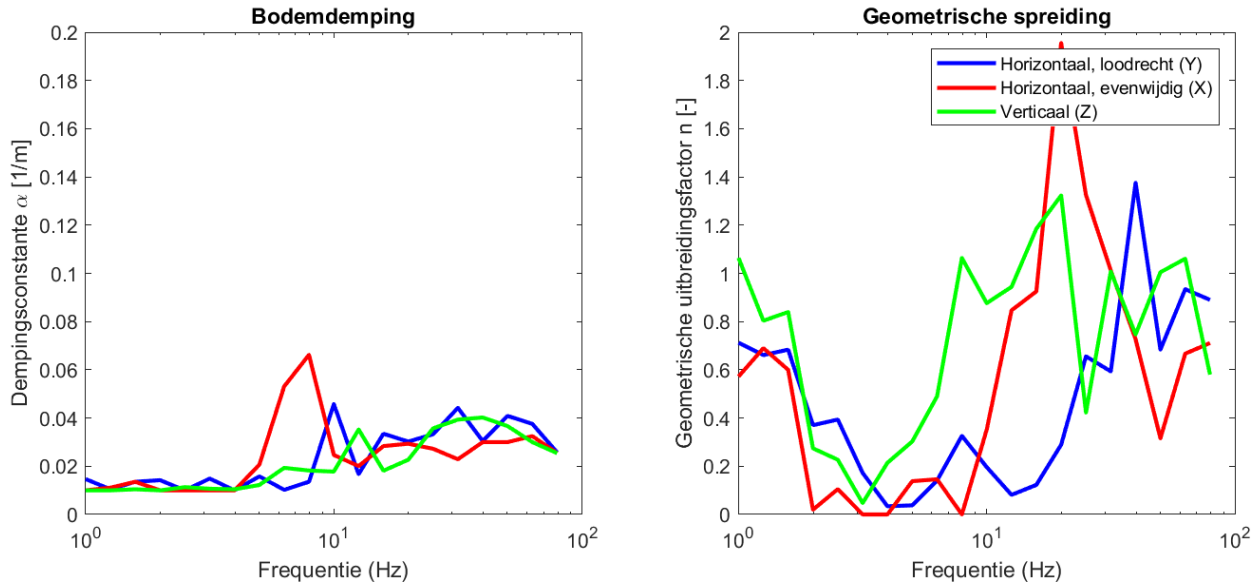
Figuur 2: Trillingsspectra bepaald voor VIRM treinen op spoor 1 nameting 2



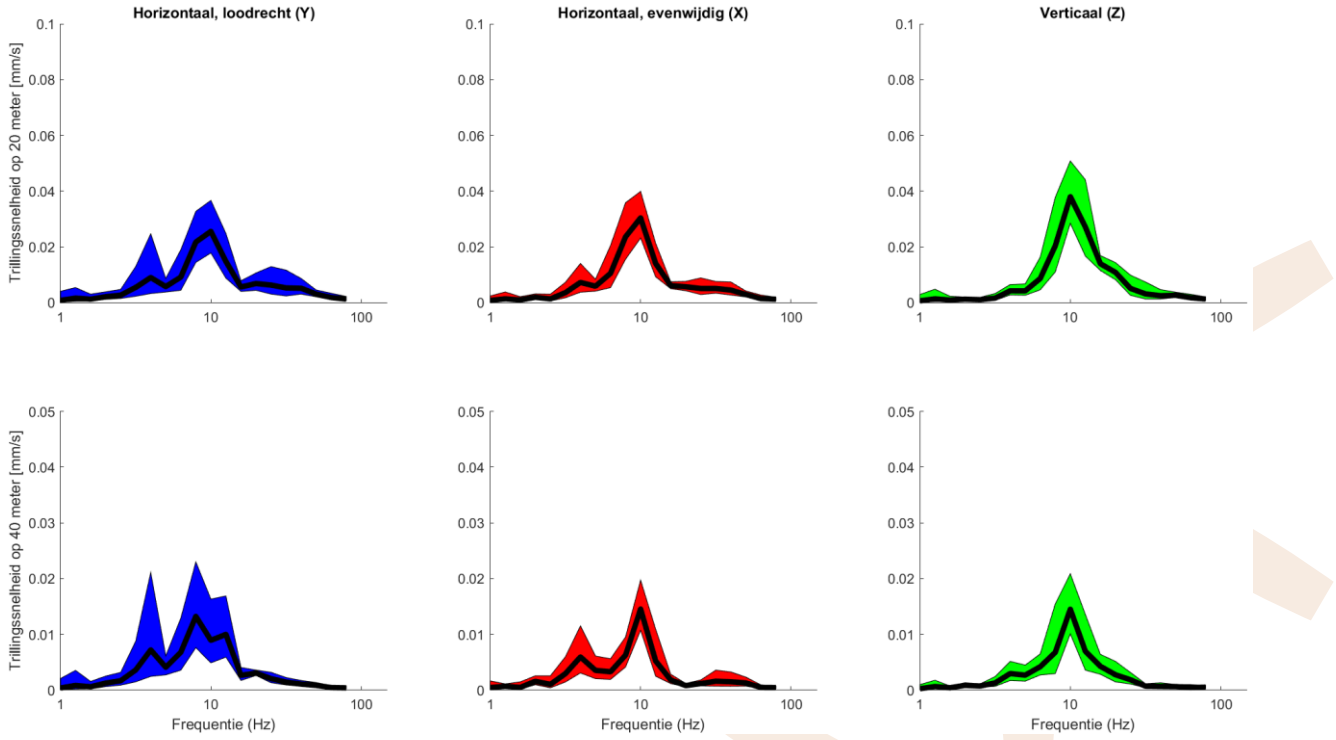
Figuur 3: Bodemdemping bepaald voor VIRM treinen op spoor 2 nameting 2



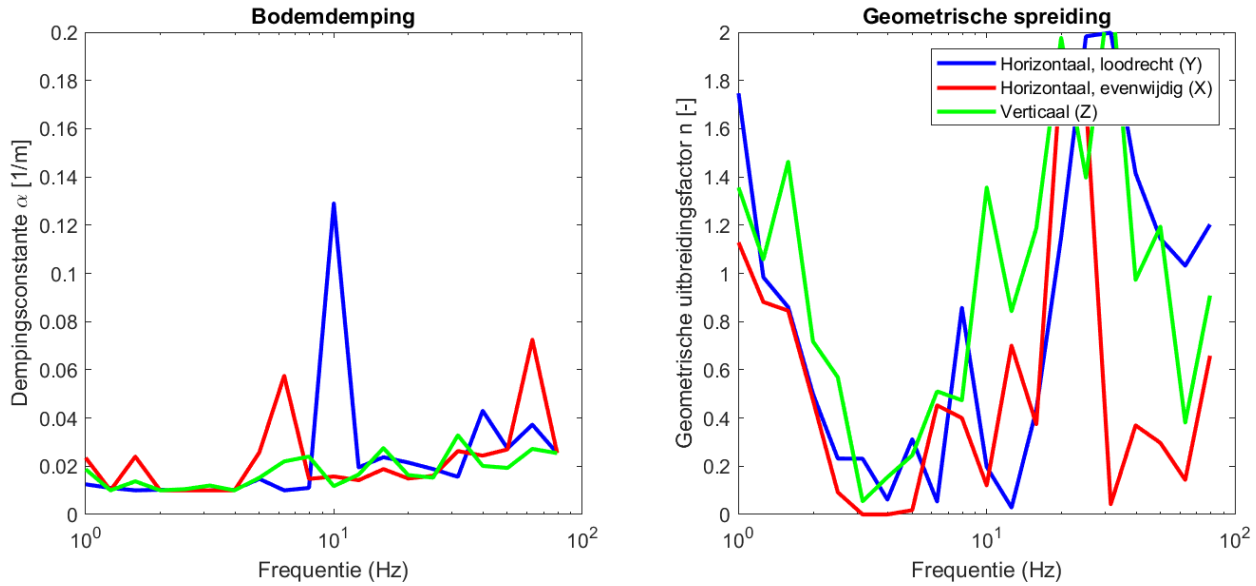
Figuur 4: Trillingsspectra bepaald voor VIRM treinen op spoor 2 nameting 2



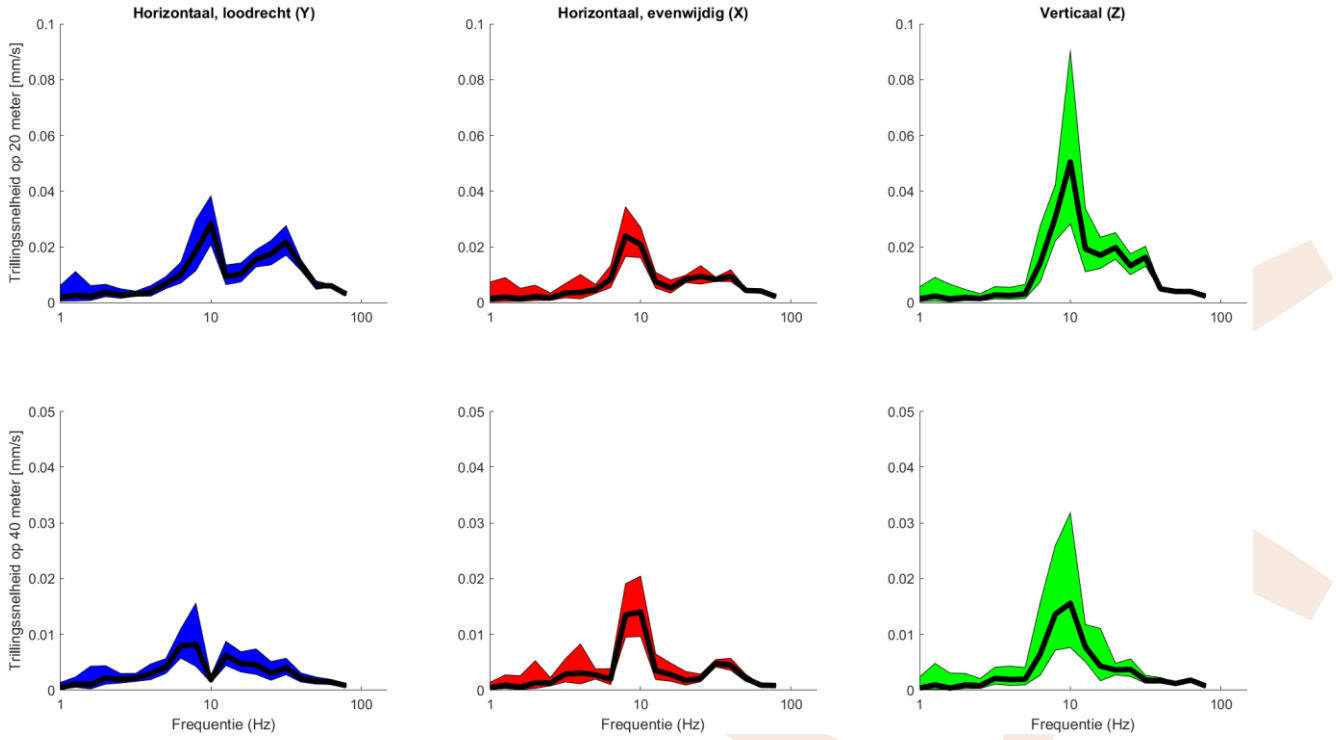
Figuur 5: Bodemdemping bepaald voor SNG treinen op spoor 1 nameting 2



Figuur 6: Trillingsspectra bepaald voor SNG treinen op spoor 1 nameting 2

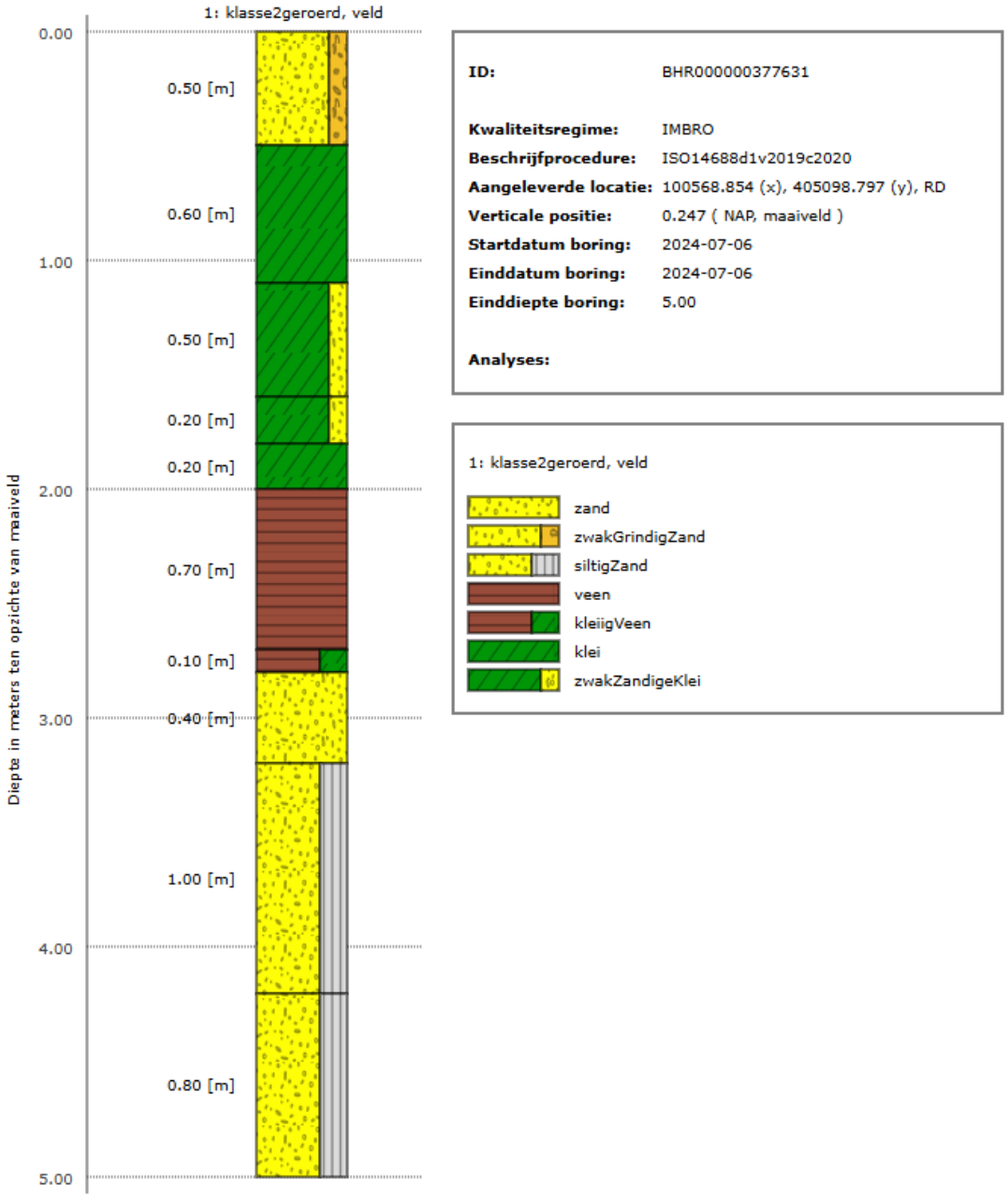


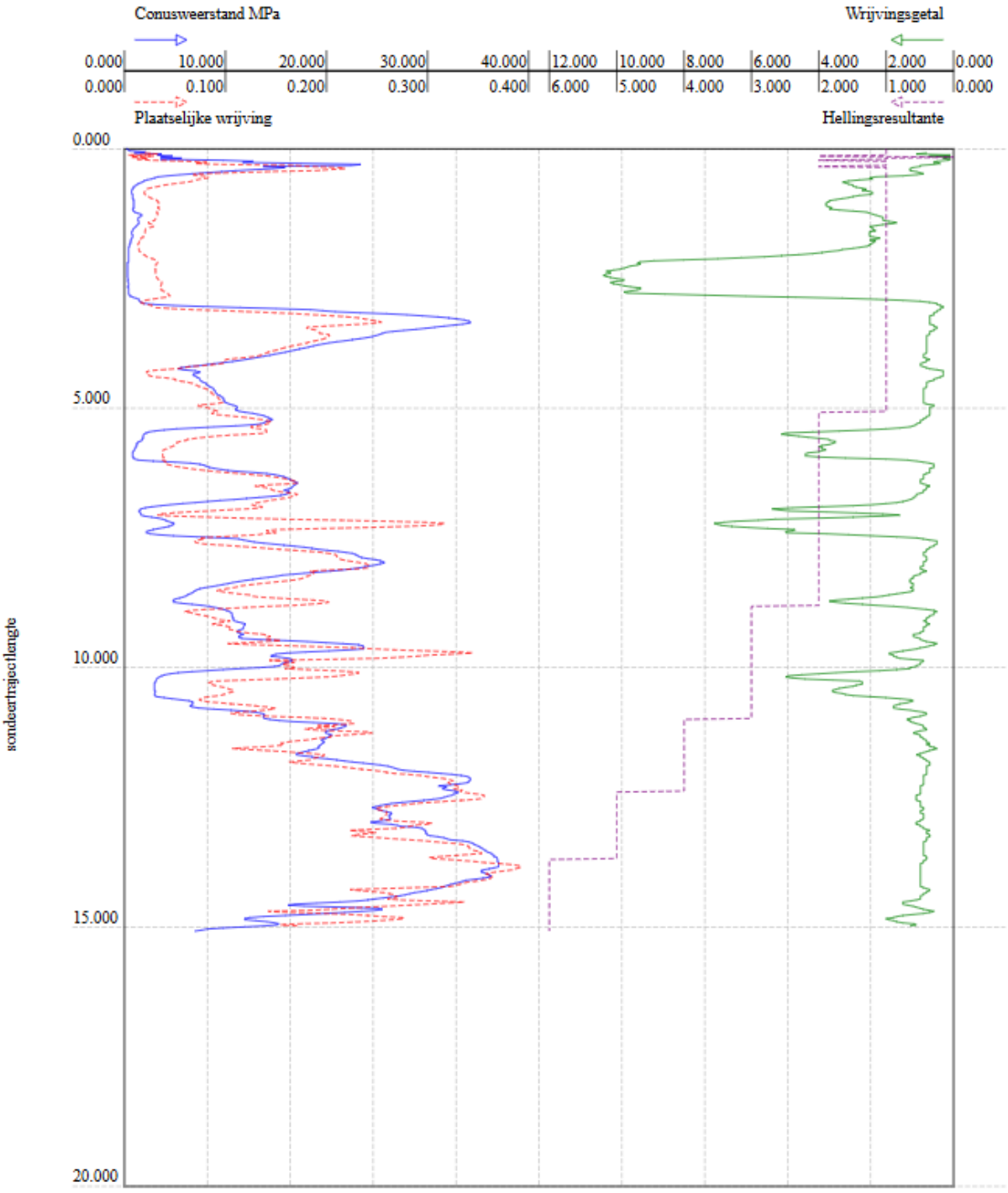
Figuur 7: Bodemdemping bepaald voor SNG treinen op spoor 2 nameting 2



Figuur 8: Trillingsspectra bepaald voor SNG treinen op spoor 2 nameting 2

Bijlage 8 Geotechnische gegevens





BRO-ID: CPT000000240541
Verticale verschuiving: 0.499 (NAP)
Lokaal verticaal referentiepunt: maaiveld
Aangeleverde coördinaten: 100566.113, 405100.803 (urn:ogc:def:crs:EPSG::28992)

Bijlage 9 Treinpassages

Tabel 1: nulmeting

Datum	Tijd	Treintype	Spoor	Snelheid
String	uu:mm:ss	String	Nummer	km/uur
26-sep-23	101248	SNG	1	90
26-sep-23	101614	SNG	2	90
26-sep-23	102119	VIRM	1	105
26-sep-23	103940	VIRM	2	100
26-sep-23	104245	SNG	1	95
26-sep-23	104616	VIRM	2	100
26-sep-23	105001	VIRM	1	115
26-sep-23	105357	Goederen	2	85
26-sep-23	110106	Goederen	1	60
26-sep-23	111006	VIRM	2	105
26-sep-23	111223	SNG	1	115
26-sep-23	111613	SNG	2	105
26-sep-23	112122	VIRM	1	100
26-sep-23	114016	VIRM	2	80
26-sep-23	114230	SNG	1	105
26-sep-23	115100	VIRM	1	115
26-sep-23	120955	VIRM	2	120
26-sep-23	121213	SNG	1	115
26-sep-23	121632	SNG	2	85
26-sep-23	122034	VIRM	1	100
26-sep-23	123953	VIRM	2	95
26-sep-23	124222	SNG	1	115
26-sep-23	124532	SNG	2	115
26-sep-23	125121	VIRM	1	110
26-sep-23	131226	VIRM	2	100
26-sep-23	131544	SNG	2	110
26-sep-23	132202	VIRM	1	90
26-sep-23	132932	Goederen	1	60
26-sep-23	133946	VIRM	2	90
26-sep-23	134213	SNG	1	115
26-sep-23	134536	SNG	2	115
26-sep-23	135007	VIRM	1	90
26-sep-23	140908	VIRM	2	100
26-sep-23	143952	VIRM	2	110
26-sep-23	144624	SNG	2	100

Datum String	Tijd uu:mm:ss	Treintype String	Spoor Nummer	Snelheid km/uur
26-sep-23	145121	VIRM	1	90
26-sep-23	151228	SNG	1	110
26-sep-23	151617	VIRM	2	90
26-sep-23	152000	SNG	2	100
26-sep-23	152305	VIRM	1	90
26-sep-23	153823	VIRM	2	100
26-sep-23	155435	SNG	1	100
26-sep-23	155707	Goederen	2	80
26-sep-23	160857	SNG	1	90
26-sep-23	161207	VIRM	2	100
26-sep-23	161632	SNG	2	90

Tabel 2: Nameting 1

Datum	Tijd	Treintype	Spoor	Snelheid
String	uu:mm:ss	String	Nummer	km/uur
7-dec-23	94341	SNG	1	70
7-dec-23	95730	VIRM	1	80
7-dec-23	101006	VIRM	2	80
7-dec-23	101832	SNG	2	90
7-dec-23	102031	SNG	1	90
7-dec-23	102415	VIRM	1	90
7-dec-23	104721	SNG	1	100
7-dec-23	105235	VIRM	1	90
7-dec-23	111005	VIRM	2	90
7-dec-23	111019	Goederen	1	50
7-dec-23	111027	Goederen	1	65
7-dec-23	111423	SNG	1	95
7-dec-23	111838	SNG	2	90
7-dec-23	112403	VIRM	1	70
7-dec-23	113954	VIRM	2	80
7-dec-23	114150	SNG	1	100
7-dec-23	114824	SNG	2	105
7-dec-23	115659	VIRM	1	90
7-dec-23	120138	LOC	1	50
7-dec-23	120857	VIRM	2	70
7-dec-23	121157	SNG	1	100
7-dec-23	121825	SNG	2	85
7-dec-23	122201	VIRM	1	60
7-dec-23	122437	LOC	2	60
7-dec-23	123853	VIRM	2	70
7-dec-23	124126	SNG	1	100
7-dec-23	124900	SNG	2	70
7-dec-23	125420	VIRM	1	75
7-dec-23	130929	VIRM	2	75
7-dec-23	131203	SNG	1	90
7-dec-23	131815	SNG	2	90
7-dec-23	132658	VIRM	1	40
7-dec-23	133940	VIRM	2	90
7-dec-23	134153	SNG	1	100
7-dec-23	134832	SNG	2	90
7-dec-23	141503	VIRM	2	70
7-dec-23	141808	SNG	1	100
7-dec-23	141927	SNG	2	60
7-dec-23	142312	VIRM	1	80

Datum String	Tijd uu:mm:ss	Treintype String	Spoor Nummer	Snelheid km/uur
7-dec-23	144229	SNG	1	95
7-dec-23	145357	SNG	2	80
7-dec-23	150909	VIRM	2	60
7-dec-23	151304	SNG	1	100
7-dec-23	151822	SNG	2	80
7-dec-23	152344	Goederen	2	40
7-dec-23	153922	VIRM	1	85
7-dec-23	153948	VIRM	2	80
7-dec-23	154557	SNG	1	90
7-dec-23	154826	SNG	2	80

Tabel 3: nameting 2

Datum	Tijd	Treintype	Spoor	Snelheid
String	uu:mm:ss	String	Nummer	km/uur
24-Oct-2024	102100	VIRM	2	136
24-Oct-2024	102332	SNG	1	86
24-Oct-2024	103238	Goederen	2	74
24-Oct-2024	103822	VIRM	2	122
24-Oct-2024	104112	SNG	1	107
24-Oct-2024	104716	SNG	2	107
24-Oct-2024	104900	VIRM	1	122
24-Oct-2024	110906	VIRM	2	118
24-Oct-2024	111111	SNG	1	113
24-Oct-2024	111733	SNG	2	113
24-Oct-2024	111945	VIRM	1	135
24-Oct-2024	113937	VIRM	2	127
24-Oct-2024	114120	SNG	1	126
24-Oct-2024	114711	SNG	2	113
24-Oct-2024	114855	VIRM	1	126
24-Oct-2024	120003	Goederen	1	76
24-Oct-2024	120819	VIRM	2	130
24-Oct-2024	121051	SNG	1	119
24-Oct-2024	121801	SNG	2	102
24-Oct-2024	122012	VIRM	1	126
24-Oct-2024	122953	Goederen	2	81
24-Oct-2024	123143	Goederen	1	87
24-Oct-2024	123809	VIRM	2	140
24-Oct-2024	124105	SNG	1	113
24-Oct-2024	124710	SNG	2	97
24-Oct-2024	125004	VIRM	1	127
24-Oct-2024	125618	Goederen	1	80
24-Oct-2024	130757	VIRM	2	118
24-Oct-2024	131803	SNG	2	97
24-Oct-2024	132009	VIRM	1	136
24-Oct-2024	133748	VIRM	2	133
24-Oct-2024	134047	SNG	1	119
24-Oct-2024	134735	SNG	2	86
24-Oct-2024	134927	VIRM	1	140
24-Oct-2024	140825	VIRM	2	130
24-Oct-2024	141055	SNG	1	134
24-Oct-2024	142211	VIRM	2	126
24-Oct-2024	143822	VIRM	2	145
24-Oct-2024	144107	SNG	1	107

24-Oct-2024	144757	SNG	2	86
24-Oct-2024	145022	VIRM	1	133

movares

smart
urban
engineering