

WEEBOOST



INVLOED VAN ONDERHOUD OP TRILLINGEN

**OMGEVINGSGERICHT
BEHEER EN ONDERHOUD**

COLOFON

Auteurs	Pieter Boon Jisca Diederik Marjolein Hordijk
Controle en vrijgave	Pieter Boon pieter@we-boost.nl +31 6 10 03 94 54
Projectcode	WBD2022-055
Versienr	1.0
Datum	26 november 2024
Status	Definitief
Opdrachtgever	ProRail



Voor dit onderzoek is gebruik gemaakt van metingen die zijn uitgevoerd door D2S International.



© We-Boost 2024

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 We-Boost.

DE KERN VAN DIT RAPPORT

Het kabinet wil het vervoer per spoor stimuleren. Vervoer per spoor is duurzaam en veilig en past in de transitie naar een klimaatneutrale samenleving. Voor een intensivering van het vervoer van goederen en reizigers is draagvlak in de omgeving nodig om met name nachtelijk (goederen)verkeer door bewoond gebied acceptabel te maken. ProRail onderzoekt in opdracht het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat welke maatregelen de spoortrillingen bij de bron kunnen verminderen. Dit doet ProRail in het Innovatieprogramma Bronaanpak Spoortrillingen (IBS). Door het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat is budget gereserveerd voor het IBS om meer grip te krijgen op de beheersing van overlast door spoortrillingen. Door middel van (onder meer) praktijkproeven moet meer inzicht worden gekregen in het effect van innovaties in infra en materieel op spoortrillingen.

Doelstelling van de in het voorliggend rapport beschreven praktijkproef is om inzicht te krijgen in het effect van onderhoud op trillingsniveaus in de omgeving. Door het vastleggen van het uitgevoerde onderhoud en het gelijktijdig meten van trillingen in de omgeving, is een verband gelegd tussen optredende veranderingen in die trillingen en het uitgevoerde onderhoud.

De hoofdvraag van dit onderzoek is als volgt geformuleerd:

Wat is het effect van spooronderhoud op trillingen in de omgeving?

Naast deze hoofdvraag wordt ook gekeken naar de duur van het effect, verschillen tussen verschillende types onderhoud en bijvoorbeeld of het treintype of de rijnsnelheid ook invloed heeft op het effect van het onderhoud.

Om de hoofdvraag te beantwoorden is onderzoek uitgevoerd aan verschillende onderdelen van het spoorstelsel op in totaal 10 locaties. Zo zijn er metingen verricht aan ES-lassen, wissels, rond overwegen, kunstwerken en bij doorgaand spoor. De aanpak op elke locatie is identiek, en volgt het Uniform Meetprotocol Spoortrillingen van het IBS:

1. Een meting voorafgaand aan het onderhoud, waarbij we op verschillende afstanden van het spoor de trillingen vastleggen.
2. Een meting die van enkele weken voorafgaand aan het onderhoud tot enkele weken of maanden na het onderhoud de trillingen op een vast punt vastlegt.
3. Een meting na het onderhoud, waarbij we op verschillende afstanden van het spoor de trillingen vastleggen. De meting wordt uitgevoerd op exact dezelfde posities als de voormeting.

Het uitgevoerde onderhoud is vastgelegd door middel van inspecties en onderhoudsstaten. Met behulp van een data analyse met een random forest algoritme is onderzocht (1) of het onderhoud invloed heeft op de omgevingstrillingen, en (2) welke parameters dit onderhoudseffect beïnvloeden.

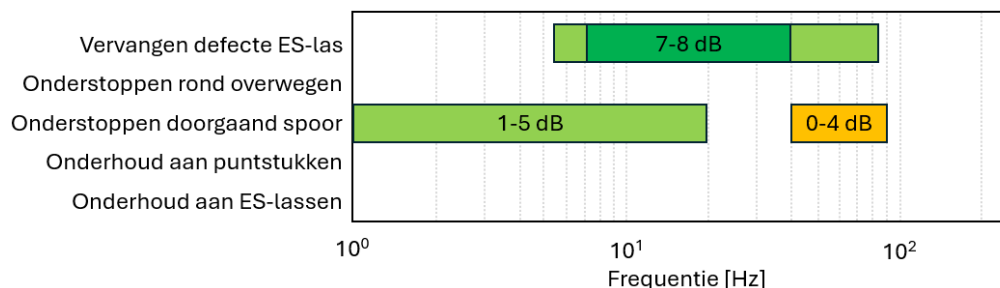
CONCLUSIES

In het onderzoek hebben we onderscheid gemaakt tussen twee types onderhoud: licht, vooral handmatig onderhoud bij ES-lassen en puntstukken, en uitgebreider regulier onderhoud in de vorm van machinaal onderstoppen.

Uit het onderzoek en de data-analyse volgt, in antwoord op de hoofdvraag, dat:

1. Het **effect van licht, handmatig onderhoud op de trillingen is nihil**. Soms is er enkele dagen een licht effect waarneembaar, maar in de meeste gevallen is er geen effect. Na enkele dagen is er sowieso geen effect meer zichtbaar.
2. Het **effect van machinaal onderstoppen is wisselend**:
 - a. Bij overwegen is er geen effect, ook omdat de laatste meters voor en na de overweg niet worden onderstopt.
 - b. Bij doorgaand spoor is er, vooral bij lage trillingsfrequenties en vooral voor de horizontale trillingen, een voelbaar positief effect. Dit effect kan langere tijd aanhouden, vooral bij lage trillingsfrequenties (onder de 8 Hz) is ook na een maand nog een duidelijk effect waarneembaar. Wel zien we dat bij hoge trillingsfrequenties (boven de 40 Hz) de trillingen door onderstoppen kunnen toenemen. Een mogelijke verklaring hiervoor is de gewijzigde contactdruk van de ballast door het onderstoppen.
 - c. Bij ES-lassen en puntstukken is nog onvoldoende onderzoek uitgevoerd om conclusies te kunnen trekken.

Een samenvattend overzicht met de belangrijkste bevindingen van dit onderzoek is hieronder weergegeven. **Donkergroen** betekent een sterk en voelbare afname, **lichtgroen** een licht, meestal voelbare afname en **oranje** een licht, meestal voelbare toename van de trillingen. Wit betekent dat er geen effect is, of dat dit kortdurend is (maximaal enkele dagen).



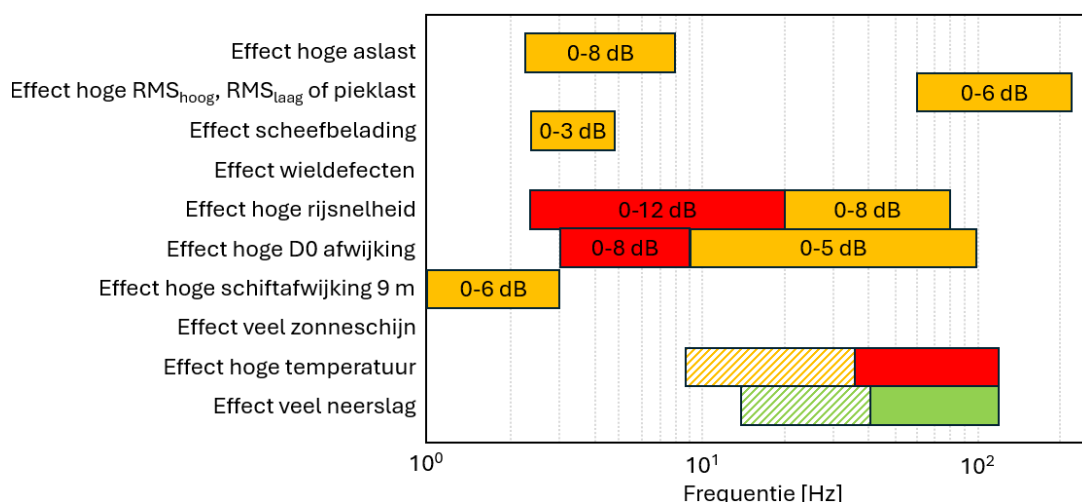
Belangrijke bijvangsten van dit onderzoek zijn:

- A. Het onderhoud wordt vaak niet optimaal uitgevoerd:
 - a. Bij ES-lassen is de wachttijd voor kopvulling onvoldoende, wordt geen ballast aangevuld en wordt niet gebruik gemaakt van de juiste onderstopapparatuur om blinde vering te verminderen, met name bij dubbelliggers.
 - b. Bij puntstukken van wissels wordt regelmatig gebruik gemaakt van een accu-slijptol om het puntstuk te slijpen in plaats van een wisselslijper, waardoor het effect en de nauwkeurigheid van het slijpen mogelijk lager zijn.
 - c. Rond overwegen worden bij machinaal onderstoppen de laatste dwarsliggers niet onderstopt. Hierdoor kunnen de trillingen toenemen, tenzij specifiek aandacht wordt besteed aan de laatste dwarsliggers rond de overweg.
- B. Het effect van onderstoppen op locaties met blinde vering is groter bij treinen met een hogere onafgeveerde massa, zoals de TRAXX-locomotief.



- C. Door onderstoppen kan de invloed van de rijsnelheid op de trillingen toenemen. Mogelijk is dit een tijdelijk effect, veroorzaakt door gewijzigde contactdruk van de ballast.
- D. Het effect van onderhoud aan ES-lassen en puntstukken lijkt meer effect te hebben op treinen die met lage snelheid passeren. Mogelijk komt dit doordat een trein op lage snelheid meer effect ondervindt van dergelijke puntbronnen dan een trein op hoge snelheid.
- E. De rijsnelheid van treinen heeft veel meer invloed op de trillingen in de buurt van harde punten (m.n. overwegen en overgangen kunstwerk-aardebaan, in mindere mate ook bij ES-lassen) dan op doorgaand spoor. Mogelijk hangt dit ook samen met de vaak slechtere spoorligging bij dergelijke harde punten, waardoor het effect van de snelheid wordt vergroot.
- F. Perioden met veel neerslag kunnen zorgen voor lagere trillingen, met name bij hoge frequenties (relevant bij woningen dichtbij het spoor). Het effect van neerslag verschilt tussen locaties
- G. Perioden met hoge temperaturen kunnen zorgen voor hogere trillingen, met name bij frequenties boven de 10 Hz.
- H. Het vervangen van defecte spoorcomponenten (hier een ES-las) kan zorgen voor een forse afname van de trillingen.
- I. Van alle BBMS-parameters heeft de korte golf D0 de grootste correlatie met de trillingen. Dit zit zo ook in de tool 'Hotspots in beeld', maar de exacte relatie is onduidelijk. Wel zien we dat de tool 'Hotspots in beeld' soms aangeeft dat een spoor qua trillingen maatgevend zou moeten zijn, maar uit de metingen blijkt dat dit niet zo is. Blijkbaar is de exacte samenhang tussen de korte golf D0 en de hoogte van de trillingen onvoldoende scherp in beeld.
- J. Bij lage trillingsfrequenties speelt de schifafwijking een rol in het ontstaan van de trillingen.

Een samenvattend overzicht met de belangrijkste bijvangsten van dit onderzoek is hieronder weergegeven. Voor treinparameters, spoorliggingsparameters en weergegevens is het belangrijkste effect weergegeven. **Lichtgroen** betekent een lichte, meestal voelbare afname, **oranje** een lichte, meestal voelbare toename van de trillingen en **rood** een sterk voelbare toename van de trillingen. Een gearceerd vak geeft aan dat het effect onzeker is of sterk verschilt van plek tot plek.



AANBEVELINGEN

Op basis van dit onderzoek doen we de volgende aanbevelingen:

1. Voor onderhoud:
 - a. Volg bij onderhoud aan ES-lassen de juiste procedure (eerst onderstoppen, dan kopvulling, dan slijpen), neem voldoende tijd voor het uitharden van de kopvulling, vul



waar nodig ballast aan en maak gebruik van een krol + Windhoff in plaats van handmatig onderstoppen.

- b. Maak minder gebruik van handmatige apparaten bij spooronderhoud. Een accuslijptol geeft minder goede resultaten dan een wisselslijper, en een handmatige trilnaald (wacker) geeft mindere resultaten dan een krol + Windhoff. Zeker bij dubbelliggers is de juiste apparatuur nodig.
- c. Controleer altijd de ballasthoogte bij onderstoppen, en vul waar nodig aan of vernieuw de ballast om langduriger effect van onderstoppen te garanderen.
- d. Verwijder bij machinaal onderstoppen rond overwegen met rubberen overwegbevloering de rubberen beplating, zodat de spoorligging beter blijft.
- e. Besteed rond overwegen met betonnen overwegbevloering meer aandacht aan de laatste dwarsliggers. Deze worden bij machinaal onderhoud overgeslagen, maar zijn het meest belangrijk als bron van omgevingstrillingen.

2. Voor aanvullend onderzoek:

- a. Doe meer onderzoek naar het effect van het onderstoppen van ballast, waarbij ook nadrukkelijk gekeken wordt naar andere manieren van verdichten, het aanvullen van ballast en niet handmatig onderstoppen bij ES-lassen en puntstukken. Het huidige onderzoek is gebaseerd op een beperkt aantal locaties, waardoor de conclusies ten aanzien van het effect van onderstoppen onzeker zijn.
- b. Er zijn grote verschillen in trillingen tussen op het oog vergelijkbare sporen. Dit wordt naar verwachting veroorzaakt door de spoorligging, maar volgt niet direct uit de BBMS-gegevens of de tool 'Hotspots in beeld'. We adviseren om gericht onderzoek te doen naar het effect van de spoorligging op de trillingen, bijvoorbeeld door de nu in ontwikkeling zijnde STEM-tool uitgebreid te valideren met werkelijke spoorliggingsgegevens. Dat kan vervolgens aanknopingspunten bieden voor het verbeteren en beter houden van de spoorligging.
- c. Doe meer onderzoek naar het effect van weersomstandigheden op de gemeten trillingen. Deze kunnen, afhankelijk van de locatie, een sterke invloed op de gemeten trillingen hebben en daarmee de betrouwbaarheid van het onderzoek negatief beïnvloeden. Onderzoek ook waarom weersinvloeden zoals temperatuur en neerslag op de ene locatie meer invloed hebben dan op de andere locatie.



INHOUDSOPGAVE

I.	INLEIDING	10
1.1.	Aanleiding	10
1.2.	Doel	10
1.3.	Leeswijzer	10
2.	AANPAK	13
3.	RESULTATEN	18
3.1.	Uitgevoerd onderhoud per locatie	18
3.2.	Gemeten trillingen per locatie	31
4.	INVLOED VAN ONDERHOUD	50
4.1.	Inleiding	50
4.2.	Onderhoud type A – Regulier PGO-onderhoud	50
4.3.	Onderhoud type B – Onderstoppen	54
5.	BIJVANGST	61
5.1.	Inleiding	61
5.2.	Parameterdominantie: de trein	68
5.3.	Parameterdominantie: het spoor	76
5.4.	Parameterdominantie: bodem en omgeving	79
5.5.	Effect Vernieuwing en vervanging	81
6.	CONCLUSIES	83
6.1.	Conclusies	83
6.2.	Aanbevelingen	85
	BEGRIPPENLIJST	88
I.	BIJLAGE ONDERHOUDSSTATEN	95
II.	BIJLAGE MEETAANPAK EN RESULTATEN	96



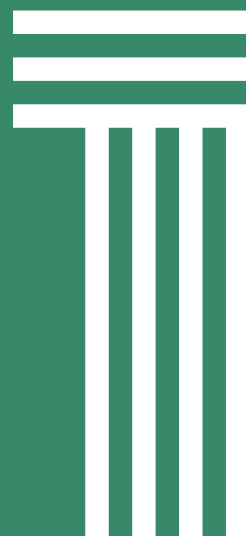




INLEIDING



In dit hoofdstuk geven we een korte omschrijving van de inhoud van dit onderzoek: de aanleiding, het doel van het onderzoek en een beknopte leeswijzer om informatie snel te kunnen vinden.



INLEIDING

1.1. AANLEIDING

Het kabinet wil het vervoer per spoor stimuleren. Vervoer per spoor is duurzaam en veilig en past in de transitie naar een klimaatneutrale samenleving. Voor een intensivering van het vervoer van goederen en reizigers is een “licence to grow” nodig: draagvlak in de omgeving om met name nachtelijk (goederen)verkeer door bewoond gebied acceptabel te maken. Met de aankondiging van een beleidsintensivering op het terrein van spoortrillingen heeft het Ministerie een belangrijke stap gezet om meer grip te krijgen op de beheersing van de overlast wegens spoortrillingen.

ProRail onderzoekt in opdracht het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat welke maatregelen de spoortrillingen bij de bron kunnen verminderen. Dit doet ProRail in het Innovatieprogramma Bronaanpak Spoortrillingen (IBS). Door het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat is budget gereserveerd voor het IBS om meer grip te krijgen op de beheersing van overlast door spoortrillingen.

1.2. DOEL

Doelstelling van deze praktijkproef is om inzicht te krijgen in het effect van onderhoud op trillingsniveaus in de omgeving. Door het vastleggen van het uitgevoerde onderhoud en het gelijktijdig meten van trillingen in de omgeving, kan een verband worden gelegd tussen eventueel optredende veranderingen in die trillingen en het uitgevoerde onderhoud.

De hoofdvraag van dit onderzoek is daarom als volgt geformuleerd:

Wat is het effect van spooronderhoud op trillingen in de omgeving?

Bij deze hoofdvraag zijn een aantal subvragen te stellen:

1. Hoe lang duurt het effect?
2. Is het effect afhankelijk van het type asset?
3. Is het effect afhankelijk van het type onderhoud, en in welke mate dat is uitgevoerd?
4. Verschilt het effect tussen treintypes?
5. Is het effect anders op andere afstanden tot het spoor?
6. Is het effect afhankelijk van andere parameters, zoals bodemtype of rijsnelheid van de treinen?

In dit onderzoek gaan we op zoek naar een antwoord op bovenstaande hoofd- en subvragen. We doen dat door middel van metingen en een data-analyse.

1.3. LEESWIJZER

Dit rapport is als volgt opgebouwd: in hoofdstuk 2 gaan we in op onze aanpak, in hoofdstuk 3 geven we de gebruikte data, zoals de gemeten trillingen en het uitgevoerde onderhoud. In hoofdstuk 4 analyseren we die data, en beantwoorden we bovenstaande hoofd- en subvragen. In hoofdstuk 5 gaan we in op bijvangst van dit onderzoek: interessante bevindingen die het waard zijn om vermeld te worden, maar niet helpen in het beantwoorden van de hoofd- en bijvragen. We sluiten af met conclusies en aanbevelingen in hoofdstuk 6.

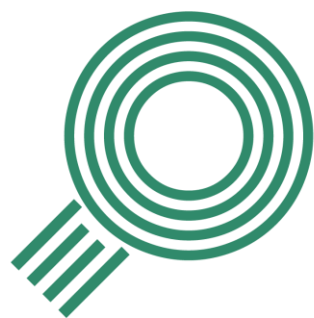


De bijlages bevatten achtergrondinformatie, zoals meetstaten van het onderhoud, detailresultaten van de verschillende meetlocaties en een begrippenlijst.





AANPAK



In dit hoofdstuk lichten we onze aanpak toe. Eerst gaan we in op de algemene aanpak, daarna geven we een toelichting per onderzoekslocatie (hotspot).



AANPAK

Om inzicht te krijgen in de hoofdvraag van dit onderzoek, namelijk wat het effect van onderhoud is op de trillingen in de omgeving, is de volgende aanpak gevolgd:

1. **Hotspots in beeld.** Op basis van een inventarisatie vanuit BBMS-spoorliggingsgegevens met de *Hotspots in beeld tool* zijn op voorhand locaties bepaald die als hotspots zijn gekenmerkt: locaties waar op basis van de spoorligging werd verwacht dat er (a) hogere trillingen zouden zijn, en (b) dat er onderhoud nodig zou zijn.
2. **Schouw.** Vervolgens is, op basis van een veldinventarisatie (waarbij alle locaties fysiek zijn bezocht) onderzoek gedaan naar de mogelijkheid om een juiste meting uit te voeren conform het Uniform Meetprotocol Spoortrillingen. Hierbij zijn de volgende checks gedaan:
 - a. Is het mogelijk om gedurende langere tijd aan een stabiel meetpunt te meten (liefst een gebouw) op niet te grote afstand van het spoor (liefst maximaal 20 meter)? Zijn er contactgegevens van de beheerders of bewoners van die gebouwen, en zo ja, willen ze meewerken?
 - b. Is het mogelijk om op maaiveld te meten, liefst op zo goed mogelijk reproduceerbare posities (verharding)?
 - c. Is het mogelijk om op meerdere afstanden van het spoor te meten, zodat het effect van onderhoud als functie van de afstand kan worden vastgesteld?
 - d. Is er geen sprake van significante verstoringsbronnen van de trillingen?
 - e. Is er zicht op het spoor voor een camera-opstelling, om type en snelheid van de treinen goed vast te kunnen leggen?

Op basis van deze stap is een aantal locaties afgefallen, omdat daar geen metingen konden worden uitgevoerd. Voorbeelden hiervan zijn locaties die in moerassen liggen, rondom omgeven zijn door water of op agrarische percelen liggen waar tijdens de meetperiode gewassen werden gezaaid of geoogst (waardoor geen representatieve nameting onder dezelfde omstandigheden kon worden uitgevoerd).

3. **Onderhoudsplanning.** Hierna is contact gezocht met de PGO-aannemer (AssetRail) om inzicht te krijgen in het onderhoud per hotspot. Hierbij zijn de volgende vragen gesteld:
 - a. Wanneer vindt onderhoud plaats?
 - b. Welk onderhoud vindt plaats?
 - c. Zijn er nog andere locaties waar onderhoud plaatsvindt?

Op basis van deze stap is een aantal locaties afgefallen, omdat daar geen onderhoud plaatsvindt (de lijst uit de *Hotspots in beeld tool* (stap 1) was gebaseerd op een oudere meetcampagne van BBMS, dus niet op de meest recente, waardoor een deel van de onderhoudspunten al was verholpen).

4. **Keuze hotspots.** Op basis van de resultaten uit stap 1, 2 en 3 is een keuze gemaakt voor welke locaties worden onderzocht. Hierbij is rekening gehouden met de volgende aspecten:
 - a. Diversiteit in type asset. Er is gemeten aan diverse types assets, zoals ES-lassen, puntstukken, overwegen en overgangen bij kunstwerken, om voor verschillende types onderhoud en verschillende assettypes de hoofdvraag te kunnen beantwoorden.
 - b. Mogelijkheid om een goede, betrouwbare meting uit te kunnen voeren. Denk hierbij aan de beschikbaarheid van een meetpunt op een stabiele ondergrond, soms de aanwezigheid van netvoeding om te kunnen meten en de aanwezigheid van stoorbronnen.



De locaties waar uiteindelijk metingen zijn verricht, zijn weergegeven in Figuur 1. De kenmerken per locatie hebben we opgenomen in Tabel 1. Meer details per locatie zijn in de volgende paragrafen en hoofdstukken opgenomen.



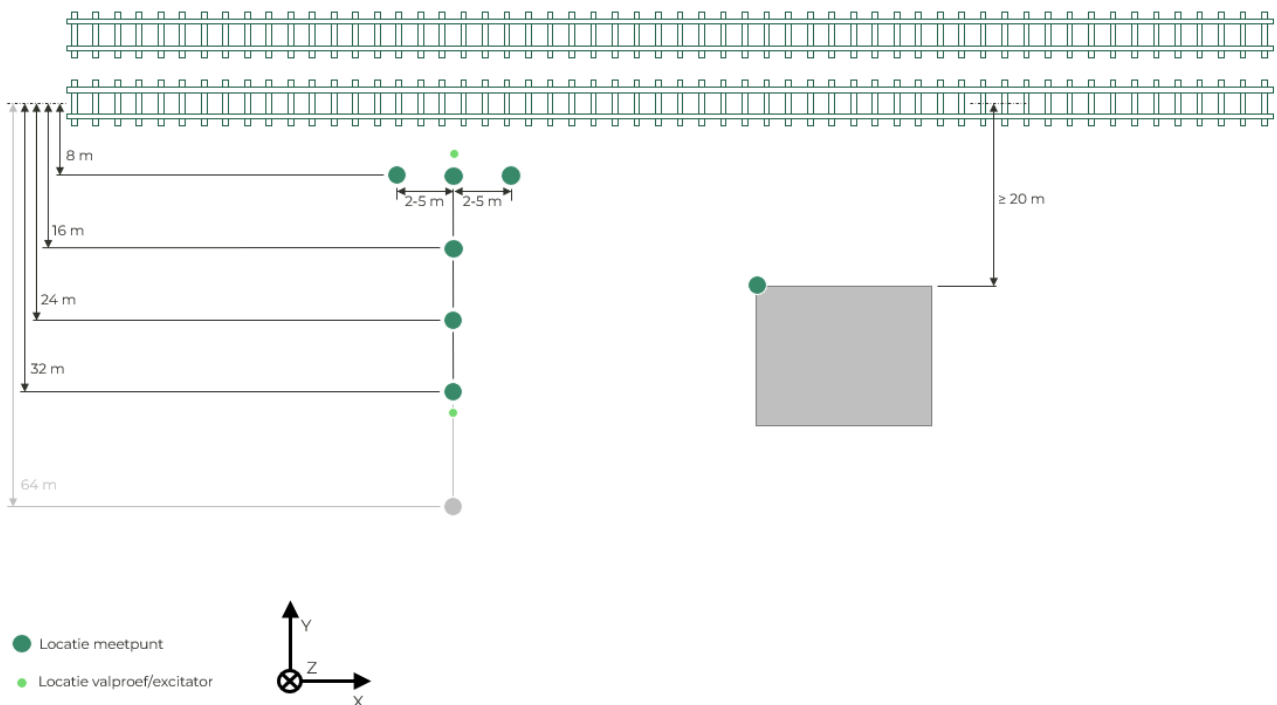
Figuur 1 Locaties waar onderzoek is verricht

Tabel 1 Kenmerken per locatie

Locatie	Geocode	Kilometrering	Aantal sporen	Type asset	Type onderhoud
Breda	121	3.8	2	Betonnen overweg ES-lassen	Machinaal onderstoppen
Dorst	123	6.3	2	Rubberen overweg ES-lassen	Machinaal onderstoppen
Tilburg Reeshof	123	16.3	2	Kunstwerk beton	Machinaal onderstoppen
Tilburg Universiteit	123	19.9	3	Puntstukken	Slijpen Bouten aandraaien
Best	054	47.1	4	Puntstukken ES-lassen Doorgaand spoor	Machinaal onderstoppen
Nuenen	055	46.8	2	Doorgaand spoor	Machinaal onderstoppen
America	055	15.3	2	ES-lassen	Slijpen Kopvulling Handmatig onderstoppen
Horst	055	11.5	2	Betonnen overweg ES-lassen	Slijpen Kopvulling Handmatig onderstoppen
Gouda	105	28.94	5	Kunstwerk beton	Machinaal onderstoppen
Oudewater	105	24.92	2	Kunstwerk beton	Machinaal onderstoppen

5. Uitvoeren meting. Per locatie is een voormeting (uitgebreide meting 1 tot 2 weken voor onderhoud), een lange meting (vast meetpunt van 1 tot 2 weken voor onderhoud tot minimaal 4 weken na onderhoud (in lijn met het Uniform Meetprotocol Spoortrillingen) en een nameting (uitgebreide meting ca. 4 weken na onderhoud) uitgevoerd. Op sommige locaties, waar sprake was van meer variatie in de trillingen, is gedurende een half jaar gemeten in de periode na onderhoud. Waar mogelijk is de standaardopstelling uit het Uniform Meetprotocol Spoortrillingen aangehouden, zoals getoond in Figuur 2. Afwijkingen hiervan zijn:

- Op sommige locaties kruist de meetopstelling een weg, dus is de afstand aangepast zodat meetpunten niet middenop een weg staan.
- Op sommige locaties is er geen vast punt buiten 20 meter, en is een vast punt binnen 20 meter gekozen.
- Op sommige locaties is het, bijvoorbeeld door de aanwezigheid van sloten, niet mogelijk om meetpunten op 8 meter te zetten, dus zijn die meetpunten verplaatst of vervallen.
- Op sommige locaties is het, door de aanwezigheid van sloten of obstakels, niet mogelijk om een (volledige) meetraai te plaatsen. In die gevallen is de meetraai ingekort of zijn meerdere punten parallel aan het spoor gekozen op een vaste afstand, zodat op minder afstanden uitspraken kunnen worden gedaan over het effect van het onderhoud.
- Op sommige locaties is de afstand aangepast, zodat kon worden gemeten op een zo stabiel mogelijke ondergrond (liever asfalt dan elementenverharding, liever elementenverharding dan gras).
- Het meetpunt op 64 meter is vervallen, dit meetpunt was in de praktijk op vrijwel geen enkele locatie waar onderzoek moest worden gedaan, te plaatsen.



Figuur 2 Standaard meetopstelling vanuit Uniform Meetprotocol IBS. Afstand van 64 meter is in dit onderzoek altijd vervallen

6. Verwerken meting. Vervolgens zijn de meetresultaten verwerkt, door de gemeten trillingen te koppelen aan PAB-gegevens (passagetijden van ProRail) en QuoVadis-gegevens (gegevens

van de treinen op wielniveau Vervuiling is gefilterd op basis van een slim algoritme. Resultaten staan in hoofdstuk 3.

- 7. Vastleggen van onderhoud.** Afhankelijk van het uitgevoerde type onderhoud, zijn de uitgevoerde activiteiten tijdens het onderhoud vastgelegd door middel van een fysieke inspectie (aanwezigheid inspecteur, vastleggen in rapportage, foto's en videos) of door middel van uitdraaien uit bijvoorbeeld een onderstoptrein (schift- en lichtplots). Resultaten staan in hoofdstuk 3, details zijn te vinden in Bijlage I.
- 8. Verzamelen van andere relevante data.** Elke treinpassage is gekoppeld aan aanvullende, relevante data. Die data is in vijf delen op te delen:
 - a. Data m.b.t. de locatie. Denk hierbij aan informatie over de ondergrond, informatie over de profilering van het landschap (hoogteligging, sloten).
 - b. Data m.b.t. het spoor. Denk hierbij aan informatie over de spoorligging op het moment van meten.
 - c. Data m.b.t. het onderhoud. Denk hierbij aan informatie over het uitgevoerde onderhoud (datum, type onderhoud).
 - d. Data m.b.t. de treinen. Denk hierbij aan treintypes, onderhoudsgegevens en rijnsnelheid.
 - e. Data m.b.t. overige omstandigheden. Denk hierbij aan bijvoorbeeld gegevens over het weer.
- 9. Exploratie.** Om gevoel te krijgen bij de resultaten en zin van onzin te onderscheiden, is daarna een data-exploratie uitgevoerd. Hierbij is op basis van een statistische analyse gekeken naar outliers in de data, zijn correlaties tussen parameters onderzocht en is gekeken naar de samenhang tussen parameters (welke parameters zijn wel/niet onafhankelijk van elkaar?). Meer detail over de aanpak is te vinden in Bijlage III, hier zijn ook resultaten van deze analyse opgenomen.
- 10. Random forest analyse.** Vervolgens is met behulp van een random forest model de parameterdominantie als functie van de frequentie en golflengte per treintype, per meetpunt en per locatie vastgesteld. Dit geeft inzicht in welke parameters wel en niet bijdragen aan de trillingen en de invloed van het uitgevoerde onderhoud. Meer detail over de aanpak is te vinden in Bijlage III, de resultaten zijn te vinden in hoofdstuk 4 en 5.
- 11. Beantwoorden onderzoeksvragen.** Als laatste stap in het proces beantwoorden we de onderzoeksvragen op basis van de uitkomsten uit de voorgaande stappen. Dit staat in hoofdstuk 4 en 6.





RESULTATEN



In dit hoofdstuk geven wij de daadwerkelijk gemeten resultaten: welke trillingen zijn gemeten, welk onderhoud is uitgevoerd, en welke gegevens hebben we nog meer gebruikt voor dit onderzoek?



3. RESULTATEN

3.1. UITGEVOERD ONDERHOUD PER LOCATIE

In deze paragraaf staat meer in detail welk onderhoud per locatie is uitgevoerd. Ook gaan we hier in op BBMS-data voor en na onderhoud.

3.1.1. BREDA – GEOCODE 121 – KM 3.8

De relevante assets op deze locatie staan in Tabel 2 weergegeven, inclusief het daaraan uitgevoerde onderhoud.

Tabel 2 Assets en uitgevoerd onderhoud

Asset	Datum onderhoud	Uitgevoerd onderhoud
Betonnen overweg spoor NK		Geen
Betonnen overweg spoor MK		Geen
Spoor in ballast NK	2-3 augustus 2023	Onderstoptrein tot ca. 10 meter voor en na overweg - Hefwaarde 15 mm - Onderstopdiepte 381 mm - Knijptijd 1.2 seconde - Gemeten D1-afwijking 4.5 mm
Spoor in ballast MK	15-16 oktober 2023	Onderstoptrein aan oprijdende kant - Hefwaarde 15 mm - Onderstopdiepte 381 mm - Knijptijd 1.2 seconde - Gemeten D1-afwijking oprijdende kant 6.5 mm - Gemeten D1-afwijking afrijdende kant 4.5 mm
ES-lassen spoor NK km. 3.824		Geen
ES-lassen spoor NK km. 3.795		Geen
ES-lassen spoor MK km. 3.818		Geen
ES-lassen spoor MK km. 3.785		Geen

De veranderingen in spoorligging tussen de meting voor en na onderhoud zijn weergegeven in Tabel 3. Opvallend is hierbij dat bij spoor MK de spoorligging is veranderd tussen de meetmomenten aan de afrijdende kant, waar juist geen onderhoud heeft plaatsgevonden.

Tabel 3 Wijzigingen in spoorligging rond onderhoudsmoment

Spoor	Hoogte 10 m	Schift 9 m	Korte golf D0	Korte golf hoogte 1 m
NK	Geen	Geen	Geen	Geen
MK	Beter	Slechter	Geen	Geen

3.1.2. DORST – GEOCODE 123 – KM 6.3

De relevante assets op deze locatie staan in Tabel 4 weergegeven, inclusief het daaraan uitgevoerde onderhoud.

Tabel 4 Assets en uitgevoerd onderhoud

Asset	Datum onderhoud	Uitgevoerd onderhoud
Rubberen overweg spoor DH		Geen
Rubberen overweg spoor AH		Geen
Spoor in ballast DH		Geen
Spoor in ballast AH	18 augustus 2023	Onderstoptrein aan oprijdende kant • Hefwaarde 10 mm • Gemeten D1-afwijking oprijdende kant 4.0 mm • Gemeten D1-afwijking afrijdende kant 2.5 mm
ES-lassen spoor AH km. 6.320		Geen
ES-lassen spoor AH km. 6.349		Geen
ES-lassen spoor DH km. 6.317		Geen
ES-lassen spoor DH km. 6.353		Geen

De veranderingen in spoorligging tussen de meting voor en na onderhoud zijn weergegeven in Tabel 5. Er zijn geen significante verschillen tussen voor en na onderhoud.

Tabel 5 Wijzigingen in spoorligging rond onderhoudsmoment

Spoor	Hoogte 10 m	Schift 9 m	Korte golf D0	Korte golf hoogte 1 m
AH	Geen	Geen	Geen	Geen
DH	Geen	Geen	Geen	Geen



3.1.3. TILBURG REESHOF – GEOCODE 123 – KM 16.3

De relevante assets op deze locatie staan in Tabel 6 weergegeven, inclusief het daaraan uitgevoerde onderhoud.

Tabel 6 Assets en uitgevoerd onderhoud

Asset	Datum onderhoud	Uitgevoerd onderhoud
Spoor in ballast DH	16 augustus 2023	Onderstoptrein - Hefwaarde 15 tot 25 mm - Onderstopdiepte 381 mm - Knijptijd 1.2 seconde - Gemeten D1-afwijking 4.0 mm
Spoor in ballast AH	16 augustus 2023	Onderstoptrein - Hefwaarde 20 tot 30 mm - Onderstopdiepte 381 mm - Knijptijd 1.2 seconde - Gemeten D1-afwijking 4.0 mm

De veranderingen in spoorligging tussen de meting voor en na onderhoud zijn weergegeven in Tabel 7. Er zijn geen significante verschillen tussen voor en na onderhoud.

Tabel 7 Wijzigingen in spoorligging rond onderhoudsmoment

Spoor	Hoogte 10 m	Schift 9 m	Korte golf D0	Korte golf hoogte 1 m
AH	Beter	Geen	Geen	Geen
DH	Beter	Slechter	Geen	Geen

3.1.4. TILBURG UNIVERSITEIT – GEOCODE 123 – KM 19.9

De relevante assets op deze locatie staan in Tabel 8 weergegeven, inclusief het daaraan uitgevoerde onderhoud. Een uitgebreid rapport is te vinden in Bijlage I.

Tabel 8 Assets en uitgevoerd onderhoud

Asset	Datum onderhoud	Uitgevoerd onderhoud
Spoor in ballast DH		Geen
Spoor in ballast AH		Geen
Spoor in ballast 923		Geen
Puntstuk spoor DH km. 19.860	3 juni 2023	Handmatig onderhoud • Aandraaien losse bouten • Slijpen puntstuk met haakse slijper • Slijpen tongbeweging met haakse slijper
Puntstuk spoor AH km. 19.883	3 juni 2023	Handmatig onderhoud • Aandraaien losse bouten • Slijpen puntstuk met haakse slijper • Slijpen tongbeweging met haakse slijper
Puntstuk spoor AH km. 19.947	3 juni 2023	Handmatig onderhoud • Aandraaien losse bouten • Slijpen puntstuk met haakse slijper • Slijpen tongbeweging met haakse slijper
Puntstuk spoor 923 km. 19.970	3 juni 2023	Handmatig onderhoud • Aandraaien losse bouten • Slijpen puntstuk met haakse slijper • Slijpen kruisstuk met haakse slijper • Slijpen tongbeweging met haakse slijper
Puntstuk spoor 923 km. 19.995	3 juni 2023	Handmatig onderhoud • Aandraaien losse bouten • Slijpen puntstuk met haakse slijper • Slijpen kruisstuk met haakse slijper • Slijpen tongbeweging met haakse slijper
ES-las spoor DH km. 19.905		Geen

Een foto van het handmatig slijpen (met een haakse slijper) is weergegeven in Figuur 3.





Figuur 3 Handmatig slijpen van puntstuk

De veranderingen in spoorligging tussen de meting voor en na onderhoud zijn weergegeven in Tabel 9. Er zijn geen significante verschillen tussen voor en na onderhoud.

Tabel 9 Wijzigingen in spoorligging rond onderhoudsmoment

Spoor	Hoogte 10 m	Schift 9 m	Korte golf D0	Korte golf hoogte 1 m
923	Niet gemeten	Niet gemeten	Niet gemeten	Niet gemeten
AH	Geen	Geen	Geen	Geen
DH	Geen	Geen	Geen	Geen

3.1.5. BEST – GEOCODE 054 – KM 47.1

De relevante assets op deze locatie staan in Tabel 10 weergegeven, inclusief het daaraan uitgevoerde onderhoud.

Tabel 10 Assets en uitgevoerd onderhoud

Asset	Datum onderhoud	Uitgevoerd onderhoud
Spoor in ballast AC		Geen
Spoor in ballast BC		Geen
Spoor in ballast CC	10 oktober 2023	Onderstoptrein km. 46.995 tot km. 47.105 - Hefwaarde 0 tot 25 mm - Onderstopdiepte 381 mm - Knijptijd 0.7 tot 2.8 seconde - Gemeten D1-afwijking 4.0 mm
Spoor in ballast DC		Geen
Punststuk spoor DC km. 46.925		Geen
Punststuk spoor CC km. 46.948		Geen
ES-las spoor AC km. 46.900		Geen
ES-las spoor AC km. 47.062		Geen
ES-las spoor BC km. 46.900		Geen
ES-las spoor BC km. 47.075		Geen
ES-las spoor CC km. 47.000	6 november 2023	Vervanging ES-las
ES-las spoor DC km. 47.050		Geen

De veranderingen in spoorligging tussen de meting voor en na onderhoud zijn weergegeven in Tabel 11. Opvallend is dat de hoogte-afwijking op de 10 meter koorde slechter is geworden tijdens de meetperiode (hier heeft ook geen onderhoud plaatsgevonden). Bij spoor CC, waar onderhoud heeft plaatsgevonden, zien we een verbetering van de spoorligging. Opvallend is dat de hoogte-afwijking op de 10 meter koorde en de schift op de 9 meter koorde vooral afnemen door het onderstoppen, en de korte golf vooral door het vervangen van de ES-las.

Tabel 11 Wijzigingen in spoorligging rond onderhoudsmoment

Spoor	Hoogte 10 m	Schift 9 m	Korte golf D0	Korte golf hoogte 1 m
AC	Slechter	Geen	Geen	Geen
BC	Geen	Geen	Geen	Geen
CC	Beter	Beter	Beter	Beter
DC	Geen	Geen	Geen	Geen

3.1.6. NUENEN – GEOCODE 055 – KM 46.8

De relevante assets op deze locatie staan in Tabel 12 weergegeven, inclusief het daaraan uitgevoerde onderhoud. Op deze locatie is het onderhoud uitgevoerd tijdens de meetperiode op spoor GB, maar er zijn geen treinen gemeten voorafgaand aan het onderhoud.

Tabel 12 Assets en uitgevoerd onderhoud

Asset	Datum onderhoud	Uitgevoerd onderhoud
Spoor in ballast HB		Geen
Spoor in ballast GB		Geen
Betonnen overweg spoor HB		Geen
Betonnen overweg spoor GB		Geen
ES-las spoor GB km. 46.830		Geen

De veranderingen in spoorligging tussen de meting voor en na onderhoud zijn weergegeven in Tabel 13. Het onderhoud, dat plaats heeft gevonden aan spoor GB, is in de najaarscampagne van 2024 niet meer terug te zien.

Tabel 13 Wijzigingen in spoorligging rond onderhoudsmoment

Spoor	Hoogte 10 m	Schift 9 m	Korte golf D0	Korte golf hoogte 1 m
HB	Geen	Geen	Geen	Geen
GB	Geen	Geen	Geen	Geen



3.1.7. AMERICA – GEOCODE 055 – KM 15.3

De relevante assets op deze locatie staan in Tabel 2 weergegeven, inclusief het daaraan uitgevoerde onderhoud. Een uitgebreid rapport is te vinden in Bijlage I.

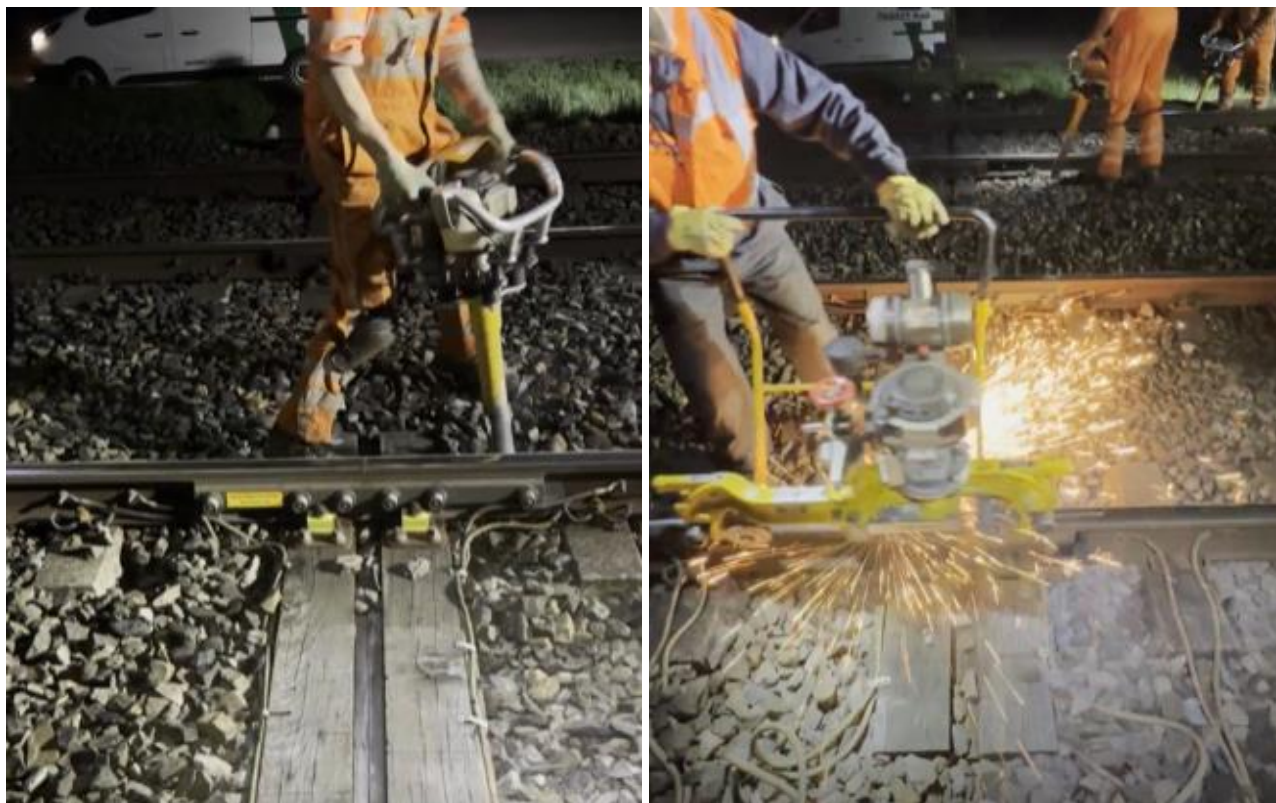
Tabel 14 Assets en uitgevoerd onderhoud

Asset	Datum onderhoud	Uitgevoerd onderhoud
Spoor in ballast HE		Geen
Spoor in ballast HE		Geen
ES-lassen spoor HE km. 15.305	29-30 april 2023	Handmatig onderhoud middels slijpen + wackeren - Linkerbeen: Edilon lijmlas op dubbelligger - Kopvulling toegepast - Slijpen - Handmatig gewackerd (4 min.), gat niet opgevuld - Constateringen: - Kopvulling ingezakt want snel afgeslepen na aanbrengen - Plaatje ontbreekt deels voor onderhoud - Onderlegplaten scheef op rughellingplaat 0 mm hoogte-afwijking na onderhoud - Rechterbeen: NRG-las op dubbelligger - Kopvulling toegepast - Slijpen - Handmatig gewackerd (6 min.), gat niet opgevuld - Constateringen: - Kopvulling ingezakt want snel afgeslepen na aanbrengen - Overwalsing voor onderhoud 0 mm hoogte-afwijking na onderhoud
ES-lassen spoor GE km. 3.795	29-30 april 2023	Handmatig onderhoud middels slijpen + wackeren - Linkerbeen: ETS lijmlas op dubbelligger - Kopvulling toegepast - Slijpen - Handmatig gewackerd (4 min.), gat niet opgevuld - Constateringen - Kopvulling ingezakt want snel afgeslepen na aanbrengen 0 mm hoogte-afwijking na onderhoud - Rechterbeen: ETS lijmlas op dubbelligger - Kopvulling - Slijpen - Handmatig gewackerd (4 min.), gat niet opgevuld - Constateringen - Kopvulling ingezakt want snel afgeslepen na aanbrengen - Ruimte tussen onderkant spoorstaaf en bovenkant lasplaat



		0 mm hoogte-afwijking na onderhoud
--	--	--

Een foto van het wackeren (met trilstamper) en het slijpen is weergegeven in Figuur 4.



Figuur 4 Wackeren met trilstamper (links) en slijpen (rechts)

De veranderingen in spoorligging tussen de meting voor en na onderhoud zijn weergegeven in Tabel 15. Op spoor GE is een verslechtering van de korte golf zichtbaar tussen het moment voor en na onderhoud, maar relevant hierbij is wel dat de voorjaarscampagne 2023 hier ontbreekt, dus er zit een relatief grote tijd tussen de twee meetmomenten en tussen de meetmomenten en het onderhoud.

Tabel 15 Wijzigingen in spoorligging rond onderhoudsmoment

Spoor	Hoogte 10 m	Schift 9 m	Korte golf D0	Korte golf hoogte 1 m
HE	Geen	Geen	Geen	Geen
GE	Geen	Geen	Slechter	Slechter

3.1.8. HORST – GEOCODE 055 – KM 11.5

De relevante assets op deze locatie staan in Tabel 16 weergegeven, inclusief het daaraan uitgevoerde onderhoud. Een uitgebreid rapport is te vinden in Bijlage I.

Tabel 16 Assets en uitgevoerd onderhoud

Asset	Datum onderhoud	Uitgevoerd onderhoud
Spoor in ballast 201		Geen
Spoor in ballast 202		Geen
Betonnen overweg spoor 201		Geen
Betonnen overweg spoor 202		Geen
ES-las spoor 201 km. 11.499	29-30 april 2023	Handmatig onderhoud middels slijpen + wackeren 1. NRG-las zwevend op 14-002 ligger - o Slijpen - o Handmatig gewackerd, gat niet opgevuld - o Constateringen ▪ Nog lichte overwalsing na slijpen ▪ 0,20 mm hoogte-afwijking na onderhoud
ES-las spoor 201 km. 11.535	29-30 april 2023	Handmatig onderhoud middels slijpen + wackeren 1. NRG-las zwevend op 14-002 ligger - o Slijpen - o Handmatig gewackerd, gat niet opgevuld - o Constateringen ▪ 0,05 mm hoogte-afwijking na onderhoud
ES-las spoor 202 km. 11.499	29-30 april 2023	Handmatig onderhoud middels slijpen + wackeren 1. NRG-las zwevend op 14-002 ligger - o Slijpen - o Handmatig gewackerd, gat opgevuld - o Constateringen ▪ Nog lichte overwalsing na slijpen ▪ 0,15 mm hoogte-afwijking na onderhoud
ES-las spoor 202 km. 11.535	29-30 april 2023	Handmatig onderhoud middels slijpen + wackeren 1. NRG-las zwevend op 14-002 ligger - o Slijpen - o Handmatig gewackerd, gat opgevuld - o Constateringen ▪ Nog lichte overwalsing na slijpen ▪ 0,00 mm hoogte-afwijking na onderhoud

De veranderingen in spoorligging tussen de meting voor en na onderhoud zijn weergegeven in Tabel 17. Er zijn geen significante verschillen tussen voor en na onderhoud. Wel zien we op spoor 201 een forse verslechtering van de schiftafwijking op de 9 meter koorde in de spoorligging van voorjaar 2024.



Tabel 17 Wijzigingen in spoorligging rond onderhoudsmoment

Spoor	Hoogte 10 m	Schift 9 m	Korte golf D0	Korte golf hoogte 1 m
201	Geen	Geen	Geen	Geen
202	Geen	Geen	Geen	Geen



3.1.9. GOUDA – GEOCODE 105 – KM 29.94

De relevante assets op deze locatie staan in Tabel 18 weergegeven, inclusief het daaraan uitgevoerde onderhoud.

Tabel 18 Assets en uitgevoerd onderhoud

Asset	Datum onderhoud	Uitgevoerd onderhoud
Spoor in ballast GO	18 augustus 2024	Onderstoptrein - Hefwaarde 35 mm - Onderstopdiepte 394 mm - Knijptijd 0.5 seconde - Gemeten D1-afwijking 1.0 mm
Spoor in ballast 705		Geen
Spoor in ballast 706		Geen
Spoor in ballast 707		Geen
Spoor in ballast 708		Geen
ES-las spoor 706 km. 29.053		Geen
ES-las spoor 707 km. 29.053		Geen
ES-las spoor 708 km. 29.053		Geen

De veranderingen in spoorligging tussen de meting voor en na onderhoud zijn weergegeven in Tabel 19. Op de sporen 706 en 708 is geen invloed van het onderhoud (dat ook tussen voor- en najaarscampagne heeft plaatsgevonden) zichtbaar, op spoor GO (waar het onderhoud dichterbij de najaarscampagne is uitgevoerd) is de spoorligging door het onderhoud verbeterd.

Tabel 19 Wijzigingen in spoorligging rond onderhoudsmoment

Spoor	Hoogte 10 m	Schift 9 m	Korte golf D0	Korte golf hoogte 1 m
GO	Beter	Beter	Beter	Beter
705	Geen	Geen	Geen	Geen
706	Geen	Geen	Geen	Geen
707	Geen	Geen	Geen	Geen
708	Geen	Geen	Geen	Geen



3.1.10. OUDEWATER – GEOCODE 105 – KM 24.92

De relevante assets op deze locatie staan in Tabel 20 weergegeven, inclusief het daaraan uitgevoerde onderhoud. Op deze locatie is het onderhoud uitgevoerd voorafgaand aan de trillingsmetingen.

Tabel 20 Assets en uitgevoerd onderhoud

Asset	Datum onderhoud	Uitgevoerd onderhoud
Spoor in ballast GO		Geen
Spoor in ballast GB		Geen
Brug beton spoor GO km. 24.923		Geen
Brug beton spoor GB km. 24.923		Geen

De veranderingen in spoorligging tussen de meting voor en na onderhoud zijn weergegeven in Tabel 21. Er zijn geen significante verschillen in spoorligging zichtbaar.

Tabel 21 Wijzigingen in spoorligging rond onderhoudsmoment

Spoor	Hoogte 10 m	Schift 9 m	Korte golf D0	Korte golf hoogte 1 m
GO	Geen	Geen	Geen	Geen
GB	Geen	Geen	Geen	Geen

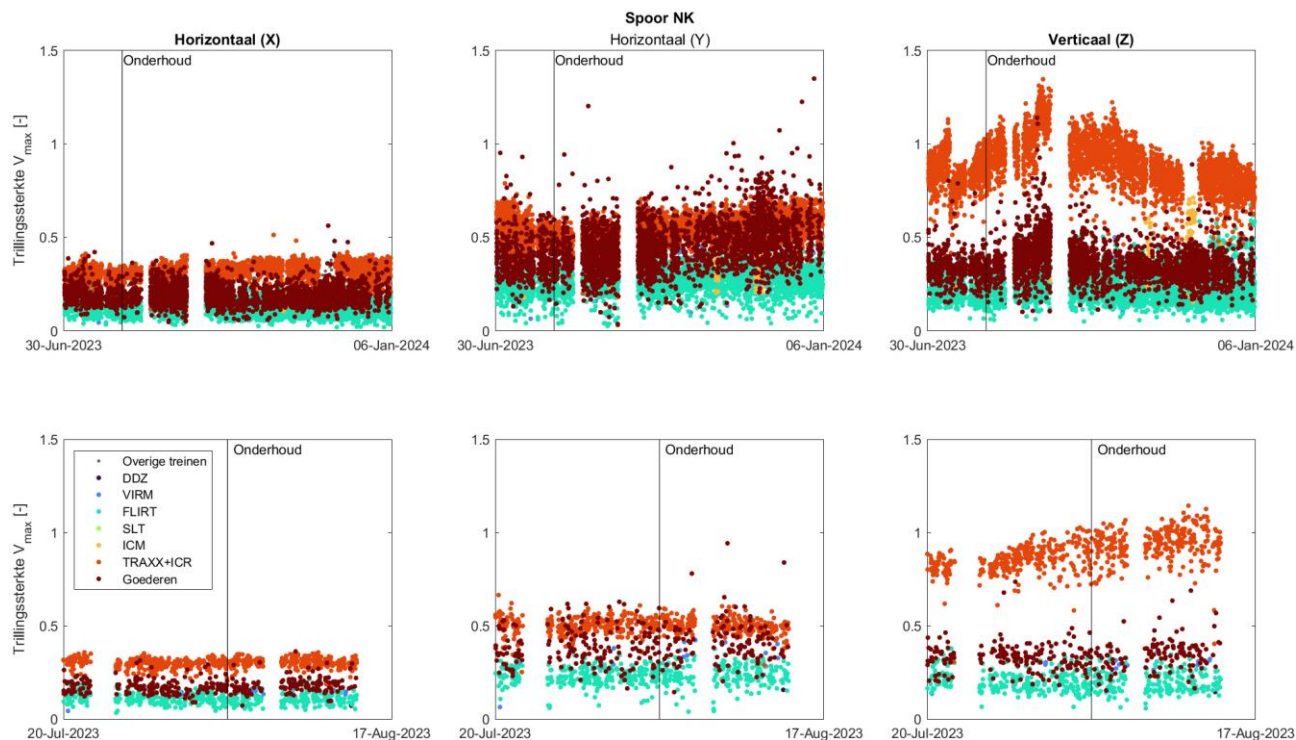


3.2. GEMETEN TRILLINGEN PER LOCATIE

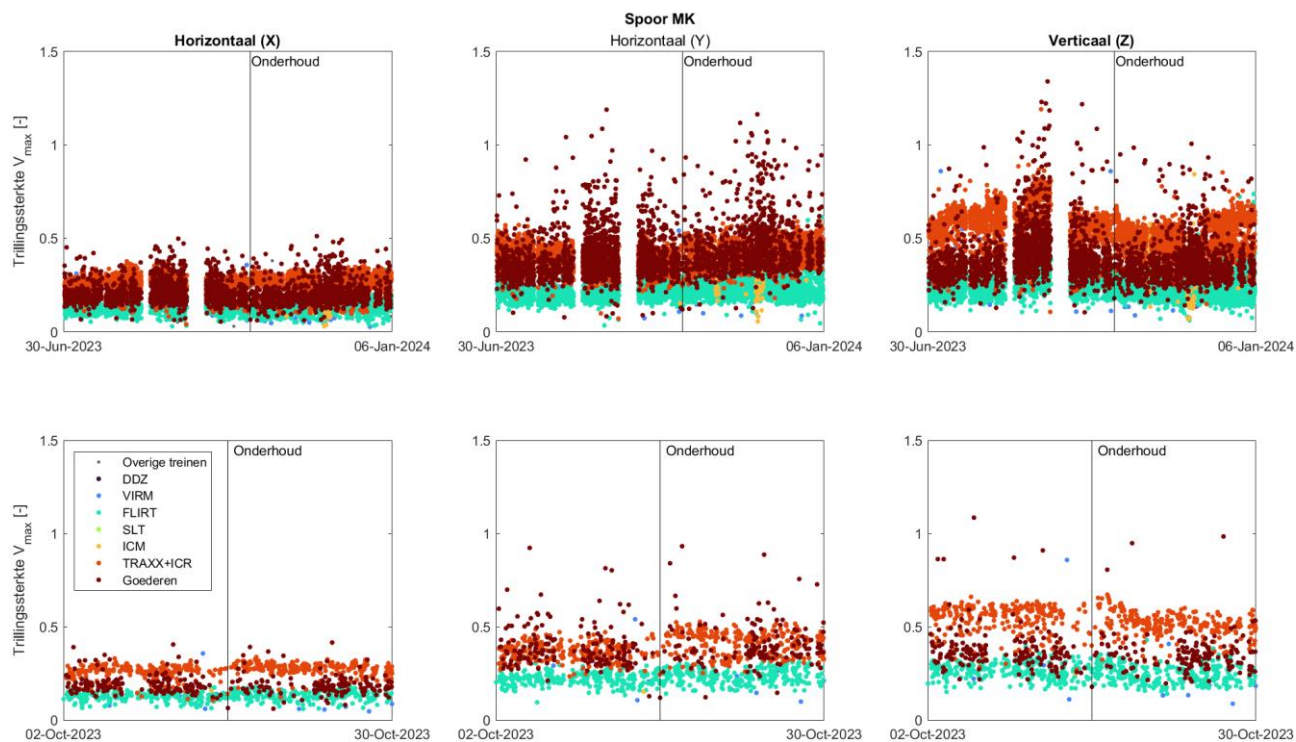
In deze paragraaf worden de gemeten trillingen per locatie beschreven.

3.2.1. BREDA – GEOCODE 121 – KM 3.8

De gemeten trillingen zijn weergegeven in Figuur 5 en Figuur 6.



Figuur 5 Spoor NK, gemeten trillingen per treinpassage (boven voor hele meetperiode, onder van 2 weken voor tot 2 weken na onderhoud)



Figuur 6 Spoor MK, gemeten trillingen per treinpassage (boven voor hele meetperiode, onder van 2 weken voor tot 2 weken na onderhoud)

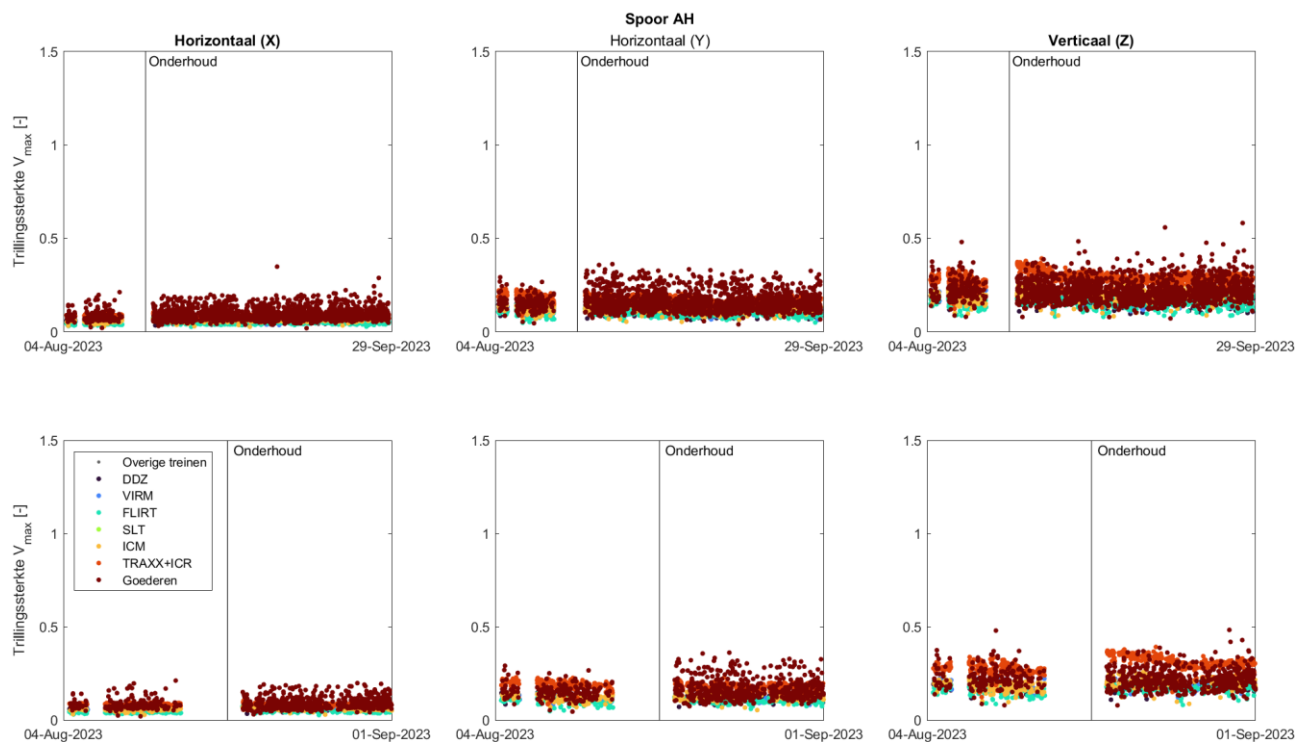
Op deze locatie valt een aantal zaken op:

1. Op spoor NK is geen effect van het onderhoud te zien, op spoor MK is zichtbaar dat de trillingen wat toenemen door het onderhoud.
2. Er zijn sterke variaties in de trillingen, vooral van goederentreinen en TRAXX+ICRmh-treinen. Deze variaties zijn niet te relateren aan onderhoud. In het volgende hoofdstuk wordt hier nader op ingegaan.
3. Anders dan op veel andere locaties zijn op spoor NK niet de goederentreinen maatgevend, maar de TRAXX+ICRmh-treinen.
4. De horizontale trillingen zijn aan het einde van de meting hoger voor spoor MK. Ook de schiftafwijking op de 9 meter koorde is hoger, dus mogelijk zorgt deze grotere schiftafwijking voor de toename van de horizontale trillingen.

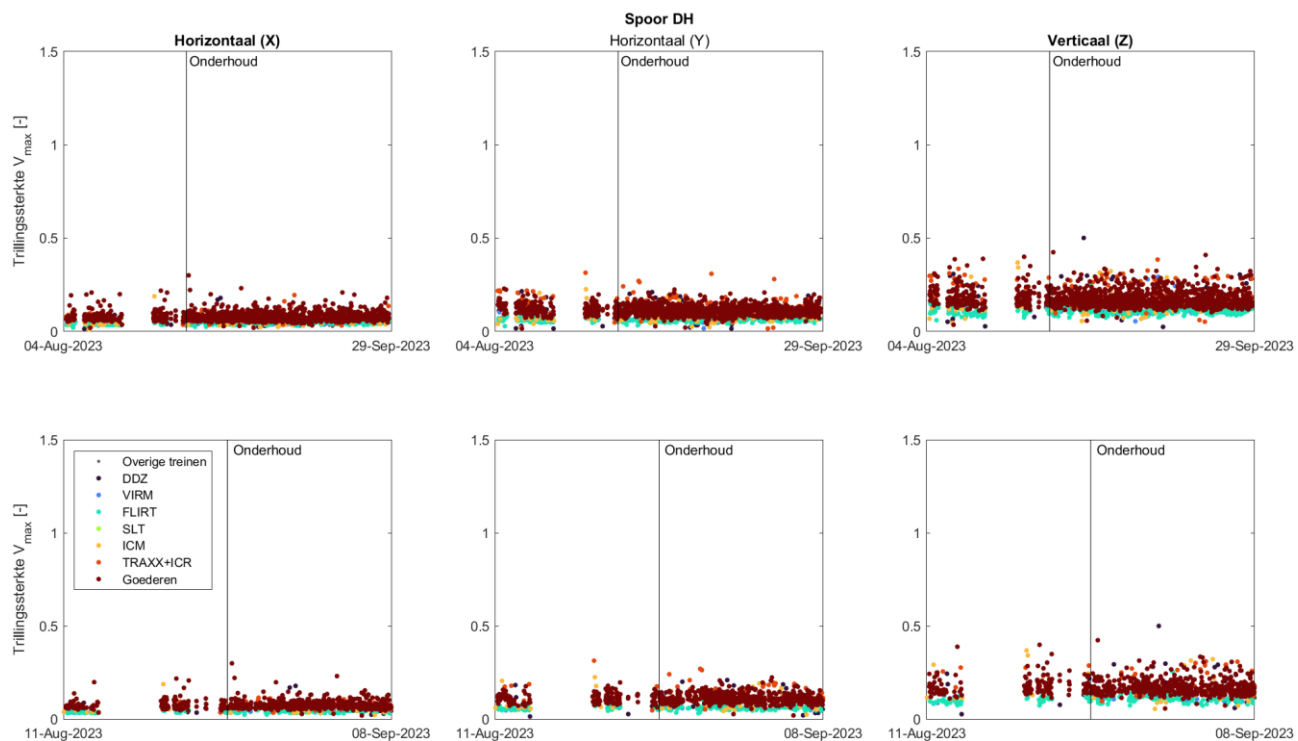


3.2.2. DORST – GEOCODE 123 – KM 6.3

De gemeten trillingen zijn weergegeven in Figuur 7 en Figuur 8



Figuur 7 Spoor AH, gemeten trillingen per treinpassage (boven voor hele meetperiode, onder van 2 weken voor tot 2 weken na onderhoud)



Figuur 8 Spoor DH, gemeten trillingen per treinpassage (boven voor hele meetperiode, onder van 2 weken voor tot 2 weken na onderhoud)

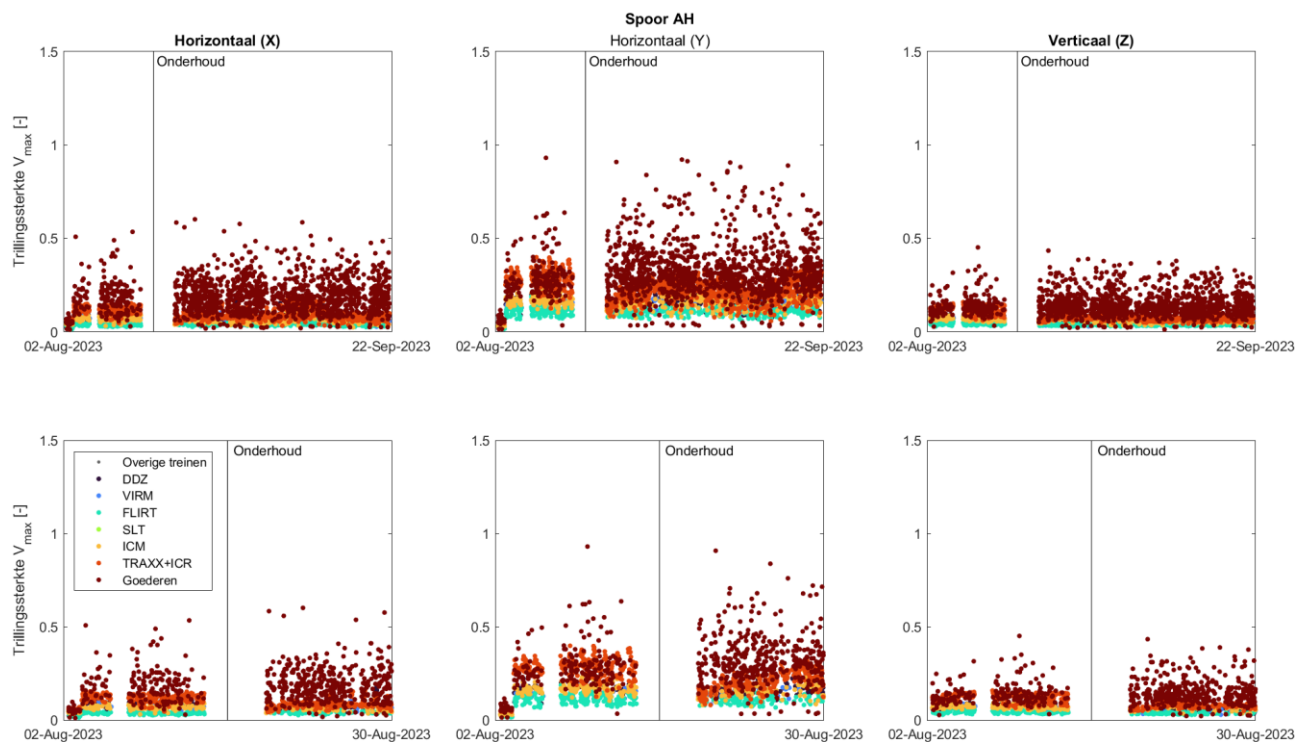
Op deze locatie valt een aantal zaken op:

1. Op spoor AH nemen de trillingen van vooral de TRAXX+ICRmh-treinen toe na het onderhoud. Op spoor DH zijn geen significante effecten van het onderhoud te zien.
2. De trillingen veranderen niet veel buiten de onderhoudsmomenten, en veranderen nauwelijks over de tijd. Weersomstandigheden lijken hier dus geen of weinig invloed op de trillingen te hebben.
3. Op spoor AH zijn de trillingen van TRAXX+ICRmh-treinen meestal maatgevend, op het andere spoor DH de trillingen van goederentreinen.

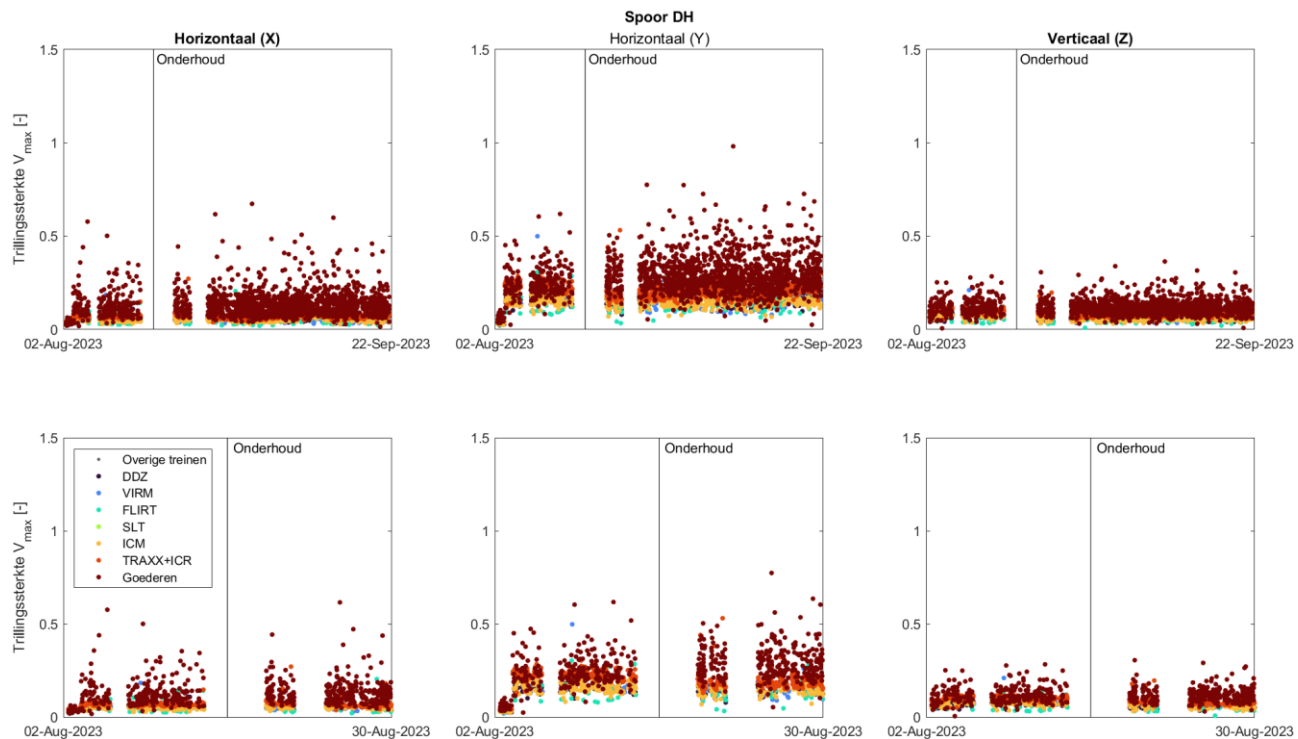


3.2.3. TILBURG REESHOF – GEOCODE 123 – KM 16.3

De gemeten trillingen zijn weergegeven in Figuur 9 en Figuur 10.



Figuur 9 Spoor AH, gemeten trillingen per treinpassage (boven voor hele meetperiode, onder van 2 weken voor tot 2 weken na onderhoud)



Figuur 10 Spoor DH, gemeten trillingen per treinpassage (boven voor hele meetperiode, onder van 2 weken voor tot 2 weken na onderhoud)

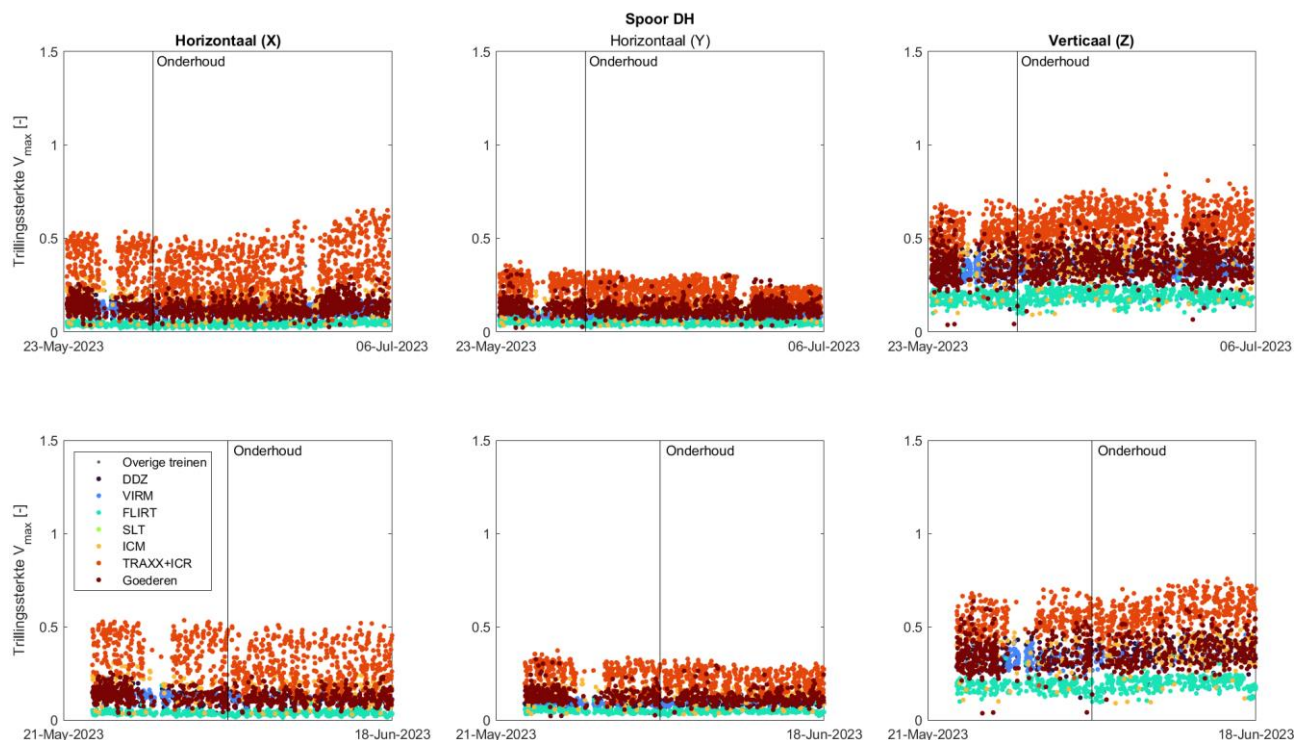
Op deze locatie valt een aantal zaken op:

1. Op spoor AH nemen dat de trillingen van vooral de TRAXX+ICRmh-treinen af na het onderhoud. Op spoor DH is dat vooral in horizontale richting zichtbaar, minder in de verticale meetrichtingen.
2. De trillingen variëren vrij sterk over de tijd, met name de trillingen van goederentreinen kennen veel variatie. Opvallend is ook dat enkele goederentreinen voor sterk afwijkende trillingssterktes zorgen, vooral door afwijkende onderhoudsparameters van deze treinen. De maximale trillingen verschillen sterk per dag, met name in horizontale richting.
3. De horizontale trillingen zijn aan het einde van de meting hoger voor spoor DH. Ook de schiftafwijking op de 9 meter koorde is hoger, dus mogelijk zorgt deze grotere schiftafwijking voor de toename van de horizontale trillingen.

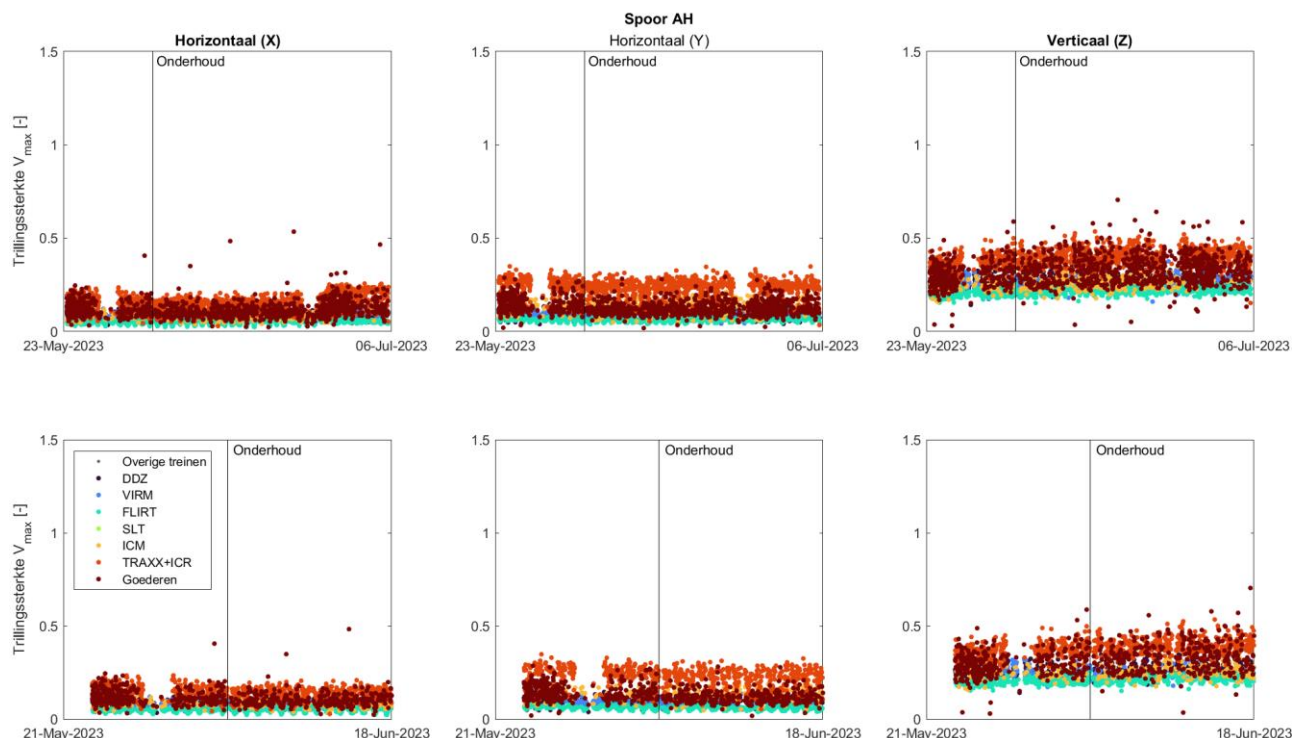


3.2.4. TILBURG UNIVERSITEIT – GEOCODE 123 – KM 19.9

De gemeten trillingen zijn weergegeven in Figuur 11 en Figuur 12.



Figuur 11 Spoor DH, gemeten trillingen per treinpassage (boven voor hele meetperiode, onder van 2 weken voor tot 2 weken na onderhoud)



Figuur 12 Spoor AH, gemeten trillingen per treinpassage (boven voor hele meetperiode, onder van 2 weken voor tot 2 weken na onderhoud)

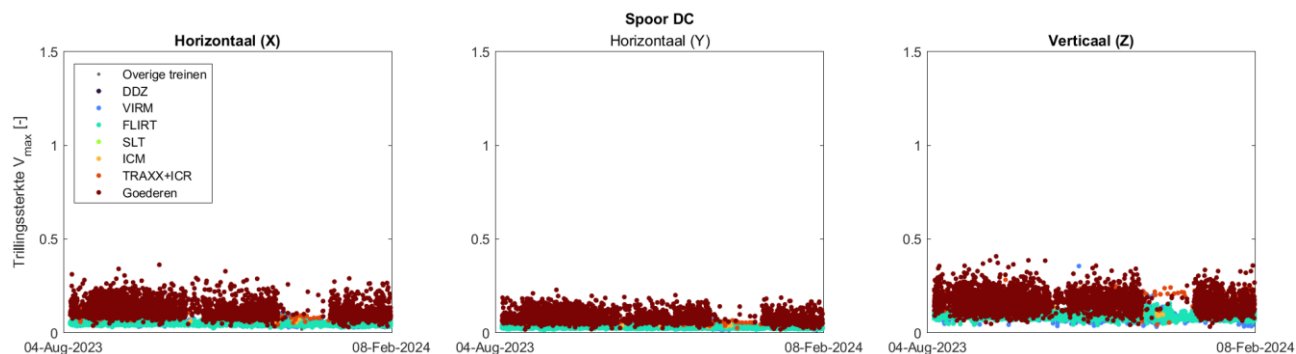
Op deze locatie valt een aantal zaken op:

1. Op spoor AH lijken dat de trillingen van de TRAXX+ICRmh-treinen en FLIRT-treinen in horizontale X-richting kortstondig af te nemen na het onderhoud. Voor treinen van het type FLIRT is dit ook bij de verticale trillingen zichtbaar. Op spoor DH zijn geen significante effecten van het onderhoud te zien.
2. Vooral op spoor DH zien we een toename van de trillingen met de tijd. Omdat de spoorligging niet zo sterk is veranderd, kan dit komen door invloed van de weersomstandigheden.
3. Vooral op spoor DH zijn de trillingen van TRAXX+ICRmh-treinen maatgevend, op het andere spoor AH zijn deze ook hoog, maar zijn goederentreinen maatgevend.

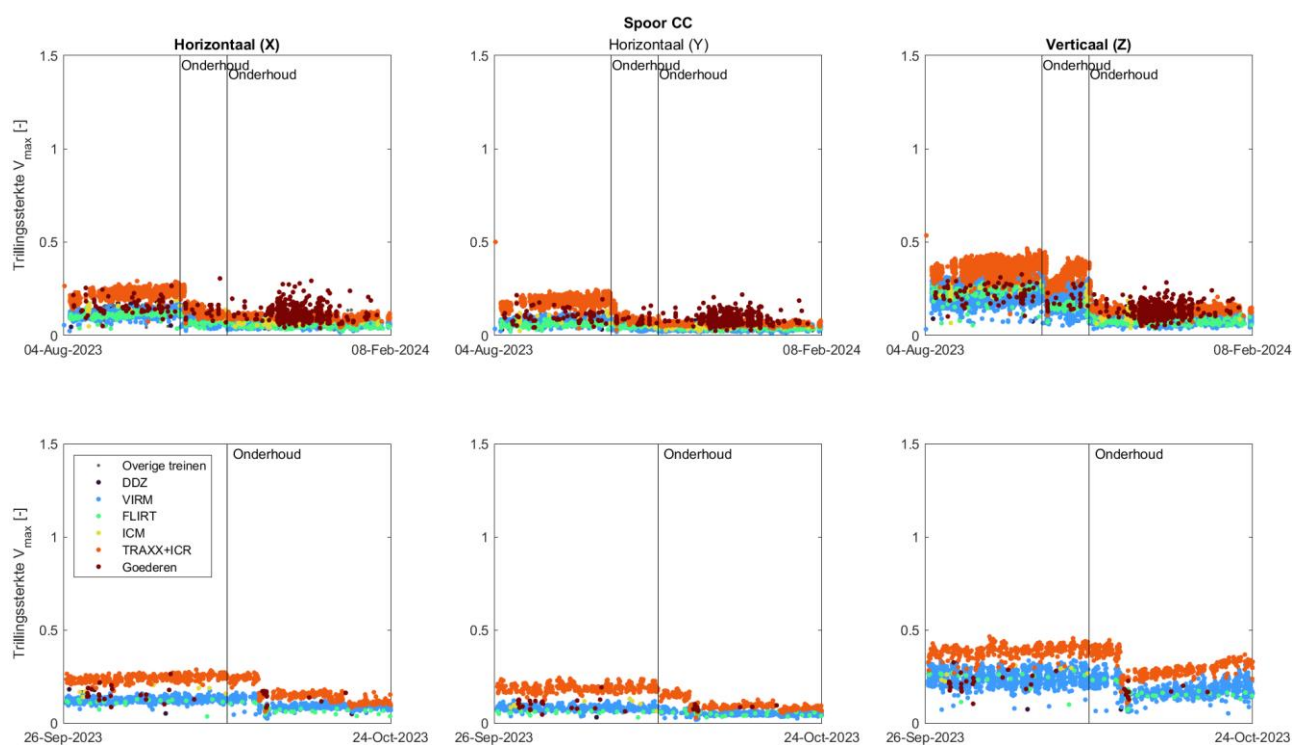


3.2.5. BEST – GEOCODE 054 – KM 47.1

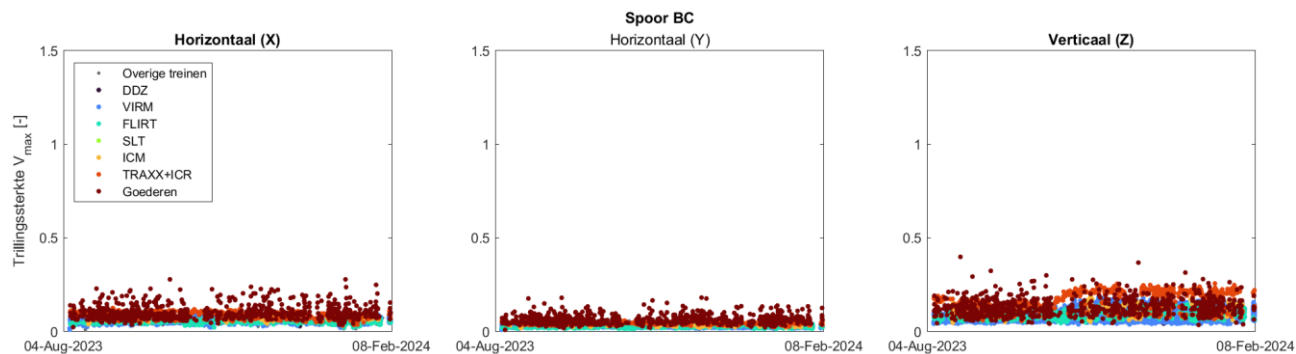
De gemeten trillingen zijn weergegeven in Figuur 13 tot en met Figuur 16.



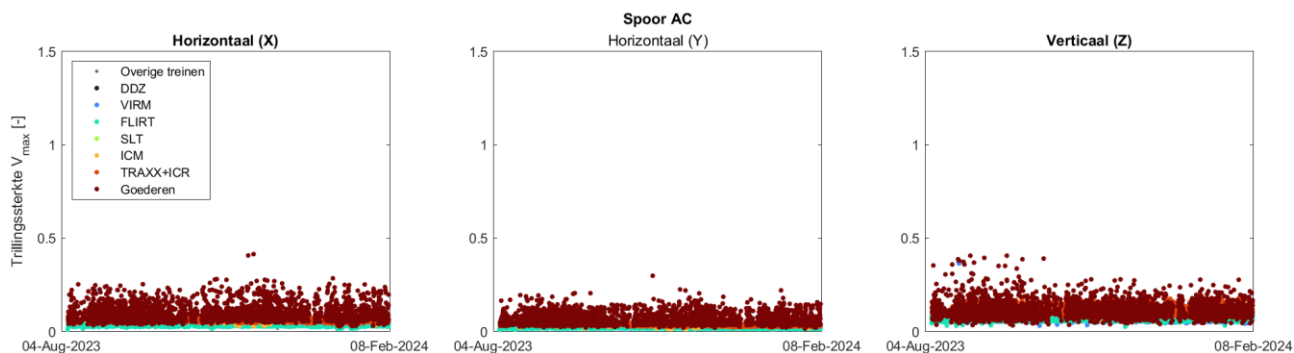
Figuur 13 Spoor DC, gemeten trillingen per treinpassage



Figuur 14 Spoor CC, gemeten trillingen per treinpassage (boven voor hele meetperiode, onder van 2 weken voor tot 2 weken na eerste onderhoud (onderstoppen))



Figuur 15 Spoor BC, gemeten trillingen per treinpassage



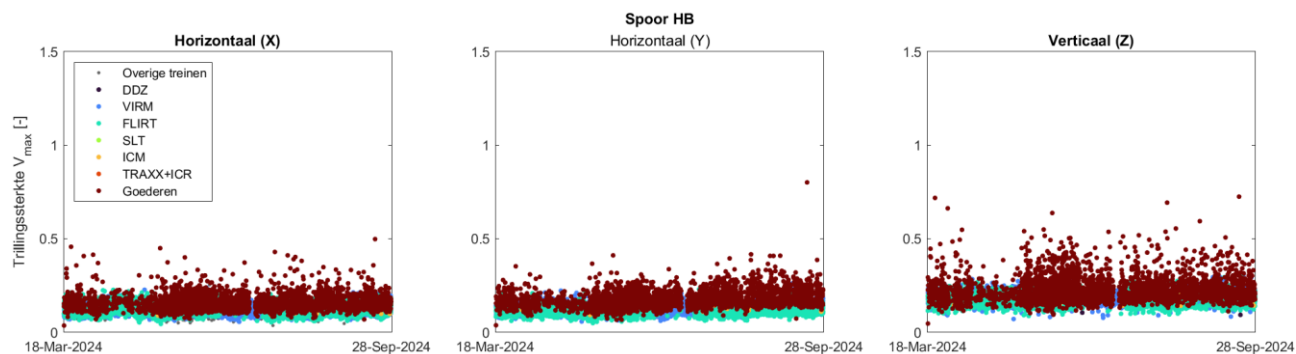
Figuur 16 Spoor AC, gemeten trillingen per treinpassage

Op deze locatie valt een aantal zaken op:

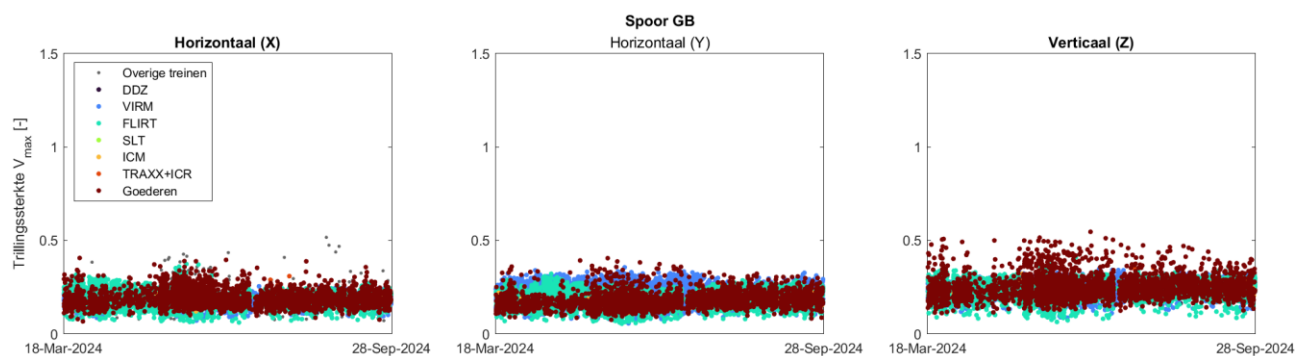
1. Alleen op spoor CC heeft onderhoud plaatsgevonden, voor de andere sporen is het onderhoud uitgesteld. Hier heeft twee keer onderhoud plaatsgevonden: het eerste onderhoud betreft onderstoppen. Dit effect treedt pas op na ca. 3 dagen, en vooral in verticale richting. Daarna nemen de trillingen vrij snel weer toe. De tweede keer betreft het de vervanging van een defecte ES-las, hiervan treedt het effect na een halve dag op, en na een hele dag nog sterker. De trillingen blijven daarna stabiel laag.
2. Met uitzondering van spoor CC veranderen de trillingen weinig over de tijd. De invloed van veranderingen in de spoorligging (zoals bij spoor AC) of weersomstandigheden zijn niet goed terug te zien in deze resultaten.
3. Tijdens enkele omleidingsperiodes reden er goederentreinen over spoor CC, maar doorgaans rijden goederentreinen in noordelijke richting over het buitenste spoor DC. Opvallend is wel dat de trillingen voor het onderhoud aan spoor CC daar hoger zijn dan op het dichterbij de meetlocatie gelegen spoor DC.

3.2.6. NUENEN – GEOCODE 055 – KM 46.8

De gemeten trillingen zijn weergegeven in Figuur 17 en Figuur 18.



Figuur 17 Spoor HB, gemeten trillingen per treinpassage



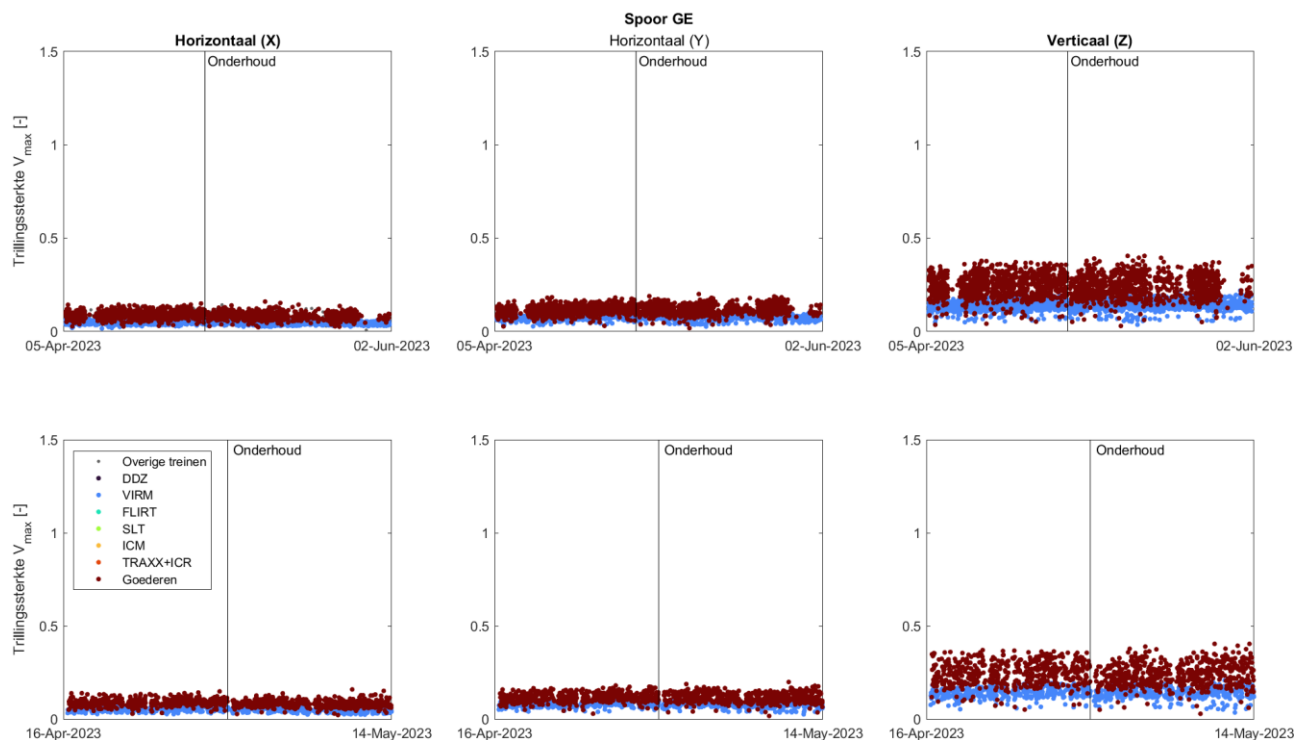
Figuur 18 Spoor GB, gemeten trillingen per treinpassage

Op deze locatie valt een aantal zaken op:

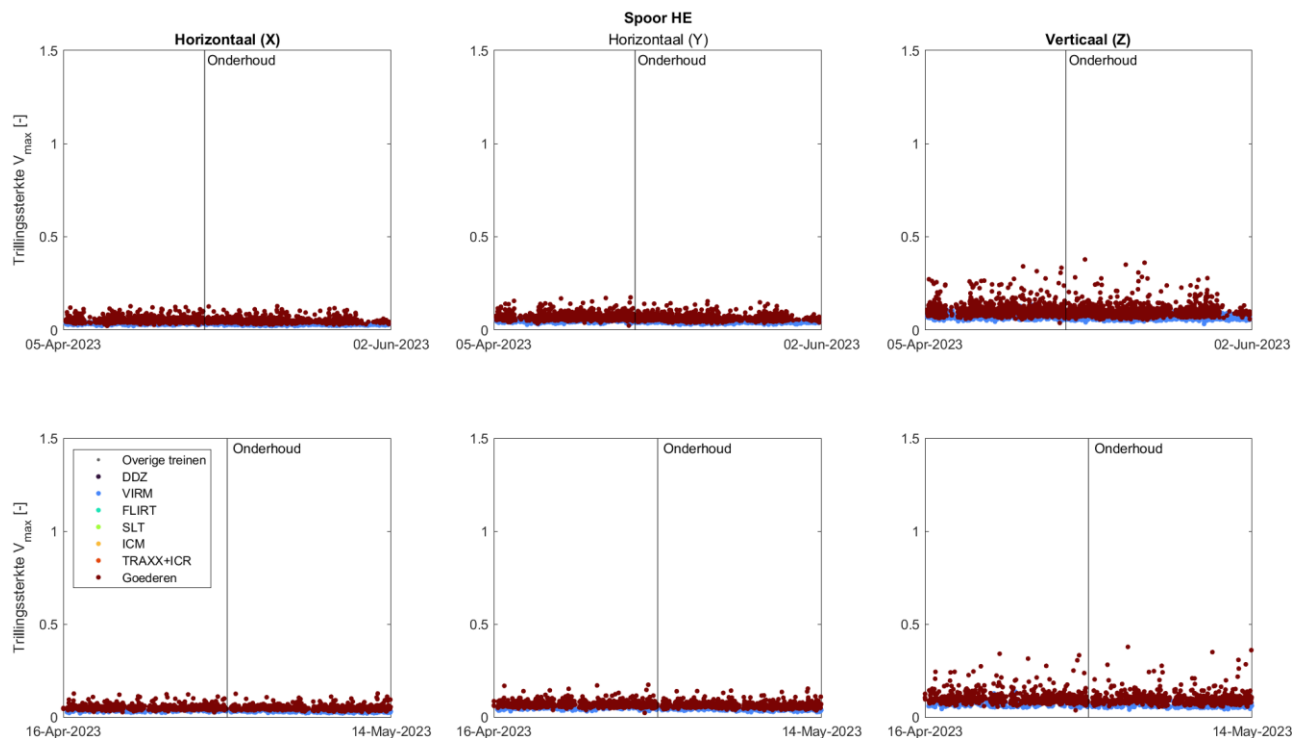
1. Het spooronderhoud aan spoor GB heeft plaatsgevonden tijdens de meetperiode, maar in een periode dat er geen treinen reden. Er heeft dus geen voormeting plaatsgevonden, waardoor het effect van het onderhoud op deze locatie niet kon worden vastgesteld.
2. Opvallend is dat met name de trillingen van goederentreinen sterk variëren, zowel in aantal treinen als in hoogte van de trillingen. Zo is er van half april tot half mei een periode met minder goederentreinen en lagere trillingen. Bij reizigerstreinen is dit niet of veel minder te zien. De invloed van veranderingen in spoorligging of weersomstandigheden is dan ook niet goed zichtbaar op deze locatie.

3.2.7. AMERICA – GEOCODE 055 – KM 15.3

De gemeten trillingen zijn weergegeven in Figuur 19 en Figuur 20.



Figuur 19 Spoor GE, gemeten trillingen per treinpassage (boven voor hele meetperiode, onder van 2 weken voor tot 2 weken na onderhoud)P



Figuur 20 Spoor HE, gemeten trillingen per treinpassage (boven voor hele meetperiode, onder van 2 weken voor tot 2 weken na onderhoud)

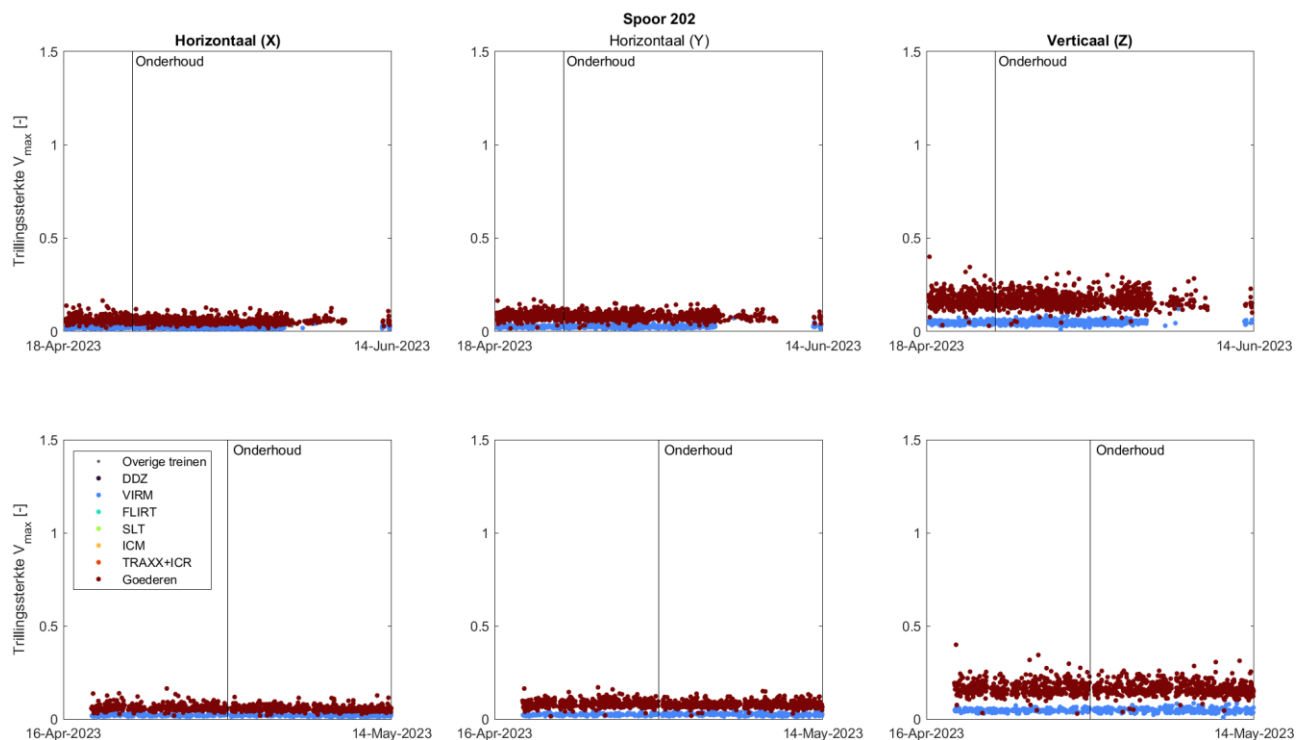
Op deze locatie valt een aantal zaken op:

1. Op spoor GE is enkele dagen effect van het onderhoud te zien, vooral in verticale richting. Op spoor HE is daarentegen geen significant effect van het onderhoud waarneembaar.
2. De trillingen veranderen weinig gedurende de meting. Dat wijst erop dat de invloed van weersomstandigheden hier beperkt is.
3. Op het noordelijke spoor HE is veel meer variatie in de trillingssterkte van goederentreinen, dat komt ook omdat daar zowel zwaarbeladen als lege goederentreinen rijden, terwijl op spoor GE veel meer zwaarbeladen treinen richting Duitsland rijden.

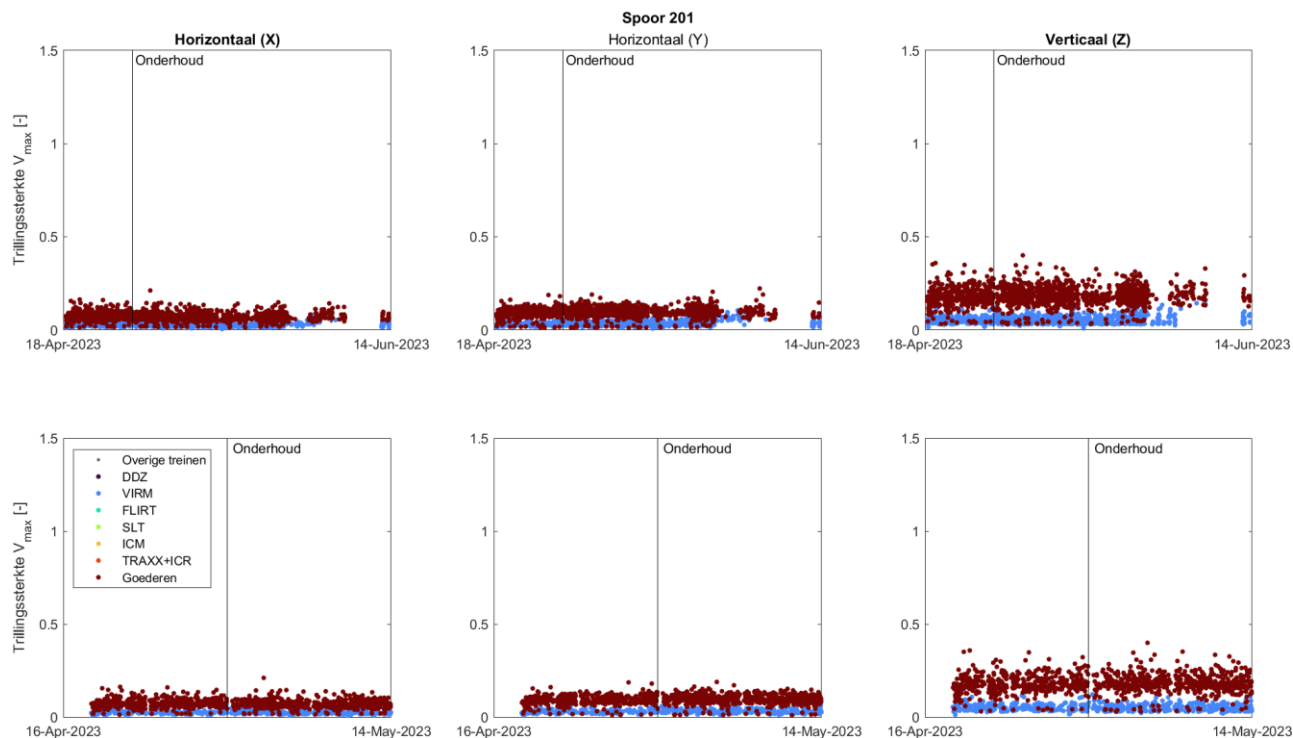


3.2.8. HORST – GEOCODE 055 – KM 11.5

De gemeten trillingen zijn weergegeven in Figuur 21 en Figuur 22.



Figuur 21 Spoor 202, gemeten trillingen per treinpassage (boven voor hele meetperiode, onder van 2 weken voor tot 2 weken na onderhoud)



Figuur 22 Spoor 201, gemeten trillingen per treinpassage (boven voor hele meetperiode, onder van 2 weken voor tot 2 weken na onderhoud)

Op deze locatie valt een aantal zaken op:

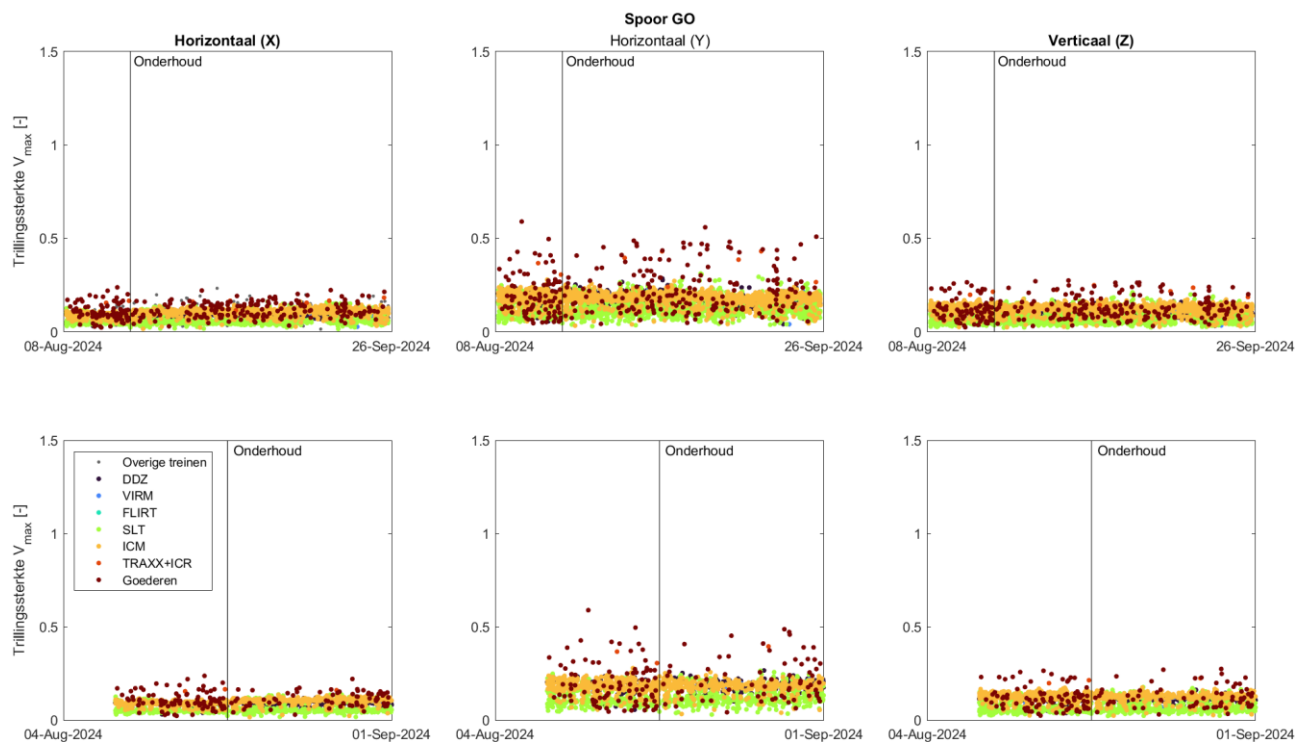
1. Er is geen effect van het onderhoud.

2. De trillingen veranderen weinig gedurende de meting. Dat wijst erop dat de invloed van weersomstandigheden hier beperkt is.

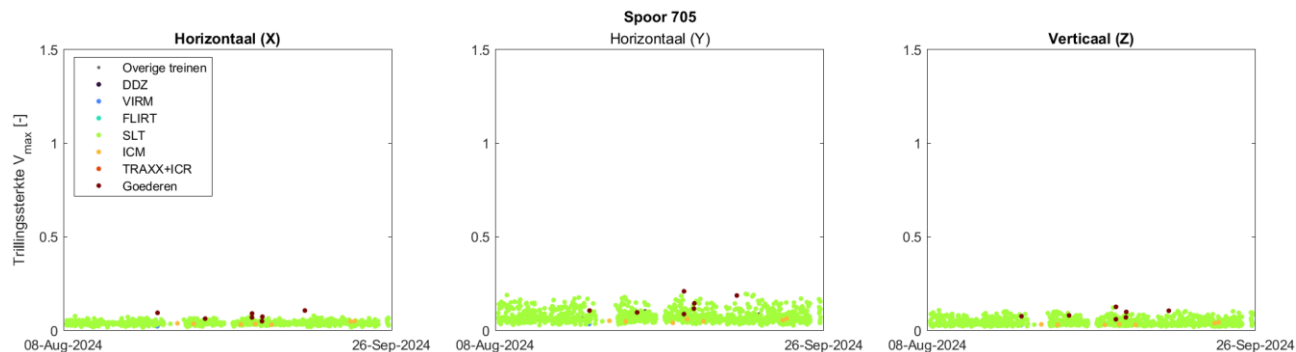


3.2.9. GOUDA – GEOCODE 105 – KM 28.94

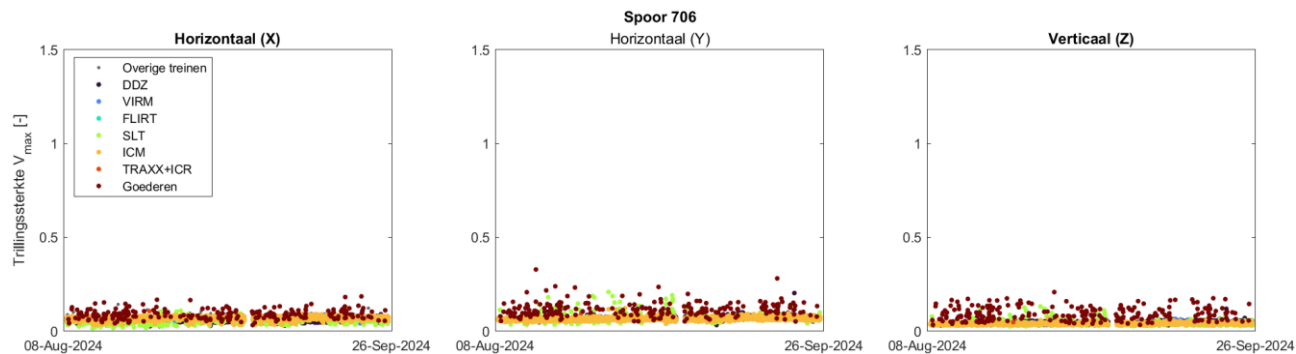
De gemeten trillingen zijn weergegeven in Figuur 23 tot en met Figuur 26.



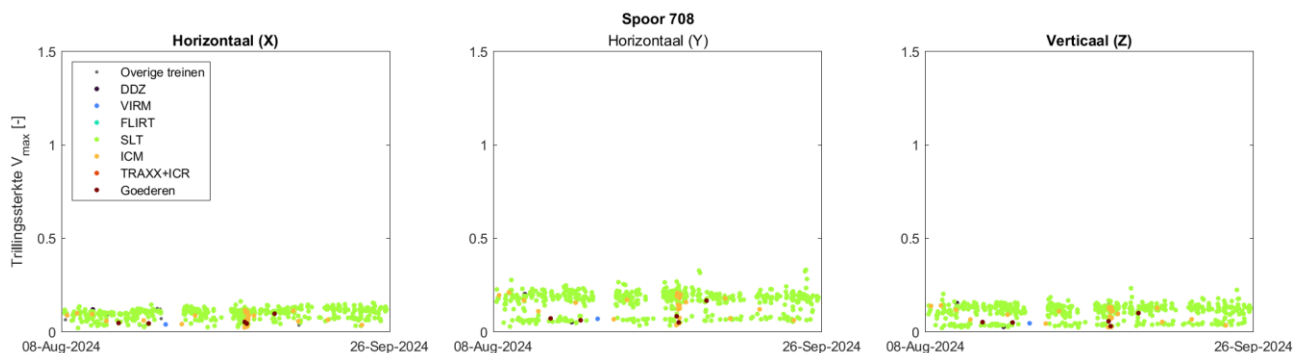
Figuur 23 Spoor GO, gemeten trillingen per treinpassage (boven voor hele meetperiode, onder van ca 1 week voor tot 2 weken na onderhoud)



Figuur 24 Spoor 705, gemeten trillingen per treinpassage



Figuur 25 Spoor 706, gemeten trillingen per treinpassage



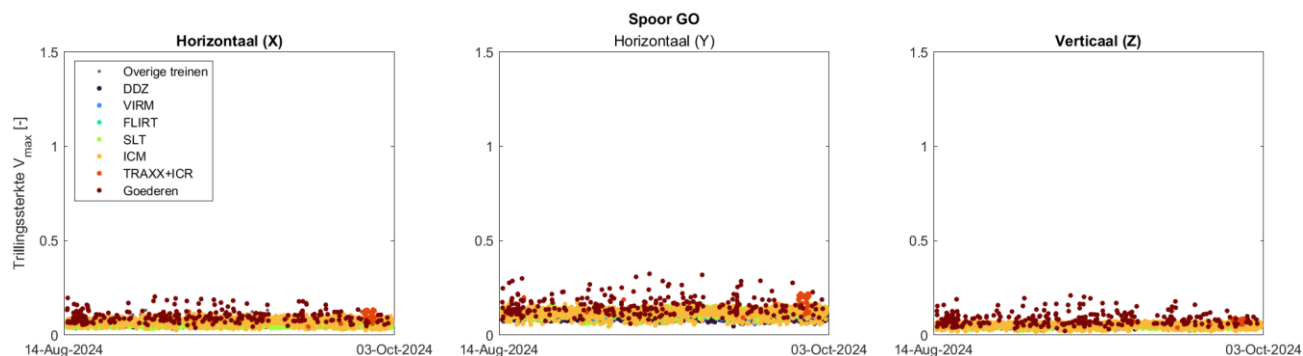
Figuur 26 Spoor 708, gemeten trillingen per treinpassage

Op deze locatie valt een aantal zaken op:

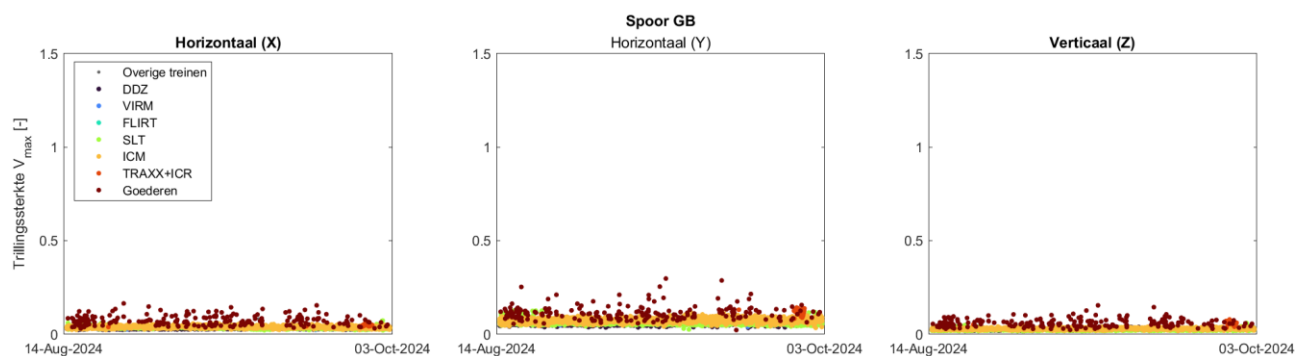
1. Er is vrijwel geen effect van het onderhoud, de trillingen van de reizigerstreinen (m.n. ICM) lijken iets toe te nemen door het liggingsonderhoud.
2. De trillingen veranderen weinig gedurende de meting. Dat wijst erop dat de invloed van weersomstandigheden hier beperkt is.

3.2.10. OUDEWATER – GEOCODE 105 – KM 24.92

De gemeten trillingen zijn weergegeven in Figuur 27 en Figuur 28.



Figuur 27 Spoor GO, gemeten trillingen per treinpassage



Figuur 28 Spoor GB, gemeten trillingen per treinpassage

Op deze locatie valt op dat de trillingen nauwelijks variëren tijdens de meting. Dat wijst erop dat de invloed van weersomstandigheden hier beperkt is.





INVLOED VAN ONDERHOUD



In dit hoofdstuk analyseren we per type onderhoud wat de invloed is van het onderhoud op de gemeten omgevingstrillingen. Is er effect van het onderhoud, en zo ja, onder welke omstandigheden wel en niet? Welke parameters spelen daarbij een rol? Op die vragen gaan we in dit hoofdstuk in.



INVLOED VAN ONDERHOUD

4.1. INLEIDING

Bij onderhoud wordt in dit onderzoek onderscheid gemaakt tussen twee types onderhoud:

- A.** Type A. Dit betreft regulier 'licht' PGO-onderhoud. Voorbeelden:
 - a. Onderhoud aan ES-lassen, zoals slijpen, kopvulling toepassen en handmatig onderstoppen ('wackeren')
 - b. Onderhoud aan wissels en puntstukken, zoals slijpen van de puntstukken, vastdraaien van bouten en moeren en handmatig onderstoppen ('wackeren')
- B.** Type B. Dit betreft regulier PGO-onderhoud in de vorm van machinaal onderstoppen met een onderstoptrein.

In de paragrafen hieronder wordt per type onderhoud het effect op omgevingstrillingen beschreven.

4.2. ONDERHOUD TYPE A – REGULIER PGO-ONDERHOUD

Het effect van regulier onderhoud is gemeten op 3 locaties, zie Tabel 22. Het gaat in totaal om 6 ES-lassen en 8 puntstukken.

Tabel 22 Onderhoudslocaties type A

Locatie	Geocode	Kilometrering	Spoor	Type asset	Type onderhoud
Tilburg Universiteit	123	19.9	DH	Puntstukken	Slijpen Bouten aandraaien
	123	19.9	AH	Puntstukken	Slijpen Bouten aandraaien
America	055	15.3	GE	ES-lassen	Slijpen Kopvulling Handmatig onderstoppen
	055	15.3	HE	ES-lassen	Slijpen Kopvulling Handmatig onderstoppen
Horst	055	11.5	202	ES-las	Slijpen Kopvulling Handmatig onderstoppen
	055	11.5	201	ES-las	Slijpen Kopvulling Handmatig onderstoppen

Voor elk van deze locaties zijn per spoor en per treintype het verschil in het gemiddeld trillingsspectrum voor en na het onderhoud met elkaar vergeleken. Omdat het effect van onderhoud varieert als functie van de tijd, is dat als volgt gedaan:

1. Voor de situatie voor onderhoud zijn alle treinen (per type en per spoor) in de week voorafgaand aan het onderhoud samengenomen. Een kortere periode zorgt bij sommige treintypes voor te weinig treinen, een langere periode zorgt ervoor dat ook andere factoren (zoals het weer) al een grote rol gaan spelen.
2. Voor de situatie na onderhoud zijn alle treinen per type en per spoor bekeken in de volgende situaties:

- a. Alle treinen die binnen **1 dag** na het onderhoud passeerden (tussen 0 en 1 dagen na onderhoud).
- b. Alle treinen die **3 dagen** na het onderhoud passeerden (tussen 2 en 3 dagen na onderhoud).
- c. Alle treinen die **1 week** na het onderhoud passeerden (tussen 6 en 7 dagen na onderhoud).
- d. Alle treinen die **2 weken** na het onderhoud passeerden (tussen 13 en 14 dagen na onderhoud).
- e. Alle treinen die **3 weken** na het onderhoud passeerden (tussen 20 en 21 dagen na onderhoud).
- f. Alle treinen die **4 weken**, dus ongeveer 1 maand na het onderhoud, passeerden (tussen 27 en 28 dagen na onderhoud).

Bovenstaande analyse is voor de vier meest passerende treintypes (VIRM, FLIRT, TRAXX+ICR en Goederen) uitgevoerd, waarbij het effect (en de onzekerheid daarin) alleen is bepaald als er minimaal 5 treinen per treintype en per dag zijn gemeten.

4.2.1. ES-LASSEN

Het regulier onderhoud aan ES-lassen is gemeten in America en Horst. In America gaat het om dubbele lassen (1 per spoorstaaf), in Horst om enkele lassen (1 per spoor). Het gemiddelde effect in dB is samengevat weergegeven in Tabel 23 voor de meest voorkomende treintypes. De legenda hierbij is als volgt:

- **Donkergroen**: voelbaar positief effect. In lijn met de Beleidsregel trillinghinder spoor is een *voelbaar effect* gedefinieerd als meer dan 30% effect (+/- 3 dB). Deze kleur betekent dus dat er op basis van deze metingen meer dan 95 procent kans is dat de trillingen minimaal voelbaar afnemen.
- **Groen**: kans op voelbaar positief effect is groter dan 50 procent. Deze kleur betekent dus dat de kans meer dan 50 procent is dat de trillingen voelbaar afnemen.
- **Geel**: kans op voelbaar effect is kleiner dan 50 procent. Deze kleur betekent dus dat de kans op een voelbare toe- of afname van de trillingen kleiner is dan 50 procent.
- **Oranje**: kans op voelbaar negatief effect is groter dan 50 procent. Deze kleur betekent dus dat de kans meer dan 50 procent is dat de trillingen voelbaar toenemen.
- **Rood**: voelbaar negatief effect. Deze kleur betekent dus dat er op basis van deze metingen meer dan 95 procent kans is dat de trillingen minimaal voelbaar toenemen.
- **Grijs**: treintype niet gemeten, meestal omdat er onvoldoende van passeerden tijdens de meting.

De resultaten zijn voor zowel de horizontale als de verticale trillingen gegeven. Op de dag na onderhoud is er een licht positief effect bij lage frequenties (octaafbanden 4, 8 en 16 Hz), maar dit is niet voelbaar. Bij hoge frequenties (octaafbanden 32, 64 en 125 Hz) is een licht negatief, maar evenmin voelbaar, effect zichtbaar. Er zijn verschillen tussen sporen te zien in dit effect, maar dat is niet aanwijsbaar te relateren aan verschillen in het uitgevoerde onderhoud of de spoorligging.

Bij één van de gemeten locaties is voor treinen van het type VIRM op één van de sporen wel meer effect zichtbaar, maar dat is na enkele dagen verdwenen.



Tabel 23 Effect van regulier PGO-onderhoud aan ES-lassen

Treintype		Effect																																																																																																																
	<table><tr><th colspan="7">Horizontaal effect [dB]</th></tr><tr><th>Frequentie [Hz]</th><th>1</th><th>3</th><th>7</th><th>14</th><th>21</th><th>28</th></tr><tr><td>125</td><td>-2</td><td>-2</td><td>-2</td><td>-2</td><td>-3</td><td>-4</td></tr><tr><td>64</td><td>-2</td><td>-2</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>-2</td></tr><tr><td>32</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>2</td><td>0</td><td>-1</td></tr><tr><td>16</td><td>1</td><td>1</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>1</td></tr><tr><td>8</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>2</td><td>1</td></tr><tr><td>4</td><td>2</td><td>1</td><td>2</td><td>2</td><td>3</td><td>2</td></tr></table>	Horizontaal effect [dB]							Frequentie [Hz]	1	3	7	14	21	28	125	-2	-2	-2	-2	-3	-4	64	-2	-2	0	1	0	-2	32	0	0	0	2	0	-1	16	1	1	2	2	2	1	8	0	1	1	1	2	1	4	2	1	2	2	3	2	<table><tr><th colspan="7">Verticaal effect [dB]</th></tr><tr><th>Frequentie [Hz]</th><th>1</th><th>3</th><th>7</th><th>14</th><th>21</th><th>28</th></tr><tr><td>125</td><td>-2</td><td>-2</td><td>-1</td><td>0</td><td>-2</td><td>-3</td></tr><tr><td>64</td><td>-1</td><td>-2</td><td>0</td><td>1</td><td>-2</td><td>-3</td></tr><tr><td>32</td><td>0</td><td>-1</td><td>-1</td><td>1</td><td>-1</td><td>-2</td></tr><tr><td>16</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>8</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>4</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>2</td><td>0</td></tr></table>	Verticaal effect [dB]							Frequentie [Hz]	1	3	7	14	21	28	125	-2	-2	-1	0	-2	-3	64	-1	-2	0	1	-2	-3	32	0	-1	-1	1	-1	-2	16	1	1	1	1	1	0	8	0	0	1	1	1	0	4	1	1	1	1	2	0
Horizontaal effect [dB]																																																																																																																		
Frequentie [Hz]	1	3	7	14	21	28																																																																																																												
125	-2	-2	-2	-2	-3	-4																																																																																																												
64	-2	-2	0	1	0	-2																																																																																																												
32	0	0	0	2	0	-1																																																																																																												
16	1	1	2	2	2	1																																																																																																												
8	0	1	1	1	2	1																																																																																																												
4	2	1	2	2	3	2																																																																																																												
Verticaal effect [dB]																																																																																																																		
Frequentie [Hz]	1	3	7	14	21	28																																																																																																												
125	-2	-2	-1	0	-2	-3																																																																																																												
64	-1	-2	0	1	-2	-3																																																																																																												
32	0	-1	-1	1	-1	-2																																																																																																												
16	1	1	1	1	1	0																																																																																																												
8	0	0	1	1	1	0																																																																																																												
4	1	1	1	1	2	0																																																																																																												
	<table><tr><th colspan="7">Horizontaal effect [dB]</th></tr><tr><th>Frequentie [Hz]</th><th>1</th><th>3</th><th>7</th><th>14</th><th>21</th><th>28</th></tr><tr><td>125</td><td>-2</td><td>-2</td><td>-3</td><td>-1</td><td>-2</td><td>-3</td></tr><tr><td>64</td><td>-2</td><td>-3</td><td>-1</td><td>1</td><td>-1</td><td>-1</td></tr><tr><td>32</td><td>0</td><td>0</td><td>-1</td><td>0</td><td>-1</td><td>-1</td></tr><tr><td>16</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>8</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>4</td><td>2</td><td>2</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr></table>	Horizontaal effect [dB]							Frequentie [Hz]	1	3	7	14	21	28	125	-2	-2	-3	-1	-2	-3	64	-2	-3	-1	1	-1	-1	32	0	0	-1	0	-1	-1	16	0	0	1	1	0	0	8	1	0	0	0	1	1	4	2	2	0	0	1	0	<table><tr><th colspan="7">Verticaal effect [dB]</th></tr><tr><th>Frequentie [Hz]</th><th>1</th><th>3</th><th>7</th><th>14</th><th>21</th><th>28</th></tr><tr><td>125</td><td>-2</td><td>-2</td><td>-2</td><td>0</td><td>-1</td><td>-2</td></tr><tr><td>64</td><td>-2</td><td>-2</td><td>-1</td><td>0</td><td>-3</td><td>-2</td></tr><tr><td>32</td><td>-1</td><td>0</td><td>-1</td><td>0</td><td>-3</td><td>-2</td></tr><tr><td>16</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>8</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>4</td><td>2</td><td>2</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>-1</td></tr></table>	Verticaal effect [dB]							Frequentie [Hz]	1	3	7	14	21	28	125	-2	-2	-2	0	-1	-2	64	-2	-2	-1	0	-3	-2	32	-1	0	-1	0	-3	-2	16	0	0	0	0	0	0	8	1	0	0	0	1	0	4	2	2	0	0	0	-1
Horizontaal effect [dB]																																																																																																																		
Frequentie [Hz]	1	3	7	14	21	28																																																																																																												
125	-2	-2	-3	-1	-2	-3																																																																																																												
64	-2	-3	-1	1	-1	-1																																																																																																												
32	0	0	-1	0	-1	-1																																																																																																												
16	0	0	1	1	0	0																																																																																																												
8	1	0	0	0	1	1																																																																																																												
4	2	2	0	0	1	0																																																																																																												
Verticaal effect [dB]																																																																																																																		
Frequentie [Hz]	1	3	7	14	21	28																																																																																																												
125	-2	-2	-2	0	-1	-2																																																																																																												
64	-2	-2	-1	0	-3	-2																																																																																																												
32	-1	0	-1	0	-3	-2																																																																																																												
16	0	0	0	0	0	0																																																																																																												
8	1	0	0	0	1	0																																																																																																												
4	2	2	0	0	0	-1																																																																																																												

Met behulp van een Random Forest-analyse (waarbij we kijken naar de hoogte van interactievariabelen (in hoeverre verandert een parameter door het uitvoeren van onderhoud) en een correlatieanalyse hebben we gekeken naar of het onderhoud zorgt voor een andere invloed van parameters als snelheid en aslast op de trillingen.

Uit de interactie-analyse zien we geen significante effecten. Er zijn dus geen parameters waarvan de invloed op de trillingen significant verandert door het uitvoeren van regulier PGO-onderhoud aan ES-lassen (slijpen, kopvulling toepassen, handmatig onderstoppen).

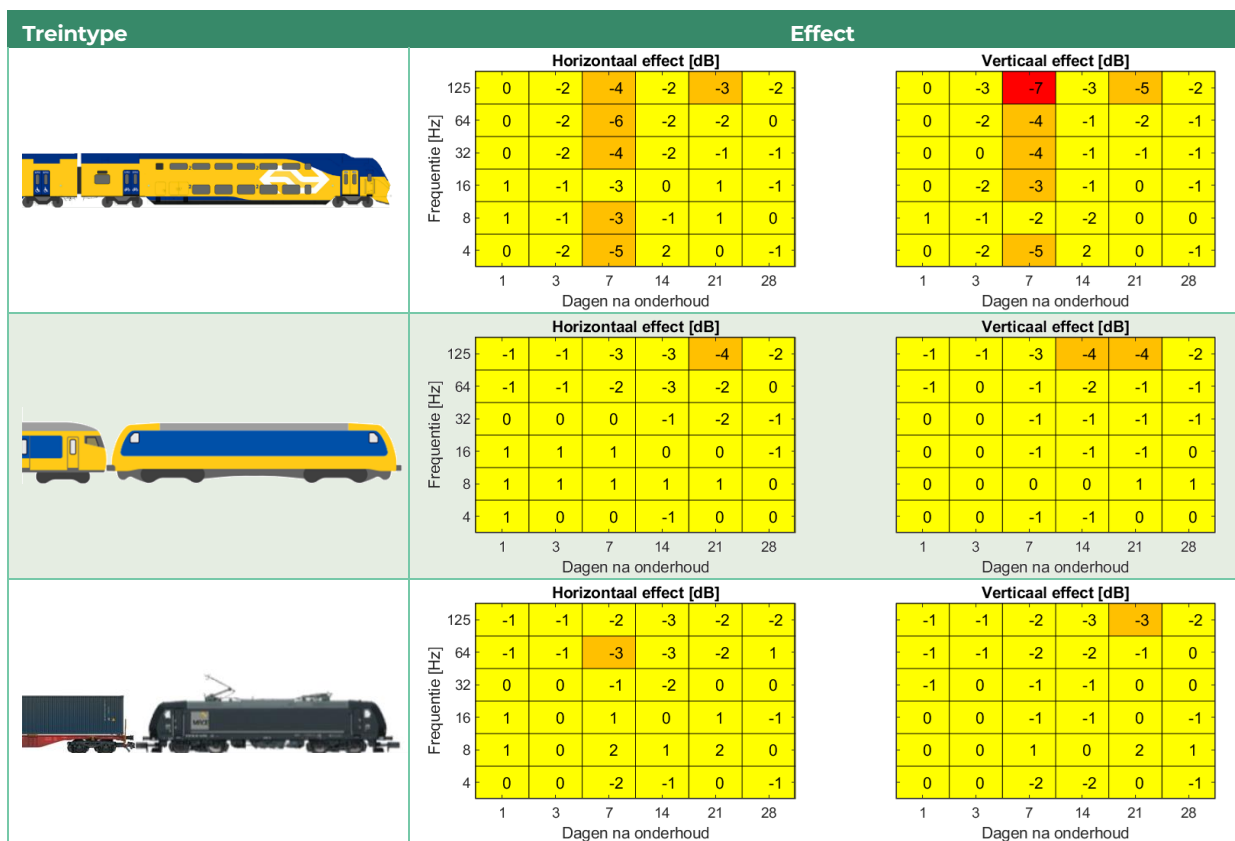
4.2.2. PUNTSTUKKEN

Het regulier onderhoud aan puntstukken is gemeten bij station Tilburg Universiteit. Het gaat om meerdere puntstukken (normaal wissel, Engels wissel) in twee sporen. Het gemiddelde effect in dB is samengevat weergegeven in Tabel 24 voor de meest voorkomende treintypes op de Brabantroute. In dit geval zien we dat bij de meeste treinen het effect bij lage frequenties (octaafbanden 4, 8 en 16 Hz) licht positief is, maar niet voelbaar, en bij hoge frequenties (octaafbanden 32, 64 en 125 Hz) licht negatief, maar evenmin voelbaar.

Verder valt op dat de trillingen van FLIRT-treinen bij vrijwel alle frequenties lager zijn op de eerste dag na onderhoud, dit is bij andere treintypes niet zichtbaar. Vermoedelijk komt dit doordat FLIRT-treinen zachter rijden, deze halteren op het station bij de meetlocatie, terwijl de andere treinen op hoge snelheid doorrijden. Mogelijk is het effect van het slijpen van de puntstukken bij die lage rijsnelheden dus wel merkbaar, maar niet bij hogere rijsnelheden. Dit positieve effect bij de FLIRT-treinen is na 1 dag echter wel verdwenen.

Tabel 24 Effect van regulier PGO-onderhoud aan puntstukken

Treintype		Effect					
	Horizontaal effect [dB]		Verticaal effect [dB]				
	125	1	-1	-3	-1	-3	-2
	64	2	-1	-3	0	-2	1
	32	2	0	-1	2	0	-1
	16	2	1	1	3	1	-2
	8	4	0	1	4	1	-1
	4	3	0	0	3	1	0
	1		3	7	14	21	28
Dagen na onderhoud		Dagen na onderhoud					



Uit de interactie-analyse zien we geen significante effecten. Er zijn dus geen parameters waarvan de invloed op de trillingen significant verandert door het uitvoeren van regulier PGO-onderhoud aan puntstukken (slijpen).

4.3. ONDERHOUD TYPE B – ONDERSTOPPEN

Het effect van regulier onderhoud is gemeten op 6 locaties, zie Tabel 25, aan verschillende types assets.

Tabel 25 Onderhoudslocaties type B

Locatie	Geocode	Kilometrerings	Spoor	Type asset	Type onderhoud
Breda	121	3.8	NK	Betonnen overweg	Machinaal onderstoppen
	121	3.8	MK	Betonnen overweg	Machinaal onderstoppen
Dorst	123	6.3	AH	Rubberen overweg	Machinaal onderstoppen
	123	6.3	DH	Rubberen overweg	Machinaal onderstoppen
Tilburg Reeshof	123	16.3	AH	Kunstwerk beton	Machinaal onderstoppen
	123	16.3	DH	Kunstwerk beton	Machinaal onderstoppen
Best	054	47.1	CC	Puntstukken	Machinaal onderstoppen
				ES-lassen	Machinaal onderstoppen
				Doorgaand spoor	Machinaal onderstoppen
Gouda	125	28.94	GO	Doorgaand spoor	Machinaal onderstoppen

Met dezelfde aanpak als voor onderhoud type A is het effect van dit onderhoud vastgesteld.

4.3.1. DOORGAAND SPOOR

Het effect van onderstoppen aan doorgaand spoor is gemeten in Best, Nuenen en Gouda. Het gemiddelde effect in dB is samengevat weergegeven in Tabel 26 voor de meest voorkomende treintypes op de Brabantroute. Opvallend is dat het effect pas later optreedt, alleen bij de TRAXX+ICRmh is direct effect zichtbaar. Verder is goed te zien dat in de maatgevende 8 Hz-octaaftband in de verticale richting na ruim een week het grootste deel van het effect is verdwenen, terwijl het effect in de horizontale richting zelfs nog iets verder toeneemt en in de 4 Hz-octaaftband gelijk blijft. Het vertraagde effect en daarna het afnemen van het effect komt vermoedelijk door het inrijden van het ballast: door het geheugeneffect van het ballast zijn de stenen na verloop van tijd weer in hun oude positie terug. Onduidelijk is waarom dit effect vooral in verticale richting, en minder in horizontale richting speelt. Het feit dat deze veranderingen niet allemaal geleidelijk, maar stapsgewijs verlopen, komt waarschijnlijk door het zetten van het ballast na onderstoppen. Zo is op 3 en 10 dagen na onderhoud een stapsgewijze afname van de trillingen zichtbaar.

Verder valt op dat de trillingen door het onderhoud bij hoge frequenties wat toenemen, vooral in horizontale richting in de 64 Hz-octaaftband.



Tabel 26 Effect van machinaal onderstoppen op doorgaand spoor

Treintype		Effect																																																																																																																
	<table><tr><th colspan="7">Horizontaal effect [dB]</th></tr><tr><th>Frequentie [Hz]</th><th>1</th><th>3</th><th>7</th><th>14</th><th>21</th><th>28</th></tr><tr><td>125</td><td>-3</td><td>-2</td><td>-1</td><td>3</td><td>5</td><td>7</td></tr><tr><td>64</td><td>-1</td><td>0</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-2</td><td>-2</td></tr><tr><td>32</td><td>1</td><td>1</td><td>4</td><td>3</td><td>4</td><td>4</td></tr><tr><td>16</td><td>0</td><td>1</td><td>3</td><td>3</td><td>4</td><td>4</td></tr><tr><td>8</td><td>1</td><td>1</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td></tr><tr><td>4</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>-1</td><td>-2</td><td>-1</td></tr></table>	Horizontaal effect [dB]							Frequentie [Hz]	1	3	7	14	21	28	125	-3	-2	-1	3	5	7	64	-1	0	-1	-1	-2	-2	32	1	1	4	3	4	4	16	0	1	3	3	4	4	8	1	1	2	2	2	2	4	0	1	0	-1	-2	-1	<table><tr><th colspan="7">Verticaal effect [dB]</th></tr><tr><th>1</th><th>3</th><th>7</th><th>14</th><th>21</th><th>28</th><th></th></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>3</td><td>-1</td><td>3</td><td>4</td><td></td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>4</td><td>4</td><td></td></tr><tr><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>3</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>2</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>2</td><td>1</td><td>3</td><td>3</td><td>2</td><td>2</td><td>3</td></tr></table>	Verticaal effect [dB]							1	3	7	14	21	28		1	0	3	-1	3	4		0	0	1	1	4	4		2	2	2	2	2	1	0	0	1	3	2	2	2	1	0	1	2	1	0	0	0	2	1	3	3	2	2	3
Horizontaal effect [dB]																																																																																																																		
Frequentie [Hz]	1	3	7	14	21	28																																																																																																												
125	-3	-2	-1	3	5	7																																																																																																												
64	-1	0	-1	-1	-2	-2																																																																																																												
32	1	1	4	3	4	4																																																																																																												
16	0	1	3	3	4	4																																																																																																												
8	1	1	2	2	2	2																																																																																																												
4	0	1	0	-1	-2	-1																																																																																																												
Verticaal effect [dB]																																																																																																																		
1	3	7	14	21	28																																																																																																													
1	0	3	-1	3	4																																																																																																													
0	0	1	1	4	4																																																																																																													
2	2	2	2	2	1	0																																																																																																												
0	1	3	2	2	2	1																																																																																																												
0	1	2	1	0	0	0																																																																																																												
2	1	3	3	2	2	3																																																																																																												
	<table><tr><th colspan="7">Horizontaal effect [dB]</th></tr><tr><th>Frequentie [Hz]</th><th>1</th><th>3</th><th>7</th><th>14</th><th>21</th><th>28</th></tr><tr><td>125</td><td>-3</td><td>-2</td><td>-2</td><td>3</td><td>4</td><td>6</td></tr><tr><td>64</td><td>-1</td><td>-2</td><td>-1</td><td>-3</td><td>-4</td><td>-3</td></tr><tr><td>32</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>4</td></tr><tr><td>16</td><td>0</td><td>1</td><td>3</td><td>4</td><td>4</td><td>4</td></tr><tr><td>8</td><td>2</td><td>3</td><td>5</td><td>5</td><td>6</td><td>6</td></tr><tr><td>4</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>-1</td><td>-1</td></tr></table>	Horizontaal effect [dB]							Frequentie [Hz]	1	3	7	14	21	28	125	-3	-2	-2	3	4	6	64	-1	-2	-1	-3	-4	-3	32	1	2	3	3	3	4	16	0	1	3	4	4	4	8	2	3	5	5	6	6	4	0	0	0	0	-1	-1	<table><tr><th colspan="7">Verticaal effect [dB]</th></tr><tr><th>1</th><th>3</th><th>7</th><th>14</th><th>21</th><th>28</th><th></th></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>2</td><td>-1</td><td>3</td><td>3</td><td></td></tr><tr><td>0</td><td>-1</td><td>1</td><td>1</td><td>4</td><td>4</td><td></td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>4</td><td>1</td><td>-1</td><td>-1</td><td></td></tr><tr><td>0</td><td>2</td><td>3</td><td>3</td><td>2</td><td>2</td><td></td></tr><tr><td>2</td><td>3</td><td>5</td><td>3</td><td>2</td><td>2</td><td></td></tr><tr><td>4</td><td>4</td><td>6</td><td>6</td><td>6</td><td>5</td><td></td></tr></table>	Verticaal effect [dB]							1	3	7	14	21	28		0	1	2	-1	3	3		0	-1	1	1	4	4		1	1	4	1	-1	-1		0	2	3	3	2	2		2	3	5	3	2	2		4	4	6	6	6	5	
Horizontaal effect [dB]																																																																																																																		
Frequentie [Hz]	1	3	7	14	21	28																																																																																																												
125	-3	-2	-2	3	4	6																																																																																																												
64	-1	-2	-1	-3	-4	-3																																																																																																												
32	1	2	3	3	3	4																																																																																																												
16	0	1	3	4	4	4																																																																																																												
8	2	3	5	5	6	6																																																																																																												
4	0	0	0	0	-1	-1																																																																																																												
Verticaal effect [dB]																																																																																																																		
1	3	7	14	21	28																																																																																																													
0	1	2	-1	3	3																																																																																																													
0	-1	1	1	4	4																																																																																																													
1	1	4	1	-1	-1																																																																																																													
0	2	3	3	2	2																																																																																																													
2	3	5	3	2	2																																																																																																													
4	4	6	6	6	5																																																																																																													

Uit de interactie-analyse zien we dat door het onderhoud de trillingen afnemen, maar de invloed van de rijksnelheid neemt wel toe door het onderhoud, vooral bij frequenties boven de 6 Hz. Na het onderhoud heeft de rijksnelheid dus meer invloed op de trillingen dan voor het onderhoud. De interactie-effecten voor deze locatie zijn weergegeven in Figuur 29. Hoe **roder**, hoe sterker de interactie. **Wit** betekent dat de parameter voor en na onderhoud niet anders is geworden.



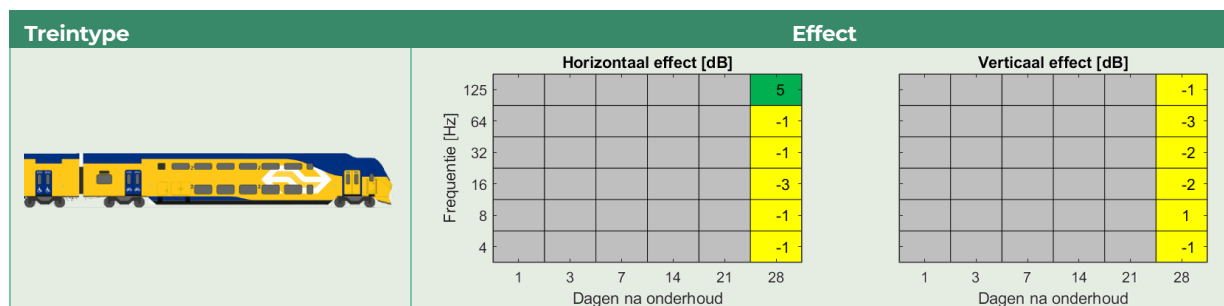
Figuur 29 Interactie-effecten als functie van de frequentie

4.3.2. ES-LASSEN

Het effect van onderstoppen bij ES-lassen is alleen gemeten in Best met behulp van korter lopende metingen. Het gemiddelde effect in dB is samengevat weergegeven in Tabel 27 voor treinen van het type VIRM (die het meest zijn gemeten tijdens de korte metingen. Er is geen

duidelijk effect van het onderstoppen van de ES-lassen meer te meten na 28 dagen, onduidelijk is wat het effect na een kortere periode is.

Tabel 27 Effect van machinaal onderstoppen rond ES-lassen

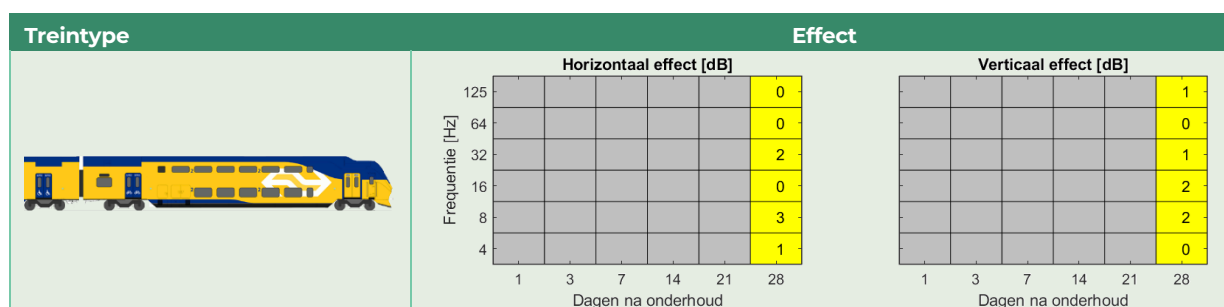


Uit de interactie-analyse zien we geen significante effecten. Er zijn dus geen parameters waarvan de invloed op de trillingen significant verandert door het machinaal onderstoppen van ES-lassen.

4.3.3. PUNTSTUKKEN

Het effect van onderstoppen bij puntstukken is alleen gemeten in Best met behulp van korter lopende metingen. Het gemiddelde effect in dB is samengevat weergegeven in Tabel 28 voor treinen van het type VIRM (die het meest zijn gemeten tijdens de korte metingen. Er is een licht, maar niet waarneembaar positief effect (afname van de trillingen) te meten na 28 dagen, onduidelijk is wat het effect na een kortere periode is.

Tabel 28 Effect van machinaal onderstoppen rond puntstukken



Uit de interactie-analyse zien we geen significante effecten. Er zijn dus geen parameters waarvan de invloed op de trillingen significant verandert door het machinaal onderstoppen van puntstukken.

4.3.4. BETONNEN OVERWEGBEVLOERING (HARMELEN-TYPE)

Het effect van onderstoppen rond een betonnen overweg is gemeten in Prinsenbeek. Relevant hierbij is wel dat de overweg zelf niet kan worden onderstopt, dus het machinaal onderstoppen stopt enkele meters voor en na de overweg. Op basis van de uitgevoerde analyse is bij alle treintypes op spoor MK een afname van de trillingen bij hoge frequenties (boven de 30 Hz) te zien, en een lichte, niet-significante toename van de trillingen bij lage en hoge frequenties. Mogelijk komt dit laatste omdat niet tot aan de overweg is onderstopt, waardoor er lokaal een wat slechtere spoorligging ontstaat. Op spoor NK is er geen significant effect van het onderhoud. Verder zijn er variaties in de tijd van de trillingen (met name bij lage en hoge frequenties) door andere factoren dan onderhoud.

Het gemiddelde effect in dB is samengevat weergegeven in Tabel 29 voor de meest voorkomende treintypes op de Brabantroute. Er is geen duidelijk effect van het onderhoud,

globaal geldt dat voor sommige treintypes de trillingen licht toenemen, en voor andere treintypes nemen de trillingen licht af.

Tabel 29 Effect van machinaal onderstoppen rond betonnen overwegen

Treintype		Effect																																																																																																																																						
	<table><tr><th colspan="2"></th><th colspan="6">Horizontaal effect [dB]</th></tr><tr><th rowspan="7">Frequentie [Hz]</th><th>125</th><td>1</td><td>1</td><td>3</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr><tr><th>64</th><td>1</td><td>0</td><td>2</td><td>3</td><td>1</td><td>3</td></tr><tr><th>32</th><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><th>16</th><td>-1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><th>8</th><td>0</td><td>-1</td><td>0</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td></tr><tr><th>4</th><td>-1</td><td>0</td><td>1</td><td>-1</td><td>0</td><td>-1</td></tr><tr><th></th><th></th><th>1</th><th>3</th><th>7</th><th>14</th><th>21</th><th>28</th></tr><tr><th colspan="2"></th><th colspan="6">Dagen na onderhoud</th></tr></table>			Horizontaal effect [dB]						Frequentie [Hz]	125	1	1	3	1	2	3	64	1	0	2	3	1	3	32	0	0	1	1	0	1	16	-1	0	0	0	0	0	8	0	-1	0	-1	-1	-1	4	-1	0	1	-1	0	-1			1	3	7	14	21	28			Dagen na onderhoud						<table><tr><th colspan="2"></th><th colspan="6">Verticaal effect [dB]</th></tr><tr><th rowspan="7">Frequentie [Hz]</th><th>125</th><td>1</td><td>1</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>2</td></tr><tr><th>64</th><td>0</td><td>-1</td><td>1</td><td>1</td><td>-1</td><td>-2</td></tr><tr><th>32</th><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><th>16</th><td>-1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><th>8</th><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td></tr><tr><th>4</th><td>-1</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>-1</td></tr><tr><th></th><th></th><th>1</th><th>3</th><th>7</th><th>14</th><th>21</th><th>28</th></tr><tr><th colspan="2"></th><th colspan="6">Dagen na onderhoud</th></tr></table>			Verticaal effect [dB]						Frequentie [Hz]	125	1	1	3	2	1	2	64	0	-1	1	1	-1	-2	32	0	0	1	2	1	1	16	-1	0	0	0	0	0	8	0	0	0	-1	-1	-1	4	-1	0	1	1	0	-1			1	3	7	14	21	28			Dagen na onderhoud					
		Horizontaal effect [dB]																																																																																																																																						
Frequentie [Hz]	125	1	1	3	1	2	3																																																																																																																																	
	64	1	0	2	3	1	3																																																																																																																																	
	32	0	0	1	1	0	1																																																																																																																																	
	16	-1	0	0	0	0	0																																																																																																																																	
	8	0	-1	0	-1	-1	-1																																																																																																																																	
	4	-1	0	1	-1	0	-1																																																																																																																																	
			1	3	7	14	21	28																																																																																																																																
		Dagen na onderhoud																																																																																																																																						
		Verticaal effect [dB]																																																																																																																																						
Frequentie [Hz]	125	1	1	3	2	1	2																																																																																																																																	
	64	0	-1	1	1	-1	-2																																																																																																																																	
	32	0	0	1	2	1	1																																																																																																																																	
	16	-1	0	0	0	0	0																																																																																																																																	
	8	0	0	0	-1	-1	-1																																																																																																																																	
	4	-1	0	1	1	0	-1																																																																																																																																	
			1	3	7	14	21	28																																																																																																																																
		Dagen na onderhoud																																																																																																																																						
	<table><tr><th colspan="2"></th><th colspan="6">Horizontaal effect [dB]</th></tr><tr><th rowspan="7">Frequentie [Hz]</th><th>125</th><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>3</td><td>2</td></tr><tr><th>64</th><td>0</td><td>-1</td><td>1</td><td>2</td><td>2</td><td>3</td></tr><tr><th>32</th><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><th>16</th><td>-1</td><td>0</td><td>0</td><td>-1</td><td>-2</td><td>-1</td></tr><tr><th>8</th><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><th>4</th><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td></tr><tr><th></th><th></th><th>1</th><th>3</th><th>7</th><th>14</th><th>21</th><th>28</th></tr><tr><th colspan="2"></th><th colspan="6">Dagen na onderhoud</th></tr></table>			Horizontaal effect [dB]						Frequentie [Hz]	125	0	0	1	1	3	2	64	0	-1	1	2	2	3	32	0	0	0	0	0	0	16	-1	0	0	-1	-2	-1	8	0	0	0	0	0	0	4	-1	-1	-1	-1	-1	-1			1	3	7	14	21	28			Dagen na onderhoud						<table><tr><th colspan="2"></th><th colspan="6">Verticaal effect [dB]</th></tr><tr><th rowspan="7">Frequentie [Hz]</th><th>125</th><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>2</td><td>1</td></tr><tr><th>64</th><td>0</td><td>-1</td><td>0</td><td>1</td><td>-1</td><td>-1</td></tr><tr><th>32</th><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td></tr><tr><th>16</th><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td><td>0</td><td>-1</td><td>-1</td></tr><tr><th>8</th><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><th>4</th><td>0</td><td>-1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><th></th><th></th><th>1</th><th>3</th><th>7</th><th>14</th><th>21</th><th>28</th></tr><tr><th colspan="2"></th><th colspan="6">Dagen na onderhoud</th></tr></table>			Verticaal effect [dB]						Frequentie [Hz]	125	0	0	1	1	2	1	64	0	-1	0	1	-1	-1	32	1	0	1	2	2	2	16	-1	-1	-1	0	-1	-1	8	0	0	0	0	0	0	4	0	-1	0	0	0	0			1	3	7	14	21	28			Dagen na onderhoud					
		Horizontaal effect [dB]																																																																																																																																						
Frequentie [Hz]	125	0	0	1	1	3	2																																																																																																																																	
	64	0	-1	1	2	2	3																																																																																																																																	
	32	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																	
	16	-1	0	0	-1	-2	-1																																																																																																																																	
	8	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																	
	4	-1	-1	-1	-1	-1	-1																																																																																																																																	
			1	3	7	14	21	28																																																																																																																																
		Dagen na onderhoud																																																																																																																																						
		Verticaal effect [dB]																																																																																																																																						
Frequentie [Hz]	125	0	0	1	1	2	1																																																																																																																																	
	64	0	-1	0	1	-1	-1																																																																																																																																	
	32	1	0	1	2	2	2																																																																																																																																	
	16	-1	-1	-1	0	-1	-1																																																																																																																																	
	8	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																	
	4	0	-1	0	0	0	0																																																																																																																																	
			1	3	7	14	21	28																																																																																																																																
		Dagen na onderhoud																																																																																																																																						
	<table><tr><th colspan="2"></th><th colspan="6">Horizontaal effect [dB]</th></tr><tr><th rowspan="7">Frequentie [Hz]</th><th>125</th><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>2</td></tr><tr><th>64</th><td>3</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>1</td><td>2</td></tr><tr><th>32</th><td>2</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>-1</td><td>0</td></tr><tr><th>16</th><td>1</td><td>0</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td></tr><tr><th>8</th><td>1</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td></tr><tr><th>4</th><td>2</td><td>1</td><td>0</td><td>-1</td><td>-1</td><td>0</td></tr><tr><th></th><th></th><th>1</th><th>3</th><th>7</th><th>14</th><th>21</th><th>28</th></tr><tr><th colspan="2"></th><th colspan="6">Dagen na onderhoud</th></tr></table>			Horizontaal effect [dB]						Frequentie [Hz]	125	1	1	1	2	3	2	64	3	1	2	3	1	2	32	2	0	0	1	-1	0	16	1	0	-1	-1	-1	-1	8	1	-1	-1	-1	-1	-1	4	2	1	0	-1	-1	0			1	3	7	14	21	28			Dagen na onderhoud						<table><tr><th colspan="2"></th><th colspan="6">Verticaal effect [dB]</th></tr><tr><th rowspan="7">Frequentie [Hz]</th><th>125</th><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>2</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><th>64</th><td>2</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>-2</td></tr><tr><th>32</th><td>3</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><th>16</th><td>1</td><td>0</td><td>-1</td><td>0</td><td>-1</td><td>-1</td></tr><tr><th>8</th><td>1</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td></tr><tr><th>4</th><td>2</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>-1</td><td>1</td></tr><tr><th></th><th></th><th>1</th><th>3</th><th>7</th><th>14</th><th>21</th><th>28</th></tr><tr><th colspan="2"></th><th colspan="6">Dagen na onderhoud</th></tr></table>			Verticaal effect [dB]						Frequentie [Hz]	125	1	1	1	2	1	1	64	2	0	0	1	0	-2	32	3	0	1	2	1	1	16	1	0	-1	0	-1	-1	8	1	-1	-1	-1	-1	-1	4	2	0	0	0	-1	1			1	3	7	14	21	28			Dagen na onderhoud					
		Horizontaal effect [dB]																																																																																																																																						
Frequentie [Hz]	125	1	1	1	2	3	2																																																																																																																																	
	64	3	1	2	3	1	2																																																																																																																																	
	32	2	0	0	1	-1	0																																																																																																																																	
	16	1	0	-1	-1	-1	-1																																																																																																																																	
	8	1	-1	-1	-1	-1	-1																																																																																																																																	
	4	2	1	0	-1	-1	0																																																																																																																																	
			1	3	7	14	21	28																																																																																																																																
		Dagen na onderhoud																																																																																																																																						
		Verticaal effect [dB]																																																																																																																																						
Frequentie [Hz]	125	1	1	1	2	1	1																																																																																																																																	
	64	2	0	0	1	0	-2																																																																																																																																	
	32	3	0	1	2	1	1																																																																																																																																	
	16	1	0	-1	0	-1	-1																																																																																																																																	
	8	1	-1	-1	-1	-1	-1																																																																																																																																	
	4	2	0	0	0	-1	1																																																																																																																																	
			1	3	7	14	21	28																																																																																																																																
		Dagen na onderhoud																																																																																																																																						

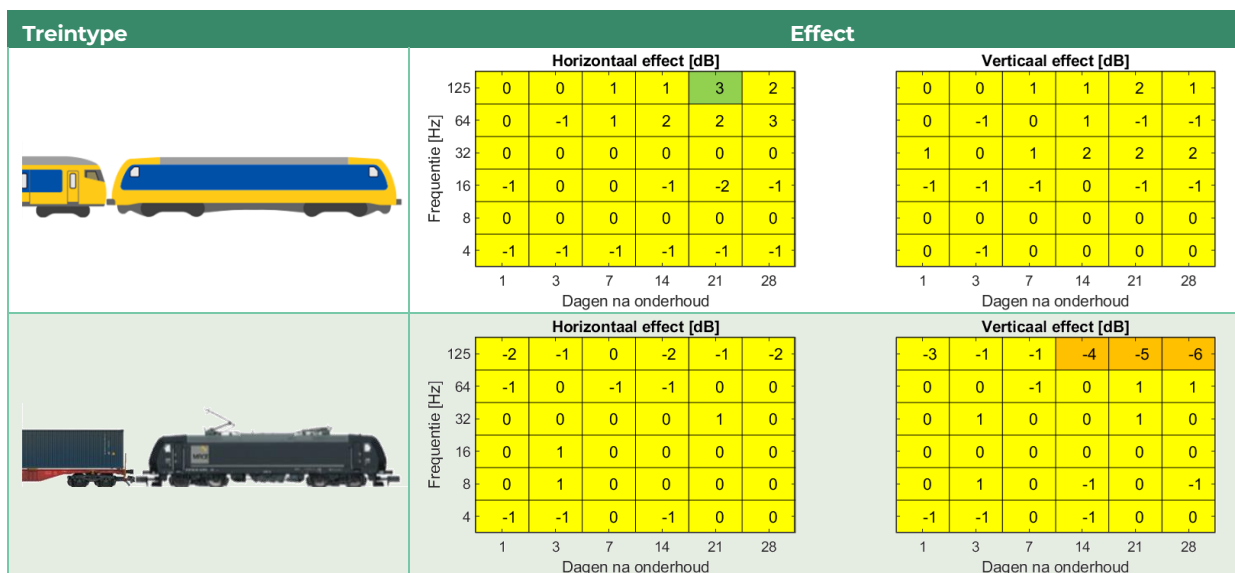
Uit de interactie-analyse zien we geen significante effecten. Er zijn dus geen parameters waarvan de invloed op de trillingen significant verandert door het onderstoppen rond overwegen.

4.3.5. RUBBEREN OVERWEGBEVLOERING

Het effect van onderstoppen rond een rubberen overwegbevloering is gemeten in Dorst. Relevant hierbij is wel dat de overweg zelf niet is onderstopt (hoewel dat bij rubberen overwegbevloering wel mogelijk is), dus het machinaal onderstoppen stopt enkele meters voor en na de overweg. Het gemiddelde effect in dB is samengevat weergegeven in Tabel 30 voor de meest voorkomende treintypes op de Brabantroute. Door het onderhoud nemen de trillingen beperkt toe, maar deze toename is niet voelbaar.

Tabel 30 Effect van machinaal onderstoppen rond rubberen overwegbevloering

Treintype		Effect												
	Frequentie [Hz]	Horizontaal effect [dB]	Verticaal effect [dB]											
		125	-1	2	0	-1	-1	0	-2	0	-1	-3	-5	-5
		64	-1	1	-1	-1	-1	0	0	1	-2	1	0	1
		32	-1	0	-1	-1	-1	0	-2	0	-1	-1	-1	-1
		16	-1	0	-1	-1	-1	-1	-2	-1	-2	-1	-1	-1
		8	-1	0	-1	-1	-1	-1	-2	-1	-2	-1	-1	-1
		4	-2	1	-1	-2	-1	-1	-1	0	-1	-1	-1	-1
			1	3	7	14	21	28	1	3	7	14	21	28
Dagen na onderhoud		Dagen na onderhoud												

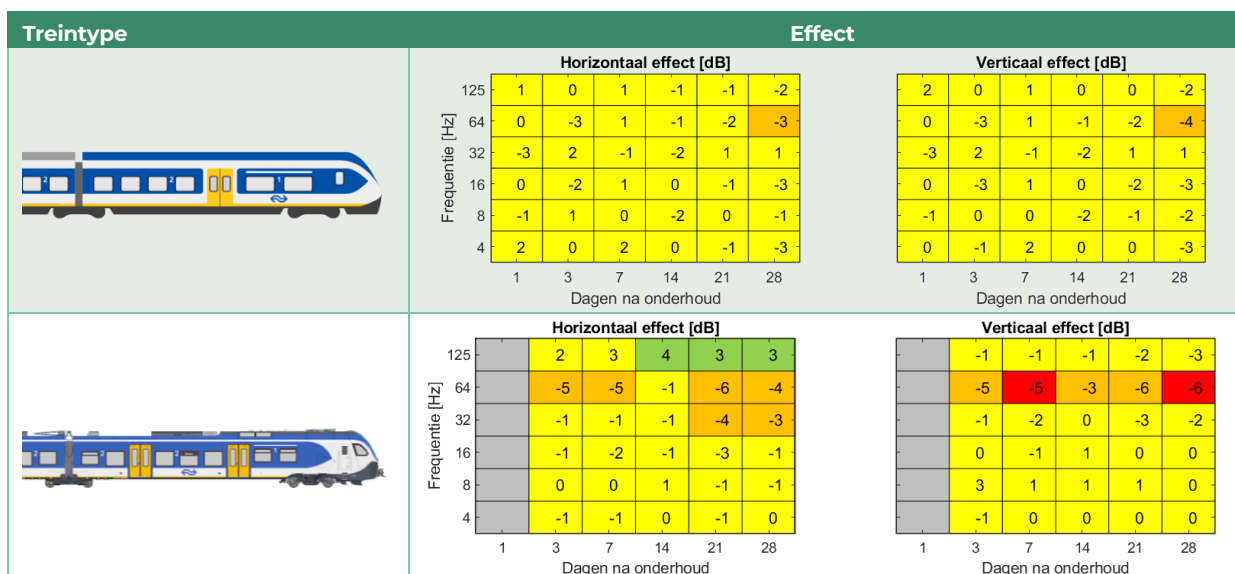


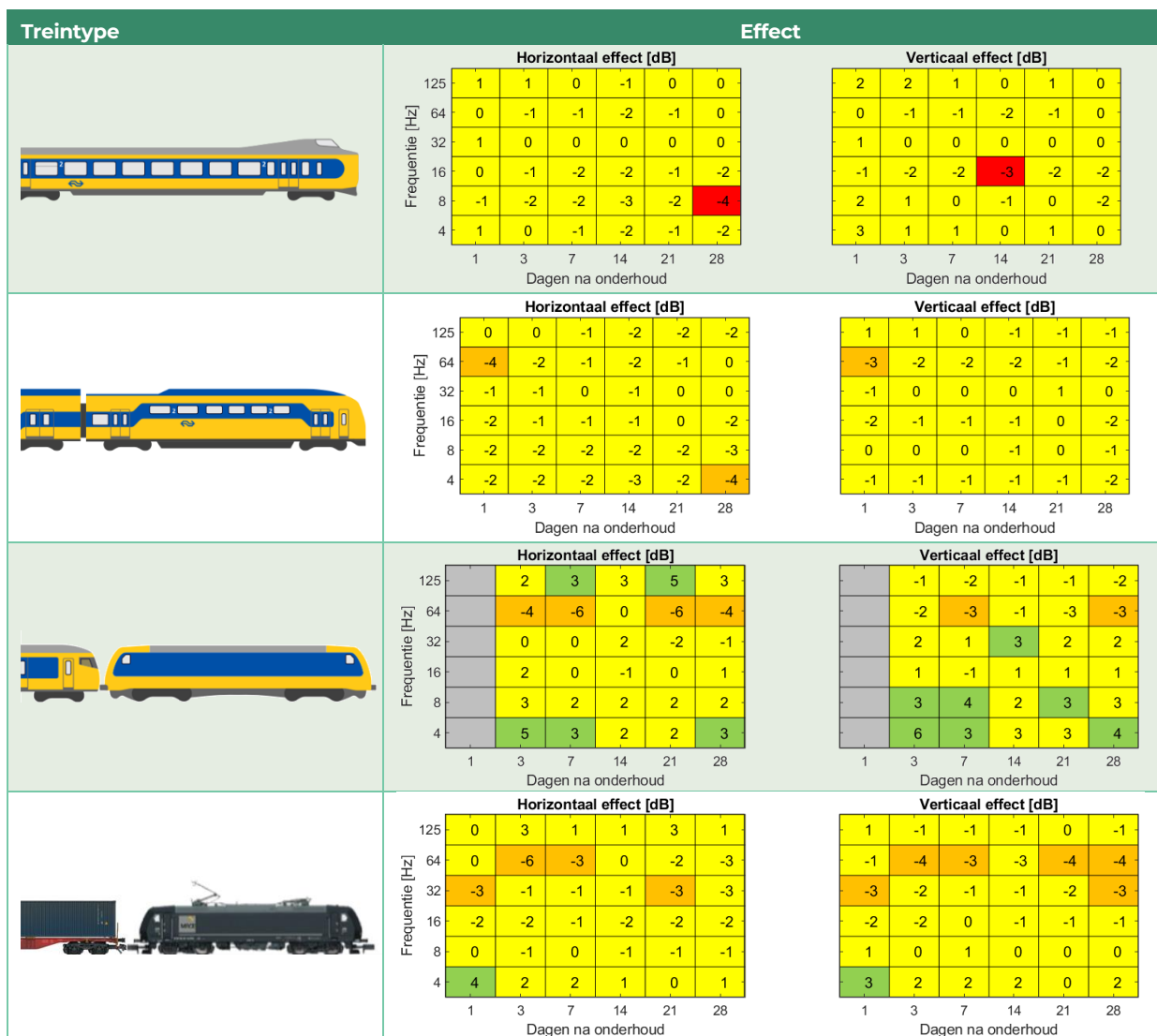
Uit de interactie-analyse zien we geen significante effecten. Er zijn dus geen parameters waarvan de invloed op de trillingen significant verandert door het onderstoppen rond overwegen.

4.3.6. BETONNEN KUNSTWERKEN

Het effect van onderstoppen rond een betonnen kunstwerk is gemeten in Tilburg en in Gouda. Het gemiddelde effect in dB is samengevat weergegeven in Tabel 31 voor de meest voorkomende treintypes. Opvallend is de vrij sterke toename van de trillingen in de 64 Hz-octaaftband, en het feit dat alleen bij de TRAXX+ICRmh een duidelijke, voelbare afname van de trillingen optreedt, vooral in verticale richting en bij lage frequenties (octaafbanden 4, 8 en 32 Hz). Opvallend is ook dat het sterke effect wat na 3 dagen bij lage frequenties (4 Hz octaafband) nog zichtbaar is, na een week is verdwenen. Het effect van het onderstoppen bij lage frequenties is blijvend aanwezig, maar neemt na de eerste paar dagen wel af.

Tabel 31 Effect van machinaal onderstoppen rond betonnen kunstwerken





Uit de interactie-analyse zien we geen significante effecten. Er zijn dus geen parameters waarvan de invloed op de trillingen significant verandert door het onderstoppen van betonnen kunstwerken met spoor in ballast.



In dit hoofdstuk gaan we in op zogenaamde 'bijvangst' van dit onderzoek. Informatie die nieuw of interessant is, maar niet direct bijdraagt aan het beantwoorden van de hoofdvragen van dit onderzoek..



5. BIJVANGST

5.1. INLEIDING

In dit hoofdstuk gaan we in op bijvangsten van het onderzoek: opvallende bevindingen uit het onderzoek die niet direct een antwoord geven op de hoofd- en bijvragen.

Met behulp van een random forest analyse en een correlatieanalyse hebben we gezocht naar verbanden tussen de trillingen en andere (mogelijk) relevante parameters, zoals de rijsnelheid van de trein, onderhoudsparameters (uit QuoVadis-data) en gegevens over de spoorligging (uit BBMS-data). De gebruikte data en bronnen zijn hieronder weergegeven in Tabel 32.

Tabel 32 Gebruikte parameters en bronnen

Parameter	Gebruikte waarden in RF-analyse	Bron
Tijd voor/na onderhoud	Waarde per event	Trillingsmeting
Trillingssterkte $V_{max,Bts}$	Waarde per event	Trillingsmeting
Trillingsspectra (frequentie)	Spectrum over maximale 5 seconden per trein	Trillingsmeting
Trillingsspectra (golflengte)	Spectrum over maximale 5 seconden per trein	Trillingsmeting
Rijsnelheid trein	Waarde per event	Meting
Temperatuur	Min, max, actueel, dauwpunt	KNMI
Relatieve luchtvochtigheid	Actueel	KNMI
Sneeuw	Actueel	KNMI
IJsvorming	Actueel	KNMI
Neerslag	Duur, cumulatief afgelopen dag, week en maand	KNMI
Treintype	Typebenaming	QuoVadis
Gewicht	Totaal, min, max, gemiddelde, mediaan en standaardafwijking aslast	QuoVadis
Treinlengte	Waarde per event	QuoVadis
RMS hoog	Mini, max, gemiddelde, mediaan en standaardafwijking	QuoVadis
RMS laag	Mini, max, gemiddelde, mediaan en standaardafwijking	QuoVadis
Voorachterratio	Mini, max, gemiddelde, mediaan en standaardafwijking	QuoVadis
Linksrecht-ratio	Mini, max, gemiddelde, mediaan en standaardafwijking	QuoVadis
Diagonale onbalans	Mini, max, gemiddelde, mediaan en standaardafwijking	QuoVadis
Wieldefecten	% vlakke plaatsen, polygonisatie, out-of-round, vierkant, wielschade	QuoVadis
Wielkwaliteitsfactor	Mini, max, gemiddelde, mediaan en standaardafwijking	QuoVadis
Pieklast	Mini, max, gemiddelde, mediaan en standaardafwijking	QuoVadis
Bodemopbouw	Type, gemiddelde conusweerstand en wrijving	BRO
Hoogteverschil spoor - meetpunt	Waarde per locatie	AHN4
Hoogte-afwijking spoorligging 10 m	Min, max, RMS en standaardafwijking over 3, 15 en 100 m	BBMS
Hoogte-afwijking spoorligging 15 m	Min, max, RMS en standaardafwijking over 3, 15 en 100 m	BBMS
Schift-afwijking spoorligging 9 m	Min, max, RMS en standaardafwijking over 3, 15 en 100 m	BBMS
Korte golf D0	Min, max, RMS en standaardafwijking over 3, 15 en 100 m	BBMS
Korte golf hoogte 1 m	Min, max, RMS en standaardafwijking over 3, 15 en 100 m	BBMS
Golfslijtage 1	Min, max, RMS en standaardafwijking over 3, 15 en 100 m	BBMS
Golfslijtage 3	Min, max, RMS en standaardafwijking over 3, 15 en 100 m	BBMS

Vervolgens is per hotspot, per spoor en per frequentie of golflengte bepaald welke parameters de trillingen het meest verklaren. Een aantal voorbeeld outputs van het model bespreken we hierna. Voor hotspot B05 (geocode 123, km. 19.9, spoor DH) zijn de outputs hierna weergegeven.

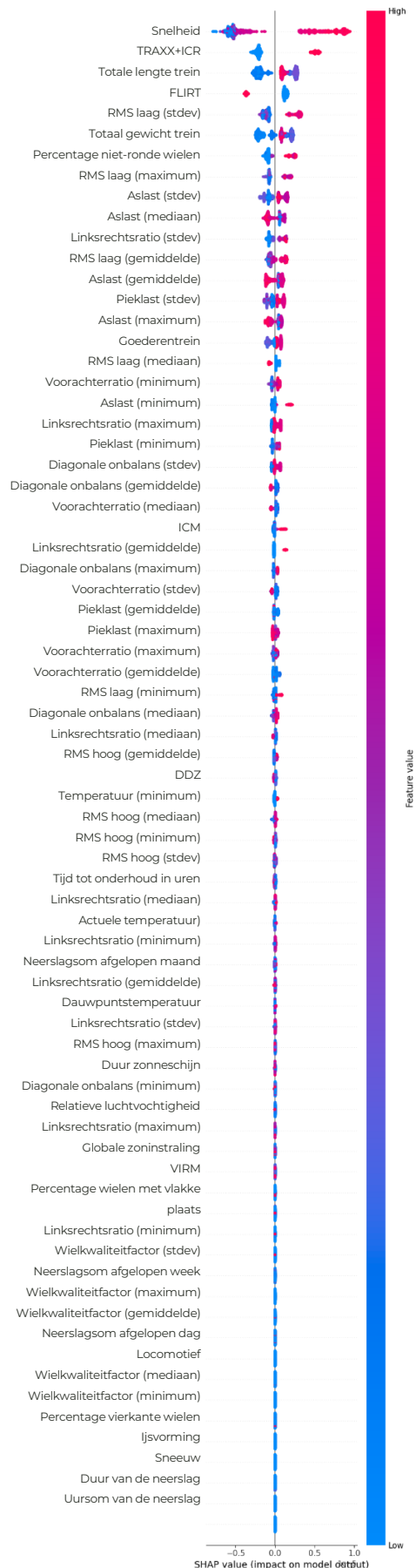


Dergelijke figuren zijn ook voor de andere hotspots bepaald, de resultaten bespreken we in dit hoofdstuk. De plaatjes laten het volgende zien:

1. Rechts staat een zogenaamde SHAP-plot. Deze laat, in dit geval voor 15 Hz (op deze locatie de maatgevende frequentie), de verschillende relevante parameters zien die de trillingen bij die frequentie kunnen verklaren. Deze grafiek moet als volgt worden gelezen:

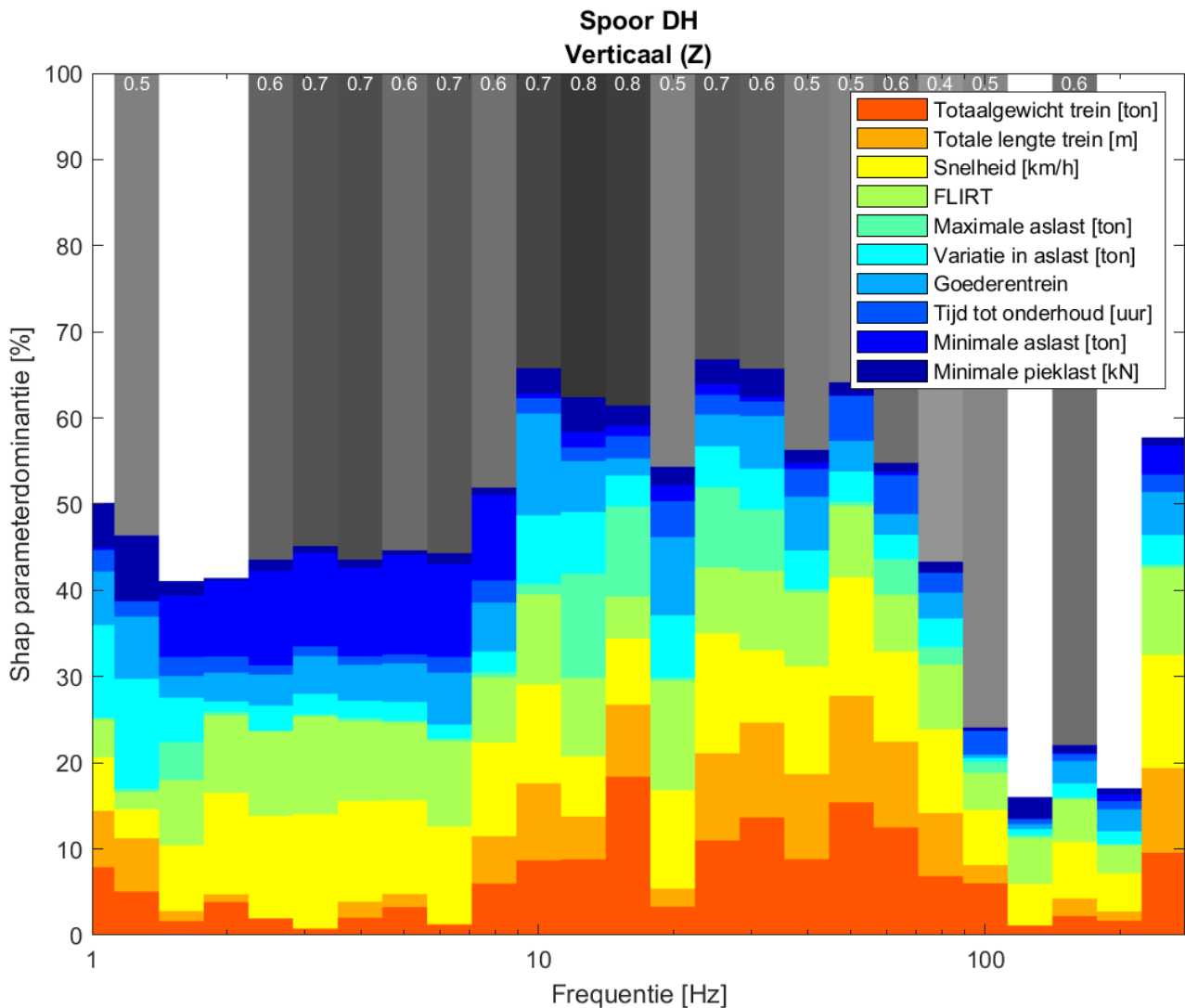
- a. Hoe hoger de parameter in deze lijst staat, hoe meer invloed op de trillingen deze parameter gemiddeld heeft.
- b. Elk puntje laat een meetwaarde zien (een gemeten treinpassage). Als er veel puntjes bij elkaar staan (en het balkje dus dikker is), betekent dit dat er veel meetwaarden zijn met dezelfde grootte.
- c. Een **rood** puntje betekent dat deze waarde hoog is, een **blauw** puntje dat de waarde laag is. Bijvoorbeeld bij snelheid dat de snelheid laag is.
- d. Een waarde rechts van de zwarte verticale lijn betekent dat deze waarde zorgt voor meer trillingen, en een waarde links van de zwarte verticale lijn betekent dat deze waarde zorgt voor minder trillingen. Hoe meer de waarde naar links of naar rechts staan, hoe groter de invloed op de trillingen is.

Bijvoorbeeld bij snelheid: de meeste blauwe puntjes (lage snelheid) staan links van de verticale zwarte lijn: een lage rijsnelheid zorgt voor lagere trillingen. De meeste rode puntjes staan rechts van de zwarte verticale lijn: een hoge rijsnelheid zorgt voor hogere trillingen. Bij de volgende parameters, TRAXX+ICR als materieeltype, zien we dat de rode puntjes (wel een TRAXX+ICR) zorgen voor hogere trillingen, terwijl de blauwe puntjes (geen TRAXX+ICR, dus bijvoorbeeld een goederentrein, sprinter of andere intercity) zorgen voor lagere trillingen.



2. In Figuur 30 staat de parameterdominantie van de 10 meest dominante parameters (over alle frequenties heen) zien als functie van de frequentie. Daarnaast is aangegeven (met de grijze achtergrondbalken) hoe goed het RF-model in staat is om de trillingen op deze locatie te berekenen. Een waarde van 1.0 is perfect, vanaf 0.5 is er sprake van een goede voorspelling. Waarden onder de 0.4 zijn niet weergegeven.

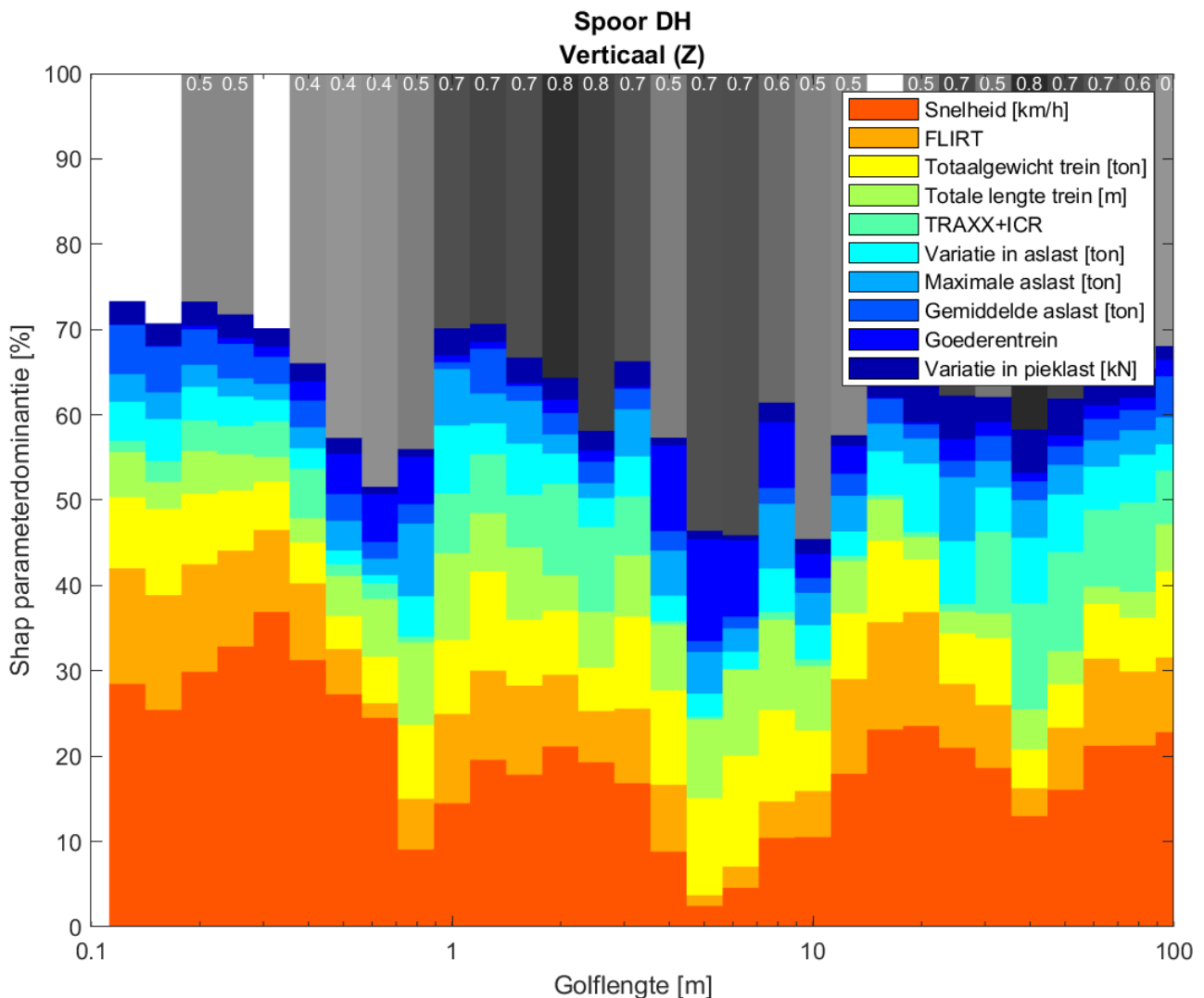
De hoogte van de gekleurde balkjes geeft de SHAP-parameterdominantie aan. Zo is te zien dat bij lage frequenties (onder 8 Hz) het totaalgewicht van de trein geen rol speelt, maar vanaf ca. 10 Hz juist wel. Bij hoge frequenties (boven de 100 Hz) spelen andere parameters dan de top 10-waarden blijkbaar een belangrijke rol, want de hier weergegeven parameters zorgen gezamenlijk maar voor zo'n 15 procent van de parameterdominantie.



Figuur 30 Parameterdominantie als functie van de frequentie

3. Dezelfde figuur, maar dan als functie van de golflengte, is in Figuur 31 weergegeven. Belangrijke golflengtes als 0.6 meter (afstand tussen dwarsliggers) en 3 meter (wielomtrek) zijn nu goed zichtbaar. Hier is te zien dat:

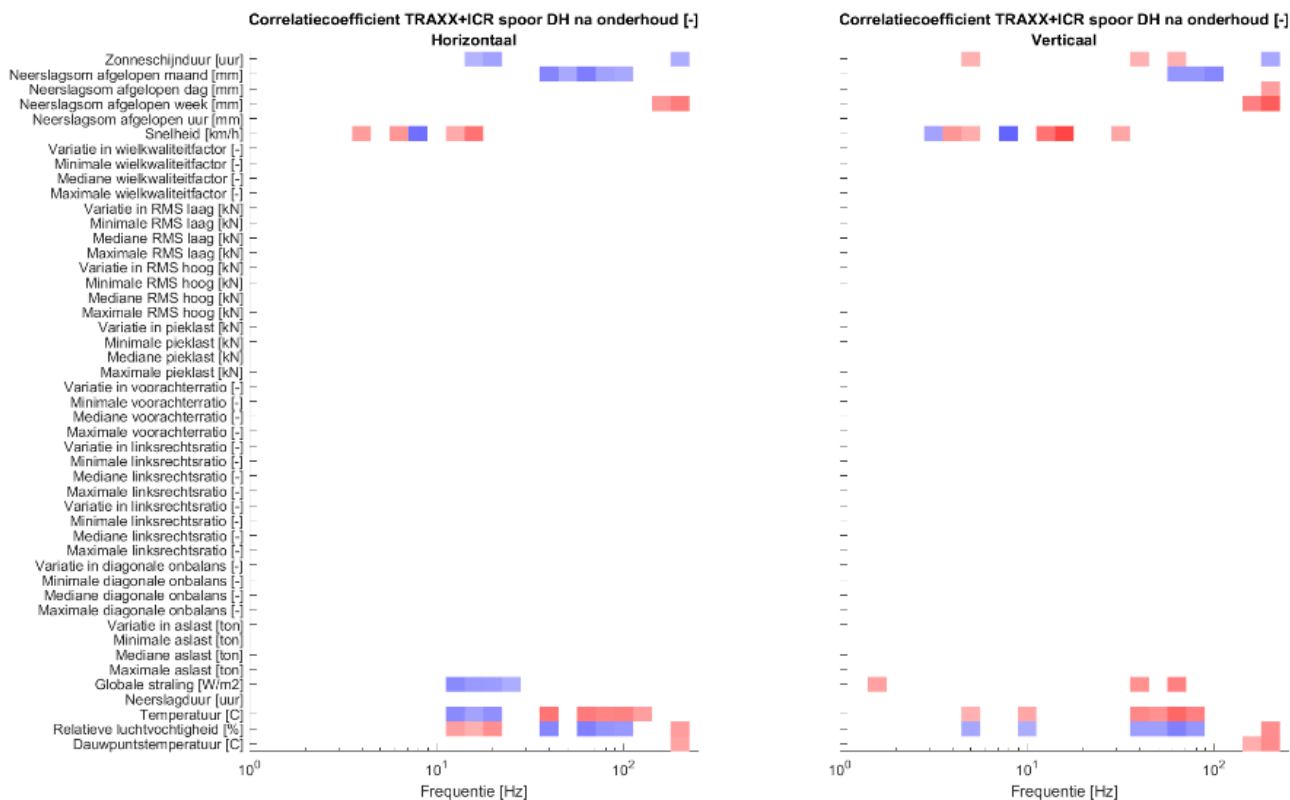
- De 10 meest belangrijke parameters zijn soms anders dan bij de trillingsspectra als functie van de frequentie. Zo is de snelheid in dit geval veel bepalender in het verklaren van de trillingen.
- Bij vrijwel alle golflengtes zijn de 10 meest belangrijke parameters gezamenlijk in staat om de trillingen beter te voorspellen dan bij de trillingsspectra als functie van de frequentie (de som van de balkjes is vrijwel overal hoger).



Figuur 31 Parameterdominantie als functie van de golflengte

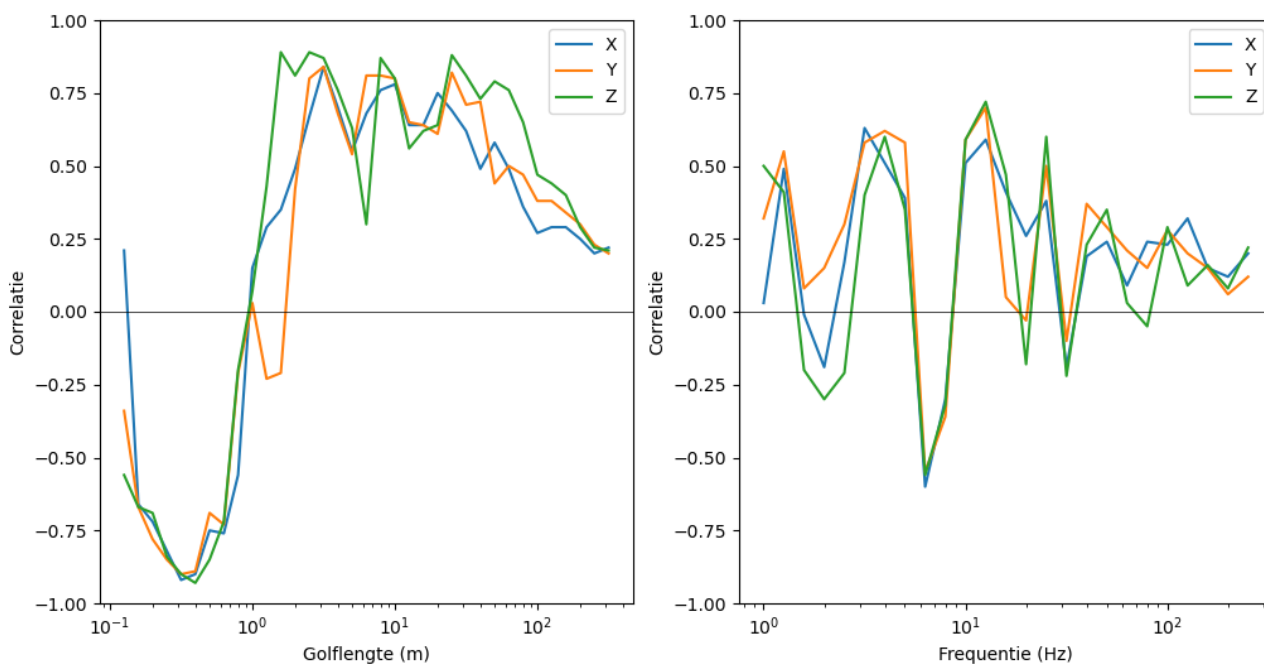
4. De parameterdominantie geeft inzicht in de verklarende invloed van een parameter op de trillingen, en neemt ook niet-lineaire effecten mee. Je kunt er echter niet uit zien of een bepaalde parameter de trillingen groter of kleiner maakt, zoals in de SHAP-plots wel zichtbaar is (maar deze zijn dan weer wat lastiger te interpreteren). Daarom is ook een correlatieanalyse uitgevoerd. Hierbij zijn de Pearson correlatiecoëfficiënten (dus gebaseerd op lineaire relatie tussen trillingen en de verschillende parameters) bepaald per frequentie. Een correlatie van 1.0 betekent dat de trillingen sterk toenemen met een toenemende waarde van die parameter, een correlatie van -1.0 betekent dat de trillingen sterk afnemen met een toenemende waarde van die parameter. In Figuur 32 is dit weergegeven, waarbij **blauw** een sterk negatieve correlatie is, wit geen correlatie en **rood** een sterk positieve correlatie. In deze figuur is bijvoorbeeld te zien:

- Dat na een relatief natte periode de trillingen afnemen bij frequenties tussen de 50 en 100 Hz, waarbij het effect op horizontale trillingen wat groter is dan bij verticale trillingen
- De trillingen bij frequenties tussen de 50 en 100 Hz toenemen bij een hogere temperatuur, terwijl de horizontale trillingen afnemen bij frequenties tussen de 10 en 30 Hz.
- De snelheid een wisselend effect heeft: bij sommige frequenties nemen de trillingen toe, bij andere frequenties nemen ze af.
- Veel parameters hebben bij de TRAXX+ICRmh geen sterke invloed op de trillingen.



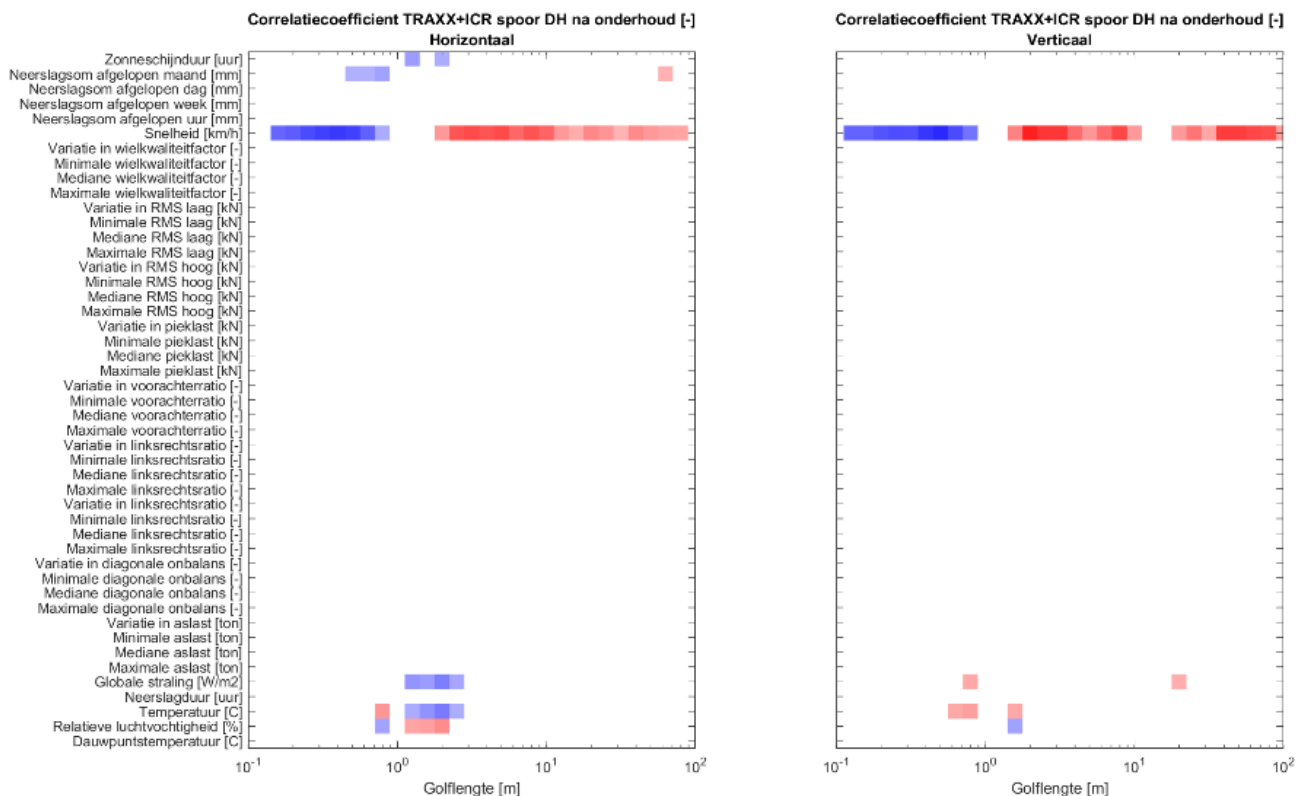
Figuur 32 Correlatiecoëfficiënt als functie van de frequentie voor situatie na onderhoud (links voor horizontale trillingen, rechts verticaal)

Voor de meest relevante parameter (snelheid) zijn deze lineaire correlatiecoëfficiënten ook weergegeven als functie van de golflengte en frequentie, zie Figuur 33. Een grote negatieve correlatiecoëfficiënt betekent dat de trillingen sterk afnemen met de snelheid, een sterke positieve correlatiecoëfficiënt dat de trillingen sterk toenemen met de snelheid. In dit voorbeeld nemen voor golflengtes onder de meter (bijv. wielonrondheden, aantikken dwarsliggers) de trillingen sterk af met de snelheid, terwijl de trillingen bij grotere golflengtes juist sterk toenemen met de snelheid. In het frequentiedomein zijn de verbanden grilliger.



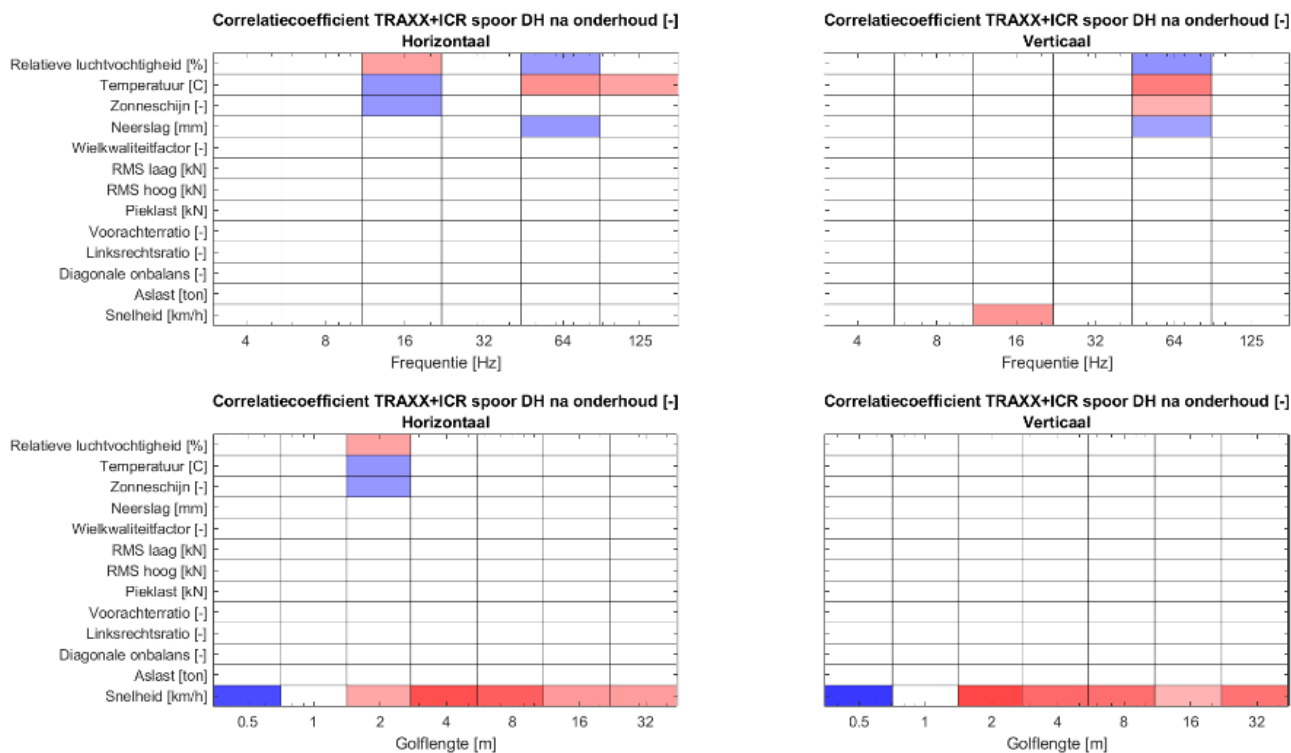
Figuur 33 Lineaire correlatiecoëfficiënt voor rij snelheid (links als functie van de golflengte, rechts als functie van de frequentie)

5. Als we Figuur 32 reproduceren als functie van de golflengte, dan ziet dat eruit als Figuur 34. De invloed van de snelheid is nu veel duidelijker, waarbij voor golflengtes onder de 0.8 meter de trillingen sterk afnemen met toenemende snelheid, en voor trillingen boven de 1.0 meter golflengte nemen de trillingen sterk toe met de snelheid. Andere invloeden zijn nu veel minder duidelijk.



Figuur 34 Correlatiecoëfficiënt als functie van de golflengte voor situatie na onderhoud (links voor horizontale trillingen, rechts verticaal)

6. Een samenvattende weergave van de onder 4. en 5. besproken grafieken, maar dan in octaafbandspectra en waarbij vergelijkbare parameters zijn samengevat, zijn in Figuur 35 weergegeven. Samengevat geldt dat vooral in het golflengtedomein een sterke invloed van de snelheid waarneembaar is, en dat bij sommige golflengtes en frequenties ook invloeden van de temperatuur zichtbaar zijn.



Figuur 35 Correlatiecoëfficiënt als functie van de frequentie (boven) en als functie van de golflengte (onder) voor situatie na onderhoud (links voor horizontale trillingen, rechts verticaal)

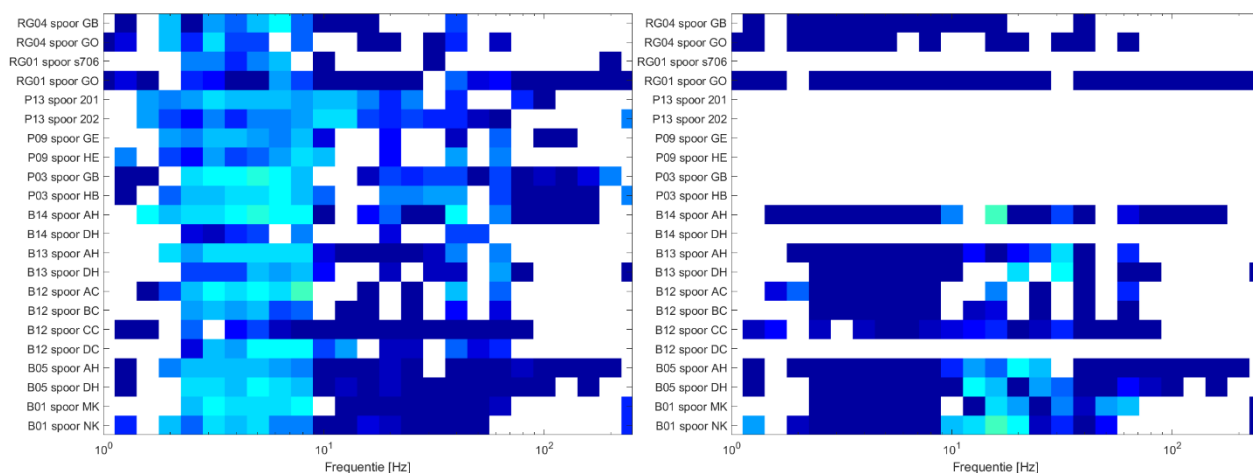
Bovenstaande grafiektypes worden in de volgende paragrafen gebruikt om de bijvangst van dit onderzoek te beschrijven.

5.2. PARAMETERDOMINANTIE: DE TREIN

5.2.1. VOERTUIGTYPES

Het voertuigtype is meegegeven als parameter in de RF-analyse. Uit de meetresultaten zien we dat FLIRT-treinen en VIRM-treinen vaak lagere trillingen geven dan Goederentreinen en treinen van het type TRAXX+ICRmh. Uit de SHAP-parameterdominantie is meer in detail te zien hoe dat komt, en bij welke frequenties dat speelt, zie Figuur 36. Hier is het volgende te zien:

1. Vooral bij frequenties tussen de 2 en 10 Hz hebben goederentreinen relatief veel invloed op de trillingen. De trillingen van goederentreinen zijn bij deze lage frequenties vaak hoger. Dit komt vooral door de hogere aslast (en daardoor hogere statische indrukking van de bodem, een mechanisme dat bij deze frequenties relevant is).
2. De TRAXX+ICRmh zorgt vooral bij frequenties tussen de 10 en 40 Hz voor hogere trillingen, bij lagere frequenties (onder de 10 Hz) doet dit treintype juist niet zoveel. Opvallend is verder dat bij de locaties met een overweg (B14, B01) of puntstukken (B05), de invloed van de TRAXX+ICRmh groter lijkt dan bij doorgaand spoor (B12). Dit is in lijn met eerdere onderzoeken, waar de TRAXX+ICRmh vooral op locaties met puntbronnen (overwegen, wissels, ES-lassen) hogere trillingen geeft.

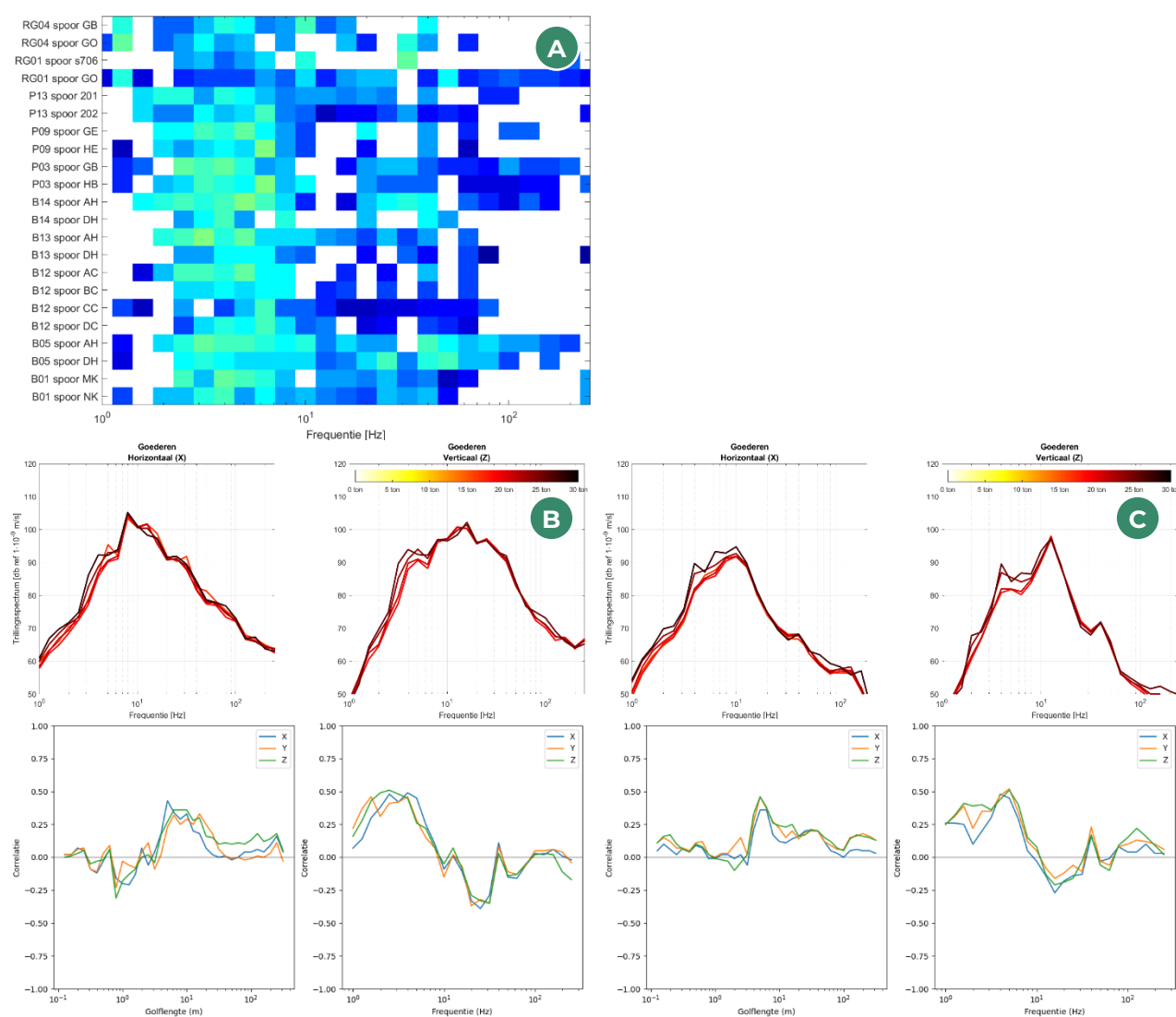


Figuur 36 Parameterdominantie als functie van de frequentie voor goederentreinen (links) en TRAXX+ICRmh-treinen (rechts). **Blauw** is weinig invloed op trillingen, **groen** = gemiddelde invloed op trillingen en **donkerrood** is grote invloed op trillingen. Wit is niet gemeten op die locatie of dat het RF-model onvoldoende betrouwbaar is bij die frequentie

5.2.2. ASLAST

Karakteristieke figuren voor de invloed van aslast op trillingen zijn weergegeven in Figuur 37. Het volgende valt op:

1. Op alle locaties zien we dat de aslast vooral invloed heeft bij lage trillingsfrequenties (onder de 10 Hz), daarboven is er geen significante invloed. De invloed van de aslast op de trillingen is positief: de trillingen nemen toe bij hogere aslast. Bij locaties met een heel slappe bodem (zoals RG01 en RG04) zien we ook bij frequenties van 1,5 a 2 Hz sterke invloed van de aslast.
2. Bij overwegen en kunstwerkovergangen (locatie B01 - betonnen overweg, B05 - betonnen kunstwerk en B14 - rubberen overweg) zien we in de RF-analyse ook bij hogere frequenties (10 tot 100 Hz) invloed van de aslast op de trillingen.
3. Alleen bij goederentreinen is er een sterke variatie in aslast, voor andere treintypes is de invloed van aslast daarom beperkt.

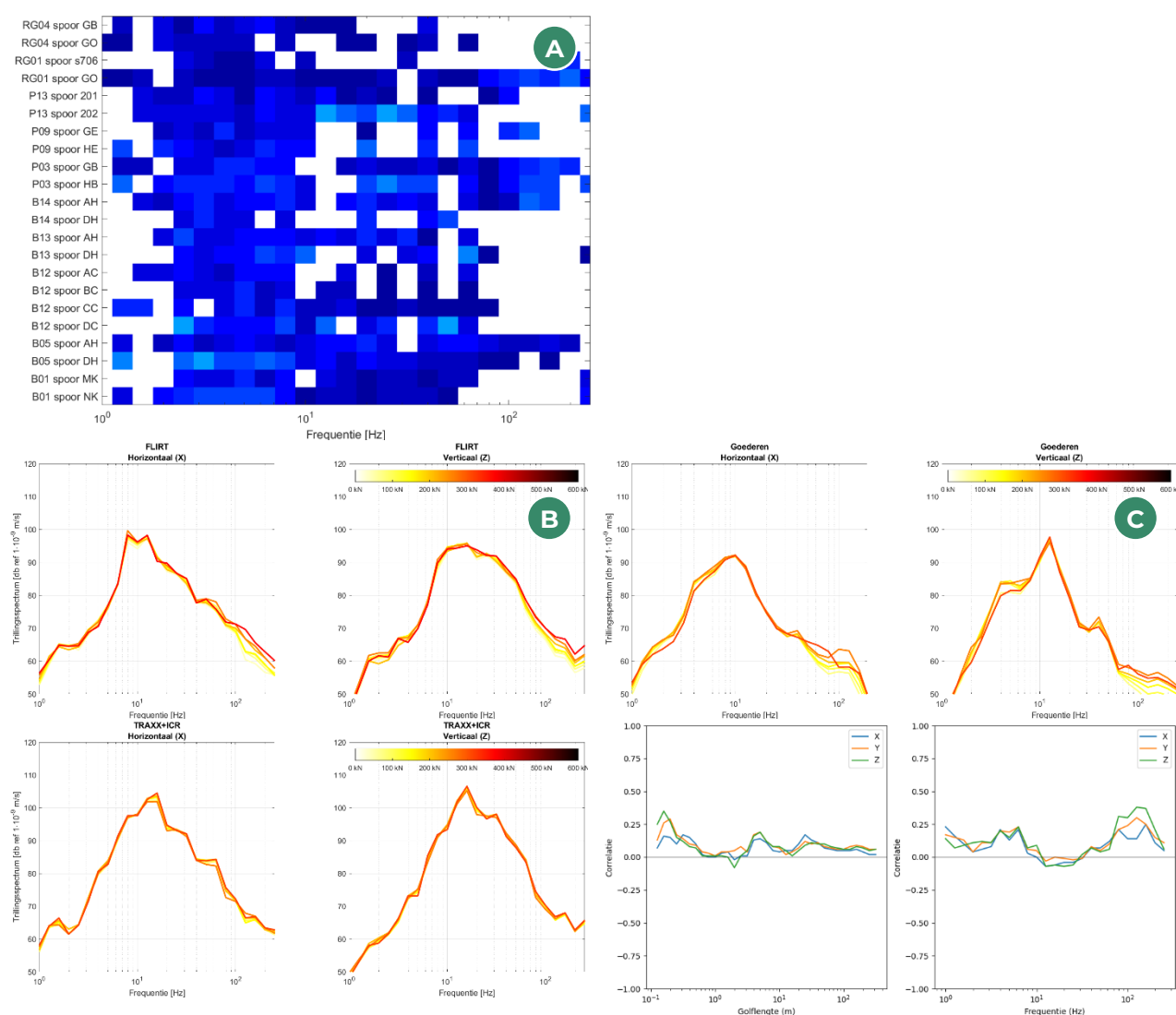


Figuur 37 Invloed van aslast. In **A** de parameterdominantie als functie van de frequentie voor alle locaties samen. In **B** de gemiddelde trillingspectra als functie van de aslast en de Pearson correlatiecoëfficiënt voor goederentreinen bij een betonnen overweg, in **C** voor doorgaand spoor.

5.2.3. PIEKLAST

Een aantal karakteristieke figuren voor de invloed van de pieklast op de trillingen is weergegeven in Figuur 38. Het volgende valt op:

1. Op alle locaties zien we dat de invloed van de pieklast op de trillingen beperkt is. We zien geen duidelijke verschillen tussen locaties, en ook geen duidelijke toe- of afname van de trillingen met toenemende pieklast.
2. In de correlatieanalyse komt de pieklast soms wel iets naar voren (correlatie tussen pieklast en trillingen), maar dat komt omdat de pieklast ook gecorreleerd is met aslast en bijv. RMS_{laag} en RMS_{hoog} . In de RF-analyse valt de pieklast dan wat weg. Vanaf ca. 60 Hz is een positieve invloed van de pieklast zichtbaar: de trillingen nemen toe met toenemende pieklast.
3. Bij treinen van het type TRAXX+ICRmh is de invloed van de pieklast minder zichtbaar dan bij andere treintypes.

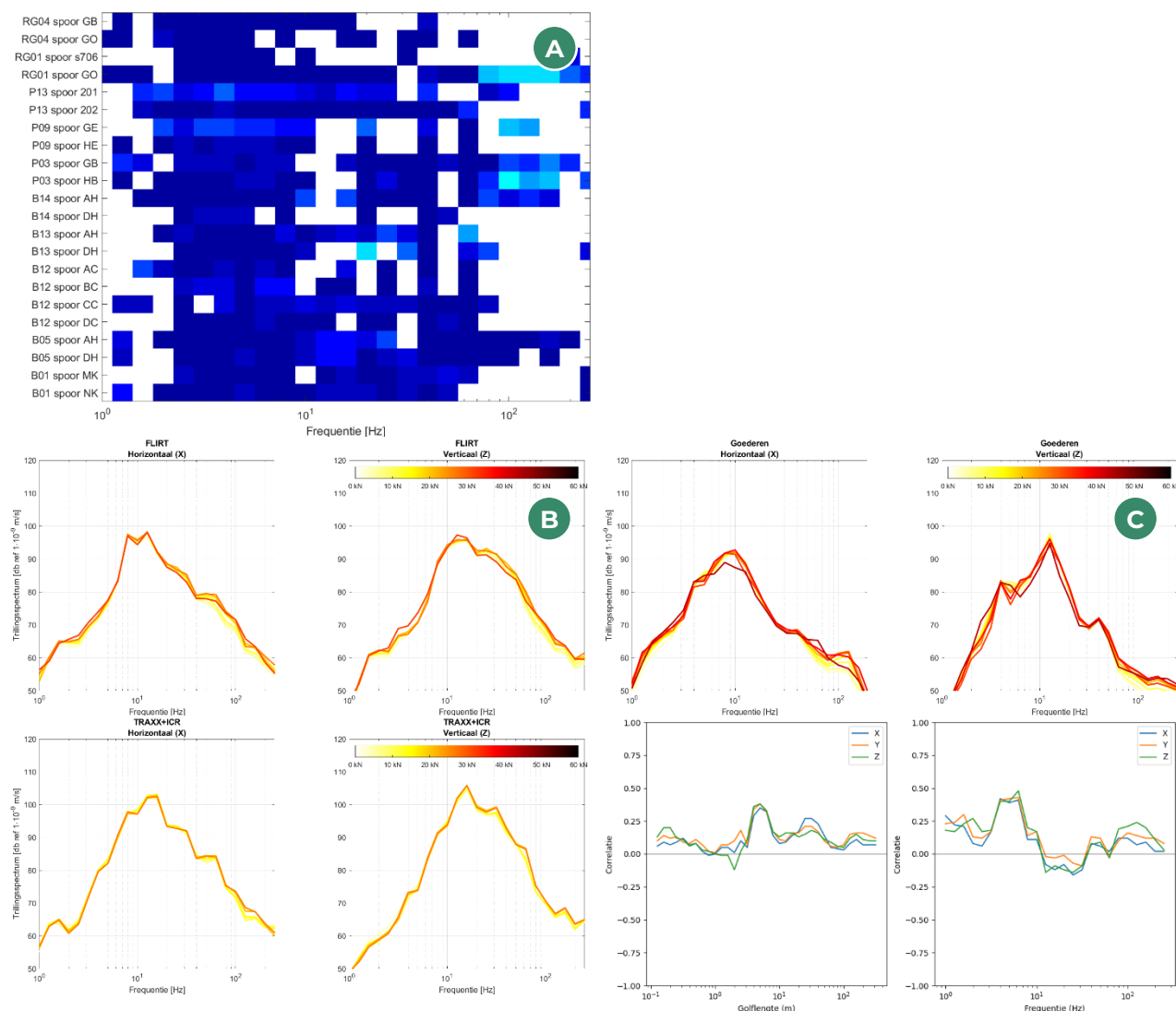


Figuur 38 Invloed van pieklast. In **A** de parameterdominantie als functie van de frequentie voor alle locaties samen. In **B** de gemiddelde trillingsspectra als functie van de pieklast voor FLIRT-treinen (boven) en TRAXX+ICRmh-treinen (onder) op een locatie met betonnen overweg, in **C** goederentreinen op doorgaand spoor (inclusief Pearson correlatiecoëfficiënt).

5.2.4. RMSLAAG

Een aantal karakteristieke figuren voor de invloed van de RMS_{laag} op de trillingen is weergegeven in Figuur 39. Het volgende valt op:

1. Op alle locaties zien we dat de invloed van de RMS_{laag} op de trillingen beperkt is. We zien geen duidelijke verschillen tussen locaties, en ook geen duidelijke toe- of afname van de trillingen met toenemende RMS_{laag} .
2. Bij hogere trillingsfrequenties (boven de 40 Hz) is er soms wel invloed van de RMS_{laag} zichtbaar (trillingen nemen toe met hogere RMS_{laag}), maar deze verschillen zijn niet significant.
3. Bij treinen van het type TRAXX+ICRmh is de invloed van de RMS_{laag} minder zichtbaar dan bij andere treintypes.

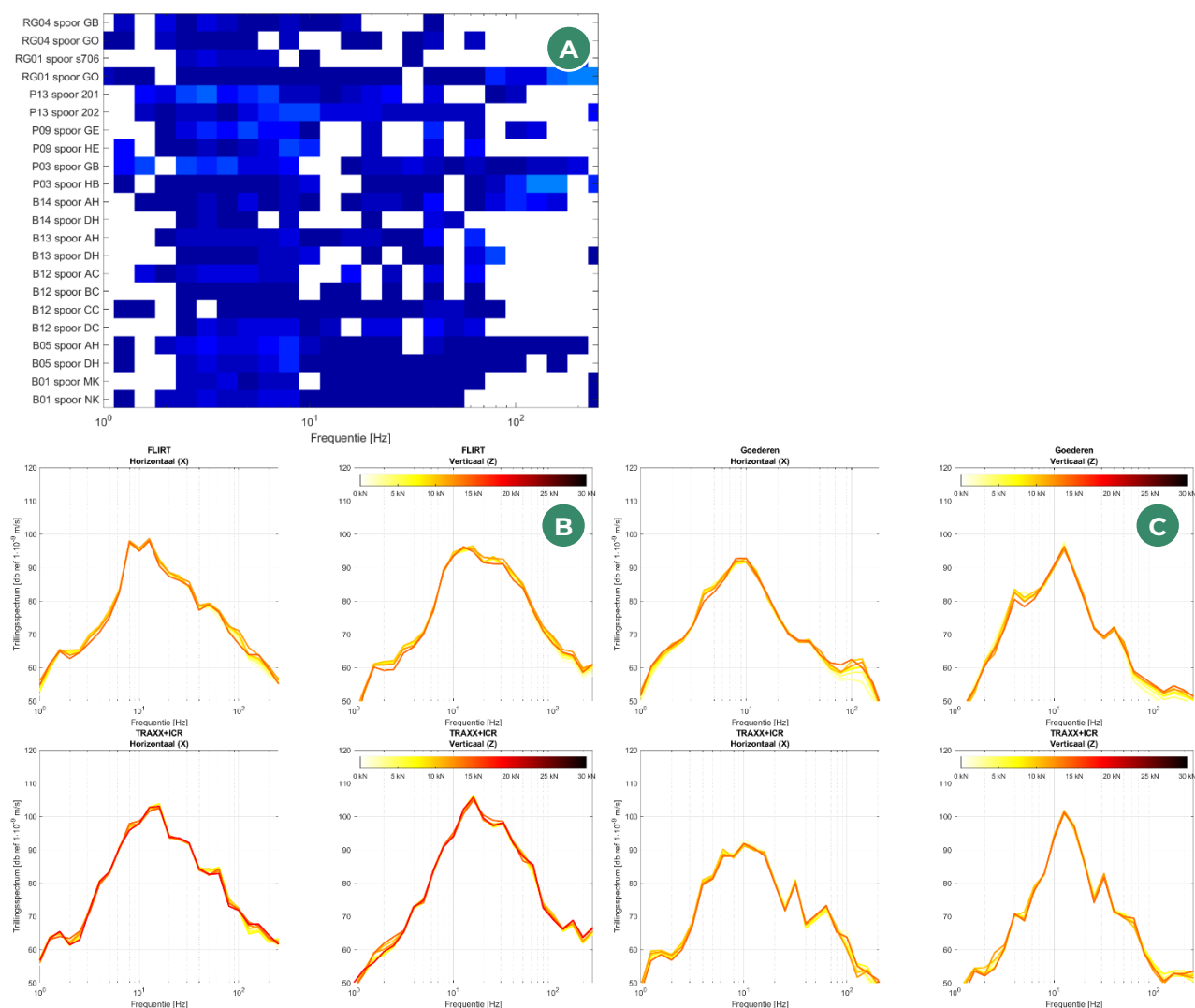


Figuur 39 Invloed van RMS_{laag} . In **A** de parameterdominantie als functie van de frequentie voor alle locaties samen. In **B** de gemiddelde trillingsspectra als functie van de RMS_{laag} voor FLIRT-treinen (boven) en TRAXX+ICR-treinen (onder) op een locatie met betonnen overweg, in **C** goederentreinen op doorgaand spoor (inclusief Pearson correlatiecoëfficiënt).

5.2.5. RMS HOOG

Een aantal karakteristieke figuren voor de invloed van de RMS_{hoog} op de trillingen is weergegeven in Figuur 40. Het volgende valt op:

1. Op alle locaties zien we dat de invloed van de RMS_{hoog} op de trillingen beperkt is. We zien geen duidelijke verschillen tussen locaties, en ook geen duidelijke toe- of afname van de trillingen met toenemende RMS_{hoog} .
2. Bij hogere trillingsfrequenties (boven de 60 Hz) is er soms wel invloed van de RMS_{hoog} zichtbaar (trillingen nemen toe met hogere RMS_{hoog}), maar deze verschillen zijn niet significant. We zien dit effect alleen bij goederentreinen. Lastig hierbij is dat RMS_{hoog} correleert met de pieklast en RMS_{laag} . In de RF-analyse komt de RMS_{hoog} niet als relevante parameter naar voren.

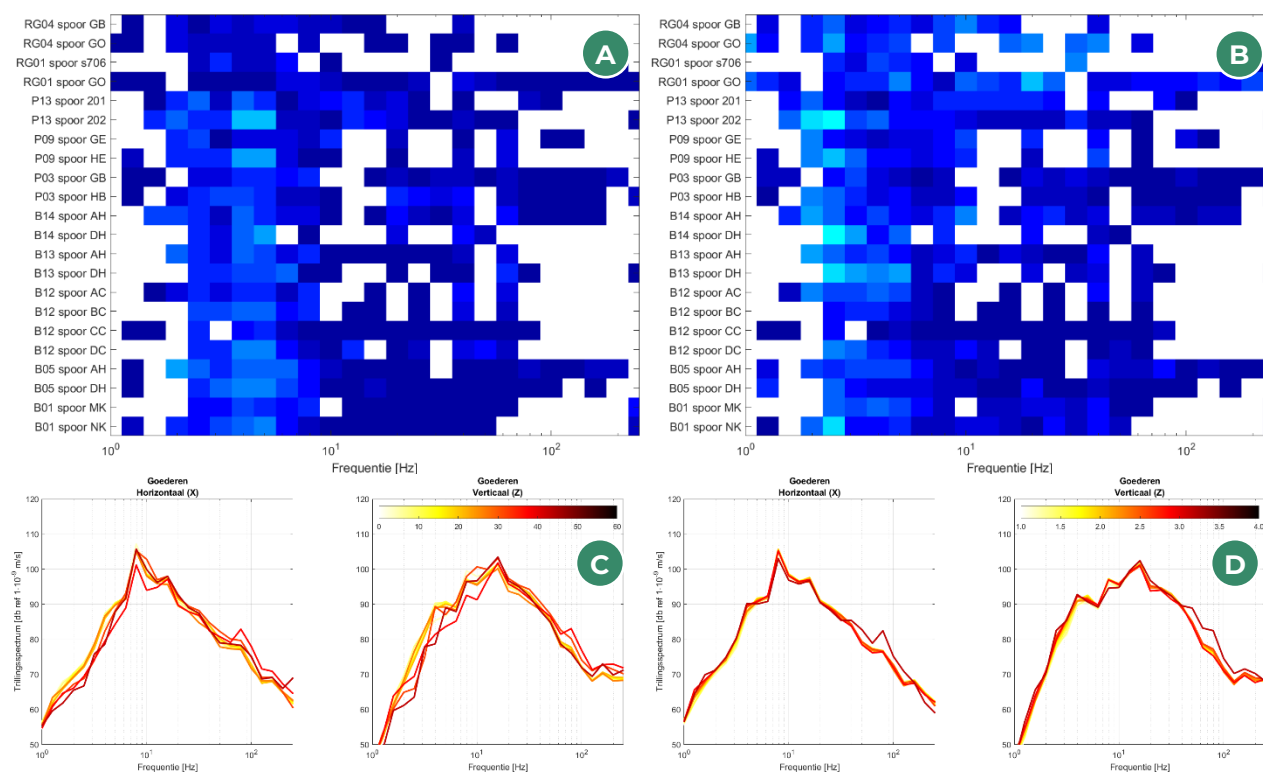


Figuur 40 Invloed van RMS_{hoog} . In **A** de parameterdominantie als functie van de frequentie voor alle locaties samen. In **B** de gemiddelde trillingsspectra als functie van de RMS_{hoog} voor FLIRT-treinen (boven) en TRAXX+ICRmh-treinen (onder) op een locatie met betonnen overweg, in **C** goederentreinen (boven) en TRAXX+ICRmh-treinen (onder) op doorgaand spoor

5.2.6. SCHEEFBELADING

Ook scheefbelading kan invloed hebben op de trillingen. Parameters die dit beschrijven zijn de diagonale onbalans (linksvoor vs. rechtsachter), de links-rechtsratio (links vs. rechts) en de voor-achterratio (voor vs. achter). Een aantal karakteristieke figuren voor de invloed van deze parameters op de trillingen is weergegeven in Figuur 41. Het volgende valt op:

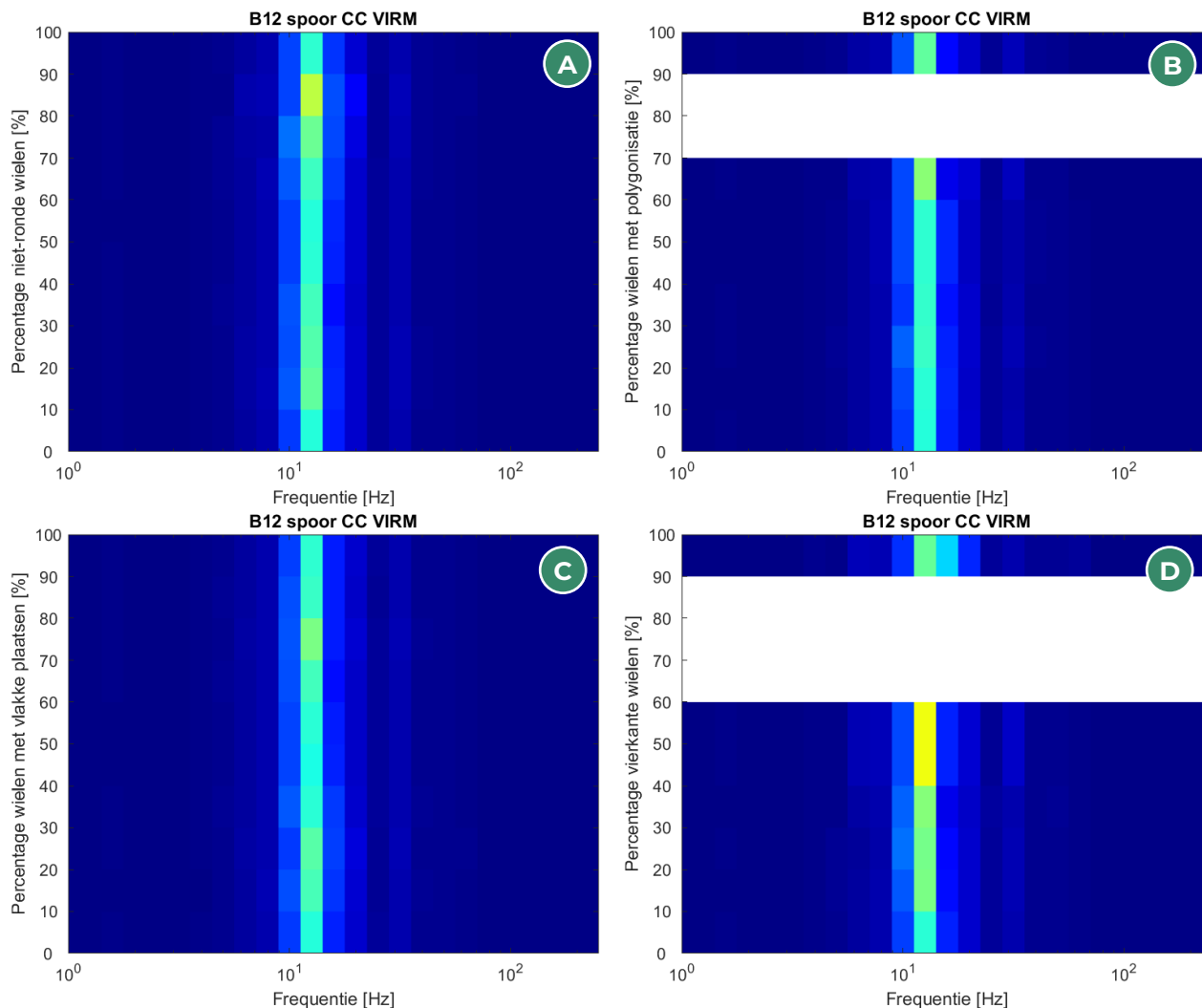
1. In de RF-analyse zien we een lichte invloed van de scheefbelading op sommige locaties, en dan met name van diagonale onbalans en voor-achterratio, minder van links-rechtsratio. In de correlatie-analyse zien we geen significante invloed.
2. De scheefbelading lijkt meer invloed te hebben bij lage dan bij hoge snelheid: we zien een groter effect bij langzaam rijdende treinen dan bij sneller rijdende treinen.
3. De voor-achterratio heeft bij frequenties onder de 5 Hz nog wel enig effect bij goederentreinen. Bij toenemende voor-achterratio nemen de trillingen bij lage frequenties toe.



Figuur 41 Invloed van scheefbelading. Boven de parameterdominantie voor (A) diagonale onbalans en (B) voor voor-achterratio als functie van de frequentie voor alle locaties samen. In C de gemiddelde trillingsspectra als functie van de diagonale onbalans en in D als functie van de voor-achterratio, beide voor goederentreinen op een locatie met betonnen overweg.

5.2.7. WIELDEFECTEN

De invloed van wieldefecten zoals polygonisatie, onrondheid, vlakke plaatsen of vierkante wielen, zoals geregistreerd door QV-stations, laat geen significante invloed op de trillingen zien. Een aantal karakteristieke figuren voor de invloed van deze parameters op de trillingen is weergegeven in Figuur 42.

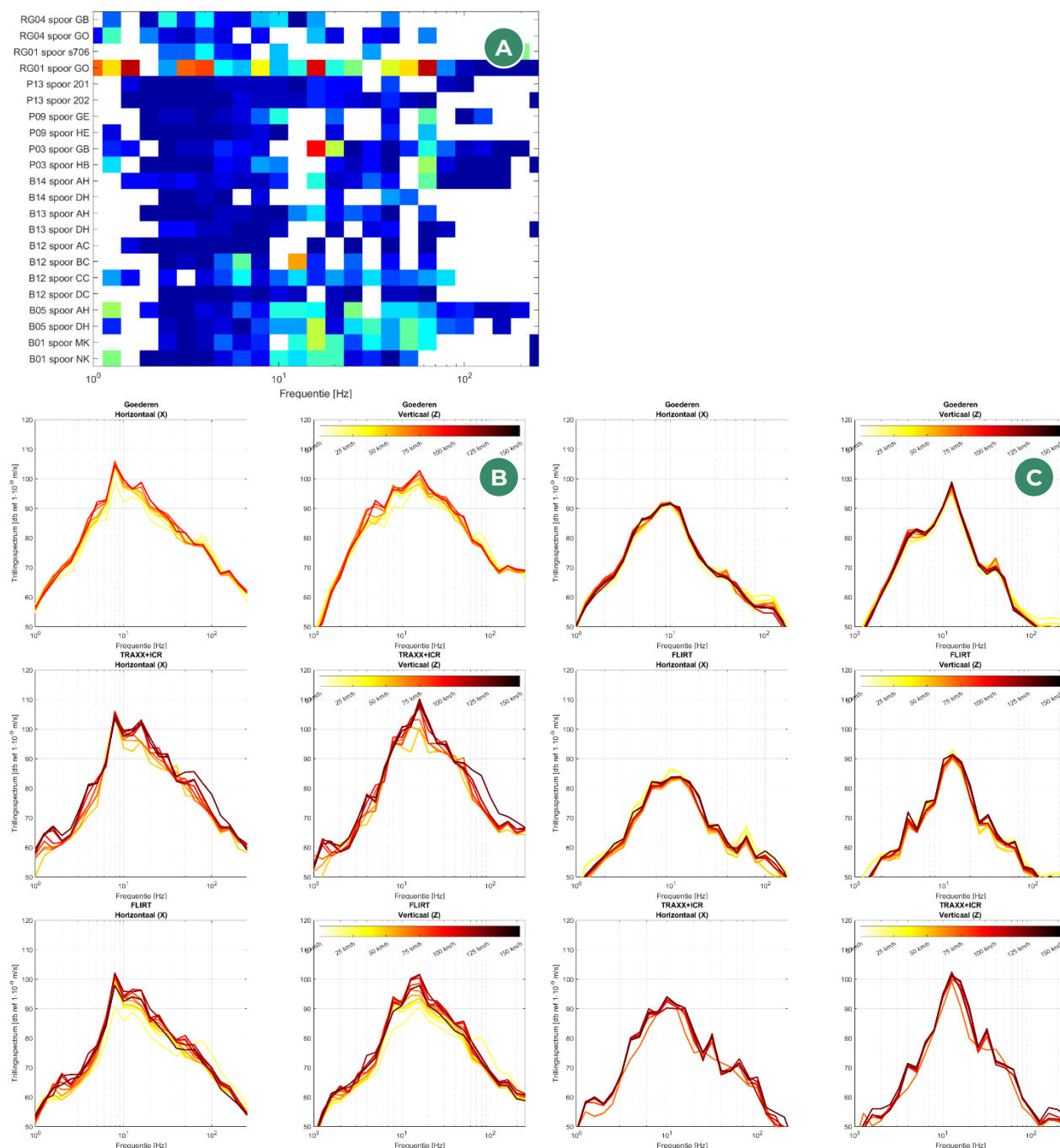


*Figuur 42 Invloed van wieldefecten voor goederentreinen op betonnen overweg. In **A** de gemiddelde trillingsspectra als functie van het percentage niet-ronde wielen, in **B** als functie van percentage wielen met polygonisatie, in **C** als functie van percentage wielen met vlakke plaatsen en in **D** als functie van percentage vierkante wielen.*

5.2.8. RIJSNELHEID

Een aantal karakteristieke figuren voor de invloed van de rijnsnelheid op de trillingen is weergegeven in Figuur 43. Het volgende valt op:

1. De invloed van de rijnsnelheid verschilt tussen treintypes en locaties. Vooral tussen de 4 en 50 Hz zien we een veel sterkere relatie tussen rijnsnelheid en trillingen bij overwegen dan bij doorgaand spoor.
2. De invloed van de rijnsnelheid is beter te bepalen in het golflengtedomein dan in het frequentiedomein: bij toenemende rijnsnelheid is er sprake van verschuiving van frequenties.



Figuur 43 Invloed van rijnsnelheid. In **A** de parameterdominantie als functie van de frequentie voor alle locaties samen. In **B** de gemiddelde trillingspectra als functie van de snelheid op een locatie met betonnen overweg, in **C** op doorgaand spoor, steeds voor drie treintypes

5.3. PARAMETERDOMINANTIE: HET SPOOR

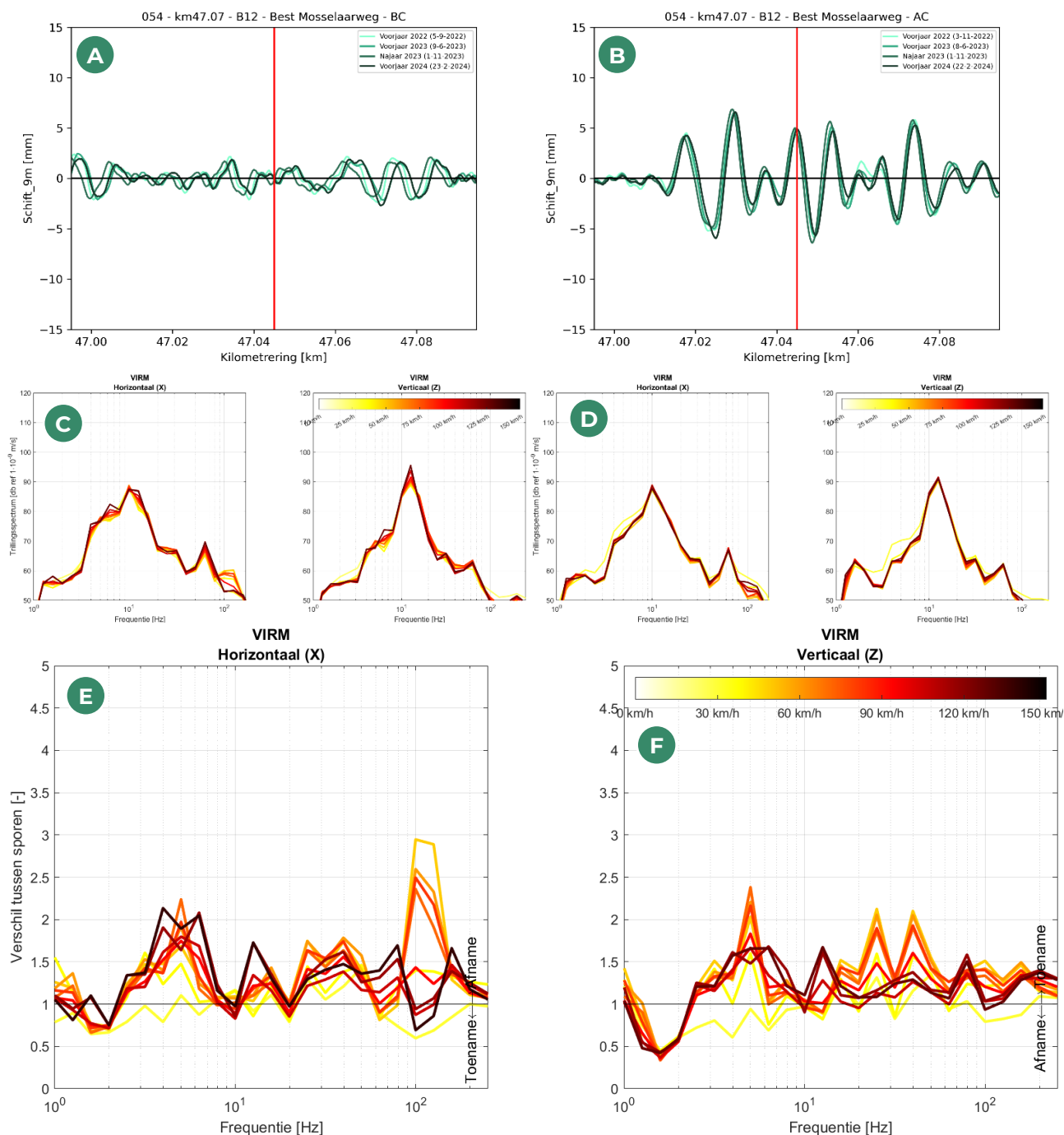
De invloed van de spoorligging is in dit onderzoek lastig te bepalen, omdat er maar een beperkt aantal hotspots kon worden gemeten. Om toch iets te kunnen zeggen over de invloed van bijvoorbeeld afwijkingen in schift of hoogteligging, is als volgt te werk gegaan: sporen op dezelfde bodemopbouw zijn met elkaar vergeleken. Vaak gaat het dan om twee naastgelegen sporen, zodat de invloed van de afstand beperkt is. Hoewel de trillingen van het meest nabijgelegen spoor vooral bij frequenties boven de 10 Hz normaal gesproken wat hoger zullen zijn, geeft een vergelijking tussen verschillen in trillingen en spoorligging inzicht in het effect van spoorliggingsparameters. Dit is herhaald voor een aantal locaties

5.3.1. INVLOED VAN DE SCHIFT

De invloed van de schift is bepaald door een spoor met lage schiftafwijking op de 9 meter koorde te vergelijken met een spoor met hoge schiftafwijking. Andere BBMS-parameters als hoogteafwijking op de 10 meter koorde, hoogteafwijking op de 15 meter koorde en korte golf D0 zijn vergelijkbaar tussen beide sporen.

Deze analyse is weergegeven in Figuur 44. Spoor BC ligt dichterbij, en heeft bij vrijwel alle trillingsfrequenties hogere trillingen dan spoor AC, wat een veel hogere schiftafwijking heeft dan spoor BC. Wel zien we dat spoor AC fors hogere trillingen heeft tussen de 1 en 2.5 Hz, blijkbaar is dat de invloed van het grote verschil in schiftafwijking.





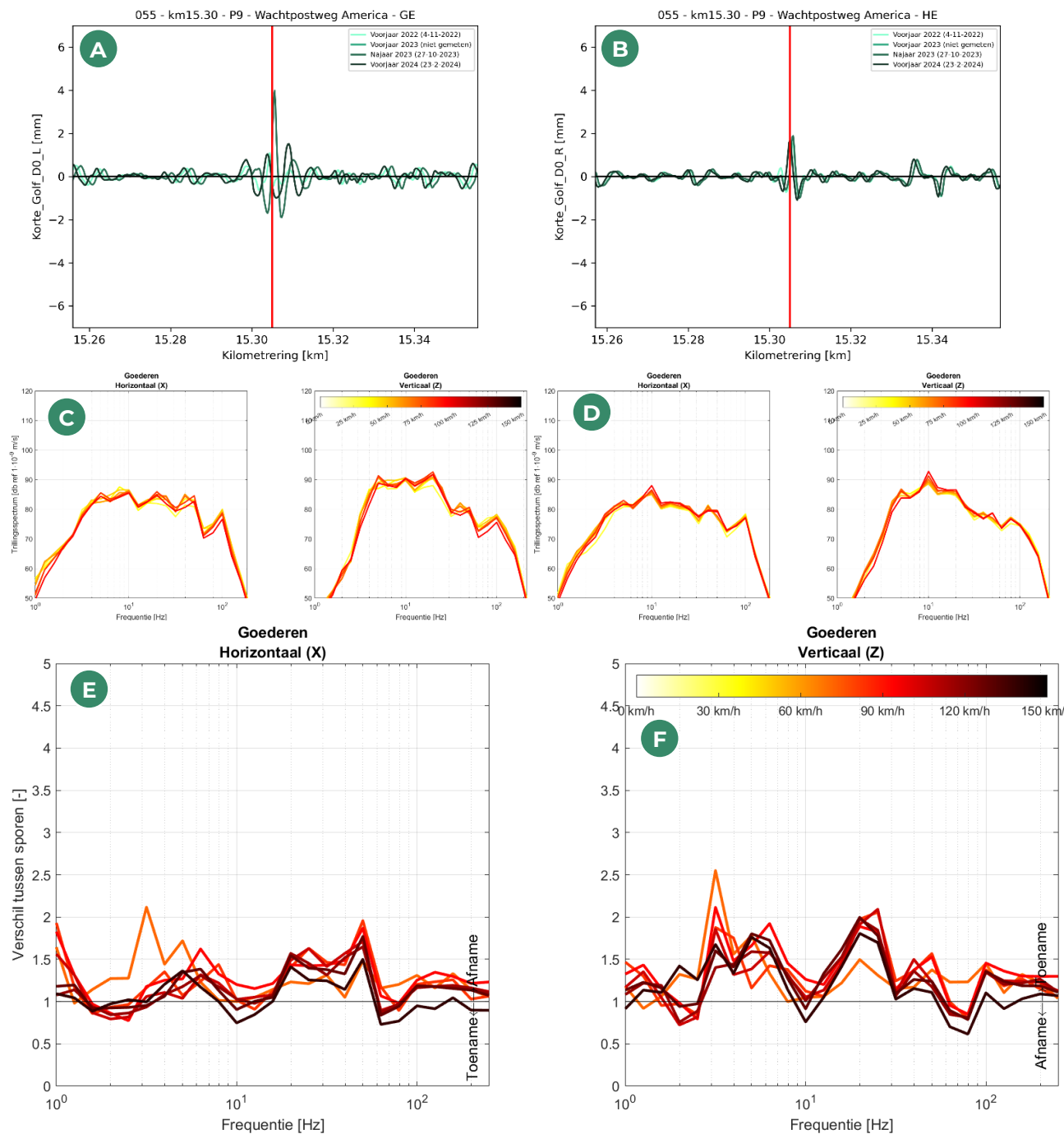
Figuur 44 Spoorligging (A en B) en trillingspectra (C en D) voor treintype VIRM op spoor BC (A, C en E) en AC (B, D en F), met in E en F het verschil tussen beide sporen (verhouding tussen trillingspectra op spoor BC gedeeld door AC bij verschillende snelheden). Spoor BC ligt dichterbij de meetlocatie

5.3.2. INVLOED VAN DE KORTE GOLF D0

De invloed van de korte golf D0 is bepaald door een spoor met lage waarde voor de korte golf D0 te vergelijken met een spoor met een hoge waarde. Andere BBMS-parameters als hoogteafwijking op de 10 meter koorde, hoogteafwijking op de 15 meter koorde en schiftafwijking op de 9 meter koorde zijn vergelijkbaar tussen beide sporen.

Deze analyse is weergegeven in Figuur 44. Spoor GE ligt dichterbij, en heeft bij vrijwel alle trillingsfrequenties hogere trillingen dan spoor HE, wat vooral te verklaren is uit de hogere korte golf D0-waarde. Vooral tussen 3 en 8 Hz, en tussen 20 en 50 Hz nemen de trillingen hierdoor toe.

Op andere locaties zien we vergelijkbare effecten, hoewel de frequenties waar het effect optreedt wel kunnen verschuiven.



Figuur 45 Spoorligging (A en B) en trillingspectra (C en D) voor treintype goederentreinen op spoor GE (A, C en E) en HE (B, D en F), met in E en F het verschil tussen beide sporen (verhouding tussen trillingspectra op spoor GE gedeeld door HE bij verschillende snelheden). Spoor GE ligt dichterbij de meetlocatie

5.4. PARAMETERDOMINANTIE: BODEM EN OMGEVING

5.4.1. BODEMTYPE

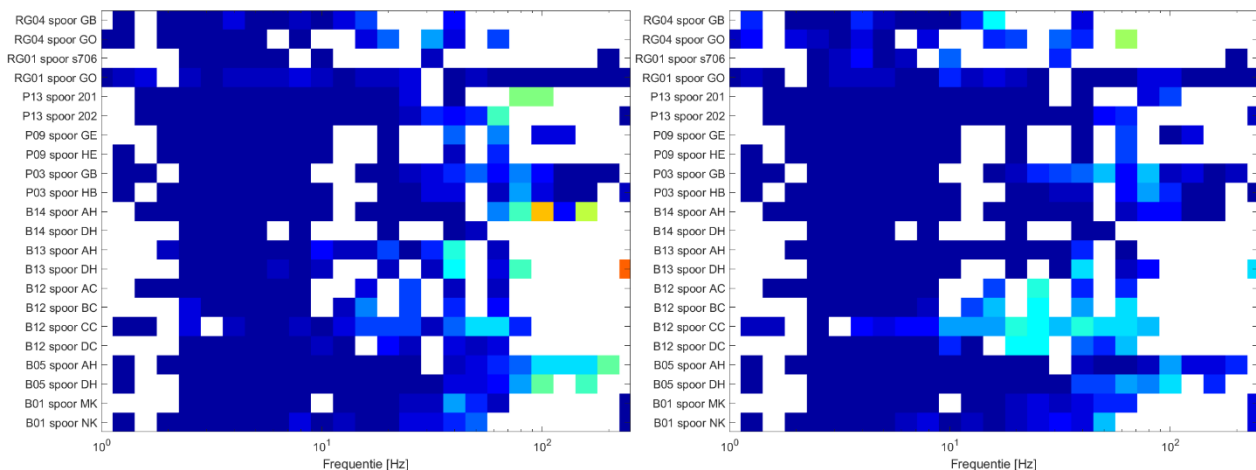
De invloed van de bodemopbouw tussen locaties onderling kan lastig worden vergeleken. Dat komt omdat het aantal gemeten locaties beperkt is. Algemene tendensen, zoals dat stijvere, zandige bodemtypes meer hoogfrequente trillingen kennen en slappere, kleiachtige bodemtypes meer laagfrequente trillingen, zijn in de resultaten van dit onderzoek wel terug te zien, maar door het beperkte aantal locaties is de significantie van de verschillen te laag om hier uitspraken over te doen.

5.4.2. INVLOED VAN HOOGTEVARIATIES EN SLOTEN

De invloed van de hoogteligging van het spoor kan lastig worden bepaald. Dat komt omdat het aantal gemeten locaties beperkt is, en er weinig variatie is in hoogteligging.

5.4.3. INVLOED VAN HET WEER

Uit de RF-analyse en de correlatie-analyse zien we dat de invloed van weersomstandigheden verschilt van locatie tot locatie. De parameterdominantie van neerslag en temperatuur als functie van de frequentie is weergegeven in Figuur 46. Andere weersinvloeden, zoals zoninstraling, relatieve luchtvochtigheid en luchtdruk hebben geen significante invloed op de trillingen.

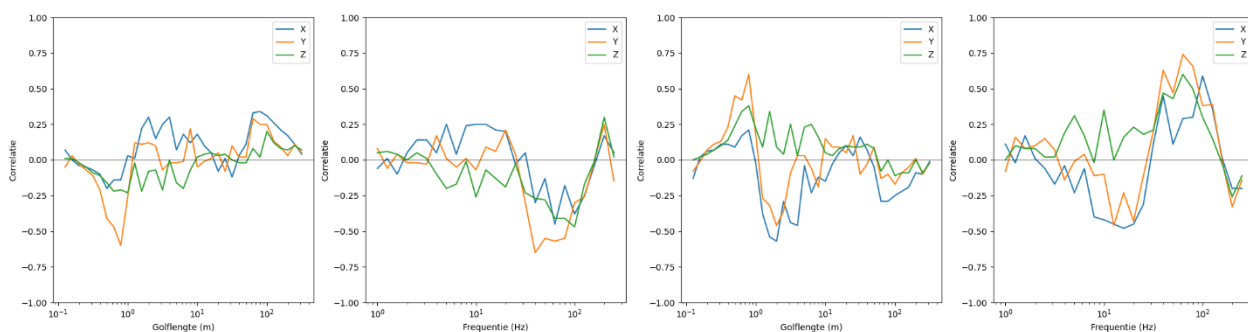


Figuur 46 Parameterdominantie als functie van de frequentie voor neerslag (links) en temperatuur (rechts)

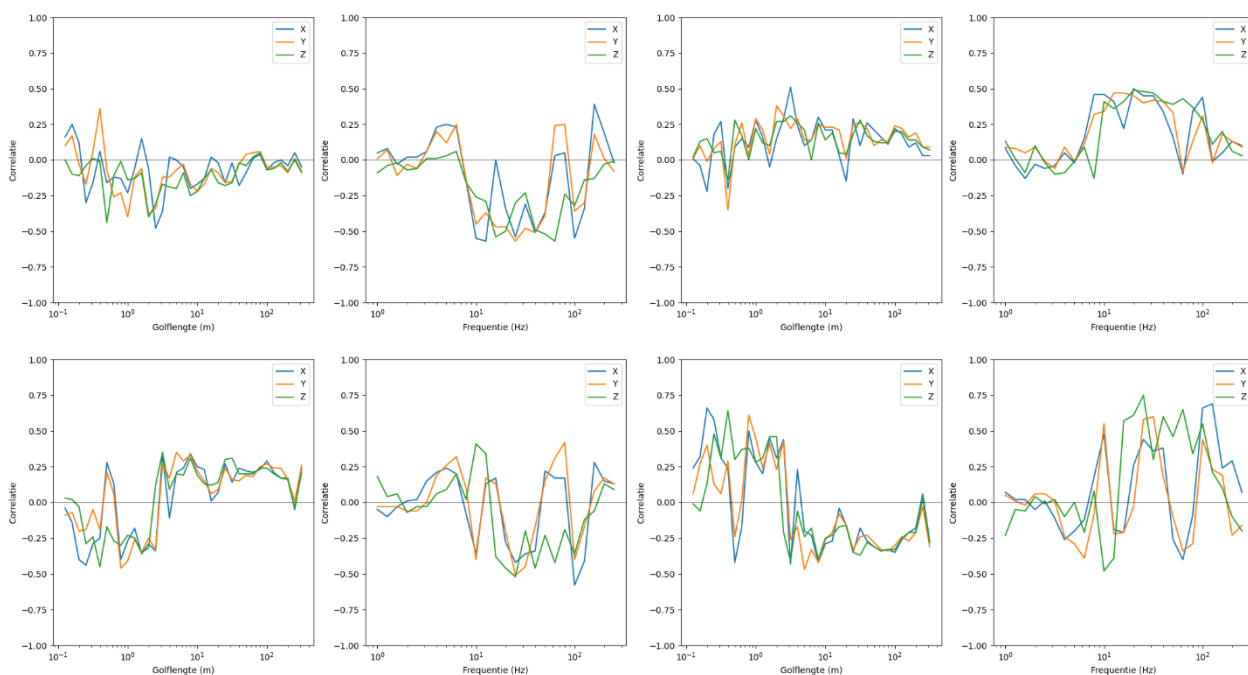
Correlatiecoëfficiënten als functie van golflengte en frequentie voor treinen van het type TRAXX+ICRmh zijn weergegeven in Figuur 47 en Figuur 48. Als we deze figuren vergelijken, dan valt een aantal zaken op:

1. Op beide locaties heeft neerslag een negatief effect op de trillingen (trillingen nemen af bij meer neerslag), terwijl temperatuur meestal een positief effect heeft op de trillingen (trillingen nemen toe bij hogere temperatuur). Opvallend is wel dat we bij B05 voor de horizontale trillingen een afname van de trillingen zien bij hogere temperaturen voor trillingen rond 10 Hz. Op de andere locaties is dit niet zichtbaar.
2. Effecten treden op bij hogere frequenties, onder de 10 Hz zien we eigenlijk geen invloed van weersomstandigheden.
3. De effecten van neerslag en temperatuur verschillen niet alleen tussen locaties (door verschillen in de bodemopbouw), maar ook tussen sporen onderling, zoals te zien is bij locatie B12. Conclusie is dan ook dat de bodem naar verwachting de meeste invloed heeft op het

effect van temperatuur en neerslag, maar dat ook de spoorligging een rol speelt in het effect van temperatuur en neerslag.



Figuur 47 Correlatiecoëfficiënt voor neerslag (links) en temperatuur (rechts) op locatie B05 (puntstukken en kunstwerk) voor treintype TRAXX+ICRmh



Figuur 48 Correlatiecoëfficiënt voor neerslag (links) en temperatuur (rechts) op locatie B12 (doorgaand spoor) voor treintype TRAXX+ICRmh. Boven op spoor CC, onder spoor BC

5.5. EFFECT VERNIEUWING EN VERVANGING

Tijdens het onderzoek hebben we op 1 locatie de vervanging van assets gemeten, zie Tabel 33. Het gaat om 1 ES-las in slechte staat, die is vervangen door een nieuwe las (type NRG).

Tabel 33 Onderhoudslocaties type C

Locatie	Geocode	Kilometrerings	Spoor	Type asset	Type onderhoud
Best	054	47.1	CC	ES-las	Vervanging

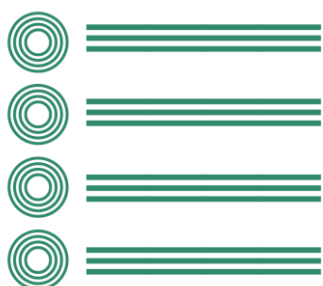
Met dezelfde aanpak als voor onderhoud type A en B (zie voorgaande hoofdstuk) hebben we het effect van dit onderhoud vastgesteld. Het gemiddelde effect in dB is samengevat weergegeven in Tabel 34 voor de meest voorkomende treintypes op de Brabanneroute. Het effect is voor beide treintypes vergelijkbaar, en treedt vooral op in verticale richting in de 16 en 32 Hz-octaaftband, en in mindere mate in de 8 en 64 Hz-octaaftband. Dat zijn ook de octaafbanden waar puntbronnen veel effect hebben op de trillingen. Opvallend is wel dat de eerste dag nog maar beperkt effect zichtbaar is, ongeveer een halve dag na het onderhoud is een abrupte daling in de trillingen waarneembaar.

Tabel 34 Effect van vervanging van slechte ES-lassen

Treintype		Effect																																																																																																																
	<table><tr><th colspan="7">Horizontaal effect [dB]</th></tr><tr><th>Frequentie [Hz]</th><th>1</th><th>3</th><th>7</th><th>14</th><th>21</th><th>28</th></tr><tr><td>125</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>2</td><td>4</td></tr><tr><td>64</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>2</td><td>2</td><td>0</td></tr><tr><td>32</td><td>2</td><td>5</td><td>6</td><td>5</td><td>5</td><td>5</td></tr><tr><td>16</td><td>0</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>1</td><td>2</td></tr><tr><td>8</td><td>1</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td></tr><tr><td>4</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr></table>	Horizontaal effect [dB]							Frequentie [Hz]	1	3	7	14	21	28	125	0	0	1	0	2	4	64	0	1	1	2	2	0	32	2	5	6	5	5	5	16	0	2	2	2	1	2	8	1	2	2	2	2	2	4	0	1	0	0	0	0	<table><tr><th colspan="7">Verticaal effect [dB]</th></tr><tr><th>Frequentie [Hz]</th><th>1</th><th>3</th><th>7</th><th>14</th><th>21</th><th>28</th></tr><tr><td>125</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>64</td><td>0</td><td>4</td><td>4</td><td>5</td><td>4</td><td>4</td></tr><tr><td>32</td><td>3</td><td>8</td><td>9</td><td>8</td><td>8</td><td>9</td></tr><tr><td>16</td><td>2</td><td>7</td><td>7</td><td>7</td><td>8</td><td>8</td></tr><tr><td>8</td><td>1</td><td>4</td><td>4</td><td>4</td><td>4</td><td>4</td></tr><tr><td>4</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	Verticaal effect [dB]							Frequentie [Hz]	1	3	7	14	21	28	125	0	0	1	1	1	1	64	0	4	4	5	4	4	32	3	8	9	8	8	9	16	2	7	7	7	8	8	8	1	4	4	4	4	4	4	1	0	1	0	1	1
Horizontaal effect [dB]																																																																																																																		
Frequentie [Hz]	1	3	7	14	21	28																																																																																																												
125	0	0	1	0	2	4																																																																																																												
64	0	1	1	2	2	0																																																																																																												
32	2	5	6	5	5	5																																																																																																												
16	0	2	2	2	1	2																																																																																																												
8	1	2	2	2	2	2																																																																																																												
4	0	1	0	0	0	0																																																																																																												
Verticaal effect [dB]																																																																																																																		
Frequentie [Hz]	1	3	7	14	21	28																																																																																																												
125	0	0	1	1	1	1																																																																																																												
64	0	4	4	5	4	4																																																																																																												
32	3	8	9	8	8	9																																																																																																												
16	2	7	7	7	8	8																																																																																																												
8	1	4	4	4	4	4																																																																																																												
4	1	0	1	0	1	1																																																																																																												
	<table><tr><th colspan="7">Horizontaal effect [dB]</th></tr><tr><th>Frequentie [Hz]</th><th>1</th><th>3</th><th>7</th><th>14</th><th>21</th><th>28</th></tr><tr><td>125</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td><td>1</td><td>1</td><td>5</td></tr><tr><td>64</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr><tr><td>32</td><td>2</td><td>5</td><td>5</td><td>5</td><td>5</td><td>5</td></tr><tr><td>16</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>8</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>4</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr></table>	Horizontaal effect [dB]							Frequentie [Hz]	1	3	7	14	21	28	125	0	1	2	1	1	5	64	0	1	2	3	2	1	32	2	5	5	5	5	5	16	0	1	0	1	1	1	8	0	1	0	0	1	1	4	0	0	0	0	0	0	<table><tr><th colspan="7">Verticaal effect [dB]</th></tr><tr><th>Frequentie [Hz]</th><th>1</th><th>3</th><th>7</th><th>14</th><th>21</th><th>28</th></tr><tr><td>125</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>2</td></tr><tr><td>64</td><td>0</td><td>2</td><td>2</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td></tr><tr><td>32</td><td>3</td><td>8</td><td>7</td><td>7</td><td>7</td><td>9</td></tr><tr><td>16</td><td>1</td><td>6</td><td>6</td><td>7</td><td>6</td><td>6</td></tr><tr><td>8</td><td>2</td><td>5</td><td>5</td><td>6</td><td>6</td><td>6</td></tr><tr><td>4</td><td>0</td><td>-1</td><td>0</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td></tr></table>	Verticaal effect [dB]							Frequentie [Hz]	1	3	7	14	21	28	125	0	1	1	1	0	2	64	0	2	2	3	3	3	32	3	8	7	7	7	9	16	1	6	6	7	6	6	8	2	5	5	6	6	6	4	0	-1	0	-1	-1	-1
Horizontaal effect [dB]																																																																																																																		
Frequentie [Hz]	1	3	7	14	21	28																																																																																																												
125	0	1	2	1	1	5																																																																																																												
64	0	1	2	3	2	1																																																																																																												
32	2	5	5	5	5	5																																																																																																												
16	0	1	0	1	1	1																																																																																																												
8	0	1	0	0	1	1																																																																																																												
4	0	0	0	0	0	0																																																																																																												
Verticaal effect [dB]																																																																																																																		
Frequentie [Hz]	1	3	7	14	21	28																																																																																																												
125	0	1	1	1	0	2																																																																																																												
64	0	2	2	3	3	3																																																																																																												
32	3	8	7	7	7	9																																																																																																												
16	1	6	6	7	6	6																																																																																																												
8	2	5	5	6	6	6																																																																																																												
4	0	-1	0	-1	-1	-1																																																																																																												



CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN



In dit hoofdstuk geven we, op basis van de voorgaande paragrafen, conclusies en aanbevelingen voor vervolgonderzoek.



CONCLUSIES

6.1. CONCLUSIES

De hoofdvraag van dit onderzoek luidde: wat is het effect van spooronderhoud op trillingen in de omgeving? Om die vraag te beantwoorden is een verkennend meetonderzoek gedaan waarbij de trillingen zijn gemeten in de omgeving van locaties waar spooronderhoud heeft plaatsgevonden. Hierbij is gefocust op twee types onderhoud:

- A.** Type A. Dit betreft regulier 'licht' PGO-onderhoud. Voorbeelden:
 - a. Onderhoud aan ES-lassen, zoals slijpen, kopvulling toepassen en handmatig onderstoppen door middel van een trilstamper ('wackeren')
 - b. Onderhoud aan wissels en puntstukken, zoals slijpen van de puntstukken, vastdraaien van bouten en moeren en handmatig onderstoppen ('wackeren')
- B.** Type B. Dit betreft regulier PGO-onderhoud in de vorm van machinaal onderstoppen met een onderstoprein.

De invloed van het onderhoud is vastgesteld door (1) vast te leggen welk onderhoud is uitgevoerd, (2) de trillingen op meerdere punten te meten, waaronder één punt wat gedurende langere tijd heeft gemeten (6 weken tot 6 maanden), en (3) een data-analyse waarbij onderhoud, trillingen en overige relevante parameters aan elkaar zijn gekoppeld en de invloed van parameters is vastgesteld.

Het effect van onderhoud per onderhoudstype hebben we hieronder samengevat weergegeven voor de situatie na 1 maand. **Geel** betekent dat de kans op een voelbaar effect (minimaal 30 procent of 3 dB toe- of afname van de trillingen) kleiner is dan 50 procent, **groen** betekent een kans van meer dan 50 procent op een voelbare afname van de trillingen en **oranje** een kans van meer dan 50 procent op een voelbare toename van de trillingen, **grijs** is niet gemeten.

Onderhoud	Na	4 Hz	8 Hz	16 Hz	32 Hz	64 Hz	125 Hz
A - ES-lassen	1 week	1 dB	1 dB	1 dB	-1 dB	-1 dB	-2 dB
	1 maand	0 dB	0 dB	0 dB	-1 dB	-1 dB	-2 dB
A - Puntstukken	1 week	0 dB	0 dB	0 dB	-1 dB	-1 dB	-1 dB
	1 maand	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB
B - Doorgaand spoor	1 week	5 dB	4 dB	4 dB	3 dB	1 dB	2 dB
	1 maand	4 dB	1 dB	1 dB	0 dB	1 dB	2 dB
B - ES-lassen	1 week	N.B.	N.B.	N.B.	N.B.	N.B.	N.B.
	1 maand	-1 dB	1 dB	-2 dB	-2 dB	-3 dB	-1 dB
B - Puntstukken	1 week	N.B.	N.B.	N.B.	N.B.	N.B.	N.B.
	1 maand	0 dB	2 dB	2 dB	1 dB	0 dB	1 dB
B - Betonnen overweg	1 week	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB
	1 maand	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB
B - Rubberen overweg	1 week	0 dB	0 dB	0 dB	-1 dB	-1 dB	-1 dB
	1 maand	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB
B - Kunstwerk beton	1 week	3 dB	2 dB	1 dB	0 dB	-4 dB	-2 dB
	1 maand	3 dB	2 dB	1 dB	0 dB	-4 dB	-2 dB

Samengevat geldt als antwoord op de hoofdvraag dat er vrijwel nergens een merkbaar effect is van type A-onderhoud, en dat het effect van type B-onderhoud wisselend is, maar doorgaans beperkt.

Bij de hoofdvraag waren de volgende subvragen gesteld:

- 1. Hoe lang duurt het effect?** *Het effect van type A-onderhoud, is niet voelbaar en neemt snel af met de tijd. Na enkele dagen is geen tot vrijwel geen effect meer zichtbaar bij de meeste types onderhoud. Het effect van type B-onderhoud duurt langer, vooral bij lage trillingsfrequenties (onder de 6 Hz, die frequenties zijn vaak gerelateerd aan slappere plekken in de ondergrond, de trillingen nemen daar af door machinaal onderstoppen) en hoge trillingsfrequenties (boven de 40 Hz, is vaak gerelateerd aan de status van de ballast, de trillingen nemen toe door machinaal onderstoppen).*
- 2. Is het effect afhankelijk van het type asset?** *Het effect van onderhoud aan puntstukken en ES-lassen is beperkter dan onderstoponderhoud aan doorgaand spoor. Dat komt naar verwachting deels omdat het onderhoud aan ES-lassen niet optimaal wordt uitgevoerd. Zo is de wachttijd voor kopvulling onvoldoende, wordt geen ballast aangevuld en wordt niet gebruik gemaakt van de juiste apparatuur om blinde vering te verminderen, met name bij dubbelliggers). Rond overwegen kunnen de trillingen toenemen door onderstoponderhoud, tenzij specifiek aandacht wordt besteed aan de laatste dwarsliggers rond de overweg (die worden bij machinaal onderhoud doorgaans overgeslagen).*
- 3. Is het effect afhankelijk van het type onderhoud, en in welke mate dat is uitgevoerd?** *Op deze vraag is op basis van dit onderzoek geen antwoord te geven. PGO-aannemers voeren onderhoud uit conform standaarden, en doorgaans op dezelfde manier, waardoor er geen significante variatie is in uitgevoerd onderhoud. Wel is zichtbaar dat machinaal onderstoppen langduriger en sterker effect heeft dan handmatig onderstoppen. Het volgen van de juiste procedures (lang genoeg onderstoppen, lang genoeg wachten voor uitharden kopvulling) en het gebruiken van de juiste machines (machinaal onderstoppen waar mogelijk, met de juiste machines) kan de invloed van onderhoud op de trillingen wel verminderen.*
- 4. Verschilt het effect tussen treintypes?** *Vooraf bij treintypes met een hoge onafgeveerde massa, zoals de TRAXX+ICRmh, zien we een groter effect van onderstoppen. Deze treinen hebben vaak ook de hoogste trillingen rond locaties met blinde vering en puntbronnen. De invloed van het onderhoud is dan ook groter.*
- 5. Is het effect anders op andere afstanden tot het spoor?** *Het laagfrequente effect van machinaal onderstoppen bij zwakke plekken in het spoor is groter op korte afstand van het spoor. Vooral op 8 meter van het spoor zien we vaak bij lagere frequenties meer effect van het onderstoppen. Dit effect neemt af met de afstand, en is op bijvoorbeeld 32 meter al veel minder sterk zichtbaar. Bij hogere frequenties zien we geen grote invloed van de afstand op het effect van het onderhoud.*
- 6. Is het effect afhankelijk van andere parameters, zoals bodemtype of rijsnelheid van de treinen?** *Het effect van onderhoud aan puntbronnen (zoals ES-lassen en puntstukken) lijkt groter te zijn bij lagere rijsnelheid. Mogelijk komt dit omdat bij lagere rijsnelheden het effect van een puntbron op de trillingen doorgaans ook groter is, omdat het wiel de onderbreking in het spoor dan sterker volgt. Verder zien we dat machinaal onderstoppen ertoe kan leiden dat het effect van de rijsnelheid op de trillingen toeneemt. Andere parameters veranderen niet door het onderhoud.*

Verder zijn in dit onderzoek ook een aantal bijvangsten geconstateerd: aspecten die geen doel van het onderzoek waren, maar wel opvallend terugkwamen in de resultaten. De belangrijkste daarvan worden hieronder kort weergegeven:

- 1.** De rijsnelheid van treinen heeft veel meer invloed op de trillingen in de buurt van harde punten (m.n. overwegen en overgangen kunstwerk-aardebaan, in mindere mate ook bij ES-



lassen) dan op doorgaand spoor. Mogelijk hangt dit ook samen met de vaak slechtere spoorligging bij dergelijke harde punten, waardoor het effect van de snelheid wordt vergroot.

2. Perioden met veel neerslag kunnen zorgen voor lagere trillingen, met name bij hoge frequenties. Deze hoge trillingsfrequenties zijn vooral relevant voor laagfrequent contactgeluid, en daarnaast voor trillingen in woningen dichtbij het spoor. Het effect van neerslag verschilt wel tussen locaties
3. Perioden met hoge temperaturen kunnen zorgen voor hogere trillingen, met name bij frequenties boven de 10 Hz. Dergelijke frequenties komen vooral voor op hardere bodems (zandbodems) en bij harde punten (overwegen, overgangen kunstwerk-aardebaan, ES-lassen).
4. Van alle BBMS-parameters heeft de korte golf D0 de grootste correlatie met de trillingen. Dit zit zo ook in de tool 'Hotspots in beeld', maar de exacte relatie is onduidelijk. Wel zien we dat de tool 'Hotspots in beeld' soms aangeeft dat een spoor qua trillingen maatgevend zou moeten zijn, maar uit de metingen blijkt dat dit niet zo is. Blijkbaar is de exacte samenhang tussen de korte golf D0 en de hoogte van de trillingen onvoldoende scherp in beeld. Bij lage trillingsfrequenties speelt de schifafwijking een rol in het ontstaan van de trillingen.

6.2. AANBEVELINGEN

In dit verkennend onderzoek is gekeken naar het effect van verschillende types onderhoud op omgevingstrillingen. De algemene conclusie is dat regulier onderhoud maar beperkt impact heeft op de omgevingstrillingen. Wel zien we aanknopingspunten om het effect van onderhoud op omgevingstrillingen te vergroten, en bepaalde situaties die nu nog onvoldoende zijn onderzocht.

Op basis van dit onderzoek, literatuuronderzoek en het raadplegen van experts zien we voor de in dit onderzoek geanalyseerde types onderhoud de volgende mogelijkheden om het effect van het onderhoud op omgevingstrillingen te vergroten, zie onderstaand overzicht.

Type onderhoud	Asset	Type onderhoud	Effect	Effect verbeteren door
A	ES-las	Onderstoppen	0/+	- Als eerste actie uitvoeren bij onderhoud aan ES-lassen - Machinaal onderstoppen, minimaal met krol + Windhoff, let hierbij ook op dubbelliggers - Indien toch handmatig onderstoppen (wackeren), dan eerst ontgraven tot halverwege dwarsligger, daarna wackeren en afwerken/aanvullen. - Hoogte-afwijking inmeten en corrigeren met krik - Ballast aanvullen of (deels) vervangen t.b.v. vergroten haakweerstand - Ondergrond verstijven (ballast en/of zandbed) - Ander type ES-las of ligger - Regelbare bevestiging
A	ES-las	Slijpen	0	Overwalsing wegslijpen met accuslijptol
A	ES-las	Kopvulling	0	Voldoende tijd nemen voor uitharden kopvulling
A	ES-las	Slijpen	0	Gladlijpen met robotslijper
B	ES-las	Onderstoppen	+	- Ballast aanvullen of (deels) vervangen t.b.v. vergroten haakweerstand - Gebruiken van ballastafwerkmachine - Ballast stabiliseren met stabilisator - Gebruik machine met flankverdichting - Strengere onderstopnorm - Ondergrond verstijven (ballast en/of zandbed) - Ander type ES-las of ligger



				8. Regelbare bevestiging
A	Wissel	Vastdraaien bouten	0	1. Als eerste actie uitvoeren bij onderhoud aan wissels
A	Wissel	Onderstoppen	0/+	1. Machinaal onderstoppen, minimaal met krol + Windhoff 2. Indien toch handmatig onderstoppen (wackeren), dan eerst ontgraven tot halverwege dwarsligger, daarna wackeren en afwerken/aanvullen. 3. Ballast aanvullen of (deels) vervangen t.b.v. vergroten haakweerstand 4. Ondergrond verstijven (ballast en/of zandbed)
A	Wissel	Slijpen	0	1. Gladslipen met robotslijper/wisselslijper
B	Wissel	Onderstoppen	0/+	1. Ballast aanvullen of (deels) vervangen t.b.v. vergroten haakweerstand 2. Ballast stabiliseren 3. Gebruik machine met flankverdichting 4. Strengere onderstopnorm 5. Ondergrond verstijven (ballast en/of zandbed)
B	Overweg beton	Onderstoppen	0/-	1. Strengere normen rond onderstoppen laatste stuk bij overweg 2. Ballast aanvullen of (deels) vervangen t.b.v. vergroten haakweerstand 3. Ondergraven om overmatige correctie door onderstoppen te voorkomen.
B	Overweg rubber	Onderstoppen	-	1. Overwegplaten verwijderen tijdens onderstoppen 2. Ballast aanvullen of (deels) vervangen t.b.v. vergroten haakweerstand
B	Kunstwerk	Onderstoppen	0/+	1. Ballast aanvullen of (deels) vervangen t.b.v. vergroten haakweerstand 2. Ballast stabiliseren 3. Gebruik machine met flankverdichting 4. Strengere onderstopnorm 5. Ondergrond verstijven (ballast en/of zandbed)
B	Doorgaand spoor	Onderstoppen	0/+	1. Ballast aanvullen of (deels) vervangen t.b.v. vergroten haakweerstand 2. Ballast stabiliseren 3. Gebruik machine met flankverdichting 4. Strengere onderstopnorm 5. Ondergrond verstijven (ballast en/of zandbed)

De belangrijkste aanbevelingen uit dit onderzoek zijn:

1. Doe meer onderzoek naar het effect van het onderstoppen van ballast, waarbij ook nadrukkelijk gekeken wordt naar andere manieren van verdichten, het aanvullen van ballast en niet handmatig onderstoppen bij ES-lassen en puntstukken.
2. Er zijn grote verschillen in trillingen tussen op het oog vergelijkbare sporen. Dit wordt naar verwachting veroorzaakt door de spoorligging, maar volgt niet direct uit de BBMS-gegevens of de tool 'Hotspots in beeld'. We adviseren om gericht onderzoek te doen naar het effect van de spoorligging op de trillingen, bijvoorbeeld door de nu in ontwikkeling zijnde STEM-tool¹

¹ Rekenprogramma om de trillingen te bepalen voor verschillende types treinen, baanopbouw en spoorgeometrieën.



uitgebreid te valideren met werkelijke spoorliggingsgegevens. Dat kan vervolgens aanknopingspunten bieden voor het verbeteren en beter houden van de spoorligging.



BEGRIPPENLIJST

Trilling

Een trilling is een heen- en weergaande beweging. Deze trillingen ontstaan door de beweging van de trein tijdens het rijden over de rails. De trein veroorzaakt trillingen omdat de wielen van de trein niet helemaal rond zijn en het spoor niet helemaal vlak. Het gewicht van de trein drukt de rails een beetje naar beneden. De grootte van de trillingen hangt vooral af van de grootte van de oneffenheden, het gewicht van de trein (is de trein leeg of vol), het type trein (lengte van de trein, type wielen, wat voor soort schokdempers heeft de trein), de snelheid van de trein, de bodem (een slappe veenbodem of juist een steviger zandbodem) en de eigenschappen van het gebouw waarin de trillingen worden ervaren.

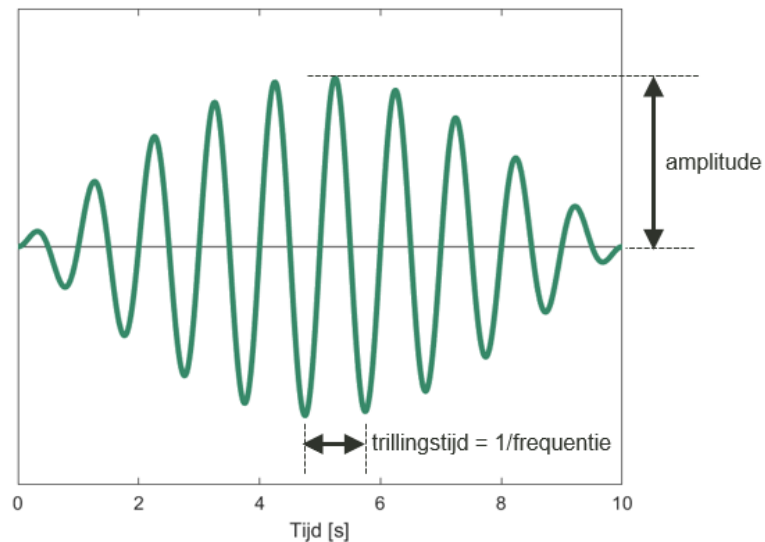
De trillingen worden door de bodem doorgegeven naar de fundering van een woning, en in de woning via wanden en vloeren doorgegeven naar de persoon die de trillingen voelt. Bij trillingen spreken we daarom meestal over een bron (de treinen op het spoor), een doorgeefmedium (de bodem, waarin de trillingen worden doorgegeven van de bron naar een gebouw) en een ontvanger (het gebouw waarin de trillingen worden ervaren. Zie de figuur hieronder.



Bij het meten van trillingen maken we onderscheid tussen trillingen in X-richting (horizontale trillingen, parallel aan het spoor), trillingen in Y-richting (horizontale richting, loodrecht op het spoor) en trillingen in Z-richting (verticale richting).

Frequentie

Vanuit de natuurkunde gezien is een trilling een beweging die een aantal keer per seconde optreedt. Het aantal keer dat die trilling per seconde optreedt, noem je de trillingsfrequentie, die je uitdrukt in Hertz (Hz). Hieronder is dat schematisch weergegeven in een plaatje.



Bij trillingshinder beoordelen we trillingen met frequenties tussen de 1 en 80 Hz, dus een trilling die 1 keer per seconde optreedt, tot een trilling die 80 keer per seconde optreedt. Bij sommige onderzoeken wordt ook gekeken naar hogere frequenties, omdat die kunnen zorgen voor laagfrequent contactgeluid (geluid dat ontstaat doordat in trilling gebrachte wanden en vloeren geluid gaan afstralen).

Dominante frequentie

Trillingsfrequentie waarbij de meeste trillingsenergie is gemeten. Wordt vaak bepaald op basis van een trillingspectrum, een grafiek waarin de trillingsenergie is uitgezet tegen de frequentie.

Golflengte

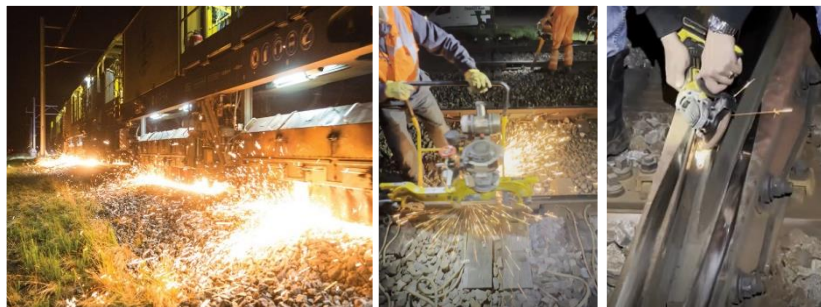
Karakteristieke lengte van een trillingsgolf. Een trein veroorzaakt trillingen bij meerdere frequenties (bijvoorbeeld door het passeren van de dwarsliggers, die met een afstand van 0,6 meter liggen). Als het effect van het aantikken van de dwarsliggers moet worden vastgesteld, is het zinvol om in plaats van de trillingsenergie uit te zetten tegen de trillingsfrequentie, deze uit te zetten tegen de golflengte. Hierbij is gecorrigeerd voor de rijsnelheid van de treinen (golflengte = snelheid trein / frequentie). Op deze manier wordt de trillingsenergie voor het aantikken van de dwarsliggers zichtbaar, door te kijken naar de trillingsenergie bij 0,6 meter.

Onderstoppen

Methode om het spoor weer vlak te leggen, wordt meestal uitgevoerd door een onderstoptrein. Tilt het spoor een klein stukje op, waarna met pikkels (soort prikkers) in de ballast wordt geprikt. De pikkels trillen de ballast weer in elkaar om een stabiele ondergrond te vormen. Afhankelijk van de knijptijd en hefwaarde wordt het spoor meer of minder terug in positie gebracht (zowel horizontaal als verticaal).



Lichtplot	Grafiek waarin wordt aangegeven hoeveel het spoor moet worden of is opgetild (gelicht) of geschild (zijwaarts verplaatst). Output van een stopmachine.
Knijpwaarde	Tijd waarin de pijkels van een stopmachine de ballast trillend stabiliseren. Langere knijptijd duidt op lossere ballast of grotere benodigde aanpassing van de hoogte of schift van het spoor.
Hefwaarde	Hoogte waarmee het spoor wordt opgetild tijdens het onderstoppen.
Slijpen	Methode om bramen en uitwalsingen van spoorstaven te verwijderen, zodat het loopvlak van de treinwielen weer vlak is. Kan plaatsvinden met een slijptrein (links), een slijpmachine (midden) of een handslijptol (rechts)

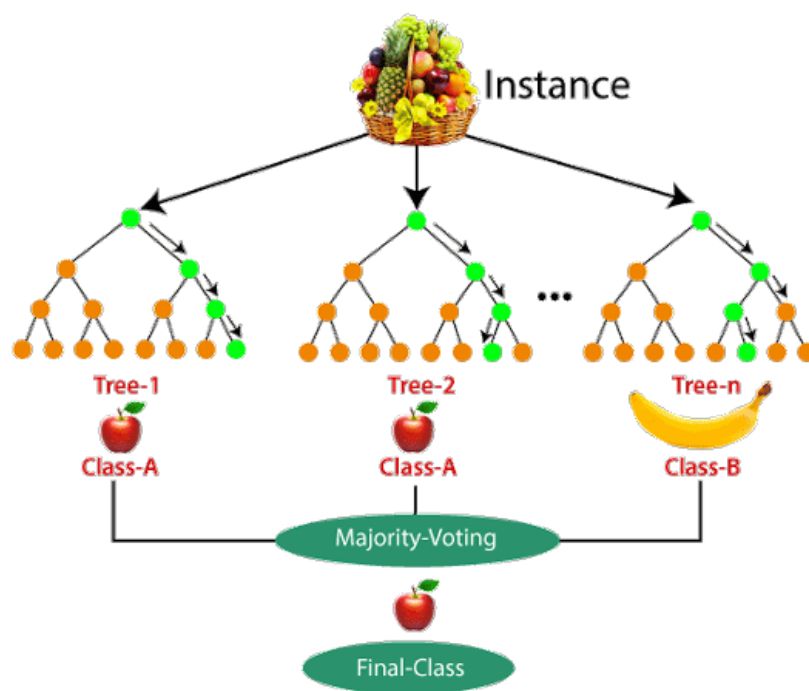


Wackeren	Stabiliseren van ballast met behulp van een soort trilstampert. Beoogde werking is vergelijkbaar met een onderstopptrein, waarbij een lange naald in de ballast wordt gestopt en door middel van trillen de ballast wordt gestabiliseerd.
Kopvulling	Opvulling (met uithardend hars) van isolatieplaatje tussen twee spoorstaven wat bij een ES-las aanwezig is. Wordt toegepast als het isolatieplaatje is versleten.
Lineaire regressie	Statische techniek waarbij een lineair verband tussen twee grootheden kan worden aangetoond en gekwantificeerd. In dit rapport is dat bijvoorbeeld een lineair verband tussen trillingen en de rijnsnelheid van treinen. ook multivariabele regressie komt voor, waarbij de outputvariabele afhankelijk is van meerdere inputvariabelen.
Random forest analyse	Veelgebruikt machine learning algoritme wat gebruikt wordt voor zowel classificatie- als regressieproblemen. In dit

onderzoek gebruikt om complexe, niet-lineaire relaties tussen input- en outputvariabelen aan te tonen.

Het random forest algoritme maakt gebruik van meerdere beslisbomen, elke beslisboom is hierbij een schema dat een mogelijk traject tussen invoer en uitvoer beschrijft door middel van beslisregels (zoals ja of nee). Een losse beslisboom is een zwakke voorspeller en levert geen betrouwbare schatting van de outputvariabele op, maar door veel beslisbomen te combineren (bijvoorbeeld door middel van majority voting) ontstaat een veel sterkere voorspeller.

Dat maakt het een geschikte techniek voor het analyseren en voorspellen van verbanden waarbij er veel interactie is tussen inputvariabelen, of als er niet-lineaire verbanden zijn tussen input- en outputvariabelen. Een voorbeeld van random forest toegepast als classificatie-algoritme voor fruit is hieronder weergegeven.



Parameterdominantie

Uitkomst uit bijvoorbeeld random forest algoritme, dat aangeeft welke inputparameters veel, en welke weinig invloed hebben op de outputparameter.

Kunstwerk

Bouwwerk van metselwerk, beton, hout, staal of kunststof, zoals een brug, viaduct, tunnel of damwand.



ES-las

Verbinding tussen twee spoorstaven die ervoor zorgt dat er geen stroom tussen de spoorstaven kan lopen. De ES-las (Elektrische Scheidingslas) zorgt er dus voor dat de ene spoorstaaf geïsoleerd is van de andere spoorstaaf. Het systeem wordt gebruikt om te detecteren of er een trein op een bepaald deel van het spoor rijdt. Het spoor is hiervoor opgebouwd uit secties (delen), die gescheiden zijn door ES-lassen. Op de ene spoorstaaf staat stroom, en als er een trein in een sectie rijdt, loopt er een stroom via de as van de trein naar de andere spoorstaaf. Zo kan worden gedetecteerd of er een trein in die sectie rijdt. Hiermee worden de seinen aangestuurd.



Puntstuk

Punt in een wissel waar twee spoorstaven elkaar kruisen. Slijtage komt hier veel voor, doordat de wielen van de trein na de onderbreking van de rail vaak lager zitten dan de rail. Hierdoor botst het wiel tegen het puntstuk, wat in de omgeving hoor- en voelbaar kan zijn.



Betonnen
overwegbevloering

Type overweg waarbij het spoor op de overweg in betonnen platen is ingegoten. Hier rijdt ook het wegverkeer overheen.



Rubberen
overwegbevloering

Type overweg waarbij het spoor in ballast doorloopt. Tussen de spoorstaven zijn kunststof platen aangebracht, waar het wegverkeer overheen rijdt.



Onderlegplaat

Onderdeel van het spoorsysteem, tussen rughellingplaat en dwarsligger. Zie foto bij rughellingplaat.

Rughellingplaat

Onderdeel van het spoorsysteem wat dwarsligger en railklem (waaraan de spoorstaaf vastzit) verbindt. Op onderstaande foto het roestkleurige plaatje.



PGO-aannemer

Aannemer die kleinschalig onderhoud aan het spoor uitvoert in opdracht van ProRail. PGO staat voor Prestatiegericht OnderhoudsContract, en is een manier om dit aan te besteden. Veel regulier onderhoud is opgenomen in de PGO-contracten, waarbij Nederland is verdeeld in geografische gebieden. In elk van die geografische gebieden is een aannemer verantwoordelijk voor al dit kleinschalig onderhoud.

BIJLAGE ONDERHOUDSSTATEN

In deze bijlage zijn de onderhoudsstaten opgenomen. Uitdraaien uit stopmachines zijn niet opgenomen, de relevante informatie hieruit is opgenomen in de tabellen uit het hoofdrapport. Er zijn onderhoudsstaten beschikbaar van de volgende locaties:

1. America - geocode 055 - km. 15.30 - onderhoud aan ES-lassen
2. Hegelsom - geocode 055 - km. 11.52 - onderhoud aan ES-lassen
3. Tilburg - geocode 123 - km. 19.95 - onderhoud aan puntstukken



OPNAMEFORMULIER ES-LASSEN

Invullen per ES-las

Algemene gegevens

Object ID	P9
Spoornr	GD
Links/rechts	Links
Geocode	055
Km	15.305
Start onderhoud	01:22
Eind onderhoud	01:38
Ondersteuning (dubbelligger/zwevend/half zwevend)	dubbelligger
Type bevestiging	Standaard Klembout zwarte kunsstofkap
Type ES-las	ETS
Kwaliteit dwarsligger	Vrij goed

Op te meten voor en na onderhoud

Aspect	Opmeten	Voor onderhoud	Na onderhoud	Eenheid
Blinde vering	Mate van blinde vering	Onbelast onderhoud	Onbelast onderhoud	mm
Hoogteverschil	Afwijking van ligging in lijn (laser?)		Las ligt in één lijn	mm
Voeggrootte	Voeggrootte ES-lijmlas	0,5 naast plaatjes	0,5 naast plaatjes	mm
Dikte profielplaat	Dikte profielplaatje	5 bovenin 3	5 na kopvulling	mm
Holle ligging	Hoogte onder meetrei	0	0	mm

Inspectiepunten

Inspectiepunt	Kruis aan		Bijzonderheden
Ballast vergruisd (witte uitslag/brokkeling)	☐ JA	X NEE	
Afstand profielplaatje tot rughellingplaat > 25 mm	X JA	☐ NEE	
IJzerslijpsel aanwezig	☐ JA	X NEE	
Bevestigingsmiddelen los of kapot	☐ JA	X NEE	
Lasplaten gescheurd, gebroken of versleten	☐ JA	X NEE	
Uitwalsing las (braam aan rijkant) aanwezig	☐ JA	X NEE	Na kopvulling niet meer
Brandplekken op koppen spoorstaven aanwezig	☐ JA	X NEE	
Spoorconstructie beschadigd	☐ JA	X NEE	

Onderhoudspunten

Onderhoudsactie	Kruis aan		Bijzonderheden
ES-las vervangen?	☐ JA	X NEE	
Spoorstaaf vervangen?	☐ JA	X NEE	
Dwarsliggers vervangen?	☐ JA	X NEE	
Ballast aangevuld of vervangen?	X JA	☐ NEE	Gewackerd gat niet opgevuld
Ballast afgewerkt?	☐ JA	X NEE	
Kopvulling toegepast (beschadiging/ontbreken profielplaatje)?	X JA	☐ NEE	
Temperatuur OK?	X JA	☐ NEE	5 graden
Bevestigingsmiddelen aangedraaid?	☐ JA	X NEE	
Bevestigingsmiddelen vervangen?	☐ JA	X NEE	
Hoogtecorrectie uitgevoerd (lichten en slijpen)?	X JA	☐ NEE	Handmatig gewackerd



Braamvorming en uitwalsing verwijderd (slijpen of zagen)?	☒ JA	☐ NEE	Kopvulling toegepast
---	--	------------------------------	----------------------

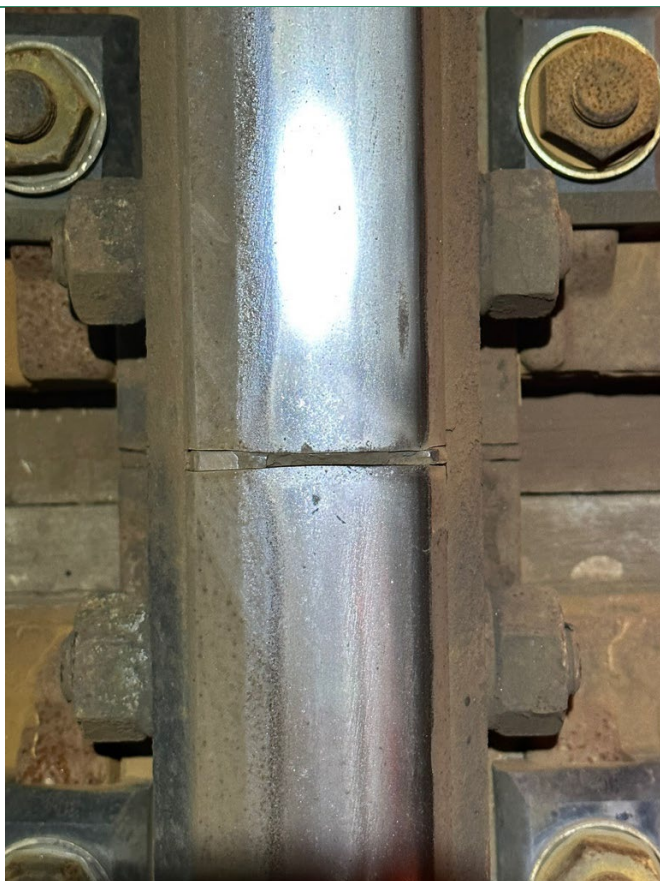
Bijzonderheden tijdens onderhoud of locatie

Onderhoudsactie	Bijzonderheden
Slijpen van de las	Er is na het wackeren de spoorstaaf geslepen, daarna is kopvulling aangebracht. Na het slijpen wordt er niet gemeten
Onderstoppen	Er is handmatig onderstopt en gaten zijn niet opgevuld
Kopvulling	Kopvulling proces wordt grotendeels gevold. Het dieper slijpen van de las gaat goed. Daarna de spray toepassen gaat goed, inclusief het materiaal aanbrengen. Kort na het aanbrengen van het opvulmateriaal wordt met een karton netjes het profiel van de spoorstaaf gevolgd en overtollig materiaal verwijderd. Dit gebeurt vrij snel na het aanbrengen van het materiaal. Doordat het materiaal nog niet uitgehard is, zakt het materiaal iets in. Hiermee is de bovenkant van de opvulling niet gelijk met de spoorstaaf aan einde onderhoud. Dit komt niet helemaal overeen met het beschreven proces zoals omschreven in de RLN00600-3
Es-las	Onder bij de voet is er een lichte opening bij het ES-lasplaatje, is te zien op de eerste foto
01:27	Start wackeren
01:28	Start slijpen
01:31	Gereed wackeren
01:33	Slijpen gereed
01:41	Start met kopvulling
01:51	Onderhoud gereed op deze locatie

Specifieke foto

Foto	Foto
------	------





Las voor start onderhoud

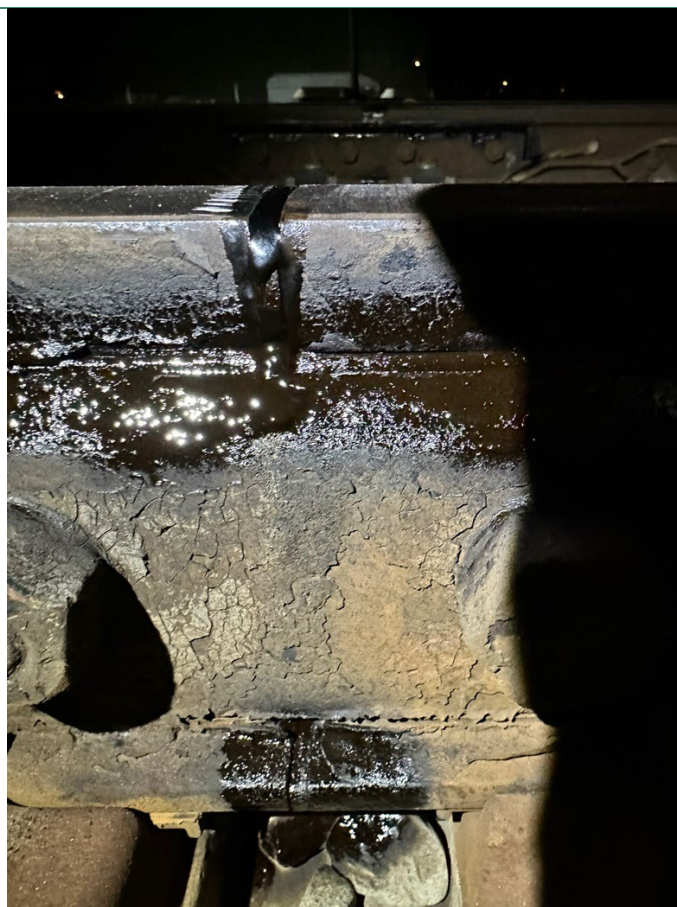
Lichte over



Slijpen van de las



Kopvulling aangebracht



Kopvulling materiaal wat ingezakt

--	--



OPNAMEFORMULIER ES-LASSEN

Invullen per ES-las

Algemene gegevens

Object ID	P9
Spoornr	GD
Links/rechts	Rechts
Geocode	055
Km	15.305
Start onderhoud	01:22
Eind onderhoud	01:38
Ondersteuning (dubbelligger/zwevend/half zwevend)	dubbelligger
Type bevestiging	Standaard Klembout zwarte kunsstofkap
Type ES-las	ETS
Kwaliteit dwarsligger	Vrij goed

Op te meten voor en na onderhoud

Aspect	Opmeten	Voor onderhoud	Na onderhoud	Eenheid
Blinde vering	Mate van blinde vering	Onbelast onderhoud	Onbelast onderhoud	mm
Hoogteverschil	Afwijking van ligging in lijn (laser?)		Las ligt in één lijn	mm
Voeggrootte	Voeggrootte ES-lijmlas			mm
Dikte profielplaat	Dikte profielplaatje	5	5	mm
Holle ligging	Hoogte onder meetrei	0,1	0	mm

Inspectiepunten

Inspectiepunt	Kruis aan		Bijzonderheden
Ballast vergruisd (witte uitslag/brokkeling)	☐ JA	X NEE	
Afstand profielplaatje tot rughellingplaat > 25 mm	X JA	☐ NEE	
IJzerslijpsel aanwezig	☐ JA	X NEE	
Bevestigingsmiddelen los of kapot	☐ JA	X NEE	
Lasplaten gescheurd, gebroken of versleten	☐ JA	X NEE	
Uitwalsing las (braam aan rijkant) aanwezig	☐ JA	X NEE	
Brandplekken op koppen spoorstaven aanwezig	☐ JA	X NEE	
Spoorconstructie beschadigd	☐ JA	X NEE	

Onderhoudspunten

Onderhoudsactie	Kruis aan		Bijzonderheden
ES-las vervangen?	☐ JA	X NEE	
Spoorstaaf vervangen?	☐ JA	X NEE	
Dwarsliggers vervangen?	☐ JA	X NEE	
Ballast aangevuld of vervangen?	☐ JA	X NEE	Gewackerd gat niet opgevuld, maar ballast is voldoende
Ballast afgewerkt?	☐ JA	X NEE	
Kopvulling toegepast (beschadiging/ontbreken profielplaatje)?	X JA	☐ NEE	
Temperatuur OK?	X JA	☐ NEE	5 graden
Bevestigingsmiddelen aangedraaid?	☐ JA	X NEE	
Bevestigingsmiddelen vervangen?	☐ JA	X NEE	



Hoogtecorrectie uitgevoerd (lichten en slijpen)?	X JA	☐ NEE	Handmatig gewackerd
Braamvorming en uitwalsing verwijderd (slijpen of zagen)?	X JA	☐ NEE	Kopvulling toegepast

Bijzonderheden tijdens onderhoud of locatie

Onderhoudsactie	Bijzonderheden
Slijpen van de las	Er is na het wackeren de spoorstaaf geslepen, daarna is kopvulling aangebracht. Na het slijpen wordt er niet gemeten
Onderstoppen	Er is handmatig onderstopt en gaten zijn niet opgevuld, op deze locatie voldoet ballastbed aan OVS
Kopvulling	Kopvulling proces wordt grotendeels gevold. Het dieper slijpen van de las gaat goed. Daarna de spray toepassen gaat goed, inclusief het materiaal aanbrengen. Kort na het aanbrengen van het opvulmateriaal wordt met een karton netjes het profiel van de spoorstaaf gevolgd en overtollig materiaal verwijderd. Dit gebeurt vrij snel na het aanbrengen van het materiaal. Doordat het materiaal nog niet uitgehard is, zakt het materiaal iets in. Hiermee is de bovenkant van de opvulling niet helemaal gelijk met de bovenkant spoorstaaf aan einde onderhoud. Dit komt niet helemaal overeen met het beschreven proces zoals omschreven in de RLN00600-3. Deze geeft aan laat het materiaal uitharden en daarna overtollig materiaal wegslijpen en met afbraamschijf nabehandelen en mogelijk slijpen. Voor bekijken methode zie ook Filmpje IMG_7089
Es-las	Onderkant kop zit nu geen materiaal zie foto en verder lijkt het over er beweging zit in de lasplaten, er is een kleinen ruimte te zien net boven de lasplaat en onderkant spoorstaaf
01:22	Start wackeren
01:26	Gereed wackeren en er is een krik gebruikt om las iets op te krikken
01:36	Start slijpen las
01:38	Gereed slijpen las
01:41	Start met kopvulling
01:51	Onderhoud gereed op deze locatie

Specifieke foto

Foto	Foto
------	------





Ballast niet netjes afgewerkt, maar voldoet wel

Lichte overSlijpen va



de kopvulling aangebracht na het slijpen



Kopvulling aangebracht, kleinen ruimte onderkant spoorstaaf en ruimte tussen onderkant spoorstaaf en bovenkant lasplaat

OPNAMEFORMULIER ES-LASSEN

Invullen per ES-las

Algemene gegevens

Object ID	P9
Spoornr	HD
Links/rechts	Links
Geocode	055
Km	15.305
Start onderhoud	01:36
Eind onderhoud	02:07
Ondersteuning (dubbelligger/zwevend/half zwevend)	dubbelligger
Type bevestiging	Standaard Klembout zwarte kunsstofkap
Type ES-las	Edilon TC
Kwaliteit dwarsligger	Vrij goed

Op te meten voor en na onderhoud

Aspect	Opmeten	Voor onderhoud	Na onderhoud	Eenheid
Blinde vering	Mate van blinde vering	Onbelast onderhoud	Onbelast onderhoud	mm
Hoogteverschil	Afwijking van ligging in lijn (laser?)		Las ligt in één lijn	mm
Voeggrootte	Voeggrootte ES-lijmlas	0,5 naast plaatjes	0,5 naast plaatjes	mm
Dikte profielplaat	Dikte profielplaatje	Bovenin geen plaatje	5 na kopvulling	mm
Holle ligging	Hoogte onder meetrei	0	0	mm

Inspectiepunten

Inspectiepunt	Kruis aan		Bijzonderheden
Ballast vergruisd (witte uitslag/brokkeling)	☐ JA	X NEE	
Afstand profielplaatje tot rughellingplaat > 25 mm	X JA	☐ NEE	
IJzerslijpsel aanwezig	☐ JA	X NEE	
Bevestigingsmiddelen los of kapot	☐ JA	X NEE	
Lasplaten gescheurd, gebroken of versleten	☐ JA	X NEE	
Uitwalsing las (braam aan rijkant) aanwezig	☐ JA	X NEE	Na kopvulling niet meer
Brandplekken op koppen spoorstaven aanwezig	☐ JA	X NEE	
Spoorconstructie beschadigd	☐ JA	X NEE	

Onderhoudspunten

Onderhoudsactie	Kruis aan		Bijzonderheden
ES-las vervangen?	☐ JA	X NEE	
Spoorstaaf vervangen?	☐ JA	X NEE	
Dwarsliggers vervangen?	☐ JA	X NEE	
Ballast aangevuld of vervangen?	☐ JA	X NEE	
Ballast afgewerkt?	☐ JA	X NEE	Gewackerd gat niet opgevuld
Kopvulling toegepast (beschadiging/ontbreken profielplaatje)?	X JA	☐ NEE	
Temperatuur OK?	X JA	☐ NEE	5 graden
Bevestigingsmiddelen aangedraaid?	☐ JA	X NEE	
Bevestigingsmiddelen vervangen?	☐ JA	X NEE	



Hoogtecorrectie uitgevoerd (lichten en slijpen)?	X JA	☐ NEE	Handmatig gewackerd
Braamvorming en uitwalsing verwijderd (slijpen of zagen)?	X JA	☐ NEE	Kopvulling toegepast

Bijzonderheden tijdens onderhoud of locatie

Onderhoudsactie	Bijzonderheden
Slijpen van de las	Er is na het wackeren de spoorstaaf geslepen, daarna is kopvulling aangebracht. Na het slijpen wordt er niet gemeten
Onderstoppen	Er is handmatig onderstopt en er is een krik gebruikt om de las te lichten. Gaten zijn niet opgevuld. Ballastbed voldoet wel.
Kopvulling	Kopvulling proces wordt grotendeels gevold. Het dieper slijpen van de las gaat goed. Daarna de spray toepassen gaat goed, inclusief het materiaal aanbrengen. Kort na het aanbrengen van het opvulmateriaal wordt met een karton netjes het profiel van de spoorstaaf gevolgd en overtollig materiaal verwijderd. Dit gebeurt vrij snel na het aanbrengen van het materiaal. Doordat het materiaal nog niet uitgehard is, zakt het materiaal iets in. Hiermee is de bovenkant van de opvulling niet gelijk met de spoorstaaf aan einde onderhoud. Dit komt niet helemaal overeen met het beschreven proces zoals omschreven in de RLN00600-3
Es-las	Bij start werkzaamheden ziet men in het bovenste gedeelte (ong 3 cm) geen ES-plaatje aanwezig
Es-las	Onder bij de voet is er een opening naast het plaatje. Ook kan men zien dat de 2 delen bewegen ten opzichte van elkaar.
ES-las	Aan één zijde van de ES-las ligt het onderlegplaatjes niet goed op de rughellingplaat. Dit lijkt een een indicatie te zijn dat de bevestigingsmiddellen het kunststofkapje niet goed vast zit.
01:27	Start wackeren
01:31	Gereed wackeren
01:33	Start slijpen las
01:37	Slijpen gereed
01:39	Start kopvulling
01:41	Kopvulling gereed
01:51	Onderhoud van alles gereed

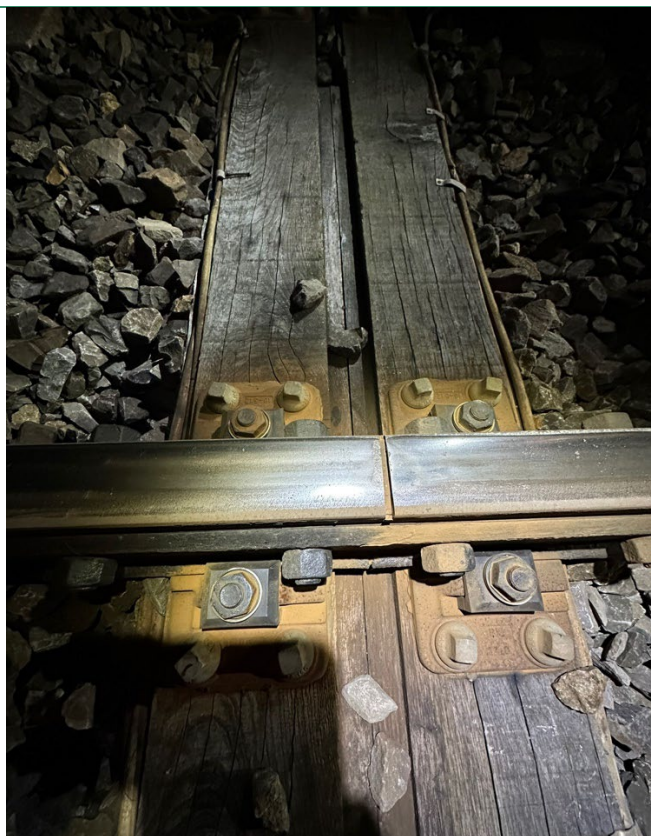
Specifieke foto

Foto	Foto
------	------





Wackeren nadat las op hoogte is gebracht



Beginsituatie ES-las voor start werkzaamheden



Beginsituatie ES-las slijtplankje niet goed en ES-plaatje niet tot bovenkant



Las geslepen en kopvulling aangebracht



Kopvulling aangebracht, niet gehele las zwart gemaakt

OPNAMEFORMULIER ES-LASSEN

Invullen per ES-las

Algemene gegevens

Object ID	P9
Spoornr	HD
Links/rechts	Rechts
Geocode	055
Km	15.305
Start onderhoud	01:36
Eind onderhoud	02:07
Ondersteuning (dubbelligger/zwevend/half zwevend)	dubbelligger
Type bevestiging	Gele klembout met geïsoleerde ring
Type ES-las	NRG las
Kwaliteit dwarsligger	Vrij goed

Op te meten voor en na onderhoud

Aspect	Opmeten	Voor onderhoud	Na onderhoud	Eenheid
Blinde vering	Mate van blinde vering	Onbelast onderhoud	Onbelast onderhoud	mm
Hoogteverschil	Afwijking van ligging in lijn (laser?)		Las ligt in één lijn	mm
Voeggrootte	Voeggrootte ES-lijmlas	0	0	mm
Dikte profielplaat	Dikte profielplaatje	5	5	mm
Holle ligging	Hoogte onder meetrei	0	0	mm

Inspectiepunten

Inspectiepunt	Kruis aan		Bijzonderheden
Ballast vergruisd (witte uitslag/brokkeling)	☐ JA	X NEE	
Afstand profielplaatje tot rughellingplaat > 25 mm	X JA	☐ NEE	
IJzerslijpsel aanwezig	☐ JA	X NEE	
Bevestigingsmiddelen los of kapot	☐ JA	X NEE	
Lasplaten gescheurd, gebroken of versleten	☐ JA	X NEE	
Uitwalsing las (braam aan rijkant) aanwezig	☐ JA	X NEE	
Brandplekken op koppen spoorstaven aanwezig	☐ JA	X NEE	
Spoorconstructie beschadigd	☐ JA	X NEE	

Onderhoudspunten

Onderhoudsactie	Kruis aan		Bijzonderheden
ES-las vervangen?	☐ JA	X NEE	
Spoorstaaf vervangen?	☐ JA	X NEE	
Dwarsliggers vervangen?	☐ JA	X NEE	
Ballast aangevuld of vervangen?	☐ JA	X NEE	
Ballast afgewerkt?	☐ JA	X NEE	Gewackerd gat niet opgevuld
Kopvulling toegepast (beschadiging/ontbreken profielplaatje)?	☐ JA	X NEE	
Temperatuur OK?	X JA	☐ NEE	5 graden
Bevestigingsmiddelen aangedraaid?	☐ JA	X NEE	
Bevestigingsmiddelen vervangen?	☐ JA	X NEE	
Hoogtecorrectie uitgevoerd (lichten en slijpen)?	X JA	☐ NEE	Handmatig gewackerd



Braamvorming en uitwalsing verwijderd (slijpen of zagen)?	☐ JA	X NEE	Kopvulling toegepast
---	-----------------------------	-------	----------------------

Bijzonderheden tijdens onderhoud of locatie

Onderhoudsactie	Bijzonderheden
Slijpen van de las	Er is na het wackeren de spoorstaaf geslepen, Na het slijpen wordt er niet gemeten
Onderstoppen	Er is handmatig onderstopt. Gaten zijn niet opgevuld. Ballastbed voldoet wel.
Es-las	De NRG-las behoort zwevend te worden aangebracht, behoudens als een dubbelligger nog van voldoende kwaliteit is. Dit is hier het geval. Doordat de uitsparing voor de klembout niet gebruikt kan worden, wordt er nu een metalen klembout gebruikt met isolerende kunststofring.
Es-las	Bij aanvang is er lichte overwalsing te zien, na het slijpen is dit verdwenen
Es-las	Onderin de voet van de ES-las ziet de ES-las er goed uit
01:31	Start wackeren
01:37	Gereed wackeren
01:37	Start slijpen las
01:39	Slijpen gereed
01:51	Onderhoud van alles gereed

Specifieke foto

Foto	Foto
 Overzicht startsituatie na wackeren	 Overwalsing te zien



NRG-las na slijpen



Detail NRG-las na slijpen

OPNAMEFORMULIER ES-LASSEN

Invullen per ES-las

Algemene gegevens

Object ID	P13
Spoornr	GD/202
Links/rechts	Links
Geocode	055
Km	11.499
Start onderhoud	Gecheckt na onderhoud
Eind onderhoud	nvt
Ondersteuning (dubbelligger/zwevend/half zwevend)	zwevend
Type bevestiging	Gele klem skl
Type ES-las	NRG
Kwaliteit dwarsligger	Nvt L en R van ES-las is het type 14-002

Op te meten voor en na onderhoud

Aspect	Opmeten	Voor onderhoud	Na onderhoud	Eenheid
Blinde vering	Mate van blinde vering	Onbelast onderhoud	Onbelast onderhoud	mm
Hoogteverschil	Afwijking van ligging in lijn (laser?)		Las ligt in één lijn	mm
Voeg grootte	Voeg grootte ES-lijmlas		5	mm
Dikte profielplaat	Dikte profielplaatje		5	mm
Holle ligging	Hoogte onder meetrei		Zijde hoge km 0,15 mm bij de ES-las die lager ligt bij de las	mm

Inspectiepunten

Inspectiepunt	Kruis aan		Bijzonderheden
Ballast vergruisd (witte uitslag/brokkeling)	☐ JA	X NEE	
Afstand profielplaatje tot rughellingplaat > 25 mm	X JA	☐ NEE	
IJzerslijpsel aanwezig	☐ JA	X NEE	
Bevestigingsmiddelen los of kapot	☐ JA	X NEE	
Lasplaten gescheurd, gebroken of versleten	☐ JA	X NEE	
Uitwalsing las (braam aan rijkant) aanwezig	☐ JA	X NEE	Lichte overwalsing zie foto
Brandplekken op koppen spoorstaven aanwezig	☐ JA	X NEE	
Spoorconstructie beschadigd	☐ JA	X NEE	

Onderhoudspunten

Onderhoudsactie	Kruis aan		Bijzonderheden
ES-las vervangen?	☐ JA	X NEE	
Spoorstaaf vervangen?	☐ JA	X NEE	
Dwarsliggers vervangen?	☐ JA	X NEE	
Ballast aangevuld of vervangen?	X JA	☐ NEE	Gewackerd gat opgevuld
Ballast afgewerkt?	X JA	☐ NEE	
Kopvulling toegepast (beschadiging/ontbreken profielplaatje)?	☐ JA	X NEE	
Temperatuur OK?	X JA	☐ NEE	5 graden



Bevestigingsmiddelen aangedraaid?	☐ JA	☐ NEE	Niet geconstateerd, opname was nadat onderhoud gereed was
Bevestigingsmiddelen vervangen?	☐ JA	X NEE	
Hoogtecorrectie uitgevoerd (lichten en slijpen)?	X JA	☐ NEE	
Braamvorming en uitwalsing verwijderd (slijpen of zagen)?	X JA	☐ NEE	Er is nog lichte overwalsing achtergebleven

Bijzonderheden tijdens onderhoud of locatie

Onderhoudsactie	Bijzonderheden
Slijpen van de las	Na het slijpen van de las is er nog lichte overwalsing achtergebleven
Slijpen van de las	Na het slijpen van de las is er handmatig nog een licht holletje voelbaar, komt overeen met de reïmeting
Onderstoppen	Er is handmatig onderstopt en gaten zijn opgevuld

Specifieke foto

Foto	Foto
 Lichte overwalsing na slijpen	 Las ziet er goed uit aan de onderkant



Klein licht holletje voelbaar. Let op de las is wel vlak, foto lijkt ander beeld te geven

OPNAMEFORMULIER ES-LASSEN

Invullen per ES-las

Algemene gegevens

Object ID	P13
Spoornr	HD/201
Links/rechts	Rechts
Geocode	055
Km	11.499
Start onderhoud	Gecheckt na onderhoud
Eind onderhoud	nvt
Ondersteuning (dubbelligger/zwevend/half zwevend)	zwevend
Type bevestiging	Gele klem skl
Type ES-las	NRG
Kwaliteit dwarsligger	Nvt L en R van ES-las is het type 14-002

Op te meten voor en na onderhoud

Aspect	Opmeten	Voor onderhoud	Na onderhoud	Eenheid
Blinde vering	Mate van blinde vering	Onbelast onderhoud	Onbelast onderhoud	mm
Hoogteverschil	Afwijking van ligging in lijn (laser?)		Las ligt in één lijn	mm
Voeggrootte	Voeggrootte ES-lijmlas		5	mm
Dikte profielplaat	Dikte profielplaatje		5	mm
Holle ligging	Hoogte onder meetrei		Zijde hoge km 0,20 mm bij de ES-las die lager ligt bij de las	mm

Inspectiepunten

Inspectiepunt	Kruis aan		Bijzonderheden
Ballast vergruisd (witte uitslag/brokkeling)	☐ JA	X NEE	
Afstand profielplaatje tot rughellingplaat > 25 mm	X JA	☐ NEE	
IJzerslijpsel aanwezig	☐ JA	X NEE	
Bevestigingsmiddelen los of kapot	☐ JA	X NEE	
Lasplaten gescheurd, gebroken of versleten	☐ JA	X NEE	
Uitwalsing las (braam aan rijkant) aanwezig	☐ JA	X NEE	Lichte overwalsing zie foto
Brandplekken op koppen spoorstaven aanwezig	☐ JA	X NEE	
Spoorconstructie beschadigd	☐ JA	X NEE	

Onderhoudspunten

Onderhoudsactie	Kruis aan		Bijzonderheden
ES-las vervangen?	☐ JA	X NEE	
Spoorstaaf vervangen?	☐ JA	X NEE	
Dwarsliggers vervangen?	☐ JA	X NEE	
Ballast aangevuld of vervangen?	X JA	☐ NEE	Gewackerd gat niet opgevuld
Ballast afgewerkt?	☐ JA	X NEE	
Kopvulling toegepast (beschadiging/ontbreken profielplaatje)?	☐ JA	X NEE	
Temperatuur OK?	X JA	☐ NEE	5 graden

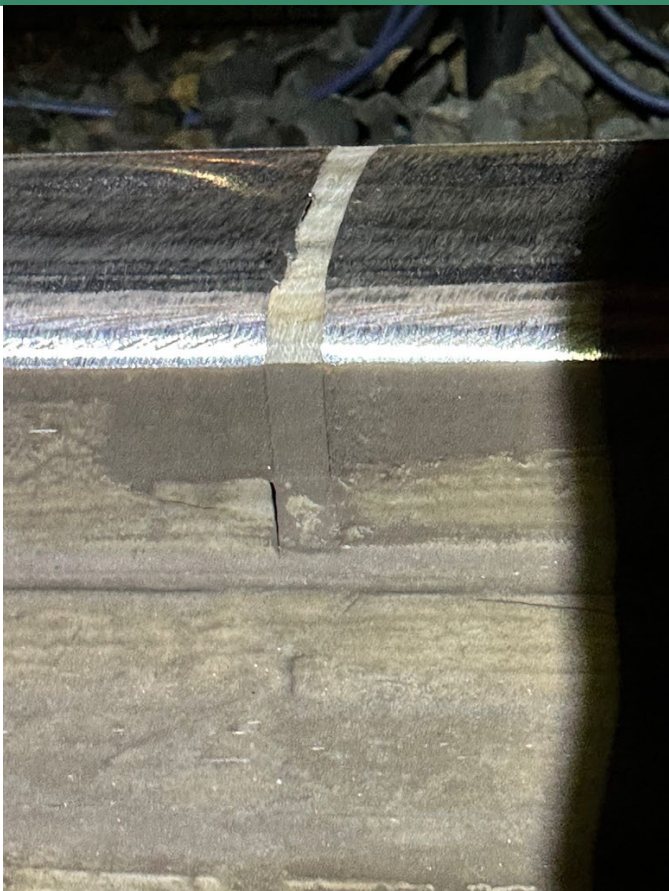


Bevestigingsmiddelen aangedraaid?	☐ JA	☐ NEE	Niet geconstateerd, opname was nadat onderhoud gereed was
Bevestigingsmiddelen vervangen?	☐ JA	☒ NEE	
Hoogtecorrectie uitgevoerd (lichten en slijpen)?	☒ JA	☐ NEE	
Braamvorming en uitwalsing verwijderd (slijpen of zagen)?	☒ JA	☐ NEE	Er is nog lichte overwalsing achtergebleven

Bijzonderheden tijdens onderhoud of locatie

Onderhoudsactie	Bijzonderheden
Slijpen van de las	Na het slijpen van de las is er nog lichte overwalsing achtergebleven op de rijkant
Onderstoppen	Er is handmatig onderstopt en gaten zijn niet opgevuld
Onderstoppen	Ballast ligt tot tegen onderkant ES-las
Es-las	Onder bij de voet is er een lichte opening bij het ES-lasplaatje

Specifieke foto

Foto	Foto
	
Lichte overwalsing na slijpen	Lichte overwalsing na slijpen



Kleine opening onder bij de las linker zijde



Kleine opening onder bij de las rechter zijde

OPNAMEFORMULIER ES-LASSEN

Invullen per ES-las

Algemene gegevens

Object ID	P13
Spoornr	GD/202
Links/rechts	Links
Geocode	055
Km	15.535
Start onderhoud	Gecheckt na onderhoud
Eind onderhoud	nvt
Ondersteuning (dubbelligger/zwevend/half zwevend)	zwevend
Type bevestiging	Gele klem skl
Type ES-las	NRG
Kwaliteit dwarsligger	Nvt L en R van ES-las is het type 14-002

Op te meten voor en na onderhoud

Aspect	Opmeten	Voor onderhoud	Na onderhoud	Eenheid
Blinde vering	Mate van blinde vering	Onbelast onderhoud	Onbelast onderhoud	mm
Hoogteverschil	Afwijking van ligging in lijn (laser?)		Las ligt in één lijn	mm
Voeg grootte	Voeg grootte ES-lijmlas		5	mm
Dikte profielplaat	Dikte profielplaatje		5	mm
Holle ligging	Hoogte onder meetrei		0 mm ligt vlak	mm

Inspectiepunten

Inspectiepunt	Kruis aan		Bijzonderheden
Ballast vergruisd (witte uitslag/brokkeling)	☐ JA	X NEE	
Afstand profielplaatje tot rughellingplaat > 25 mm	X JA	☐ NEE	
IJzerslijpsel aanwezig	☐ JA	X NEE	
Bevestigingsmiddelen los of kapot	☐ JA	X NEE	
Lasplaten gescheurd, gebroken of versleten	☐ JA	X NEE	
Uitwalsing las (braam aan rijkant) aanwezig	☐ JA	X NEE	Lichte overwalsing en bovenkant plaatje is beschadigd
Brandplekken op koppen spoorstaven aanwezig	☐ JA	X NEE	
Spoorconstructie beschadigd	☐ JA	X NEE	

Onderhoudspunten

Onderhoudsactie	Kruis aan		Bijzonderheden
ES-las vervangen?	☐ JA	X NEE	
Spoorstaaf vervangen?	☐ JA	X NEE	
Dwarsliggers vervangen?	☐ JA	X NEE	
Ballast aangevuld of vervangen?	X JA	☐ NEE	Gewackerd gat opgevuld
Ballast afgewerkt?	☐ JA	X NEE	
Kopvulling toegepast (beschadiging/ontbreken profielplaatje)?	☐ JA	X NEE	
Temperatuur OK?	X JA	☐ NEE	5 graden

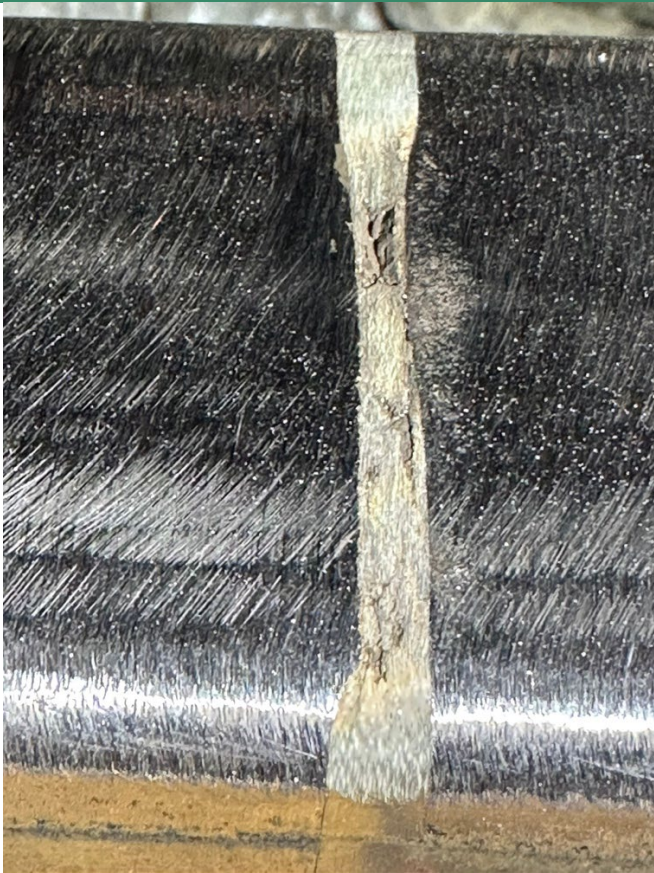


Bevestigingsmiddelen aangedraaid?	☐ JA	☐ NEE	Niet geconstateerd, opname was nadat onderhoud gereed was
Bevestigingsmiddelen vervangen?	☐ JA	☒ NEE	
Hoogtecorrectie uitgevoerd (lichten en slijpen)?	☒ JA	☐ NEE	
Braamvorming en uitwalsing verwijderd (slijpen of zagen)?	☒ JA	☐ NEE	Er is nog overwalsing achtergebleven

Bijzonderheden tijdens onderhoud of locatie

Onderhoudsactie	Bijzonderheden
Slijpen van de las	Na het slijpen van de las is er nog overwalsing achtergebleven
Slijpen van de las	Na het slijpen van de las is het profielplaatje niet helemaal vol tot aan de kop
Slijpen van de las	Er is nog een heel licht holletje voelbaar, maar komt ook omdat bovenkant ES-plaatje beschadigd is
Onderstoppen	Er is handmatig onderstopt en gaten zijn niet opgevuld

Specifieke foto

Foto	Foto
 Lichte overwalsing na slijpen	 Kop profielplaatje niet helemaal tot aan bovenkant



Geen scheurvorming onderkant las

OPNAMEFORMULIER ES-LASSEN

Invullen per ES-las

Algemene gegevens

Object ID	P13
Spoornr	HD/201
Links/rechts	Rechts
Geocode	055
Km	15.535
Start onderhoud	Gecheckt na onderhoud
Eind onderhoud	nvt
Ondersteuning (dubbelligger/zwevend/half zwevend)	zwevend
Type bevestiging	Gele klem skl
Type ES-las	NRG
Kwaliteit dwarsligger	Nvt L en R van ES-las is het type 14-002

Op te meten voor en na onderhoud

Aspect	Opmeten	Voor onderhoud	Na onderhoud	Eenheid
Blinde vering	Mate van blinde vering	Onbelast onderhoud	Onbelast onderhoud	mm
Hoogteverschil	Afwijking van ligging in lijn (laser?)		Las ligt in één lijn	mm
Voeggrootte	Voeggrootte ES-lijmlas		5	mm
Dikte profielplaat	Dikte profielplaatje		5	mm
Holle ligging	Hoogte onder meetrei		Zijde lage km 0,05 mm bij de ES-las die lager ligt bij de las	mm

Inspectiepunten

Inspectiepunt	Kruis aan		Bijzonderheden
Ballast vergruisd (witte uitslag/brokkeling)	☐ JA	X NEE	
Afstand profielplaatje tot rughellingplaat > 25 mm	X JA	☐ NEE	
IJzerslijpsel aanwezig	☐ JA	X NEE	
Bevestigingsmiddelen los of kapot	☐ JA	X NEE	
Lasplaten gescheurd, gebroken of versleten	☐ JA	X NEE	
Uitwalsing las (braam aan rijkant) aanwezig	☐ JA	X NEE	
Brandplekken op koppen spoorstaven aanwezig	☐ JA	X NEE	
Spoorconstructie beschadigd	☐ JA	X NEE	

Onderhoudspunten

Onderhoudsactie	Kruis aan		Bijzonderheden
ES-las vervangen?	☐ JA	X NEE	
Spoorstaaf vervangen?	☐ JA	X NEE	
Dwarsliggers vervangen?	☐ JA	X NEE	
Ballast aangevuld of vervangen?	X JA	☐ NEE	Gewackerd gat niet opgevuld
Ballast afgewerkt?	☐ JA	X NEE	
Kopvulling toegepast (beschadiging/ontbreken profielplaatje)?	☐ JA	X NEE	
Temperatuur OK?	X JA	☐ NEE	5 graden



Bevestigingsmiddelen aangedraaid?	☐ JA	☐ NEE	Niet geconstateerd, opname was nadat onderhoud gereed was
Bevestigingsmiddelen vervangen?	☐ JA	X NEE	
Hoogtecorrectie uitgevoerd (lichten en slijpen)?	X JA	☐ NEE	
Braamvorming en uitwalsing verwijderd (slijpen of zagen)?	X JA	☐ NEE	

Bijzonderheden tijdens onderhoud of locatie

Onderhoudsactie	Bijzonderheden
Slijpen van de las	Resultaat ziet er goed uit
Onderstoppen	Er is handmatig onderstopt en gaten zijn niet opgevuld
Onderstoppen	Ballast ligt tot tegen onderkant ES-las
Es-las	Onder bij de voet is er een lichte opening bij het ES-lasplaatje

Specifieke foto

Foto	Foto
 Las ziet er goed uit	 Onderkant las ziet er goed uit



OPNAMEFORMULIER PUNTSTUKKEN

Invullen per puntstuk

Algemene gegevens

Object ID	B5
Wissel	65A/63B zijde 63B
Start onderhoud	03-06-2023. 03:49
Eind onderhoud	03-06-2023 05:28
Geocode	123
Km	19.999
Mangaan/geconstrueerd	Geconstrueerd
Oplassingen aanwezig	Nee

Op te meten voor en na onderhoud

Aspect	Opmeten	Voor onderhoud	Na onderhoud	Eenheid
Blinde vering	Mate van blinde vering	Niet kunnen meten		mm
Spoorwijdte	Spoorwijdte puntstuk rechts	1435	1435	mm
	Spoorwijdte na puntstuk krom	1435	1435	Mm

Inspectiepunten

Inspectiepunt	Kruis aan		Bijzonderheden
Verzakking aanwezig?	☐ JA	☒ NEE	
Ballast vergruisd (witte uitslag/brokkeling)?	☐ JA	☒ NEE	
Spoorstaaf beschadigd/versleten (denk ook aan RCF)?	☐ JA	☒ NEE	
Aanrijdschade aflaggende tong?	☐ JA	☒ NEE	
Tongbeweging incompleet?	☐ JA	☒ NEE	
Koppelplaten beschadigd?	☐ JA	☒ NEE	
Puntstuk/kruisstuk beschadigd?	☐ JA	☒ NEE	
Strijkregel beschadigd?	☐ JA	☒ NEE	Wordt ook niet overmatig aangereden
Bevestigingsmiddelen los of kapot	☒ JA	☐ NEE	
Lassen beschadigd?	☐ JA	☒ NEE	

Onderhoudspunten

Onderhoudsactie	Kruis aan		Bijzonderheden
Spoorwijdte hersteld?	☐ JA	☒ NEE	
Spoorligging hersteld?	☐ JA	☒ NEE	
Ballast aangevuld of vervangen?	☐ JA	☒ NEE	
Ballast afgewerkt?	☐ JA	☒ NEE	
Spoorstaaf vervangen?	☐ JA	☒ NEE	
Tong vervangen?	☐ JA	☒ NEE	
Wissel afgesteld?	☐ JA	☐ NEE	
Koppelplaten vervangen?	☐ JA	☒ NEE	
Puntstuk/kruisstuk vervangen?	☐ JA	☒ NEE	
Strijkregel vervangen?	☐ JA	☒ NEE	
Bevestigingen vervangen?	☐ JA	☒ NEE	



Bevestigingen aangedraaid?	☒ JA	☐ NEE	
Lassen vervangen?	☐ JA	☒ NEE	
Spoorstaven geslepen?	☐ JA	☒ NEE	
Wisselliggers vervangen?	☐ JA	☒ NEE	

Bijzonderheden tijdens onderhoud of locatie

Onderhoudsactie	Bijzonderheden
Bevestigingsmiddelen vast in wsl	Men tikt tegen de bevestigingsmiddelen aan en ook de liggende bouten. Waar deze los zitten worden deze aangedraaid. In totaal zijn er zo'n 20 stuks aangedraaid aan deze zijde van het Eng wsl, waarbij er geen liggende bouten in het puntstuk zijn aangedraaid
Lijmlassen	Lijmlassen in het wsl worden nagelopen. Lijmlassen zien er wel goed uit, worden niet allemaal geslepen. Voor de lijmlassen worden aparte inspectie rapporten meegeleverd. Waarbij de nummering wordt aangehouden conform tekening "OR_001361133_Q uitgevoerd onderhoud 3_4 juni V2" Lijmlassen zien er wel goed uit
Puntstuk slijpen	Er is geen wisselslijpmachine aanwezig, de slijpwerkzaamheden worden handmatig met een slijper op accu uitgevoerd. Er is lichte braamvorming en dit overtollig materiaal wordt verwijderd. Dit gebeurt aan beide zijden van de naald.
Brand	Er zijn bladeren aanwezig in het puntstuk, door het slijpen gaan deze bladeren nu niet branden/smeulen, er zijn ook minder bladeren aanwezig. Er is geen water op de werkplek aanwezig. Vanuit de auto wordt een flacon gehaald met vliegvoorruit schoonmaakmiddel, daarmee worden de bladeren natgemaakt. Aan het einde van de nacht komt de voorman van de onderhoudsaannemer met een jerrycan met water en wordt alles nog een keer goed nagelopen
Kruisstuk slijpen	De kruisstukken worden geïnspecteerd en heel lichtjes geslepen
Tongbeweging slijpen	De tongbeweging wordt geslepen, zie ook de film

Specifieke foto

Foto	Foto
------	------





Puntstuk voor het slijpen

Geen foto na het slijpe

OPNAMEFORMULIER PUNTSTUKKEN

Invullen per puntstuk

Algemene gegevens

Object ID	B5
Wissel	65A/63B zijde 65A
Start onderhoud	03-06-2023. 03:49
Eind onderhoud	03-06-2023 05:28
Geocode	123
Km	19.986
Mangaan/geconstrueerd	Geconstrueerd
Oplassingen aanwezig	Nee

Op te meten voor en na onderhoud

Aspect	Opmeten	Voor onderhoud	Na onderhoud	Eenheid
Blinde vering	Mate van blinde vering	Niet kunnen meten		mm
Spoorwijdte	Spoorwijdte puntstuk rechts	1437	1437	mm
	Spoorwijdte na puntstuk krom	1437	1437	Mm

Inspectiepunten

Inspectiepunt	Kruis aan	Bijzonderheden
Verzakking aanwezig?	☐ JA ☒ NEE	
Ballast vergruisd (witte uitslag/brokkeling)?	☐ JA ☒ NEE	
Spoorstaaf beschadigd/versleten (denk ook aan RCF)?	☐ JA ☒ NEE	
Aanrijdschade aflaggende tong?	☐ JA ☒ NEE	
Tongbeweging incompleet?	☐ JA ☒ NEE	
Koppelplaten beschadigd?	☐ JA ☒ NEE	
Puntstuk/kruisstuk beschadigd?	☐ JA ☒ NEE	
Strijkregel beschadigd?	☐ JA ☒ NEE	Wordt ook niet overmatig aangereden
Bevestigingsmiddelen los of kapot	☒ JA ☐ NEE	
Lassen beschadigd?	☐ JA ☒ NEE	

Onderhoudspunten

Onderhoudsactie	Kruis aan	Bijzonderheden
Spoorwijdte hersteld?	☐ JA ☒ NEE	
Spoorligging hersteld?	☐ JA ☒ NEE	
Ballast aangevuld of vervangen?	☐ JA ☒ NEE	
Ballast afgewerkt?	☐ JA ☒ NEE	
Spoorstaaf vervangen?	☐ JA ☒ NEE	
Tong vervangen?	☐ JA ☒ NEE	
Wissel afgesteld?	☐ JA ☐ NEE	
Koppelplaten vervangen?	☐ JA ☒ NEE	
Puntstuk/kruisstuk vervangen?	☐ JA ☒ NEE	
Strijkregel vervangen?	☐ JA ☒ NEE	
Bevestigingen vervangen?	☐ JA ☒ NEE	



Bevestigingen aangedraaid?	☒ JA	☐ NEE	
Lassen vervangen?	☐ JA	☒ NEE	
Spoorstaven geslepen?	☐ JA	☒ NEE	
Wisselliggers vervangen?	☐ JA	☒ NEE	

Bijzonderheden tijdens onderhoud of locatie

Onderhoudsactie	Bijzonderheden
Bevestigingsmiddelen vast in wsl	Men tikt tegen de bevestigingsmiddelen aan en ook de liggende bouten. Waar deze los zitten worden deze aangedraaid. In totaal zijn er zo'n 20 stuks aangedraaid aan deze zijde van het Eng wsl, waarbij er geen liggende bouten in het puntstuk zijn aangedraaid
Lijmlassen	Lijmlassen in het wsl worden nagelopen. Voor de lijmlassen worden aparte inspectie rapporten meegeleverd. Waarbij de nummering wordt aangehouden conform tekening "OR_001361133_Q uitgevoerd onderhoud 3_4 juni V2"
Puntstuk slijpen	Er is geen wisselslijpmachine aanwezig, de slijpwerkzaamheden worden handmatig met een slijper op accu uitgevoerd. Er is lichte braamvorming en dit overtollig materiaal wordt verwijderd. Dit gebeurt aan beide zijden van de naald. Aan de rechterzijde ziet dit er optisch goed uit, aan de linkerzijde, is het niet helemaal optimaal
Brand	Er zijn bladeren aanwezig in het puntstuk, door het slijpen gaan deze bladeren branden/smeulen. Er is geen water op de werkplek aanwezig. Met de aandraaisleutel en een beitel worden de losse bladeren verwijderd. Vanuit de auto wordt een flacon gehaald met vliegvoorruiet schoonmaakmiddel, daarmee wordt geprobeerd de laatste resten uit te maken. Aan het einde van de nacht komt de voorman van de onderhoudsaannemer met een jerrycan met water en wordt alles nog een keer goed nagelopen
Kruisstuk slijpen	De kruisstukken worden geïnspecteerd en heel lichtjes geslepen
Tongbeweging slijpen	De tongbeweging wordt geslepen, zie ook de film

Specifieke foto

Foto	Foto
------	------





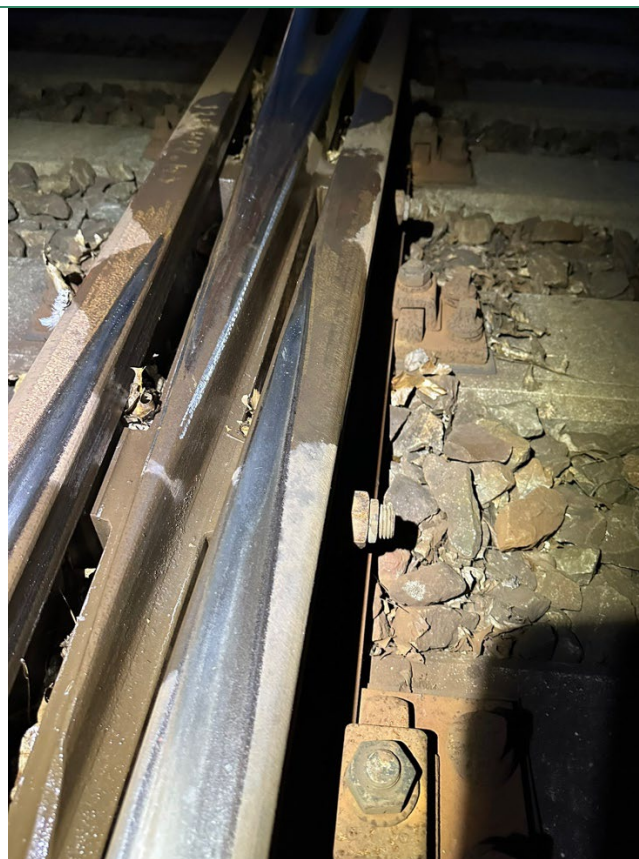
Puntstuk voor het slijpen linkerzijde



Puntstuk na het slijpen linkerzijde



Puntstuk voor het slijpen rechterzijde



Puntstuk na het slijpen rechterzijde



OPNAMEFORMULIER PUNTSTUKKEN

Invullen per puntstuk

Algemene gegevens

Object ID	B5
Wissel	61A
Start onderhoud	03-06-2023. 02:35
Eind onderhoud	03-06-2023 03:12
Geocode	123
Km	19.861
Mangaan/geconstrueerd	Geconstrueerd
Oplassingen aanwezig	Nee

Op te meten voor en na onderhoud

Aspect	Opmeten	Voor onderhoud	Na onderhoud	Eenheid
Blinde vering	Mate van blinde vering	Niet kunnen meten		mm
Spoorwijdte	Spoorwijdte na puntstuk recht	1437	1437	mm
	Spoorwijdte na puntstuk krom	1437	1437	Mm
Doorrijwijdte				

Inspectiepunten

Inspectiepunt	Kruis aan		Bijzonderheden
Verzakking aanwezig?	☐ JA	☒ NEE	
Ballast vergruisd (witte uitslag/brokkeling)?	☐ JA	☒ NEE	
Spoorstaaf beschadigd/versleten (denk ook aan RCF)?	☐ JA	☒ NEE	
Aanrijdschade aflaggende tong?	☐ JA	☒ NEE	
Tongbeweging incompleet?	☐ JA	☒ NEE	
Koppelplaten beschadigd?	☐ JA	☐ NEE	N.v.t. voor dit wsl
Puntstuk/kruisstuk beschadigd?	☐ JA	☒ NEE	
Strijkregel beschadigd?	☐ JA	☒ NEE	
Bevestigingsmiddelen los of kapot	☒ JA	☐ NEE	
Lassen beschadigd?	☐ JA	☒ NEE	

Onderhoudspunten

Onderhoudsactie	Kruis aan		Bijzonderheden
Spoorwijdte hersteld?	☐ JA	☒ NEE	
Spoorligging hersteld?	☐ JA	☒ NEE	
Ballast aangevuld of vervangen?	☐ JA	☒ NEE	
Ballast afgewerkt?	☐ JA	☒ NEE	
Spoorstaaf vervangen?	☐ JA	☒ NEE	
Tong vervangen?	☐ JA	☒ NEE	
Wissel afgesteld?	☐ JA	☐ NEE	
Koppelplaten vervangen?	☐ JA	☒ NEE	N.v.t. voor dit wsl
Puntstuk/kruisstuk vervangen?	☐ JA	☒ NEE	
Strijkregel vervangen?	☐ JA	☒ NEE	
Bevestigingen vervangen?	☐ JA	☒ NEE	
Bevestigingen aangedraaid?	☒ JA	☐ NEE	
Lassen vervangen?	☐ JA	☒ NEE	
Spoorstaven geslepen?	☐ JA	☒ NEE	



Wisselliggers vervangen?	☐ JA	☒ NEE	
--------------------------	-----------------------------	---	--

Bijzonderheden tijdens onderhoud of locatie

Onderhoudsactie	Bijzonderheden
Bevestigingsmiddelen vast in wsl	Men tikt tegen de bevestigingsmiddelen aan en ook de liggende bouten. Waar deze los zitten worden deze aangedraaid. In totaal zijn er zo'n 25 stuks aangedraaid, waarbij er geen liggende bouten in het puntstuk zijn aangedraaid
Lijmlassen	Lijmlassen in het wsl worden nagelopen. Voor de lijmlassen worden aparte inspectie rapporten meegeleverd. Waarbij de nummering wordt aangehouden conform tekening "OR_001361133_Q uitgevoerd onderhoud 3_4 juni V2"
Puntstuk slijpen	Er is geen wisselslijpmachine aanwezig, de slijpwerkzaamheden worden handmatig met een slijper op accu uitgevoerd. Er is lichte braamvorming en dit overtollig materiaal wordt verwijderd. Dit gebeurt aan beide zijden van de naald. Het puntstuk ziet er goed uit, geen echte slijtage te zien
Maatvoering	Vanuit de gemeten waarden in het wissel blijkt dat er geen waarden zijn die overschrijden of niet binnen tolerantie vallen.
Brandgevaar	Bij het slijpen van een ander puntstuk vatten de bladeren vlam, er is niet opgenomen in het onderhoud om losse droge bladeren te verwijderen uit het puntstuk en eventueel op andere plaatsen in het wissel

Specifieke foto

Foto	Foto
	



Punt van de naald voor het slijpen	Punt van de naald na het slijpen



OPNAMEFORMULIER PUNTSTUKKEN

Invullen per puntstuk

Algemene gegevens

Object ID	B5
Wissel	61B
Start onderhoud	03-06-2023. 02:35
Eind onderhoud	03-06-2023 03:12
Geocode	123
Km	19.873
Mangaan/geconstrueerd	Geconstrueerd
Oplassingen aanwezig	Nee

Op te meten voor en na onderhoud

Aspect	Opmeten	Voor onderhoud	Na onderhoud	Eenheid
Blinde vering	Mate van blinde vering	Niet kunnen meten		mm
Spoorwijdte	Spoorwijdte na puntstuk recht	1437	1437	mm
	Spoorwijdte na puntstuk krom	1437	1437	Mm
Doorrijwijdte				

Inspectiepunten

Inspectiepunt	Kruis aan		Bijzonderheden
Verzakking aanwezig?	☐ JA	☒ NEE	
Ballast vergruisd (witte uitslag/brokkeling)?	☐ JA	☒ NEE	
Spoorstaaf beschadigd/versleten (denk ook aan RCF)?	☐ JA	☒ NEE	
Aanrijdschade aflaggende tong?	☐ JA	☒ NEE	
Tongbeweging incompleet?	☐ JA	☒ NEE	
Koppelplaten beschadigd?	☐ JA	☐ NEE	N.v.t. voor dit wsl
Puntstuk/kruisstuk beschadigd?	☐ JA	☒ NEE	
Strijkregel beschadigd?	☐ JA	☒ NEE	
Bevestigingsmiddelen los of kapot	☒ JA	☐ NEE	
Lassen beschadigd?	☐ JA	☒ NEE	

Onderhoudspunten

Onderhoudsactie	Kruis aan		Bijzonderheden
Spoorwijdte hersteld?	☐ JA	☒ NEE	
Spoorligging hersteld?	☐ JA	☒ NEE	
Ballast aangevuld of vervangen?	☐ JA	☒ NEE	
Ballast afgewerkt?	☐ JA	☒ NEE	
Spoorstaaf vervangen?	☐ JA	☒ NEE	
Tong vervangen?	☐ JA	☒ NEE	
Wissel afgesteld?	☐ JA	☐ NEE	
Koppelplaten vervangen?	☐ JA	☒ NEE	N.v.t. voor dit wsl
Puntstuk/kruisstuk vervangen?	☐ JA	☒ NEE	
Strijkregel vervangen?	☐ JA	☒ NEE	
Bevestigingen vervangen?	☐ JA	☒ NEE	
Bevestigingen aangedraaid?	☒ JA	☐ NEE	
Lassen vervangen?	☐ JA	☒ NEE	
Spoorstaven geslepen?	☐ JA	☒ NEE	



Wisselliggers vervangen?	☐ JA	☒ NEE	
--------------------------	-----------------------------	---	--

Bijzonderheden tijdens onderhoud of locatie

Onderhoudsactie	Bijzonderheden
Bevestigingsmiddelen vast in wsl	Men tikt tegen de bevestigingsmiddelen aan en ook de liggende bouten. Waar deze los zitten worden deze aangedraaid. In totaal zijn er zo'n 15 stuks aangedraaid, waarbij er geen liggende bouten in het puntstuk zijn aangedraaid
Lijmlassen	Lijmlassen in het wsl worden nagelopen. Voor de lijmlassen worden aparte inspectie rapporten meegeleverd. Waarbij de nummering wordt aangehouden conform tekening "OR_001361133_Q uitgevoerd onderhoud 3_4 juni V2"
Puntstuk slijpen	Er is geen wisselslijpmachine aanwezig, de slijpwerkzaamheden worden handmatig met een slijper op accu uitgevoerd. Er is hele lichte braamvorming, slijper wordt er kort over gehaald.
Maatvoering	Vanuit de gemeten waarden in het wissel blijkt dat er geen waarden zijn die overschrijden of niet binnen tolerantie vallen.
Brandgevaar	Bij het slijpen van een ander puntstuk vatten de bladeren vlam, er is niet opgenomen in het onderhoud om losse droge bladeren te verwijderen uit het puntstuk en eventueel op andere plaatsen in het wissel

Specifieke foto

Foto	Foto
------	------





Punt van de naald voor het slijpen

Geen foto na het slijpen

BIJLAGE MEETAANPAK EN RESULTATEN

Deze bijlage bevat de meetopstelling en de belangrijkste resultaten van de metingen.

II.1 BREDA – GEOCODE 121 – KM 3.8

De meetopstelling op deze locatie is weergegeven in Figuur 49. De onderhouds- en meetmomenten zijn weergegeven in Tabel 35. Een paar opmerkingen bij deze tabel:

1. De herhalingsmeting is alleen uitgevoerd voor het onderhoud aan spoor NK, er is geen 2e herhalingsmeting uitgevoerd.
2. De herhalingsmeting is na 2 weken uitgevoerd, doorgaans is een termijn van 4 weken gehanteerd maar in verband met vakanties was dat in dit geval niet haalbaar. De herhalingsmeting is wel conform het Meetprotocol (o.b.v. minimale hoeveelheid aslast).
3. De langeduurmeting is tussentijds korte tijd onderbroken omdat het pand waaraan gemeten werd, door nieuwe huurders in gebruik is genomen. Daarop heeft opnieuw afstemming met de eigenaren plaatsgevonden.

Tabel 35 Onderhouds- en meetmomenten

Wat?	Van	Tot	Toelichting
Nulmeting	30 juni 2023		
Onderhoud spoor NK	2 augustus 2023	3 augustus 2023	Onderstoptrein
Onderhoud spoor MK	15 oktober 2023	16 oktober 2023	Onderstoptrein
Herhalingsmeting	16 augustus 2023		
Langeduurmeting	30 juni 2023	5 januari 2024	





Figuur 49 Meetopstelling

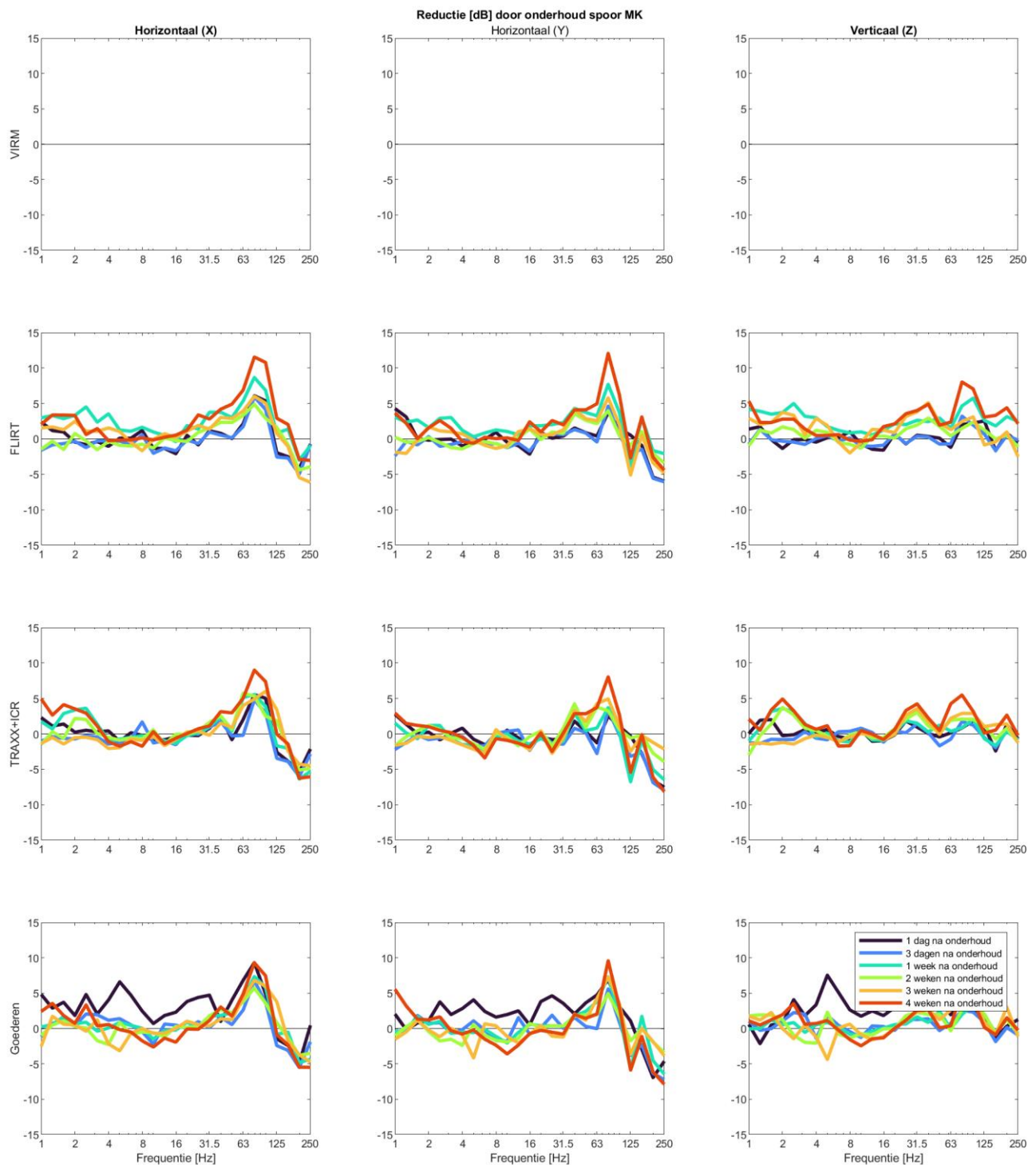
De meting is zoveel mogelijk uitgevoerd conform de standaard opstelling uit het Uniform Meetprotocol IBS. Van de standaard T-opstelling is op een aantal punten afgeweken i.v.m. de ligging bij een overweg, de aanwezigheid van wegen en obstakels, zie Tabel 36. Meetpunten zijn waar mogelijk op verharding geplaatst voor reproduceerbaarheid bij de nameting.

Tabel 36 Meetpunten en vergelijking met afstanden uit Meetprotocol IBS

Meetpunten uit standaard IBS	Afstand spoor NK	Afstand spoor MK
	2 punten op 4 meter	
3 punten op 8 meter	1 punt op 8 meter	2 punten op 8 meter
	1 punt op 12 meter	1 punt op 12 meter
1 punt op 16 meter	1 punt op 16 meter	1 punt op 16 meter
		1 punt op 20 meter
1 punt op 24 meter	1 punt op 24 meter	
		1 punt op 28 meter
1 punt op 32 meter	1 punt op 32 meter	
		1 punt op 36 meter
1 punt op 40 meter		
1 punt op 64 meter		
1 vast punt op ≥ 20 meter	1 punt op 19 meter	1 punt op 23 meter

Voor de continue meting is gemeten aan de verdieping van een nabijgelegen huis, op de fundering was niet mogelijk om gedurende langere tijd te meten.

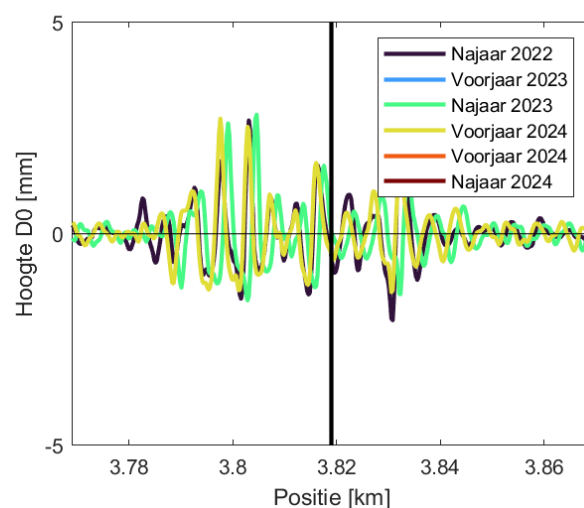
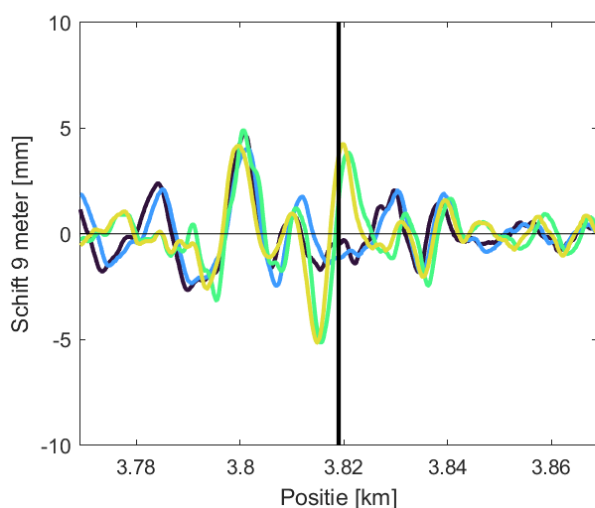
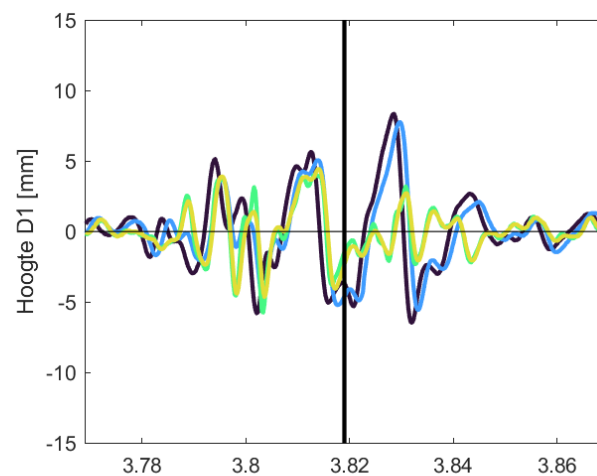
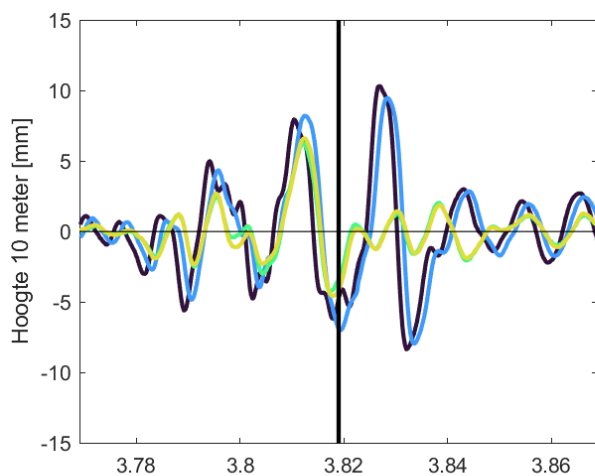
Hieronder is per treintype het gemiddelde effect van het onderhoud weergegeven. Een positief effect is een afname van de trillingen.



De resultaten per octaafbandfrequentie zijn hieronder weergegeven voor spoor MK

Treintype		Effect																																																																																																																						
	<table><tr><th colspan="2"></th><th colspan="6">Horizontaal effect [dB]</th></tr><tr><th rowspan="7">Frequentie [Hz]</th><th>125</th><td>2</td><td>1</td><td>4</td><td>1</td><td>2</td><td>6</td></tr><tr><th>64</th><td>1</td><td>1</td><td>4</td><td>3</td><td>3</td><td>6</td></tr><tr><th>32</th><td>0</td><td>0</td><td>2</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr><tr><th>16</th><td>-1</td><td>-1</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><th>8</th><td>0</td><td>-1</td><td>1</td><td>-1</td><td>-1</td><td>0</td></tr><tr><th>4</th><td>0</td><td>0</td><td>2</td><td>-1</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><th colspan="2"></th><th>1</th><th>3</th><th>7</th><th>14</th><th>21</th><th>28</th></tr></table>			Horizontaal effect [dB]						Frequentie [Hz]	125	2	1	4	1	2	6	64	1	1	4	3	3	6	32	0	0	2	1	2	3	16	-1	-1	1	0	1	0	8	0	-1	1	-1	-1	0	4	0	0	2	-1	1	0			1	3	7	14	21	28	<table><tr><th colspan="2"></th><th colspan="6">Verticaal effect [dB]</th></tr><tr><th rowspan="7">Frequentie [Hz]</th><th>125</th><td>2</td><td>1</td><td>5</td><td>2</td><td>2</td><td>6</td></tr><tr><th>64</th><td>0</td><td>-1</td><td>3</td><td>1</td><td>2</td><td>2</td></tr><tr><th>32</th><td>0</td><td>0</td><td>2</td><td>2</td><td>4</td><td>4</td></tr><tr><th>16</th><td>-1</td><td>-1</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><th>8</th><td>0</td><td>-1</td><td>1</td><td>-1</td><td>-1</td><td>0</td></tr><tr><th>4</th><td>0</td><td>0</td><td>2</td><td>1</td><td>2</td><td>0</td></tr><tr><th colspan="2"></th><th>1</th><th>3</th><th>7</th><th>14</th><th>21</th><th>28</th></tr></table>			Verticaal effect [dB]						Frequentie [Hz]	125	2	1	5	2	2	6	64	0	-1	3	1	2	2	32	0	0	2	2	4	4	16	-1	-1	1	0	1	1	8	0	-1	1	-1	-1	0	4	0	0	2	1	2	0			1	3	7	14	21	28
		Horizontaal effect [dB]																																																																																																																						
Frequentie [Hz]	125	2	1	4	1	2	6																																																																																																																	
	64	1	1	4	3	3	6																																																																																																																	
	32	0	0	2	1	2	3																																																																																																																	
	16	-1	-1	1	0	1	0																																																																																																																	
	8	0	-1	1	-1	-1	0																																																																																																																	
	4	0	0	2	-1	1	0																																																																																																																	
			1	3	7	14	21	28																																																																																																																
		Verticaal effect [dB]																																																																																																																						
Frequentie [Hz]	125	2	1	5	2	2	6																																																																																																																	
	64	0	-1	3	1	2	2																																																																																																																	
	32	0	0	2	2	4	4																																																																																																																	
	16	-1	-1	1	0	1	1																																																																																																																	
	8	0	-1	1	-1	-1	0																																																																																																																	
	4	0	0	2	1	2	0																																																																																																																	
			1	3	7	14	21	28																																																																																																																
	<table><tr><th colspan="2"></th><th colspan="6">Horizontaal effect [dB]</th></tr><tr><th rowspan="7">Frequentie [Hz]</th><th>125</th><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td><td>2</td></tr><tr><th>64</th><td>-1</td><td>-1</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td></tr><tr><th>32</th><td>-1</td><td>-1</td><td>0</td><td>0</td><td>-1</td><td>0</td></tr><tr><th>16</th><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-2</td><td>-2</td></tr><tr><th>8</th><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>-1</td></tr><tr><th>4</th><td>0</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-2</td><td>-1</td></tr><tr><th colspan="2"></th><th>1</th><th>3</th><th>7</th><th>14</th><th>21</th><th>28</th></tr></table>			Horizontaal effect [dB]						Frequentie [Hz]	125	1	0	0	1	2	2	64	-1	-1	1	2	3	4	32	-1	-1	0	0	-1	0	16	-1	-1	-1	-1	-2	-2	8	0	0	0	0	0	-1	4	0	-1	-1	-1	-2	-1			1	3	7	14	21	28	<table><tr><th colspan="2"></th><th colspan="6">Verticaal effect [dB]</th></tr><tr><th rowspan="7">Frequentie [Hz]</th><th>125</th><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>2</td><td>2</td></tr><tr><th>64</th><td>0</td><td>-1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>2</td></tr><tr><th>32</th><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td></tr><tr><th>16</th><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td><td>0</td><td>-1</td><td>0</td></tr><tr><th>8</th><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><th>4</th><td>0</td><td>-1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><th colspan="2"></th><th>1</th><th>3</th><th>7</th><th>14</th><th>21</th><th>28</th></tr></table>			Verticaal effect [dB]						Frequentie [Hz]	125	1	0	1	1	2	2	64	0	-1	1	1	1	2	32	1	1	1	2	3	4	16	-1	-1	-1	0	-1	0	8	0	1	0	0	0	0	4	0	-1	0	0	0	1			1	3	7	14	21	28
		Horizontaal effect [dB]																																																																																																																						
Frequentie [Hz]	125	1	0	0	1	2	2																																																																																																																	
	64	-1	-1	1	2	3	4																																																																																																																	
	32	-1	-1	0	0	-1	0																																																																																																																	
	16	-1	-1	-1	-1	-2	-2																																																																																																																	
	8	0	0	0	0	0	-1																																																																																																																	
	4	0	-1	-1	-1	-2	-1																																																																																																																	
			1	3	7	14	21	28																																																																																																																
		Verticaal effect [dB]																																																																																																																						
Frequentie [Hz]	125	1	0	1	1	2	2																																																																																																																	
	64	0	-1	1	1	1	2																																																																																																																	
	32	1	1	1	2	3	4																																																																																																																	
	16	-1	-1	-1	0	-1	0																																																																																																																	
	8	0	1	0	0	0	0																																																																																																																	
	4	0	-1	0	0	0	1																																																																																																																	
			1	3	7	14	21	28																																																																																																																
	<table><tr><th colspan="2"></th><th colspan="6">Horizontaal effect [dB]</th></tr><tr><th rowspan="7">Frequentie [Hz]</th><th>125</th><td>2</td><td>1</td><td>2</td><td>2</td><td>3</td><td>2</td></tr><tr><th>64</th><td>5</td><td>2</td><td>4</td><td>3</td><td>4</td><td>4</td></tr><tr><th>32</th><td>4</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><th>16</th><td>2</td><td>1</td><td>0</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-2</td></tr><tr><th>8</th><td>2</td><td>-2</td><td>-1</td><td>-1</td><td>0</td><td>-2</td></tr><tr><th>4</th><td>5</td><td>1</td><td>0</td><td>-1</td><td>-3</td><td>0</td></tr><tr><th colspan="2"></th><th>1</th><th>3</th><th>7</th><th>14</th><th>21</th><th>28</th></tr></table>			Horizontaal effect [dB]						Frequentie [Hz]	125	2	1	2	2	3	2	64	5	2	4	3	4	4	32	4	1	0	1	0	0	16	2	1	0	-1	-1	-2	8	2	-2	-1	-1	0	-2	4	5	1	0	-1	-3	0			1	3	7	14	21	28	<table><tr><th colspan="2"></th><th colspan="6">Verticaal effect [dB]</th></tr><tr><th rowspan="7">Frequentie [Hz]</th><th>125</th><td>2</td><td>1</td><td>2</td><td>2</td><td>3</td><td>2</td></tr><tr><th>64</th><td>3</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>2</td><td>1</td></tr><tr><th>32</th><td>4</td><td>1</td><td>1</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td></tr><tr><th>16</th><td>2</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>-1</td><td>-1</td></tr><tr><th>8</th><td>2</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td><td>0</td><td>-2</td></tr><tr><th>4</th><td>5</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>-3</td><td>1</td></tr><tr><th colspan="2"></th><th>1</th><th>3</th><th>7</th><th>14</th><th>21</th><th>28</th></tr></table>			Verticaal effect [dB]						Frequentie [Hz]	125	2	1	2	2	3	2	64	3	0	1	1	2	1	32	4	1	1	2	2	2	16	2	0	0	0	-1	-1	8	2	-1	-1	-1	0	-2	4	5	0	1	0	-3	1			1	3	7	14	21	28
		Horizontaal effect [dB]																																																																																																																						
Frequentie [Hz]	125	2	1	2	2	3	2																																																																																																																	
	64	5	2	4	3	4	4																																																																																																																	
	32	4	1	0	1	0	0																																																																																																																	
	16	2	1	0	-1	-1	-2																																																																																																																	
	8	2	-2	-1	-1	0	-2																																																																																																																	
	4	5	1	0	-1	-3	0																																																																																																																	
			1	3	7	14	21	28																																																																																																																
		Verticaal effect [dB]																																																																																																																						
Frequentie [Hz]	125	2	1	2	2	3	2																																																																																																																	
	64	3	0	1	1	2	1																																																																																																																	
	32	4	1	1	2	2	2																																																																																																																	
	16	2	0	0	0	-1	-1																																																																																																																	
	8	2	-1	-1	-1	0	-2																																																																																																																	
	4	5	0	1	0	-3	1																																																																																																																	
			1	3	7	14	21	28																																																																																																																

De spoorligging voor en na onderhoud is hieronder weergegeven.

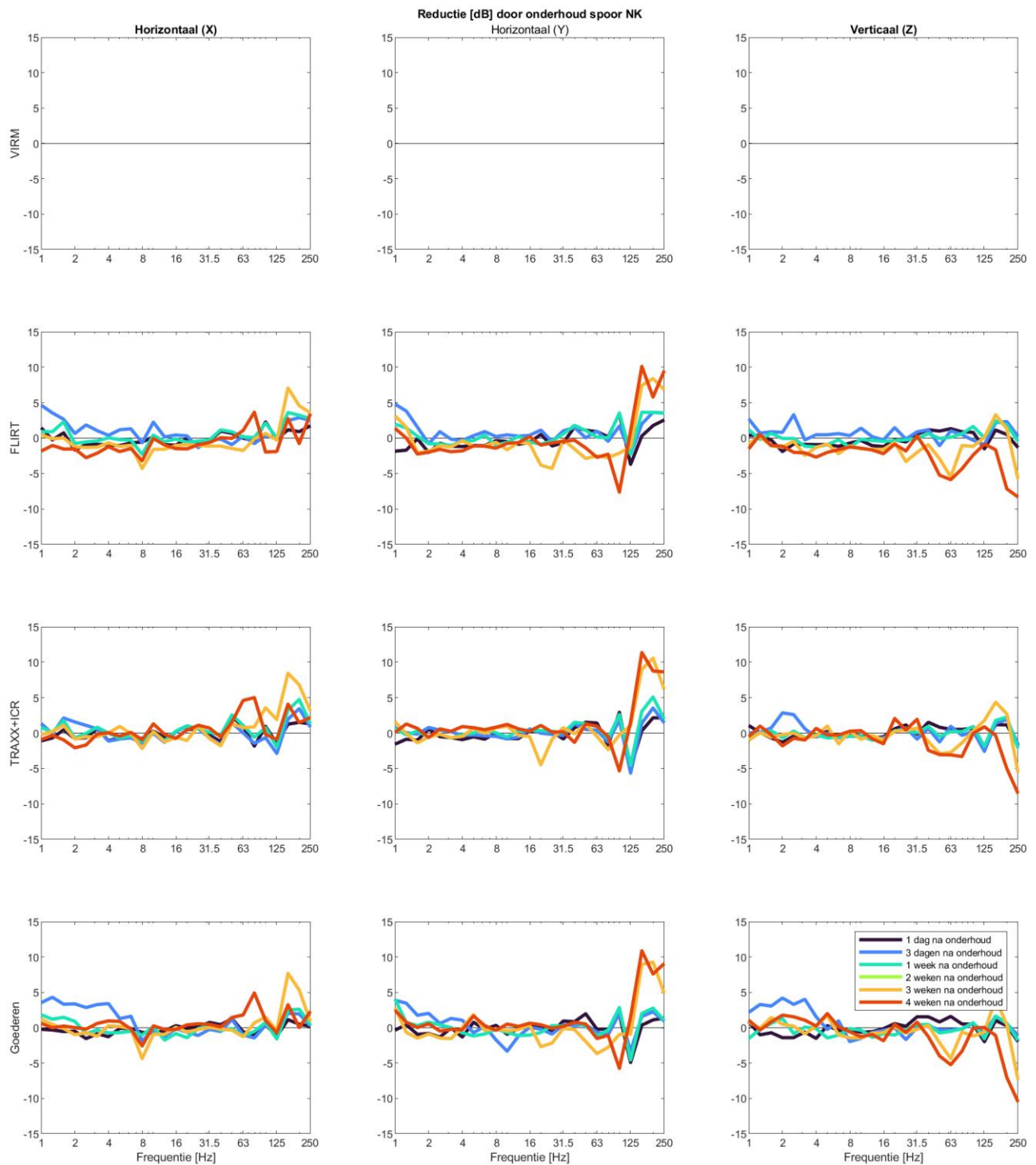


- Najaar 2022
- Voorjaar 2023
- Najaar 2023
- Voorjaar 2024
- Voorjaar 2024
- Najaar 2024

Figuur 50 Hoogteafwijking 10 meter koorde (linksboven), Hoogteafwijking D1 (rechtsboven), schiftafwijking 9 meter koorde (linksonder) en korte golf D0 afwijking (rechtsonder), spoor MK



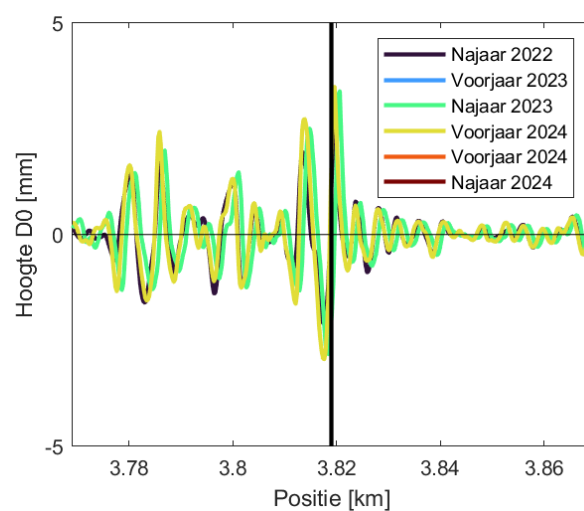
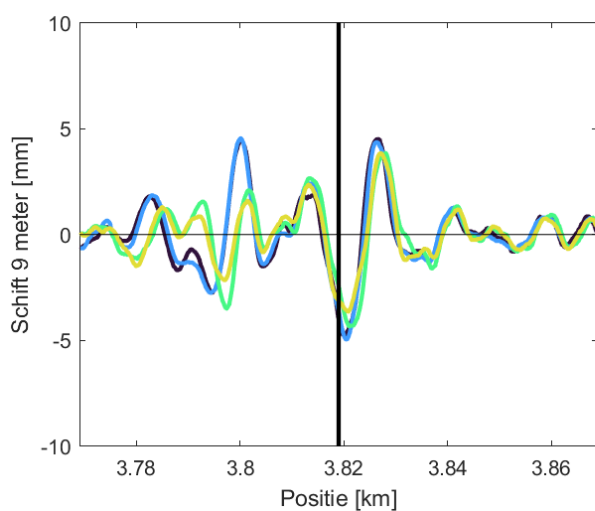
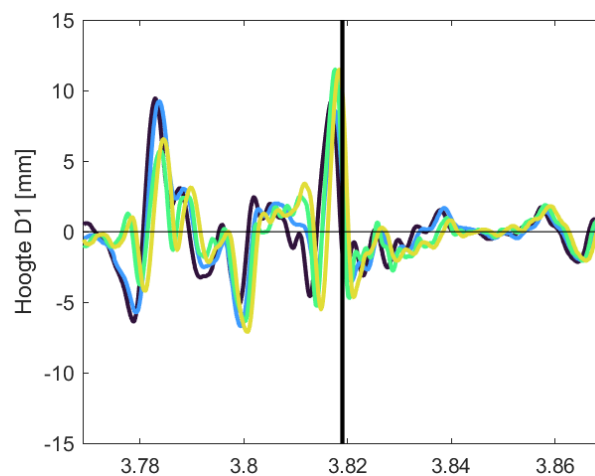
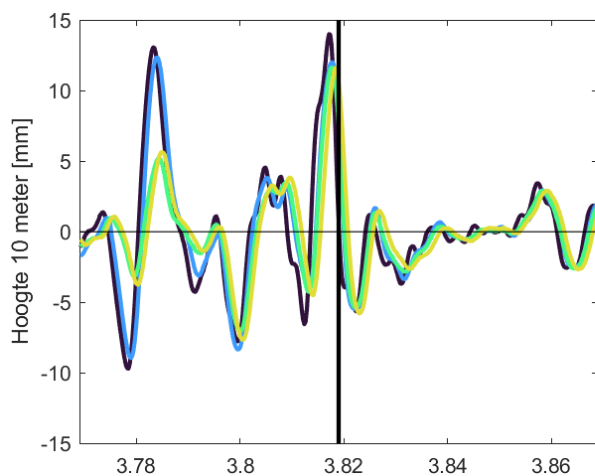
Hieronder is per treintype het gemiddelde effect van het onderhoud weergegeven. Een positief effect is een afname van de trillingen.



De resultaten per octaafbandfrequentie zijn hieronder weergegeven voor spoor NK

Treintype		Effect																																																																																																																
	<table><tr><th colspan="7">Horizontaal effect [dB]</th></tr><tr><th>Frequentie [Hz]</th><th>1</th><th>3</th><th>7</th><th>14</th><th>21</th><th>28</th></tr><tr><td>125</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td><td></td><td>2</td><td>-1</td></tr><tr><td>64</td><td>0</td><td>-1</td><td>1</td><td></td><td>-2</td><td>-1</td></tr><tr><td>32</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td></td><td>-2</td><td>-1</td></tr><tr><td>16</td><td>-1</td><td>0</td><td>0</td><td></td><td>-1</td><td>-1</td></tr><tr><td>8</td><td>0</td><td>0</td><td>-1</td><td></td><td>-2</td><td>-1</td></tr><tr><td>4</td><td>-1</td><td>1</td><td>0</td><td></td><td>-1</td><td>-2</td></tr></table>	Horizontaal effect [dB]							Frequentie [Hz]	1	3	7	14	21	28	125	0	1	2		2	-1	64	0	-1	1		-2	-1	32	0	0	0		-2	-1	16	-1	0	0		-1	-1	8	0	0	-1		-2	-1	4	-1	1	0		-1	-2	<table><tr><th colspan="7">Verticaal effect [dB]</th></tr><tr><th>Frequentie [Hz]</th><th>1</th><th>3</th><th>7</th><th>14</th><th>21</th><th>28</th></tr><tr><td>125</td><td>0</td><td>0</td><td>2</td><td></td><td>0</td><td>-2</td></tr><tr><td>64</td><td>1</td><td>-1</td><td>0</td><td></td><td>-3</td><td>-5</td></tr><tr><td>32</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td></td><td>-3</td><td>-1</td></tr><tr><td>16</td><td>-1</td><td>0</td><td>0</td><td></td><td>-2</td><td>-2</td></tr><tr><td>8</td><td>-1</td><td>1</td><td>-1</td><td></td><td>-1</td><td>-1</td></tr><tr><td>4</td><td>-1</td><td>0</td><td>-1</td><td></td><td>-1</td><td>-2</td></tr></table>	Verticaal effect [dB]							Frequentie [Hz]	1	3	7	14	21	28	125	0	0	2		0	-2	64	1	-1	0		-3	-5	32	0	0	0		-3	-1	16	-1	0	0		-2	-2	8	-1	1	-1		-1	-1	4	-1	0	-1		-1	-2
Horizontaal effect [dB]																																																																																																																		
Frequentie [Hz]	1	3	7	14	21	28																																																																																																												
125	0	1	2		2	-1																																																																																																												
64	0	-1	1		-2	-1																																																																																																												
32	0	0	0		-2	-1																																																																																																												
16	-1	0	0		-1	-1																																																																																																												
8	0	0	-1		-2	-1																																																																																																												
4	-1	1	0		-1	-2																																																																																																												
Verticaal effect [dB]																																																																																																																		
Frequentie [Hz]	1	3	7	14	21	28																																																																																																												
125	0	0	2		0	-2																																																																																																												
64	1	-1	0		-3	-5																																																																																																												
32	0	0	0		-3	-1																																																																																																												
16	-1	0	0		-2	-2																																																																																																												
8	-1	1	-1		-1	-1																																																																																																												
4	-1	0	-1		-1	-2																																																																																																												
	<table><tr><th colspan="7">Horizontaal effect [dB]</th></tr><tr><th>Frequentie [Hz]</th><th>1</th><th>3</th><th>7</th><th>14</th><th>21</th><th>28</th></tr><tr><td>125</td><td>0</td><td>-1</td><td>1</td><td></td><td>4</td><td>1</td></tr><tr><td>64</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td></td><td>1</td><td>2</td></tr><tr><td>32</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td></td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>16</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td></td><td>-2</td><td>0</td></tr><tr><td>8</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td></td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>4</td><td>-1</td><td>-1</td><td>0</td><td></td><td>0</td><td>0</td></tr></table>	Horizontaal effect [dB]							Frequentie [Hz]	1	3	7	14	21	28	125	0	-1	1		4	1	64	1	0	1		1	2	32	0	0	0		0	0	16	0	0	0		-2	0	8	0	0	0		0	1	4	-1	-1	0		0	0	<table><tr><th colspan="7">Verticaal effect [dB]</th></tr><tr><th>Frequentie [Hz]</th><th>1</th><th>3</th><th>7</th><th>14</th><th>21</th><th>28</th></tr><tr><td>125</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td></td><td>2</td><td>0</td></tr><tr><td>64</td><td>1</td><td>-1</td><td>0</td><td></td><td>-3</td><td>-3</td></tr><tr><td>32</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td></td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>16</td><td>0</td><td>-1</td><td>-1</td><td></td><td>-1</td><td>-1</td></tr><tr><td>8</td><td>0</td><td>-1</td><td>0</td><td></td><td>-1</td><td>0</td></tr><tr><td>4</td><td>0</td><td>0</td><td>-1</td><td></td><td>0</td><td>0</td></tr></table>	Verticaal effect [dB]							Frequentie [Hz]	1	3	7	14	21	28	125	0	0	1		2	0	64	1	-1	0		-3	-3	32	1	0	0		0	1	16	0	-1	-1		-1	-1	8	0	-1	0		-1	0	4	0	0	-1		0	0
Horizontaal effect [dB]																																																																																																																		
Frequentie [Hz]	1	3	7	14	21	28																																																																																																												
125	0	-1	1		4	1																																																																																																												
64	1	0	1		1	2																																																																																																												
32	0	0	0		0	0																																																																																																												
16	0	0	0		-2	0																																																																																																												
8	0	0	0		0	1																																																																																																												
4	-1	-1	0		0	0																																																																																																												
Verticaal effect [dB]																																																																																																																		
Frequentie [Hz]	1	3	7	14	21	28																																																																																																												
125	0	0	1		2	0																																																																																																												
64	1	-1	0		-3	-3																																																																																																												
32	1	0	0		0	1																																																																																																												
16	0	-1	-1		-1	-1																																																																																																												
8	0	-1	0		-1	0																																																																																																												
4	0	0	-1		0	0																																																																																																												
	<table><tr><th colspan="7">Horizontaal effect [dB]</th></tr><tr><th>Frequentie [Hz]</th><th>1</th><th>3</th><th>7</th><th>14</th><th>21</th><th>28</th></tr><tr><td>125</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td></td><td>3</td><td>1</td></tr><tr><td>64</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td></td><td>-1</td><td>1</td></tr><tr><td>32</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td></td><td>-1</td><td>0</td></tr><tr><td>16</td><td>0</td><td>-1</td><td>-1</td><td></td><td>-1</td><td>0</td></tr><tr><td>8</td><td>0</td><td>-1</td><td>0</td><td></td><td>-1</td><td>-1</td></tr><tr><td>4</td><td>-1</td><td>1</td><td>-1</td><td></td><td>0</td><td>1</td></tr></table>	Horizontaal effect [dB]							Frequentie [Hz]	1	3	7	14	21	28	125	0	1	1		3	1	64	0	0	0		-1	1	32	0	0	0		-1	0	16	0	-1	-1		-1	0	8	0	-1	0		-1	-1	4	-1	1	-1		0	1	<table><tr><th colspan="7">Verticaal effect [dB]</th></tr><tr><th>Frequentie [Hz]</th><th>1</th><th>3</th><th>7</th><th>14</th><th>21</th><th>28</th></tr><tr><td>125</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td></td><td>0</td><td>-1</td></tr><tr><td>64</td><td>1</td><td>0</td><td>-1</td><td></td><td>-2</td><td>-4</td></tr><tr><td>32</td><td>1</td><td>-1</td><td>0</td><td></td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>16</td><td>0</td><td>0</td><td>-1</td><td></td><td>-1</td><td>-1</td></tr><tr><td>8</td><td>0</td><td>-2</td><td>0</td><td></td><td>-1</td><td>-1</td></tr><tr><td>4</td><td>0</td><td>0</td><td>-1</td><td></td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	Verticaal effect [dB]							Frequentie [Hz]	1	3	7	14	21	28	125	0	1	1		0	-1	64	1	0	-1		-2	-4	32	1	-1	0		0	0	16	0	0	-1		-1	-1	8	0	-2	0		-1	-1	4	0	0	-1		1	1
Horizontaal effect [dB]																																																																																																																		
Frequentie [Hz]	1	3	7	14	21	28																																																																																																												
125	0	1	1		3	1																																																																																																												
64	0	0	0		-1	1																																																																																																												
32	0	0	0		-1	0																																																																																																												
16	0	-1	-1		-1	0																																																																																																												
8	0	-1	0		-1	-1																																																																																																												
4	-1	1	-1		0	1																																																																																																												
Verticaal effect [dB]																																																																																																																		
Frequentie [Hz]	1	3	7	14	21	28																																																																																																												
125	0	1	1		0	-1																																																																																																												
64	1	0	-1		-2	-4																																																																																																												
32	1	-1	0		0	0																																																																																																												
16	0	0	-1		-1	-1																																																																																																												
8	0	-2	0		-1	-1																																																																																																												
4	0	0	-1		1	1																																																																																																												

De spoorligging voor en na onderhoud is hieronder weergegeven.



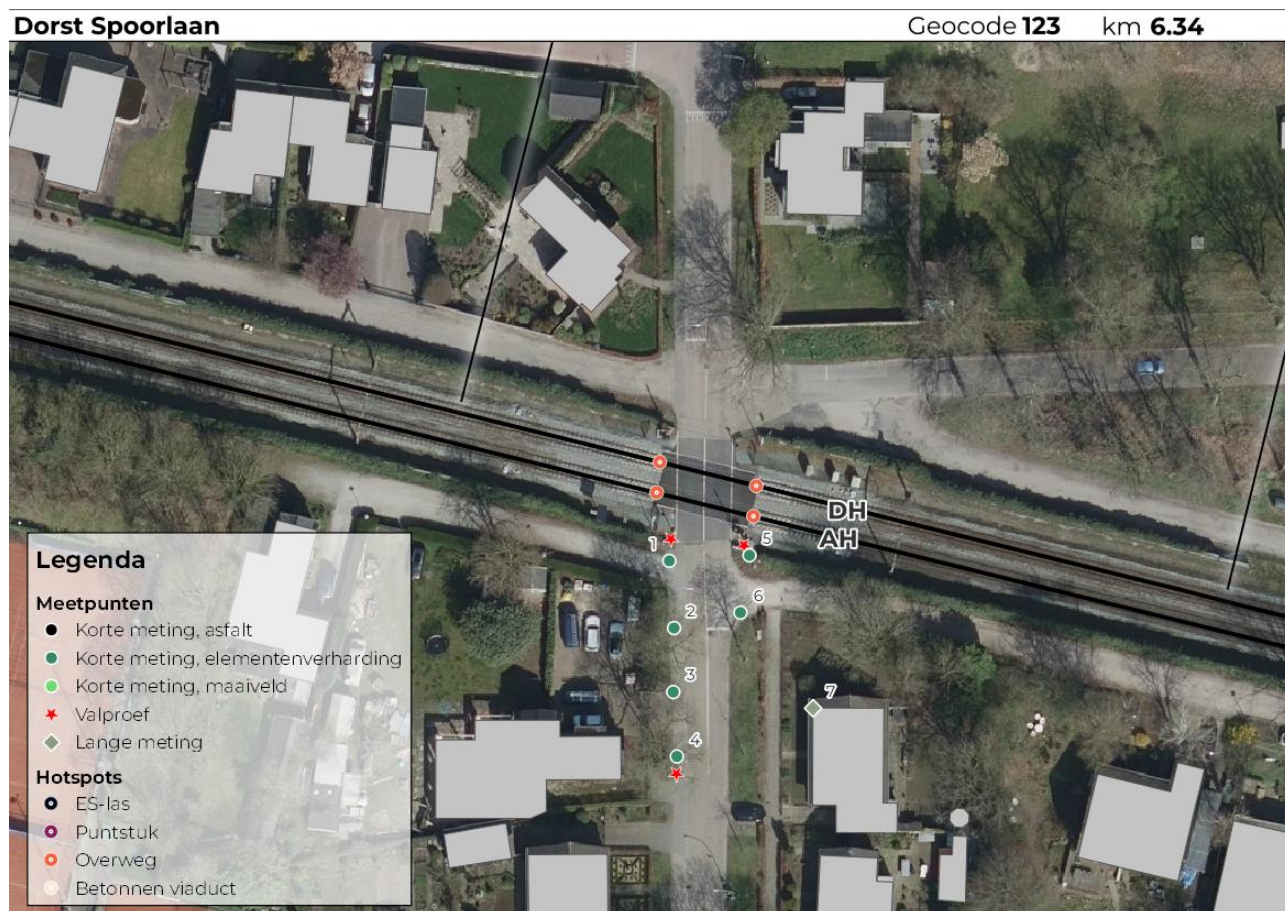
Figuur 51 Hoogteafwijking 10 meter koorde (linksboven), Hoogteafwijking D1 (rechtsboven), schiftafwijking 9 meter koorde (linksonder) en korte golf D0 afwijking (rechtsonder), spoor NK

II.2 DORST – GEOCODE 123 – KM 6.3

De meetopstelling op deze locatie is weergegeven in Figuur 52. De onderhouds- en meetmomenten zijn weergegeven in Tabel 37Tabel 35.

Tabel 37 Onderhouds- en meetmomenten

Wat?	Van	Tot	Toelichting
Nulmeting	4 augustus 2023		
Onderhoud spoor AH	18 augustus 2023	18 augustus 2023	Onderstoptrein
Onderhoud spoor DH	25 augustus 2023	25 augustus 2023	Onderstoptrein
Herhalingsmeting	28 september 2024		
Langeduurmeting	4 augustus 2023	28 september 2024	



Figuur 52 Meetopstelling

De meting is zoveel mogelijk uitgevoerd conform de standaard opstelling uit het Uniform Meetprotocol IBS. Van de standaard T-opstelling is op een aantal punten afgeweken i.v.m. de ligging bij een overweg en de aanwezigheid van wegen, zie Tabel 38. Meetpunten zijn op verharding geplaatst voor reproduceerbaarheid bij de nameting.

Tabel 38 Meetpunten en vergelijking met afstanden uit Meetprotocol IBS

Meetpunten uit standaard IBS	Afstand spoor AH	Afstand spoor DH
	1 punt op 5 meter	
3 punten op 8 meter	1 punt op 8 meter	1 punt op 9 meter
	1 punt op 12 meter	1 punt op 12 meter
1 punt op 16 meter	1 punt op 16 meter	1 punt op 16 meter
		1 punt op 20 meter
1 punt op 24 meter	1 punt op 24 meter	
		1 punt op 28 meter
1 punt op 32 meter	1 punt op 32 meter	
		1 punt op 36 meter
1 punt op 40 meter		
1 punt op 64 meter		
1 vast punt op ≥ 20 meter	1 punt op 22 meter	1 punt op 26 meter

Voor de continue meting is gemeten aan de fundering van een nabijgelegen huis.

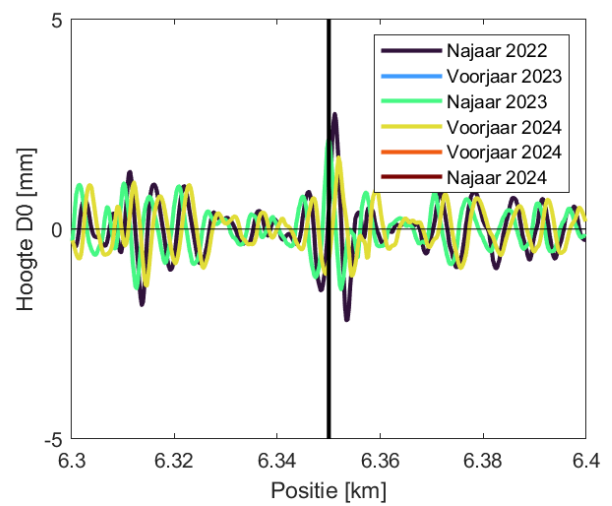
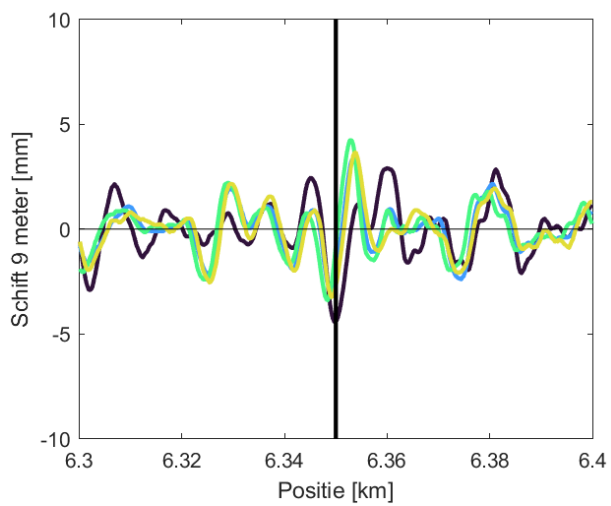
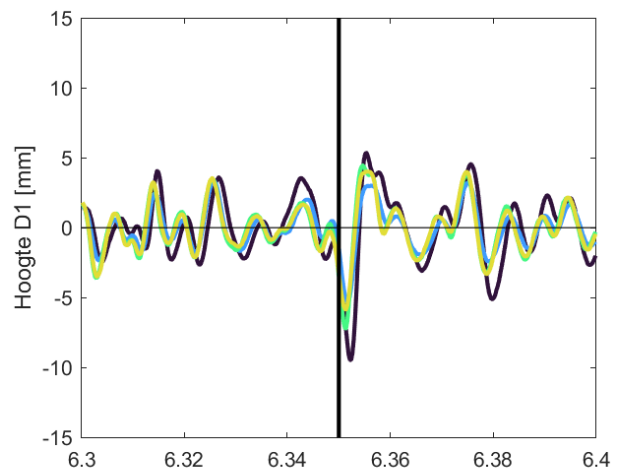
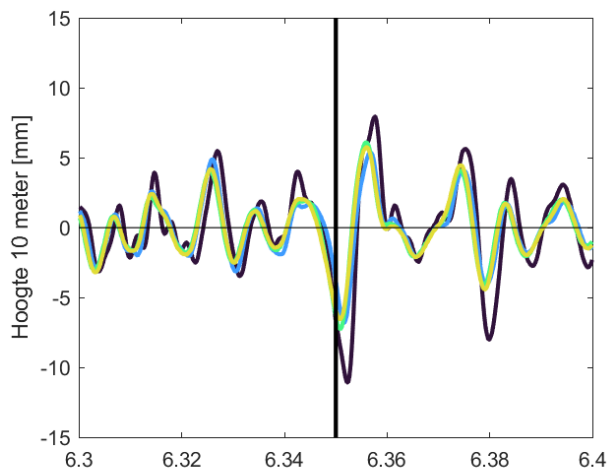
Hieronder is per treintype het gemiddelde effect van het onderhoud weergegeven. Een positief effect is een afname van de trillingen.



De resultaten per octaafbandfrequentie zijn hieronder weergegeven voor spoor AH.

Treintype		Effect																																																																																																																
	<table><tr><th colspan="7">Horizontaal effect [dB]</th></tr><tr><th>Frequentie [Hz]</th><th>1</th><th>3</th><th>7</th><th>14</th><th>21</th><th>28</th></tr><tr><td>125</td><td>-3</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-2</td><td>-3</td><td>-3</td></tr><tr><td>64</td><td>-4</td><td>-1</td><td>-2</td><td>-2</td><td>-2</td><td>-2</td></tr><tr><td>32</td><td>-2</td><td>0</td><td>-1</td><td>-2</td><td>-1</td><td>0</td></tr><tr><td>16</td><td>-2</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td></tr><tr><td>8</td><td>-2</td><td>-1</td><td>-2</td><td>-2</td><td>-2</td><td>-2</td></tr><tr><td>4</td><td>-3</td><td>0</td><td>-2</td><td>-1</td><td>-3</td><td>-2</td></tr></table>	Horizontaal effect [dB]							Frequentie [Hz]	1	3	7	14	21	28	125	-3	-1	-1	-2	-3	-3	64	-4	-1	-2	-2	-2	-2	32	-2	0	-1	-2	-1	0	16	-2	-1	-1	-1	-1	-1	8	-2	-1	-2	-2	-2	-2	4	-3	0	-2	-1	-3	-2	<table><tr><th colspan="7">Verticaal effect [dB]</th></tr><tr><th>Frequentie [Hz]</th><th>1</th><th>3</th><th>7</th><th>14</th><th>21</th><th>28</th></tr><tr><td>125</td><td>-3</td><td>0</td><td>-1</td><td>-2</td><td>-6</td><td>-6</td></tr><tr><td>64</td><td>-3</td><td>-1</td><td>-3</td><td>-1</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>32</td><td>-4</td><td>-2</td><td>-2</td><td>-2</td><td>-2</td><td>-2</td></tr><tr><td>16</td><td>-3</td><td>-1</td><td>-2</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td></tr><tr><td>8</td><td>-3</td><td>-1</td><td>-2</td><td>-2</td><td>-2</td><td>-2</td></tr><tr><td>4</td><td>-2</td><td>0</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-2</td><td>-1</td></tr></table>	Verticaal effect [dB]							Frequentie [Hz]	1	3	7	14	21	28	125	-3	0	-1	-2	-6	-6	64	-3	-1	-3	-1	1	1	32	-4	-2	-2	-2	-2	-2	16	-3	-1	-2	-1	-1	-1	8	-3	-1	-2	-2	-2	-2	4	-2	0	-1	-1	-2	-1
Horizontaal effect [dB]																																																																																																																		
Frequentie [Hz]	1	3	7	14	21	28																																																																																																												
125	-3	-1	-1	-2	-3	-3																																																																																																												
64	-4	-1	-2	-2	-2	-2																																																																																																												
32	-2	0	-1	-2	-1	0																																																																																																												
16	-2	-1	-1	-1	-1	-1																																																																																																												
8	-2	-1	-2	-2	-2	-2																																																																																																												
4	-3	0	-2	-1	-3	-2																																																																																																												
Verticaal effect [dB]																																																																																																																		
Frequentie [Hz]	1	3	7	14	21	28																																																																																																												
125	-3	0	-1	-2	-6	-6																																																																																																												
64	-3	-1	-3	-1	1	1																																																																																																												
32	-4	-2	-2	-2	-2	-2																																																																																																												
16	-3	-1	-2	-1	-1	-1																																																																																																												
8	-3	-1	-2	-2	-2	-2																																																																																																												
4	-2	0	-1	-1	-2	-1																																																																																																												
	<table><tr><th colspan="7">Horizontaal effect [dB]</th></tr><tr><th>Frequentie [Hz]</th><th>1</th><th>3</th><th>7</th><th>14</th><th>21</th><th>28</th></tr><tr><td>125</td><td>-1</td><td>-1</td><td>0</td><td>-2</td><td>-2</td><td>-1</td></tr><tr><td>64</td><td>-1</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>32</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>2</td></tr><tr><td>16</td><td>-1</td><td>-1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>8</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>4</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>-1</td><td>0</td></tr></table>	Horizontaal effect [dB]							Frequentie [Hz]	1	3	7	14	21	28	125	-1	-1	0	-2	-2	-1	64	-1	0	1	1	1	1	32	0	0	1	1	1	2	16	-1	-1	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	-1	0	<table><tr><th colspan="7">Verticaal effect [dB]</th></tr><tr><th>Frequentie [Hz]</th><th>1</th><th>3</th><th>7</th><th>14</th><th>21</th><th>28</th></tr><tr><td>125</td><td>-1</td><td>-1</td><td>0</td><td>-2</td><td>-5</td><td>-5</td></tr><tr><td>64</td><td>0</td><td>-1</td><td>0</td><td>1</td><td>3</td><td>2</td></tr><tr><td>32</td><td>-2</td><td>-2</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td></tr><tr><td>16</td><td>-2</td><td>-2</td><td>-1</td><td>0</td><td>-1</td><td>0</td></tr><tr><td>8</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>4</td><td>0</td><td>-1</td><td>0</td><td>0</td><td>-2</td><td>-1</td></tr></table>	Verticaal effect [dB]							Frequentie [Hz]	1	3	7	14	21	28	125	-1	-1	0	-2	-5	-5	64	0	-1	0	1	3	2	32	-2	-2	-1	-1	-1	-1	16	-2	-2	-1	0	-1	0	8	0	0	0	0	0	0	4	0	-1	0	0	-2	-1
Horizontaal effect [dB]																																																																																																																		
Frequentie [Hz]	1	3	7	14	21	28																																																																																																												
125	-1	-1	0	-2	-2	-1																																																																																																												
64	-1	0	1	1	1	1																																																																																																												
32	0	0	1	1	1	2																																																																																																												
16	-1	-1	0	0	0	0																																																																																																												
8	0	0	0	0	0	0																																																																																																												
4	0	0	0	0	-1	0																																																																																																												
Verticaal effect [dB]																																																																																																																		
Frequentie [Hz]	1	3	7	14	21	28																																																																																																												
125	-1	-1	0	-2	-5	-5																																																																																																												
64	0	-1	0	1	3	2																																																																																																												
32	-2	-2	-1	-1	-1	-1																																																																																																												
16	-2	-2	-1	0	-1	0																																																																																																												
8	0	0	0	0	0	0																																																																																																												
4	0	-1	0	0	-2	-1																																																																																																												
	<table><tr><th colspan="7">Horizontaal effect [dB]</th></tr><tr><th>Frequentie [Hz]</th><th>1</th><th>3</th><th>7</th><th>14</th><th>21</th><th>28</th></tr><tr><td>125</td><td>-4</td><td>-1</td><td>-2</td><td>-2</td><td>-3</td><td>-4</td></tr><tr><td>64</td><td>-1</td><td>0</td><td>-2</td><td>-2</td><td>-1</td><td>-1</td></tr><tr><td>32</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>-1</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>16</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>-1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>8</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td></tr><tr><td>4</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>-2</td><td>-1</td><td>-1</td></tr></table>	Horizontaal effect [dB]							Frequentie [Hz]	1	3	7	14	21	28	125	-4	-1	-2	-2	-3	-4	64	-1	0	-2	-2	-1	-1	32	0	1	0	-1	1	1	16	1	1	0	-1	0	0	8	0	1	0	-1	-1	-1	4	0	0	0	-2	-1	-1	<table><tr><th colspan="7">Verticaal effect [dB]</th></tr><tr><th>Frequentie [Hz]</th><th>1</th><th>3</th><th>7</th><th>14</th><th>21</th><th>28</th></tr><tr><td>125</td><td>-4</td><td>-1</td><td>-2</td><td>-3</td><td>-6</td><td>-8</td></tr><tr><td>64</td><td>-1</td><td>0</td><td>-1</td><td>-2</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>32</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>16</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>8</td><td>0</td><td>1</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td></tr><tr><td>4</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td></tr></table>	Verticaal effect [dB]							Frequentie [Hz]	1	3	7	14	21	28	125	-4	-1	-2	-3	-6	-8	64	-1	0	-1	-2	0	1	32	0	1	0	0	1	1	16	1	1	0	0	0	0	8	0	1	-1	-1	-1	-1	4	1	1	0	-1	-1	-1
Horizontaal effect [dB]																																																																																																																		
Frequentie [Hz]	1	3	7	14	21	28																																																																																																												
125	-4	-1	-2	-2	-3	-4																																																																																																												
64	-1	0	-2	-2	-1	-1																																																																																																												
32	0	1	0	-1	1	1																																																																																																												
16	1	1	0	-1	0	0																																																																																																												
8	0	1	0	-1	-1	-1																																																																																																												
4	0	0	0	-2	-1	-1																																																																																																												
Verticaal effect [dB]																																																																																																																		
Frequentie [Hz]	1	3	7	14	21	28																																																																																																												
125	-4	-1	-2	-3	-6	-8																																																																																																												
64	-1	0	-1	-2	0	1																																																																																																												
32	0	1	0	0	1	1																																																																																																												
16	1	1	0	0	0	0																																																																																																												
8	0	1	-1	-1	-1	-1																																																																																																												
4	1	1	0	-1	-1	-1																																																																																																												

De spoorligging voor en na onderhoud is hieronder weergegeven.

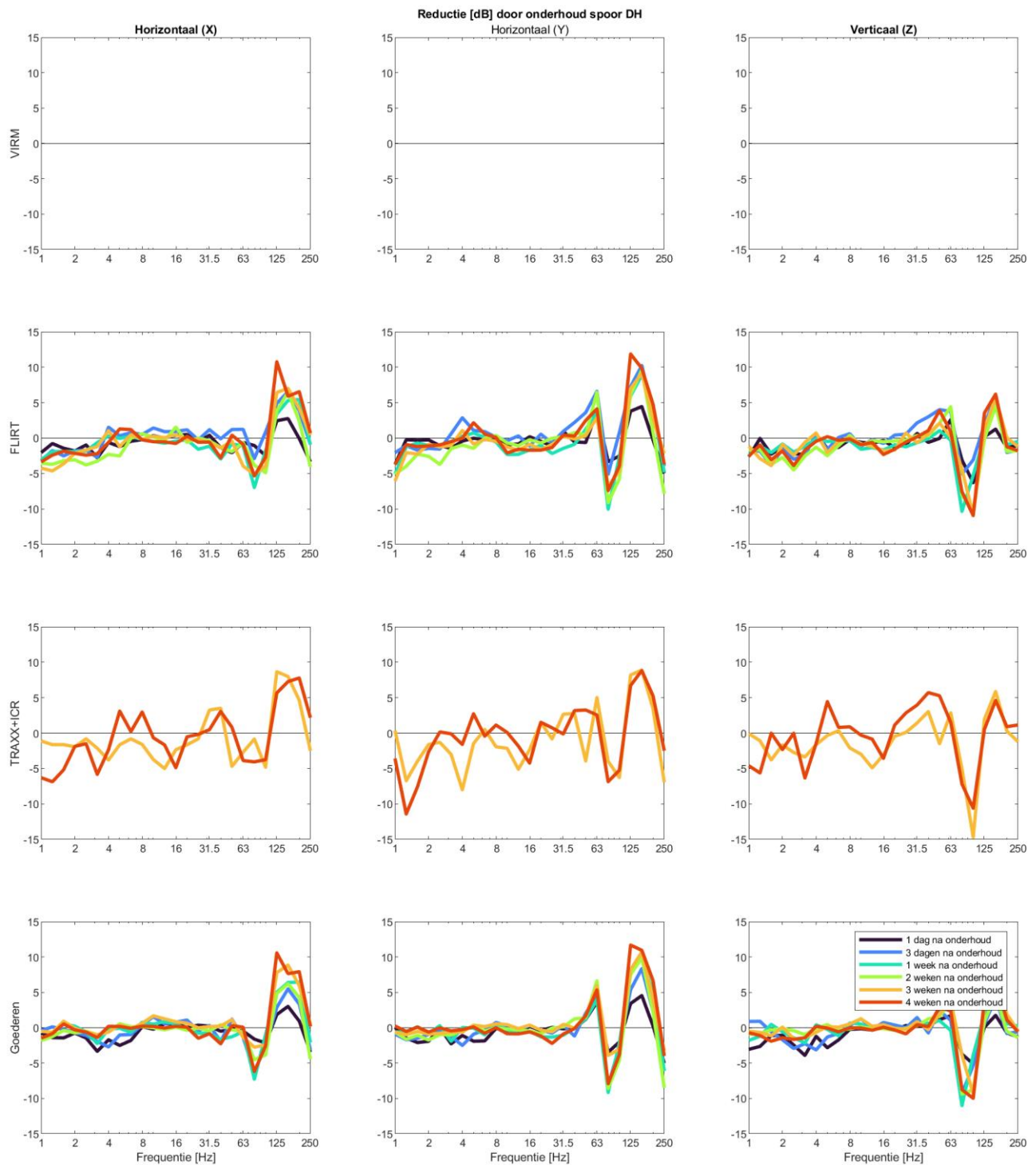


- Najaar 2022
- Voorjaar 2023
- Najaar 2023
- Voorjaar 2024
- Voorjaar 2024
- Najaar 2024

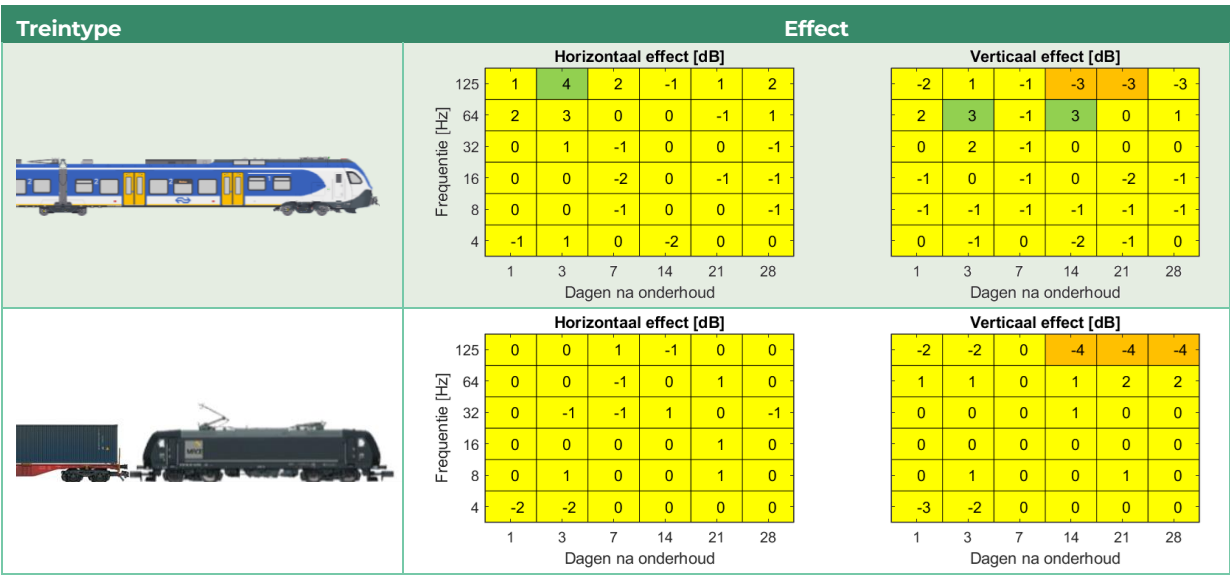
Figuur 53 Hoogteafwijking 10 meter koorde (linksboven), Hoogteafwijking D1 (rechtsboven), schiftafwijking 9 meter koorde (linksonder) en korte golf D0 afwijking (rechtsonder), spoor AH



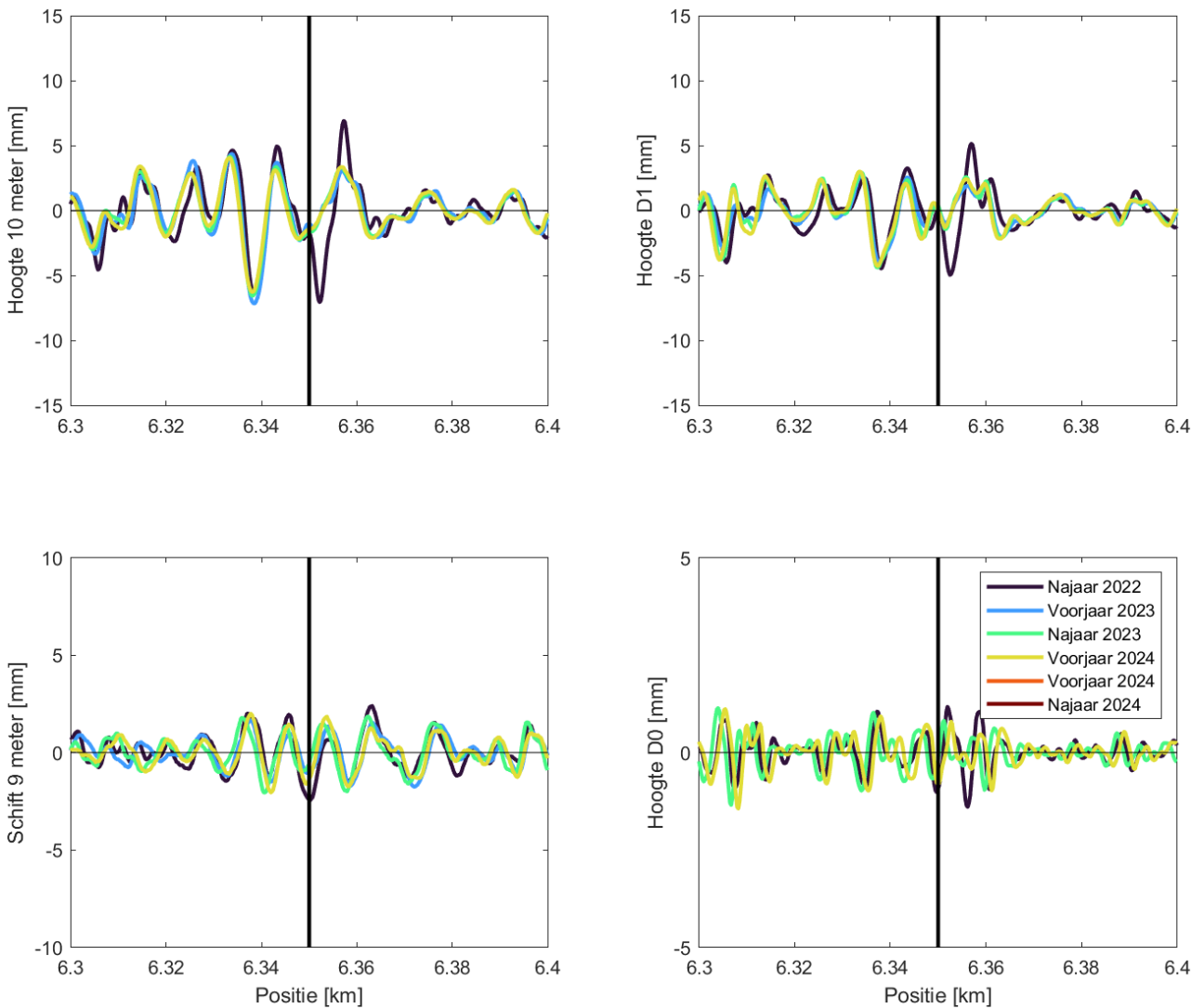
Hieronder is per treintype het effect van het onderhoud weergegeven, inclusief onzekerheidsmarge. Een positief effect is een afname van de trillingen.



De resultaten per octaafbandfrequentie zijn hieronder weergegeven voor spoor DH



De spoorligging voor en na onderhoud is hieronder weergegeven.



Figuur 54 Hoogteafwijking 10 meter koorde (linksboven), Hoogteafwijking D1 (rechtsboven), schiftafwijking 9 meter koorde (linksonder) en korte golf D0 afwijking (rechtsonder), spoor DH

II.3 TILBURG REESHOF – GEOCODE 123 – KM 16.3

De meetopstelling op deze locatie is weergegeven in Figuur 55. De onderhouds- en meetmomenten zijn weergegeven in Tabel 39.

Tabel 39 Onderhouds- en meetmomenten

Wat?	Van	Tot	Toelichting
Nulmeting	2 augustus 2023		
Onderhoud spoor AH	16 augustus 2023	16 augustus 2023	Onderstoptrein
Onderhoud spoor DH	16 augustus 2023	16 augustus 2023	Onderstoptrein
Herhalingsmeting	20 september 2023		
Langeduurmeting	2 augustus 2023	21 september 2023	

Tilburg Koewachtpad

Geocode 123 km 16.32



Figuur 55 Meetopstelling

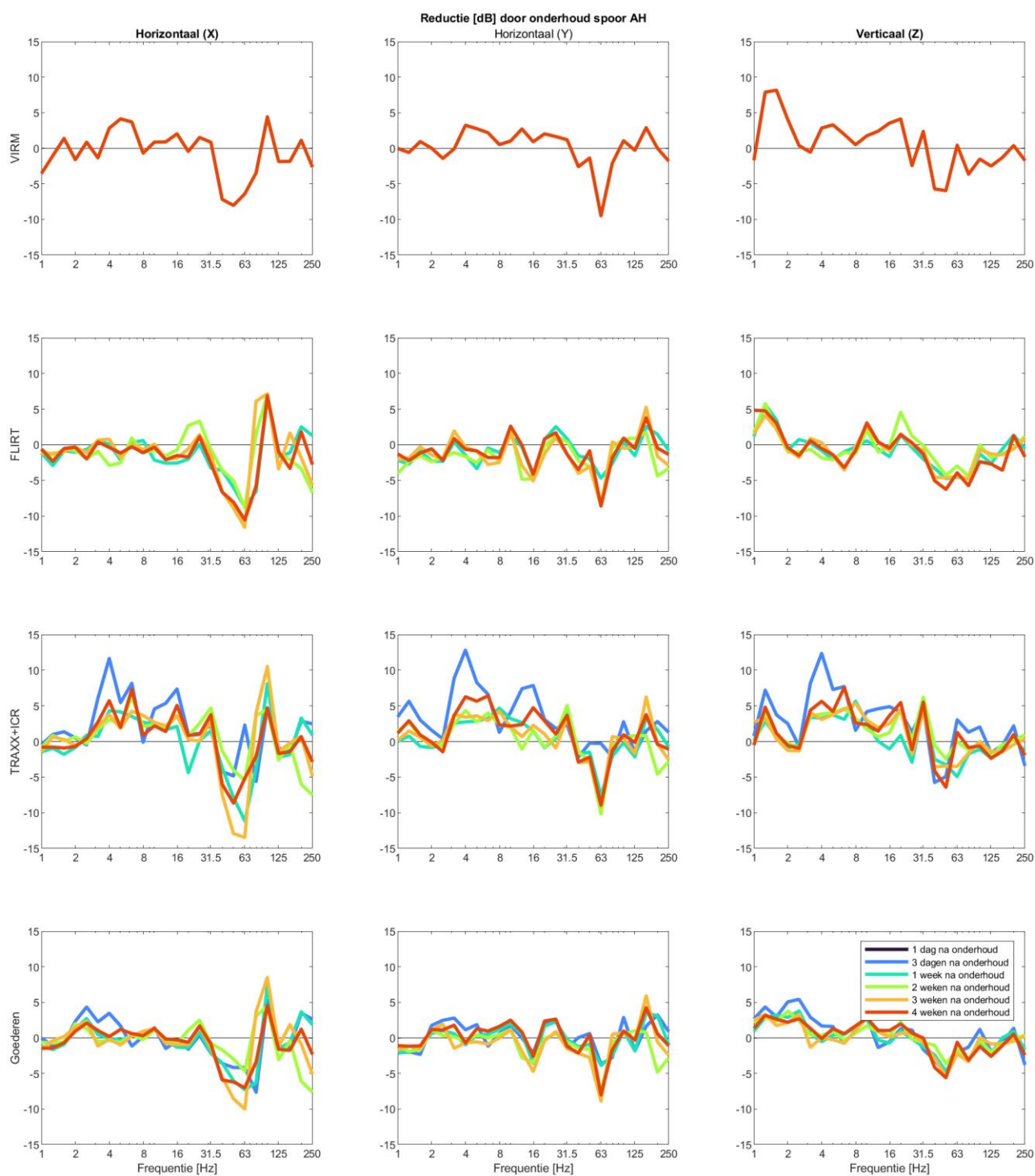
De meting is zoveel mogelijk uitgevoerd conform de standaard opstelling uit het Uniform Meetprotocol IBS. Van de standaard T-opstelling is op een aantal punten afgeweken i.v.m. de ligging bij een onderdoorgang en de afstand tot bebouwing, zie Tabel 36. Meetpunten zijn waar mogelijk op verharding geplaatst voor reproduceerbaarheid bij de nameting.

Tabel 40 Meetpunten en vergelijking met afstanden uit Meetprotocol IBS

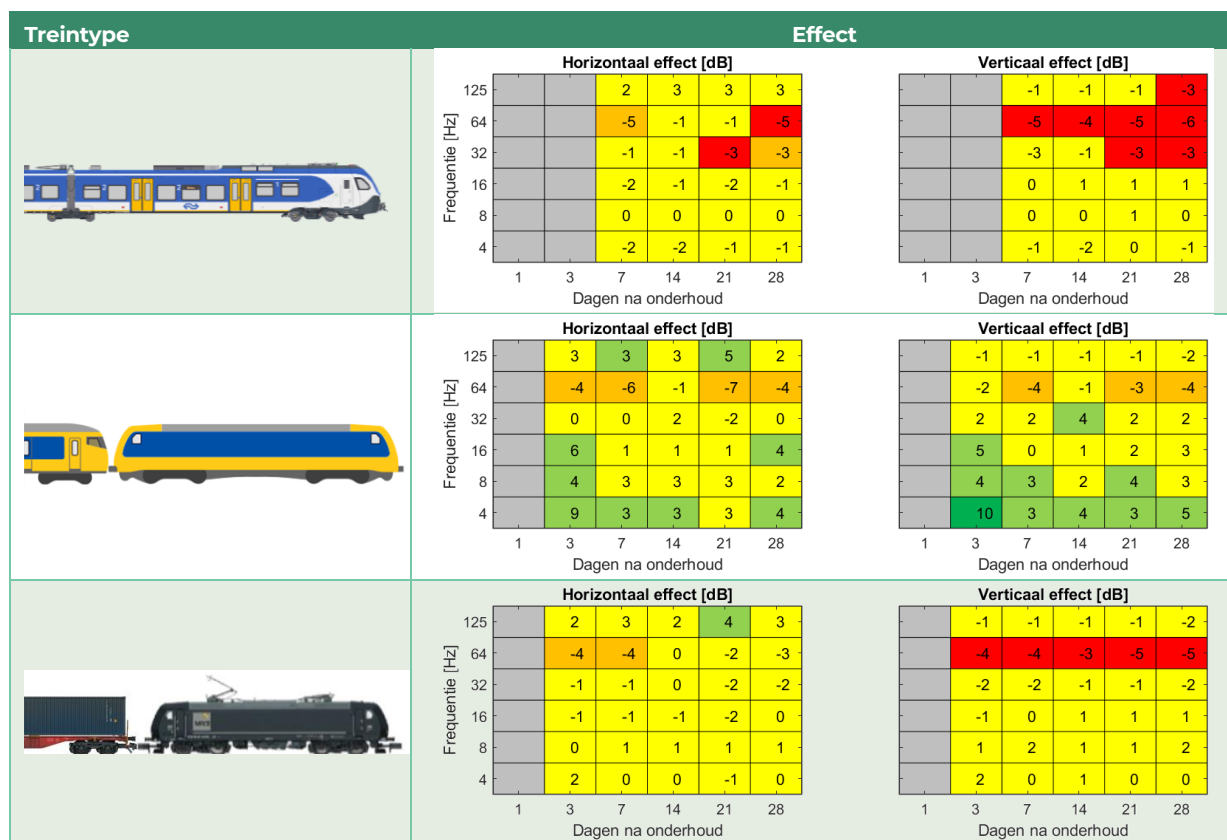
Meetpunten uit standaard IBS	Afstand spoor AH	Afstand spoor DH
	1 punt op 4 meter	
3 punten op 8 meter	1 punt op 8 meter	1 punt op 8 meter
	1 punt op 12 meter	1 punt op 12 meter
1 punt op 16 meter	1 punt op 16 meter	1 punt op 16 meter
	1 punt op 20 meter	1 punt op 20 meter
1 punt op 24 meter	1 punt op 24 meter	1 punt op 24 meter
		1 punt op 28 meter
1 punt op 32 meter	1 punt op 32 meter	
		1 punt op 36 meter
1 punt op 40 meter		
1 punt op 64 meter		
1 vast punt op ≥ 20 meter	1 punt op 33 meter	1 punt op 37 meter

Voor de continue meting is gemeten aan de verdieping van een nabijgelegen huis, op de fundering was niet mogelijk om gedurende langere tijd te meten.

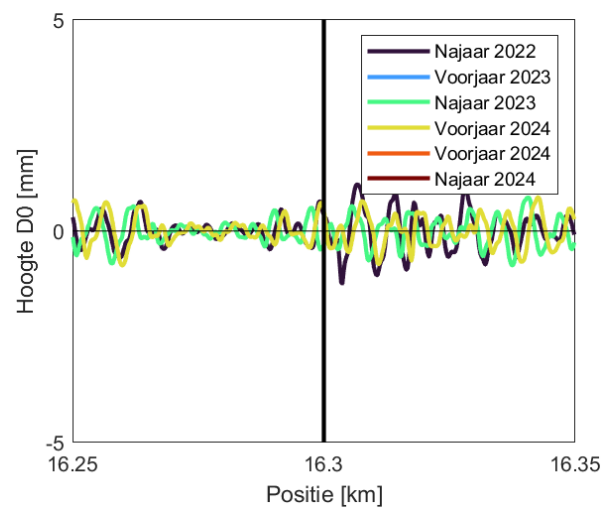
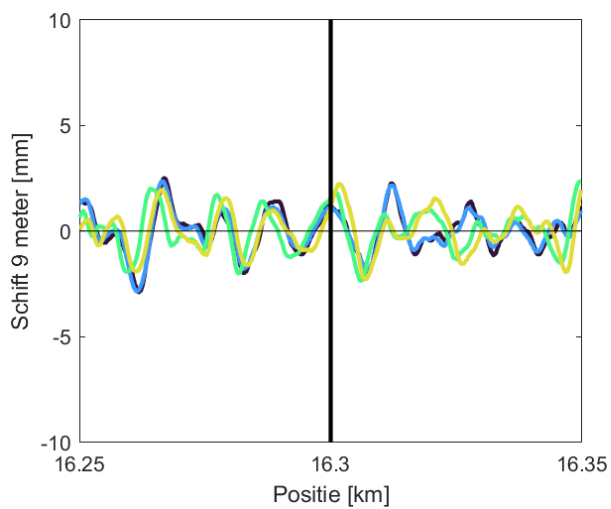
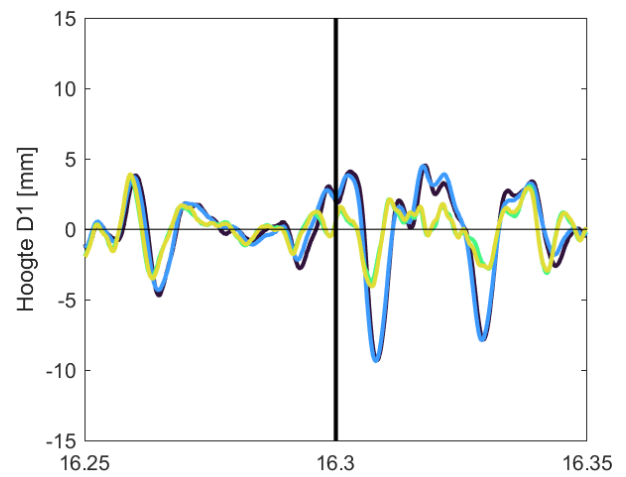
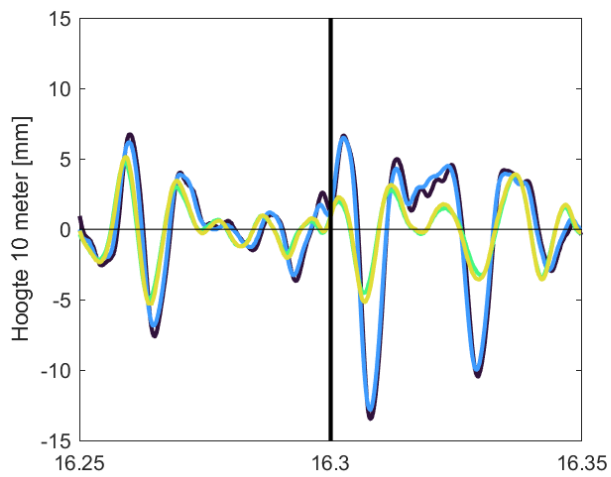
Hieronder is per treintype het gemiddelde effect van het onderhoud weergegeven. Een positief effect is een afname van de trillingen.



De resultaten per octaafbandfrequentie zijn hieronder weergegeven voor spoor AH.



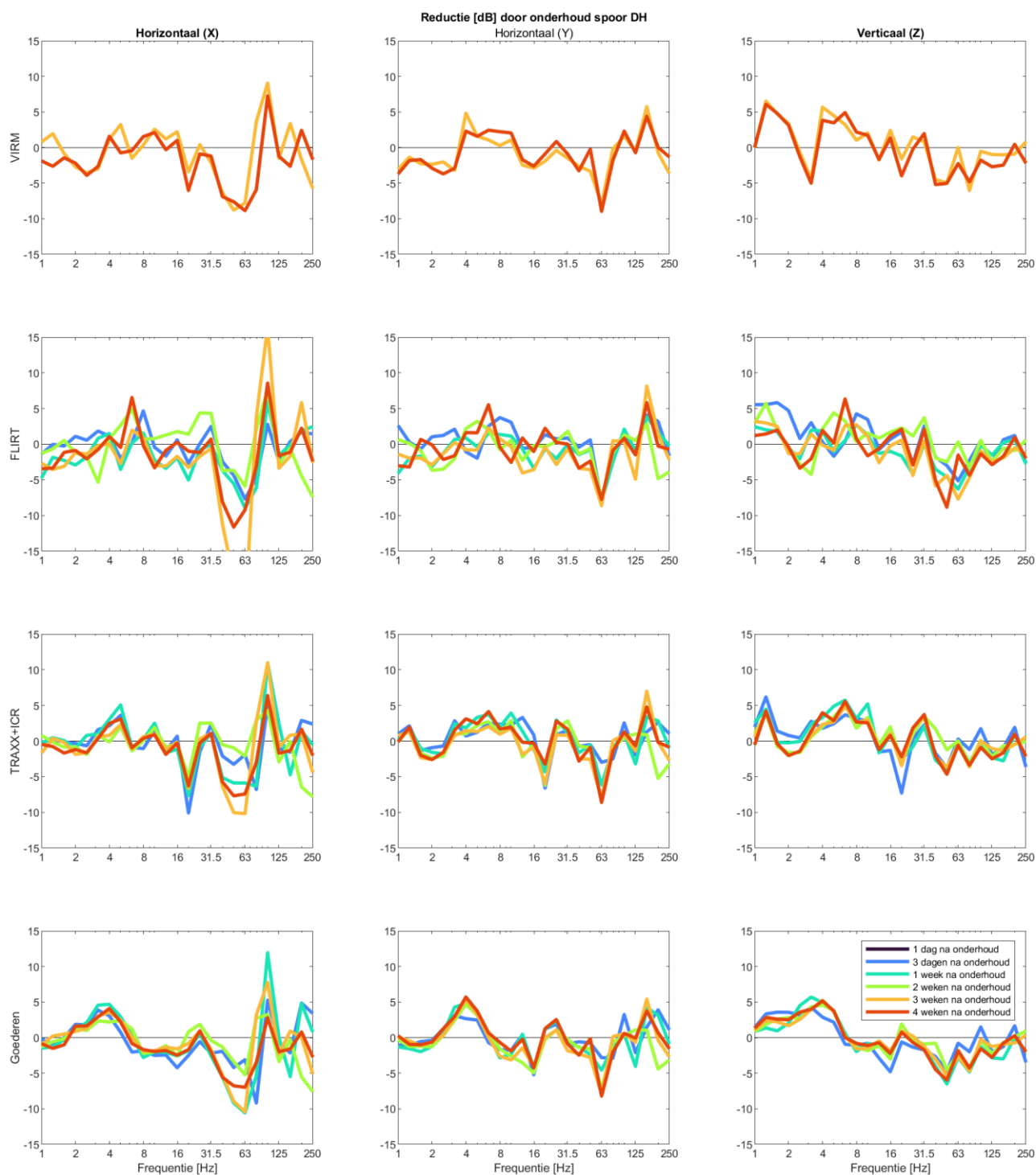
De spoorligging voor en na onderhoud is hieronder weergegeven.



Figuur 56 Hoogteafwijking 10 meter koorde (linksboven), Hoogteafwijking D1 (rechtsboven), schiftafwijking 9 meter koorde (linksonder) en korte golf D0 afwijking (rechtsonder), spoor AH



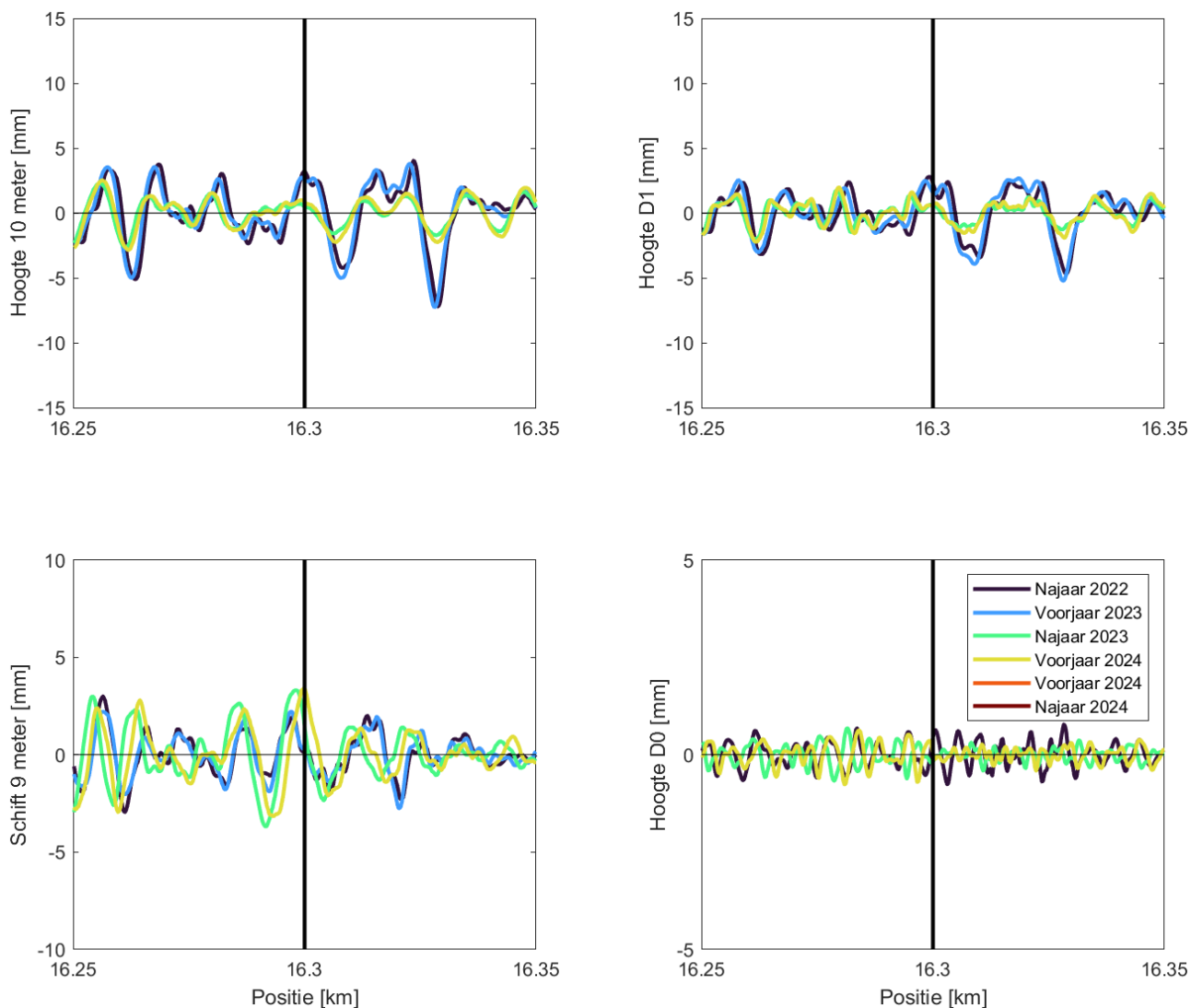
Hieronder is per treintype het gemiddelde effect van het onderhoud weergegeven.



De resultaten per octaafbandfrequentie zijn hieronder weergegeven voor spoor DH.

Treintype		Effect																																																																																																														
	<table><tr><th colspan="6">Horizontaal effect [dB]</th></tr><tr><th>Frequentie [Hz]</th><th>1</th><th>3</th><th>7</th><th>14</th><th>21</th><th>28</th></tr><tr><td>125</td><td></td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>3</td><td>4</td></tr><tr><td>64</td><td></td><td>-5</td><td>-5</td><td>0</td><td>-10</td><td>-4</td></tr><tr><td>32</td><td></td><td>-1</td><td>-1</td><td>0</td><td>-5</td><td>-3</td></tr><tr><td>16</td><td></td><td>-1</td><td>-3</td><td>0</td><td>-3</td><td>0</td></tr><tr><td>8</td><td></td><td>0</td><td>0</td><td>2</td><td>-1</td><td>-1</td></tr><tr><td>4</td><td></td><td>-1</td><td>-1</td><td>2</td><td>-1</td><td>1</td></tr></table>	Horizontaal effect [dB]						Frequentie [Hz]	1	3	7	14	21	28	125		2	3	4	3	4	64		-5	-5	0	-10	-4	32		-1	-1	0	-5	-3	16		-1	-3	0	-3	0	8		0	0	2	-1	-1	4		-1	-1	2	-1	1	<table><tr><th colspan="6">Verticaal effect [dB]</th></tr><tr><th>Frequentie [Hz]</th><th>1</th><th>3</th><th>7</th><th>14</th><th>21</th><th>28</th></tr><tr><td>125</td><td></td><td>-1</td><td>0</td><td>-1</td><td>-2</td><td>-2</td></tr><tr><td>64</td><td></td><td>-5</td><td>-5</td><td>-2</td><td>-7</td><td>-7</td></tr><tr><td>32</td><td></td><td>-1</td><td>-2</td><td>1</td><td>-3</td><td>-1</td></tr><tr><td>16</td><td></td><td>0</td><td>-1</td><td>1</td><td>-2</td><td>0</td></tr><tr><td>8</td><td></td><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>2</td><td>0</td></tr><tr><td>4</td><td></td><td>-1</td><td>0</td><td>2</td><td>0</td><td>1</td></tr></table>	Verticaal effect [dB]						Frequentie [Hz]	1	3	7	14	21	28	125		-1	0	-1	-2	-2	64		-5	-5	-2	-7	-7	32		-1	-2	1	-3	-1	16		0	-1	1	-2	0	8		3	2	1	2	0	4		-1	0	2	0	1
Horizontaal effect [dB]																																																																																																																
Frequentie [Hz]	1	3	7	14	21	28																																																																																																										
125		2	3	4	3	4																																																																																																										
64		-5	-5	0	-10	-4																																																																																																										
32		-1	-1	0	-5	-3																																																																																																										
16		-1	-3	0	-3	0																																																																																																										
8		0	0	2	-1	-1																																																																																																										
4		-1	-1	2	-1	1																																																																																																										
Verticaal effect [dB]																																																																																																																
Frequentie [Hz]	1	3	7	14	21	28																																																																																																										
125		-1	0	-1	-2	-2																																																																																																										
64		-5	-5	-2	-7	-7																																																																																																										
32		-1	-2	1	-3	-1																																																																																																										
16		0	-1	1	-2	0																																																																																																										
8		3	2	1	2	0																																																																																																										
4		-1	0	2	0	1																																																																																																										
	<table><tr><th colspan="6">Horizontaal effect [dB]</th></tr><tr><th>Frequentie [Hz]</th><th>1</th><th>3</th><th>7</th><th>14</th><th>21</th><th>28</th></tr><tr><td>125</td><td></td><td>2</td><td>3</td><td>3</td><td>5</td><td>3</td></tr><tr><td>64</td><td></td><td>-4</td><td>-6</td><td>1</td><td>-5</td><td>-5</td></tr><tr><td>32</td><td></td><td>0</td><td>-1</td><td>1</td><td>-2</td><td>-2</td></tr><tr><td>16</td><td></td><td>-2</td><td>-2</td><td>-2</td><td>-2</td><td>-1</td></tr><tr><td>8</td><td></td><td>1</td><td>2</td><td>2</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>4</td><td></td><td>2</td><td>3</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr></table>	Horizontaal effect [dB]						Frequentie [Hz]	1	3	7	14	21	28	125		2	3	3	5	3	64		-4	-6	1	-5	-5	32		0	-1	1	-2	-2	16		-2	-2	-2	-2	-1	8		1	2	2	1	1	4		2	3	1	2	3	<table><tr><th colspan="6">Verticaal effect [dB]</th></tr><tr><th>Frequentie [Hz]</th><th>1</th><th>3</th><th>7</th><th>14</th><th>21</th><th>28</th></tr><tr><td>125</td><td></td><td>-1</td><td>-2</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-2</td></tr><tr><td>64</td><td></td><td>-2</td><td>-2</td><td>-1</td><td>-2</td><td>-3</td></tr><tr><td>32</td><td></td><td>1</td><td>1</td><td>3</td><td>2</td><td>2</td></tr><tr><td>16</td><td></td><td>-3</td><td>-1</td><td>0</td><td>-1</td><td>-1</td></tr><tr><td>8</td><td></td><td>3</td><td>5</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td></tr><tr><td>4</td><td></td><td>2</td><td>3</td><td>2</td><td>2</td><td>3</td></tr></table>	Verticaal effect [dB]						Frequentie [Hz]	1	3	7	14	21	28	125		-1	-2	-1	-1	-2	64		-2	-2	-1	-2	-3	32		1	1	3	2	2	16		-3	-1	0	-1	-1	8		3	5	3	3	3	4		2	3	2	2	3
Horizontaal effect [dB]																																																																																																																
Frequentie [Hz]	1	3	7	14	21	28																																																																																																										
125		2	3	3	5	3																																																																																																										
64		-4	-6	1	-5	-5																																																																																																										
32		0	-1	1	-2	-2																																																																																																										
16		-2	-2	-2	-2	-1																																																																																																										
8		1	2	2	1	1																																																																																																										
4		2	3	1	2	3																																																																																																										
Verticaal effect [dB]																																																																																																																
Frequentie [Hz]	1	3	7	14	21	28																																																																																																										
125		-1	-2	-1	-1	-2																																																																																																										
64		-2	-2	-1	-2	-3																																																																																																										
32		1	1	3	2	2																																																																																																										
16		-3	-1	0	-1	-1																																																																																																										
8		3	5	3	3	3																																																																																																										
4		2	3	2	2	3																																																																																																										
	<table><tr><th colspan="6">Horizontaal effect [dB]</th></tr><tr><th>Frequentie [Hz]</th><th>1</th><th>3</th><th>7</th><th>14</th><th>21</th><th>28</th></tr><tr><td>125</td><td></td><td>3</td><td>2</td><td>2</td><td>4</td><td>1</td></tr><tr><td>64</td><td></td><td>-8</td><td>-6</td><td>1</td><td>-2</td><td>-4</td></tr><tr><td>32</td><td></td><td>-1</td><td>-2</td><td>0</td><td>-3</td><td>-2</td></tr><tr><td>16</td><td></td><td>-2</td><td>-2</td><td>-2</td><td>-2</td><td>-2</td></tr><tr><td>8</td><td></td><td>-2</td><td>-2</td><td>-1</td><td>-2</td><td>-1</td></tr><tr><td>4</td><td></td><td>2</td><td>4</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td></tr></table>	Horizontaal effect [dB]						Frequentie [Hz]	1	3	7	14	21	28	125		3	2	2	4	1	64		-8	-6	1	-2	-4	32		-1	-2	0	-3	-2	16		-2	-2	-2	-2	-2	8		-2	-2	-1	-2	-1	4		2	4	3	3	3	<table><tr><th colspan="6">Verticaal effect [dB]</th></tr><tr><th>Frequentie [Hz]</th><th>1</th><th>3</th><th>7</th><th>14</th><th>21</th><th>28</th></tr><tr><td>125</td><td></td><td>-1</td><td>-3</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-2</td></tr><tr><td>64</td><td></td><td>-4</td><td>-6</td><td>-4</td><td>-5</td><td>-5</td></tr><tr><td>32</td><td></td><td>-2</td><td>-2</td><td>-1</td><td>-2</td><td>-3</td></tr><tr><td>16</td><td></td><td>-3</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td></tr><tr><td>8</td><td></td><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td></tr><tr><td>4</td><td></td><td>3</td><td>4</td><td>4</td><td>4</td><td>4</td></tr></table>	Verticaal effect [dB]						Frequentie [Hz]	1	3	7	14	21	28	125		-1	-3	-1	-1	-2	64		-4	-6	-4	-5	-5	32		-2	-2	-1	-2	-3	16		-3	-1	-1	-1	-1	8		-1	-1	-1	-1	-1	4		3	4	4	4	4
Horizontaal effect [dB]																																																																																																																
Frequentie [Hz]	1	3	7	14	21	28																																																																																																										
125		3	2	2	4	1																																																																																																										
64		-8	-6	1	-2	-4																																																																																																										
32		-1	-2	0	-3	-2																																																																																																										
16		-2	-2	-2	-2	-2																																																																																																										
8		-2	-2	-1	-2	-1																																																																																																										
4		2	4	3	3	3																																																																																																										
Verticaal effect [dB]																																																																																																																
Frequentie [Hz]	1	3	7	14	21	28																																																																																																										
125		-1	-3	-1	-1	-2																																																																																																										
64		-4	-6	-4	-5	-5																																																																																																										
32		-2	-2	-1	-2	-3																																																																																																										
16		-3	-1	-1	-1	-1																																																																																																										
8		-1	-1	-1	-1	-1																																																																																																										
4		3	4	4	4	4																																																																																																										

De spoorligging voor en na onderhoud is hieronder weergegeven.



Figuur 57 Hoogteafwijking 10 meter koorde (linksboven), Hoogteafwijking D1 (rechtsboven), schiftafwijking 9 meter koorde (linksonder) en korte golf D0 afwijking (rechtsonder), spoor DH

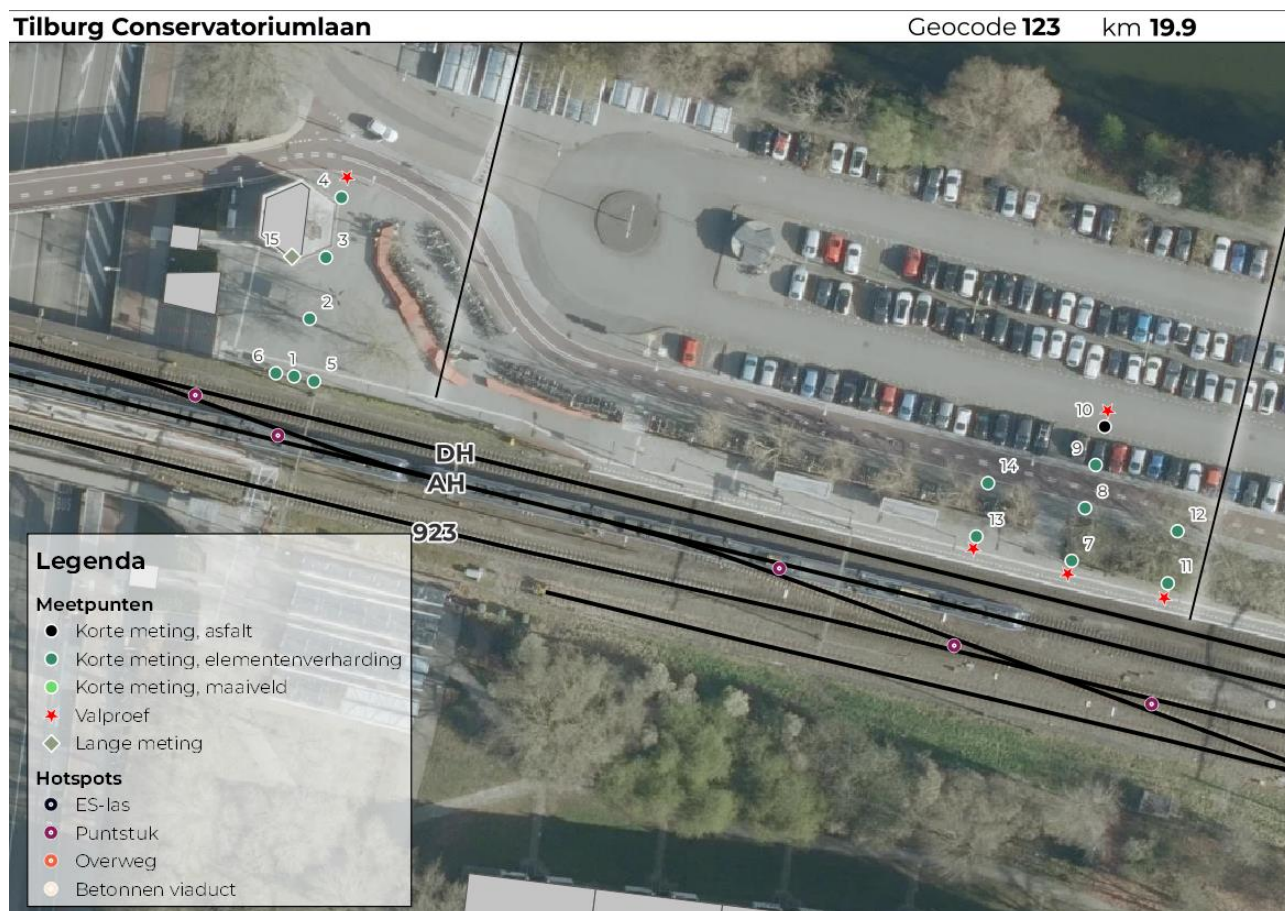


II.4 TILBURG UNIVERSITEIT – GEOCODE 123 – KM 19.9

De meetopstelling op deze locatie is weergegeven in Figuur 58. De onderhouds- en meetmomenten zijn weergegeven in Tabel 48.

Tabel 41 Onderhouds- en meetmomenten

Wat?	Van	Tot	Toelichting
Nulmeting	23 mei 2023	24 mei 2023	
Puntstuk spoor DH km. 19.860	3 juni 2023		Slijpen puntstukken
Puntstuk spoor AH km. 19.883	3 juni 2023		Slijpen puntstukken
Puntstuk spoor AH km. 19.947	3 juni 2023		Slijpen puntstukken
Puntstuk spoor 923 km. 19.970	3 juni 2023		Slijpen puntstukken
Puntstuk spoor 923 km. 19.995	3 juni 2023		Slijpen puntstukken
Herhalingsmeting	20 juni 2023		
Herhalingsmeting	5 juli 2023	6 juli 2023	
Langeduurmeting	23 mei 2023	5 juli 2023	



Figuur 58 Meetopstelling

De meting is zoveel mogelijk uitgevoerd conform de standaard opstelling uit het Uniform Meetprotocol IBS. Van de standaard T-opstelling is op een aantal punten afgeweken i.v.m. de aanwezigheid van een perron (loopruimte) obstakels, wegen en begroeiing, zie Tabel 42 en Tabel 43. Meetpunten zijn waar mogelijk op verharding geplaatst voor reproduceerbaarheid bij de nameting.

Tabel 42 Meetpunten en vergelijking met afstanden uit Meetprotocol IBS, meetopstelling bij km. 19.88

Meetpunten uit standaard IBS	Afstand spoor DH	Afstand spoor AH	Afstand spoor 923
	3 punten op 4 meter		
3 punten op 8 meter		3 punten op 8 meter	
	1 punt op 12 meter		3 punten op 14 meter
1 punt op 16 meter		1 punt op 16 meter	
	1 punt op 20 meter		1 punt op 22 meter
1 punt op 24 meter		1 punt op 24 meter	
	1 punt op 28 meter		1 punt op 30 meter
1 punt op 32 meter		1 punt op 32 meter	
			1 punt op 38 meter
1 punt op 40 meter			
1 punt op 64 meter			
1 vast punt op ≥ 20 meter	1 punt op 19 meter	1 punt op 23 meter	1 punt op 29 meter

Tabel 43 Meetpunten en vergelijking met afstanden uit Meetprotocol IBS, meetopstelling bij km. 19.98

Meetpunten uit standaard IBS	Afstand spoor DH	Afstand spoor AH	Afstand spoor 923
	3 punten op 5 meter		
3 punten op 8 meter			
	3 punten op 12 meter	3 punten op 9 meter	
			3 punten op 15 meter
1 punt op 16 meter		3 punten op 16 meter	
	1 punt op 18 meter	1 punt op 22 meter	3 punten op 21 meter
	1 punt op 23 meter		
1 punt op 24 meter			
		1 punt op 29 meter	1 punt op 27 meter
1 punt op 32 meter			1 punt op 32 meter
1 punt op 40 meter			
1 punt op 64 meter			
1 vast punt op ≥ 20 meter			

Voor de continue meting is gemeten aan de fundering van een gebouw op het station.

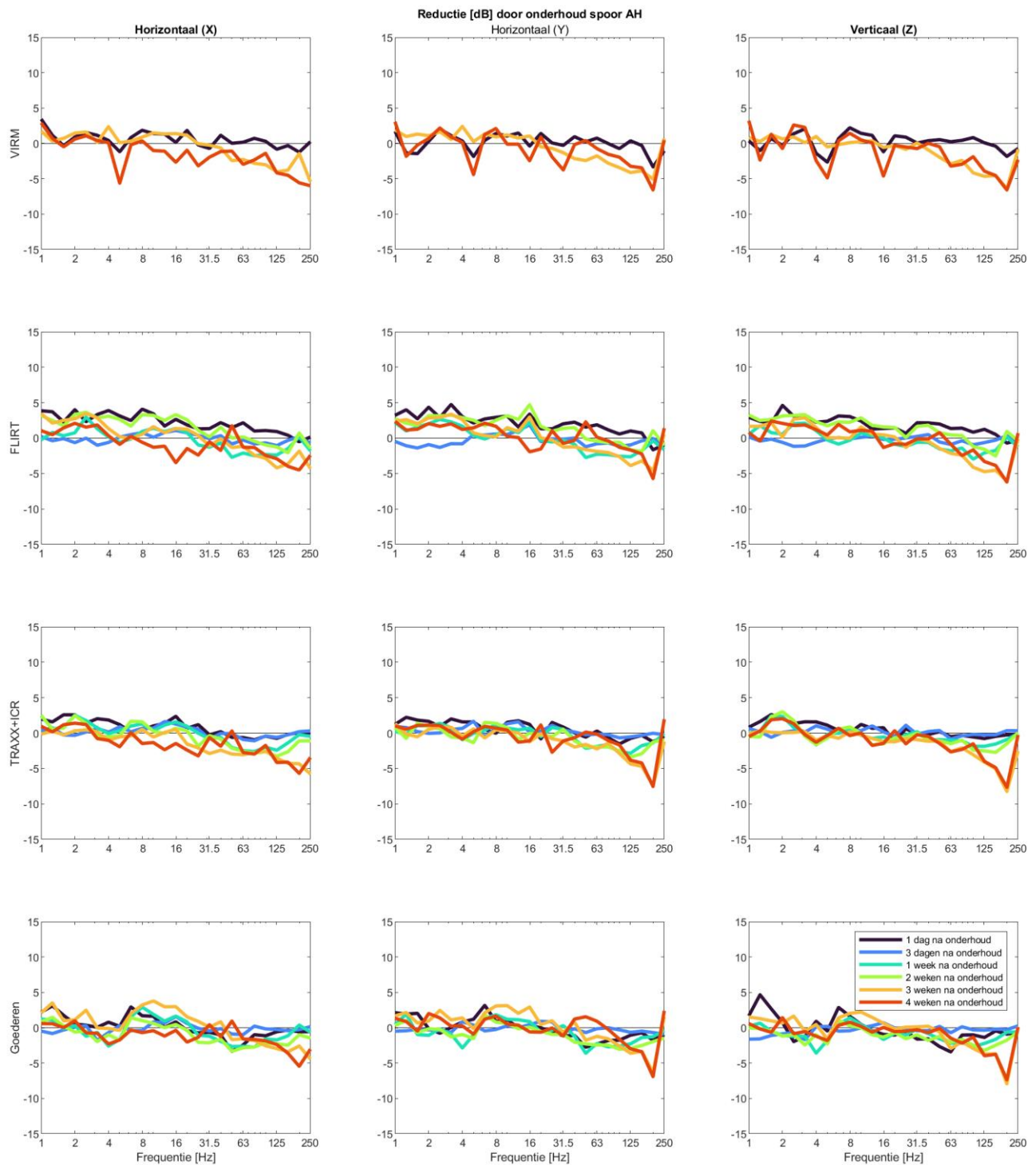
Hieronder is per treintype het gemiddelde effect van het onderhoud weergegeven. Een positief effect is een afname van de trillingen.



De resultaten per octaafbandfrequentie zijn hieronder weergegeven voor spoor DH.

Treintype		Effect																																																																																																																
	<table><tr><th colspan="7">Horizontaal effect [dB]</th></tr><tr><td>125</td><td>1</td><td>-1</td><td>-4</td><td>-2</td><td>-3</td><td>-2</td></tr><tr><td>64</td><td>2</td><td>-1</td><td>-2</td><td>0</td><td>-1</td><td>0</td></tr><tr><td>32</td><td>3</td><td>0</td><td>0</td><td>2</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>16</td><td>3</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>1</td><td>-3</td></tr><tr><td>8</td><td>4</td><td>1</td><td>1</td><td>5</td><td>1</td><td>-1</td></tr><tr><td>4</td><td>3</td><td>0</td><td>0</td><td>3</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td></td><td>1</td><td>3</td><td>7</td><td>14</td><td>21</td><td>28</td></tr></table> Dagen na onderhoud	Horizontaal effect [dB]							125	1	-1	-4	-2	-3	-2	64	2	-1	-2	0	-1	0	32	3	0	0	2	0	0	16	3	1	2	3	1	-3	8	4	1	1	5	1	-1	4	3	0	0	3	1	1		1	3	7	14	21	28	<table><tr><th colspan="7">Verticaal effect [dB]</th></tr><tr><td></td><td>1</td><td>-1</td><td>-3</td><td>-2</td><td>-4</td><td>-3</td></tr><tr><td>125</td><td>2</td><td>-1</td><td>-3</td><td>0</td><td>-2</td><td>-1</td></tr><tr><td>64</td><td>3</td><td>0</td><td>-2</td><td>2</td><td>-1</td><td>-1</td></tr><tr><td>32</td><td>3</td><td>0</td><td>0</td><td>3</td><td>0</td><td>-1</td></tr><tr><td>16</td><td>3</td><td>0</td><td>0</td><td>3</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>8</td><td>3</td><td>0</td><td>0</td><td>3</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>4</td><td>1</td><td>3</td><td>7</td><td>14</td><td>21</td><td>28</td></tr></table> Dagen na onderhoud	Verticaal effect [dB]								1	-1	-3	-2	-4	-3	125	2	-1	-3	0	-2	-1	64	3	0	-2	2	-1	-1	32	3	0	0	3	0	-1	16	3	0	0	3	1	1	8	3	0	0	3	0	1	4	1	3	7	14	21	28
Horizontaal effect [dB]																																																																																																																		
125	1	-1	-4	-2	-3	-2																																																																																																												
64	2	-1	-2	0	-1	0																																																																																																												
32	3	0	0	2	0	0																																																																																																												
16	3	1	2	3	1	-3																																																																																																												
8	4	1	1	5	1	-1																																																																																																												
4	3	0	0	3	1	1																																																																																																												
	1	3	7	14	21	28																																																																																																												
Verticaal effect [dB]																																																																																																																		
	1	-1	-3	-2	-4	-3																																																																																																												
125	2	-1	-3	0	-2	-1																																																																																																												
64	3	0	-2	2	-1	-1																																																																																																												
32	3	0	0	3	0	-1																																																																																																												
16	3	0	0	3	1	1																																																																																																												
8	3	0	0	3	0	1																																																																																																												
4	1	3	7	14	21	28																																																																																																												
	<table><tr><th colspan="7">Horizontaal effect [dB]</th></tr><tr><td>125</td><td>0</td><td>-2</td><td>-4</td><td>-2</td><td>-3</td><td>-3</td></tr><tr><td>64</td><td>0</td><td>-2</td><td>-6</td><td>-2</td><td>-2</td><td>1</td></tr><tr><td>32</td><td>0</td><td>-2</td><td>-4</td><td>-2</td><td>-1</td><td>0</td></tr><tr><td>16</td><td>1</td><td>-1</td><td>-3</td><td>0</td><td>2</td><td>-1</td></tr><tr><td>8</td><td>1</td><td>-1</td><td>-3</td><td>-1</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>4</td><td>0</td><td>-2</td><td>-5</td><td>2</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td></td><td>1</td><td>3</td><td>7</td><td>14</td><td>21</td><td>28</td></tr></table> Dagen na onderhoud	Horizontaal effect [dB]							125	0	-2	-4	-2	-3	-3	64	0	-2	-6	-2	-2	1	32	0	-2	-4	-2	-1	0	16	1	-1	-3	0	2	-1	8	1	-1	-3	-1	1	0	4	0	-2	-5	2	0	0		1	3	7	14	21	28	<table><tr><th colspan="7">Verticaal effect [dB]</th></tr><tr><td></td><td>-1</td><td>-3</td><td>-7</td><td>-3</td><td>-5</td><td>-2</td></tr><tr><td>125</td><td>0</td><td>-2</td><td>-4</td><td>-1</td><td>-2</td><td>-1</td></tr><tr><td>64</td><td>0</td><td>0</td><td>-4</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td></tr><tr><td>32</td><td>0</td><td>-2</td><td>-3</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td></tr><tr><td>16</td><td>1</td><td>-1</td><td>-2</td><td>-2</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>8</td><td>0</td><td>-2</td><td>-5</td><td>2</td><td>0</td><td>2</td></tr><tr><td>4</td><td>1</td><td>3</td><td>7</td><td>14</td><td>21</td><td>28</td></tr></table> Dagen na onderhoud	Verticaal effect [dB]								-1	-3	-7	-3	-5	-2	125	0	-2	-4	-1	-2	-1	64	0	0	-4	-1	-1	-1	32	0	-2	-3	-1	-1	-1	16	1	-1	-2	-2	0	0	8	0	-2	-5	2	0	2	4	1	3	7	14	21	28
Horizontaal effect [dB]																																																																																																																		
125	0	-2	-4	-2	-3	-3																																																																																																												
64	0	-2	-6	-2	-2	1																																																																																																												
32	0	-2	-4	-2	-1	0																																																																																																												
16	1	-1	-3	0	2	-1																																																																																																												
8	1	-1	-3	-1	1	0																																																																																																												
4	0	-2	-5	2	0	0																																																																																																												
	1	3	7	14	21	28																																																																																																												
Verticaal effect [dB]																																																																																																																		
	-1	-3	-7	-3	-5	-2																																																																																																												
125	0	-2	-4	-1	-2	-1																																																																																																												
64	0	0	-4	-1	-1	-1																																																																																																												
32	0	-2	-3	-1	-1	-1																																																																																																												
16	1	-1	-2	-2	0	0																																																																																																												
8	0	-2	-5	2	0	2																																																																																																												
4	1	3	7	14	21	28																																																																																																												
	<table><tr><th colspan="7">Horizontaal effect [dB]</th></tr><tr><td>125</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-3</td><td>-3</td><td>-4</td><td>-2</td></tr><tr><td>64</td><td>-2</td><td>-1</td><td>-3</td><td>-4</td><td>-2</td><td>1</td></tr><tr><td>32</td><td>0</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td><td>0</td></tr><tr><td>16</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>-1</td></tr><tr><td>8</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>4</td><td>0</td><td>-1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td></td><td>1</td><td>3</td><td>7</td><td>14</td><td>21</td><td>28</td></tr></table> Dagen na onderhoud	Horizontaal effect [dB]							125	-1	-1	-3	-3	-4	-2	64	-2	-1	-3	-4	-2	1	32	0	-1	-1	-1	-1	0	16	1	1	1	1	0	-1	8	0	0	1	1	1	0	4	0	-1	0	0	0	0		1	3	7	14	21	28	<table><tr><th colspan="7">Verticaal effect [dB]</th></tr><tr><td></td><td>-2</td><td>-2</td><td>-4</td><td>-5</td><td>-5</td><td>-3</td></tr><tr><td>125</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-2</td><td>-2</td><td>-1</td><td>-1</td></tr><tr><td>64</td><td>0</td><td>0</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td></tr><tr><td>32</td><td>0</td><td>0</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td><td>0</td></tr><tr><td>16</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>2</td><td>2</td></tr><tr><td>8</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>4</td><td>1</td><td>3</td><td>7</td><td>14</td><td>21</td><td>28</td></tr></table> Dagen na onderhoud	Verticaal effect [dB]								-2	-2	-4	-5	-5	-3	125	-1	-1	-2	-2	-1	-1	64	0	0	-1	-1	-1	-1	32	0	0	-1	-1	-1	0	16	0	0	0	0	2	2	8	-1	-1	-1	-1	0	1	4	1	3	7	14	21	28
Horizontaal effect [dB]																																																																																																																		
125	-1	-1	-3	-3	-4	-2																																																																																																												
64	-2	-1	-3	-4	-2	1																																																																																																												
32	0	-1	-1	-1	-1	0																																																																																																												
16	1	1	1	1	0	-1																																																																																																												
8	0	0	1	1	1	0																																																																																																												
4	0	-1	0	0	0	0																																																																																																												
	1	3	7	14	21	28																																																																																																												
Verticaal effect [dB]																																																																																																																		
	-2	-2	-4	-5	-5	-3																																																																																																												
125	-1	-1	-2	-2	-1	-1																																																																																																												
64	0	0	-1	-1	-1	-1																																																																																																												
32	0	0	-1	-1	-1	0																																																																																																												
16	0	0	0	0	2	2																																																																																																												
8	-1	-1	-1	-1	0	1																																																																																																												
4	1	3	7	14	21	28																																																																																																												
	<table><tr><th colspan="7">Horizontaal effect [dB]</th></tr><tr><td>125</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-2</td><td>-2</td><td>-2</td><td>-2</td></tr><tr><td>64</td><td>0</td><td>-1</td><td>-3</td><td>-3</td><td>-1</td><td>1</td></tr><tr><td>32</td><td>0</td><td>0</td><td>-2</td><td>-2</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>16</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>-1</td></tr><tr><td>8</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>2</td><td>1</td></tr><tr><td>4</td><td>0</td><td>0</td><td>-2</td><td>-1</td><td>0</td><td>-1</td></tr><tr><td></td><td>1</td><td>3</td><td>7</td><td>14</td><td>21</td><td>28</td></tr></table> Dagen na onderhoud	Horizontaal effect [dB]							125	-1	-1	-2	-2	-2	-2	64	0	-1	-3	-3	-1	1	32	0	0	-2	-2	0	0	16	1	0	1	0	0	-1	8	0	0	1	1	2	1	4	0	0	-2	-1	0	-1		1	3	7	14	21	28	<table><tr><th colspan="7">Verticaal effect [dB]</th></tr><tr><td></td><td>-1</td><td>-1</td><td>-2</td><td>-3</td><td>-3</td><td>-2</td></tr><tr><td>125</td><td>1</td><td>-1</td><td>-2</td><td>-2</td><td>-1</td><td>0</td></tr><tr><td>64</td><td>0</td><td>0</td><td>-1</td><td>-1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>32</td><td>0</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td><td>0</td><td>-1</td></tr><tr><td>16</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td></tr><tr><td>8</td><td>0</td><td>0</td><td>-2</td><td>-1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>4</td><td>1</td><td>3</td><td>7</td><td>14</td><td>21</td><td>28</td></tr></table> Dagen na onderhoud	Verticaal effect [dB]								-1	-1	-2	-3	-3	-2	125	1	-1	-2	-2	-1	0	64	0	0	-1	-1	0	0	32	0	-1	-1	-1	0	-1	16	0	0	1	0	1	2	8	0	0	-2	-1	0	0	4	1	3	7	14	21	28
Horizontaal effect [dB]																																																																																																																		
125	-1	-1	-2	-2	-2	-2																																																																																																												
64	0	-1	-3	-3	-1	1																																																																																																												
32	0	0	-2	-2	0	0																																																																																																												
16	1	0	1	0	0	-1																																																																																																												
8	0	0	1	1	2	1																																																																																																												
4	0	0	-2	-1	0	-1																																																																																																												
	1	3	7	14	21	28																																																																																																												
Verticaal effect [dB]																																																																																																																		
	-1	-1	-2	-3	-3	-2																																																																																																												
125	1	-1	-2	-2	-1	0																																																																																																												
64	0	0	-1	-1	0	0																																																																																																												
32	0	-1	-1	-1	0	-1																																																																																																												
16	0	0	1	0	1	2																																																																																																												
8	0	0	-2	-1	0	0																																																																																																												
4	1	3	7	14	21	28																																																																																																												

Hieronder is per treintype het gemiddelde effect van het onderhoud weergegeven. Een positief effect is een afname van de trillingen.



De resultaten per octaafbandfrequentie zijn hieronder weergegeven voor spoor AH.

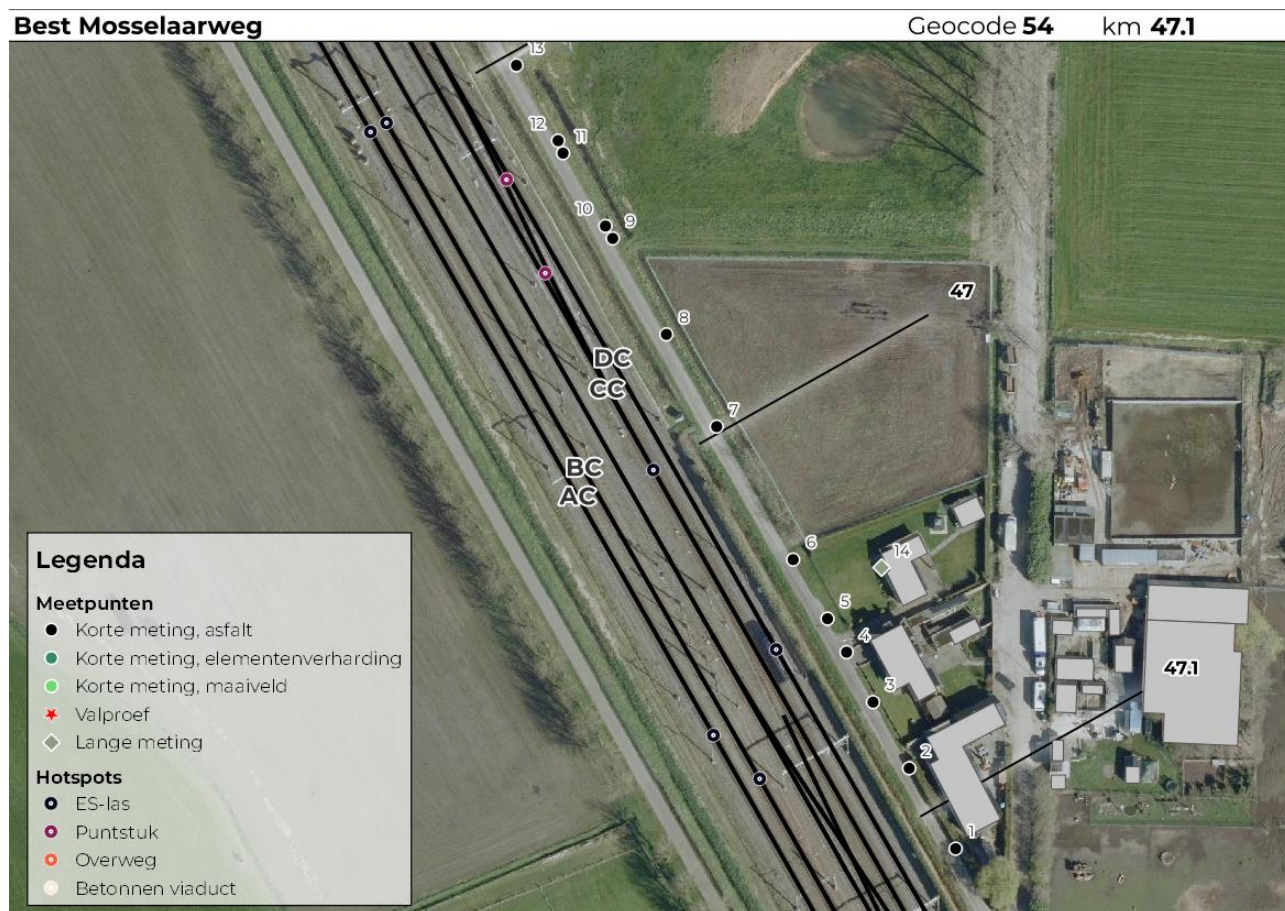
Treintype		Effect																																																																																																																
	<table><tr><th colspan="7">Horizontaal effect [dB]</th></tr><tr><td>125</td><td>1</td><td>-1</td><td>-2</td><td>-1</td><td>-3</td><td>-2</td></tr><tr><td>64</td><td>2</td><td>-1</td><td>-3</td><td>0</td><td>-2</td><td>1</td></tr><tr><td>32</td><td>1</td><td>0</td><td>-1</td><td>1</td><td>-1</td><td>-1</td></tr><tr><td>16</td><td>2</td><td>1</td><td>1</td><td>3</td><td>1</td><td>-1</td></tr><tr><td>8</td><td>3</td><td>0</td><td>1</td><td>3</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>4</td><td>3</td><td>0</td><td>0</td><td>3</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td></td><td>1</td><td>3</td><td>7</td><td>14</td><td>21</td><td>28</td></tr></table>	Horizontaal effect [dB]							125	1	-1	-2	-1	-3	-2	64	2	-1	-3	0	-2	1	32	1	0	-1	1	-1	-1	16	2	1	1	3	1	-1	8	3	0	1	3	1	0	4	3	0	0	3	1	0		1	3	7	14	21	28	<table><tr><th colspan="7">Verticaal effect [dB]</th></tr><tr><td></td><td>1</td><td>-1</td><td>-3</td><td>-1</td><td>-4</td><td>-2</td></tr><tr><td>125</td><td>2</td><td>-1</td><td>-2</td><td>1</td><td>-2</td><td>0</td></tr><tr><td>64</td><td>1</td><td>0</td><td>-1</td><td>1</td><td>-1</td><td>0</td></tr><tr><td>32</td><td>1</td><td>0</td><td>-1</td><td>2</td><td>0</td><td>-1</td></tr><tr><td>16</td><td>3</td><td>0</td><td>0</td><td>2</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>8</td><td>2</td><td>0</td><td>0</td><td>2</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>4</td><td>1</td><td>3</td><td>7</td><td>14</td><td>21</td><td>28</td></tr></table>	Verticaal effect [dB]								1	-1	-3	-1	-4	-2	125	2	-1	-2	1	-2	0	64	1	0	-1	1	-1	0	32	1	0	-1	2	0	-1	16	3	0	0	2	1	1	8	2	0	0	2	1	1	4	1	3	7	14	21	28
Horizontaal effect [dB]																																																																																																																		
125	1	-1	-2	-1	-3	-2																																																																																																												
64	2	-1	-3	0	-2	1																																																																																																												
32	1	0	-1	1	-1	-1																																																																																																												
16	2	1	1	3	1	-1																																																																																																												
8	3	0	1	3	1	0																																																																																																												
4	3	0	0	3	1	0																																																																																																												
	1	3	7	14	21	28																																																																																																												
Verticaal effect [dB]																																																																																																																		
	1	-1	-3	-1	-4	-2																																																																																																												
125	2	-1	-2	1	-2	0																																																																																																												
64	1	0	-1	1	-1	0																																																																																																												
32	1	0	-1	2	0	-1																																																																																																												
16	3	0	0	2	1	1																																																																																																												
8	2	0	0	2	1	1																																																																																																												
4	1	3	7	14	21	28																																																																																																												
	<table><tr><th colspan="7">Horizontaal effect [dB]</th></tr><tr><td>125</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-3</td><td>-3</td><td>-3</td><td>-2</td></tr><tr><td>64</td><td>-1</td><td>0</td><td>-2</td><td>-2</td><td>-2</td><td>0</td></tr><tr><td>32</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>-1</td><td>-2</td><td>-2</td></tr><tr><td>16</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>-1</td><td>0</td><td>-1</td></tr><tr><td>8</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>4</td><td>2</td><td>1</td><td>0</td><td>-1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td></td><td>1</td><td>3</td><td>7</td><td>14</td><td>21</td><td>28</td></tr></table>	Horizontaal effect [dB]							125	-1	-1	-3	-3	-3	-2	64	-1	0	-2	-2	-2	0	32	1	0	0	-1	-2	-2	16	1	1	0	-1	0	-1	8	1	1	1	1	0	0	4	2	1	0	-1	0	0		1	3	7	14	21	28	<table><tr><th colspan="7">Verticaal effect [dB]</th></tr><tr><td></td><td>-1</td><td>0</td><td>-2</td><td>-2</td><td>-3</td><td>-2</td></tr><tr><td>125</td><td>0</td><td>0</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-2</td></tr><tr><td>64</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td></tr><tr><td>32</td><td>-1</td><td>0</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td></tr><tr><td>16</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>8</td><td>1</td><td>0</td><td>-1</td><td>-2</td><td>-1</td><td>-1</td></tr><tr><td>4</td><td>1</td><td>3</td><td>7</td><td>14</td><td>21</td><td>28</td></tr></table>	Verticaal effect [dB]								-1	0	-2	-2	-3	-2	125	0	0	-1	-1	-1	-2	64	0	1	0	-1	-1	-1	32	-1	0	-1	-1	-1	-1	16	1	0	0	0	0	0	8	1	0	-1	-2	-1	-1	4	1	3	7	14	21	28
Horizontaal effect [dB]																																																																																																																		
125	-1	-1	-3	-3	-3	-2																																																																																																												
64	-1	0	-2	-2	-2	0																																																																																																												
32	1	0	0	-1	-2	-2																																																																																																												
16	1	1	0	-1	0	-1																																																																																																												
8	1	1	1	1	0	0																																																																																																												
4	2	1	0	-1	0	0																																																																																																												
	1	3	7	14	21	28																																																																																																												
Verticaal effect [dB]																																																																																																																		
	-1	0	-2	-2	-3	-2																																																																																																												
125	0	0	-1	-1	-1	-2																																																																																																												
64	0	1	0	-1	-1	-1																																																																																																												
32	-1	0	-1	-1	-1	-1																																																																																																												
16	1	0	0	0	0	0																																																																																																												
8	1	0	-1	-2	-1	-1																																																																																																												
4	1	3	7	14	21	28																																																																																																												
	<table><tr><th colspan="7">Horizontaal effect [dB]</th></tr><tr><td>125</td><td>-2</td><td>0</td><td>-2</td><td>-3</td><td>-3</td><td>-2</td></tr><tr><td>64</td><td>-3</td><td>-1</td><td>-3</td><td>-3</td><td>-2</td><td>1</td></tr><tr><td>32</td><td>-1</td><td>0</td><td>-1</td><td>-2</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>16</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>2</td><td>-1</td></tr><tr><td>8</td><td>2</td><td>0</td><td>2</td><td>1</td><td>3</td><td>0</td></tr><tr><td>4</td><td>0</td><td>0</td><td>-2</td><td>-2</td><td>0</td><td>-1</td></tr><tr><td></td><td>1</td><td>3</td><td>7</td><td>14</td><td>21</td><td>28</td></tr></table>	Horizontaal effect [dB]							125	-2	0	-2	-3	-3	-2	64	-3	-1	-3	-3	-2	1	32	-1	0	-1	-2	1	0	16	0	0	1	0	2	-1	8	2	0	2	1	3	0	4	0	0	-2	-2	0	-1		1	3	7	14	21	28	<table><tr><th colspan="7">Verticaal effect [dB]</th></tr><tr><td></td><td>-1</td><td>0</td><td>-3</td><td>-3</td><td>-3</td><td>-2</td></tr><tr><td>125</td><td>-3</td><td>0</td><td>-2</td><td>-1</td><td>-1</td><td>0</td></tr><tr><td>64</td><td>-1</td><td>0</td><td>-1</td><td>-1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>32</td><td>-1</td><td>0</td><td>-1</td><td>-1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>16</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>2</td><td>0</td></tr><tr><td>8</td><td>0</td><td>0</td><td>-3</td><td>-2</td><td>0</td><td>-1</td></tr><tr><td>4</td><td>1</td><td>3</td><td>7</td><td>14</td><td>21</td><td>28</td></tr></table>	Verticaal effect [dB]								-1	0	-3	-3	-3	-2	125	-3	0	-2	-1	-1	0	64	-1	0	-1	-1	0	0	32	-1	0	-1	-1	0	0	16	1	0	1	0	2	0	8	0	0	-3	-2	0	-1	4	1	3	7	14	21	28
Horizontaal effect [dB]																																																																																																																		
125	-2	0	-2	-3	-3	-2																																																																																																												
64	-3	-1	-3	-3	-2	1																																																																																																												
32	-1	0	-1	-2	1	0																																																																																																												
16	0	0	1	0	2	-1																																																																																																												
8	2	0	2	1	3	0																																																																																																												
4	0	0	-2	-2	0	-1																																																																																																												
	1	3	7	14	21	28																																																																																																												
Verticaal effect [dB]																																																																																																																		
	-1	0	-3	-3	-3	-2																																																																																																												
125	-3	0	-2	-1	-1	0																																																																																																												
64	-1	0	-1	-1	0	0																																																																																																												
32	-1	0	-1	-1	0	0																																																																																																												
16	1	0	1	0	2	0																																																																																																												
8	0	0	-3	-2	0	-1																																																																																																												
4	1	3	7	14	21	28																																																																																																												

II.5 BEST – GEOCODE 054 – KM 47.1

De meetopstelling op deze locatie is weergegeven in Figuur 59. De onderhouds- en meetmomenten zijn weergegeven in Tabel 44.

Tabel 44 Onderhouds- en meetmomenten

Wat?	Van	Tot	Toelichting
Nulmeting	7 augustus 2023	8 augustus 2023	
Spoor in ballast CC	10 oktober 2023		Onderstoptrein
ES-las km. 47.0 spoor CC	6 november 2023		Vervanging ES-las
Herhalingsmeting	26 september 2023	27 september 2023	
Langeduurmeting	4 augustus 2023	7 februari 2024	



Figuur 59 Meetopstelling

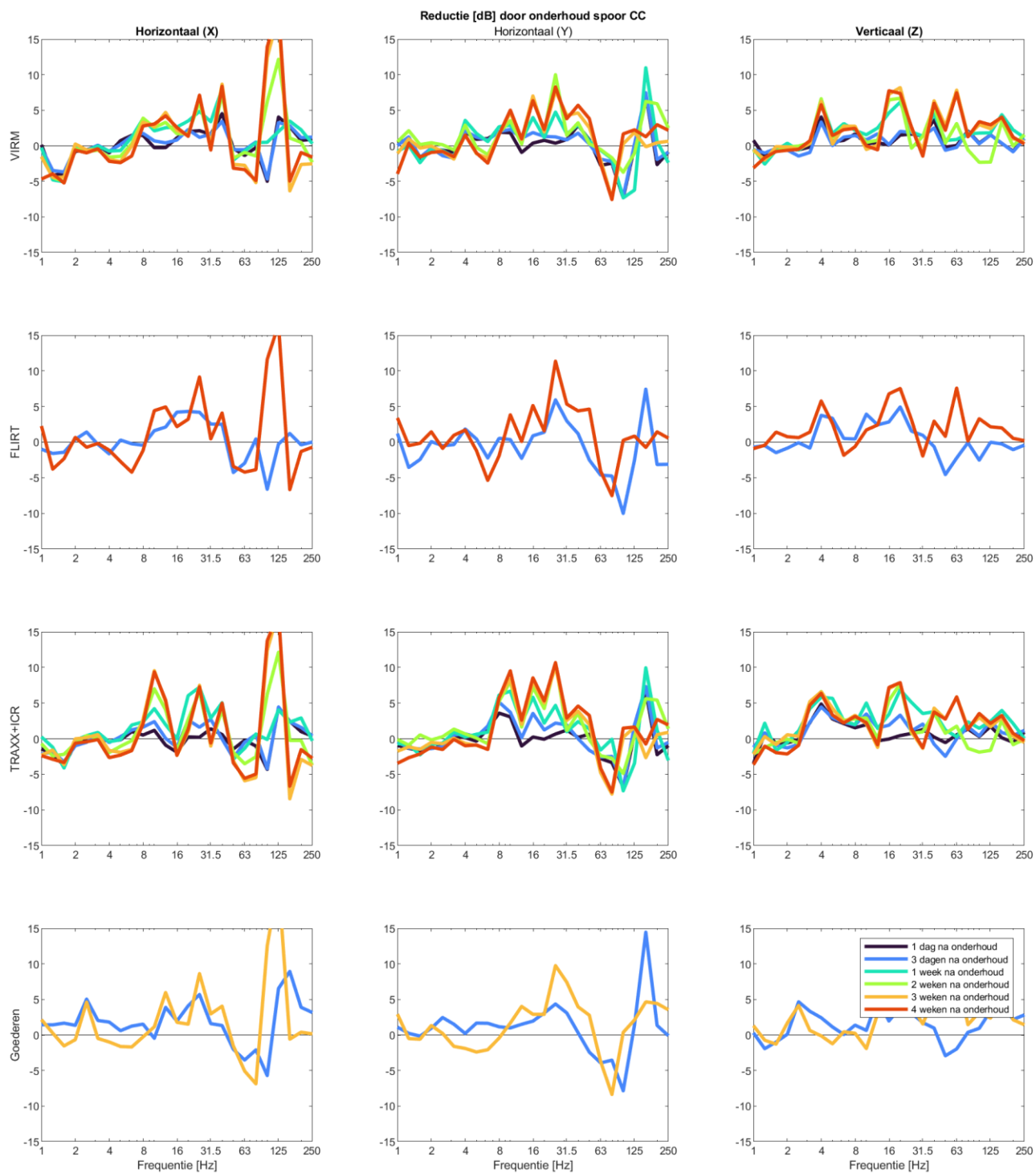
De meting is zoveel mogelijk uitgevoerd conform de standaard opstelling uit het Uniform Meetprotocol IBS. Van de standaard T-opstelling is afgeweken i.v.m. de aanwezigheid van sloten en percelen met wisselende teeltbestemming, zie Tabel 45. Meetpunten zijn op verharding geplaatst voor reproduceerbaarheid bij de nameting.

Tabel 45 Meetpunten en vergelijking met afstanden uit Meetprotocol IBS

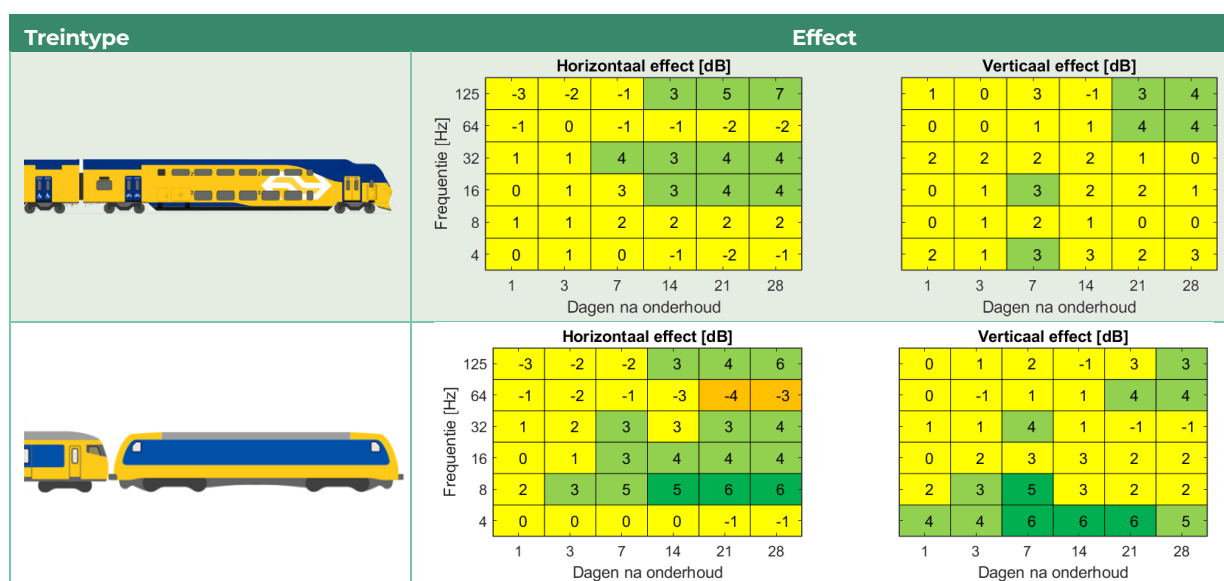
Meetpunten standaard IBS	Afstand spoor DC	Afstand spoor CC	Afstand spoor BC	Afstand spoor AC
3 punten op 8 meter				
	13 punten op 14 meter			
1 punt op 16 meter				
		13 punten op 18 meter		
1 punt op 24 meter				
1 punt op 32 meter			13 punten op 32 meter	
				13 punten op 36 meter
1 punt op 40 meter				
1 punt op 64 meter				
1 vast punt op ≥ 20 meter	1 punt op 30 meter	1 punt op 34 meter	1 punt op 48 meter	1 punt op 52 meter

Voor de continue meting is gemeten aan de fundering van een nabijgelegen huis.

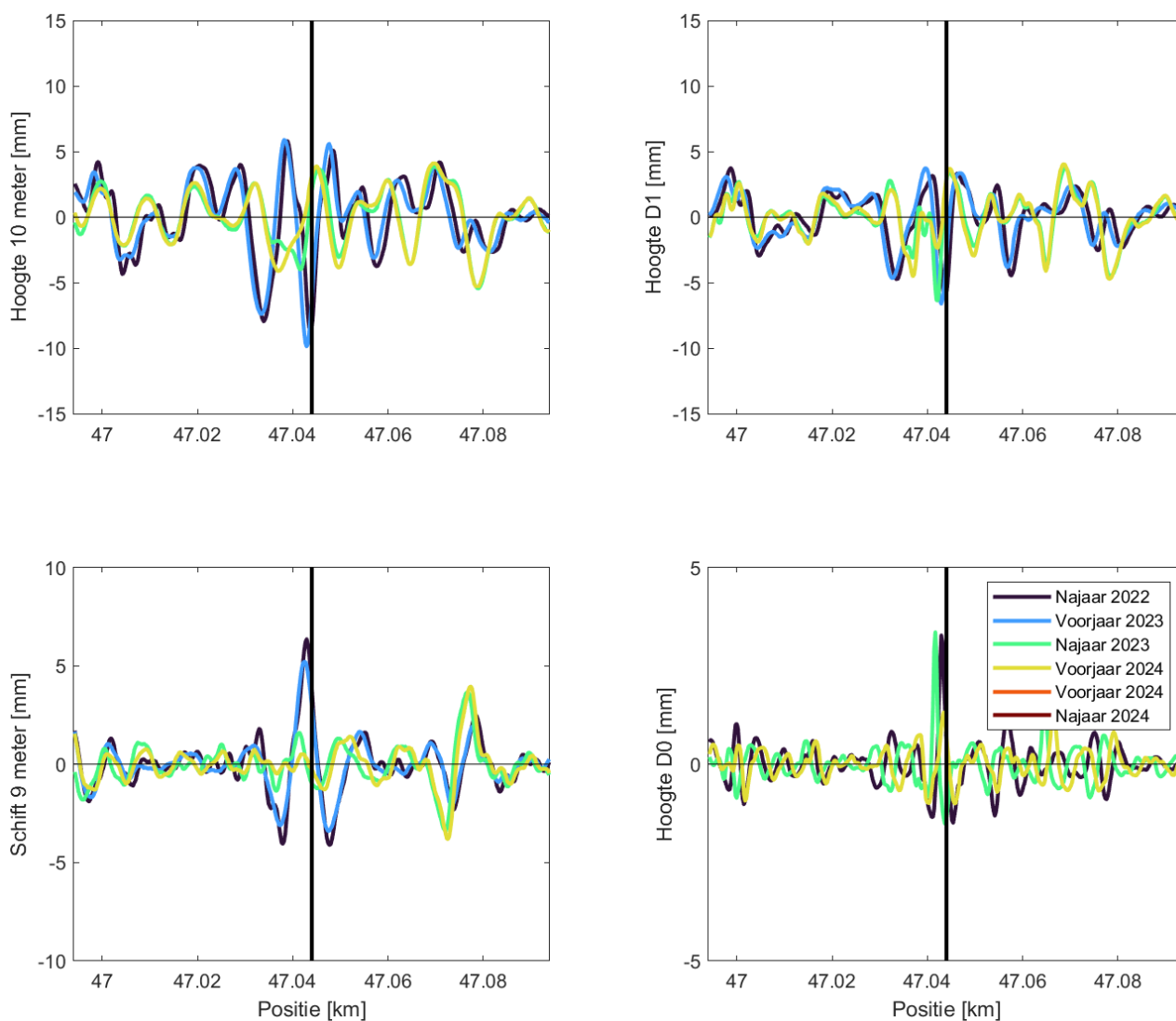
Hieronder is per treintype het gemiddeld effect van het onderhoud (onderstoppen) weergegeven. Een positief effect is een afname van de trillingen.



De resultaten per octaafbandfrequentie zijn hieronder weergegeven voor spoor CC.

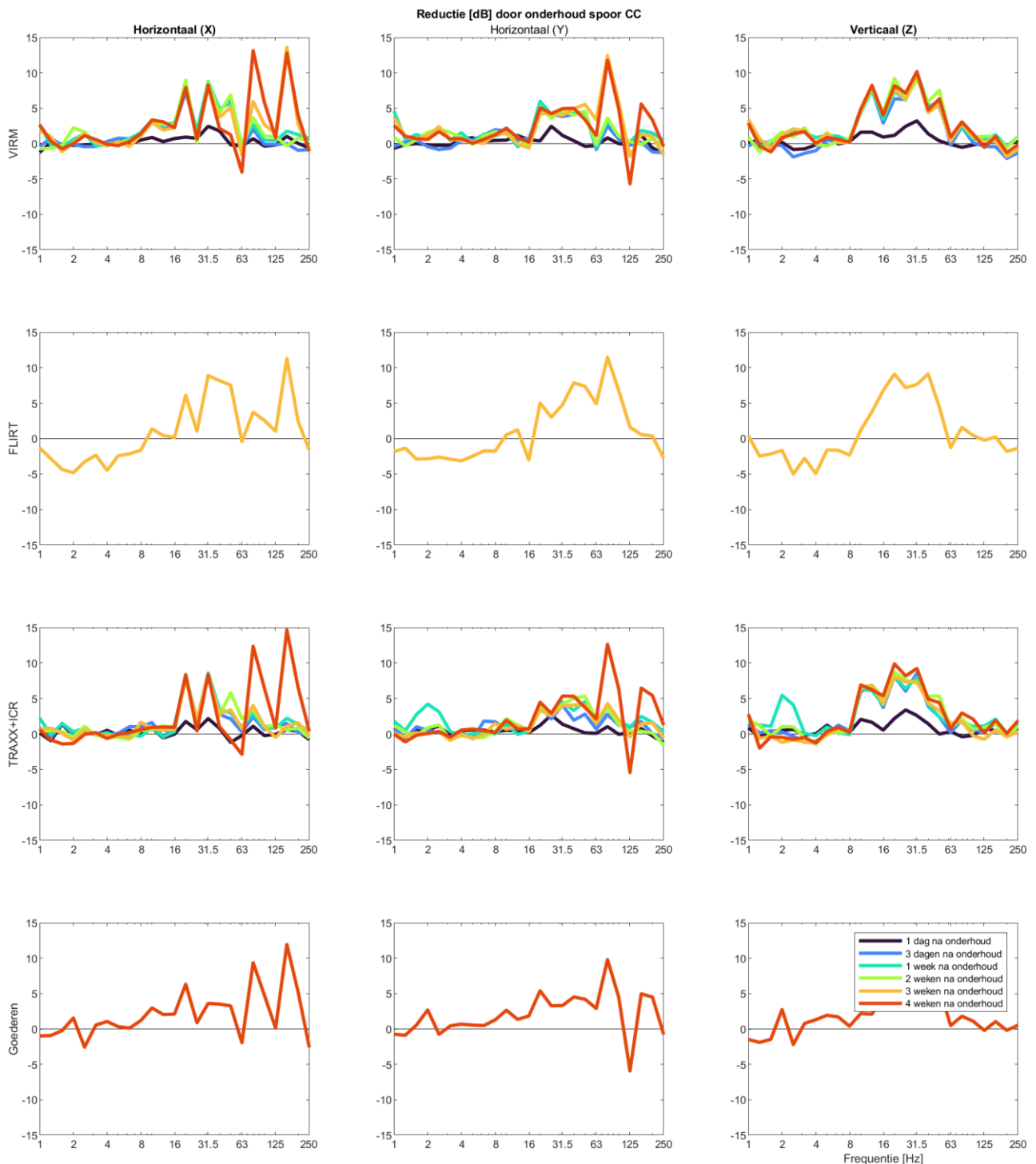


De spoorligging voor en na onderhoud is hieronder weergegeven.

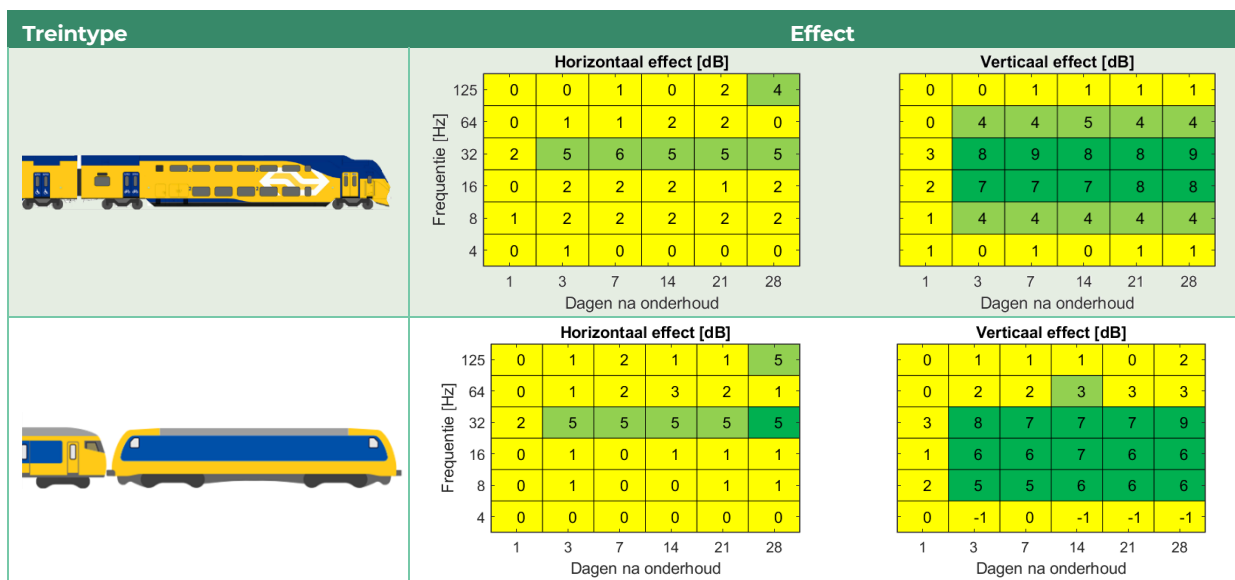


Figuur 60 Hoogteafwijking 10 meter koorde (linksboven), Hoogteafwijking D1 (rechtsboven), schiftafwijking 9 meter koorde (linksonder) en korte golf D0 afwijking (rechtsonder), spoor CC

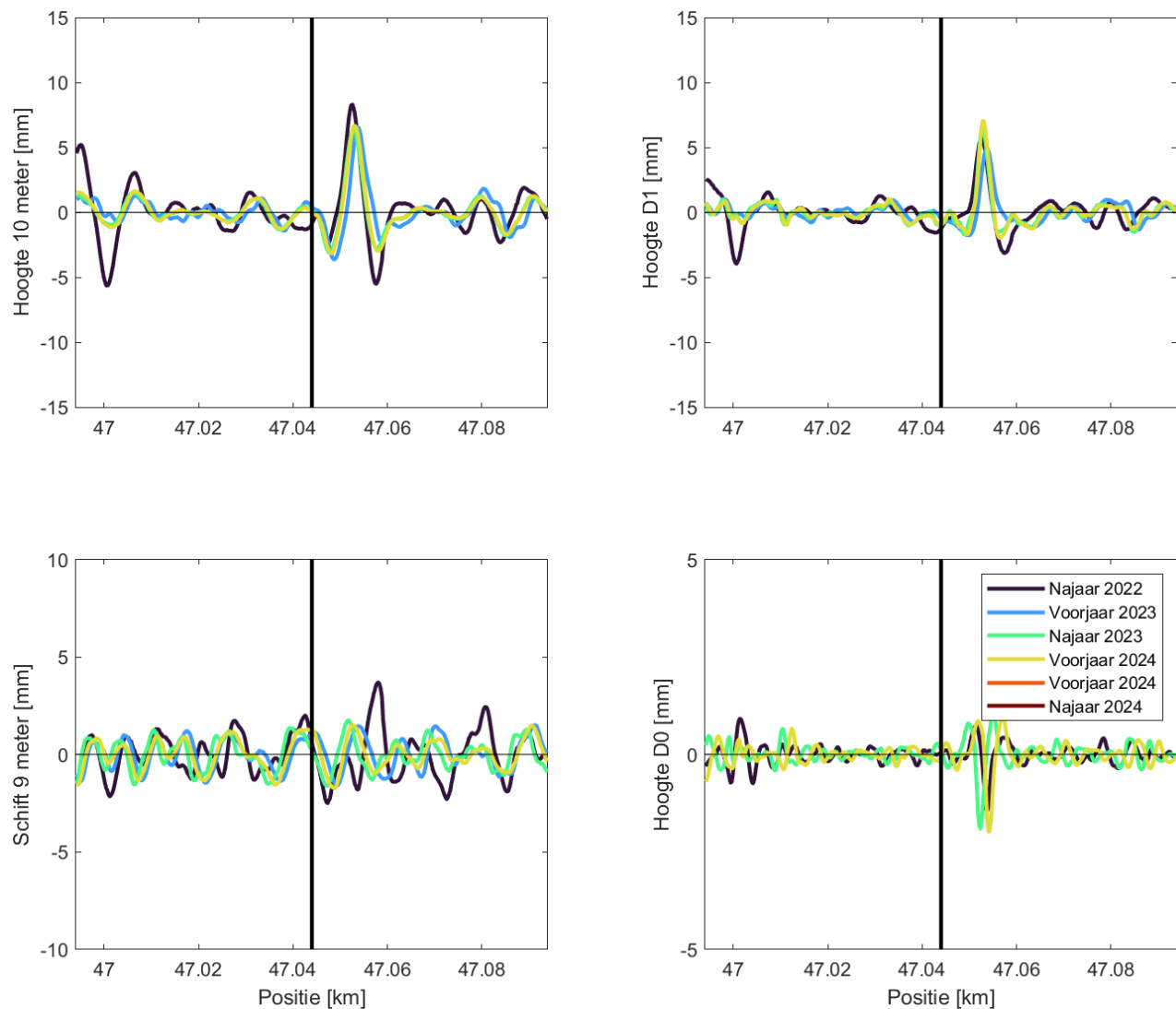
Hieronder is per treintype het gemiddeld effect van het onderhoud (vervanging ES-las) weergegeven. Een positief effect is een afname van de trillingen.



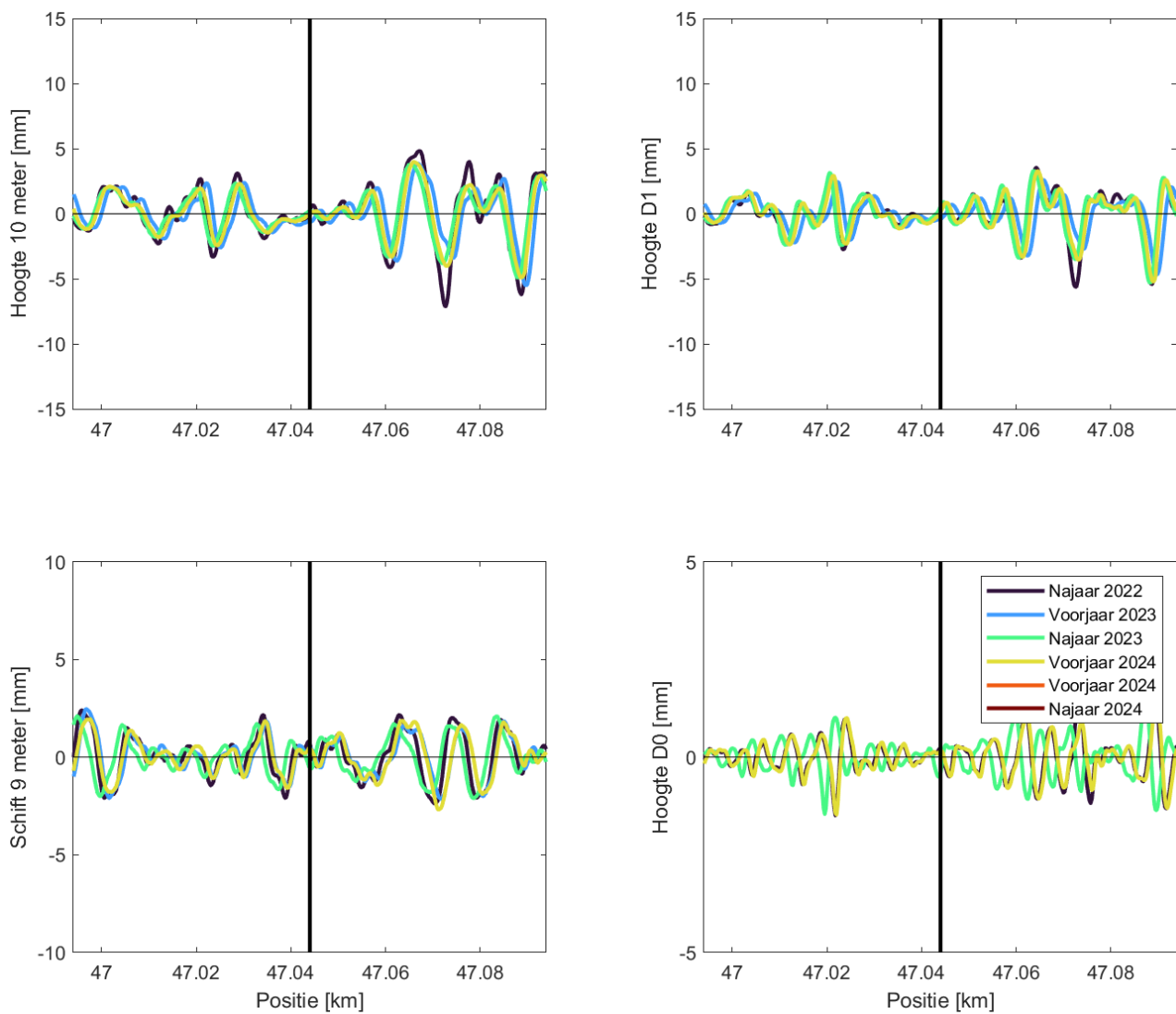
De resultaten per octaafbandfrequentie zijn hieronder weergegeven voor spoor CC.



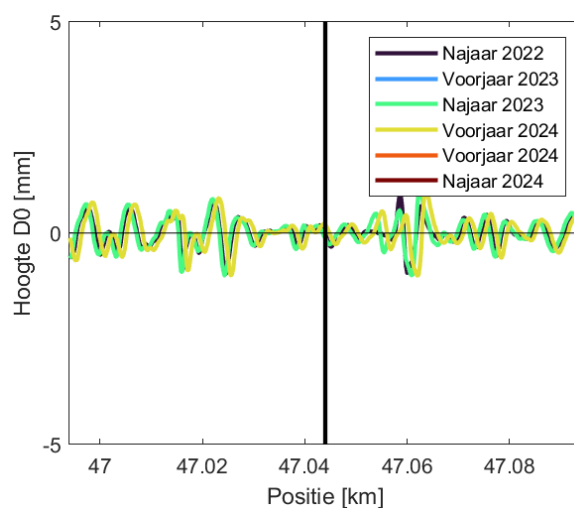
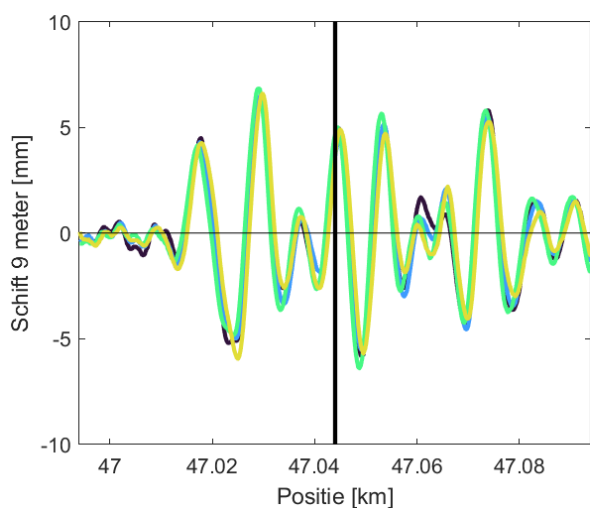
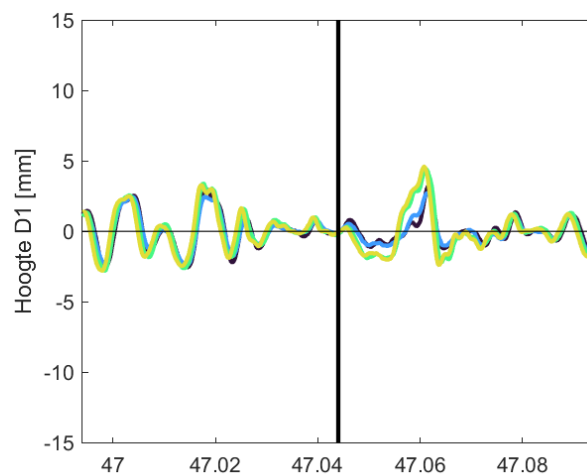
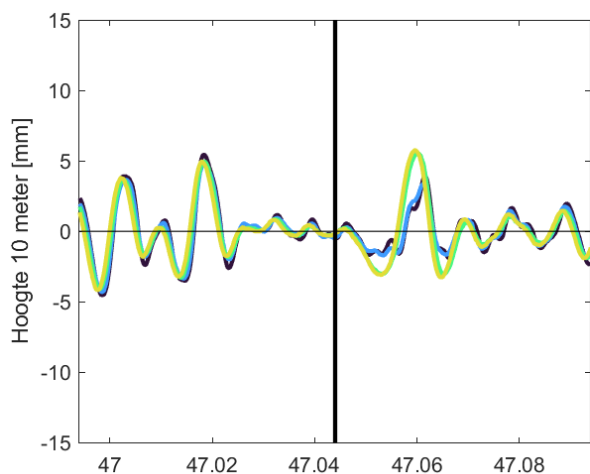
De spoorligging op de andere sporen (DC, BC en AC) is hieronder weergegeven.



Figuur 61 Hoogteafwijking 10 meter koorde (linksboven), Hoogteafwijking D1 (rechtsboven), schiftafwijking 9 meter koorde (linksonder) en korte golf D0 afwijking (rechtsonder), spoor DC



Figuur 62 Hoogteafwijking 10 meter koorde (linksboven), Hoogteafwijking D1 (rechtsboven), schiftafwijking 9 meter koorde (linksonder) en korte golf D0 afwijking (rechtsonder), spoor BC



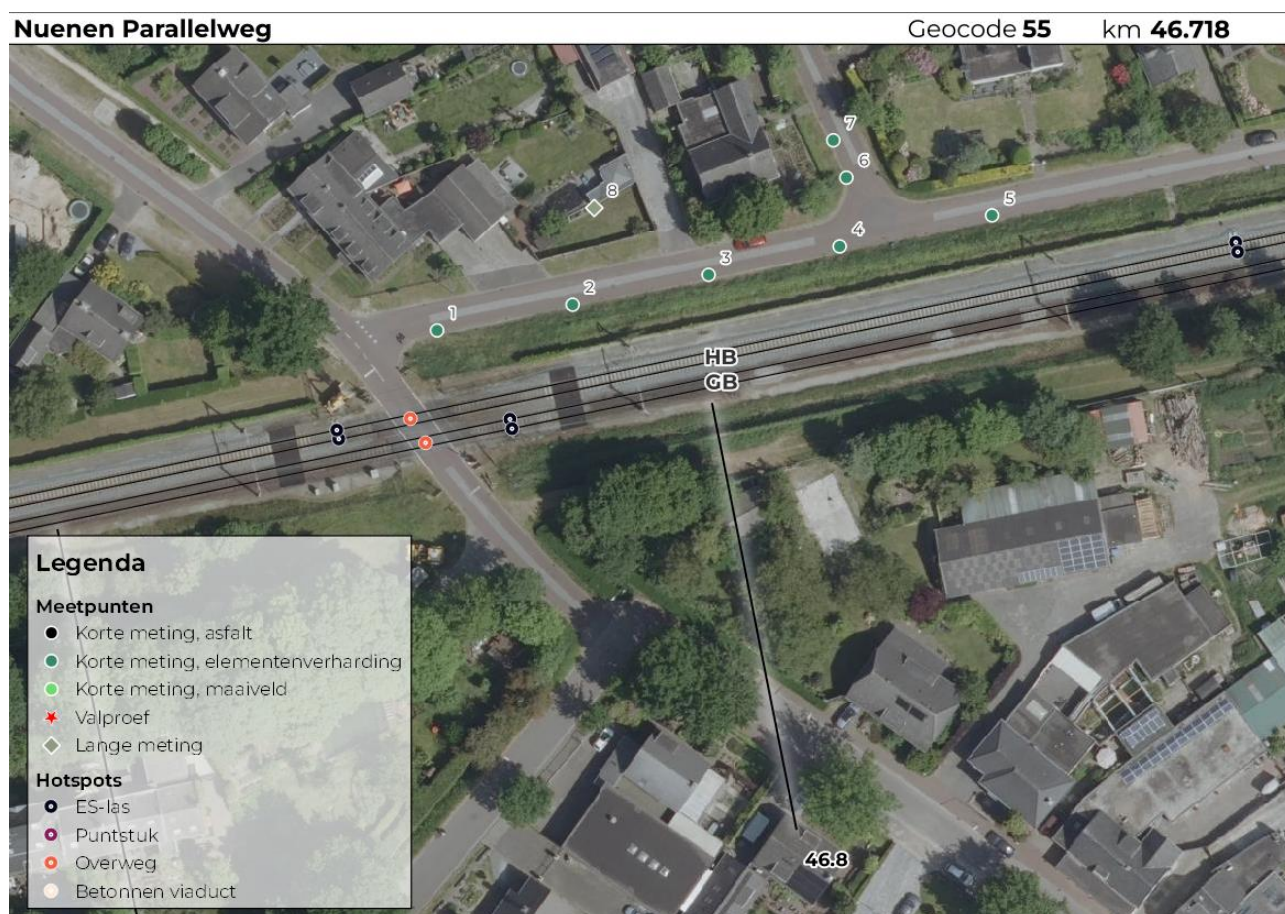
Figuur 63 Hoogteafwijking 10 meter koorde (linksboven), Hoogteafwijking D1 (rechtsboven), schiftafwijking 9 meter koorde (linksonder) en korte golf D0 afwijking (rechtsonder), spoor AC

II.6 NUENEN – GEOCODE 055 – KM 46.8

De meetopstelling op deze locatie is weergegeven in Figuur 64. De onderhouds- en meetmomenten zijn weergegeven in Tabel 46.

Tabel 46 Onderhouds- en meetmomenten

Wat?	Van	Tot	Toelichting
Nulmeting	21 maart 2024	22 maart 2024	
Spoor in ballast GB	13 maart 2024		Onderstoptrein
Herhalingsmeting	3 mei 2024	4 mei 2024	
Herhalingsmeting	27 september 2024	28 september 2024	
Langeduurmeting	18 maart 2024	27 september 2024	



Figuur 64 Meetopstelling

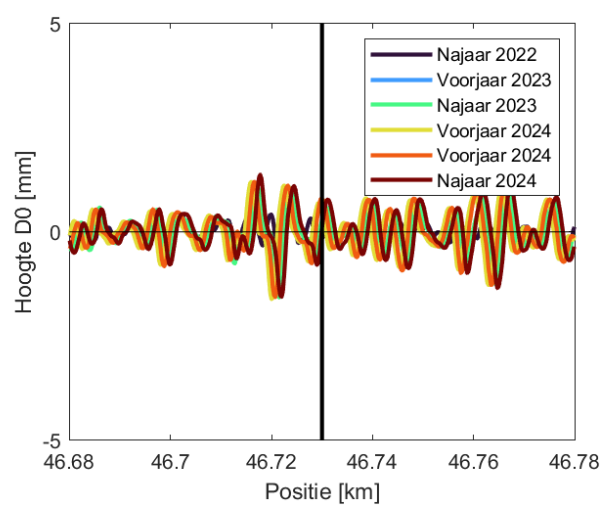
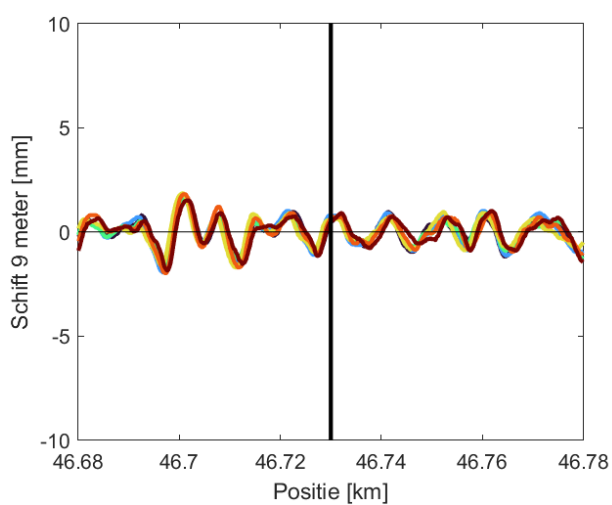
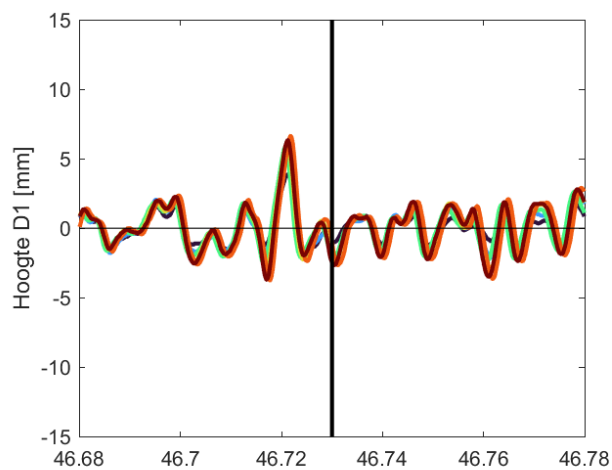
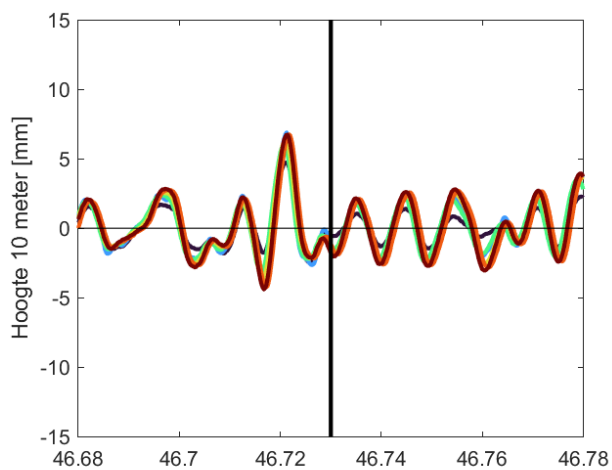
De meting is zoveel mogelijk uitgevoerd conform de standaard opstelling uit het Uniform Meetprotocol IBS. Van de standaard T-opstelling is afgeweken i.v.m. de aanwezigheid van sloten, naastgelegen percelen en het feit dat de verharding tijdens de meting werd aangepast, zie Tabel 47. Meetpunten zijn op verharding geplaatst voor reproduceerbaarheid bij de nameting.

Tabel 47 Meetpunten en vergelijking met afstanden uit Meetprotocol IBS

Meetpunten standaard IBS	Afstand spoor HB	Afstand spoor GB
3 punten op 8 meter		
	5 punten op 12 meter	
1 punt op 16 meter		5 punten op 16 meter
	1 punt op 22 meter	
1 punt op 24 meter		
	1 punt op 28 meter	1 punt op 26 meter
1 punt op 32 meter		1 punt op 32 meter
1 punt op 40 meter		
1 punt op 64 meter		
1 vast punt op ≥ 20 meter	1 punt op 26 meter	1 punt op 30 meter

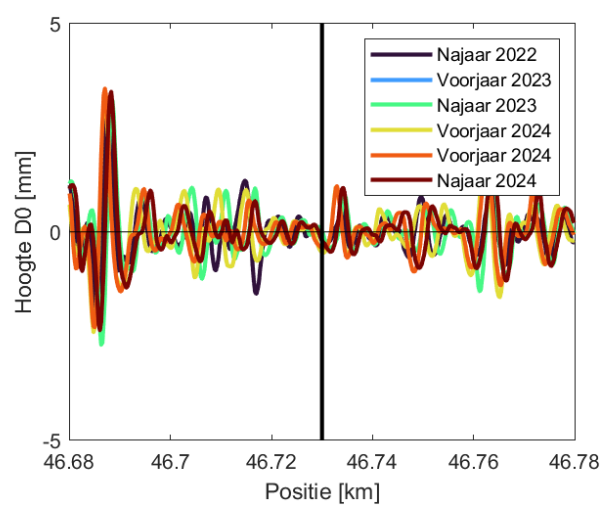
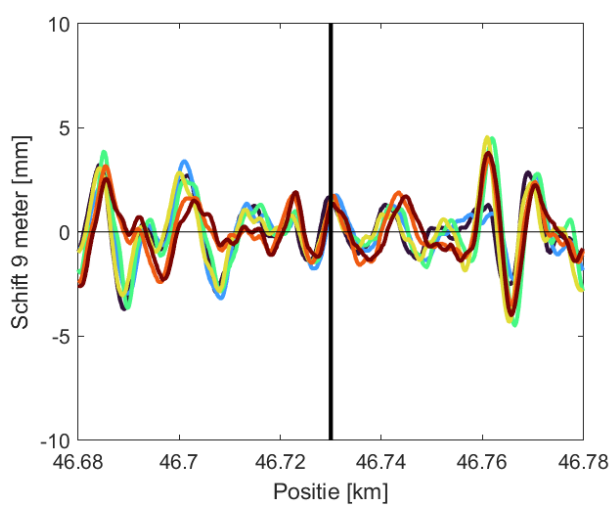
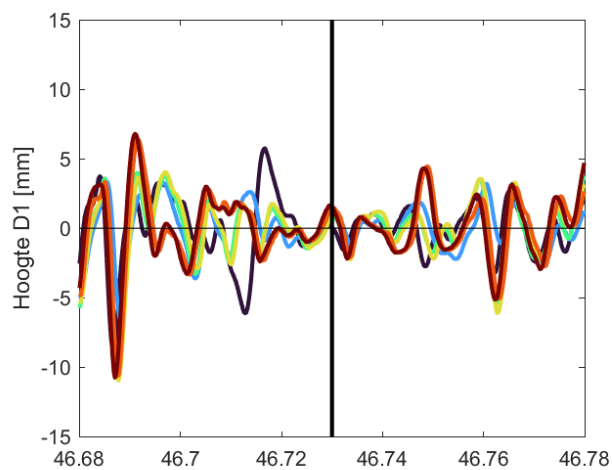
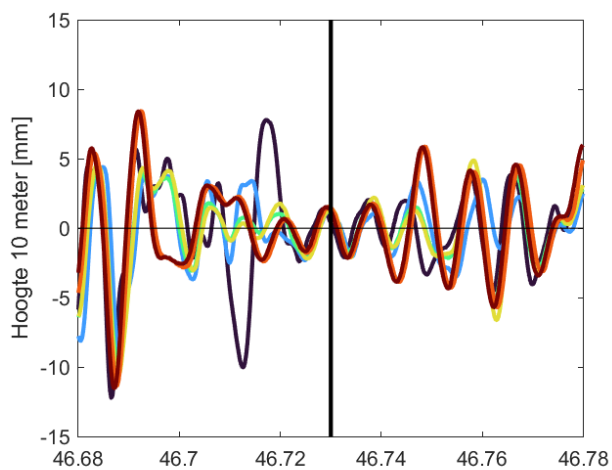
Voor de continue meting is gemeten aan de opstal in de tuin van een nabijgelegen huis.

Omdat het onderhoud hier is uitgevoerd vlak voor de meetperiode, is het effect van onderhoud hier niet vastgesteld. De spoorligging voor en na onderhoud is hieronder weergegeven.



- Najaar 2022
- Voorjaar 2023
- Najaar 2023
- Voorjaar 2024
- Voorjaar 2024
- Najaar 2024

Figuur 65 Hoogteafwijking 10 meter koorde (linksboven), Hoogteafwijking D1 (rechtsboven), schiftafwijking 9 meter koorde (linksonder) en korte golf D0 afwijking (rechtsonder), spoor HB



- Najaar 2022
- Voorjaar 2023
- Najaar 2023
- Voorjaar 2024
- Voorjaar 2024
- Najaar 2024

Figuur 66 Hoogteafwijking 10 meter koorde (linksboven), Hoogteafwijking D1 (rechtsboven), schiftafwijking 9 meter koorde (linksonder) en korte golf D0 afwijking (rechtsonder), spoor GB



II.7 AMERICA – GEOCODE 055 – KM 15.3

De meetopstelling op deze locatie is weergegeven in Figuur 67. De onderhouds- en meetmomenten zijn weergegeven in Tabel 48.

Tabel 48 Onderhouds- en meetmomenten

Wat?	Van	Tot	Toelichting
Nulmeting	5 april 2023		
Onderhoud spoor HE	29 april 2023	30 april 2023	Onderhoud ES-lassen
Onderhoud spoor GE	29 april 2023	30 april 2023	Onderhoud ES-lassen
Herhalingsmeting	1 juni 2023		
Langeduurmeting	5 april 2023	1 juni 2023	

America Wachtpostweg

Geocode **55** km **15.305**



Figuur 67 Meetopstelling

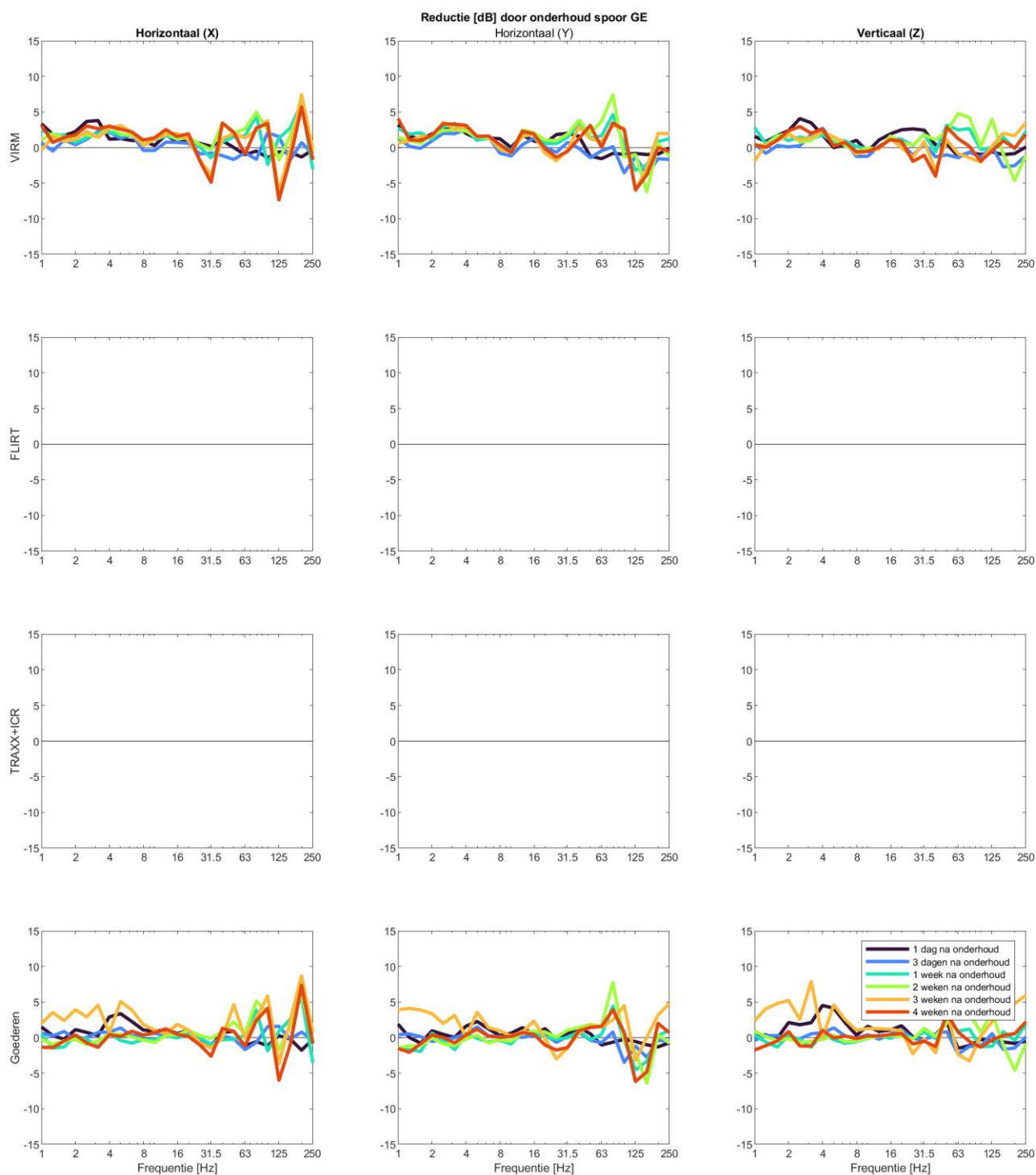
De meting is zoveel mogelijk uitgevoerd conform de standaard opstelling uit het Uniform Meetprotocol IBS. Van de standaard T-opstelling is op een aantal punten afgeweken i.v.m. de aanwezigheid van een weg en een spoorloot, zie Tabel 49. Meetpunten zijn waar mogelijk op verharding geplaatst voor reproduceerbaarheid bij de nameting.

Tabel 49 Meetpunten en vergelijking met afstanden uit Meetprotocol IBS

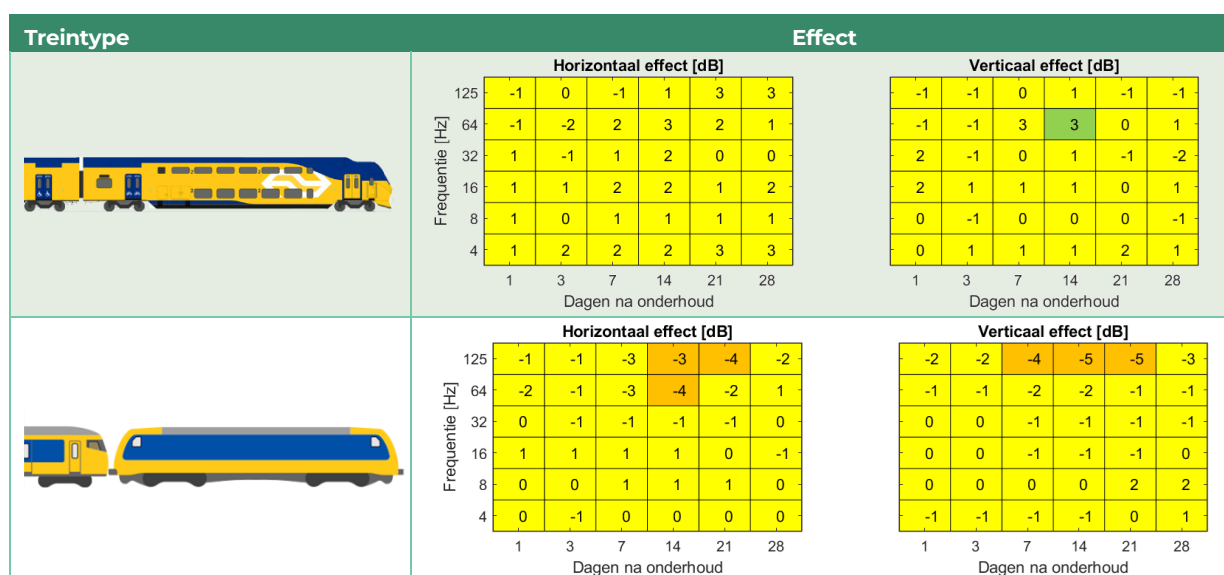
Meetpunten uit standaard IBS	Afstand spoor GE	Afstand spoor HE
	3 punten op 6 meter	
3 punten op 8 meter		
	1 punt op 13 meter	3 punten op 10 meter
1 punt op 16 meter	1 punt op 16 meter	
	1 punt op 20 meter	1 punt op 20 meter
1 punt op 24 meter		1 punt op 24 meter
	1 punt op 28 meter	
1 punt op 32 meter		1 punt op 32 meter
1 punt op 64 meter		
1 vast punt op ≥ 20 meter	1 punt op 29 meter	1 punt op 33 meter

Voor de continue meting is gemeten aan de fundering van een nabijgelegen huis.

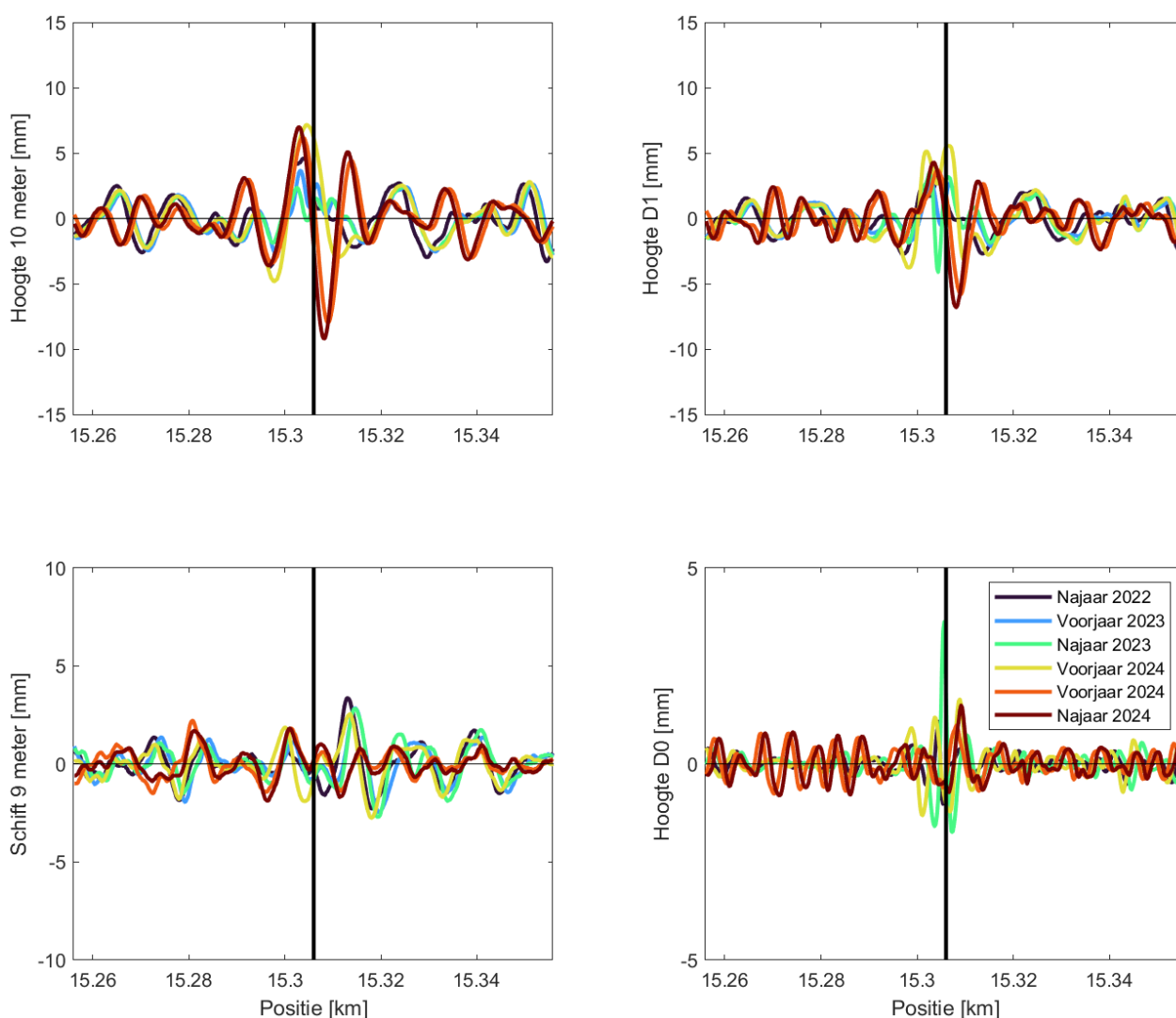
Hieronder is per treintype het gemiddelde effect van het onderhoud weergegeven.



De resultaten per octaafbandfrequentie zijn hieronder weergegeven voor spoor GE.

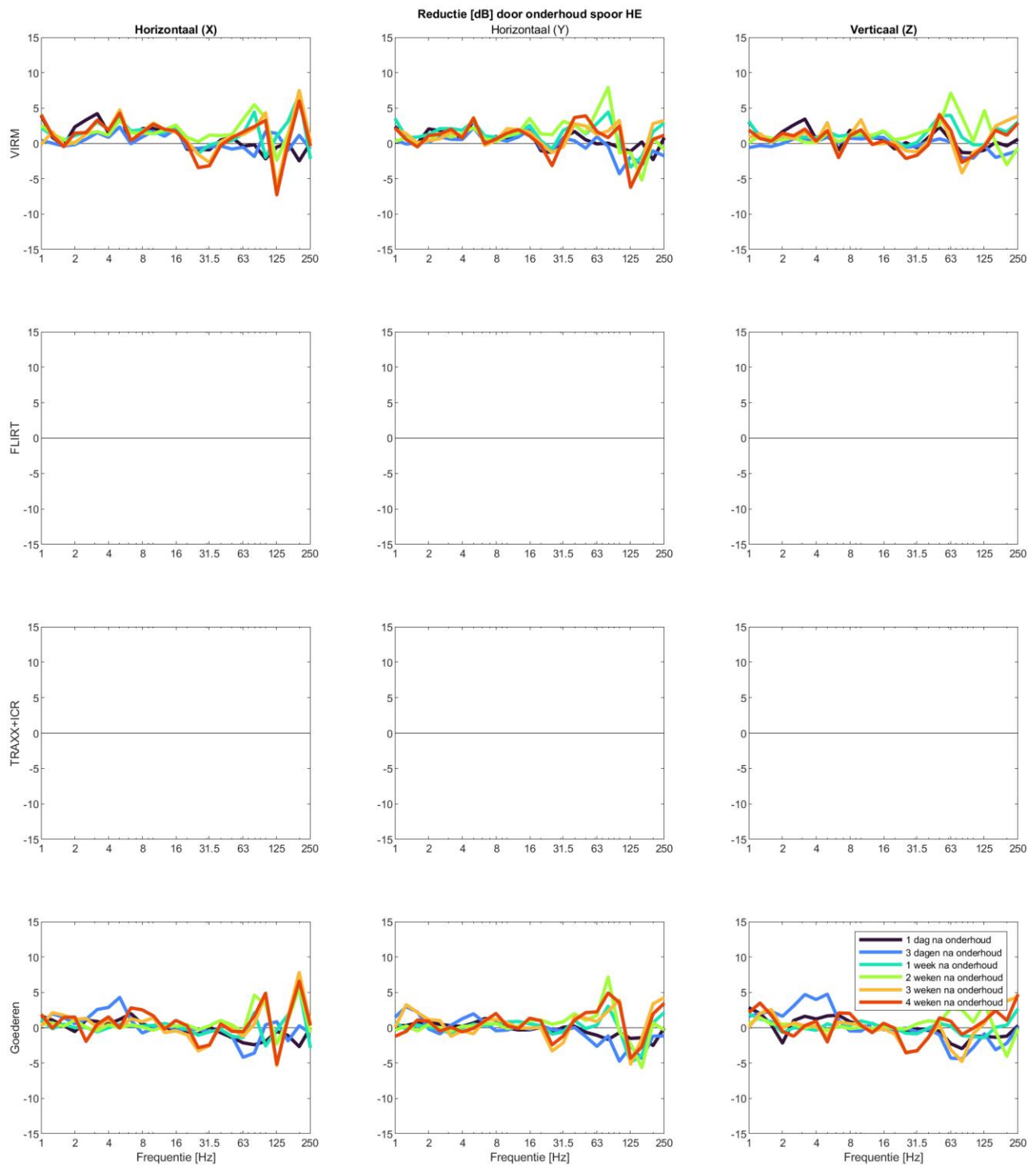


De spoorligging voor en na onderhoud is hieronder weergegeven.

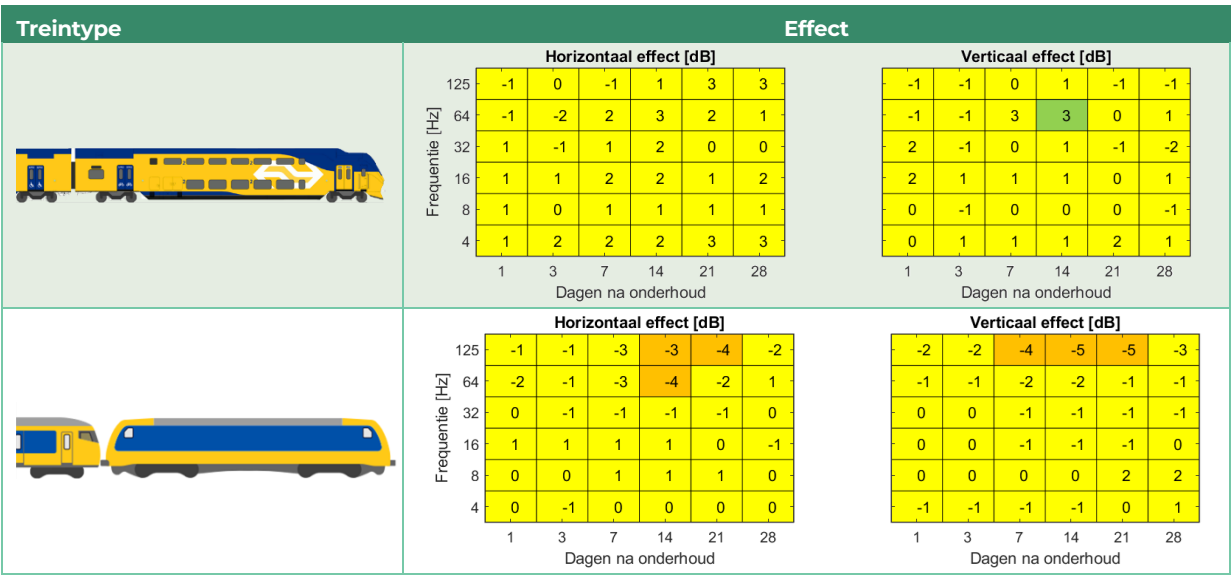


Figuur 68 Hoogteafwijking 10 meter koorde (linksboven), Hoogteafwijking D1 (rechtsboven), schiftafwijking 9 meter koorde (linksonder) en korte golf D0 afwijking (rechtsonder), spoor GE

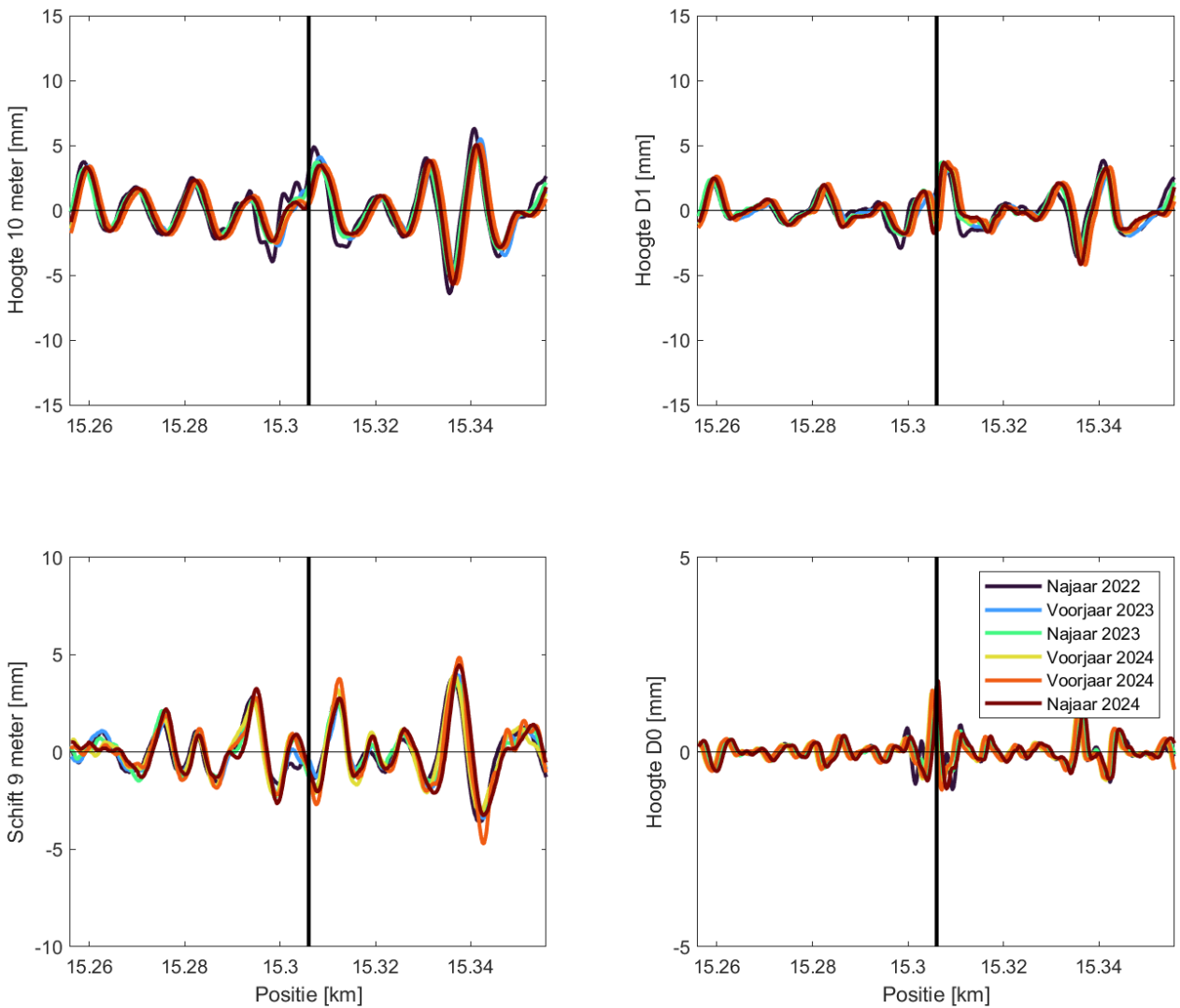
Hieronder is per treintype het gemiddelde effect van het onderhoud weergegeven. Een positief effect is een afname van de trillingen.



De resultaten per octaafbandfrequentie zijn hieronder weergegeven voor spoor HE.



De spoorligging voor en na onderhoud is hieronder weergegeven.



Figuur 69 Hoogteafwijking 10 meter koorde (linksboven), Hoogteafwijking D1 (rechtsboven), schiftafwijking 9 meter koorde (linksonder) en korte golf D0 afwijking (rechtsonder), spoor HE

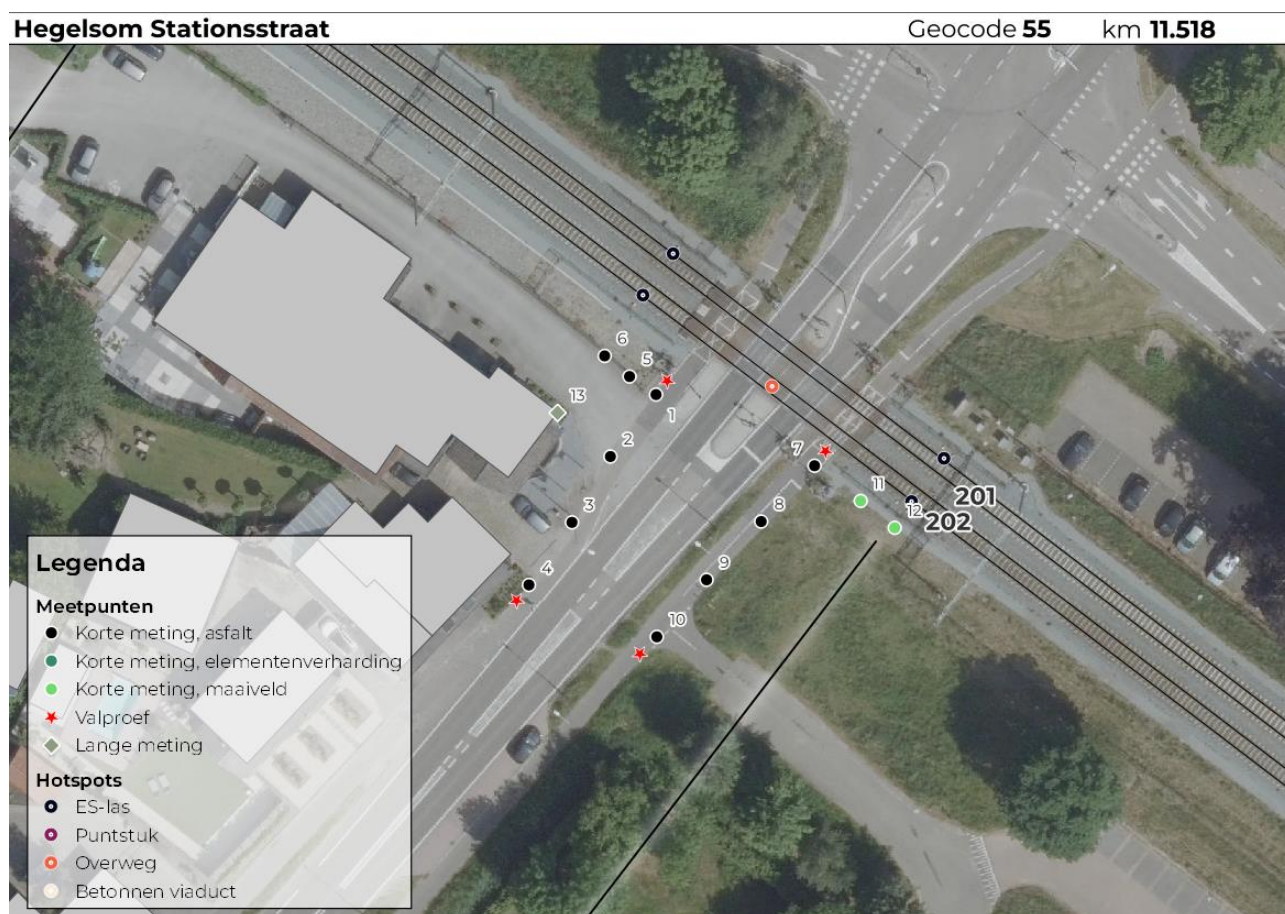


II.8 HORST – GEOCODE 055 – KM 11.5

De meetopstelling op deze locatie is weergegeven in Figuur 70. De onderhouds- en meetmomenten zijn weergegeven in Tabel 50.

Tabel 50 Onderhouds- en meetmomenten

Wat?	Van	Tot	Toelichting
Nulmeting	18 april 2023	19 april 2023	
Onderhoud spoor 201	29 april 2023	30 april 2023	Onderhoud ES-lassen
Onderhoud spoor 202	29 april 2023	30 april 2023	Onderhoud ES-lassen
Herhalingsmeting	12 juni 2023	13 juni 2023	
Langeduurmeting	18 april 2023	13 juni 2023	



Figuur 70 Meetopstelling

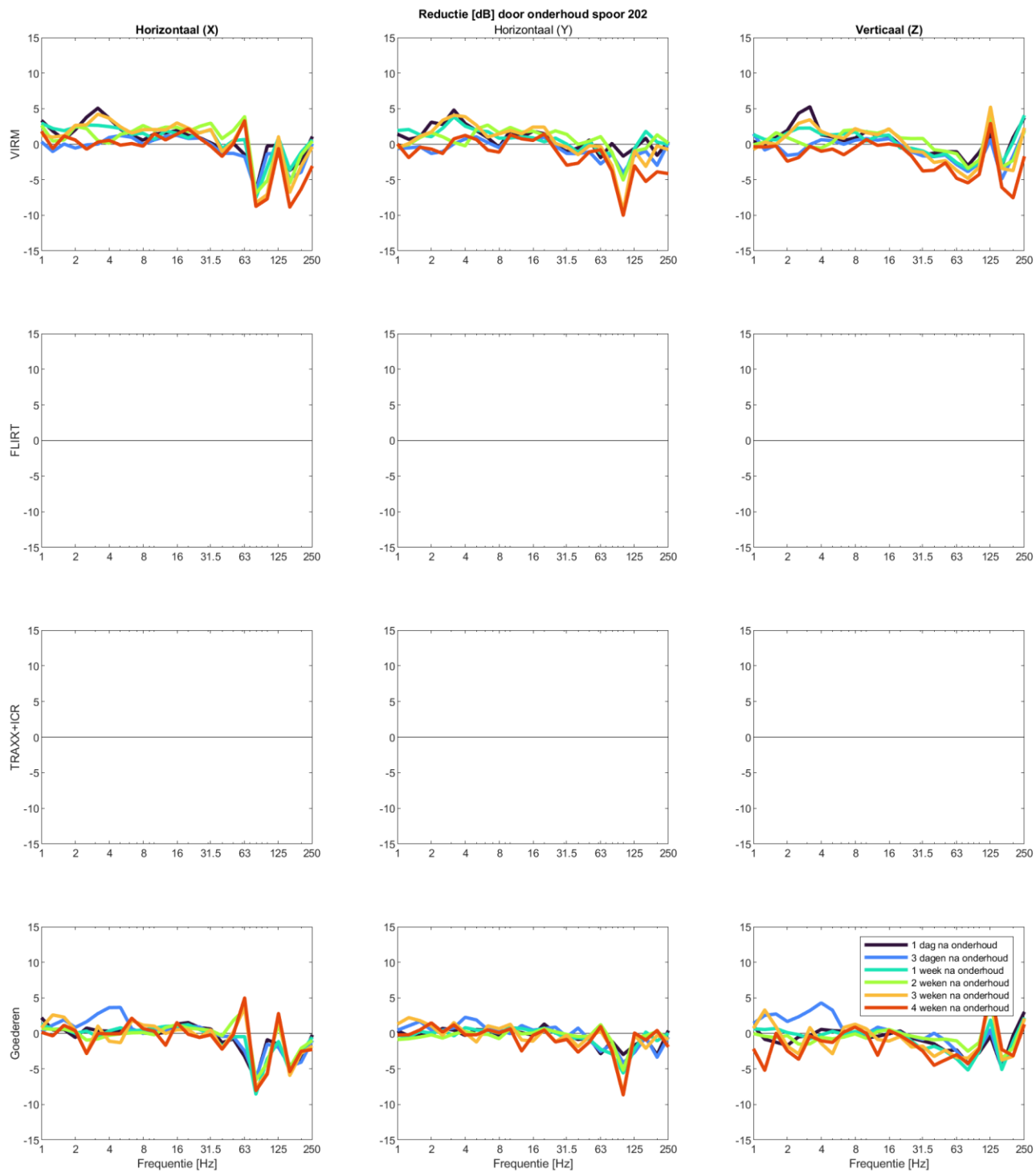
De meting is zoveel mogelijk uitgevoerd conform de standaard opstelling uit het Uniform Meetprotocol IBS. Van de standaard T-opstelling is op een aantal punten afgeweken i.v.m. de aanwezigheid van een weg en een spoorloot, zie Tabel 51. Meetpunten zijn waar mogelijk op verharding geplaatst voor reproduceerbaarheid bij de nameting.

Tabel 51 Meetpunten en vergelijking met afstanden uit Meetprotocol IBS

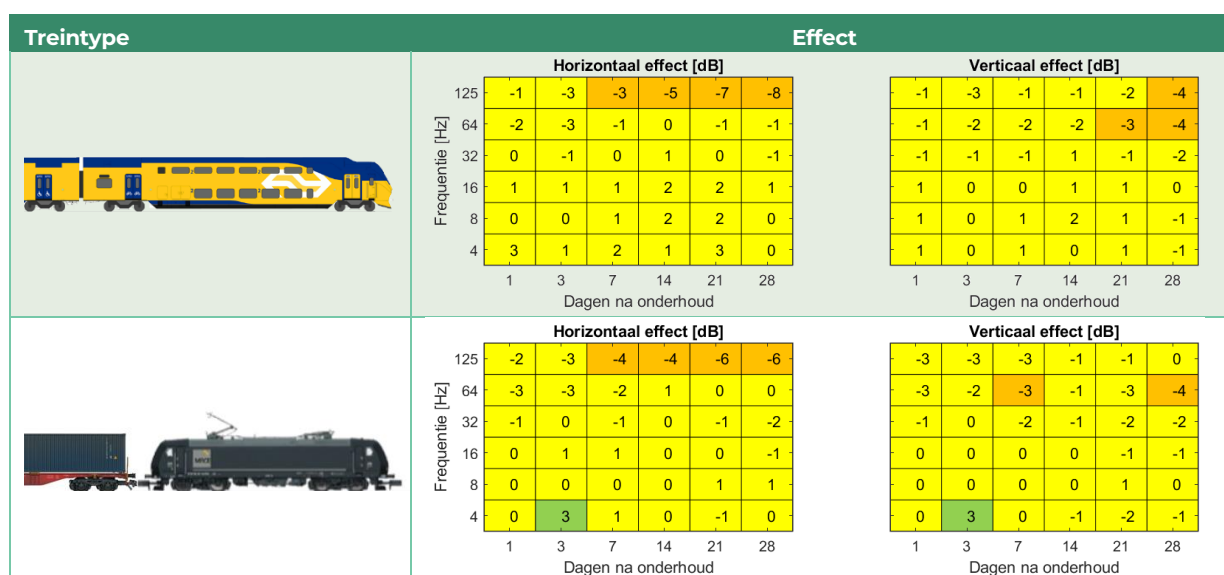
Meetpunten uit standaard IBS	Afstand spoor 202	Afstand spoor 201
		3 punten op 4 meter
3 punten op 8 meter	3 punten op 8 meter	3 punten op 8 meter
	3 punten op 12 meter	1 punt op 12 meter
1 punt op 16 meter	1 punt op 16 meter	1 punt op 16 meter
	1 punt op 20 meter	1 punt op 20 meter
1 punt op 24 meter	1 punt op 24 meter	
		1 punt op 28 meter
1 punt op 32 meter	1 punt op 32 meter	
1 punt op 64 meter		
1 vast punt op ≥ 20 meter	1 punt op 33 meter	1 punt op 29 meter

Voor de continue meting is gemeten aan de fundering van een nabijgelegen gebouw.

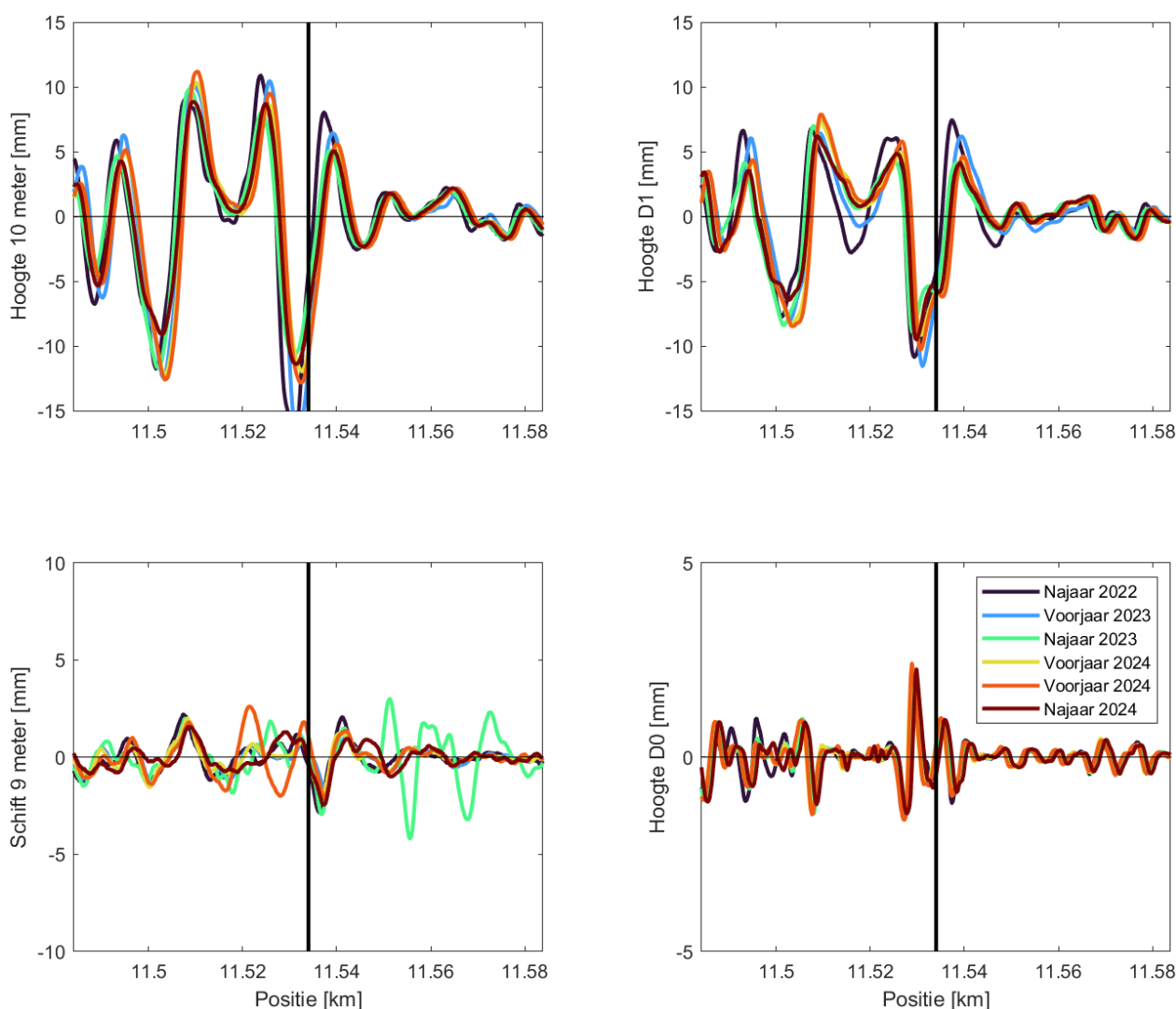
Hieronder is per treintype het gemiddelde effect van het onderhoud weergegeven.



De resultaten per octaafbandfrequentie zijn hieronder weergegeven voor spoor 202.

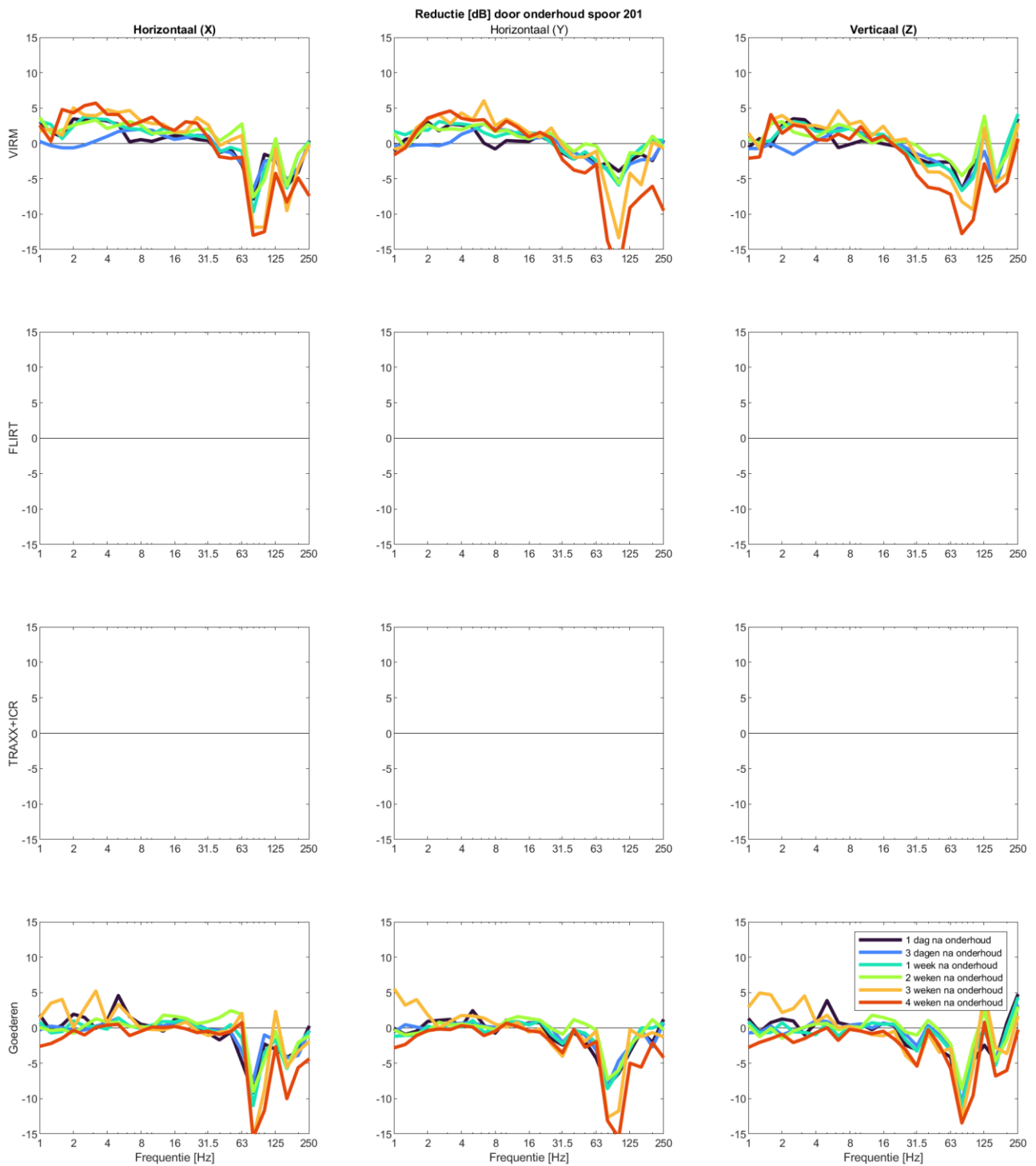


De spoorligging voor en na onderhoud is hieronder weergegeven.

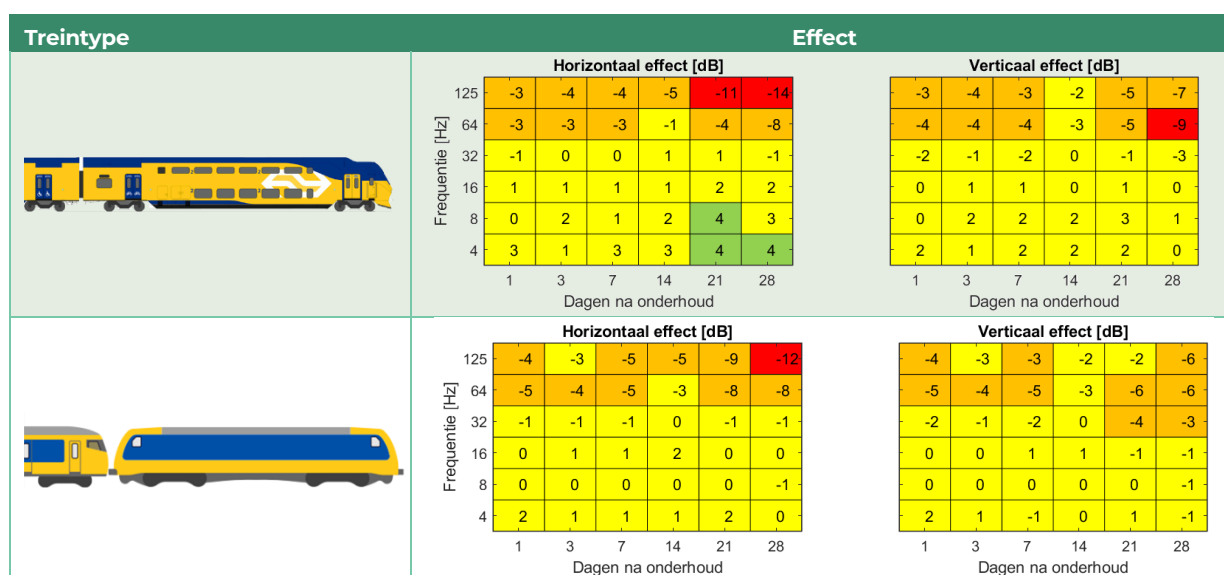


Figuur 71 Hoogteafwijking 10 meter koorde (linksboven), Hoogteafwijking D1 (rechtsboven), schiftafwijking 9 meter koorde (linksonder) en korte golf D0 afwijking (rechtsonder), spoor 202

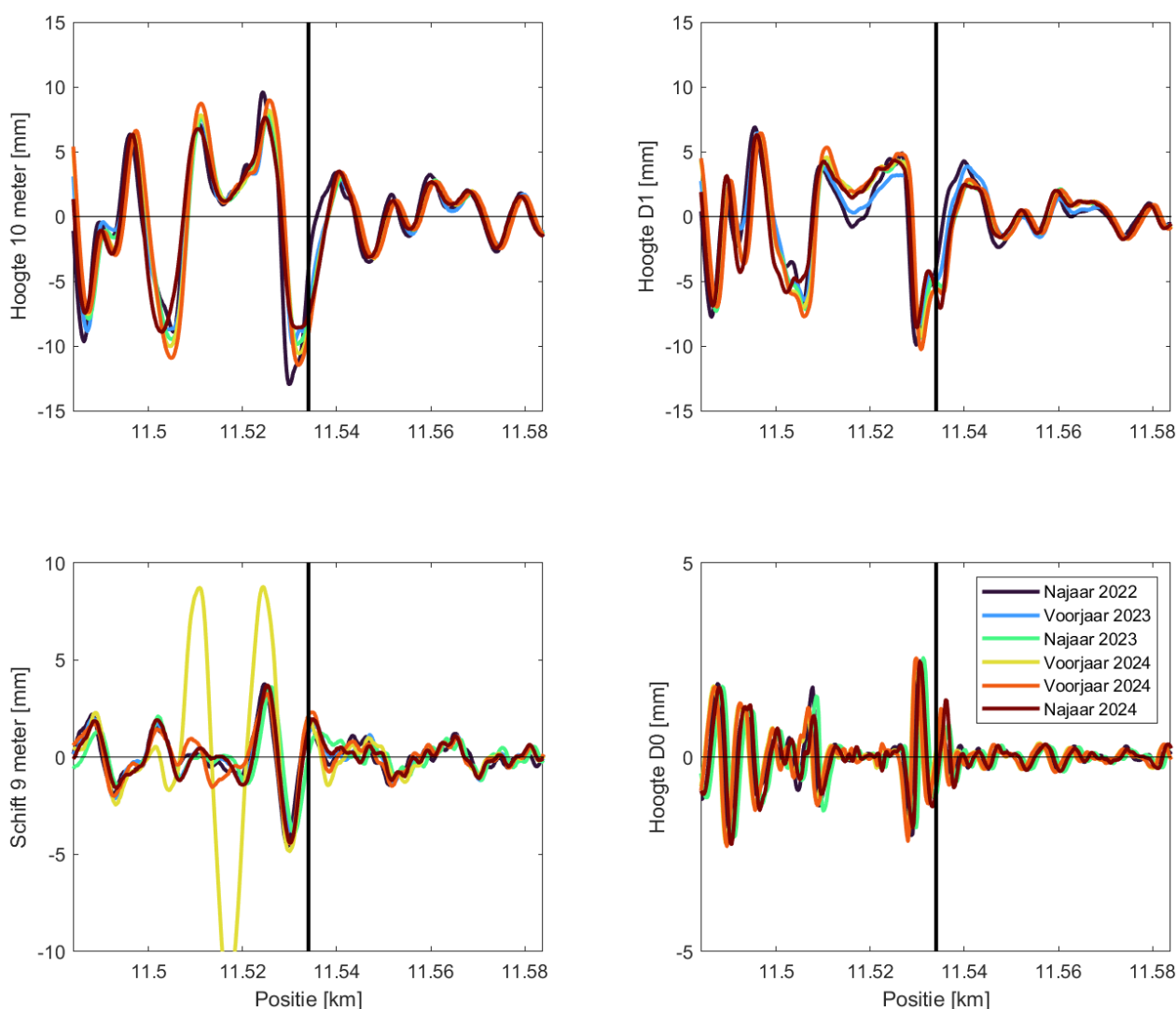
Hieronder is per treintype het gemiddelde effect van het onderhoud weergegeven. Een positief effect is een afname van de trillingen.



De resultaten per octaafbandfrequentie zijn hieronder weergegeven voor spoor 201.



De spoorligging voor en na onderhoud is hieronder weergegeven.



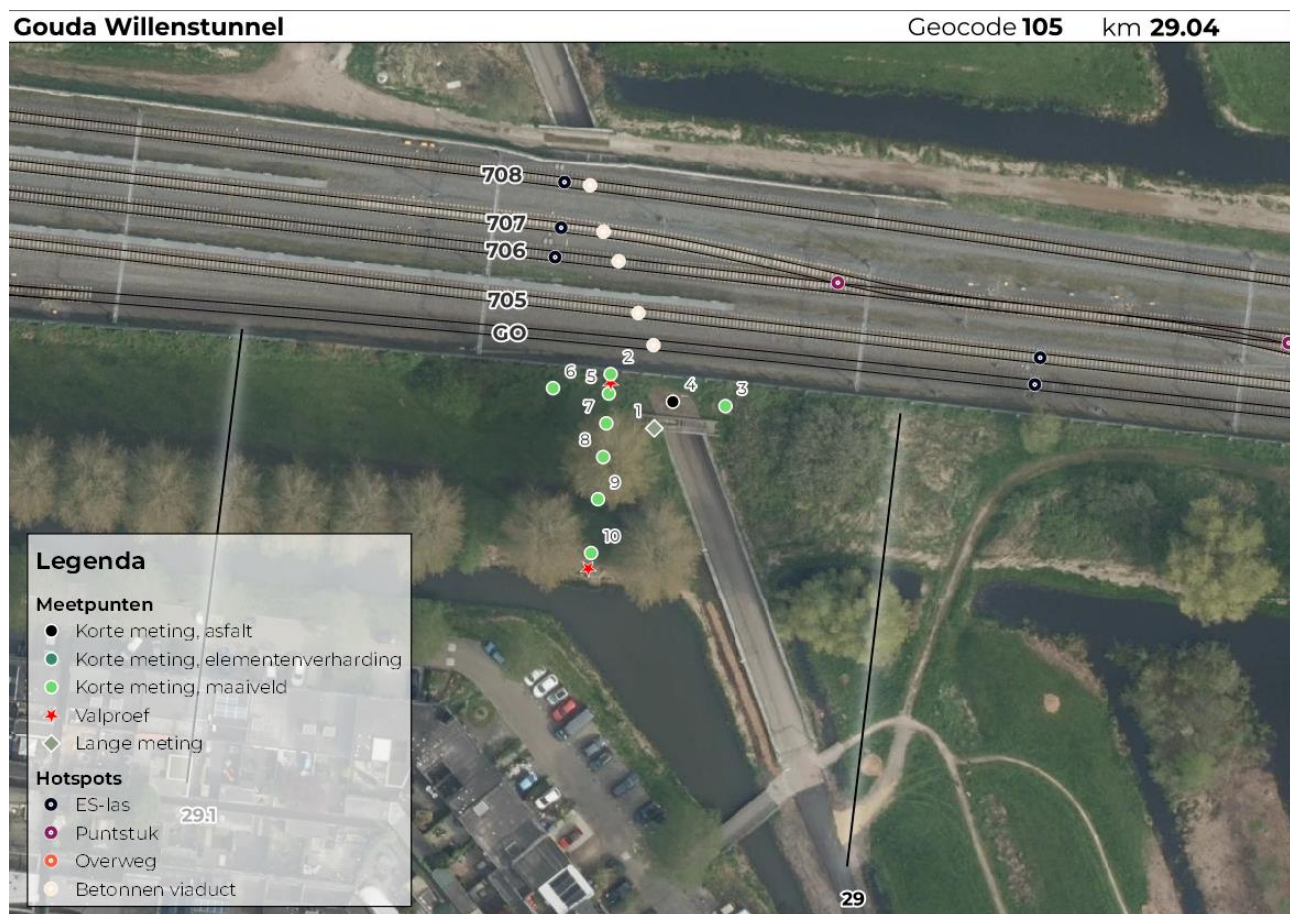
Figuur 72 Hoogteafwijking 10 meter koorde (linksboven), Hoogteafwijking D1 (rechtsboven), schiftafwijking 9 meter koorde (linksonder) en korte golf D0 afwijking (rechtsonder), spoor 201

II.9 GOUDA – GEOCODE 105 – KM 29.04

De meetopstelling op deze locatie is weergegeven in Figuur 73. De onderhouds- en meetmomenten zijn weergegeven in Tabel 52.

Tabel 52 Onderhouds- en meetmomenten

Wat?	Van	Tot	Toelichting
Nulmeting	8 augustus 2024	9 augustus 2024	
Onderhoud spoor GO	17 augustus 2024	18 augustus 2024	Onderstoptrein
Herhalingsmeting	24 september 2024	25 september 2024	
Langeduurmeting	8 augustus 2024	25 september 2024	



Figuur 73 Meetopstelling

De meting is zoveel mogelijk uitgevoerd conform de standaard opstelling uit het Uniform Meetprotocol IBS. Van de standaard T-opstelling is op een aantal punten afgeweken i.v.m. de aanwezigheid van water en de breedte van het spoortalud, zie Tabel 53. Meetpunten op maaiveld zijn met snelbeton bevestigd t.b.v. reproduceerbaarheid.

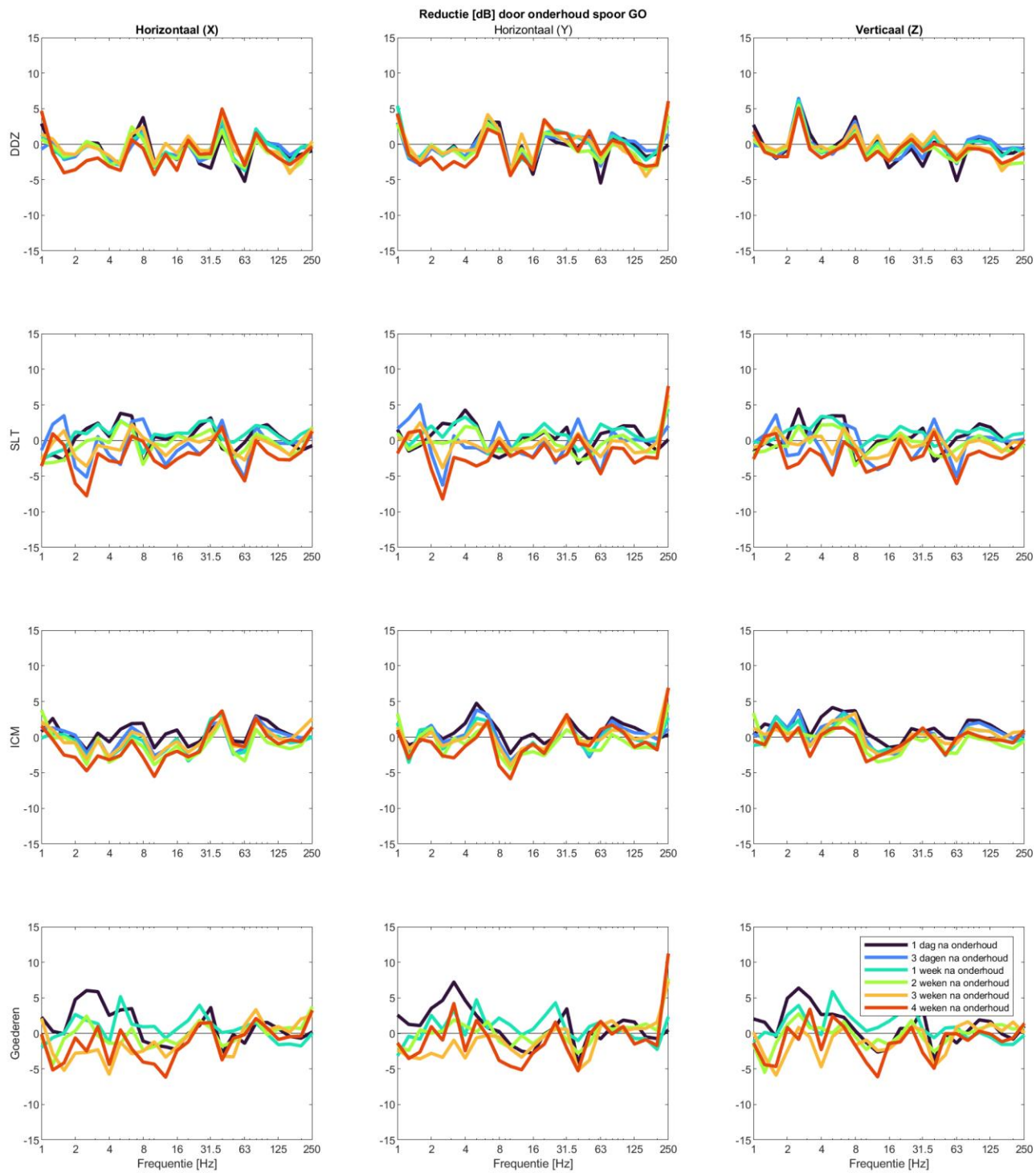
Tabel 53 Meetpunten en vergelijking met afstanden uit Meetprotocol IBS

Meetpunten uit standaard IBS	Afstand spoor GO	Afstand spoor 705	Afstand spoor 706	Afstand spoor 708
	1 punt op 5 meter			
3 punten op 8 meter	4 punten op 8 meter	1 punt op 9 meter		
	1 punt op 12 meter	4 punten op 12 meter		
1 punt op 16 meter		1 punt op 16 meter	1 punt op 17 meter	
	1 punt op 18 meter	1 punt op 22 meter	4 punten op 20 meter	
1 punt op 24 meter	1 punt op 24 meter		1 punt op 24 meter	
		1 punt op 28 meter	1 punt op 30 meter	1 punt op 28 meter
				4 punten op 31 meter
1 punt op 32 meter	1 punt op 32 meter			
			1 punt op 36 meter	1 punt op 35 meter
			1 punt op 44 meter	1 punt op 41 meter
				1 punt op 47 meter
				1 punt op 55 meter
1 punt op 64 meter		1 punt op 36 meter		
1 vast punt op ≥ 20 meter	1 punt op 12 meter	1 punt op 16 meter	1 punt op 24 meter	1 punt op 35 meter

Voor de continue meting is gemeten aan de onderdoorgang.



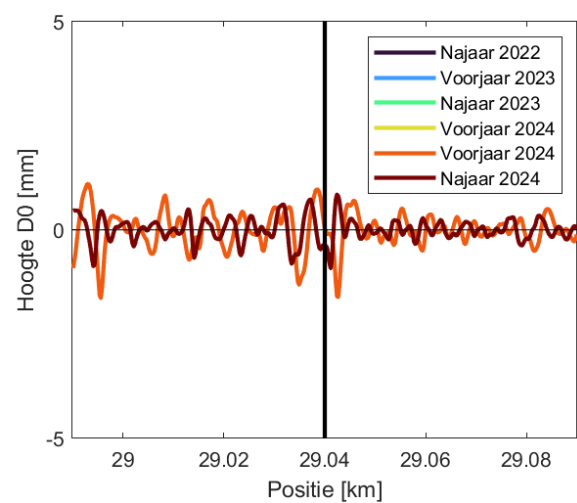
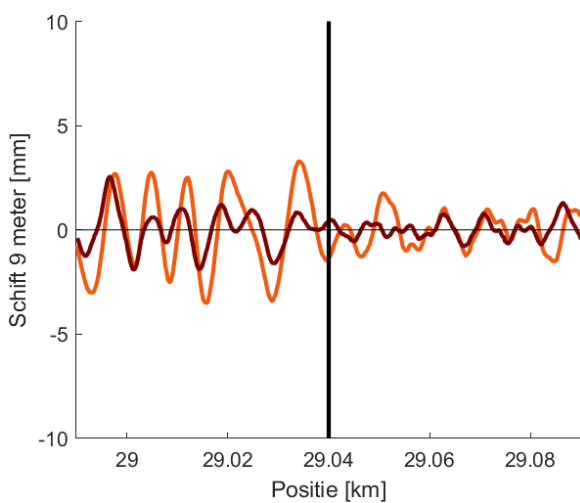
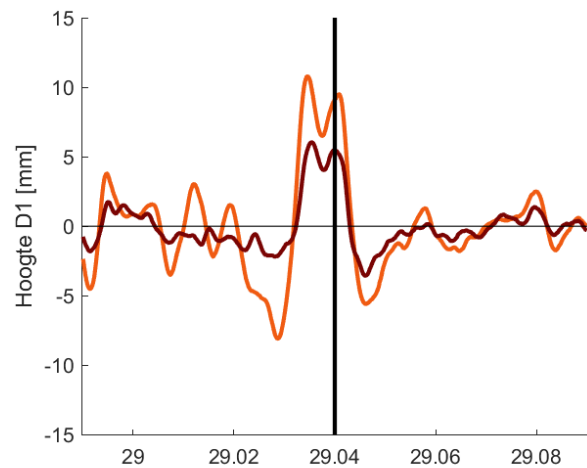
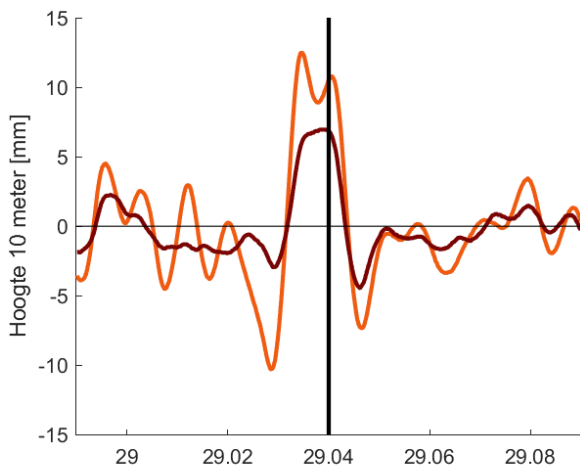
Hieronder is per treintype het gemiddelde effect van het onderhoud weergegeven.



De resultaten per octaafbandfrequentie zijn hieronder weergegeven voor spoor GO.

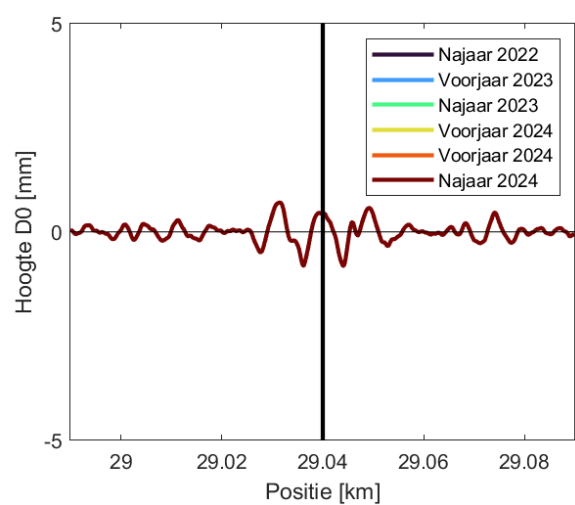
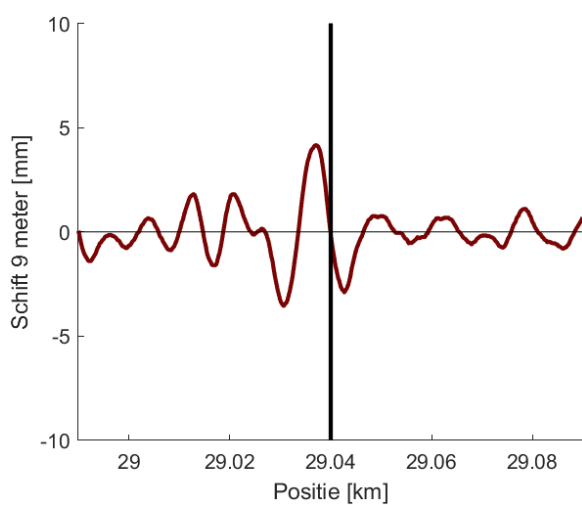
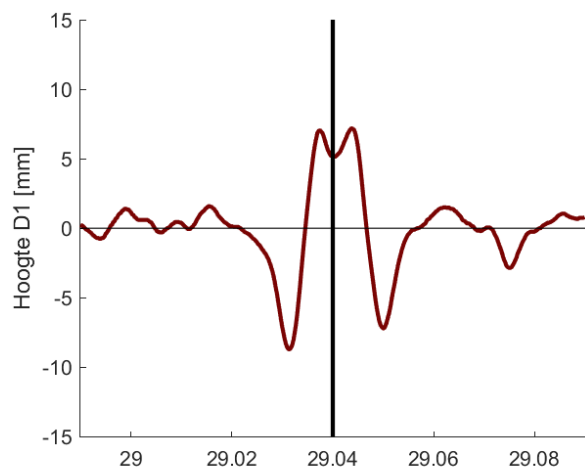
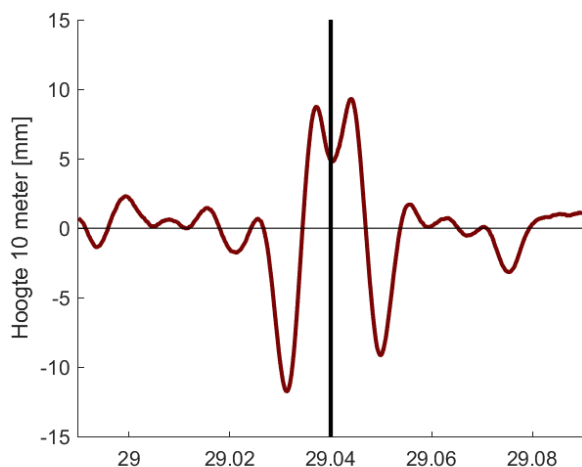
Treintype		Effect																																																																																																	
	Horizontaal effect [dB] <table><tr><td>125</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-2</td></tr><tr><td>64</td><td>0</td><td>-3</td><td>1</td><td>-1</td><td>-2</td><td>-3</td></tr><tr><td>32</td><td>-3</td><td>2</td><td>-1</td><td>-2</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>16</td><td>0</td><td>-2</td><td>1</td><td>0</td><td>-1</td><td>-3</td></tr><tr><td>8</td><td>-1</td><td>1</td><td>0</td><td>-2</td><td>0</td><td>-1</td></tr><tr><td>4</td><td>2</td><td>0</td><td>2</td><td>0</td><td>-1</td><td>-3</td></tr><tr><td></td><td>1</td><td>3</td><td>7</td><td>14</td><td>21</td><td>28</td></tr></table> Dagen na onderhoud Verticaal effect [dB] <table><tr><td></td><td>2</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>-2</td></tr><tr><td></td><td>0</td><td>-3</td><td>1</td><td>-1</td><td>-2</td><td>-4</td></tr><tr><td></td><td>-3</td><td>2</td><td>-1</td><td>-2</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td></td><td>0</td><td>-3</td><td>1</td><td>0</td><td>-2</td><td>-3</td></tr><tr><td></td><td>-1</td><td>0</td><td>0</td><td>-2</td><td>-1</td><td>-2</td></tr><tr><td></td><td>0</td><td>-1</td><td>2</td><td>0</td><td>0</td><td>-3</td></tr><tr><td></td><td>1</td><td>3</td><td>7</td><td>14</td><td>21</td><td>28</td></tr></table> Dagen na onderhoud	125	1	0	1	-1	-1	-2	64	0	-3	1	-1	-2	-3	32	-3	2	-1	-2	1	1	16	0	-2	1	0	-1	-3	8	-1	1	0	-2	0	-1	4	2	0	2	0	-1	-3		1	3	7	14	21	28		2	0	1	0	0	-2		0	-3	1	-1	-2	-4		-3	2	-1	-2	1	1		0	-3	1	0	-2	-3		-1	0	0	-2	-1	-2		0	-1	2	0	0	-3		1	3	7	14	21	28
125	1	0	1	-1	-1	-2																																																																																													
64	0	-3	1	-1	-2	-3																																																																																													
32	-3	2	-1	-2	1	1																																																																																													
16	0	-2	1	0	-1	-3																																																																																													
8	-1	1	0	-2	0	-1																																																																																													
4	2	0	2	0	-1	-3																																																																																													
	1	3	7	14	21	28																																																																																													
	2	0	1	0	0	-2																																																																																													
	0	-3	1	-1	-2	-4																																																																																													
	-3	2	-1	-2	1	1																																																																																													
	0	-3	1	0	-2	-3																																																																																													
	-1	0	0	-2	-1	-2																																																																																													
	0	-1	2	0	0	-3																																																																																													
	1	3	7	14	21	28																																																																																													
	Horizontaal effect [dB] <table><tr><td>125</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>-1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>64</td><td>0</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-2</td><td>-1</td><td>0</td></tr><tr><td>32</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>16</td><td>0</td><td>-1</td><td>-2</td><td>-2</td><td>-1</td><td>-2</td></tr><tr><td>8</td><td>-1</td><td>-2</td><td>-2</td><td>-3</td><td>-2</td><td>-4</td></tr><tr><td>4</td><td>1</td><td>0</td><td>-1</td><td>-2</td><td>-1</td><td>-2</td></tr><tr><td></td><td>1</td><td>3</td><td>7</td><td>14</td><td>21</td><td>28</td></tr></table> Dagen na onderhoud Verticaal effect [dB] <table><tr><td></td><td>2</td><td>2</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td></td><td>0</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-2</td><td>-1</td><td>0</td></tr><tr><td></td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td></td><td>-1</td><td>-2</td><td>-2</td><td>-3</td><td>-2</td><td>-2</td></tr><tr><td></td><td>2</td><td>1</td><td>0</td><td>-1</td><td>0</td><td>-2</td></tr><tr><td></td><td>3</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td></td><td>1</td><td>3</td><td>7</td><td>14</td><td>21</td><td>28</td></tr></table> Dagen na onderhoud	125	1	1	0	-1	0	0	64	0	-1	-1	-2	-1	0	32	1	0	0	0	0	0	16	0	-1	-2	-2	-1	-2	8	-1	-2	-2	-3	-2	-4	4	1	0	-1	-2	-1	-2		1	3	7	14	21	28		2	2	1	0	1	0		0	-1	-1	-2	-1	0		1	0	0	0	0	0		-1	-2	-2	-3	-2	-2		2	1	0	-1	0	-2		3	1	1	0	1	0		1	3	7	14	21	28
125	1	1	0	-1	0	0																																																																																													
64	0	-1	-1	-2	-1	0																																																																																													
32	1	0	0	0	0	0																																																																																													
16	0	-1	-2	-2	-1	-2																																																																																													
8	-1	-2	-2	-3	-2	-4																																																																																													
4	1	0	-1	-2	-1	-2																																																																																													
	1	3	7	14	21	28																																																																																													
	2	2	1	0	1	0																																																																																													
	0	-1	-1	-2	-1	0																																																																																													
	1	0	0	0	0	0																																																																																													
	-1	-2	-2	-3	-2	-2																																																																																													
	2	1	0	-1	0	-2																																																																																													
	3	1	1	0	1	0																																																																																													
	1	3	7	14	21	28																																																																																													
	Horizontaal effect [dB] <table><tr><td>125</td><td>0</td><td>0</td><td>-1</td><td>-2</td><td>-2</td><td>-2</td></tr><tr><td>64</td><td>-4</td><td>-2</td><td>-1</td><td>-2</td><td>-1</td><td>0</td></tr><tr><td>32</td><td>-1</td><td>-1</td><td>0</td><td>-1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>16</td><td>-2</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td><td>0</td><td>-2</td></tr><tr><td>8</td><td>-2</td><td>-2</td><td>-2</td><td>-2</td><td>-2</td><td>-3</td></tr><tr><td>4</td><td>-2</td><td>-2</td><td>-2</td><td>-3</td><td>-2</td><td>-4</td></tr><tr><td></td><td>1</td><td>3</td><td>7</td><td>14</td><td>21</td><td>28</td></tr></table> Dagen na onderhoud Verticaal effect [dB] <table><tr><td></td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td></tr><tr><td></td><td>-3</td><td>-2</td><td>-2</td><td>-2</td><td>-1</td><td>-2</td></tr><tr><td></td><td>-1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td></td><td>-2</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td><td>0</td><td>-2</td></tr><tr><td></td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>-1</td><td>0</td><td>-1</td></tr><tr><td></td><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-2</td></tr><tr><td></td><td>1</td><td>3</td><td>7</td><td>14</td><td>21</td><td>28</td></tr></table> Dagen na onderhoud	125	0	0	-1	-2	-2	-2	64	-4	-2	-1	-2	-1	0	32	-1	-1	0	-1	0	0	16	-2	-1	-1	-1	0	-2	8	-2	-2	-2	-2	-2	-3	4	-2	-2	-2	-3	-2	-4		1	3	7	14	21	28		1	1	0	-1	-1	-1		-3	-2	-2	-2	-1	-2		-1	0	0	0	1	0		-2	-1	-1	-1	0	-2		0	0	0	-1	0	-1		-1	-1	-1	-1	-1	-2		1	3	7	14	21	28
125	0	0	-1	-2	-2	-2																																																																																													
64	-4	-2	-1	-2	-1	0																																																																																													
32	-1	-1	0	-1	0	0																																																																																													
16	-2	-1	-1	-1	0	-2																																																																																													
8	-2	-2	-2	-2	-2	-3																																																																																													
4	-2	-2	-2	-3	-2	-4																																																																																													
	1	3	7	14	21	28																																																																																													
	1	1	0	-1	-1	-1																																																																																													
	-3	-2	-2	-2	-1	-2																																																																																													
	-1	0	0	0	1	0																																																																																													
	-2	-1	-1	-1	0	-2																																																																																													
	0	0	0	-1	0	-1																																																																																													
	-1	-1	-1	-1	-1	-2																																																																																													
	1	3	7	14	21	28																																																																																													
	Horizontaal effect [dB] <table><tr><td>125</td><td>0</td><td></td><td>-1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>64</td><td>0</td><td></td><td>1</td><td>-1</td><td>-2</td><td>0</td></tr><tr><td>32</td><td>-3</td><td></td><td>-1</td><td>-2</td><td>-5</td><td>-5</td></tr><tr><td>16</td><td>-2</td><td></td><td>0</td><td>-1</td><td>-3</td><td>-4</td></tr><tr><td>8</td><td>0</td><td></td><td>1</td><td>-1</td><td>-2</td><td>-3</td></tr><tr><td>4</td><td>4</td><td></td><td>1</td><td>0</td><td>-3</td><td>-1</td></tr><tr><td></td><td>1</td><td>3</td><td>7</td><td>14</td><td>21</td><td>28</td></tr></table> Dagen na onderhoud Verticaal effect [dB] <table><tr><td></td><td>1</td><td></td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td></td><td>-1</td><td></td><td>0</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td></tr><tr><td></td><td>-3</td><td></td><td>0</td><td>-2</td><td>-4</td><td>-4</td></tr><tr><td></td><td>-2</td><td></td><td>2</td><td>-1</td><td>-2</td><td>-4</td></tr><tr><td></td><td>1</td><td></td><td>2</td><td>0</td><td>0</td><td>-1</td></tr><tr><td></td><td>3</td><td></td><td>1</td><td>0</td><td>-3</td><td>0</td></tr><tr><td></td><td>1</td><td>3</td><td>7</td><td>14</td><td>21</td><td>28</td></tr></table> Dagen na onderhoud	125	0		-1	1	1	0	64	0		1	-1	-2	0	32	-3		-1	-2	-5	-5	16	-2		0	-1	-3	-4	8	0		1	-1	-2	-3	4	4		1	0	-3	-1		1	3	7	14	21	28		1		0	1	1	0		-1		0	-1	-1	-1		-3		0	-2	-4	-4		-2		2	-1	-2	-4		1		2	0	0	-1		3		1	0	-3	0		1	3	7	14	21	28
125	0		-1	1	1	0																																																																																													
64	0		1	-1	-2	0																																																																																													
32	-3		-1	-2	-5	-5																																																																																													
16	-2		0	-1	-3	-4																																																																																													
8	0		1	-1	-2	-3																																																																																													
4	4		1	0	-3	-1																																																																																													
	1	3	7	14	21	28																																																																																													
	1		0	1	1	0																																																																																													
	-1		0	-1	-1	-1																																																																																													
	-3		0	-2	-4	-4																																																																																													
	-2		2	-1	-2	-4																																																																																													
	1		2	0	0	-1																																																																																													
	3		1	0	-3	0																																																																																													
	1	3	7	14	21	28																																																																																													

De spoorligging voor en na onderhoud is hieronder weergegeven.

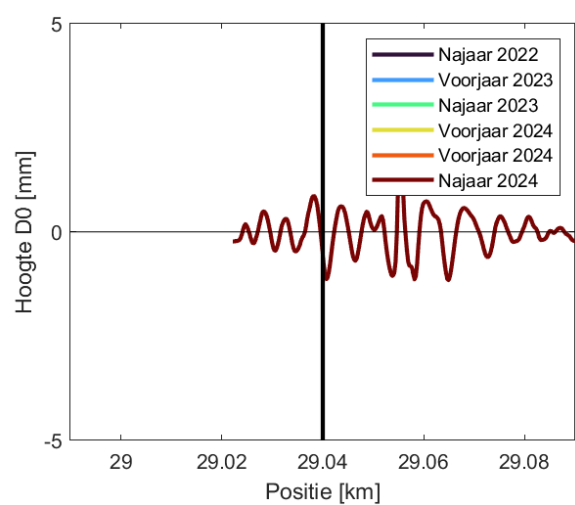
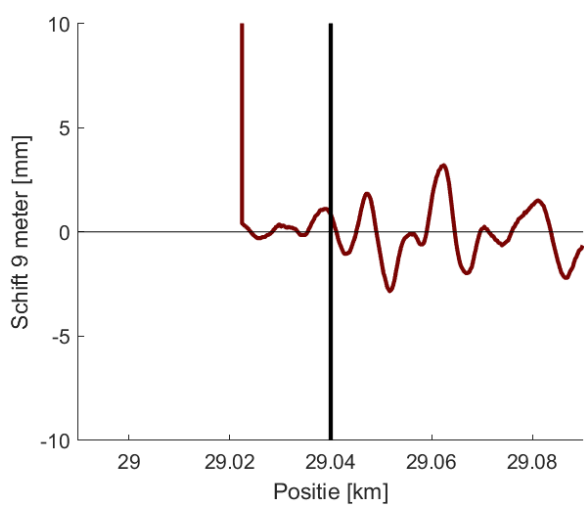
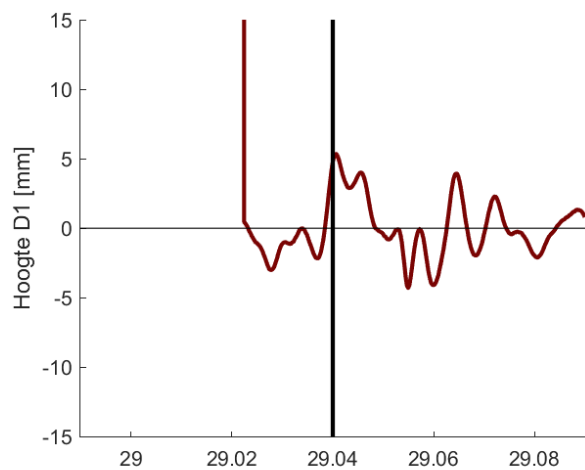
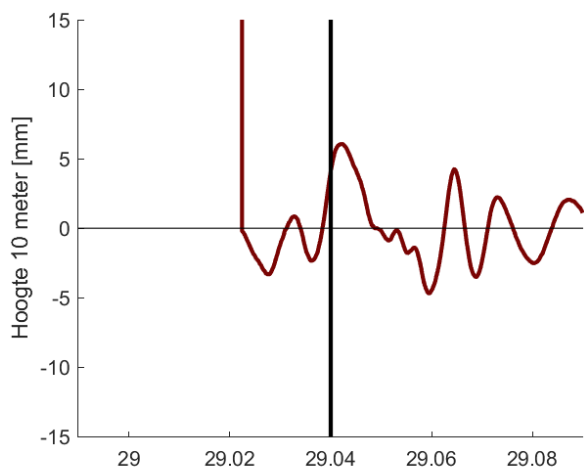


Figuur 74 Hoogteafwijking 10 meter koorde (linksboven), Hoogteafwijking D1 (rechtsboven), schiftafwijking 9 meter koorde (linksonder) en korte golf D0 afwijking (rechtsonder), spoor GO

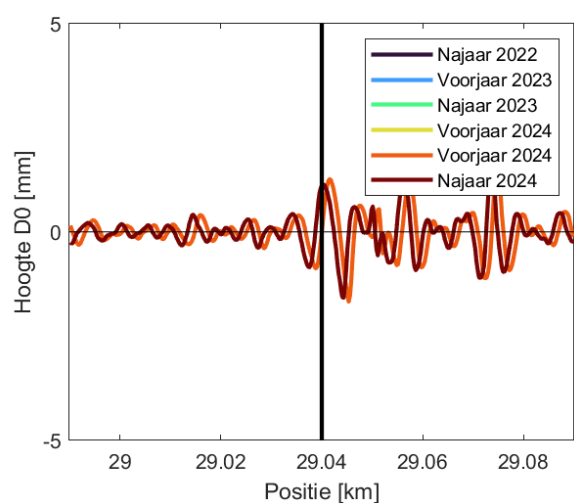
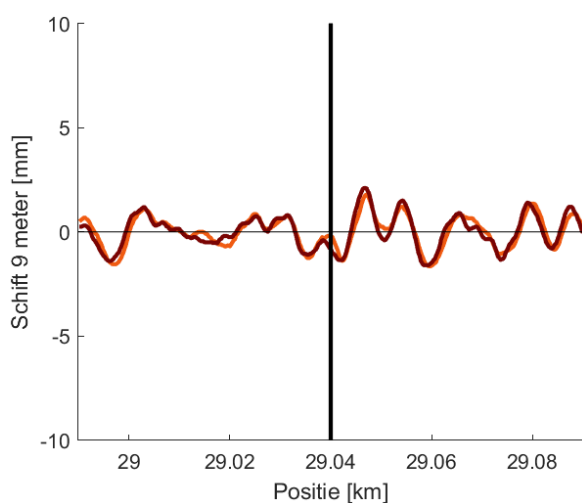
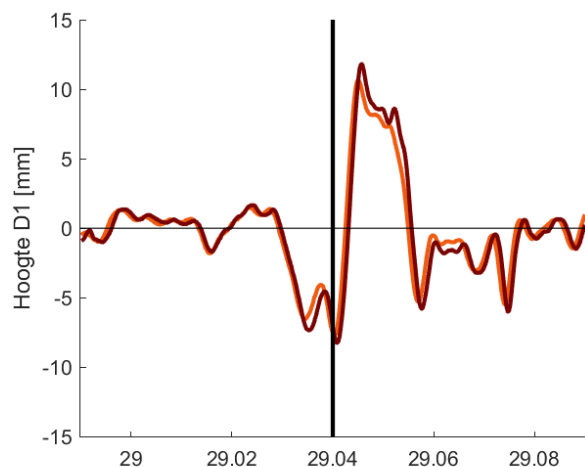
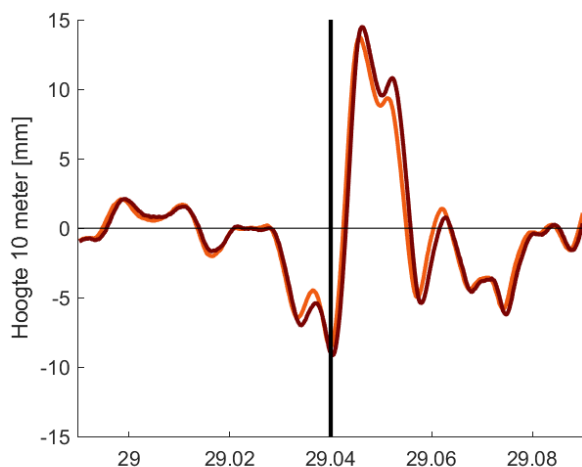
Voor de overige sporen (705, 706 en 708) is de spoorligging hieronder weergegeven.



Figuur 75 Hoogteafwijking 10 meter koorde (linksboven), Hoogteafwijking D1 (rechtsboven), schiftafwijking 9 meter koorde (linksonder) en korte golf D0 afwijking (rechtsonder), spoor 705



Figuur 76 Hoogteafwijking 10 meter koorde (linksboven), Hoogteafwijking D1 (rechtsboven), schiffafwijking 9 meter koorde (linksonder) en korte golf D0 afwijking (rechtsonder), spoor 706



Figuur 77 Hoogteafwijking 10 meter koorde (linksboven), Hoogteafwijking D1 (rechtsboven), schiftafwijking 9 meter koorde (linksonder) en korte golf D0 afwijking (rechtsonder), spoor 708



II.10 OUDEWATER – GEOCODE 105 – KM 24.92

De meetopstelling op deze locatie is weergegeven in Figuur 78. De onderhouds- en meetmomenten zijn weergegeven in Tabel 54.

Tabel 54 Onderhouds- en meetmomenten

Wat?	Van	Tot	Toelichting
Nulmeting	14 augustus 2024	15 augustus 2024	
Herhalingsmeting	2 oktober 2024	3 oktober 2024	
Langeduurmeting	14 augustus 2024	2 oktober 2024	



Figuur 78 Meetopstelling

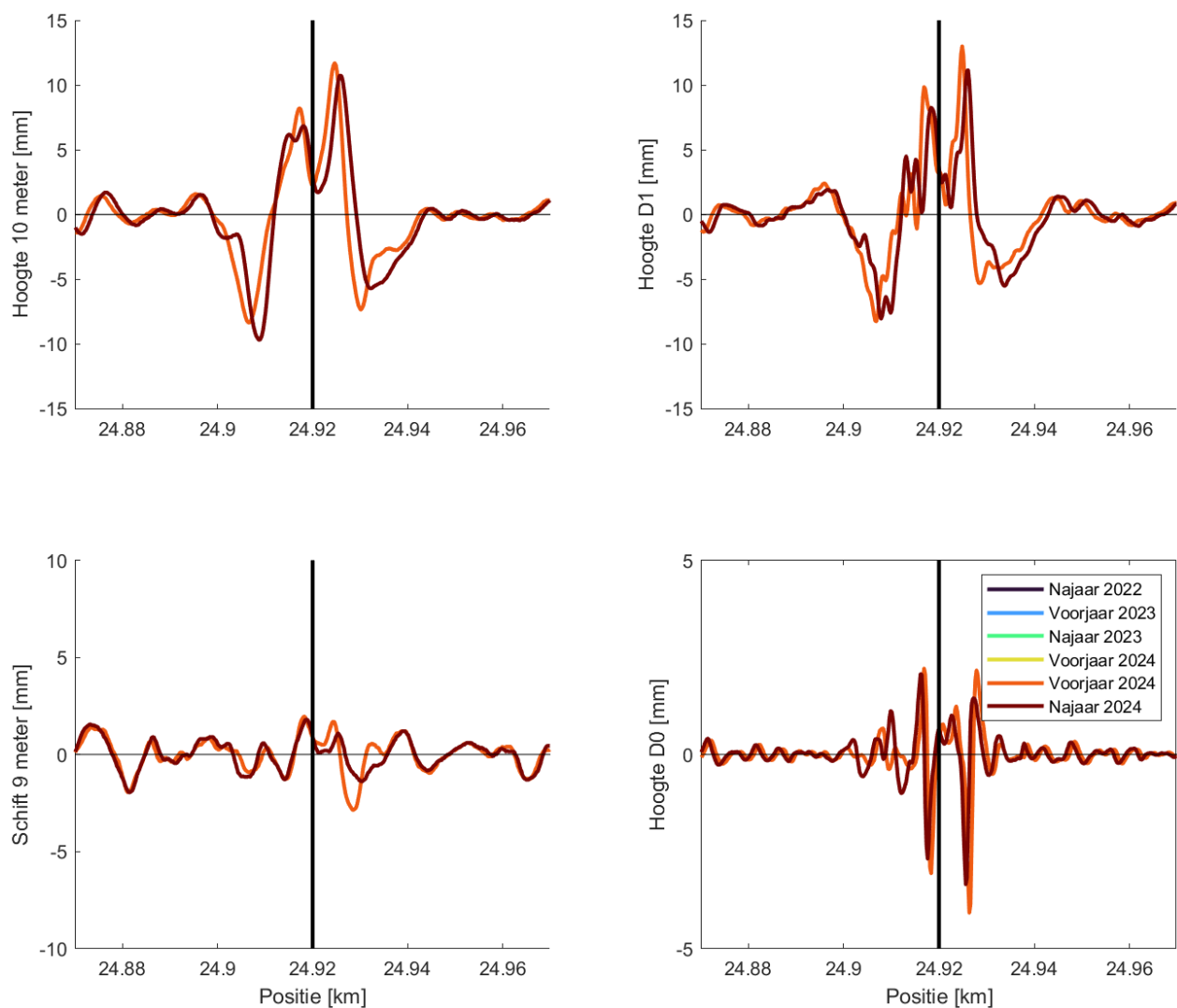
De meting is zoveel mogelijk uitgevoerd conform de standaard opstelling uit het Uniform Meetprotocol IBS. Van de standaard T-opstelling is op een aantal punten afgeweken i.v.m. de gedeeltelijke ligging binnen spoorhekken en de aanwezigheid van een doorgaande weg, zie Tabel 55. Meetpunten zijn op verharding geplaatst voor reproduceerbaarheid bij de nameting.

Tabel 55 Meetpunten en vergelijking met afstanden uit Meetprotocol IBS

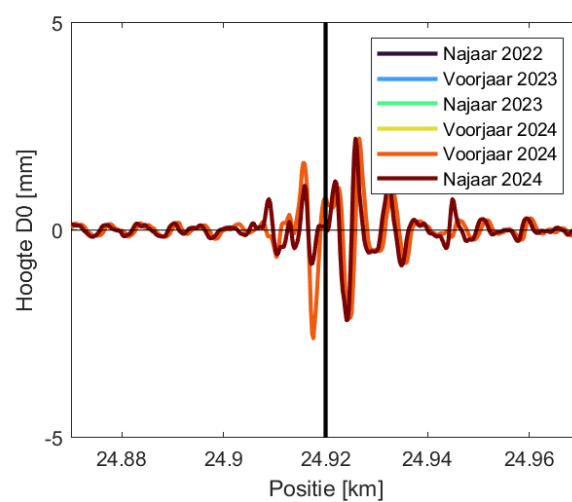
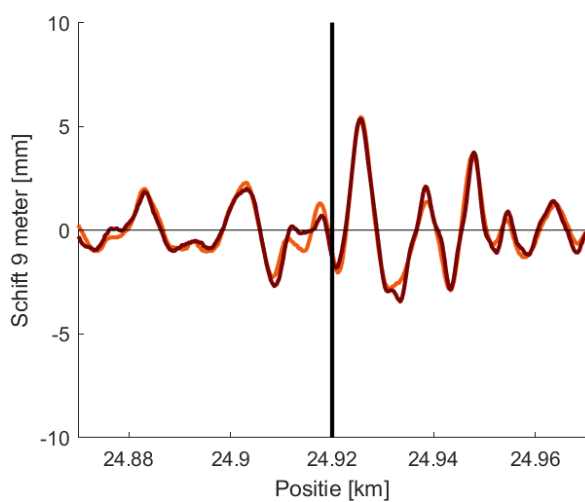
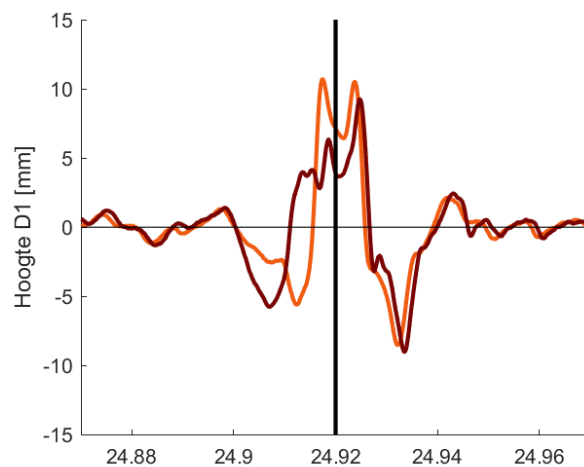
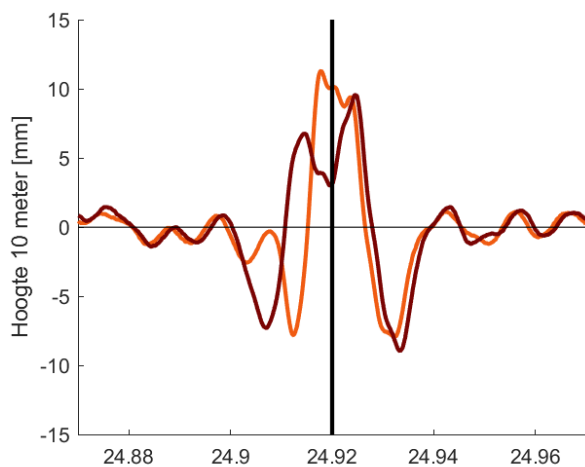
Meetpunten uit standaard IBS	Afstand spoor GO	Afstand spoor GB
3 punten op 8 meter		
	3 punten op 14 meter	
1 punt op 16 meter		
	1 punt op 20 meter	3 punten op 18 meter
1 punt op 24 meter		1 punt op 24 meter
	1 punt op 28 meter	
1 punt op 32 meter		1 punt op 32 meter
1 punt op 64 meter		
1 vast punt op ≥ 20 meter	1 punt op 20 meter	1 punt op 24 meter

Voor de continue meting is gemeten aan de fundering van het kunstwerk.

De spoorligging van beide sporen is hierna weergegeven.



Figuur 79 Hoogteafwijking 10 meter koorde (linksboven), Hoogteafwijking D1 (rechtsboven), schiftafwijking 9 meter koorde (linksonder) en korte golf D0 afwijking (rechtsonder), spoor GO



Figuur 80 Hoogteafwijking 10 meter koorde (linksboven), Hoogteafwijking D1 (rechtsboven), schiftafwijking 9 meter koorde (linksonder) en korte golf D0 afwijking (rechtsonder), spoor GB

DATA ANALYSE

Deze bijlage bevat meer informatie over de data-analyse. Eerst gaan we dieper in op de uitgevoerde analyse. We beschrijven eerst hoe de data is verzameld en gekoppeld, vervolgens gaan we in op de data-exploratie en tenslotte op de uitgevoerde random forest analyse.

III.1 DATA VERZAMELEN EN KOPPELEN

Eerder onderzoek wijst uit dat er veel verschillende parameters zijn die de hoogte van en de variatie in spoortrillingen kunnen verklaren. Om het effect van onderhoud op spoortrillingen op zichzelf te verklaren is het dus belangrijk om een compleet beeld te vormen van de context van elke treinpassage. Hiervoor zijn zowel databronnen van ProRail als openbare databronnen gekoppeld aan de meetdata.

Treinpassage – De trillingen zijn met behulp van trillingsmetingen conform het Uniform Meetprotocol IBS vastgesteld en opgeleverd door D2S International, in de vorm van een meetjournaal en losse trace-files per treinpassage. Aan elke treinpassage hangt een timestamp, snelheid, passageduur, en de waarde van $V_{\max}$ en $V_{\text{rms},5s}$ plus tertsbandspectra voor elke richting (X,Y,Z). Op basis van de passagetijd en de meetlocatie is hier een treinnummer en spoornummer aan toegevoegd uit de QuoVadis data. Categorisering van treintypes heeft plaatsgevonden op basis van de categorie-indeling uit het Uniform Meetprotocol IBS. Vervolgens is bepaald of de passage voor of na onderhoud heeft plaatsgevonden en wat de tijd tot/na het onderhoud is. De datasets met treinpassages per meetpunt vormen de basis voor de hierop volgende stappen.

Outlierdetectie – Op basis van een niet-lineaire regressieanalyse zijn uitschieters in $V_{\max}$ en $V_{\text{rms},5s}$ gemarkeerd. Dit is gedaan door een curve te fitten door alle gemeten waarden t.o.v. de snelheid, de afwijking van deze curve te bepalen voor elke passage en vervolgens op basis van de Interquartile Range (IQR) grenswaarden te bepalen. Deze grenswaarden zijn bepaald per meetpunt, per spoor en per materieeltype en per periode (voor en na onderhoud) over een tijdsrange van maximaal 3 dagen.

QuoVadis – De QuoVadis data geeft inzichten vanuit de doorbuiging die een wiel van een rijdende trein uitoefent op het spoor. Denk hierbij aan informatie als lengte van de trein, rijnsnelheid, aslast, aantal assen, dynamische aslast, wielonrondheid en scheefbelading. Op basis van de eerder koppelde treinnummers is de QuoVadis data van elke treinpassage opgehaald. Deze data, die per wiel gemeten wordt, is op verschillende manieren geaggregeerd tot passageniveau (maximum, minimum, standaarddeviatie, gemiddelde en mediaan).

BBMS – Data van het Branche Breed Monitoring Systeem (BBMS) is gebruikt om de conditie van het spoor in kaart te brengen zowel voor als na onderhoud. Deze data wordt twee keer per jaar ingewonnen. Bij treinpassages vóór het onderhoud wordt de meest recente meting vóór onderhoud gebruikt, bij treinpassages ná het onderhoud wordt de meest recente meting ná onderhoud aangehouden. Voor elk meetpunt is over een lengte van 3, 15 en 100 meter in beide richtingen langs het betreffende spoor de BBMS-data opgehaald en geaggregeerd (RMS-waarde, maximum, minimum, gemiddelde, mediaan, standaarddeviatie). Voor gegevens zoals hoogte, schift en golfslijtage, waarbij zowel voor links als rechts een waarde gegeven is zijn het verschil tussen de twee, het gemiddelde en het maximum bepaald voor elk datapunt alvorens te aggregeren over de lengte van het spoor.

KNMI – Omdat weercondities zoals temperatuur, neerslag en zoninstraling impact kunnen hebben op spoortrillingen is het belangrijk om hiervoor te corrigeren als situaties voor en na onderhoud met elkaar vergeleken worden. Hiervoor is meteodata verzameld van de weerstations van het KNMI.² Aan elke treinpassage is zijn de relevante urengegevens (temperatuur, globale straling, neerslag en luchtvochtigheid) gekoppeld behorende bij het moment van de treinpassage. Daarnaast is de som van de neerslag over 1 dag, 1 week en 1 maand vóór de treinpassage berekend, omdat dit een indicatie geeft over hoe nat de bodem is.

BRO – De samenstelling van de ondergrond is bepalend voor zowel het ontstaan als het uitdempen van spoortrillingen. Met behulp van de bodemkaart uit de Basisregistratie Ondergrond (BRO) is voor elke hotspot de dominante grondsoort bepaald (klei, zand, etc.). Daarnaast is de CPT-module van het OURS-rekenmodel gebruikt om sonderingen uit de BRO uit te lezen en zo de gemiddelde, maximale en minimale conusweerstand en wrijvingsgetal te bepalen. Deze gegevens geven een goed beeld van de opbouw van de bodem.

AHN – Een hoogteverschil tussen spoor en ontvanger kan ervoor zorgen dat trillingen lager uitvallen. Daarom is per meetpunt dit hoogteverschil in kaart gebracht op basis van het Algemeen Hoogtebestand Nederland (AHN).

III.2 EXPLORATIEVE DATA-ANALYSE

Er is een exploratieve data-analyse uitgevoerd om een gevoel te krijgen bij de data en problemen als extreme uitschieters en missende data te identificeren. De volgende stappen zijn hiervoor uitgevoerd;

Beschrijvende statistieken – Van elke parameter is het bereik (minimum, maximum, gemiddelde, mediaan) en spreiding (standaarddeviatie) van de data in kaart gebracht.

Histogrammen – Voor elke parameter is er een histogram gemaakt om de verdeling van de data in kaart te brengen. Een normaalverdeling is niet essentieel voor het uitvoeren van een Random Forest analyse (zoals later beschreven), niettemin is het belangrijk dat er voldoende datapunten zijn om conclusies te kunnen trekken over specifieke situaties.

Correlatie matrices – Per hotspot, per materieeltype, per spoor en gescheiden voor vóór en na onderhoud zijn correlatie matrices opgesteld. Dit geeft een eerste indruk van relaties tussen de inputparameters (die we X noemen) en de outputparameters (de spoortrillingen, die we Y noemen). Hierbij is het wel belangrijk om te realiseren dat dit enkel gaat om lineaire verbanden, ofwel, complexere relaties kunnen hierin niet gevangen worden. Daarnaast zijn ook de onderlinge afhankelijkheden en relaties tussen de inputvariabelen (X) van belang als voorkennis bij het trainen van het Random Forest model, omdat sterkte correlaties tussen inputvariabelen de parameterdominantie kunnen vertekenen. Als voorbeeld ter illustratie: op een dag met veel neerslag is de zoninstraling naar verwachting ook lager, dus er zal een negatieve correlatie zijn tussen neerslag en zoninstraling. Als beide parameters worden meegenomen in een Random Forest model, ontstaat een onjuist beeld van de parameterdominantie (overfitting).

Plots correlaties vs. trillingsenergie per golflengte en per frequentie – In de eerdergenoemde correlatiematrices is ook de trillingsenergie per golflengte en per frequentie bepaald, op basis van

² <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/urengegevens>

tertsbandspectra. Trillingsspectra (in het frequentiedomein) zijn de gebruikelijke manier om de trillingsenergie weer te geven, maar om bijvoorbeeld de invloed van de rijnsnelheid op de trillingen te bepalen, is het nodig om het tertsbandspectrum om te rekenen naar het golflengtedomein. Immers, een trein die met 100 km/h de dwarsliggers aantikt (elke 0.6 meter) zal de piek in het tertsbandspectrum in het frequentiedomein geven bij een andere frequentie dan een trein die dit met 50 km/h doet. Als we dit omzetten naar het golflengtedomein, dan is bij beide treinen bij 0.6 meter een piek in het spectrum zichtbaar.

Vervolgens is voor elke bepalende parameter het verloop van de correlatiecoëfficiënt met de trillingsenergie als functie van de golflengte en frequentie geplot. Hieruit kan worden afgeleid bij welke golflengtes en frequenties een parameter veel of juist weinig invloed op de spoortrillingen heeft, en of die invloed positief dan wel negatief is.

III.3 RANDOM FOREST ANALYSE

De correlatiematrices en plots uit de exploratieve analyse geven een eerste indruk van verbanden tussen de bepalende parameters en spoortrillingen. Nadeel van deze exploratieve analyse is dat deze alleen lineaire verbanden weergeeft. De lineaire correlatiecoëfficiënten zijn niet geschikt om non-lineaire effecten te beschrijven.

Om de complexere verbanden in kaart te brengen is daarom een Random Forest algoritme ingezet. Dit machine learning model is getraind op de opgebouwde dataset van trainpassages. Een belangrijk resultaat hiervan is de parameter dominantie, ofwel, de bijdrage van elke parameter in het model aan het voorspellen van spoortrillingen.

Technische details

- Op categorische data is one-hot-encoding toegepast.
- Numerieke data is genormaliseerd om te voorkomen dat de impact van parameters met een groot bereik overschat wordt.
- Het model is getraind met de python package scikit-learn.
- Om het maximale uit de data te halen en overfitting te voorkomen is gebruik gemaakt van leave-one-out (LOL).
- De hyperparameters zijn eerst ruw getuned met random search training (m.b.v. RandomizedSearchCV) en daarna gefinetuned met een grid search.
- Variable selection is in eerste instantie overgelaten aan het algoritme. Daarna zijn iteratief de minst belangrijke of zeer vergelijkbare variabelen verwijderd om complexiteit te beperken.
- De prestaties van de geschatte modellen zijn beoordeeld op; Mean Squared Error (MSE), Root Mean Squared Error (RMSE), Mean Absolute Error (MAE), Median Absolute Error (MedAE), en Adjusted R-squared (Adjusted R²)

De random RF-analyse is eerst over alle hotspots heen uitgevoerd, om generieke verbanden en invloedsparameters in beeld te brengen. Vervolgens herhalen we deze analyse voor subgroepen (per hotspot, per spoor, per treintype) voor verschillende golflengtes en frequenties.

De uitkomsten van de Random Forest analyse worden als volgt gepresenteerd:

- **Overzichtstabel** – met hierin opgenomen bepalende variabelen, uitkomst variabele (maatstaaf voor spoortrillingen), prestatie indicatoren van het model, top 5 belangrijkste bepalende parameters en de aard van hun effect (positief of negatief)



- **Parameterdominantie** – een grafiek met voor de meest bepalende parameters de parameterdominantie (hoe belangrijk een parameter is) als functie van de golflengte en de frequentie. Op basis van deze grafieken zijn conclusies te trekken over relaties tussen parameters (bijvoorbeeld: onderhoud heeft bij bepaalde rijsnelheden wel, en bij bepaalde rijsnelheden geen effect).
- **SHAP-plot** – visualisatie om de aard van de relaties inzichtelijk te maken (heeft een parameter een positieve en/of negatieve invloed op spoortrillingen)

