

RAPPORT

Trillingsprognose

Gebiedsontwikkeling
Pompenburg

Versie: 2.0

Status: Vrijgegeven

Datum: 30-09-2022

Kenmerk: D79-WSC-HS-RAP-
22002402

Autorisatieblad

Trillingsprognose

Gebiedsontwikkeling Pompenburg

	Naam	Akkoord	Datum
Opgesteld door	Wijnand Schoemakers	x	29-09-2022
Gecontroleerd door	Wybo Gardien	x	30-09-2022
Vrijgegeven door	Gert Wessels	x	30-09-2022

Versiehistorie

Versie	Naam	Datum	Korte toelichting
1.0	Vrijgegeven	10-03-2022	Eerste versie verslag
2.0	Vrijgegeven	30-09-2022	Nieuwe versie verslag naar aanleiding van verandering programma bestemmingsplan

Samenvatting

Synchroon, J.P. van Eesteren en Dura Vermeer zijn samen met de gemeente Rotterdam bezig met de gebiedsontwikkeling Pompenburg in Rotterdam. Dit rapport is een bijdrage aan de effectenstudie die nodig zijn in het kader van bestemmingsplan en de vorm vrije mer-beoordeling.

Dit onderzoek is een vervolg op rapport *D79-RGE-KA-1900120, trillingsonderzoek Pompenburg* (versie 2.0 12-03-2020) opgesteld door Movares. De metingen hiervoor zijn uitgevoerd in 2019 door Movares en worden ook gebruikt in dit rapport. De trillingsprognose is geactualiseerd op basis van de volgende gegevens:

- Veranderingen in het treinverkeer, zoals aangegeven door ProRail.
- Actualisering van de bouwplannen.

Verder zijn de prognosemodellen in deze studie verbeterd sinds het vorige trillingsonderzoek.

Het huidige rapport is een update van het eerdere onderzoek gerapporteerd in *D79-WSC-HS-RAP-2202402-Trillingsprognose Pompenburg* (versie 1.0, 10-03-2022).

In dit onderzoek zijn berekeningen uitgevoerd om de verwachte trillingsniveaus in de nieuw te bouwen gebouwen te bepalen. De verwachte waarden zijn getoetst aan de streefwaarden voor nieuwe en bestaande situatie uit de SBR-B richtlijn. Omdat de daadwerkelijke trillingen afhangen van de details van de bouwconstructie (die op dit moment nog onbekend zijn), hebben we een prognose gemaakt met een 50%-waarde (verwachtingswaarde) en een 95%-waarde (bovengrens).

De conclusies op basis van de analyse zoals beschreven in dit rapport zijn als volgt:

- De bouwblokken van 125 en 140 meter hoog **voldoen** aan het beoordelingskader
- De overige bouwblokken **voldoen niet** aan het beoordelingskader. Een deel van de bouwblokken voldoet ook niet aan de (soepeler) streefwaarden voor bestaande situaties uit de SBR B-richtlijn.

Algemeen is het advies om, gelet op de relatief hoge trillingsniveaus, tijdens de constructieve uitwerking van de gebouwen rekening te houden met trillingen door het ontwerp met een gedetailleerd model te toetsen op trillingen en de uitkomsten mee te nemen in het ontwerpproces. Ten aanzien van maatregelen zijn al wel enkele mogelijkheden te schetsen (met, van boven naar onder, een afnemend effect op de trillingen):

- Het afveren van gebouwen. Hierbij wordt een slappere laag (bijv. stalen veerdozen) aangebracht tussen de fundering, waardoor het gebouw wordt geïsoleerd van de ondergrond. Het afveren bij hoge gebouwen (>50) is technisch complex. Het risico bestaat dat de trillingen verergeren. Het ontwerp dient daarom plaats te vinden in een samenwerking tussen de constructeur, de leverancier en een trillingspecialist. Deze maatregel is erg kostbaar, en bedraagt 3 tot 10% van de stichtingskosten van een gebouw.
- Verzwaren van de fundering. Hierbij wordt gebruik gemaakt van dikkere, langere palen, een zwaardere kelder of een groter aantal palen. Meestal is deze maatregel minder effectief dan afveren, maar de maatregel is wel voor alle gebouwen effectief. Afhankelijk van de mate van verzwaring van de fundering bedragen de kosten tot ongeveer 1.5% van de stichtingskosten van een gebouw.
- Ontwerptimalisaties, bijvoorbeeld een stijvere gebouwconstructie zodat de eigenfrequenties in het ontwerp niet samenvallen met de trillingen van de treinen. Die stijvere gebouwconstructie kan worden gerealiseerd door het gebruiken van een hogere betonkwaliteit, of extra of dikkere kolommen en wandschijven. Deze optimalisaties hebben vooral lokaal effect, op plekken met hoge trillingen. Afhankelijk van de optimalisaties bedragen de kosten tot ongeveer 1% van de stichtingskosten van een gebouw.
- Vermijden/herindeling van trillingsgevoelige gebouwfuncties. Momenteel is de toetsing voor alle bouwdelen (met uitzondering van Couwenburgplein) gedaan tegen de functie wonen. Indien voor

bepaalde bouwblokken een minder gevoelige functie zal worden gebruikt zoals kantoor of zelfs een relatief trillingsongevoelige functie zoals horeca/filmhuis zijn minder maatregelen of zelfs geen maatregelen nodig.

In **Tabel 5-6** is samengevat welke maatregelen per gebouw nodig zijn om te voldoen aan SBR B streefwaarden nieuwe situaties.

Andere trillingsreducerende maatregelen, zoals trillingsschermen en aanpassingen aan de vloeren, zijn onvoldoende effectief. Maatregelen aan het spoor liggen buiten de scope van dit onderzoek, omdat deze buiten het plangebied moeten worden getroffen.

De betrokken partijen kunnen in overleg hogere trillingen accepteren als de maatregelen niet doelmatig zijn. Ze kunnen zich daarbij beroepen op bijlage 5 van de SBR-B richtlijn. De doelmatigheid van de maatregelen volgt uit het hierboven genoemde detailonderzoek, de kosten en de impact van de maatregelen.

Laatste aanbeveling is om zowel laagfrequent geluid en andere mogelijke trillingsbronnen (zoals de trambaan) mee te nemen in vervolgonderzoeken voor de omgevingsvergunning. Ten opzichte van de trillingen van het treinverkeer zullen de effecten van andere trillingsbronnen naar verwachting beperkt zijn. Indien nodig zijn problemen met relatief eenvoudige aanvullende maatregelen te verhelpen. Vaak zijn de maatregelen die voor de trillingen van het treinverkeer worden getroffen ook effectief tegen trillingen van andere bronnen en laagfrequent geluid.

Samenvatting

1 Inleiding

- 1.1 Aanleiding
- 1.2 Doel
- 1.3 Aanpak
- 1.4 Leeswijzer

2 Situatiebeschrijving en uitgangspunten

- 2.1 Uitgangspunten
- 2.2 Omgeving
- 2.3 Geplande bebouwing
- 2.4 Meetlocatie

3 Meetresultaten

- 3.1 Meetresultaten
 - 3.1.1 Trillingsspectrum Bokelweg
 - 3.1.2 Trillingsspectrum Pompenburg en Stroveer
- 3.2 Trillingen op maaiveld

4 Beoordelingskader

- 4.1 Grootheden
- 4.2 Streefwaarden
- 4.3 Nieuwe of bestaande situatie
- 4.4 Periode gedurende de dag
- 4.5 Gebouwfunctie
- 4.6 Beoordeling

5 Analyse en berekeningen

- 5.1 Prognosemethode
- 5.2 Overdracht in gebouwen
- 5.3 Verwachtingswaarde trillingen in gebouwen
 - 5.3.1 Deelgebied Pompenburg en Stroveer
 - 5.3.2 Deelgebied Heer Bokelweg
- 5.4 Bovengrens van trillingen in gebouwen
 - 5.4.1 Deelgebied Pompenburg en Stroveer
 - 5.4.2 Deelgebied Heer Bokelweg
- 5.5 Onzekerheid in prognose
- 5.6 Advies ten aanzien van maatregelen
 - 5.6.1 Detailanalyse
- 5.7 Laagfrequent geluid

6 Conclusie en aanbevelingen

Bijlage 1 - Gegevens van de metingen

Bijlage 2 - Meetresultaten

Bijlage 3 – Bodemgegevens	33
Bijlage 4 – Trillingsspectra in gebouwen (50% waarde)	34
Bijlage 5 – Trillingsspectra in gebouwen (95% waarde)	46
Bijlage 6 – Overdrachten maaiveld naar bovenste vloer gebouwen	58
Bijlage 7 – Overzicht alle resultaten	77
Bijlage 8 – Informatie Prorail	79

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Synchroon, J.P. van Eesteren en Dura Vermeer zijn samen met de gemeente Rotterdam bezig met de gebiedsontwikkeling Pompenburg in Rotterdam. Aanleiding van dit onderzoek is het voornemen om ter hoogte van Pompenburg een bestemmingsplan vast te stellen dat nieuwe woningen, kantoren, winkels, horeca, een filmhuis en een hotel binnen vier verschillende deelgebieden mogelijk maakt. Dit rapport is een bijdrage aan de effectenstudie die nodig is in het kader van bestemmingsplan en de vorm vrije mer-beoordeling.

1.2 Doel

De combinatie Synchroon, J.P. van Eesteren en Dura Vermeer heeft Movares gevraagd ondersteuning te bieden bij het onderzoek naar de mate van invloed van meerdere aspecten op de ontwikkeling Pompenburg. Dit rapport gaat in op de invloed van de aan het spoor gerelateerde trillingen.

Doel van dit onderzoek is om een voorspelling te maken van de te verwachten trillingen in de toekomstige bebouwing. Mochten er overschrijdingen van de richtlijnen voor trillingshinder verwacht worden, dan zal geadviseerd worden over mogelijke maatregelen die de trillingshinder kunnen voorkomen.

1.3 Aanpak

Trillingen van spoorverkeer zijn locatie specifiek. Wij hebben daarom de volgende aanpak gevolgd:

1. Uitvoeren van een trillingsmeting ter plaatse van het plangebied (Fase I). (*Reeds uitgevoerd in 2019 en in het rapport D79-RGE-KA-1900120 toegelicht- project RA004828*). Deze meting bestaat uit de volgende onderdelen:
 - a. Metingen waarmee wij de uitdemping van de trillingen met de afstand vaststellen (hoe verder van het spoor, hoe lager de trillingen). Deze meting heeft een beperkte meetduur van enkele uren, voldoende om de eigenschappen van de bodem en de uitdemping met de afstand vast te stellen.
 - b. Metingen waarmee de lokale variatie van de trillingen bepalen parallel aan het spoor. Deze meting heeft ook een beperkte meetduur van enkele uren.
 - c. Metingen waarmee wij over langere tijd (ten minste 1 week) de trillingssterktes vaststellen. Het grillige karakter van goederentreinen (grote variatie in passeertijd, zwaarte, etc.) maakt een meetduur van een week wenselijk.
 - d. Meting waarbij we de trillingsoverdracht van maaiveld naar fundering en de trillingsoverdracht van de fundering naar de vloer hebben bepaald voor de hoogbouw Hofplein 20. Deze meting had een meetduur van ca. 2 dagen.
2. Het maken van een prognose van de trillingssterktes in de geplande woningen en kantoren. Omdat de constructieve eigenschappen nog niet bekend zijn, is in overeenstemming met de opdrachtgever een aantal verschillende constructietypes beschouwd. Deze prognose is geüpdatet op basis van nieuwe vervoersgegevens van treinen, wijzigingen in de inrichting van het plangebied en een nauwkeuriger prognosemodel.

Op basis van deze resultaten geven wij een advies over of, en zo ja, hoe trillingshinder in de geplande gebouwen kan worden voorkomen.

1.4 Leeswijzer

De situatiebeschrijving is weergegeven in hoofdstuk 2. In hoofdstuk 3 zijn de meetresultaten weergegeven. Het beoordelingskader voor trillingshinder staat beschreven in hoofdstuk 4. Hoofdstuk 5 bevat de prognose van de trillingen en adviesmaatregelen om trillingshinder te voorkomen. Het laatste hoofdstuk beschrijft de conclusies en aanbevelingen.

2 Situatiebeschrijving en uitgangspunten

Dit hoofdstuk bevat een beschrijving van de onderzoekslocatie en de uitgangspunten voor het onderzoek.

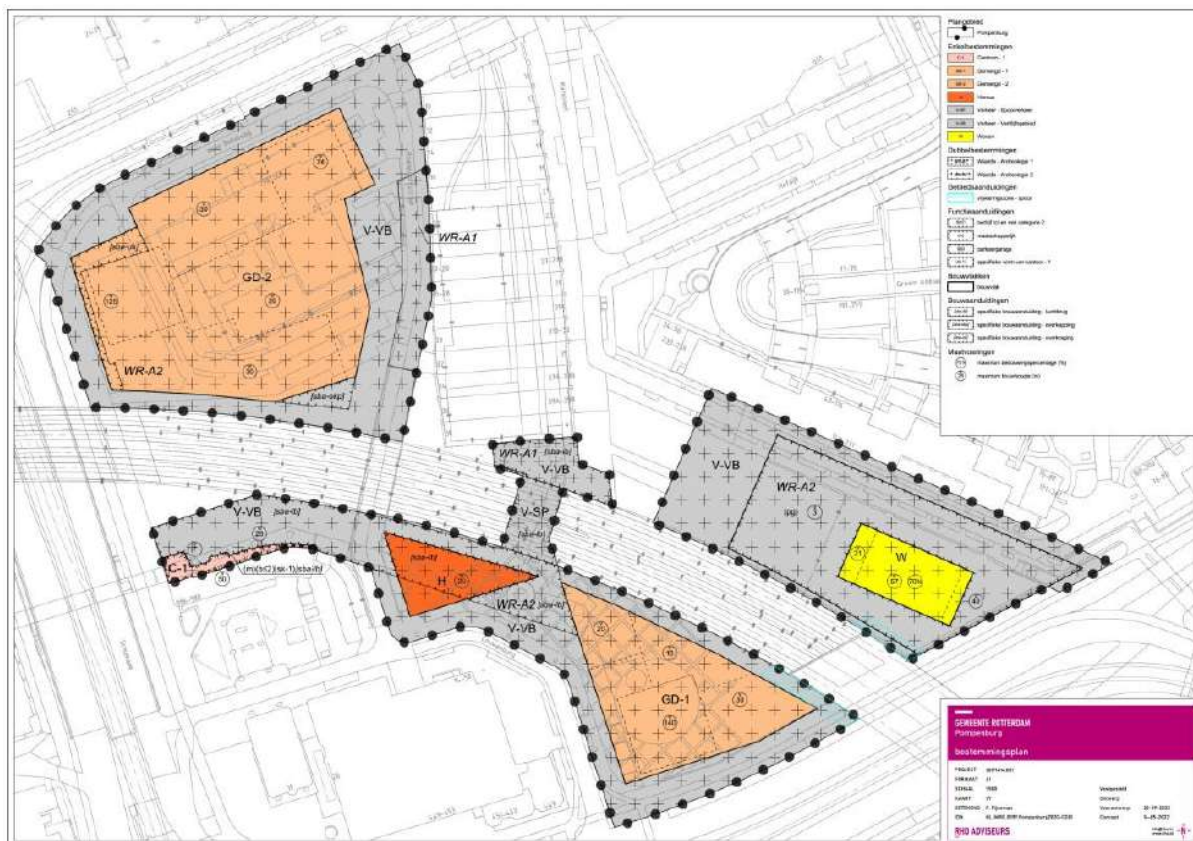
2.1 Uitgangspunten

De volgende uitgangspunten zijn gebruikt:

- Metingen zoals uitgevoerd door Movares in 2019 en gerapporteerd in D79-RGE-KA-1900120, versie 2.0 uit 11-03-2020)
- Tekeningen:
 - 20220917 – Bestemmingsplan definitieve versie.pdf
 - 20220117 – Uitgangspunten programma bestemmingsplan V4
- Aanneمة constructieve gegevens voor het gebouw van kanaalplaatvloeren en overspanningen van 5, 6.5, en 8.5m meter.
- Informatie over toekomstverwachting treinverkeer bij ProRail toegevoegd in Bijlage 8.

2.2 Omgeving

De onderzoekslocatie bevindt zich ten noorden en zuiden van de spoorlijn Rotterdam Centraal – Rotterdam Blaak, zie Figuur 2-1. De spoorlijn wordt zowel door reizigers- als door goederenverkeer gebruikt. De verschillende deelgebieden binnen het bestemmingsplan, zijnde Heer Bokelweg, Couwenburgplein, Stroveer en Pompenburg zijn weergegeven in Figuur 2-2.



Figuur 2-1 Overzicht plangrenzen en vast te stellen functies



Figuur 2-2 Overzicht verschillende deelgebieden binnen het bestemmingsplan

In de analyse zijn de metingen geschaald naar toekomstige intensiteiten. De intensiteiten waarmee gerekend is zijn weergegeven in Tabel 2-1 en Tabel 2-2. Deze gegevens zijn een prognose waarvoor op dit moment besluitvorming is geweest en geven de intensiteit voor PHS 2030 weer voor het traject. ProRail heeft aangegeven dat er geen snelheidsveranderingen op het traject zijn voor PHS 2030 ten opzichte van het moment van de originele meting.

Tabel 2-1 Gemiddelde treinintensiteit per uur tijdens metingen 2019.

	Reizigers	Goederen
Dag	17.46	0.67
Avond	19.18	0.67
Nacht	6.30	0.67

Tabel 2-2 Geplande treinintensiteiten per uur voor PHS 2030.

	Reizigers	Goederen
Dag	31.3	2.2
Avond	28.2	2.4
Nacht	7.7	1.5

2.3 Geplande bebouwing

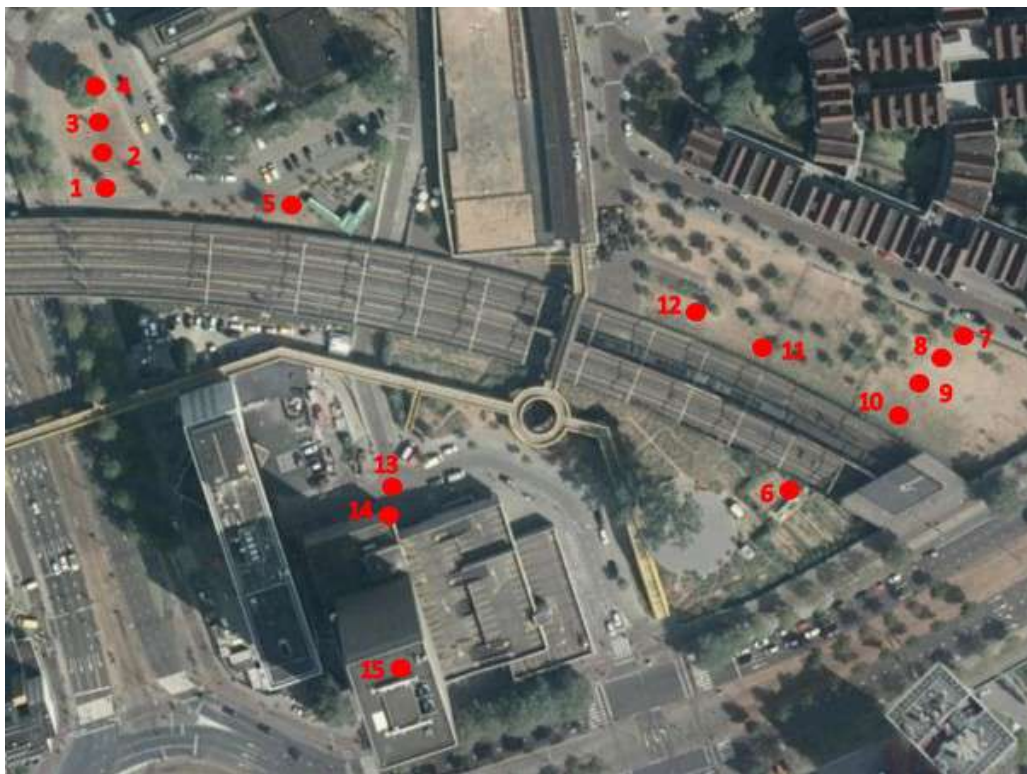
De eigenschappen van de toekomstige bebouwing zijn nog niet exact bekend. In het kader van dit onderzoek is, in samenspraak met de klant, een beperkt aantal gebouwcombinaties bepaald welke verder zijn onderzocht. In dit onderzoek is gerekend met de eigenschappen zoals opgenomen in Tabel 2-3, waarbij steeds de bovenste verdieping is beschouwd. Omdat horeca, winkels en filmhuizen buiten de SBR B-richtlijn vallen worden bouwblokken op Couwenburgplein niet meegenomen (zie ook Sectie 4.5).

Tabel 2-3 Eigenschappen bebouwing

Gebouw-type	Beukmaat [m]	Vloertype	Gebouw-hoogte [m]	Afstand tot spoor [m]	Funderings-type	Locatie
GD-1_30	5 / 6.5 / 8	Kanaalplaatvloer	30	7	Palen	Pompenburg
GD-1_20	5 / 6.5 / 8	Kanaalplaatvloer	20	7	Palen	Pompenburg
GD-1_15	5 / 6.5 / 8	Kanaalplaatvloer	15	7	Palen	Pompenburg
GD-1_140	5 / 6.5 / 8	Kanaalplaatvloer	140	7	Palen	Pompenburg
W_21	5 / 6.5 / 8	Kanaalplaatvloer	21	13	Palen	Stroveer
W_40	5 / 6.5 / 8	Kanaalplaatvloer	40	17	Palen	Stroveer
W_57	5 / 6.5 / 8	Kanaalplaatvloer	57	13	Palen	Stroveer
GD-3_20	5 / 6.5 / 8	Kanaalplaatvloer	20	17	Palen	Heer Bokelweg
GD-3_30	5 / 6.5 / 8	Kanaalplaatvloer	30	7, 50	Palen	Heer Bokelweg
GD-3_74	5 / 6.5 / 8	Kanaalplaatvloer	74	68	Palen	Heer Bokelweg
GD-3_125	5 / 6.5 / 8	Kanaalplaatvloer	125	21	Palen	Heer Bokelweg

2.4 Meetlocatie

De metingen uit 2019 zijn uitgevoerd op maaiveldniveau op de onderzoekslocatie van de geplande nieuwbouw. Een plattegrond van de onderzoekslocatie met daarop de meetpunten is weergegeven in Figuur 2-3.



Figuur 2-3 Onderzoekslocatie met meetpunten (in rood aangegeven)

Op de onderzoekslocatie zijn drie metingen uitgevoerd op maaiveld:

- een langeduurmeting van ruim een week, met twee meetpunten (punten 1 en 6).
- korteduurmetingen van ruim een dag met meerdere meetpunten, zowel op het maaiveld als in reeds bestaande hoogbouw.

De meetpunten voor de langeduurmetingen zijn ook tijdens de eerste korteduurmeting gebruikt.

Met de gegevens van de langeduurmeting is het trillingsbeeld van een breed scala aan passerende treinen bepaald voor de onderzoekslocatie. Met de extra meetpunten van de korteduurmeting zijn de effecten zoals het uitdempjen van trillingen met de afstand, en de invloed van de variatie in de ondergrond van de projectlocatie bepaald.

3 Meetresultaten

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de metingen beschreven. Er zijn drie metingen uitgevoerd:

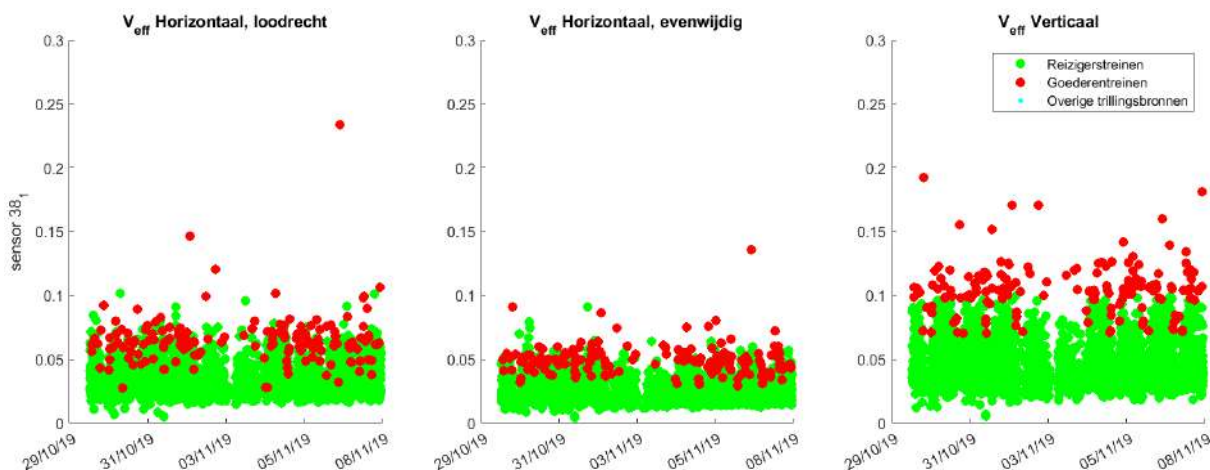
1. Een korte meting met meerdere meetpunten, bedoeld om de variatie in bodemopbouw en spreiding van de trillingssterktes binnen het onderzoeksgebied vast te stellen;
2. Een lange meting met twee meetpunten, om de variatie van de trillingen over de tijd vast te stellen. Op deze manier ontstaat een representatief beeld van de trillingen over een looptijd van een week.
3. Een korte meting om de opslinging in bestaande gebouwen in de nabijheid van de onderzoekslocatie te bepalen.

Deze metingen zijn uitgevoerd in 2019 door Movares en zijn eerder op dezelfde manier gerapporteerd.

3.1 Meetresultaten

De gemeten trillingssnelheden van de treinen tijdens de langeduurmeting zijn per richting weergegeven in Figuur 3-1. Dit betreft de trillingen op maaiveld op ca. 10 meter van het spoor. Op maaiveld veroorzaken de goederentreinen grote uitschieters, maar zijn er ook kleinere uitschieters door reizigerstreinen. De trillingen zijn weergegeven in drie richtingen:

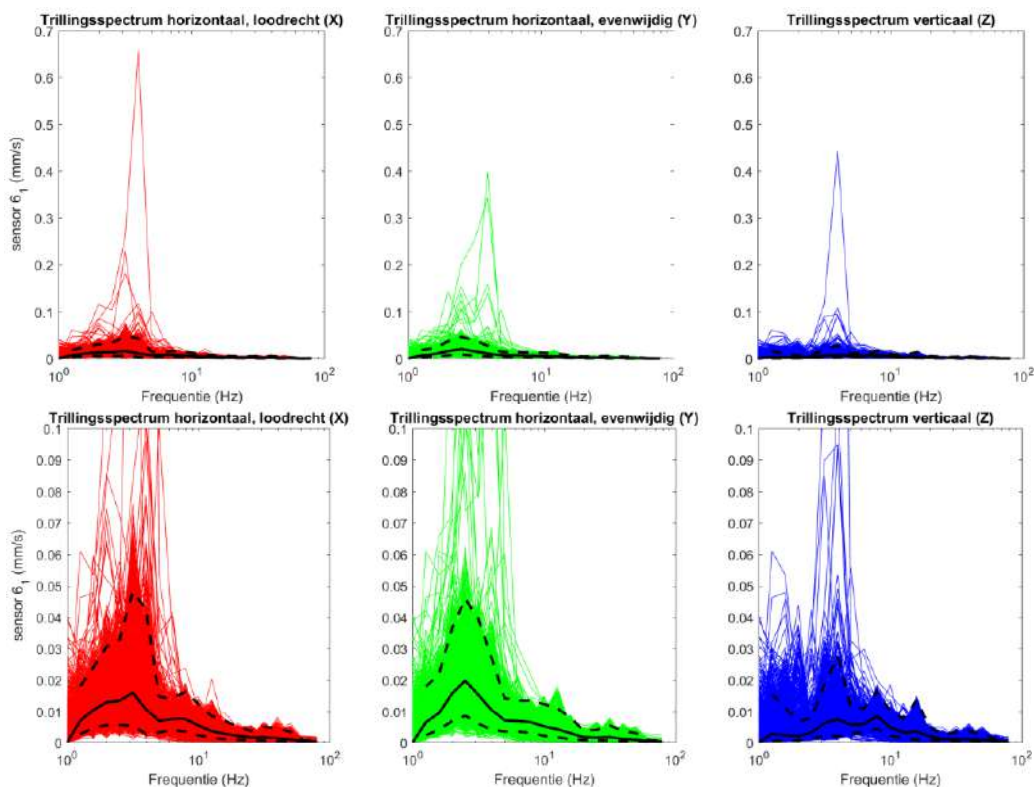
1. Horizontaal, loodrecht op het spoor (ook wel X genoemd);
2. Horizontaal, parallel aan het spoor (ook wel Y genoemd);
3. Verticaal (ook wel Z genoemd).



Figuur 3-1: Trillingssterktes maaiveld Locatie Bokelweg als functie van de tijd (meetpunt 1).

3.1.1 Trillingsspectrum Bokelweg

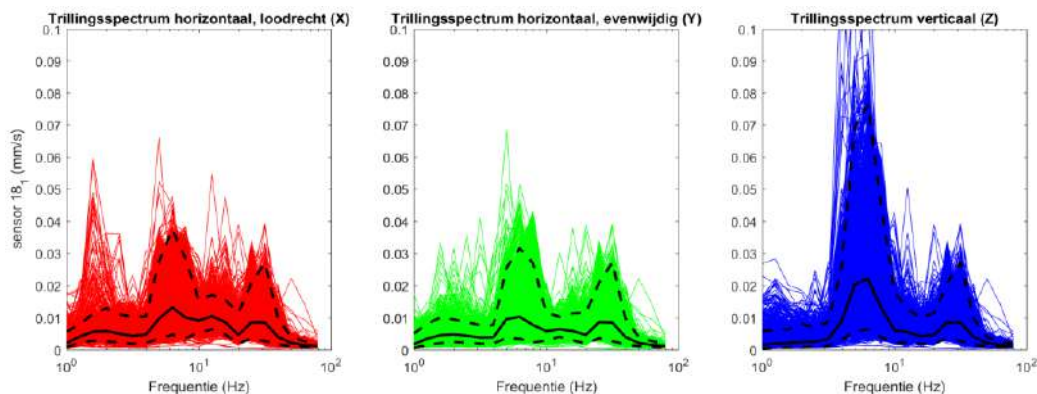
Het trillingsspectrum van de gemeten treinen op maaiveld is weergegeven in Figuur 3-2. De trillingen zijn in de horizontale richtingen wat sterker dan in de verticale richting. De trillingen zijn vooral hoog tussen de 2 en de 5 Hz. De uitschieters in deze figuur worden veroorzaakt door goederentreinen.



Figuur 3-2: Trillingsspectra van treinpassages bij locatie Heer Bokelweg tijdens de lange meting in X- Y- en Z-richting (bovenste rij is totaalbeeld, onderste rij is een zoom-in van de bovenste rij)

3.1.2 Trillingsspectrum Pompenburg en Stroveer

Het spectrum op maaiveld is weergegeven in Figuur 3-3. De dominante frequentie is ca. 6 Hz, en ook bij ca. 30 Hz is het spectrum verhoogd. In de horizontale richting leveren trillingen in het frequentiegebied van 1 tot 40 Hz een bijdrage aan het trillingsniveau.



Figuur 3-3 Trillingsspectra bij locatie Pompenburg van treinpassages tijdens de lange meting in X- Y- en Z-richting

Ter hoogte van het deelgebied Pompenburg rijden de treinen al door de verdiepte ligging van de spoortunnel onder de Maas door. Hierdoor zien de spectra er hier anders uit dan bij het deelgebied Heer Bokelweg. Zo is de piek tussen de 20Hz en de 30Hz duidelijker aanwezig dan bij Heer Bokelweg. Daarnaast zit er minder trillingsenergie bij de zeer lage frequenties. Ook zijn er wat minder extreme uitschieters zichtbaar. Dit beeld komt overeen met projectervaring die Movares heeft in de buurt van spoortunnels, zoals stationsomgeving Delft en de Groene Harttunnel.

3.2 Trillingen op maaiveld

De resultaten van de langeduurmetering in deelgebied Pompenburg (meetpunt 6 op 10 meter afstand) zijn weergegeven in Tabel 3-1. Hier valt op dat op maaiveld de gemeten trillingssterktes relatief hoog zijn. Er is een afname van de trillingen van maaiveld naar het gebouw nodig om op deze positie te voldoen aan de streefwaarden uit de SBR B-richtlijn. In de praktijk is doorgaans sprake van verzwakking van de trillingen tussen maaiveld en fundering, waarna de trillingen in het gebouw weer worden versterkt.

Tabel 3-1 Meetresultaten op maaiveld voor deelgebied Pompenburg

	X	Y	Z
<i>V_{per}, dag</i>	0,09	0,04	0,07
<i>V_{per}, avond</i>	0,10	0,04	0,07
<i>V_{per}, nacht</i>	0,02	0,01	0,02
<i>V_{max}, gemeten</i>	0,22	0,13	0,31

De resultaten van de langeduurmetering in deelgebied Heer Bokelweg (meetpunt 1 op 11 meter afstand) zijn weergegeven in Tabel 3-2. Ook hier zijn de meetresultaten vrij hoog.

Tabel 3-2 Meetresultaten op maaiveld voor deelgebied Heer Bokelweg

	X	Y	Z
<i>V_{per}, dag</i>	0,00	0,00	0,01
<i>V_{per}, avond</i>	0,01	0,00	0,01
<i>V_{per}, nacht</i>	0,00	0,00	0,01
<i>V_{max}, gemeten</i>	0,23	0,14	0,19

4 Beoordelingskader

Treinverkeer kan aanleiding geven tot trillingen in gebouwen. Deze trillingen kunnen leiden tot hinder voor omwonenden. De Duitse DIN 4150-2 (1999) norm beschrijft criteria voor het meten en beoordelen van trillingen. De Nederlandse SBR-richtlijn (2002) is hierop gebaseerd. Deze SBR-richtlijn is in Nederland de meest gebruikte richtlijn voor het beoordelen van trillingen en bestaat uit 3 delen:

- Deel A: schade aan gebouwen;
- Deel B: hinder voor personen in gebouwen;
- Deel C: verstoring van apparatuur.

Op basis van ervaring uit eerder projecten is de verwachting dat een beoordeling volgens de SBR B maatgevend. Ook verstoring van apparatuur (SBR C-richtlijn) is niet aan de orde. In dit onderzoek is daarom alleen beoordeeld op de SBR B-richtlijn.

De SBR B-richtlijn heeft geen wettelijke status.¹ Daarom bevat de richtlijn 'streefwaarden'.

4.1 Grootheden

Conform de SBR B-richtlijn worden twee grootheden bepaald:

1. De trillingssterkte V_{max} . Dit is een dimensieloze indicatie van de maximaal ervaren trillingen gedurende de meetperiode, de zogenaamde pieksterkte van de trillingen. Deze grootheid wordt bepaald per 30 seconden; zie par. 9.2 en 9.3 van de SBR B-richtlijn. Van al deze maximale waarden per 30 seconden wordt de maximale waarde bepaald, de $V_{eff, max}$. Vervolgens wordt, op basis van de vijftien hoogst gemeten waarden een statistische berekening uitgevoerd met als resultaat de trillingssterkte die niet wordt overschreden door 95 procent van de passerende treinen, de V_{max} . Deze trillingssterkte is beoordeeld op de streefwaarden uit de SBR B-richtlijn;
2. De gemiddelde trillingssterkte V_{per} , een dimensieloze indicatie van het tijdsgemiddelde van de trillingen. Deze grootheid wordt bepaald door het kwadratisch gemiddelde te nemen van de maximale trillingssterkte per 30 seconden indien deze boven de drempelwaarde van 0.1 uitkomt. Trillingssnelheden onder de 0.1 zijn niet of nauwelijks voelbaar en worden niet meegenomen in de bepaling van V_{per} . Het kwadratisch gemiddelde wordt vervolgens gecorrigeerd voor de tijd waarin de trillingssnelheden boven de 0.1 uitkomen, zie ook par. 9.8 van de SBR B-richtlijn.

4.2 Streefwaarden

De SBR B-richtlijn kent drie typen streefwaarden:

1. A1, de onderste streefwaarde voor de trillingssterkte V_{max} ;
2. A2, de bovenste streefwaarde voor de trillingssterkte V_{max} ;
3. A3, de streefwaarde voor de gemiddelde trillingssterkte V_{per} .

De hoogte van de streefwaarden is afhankelijk van een aantal criteria:

1. Of er sprake is van een nieuwe of bestaande situatie;
2. Periode gedurende de dag;
3. Gebouwfunctie.

De verschillende criteria worden hieronder toegelicht.

¹ De richtlijnen voor bijvoorbeeld geluid hebben wel een wettelijke status.

4.3 Nieuwe of bestaande situatie

In de SBR B-richtlijn wordt onderscheid gemaakt tussen nieuwe en bestaande situaties, waarbij de streefwaarden voor nieuwe situaties strenger zijn dan voor bestaande situaties. We toetsen in dit onderzoek zowel aan de streefwaarden voor nieuwe als bestaande situatie. Volgens de SBR B-richtlijn is er in het geval van een nieuw gebouw langs een bestaande spoorlijn sprake van een nieuwe situatie. In bepaalde situaties worden er bij nieuwe gebouwen ook wel de streefwaarden voor bestaande situaties aangehouden. Bijvoorbeeld indien de kosten en/of impact op het plan van doelmatige trillingsreducerende maatregelen zo hoog zijn dat het project niet gerealiseerd kan worden als moet worden voldaan aan de streefwaarden voor nieuwe situaties.

4.4 Periode gedurende de dag

De SBR B-richtlijn maakt daarnaast onderscheid tussen dag, avond en nacht. Hierbij geldt dat de streefwaarden van de trillingssterkten gedurende de nacht strenger zijn dan die gedurende de dag en avond. De SBR B-richtlijn kent de volgende perioden: dag (7.00 – 19.00 uur), avond (19.00 – 23.00 uur) en nacht (23.00 – 7.00 uur). De streefwaarden voor dag en avond zijn aan elkaar gelijk.

4.5 Gebouwfunctie

Als derde criterium wordt onderscheid gemaakt naar de functie van een gebouw. De SBR B-richtlijn kent de gebouwfuncties Gezondheidszorg, Wonen, Kantoor, Bijeenkomsten en Kritische werkruimte. Bij elke gebouwfunctie horen andere toegestane maximale en gemiddelde trillingssterktes. Op basis van deze drie criteria zijn de streefwaarden voor A1, A2 en A3 weergegeven in Tabel 4-1 voor nieuwe situaties en in Tabel 4-2 bestaande situaties.

In dit rapport is een toetsing tegen gebouwfunctie wonen gebruikt. Horeca, winkels en filmhuizen vallen buiten de SBR B-richtlijn en daarom worden bouwblokken in GD-2 niet meegenomen in de berekening. In Tabel 4-3 is het maximale programma per deelgebied weergegeven.

Tabel 4-1: Streefwaarden nieuwe situatie volgens SBR B-richtlijn

Gebouwfunctie	Dag en avond			Nacht		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
<i>Gezondheidszorg</i>	0.1	0.4	0.05	0.1	0.2	0.05
Wonen	0.1	0.4	0.05	0.1	0.2	0.05
<i>Kantoor</i>	0.15	0.6	0.07	0.15	0.6	0.07
<i>Bijeenkomsten</i>	0.15	0.6	0.07	0.15	0.6	0.07
<i>Kritische werkruimte</i>	0.1	0.1	---	0.1	0.1	---

Tabel 4-2 Streefwaarden bestaande situatie volgens SBR B-richtlijn

Gebouwfunctie	Dag en avond			Nacht		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
<i>Gezondheidszorg</i>	0.2	0.8	0.1	0.2	0.4	0.10
Wonen	0.2	0.8	0.1	0.2	0.4	0.10
<i>Kantoor</i>	0.3	1.2	0.15	0.3	1.2	0.15
<i>Bijeenkomsten</i>	0.3	1.2	0.15	0.3	1.2	0.15
<i>Kritische werkruimte</i>	0.1	0.1	---	0.1	0.1	---

Tabel 4-3 Maximaal programma per deelgebied.

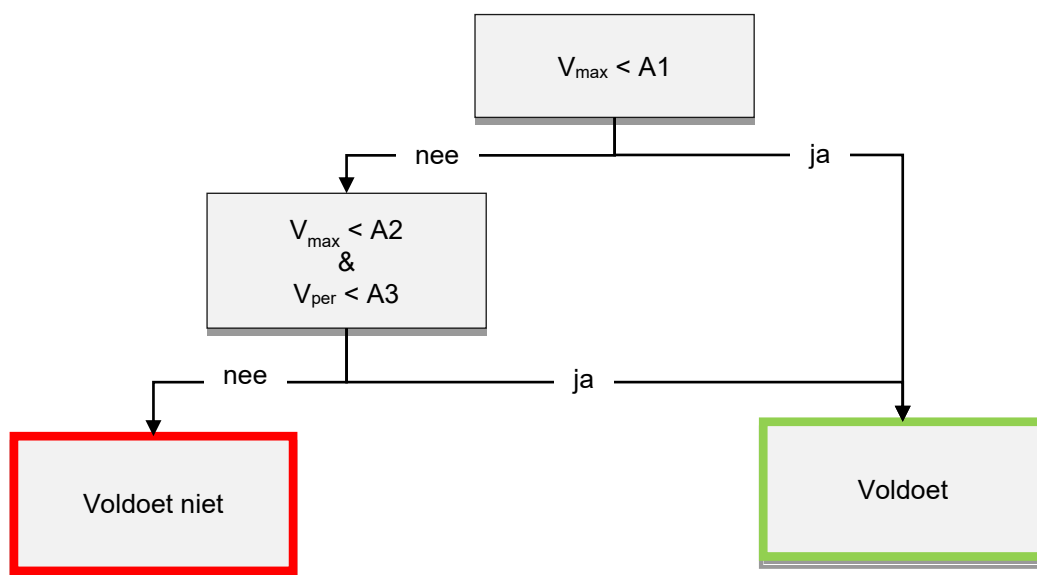
Functie	Heer Bokelweg	Couwenburgplein	Pompenburg	Stroveer	Totaal
Wonen	510 stuks	-	450 stuks	140 stuks	1100 stuks
Kantoor	7500 m ² BVO*	-	-	-	7500 m ² BVO
Horeca	1850 m ² BVO**	800 m ² BVO	1100 m ² BVO	250 m ² BVO	4000 m ² BVO
Filmhuis	2900 m ² BVO	-	-	-	2900 m ² BVO
Parkeren (in gebouw)	220 stuks	-	80 stuks	120 stuks	420 stuks

* Het kantoorprogramma kan volledig worden omgezet naar hotelfunctie (260 kamers) of wonen (100 stuks).

** Waarvan maximaal 600 m² BVO horeca kan worden omgezet naar detailhandel.

4.6 Beoordeling

Om te beoordelen of een situatie voldoet, dient het schema in Figuur 4-1 te worden doorlopen. Een locatie voldoet aan het beoordelingskader wanneer de trillingssterkte lager is dan A1. Een tweede mogelijkheid om te voldoen is als de trillingssterkte lager is dan A2 en de trillingsintensiteit lager is dan A3.



Figuur 4-1: Stroomschema beoordeling in SBR B-richtlijn

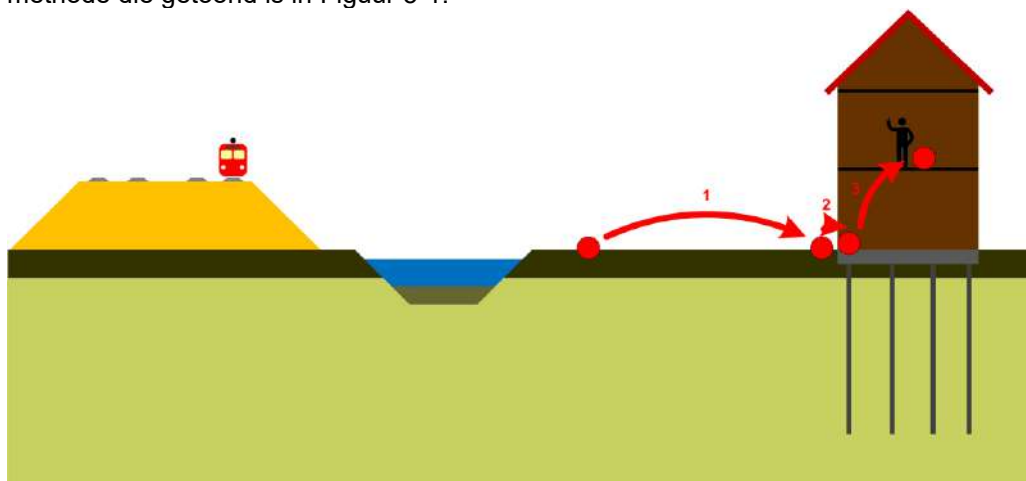
5 Analyse en berekeningen

5.1 Prognosemethode

De resultaten van de metingen zijn gecombineerd met informatie over de geplande bebouwing. Hiermee is een prognose gemaakt van de trillingssterktes aan de fundering en op de vloeren van de gebouwen. Daarnaast brengen we de onzekerheid van de predicties (onder meer veroorzaakt door onzekerheid in exacte dimensionering, materiaalkeuze en constructiewijze) in rekening door een 50%-waarde en een 95%-waarde te onderscheiden:

- 50%-waarde: De kans dat de trillingssterktes lager zijn dan deze waarde is 50%. Deze waarde representeert daarmee de verwachtingswaarde voor trillingssterktes in de gebouwen en geldt voor gebouwen met gemiddelde constructieve eigenschappen.
- 95%-waarde: De kans dat de trillingssterktes lager zijn dan deze waarde is 95%. De kans op voorkomen is klein, maar niet verwaarloosbaar. De 95%-waarde wordt gebruikt als redelijkerwijs maximaal te verwachten trillingssterktes en geldt voor gebouwen met ongunstige constructieve eigenschappen. Een voorbeeld hiervan is bijvoorbeeld dat de vloeren erg slap worden geconstrueerd (grote vloeroverspanningen, dunne vloeren).

De prognoses van trillingen op funderingsniveau en op midden vloerveld wordt gedaan volgens de methode die getoond is in Figuur 5-1.



Figuur 5-1 Methode voor het vaststellen van de trillingen in een gebouw

Deze methode werkt als volgt:

1. De trillingen van de langeduurmeting worden vertaald naar een meetpunt op maaiveld ter plaatse van het bouwblok, aan de hand van de bodemdemping die bepaald is met de korteduurmeting. Deze overdracht corrigeert voor bijvoorbeeld verschillen in afstand tot het spoor (uitdemping van de trillingen met de afstand) en voor variatie in de bodem of de spoorligging.
 - a. Hierbij is gebruik gemaakt van de Barkanvergelijking, een empirische formule die de uitdemping van de trillingen met de afstand beschrijft. De coëfficiënten in de Barkanvergelijking zijn verkregen door middel van de korte duurmeting en verder beschreven in Bijlage 2.
 2. De trillingssterktes op maaiveld worden vertaald naar een meetpunt op de fundering van het gebouw, op basis van de eigenschappen van het gebouw (afmetingen, type fundering).
 3. De trillingssterktes op de fundering worden vertaald naar een meetpunt op de hoogste vloer van het gebouw, op basis van de eigenschappen van het gebouw (afmetingen, type constructie).
- Resultaat van deze berekening is een predictie van de trillingssterktes in het gebouw, waarbij elke afzonderlijke trein zoals gemeten is bij de langeduurmeting is vertaald naar een trillingssterkte in het

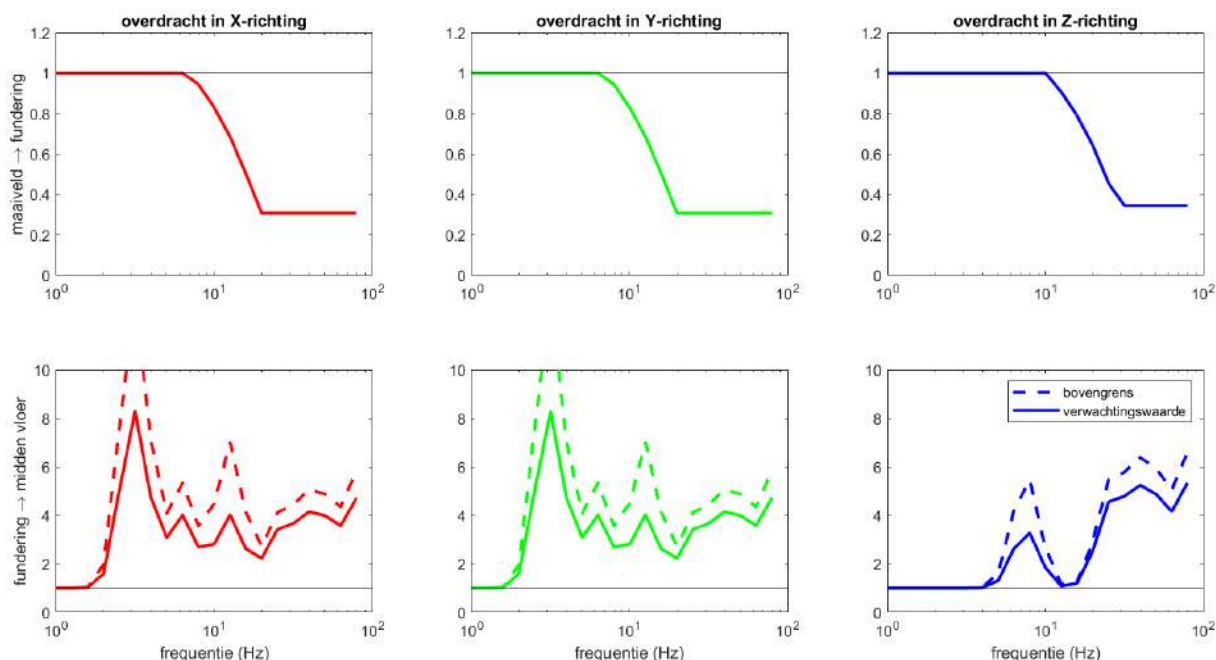
gebouw. Over deze trillingssterktes worden de parameters V_{max} en V_{per} bepaald, waarna deze worden beoordeeld op de SBR B-richtlijn.

5.2 Overdracht in gebouwen

Een document van VROM² geeft indicatieve richtlijnen voor het bepalen van de overdracht van trillingen van maaiveld naar fundering. Deze theoretische waarden komen voor gebouwen van beperkte hoogte (tot ca. 12 meter) goed overeen met praktijkwaarden uit metingen en zijn daarom in dit onderzoek aangehouden. Voor hogere gebouwen blijkt in de praktijk dat trillingen op de fundering lager zijn dan wat volgt uit de overdracht van het VROM-document. Voor hogere gebouwen is de overdracht van maaiveld naar fundering bijgesteld op basis van praktijkmetingen.

De overdracht van fundering naar midden vloerveld is afhankelijk van de bouwconstructie, gebouwfmetingen, type vloer en de eigenfrequentie van de vloer. Het document van VROM geeft voor deze overdrachten een beeld dat niet geheel met praktijkmetingen overeenkomt. De gebruikte overdrachten van fundering naar midden vloerveld in dit onderzoek zijn daarom gebaseerd op een combinatie van meetresultaten in vergelijkbare gebouwen en analytische formules die het gedrag van gebouwen en vloeren beschrijven. Voor bouwtype *GD-1_30* (30m hoog, beukmaat 6.5m) zijn deze resultaten weergegeven in Figuur 5-2. Hierbij is X loodrecht op het spoor en Y parallel aan het spoor. Een compleet overzicht van alle overdrachten gebruikt is te vinden in Bijlage 6.

Wat opvalt is dat de grootste opslinging binnen de constructie in de verticale richting optreedt bij frequenties boven de 8 Hz en boven de 20 Hz. In de horizontale richting is er ook sprake van opslinging bij frequenties lager dan 8 Hz. In het vorige hoofdstuk werd geconstateerd dat op maaiveld frequenties van 1-40 Hz een bijdrage leveren aan de trillingssterkte, en dat er dominante frequenties zijn bij ca. 6 en 30 Hz. De trillingen bij hoge frequenties (30 Hz) worden goed gedempt in de overdracht van maaiveld naar fundering. Bij lage frequenties (6 Hz) dempt de fundering de trillingen in beperkte mate.



Figuur 5-2 Overdracht van de trillingssterktes van maaiveld naar de fundering (boven) en van de fundering naar midden vloerveld (onder) voor bouwtype *GD-1_30* (30m hoog met een vloeroverspanning van 6,5m)

² Rekenmodel voor de bepaling van trillingsniveau, Ministerie VROM, mei 1995, distributienummer 12462/164.

5.3 Verwachtingswaarde trillingen in gebouwen

Voor alle beschouwde gebouwtypes (Tabel 2-3) is een prognose gemaakt van de verwachte trillingssterktes in de gebouwen op de vloeren op de hoogste verdieping. Een onderscheid is gemaakt tussen de beoordelingsperiodes dag/avond en nacht. Ook zijn de beoordelingen voor zowel nieuwe als bestaande situaties uitgevoerd. Tabel 5-1 geeft een toelichting op de kleuren gebruikt in de beoordeling van de resultaten. Omdat toetsing van $V_{\max}$ tegen A1 bijna altijd niet voldoet is alleen toetsing tegen A2 en A3 weergegeven.

Alle resultaten zijn beoordeeld op de streefwaarden voor gebouwen met een functie wonen.

Tabel 5-1 - Toelichting kleuren in resultaat tabellen.

Kleur	Toelichting
$V_{\max}$	Overschrijding streefwaarde A2 bestaande situaties
V_{per}	Overschrijding streefwaarde A3 bestaande situaties
$V_{\max}$	Overschrijding streefwaarde A2 nieuwe situaties
V_{per}	Overschrijding streefwaarde A3 nieuwe situaties

Hieronder zijn de resultaten samengevat. Een compleet overzicht is gegeven in Bijlage 7.

5.3.1 Deelgebied Pompenburg en Stroveer

In Tabel 5-2 zijn de resultaten en beoordeling voor het gebied Pompenburg weergegeven. Op basis van de resultaten zijn de volgende conclusies te benoemen:

Nieuwe situaties:

- Met uitzondering van de 140 meter hoge toren in GD-1, zijn er overschrijdingen van de streefwaarden in alle bouwblokken.

Bestaande situaties:

- Voor alle bouwblokken in GD-1, met uitzondering van de 140 meter hoge toren, zijn er overschrijdingen van de streefwaarden.
- Voor alle bouwblokken in gebied W (Stroveer), met uitzondering van het 57m hoge bouwblok, zijn er overschrijdingen van de streefwaarden.

Tabel 5-2 - Verwachte trillingen in gebouwen (verwachtingswaarde) met beoordeling, gebied Pompenburg.

Gebouw	Hoogte [m]	Beukmaat [m]	Afstand spoor [m]	Vmax dag	Vper dag	Vmax nacht	Vper nacht
GD-1a_20	20	5	7	0.7	0.16	0.6	0.10
GD-1b_20	20	6.5	7	0.7	0.16	0.6	0.10
GD-1c_20	20	8	7	0.8	0.19	0.7	0.12
GD-1a_30	30	5	7	0.8	0.16	0.6	0.10
GD-1b_30	30	6.5	7	0.8	0.17	0.6	0.10
GD-1c_30	30	8	7	0.9	0.19	0.7	0.12
GD-1a_15	15	5	7	0.8	0.18	0.7	0.11
GD-1b_15	15	6.5	7	1.0	0.19	0.7	0.11
GD-1c_15	15	8	7	0.9	0.20	0.7	0.12
GD-1a_140	140	5	17	0.2	0.04	0.2	0.03
GD-1b_140	140	6.5	17	0.2	0.04	0.2	0.03
GD-1c_140	140	8	17	0.2	0.04	0.2	0.03
Wa_21	21	5	13	0.6	0.13	0.5	0.08
Wb_21	21	6.5	13	0.6	0.14	0.5	0.08
Wc_21	21	8	13	0.7	0.16	0.6	0.10
Wa_57	57	5	13	0.5	0.10	0.4	0.06
Wb_57	57	6.5	13	0.5	0.10	0.4	0.06
Wc_57	57	8	13	0.5	0.10	0.4	0.06
Wa_40	40	5	17	0.6	0.12	0.4	0.08
Wb_40	40	6.5	17	0.6	0.12	0.4	0.08
Wc_40	40	8	17	0.7	0.14	0.5	0.09

5.3.2 Deelgebied Heer Bokelweg

Tabel 5-3 bevat de resultaten en beoordeling voor het gebied Heer Bokelweg. Op basis van de resultaten zijn de volgende conclusie te benoemen:

Nieuwe situaties:

- Voor de bouwblokken met een hoogte van meer dan 70 meter wordt voldaan aan de streefwaarden, bij de lagere bouwblokken niet.

Bestaande situaties:

- Voor de gebouwen met een hoogte van meer dan 70 meter wordt voldaan aan de streefwaarden, bij de lagere bouwblokken wordt alleen overdag voldaan aan de streefwaarden.

Tabel 5-3 - Verwachte trillingen in gebouwen (verwachtingswaarde) met beoordeling, gebied Heer Bokelweg.

Gebouw	Hoogte [m]	Beukmaat [m]	Afstand spoor [m]	Vmax dag	Vper dag	Vmax nacht	Vmax dag
GD-3a_30	30	5	7	0.6	0.08	0.5	0.6
GD-3b_30	30	6.5	7	0.6	0.08	0.5	0.6
GD-3c_30	30	8	7	0.6	0.09	1.0	0.6
GD-3a_30	30	5	50	0.5	0.03	0.4	0.5
GD-3b_30	30	6.5	50	0.5	0.03	0.4	0.5
GD-3c_30	30	8	50	0.5	0.04	0.7	0.5
GD-3a_125	125	5	21	0.2	0.01	0.2	0.2
GD-3b_125	125	6.5	21	0.2	0.01	0.2	0.2
GD-3c_125	125	8	21	0.2	0.01	0.2	0.2
GD-3a_20	20	5	17	0.5	0.05	0.5	0.5
GD-3b_20	20	6.5	17	0.5	0.05	0.5	0.5
GD-3c_20	20	8	17	0.5	0.06	0.7	0.5
GD-3a_74	74	5	68	0.2	0.01	0.2	0.2
GD-3b_74	74	6.5	68	0.2	0.01	0.2	0.2
GD-3c_74	74	8	68	0.2	0.01	0.2	0.2

5.4 Bovengrens van trillingen in gebouwen

Voor alle beschouwde gebouwtypes (Tabel 2-3) is een prognose gemaakt van de bovengrens van trillingssterktes in de gebouwen op de vloeren op de hoogste verdieping. De bovengrens correspondeert met de bovengrens aan de opslingering van trillingen in woningen zoals wij die incidenteel tegenkomen in praktijkmetingen. Concreet correspondeert deze 95%-bovengrenswaarde met een situatie waarin gebouwen relatief kaal zijn ingericht (weinig demping, relatief slappe constructie). De 50%-waarde correspondeert meer met de meest voorkomende situaties. Een onderscheid is gemaakt tussen beoordelingsperiode dag/avond en nacht. Ook zijn de beoordelingen voor zowel nieuwe situatie als bestaande situatie uitgevoerd. Tabel 5-1 geeft een toelichting over de kleuren gebruikt in de beoordeling van de resultaten.

Alle resultaten zijn beoordeeld op de streefwaarden voor gebouwen met een functie wonen.

5.4.1 Deelgebied Pompenburg en Stroveer

Tabel 5-4 bevat de resultaten en beoordeling voor het gebied Pompenburg. Op basis van de resultaten zijn de volgende conclusie te benoemen:

Nieuwe situaties:

- Voor geen van de gebouwen wordt voldaan aan de streefwaarden.

Bestaande situaties:

- Met uitzondering van de 140 meter hoge toren in GD-1, zijn er overschrijdingen van de streefwaarden in alle bouwblokken.

Tabel 5-4 - Verwachte bovengrens trillingen in gebouwen met beoordeling, gebied Pompenburg.

Gebouw	Hoogte [m]	Beukmaat [m]	Afstand spoor [m]	Vmax dag	Vper dag	Vmax nacht	Vper nacht
GD-1a_20	20	5	7	1.1	0.24	0.9	0.08
GD-1b_20	20	6.5	7	1.1	0.25	0.9	0.08
GD-1c_20	20	8	7	1.2	0.28	1.1	0.09
GD-1a_30	30	5	7	1.3	0.26	0.9	0.08
GD-1b_30	30	6.5	7	1.3	0.27	0.9	0.08
GD-1c_30	30	8	7	1.4	0.30	1.1	0.09
GD-1a_15	15	5	7	1.2	0.26	1.0	0.08
GD-1b_15	15	6.5	7	1.5	0.28	1.0	0.09
GD-1c_15	15	8	7	1.4	0.29	1.1	0.09
GD-1a_140	140	5	17	0.4	0.06	0.3	0.02
GD-1b_140	140	6.5	17	0.4	0.06	0.3	0.02
GD-1c_140	140	8	17	0.4	0.07	0.3	0.02
Wa_21	21	5	13	1.0	0.21	0.8	0.07
Wb_21	21	6.5	13	1.0	0.22	0.8	0.07
Wc_21	21	8	13	1.1	0.25	1.0	0.08
Wa_57	57	5	13	0.8	0.15	0.6	0.05
Wb_57	57	6.5	13	0.8	0.15	0.6	0.05
Wc_57	57	8	13	0.8	0.15	0.6	0.05
Wa_40	40	5	17	1.0	0.18	0.7	0.06
Wb_40	40	6.5	17	1.0	0.18	0.7	0.06
Wc_40	40	8	17	1.0	0.20	0.7	0.06

5.4.2 Deelgebied Heer Bokelweg

Tabel 5-5 bevat de resultaten en beoordeling voor het gebied Heer Bokelweg. Op basis van de resultaten zijn de volgende conclusie te benoemen:

Nieuwe situaties:

- Voor geen van de bouwblokken wordt voldaan aan de streefwaarden.

Bestaande situaties:

- Voor de gebouwen met een hoogte van meer dan 70 meter wordt voldaan aan de streefwaarden. Bij de lagere bouwblokken wordt niet voldaan aan de streefwaarden.

Tabel 5-5 - Verwachte bovengrens trillingen in gebouwen met beoordeling, gebied Heer Bokelweg.

Gebouw	Hoogte [m]	Beukmaat [m]	Afstand spoor [m]	Vmax dag	Vper dag	Vmax nacht	Vper nacht
GD-3a_30	30	5	7	0.9	0.13	0.8	0.08
GD-3b_30	30	6.5	7	0.9	0.13	0.8	0.08
GD-3c_30	30	8	7	0.9	0.14	1.5	0.08
GD-3a_30	30	5	50	0.8	0.07	0.5	0.04
GD-3b_30	30	6.5	50	0.8	0.07	0.5	0.04
GD-3c_30	30	8	50	0.8	0.07	0.8	0.04
GD-3a_125	125	5	21	0.4	0.02	0.3	0.01
GD-3b_125	125	6.5	21	0.4	0.02	0.3	0.01
GD-3c_125	125	8	21	0.4	0.02	0.3	0.01
GD-3a_20	20	5	17	0.8	0.09	0.9	0.05
GD-3b_20	20	6.5	17	0.8	0.09	0.9	0.05
GD-3c_20	20	8	17	0.7	0.10	1.1	0.06
GD-3a_74	74	5	68	0.3	0.02	0.3	0.01
GD-3b_74	74	6.5	68	0.3	0.02	0.3	0.01
GD-3c_74	74	8	68	0.3	0.02	0.3	0.01

5.5 Onzekerheid in prognose

De prognoses zijn gebaseerd op de meest recente inzichten en de uitgangspunten zoals opgenomen in hoofdstuk 2. Desondanks zijn er een aantal parameters die kunnen leiden tot andere uitkomsten dan zoals hierboven beschreven:

1. Wijzigingen in de sporenlay-out, het spoorgebruik of de rijsnelheid van de treinen ten opzichte van de situatie waarvan in dit onderzoek is uitgegaan. In het geval van wijzigingen buiten de spoorzone zal ProRail doorgaans trillingsonderzoek uitvoeren. Er zijn geen wijzigingen op dit vlak voorzien.
2. Toename van het aantal treinen, waardoor de waarde van V_{per} hoger wordt. De waarde van V_{max} neemt hierdoor niet toe. De gevolgen van het project PHS Rotterdam – Rijswijk 2030 (toename van het treinverkeer) is meegenomen in de berekening.
3. De ligging van het spoor heeft invloed op de trillingen van het treinverkeer, deze spoorligging hangt samen met (onder meer) de onderhoudscyclus van het spoor. Naar verwachting zorgt deze variatie in spoorligging voor een variatie van +/- 25 procent in de trillingen.
4. Omdat de exacte detaillering van de bebouwing nog niet bekend is, is de spreiding in te verwachten trillingswaarden op midden veld nog vrij hoog. Deze spreiding is in rekening gebracht in de prognoses van de 50%-waarde en de 95%-waarde waar de 50% en 95% bandbreedtes gekozen zijn op basis van ervaring voor andere projecten. Hierbij geldt het volgende:
 - a. De gemiddelde waarden zijn het meest representatief bij een wat meer traditionele bouwwijze. Bij een relatief zware bouwwijze of zware fundering kunnen de trillingen ook lager zijn. De bovengrensberekening is meer representatief bij afwijkende

constructies en materialen. Denk hierbij aan sterk asymmetrische bouwvormen, grote overspanningen, relatief lichte constructies (staal, hout)

- b. De werkelijke trillingen in de gebouwen zijn sterk afhankelijk van de vorm van het gebouw, detaillering van fundering en constructieve details van het gebouw in combinatie met details van de ligging en spoorintensiteit.

5.6 Advies ten aanzien van maatregelen

De volgende methodiek in het bepalen van de maatregelen is gebruikt.

- Indien de 50% waarde hoger is dan de streefwaarden, dan adviseren we een afweging van maatregelen om trillingen te reduceren en deze maatregelen te toetsen in het nader uitgewerkte ontwerp.
- Indien de 95% bovengrens van de verwachtingswaarde de streefwaarden overschrijden, dan adviseren we het nader uitgewerkte ontwerp te toetsen op trillingen, zoals hierboven beschreven.
- Indien de 95% bovengrens van de verwachtingswaarde lager is dan de streefwaarden, dan wordt naar alle waarschijnlijkheid in het gebouw voldaan aan de streefwaarden, en is verdere actie niet nodig.

Algemeen is het advies om, gelet op de relatief hoge trillingsniveaus, tijdens de constructieve uitwerking van de gebouwen rekening te houden met trillingen door het ontwerp met een gedetailleerd model te toetsen op trillingen en de uitkomsten mee te nemen in het ontwerpproces. Ten aanzien van maatregelen zijn al wel enkele mogelijkheden te schetsen (met, van boven naar onder, een afnemend effect op de trillingen):

- Het afveren van gebouwen. Hierbij wordt een slappere laag (bijv. stalen veerdozen) aangebracht tussen de fundering, waardoor het gebouw wordt geïsoleerd van de ondergrond. Het afveren bij hoge gebouwen (>50) is technisch complex. Het risico bestaat dat de trillingen verergeren. Het ontwerp dient daarom plaats te vinden in een samenwerking tussen de constructeur, de leverancier en een trillingspecialist. Deze maatregel is erg kostbaar, en bedraagt 3 tot 10% van de stichtingskosten van een gebouw.
- Verzwaren van de fundering. Hierbij wordt gebruik gemaakt van dikkere, langere palen, een zwaardere kelder of een groter aantal palen. Meestal is deze maatregel minder effectief dan afveren, maar de maatregel is wel voor alle gebouwen effectief. Afhankelijk van de mate van verzwaring van de fundering bedragen de kosten tot ongeveer 1.5% van de stichtingskosten van een gebouw.
- Ontwerptoptimalisaties, bijvoorbeeld een stijvere gebouwconstructie zodat de eigenfrequenties in het ontwerp niet samenvallen met de trillingen van de treinen. Die stijvere gebouwconstructie kan worden gerealiseerd door het gebruiken van een hogere betonkwaliteit, of extra of dikkere kolommen en wandschijven. Deze optimalisaties hebben vooral lokaal effect, op plekken met hoge trillingen. Afhankelijk van de optimalisaties bedragen de kosten tot ongeveer 1% van de stichtingskosten van een gebouw.
- Vermijden/herindeling van trillingsgevoelige gebouwfuncties. Momenteel is de toetsing voor alle bouwdelen (met uitzondering van Couwenburgplein) gedaan tegen de functie wonen. Indien voor bepaalde bouwblokken een minder gevoelige functie zal worden gebruikt zoals kantoor of zelfs een relatief trillingsongevoelige functie zoals horeca/filmhuis zijn minder maatregelen of zelfs geen maatregelen nodig.

In **Tabel 5-6** is samengevat welke maatregelen per gebouw nodig zijn om te voldoen aan SBR B streefwaarden nieuwe situaties.

Andere trillingsreducerende maatregelen, zoals trillingsschermen en aanpassingen aan de vloeren, zijn onvoldoende effectief. Maatregelen aan het spoor liggen buiten de scope van dit onderzoek, omdat deze buiten het plangebied moeten worden getroffen.

Een samenvatting van alle mogelijk maatregelen per locatie en per gebouw is de Tabel 5-6 weergegeven.

Tabel 5-6 Samenvatting advies ter voorkoming van trillingshinder.

Deelgebied	Gebouw-type	Gebouw-hoogte [m]	Afstand tot spoor [m]	Adviesmaatregel
Pompenburg	GD-1_20	20	7	detailonderzoek + overweging afveren met stalen veren / verzwaren fundering / isoleren kelder
Pompenburg	GD-1_30	30	7	detailonderzoek + overweging afveren met stalen veren / verzwaren fundering / isoleren kelder
Pompenburg	GD-1_15	15	7	detailonderzoek + overweging afveren met stalen veren / verzwaren fundering / isoleren kelder
Pompenburg	GD-1_140	140	7	toetsen ontwerp in detailonderzoek
Stroveer	W_21	21	13	detailonderzoek + overweging afveren met stalen veren / verzwaren fundering / isoleren kelder
Stroveer	W_57	57	13	detailonderzoek + overweging afveren met stalen veren / verzwaren fundering / isoleren kelder
Stroveer	W_40	40	17	detailonderzoek + overweging afveren met stalen veren / verzwaren fundering / isoleren kelder
Heer Bokelweg	GD-3_20	20	17	detailonderzoek + overweging afveren met stalen veren / verzwaren fundering / isoleren kelder
Heer Bokelweg	GD-3_30	30	3, 50	detailonderzoek + overweging afveren met stalen veren / verzwaren fundering / isoleren kelder
Heer Bokelweg	GD3_74	74	68	detailonderzoek + overweging afveren met stalen veren / verzwaren fundering / isoleren kelder
Heer Bokelweg	GD3_125	125	21	toetsen ontwerp in detailonderzoek

5.6.1 Detailanalyse

Ongeacht de adviezen van de mogelijke maatregelen op dit moment adviseren wij een meer gedetailleerde analyse uit te voeren op het moment dat de gebouwen constructief worden gedetailleerd.

De analyses in dit rapport zijn uitgevoerd met een empirisch model dat is gebaseerd op verschillende metingen en eindige elementenberekeningen. De spreiding in de resultaten van deze metingen en berekeningen is groot. Daarom adviseren we een meer gedetailleerde analyse uit te voeren met de eigenschappen van deze specifieke situatie. Daarbij dient rekening te worden gehouden met de volgende kenmerken:

- De doorsnede van de verdiepte ligging van het spoor met de omringende bodem
- De constructieve eigenschappen van de gebouwen

Voor deze meer gedetailleerde analyse zijn 3D eindige elementen berekeningen van de bodem en de gebouwen geschikt.

Resultaat van zo'n detailanalyse is een nauwkeuriger inschatting van de trillingen in de gebouwen en eventueel input voor ontwerpoptimalisaties of het treffen van maatregelen om trillingshinder te voorkomen of zoveel mogelijk te reduceren.

5.7 Laagfrequent geluid

Trillingen afkomstig van treinverkeer kunnen via de bodem onderdelen van gebouwen in trilling brengen, waardoor binnen het gebouw laagfrequent geluid ontstaat. Het frequentiegebied van laagfrequent geluid gaat van ca. 20 tot 125 Hz. Voor trillingen bij spoorverkeer zijn dit relatief hoogfrequente trillingen, waardoor de amplitude van de trillingen snel afneemt met de afstand tot het spoor. Hinder van laagfrequent geluid treedt bij treinverkeer vooral op bij de volgende omstandigheden:

- Een kleine afstand tussen het gebouw en het spoor, bijvoorbeeld minder dan 30 meter.
- Een stijve bodem tussen het spoor en het gebouw, waardoor trillingen minder snel gedempt worden met de afstand.
- Spoor in een tunnel of verdiepte ligging. Dit kan tot extra hinder leiden omdat:
 - Een spoor in een tunnel of verdiepte ligging is vaak in direct contact met diepere stijve bodemlagen, waardoor er een trillingspad ontstaat door de stijve bodemlagen naar de fundering van gebouwen, en hoogfrequente trillingen makkelijker worden overgedragen.

- Bij een verdiepte ligging of tunnel is de trein niet zichtbaar, en wordt het directe luchtgeluid afgeschermd, waardoor alleen nog het laagfrequente geluid wordt waargenomen. Het laagfrequente geluid wordt dan als extra hinderlijk ervaren.

Omdat voor het huidige project gebouwen dichterbij dan 30 meter van het spoor gepland staan en er sprake is van een verdiepte ligging/tunnel van het spoor adviseren we om tijdens detailanalyses rekening te houden met laagfrequent geluid.

6 Conclusie en aanbevelingen

In dit onderzoek zijn berekeningen uitgevoerd om de verwachte trillingsniveaus in de nieuw te bouwen gebouwen te bepalen. De verwachte waarden zijn getoetst aan de streefwaarden voor nieuwbouw uit de SBR-B richtlijn. Omdat de daadwerkelijke trillingen afhangen van de details van de bouwconstructie kunnen momenteel alleen verwachte trillingen worden berekend met een onzekerheid. De prognose geeft daarom een 50%-waarde (verwachtingswaarde) en een 95%-waarde (bovangrens).

De complete prognose en beoordeling is weergegeven in Sectie 5.3 en 5.4.

De conclusies op basis van de analyse zoals beschreven in dit rapport zijn als volgt:

- De bouwblokken van 125 en 140 meter hoog **voldoen** aan het beoordelingskader
- De overige bouwblokken **voldoen niet** aan het beoordelingskader. Een deel van de bouwblokken voldoet ook niet aan de (soepeler) streefwaarden voor bestaande situaties uit de SBR B-richtlijn.

Algemeen is het advies om, gelet op de relatief hoge trillingsniveaus, tijdens de constructieve uitwerking van de gebouwen rekening te houden met trillingen door het ontwerp met een gedetailleerd model te toetsen op trillingen en de uitkomsten mee te nemen in het ontwerpproces. Ten aanzien van maatregelen zijn al wel enkele mogelijkheden te schetsen (met, van boven naar onder, een afnemend effect op de trillingen):

- Het afveren van gebouwen. Hierbij wordt een slappere laag (bijv. stalen veerdozen) aangebracht tussen de fundering, waardoor het gebouw wordt geïsoleerd van de ondergrond. Het afveren bij hoge gebouwen (>50) is technisch complex. Het risico bestaat dat de trillingen verergeren. Het ontwerp dient daarom plaats te vinden in een samenwerking tussen de constructeur, de leverancier en een trillingspecialist. Deze maatregel is erg kostbaar, en bedraagt 3 tot 10% van de stichtingskosten van een gebouw.
- Verzwaren van de fundering. Hierbij wordt gebruik gemaakt van dikkere, langere palen, een zwaardere kelder of een groter aantal palen. Meestal is deze maatregel minder effectief dan afveren, maar de maatregel is wel voor alle gebouwen effectief. Afhankelijk van de mate van verzwaring van de fundering bedragen de kosten tot ongeveer 1.5% van de stichtingskosten van een gebouw.
- Ontwerptimalisaties, bijvoorbeeld een stijvere gebouwconstructie zodat de eigenfrequenties in het ontwerp niet samenvallen met de trillingen van de treinen. Die stijvere gebouwconstructie kan worden gerealiseerd door het gebruiken van een hogere betonkwaliteit, of extra of dikkere kolommen en wandschijven. Deze optimalisaties hebben vooral lokaal effect, op plekken met hoge trillingen. Afhankelijk van de optimalisaties bedragen de kosten tot ongeveer 1% van de stichtingskosten van een gebouw.
- Vermijden/herindeling van trillingsgevoelige gebouwfuncties. Momenteel is de toetsing voor alle bouwdelen (met uitzondering van Couwenburgplein) gedaan tegen de functie wonen. Indien voor bepaalde bouwblokken een minder gevoelige functie zal worden gebruikt zoals kantoor of zelfs een relatief trillingsongevoelige functie zoals horeca/filmhuis zijn minder maatregelen of zelfs geen maatregelen nodig.

In **Tabel 5-6** is samengevat welke maatregelen per gebouw nodig zijn om te voldoen aan SBR B streefwaarden nieuwe situaties.

Andere trillingsreducerende maatregelen, zoals trillingsschermen en aanpassingen aan de vloeren, zijn onvoldoende effectief. Maatregelen aan het spoor liggen buiten de scope van dit onderzoek, omdat deze buiten het plangebied moeten worden getroffen.

De betrokken partijen kunnen in overleg hogere trillingen accepteren als de maatregelen niet doelmatig zijn. Ze kunnen zich daarbij beroepen op bijlage 5 van de SBR-B richtlijn. De doelmatigheid van de maatregelen volgt uit het hierboven genoemde detailonderzoek, de kosten en de impact van de maatregelen.

Laatste aanbeveling is om zowel laagfrequent geluid en andere mogelijke trillingsbronnen (zoals de trambaan) mee te nemen in vervolgonderzoeken voor de omgevingsvergunning. Ten opzichte van de trillingen van het treinverkeer zullen de effecten van andere trillingsbronnen naar verwachting beperkt zijn. Indien nodig zijn problemen met relatief eenvoudige aanvullende maatregelen te verhelpen. Vaak zijn de maatregelen die voor de trillingen van het treinverkeer worden getroffen ook effectief tegen trillingen van andere bronnen en laagfrequent geluid.

COLOFON

OPDRACH
TGEVER

Postbus 431
3500 AK Utrecht

UITGAVE

Movares Nederland B.V.

Daalseplein 100
Postbus 2855
3500 GW Utrecht

TELEFOON

+31 (0)30 - 265 5555

ONDERTEKENAAR

Schoemakers CW (Wijnand)
wijnand.schoemakers@movares.nl

PROJECTNUMMER

MN003585

KENMERK

D79-WSC-HS-RAP-22002402

Bijlage 1 - Gegevens van de metingen

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

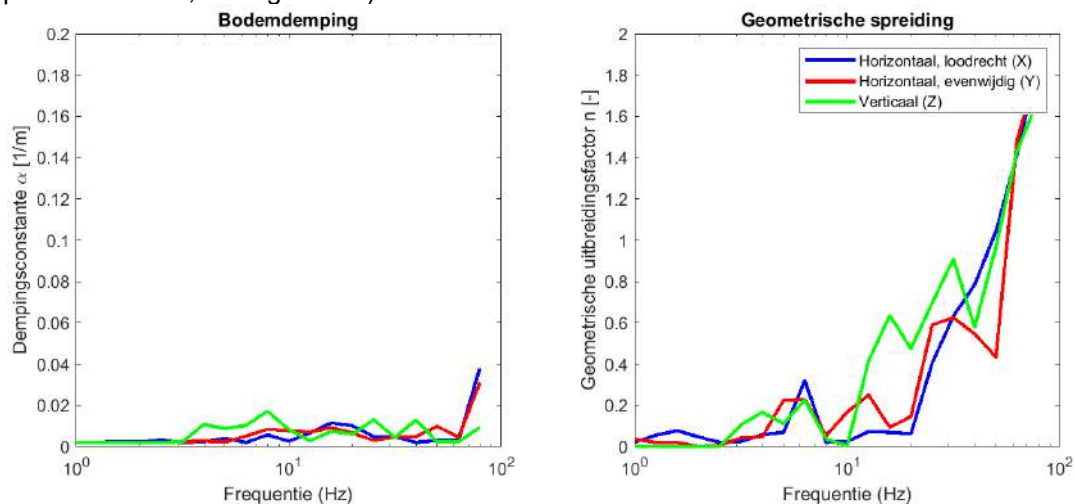
1	Uitvoerende organisatie	<i>Movares Nederland B.V.</i> <i>Daalseplein 101</i> <i>3511 SX Utrecht</i>
	Verantwoordelijke persoon	<i>Mark Wijnands</i> <i>e-mail: mark.wijnands@movares.nl</i> <i>tel.: 06 - 51 62 44 37</i>
2	Meting uitgevoerd door	<i>Sybre van Klaarbergen en André Fredriksz</i>
3	Tijdsperiode meting	<i>30-10-2019 tot 01-11-2019 (korteduurmeting)</i> <i>29-10-2019 tot 09-11-2019 (langeduurmeting)</i>
4	Type trillingsbron	<i>Treinen.</i>
5	Gebouwomschrijving	<i>Meting in en aan hoogbouw "Spaces", verder; niet van toepassing</i>
6	Locatie metingen	<i>Zie plattegrond in hoofdstuk 2</i>
7	Geotechnische gegevens	<i>Zie Bijlage III</i>
8	Meetposities	<i>Zie plattegrond in hoofdstuk 2</i>
9	Gebruikte meetopnemers	<i>vijftien 3D-geofoons</i>
	Gebruikte registratieapparatuur	<i>Webcam gekoppeld aan meetcomputer</i>
	Gebruikte verwerkingsapparatuur	<i>Raspberry Pi met USB-DUX.</i> <i>Meetcomputers leggen zowel de trillingssterkte per 30 seconden als het tijdssignaal vast.</i>
10	Overzicht meetwaarden	<i>Zie figuren in hoofdstuk 4</i>
11	Motivatie classificatie gebouw	<i>Zie hoofdstuk 2</i>
12	Overige relevante omstandigheden	<i>Zie hoofdstuk 2</i>

© 2022, Movares Nederland B.V.

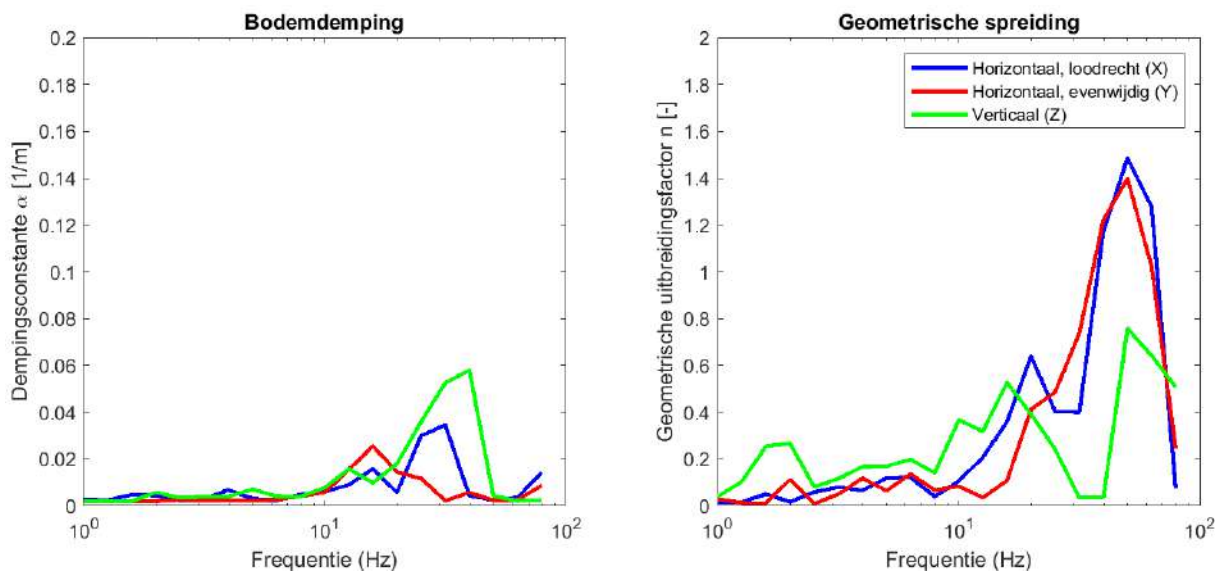
Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden veeleenvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming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

Bijlage 2 - Meetresultaten

In onderstaande figuren zijn de dynamische bodemeigenschappen weergegeven. Deze zijn vastgesteld middels de twee meettraaien die haars op het spoor zijn uitgezet (zie Figuur 2-3). Links is de bodemdemping weergegeven, rechts de geometrische spreiding van de trillingen. Deze metingen zijn verricht voor de deelgebieden Heer Bokelweg (meetpunt 1 t/m 4, zie Figuur 2-3) en Pompenburg (meetpunten 7 t/m 10, zie Figuur 2-3)



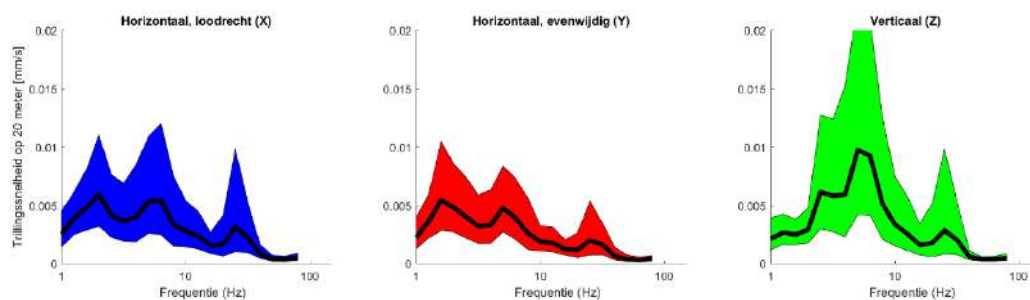
Figuur II-6-1 Bodemdemping en geometrische spreiding voor deelgebied Heer Bokelweg)



Figuur II-6-2 Bodemdemping en geometrische spreiding voor deelgebied Pompenburg

Het algemene beeld is op beide locaties hetzelfde. Bij relatief lage frequenties, 0 tot 10Hz, treedt relatief weinig demping op. In het gebied van 10 tot 40Hz neemt de bodemdemping van trillingen toe. Voor de locatie Bokelweg is echter ook voor hogere frequenties weinig bodemdemping, maar wel een hoge geometrische spreiding. In het hoogfrequente deel van het spectrum, 60 tot 100Hz, neemt de

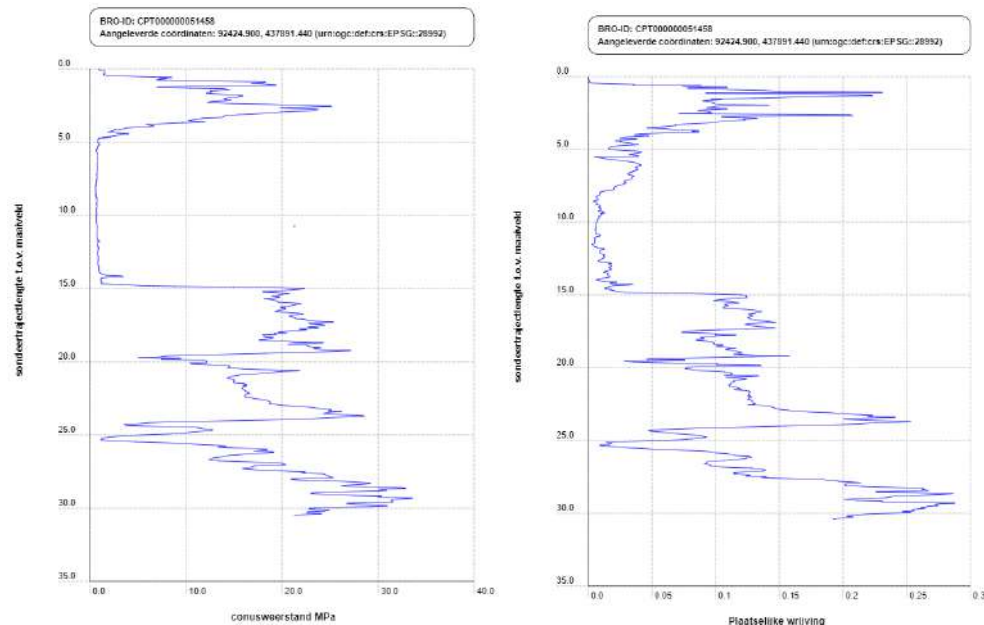
grilligheid van de grafieken toe. Dit komt door de beperkte trillingsenergie bij die frequenties, dit deel van de grafieken is voor de berekeningen dan ook minder relevant.



Figuur II-6-3: Omhullenden van de gemeten spectra voor de dempingsmeting in deelgebied Pompenburg

Bijlage 3 – Bodemgegevens

Onderstaande sondering geeft een beeld van de bodemopbouw ter plaatse van de onderzoekslocatie. In dinoloket zijn meerdere sonderingen beschikbaar voor dit gebied. Sondering **CPT000000051458** (Figuur III-6-4) mag gezien worden als representatief. De toplagen zijn afwisselend stijf en slap. Hierna volgt een dikke, slappe bodemlaag. De stijve, dragende grondlaag begint op ongeveer 15m onder maaiveld.

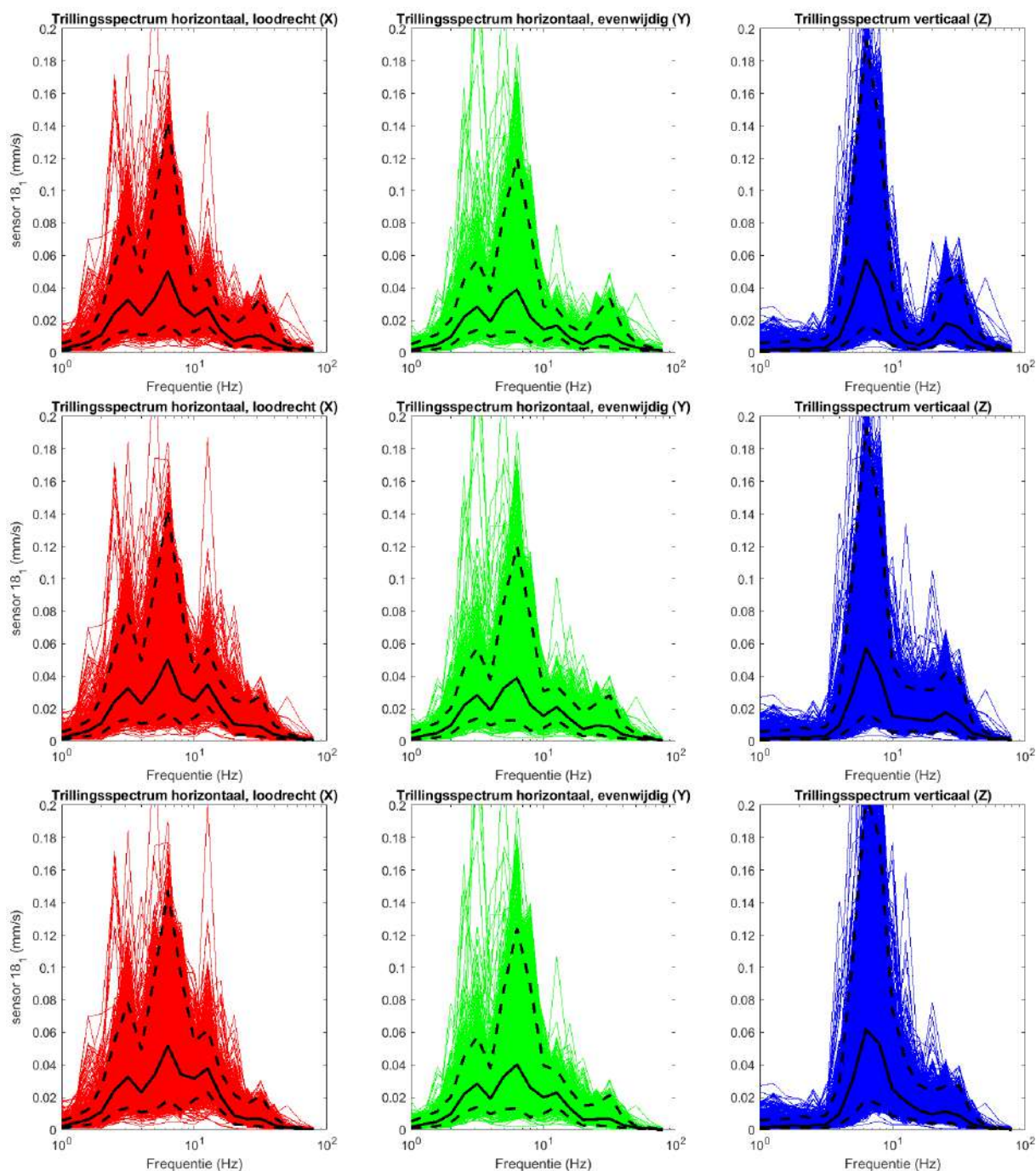


Figuur III-6-4 Conusweerstand (links) en wrijvingsgetal (rechts) voor sondering CPT000000051458 (bron DINOloket)

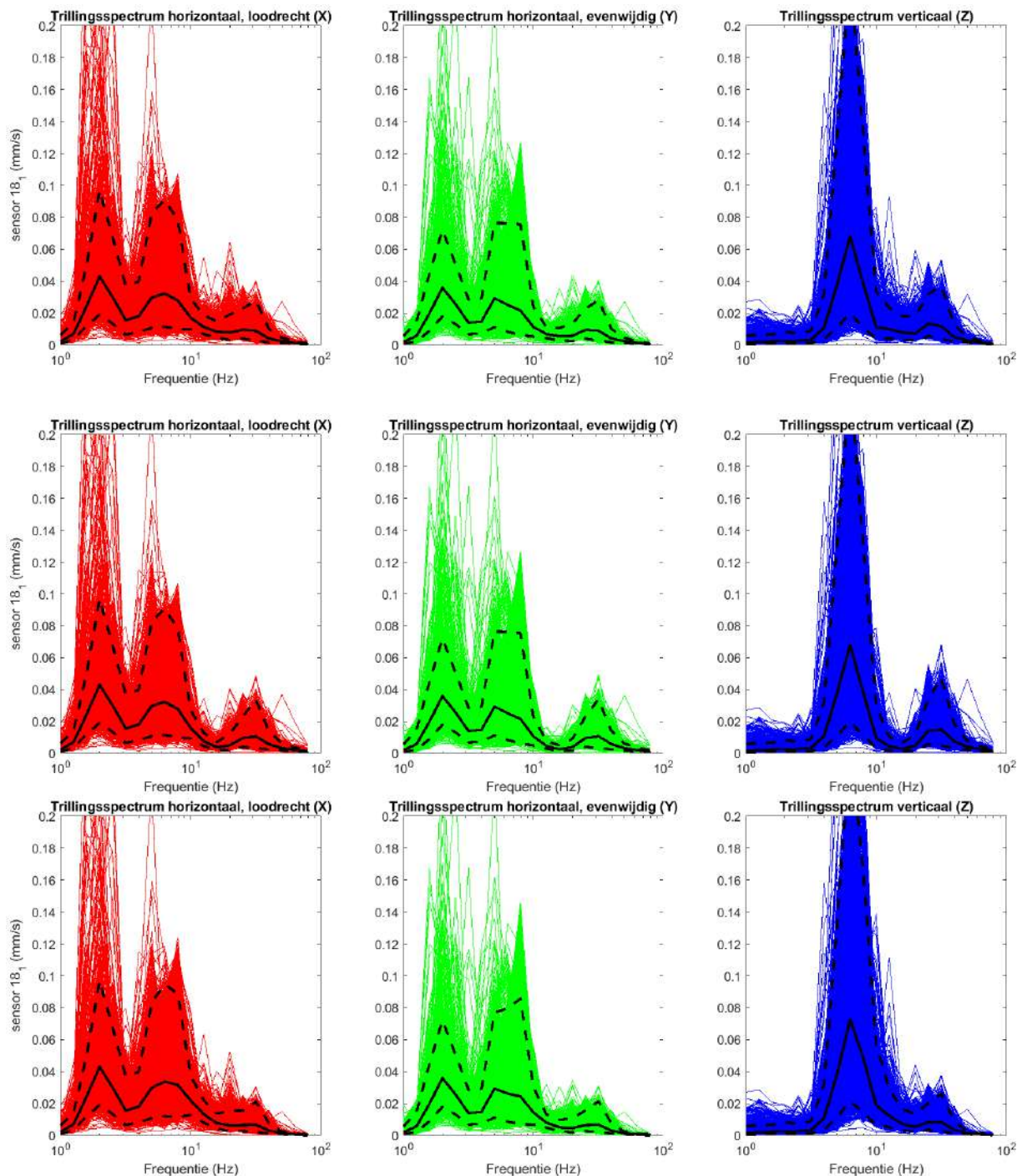
Trillingen dempen sneller uit in slappe grondlagen. Door de afwisseling van slappe en stijvere lagen in de bovenste 5m van het grond pakket, is het goed mogelijk dat trillingen met hogere frequenties snel uitdempen, terwijl de lagere frequenties veel minder zullen dempen. Dit komt overeen met de gemeten demping in Bijlage 2.

Bijlage 4 – Trillingsspectra in gebouwen (50% waarde)

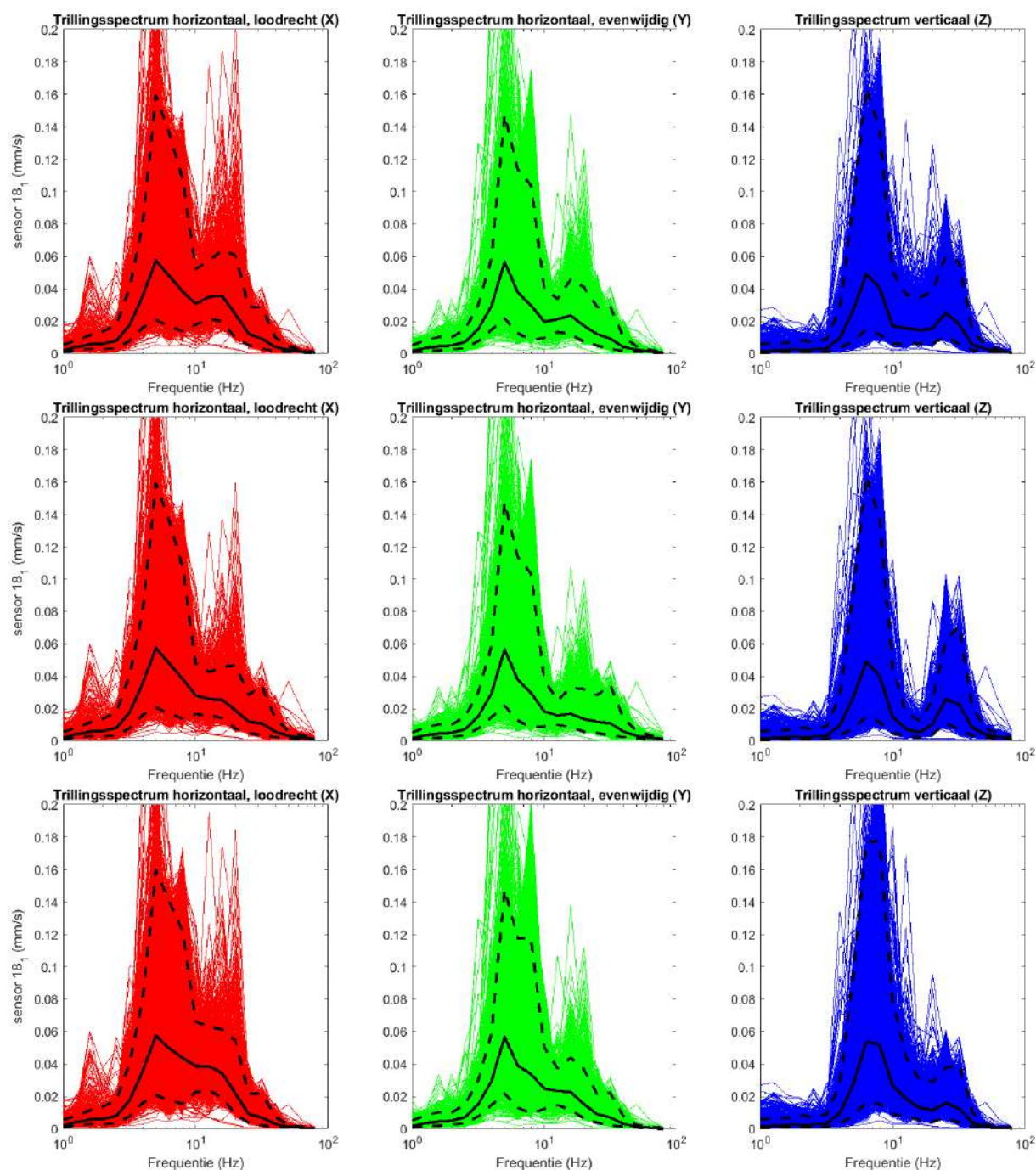
Trillingsspectra, gebied Pompenburg, gebouw type GD-2, hoogte 20, afstand spoor 7m, met oplopende beukmaat van boven naar beneden (5m, 6.5m, 8m).



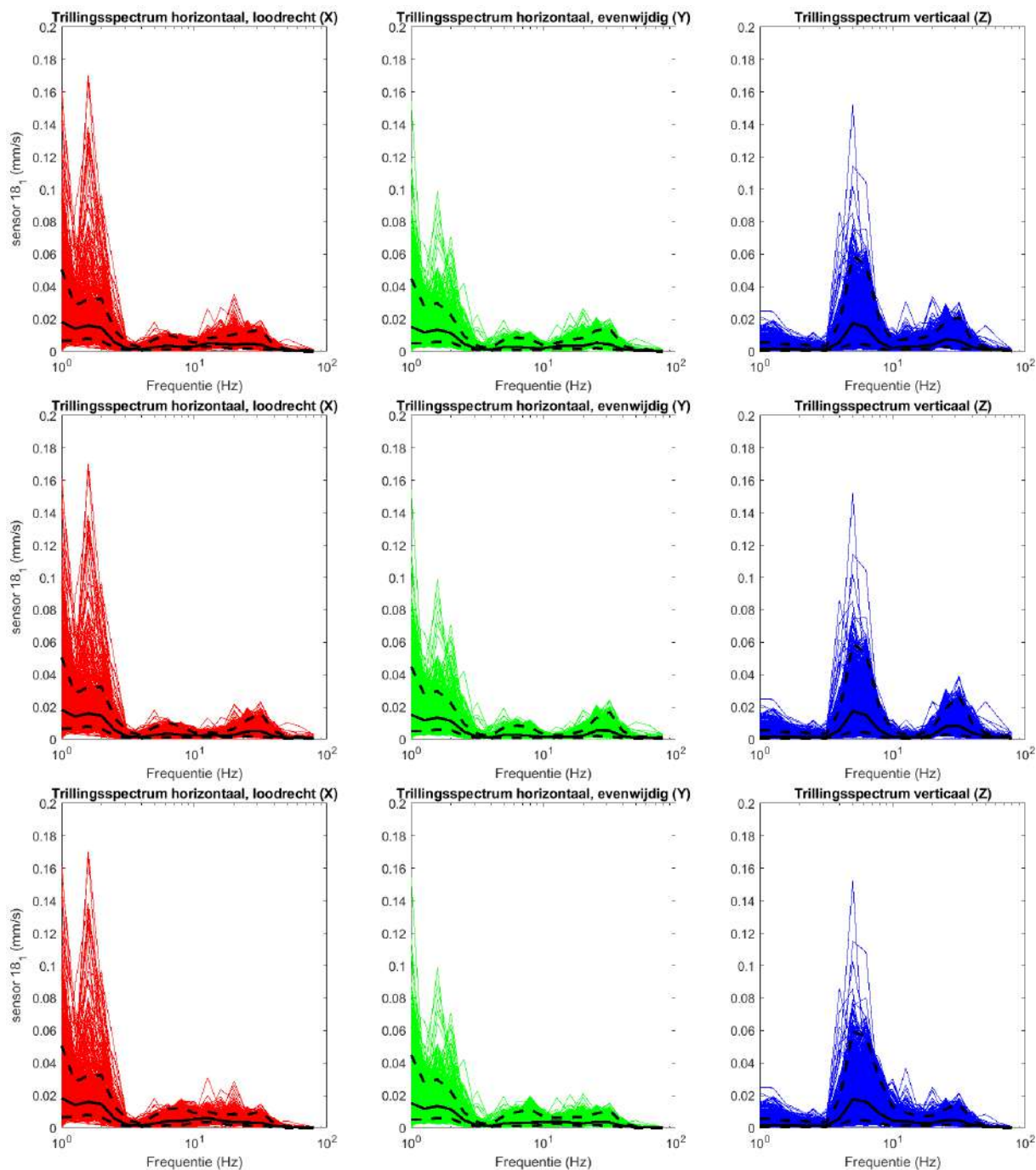
Trillingsspectra, gebied Pompenburg, gebouw type GD-1_30, hoogte 30, afstand spoor 7m, met oplopende beukmaat van boven naar beneden (5m, 6.5m, 8m).



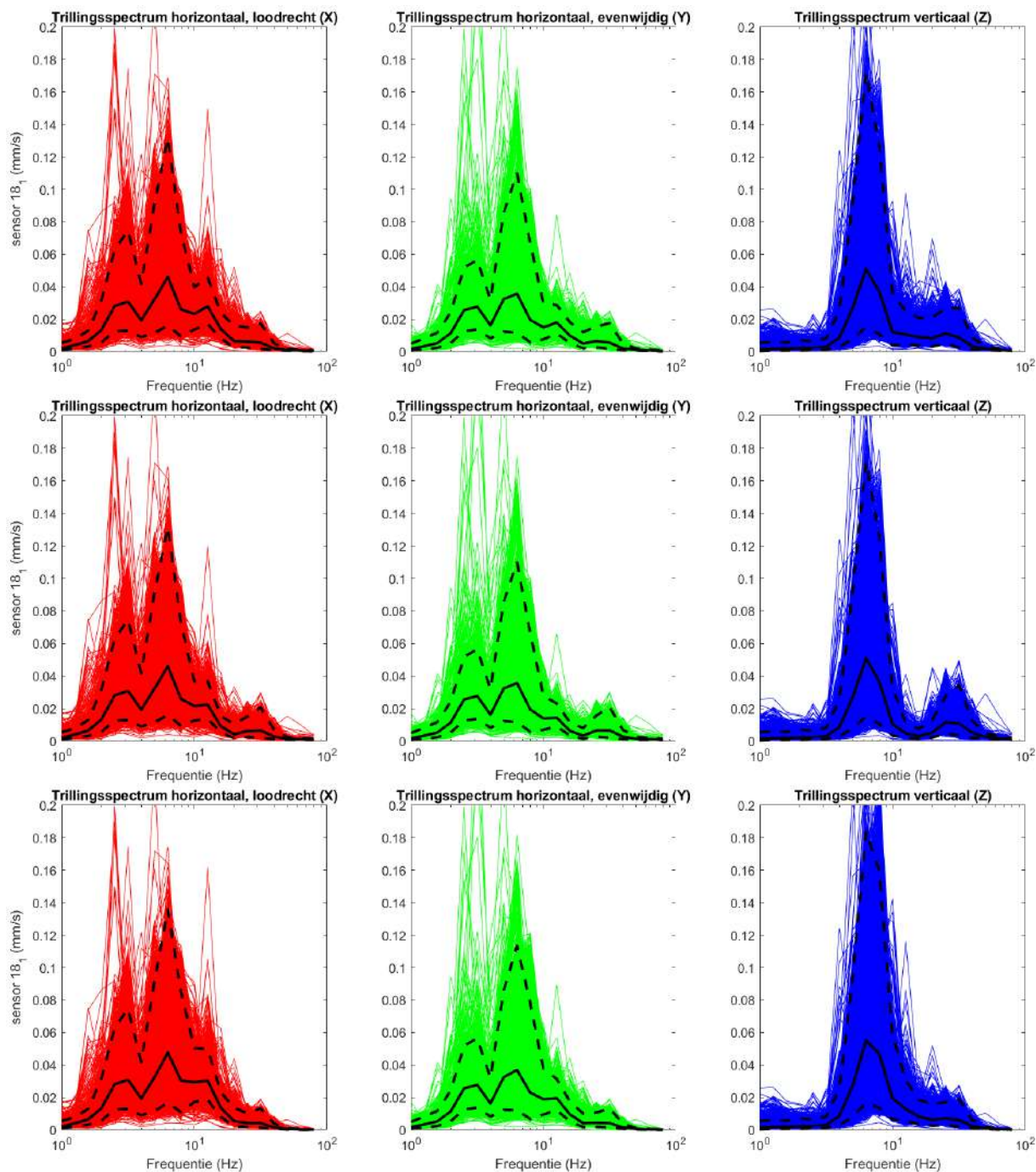
Trillingsspectra, gebied Pompenburg, gebouw type GD-1_15 hoogte 15, afstand spoor 7m, met oplopende beukmaat van boven naar beneden (5m, 6.5m, 8m).



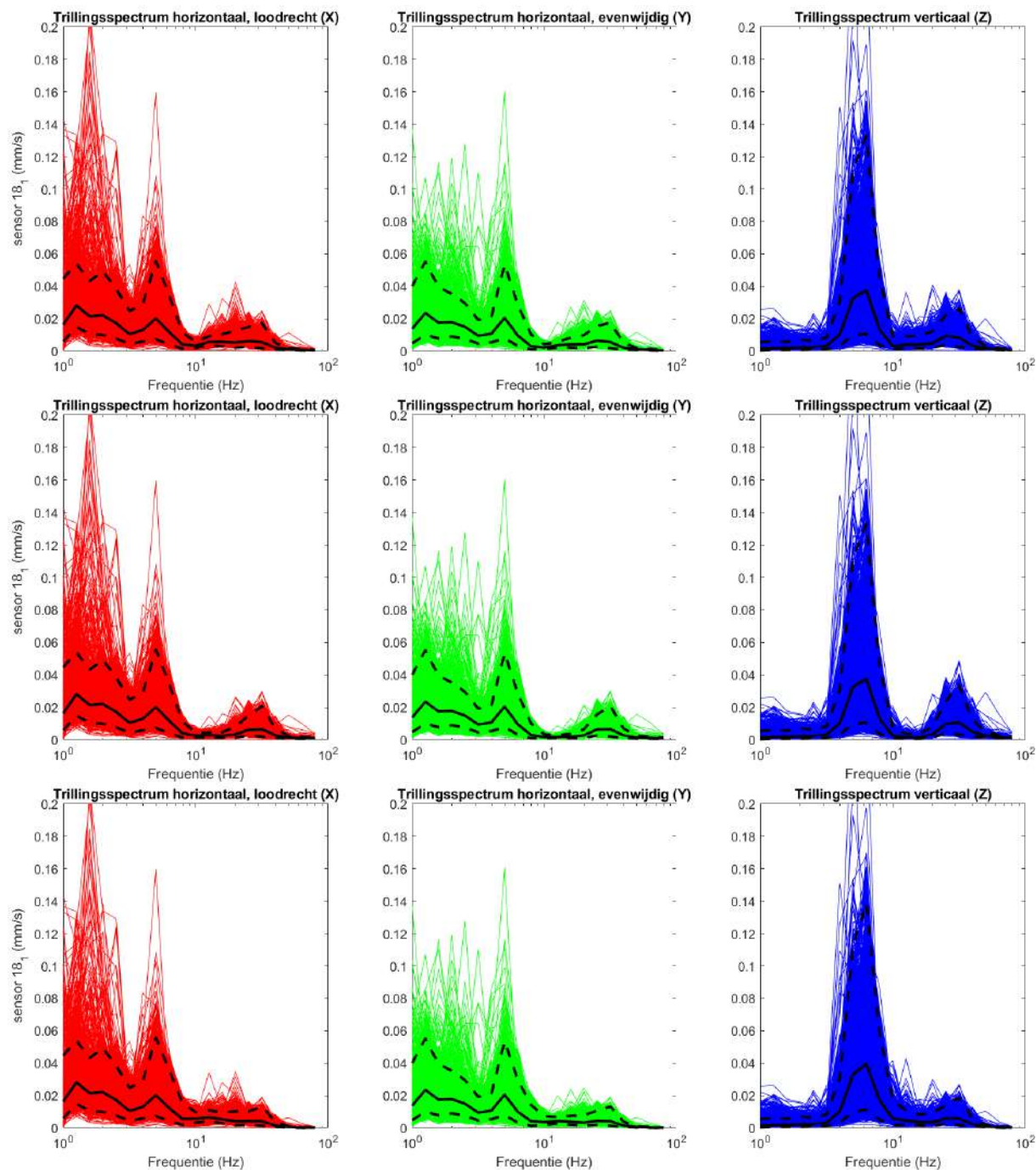
Trillingsspectra, gebied Pompenburg, gebouw type GD-1_140 hoogte 140m, afstand spoor 17m, met oplopende beukmaat van boven naar beneden (5m, 6.5m, 8m).



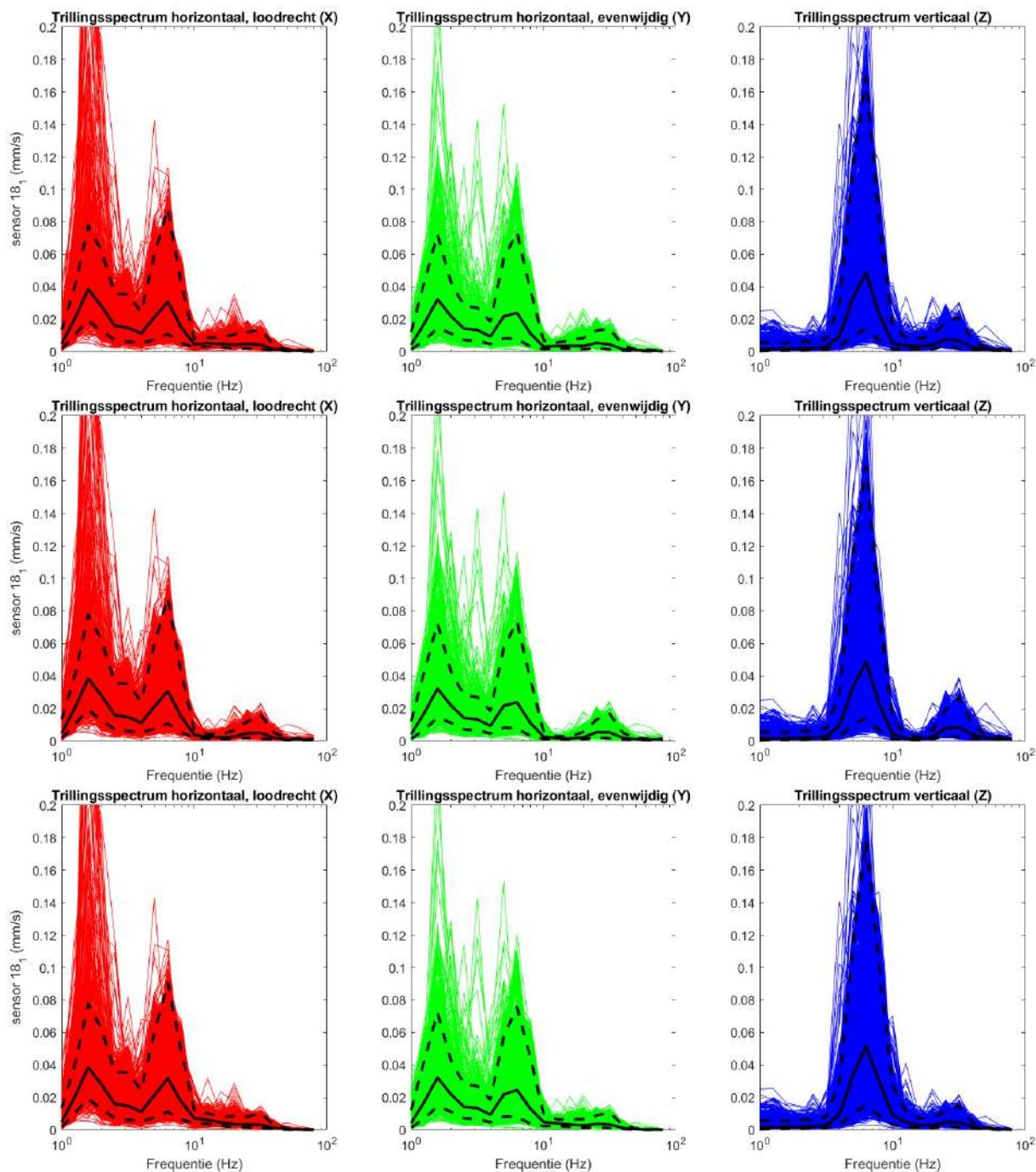
Trillingsspectra, gebied Pompenburg, gebouw type W-21 hoogte 21m, afstand spoor 13m, met oplopende beukmaat van boven naar beneden (5m, 6.5m, 8m).



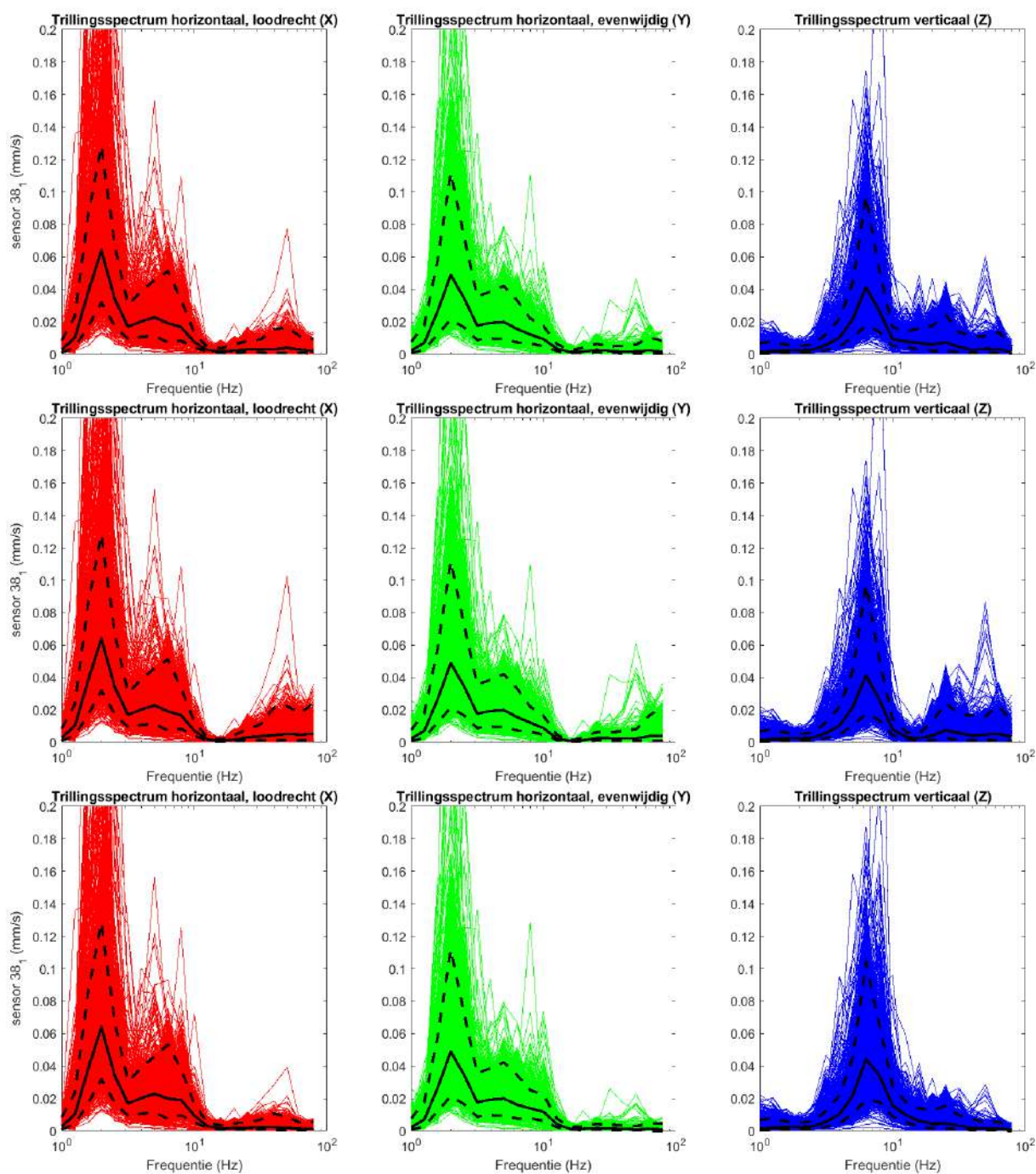
Trillingsspectra, gebied Pompenburg, gebouw type W-57 hoogte 57m, afstand spoor 13m, met oplopende beukmaat van boven naar beneden (5m, 6.5m, 8m).



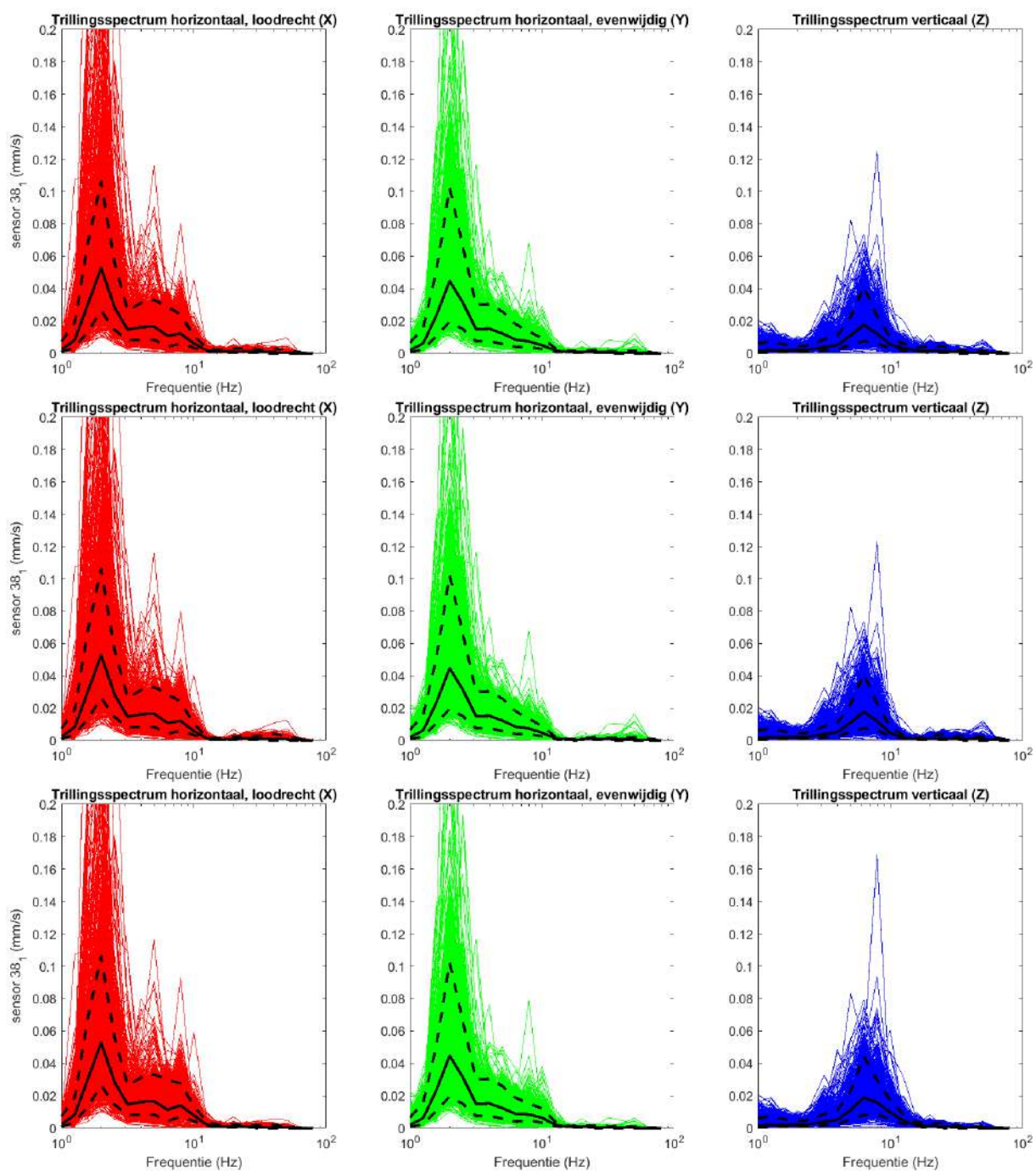
Trillingsspectra, gebied Pompenburg, gebouw type W-40 hoogte 40m, afstand spoor 17m, met oplopende beukmaat van boven naar beneden (5m, 6.5m, 8m).



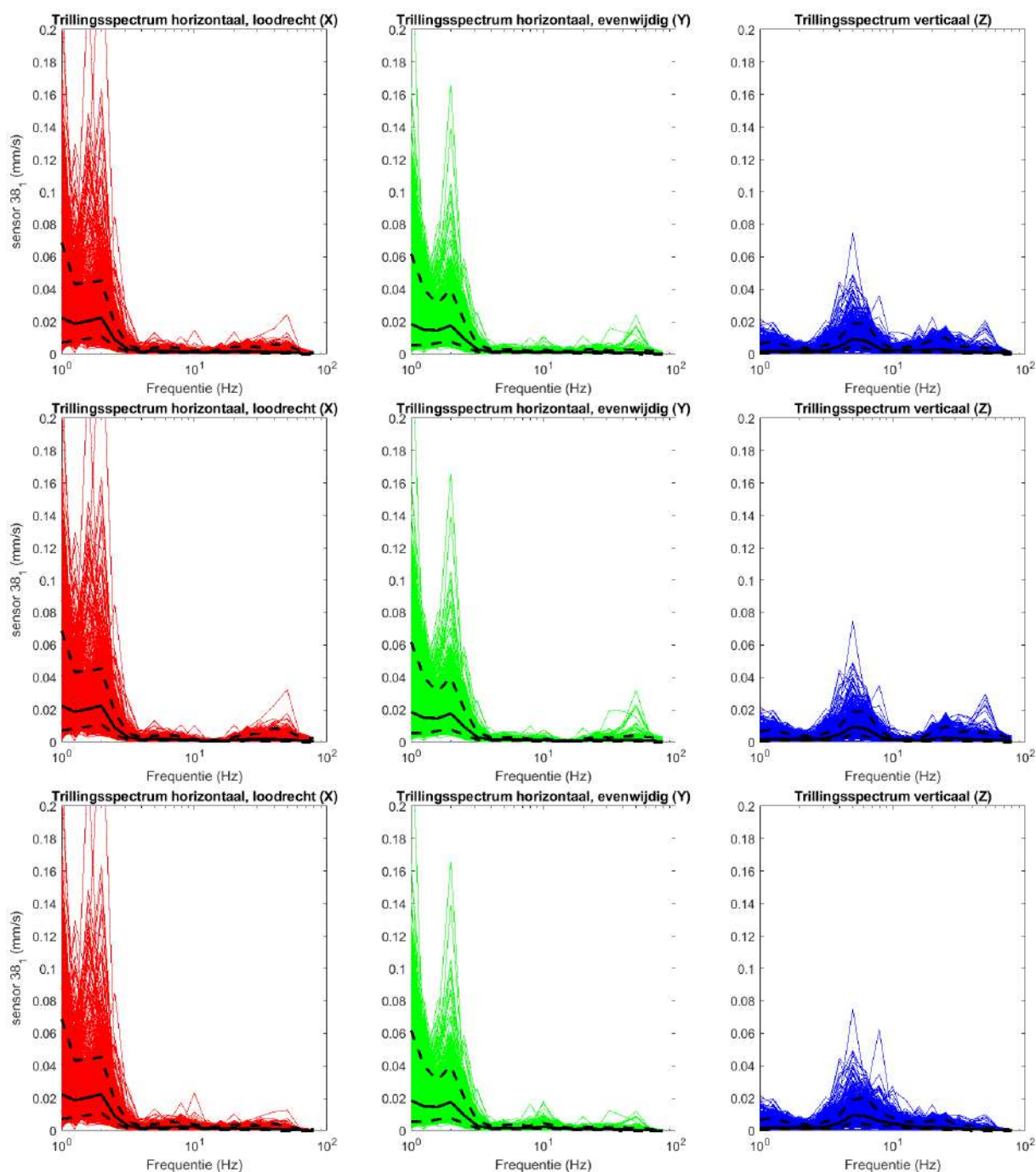
Trillingsspectra, gebied Heer Bokelweg, gebouw type GD-3_30 hoogte 30m, afstand spoor 7m, met oplopende beukmaat van boven naar beneden (5m, 6.5m, 8m).



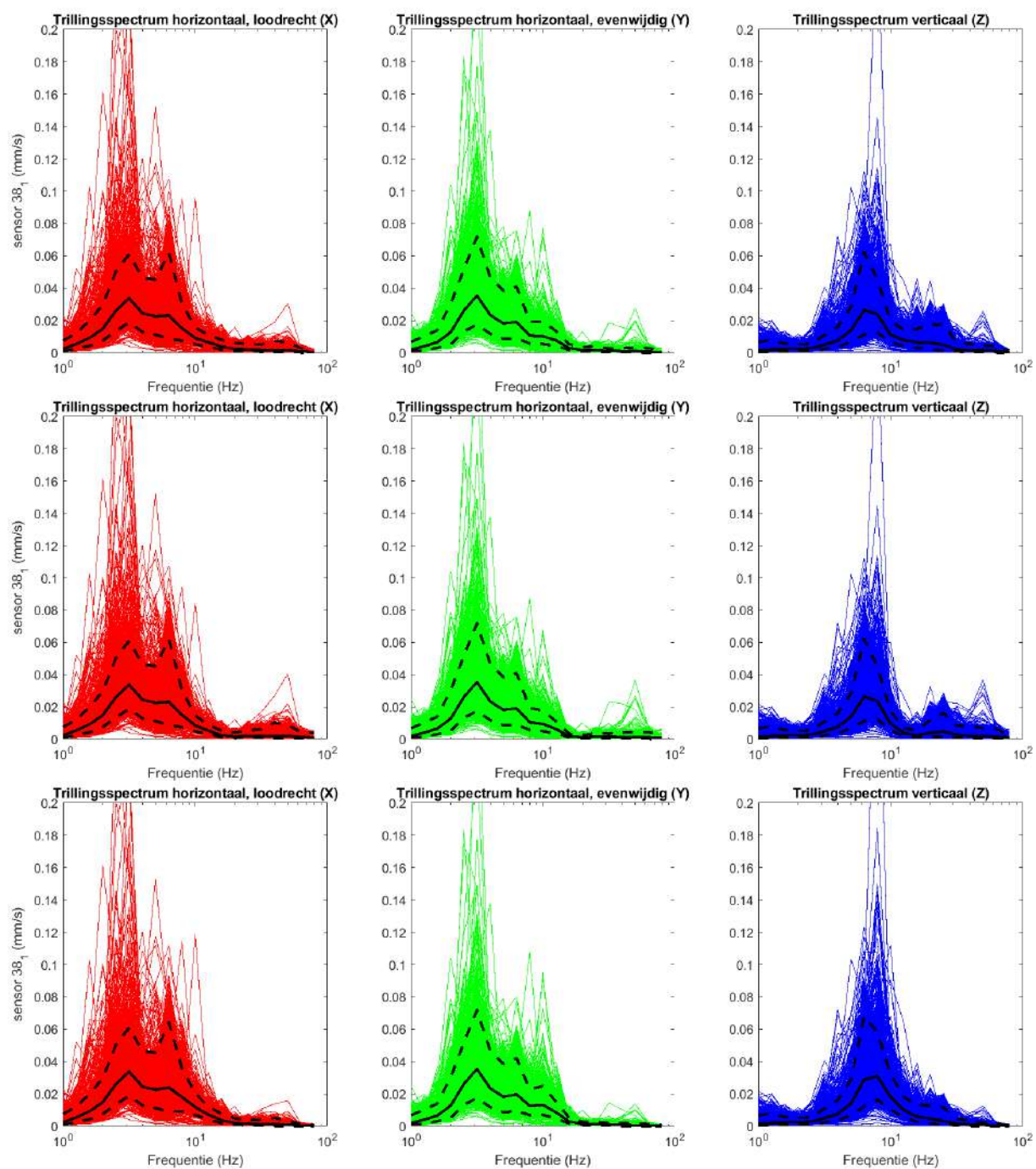
Trillingsspectra, gebied Heer Bokelweg, gebouw type GD-3_30 hoogte 30m, afstand spoor 50m, met oplopende beukmaat van boven naar beneden (5m, 6.5m, 8m).



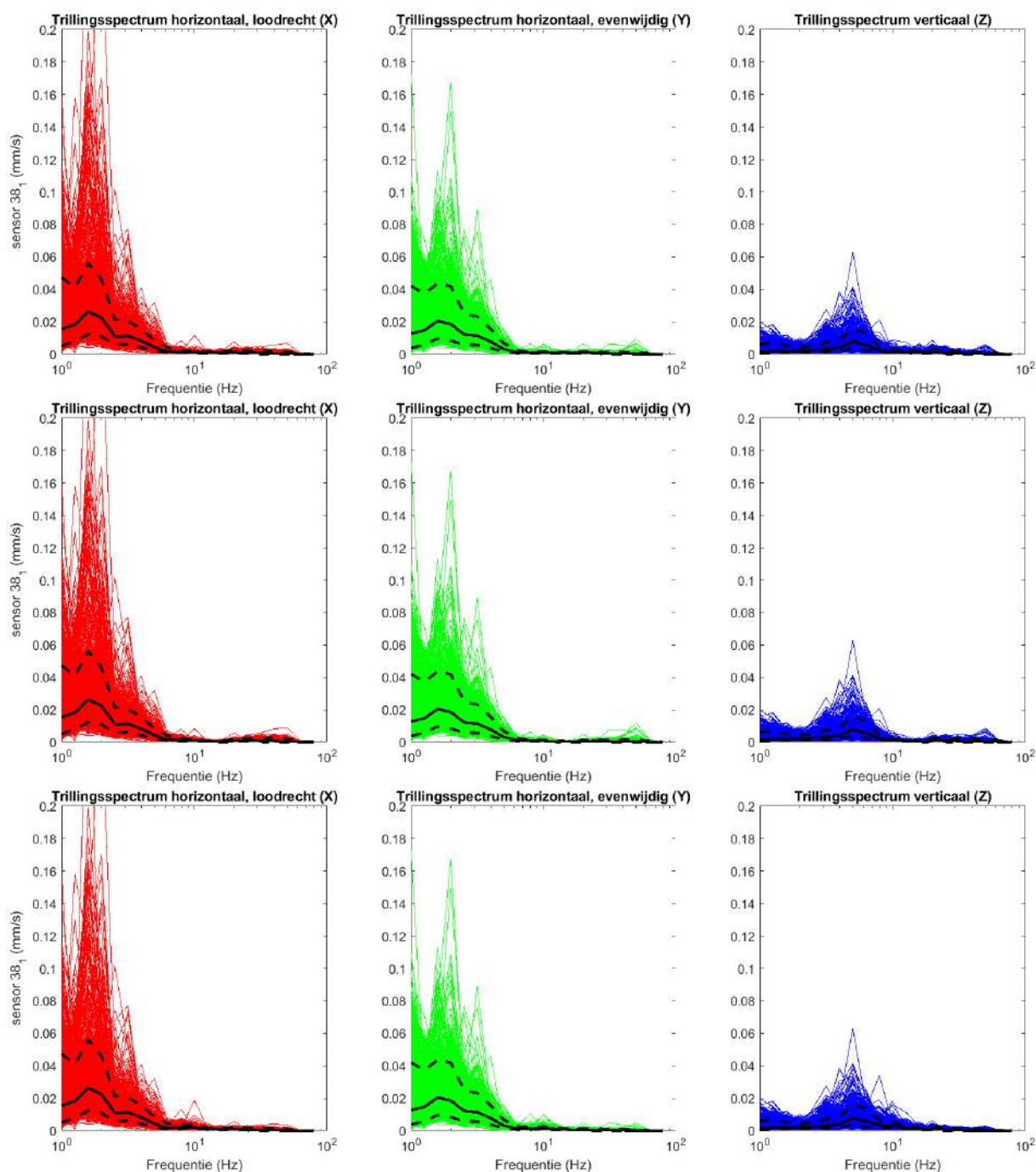
Trillingsspectra, gebied Heer Bokelweg, gebouw type GD-3_125 hoogte 125m, afstand spoor 21m, met oplopende beukmaat van boven naar beneden (5m, 6.5m, 8m).



Trillingsspectra, gebied Heer Bokelweg, gebouw type GD-3_20 hoogte 20m, afstand spoor 17m, met oplopende beukmaat van boven naar beneden (5m, 6.5m, 8m).

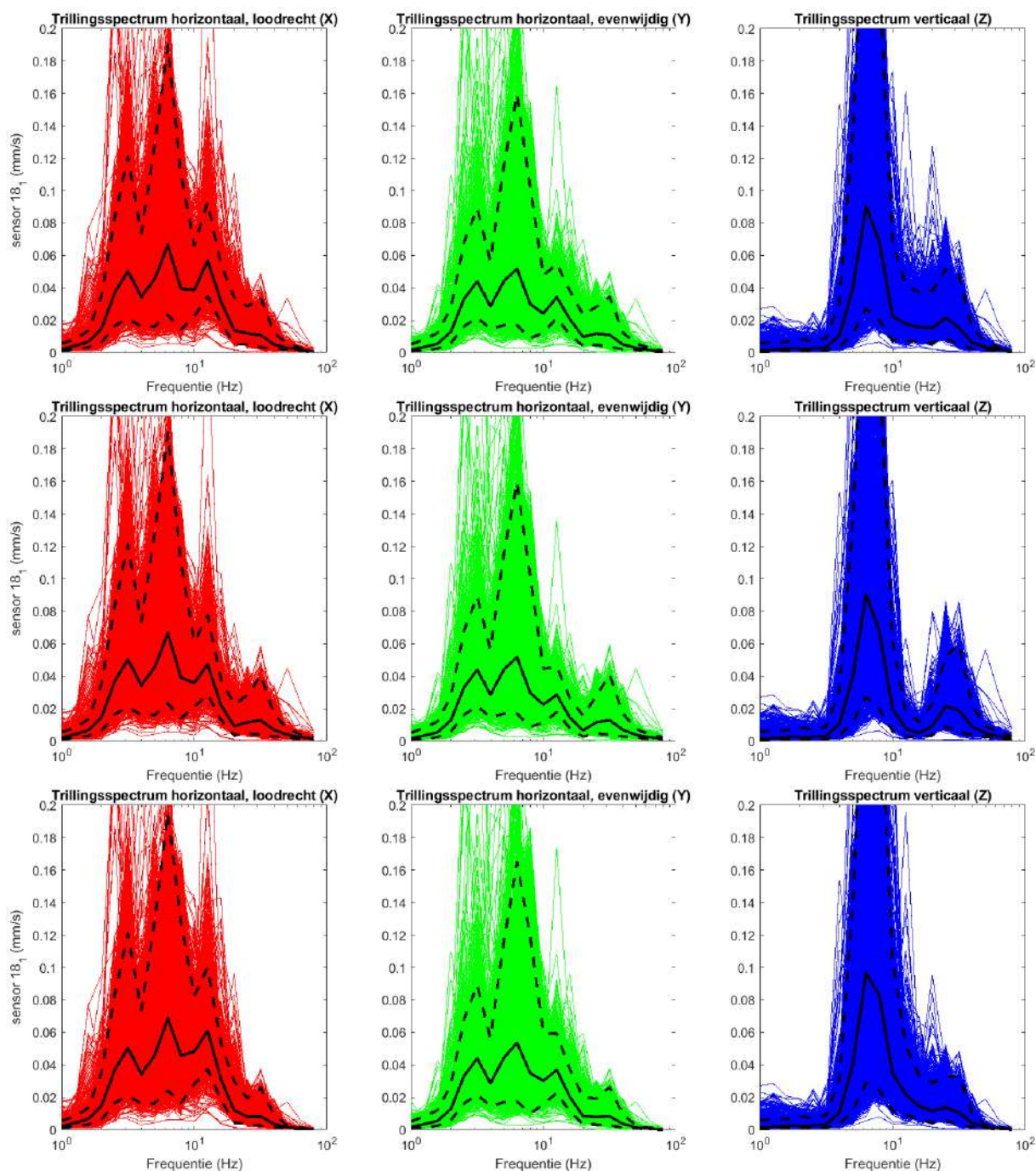


Trillingsspectra, gebied Heer Bokelweg, gebouw type GD-3_74 hoogte 74m, afstand spoor 68m, met oplopende beukmaat van boven naar beneden (5m, 6.5m, 8m).

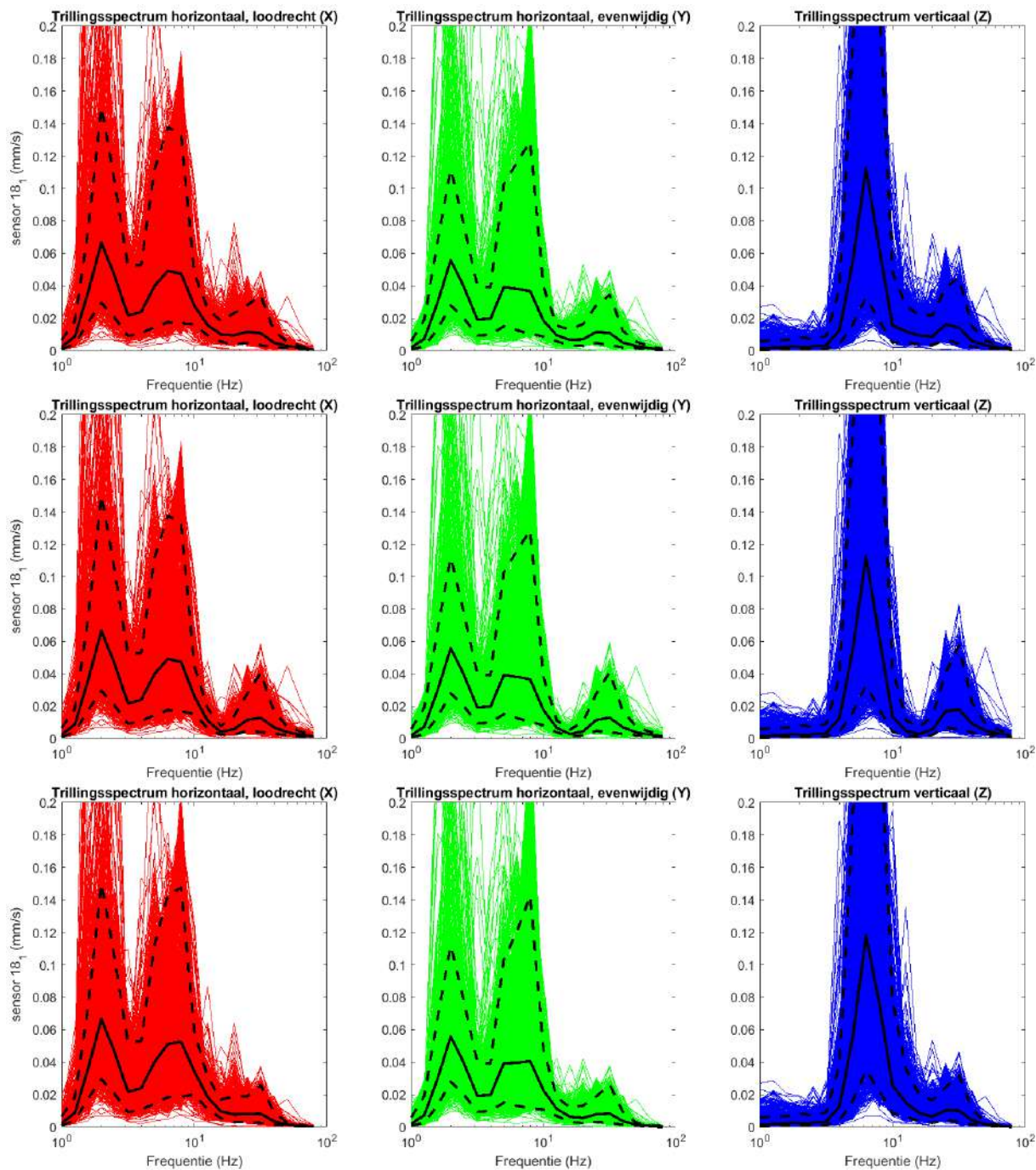


Bijlage 5 - Trillingsspectra in gebouwen (95% waarde)

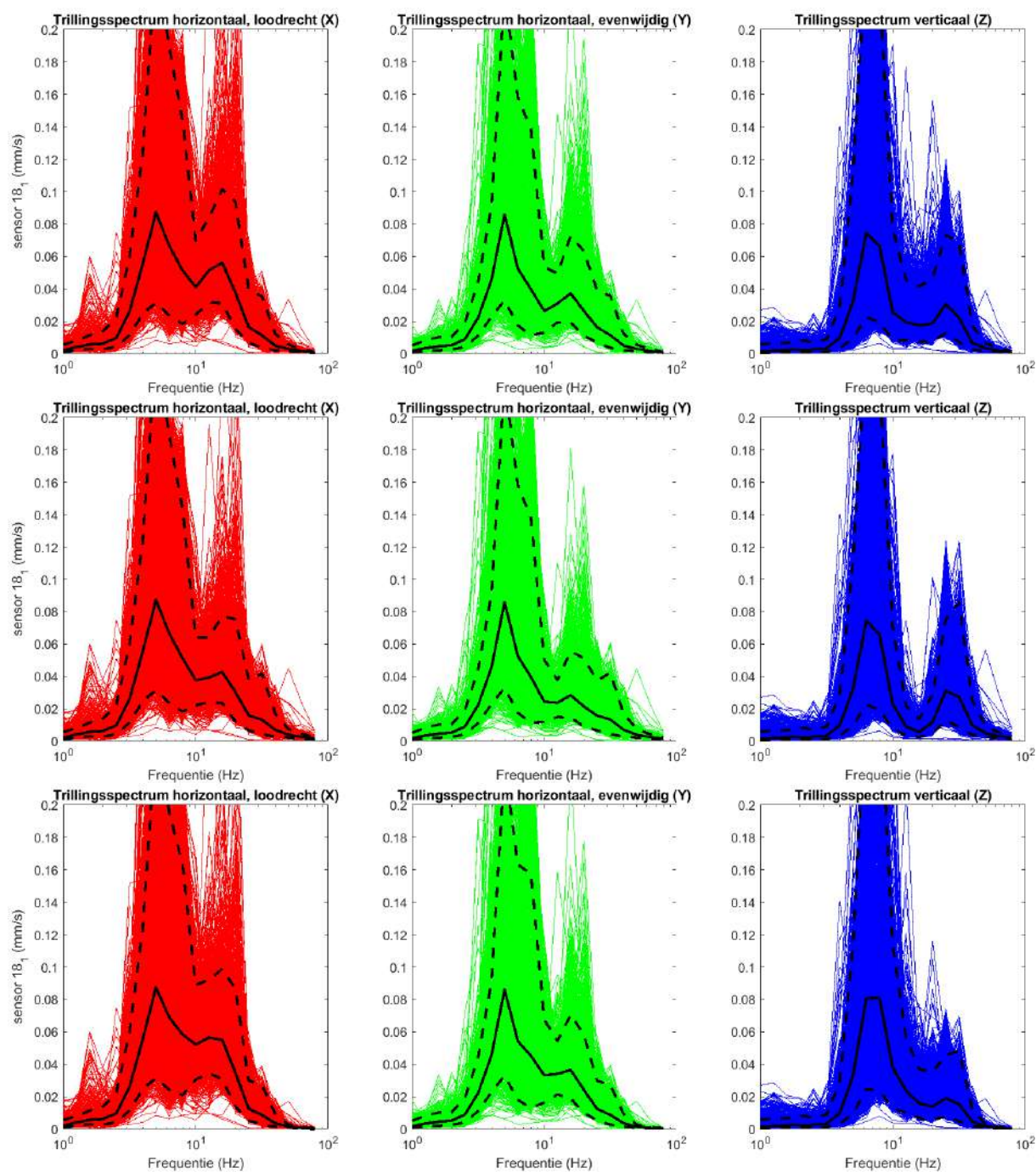
Trillingsspectra, gebied Pompenburg, gebouw type GD-2, hoogte 20, afstand spoor 7m, met oplopende beukmaat van boven naar beneden (5m, 6.5m, 8m).



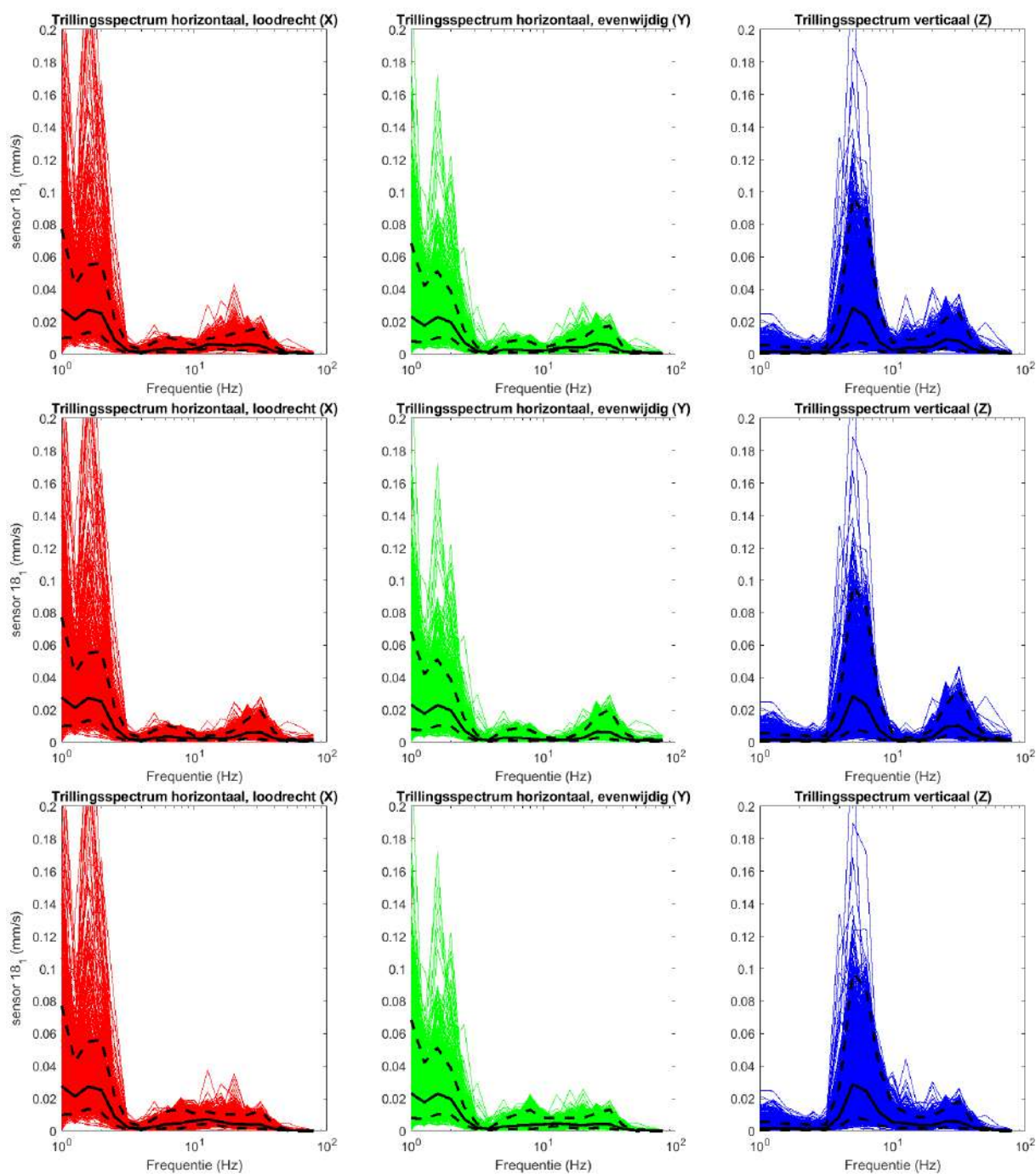
Trillingsspectra, gebied Pompenburg, gebouw type GD-1_30, hoogte 30, afstand spoor 7m, met oplopende beukmaat van boven naar beneden (5m, 6.5m, 8m).



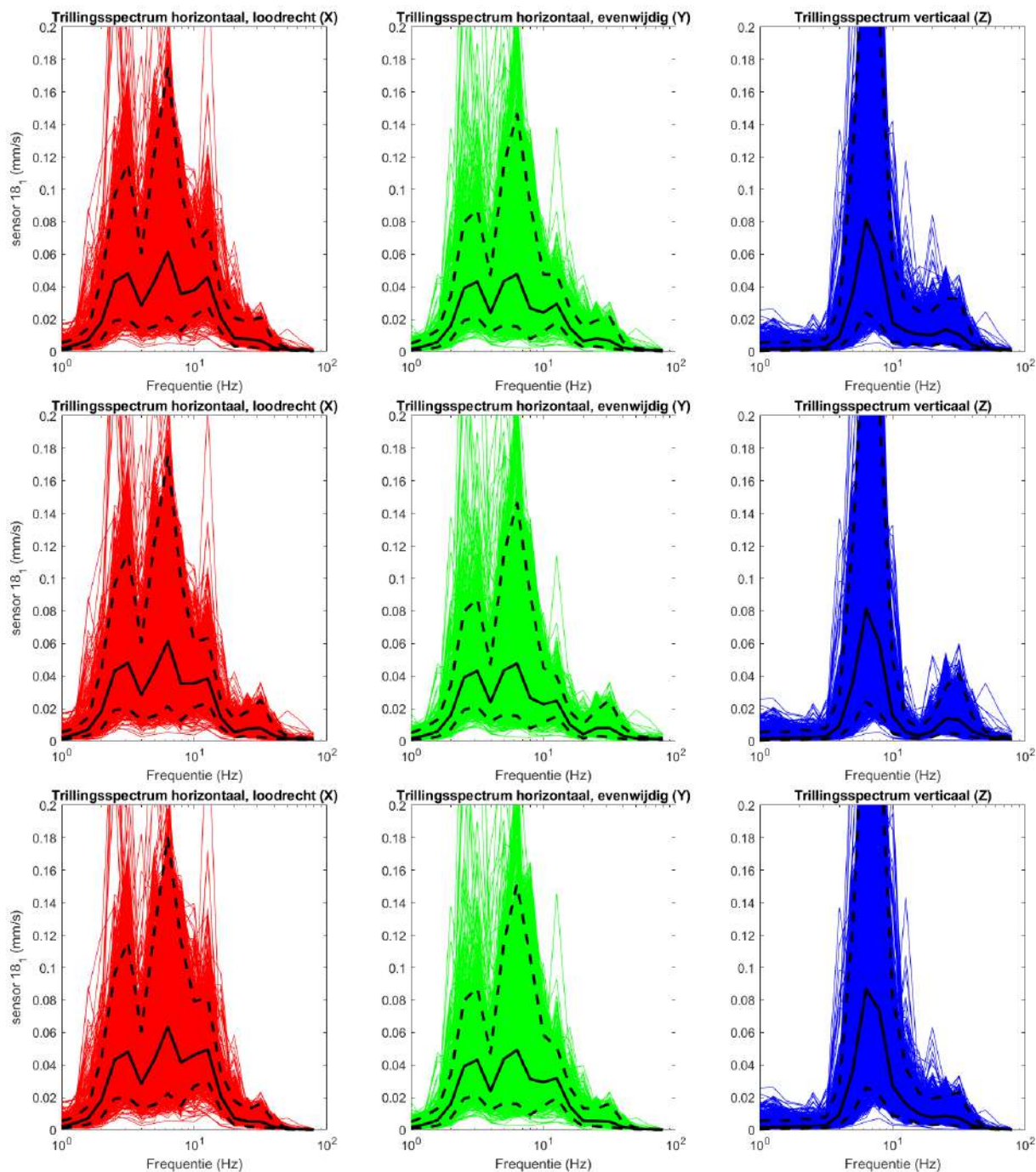
Trillingsspectra, gebied Pompenburg, gebouw type GD-1_15 hoogte 15, afstand spoor 7m, met oplopende beukmaat van boven naar beneden (5m, 6.5m, 8m).



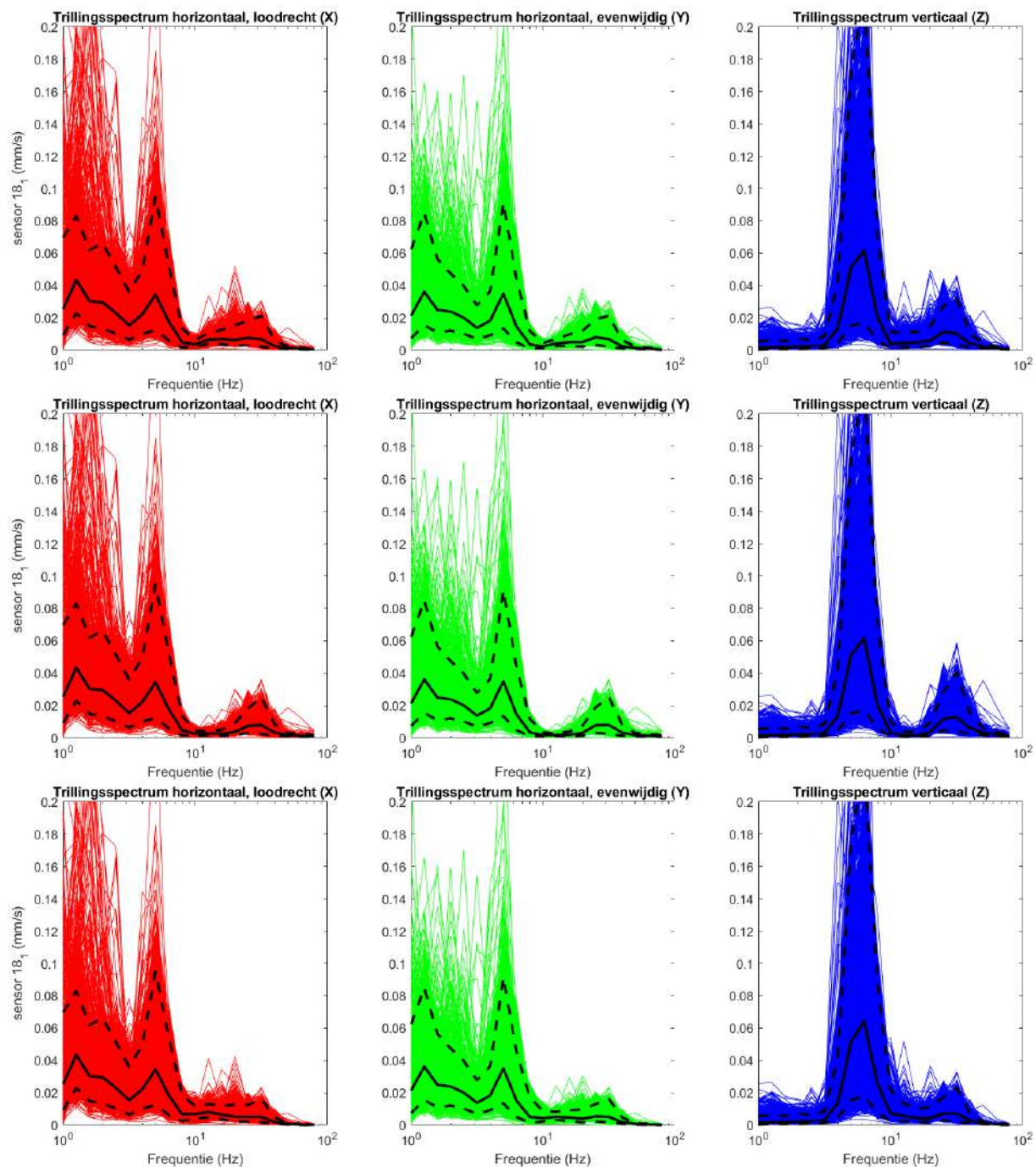
Trillingsspectra, gebied Pompenburg, gebouw type GD-1_140 hoogte 140m, afstand spoor 17m, met oplopende beukmaat van boven naar beneden (5m, 6.5m, 8m).



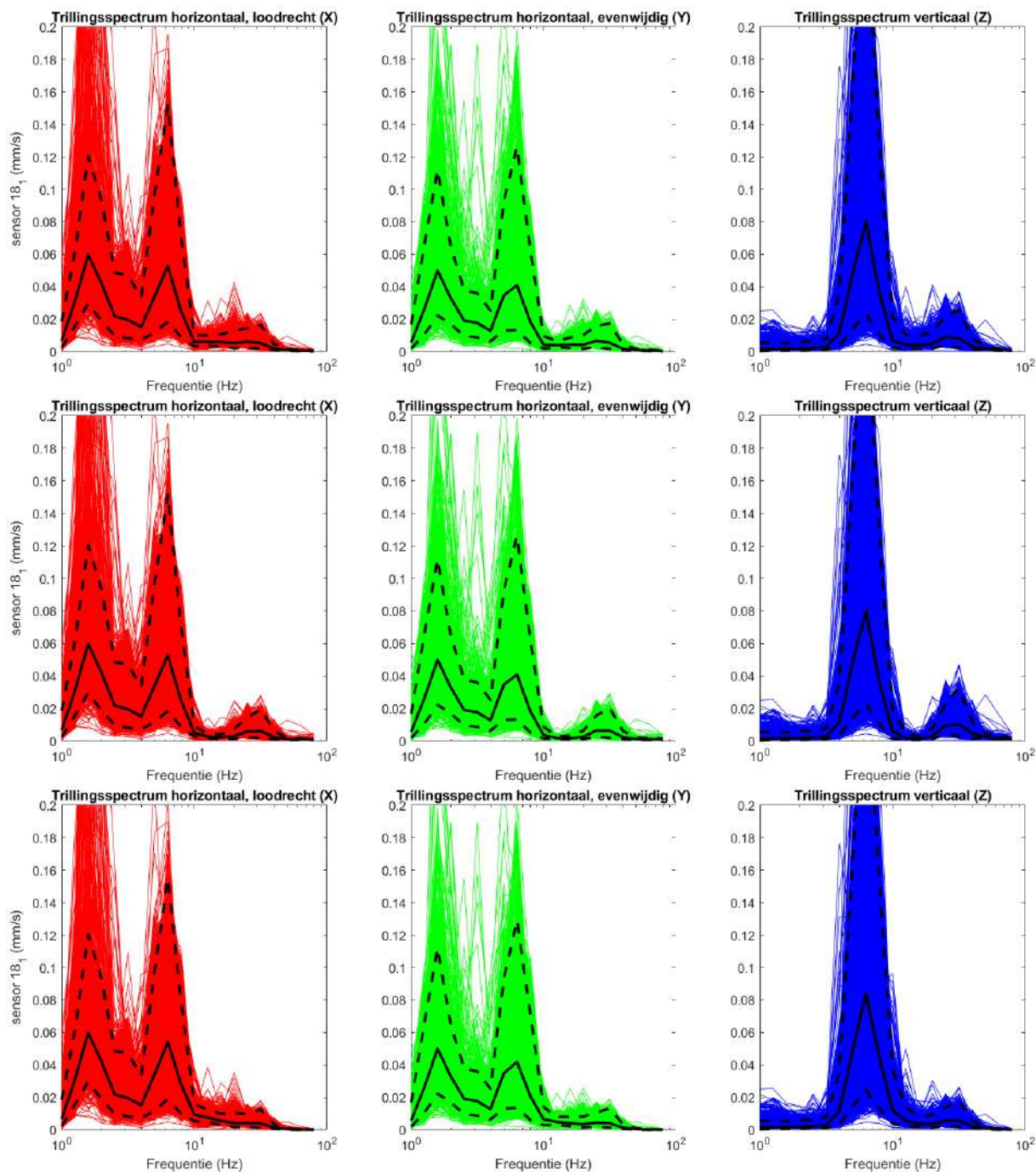
Trillingsspectra, gebied Pompenburg, gebouw type W-21 hoogte 21m, afstand spoor 13m, met oplopende beukmaat van boven naar beneden (5m, 6.5m, 8m).



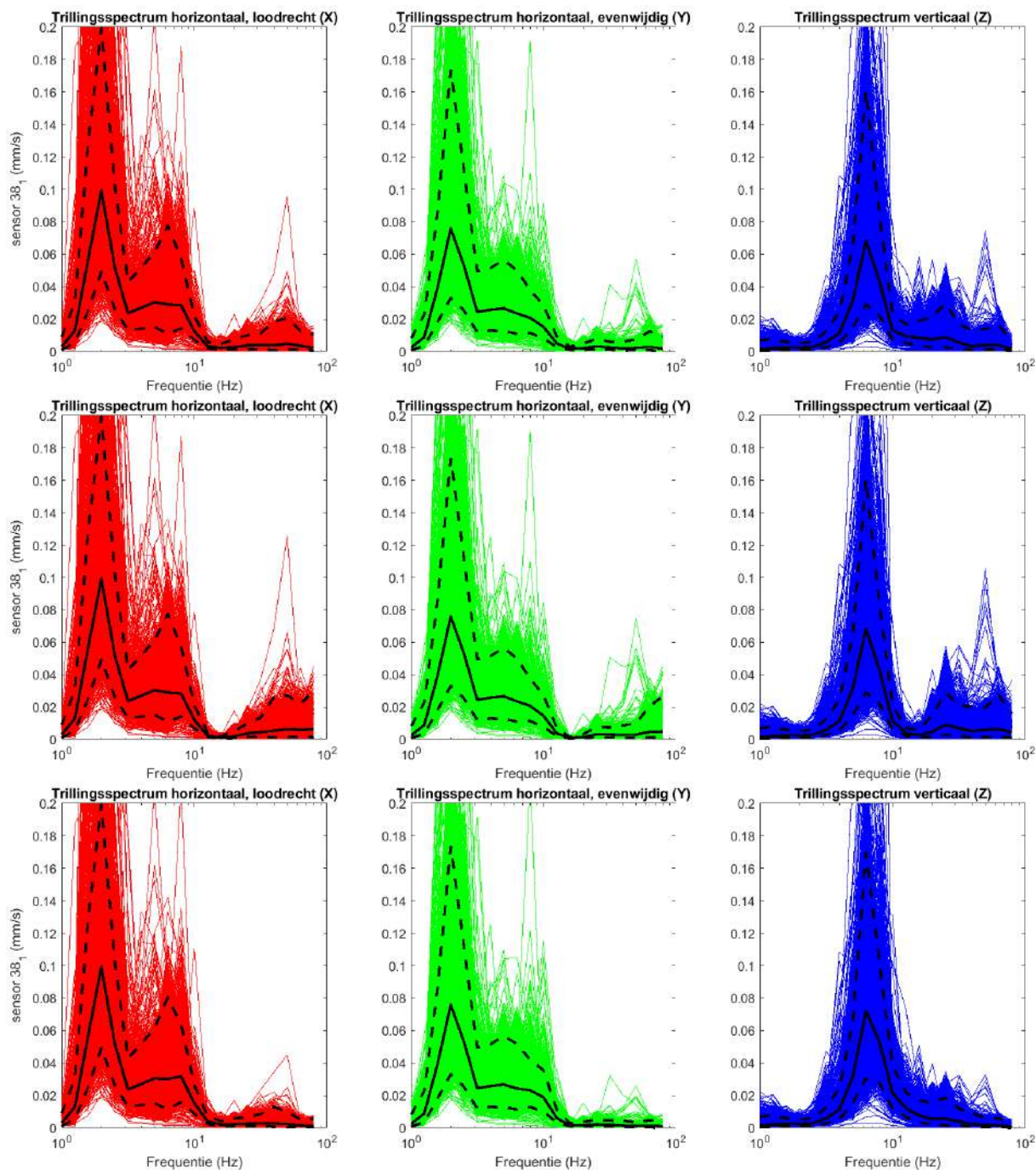
Trillingsspectra, gebied Pompenburg, gebouw type W-57 hoogte 57m, afstand spoor 13m, met oplopende beukmaat van boven naar beneden (5m, 6.5m, 8m).



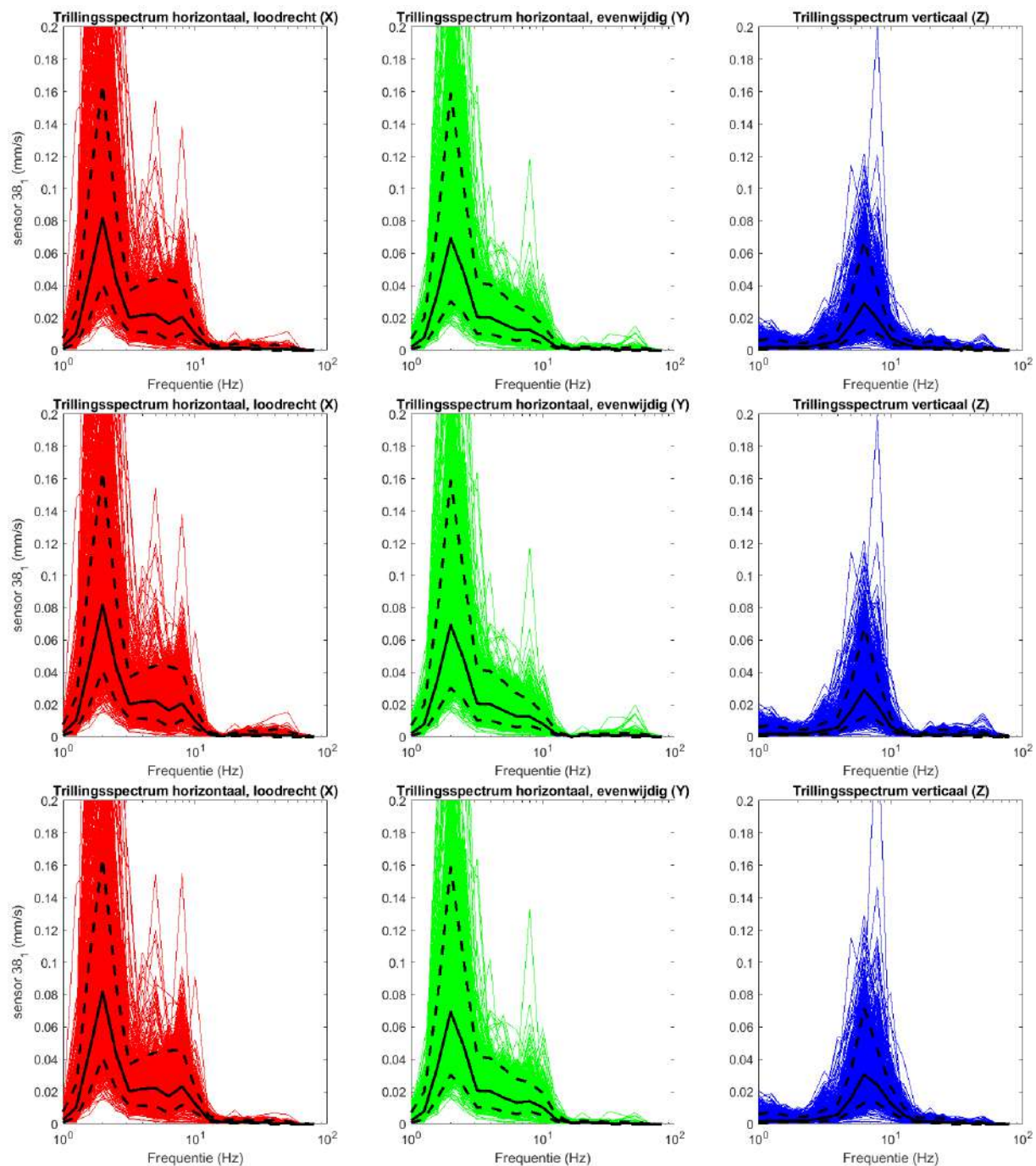
Trillingsspectra, gebied Pompenburg, gebouw type W-40 hoogte 40m, afstand spoor 17m, met oplopende beukmaat van boven naar beneden (5m, 6.5m, 8m).



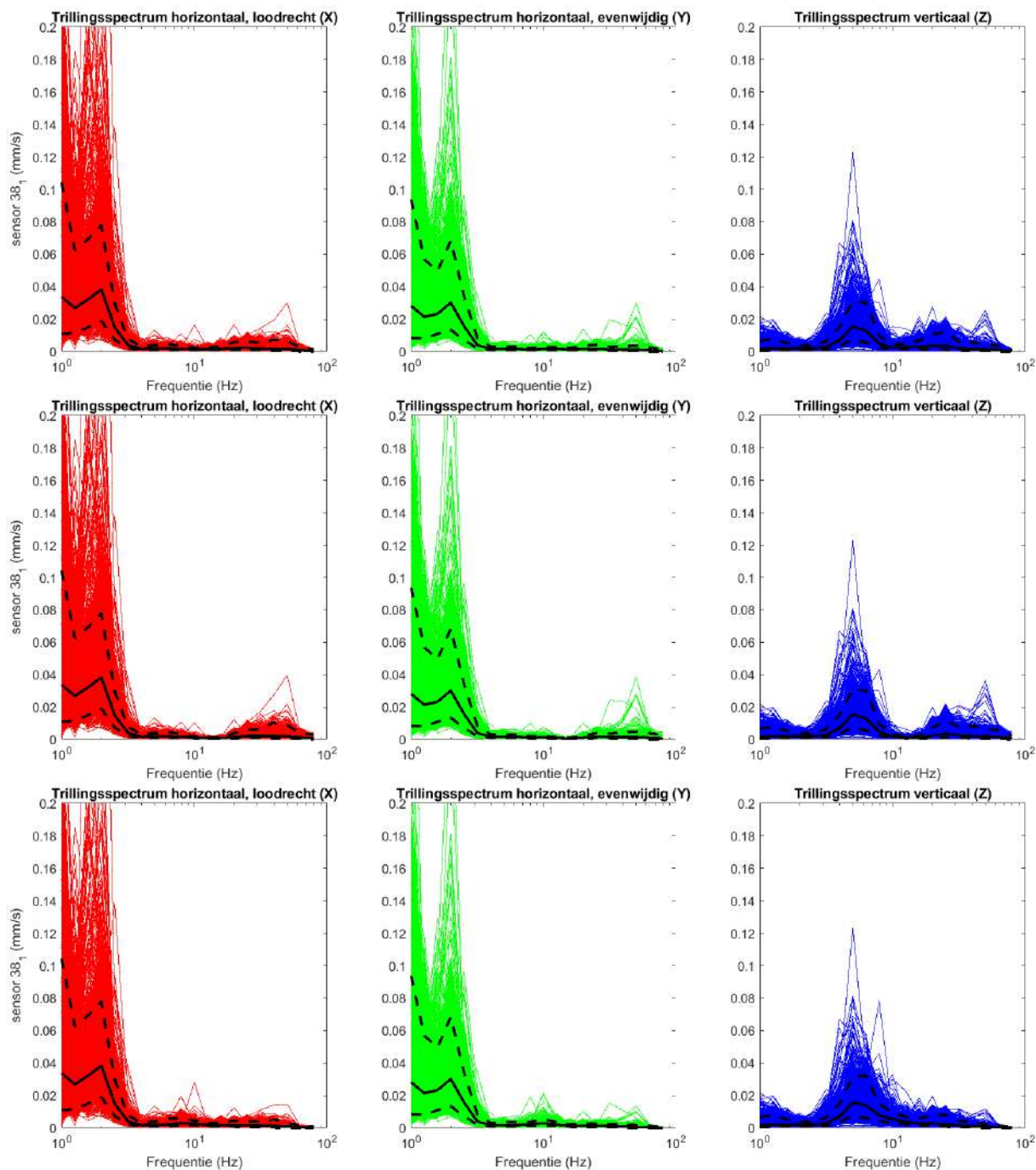
Trillingsspectra, gebied Heer Bokelweg, gebouw type GD-3_30 hoogte 30m, afstand spoor 7m, met oplopende beukmaat van boven naar beneden (5m, 6.5m, 8m).



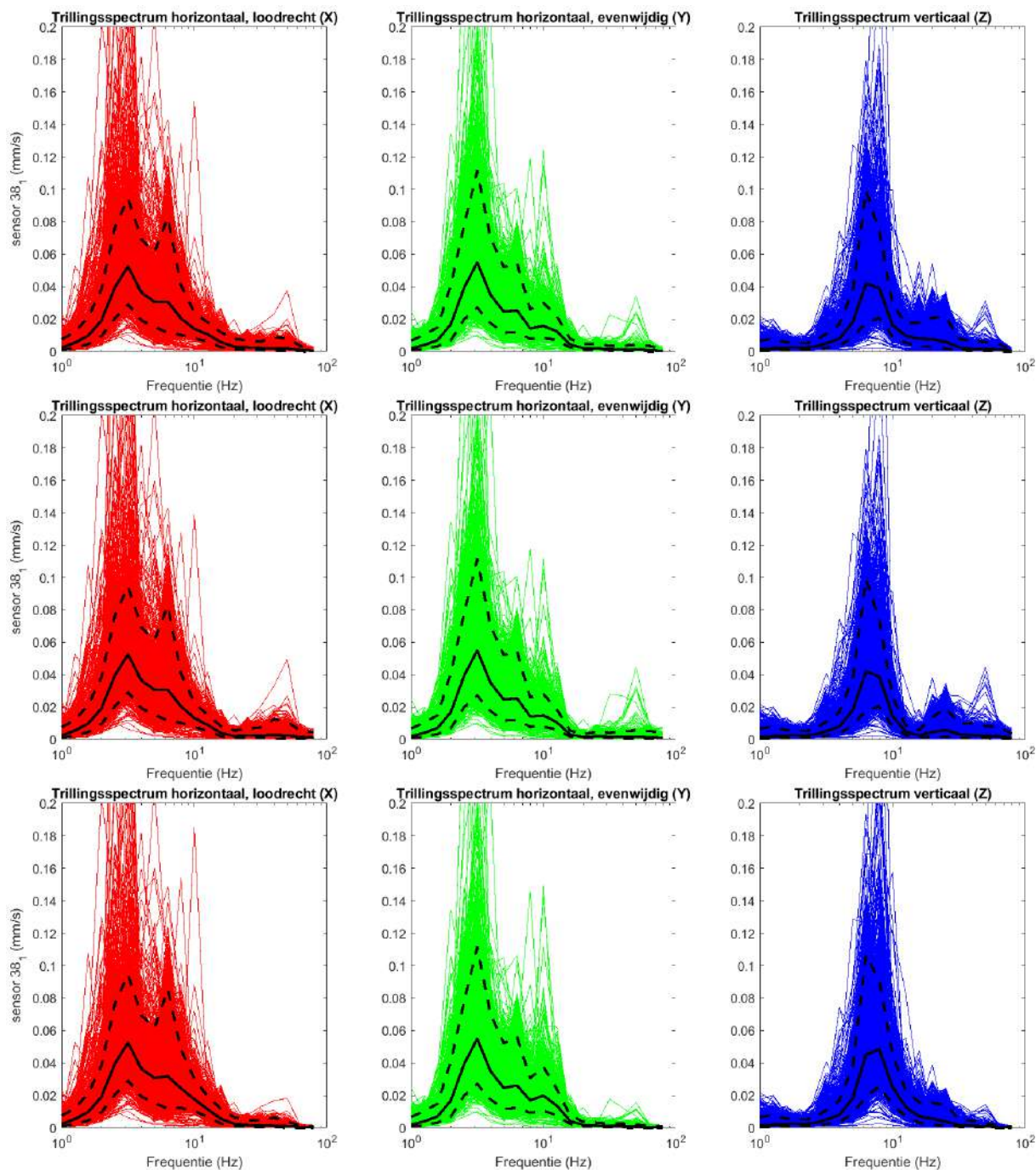
Trillingsspectra, gebied Heer Bokelweg, gebouw type GD-3_30 hoogte 30m, afstand spoor 50m, met oplopende beukmaat van boven naar beneden (5m, 6.5m, 8m).



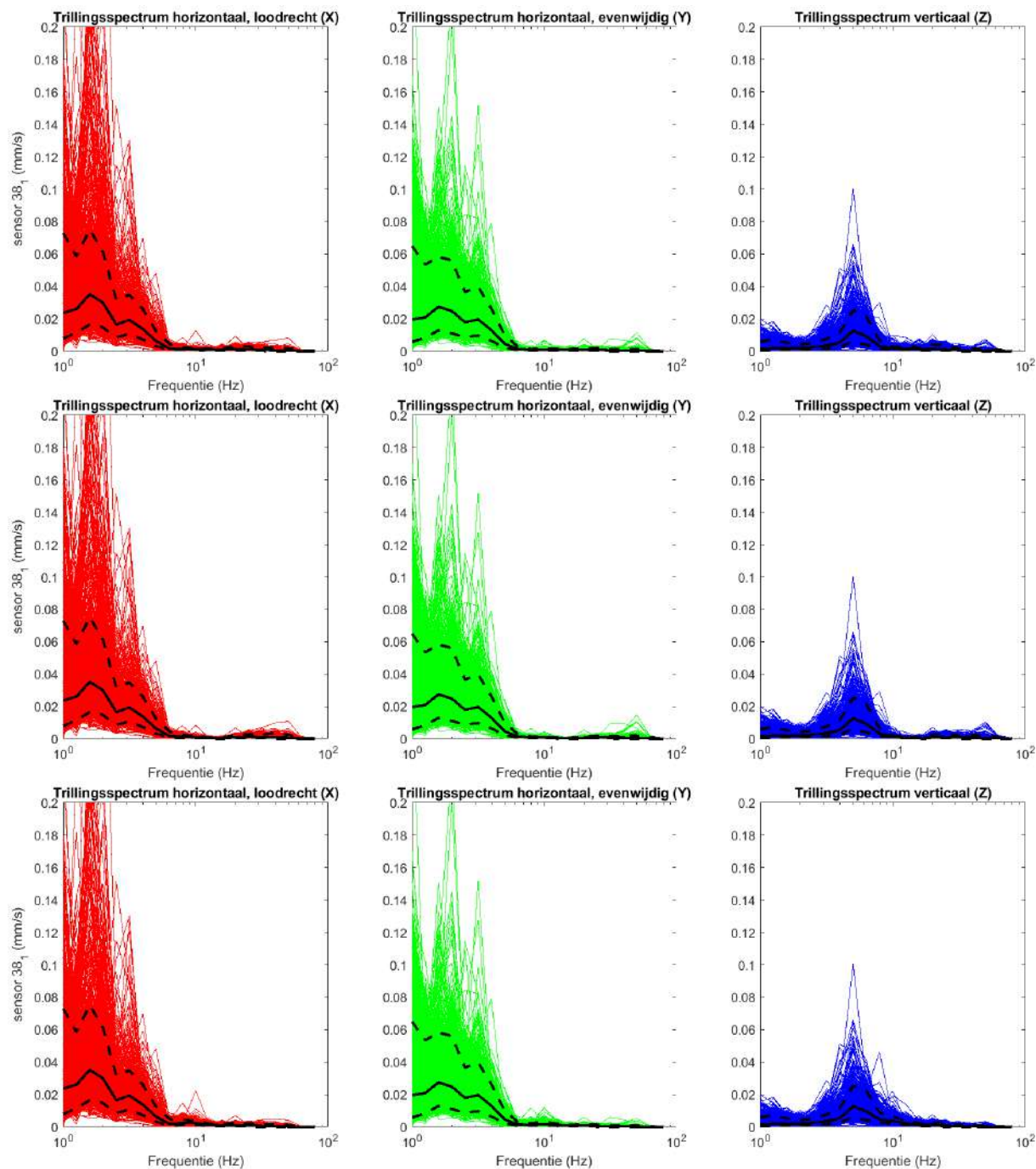
Trillingsspectra, gebied Heer Bokelweg, gebouw type GD-3_125 hoogte 125m, afstand spoor 21m, met oplopende beukmaat van boven naar beneden (5m, 6.5m, 8m).



Trillingsspectra, gebied Heer Bokelweg, gebouw type GD-3_20 hoogte 20m, afstand spoor 17m, met oplopende beukmaat van boven naar beneden (5m, 6.5m, 8m).

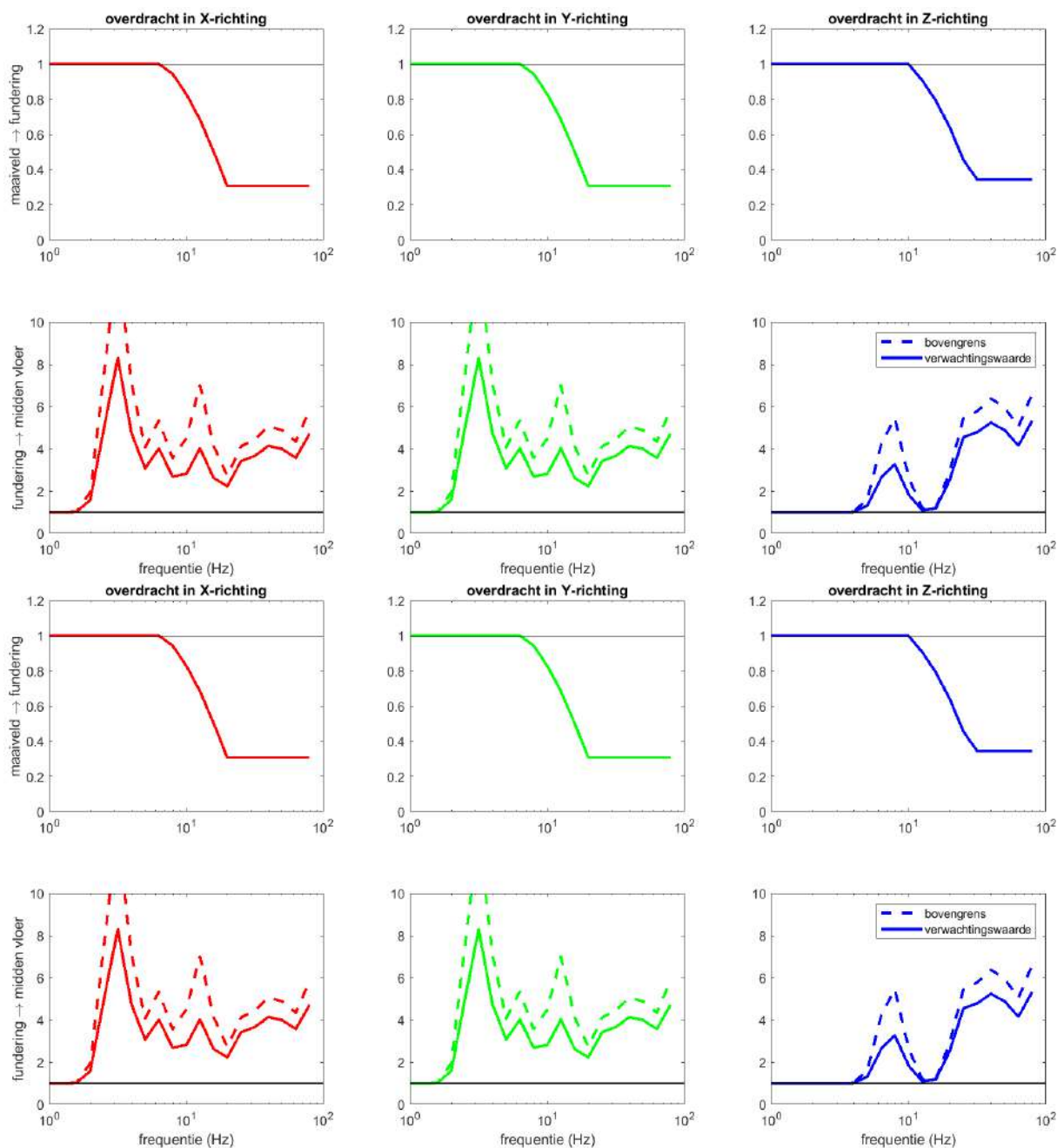


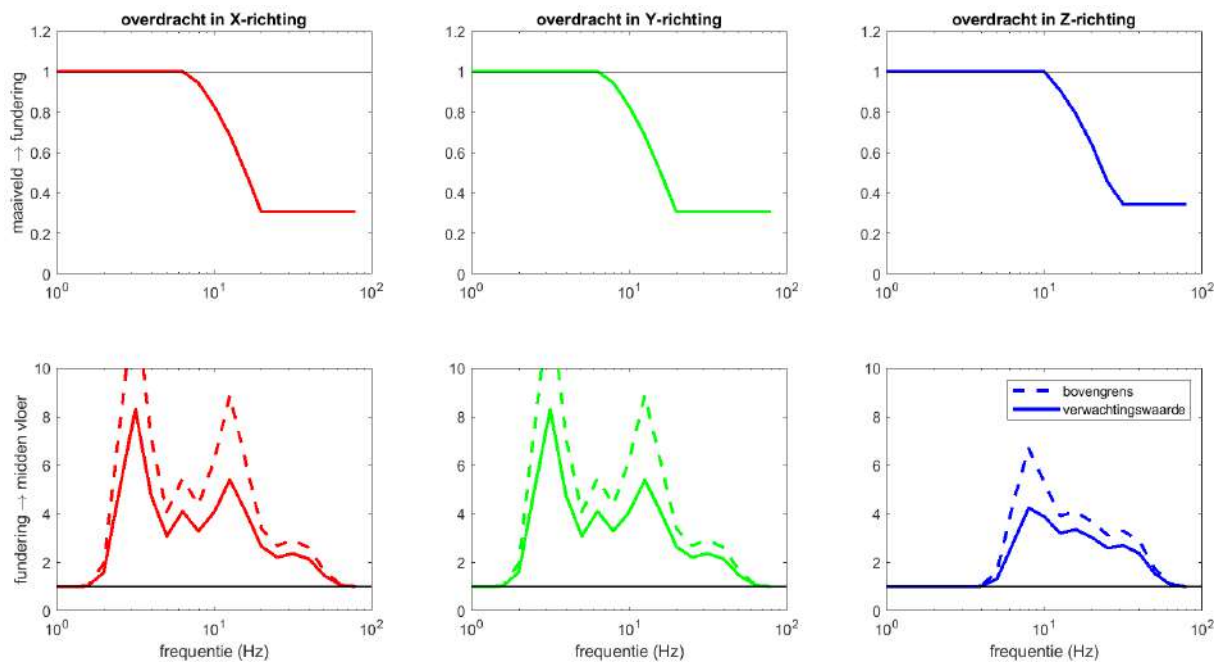
Trillingsspectra, gebied Heer Bokelweg, gebouw type GD-3_74 hoogte 74m, afstand spoor 68m, met oplopende beukmaat van boven naar beneden (5m, 6.5m, 8m).



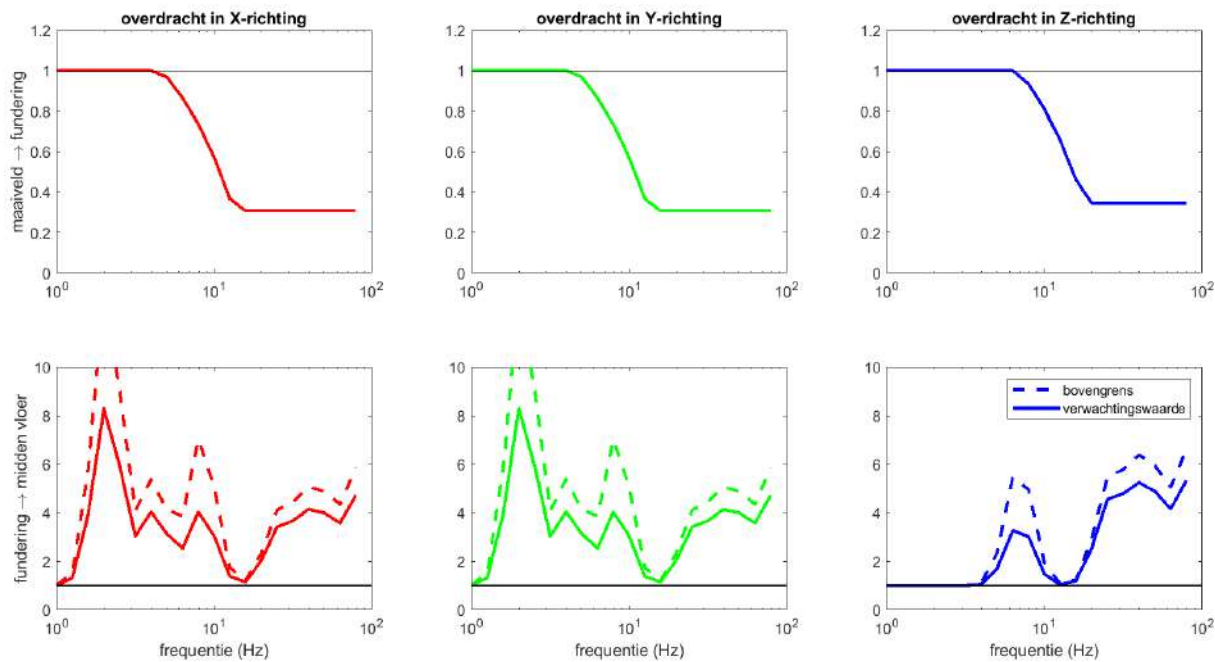
Bijlage 6 – Overdrachten maaiveld naar bovenste vloer gebouwen

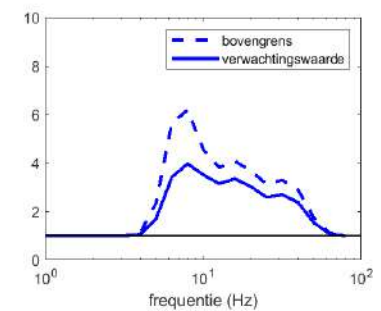
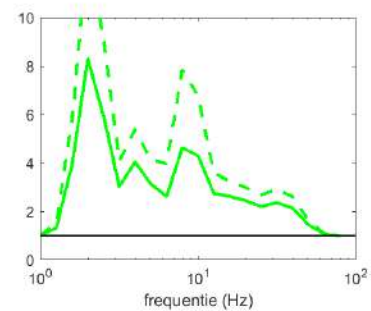
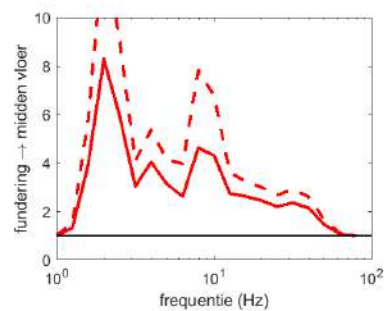
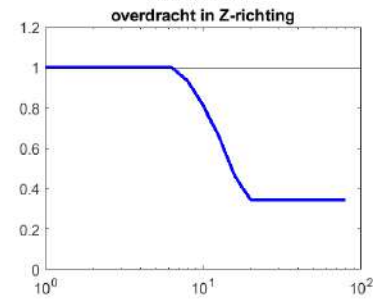
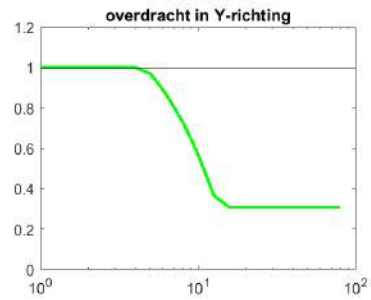
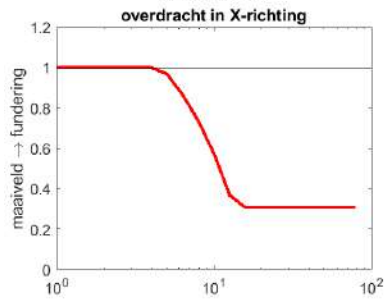
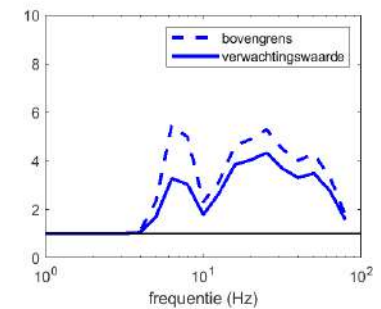
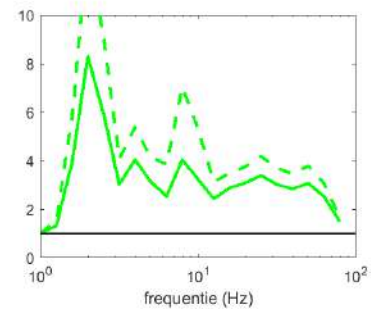
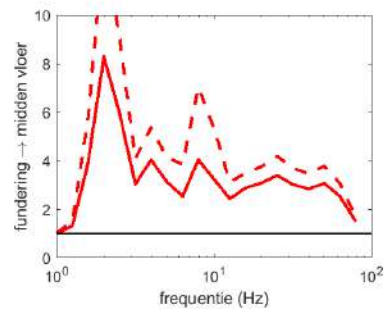
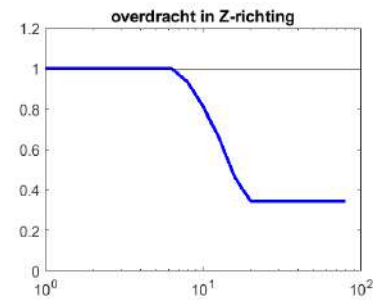
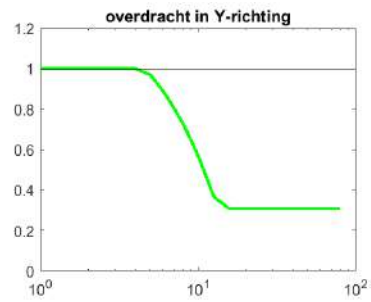
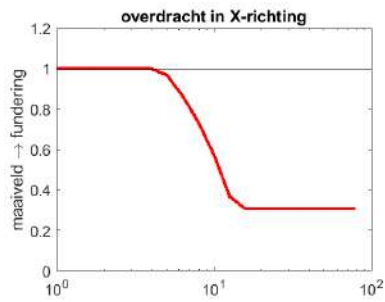
gebied Pompenburg, gebouw type GD-2, hoogte 20, afstand spoor 7m, met oplopende beukmaat van boven naar beneden (5m, 6.5m, 8m).



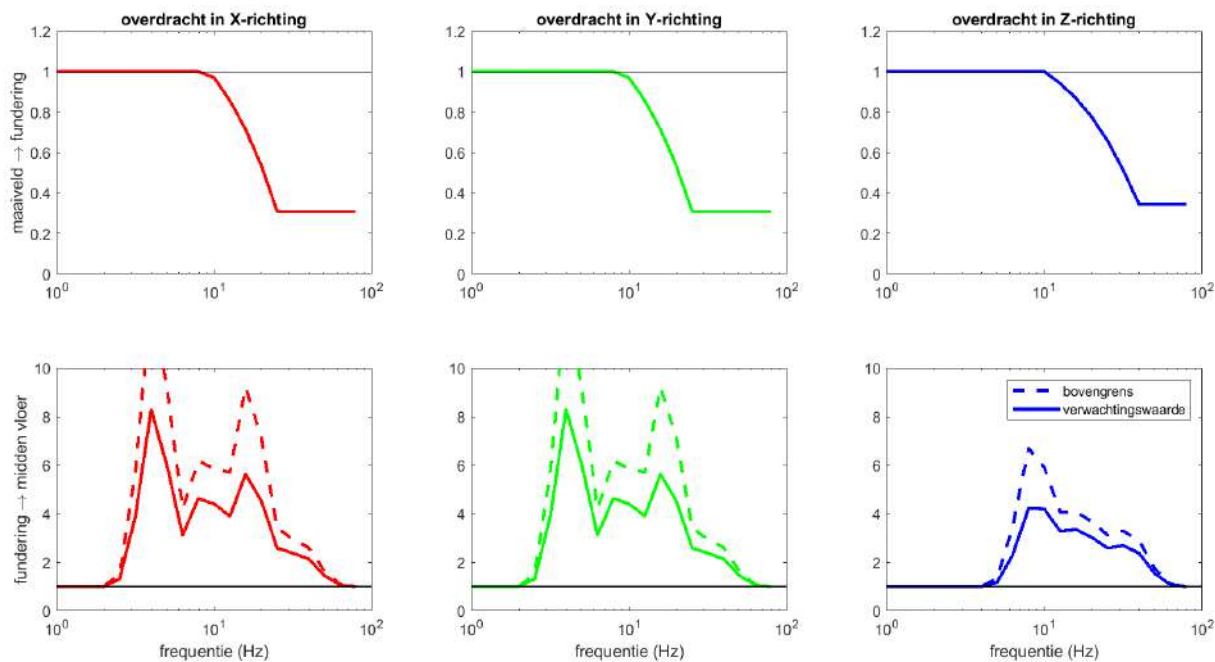


gebied Pompenburg, gebouw type GD-1_30, hoogte 30, afstand spoor 7m, met oplopende beukmaat van boven naar beneden (5m, 6.5m, 8m).

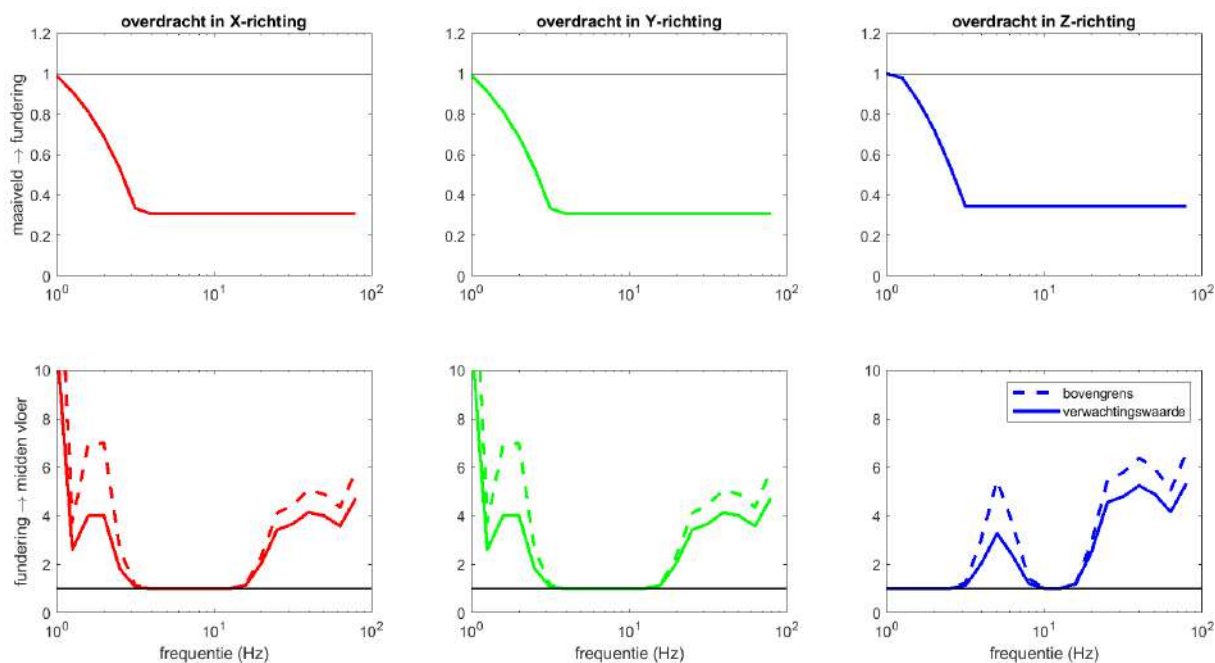


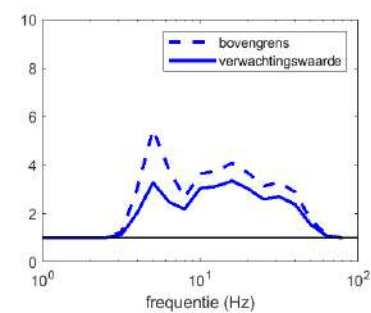
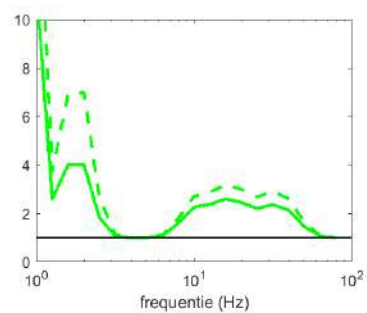
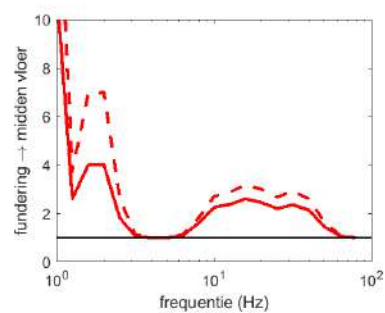
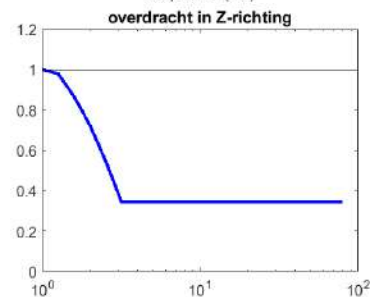
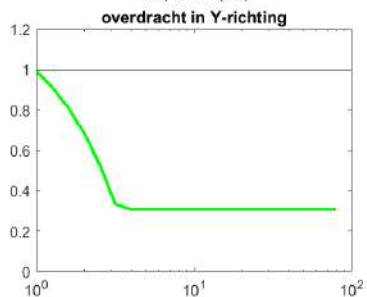
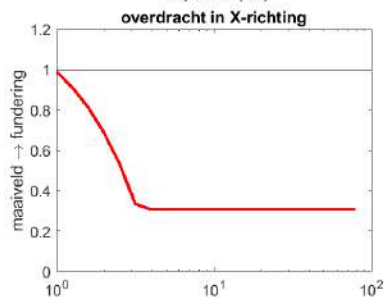
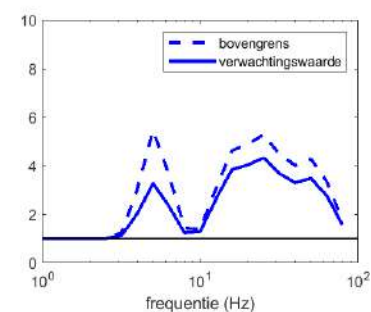
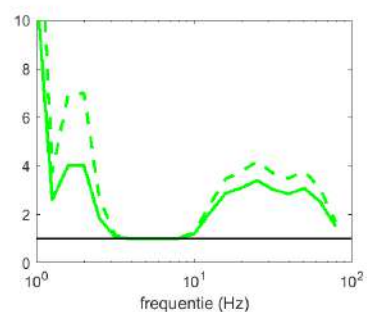
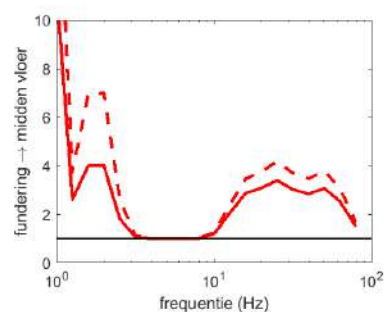
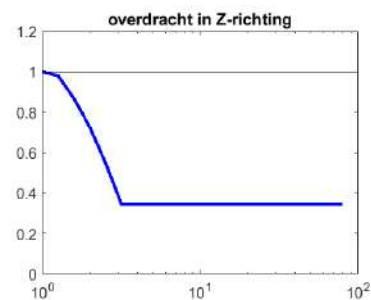
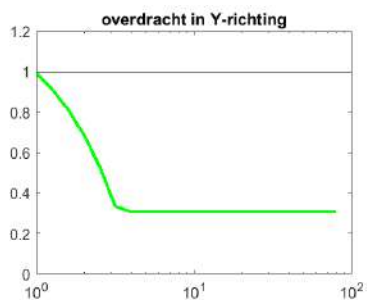
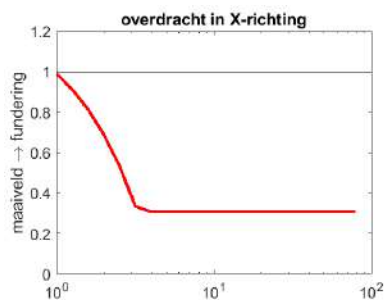




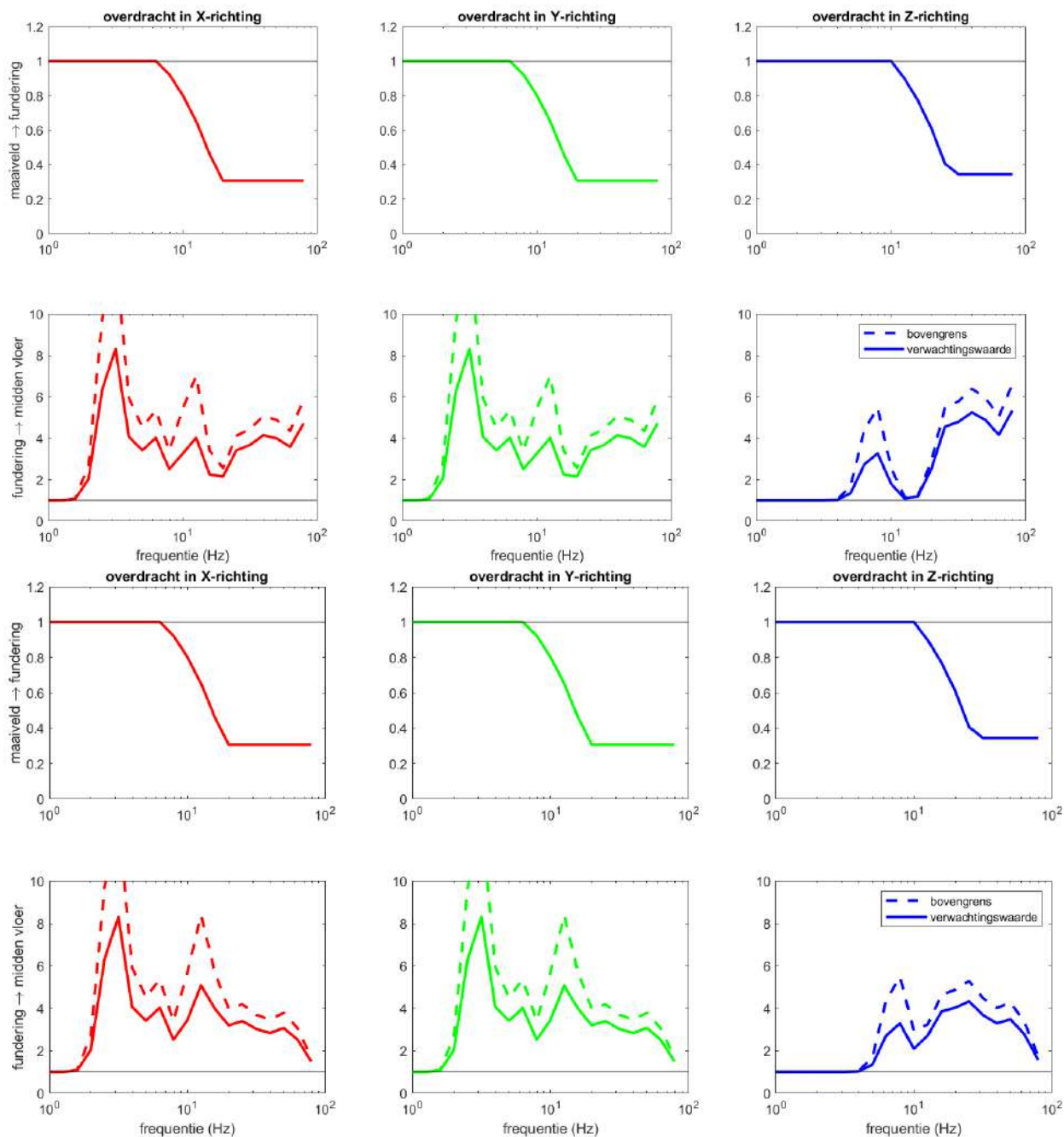


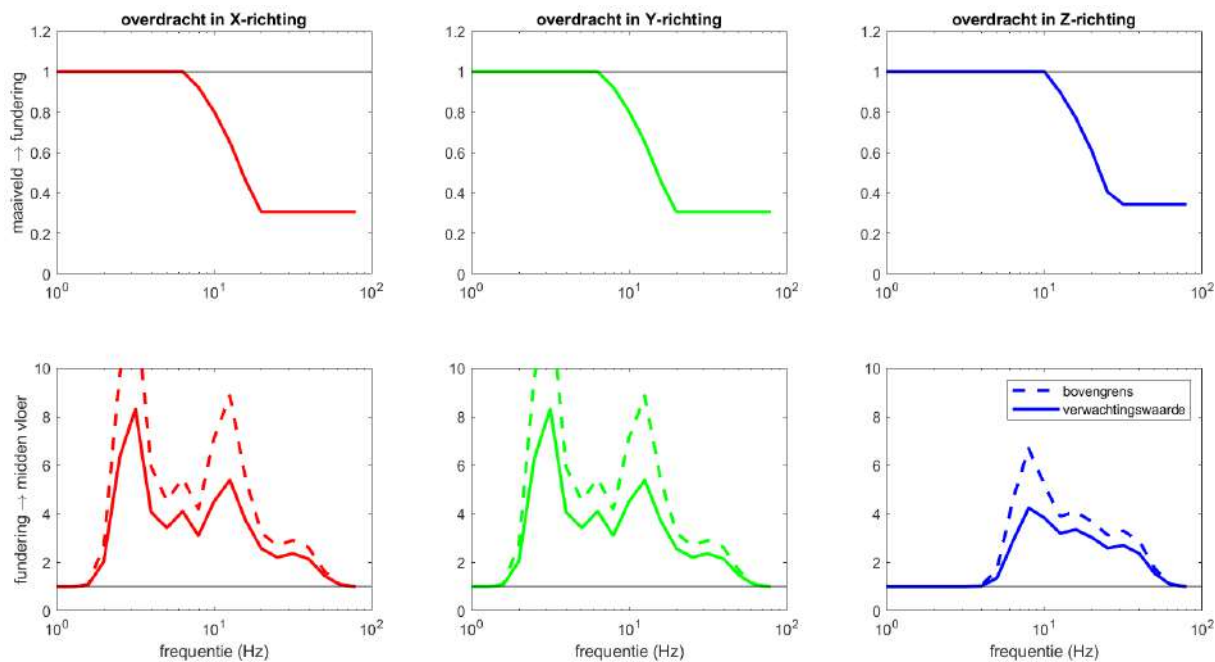
gebied Pompenburg, gebouw type GD-1_140 hoogte 140m, afstand spoor 17m, met olopende beukmaat van boven naar beneden (5m, 6.5m, 8m).



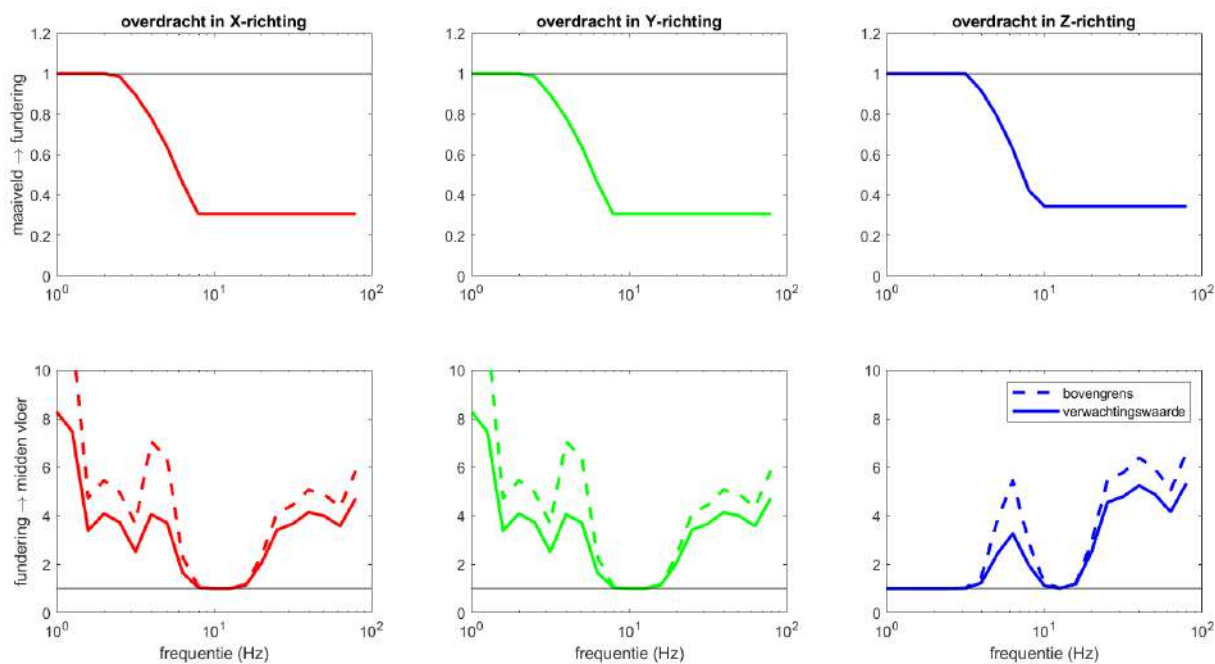


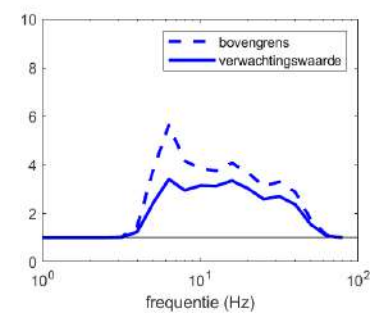
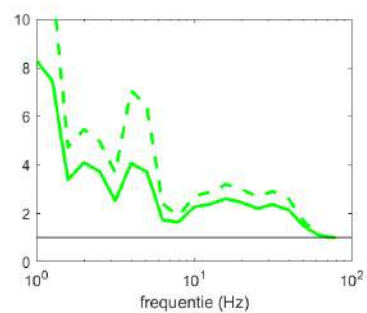
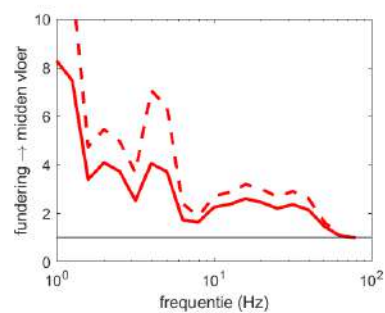
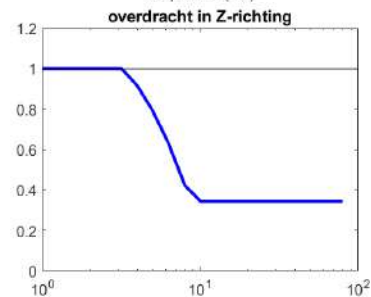
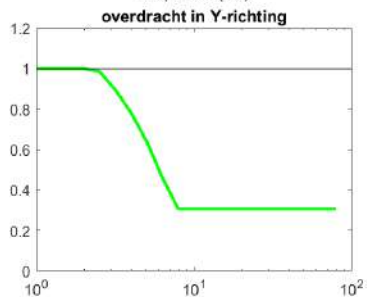
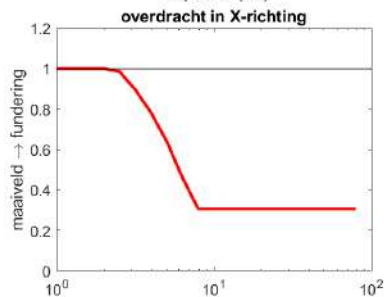
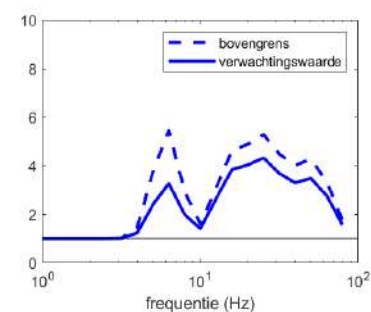
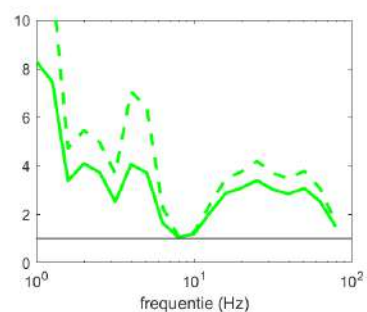
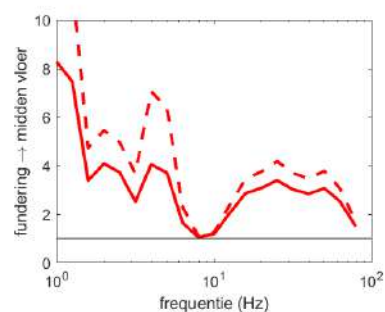
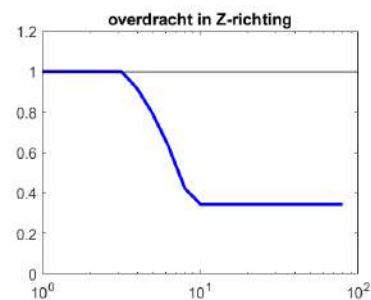
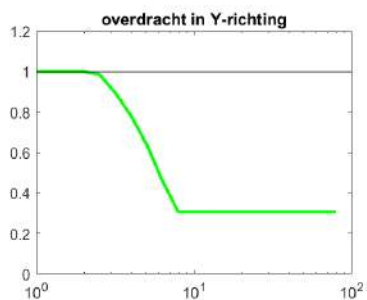
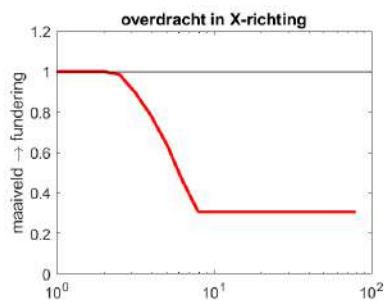
gebied Pompenburg, gebouw type W-21 hoogte 21m, afstand spoor 13m, met oplopende beukmaat van boven naar beneden (5m, 6.5m, 8m).



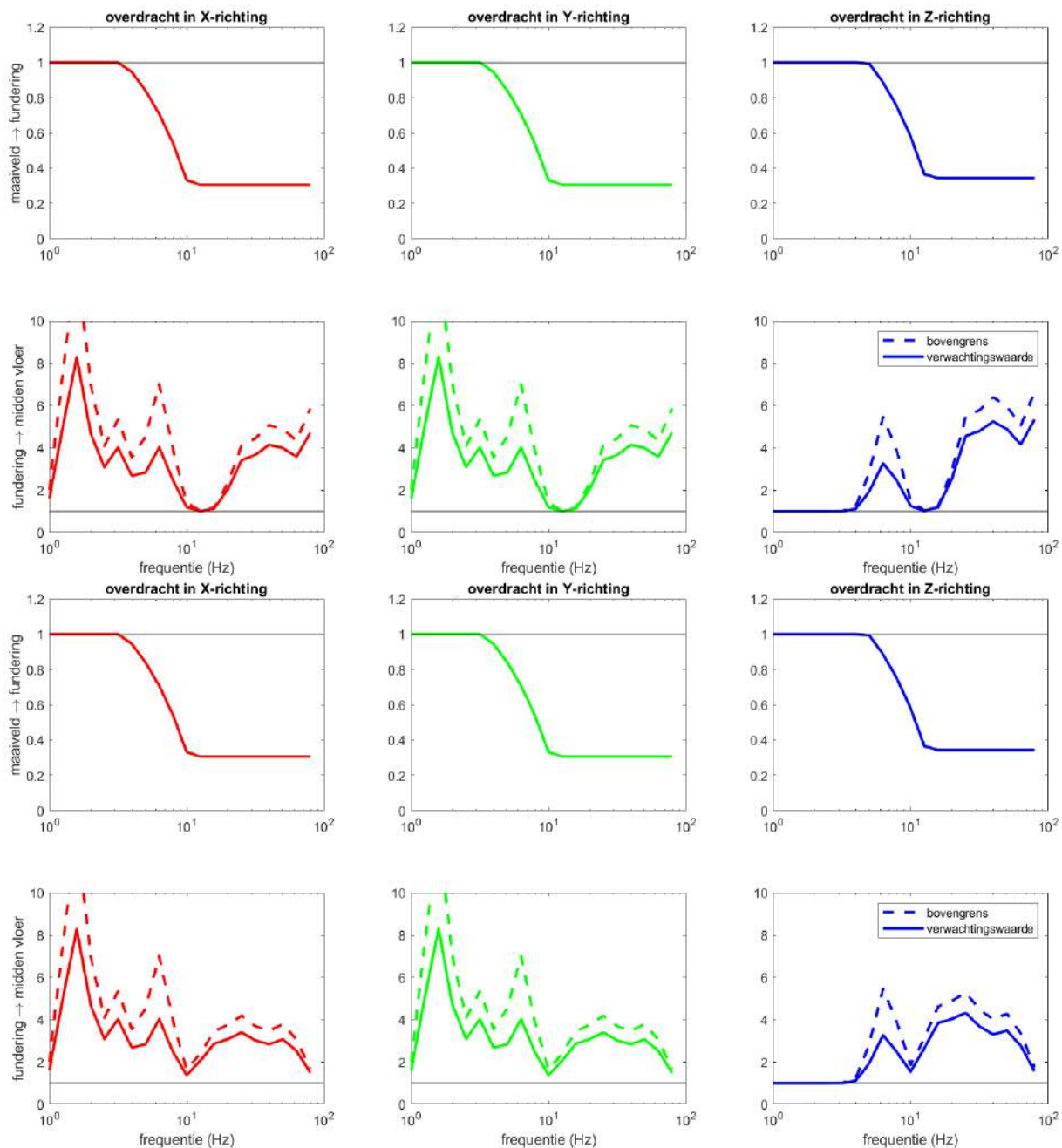


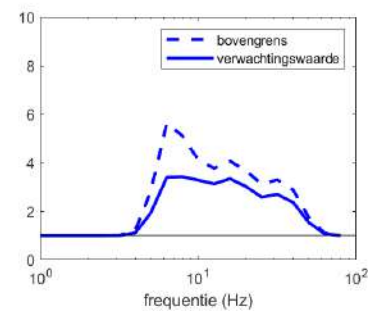
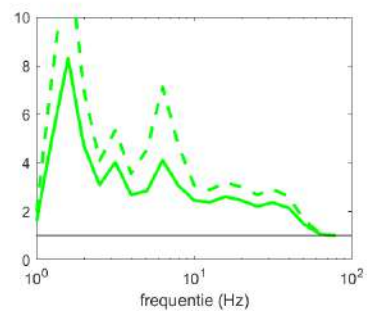
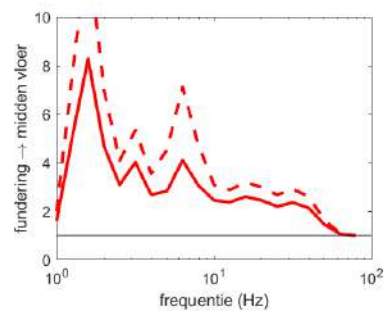
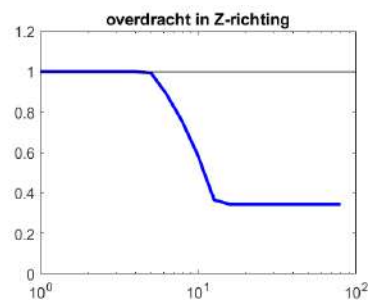
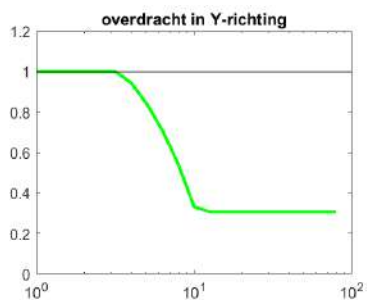
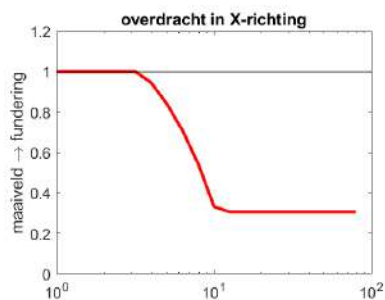
Trillingsspectra, gebied Pompenburg, gebouw type W-57 hoogte 57m, afstand spoor 13m, met oplopende beukmaat van boven naar beneden (5m, 6.5m, 8m).



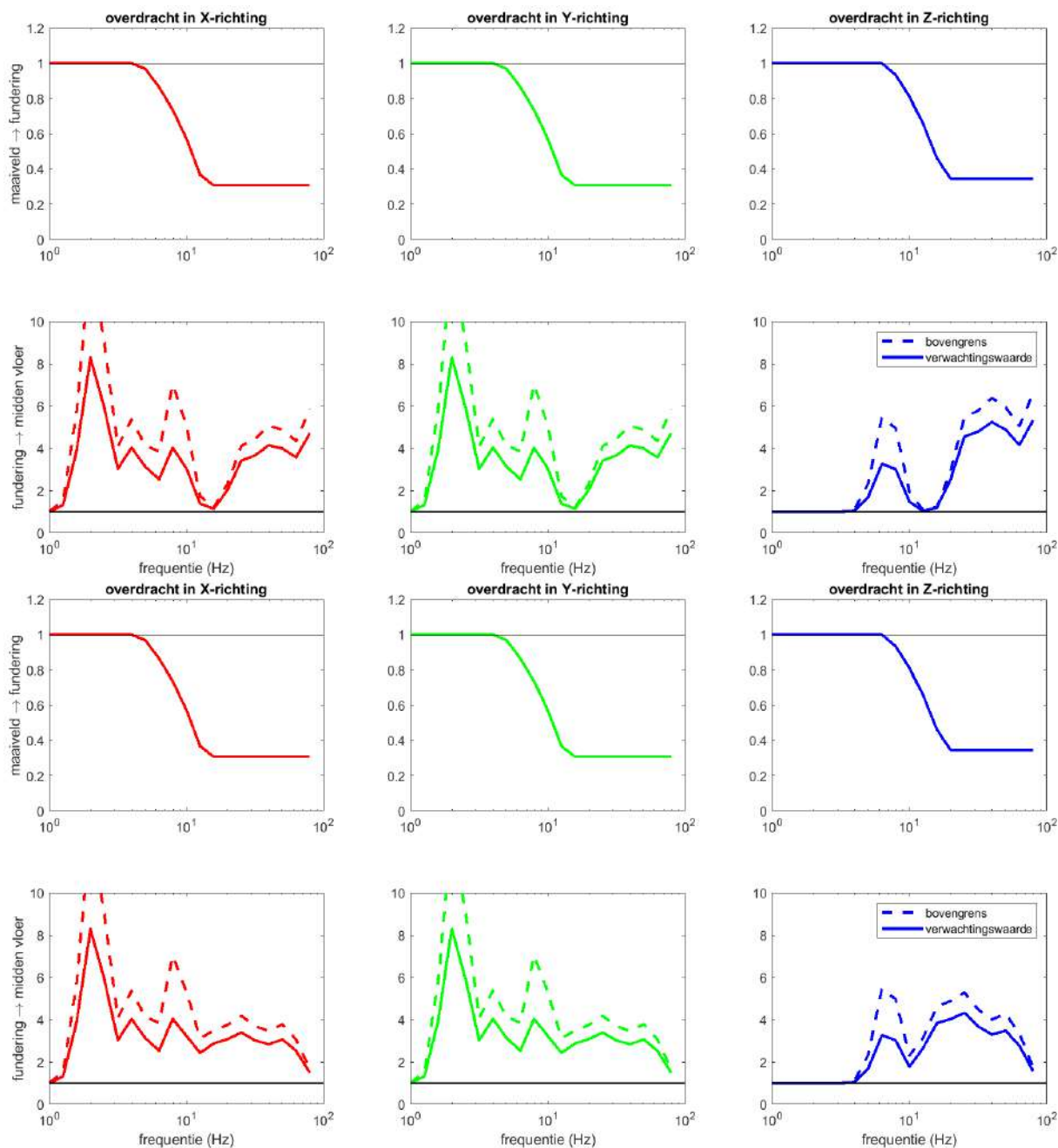


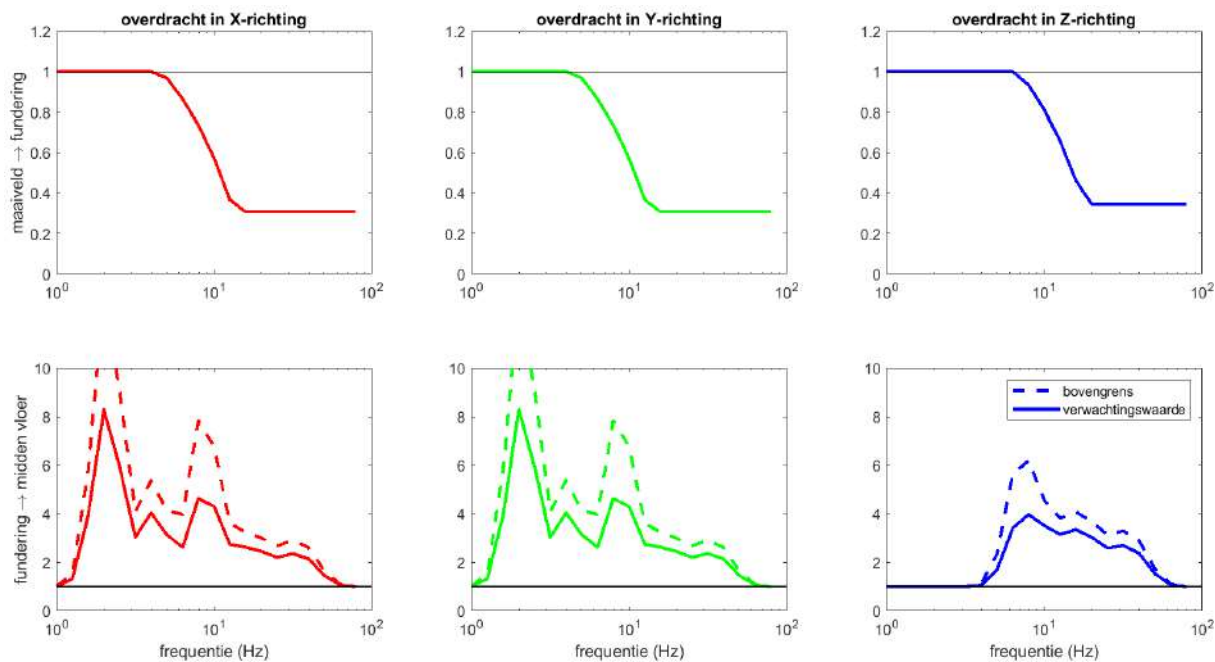
gebied Pompenburg, gebouw type W-40 hoogte 40m, afstand spoor 22m, met oplopende beukmaat van boven naar beneden (5m, 6.5m, 8m).



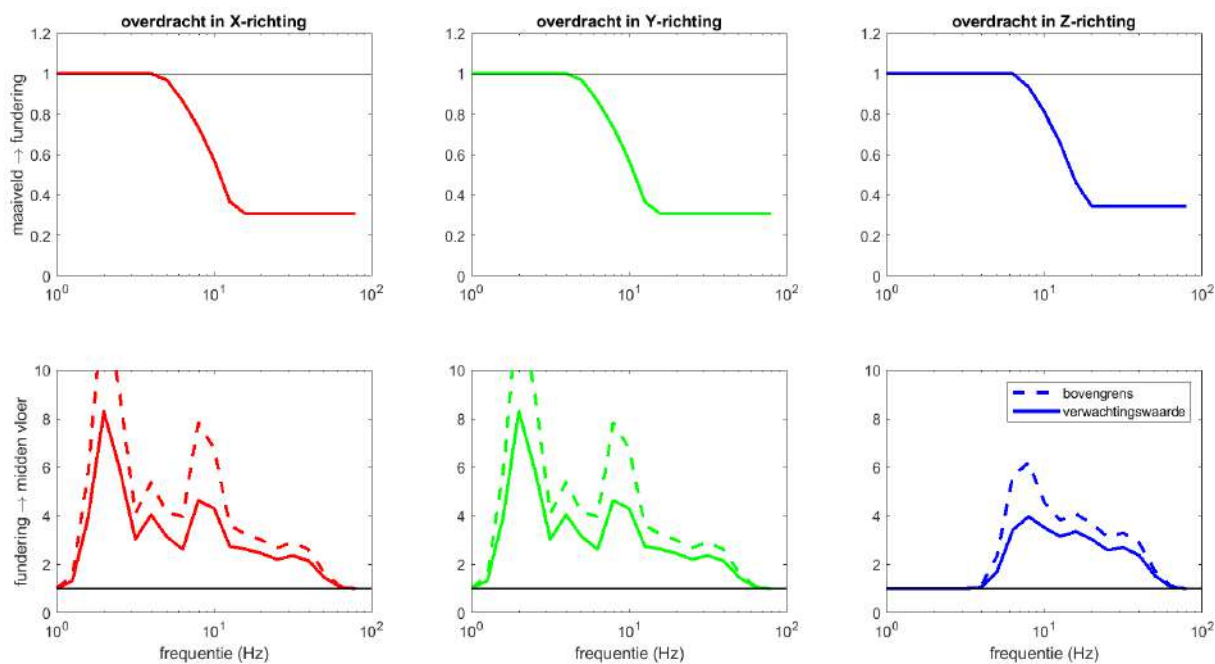


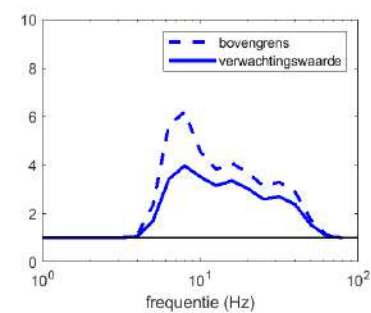
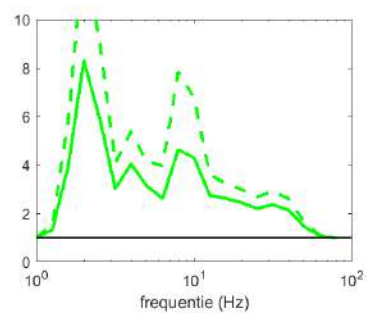
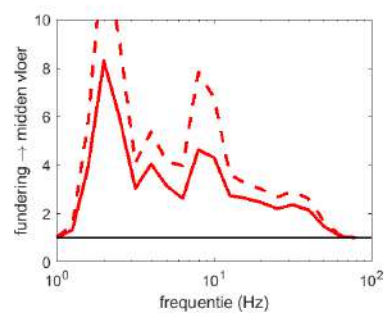
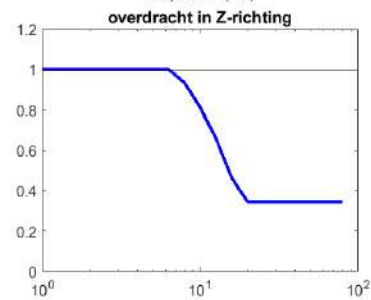
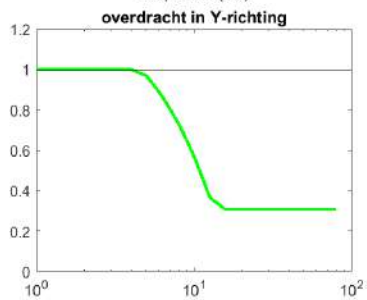
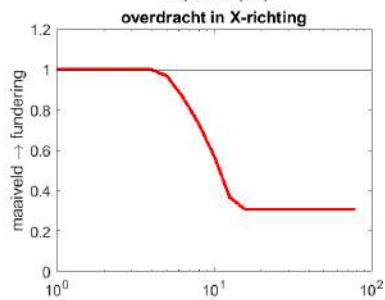
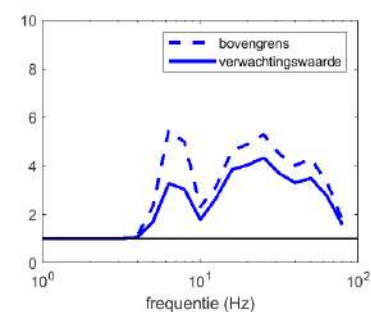
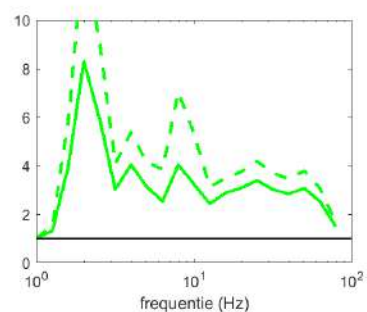
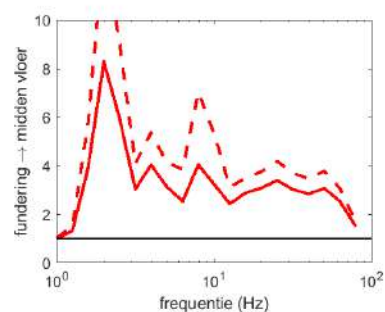
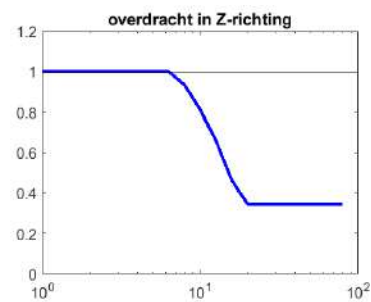
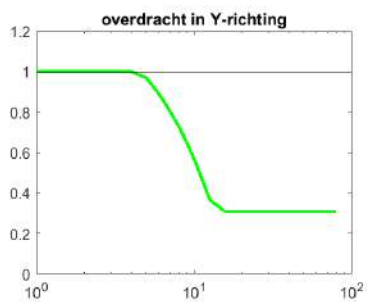
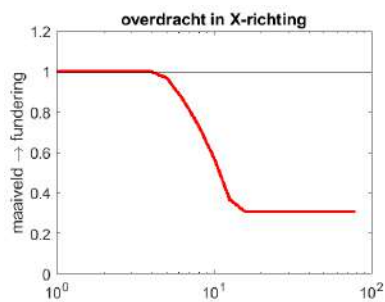
gebied Heer Bokelweg, gebouw type GD-3_30 hoogte 30m, afstand spoor 7m, met oplopende beukmaat van boven naar beneden (5m, 6.5m, 8m).



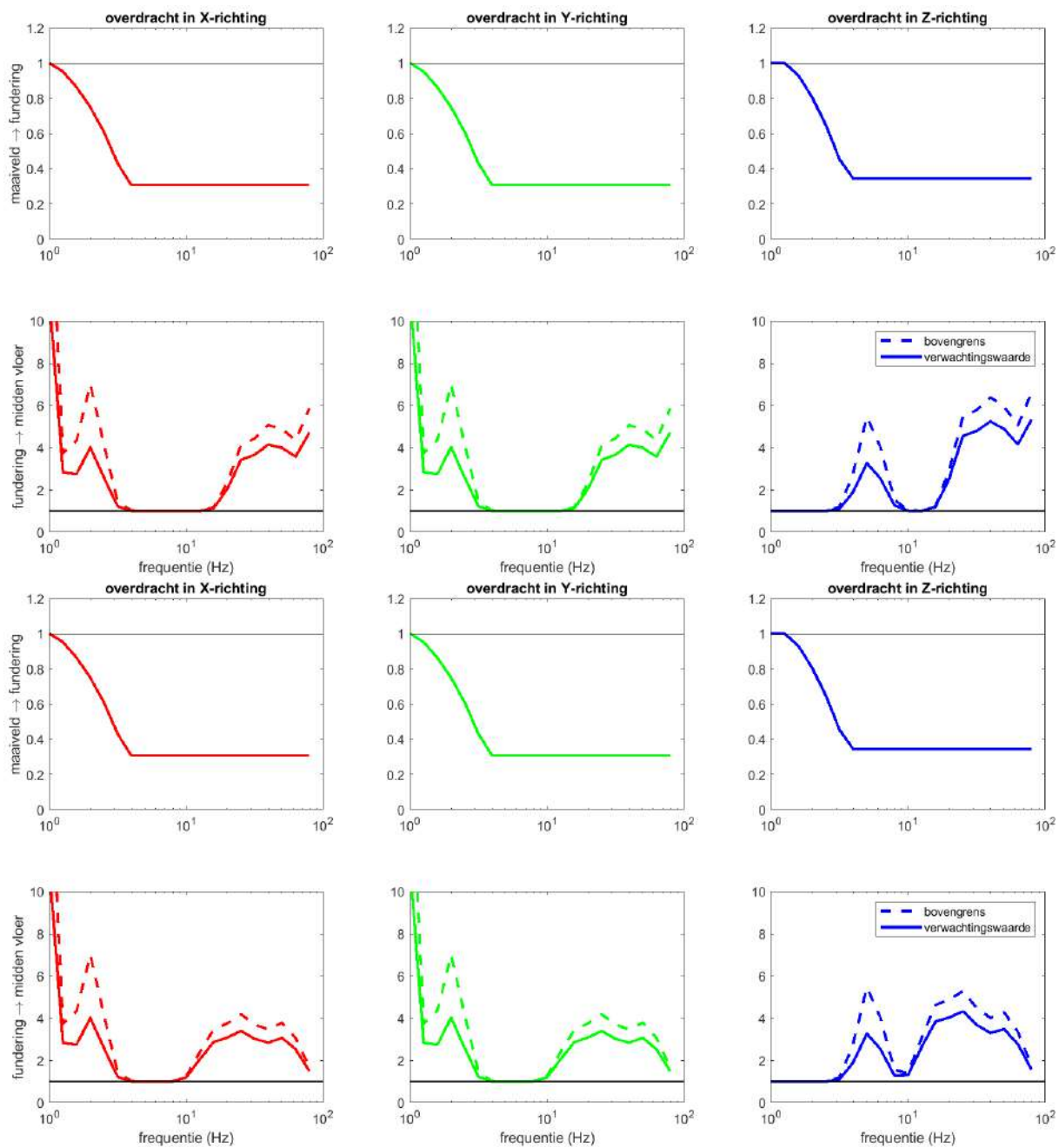


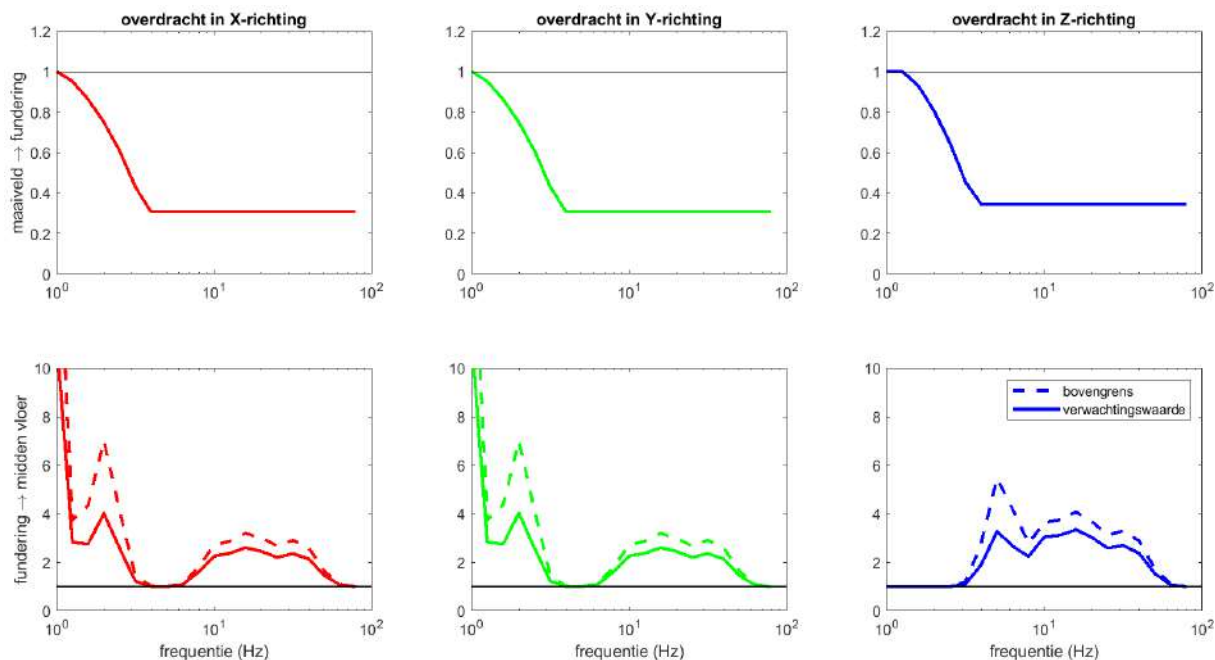
gebied Heer Bokelweg, gebouw type GD-3_30 hoogte 30m, afstand spoor 50m, met oplopende beukmaat van boven naar beneden (5m, 6.5m, 8m).



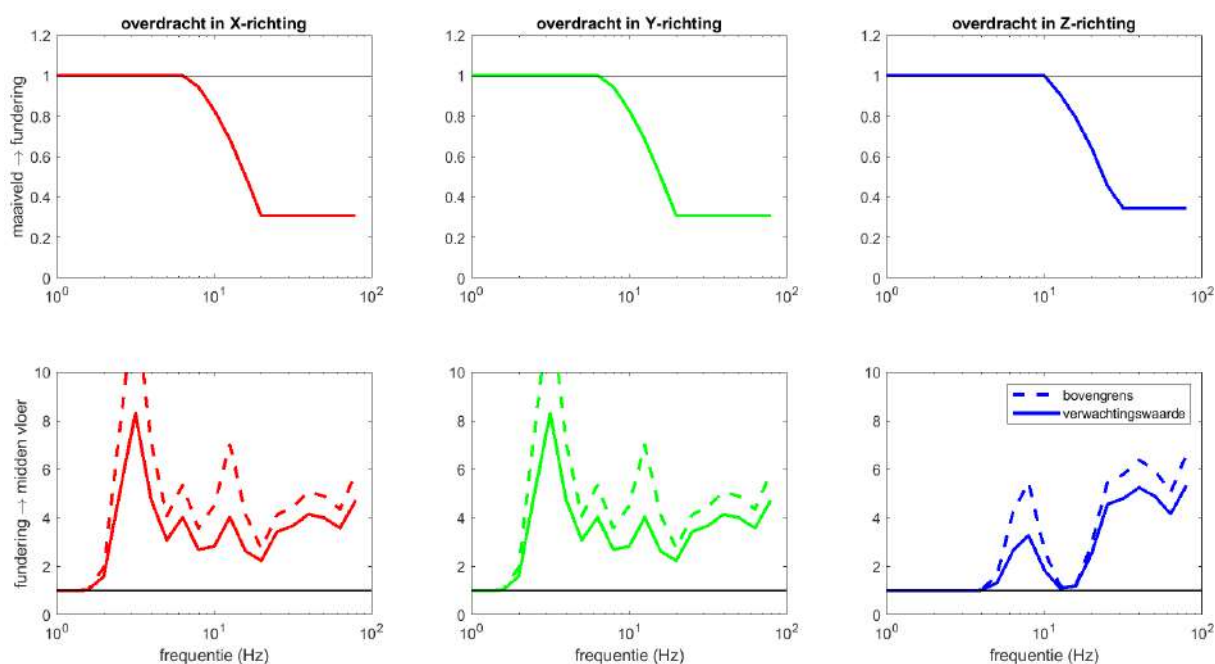


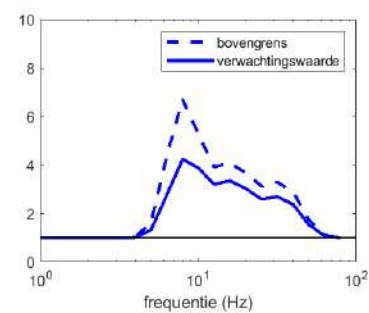
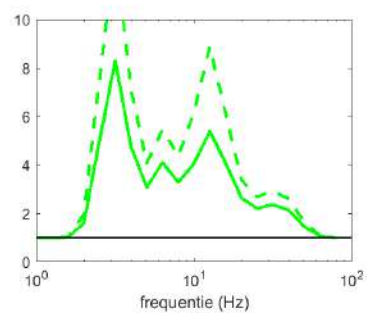
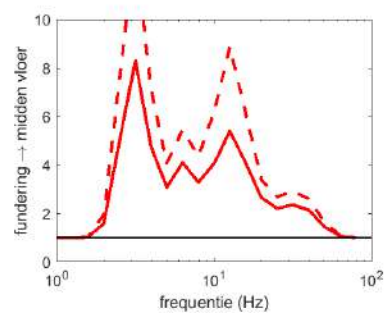
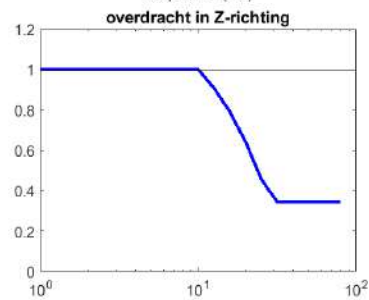
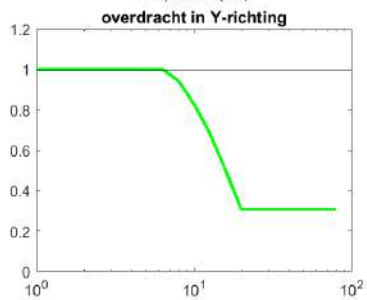
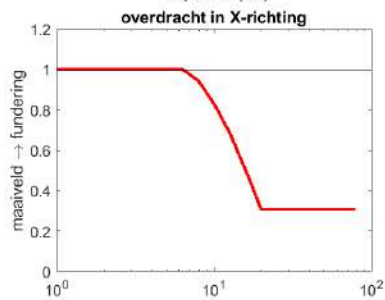
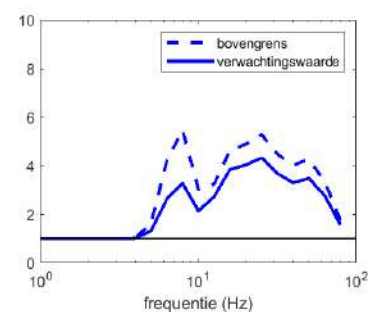
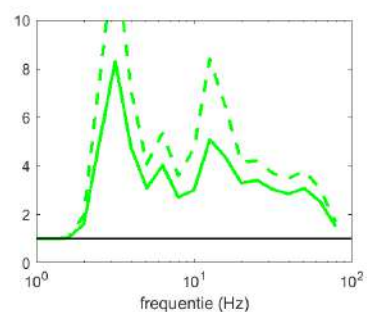
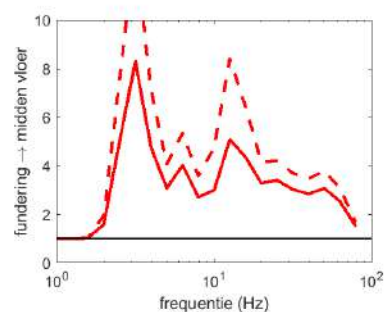
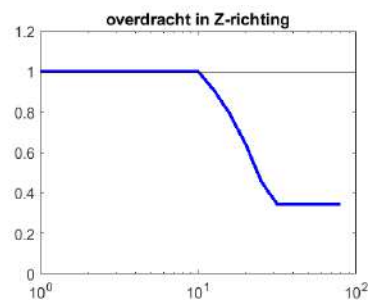
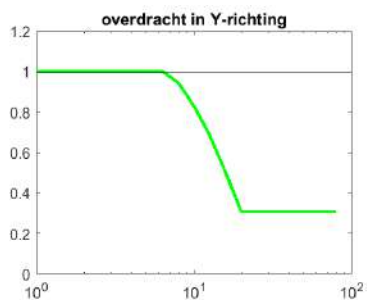
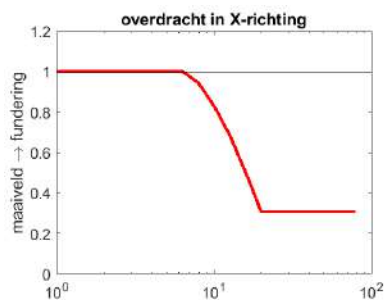
gebied Heer Bokelweg, gebouw type GD-3_125 hoogte 125m, afstand spoor 21m, met oplopende beukmaat van boven naar beneden (5m, 6.5m, 8m).



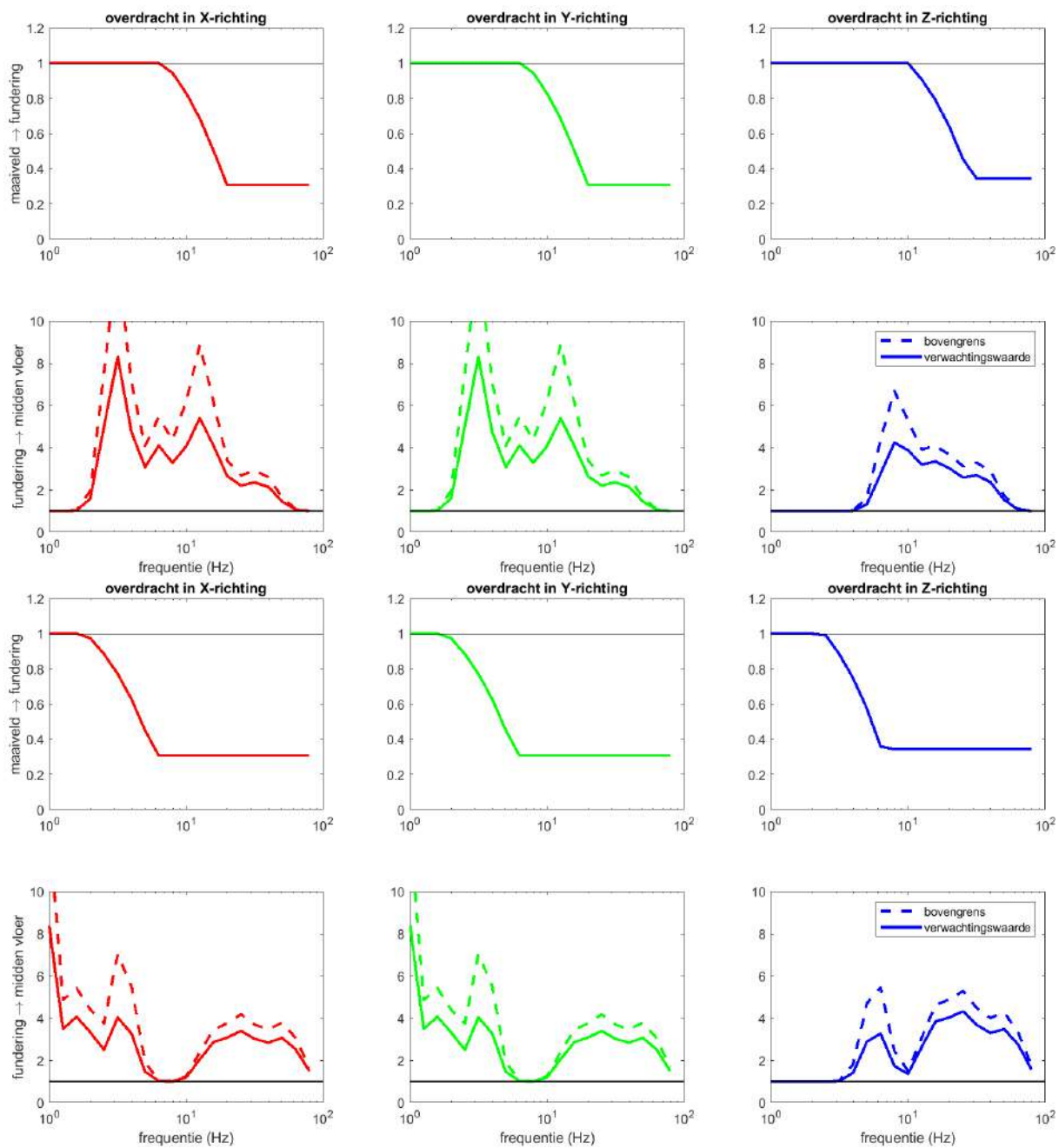


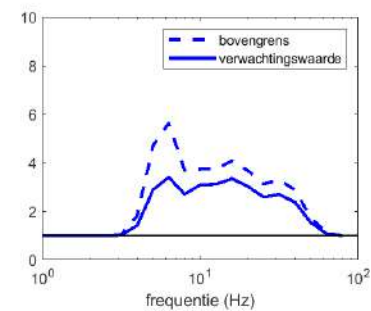
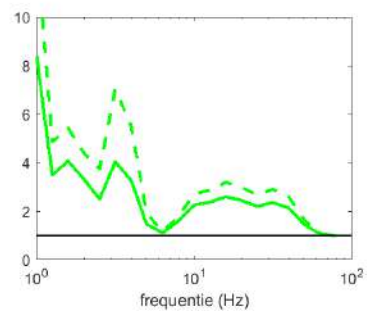
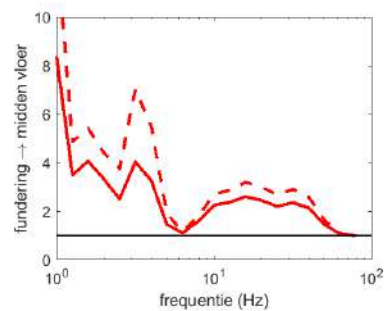
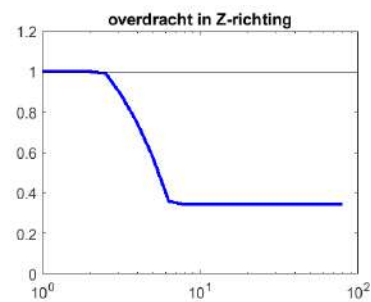
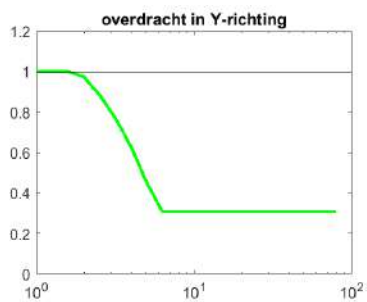
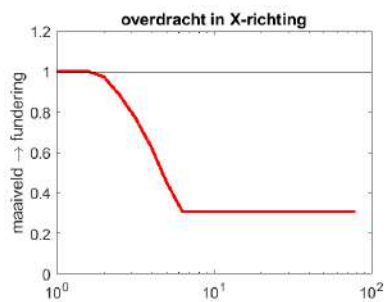
gebied Heer Bokelweg, gebouw type GD-3_20 hoogte 20m, afstand spoor 17m, met olopende beukmaat van boven naar beneden (5m, 6.5m, 8m).





Trillingsspectra, gebied Heer Bokelweg, gebouw type GD-3_74 hoogte 74m, afstand spoor 68m, met oplopende beukmaat van boven naar beneden (5m, 6.5m, 8m).





Bijlage 7 - Overzicht alle resultaten

Kleur	Toelichting
V _{max}	Overschrijding streefwaarde A2 bestaande situaties
V _{per}	Overschrijding streefwaarde A3 bestaande situaties
V _{max}	Overschrijding streefwaarde A2 nieuwe situaties
V _{per}	Overschrijding streefwaarde A3 nieuwe situaties

Verwachtingswaarden (50%)

Gebouw	Hoogte [m]	Beukmaat [m]	Afstand spoor [m]	Vmax dag/avond	Vmax dag/avond	Vmax dag/avond	Vper dag/avond	Vper dag/avond	Vper dag/avond	Vmax nacht	Vmax nacht	Vmax nacht	Vper nacht	Vper nacht	Vper nacht
				X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
GD-1a_20	20	5	7	0.6	0.6	0.7	0.14	0.10	0.16	0.5	0.4	0.6	0.09	0.06	0.10
GD-1b_20	20	6.5	7	0.6	0.6	0.7	0.15	0.10	0.16	0.6	0.4	0.6	0.09	0.06	0.10
GD-1c_20	20	8	7	0.6	0.6	0.8	0.16	0.11	0.19	0.6	0.4	0.7	0.09	0.07	0.12
GD-1a_30	30	5	7	0.4	0.4	0.8	0.11	0.08	0.16	0.4	0.3	0.6	0.07	0.05	0.10
GD-1b_30	30	6.5	7	0.4	0.4	0.8	0.11	0.08	0.17	0.4	0.3	0.6	0.07	0.05	0.10
GD-1c_30	30	8	7	0.5	0.4	0.9	0.12	0.09	0.19	0.5	0.4	0.7	0.07	0.05	0.12
GD-1a_15	15	5	7	0.8	0.6	0.6	0.18	0.13	0.15	0.7	0.5	0.6	0.11	0.08	0.09
GD-1b_15	15	6.5	7	1.0	0.6	0.7	0.19	0.13	0.15	0.7	0.5	0.6	0.11	0.08	0.10
GD-1c_15	15	8	7	0.9	0.7	0.8	0.20	0.14	0.18	0.7	0.6	0.7	0.12	0.08	0.11
GD-1a_140	140	5	17	0.2	0.1	0.2	0.01	0.00	0.04	0.1	0.1	0.2	0.00	0.00	0.03
GD-1b_140	140	6.5	17	0.2	0.1	0.2	0.01	0.00	0.04	0.1	0.1	0.2	0.01	0.00	0.03
GD-1c_140	140	8	17	0.2	0.1	0.2	0.01	0.00	0.04	0.1	0.1	0.2	0.00	0.00	0.03
Wa_21	21	5	13	0.5	0.5	0.6	0.13	0.09	0.13	0.5	0.4	0.5	0.08	0.05	0.08
Wb_21	21	6.5	13	0.5	0.5	0.6	0.13	0.09	0.14	0.5	0.4	0.5	0.08	0.05	0.08
Wc_21	21	8	13	0.6	0.5	0.7	0.14	0.10	0.16	0.5	0.4	0.6	0.09	0.06	0.10
Wa_57	57	5	13	0.3	0.3	0.5	0.05	0.03	0.10	0.2	0.2	0.4	0.03	0.02	0.06
Wb_57	57	6.5	13	0.3	0.3	0.5	0.06	0.03	0.10	0.2	0.2	0.4	0.03	0.02	0.06
Wc_57	57	8	13	0.3	0.3	0.5	0.05	0.03	0.10	0.2	0.2	0.4	0.03	0.02	0.06
Wa_40	40	5	17	0.4	0.3	0.6	0.09	0.07	0.12	0.4	0.3	0.4	0.05	0.04	0.08
Wb_40	40	6.5	17	0.4	0.3	0.6	0.09	0.07	0.12	0.4	0.3	0.4	0.06	0.04	0.08
Wc_40	40	8	17	0.4	0.4	0.7	0.10	0.07	0.14	0.4	0.3	0.5	0.06	0.04	0.09
GD-3a_30	30	5	7	0.6	0.4	0.5	0.06	0.04	0.08	0.4	0.3	0.5	0.04	0.03	0.05
GD-3b_30	30	6.5	7	0.6	0.4	0.4	0.06	0.04	0.08	0.4	0.3	0.5	0.03	0.03	0.05
GD-3c_30	30	8	7	0.6	0.4	0.5	0.06	0.04	0.09	0.4	0.3	1.0	0.04	0.03	0.05
GD-3a_30	30	5	50	0.5	0.4	0.2	0.03	0.03	0.02	0.4	0.2	0.2	0.02	0.02	0.02
GD-3b_30	30	6.5	50	0.5	0.4	0.2	0.03	0.03	0.02	0.4	0.2	0.2	0.02	0.02	0.02
GD-3c_30	30	8	50	0.5	0.4	0.2	0.04	0.03	0.03	0.4	0.2	0.7	0.02	0.02	0.02
GD-3a_125	125	5	21	0.2	0.1	0.2	0.01	0.00	0.00	0.2	0.1	0.1	0.00	0.00	0.00
GD-3b_125	125	6.5	21	0.2	0.1	0.1	0.01	0.00	0.00	0.2	0.1	0.1	0.00	0.00	0.00
GD-3c_125	125	8	21	0.2	0.1	0.1	0.01	0.00	0.01	0.2	0.1	0.1	0.00	0.00	0.00
GD-3a_20	20	5	17	0.5	0.5	0.3	0.05	0.04	0.05	0.3	0.3	0.5	0.03	0.02	0.03
GD-3b_20	20	6.5	17	0.5	0.5	0.3	0.05	0.04	0.05	0.3	0.3	0.5	0.03	0.03	0.03
GD-3c_20	20	8	17	0.5	0.5	0.4	0.06	0.04	0.06	0.3	0.3	0.7	0.03	0.03	0.04
GD-3a_74	74	5	68	0.2	0.2	0.1	0.01	0.00	0.00	0.2	0.1	0.1	0.01	0.00	0.00
GD-3b_74	74	6.5	68	0.2	0.2	0.1	0.01	0.00	0.00	0.2	0.1	0.1	0.01	0.00	0.00
GD-3c_74	74	8	68	0.2	0.2	0.1	0.01	0.00	0.00	0.2	0.1	0.1	0.01	0.00	0.00

Bovengrens (95%)

Gebouw	Hoogte [m]	Beukmaat [m]	Afstand spoor [m]	Vmax dag/avond	Vmax dag/avond	Vmax dag/avond	Vper dag/avond	Vper dag/avond	Vper dag/avond	Vmax nacht	Vmax nacht	Vmax nacht	Vper nacht	Vper nacht	Vper nacht
				X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
GD-1a_20	20	5	7	0.8	0.8	1.1	0.20	0.14	0.24	0.7	0.5	0.9	0.07	0.04	0.08
GD-1b_20	20	6.5	7	0.8	0.8	1.1	0.21	0.14	0.25	0.8	0.5	0.9	0.07	0.05	0.08
GD-1c_20	20	8	7	0.9	0.8	1.2	0.22	0.15	0.28	0.8	0.6	1.1	0.07	0.05	0.09
GD-1a_30	30	5	7	0.7	0.6	1.3	0.17	0.13	0.26	0.7	0.5	0.9	0.06	0.04	0.08
GD-1b_30	30	6.5	7	0.7	0.6	1.3	0.17	0.13	0.27	0.7	0.5	0.9	0.06	0.04	0.08
GD-1c_30	30	8	7	0.7	0.6	1.4	0.18	0.14	0.30	0.7	0.6	1.1	0.06	0.05	0.09
GD-1a_15	15	5	7	1.2	1.0	1.0	0.26	0.18	0.23	1.0	0.7	0.9	0.08	0.06	0.07
GD-1b_15	15	6.5	7	1.5	1.0	1.0	0.28	0.19	0.23	1.0	0.8	0.9	0.09	0.06	0.08
GD-1c_15	15	8	7	1.4	1.0	1.2	0.29	0.20	0.27	1.0	0.8	1.1	0.09	0.07	0.09
GD-1a_140	140	5	17	0.3	0.1	0.4	0.01	0.00	0.06	0.2	0.1	0.3	0.01	0.00	0.02
GD-1b_140	140	6.5	17	0.3	0.1	0.4	0.02	0.01	0.06	0.2	0.1	0.3	0.01	0.00	0.02
GD-1c_140	140	8	17	0.3	0.1	0.4	0.02	0.01	0.07	0.2	0.1	0.3	0.01	0.00	0.02
Wa_21	21	5	13	0.7	0.7	1.0	0.18	0.13	0.21	0.7	0.5	0.8	0.06	0.04	0.07
Wb_21	21	6.5	13	0.8	0.7	1.0	0.19	0.13	0.22	0.7	0.5	0.8	0.06	0.04	0.07
Wc_21	21	8	13	0.8	0.7	1.1	0.20	0.14	0.25	0.7	0.5	1.0	0.07	0.05	0.08
Wa_57	57	5	13	0.5	0.4	0.8	0.08	0.05	0.15	0.4	0.3	0.6	0.03	0.02	0.05
Wb_57	57	6.5	13	0.5	0.4	0.8	0.08	0.05	0.15	0.4	0.3	0.6	0.03	0.02	0.05
Wc_57	57	8	13	0.5	0.4	0.8	0.08	0.05	0.15	0.4	0.3	0.6	0.03	0.02	0.05
Wa_40	40	5	17	0.6	0.5	1.0	0.13	0.09	0.18	0.5	0.4	0.7	0.04	0.03	0.06
Wb_40	40	6.5	17	0.6	0.5	1.0	0.13	0.09	0.18	0.5	0.4	0.7	0.04	0.03	0.06
Wc_40	40	8	17	0.6	0.5	1.0	0.14	0.10	0.20	0.5	0.4	0.7	0.04	0.03	0.06
GD-3a_30	30	5	7	0.9	0.6	0.7	0.09	0.08	0.13	0.7	0.4	0.8	0.06	0.04	0.08
GD-3b_30	30	6.5	7	0.9	0.6	0.7	0.09	0.08	0.13	0.7	0.4	0.8	0.06	0.04	0.08
GD-3c_30	30	8	7	0.9	0.6	0.8	0.10	0.08	0.14	0.7	0.4	1.5	0.06	0.05	0.08
GD-3a_30	30	5	50	0.8	0.6	0.3	0.07	0.05	0.05	0.5	0.3	0.4	0.04	0.03	0.03
GD-3b_30	30	6.5	50	0.8	0.6	0.3	0.07	0.05	0.05	0.5	0.3	0.4	0.04	0.03	0.03
GD-3c_30	30	8	50	0.8	0.6	0.4	0.07	0.05	0.05	0.5	0.3	0.8	0.04	0.03	0.03
GD-3a_125	125	5	21	0.4	0.2	0.2	0.02	0.01	0.02	0.3	0.1	0.2	0.01	0.01	0.01
GD-3b_125	125	6.5	21	0.4	0.2	0.2	0.02	0.01	0.02	0.3	0.1	0.2	0.01	0.01	0.01
GD-3c_125	125	8	21	0.4	0.2	0.2	0.02	0.01	0.02	0.3	0.1	0.2	0.01	0.01	0.01
GD-3a_20	20	5	17	0.7	0.8	0.5	0.09	0.07	0.09	0.4	0.4	0.9	0.05	0.04	0.05
GD-3b_20	20	6.5	17	0.7	0.8	0.6	0.09	0.07	0.09	0.4	0.4	0.9	0.05	0.04	0.05
GD-3c_20	20	8	17	0.7	0.7	0.7	0.09	0.08	0.10	0.4	0.4	1.1	0.05	0.04	0.06
GD-3a_74	74	5	68	0.3	0.2	0.2	0.02	0.01	0.01	0.3	0.2	0.1	0.01	0.01	0.00
GD-3b_74	74	6.5	68	0.3	0.2	0.2	0.02	0.01	0.01	0.3	0.2	0.1	0.01	0.01	0.00
GD-3c_74	74	8	68	0.3	0.2	0.2	0.02	0.01	0.01	0.3	0.2	0.1	0.01	0.01	0.00

Bijlage 8 – Informatie Prorail

From: Blaas, E.P. (Eric) <Eric.Blaas@prorail.nl>
Sent: vrijdag 11 februari 2022 14:48
To: Schoemakers CW (Wijnand) <wijnand.schoemakers@movares.nl>
Cc: Zandberg, H (Hielke) <hielke.zandberg@prorail.nl>
Subject: RE: prognoses Rotterdam-Blaak voor trill.ond.z

Hoi Wijnand,

Op verzoek hierbij ook de intensiteiten voor trillingen voor het jaar 2026 en 2030.

Voor het jaar 2026 wordt gebruik gemaakt van Productstappen de komende jaren die bovenop de dienstregeling van 2022 komen.
Voor het jaar 2030 is de PHS dienstregeling het uitgangspunt.
Door die andere opbouw van de prognose, zie je dat een enkele waarde van 2026 net iets hoger kan zijn dan in 2030.

TRILLINGEN Prognose 2026		Treinen/uur/richting		
Rotterdam Centraal - Rotterdam Blaak		(gemiddeld over een etmaalperiode)		
		[afgerond op twee decimalen]		
Treinsoort/ri		Dag (7.00-19.00)	Avond (19.00-23.00)	Nacht (23.00-7.00)
HSL	Rtd-Rtb	7,04	6,67	1,20
HSL	Rtb-Rtd	6,86	7,14	1,32
IC	Rtd-Rtb	4,07	3,86	1,18
IC	Rtb-Rtd	4,11	4,18	0,98
SPR	Rtd-Rtb	4,86	2,71	1,21
SPR	Rtb-Rtd	4,85	2,54	1,20
G	Rtd-Rtb	0,54	0,59	0,37
G	Rtb-Rtd	0,54	0,59	0,37

TRILLINGEN Prognose 2030		Treinen/uur/richting		
Rotterdam Centraal - Rotterdam Blaak		(gemiddeld over een etmaalperiode)		
		[afgerond op twee decimalen]		
Treinsoort/ri		Dag (7.00-19.00)	Avond (19.00-23.00)	Nacht (23.00-7.00)
HSL	Rtd-Rtb	6,52	7,00	1,96
HSL	Rtb-Rtd	6,82	7,00	1,52
IC	Rtd-Rtb	3,61	4,00	1,38
IC	Rtb-Rtd	3,93	4,00	0,89
SPR	Rtd-Rtb	5,19	3,29	0,89
SPR	Rtb-Rtd	5,21	2,86	1,07
G	Rtd-Rtb	1,08	1,18	0,74
G	Rtb-Rtd	1,08	1,18	0,74

Ik heb nog navraag gedaan bij mijn collega over je vraag of er nog snelheidsverhogingen verwacht worden op dit traject.
Dat wordt niet verwacht in de periode vanaf nu tot 2030.

Met vriendelijke groet,

Eric Blaas | Programmamanager | Capaciteitsmanagement
088 231 18 59 | 06 31 64 34 00 | www.prorail.nl
De Inktpot B1.03, Moreelsepark 3, 3511 EP Utrecht | Postbus 2038, 3500 GA Utrecht

ProRail

Verbindt. Verbetert. Verduurzaamt.

Van: Datzin, A.V.D. [Datzin] <[Datzin]@proRail.nl>
Verzonden: dinsdag 16 november 2021 17:02
Aan: Ykes, Max de <[Ykes]@proRail.nl>
CC: [Ykes]@proRail.nl; Mark, W.C.M. van den [Mark] <[Mark]@proRail.nl>; Schoof, A.T.G. (Albert) <[Schoof]@proRail.nl>
Onderwerp: RE: Pompenburg Rotterdam

Beste Max,

Hieronder heb ik een uitsnede (van ons overzicht van treinaantallen door de tijd heen) van mijn collega's bij capaciteitsmanagement ontvangen. Vanaf 2030 wordt het onzekerder (blauw gekhicht in de tabel), omdat er nog geen besluitvorming over de infrastructuur is die nodig is voor de dienstregelingen die hier achter zitten. Dit laatste geldt met name voor de 2040 scenario's. Hiervoor zijn grote investeringen nodig, die door de regio wel als belangrijk worden gezien.

Voor goederen geldt trouwens dat '0' niet betekent dat er nooit meer een goederentrein door de tunnel rijdt. Deze cijfers zijn gebaseerd op de capaciteit in de spits. Er zijn ook kleinere goederenstromen die blijven rijden, ook als CNDE gerealiseerd wordt.

Opmerkingen:

- In 2040 zullen de aantal goederen bewegingen niet helemaal naar 0 gaan. We moeten rekening houden met incidentele goederen bewegingen.
- Dit is een prognose en er kunnen altijd foute cijfers uitvallen optreden.

Verandering in treinfrequenties (drukste uur van de dag op diverse trajecten (drukste goederen))	Treinen/u/h Ergl 2018 IC + SP + G	Treinen/u/h Ergl 2030 IC + SP + G	Treinen/u/h Ergl 2040 IC + SP + G	Var. u/baas PWS 2030 IC + SP + G	Var. u/4 Ref 2030 / Profil 1 IC + SP + G	2040 Profil 1 IC + SP + G	2040 Profil 2 IC + SP + G	2040 Profil 3 IC + SP + G		
Rotterdam C-Rotterdam Lombardijen (INT+IC)	(2+0) + 4 + 4	(2+0) + 4 + 4	(2+0) + 6 + 2	(2+0) + 6 + 2	(2+12) + 8 + 2	(2+14) + 8 + 1	(2+14) + 12 + 0	(2+14) + 16 + 0	Rotterdam C-Rotterdam Lombardijen (INT+IC)	IC-Bruessel is IC
			Infra: o.a. Station Amsterdam Zuid	Infra: o.a. Station Amsterdam Zuid	Infra: o.a. Station Amsterdam Zuid	Infra: o.a. Station Amsterdam Zuid doortrekken NZ lijn in Amsterdam	Infra: vorige + (CNDE), 1-beam Den Haag Dordrecht			

Ergl - Dienstreiding
IC - InterCity
SP - Sprinter
G - Goederen treinen
PWS - Programma Hoogfrequent Spoorvervoer
CNDE - Goederenroute Noord- Oost Europa

Met vriendelijke groet,
Datzin Datzin / Projectleider / Projecten
061 231 39 60 / 06 44 35 64 43 | [Datzin]@proRail.nl
De Inkpot AD (V. - Noordseweg 3, 3511 EP Utrecht) Postbus 2006, 3500 DA Utrecht

 **Movares** samen werkt het