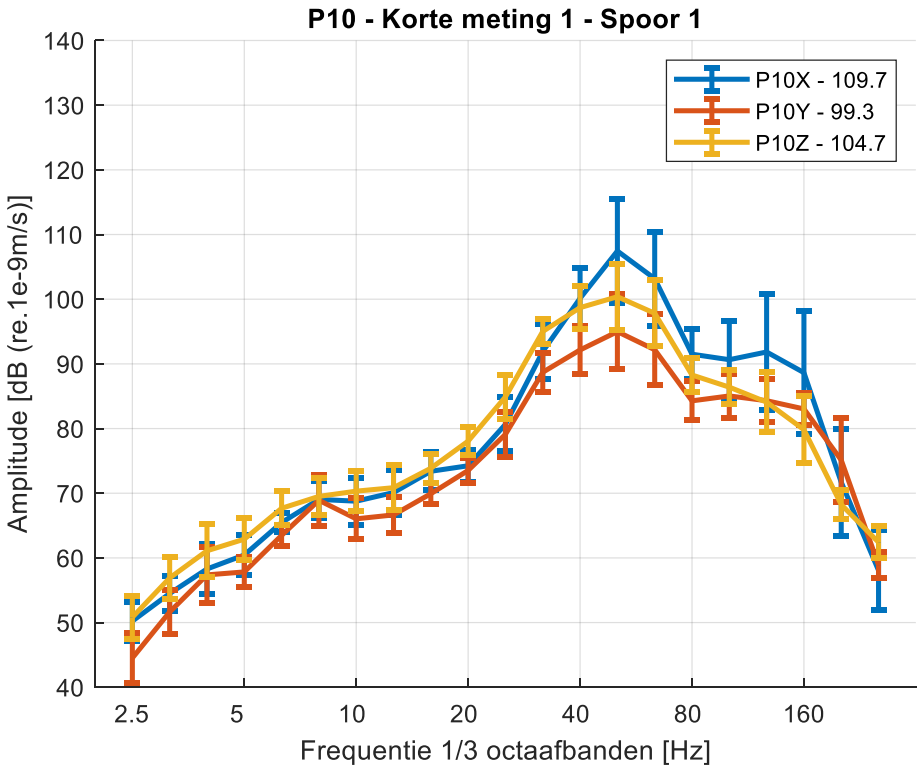
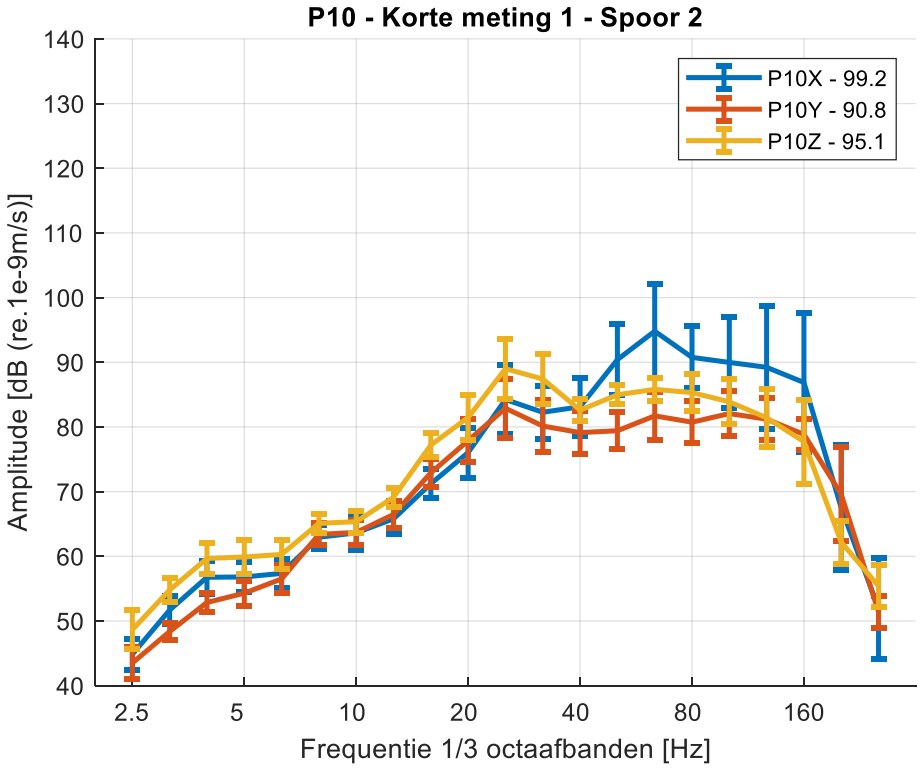
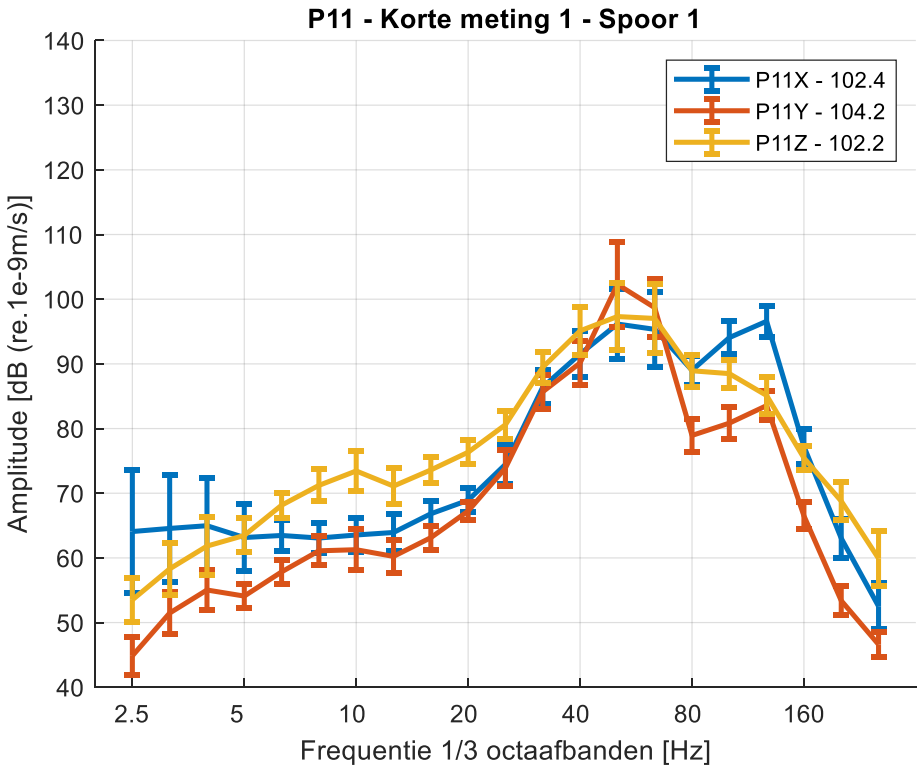
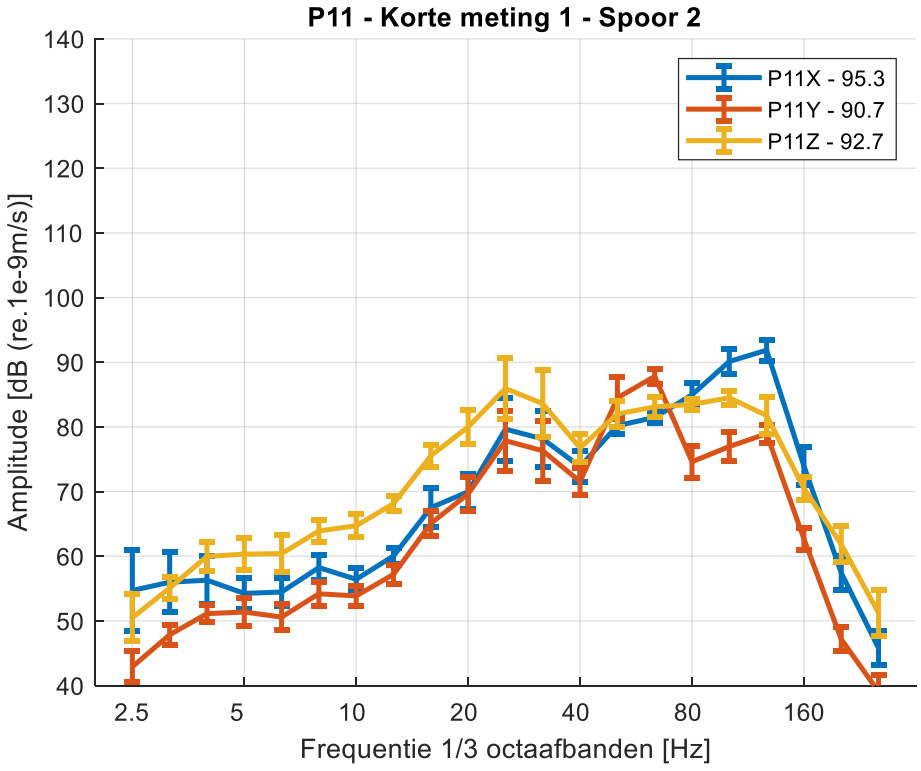
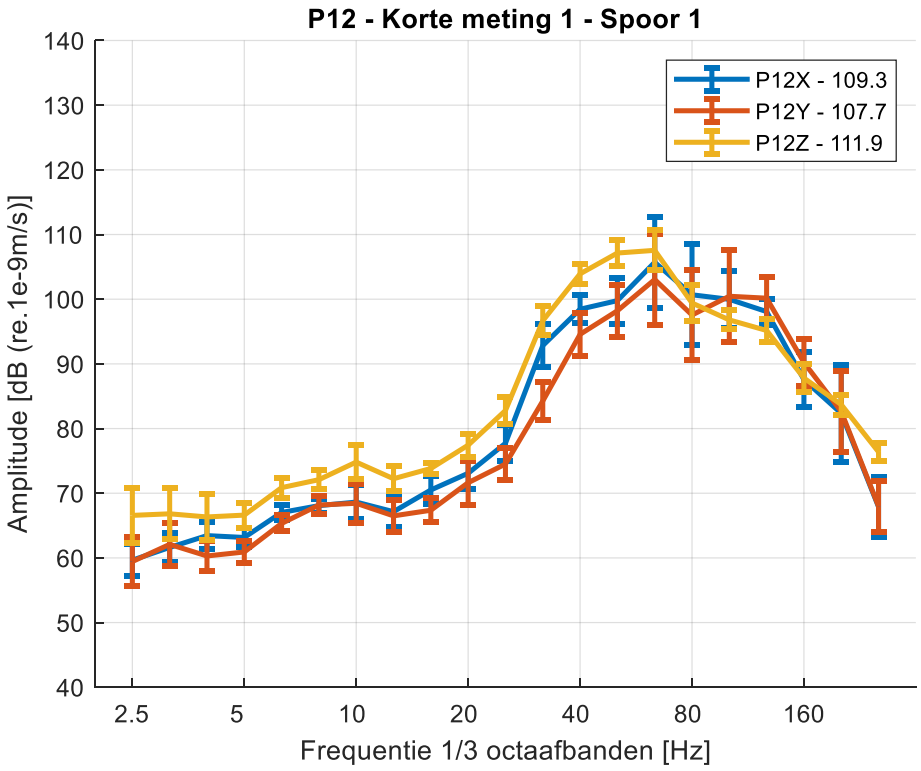
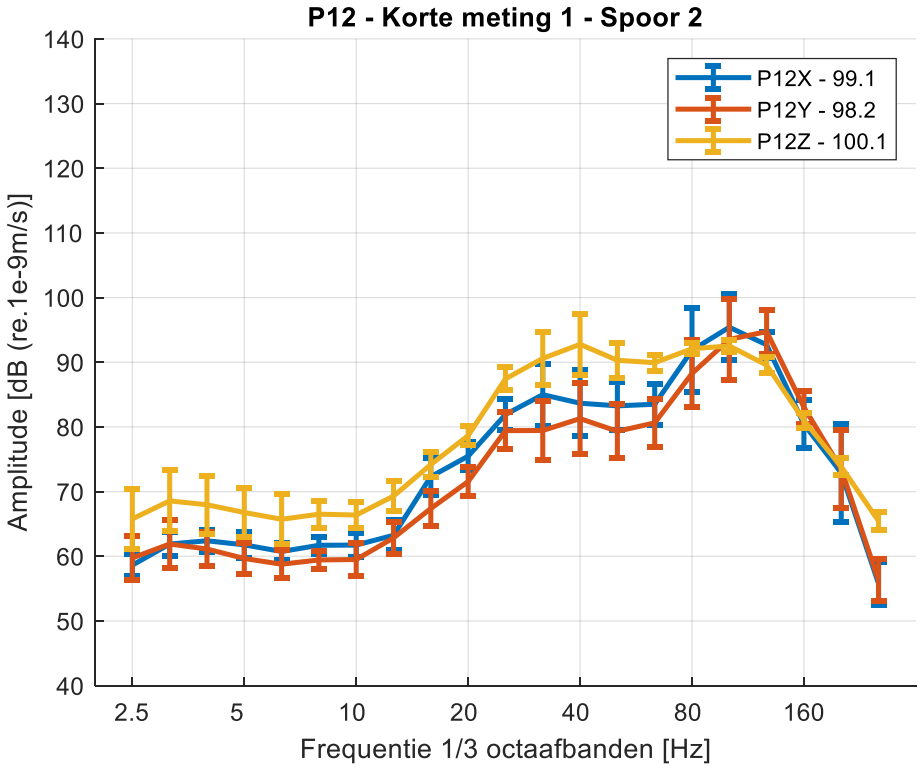

P10 - Korte meting 1 - Spoor 1
P10X - 109.7
P10Y - 99.3
P10Z - 104.7
Amplitude [dB (re.1e-9m/s)]
Frequentie 1/3 octaafbanden [Hz]
140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
2.5
5
10
20
40
80
160

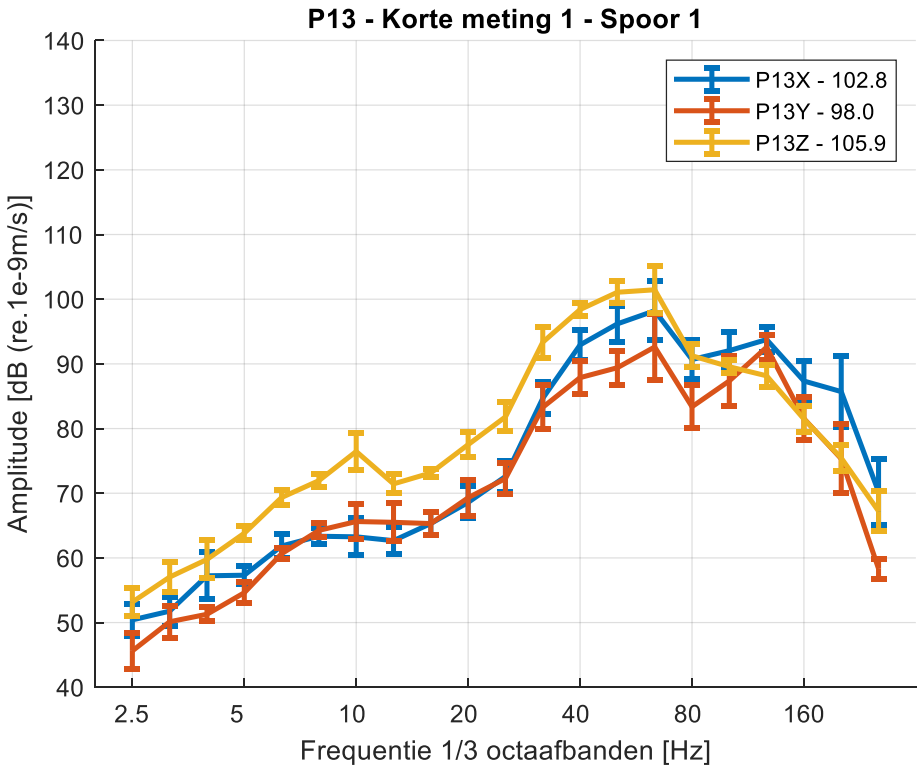

P10 - Korte meting 1 - Spoor 2
P10X - 99.2
P10Y - 90.8
P10Z - 95.1
Amplitude [dB (re.1e-9m/s)]
Frequentie 1/3 octaafbanden [Hz]
140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
2.5
5
10
20
40
80
160

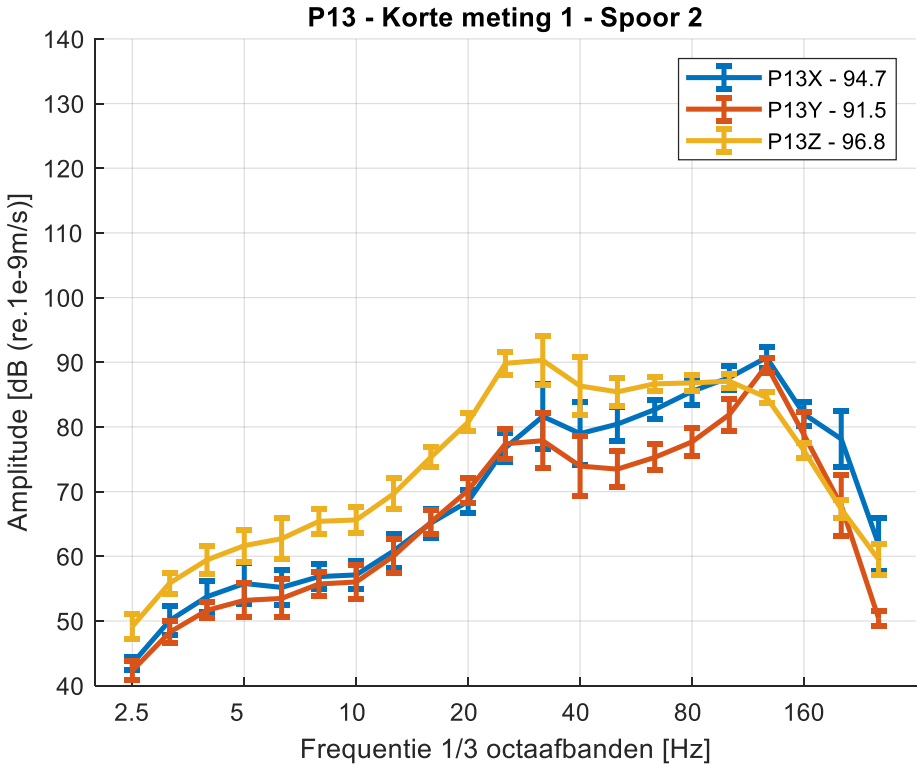

P11 - Korte meting 1 - Spoor 1
P11X - 102.4
P11Y - 104.2
P11Z - 102.2
Amplitude [dB (re.1e-9m/s)]
Frequentie 1/3 octaafbanden [Hz]
140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
2.5
5
10
20
40
80
160

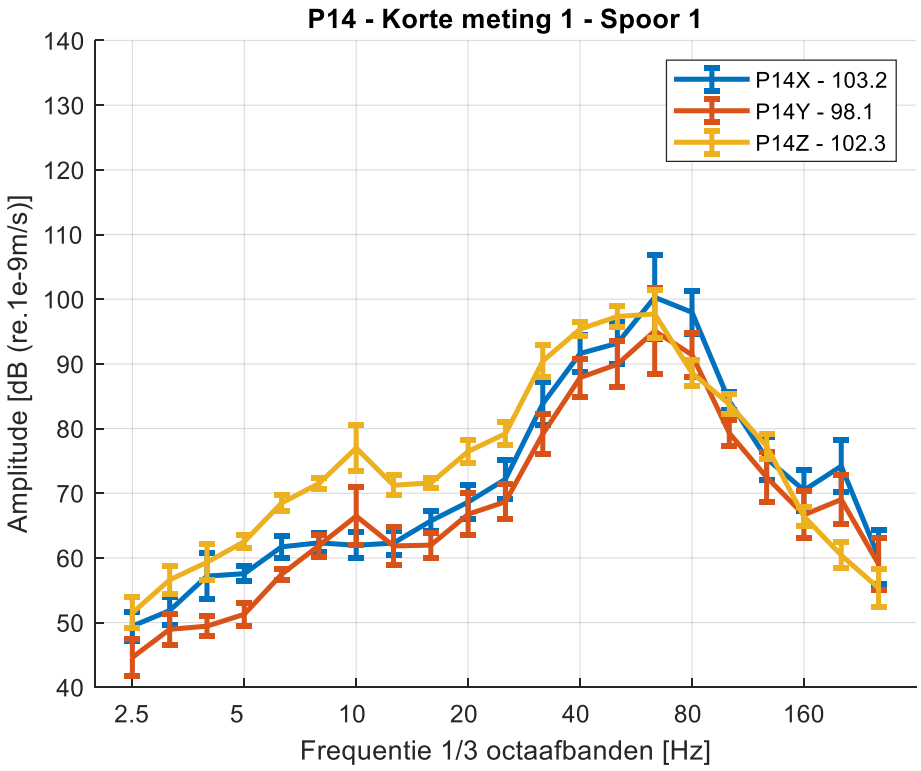

P11 - Korte meting 1 - Spoor 2
P11X - 95.3
P11Y - 90.7
P11Z - 92.7
Amplitude [dB (re.1e-9m/s)]
Frequentie 1/3 octaafbanden [Hz]
140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
2.5
5
10
20
40
80
160

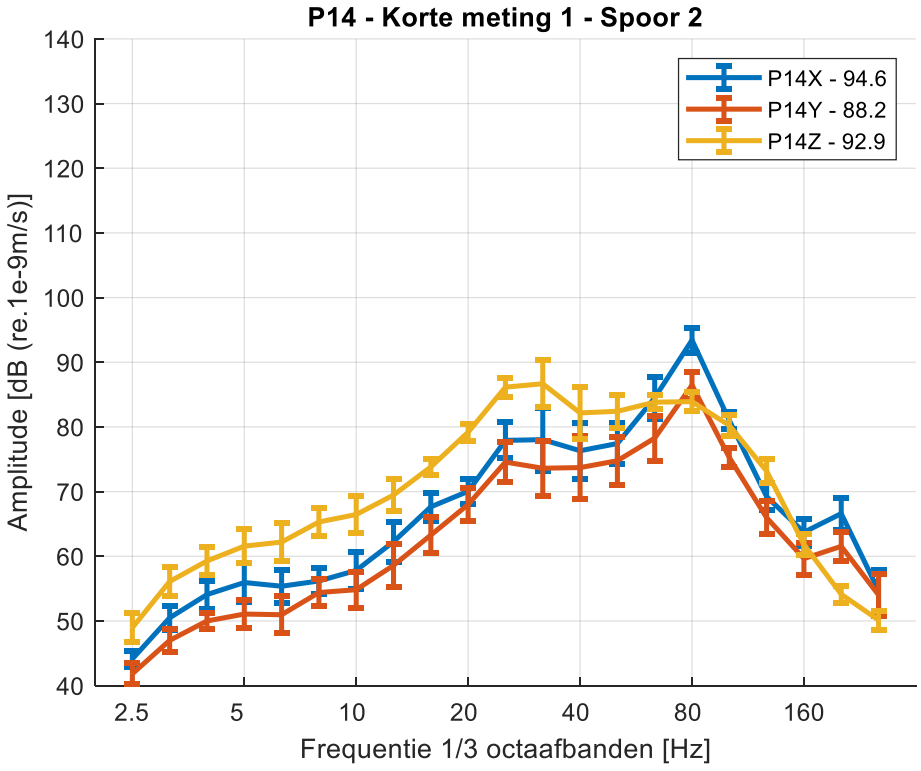

P12 - Korte meting 1 - Spoor 1
P12X - 109.3
P12Y - 107.7
P12Z - 111.9
Amplitude [dB (re.1e-9m/s)]
Frequentie 1/3 octaafbanden [Hz]
140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
2.5
5
10
20
40
80
160

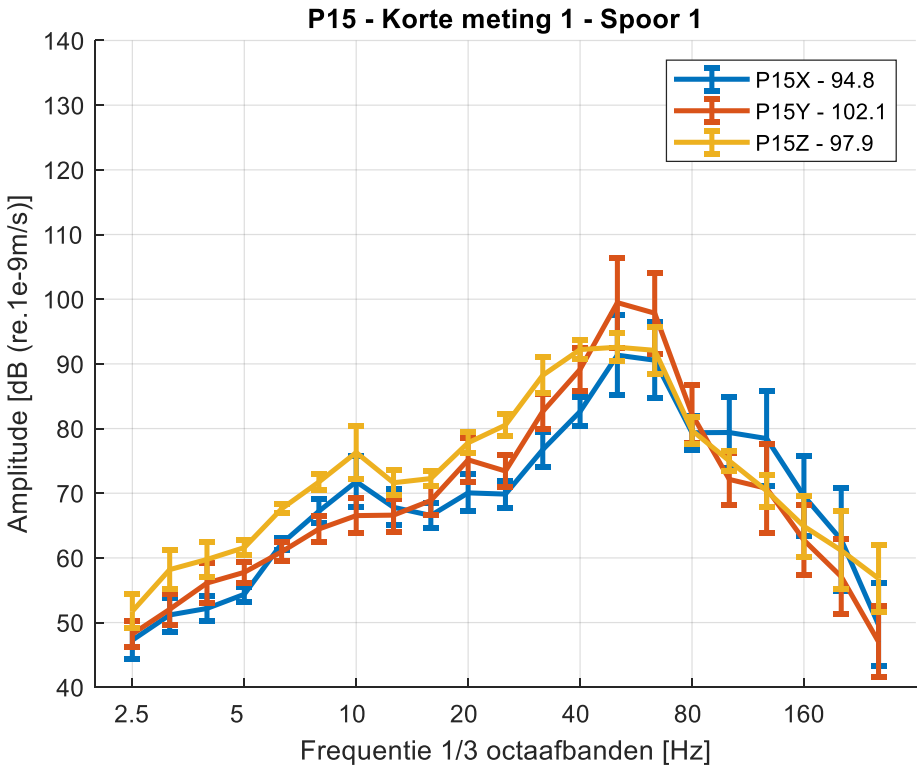

P12 - Korte meting 1 - Spoor 2
P12X - 99.1
P12Y - 98.2
P12Z - 100.1
Amplitude [dB (re.1e-9m/s)]
Frequentie 1/3 octaafbanden [Hz]
140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
2.5
5
10
20
40
80
160

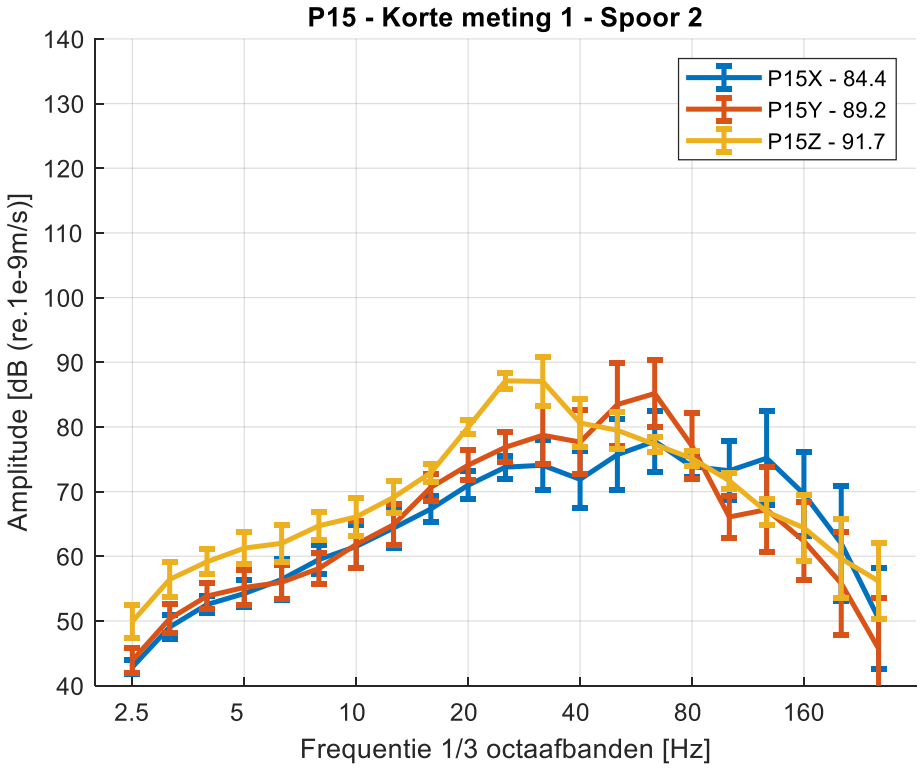

P13 - Korte meting 1 - Spoor 1
P13X - 102.8
P13Y - 98.0
P13Z - 105.9
Amplitude [dB (re.1e-9m/s)]
Frequentie 1/3 octaafbanden [Hz]
140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
2.5
5
10
20
40
80
160

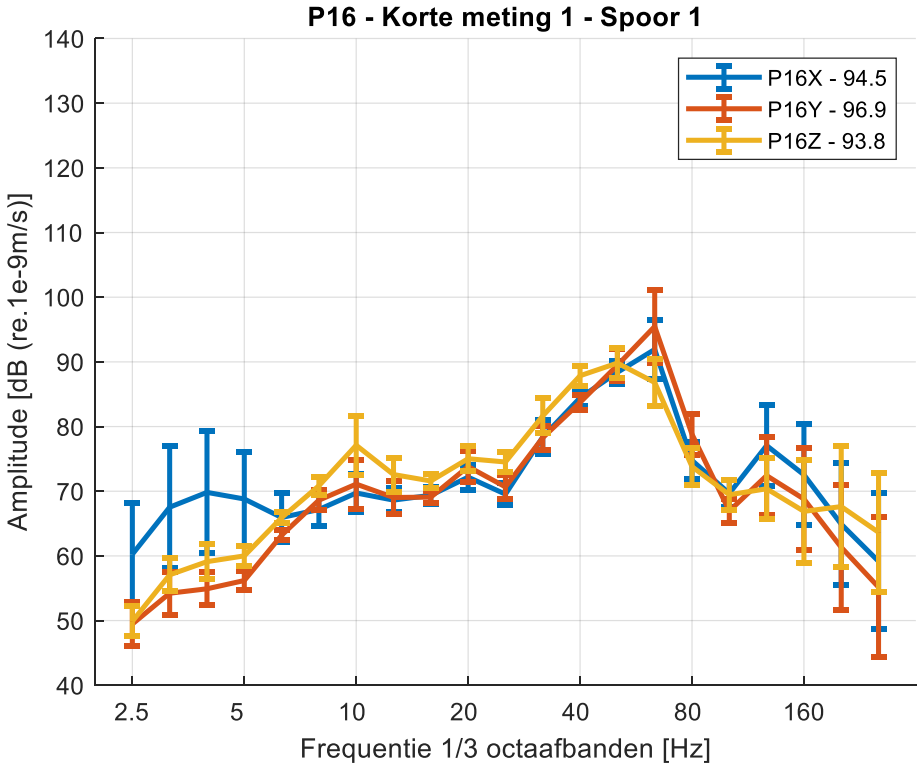

P13 - Korte meting 1 - Spoor 2
P13X - 94.7
P13Y - 91.5
P13Z - 96.8
Amplitude [dB (re.1e-9m/s)]
Frequentie 1/3 octaafbanden [Hz]
140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
2.5
5
10
20
40
80
160

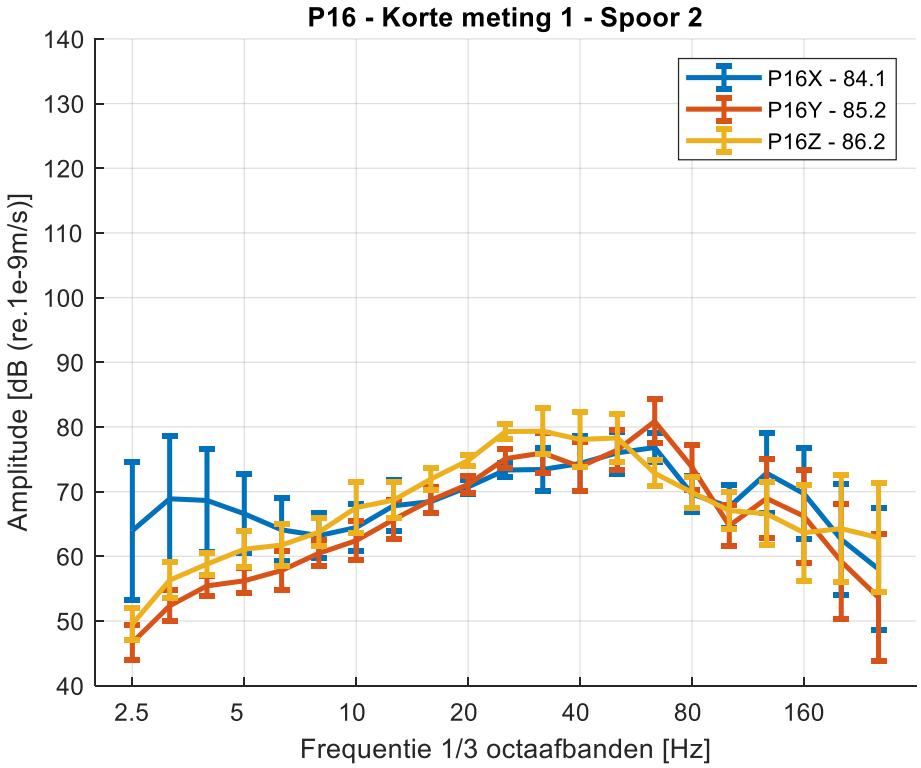

P14 - Korte meting 1 - Spoor 1
P14X - 103.2
P14Y - 98.1
P14Z - 102.3
Amplitude [dB (re.1e-9m/s)]
Frequentie 1/3 octaafbanden [Hz]
140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
2.5
5
10
20
40
80
160

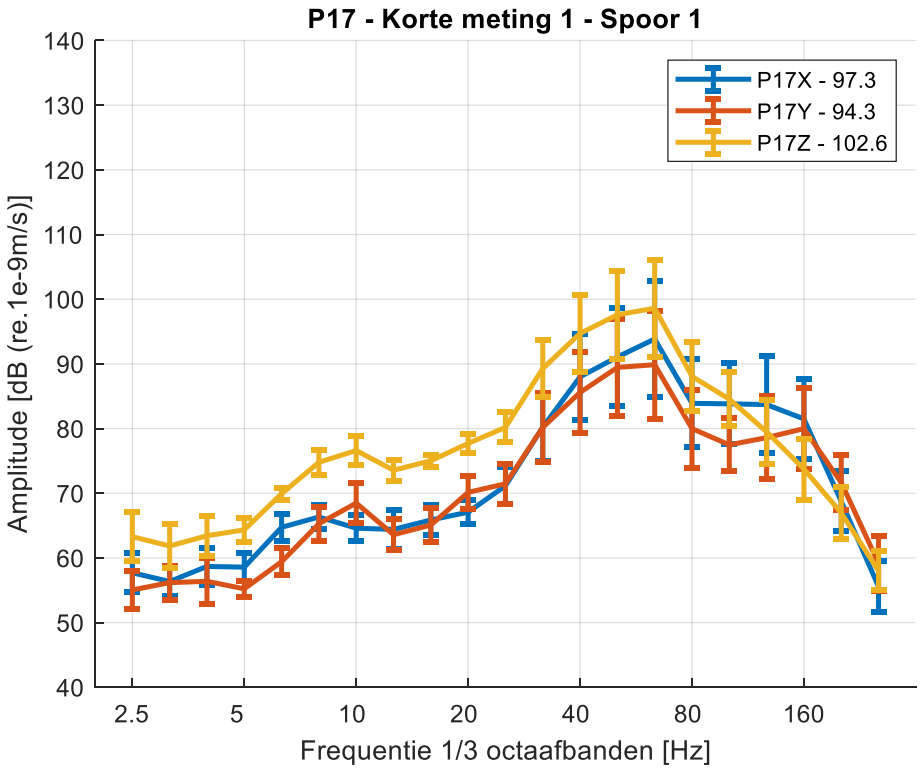

P14 - Korte meting 1 - Spoor 2
P14X - 94.6
P14Y - 88.2
P14Z - 92.9
Amplitude [dB (re.1e-9m/s)]
Frequentie 1/3 octaafbanden [Hz]
140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
2.5
5
10
20
40
80
160

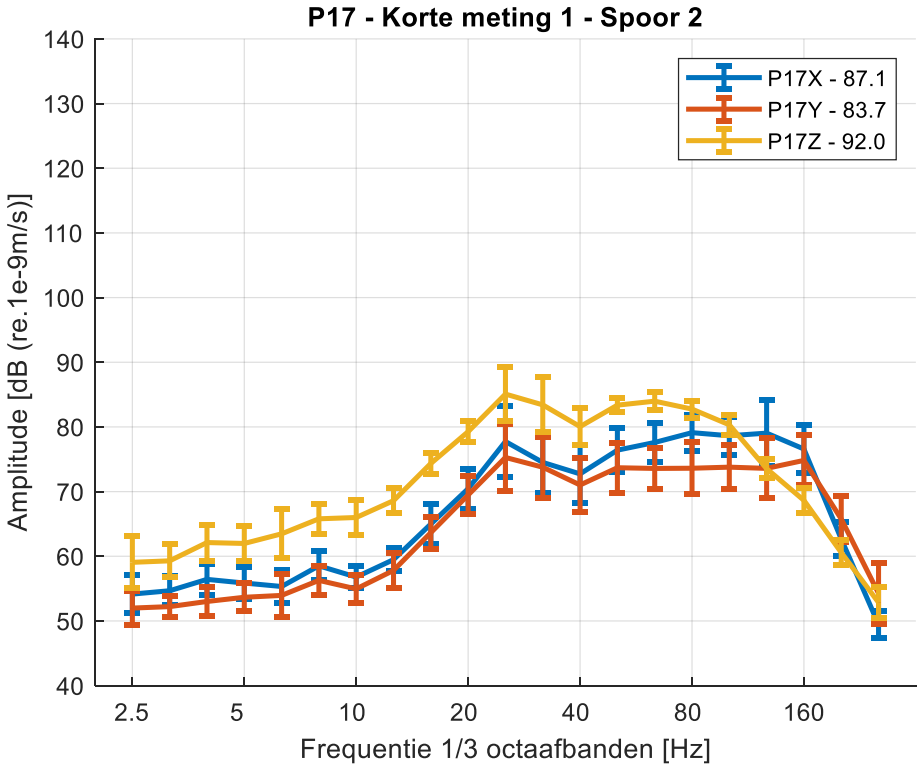

P15 - Korte meting 1 - Spoor 1
P15X - 94.8
P15Y - 102.1
P15Z - 97.9
Amplitude [dB (re.1e-9m/s)]
Frequentie 1/3 octaafbanden [Hz]
140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
2.5
5
10
20
40
80
160

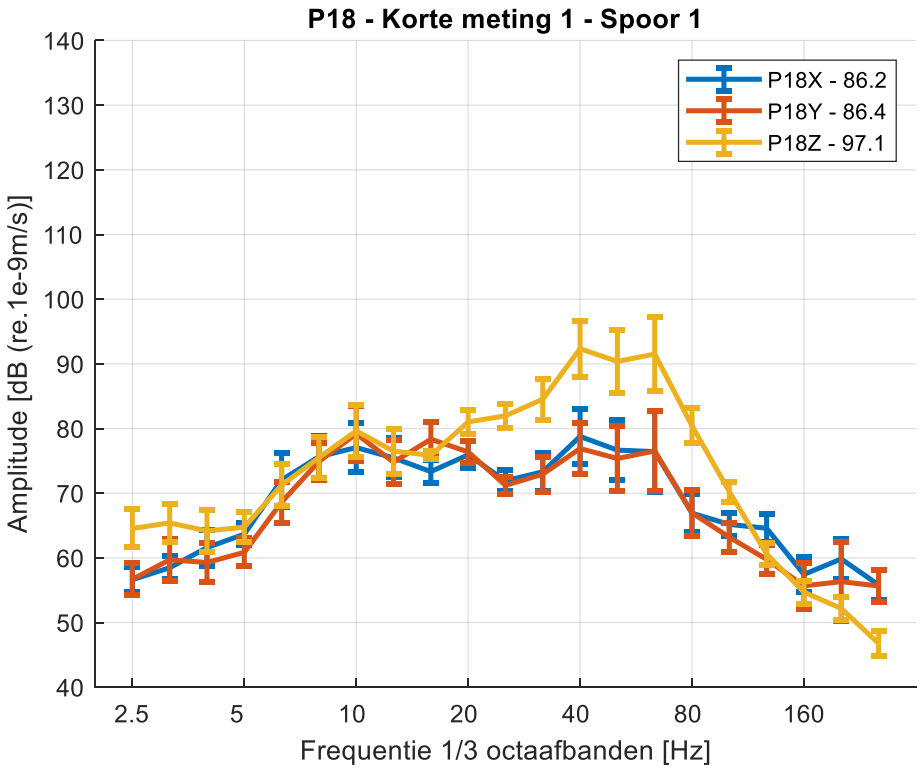

P15 - Korte meting 1 - Spoor 2
P15X - 84.4
P15Y - 89.2
P15Z - 91.7
Amplitude [dB (re.1e-9m/s)]
Frequentie 1/3 octaafbanden [Hz]
140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
2.5
5
10
20
40
80
160

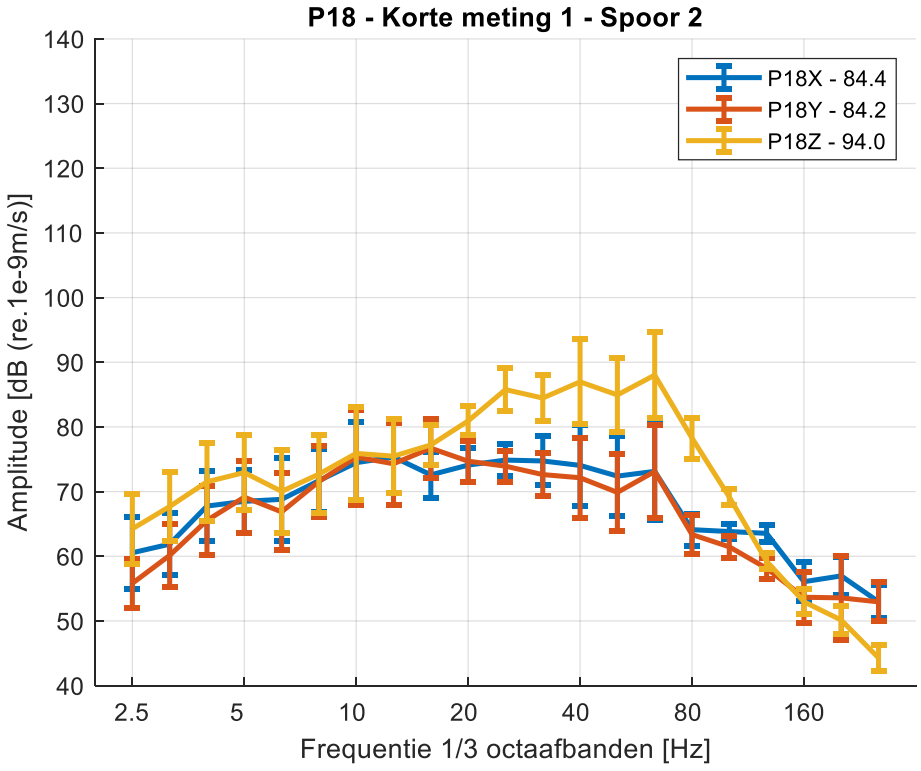

P16 - Korte meting 1 - Spoor 1
P16X - 94.5
P16Y - 96.9
P16Z - 93.8
Amplitude [dB (re.1e-9m/s)]
Frequentie 1/3 octaafbanden [Hz]
140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
2.5
5
10
20
40
80
160

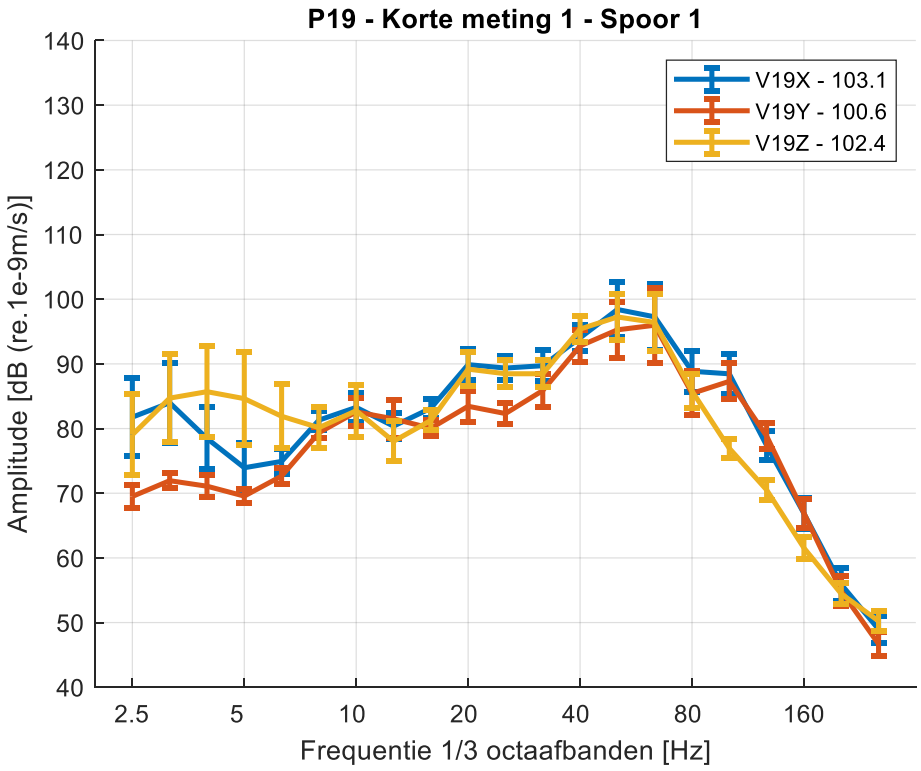

P16 - Korte meting 1 - Spoor 2
P16X - 84.1
P16Y - 85.2
P16Z - 86.2
Amplitude [dB (re.1e-9m/s)]
Frequentie 1/3 octaafbanden [Hz]
140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
2.5
5
10
20
40
80
160

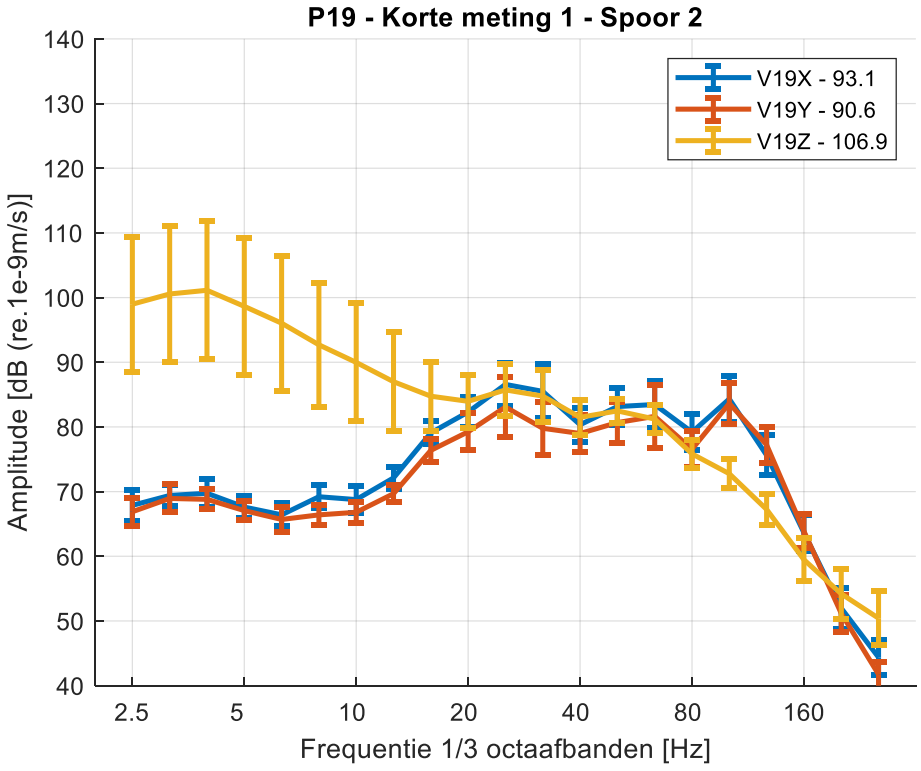

P17 - Korte meting 1 - Spoor 1
P17X - 97.3
P17Y - 94.3
P17Z - 102.6
Amplitude [dB (re.1e-9m/s)]
Frequentie 1/3 octaafbanden [Hz]
140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
2.5
5
10
20
40
80
160

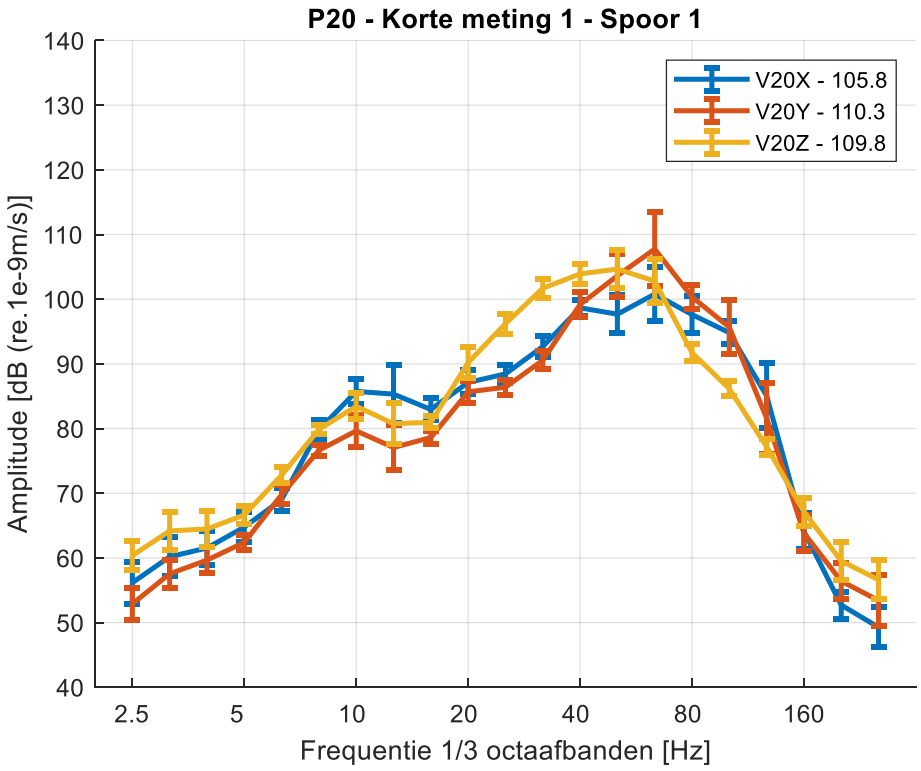

P17 - Korte meting 1 - Spoor 2
P17X - 87.1
P17Y - 83.7
P17Z - 92.0
Amplitude [dB (re.1e-9m/s)]
Frequentie 1/3 octaafbanden [Hz]
140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
2.5
5
10
20
40
80
160

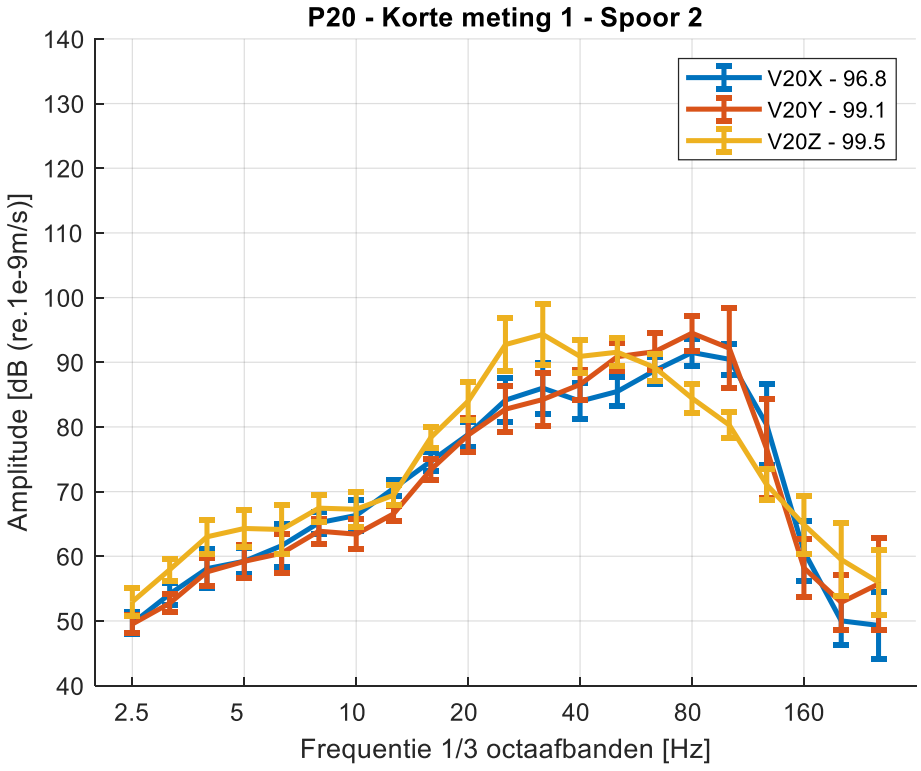

P18 - Korte meting 1 - Spoor 1
P18X - 86.2
P18Y - 86.4
P18Z - 97.1
Amplitude [dB (re.1e-9m/s)]
Frequentie 1/3 octaafbanden [Hz]
140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
2.5
5
10
20
40
80
160

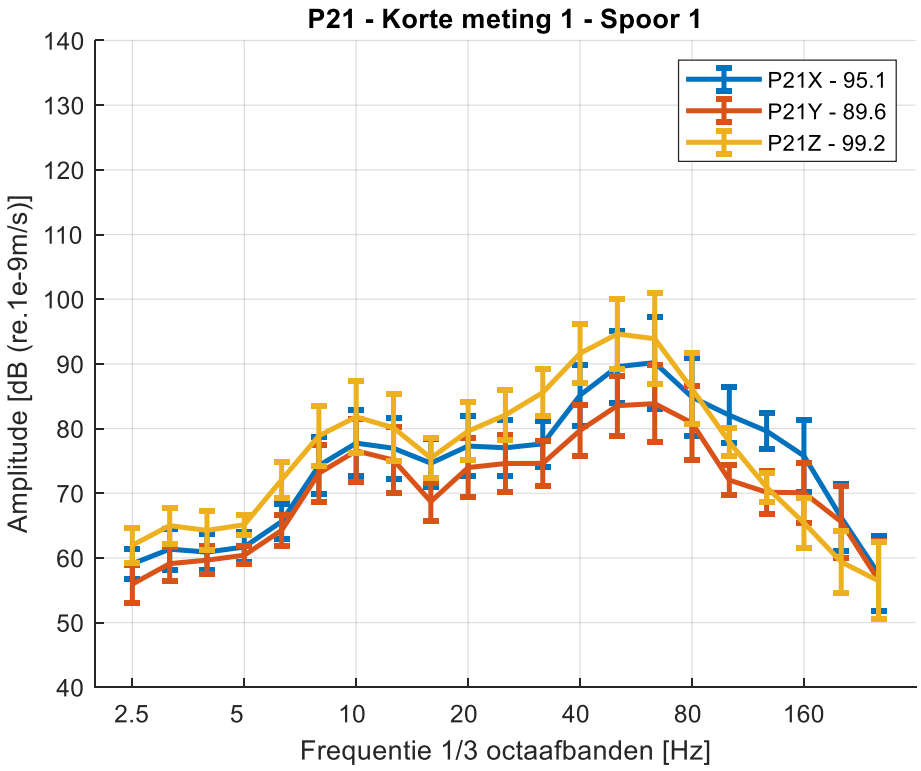

P18 - Korte meting 1 - Spoor 2
P18X - 84.4
P18Y - 84.2
P18Z - 94.0
Amplitude [dB (re.1e-9m/s)]
Frequentie 1/3 octaafbanden [Hz]
140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
2.5
5
10
20
40
80
160

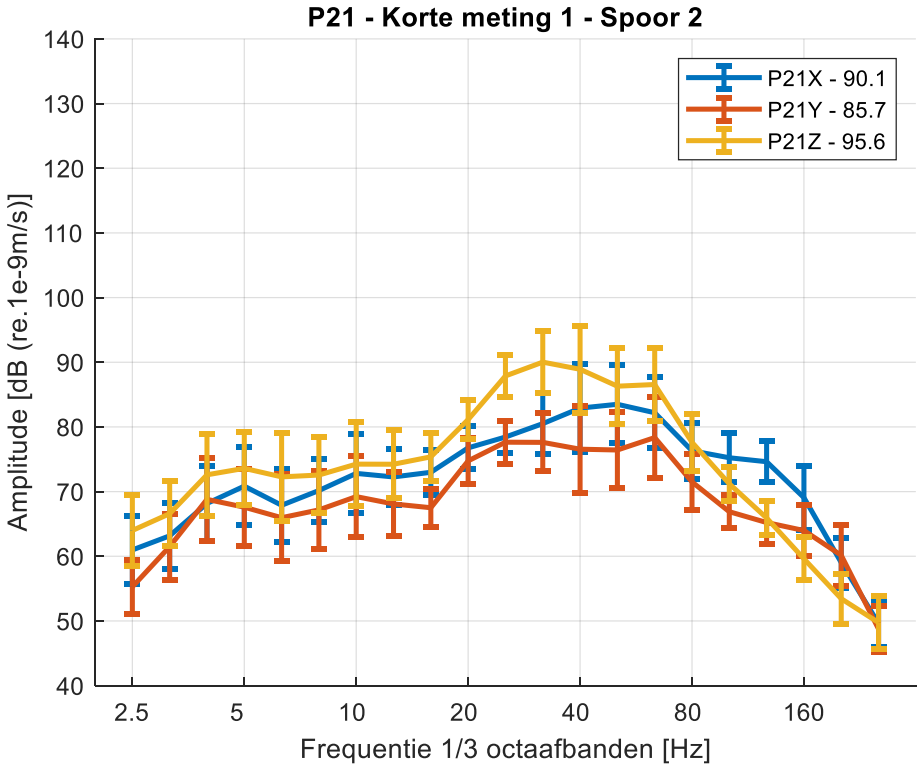

P19 - Korte meting 1 - Spoor 1
V19X - 103.1
V19Y - 100.6
V19Z - 102.4
Amplitude [dB (re.1e-9m/s)]
Frequentie 1/3 octaafbanden [Hz]
140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
2.5
5
10
20
40
80
160

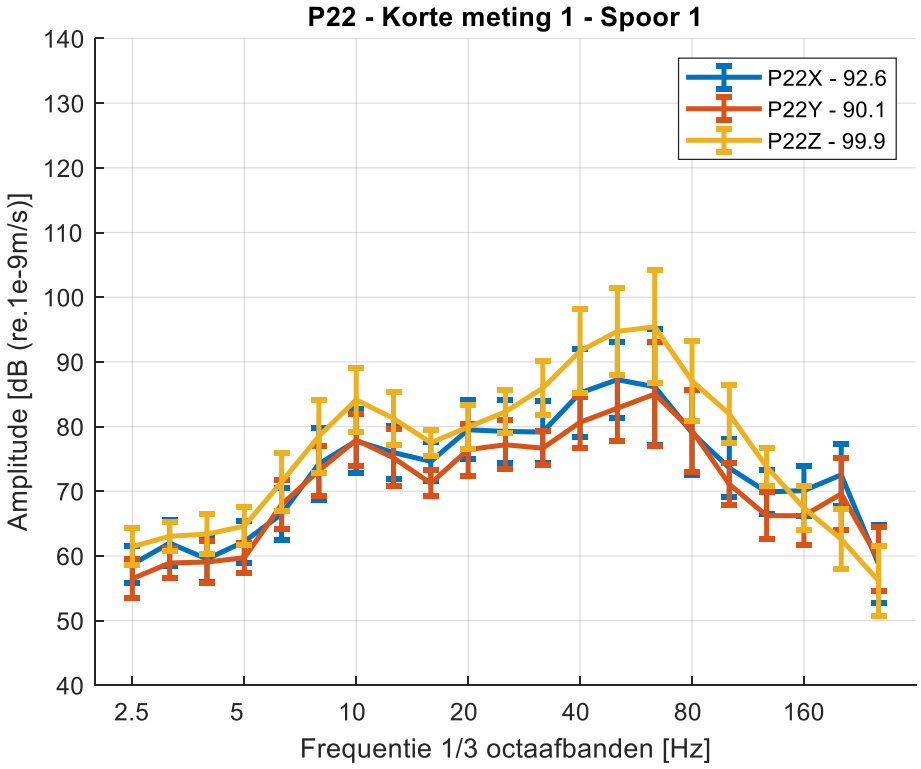

P19 - Korte meting 1 - Spoor 2
V19X - 93.1
V19Y - 90.6
V19Z - 106.9
Amplitude [dB (re.1e-9m/s)]
Frequentie 1/3 octaafbanden [Hz]
140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
2.5
5
10
20
40
80
160

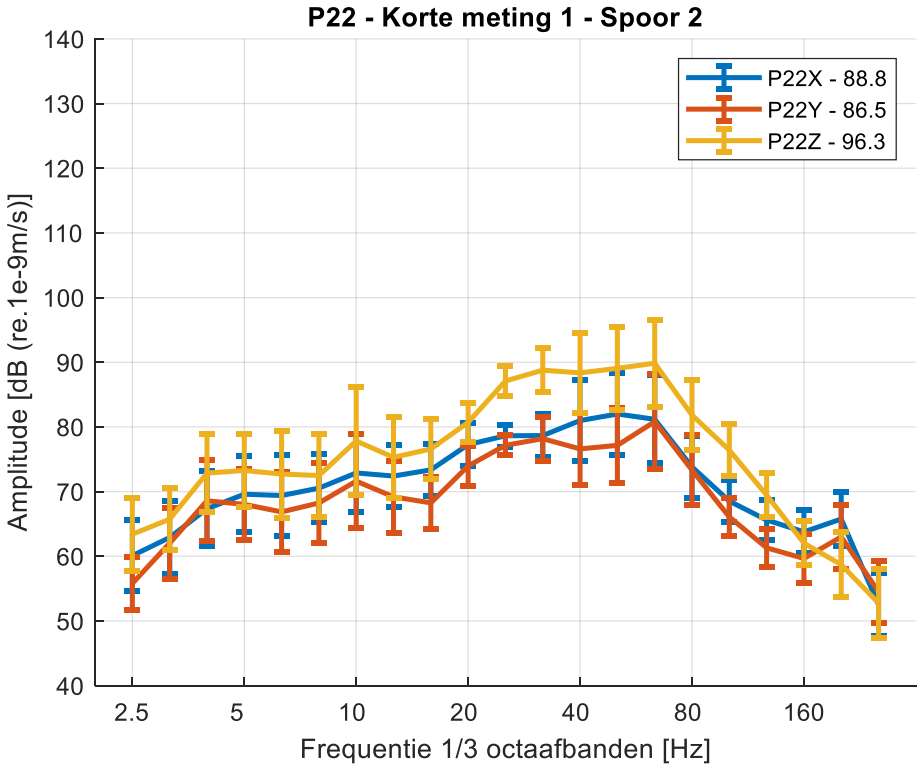

P20 - Korte meting 1 - Spoor 1
V20X - 105.8
V20Y - 110.3
V20Z - 109.8
Amplitude [dB (re.1e-9m/s)]
140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
2.5
5
10
20
40
80
160
Frequentie 1/3 octaafbanden [Hz]

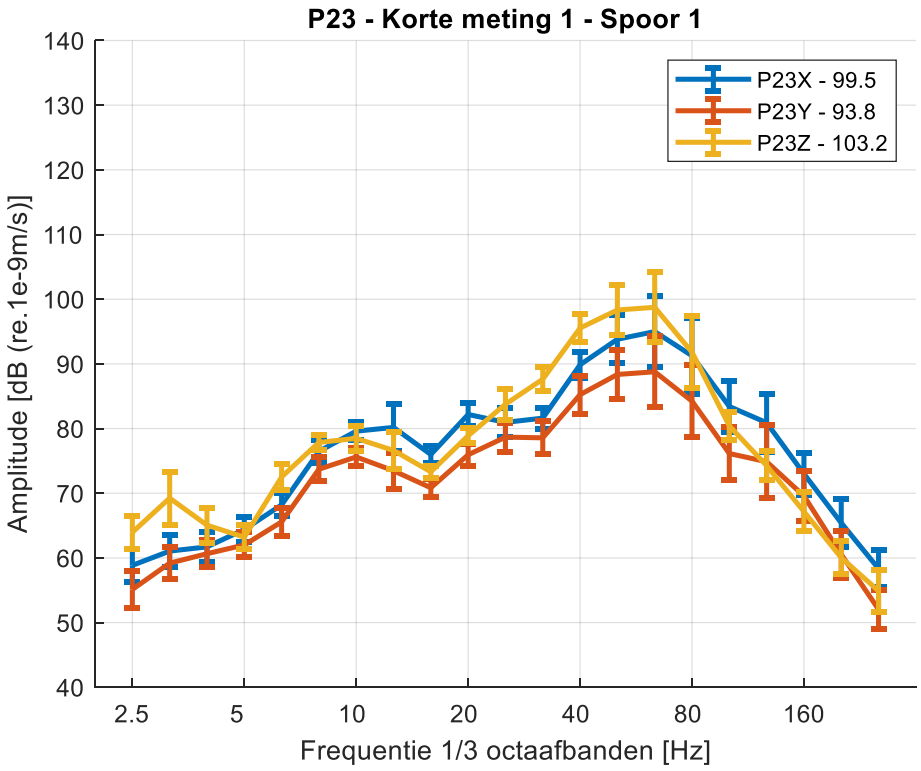

P20 - Korte meting 1 - Spoor 2
V20X - 96.8
V20Y - 99.1
V20Z - 99.5
Amplitude [dB (re.1e-9m/s)]
140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
2.5
5
10
20
40
80
160
Frequentie 1/3 octaafbanden [Hz]

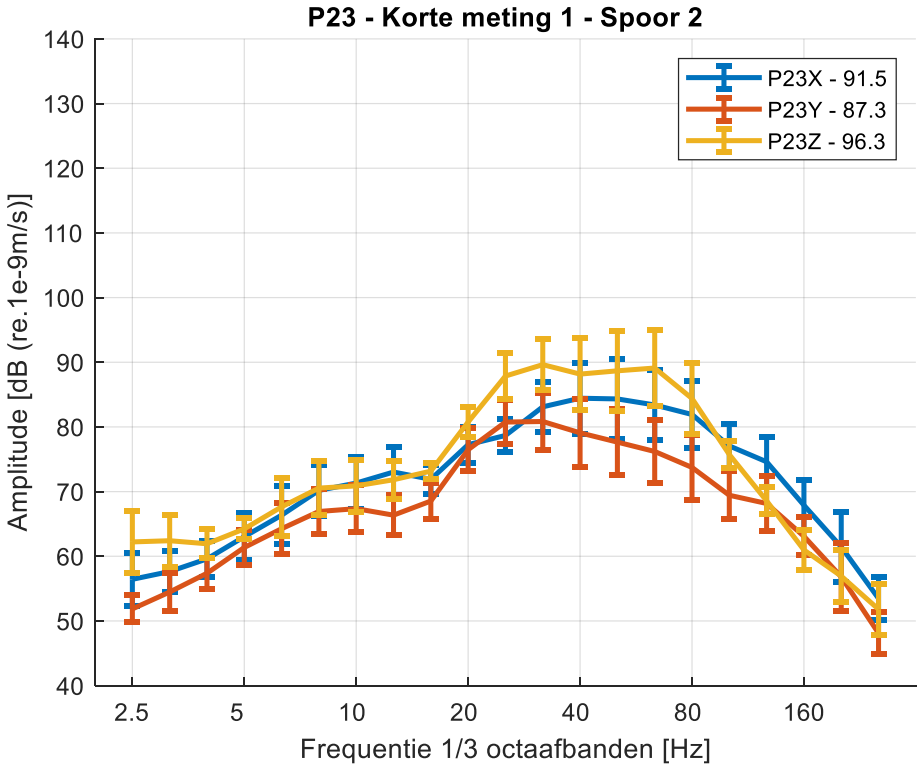

P21 - Korte meting 1 - Spoor 1
P21X - 95.1
P21Y - 89.6
P21Z - 99.2
Amplitude [dB (re.1e-9m/s)]
Frequentie 1/3 octaafbanden [Hz]
140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
2.5
5
10
20
40
80
160

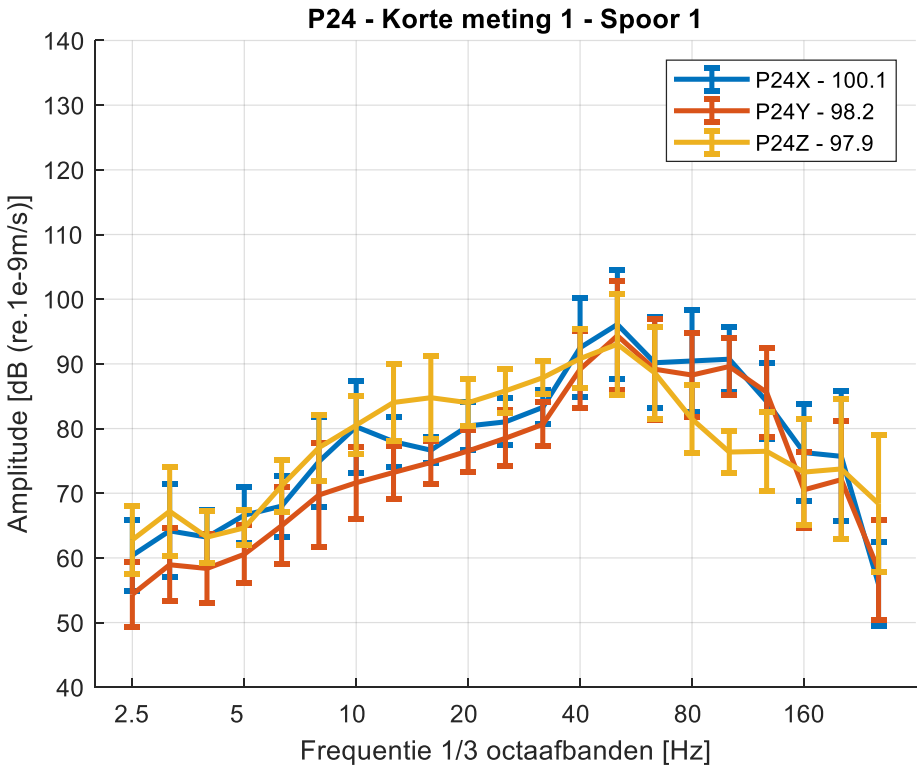

P21 - Korte meting 1 - Spoor 2
P21X - 90.1
P21Y - 85.7
P21Z - 95.6
Amplitude [dB (re.1e-9m/s)]
Frequentie 1/3 octaafbanden [Hz]
140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
2.5
5
10
20
40
80
160

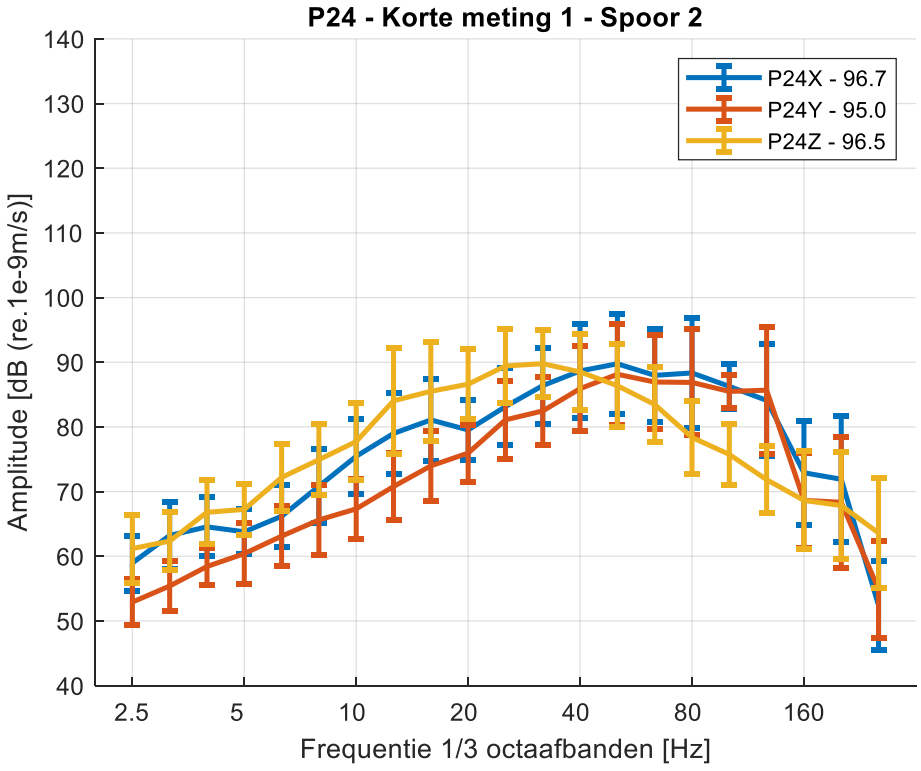

P22 - Korte meting 1 - Spoor 1
P22X - 92.6
P22Y - 90.1
P22Z - 99.9
Amplitude [dB (re.1e-9m/s)]
Frequentie 1/3 octaafbanden [Hz]
140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
2.5
5
10
20
40
80
160


P22 - Korte meting 1 - Spoor 2
P22X - 88.8
P22Y - 86.5
P22Z - 96.3
Amplitude [dB (re.1e-9m/s)]
Frequentie 1/3 octaafbanden [Hz]
140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
2.5
5
10
20
40
80
160


P23 - Korte meting 1 - Spoor 1
P23X - 99.5
P23Y - 93.8
P23Z - 103.2
Amplitude [dB (re.1e-9m/s)]
Frequentie 1/3 octaafbanden [Hz]
140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
2.5
5
10
20
40
80
160


P23 - Korte meting 1 - Spoor 2
P23X - 91.5
P23Y - 87.3
P23Z - 96.3
Amplitude [dB (re.1e-9m/s)]
Frequentie 1/3 octaafbanden [Hz]
140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
2.5
5
10
20
40
80
160


P24 - Korte meting 1 - Spoor 1
P24X - 100.1
P24Y - 98.2
P24Z - 97.9
Amplitude [dB (re.1e-9m/s)]
Frequentie 1/3 octaafbanden [Hz]
140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
2.5
5
10
20
40
80
160


P24 - Korte meting 1 - Spoor 2
P24X - 96.7
P24Y - 95.0
P24Z - 96.5
Amplitude [dB (re.1e-9m/s)]
Frequentie 1/3 octaafbanden [Hz]
140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
2.5
5
10
20
40
80
160

III

BIJLAGE: MEETRAPPORT WONINGEN

OISTERWIJK
TRILLINGSMETINGEN USP'S

Metingen in de woning

Opdrachtgever	Witteveen+Bos Leeuwenbrug 8 Postbus 233 7400 AE Deventer
Bestelling	121900/20-011.627 dd.15-09-2020
Project	J4288/R03
Datum	21-12-2020
Uitgevoerd door	Alain Rega, Wouter Beeterens
Geschreven door	Bert Stallaert
Goedgekeurd door	Tom Vanhonacker

D2S International
T. +32 (0)16 23 89 88 Jules Vandenbemptlaan 71 d2sint@d2sint.com BTW BE 0454.570.209
F. +32 (0)16 23 89 10 B – 3001 Heverlee www.d2sint.com RPR Leuven

REVISIECONTROLE

Versie	Datum	Beschrijving
Origineel	21-12-2020	

De huidige versie vervangt en annuleert de vorige.

VERDELING

Nr.	Bedrijf	Naam
1	Witteveen+Bos	Marieke Bezemer-Krijnen
2		

INHOUD

0 Inleiding 1

1 Meetopstelling 4

2 Resultaten 6

2.1 Verwerking 6

2.2 Transmissie van trillingen in de woning 7

2.3 Effect van de maatregel 10

2.4 Evolutie van de trillingsniveaus 12

2.5 V_{max} Per passage 13

3 Bijlage A – Foto's van de meetpunten 16

0 INLEIDING

In het kader van de innovatieagenda spoortrillingen richt ProRail een praktijkproef in met under sleeper pads (USP's) als maatregel gericht op het reduceren van trillingen. In Nederland is slechts beperkt ervaring met de toepassing van USP's als trillingsmaatregel. Als locatie voor de praktijkproef is Oisterwijk gekozen. In Oisterwijk worden op dit moment veel trillingen waargenomen door omwonenden en de locatie specifieke situatie lijkt geschikt voor de toepassing van USP's.

Het doel van de proef is het vaststellen of USP's als trillingsmitigerende maatregel effectief zijn. Om vast te stellen of de proeven effectief zijn, wordt een meetprogramma ingericht waarmee de trillingen van het treinverkeer op diverse punten worden vastgelegd. Omdat sprake is van een proef, is gekozen voor een uitgebreid meetprogramma, met een groot aantal meetpunten, zodat ook onzekerheden op een onderbouwde wijze kunnen worden meegenomen in de afweging of de proef wel of niet effectief is. Het opzet van het meetprogramma is uiteengezet in het document "Proef Brabantroute, Monitoringsplan Trillingen USP's Oisterwijk, d.d. 30-03-2020". Een aantal figuren in dit document werden hieruit ook overgenomen.

De praktijkproef vindt plaats in een gebied globaal gelegen tussen station Oisterwijk en de spoorwegovergang Heusdensebaan in Oisterwijk. Figuur 0.1 toont een luchtfoto van de locatie. Het zuidelijke spoor (AF) in Oisterwijk wordt ingericht als testspoor en voorzien van USP's. De exacte locatie van de te onderzoeken USP's is weergegeven in tabel 0.1. Het testspoor bestaat uit een effectspoor met USP's voor trillingsreductie en aan weerszijden daarvan twee transitiezones met andere type USP's om een geleidelijke stijfheidsovergang te creëren. Verder maakt het referentiespoor onderdeel uit van het testspoor. Tussen km. 30.425 en km. 30.630 worden nieuwe dwarsliggers voorzien van USP's aangebracht, tussen km. 30.160 en km. 30.630 wordt het spoor gelijktijdig opnieuw onderstopt om het op doeltracé te brengen. Hiermee wordt beoogd een optimale spoorliggingskwaliteit te bereiken als uitgangspunt voor de praktijkproef.

Er worden één maatregel genomen in de proef. De locatie voldoet grotendeels aan de eisen uit RIVAS Deliverable 1.2[1]:

- Lengte testsectie is minimaal 100 m
- Boogstraal testsectie is minimaal 1000 m
- Geen sloten langs het spoor, verschillen in terreinhoogte tussen spoor en omgeving zijn kleiner dan 1 m

[1] Asmussen, B. et al, Protocol for free field measurements of mitigation effects in the project RIVAS for WP2, 3, 4, 5, RIVAS Deliverable D1.2, 13 October 2011

Er zijn, in tegenstelling tot de eisen uit [1] wel ES-lassen in het testgebied, maar het testgebied is voldoende groot, er zijn ook secties van minimaal 100 m lang zonder ES-lassen.

Figuur 0.1 Locatie

Maatregel/ingreep	Geocode	Kilometrering	Spoornummer
Onderstoppen eerste referentiesectie	125	30.160-30.425	AF
USP SLB2210 (type B) en onderstoppen transitiezone	125	30.425-30.445	AF
USP SLS1707 (type A) en onderstoppen transitiezone	125	30.445-30.465	AF
USP SLN1010 (type A) en onderstoppen testsectie	125	30.465-30.590	AF
USP SLS1707 (type A) en onderstoppen transitiezone	125	30.590-30.610	AF
USP SLB2210 (type B) en onderstoppen transitiezone	125	30.610-30.630	AF
Overweg	125	30.630-30.650	AF
Geen tweede referentiesectie	125	30.650-30.780	AF

Tabel 0.1 Locaties maatregelen

Het meetprogramma bestaat uit verschillende types metingen, zowel voor en na de ombouw van het spoor:

- Een korte meting voor en na de ombouw van het spoor
- Een lange meting (1 jaar) die loopt vanaf de korte meting voor de ombouw tot een jaar nadien.
- Een meting in een woning in 3 meetpunten;
    - 1 meetpunt op de fundering
    - 1 meetpunt op de begane grond, midden vloerveld woonkamer
    - 1 meetpunt op de hoogst bewoonde verdieping, midden vloerveld

  De meetpunten op midden vloerveld werden gedurende 24 uur opgemeten. Het meetpunt aan de fundering werd opgemeten vanaf een week voor de ombouw tot een week na de ombouw.

Dit rapport stelt de resultaten voor van de meting in de woning. Hoofdstuk 1 bespreekt de meetopstelling en hoofdstuk 2 de resultaten van de trillingsmetingen.

1 MEETOPSTELLING

Figuur 1.1 toont de locatie van de opgemeten woning, Spoorlaan 118. Deze woning bevindt zich ongeveer centraal in de zone waar de USP's werden toegepast.

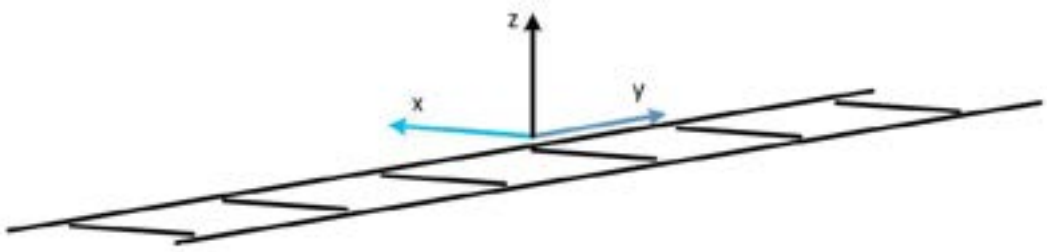
Figuur 1.1 Opgemeten woning, Spoorlaan 118 (Google Earth)

Metingen werden uitgevoerd in 3 punten in de woning;

- P1: 1 meetpunt op de fundering dat geplaatst werd voor de ombouw en is blijven staan tot na de ombouw.
- P2: 1 meetpunt op de begane grond, midden vloerveld woonkamer, dat voor de ombouw gedurende minstens 24 uur heeft gemeten.
- P3: 1 meetpunt op de hoogst bewoonde verdieping, midden vloerveld, dat voor de ombouw gedurende 24 uur heeft gemeten.

Bijlage A bevat foto's van de meetsystemen. Het punt op de funderingen werd binnen geplaats, in de noordoostelijke hoek van het gebouw.

In elk meetpunt worden de trillingen opgemeten in 3 loodrechte richtingen. Figuur 1.2 toont de gebruikte tekenafspraak.



Figuur 1.2 Tekenafspraak voor positionering sensoren ten opzichte van het spoor

Tabel 1.2 geeft een overzicht van de gebruikte apparatuur.

Er werd gebruik gemaakt van autonome meetsystemen van het type Syscom MR3000C. Deze registreren de passage bij overschrijding van een in te stellen niveau. Ze maken gebruik van geofoons en registreren de trillingen rechtstreeks uitgedrukt in trillingssnelheid. Er werd een meetfrequentie gebruikt van 1000 Hz.

Tabel 1.1 Overzicht van de meetpunten

Meetpunt	Richting	Meetsysteem	Serienummer
P1	X	MR3000C	18010044
	Y		
	Z		
P2	X	MR3000C	18410173
	Y		
	Z		
P3	X	MR3000C	18010045
	Y		
	Z		

Tabel 1.2 Gebruikte apparatuur

2 RESULTATEN

Dit hoofdstuk stelt de resultaten voor van de metingen in de woning. Hierbij wordt een onderscheid gemaakt tussen de dagen waarop de drie meetpunten actief waren en de dagen waarop enkel het meetpunt op de fundering (P1) actief was. De vergelijking van de drie meetpunten in de woningen laat toe het effect van de trillingen op verschillende punten te vergelijken. Aangezien de meting in de drie punten enkel werd uitgevoerd voor de ombouw, is het niet mogelijk besluiten te trekken over het effect van de USP's. Dat is wel mogelijk aan de hand van de metingen in meetpunt P1.

2.1 VERWERKING

Op de dagen waarop drie meetpunten actief waren, gebeurt de verwerking als volgt:

- De verwerking van alle individuele opgemeten passages
- De verwerking van de gemiddelde niveaus per meetpunt
- De analyse van het gedrag van de woning en de trillingsniveaus opgemeten in verschillende punten door vergelijking van de trillingsspectra

Deze verwerking is identiek aan deze besproken in rapport J4288/R02 en wordt hier niet herhaald.

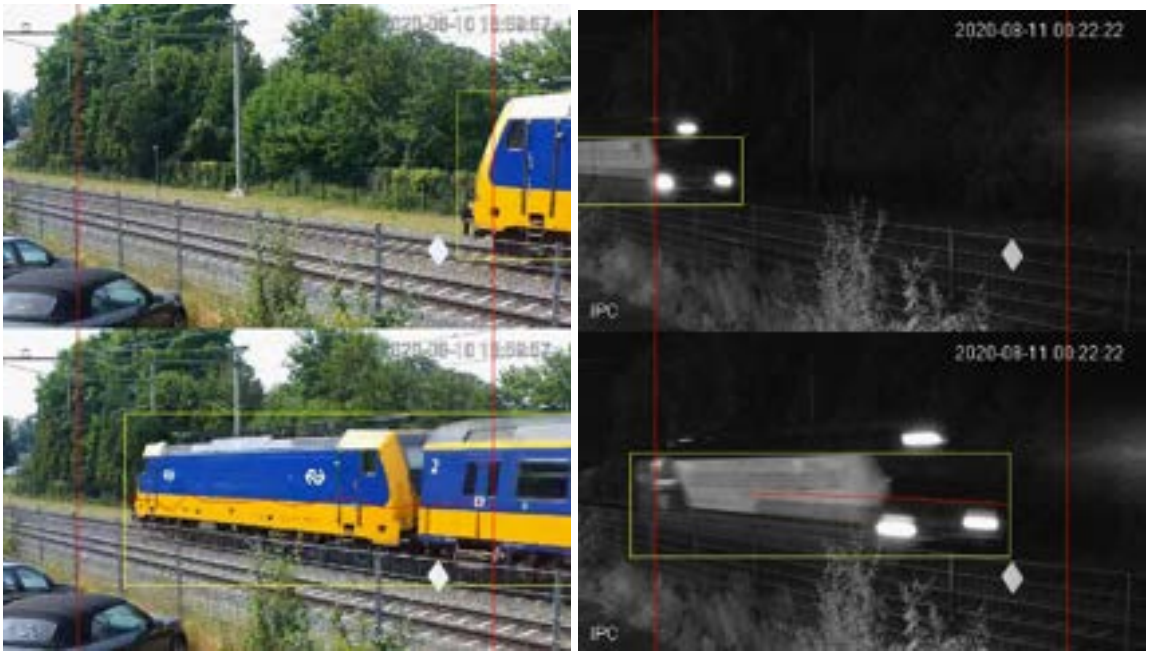
Een voor/na vergelijking van de opgemeten spectra gebeurt eveneens voor punt P1 en dit op basis van de metingen van traxx-voertuigen, opgemeten tijdens de korte metingen.

Voor meetpunt P1, wordt de parameter V_{max} per treinpassage bepaald en dit enkel voor de passages op het omgebouwde spoor, zodat de invloed van de ombouw kan worden geëvalueerd. Het is niet mogelijk om rechtstreeks op basis van de uitgevoerde metingen in de woning te bepalen welke metingen overeenkomen met passages van voertuigen op het omgebouwde spoor (spoor 1). Enerzijds omdat het systeem in de woningen ook trillingen registreert veroorzaakt door andere bronnen, zoals wegverkeer en activiteiten in de woning. Er zijn met andere woorden veel meer registraties dan passages. Anderzijds bestaat er geen manier om op basis van de meting van een passage zelf te bepalen op welk spoor deze zich voordoet. Daarom wordt gebruik gemaakt van de camerabeelden. Deze analyse bestaat uit volgende stappen:

- In stap 1 worden de camerabeelden verwerkt; de camera start automatisch de registratie van zodra beweging wordt vastgesteld. Deze beelden worden via een automatische procedure verwerkt om de richting van de passage te bepalen. Figuur 2.1 toont 2 van dergelijke voorbeelden, voor beide richtingen en zowel overdacht als 's nachts. De bovenste figuur toont telkens het moment waarop het voertuig voor het eerst wordt gedetecteerd in het beeld. De onderste figuur toont het beeld 25 frames later. De gele kader toont het gedetecteerde voertuig. Op basis van de verplaatsing van het gedetecteerde voertuig door het beeld, wordt de richting bepaald.
- In stap 2 wordt enkel gebruik gemaakt van de gedetecteerde passages op spoor 1. Voor deze passages, wordt een synchronisatie uitgevoerd tussen het moment van de

registratie van de beelden en de registraties van de trillingen; op basis van het tijdstip van het beeld, wordt de correcte trillingsmeting geselecteerd. Indien geen trillingsregistratie gevonden wordt in de buurt van de tijd van het camerabeeld, betekent dit dat het beeld niet overeenkomt met een effectief passage. Dit is bijvoorbeeld veelvuldig voorgekomen tijdens de ombouw van het spoor, maar kan ook voorkomen door het effect van bijvoorbeeld lichten in het beeld, gedurende de nacht.

— In de derde stap wordt voor elke meting V_{max} bepaald, alsook de passagetijd.
Tot op dit punt, werden alle metingen overeenkomstig een passage op spoor 1 weerhouden. De sprinters veroorzaken echter dergelijk lage trillingsniveaus, dat het niet uit te maken is of een trillingsmeting effectief veroorzaakt wordt door de sprinter dan wel afkomstig is van een andere bron.
Daarom worden de verwerkte passages in deze stap ook manueel nagekeken en wordt een onderscheid gemaakt tussen traxx-getrokken voertuigen en goederentreinen.



Figuur 2.1 Voorbeelden van de verwerking van de camerabeelden

Op basis van bovenstaande procedure kan een zeer groot aandeel van de passages van traxx-getrokken voertuigen en goederentreinen worden geïdentificeerd. Deze procedure garandeert echter niet dat alle passages worden geïdentificeerd, bijvoorbeeld wanneer andere trillingsbronnen in de woning (voetstappen) dominant zijn.

2.2 TRANSMISSIE VAN TRILLINGEN IN DE WONING

Tabel 2.1 toont een overzicht van de uitgevoerde metingen in de drie meetpunten voor passages van traxx-voertuigen op spoor 1. De getoonde waardes zijn de gemiddeldes van het maximale trillingsniveau tijdens passage en dit van de opgemeten traxx-passages.

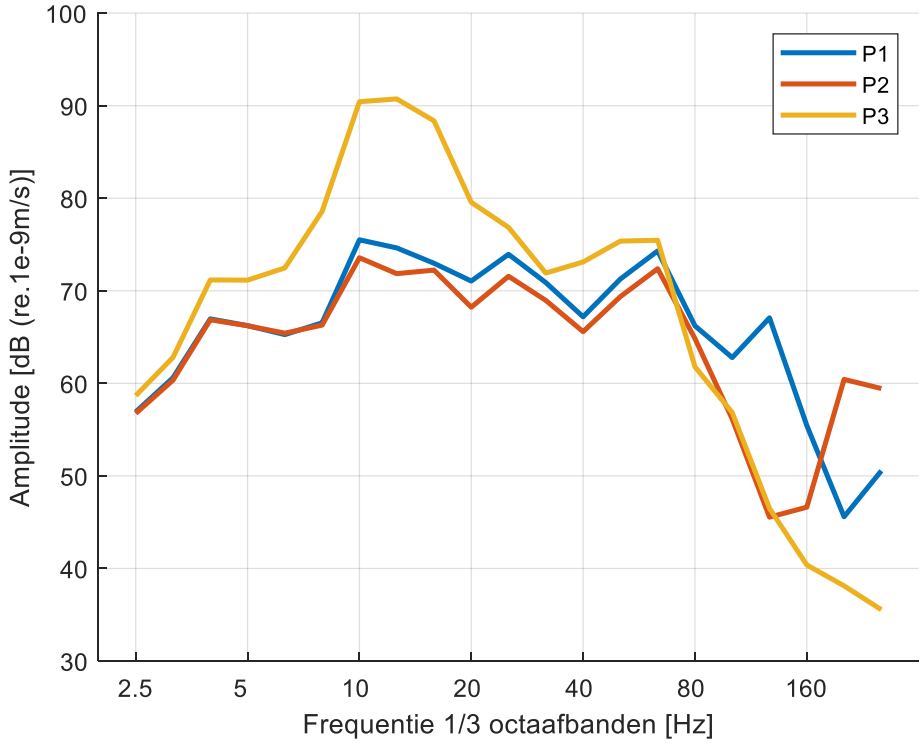
Hieruit blijkt dat in de verticale richting, de maximale trillingsniveaus gemiddeld hoger zijn dan 100 dB, wat overeenkomt met de gevoelsgrens voor een typisch persoon. De traxx-voertuigen veroorzaken dus voelbare trillingen.

Punt	Gemiddelde van maximale globale niveaus L_v [dB (re.1^{e}-9m/s)] X	Y	Z
P1	88	90	101
P2	86	87	102
P3	102	97	108

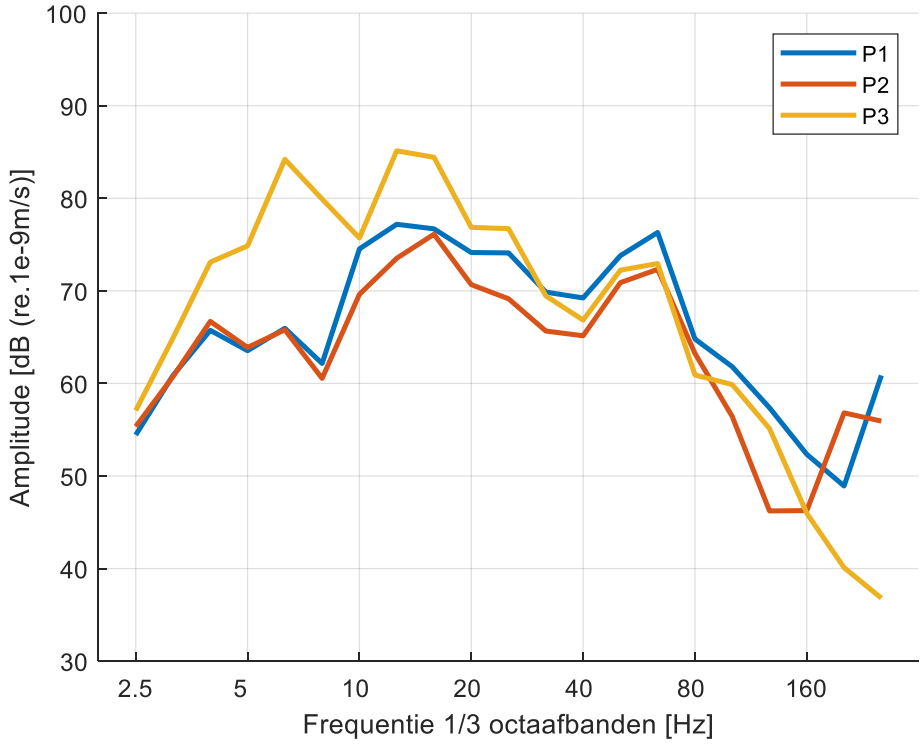
Tabel 2.1 Gemiddelde van de maximale niveaus tijdens passage

Figuren 2.2 tot en met 2.4 tonen de gemiddelde opgemeten spectra tijdens passage van traxx-voertuigen en dit voor de drie richtingen. De vergelijking van de spectra toont hoe de trillingen versterkt en verzwakt worden in de woning. Volgende vaststellingen worden gedaan:

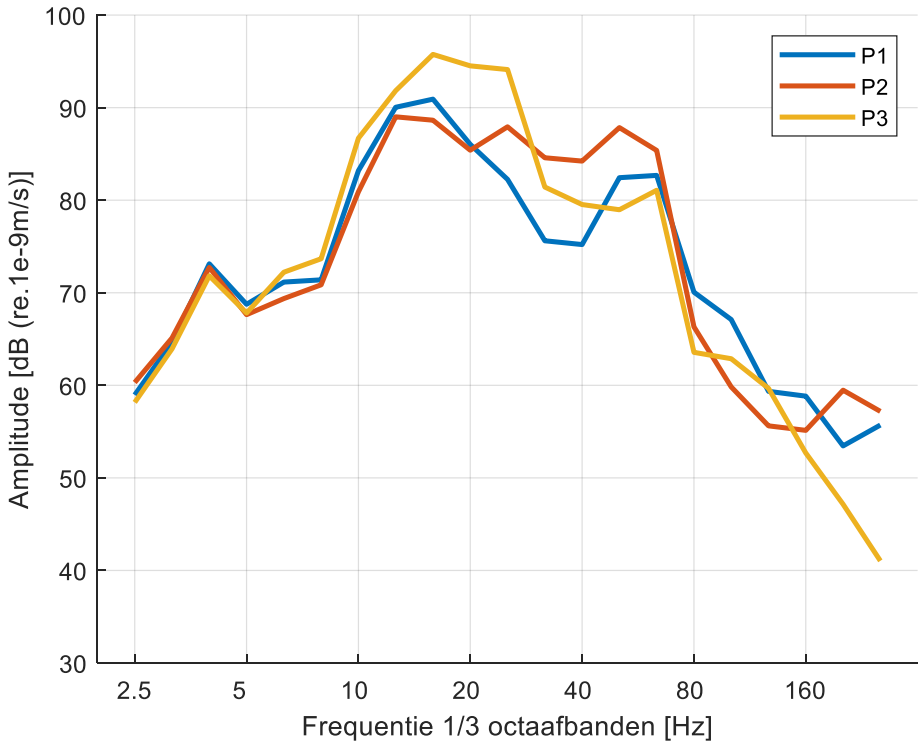
- Er is een klein verschil tussen de spectra gemeten in punten P1 en P2 en dit vooral in de horizontale richtingen. In de verticale richting is er een stijging in punt P2, in het midden van het vloerveld in het frequentiegebied tussen 20 en 63 Hz. Dit is mogelijk een gevolg van de lagere verticale stijfheid in het punt in het midden van het vloerveld.
- Punt P3 vertoont een duidelijk verschillend gedrag van de andere twee punten, wat typisch is voor een meetpunt op een hogere verdieping. Er is een duidelijke amplificatie van de trillingen en dit in de 3 richtingen. De grootste amplificatie treedt op in de X-richting, vooral in de frequentiebanden van 10 en 12.5 Hz. In de Y-richting treedt een amplificatie op bij 6.3 Hz en in de banden van 12.5 en 16 Hz. In de Z-richting tot slot, treedt de amplificatie voornamelijk op in de banden van tussen 16 en 25 Hz.



Figuur 2.2 Gemiddelde van de gemiddelde spectra tijdens passage, X-richting



Figuur 2.3 Gemiddelde van de gemiddelde spectra tijdens passage, Y-richting



Figuur 2.4 Gemiddelde van de gemiddelde spectra tijdens passage, Z-richting

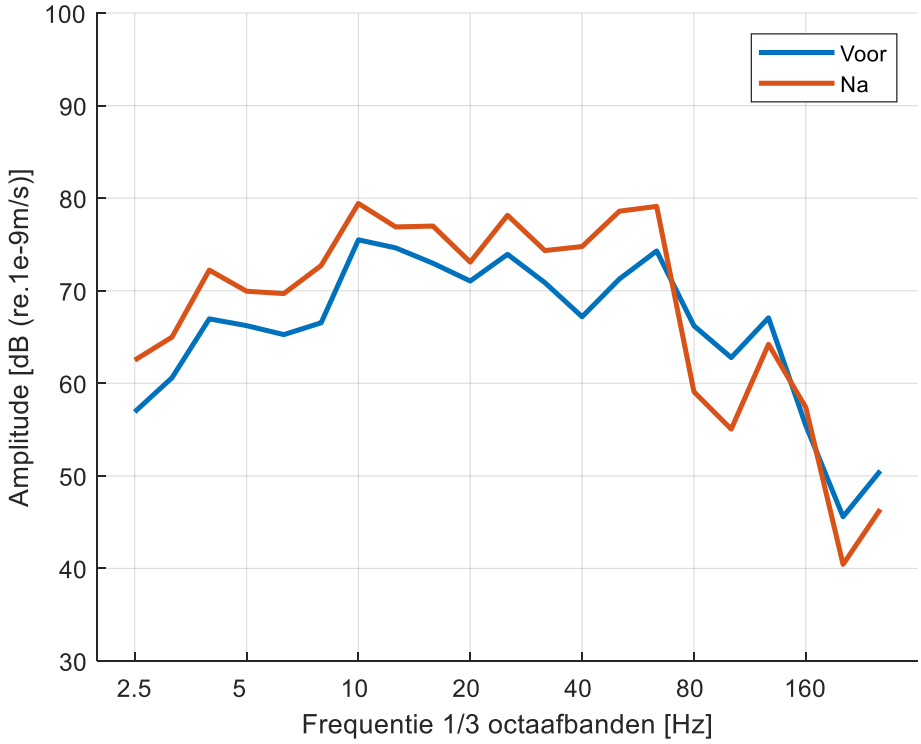
2.3 EFFECT VAN DE MAATREGEL

Figuren 2.5 tot en met 2.7 tonen de gemiddelde spectra van traxx passages opgemeten in het punt op de fundering, voor en na de ombouw, voor de 3 richtingen. Het gaat, zowel bij de voor als bij de na-meting, over metingen gedurende 1 dag.

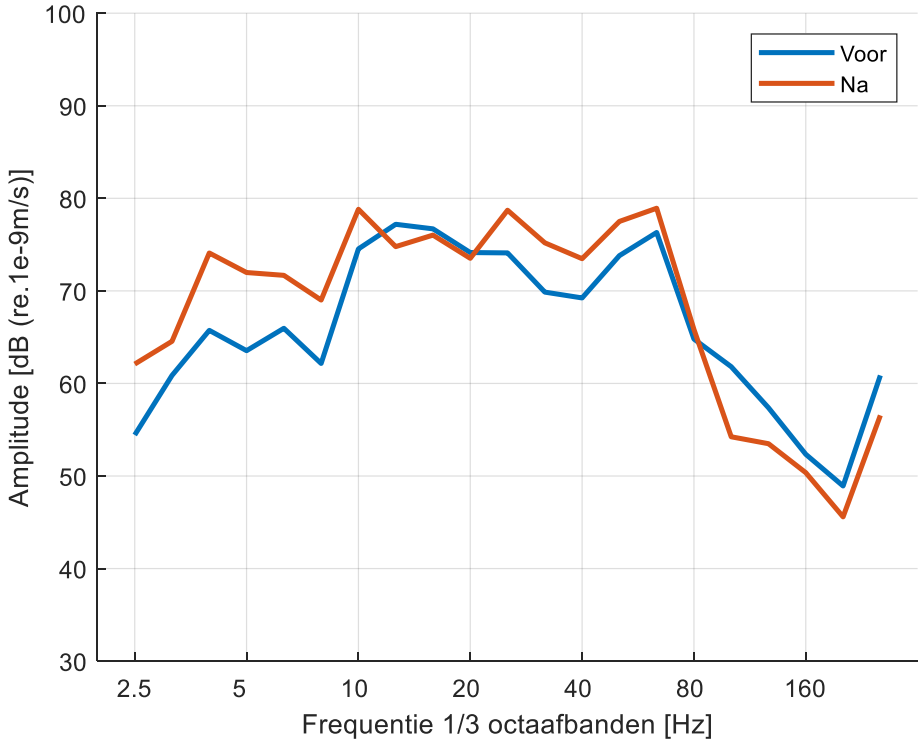
Uit de vergelijking blijkt dat voor de X en Y-richting een lichte stijging optreedt na de ombouw. In de Z-richting treedt een lichte daling op. Tabel 2.2 toont de invloed op de globale niveaus.

Punt	Gemiddelde van maximale globale niveaus L_v [dB (re.1^e-9m/s)]		
	X	Y	Z
P1 – voor	88	90	101
P1- na	91	91	100

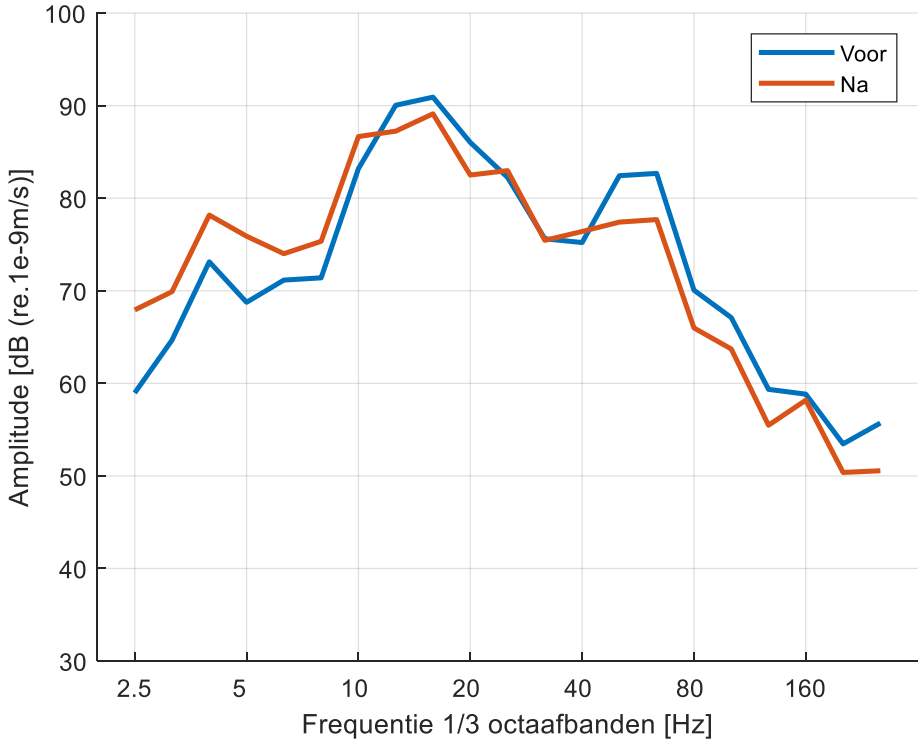
Tabel 2.2 Gemiddelde van de maximale niveaus tijdens passage, voor en na de ombouw



Figuur 2.5 Gemiddelde spectra voor en na de ombouw, P1, X-richting



Figuur 2.6 Gemiddelde spectra voor en na de ombouw, P1, Y-richting



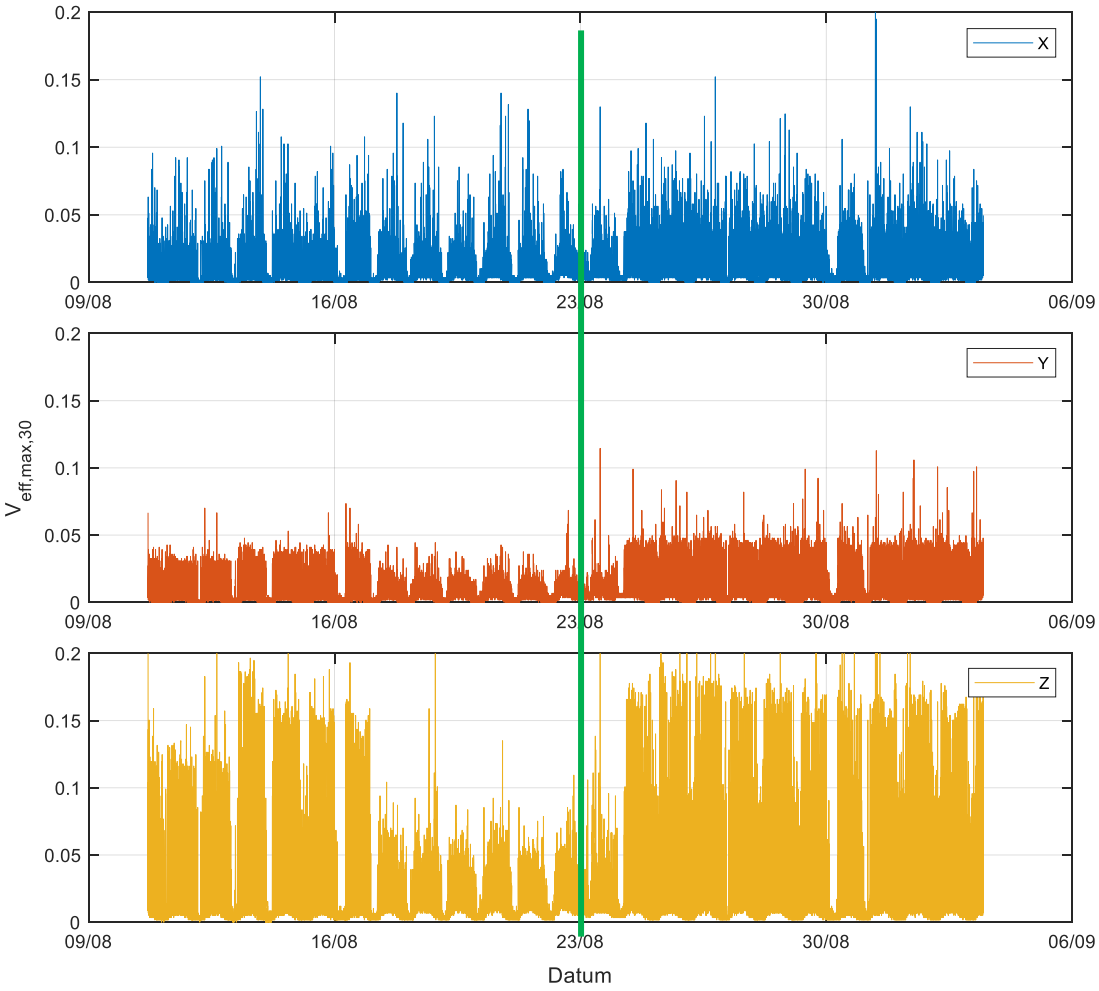
Figuur 2.7 Gemiddelde spectra voor en na de ombouw, P1, Z-richting

2.4 EVOLUTIE VAN DE TRILLINGSNIVEAUS

Figuur 2.8 toont een overzicht van de opgemeten $V_{eff,max}$ niveaus over de volledige meetperiode voor meetpunt P1. Per periode van 30 seconden, wordt de maximale opgemeten waarde getoond. De ombouw is uitgevoerd in de nacht van 22 op 23 augustus, aangegeven met de groene lijn.

Een gedetailleerde analyse en correlatie met de metingen in het meetpunt voor de langdurige meting, heeft aangetoond dat de hoge pieken effectief veroorzaakt worden door passages van treinen en voornamelijk van traxx-voertuigen. Hieruit volgen een aantal belangrijke vaststellingen;

- In de periode voorafgaand aan de ombouw, van 17/08 tot en met 23/08, dalen de maximaal optredende trillingsniveaus. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat in die periode geen traxx-voertuigen werden ingezet. Dit effect is het duidelijkst zichtbaar in de Z-richting.
- Van 13/08 tot en met 16/08, nemen de trillingsniveaus plots toe. Ook dat effect is het duidelijkst zichtbaar in de Z-richting. Hiervoor is geen duidelijke verklaring.
- Na de ombouw lijken de trillingsniveaus licht toe te nemen in vergelijking met de situatie voor de ombouw. Dit is consistent met de vaststelling in voorgaande paragrafen.

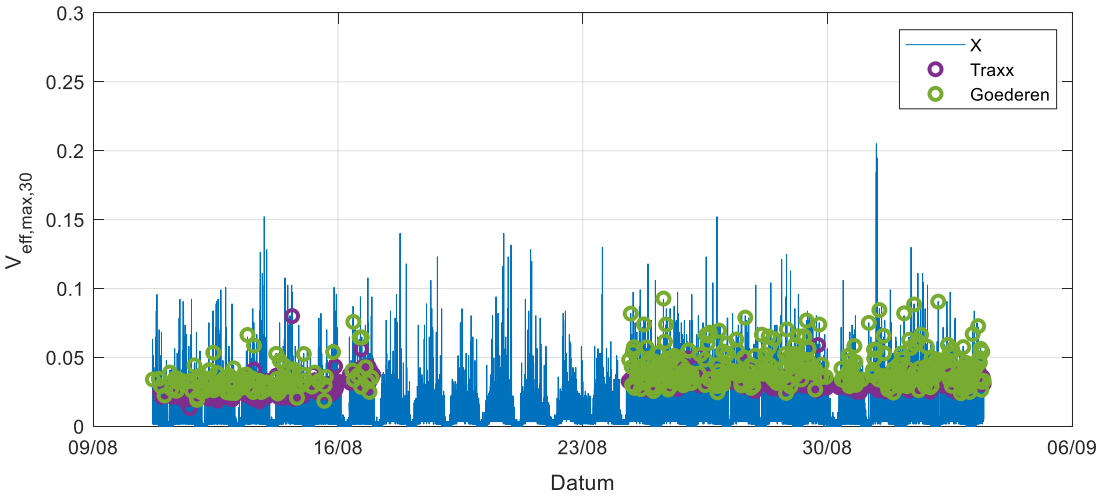


Figuur 2.8 Overzicht van de $V_{eff,max}$ niveaus per periode van 30 seconden

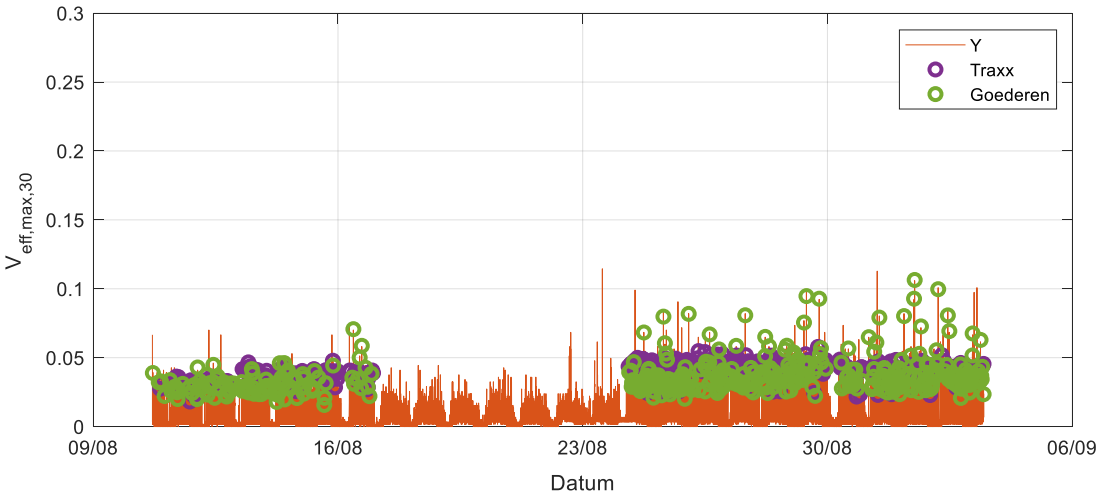
2.5 V_{MAX} PER PASSAGE

Op basis van de procedure beschreven in paragraaf 2.1, wordt V_{max} bepaald voor alle passages van traxx-getrokken voertuigen en goederentreinen op spoor 1. Figuur 2.9 tot 2.11 toont het resultaat van deze analyse; de V_{max} waarden per passage worden getoond bovenop de continue achtergrondmeting. Figuur 2.12 toont het gemiddelde van de V_{max} waarden per dag. Hieruit blijken volgende vaststellingen:

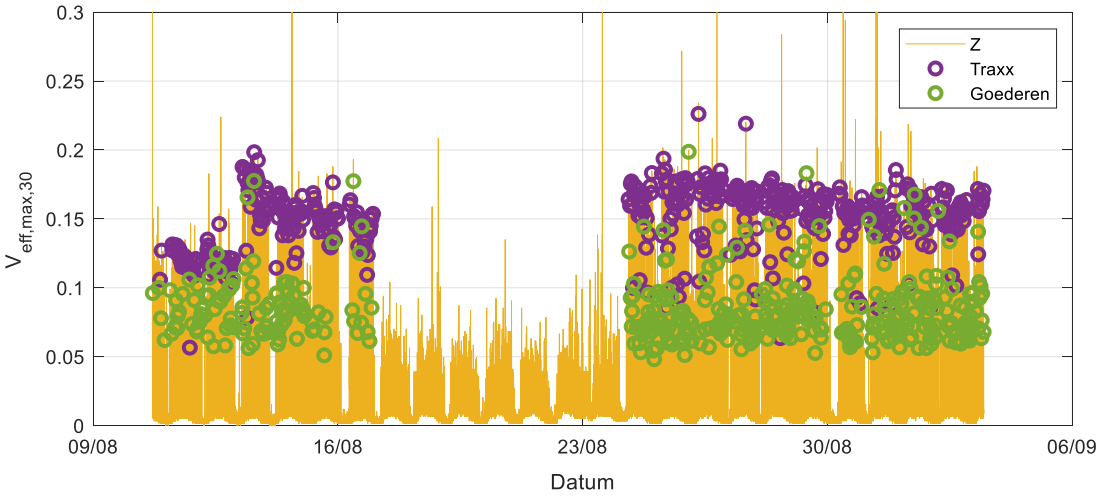
- De niveaus van de traxx-getrokken voertuigen zijn duidelijk dominant in de Z-richting. In de horizontale richtingen is het verschil met goederentreinen kleiner.
- Er is amper invloed op de V_{max} niveaus van de traxx en goederentreinen.
- De opvallendste sprong in de niveaus treedt op in de nacht van 12 op 13 augustus en dit vooral voor de traxx-getrokken voertuigen.



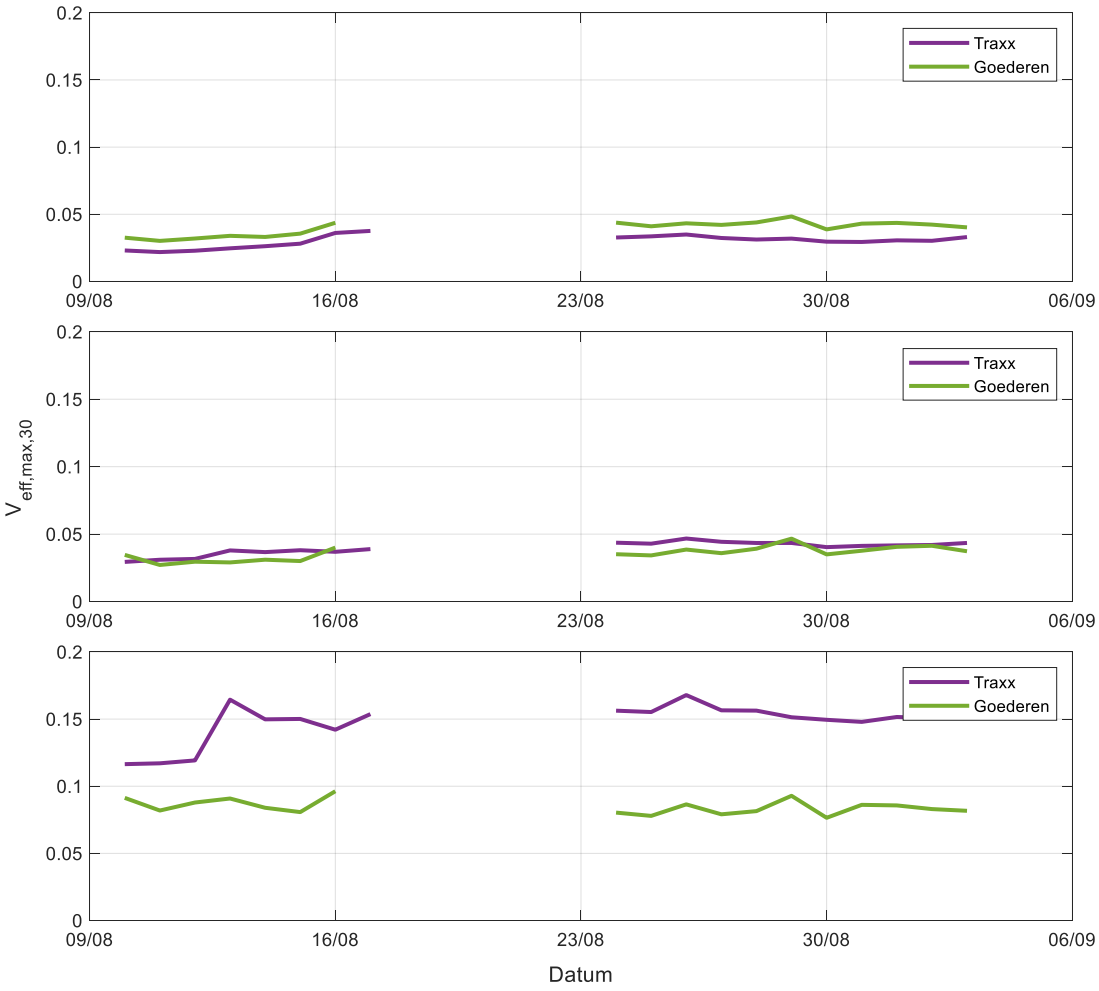
Figuur 2.9 V_{max} per passage van traxx-getrokken voertuigen en goederentreinen, X-richting



Figuur 2.10 V_{max} per passage van traxx-getrokken voertuigen en goederentreinen, Y-richting



Figuur 2.11 V_{max} per passage van traxx-getrokken voertuigen en goederentreinen, Z-richting



Figuur 2.12 Gemiddelde V_{max} waarden per dag

3 BIJLAGE A – FOTO'S VAN DE MEETPUNTEN

Figuur 3.1 Meetsysteem op de fundering

Figuur 3.2 Meetsysteem op de begane grond, midden vloerveld

Figuur 3.3 Meetsysteem op de hoogste verdieping, midden vloerveld

IV

BIJLAGE: PRODUCTSPECIFICATIES SLB2210G

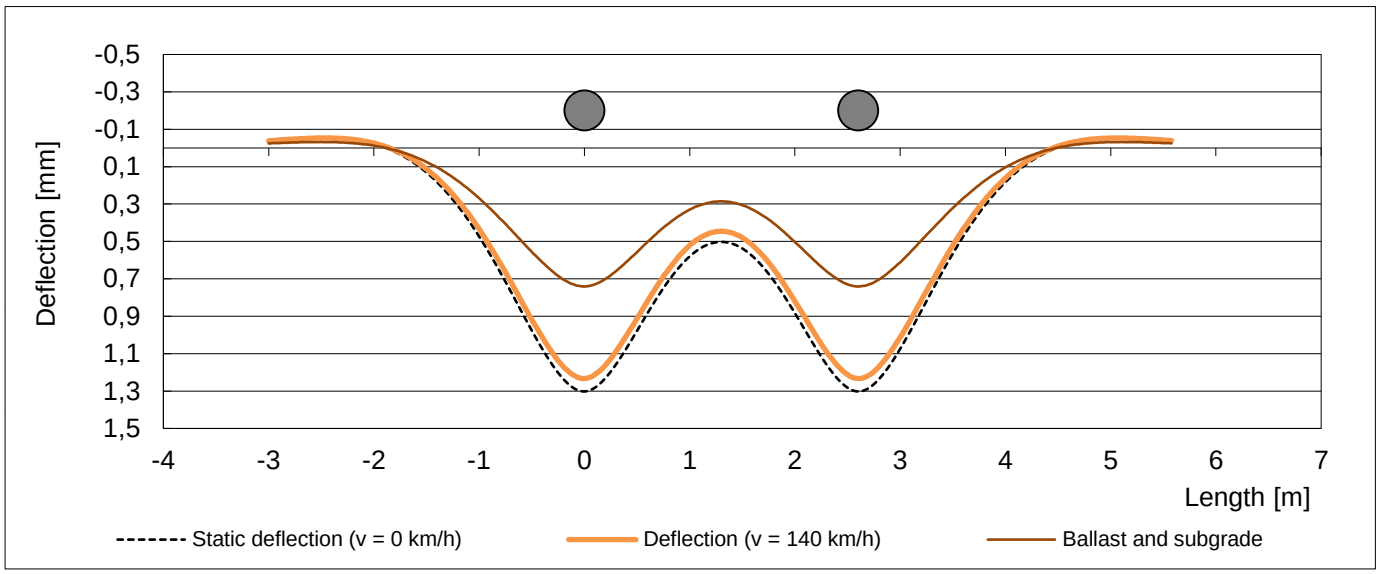
Project:	**Project Oisterwijk**
Product:	SLB2210G
Comment:	21t axle load, 250mm ballast height

Calculation of Rail Deflection acc. to Zimmermann
Calculation of Insertion Loss acc. to DIN 45673-4

Input Parameter					**Remark**
Vehicle:					
axle load 1	Q_1	=	210	kN	(4)
distance	a_{12}	=	2600	mm	(2)
axle load 2	Q_2	=	210	kN	(4)
distance	a_{23}	=	0	mm	(2)
axle load 3	Q_3	=	0	kN	(2)
distance	a_{34}	=	0	mm	(2)
axle load 4	Q_4	=	0	kN	(2)
distance	a_{45}	=	0	mm	
axle load 5	Q_5	=	0	kN	
distance	a_{56}	=	0	mm	
axle load 6	Q_6	=	0	kN	
velocity	v	=	140	km/h	(2)
Rail: 54E1 (UIC54)					
moment of inertia	I_s	=	2,34E+07	mm4	(2)
Young´s modulus	E_s	=	2,10E+05	N/mm²	(2)
section modulus	W_u	=	3,11E+05	mm³	(2)
mass per meter	m_s	=	54,8	kg	(2)
Railpad: Kurkrubber					
static stiffness	$k_{zw,\,stat}$	=	650	kN/mm	(2)
dynamic stiffness	$k_{zw,\,dyn}$	=	1600	kN/mm	(3)
mechanical loss factor	η_{ZW}	=	0,10		(3)
Sleeper: 43875					
sleeper mass	m_{schw}	=	386	kg	(2)
sleeper distance	a_{schw}	=	600	mm	(2)
Under Sleeper Pad (USP): SLB2210G					
thickness	d_{SL}	=	10	mm	
stat. bedding modulus	$C_{SL,\,stat}$	=	0,300	N/mm³	(1) evaluation area: 0,009 - 0,16 N/mm²
dyn. bedding modulus	$C_{SL,\,dyn}$	=	1,850	N/mm³	at 0,16 N/mm²; f = 47,5 Hz
mechanical loss factor	η_{SL}	=	0,30		
Ballast:					
height	d_{Sch}	=	250	mm	(2) to the bottom edge of the sleeper
load distribution angle	α	=	15	°	(3)
stiffness per rail seat	c_{Sch}	=	135	kN/mm	(3)
density of ballast	ρ_{Sch}	=	1800	kg/m³	(3)
mechanical loss factor	D_{Sch}	=	0,50		(3)
Subgrade:					
Ev2 modulus	Ev2	=	50	MN/m²	(4)
Poisson ratio	μ	=	0,30		(3)
density of subgrade	ρ_U	=	1800	kg/m³	(3)

Calculation of Rail Deflection acc. to Zimmermann

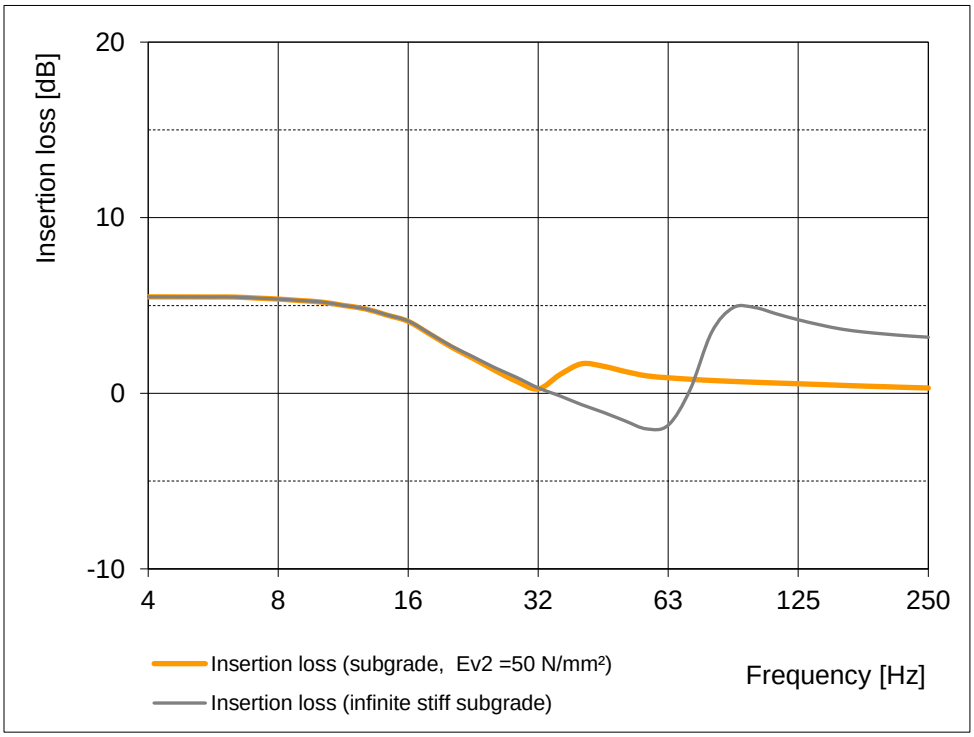
Maximum static rail deflection			
stationary train	=	1,3	mm
at velocity v = 140 km/h	=	1,2	mm
Max. deflection of ballast and subgrade	=	0,7	mm



Calculation of Natural Frequency acc. the Model of 1-Mass-Spring System

Natural frequency	=	**48**	**Hz**
effective unsprung mass	=	814	kg
percent unsprung mass of train	=	15	% (3)

Calculation of Insertion Loss



f [Hz]	k [dB]	I [%]
4	5,5	46,9
5	5,5	46,8
6,3	5,5	46,8
8	5,4	46,1
10	5,2	45,0
12,5	4,8	42,5
16	4,1	37,6
20	2,6	26,1
25	1,3	14,0
31,5	0,2	2,8
40	1,7	17,6
50	1,2	13,4
63	0,9	9,7
80	0,7	8,1
100	0,6	7,0
125	0,5	6,1
160	0,5	5,1
200	0,4	4,2
250	0,3	3,4

Ballast Protection SLB2210G

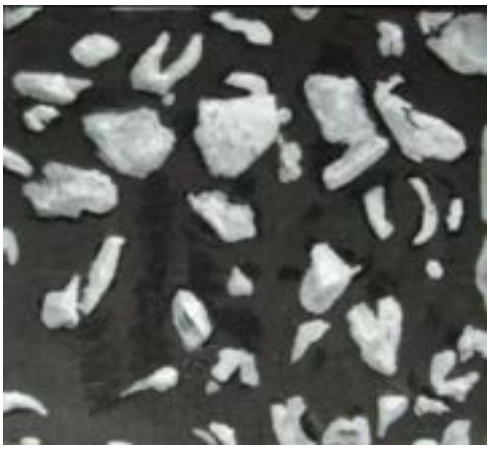
Reduction of Contact Stress of Ballast due to enhanced Sleeper Contact Area

Maximum static rail deflection	with USP	1,3 mm		1,4 -fold increase
	without USP	0,9 mm		
Maximum force acting on rail support (incl. sleeper)	with USP	40,1 kN		12% decrease
	without USP	45,4 kN		
Conact area ratio	with USP	22 %		5,5 -fold increase
	without USP	4 %		
Contact area between ballast and sleeper (per half sleeper)	with USP	0,055 m²		5,5 -fold increase
	without USP	0,010 m²		
Stress between ballast and sleeper	with USP	0,160 N/mm²		12% decrease
	without USP	0,181 N/mm²		
Contact stress	with USP	0,73 N/mm²		84% decrease
	without USP	4,54 N/mm²		

Contact area ratio without SL (2% - 5%) **4%**

Low contact area of ballast to the sleeper

Contact area ratio with SL **22%**



Increase: **5,5 -fold**

Contact area between ballast and sleeper = Support area of sleeper * Contact area ratio

$$\text{Stress between ballast and sleeper} = \frac{\text{Maximum force acting on rail support}}{\text{Support area of sleeper}}$$

$$\text{Contact stress} = \frac{\text{Maximum force acting on rail support}}{\text{Contact area between ballast and sleeper}}$$

Basis of calculation

This calculation report presents the results of the rail deflection and vibration performance study, based on the list of references / explanations specified.

For the deflection under vehicle load, the theory of the beam on elastic foundation (Zimmermann) applies, assuming that the rail is continuous.

The vibration performance is based on a calculation method, which incorporates a simplification of a real track superstructure, representing a vertical slice of it.

Any changes or deviations from the input parameters such as, but not limited to vehicle-related parameters, geometrical dimension of the track superstructure, etc. can influence the calculated results.

All information and data mentioned in calculation are subject to production and material tolerances. These do not represent warranted properties, however.

The calculations and the associated results apply to and exist exclusively for the purpose of selecting materials from the Getzner range of products. Ensuring suitability for an intended use ultimately remains the responsibility of the customer or their authorised agent (e.g.: railway engineer). All other rights are reserved. Sharing calculations with unauthorised third-parties in particular is expressly prohibited.

As far as is legally permitted, Getzner accepts no liability and gives no warranty regarding the use of the calculation results. This applies in particular to specific customer requirements if not defined in detail. The customer shall not be entitled to pursue any claims whatsoever in relation to the use of calculation results.

List of references / Explanations:

(1) measured on standard ballast plate acc. to DIN 45673-6 (08/2010) and DIN 45673-1 (05/2000)
(2) according to specs. received per mail on 06.02.2020
(3) assumed by Getzner Werkstoffe GmbH
(4) according to specs. received per mail on 14.02.2020
(5)

V

BIJLAGE: PRODUCTSPECIFICATIES SLN1010G

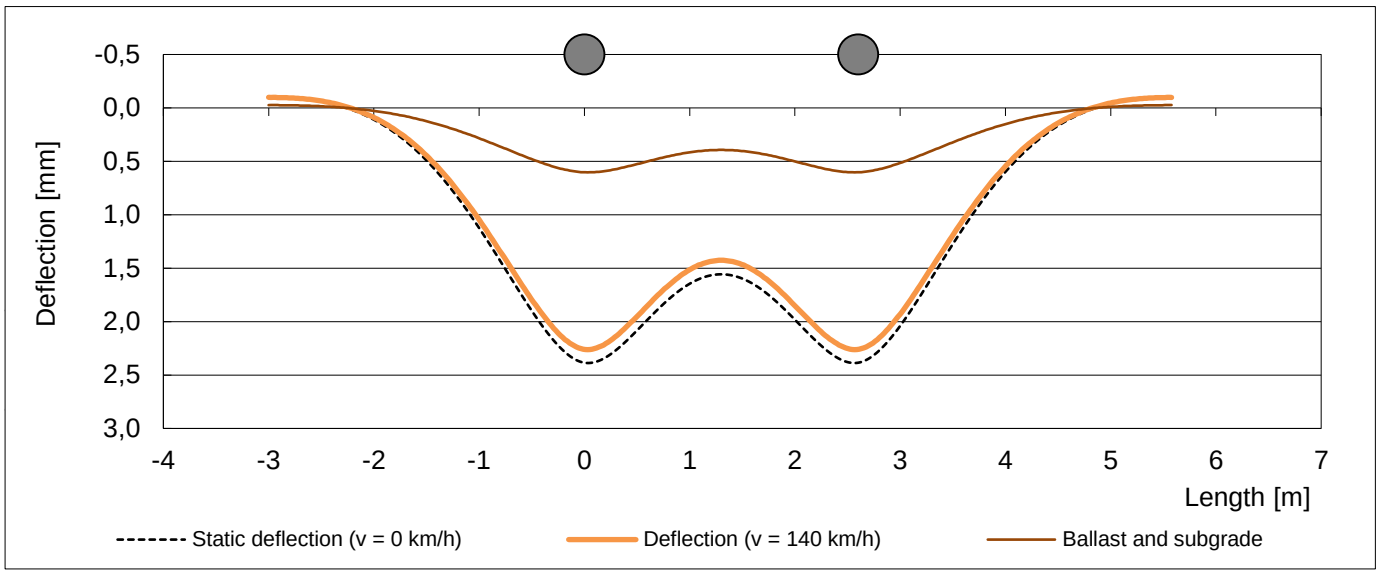
Project:	**Project Oisterwijk**
Product:	SLN1010G
Comment:	21t axle load, 250mm ballast height

Calculation of Rail Deflection acc. to Zimmermann
Calculation of Insertion Loss acc. to DIN 45673-4

Input Parameter					**Remark**
Vehicle:					
axle load 1	Q_1	=	210	kN	(4)
distance	a_{12}	=	2600	mm	(2)
axle load 2	Q_2	=	210	kN	(4)
distance	a_{23}	=	0	mm	(2)
axle load 3	Q_3	=	0	kN	(2)
distance	a_{34}	=	0	mm	(2)
axle load 4	Q_4	=	0	kN	(2)
distance	a_{45}	=	0	mm	
axle load 5	Q_5	=	0	kN	
distance	a_{56}	=	0	mm	
axle load 6	Q_6	=	0	kN	
velocity	v	=	140	km/h	(2)
Rail: 54E1 (UIC54)					
moment of inertia	I_s	=	2,34E+07	mm4	(2)
Young´s modulus	E_s	=	2,10E+05	N/mm²	(2)
section modulus	W_u	=	3,11E+05	mm³	(2)
mass per meter	m_s	=	54,8	kg	(2)
Railpad: Kurkrubber					
static stiffness	$k_{zw,\ stat}$	=	650	kN/mm	(2)
dynamic stiffness	$k_{zw,\ dyn}$	=	1600	kN/mm	(3)
mechanical loss factor	η_{ZW}	=	0,10		(3)
Sleeper: NS90					
sleeper mass	m_{schw}	=	286	kg	(2)
sleeper distance	a_{schw}	=	600	mm	(2)
Under Sleeper Pad (USP): SLN1010G					
thickness	d_{SL}	=	10	mm	
stat. bedding modulus	$C_{SL,\ stat}$	=	0,070	N/mm³	(1) evaluation area: 0,007 - 0,127 N/mm²
dyn. bedding modulus	$C_{SL,\ dyn}$	=	0,238	N/mm³	at 0,127 N/mm²; f = 37,2 Hz
mechanical loss factor	η_{SL}	=	0,09		
Ballast:					
height	d_{Sch}	=	250	mm	(2) to the bottom edge of the sleeper
load distribution angle	α	=	15	°	(3)
stiffness per rail seat	c_{Sch}	=	140	kN/mm	(3)
density of ballast	ρ_{Sch}	=	1800	kg/m³	(3)
mechanical loss factor	D_{Sch}	=	0,50		(3)
Subgrade:					
Ev2 modulus	Ev2	=	50	MN/m²	(4)
Poisson ratio	μ	=	0,30		(3)
density of subgrade	ρ_U	=	1800	kg/m³	(3)

Calculation of Rail Deflection acc. to Zimmermann

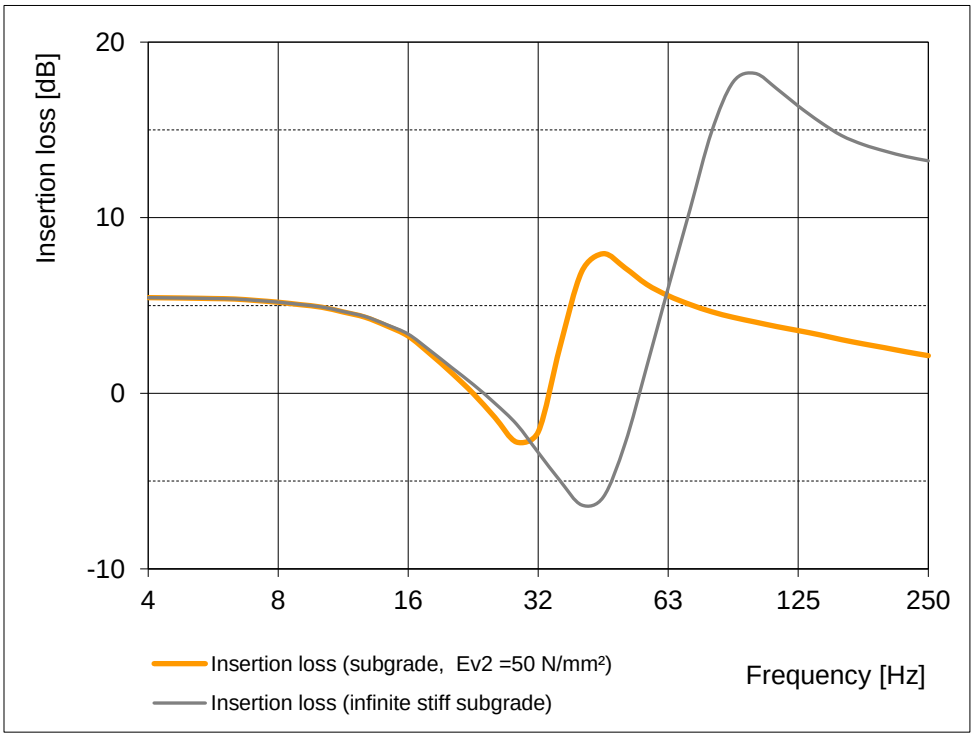
Maximum static rail deflection			
stationary train	=	2,4	mm
at velocity v = 140 km/h	=	2,3	mm
Max. deflection of ballast and subgrade	=	0,6	mm



Calculation of Natural Frequency acc. the Model of 1-Mass-Spring System

Natural frequency	=	**38**	**Hz**	
effective unsprung mass	=	666	kg	
percent unsprung mass of train	=	15	%	(3)

Calculation of Insertion Loss



f [Hz]	k [dB]	I [%]
4	5,4	46,6
5	5,4	46,4
6,3	5,4	46,1
8	5,2	44,9
10	4,9	43,1
12,5	4,3	39,3
16	3,3	31,3
20	1,2	12,6
25	-1,4	-17,2
31,5	-2,2	-28,7
40	6,9	54,9
50	7,1	56,1
63	5,6	47,2
80	4,6	41,4
100	4,1	37,3
125	3,6	33,7
160	3,1	29,6
200	2,6	25,8
250	2,1	21,9

Ballast Protection **SLN1010G**

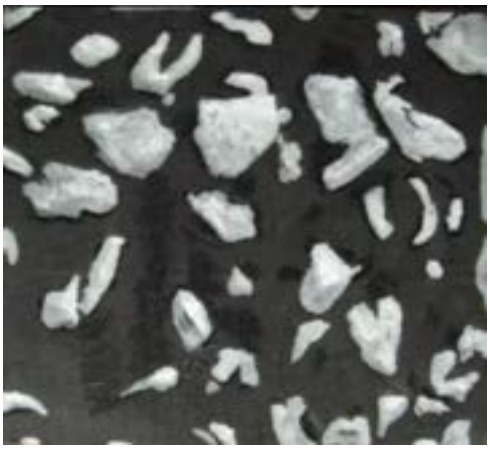
Reduction of Contact Stress of Ballast due to enhanced Sleeper Contact Area

Maximum static rail deflection	with USP	2,4 mm		2,7 -fold increase
	without USP	0,9 mm		
Maximum force acting on rail support (incl. sleeper)	with USP	33,2 kN		26% decrease
	without USP	45,1 kN		
Conact area ratio	with USP	30 %		7,5 -fold increase
	without USP	4 %		
Contact area between ballast and sleeper (per half sleeper)	with USP	0,078 m²		7,5 -fold increase
	without USP	0,010 m²		
Stress between ballast and sleeper	with USP	0,127 N/mm²		26% decrease
	without USP	0,173 N/mm²		
Contact stress	with USP	0,42 N/mm²		90% decrease
	without USP	4,33 N/mm²		

Contact area ratio without SL (2% - 5%) **4%**

Low contact area of ballast to the sleeper

Contact area ratio with SL **30%**



Increase: **7,5 -fold**

Contact area between ballast and sleeper = Support area of sleeper * Contact area ratio

$$\text{Stress between ballast and sleeper} = \frac{\text{Maximum force acting on rail support}}{\text{Support area of sleeper}}$$

$$\text{Contact stress} = \frac{\text{Maximum force acting on rail support}}{\text{Contact area between ballast and sleeper}}$$

Basis of calculation

This calculation report presents the results of the rail deflection and vibration performance study, based on the list of references / explanations specified.

For the deflection under vehicle load, the theory of the beam on elastic foundation (Zimmermann) applies, assuming that the rail is continuous.

The vibration performance is based on a calculation method, which incorporates a simplification of a real track superstructure, representing a vertical slice of it.

Any changes or deviations from the input parameters such as, but not limited to vehicle-related parameters, geometrical dimension of the track superstructure, etc. can influence the calculated results.

All information and data mentioned in calculation are subject to production and material tolerances. These do not represent warranted properties, however.

The calculations and the associated results apply to and exist exclusively for the purpose of selecting materials from the Getzner range of products. Ensuring suitability for an intended use ultimately remains the responsibility of the customer or their authorised agent (e.g.: railway engineer). All other rights are reserved. Sharing calculations with unauthorised third-parties in particular is expressly prohibited.

As far as is legally permitted, Getzner accepts no liability and gives no warranty regarding the use of the calculation results. This applies in particular to specific customer requirements if not defined in detail. The customer shall not be entitled to pursue any claims whatsoever in relation to the use of calculation results.

List of references / Explanations:

(1) measured on standard ballast plate acc. to DIN 45673-6 (08/2010) and DIN 45673-1 (05/2000)
(2) according to specs. received per mail on 06.02.2020
(3) assumed by Getzner Werkstoffe GmbH
(4) according to specs. received per mail on 14.02.2020
(5)

VI

BIJLAGE: PRODUCTSPECIFICATIES SLS1707G

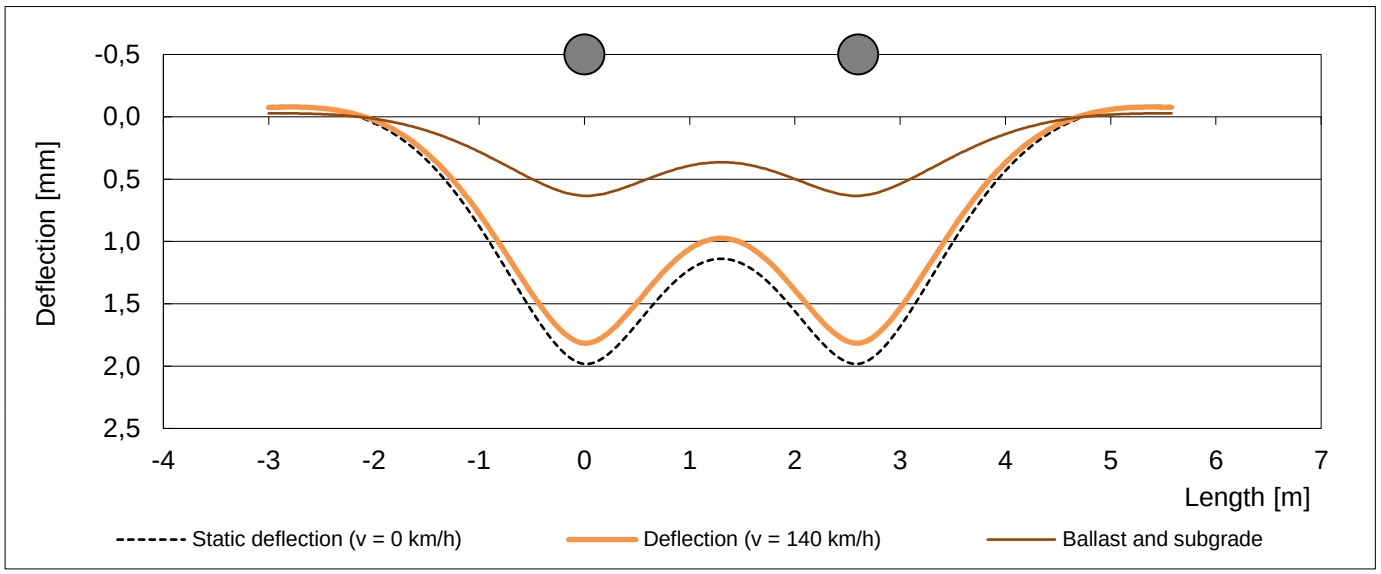
Project:	**Project Oisterwijk**	
Product:	SLS1707G	
Comment:	21t axle load, 250mm ballast height	

Calculation of Rail Deflection acc. to Zimmermann
Calculation of Insertion Loss acc. to DIN 45673-4

Input Parameter					**Remark**
Vehicle:					
axle load 1	Q_1	=	210	kN	(4)
distance	a_{12}	=	2600	mm	(2)
axle load 2	Q_2	=	210	kN	(4)
distance	a_{23}	=	0	mm	(2)
axle load 3	Q_3	=	0	kN	(2)
distance	a_{34}	=	0	mm	(2)
axle load 4	Q_4	=	0	kN	(2)
distance	a_{45}	=	0	mm	
axle load 5	Q_5	=	0	kN	
distance	a_{56}	=	0	mm	
axle load 6	Q_6	=	0	kN	
velocity	v	=	140	km/h	(2)
Rail: 54E1 (UIC54)					
moment of inertia	I_s	=	2,34E+07	mm4	(2)
Young´s modulus	E_s	=	2,10E+05	N/mm²	(2)
section modulus	W_u	=	3,11E+05	mm³	(2)
mass per meter	m_s	=	54,8	kg	(2)
Railpad: Kurkrubber					
static stiffness	$k_{zw,\,stat}$	=	650	kN/mm	(2)
dynamic stiffness	$k_{zw,\,dyn}$	=	1600	kN/mm	(3)
mechanical loss factor	η_{ZW}	=	0,10		(3)
Sleeper: NS90					
sleeper mass	m_{schw}	=	286	kg	(2)
sleeper distance	a_{schw}	=	600	mm	(2)
Under Sleeper Pad (USP): SLS1707G					
thickness	d_{SL}	=	7	mm	
stat. bedding modulus	$C_{SL,\,stat}$	=	0,098	N/mm³	(1) evaluation area: 0,007 - 0,134 N/mm²
dyn. bedding modulus	$C_{SL,\,dyn}$	=	0,494	N/mm³	at 0,134 N/mm²; f = 43,7 Hz
mechanical loss factor	η_{SL}	=	0,14		
Ballast:					
height	d_{Sch}	=	250	mm	(2) to the bottom edge of the sleeper
load distribution angle	α	=	15	°	(3)
stiffness per rail seat	c_{Sch}	=	140	kN/mm	(3)
density of ballast	ρ_{Sch}	=	1800	kg/m³	(3)
mechanical loss factor	D_{Sch}	=	0,50		(3)
Subgrade:					
Ev2 modulus	Ev2	=	50	MN/m²	(4)
Poisson ratio	μ	=	0,30		(3)
density of subgrade	ρ_U	=	1800	kg/m³	(3)

Calculation of Rail Deflection acc. to Zimmermann

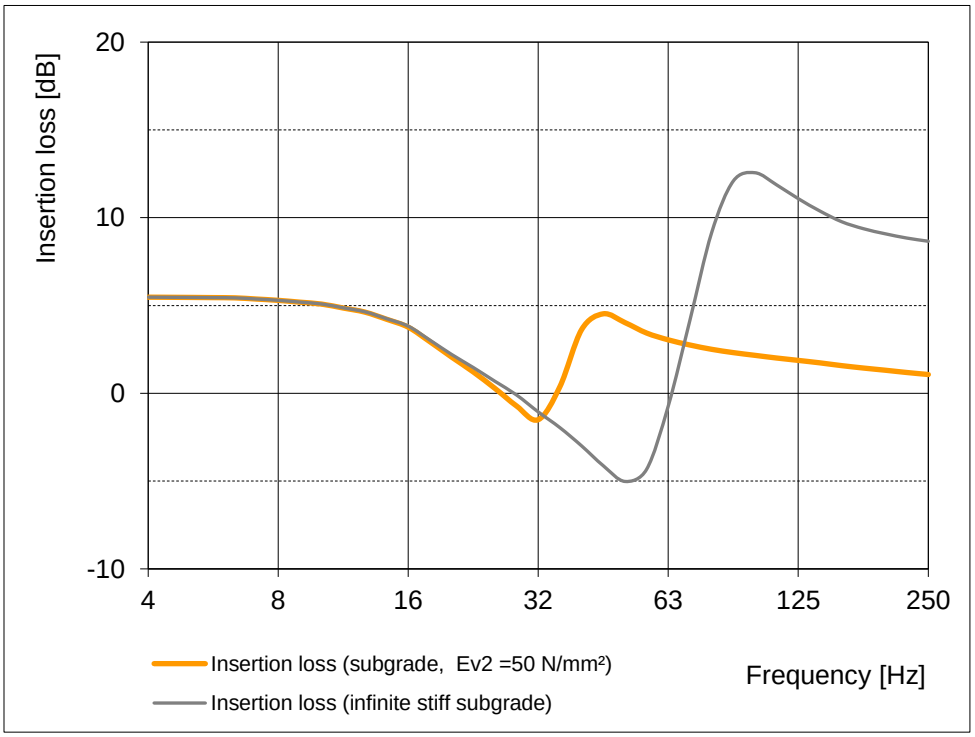
Maximum static rail deflection			
stationary train	=	2,0	mm
at velocity v = 140 km/h	=	1,8	mm
Max. deflection of ballast and subgrade	=	0,6	mm



Calculation of Natural Frequency acc. the Model of 1-Mass-Spring System

Natural frequency	=	**44**	**Hz**
effective unsprung mass	=	692	kg
percent unsprung mass of train	=	15	% (3)

Calculation of Insertion Loss



f [Hz]	k [dB]	l [%]
4	5,5	46,8
5	5,5	46,7
6,3	5,4	46,5
8	5,3	45,6
10	5,1	44,3
12,5	4,6	41,3
16	3,8	35,2
20	2,1	21,1
25	0,3	3,1
31,5	-1,5	-18,9
40	3,6	34,1
50	4,0	37,1
63	3,0	29,6
80	2,5	25,1
100	2,2	22,0
125	1,9	19,4
160	1,6	16,6
200	1,3	14,1
250	1,1	11,6

Ballast Protection SLS1707G

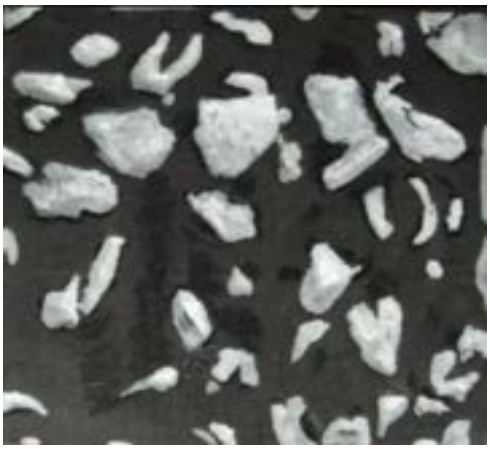
Reduction of Contact Stress of Ballast due to enhanced Sleeper Contact Area

Maximum static rail deflection	with USP	2,0 mm		2,2 -fold increase
	without USP	0,9 mm		
Maximum force acting on rail support (incl. sleeper)	with USP	34,9 kN		23% decrease
	without USP	45,1 kN		
Conact area ratio	with USP	20 %		5,0 -fold increase
	without USP	4 %		
Contact area between ballast and sleeper (per half sleeper)	with USP	0,052 m²		5,0 -fold increase
	without USP	0,010 m²		
Stress between ballast and sleeper	with USP	0,134 N/mm²		23% decrease
	without USP	0,173 N/mm²		
Contact stress	with USP	0,67 N/mm²		85% decrease
	without USP	4,33 N/mm²		

Contact area ratio without SL (2% - 5%) **4%**

Low contact area of ballast to the sleeper

Contact area ratio with SL **20%**



Increase: **5,0 -fold**

Contact area between ballast and sleeper = Support area of sleeper * Contact area ratio

$$\text{Stress between ballast and sleeper} = \frac{\text{Maximum force acting on rail support}}{\text{Support area of sleeper}}$$

$$\text{Contact stress} = \frac{\text{Maximum force acting on rail support}}{\text{Contact area between ballast and sleeper}}$$

Basis of calculation

This calculation report presents the results of the rail deflection and vibration performance study, based on the list of references / explanations specified.

For the deflection under vehicle load, the theory of the beam on elastic foundation (Zimmermann) applies, assuming that the rail is continuous.

The vibration performance is based on a calculation method, which incorporates a simplification of a real track superstructure, representing a vertical slice of it.

Any changes or deviations from the input parameters such as, but not limited to vehicle-related parameters, geometrical dimension of the track superstructure, etc. can influence the calculated results.

All information and data mentioned in calculation are subject to production and material tolerances. These do not represent warranted properties, however.

The calculations and the associated results apply to and exist exclusively for the purpose of selecting materials from the Getzner range of products. Ensuring suitability for an intended use ultimately remains the responsibility of the customer or their authorised agent (e.g.: railway engineer). All other rights are reserved. Sharing calculations with unauthorised third-parties in particular is expressly prohibited.

As far as is legally permitted, Getzner accepts no liability and gives no warranty regarding the use of the calculation results. This applies in particular to specific customer requirements if not defined in detail. The customer shall not be entitled to pursue any claims whatsoever in relation to the use of calculation results.

List of references / Explanations:

(1) measured on standard ballast plate acc. to DIN 45673-6 (08/2010) and DIN 45673-1 (05/2000)
(2) according to specs. received per mail on 06.02.2020
(3) assumed by Getzner Werkstoffe GmbH
(4) according to specs. received per mail on 14.02.2020
(5)

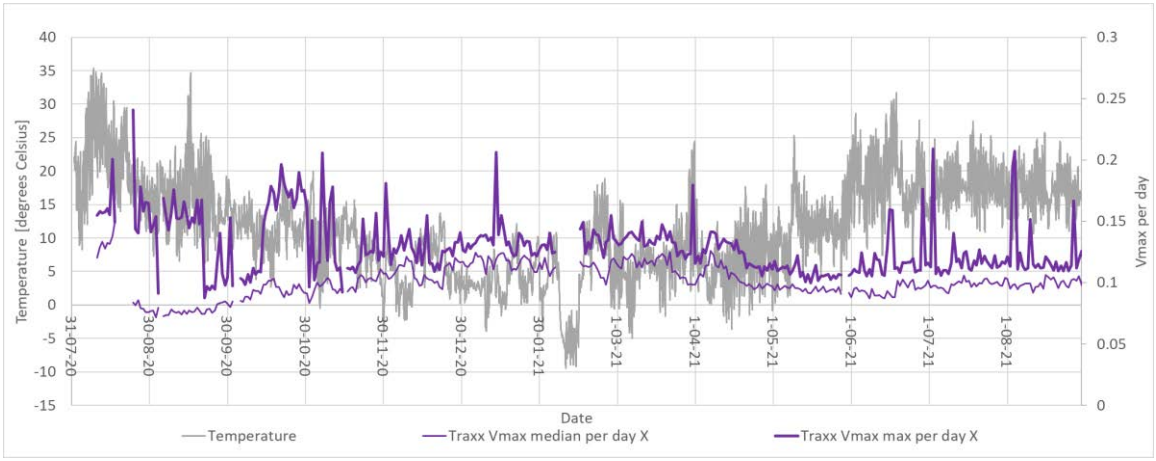
VII

BIJLAGE: MEETRAPPORT LANGDURIGE METING

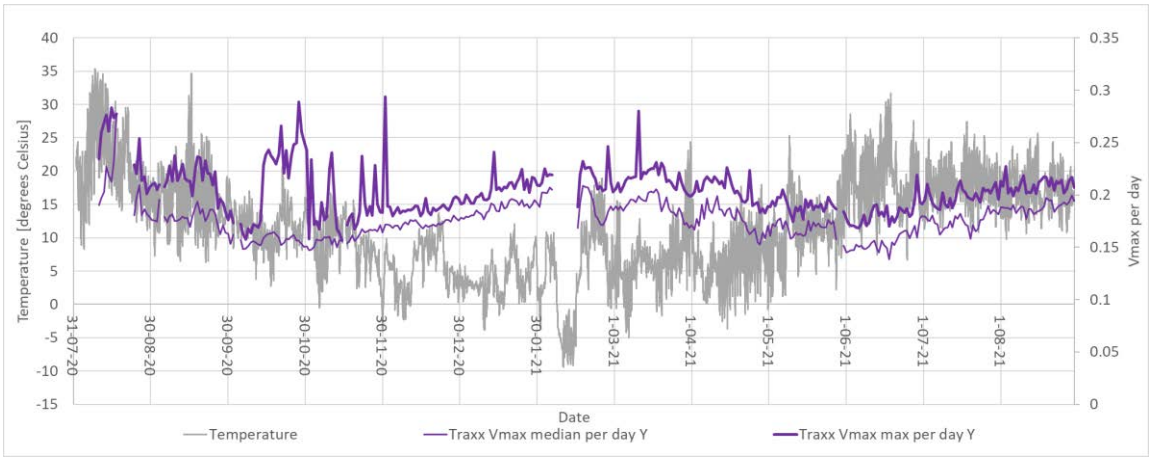
VIII

BIJLAGE: $V_{EFF,MAX,30}$ UIT LANGDURIGE METING GEPRESENTEERD SAMEN MET OMGEVINGSTEMPERATUUR

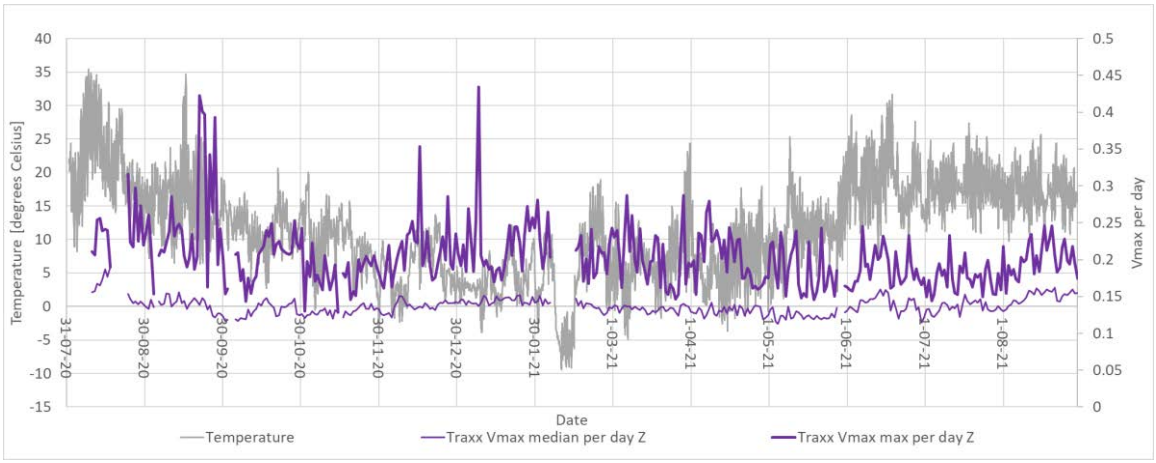
Afbeelding VIII.1 Traxx



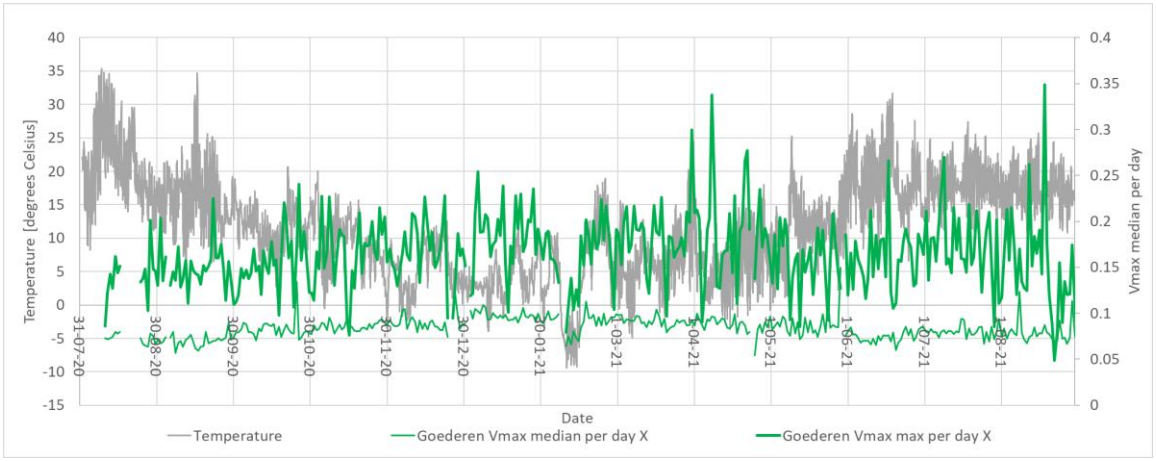
Afbeelding VIII.2 Traxx



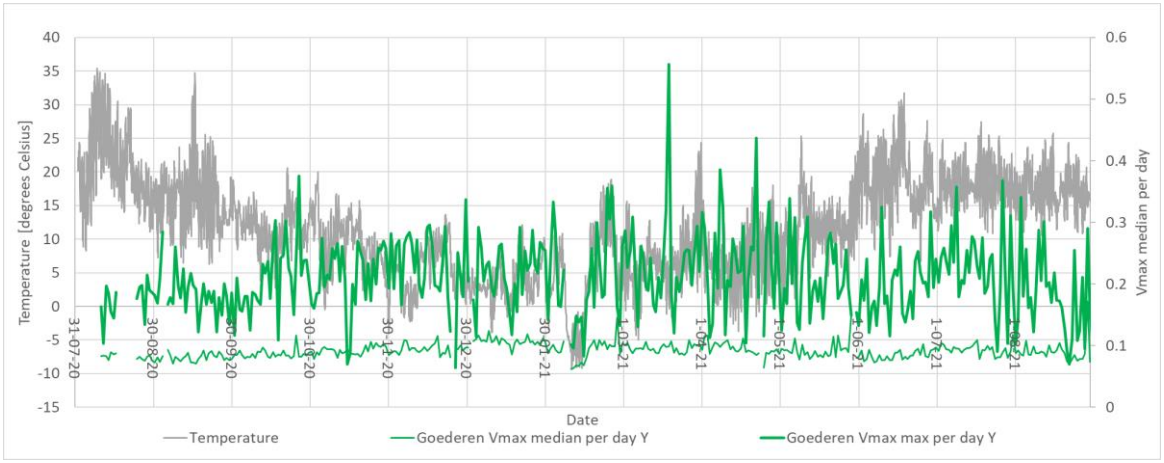
Afbeelding VIII.3 Traxx



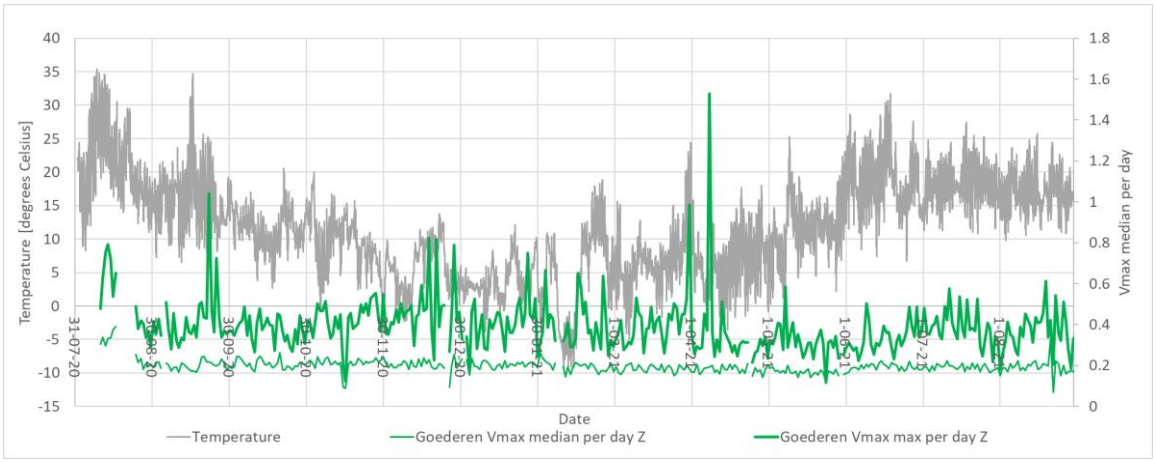
Afbeelding VIII.4 Goederen



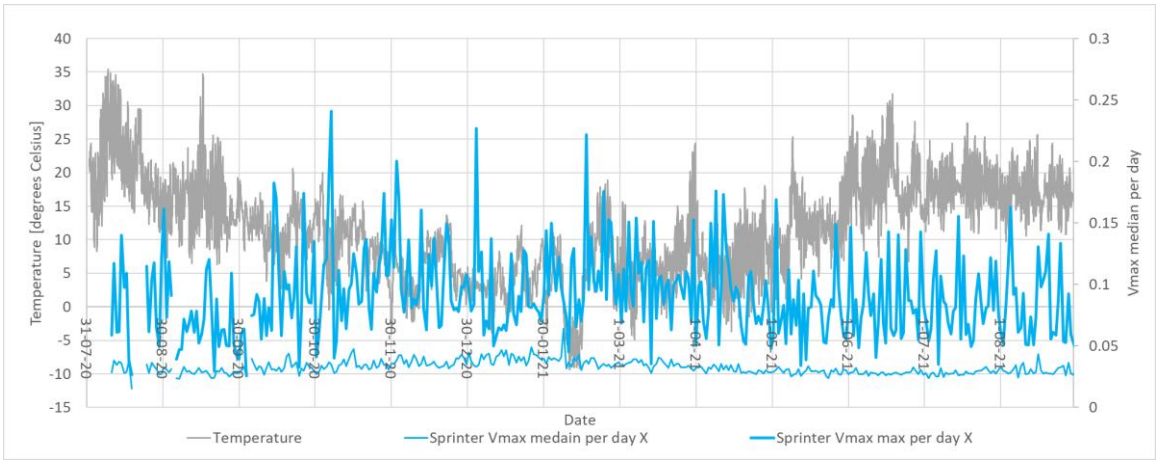
Afbeelding VIII.5 Goederen



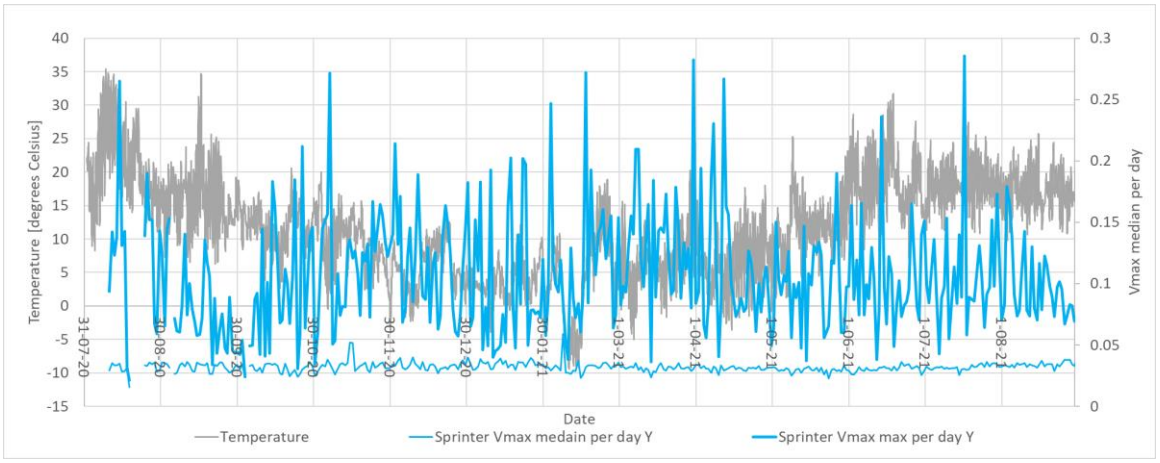
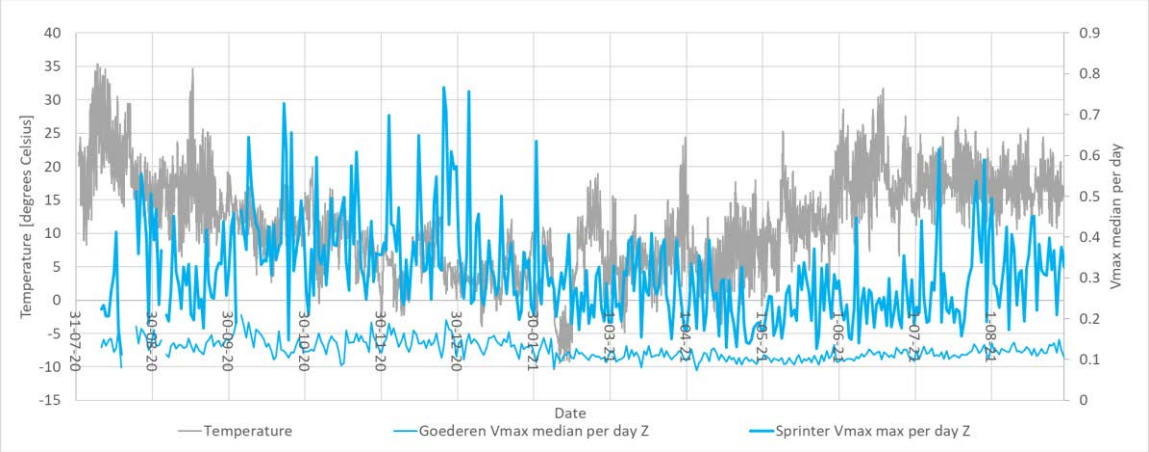
Afbeelding VIII.6 Goederen



Afbeelding VIII.7 Sprinter



Afbeelding VIII.8 Sprinter



Afbeelding VIII.9 Sprinter