

RAPPORT

Theemswegtracé

Opleveringstoets trillingsonderzoek
rapportage Bts

Klant: Havenbedrijf Rotterdam

Referentie: BI6573-102-100

Status: 0.1/Definitief

Datum: 6 maart 2023

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Jonkerbosplein 52
6534 AB Nijmegen
Industry & Buildings
Trade register number: 50515154

+31 88 348 70 00 T
info@rhdhv.com E
royalhaskoningdhv.com W

Titel document: Theemswegtracé

Ondertitel: TWT opleveringstoets trillingsonderzoek

Referentie: BI6573-102-100

Status: 0.1/Definitief

Datum: 6 maart 2023

Projectnaam: ESGL opleveringstoets trillingsonderzoek

Projectnummer: BI6573-100-100

Auteur(s): ██████████

Opgesteld door: ██████████

Gecontroleerd door: ██████████

Datum/paraaf: 6 maart 2023

Goedgekeurd door: ██████████

Datum/paraaf: 6 maart 2023

Classificatie

Projectgerelateerd

Behoudens andersluidende afspraken met de Opdrachtgever, mag niets uit dit document worden vervaelvoudigd of openbaar gemaakt of worden gebruikt voor een ander doel dan waarvoor het document is vervaardigd. HaskoningDHV Nederland B.V. aanvaardt geen enkele verantwoordelijkheid of aansprakelijkheid voor dit document, anders dan jegens de Opdrachtgever. Let op: dit document bevat persoonsgegevens van medewerkers van HaskoningDHV Nederland B.V. dient dit document te worden geanonimiseerd of dient toestemming te worden verkregen om dit document met persoonsgegevens te publiceren. Dit hoeft niet als wet- of regelgeving anonimiseren niet toestaat.

Inhoud

1	Het project Theemswegtracé	1
1.1	Aanleiding	1
2	Wettelijk kader	2
2.1	Metingen t.b.v. opleveringstoets	4
2.1.1	Opzet van de metingen	4
2.1.2	Meetlocaties	5
2.1.3	Meetapparatuur	6
3	Resultaten	7
3.1	Nulsituatie (2015) en projectsituatie (2022) voor de trillingsgevoelige objecten conform de Bts	7
3.2	Objectivering veiligheid van de werkplek conform SBR A	9
3.3	Maatregelenafweging conform Bts	10
4	Conclusie	13

BIJLAGE 1	Locaties van de metingen
BIJLAGE 2	Grafische weergave meetdata
BIJLAGE 3	Analyse Vmax,BTS
BIJLAGE 4	Gegevens ertstrein passages
BIJLAGE 5	Maatregelenonderzoek en afweging TB 2016

1 Het project Theemswegtracé

1.1 Aanleiding

Het Tracébesluit Theemswegtrace TWT is in 2016 vastgesteld door de staatssecretaris en inmiddels gerealiseerd het betrof de volgende aanpassingen.

Project

Bij Rozenburg in de gemeente Rotterdam ligt de Calandbrug. De brug werd gebruikt door wegverkeer en spoorwegverkeer. De Calandbrug is voor zeescheepvaart de enige toegang van en naar de Britanniëhaven en opent daarom meerdere malen per dag.

De Calandbrug is een stalen hefbrug uit 1969. In 2020 was zij aan het einde van haar technische levensduur. De brug vormde tevens een toekomstig knelpunt: door toenemend scheepvaartverkeer moet de brug vaker open, wat het tegelijkertijd toenemende treinverkeer hindert.

Als oplossing heeft de staatssecretaris van het ministerie van Infrastructuur en Milieu in september 2015 definitief gekozen voor de aanleg van het Theemswegtracé. De oplossing houdt in dat de spoorlijn vanaf de Merseyweg tot aan de Moezelweg is verlegd naar de Theemsweg. Treinen rijden niet meer over de Calandbrug en worden niet meer gehinderd door brugopeningen vanwege de zeescheepvaart. De huidige Calandbrug wordt gerenoveerd en blijft beschikbaar voor het wegverkeer, langzaam verkeer en vervoer van gevaarlijke stoffen. Het spoor op het bestaande tracé is ontmanteld. Het project Theemswegtracé is inmiddels gerealiseerd en sinds november 2021 rijden er treinen over het tracé.

In het TB is het aspect trillingen getoetst. Conform de Beleidsregel trillinghinder spoor, Bts, is volgens Artikel 8 een opleveringstoets noodzakelijk. De opleveringstoets is uitgevoerd en gerelateerd aan de rapportage "(O)TB Theemswegtrace MD-AF20150603 11/EindFinale versie 18 mei 2016 van RHDHV" zoals bijgevoegd bij het Tracébesluit.

2 Wettelijk kader

Het ministerie van Infrastructuur en Milieu (tegenwoordig ministerie van Infrastructuur en Waterstaat) heeft de Beleidsregel trillinghinder spoor (Bts) in 2012 opgesteld, die deel B van de SBR-richtlijn aanvult en wijzigt voor zover het de vaststelling van tracébesluiten voor de aanleg, wijziging of het opnieuw in gebruik nemen van een landelijke spoorweg betreft. De Bts is aangevuld in 2014. De SBR-richtlijn B en de Bts vormen samen het kader voor het beoordelen van de hinder voor personen in gebouwen door trillingen in het Tracébesluit.

Beleidsregel trillinghinder spoor (Bts)

De streef- en grenswaarden in de Bts hebben tot doel tracébesluiten te kunnen toetsen op rechtmatigheid ten aanzien van het al dan niet treffen van maatregelen en de aanvaardbaarheid van trillingen. De toetsing van de trillingsniveaus aan de Bts betreft de zogenoemde:

V_{max} , de maximale trillingssterkte die apart wordt getoetst voor de dag/avondperiode en de nachtperiode.

V_{per} , de gemiddelde trillingssterkte die eveneens afzonderlijk bepaald en getoetst wordt voor de dag/avondperiode en de nachtperiode.

De Bts maakt voor de beoordeling van de trillingsituatie onderscheid tussen een nieuwe situatie en een bestaande situatie. Bij een nieuwe situatie is er in de uitgangssituatie geen sprake van trillingen als gevolg van railverkeer (dus bij de aanleg van nieuwe spoorlijnen). Bij een bestaande situatie is reeds sprake van trillingen als gevolg van railverkeer. Bij het project TWT is er gedeeltelijk sprake van een bestaande situatie en gedeeltelijk sprake van een nieuwe situatie. De referentiesituatie omschrijft de situatie vóór uitvoering van het Tracébesluit. De plansituatie beschrijft de situatie als gevolg van de ingebruikneming van de infrastructuur die aangelegd of gewijzigd is op basis van het Tracébesluit. Voor kantoren gelden op grond van respectievelijk artikel 6 lid 1 onder a en artikel 7 lid 1 van de Bts de volgende streef- en grenswaarden: Rondom het tracé zijn in de directe omgeving geen woningen aanwezig.

Tabel 1: Streef- en grenswaarden voor V_{max} en V_{per} .

Gebouwfunctie	Dag en avond			Nacht		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
Onderwijs, kantoor bestaande situatie	0,3	1,2	0,15	0,3	1,2	0,15
Onderwijs, kantoor nieuwe situatie	0,15	0,6		0,25	0,6	

A1=streefwaarde voor v_{max}
A2=grenswaarde voor v_{max}
A3=grenswaarde voor v_{per}

In het kader van het Tracébesluit kunnen maatregelen achterwege blijven indien de V_{max} in de plansituatie voldoet aan de in artikel 6 lid 1 onder a genoemde streefwaarde, of de toename van de trillingssterkte in de plansituatie 30 procent¹ of minder bedraagt (art. 6 lid 1 onder b). Indien de V_{max} in de plansituatie niet voldoet aan de streefwaarde A1 en de toename van de trillingssterkte bedraagt meer

¹ Net als bij geluid is er bij trillingen sprake van niet merkbare verschillen. Uitgangspunt van de beleidsregel is dat het tracébesluit geen trillingsbeperkende maatregelen behoeft te bevatten als er sprake is van niet merkbare verschillen. Hiervan is sprake als de toename van de trillingssterkte in de plansituatie ten opzichte van de bestaande situatie 30 procent of minder bedraagt.

dan 30 procent, dan moeten maatregelen worden onderzocht waarmee de toename van de trillingssterkte wordt teruggebracht tot in ieder geval 30 procent of zoveel meer om overschrijding van de grenswaarde A2 te voorkomen (art. 6 lid 2 en lid 3). Voor V_{per} geldt deze grens van 30 procent niet.

Ten aanzien van de gemiddelde trillingssterkte geldt dat maatregelen moeten worden onderzocht indien de V_{per} niet aan de in artikel 7 lid 1 genoemde grenswaarde voldoet.

Het treffen van maatregelen kan achterwege blijven indien de maatregelen niet doelmatig zijn. Het treffen van maatregelen kan echter niet achterwege blijven indien de V_{max} hoger is dan 3,2 (artikel 9 lid 2).

Aanvullend aan deze Bts is een memo opgesteld door Level Acoustics met kenmerk LA.131001a.M04, d.d. 26 februari 2014 (vanaf hier: memo Bts). Deze memo gaat in op de uitvoering en uitwerking van trillingsmetingen.

In de Bts is in artikel 8 de verplichting opgenomen om een opleveringstoets uit te voeren. Deze toets voorziet in onderzoek naar de effectiviteit van maatregelen en de omvang van de trillingssterkte binnen 1 jaar na ingebruikname van het project. Dit onderzoek kan aanleiding geven tot het treffen van (nadere) maatregelen.

Lid 1. Het tracébesluit voorziet in een opleveringstoets als bedoeld in artikel 23 van de Tracéwet, waarin de gevolgen van de ingebruikneming van de aangelegde, gewijzigde of opnieuw in gebruik genomen landelijke spoorweg ten aanzien van in ieder geval het aspect trillinghinder worden onderzocht.

Lid 2. De termijn, bedoeld in artikel 10, eerste lid, onder f, van de Tracéwet wordt bepaald op één jaar na het tijdstip van ingebruikneming van de aangelegde, gewijzigde of de opnieuw in gebruik genomen landelijke spoorweg.

Lid 3. Indien uit de opleveringstoets blijkt dat er op grond van de daarbij vastgestelde trillingssterkte aanleiding zou zijn geweest voor het treffen van maatregelen, indien die trillingssterkte was meegenomen in de plansituatie of dat de getroffen maatregelen onvoldoende effectief zijn, worden maatregelen of aanvullende maatregelen getroffen.

2.1 Metingen t.b.v. opleveringstoets

2.1.1 Opzet van de metingen

In de nabijheid van het spoor liggen vele kantoorgebouwen op een industrieterrein omgeving er liggen geen woningen in de nabijheid van het spoor.

Volgens artikel 3 van de Bts zijn de streef en grenswaarden afhankelijk van de functie van een gebouw. Hierbij is een ruime interpretatie gekozen ten tijde van het TB. Een industrieel gebouw met enkele kantoren is ook als een gebouwfunctie kantoor beoordeeld.

De metingen worden o.a. uitgevoerd bij dezelfde 2 kantoorgebouwen waar de nulmetingen voor aanleg van het project zijn uitgevoerd. Hier is sprake van een bestaande situatie conform de Bts deze gebouwen werden al door trillingen van de havenspoorlijn belast. Het betreft kantoren van [REDACTED]

Tevens zijn bij 4 kantoorgebouwen langs het nieuwe tracé bij kantoren van bedrijven metingen verricht. Hier is sprake van een nieuwe situatie conform de Bts deze gebouwen werden voorheen niet door trillingen van de havenspoorlijn belast. Het betreft kantoren van [REDACTED]

De meetduur is identiek aan de meetduur bij de nulmeting in 2015 te weten drie weken.

Bij het selecteren van de objecten die geschikt en representatief zijn voor metingen langs het nieuwe tracé is gezocht naar objecten op korte afstand van het spoor, objecten met een bestaande en nieuwe situatie, daarnaast is meegewogen dat er bij 4 bedrijven klachten waren voor het aspect trillingen. De geselecteerde objecten zijn representatief voor de overige objecten. De meetlocaties zijn daarmee representatief voor het gehele tracé.

2.1.2 Meetlocaties

In tabel 2 zijn alle meetpunten weergegeven met de afstand tot het tracé. Tevens zijn de prognose en maatregelenafweging in 2016 weergegeven. In bijlage 1 zijn de object identificatie nummers zoals gehanteerd in het Tracébesluit weergegeven.

Bij meetlocatie 1 en 2 is de trillingmeter opgesteld op de identieke bouwlaag gemeten als in 2015 namelijk de 2^e bouwlaag. Bij meetlocatie 3 is de trillingmeter opgesteld op de vloer van de 3^e bouwlaag omdat dit de bouwlaag met naar verwachting de minste verstoring was. Bij meetlocatie 4 en 6 zijn de trillingmeters opgesteld op de vloer van de 2^e bouwlaag omdat dit de bouwlaag met naar verwachting de minste verstoring was. Bij meetlocatie 5 is de trillingmeter opgesteld op de vloer van de 1^e bouwlaag omdat dit gebouw maar een bouwlaag heeft.

Bij elke meetlocatie is tevens op een meetpunt op begane grond een meetsysteem geplaatst en bij enkele meetlocaties ook op de dichtstbijzijnde pijler.

Tabel 2: Overzicht meetlocaties kantoren bedrijven.

Meetlocatie	Bedrijf	Object id.	Afstand tot tracé (m)	Meet locatie	Bestaande situatie 2016 Vmax,Bts	Prognose project Vmax 2016	Gehanteerd criterium trillingen 2016	Maatregelen afweging 2016
1	██████	10878	22,5	Ja	0,59	0,68	< 30%	Nee
2	██████	10693	55,2	Ja	0,22	0,13	< 30%	Nee
3	██████	10581	40,9	Ja	–	0,46	A2=0,15	Ja
4	██████	10691	53,9	Nee	–	0,5	A2=0,15	Ja
	██████	20963	35,7	Ja	–	0,64	A2=0,15	Ja
5	██████	12441	29,8	Ja	–	0,21	A2=0,15	Ja
6*	██████	11718	65,6	Ja	–	0,27	A2=0,15	Ja
	██████	12130	62,2	Nee	–	0,28	A2=0,15	Ja

*Bij ████████ is aan de noordzijde een nieuw laboratorium gebouwd na het TB dit object valt buiten de scope.

De metingen zijn zoveel mogelijk in het midden van het vloerveld conform de SBR B-richtlijn Hinder voor personen in gebouwen uitgevoerd.

Stoortrillingen

Om stoortrillingen zoveel mogelijk uit te sluiten zijn er per locatie 3 gelijktijdige metingen uitgevoerd. Er is gemeten op de vloer van het object (interval van 30 seconden conform de voorschriften uit de Bts), op de dichtst bij het spoor gelegen gevel van het kantoor ter hoogte van de fundatie van het kantoor (intervallen van 10 seconden) en op een meetpunt op de pijler van het kunstwerk (intervallen van 10 seconden). Met een meting op de pijler, waar een verkleinde interval van 10 seconden is toegepast, kan eenduidig vastgesteld worden of de trilling wordt veroorzaakt door de passage van een trein. Stoortrillingen zijn verwijderd uit de dataset en niet beoordeeld.

Van de gemeten waarden zijn de frequentiesignalen, met behulp van de meetresultaten op de pijler, beoordeeld op verstoringen. Wanneer uit de analyse blijkt dat de gemeten waarde een stoorsignaal is,

zoals een passage van wegverkeer of het dichtslaan van een deur (een treinpassage heeft een andere frequentie dan wegverkeer of het dichtslaan van een deur), is deze waarde verder buiten beschouwing gelaten. De snelheidsniveaus van de trillingen zijn per meetpunt in drie richtingen gemeten: X, Y en Z. X en Y zijn twee loodrecht op elkaar staande richtingen (X parallel aan de gevel die naar het spoor gericht is en Y loodrecht daarop). Z is de verticale richting.

2.1.3 Meetapparatuur

Alle metingen zijn in 2014 en 2022 identiek uitgevoerd met gebruikmaking van de volgende apparatuur:

Tabel 3: Apparatuur.

Apparaat	Merk	Type
Data logger	Profound	Vibra+ sbr
3 kanaals opnamer (X, Y en Z richting)	Profound	Gefoon

3 Resultaten

3.1 Nulsituatie (2015) en projectsituatie (2022) voor de trillingsgevoelige objecten conform de Bts

In bijlage 2 zijn de meetdata grafische weergegeven. In bijlage 3 zijn de analyseresultaten van de maximale trillingssterkte $V_{max,Bts}$ weergegeven.

In tabel 4 is de situatie voor de 2 meetpunten met een bestaande situatie conform de BTS weergegeven. Deze meetpunten werden in 2015 al belast met trillingen van de havenspoorlijn.

In tabel 5 is de situatie voor de 5 meetpunten met een nieuwe situatie conform de BTS weergegeven. Deze meetpunten werden in 2015 nog niet belast met trillingen van de havenspoorlijn.

Tabel 3: Optredende maximale trillingssterktes en reproduceerbaarheid (R-waarde) ten gevolge van een treinpassages in de meetpunten met een bestaande situatie conform de BTS.

Meetpunt	Richting	$V_{max,BTS}$ nulmeting 2015	R-waarde nulmeting 2015	$V_{max,BTS}$ meting 2022	R-waarde meting 2022	Rq	Q (R verwerkt)	Toe- / afname [%]	Toetswaarde $V_{max,BTS}$
1	X	0,41	6,7	0,30	4,1	7,9	0,7	-26,8	+30%
	Y	0,3	5,3	0,24	3,4	6,3	0,6	-20,0	+30%
	Z	0,59	6,5	0,36	5,4	8,5	0,6	-39,0	+30%
2	X	0,2	4,2	0,11	1,9	4,6	0,6	-45,0	+30%
	Y	0,22	6	0,11	3,9	7,2	0,5	-50,0	+30%
	Z	0,17	5,5	0,1	9,3	10,8	0,6	-41,2	+30%

In beide meetpunten met een bestaande situatie conform de BTS is de $V_{max,BTS}$ in 2022 20% tot 50% lager dan in 2015. Hiermee is aangetoond dat de situatie voor [] en [] is verbeterd. Hiermee wordt zeer ruim voldaan aan het toename criterium van maximaal 30% zoals voorspeld door de prognose. Dit wordt verklaard door de trog op pijler constructie (2022) deze heeft een relevant lagere emissie dan de aarden baan (2015) en kan als een trillingsarme constructie worden beschouwd. De gemiddelde trillingssterkte V_{per} is in 2015 vastgesteld $< 0,15$ er is sprake van een afname van de maximale trillingssterkte $V_{max,BTS}$ hiermee is in ook in 2022 de $V_{per} < 0,15$.

Tabel 5: Optredende maximale trillingssterktes en reproduceerbaarheid (R-waarde) ten gevolge van een treinpassages in de meetpunten met een nieuwe situatie conform de BTS.

Meetpunt	Object id*	Richting	Afstand tot hart pijler [m]	Prognose V_{max} 2016	$V_{max,BTS}$ meting 2022	R-waarde meting 2022	streefwaarde A1 $V_{max,BTS}$	grenswaarde A2 $V_{max,BTS}$	plafondwaarde Ap $V_{max,BTS}$	Voldoet A1 / A2 / Ap
3 Steinweg	10581	X	–	–	0,38	2,9%	0,15	0,6	3,2	nee / ja / ja
		Y	–	–	1,90	7,9 %	0,15	0,6	3,2	nee / nee / ja
		Z	0,46	0,46	0,35	5,1 %	0,15	0,6	3,2	nee / ja / ja
4 [redacted]	20963	X	–	–	0,39	6,8%	0,15	0,6	3,2	nee / ja / ja
		Y	–	–	0,49	6,7%	0,15	0,6	3,2	nee / ja / ja
		Z	35,7	0,64	0,18	5,4%	0,15	0,6	3,2	nee / ja / ja
5 Climax	12441	X	–	–	0,10	0,0%	0,15	0,6	3,2	nee / ja / ja
		Y	–	–	0,15	3,1%	0,15	0,6	3,2	nee / ja / ja
		Z	29,8	0,21	0,23	3,1%	0,15	0,6	3,2	nee / ja / ja
6 [redacted]	11718	X	–	–	0,22	3,6%	0,15	0,6	3,2	nee / ja / ja
		Y	–	–	0,47	7,5%	0,15	0,6	3,2	nee / ja / ja
		Z	65,6	0,27	0,20	3,8%	0,15	0,6	3,2	nee / ja / ja

* object identificatie zoals opgenomen in het trillingsonderzoek wat ten grondslag ligt aan het Tracébesluit

In de 3 objecten [redacted], [redacted] en [redacted] met een nieuwe situatie conform de BTS voldoet de $V_{max,BTS}$ in 2022 aan de grenswaarde A2. Bij [redacted] voldoet de $V_{max,BTS}$ in de Y richting niet aan de grenswaarde A2, de $V_{max,BTS}$ in de Y richting voldoet wel aan de plafondwaarde waarboven maatregelen genomen moeten worden. Voor alle 4 de objecten zijn in 2016 maatregelen overwogen omdat de streefwaarde A1 werd overschreden, de beschouwde maatregelen zijn niet doelmatig bevonden. In bijlage 4 is de betreffende maatregelenafweging weergegeven. De metingen in 2022 geven geen aanleiding tot aanvullende maatregelen beschouwing en afwegingen voor de objecten.

De meetwaarde van de $V_{max,BTS}$ in de Z richting varieert van 28 tot 110% ten opzichte van de prognose van de $V_{max,BTS}$ in de Z richting in 2016. Hiermee zijn de meetwaardes gemiddeld in lijn met de prognose uit 2016. Er is een object, [redacted] waarbij de meetwaarde $V_{max,BTS}$ 0,23 10% hoger is dan de prognose, beide waardes voldoen ruim aan de grenswaarde A2. Van de overige objecten is de meetwaarde lager dan de prognose. De metingen in een selectie van de objecten naast het tracé geven op hoofdlijnen een bevestiging van de juistheid van de prognoses uit 2016 en de juistheid van de afwegingen zoals gemaakt in het Tracébesluit voor het gehele tracé.ob

529638

3.2 Objectivering veiligheid van de werkplek conform SBR A

Omdat er bij de 4 objecten [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED] en [REDACTED] hinder maar ook vrees voor de veiligheid van de werkplek is uitgesproken is aanvullend een korte beschouwing voor het risico op schade uitgevoerd conform de SBR A richtlijn. De meting op de begane grond is als een zogenaamde indicatieve meting met een meetpunt op begane grond gebruikt conform de SBR A richtlijn. De meting op de betonvloer op de verdieping van het object is aanvullend als een meting aan de draagconstructie beschouwd conform de SBR A richtlijn.

Tabel 6: Meetwaarden schade en toetsing.

Bedrijf	Object id.	Afstand tot tracé [m]	Meting fundatie	Reken waarde V_d	Rekenwaarde grenswaarde V_r	Voldoet	Meting vloer V_{top}	Reken waarde V_d	Rekenwaarde grenswaarde V_r	Voldoet
[REDACTED]	10561	40,9	X 0,68 Y 0,22 Z 0,67	1,1	3,3	Ja	0,58 4,68 0,64	7,5	26,7	Ja
[REDACTED]	20963	35,7	X 0,19 Y 0,16 Z 0,51 ^b	0,8	3,3	Ja	0,55 1,55 0,30	2,5	26,7	Ja
[REDACTED]	12441	29,8	X 0,48 Y 0,29 Z 0,82 ^a	1,30	3,3	Ja	0,18 0,52 0,82	1,3	26,7	Ja
[REDACTED]	11718	65,6	X 0,14 Y 0,36 Z 0,61 ^b	1,0	3,3	Ja	0,22 1,81 0,68	2,9	26,7	Ja

In tabel 6 zijn de meetwaarden V_{top} , de berekende rekenwaarde V_d en de toetsing aan de rekenwaarde van de grenswaarden voor gebouwschade V_r weergegeven.

Voor een herhaald kortdurende trillingsbron als een passage van een trein is een veiligheidsfactor van 1,5 toegepast op de grenswaarde. Een meting op de begane grond in een punt is een zogenaamde indicatieve meting, hiervoor is een veiligheidsfactor van 1,6 toegepast op de meetwaarde.

$$V_d = 1,6 \cdot V_{top}$$

De objecten zijn als een type 1, draagconstructie van gewapend beton danwel staal geclassificeerd. Er zijn bij alle objecten muurtjes van gemetseld stenen aanwezig, onbekend is of deze dragende functies hebben. Veiligheidshalve zijn derhalve de grenswaarden van een type 2 object gehanteerd. Een type 2 object heeft lagere grenswaarden. Hiermee wordt een worst case benadering gevolgd.

Voor alle objecten geldt, de rekenwaarde V_d in het meetpunt op de fundatie en in het meetpunt in de betonvloer voldoet in alle gevallen ruim aan de rekenwaarde van de grenswaarde V_r . Op basis van de metingen en de gehanteerde worst case benadering voor de grenswaardes is er derhalve geen sprake van een verhoogde kans op schade. Hiermee is aangetoond dat de door werknemers benoemde vrees voor de veiligheid van de werkplek ongegrond is, in alle 4 de objecten op basis van de meetdata.

3.3 Maatregelenafweging conform Bts

De opleveringsmetingen hebben aangetoond dat in de objecten [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED] en [REDACTED] de A1 streefwaarden overschreden maar zijn lager dan 3,2.

De opleveringsmetingen hebben aangetoond dat in de objecten [REDACTED] en [REDACTED] er geen toename groter dan 30% is.

Dit houdt in dat op basis van artikel 8 lid 3 mitigerende maatregelen ten aanzien van de beperking van V_{max} dient te worden onderzocht voor [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED] en [REDACTED]

Voor object [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED] en [REDACTED] zijn in 2016 in het TB al mitigerende maatregelen onderzocht. De objecten [REDACTED] en [REDACTED] zijn in 2016 getoetst en voldoen aan de streef- en grenswaarden en is maatregelen afweging daarom niet nodig geweest.

In bijlage 5 is het hoofdstuk Maatregelen uit de rapportage "(O)TB Theemswegtracé MD-AF20150603 11/EindFinale versie 18 mei 2016 van RHDHV" zoals bijgevoegd bij het Tracébesluit weergegeven hierin zijn voor [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED] en [REDACTED] de maatregelen weergegeven.

"Indien uit de opleveringstoets blijkt dat er op grond van de daarbij vastgestelde trillingssterkte aanleiding zou zijn geweest voor het treffen van maatregelen indien die trillingssterkte was meegenomen in de plansituatie of dat de getroffen maatregelen onvoldoende effectief zijn, worden maatregelen of aanvullende maatregelen getroffen".

Volgens artikel 9 lid 1 *"Het treffen van maatregelen, voorgeschreven ingevolge de artikelen 5, tweede lid, 6, tweede en derde lid, 7, tweede en derde lid, en 8, derde lid, kan achterwege blijven indien de maatregelen niet doelmatig zijn. In de toelichting bij het Tracébesluit of, indien van toepassing, de opleveringstoets wordt het achterwege laten van een maatregel gemotiveerd."*

Volgens artikel 9 lid 2

"Het treffen van maatregelen blijft niet achterwege als de V_{max} zonder maatregelen meer dan 3,2 bedraagt."

De meetwaardes $V_{max,BTS}$ Voor object [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED] en [REDACTED] zijn lager dan 3,2. Voor de objecten [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED] en [REDACTED] is in 2016 reeds aangetoond dat mitigerende maatregelen conform artikel 9 lid 1 niet doelmatig zijn. Nu de meetwaardes lager zijn dan 3,2 wordt vastgesteld dat de niet doelmatige maatregelen niet hoeven worden te uitgevoerd. Aanvullende maatregelen onderzoek en afwegingen naar aanleiding van de opleveringstoets is niet nodig.

De objecten [REDACTED] en [REDACTED] voldoen er zijn geen aanvullende maatregelen afwegingen nodig, omdat de metingen aantonen dat zoals geprognotiseerd de toename minder is dan 30%.

Aanvulling verhoging stijfheid horizontale vlak

Bij [REDACTED] [REDACTED] en [REDACTED] zijn de horizontale trillingen maatgevend. Dit is afwijkend van de aanname die ten grondslag ligt aan de beschouwde maatregelen zoals weergegeven in bijlage 5. Bij het opstellen van de tekst zoals weergegeven in bijlage 5 in 2016 was de aanname dat de verticale trillingen maatgevend zijn. Daarom is nu, alhoewel dat in formele zin niet nodig is, een inhoudelijke aanvulling gericht op de horizontale trillingen gemaakt.

Er is onderscheid gemaakt tussen drie soorten maatregelen:

- Maatregelen aan de bron.
- Maatregelen in de overdracht.
- Maatregelen bij de ontvanger.

Voor de horizontale trillingen is voor de maatregelen aan de ontvanger een aanvulling nodig. De maatregelen aan de bron en in de overdracht zijn identiek. Er zijn geen doelmatige maatregelen aan de bron en in de overdracht. De horizontale trillingen zijn alleen op te lossen met maatregelen aan de gebouwen.

Om horizontale trillingen te reduceren dient de stijfheid in het horizontale vlak te worden verhoogd van de hoofddraagconstructie met behulp van stalen hulpconstructies tussen verdiepingen. In de tekst in bijlage 5 zijn alleen vloerverstevigingen om de verticale trillingen te reduceren beschreven.

Afweging verhogen stijfheid hoofddraagconstructies in het horizontale vlak

De kantoren met een overschrijding bestaande uit 3 verdiepingen. De hoofddraagconstructie bestaat uit gewapend beton en of staal. Het verstijven van de buitenwand of de hoofddraagconstructie gebeurt door het aanbrengen van extra stalen hulpconstructies tussen de betonvloeren. De hulpconstructies wordt binnen het gebouw aangebracht zodat het gebouw visueel van buiten niet veranderd. Binnen is er lokaal een zeker ruimtebeslag. Er zullen naast de bestaande kolommen extra stralen constructies tussen de voervelden worden geplaatst die worden afgetimmerd, deze nemen ruimte in beslag. Voor de directe kosten van een verstijving inclusief afwerking ter hoogte van de buitenwand wordt per strekkende meter buitenwand per bouwlaag een kostenpost indicatief geschat van ca. 2000 - 4.000 euro. Specifieke inpassingen in het gebouw van de hulpconstructies kunnen aanleiding geven tot significante afwijkingen.

In tabel 7 zijn de kosten van verhoging stijfheid en de budgetten doelmatigheids criterium per object weergegeven.

Tabel 7: Afweging verhoging stijfheid en budget doelmatige maatregelen Theemswegtracé.

Object	Aantal werkplekken in object	Normbedrag €	Budget conform doelmatigheids criterium	Bouwlagen	Buitenwand lengte per bouwlaag [m]	Kosten maatregel
Kantoor [REDACTED]	84	500	42.000	3	3x120=360 m	720.000 – 1.420.000
Kantoor [REDACTED] (pandid 20963)	63	500	31.500	3	3x100=300 m	600.000 – 1.200.000
Kantoor [REDACTED] (pandid 11718)	30	500	15.000	3	3x 130 = 390 m	780.000 – 1.560.000

Verhogen stijfheid hoofd draagconstructies in het horizontale vlak is op objectniveau een kostbare oplossing. Conclusie is deze mitigerende maatregel gaat bij alle kantoren het maximale bedrag voor doelmatige maatregelen ver te boven.

4 Conclusie

In het project TWT is in 6 objecten een opleveringstoets uitgevoerd op basis van metingen conform de BTS. Op basis van de meetdata worden de volgende conclusies geformuleerd.

De opleveringsmetingen hebben aangetoond dat in de objecten [REDACTED], [REDACTED], [REDACTED] en [REDACTED] de A1 streefwaarden zoals voorspeld door de prognose wordt overschreden, maar zijn lager dan 3,2. De opleveringsmetingen hebben aangetoond dat in de objecten [REDACTED] en [REDACTED] er geen toename groter dan 30% is. Dit houdt in dat op basis van artikel 8 lid 3 mitigerende maatregelen ten aanzien van de beperking van V_{max} dient te worden onderzocht voor [REDACTED], [REDACTED], [REDACTED] en [REDACTED]. Deze maatregelen zijn al onderzocht in 2016. Voor deze objecten is in 2016 aangetoond dat mitigerende maatregelen conform artikel 9 lid 1 niet doelmatig zijn. Nu de meetwaarden lager zijn dan 3,2 wordt vastgesteld dat de niet doelmatige maatregelen ook definitief niet hoeven te worden uitgevoerd.

Samenvattend wordt geconcludeerd dat de meetdata van de opleveringstoets voldoet aan de normstelling conform de Bts, volgens artikel 8 lid 3 van de Bts hoeven er geen maatregelen of aanvullende maatregelen te worden onderzocht afgewogen of uitgevoerd.

Bij [REDACTED], [REDACTED] en [REDACTED] zijn de horizontale trillingen maatgevend. Dit is afwijkend van de aanname die ten grondslag ligt aan de beschouwde maatregelen zoals weergegeven in bijlage 5. Bij het opstellen van de tekst zoals weergegeven in bijlage 5 in 2016 was de aanname dat de verticale trillingen maatgevend zijn. Daarom is nu, alhoewel dat in formele zin niet nodig is, een inhoudelijke aanvulling gericht op de horizontale trillingen gemaakt. Deze aanvullende mitigerende maatregel is niet doelmatig bevonden. De meetwaarde van de $V_{max,BTS}$ in de Z richting varieert van 28 tot 110% ten opzichte van de prognose van de $V_{max,BTS}$ in de Z richting in 2016. Hiermee zijn de meetwaarden in lijn met de prognose uit 2016. De metingen in een selectie van de objecten naast het tracé geven op hoofdlijnen een bevestiging van de juistheid van de prognoses uit 2016 en daarmee de juistheid van de afwegingen zoals gemaakt in het Tracébesluit voor het gehele tracé.

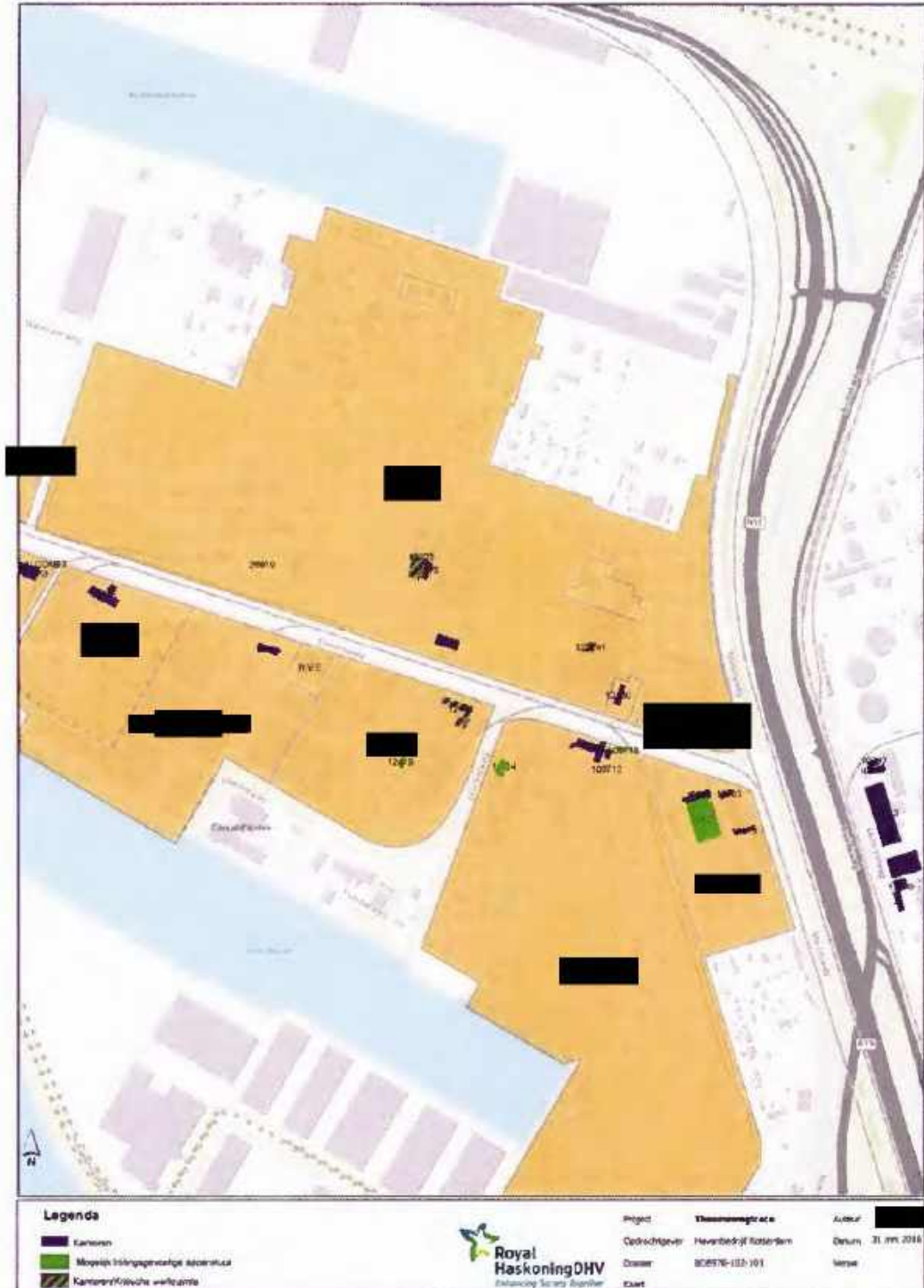
Voor de objecten [REDACTED], [REDACTED], [REDACTED] en [REDACTED] geldt, de rekenwaarde V_d in het meetpunt op de fundatie en in het meetpunt in de betonvloer voldoet in alle gevallen ruim aan de rekenwaarde van de grenswaarde V_r . Op basis van de metingen en de gehanteerde worst case benadering voor de grenswaardes is er derhalve geen sprake van een verhoogde kans op gebouwschade door de trillingen tgv de treinen. Hiermee is aangetoond dat de door enkele werknemers benoemde vrees voor de veiligheid van de werkplek ongegrond is in alle 4 de objecten.

BIJLAGE 1 Locaties van de metingen

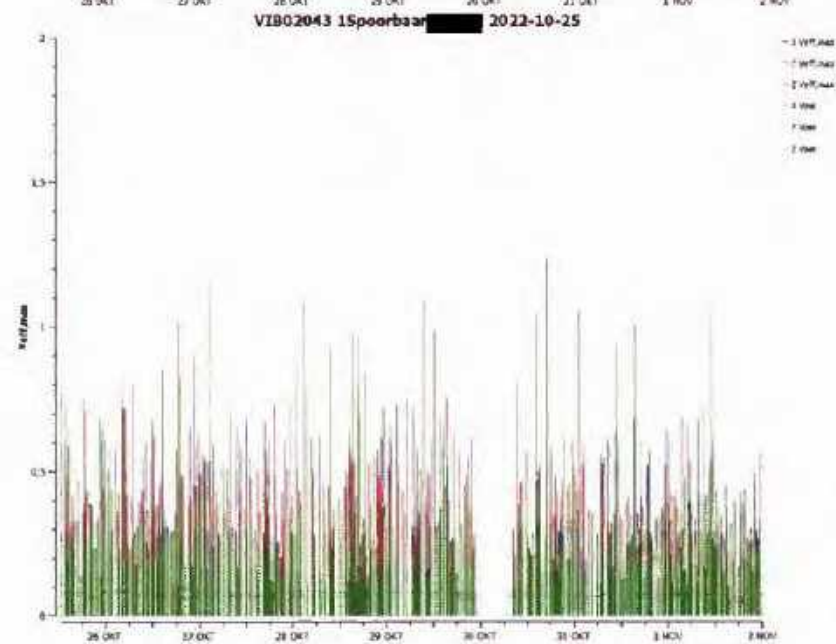
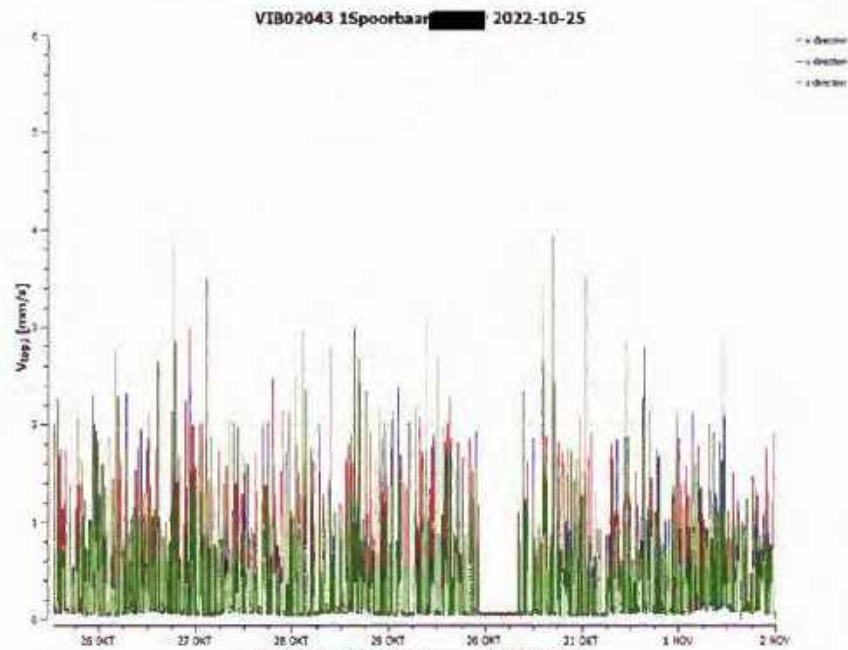
Kantoren, mogelijk trillingsgevoelige apparatuur en kritische werkruimte TWT

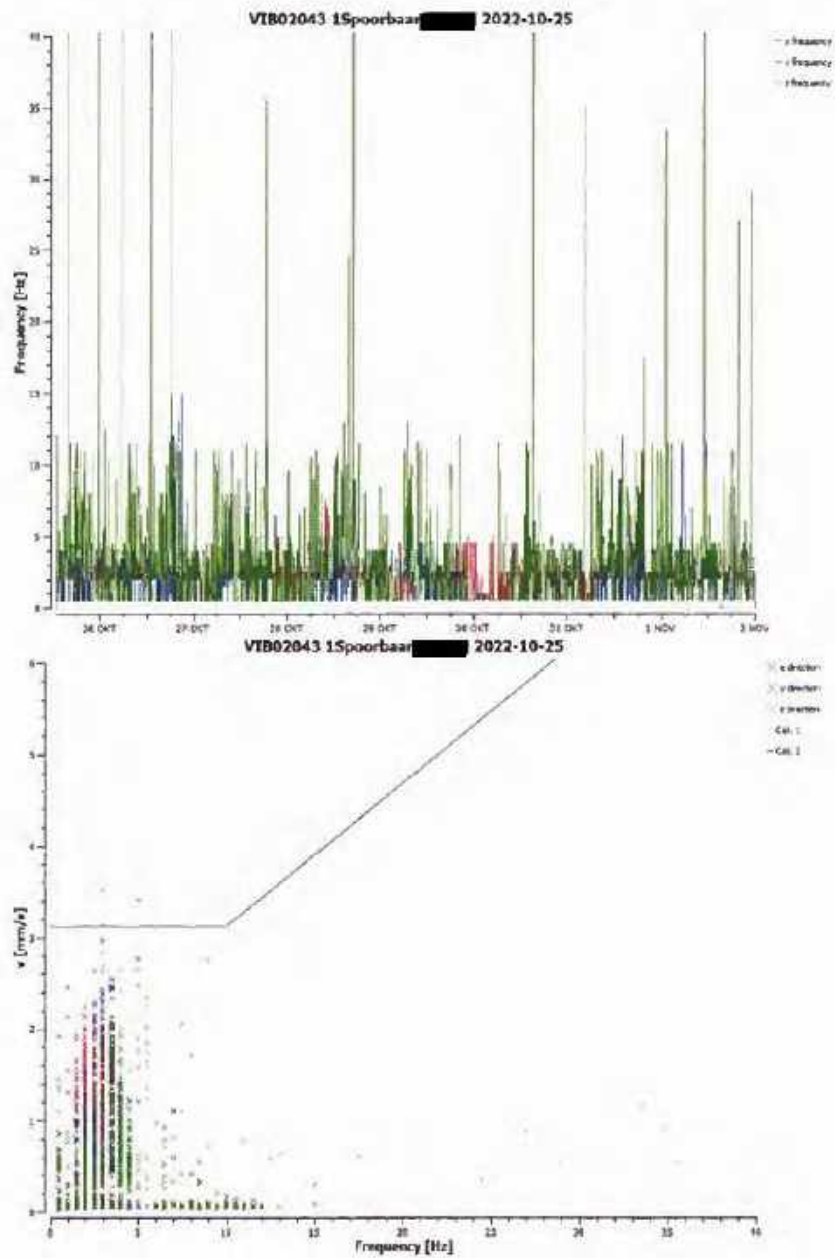


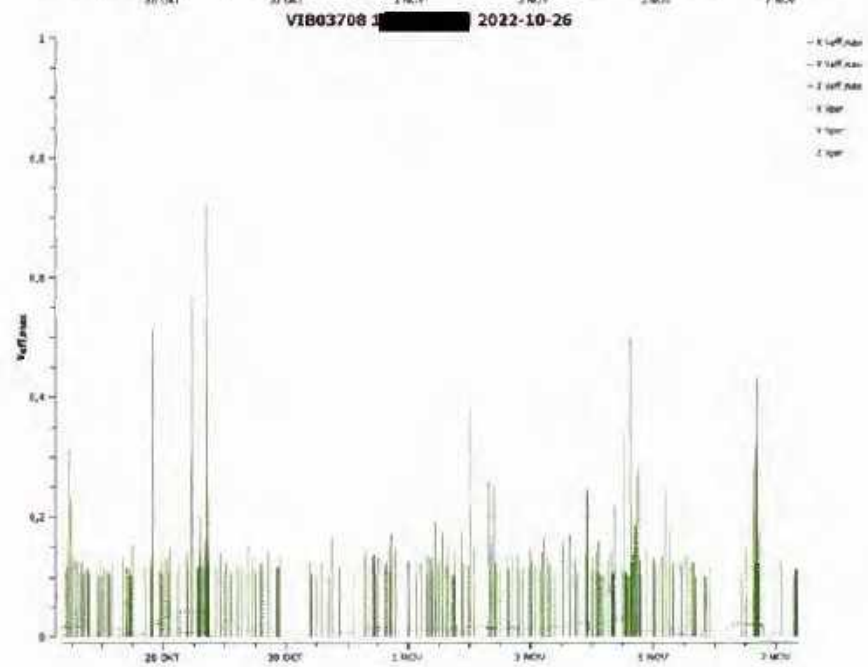
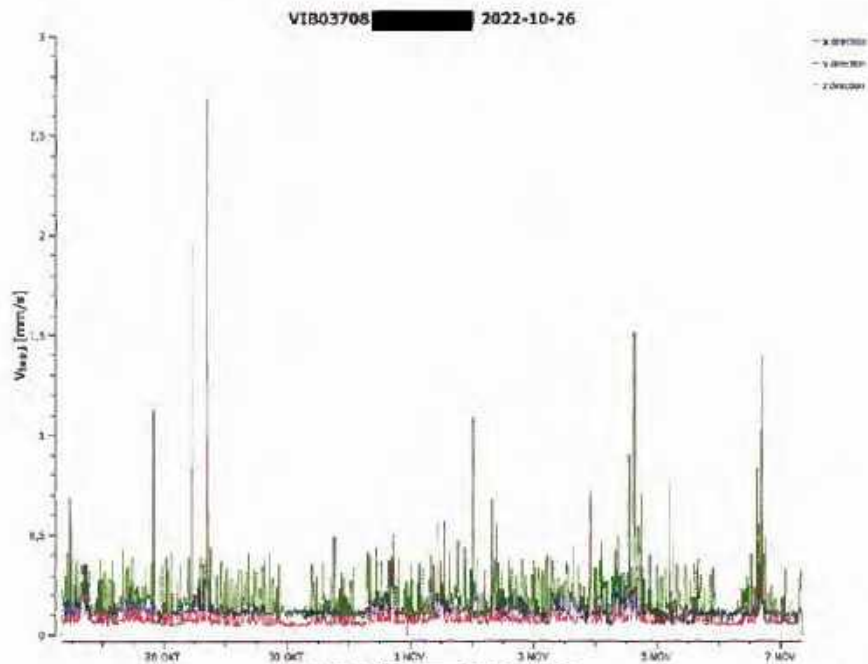
Kantoren, mogelijk trillingsgevoelige apparatuur en kritische werkruimte TWT

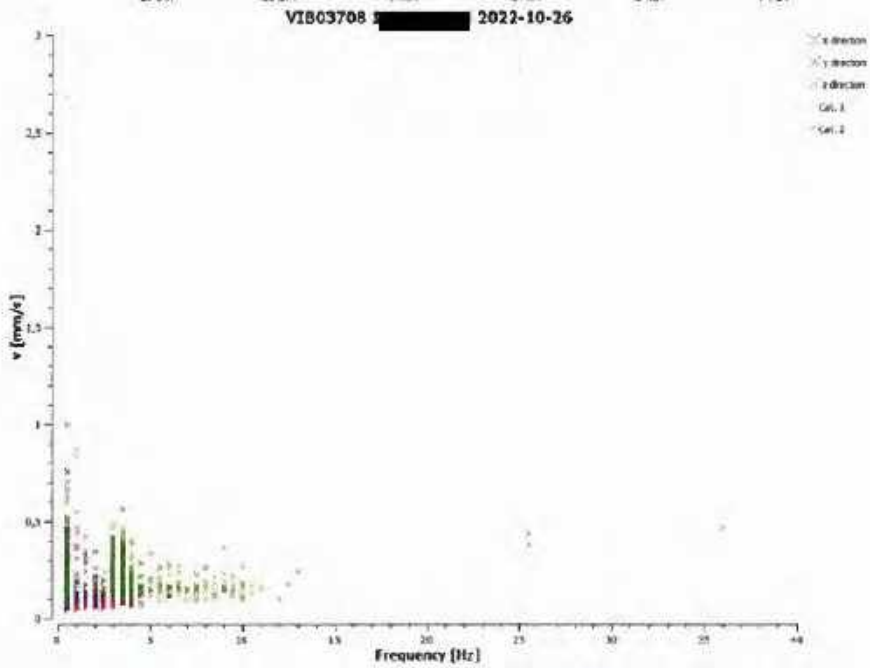
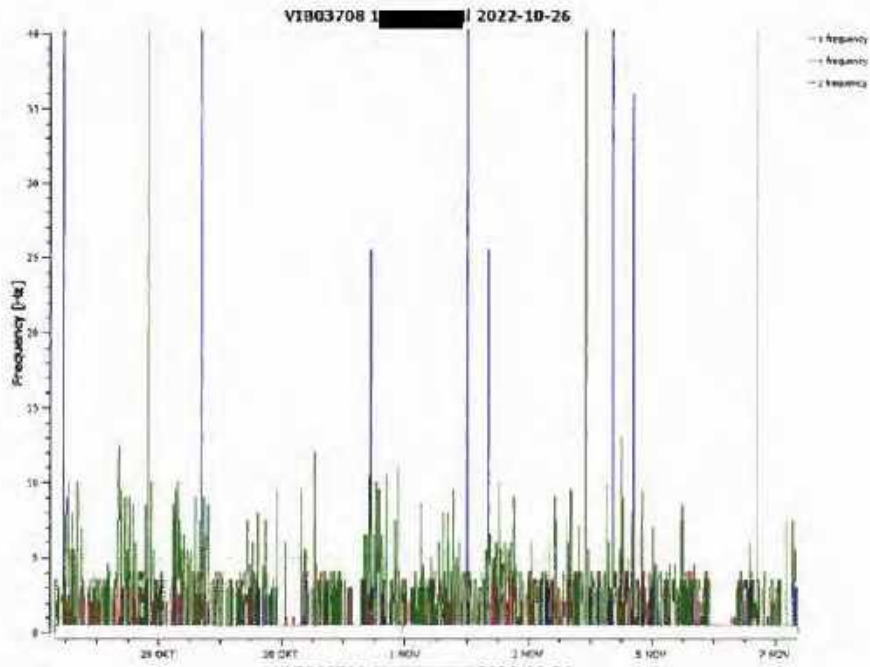


BIJLAGE 2 Grafische weergave meetdata

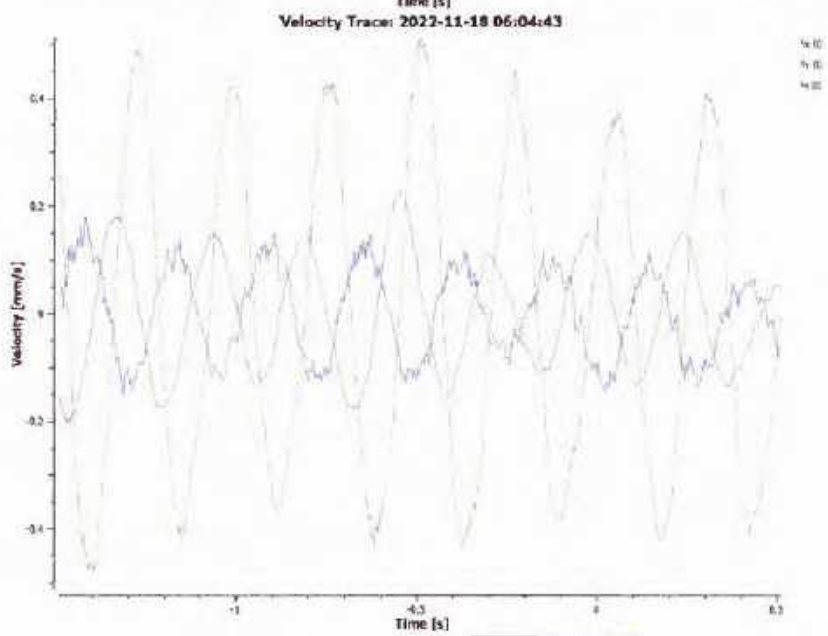
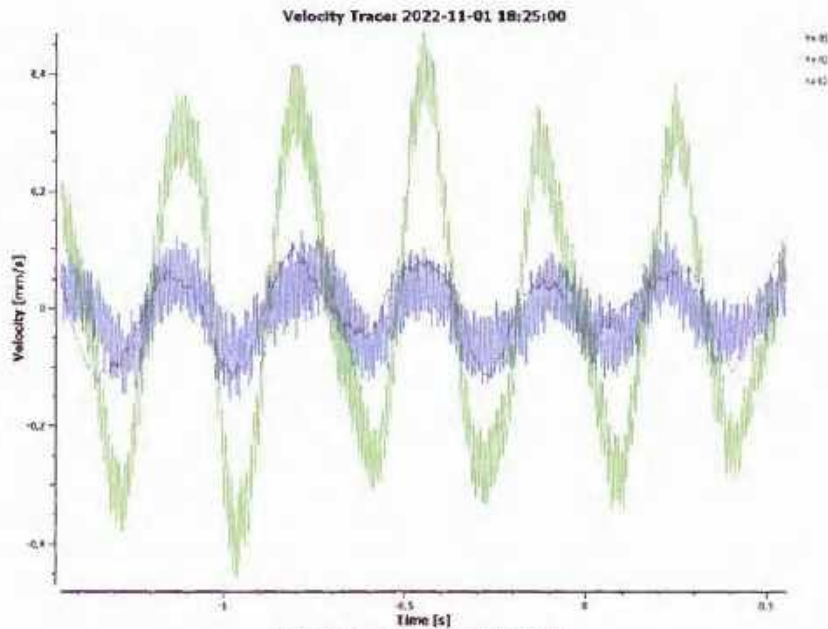




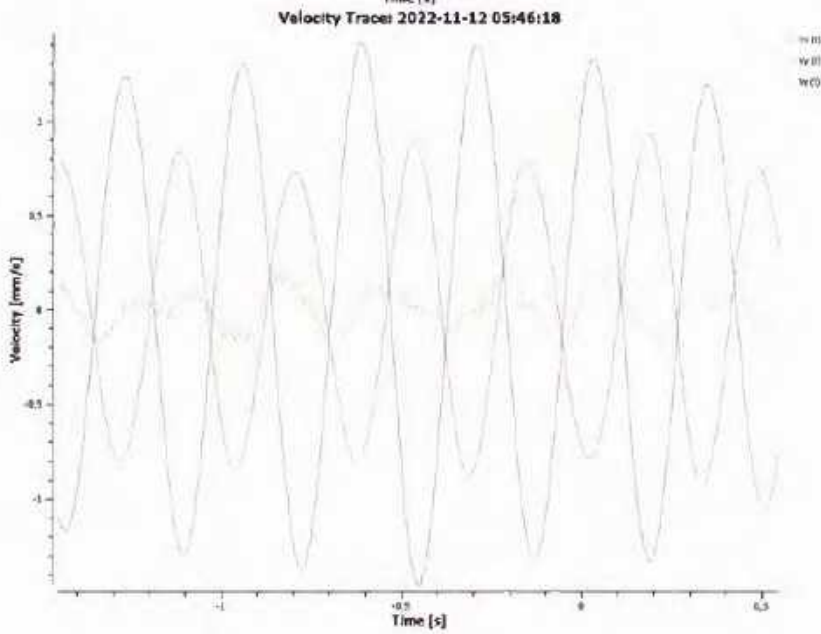
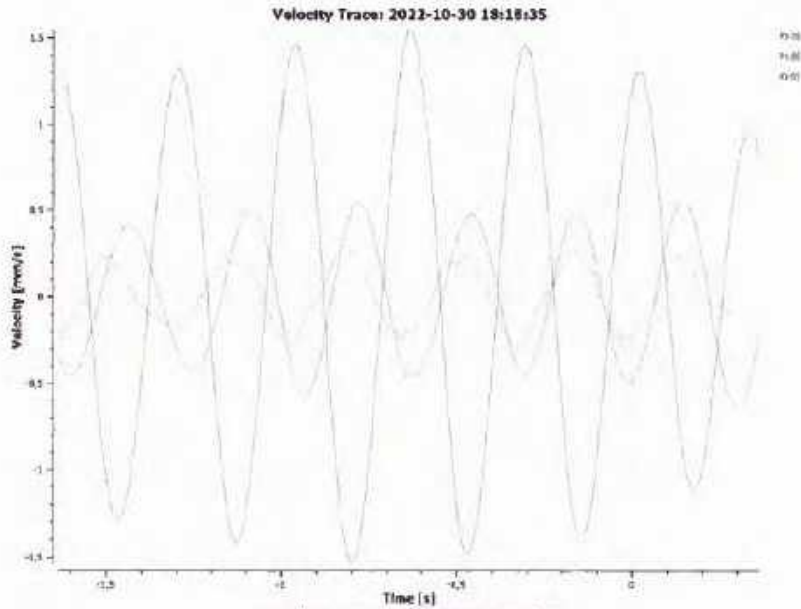


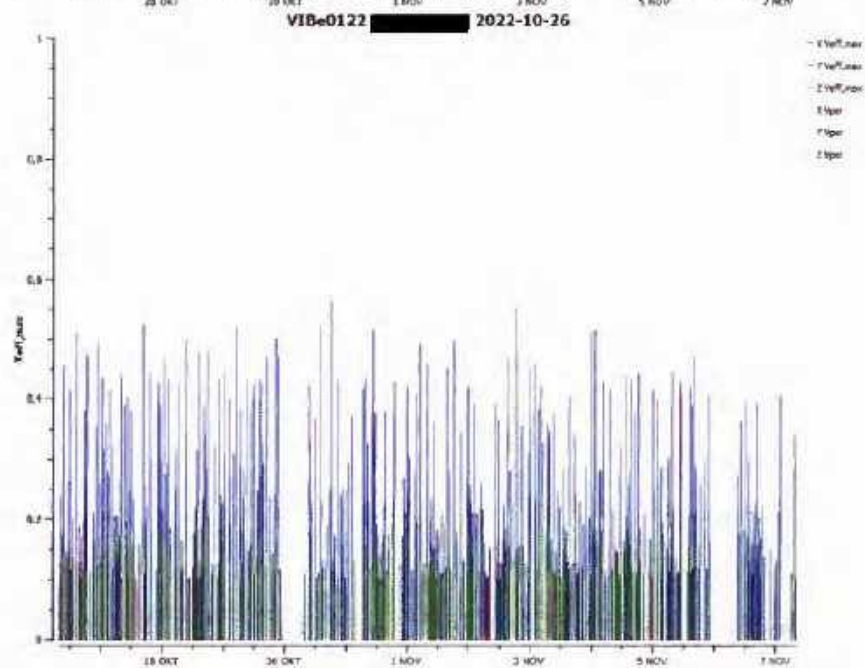
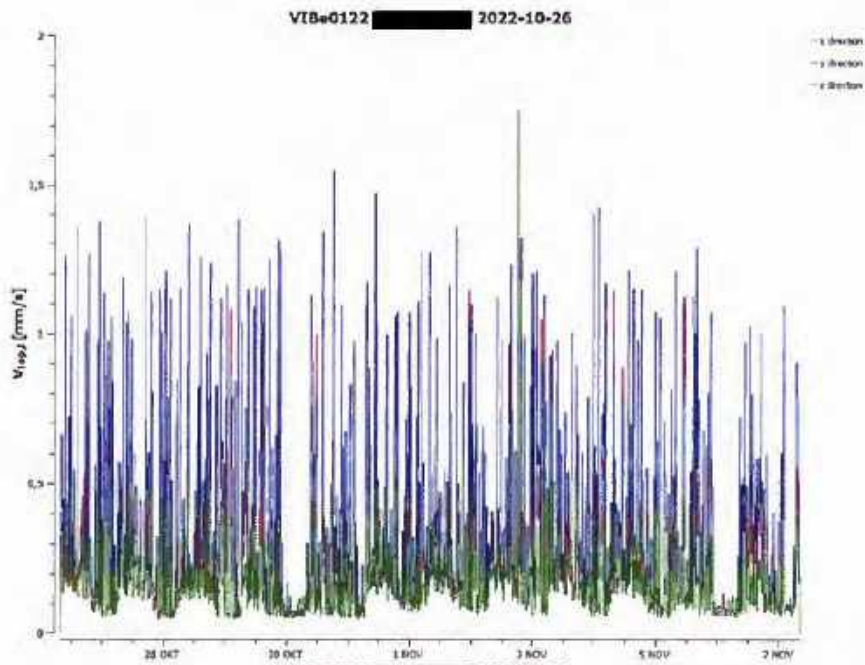


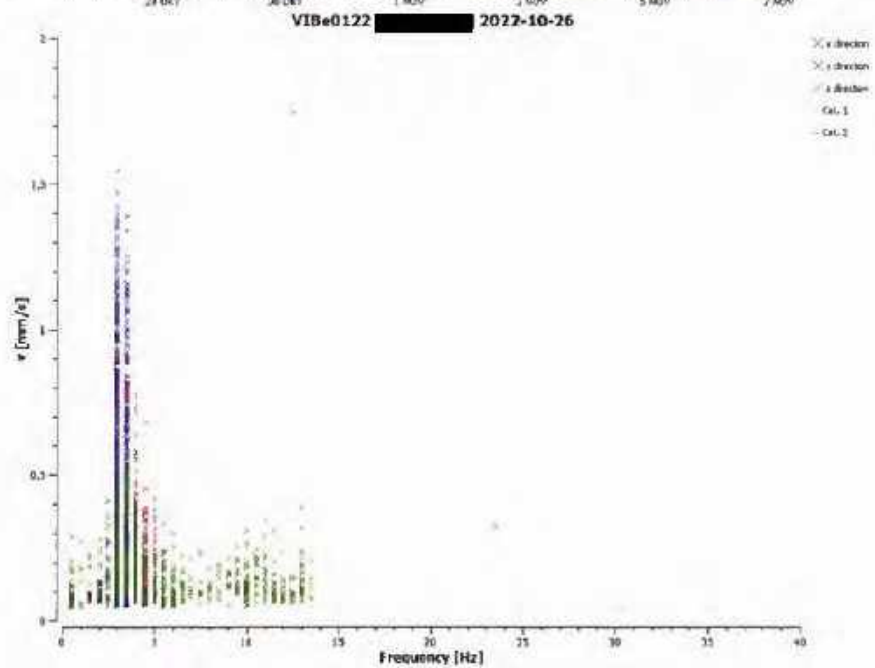
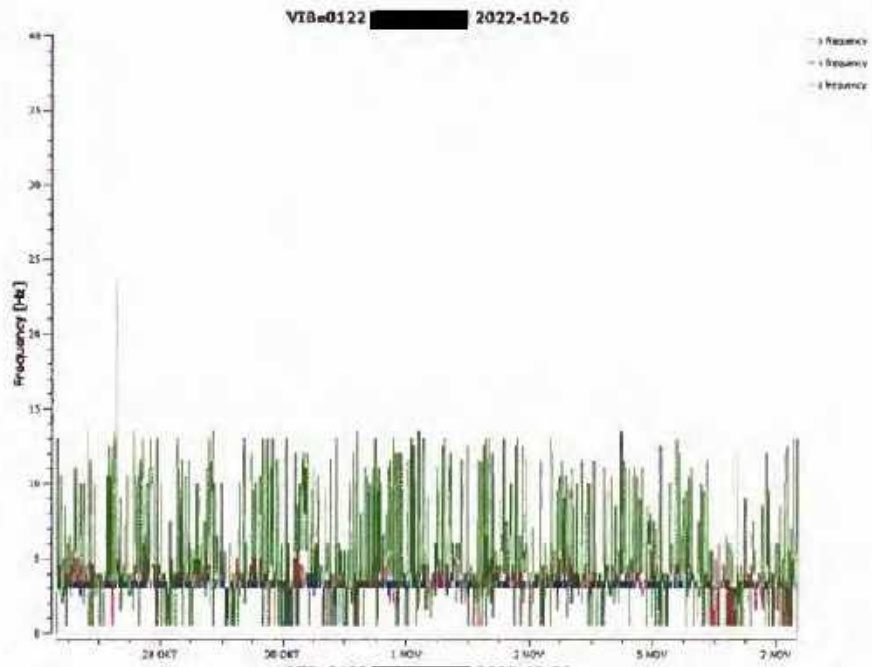
[REDACTED] GEVEL

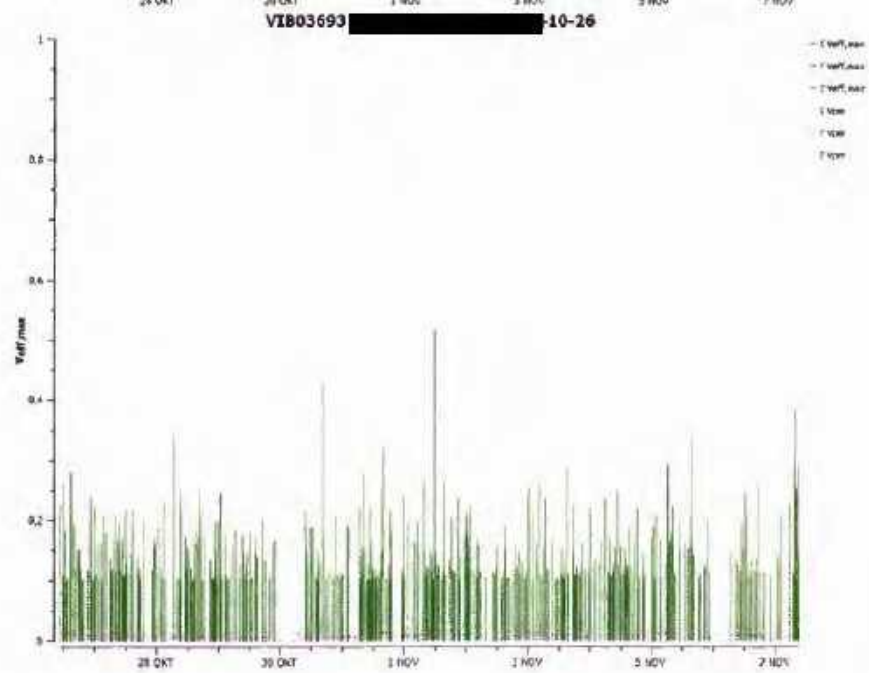
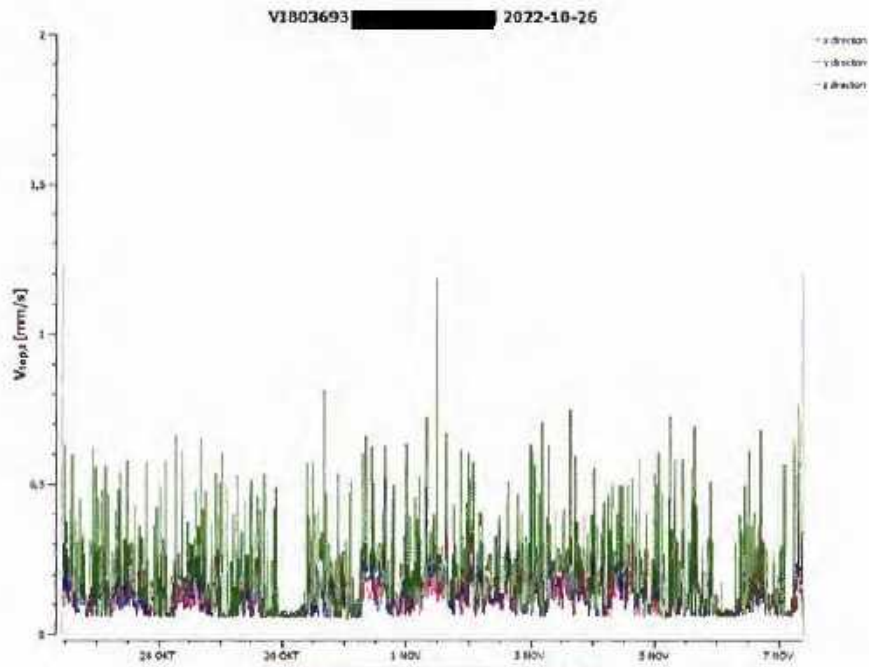


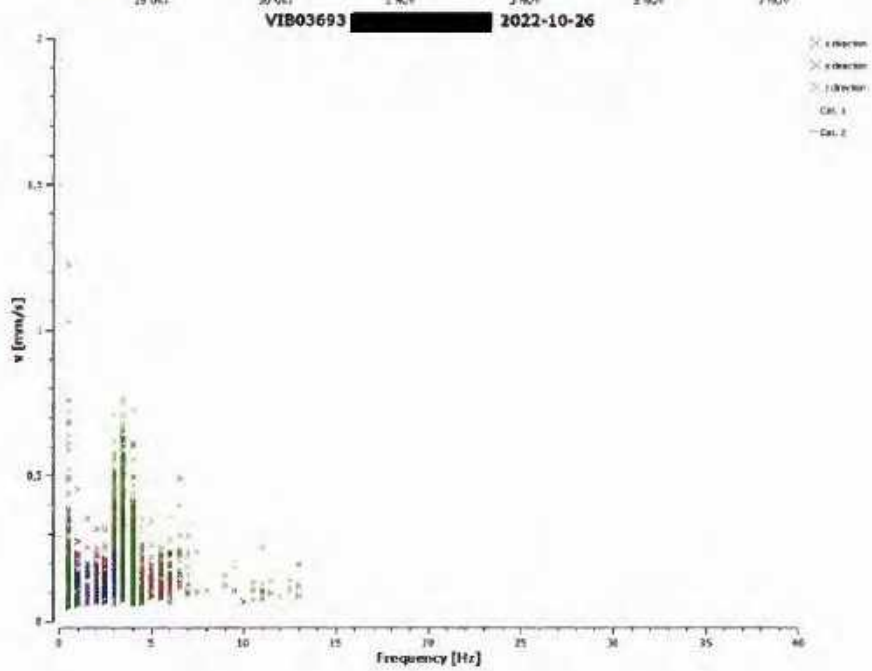
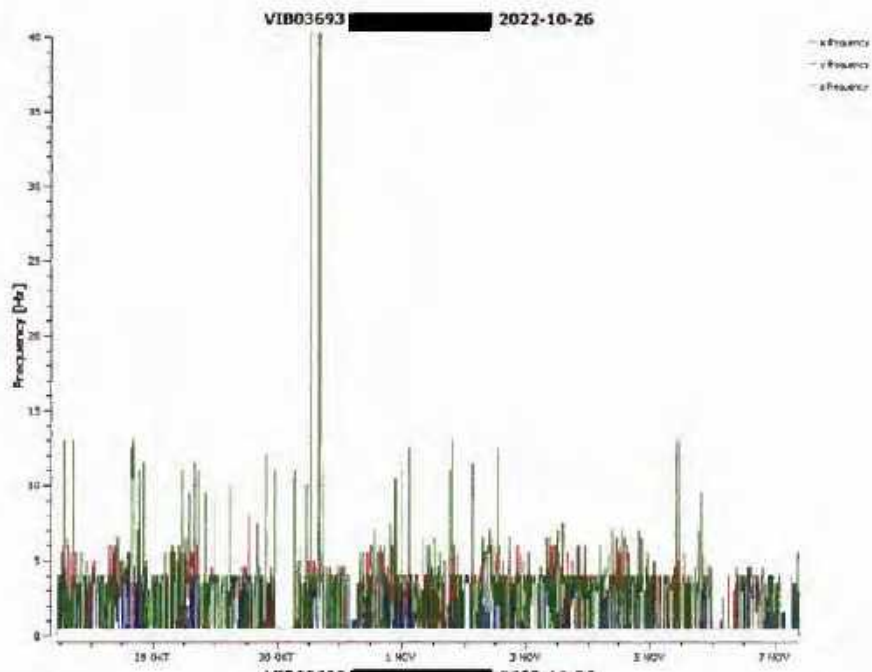
■ VLOER

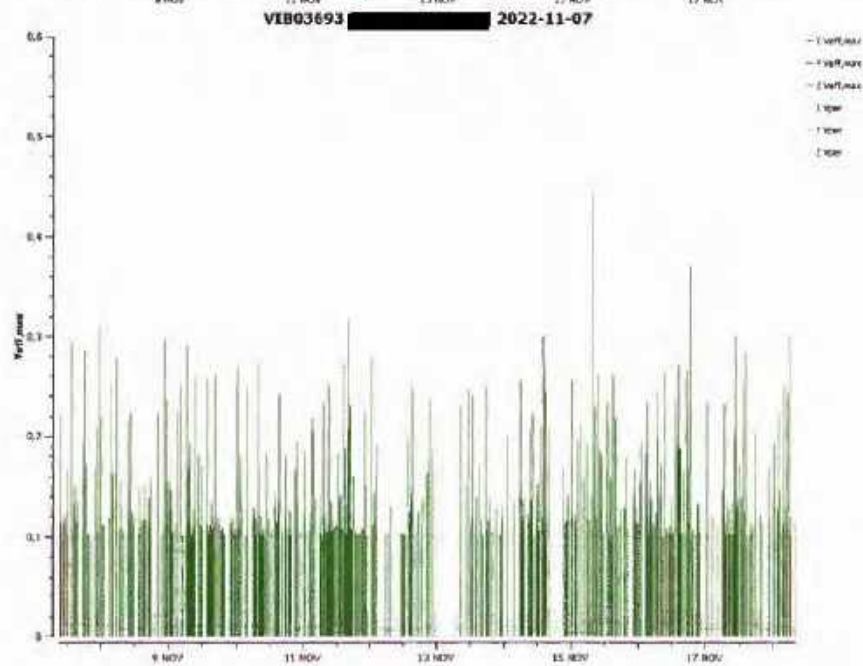
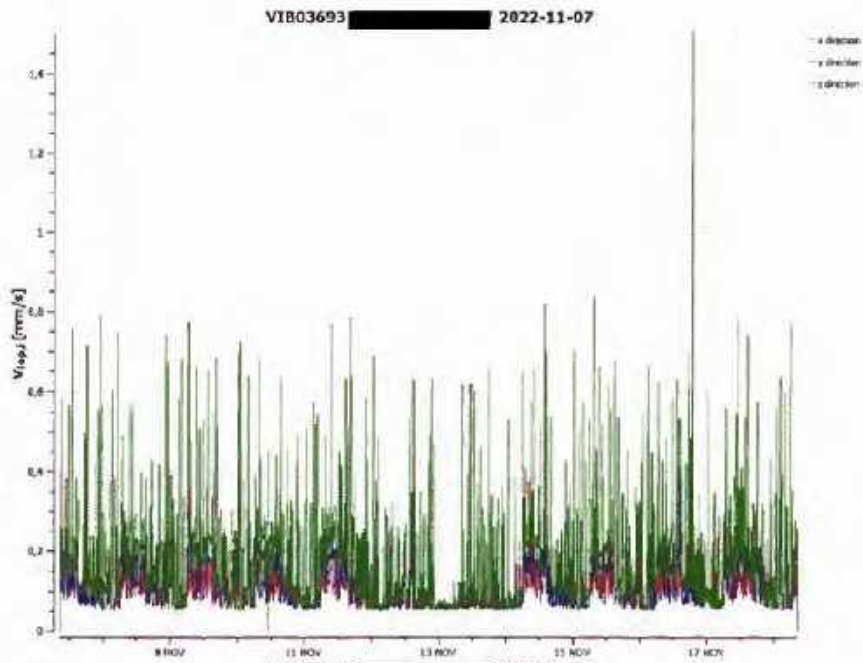


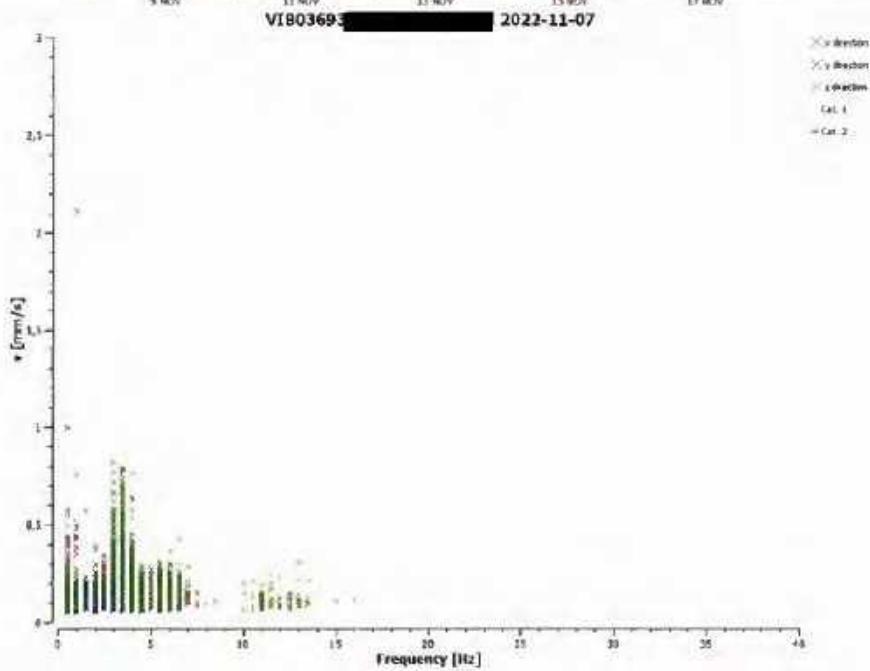
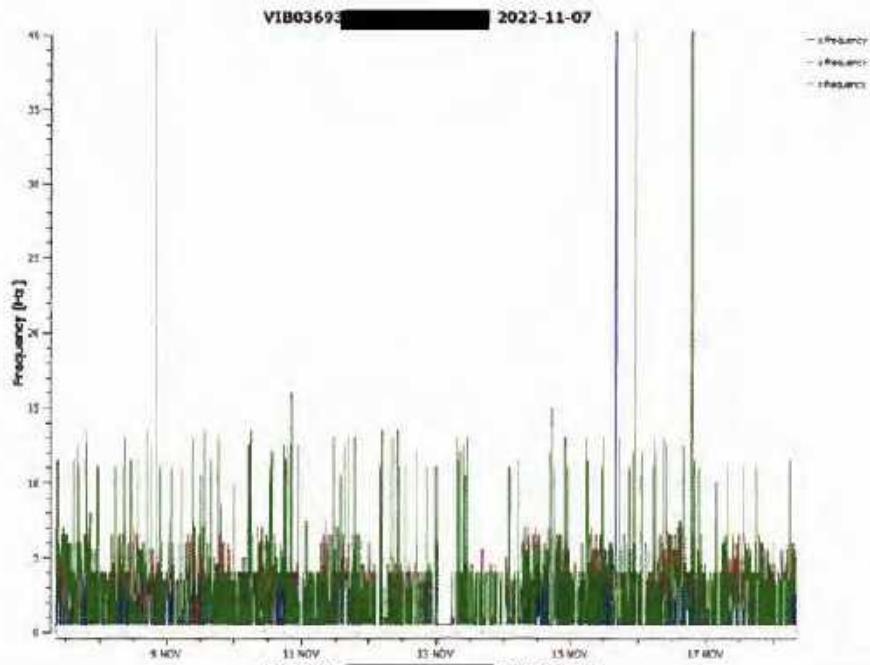


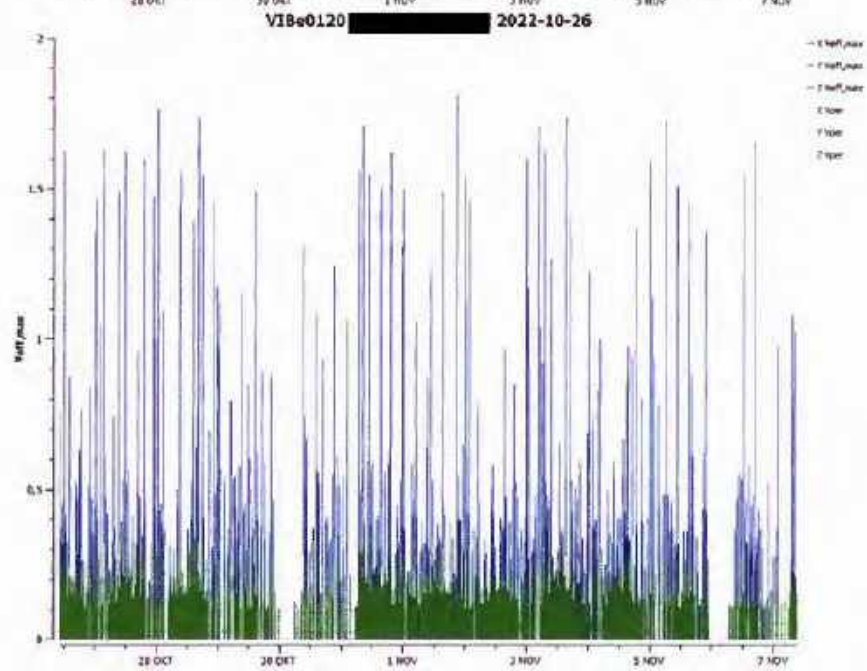
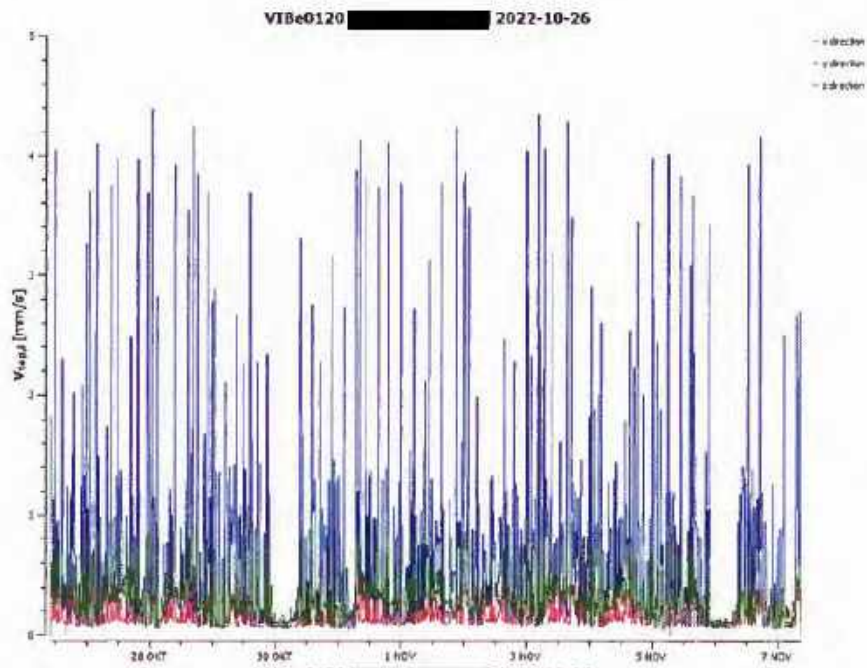


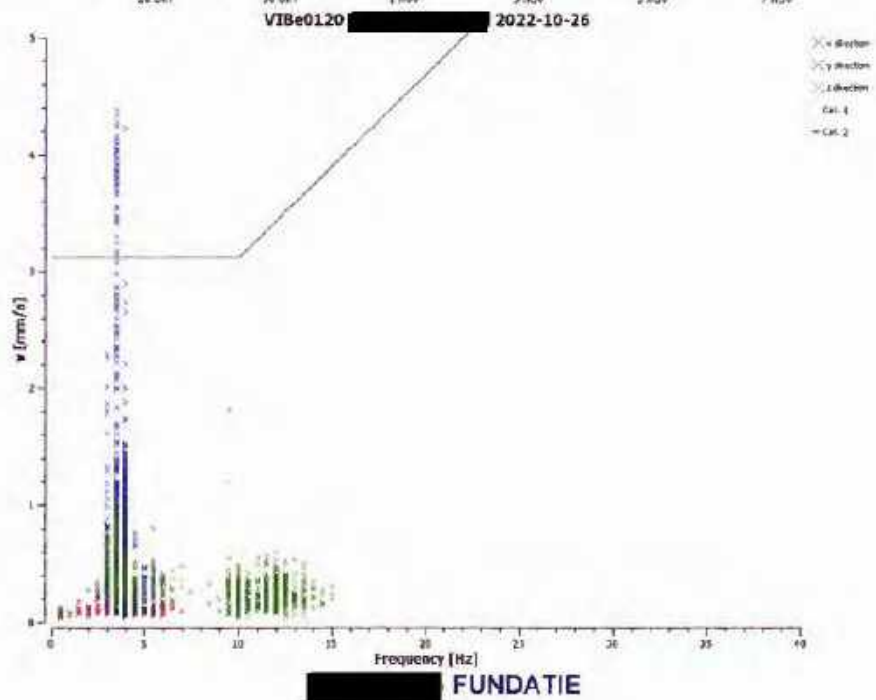
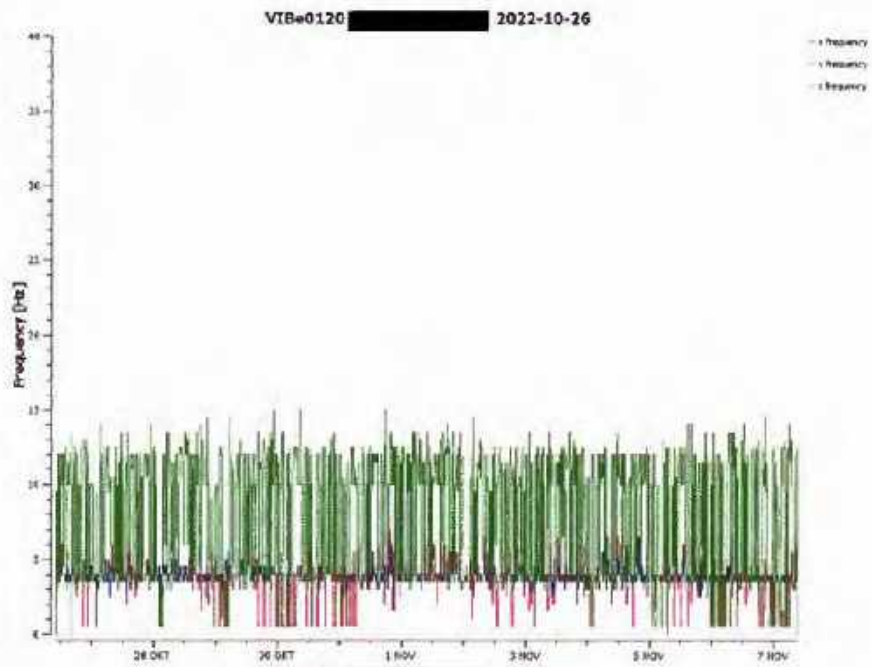


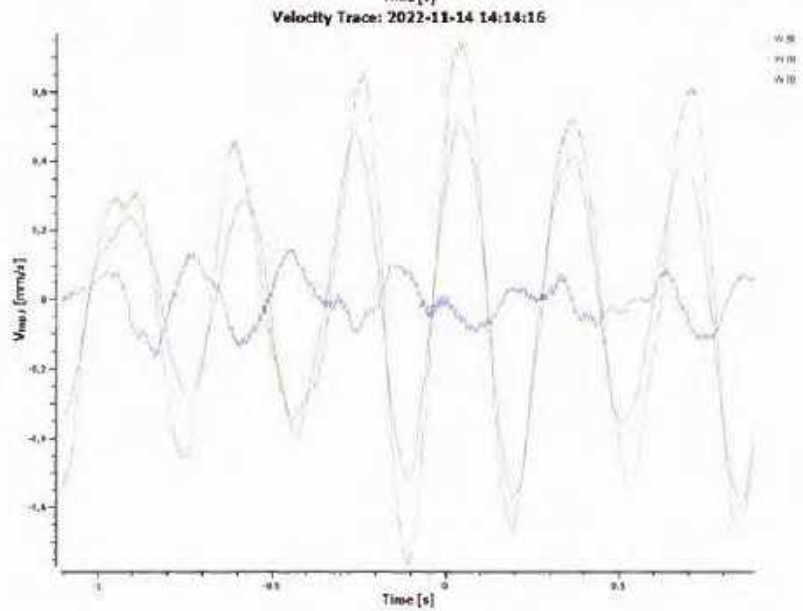
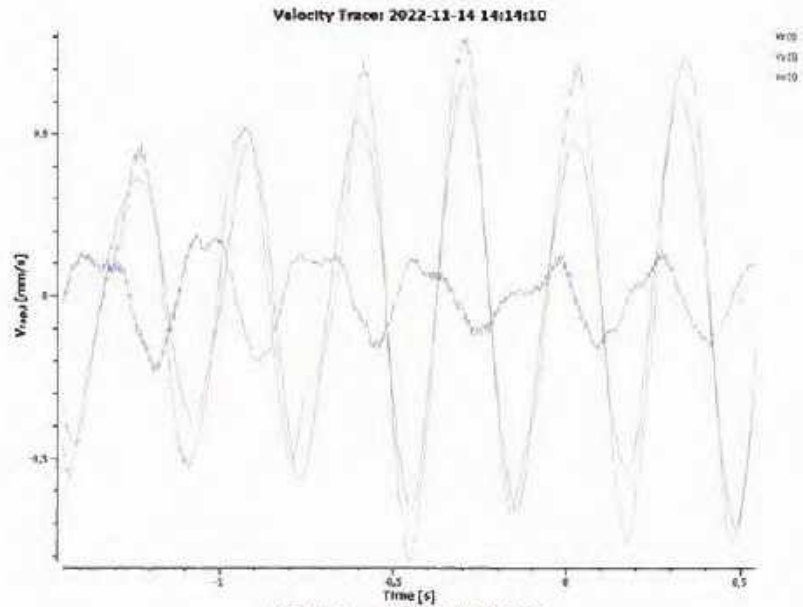




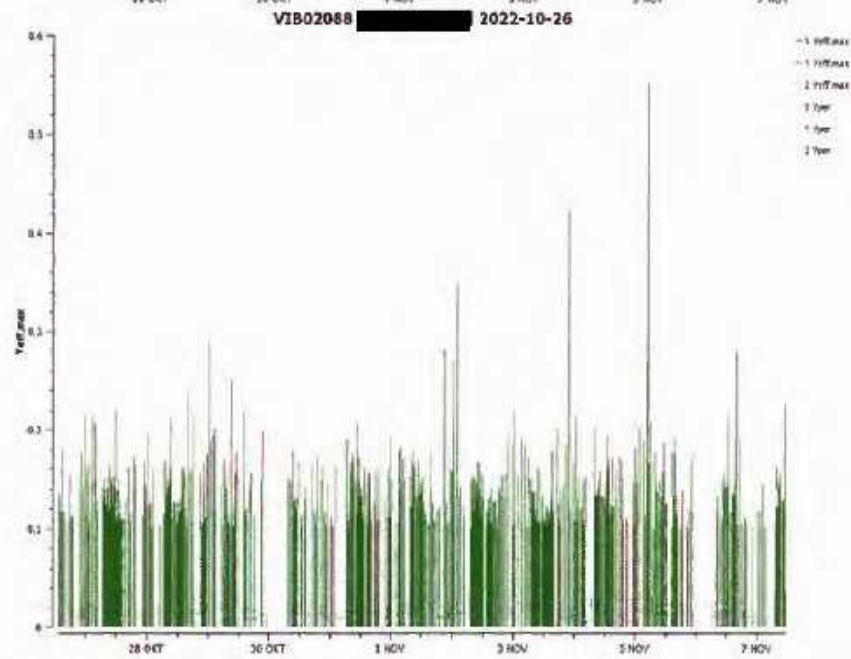
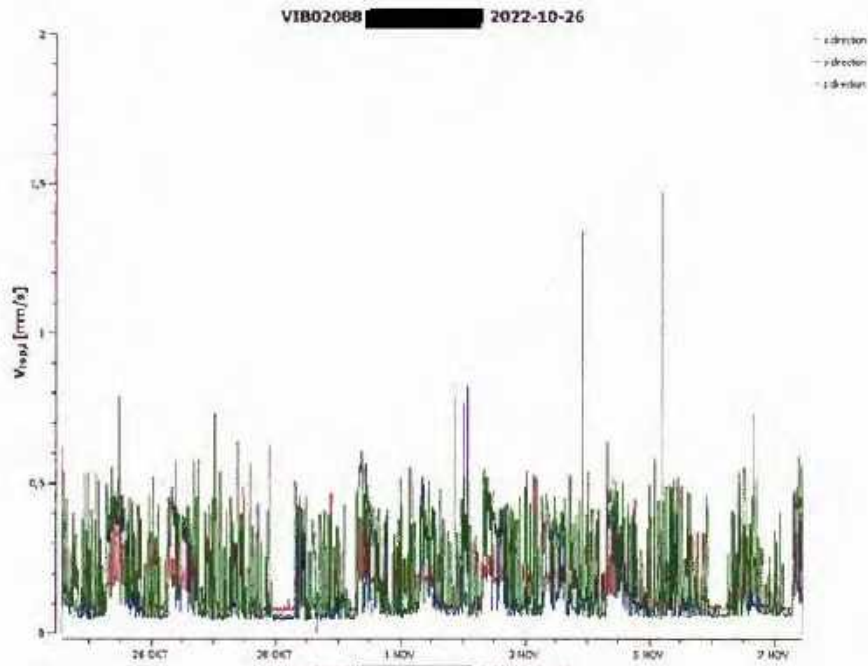


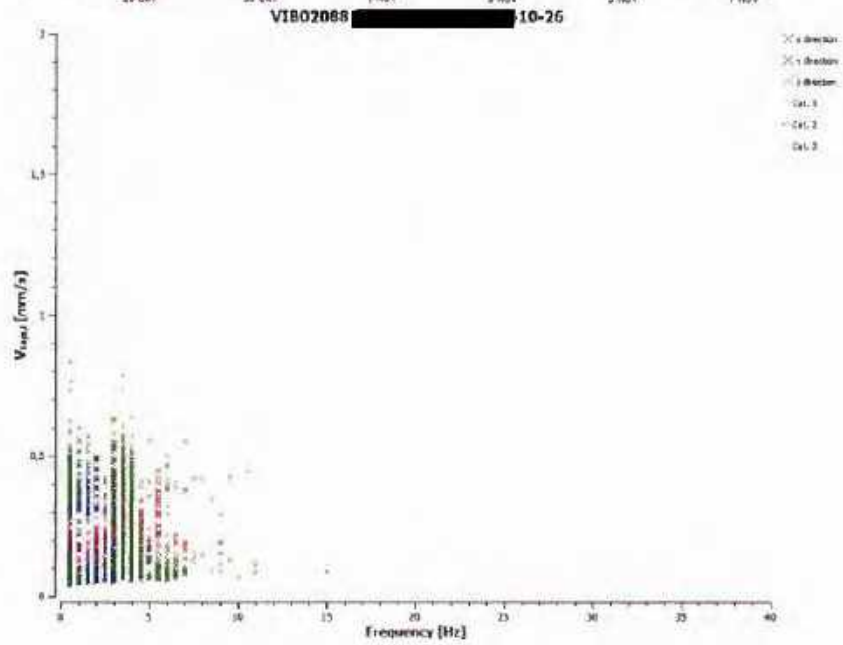
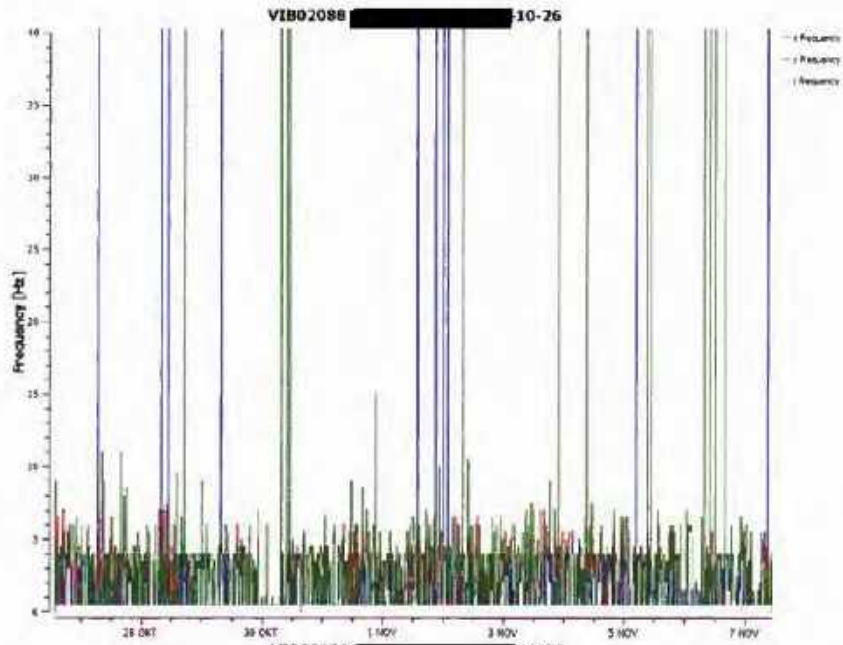


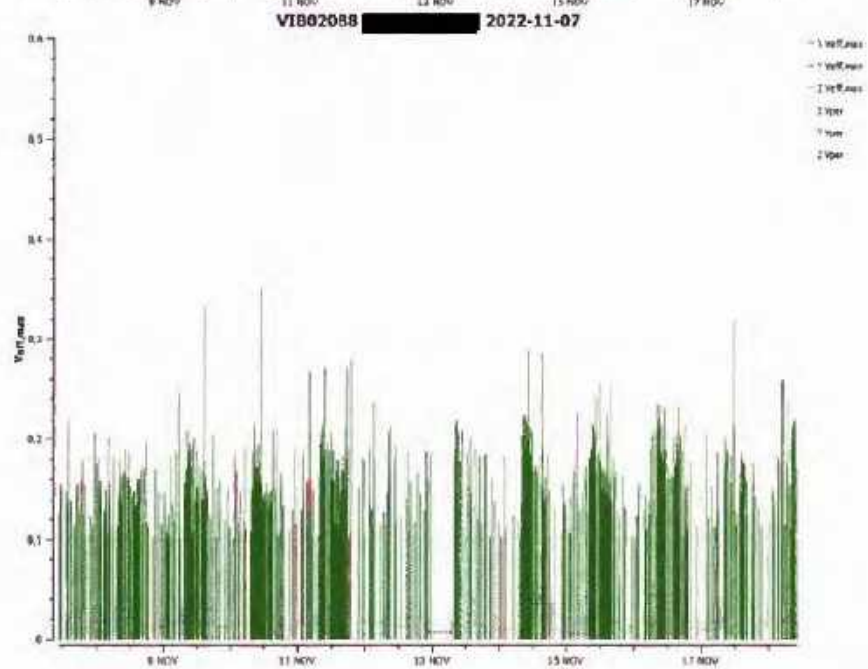
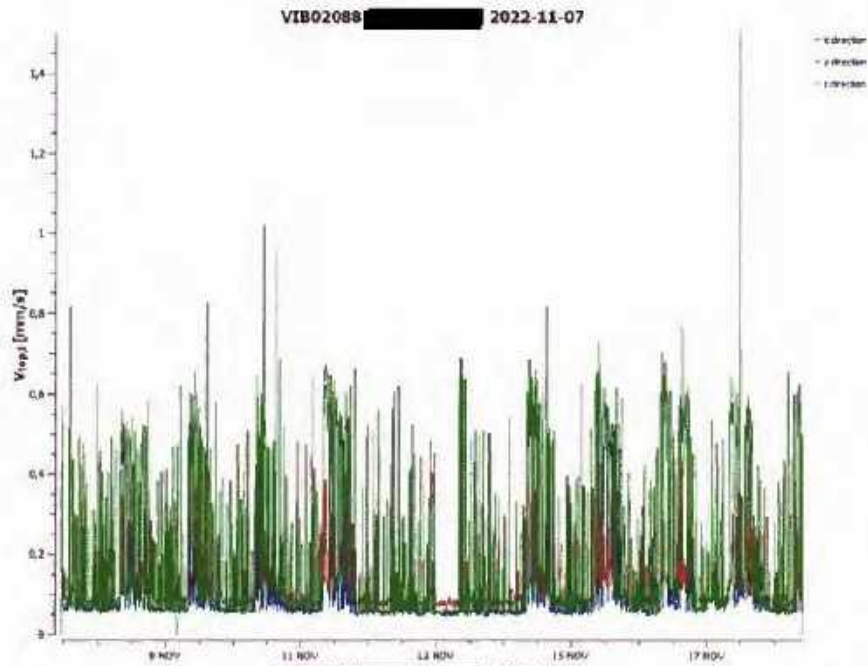


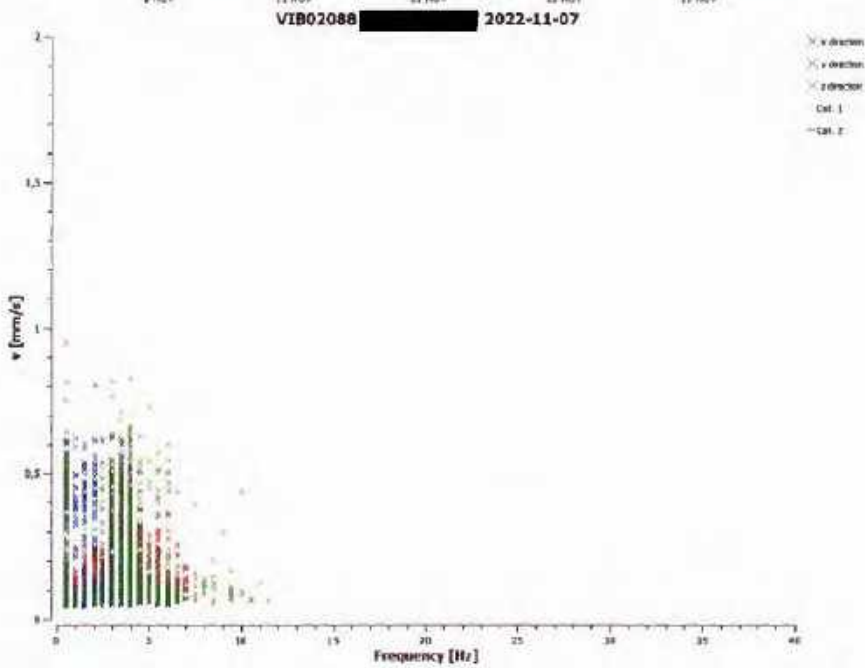
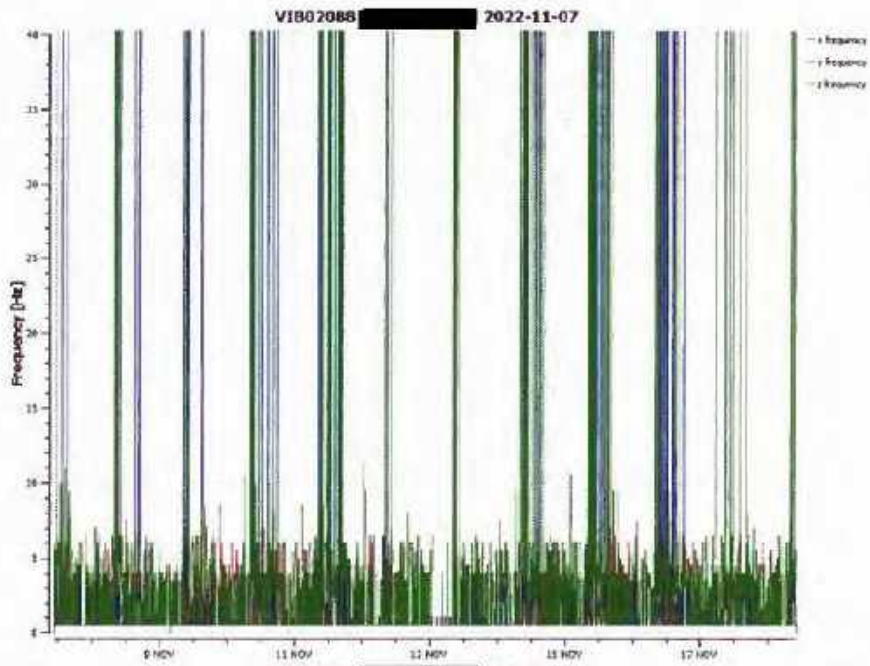


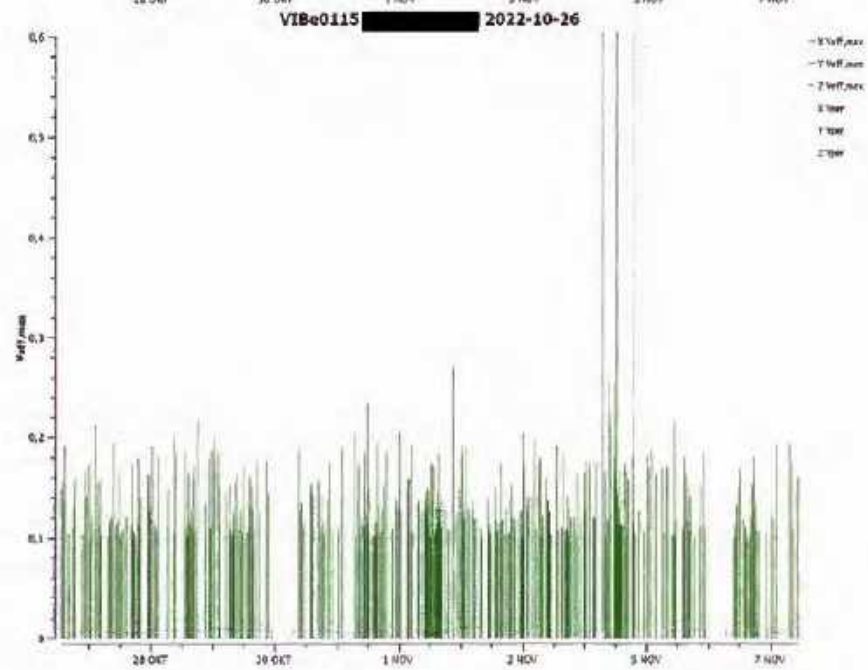
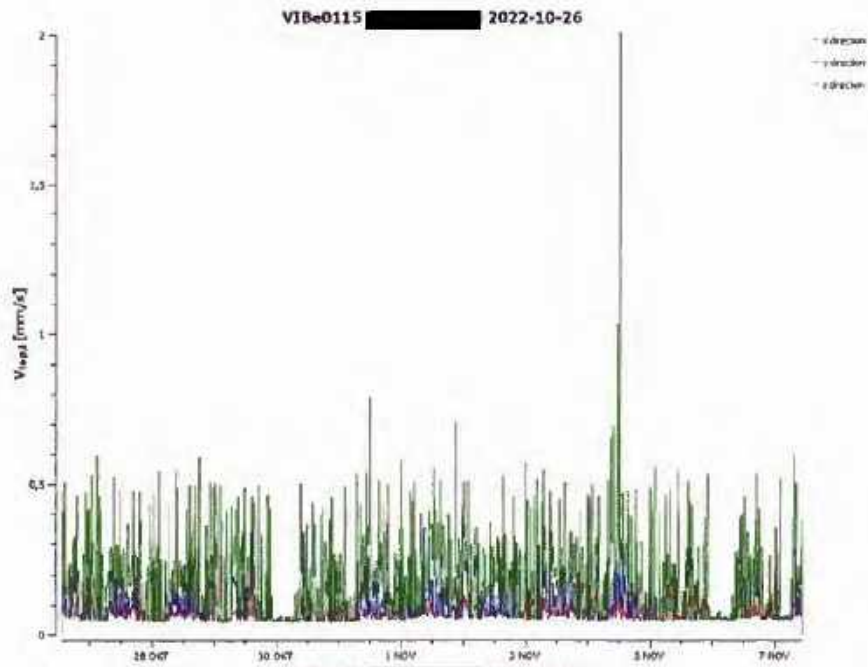
██████ VLOER

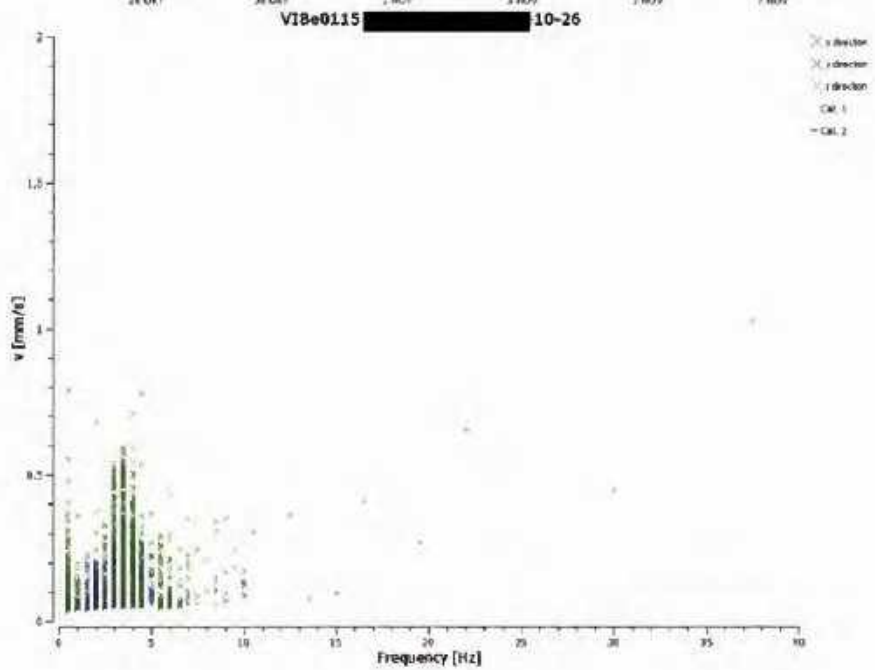
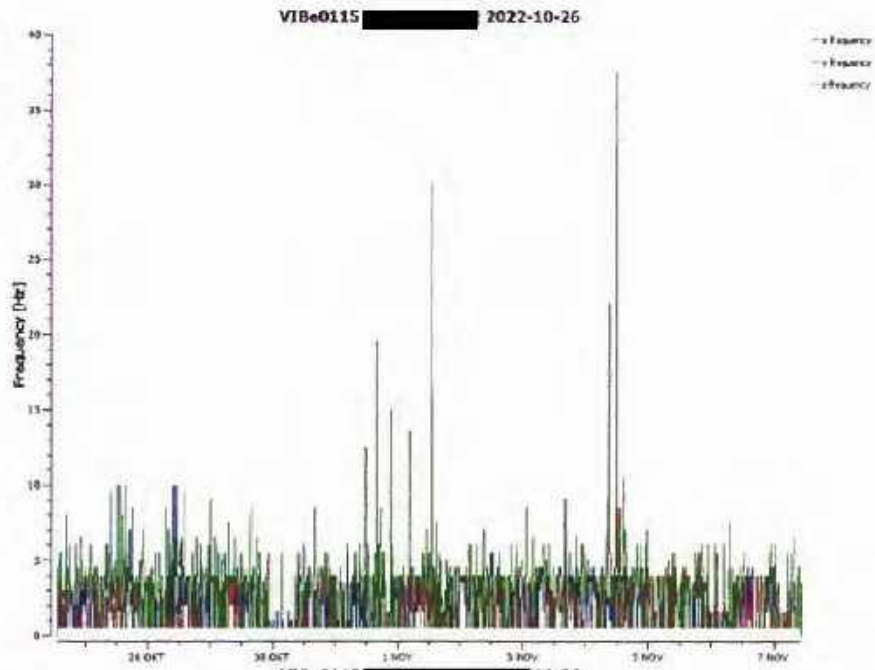


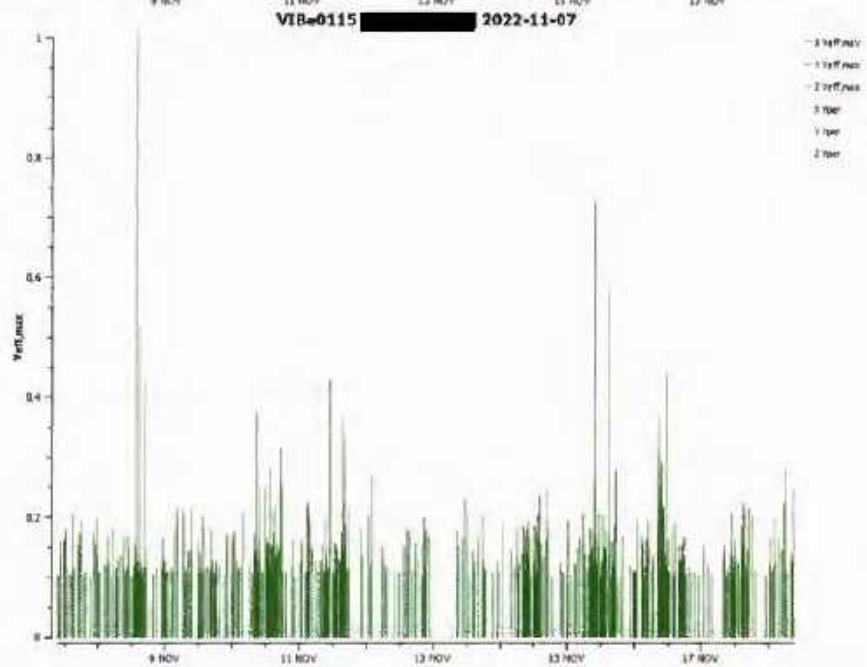
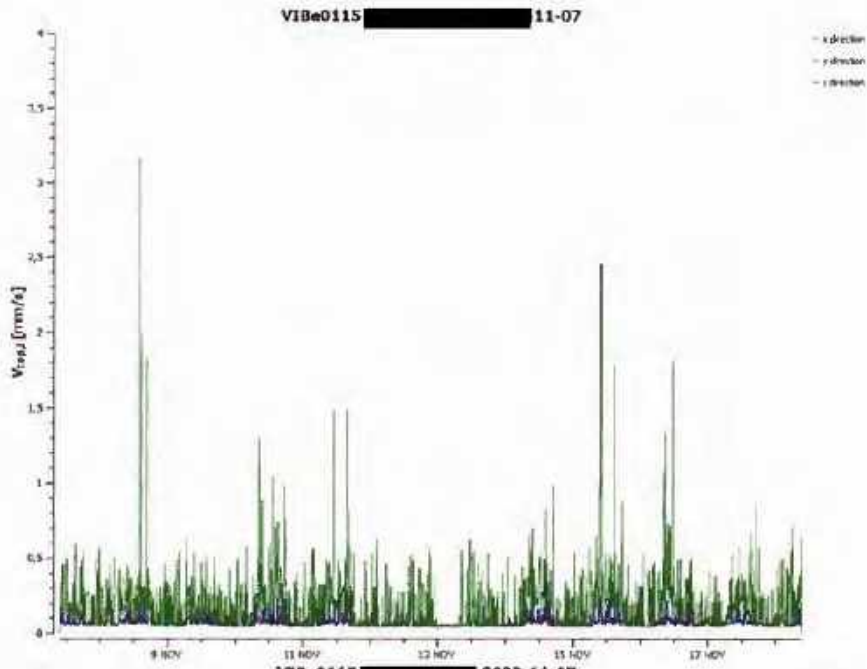


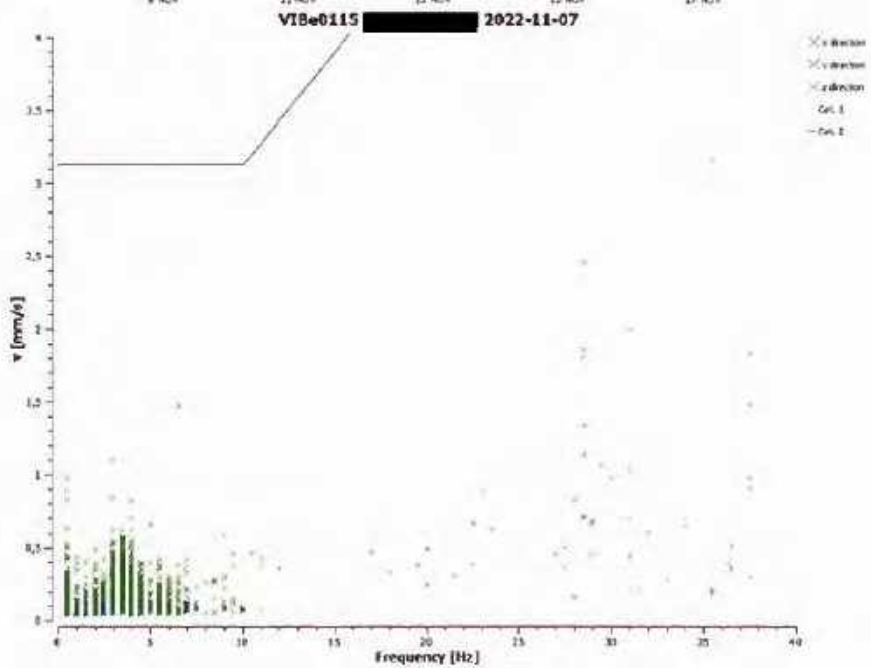
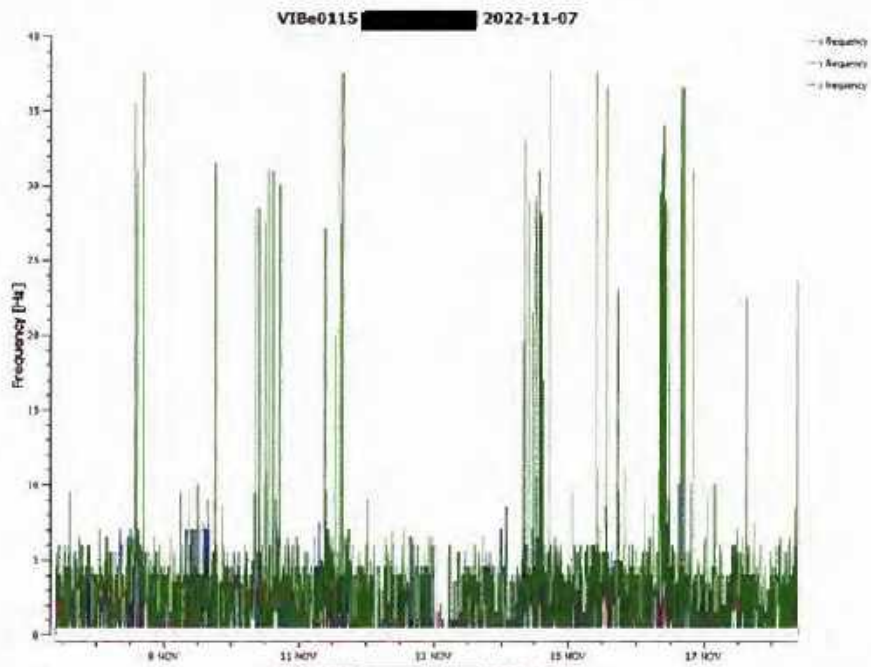




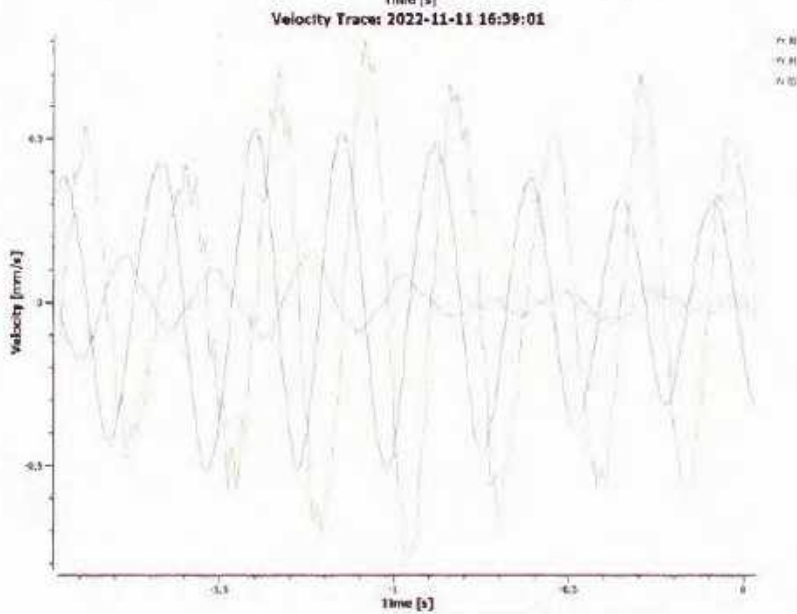
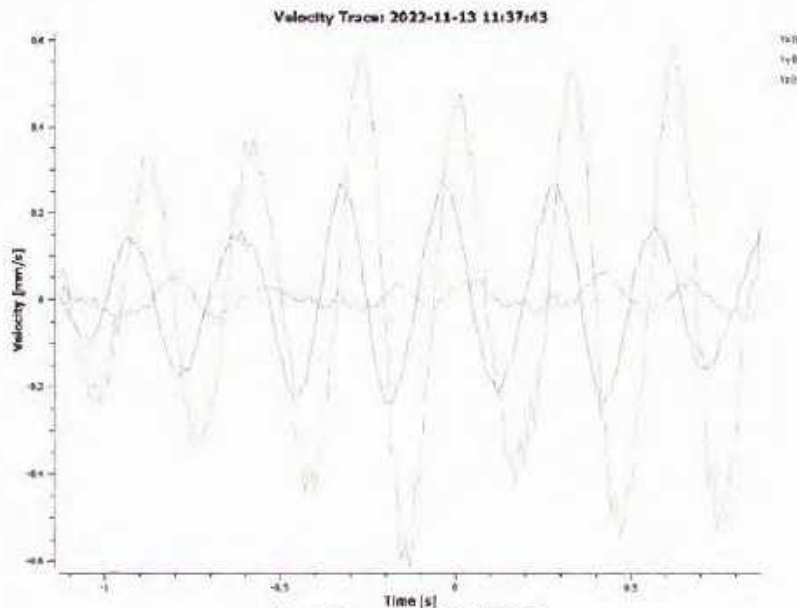




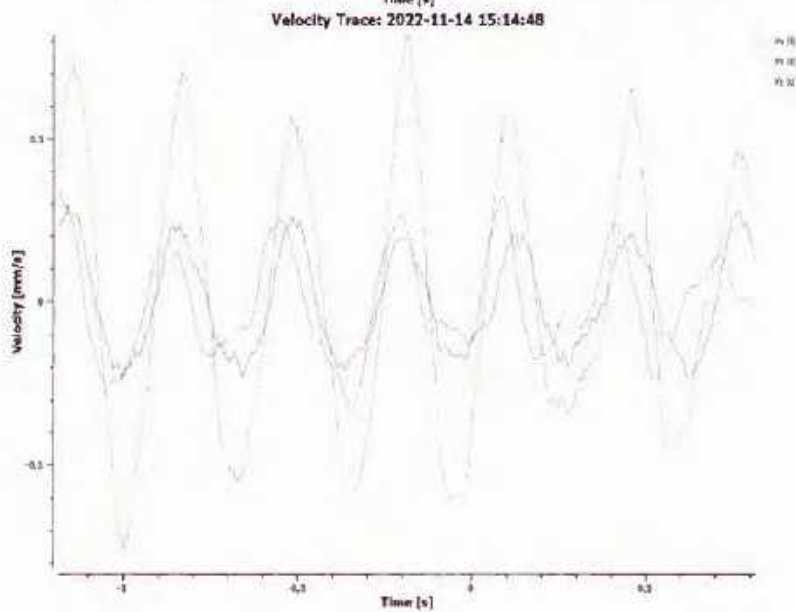
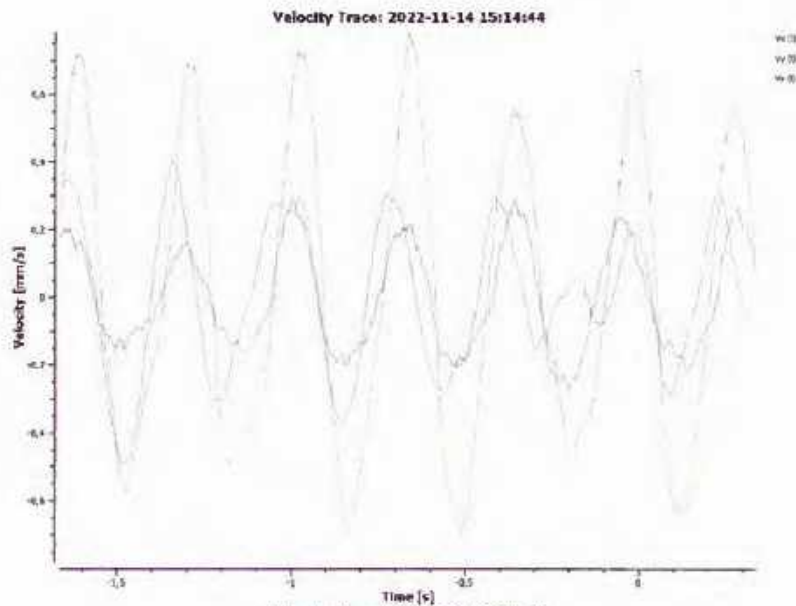


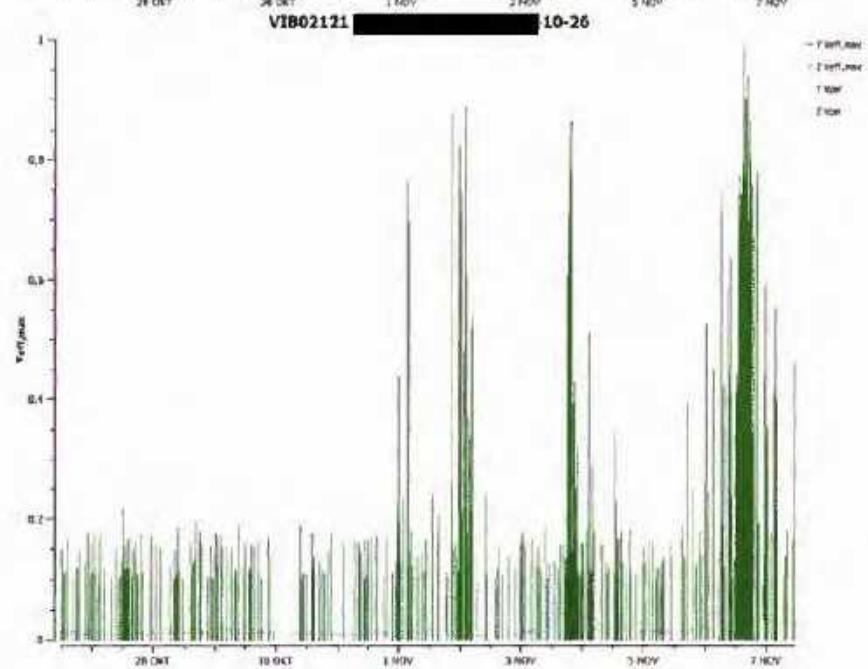
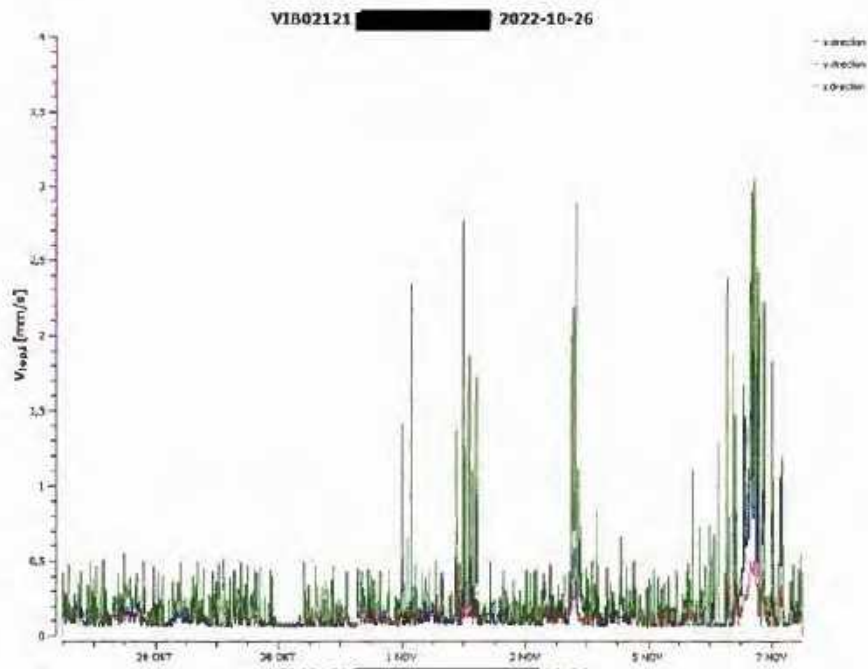


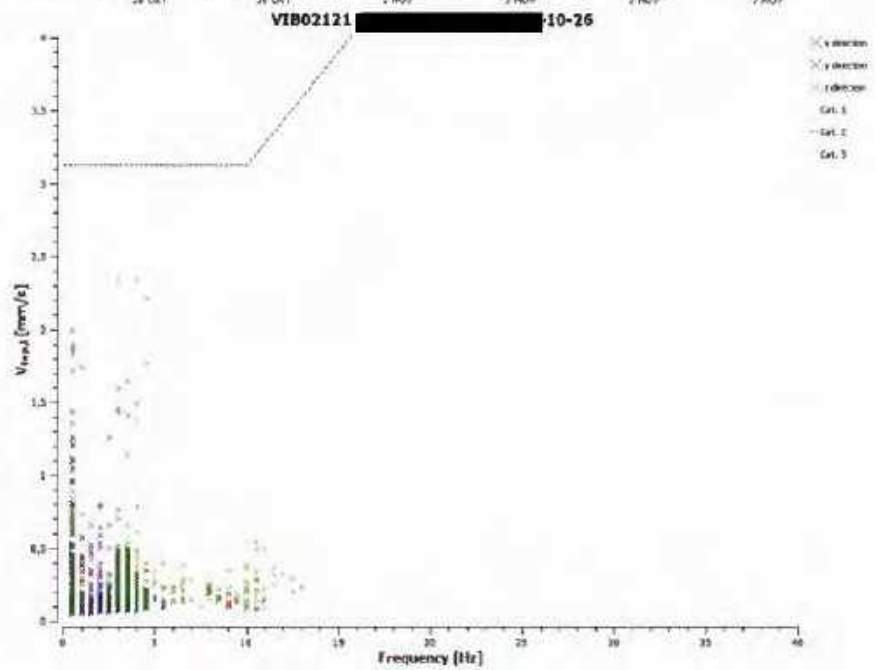
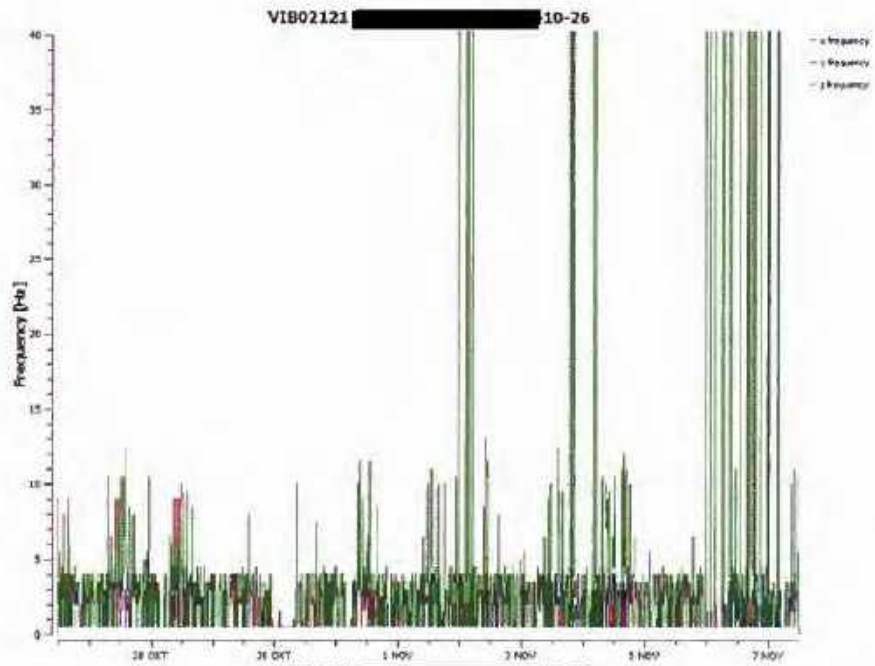
[REDACTED] VLOER

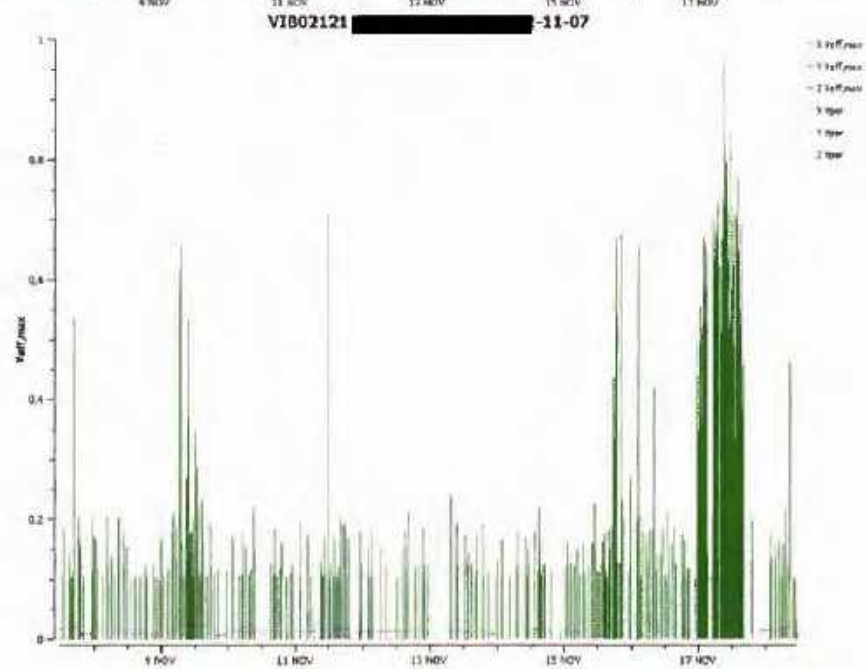
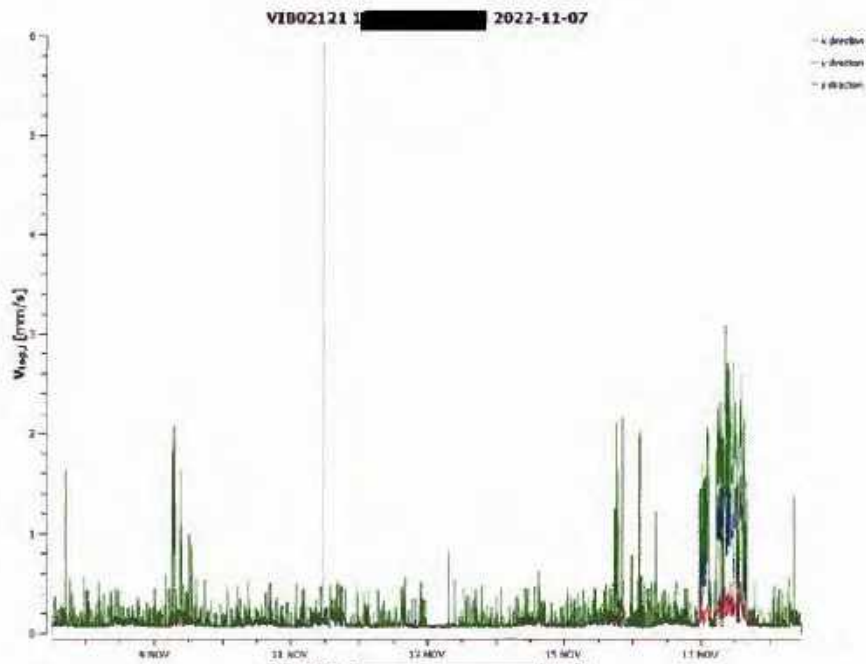


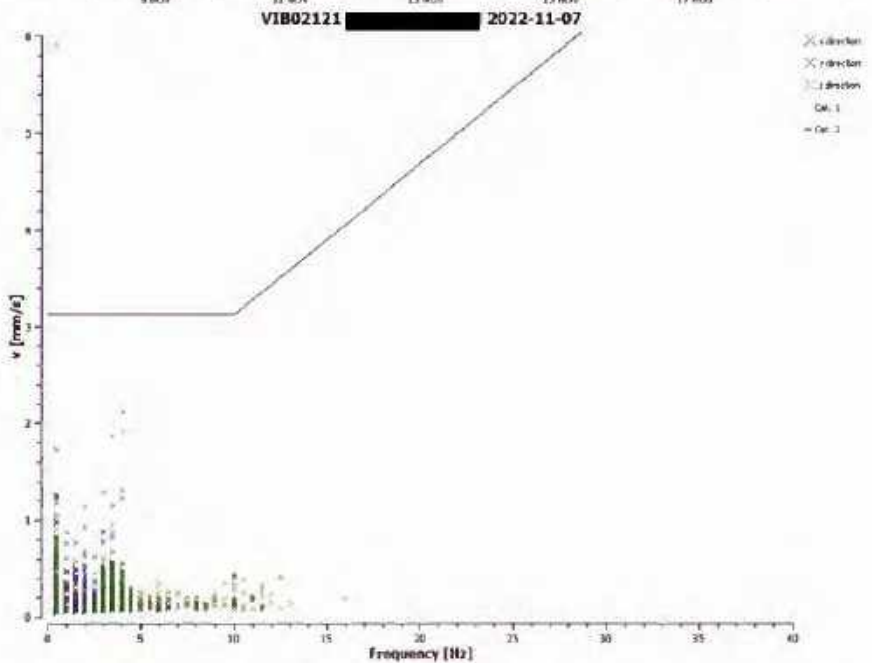
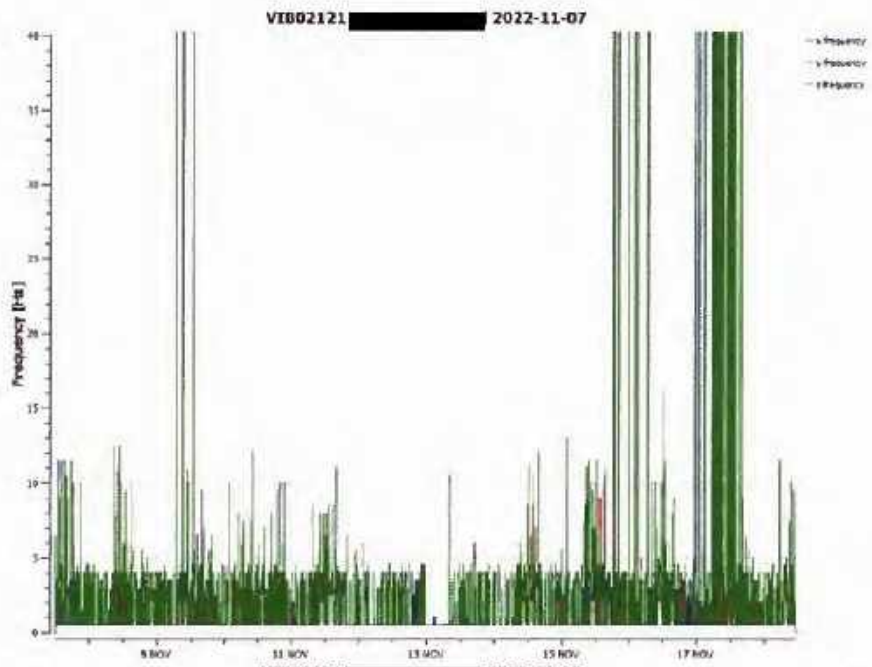
████████ FUNDATIE

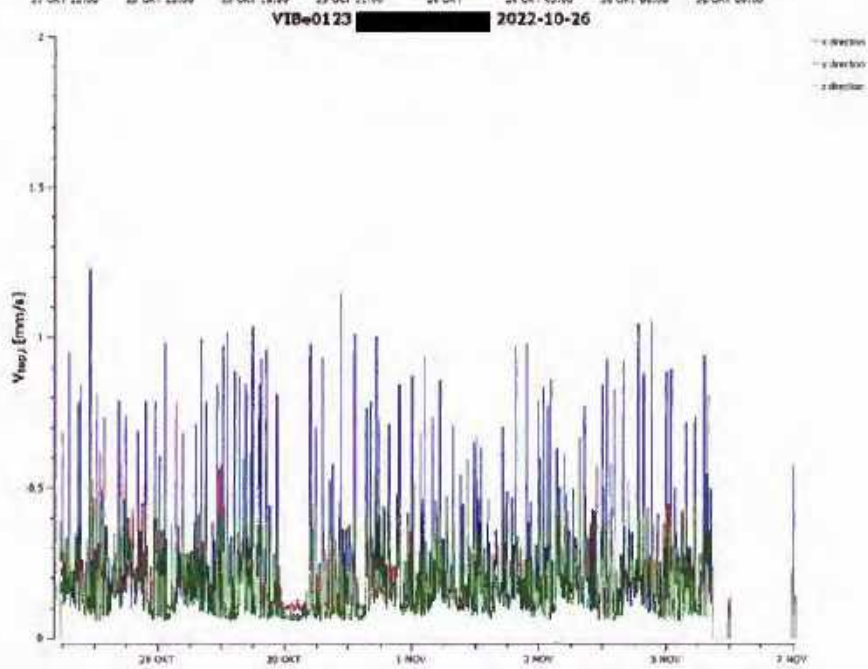
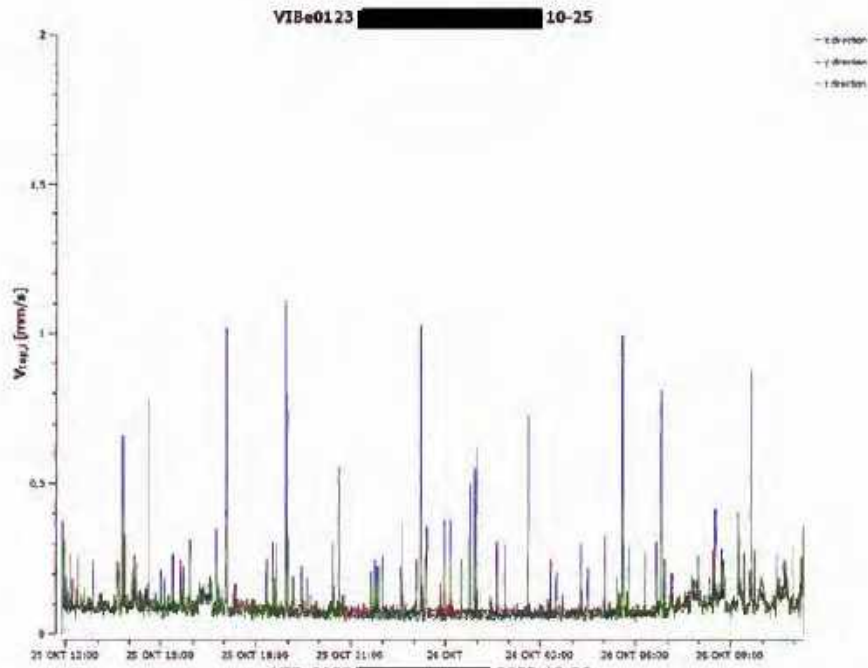


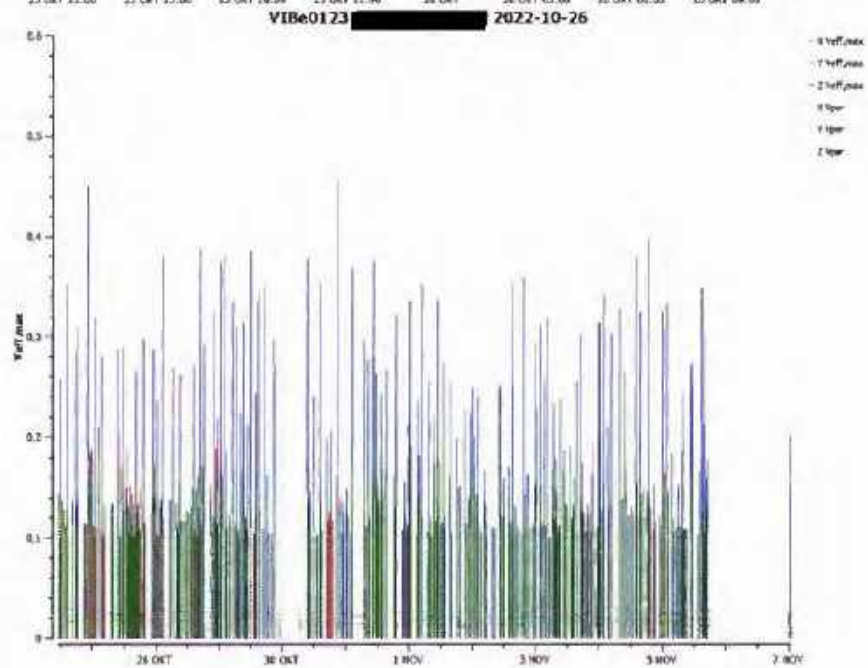
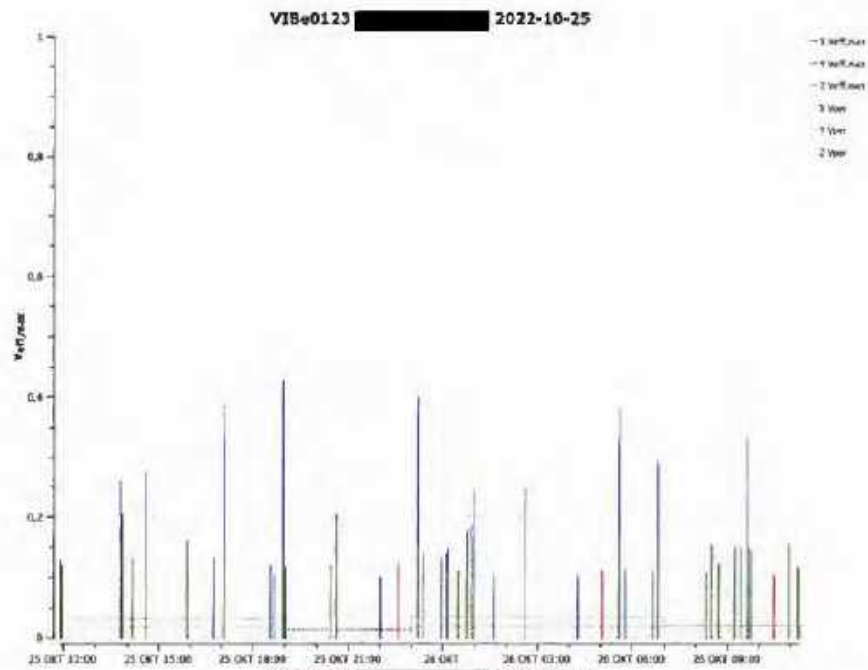


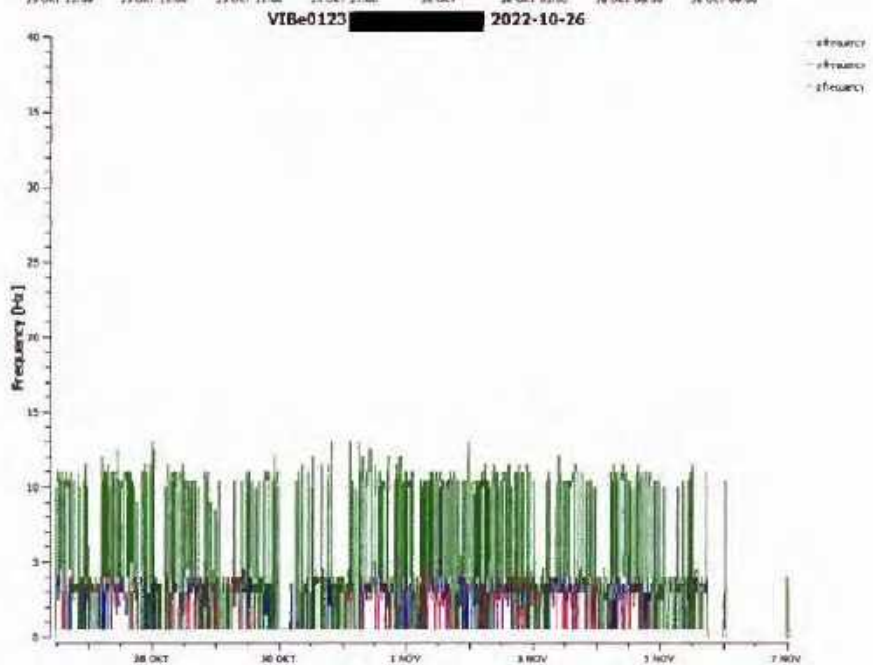
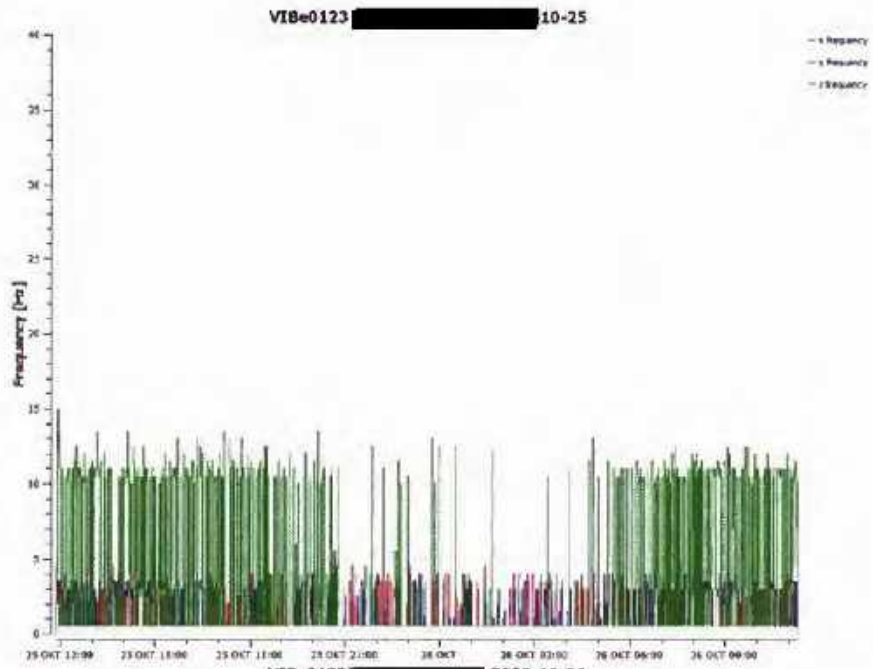


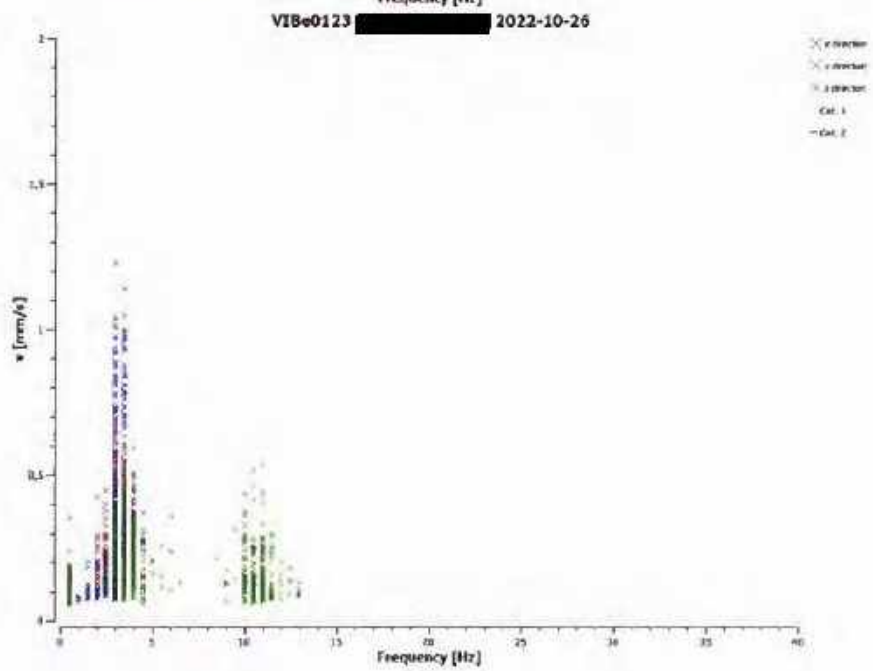
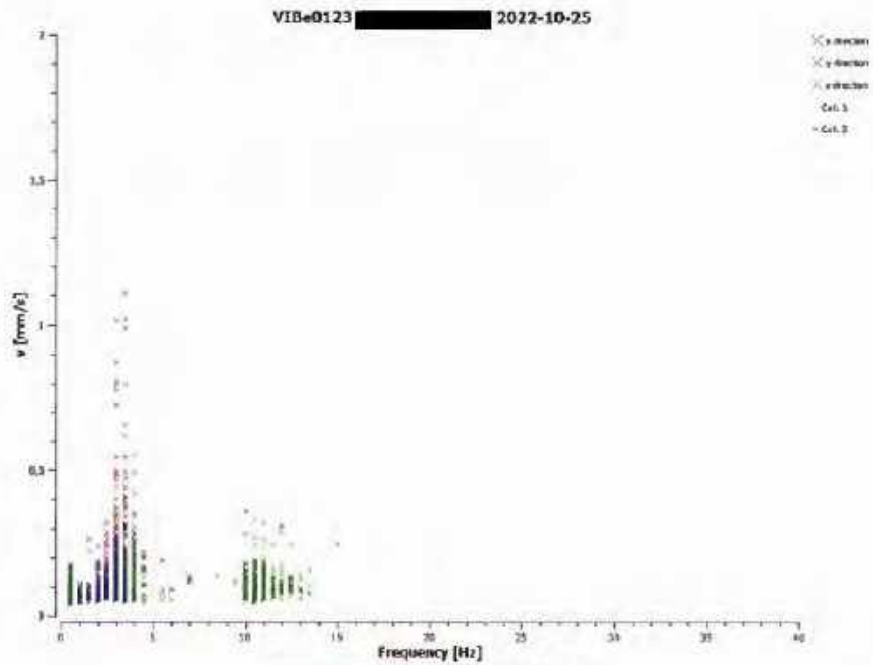


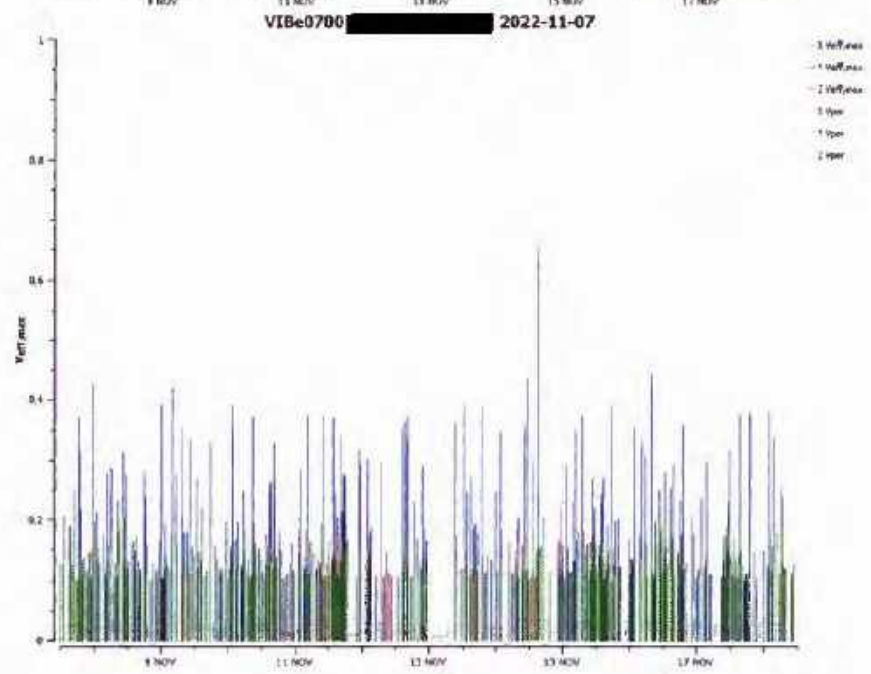
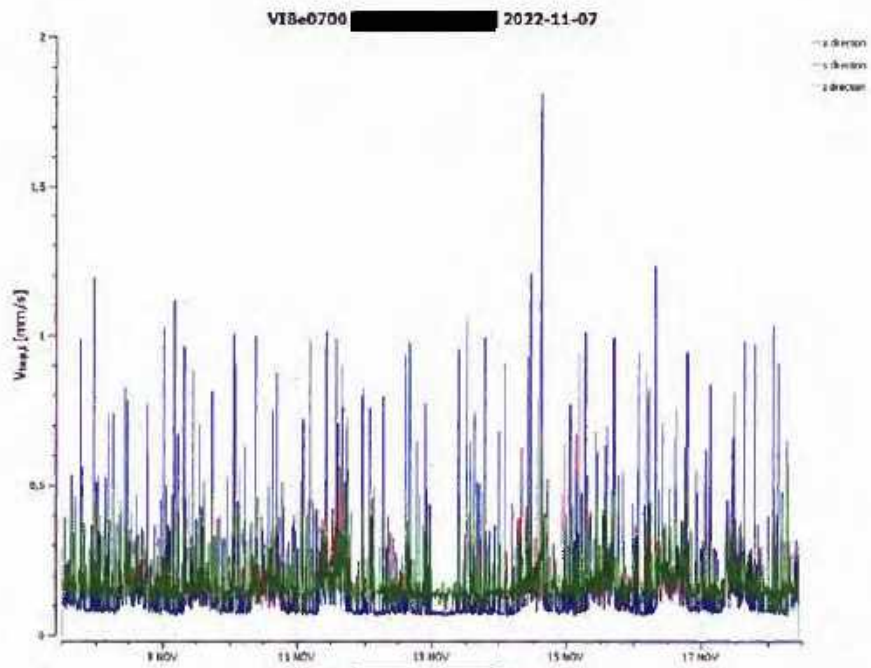


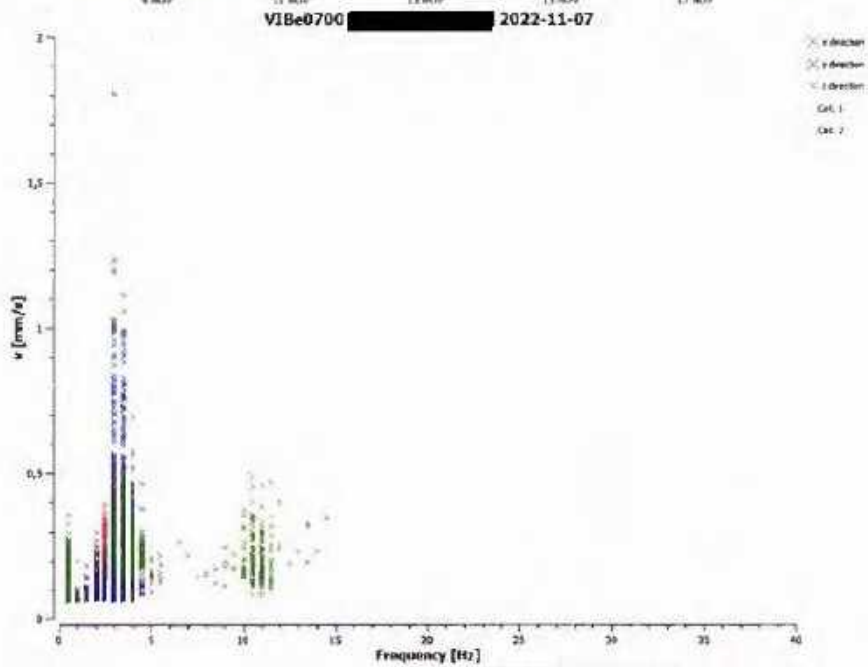
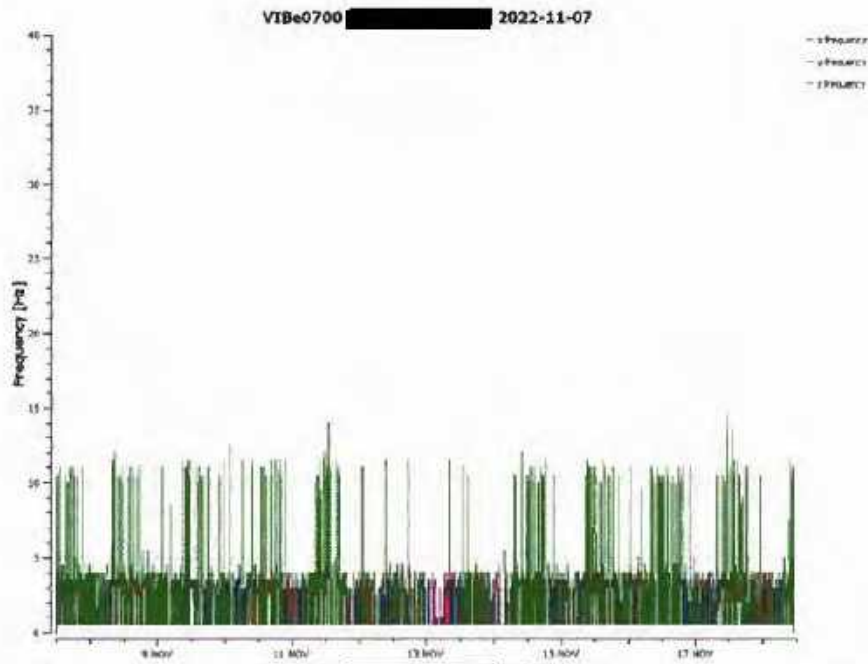




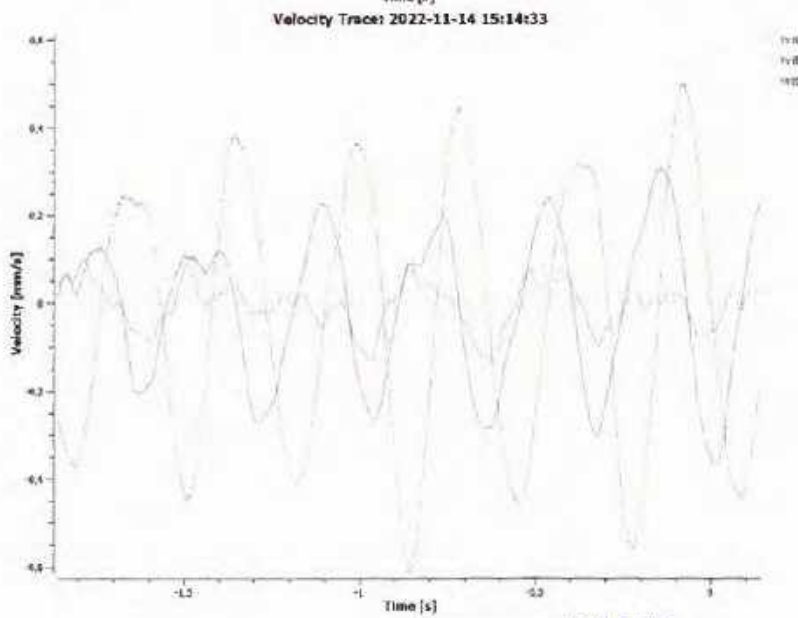
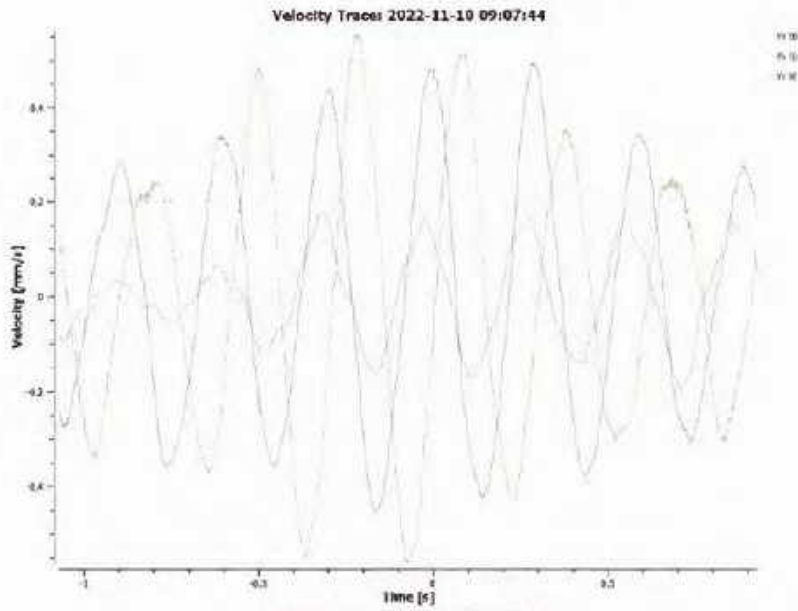




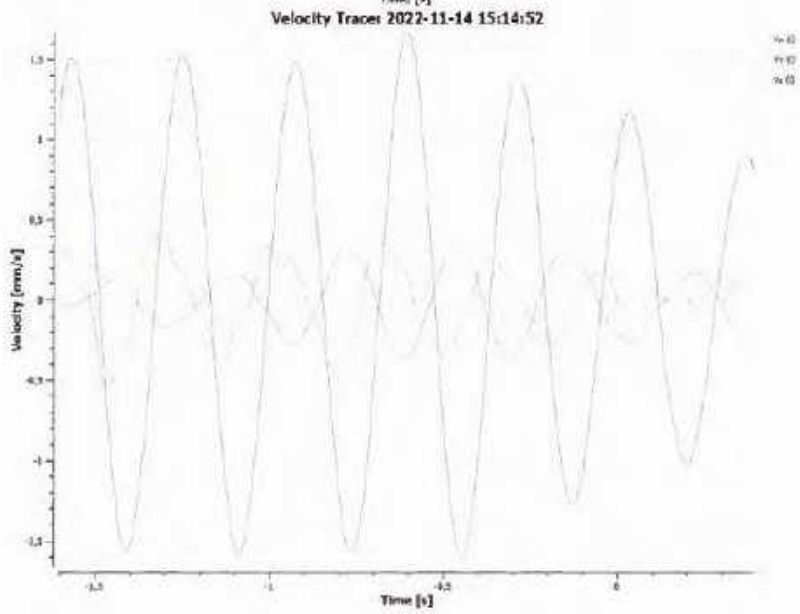
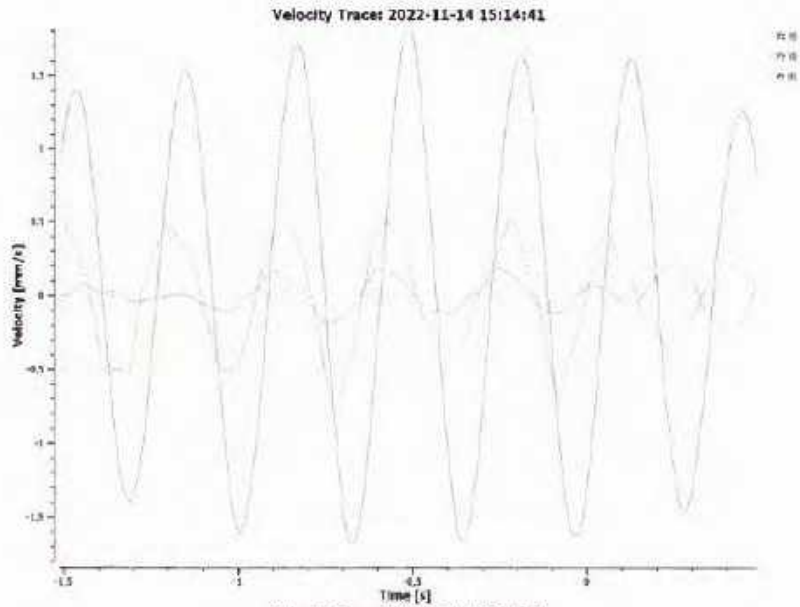


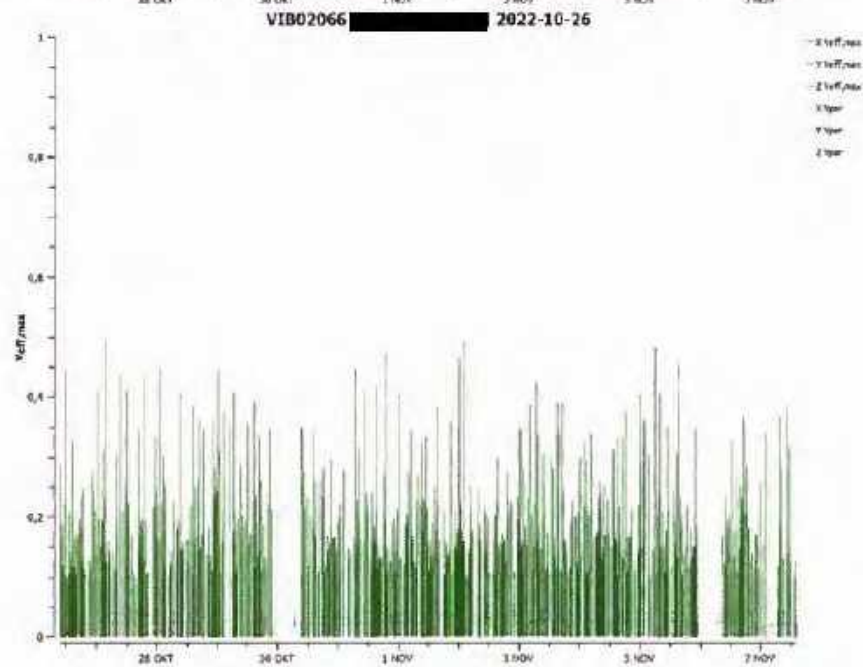
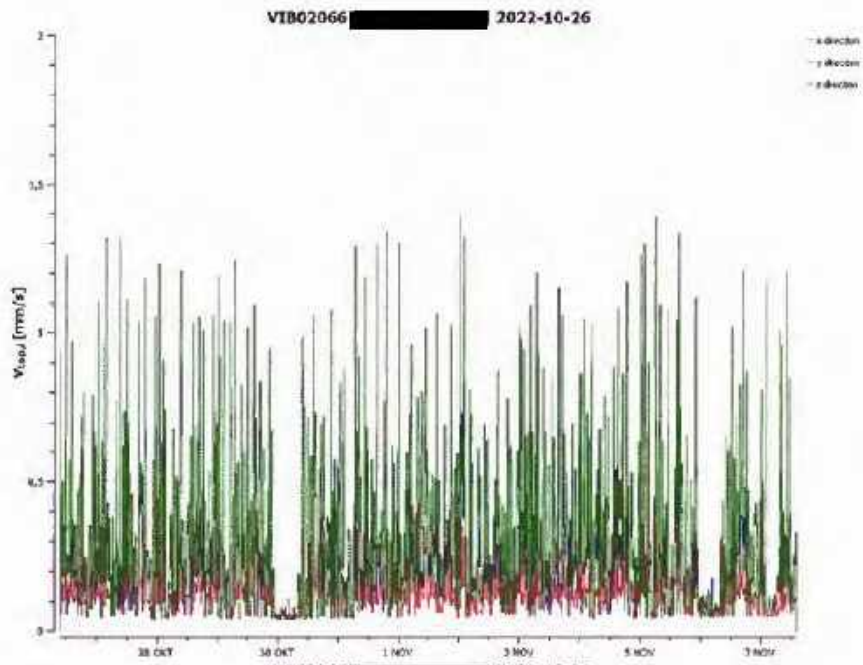


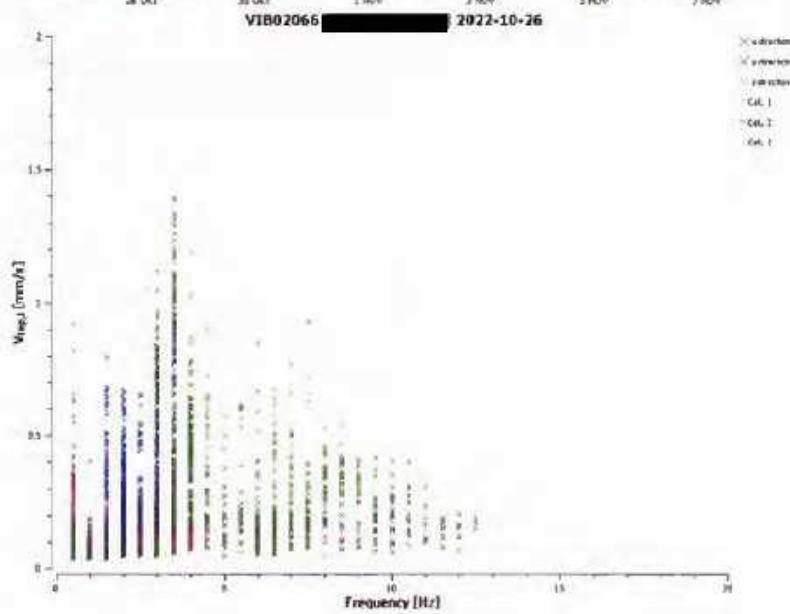
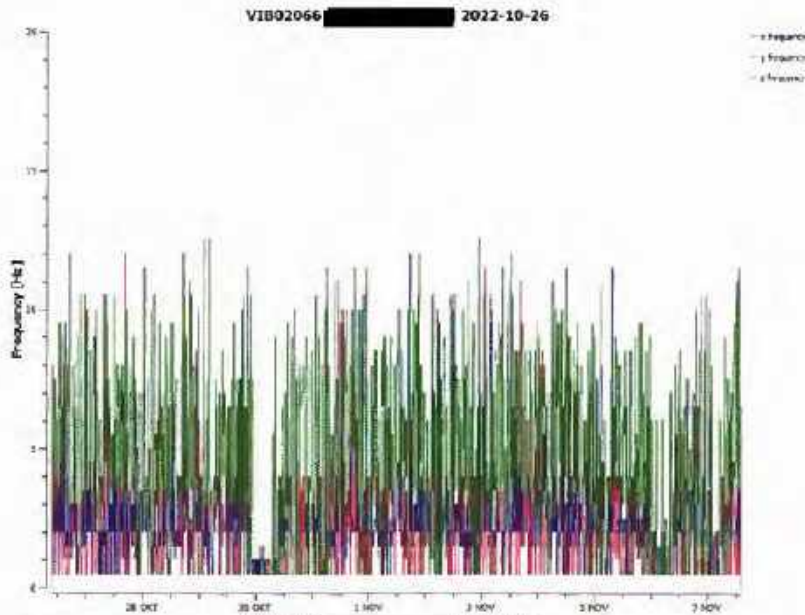
[REDACTED] FUNDATIE

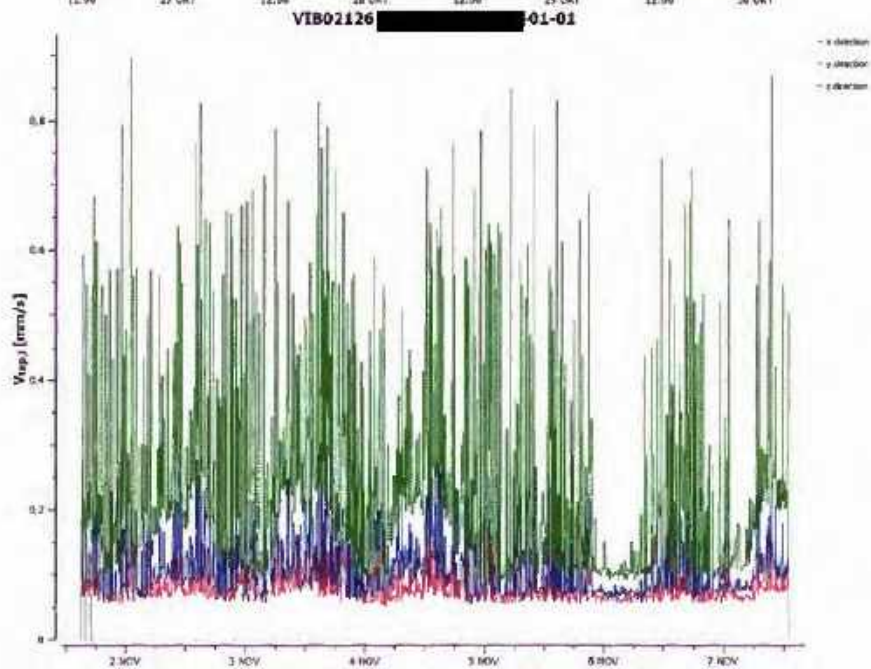
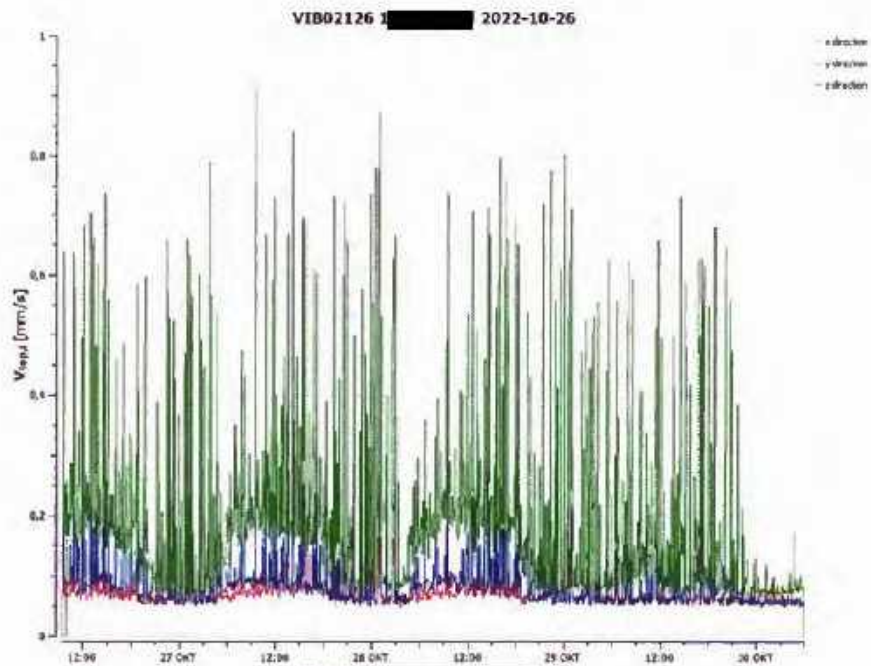


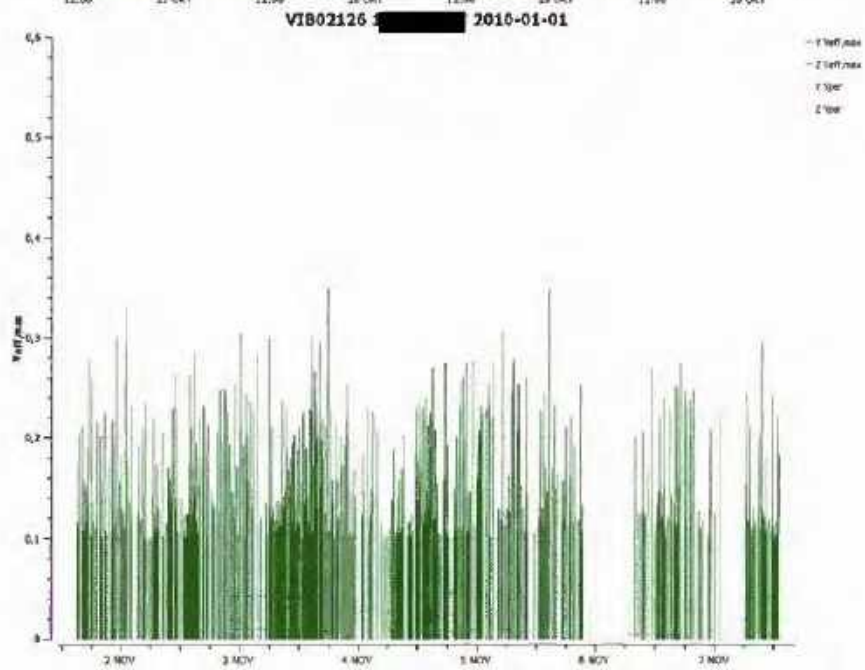
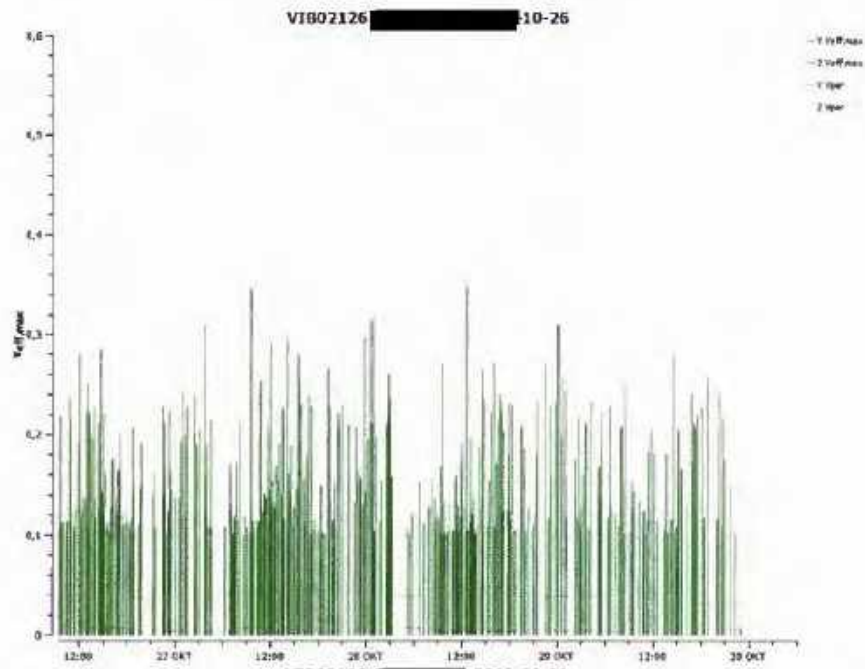
██████████ VLOER

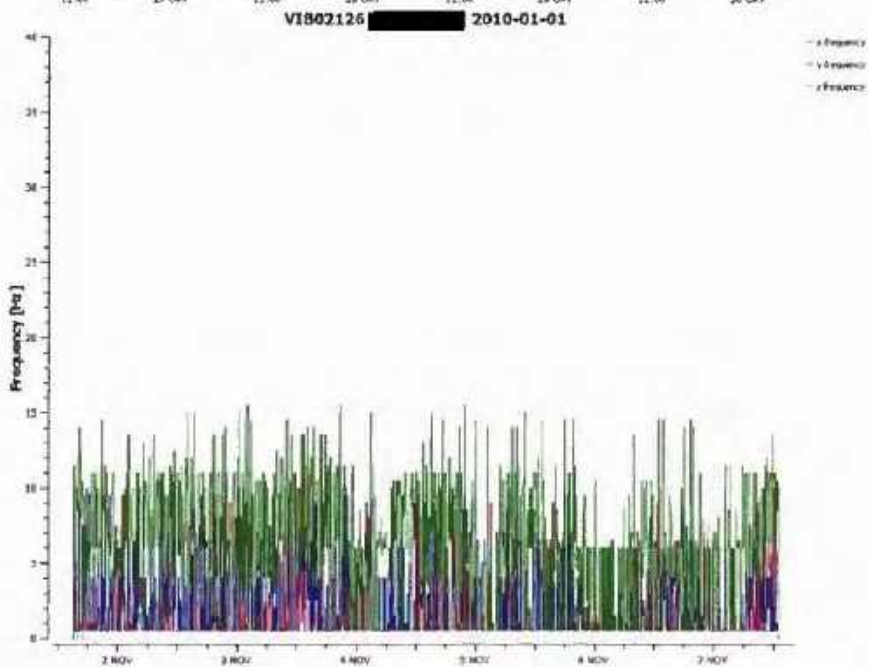
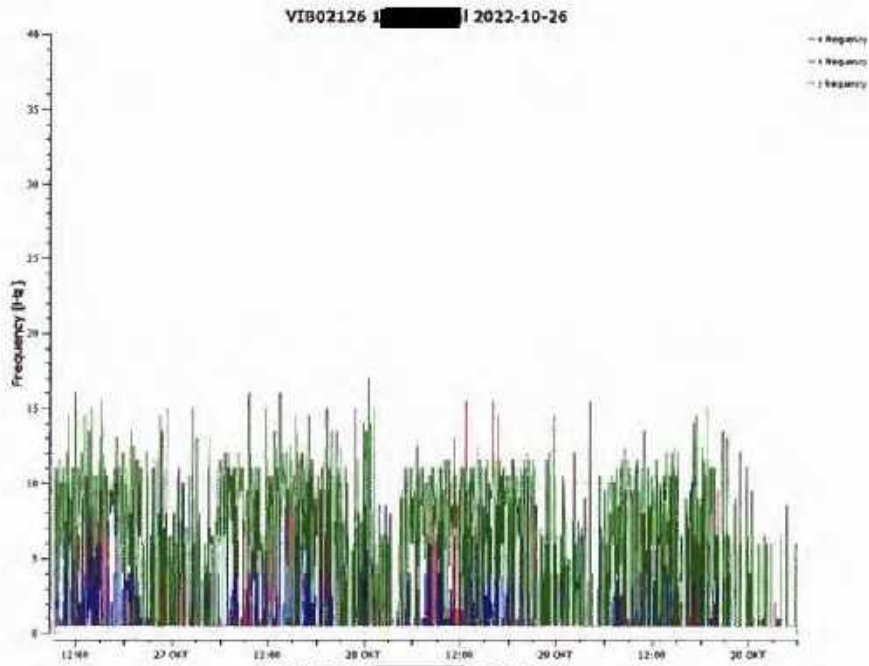


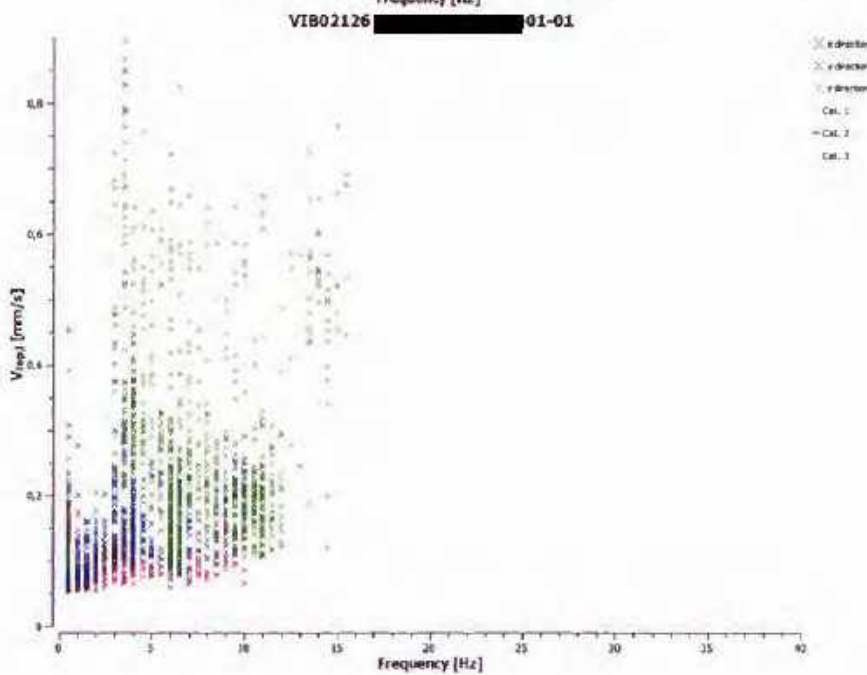
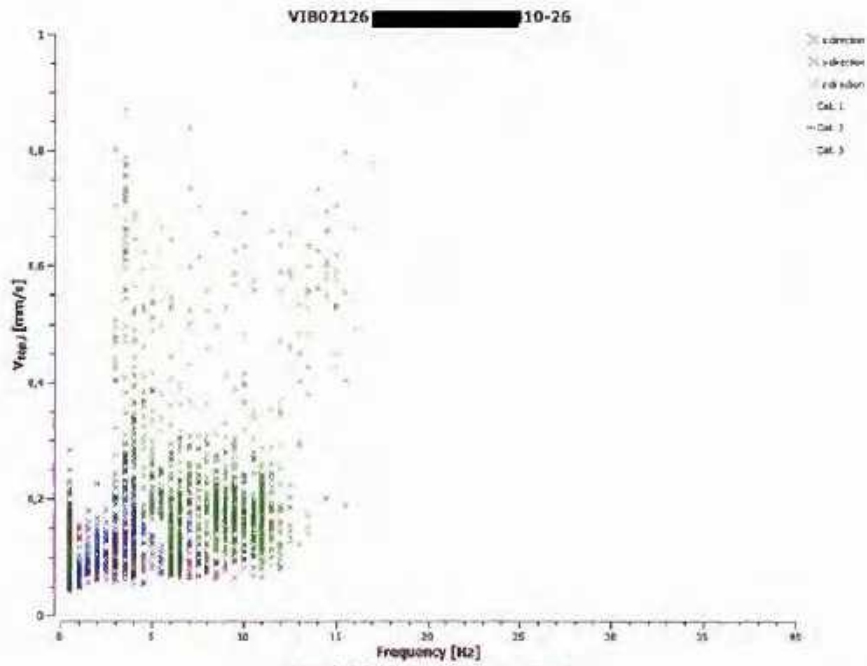


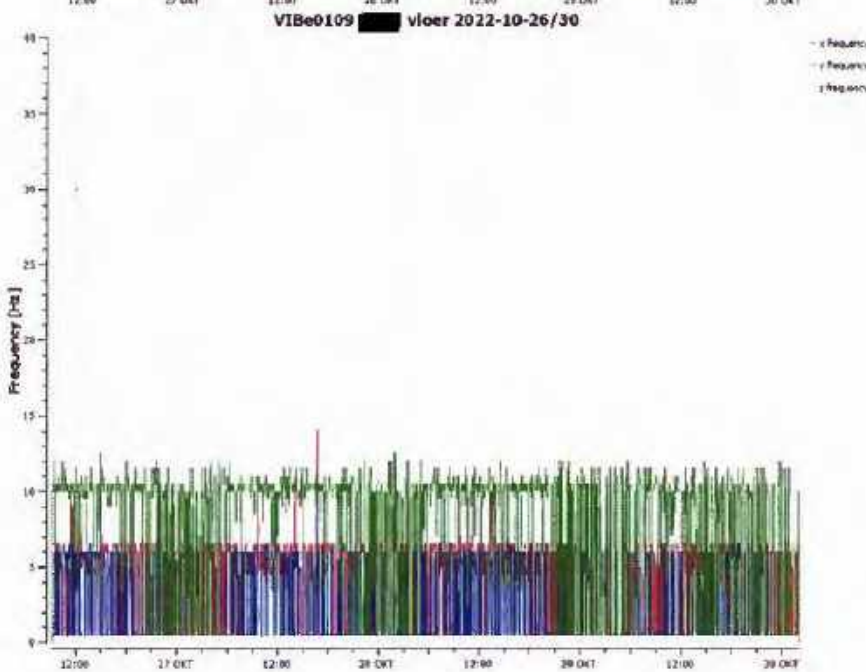
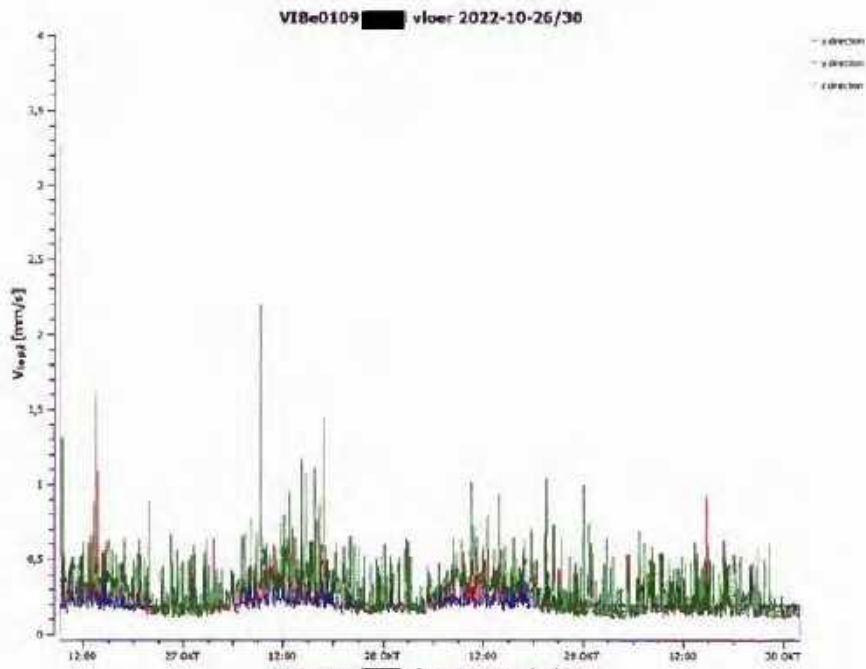


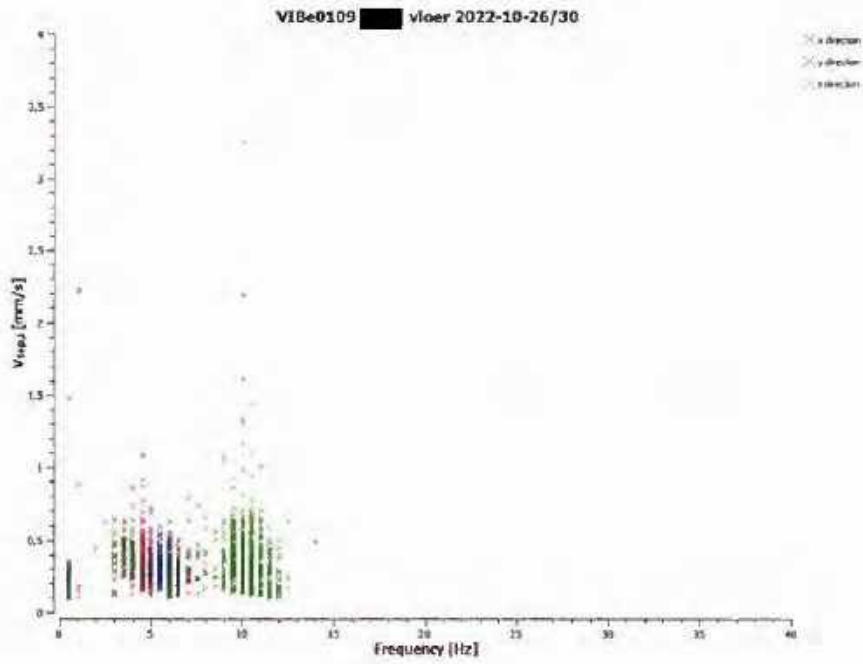


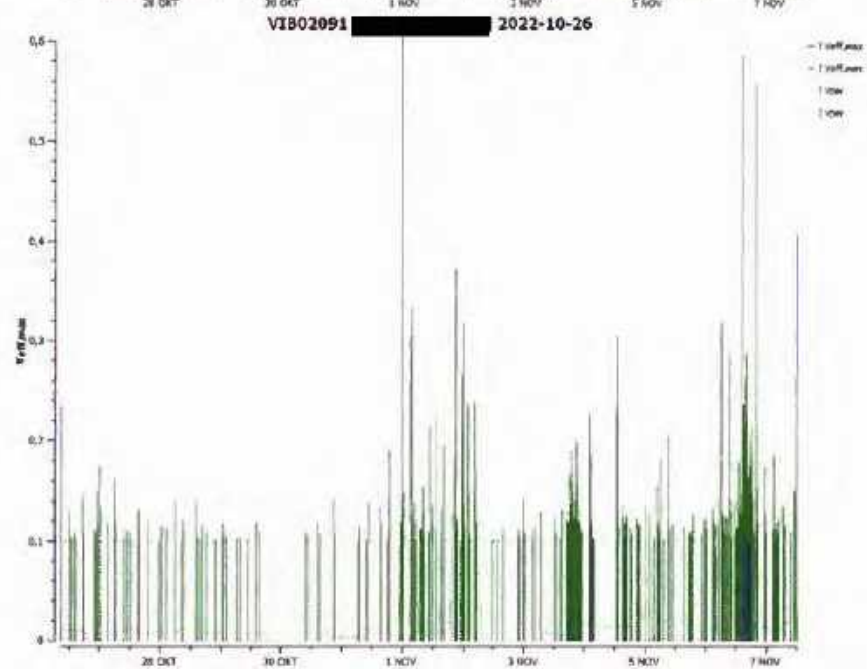
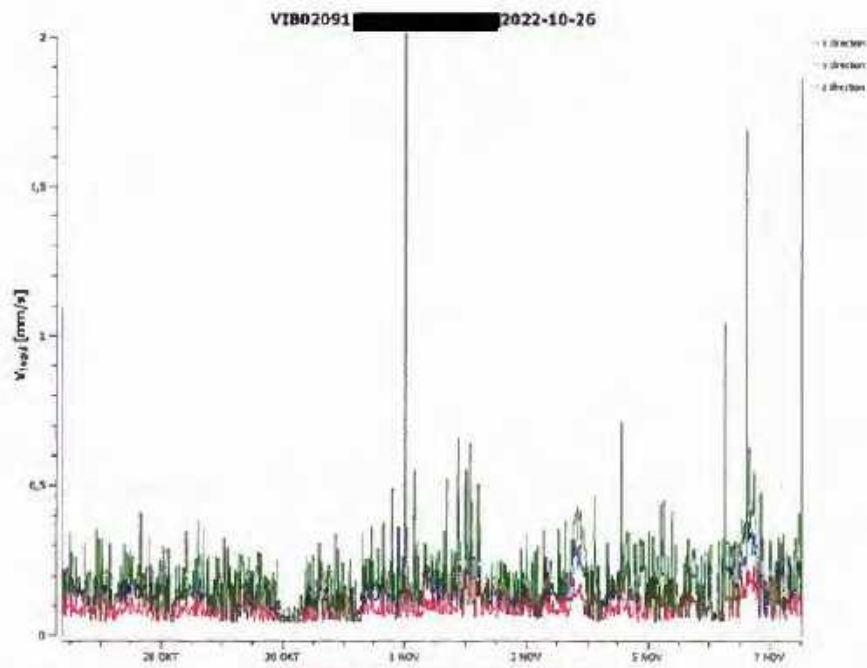


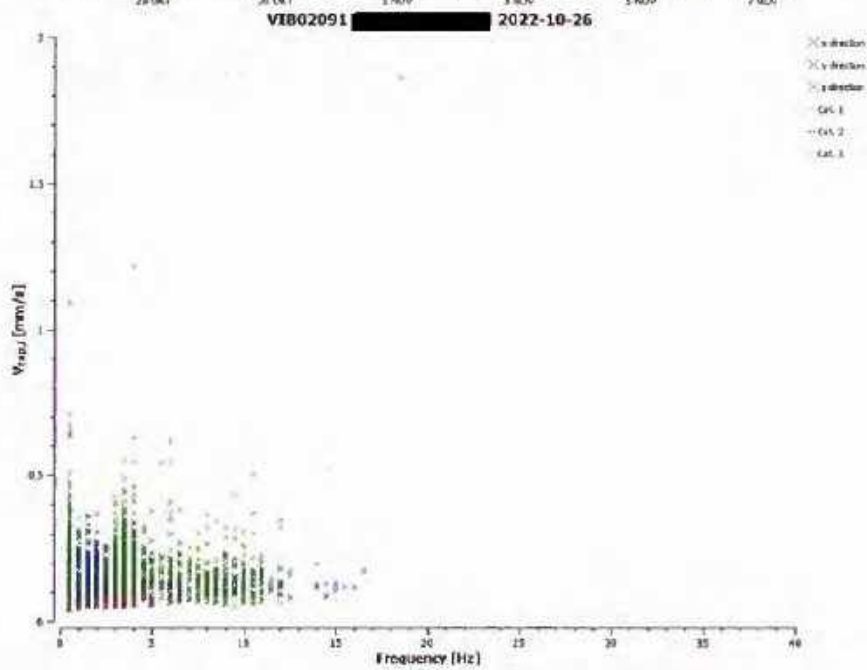
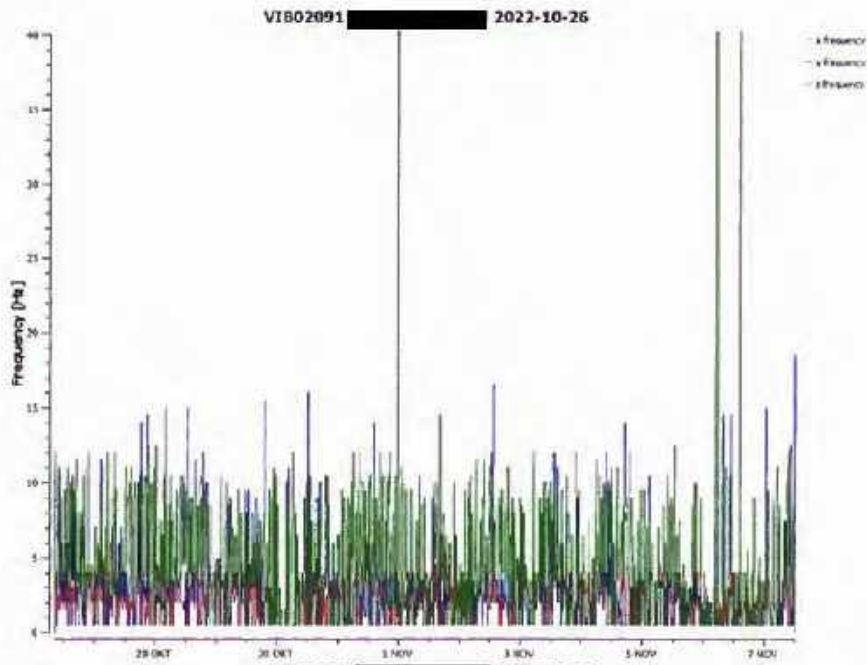






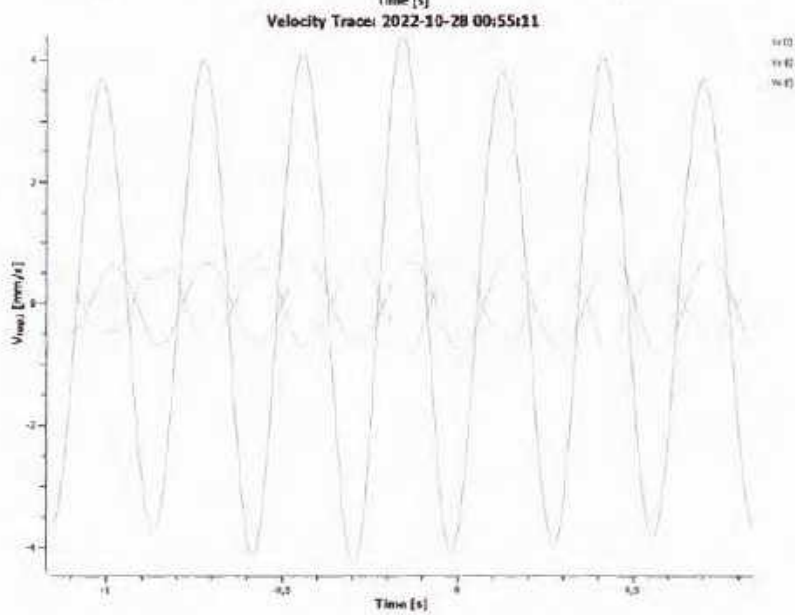
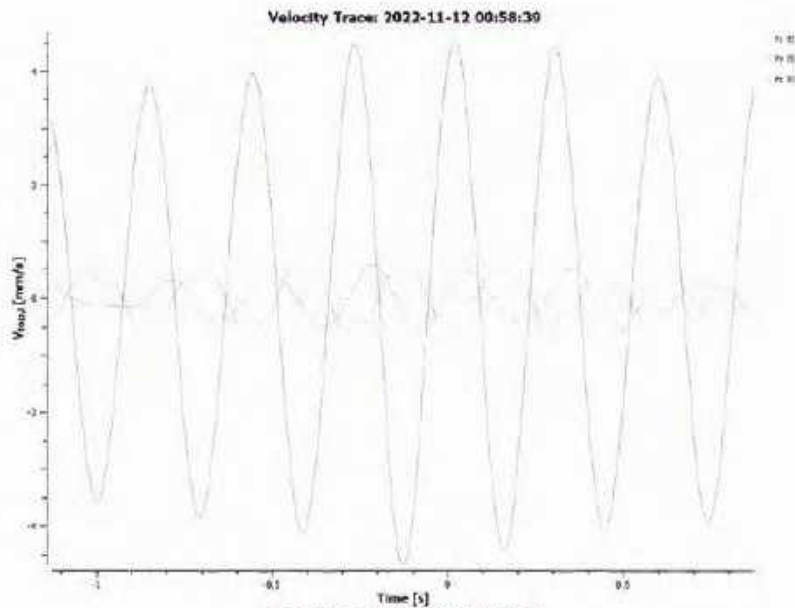


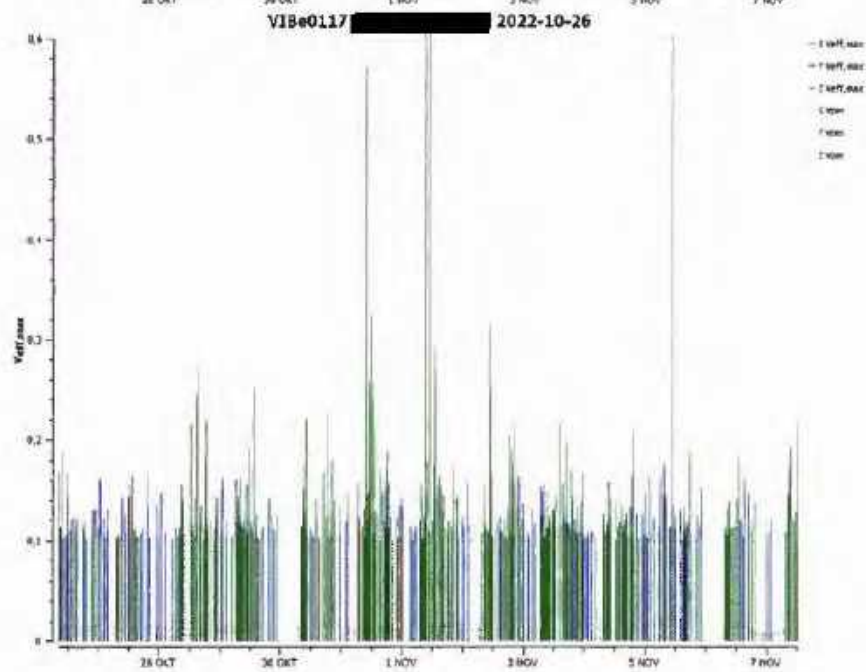
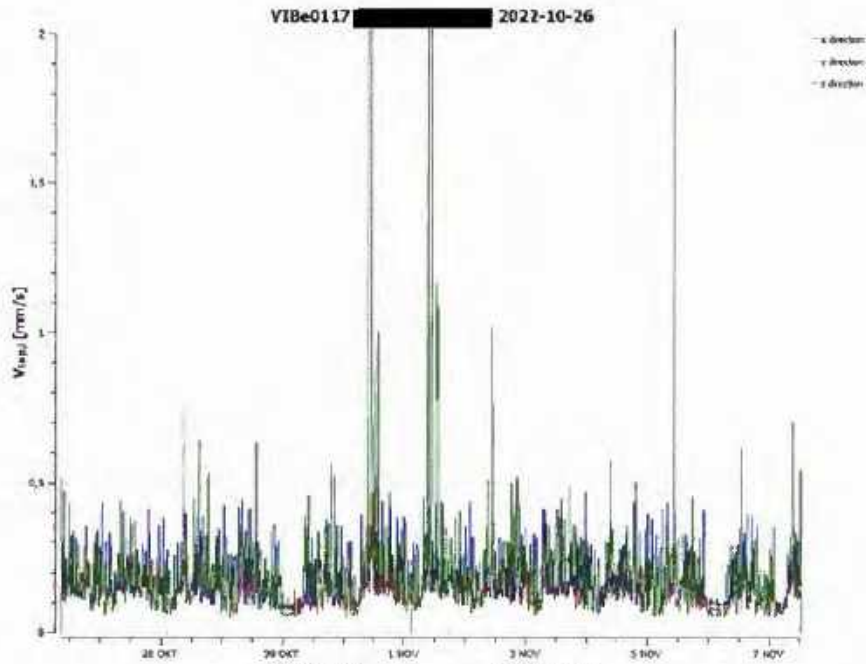


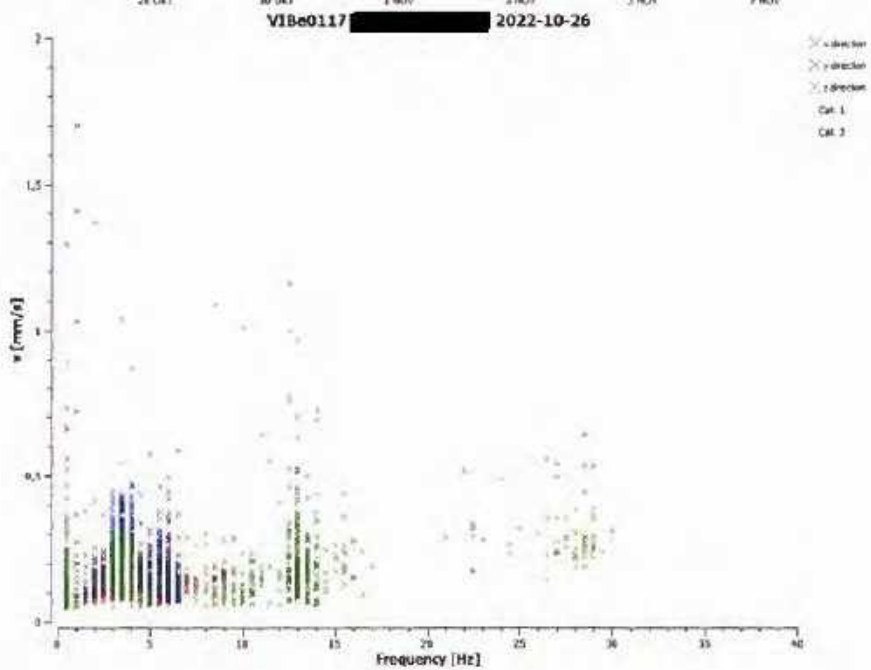
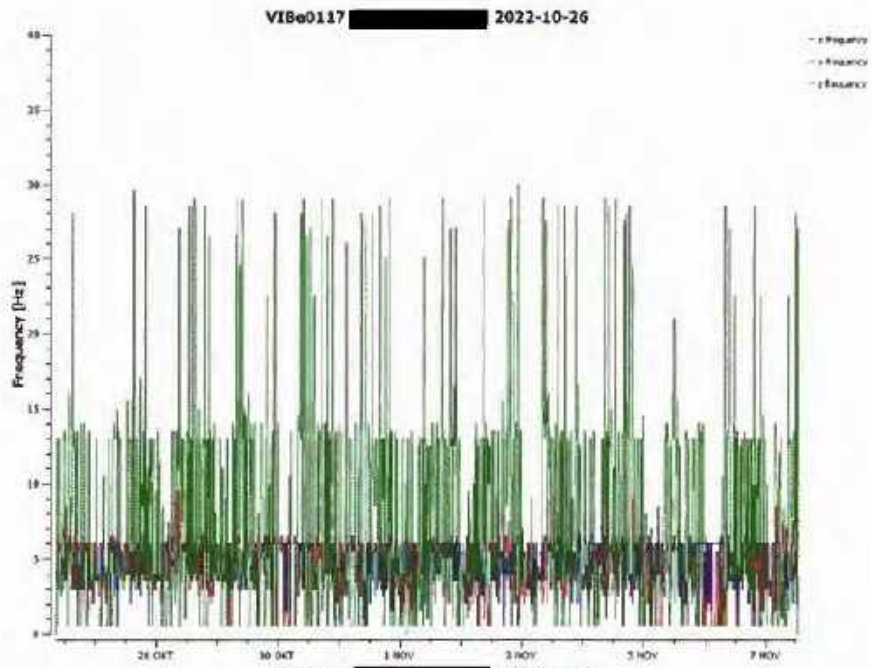


[REDACTED] FUNDATIE

[REDACTED] VLOER







BIJLAGE 3 Analyses $V_{max,BTS}$

Veff,max,X [mm/s]							
meetdg	24						
top:	50%	25%	12,5%	6,3%	3,1%	1,6%	0,8%
n	102,5	51,3	25,6	12,8	6,4	3,2	1,6
n_afgerond	103,0	51,0	26,0	13,0	6,0	3,0	2,0
μ	-1,482	-1,372	-1,273	-1,224	-1,184	-1,153	-1,139
σ	0,139	0,113	0,064	0,052	0,045	0,046	0,055
β	1,852	1,524	1,135	0,640	-0,093	#NUM!	#NUM!
$V_{max,BTS}$	0,294	0,301	0,301	0,304	0,305	#NUM!	#NUM!
iter?	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
R	←	4,1%	←	←	←	←	←

Veff,max,Y [mm/s]							
meetdg	24						
top:	50%	25%	12,5%	6,3%	3,1%	1,6%	0,8%
n	98,0	49,0	24,5	12,3	6,1	3,1	1,5
n_afgerond	98,0	49,0	25,0	12,0	6,0	3,0	2,0
μ	-1,634	-1,552	-1,489	-1,420	-1,356	-1,278	-1,259
σ	0,111	0,093	0,093	0,091	0,090	0,041	0,035
β	1,832	1,501	1,107	0,601	-0,158	#NUM!	#NUM!
$V_{max,BTS}$	0,239	0,244	0,250	0,255	0,254	#NUM!	#NUM!
iter?	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
R	←	3,4%	←	←	←	←	←

Veff,max,Z [mm/s]							
meetdg	24						
top:	50%	25%	12,5%	6,3%	3,1%	1,6%	0,8%
n	105,5	52,8	26,4	13,2	6,6	3,3	1,6
n_afgerond	106,0	53,0	26,0	13,0	7,0	3,0	2,0
μ	-1,381	-1,230	-1,117	-1,028	-0,967	-0,868	-0,842
σ	0,186	0,142	0,117	0,099	0,099	0,059	0,056
β	1,865	1,539	1,153	0,663	-0,053	#NUM!	#NUM!
$V_{max,BTS}$	0,356	0,363	0,375	0,382	0,378	#NUM!	#NUM!
iter?	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
R	5,4%	←	←	←	←	←	←

	X	Y	Z
$V_{max,BTS}$	0,30	0,24	0,36
R	4,1%	3,4%	5,4%

Veff,max,X [mm/s]							
meetdagen	24						
top:	50%	25%	12,5%	6,3%	3,1%	1,6%	0,8%
n	13,5	6,8	3,4	1,7	0,8	0,4	0,2
n_afgerond	14,0	7,0	3,0	2,0	1,0	0,0	0,0
μ	-2,200	-2,170	-2,134	-2,129	-2,112	#CALC!	#CALC!
σ	0,041	0,035	0,019	0,024	#DIV/0!	#CALC!	#CALC!
β	0,682	-0,021	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!
Vmax,BTS	0,114	0,114	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#CALC!	#CALC!
Iter?	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
R	1,9%	←	←	←	←	←	←

Veff,max,Y [mm/s]							
meetdagen	24						
top:	50%	25%	12,5%	6,3%	3,1%	1,6%	0,8%
n	37,5	18,8	9,4	4,7	2,3	1,2	0,6
n_afgerond	38,0	19,0	9,0	5,0	2,0	1,0	1,0
μ	-1,989	-1,908	-1,854	-1,827	-1,811	-1,796	-1,796
σ	0,099	0,060	0,039	0,020	0,022	#DIV/0!	#DIV/0!
β	1,358	0,929	0,355	-0,695	#NUM!	#NUM!	#NUM!
Vmax,BTS	0,157	0,157	0,159	0,159	#NUM!	#NUM!	#NUM!
Iter?	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
R	3,9%	←	←	←	←	←	←

Veff,max,Z [mm/s]							
meetdagen	24						
top:	50%	25%	12,5%	6,3%	3,1%	1,6%	0,8%
n	6,0	3,0	1,5	0,8	0,4	0,2	0,1
n_afgerond	6,0	3,0	2,0	1,0	0,0	0,0	0,0
μ	-2,162	-2,071	-2,003	-1,852	#CALC!	#CALC!	#CALC!
σ	0,158	0,192	0,214	#DIV/0!	#CALC!	#CALC!	#CALC!
β	-0,190	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!
Vmax,BTS	0,112	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#CALC!	#CALC!	#CALC!
Iter?	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
R	9,3%	←	←	←	←	←	←

	X	Y	Z
Vmax,BTS	0,11	0,16	0,11
R	1,9%	3,9%	9,3%

Vtop fundatie	MAX	MAX	MAX	Vtop fundatie	MAX	MAX	MAX
	X [mm/s]	Y [mm/s]	Z [mm/s]		X [mm/s]	Y [mm/s]	Z [mm/s]
stoorsignaal	1,00	2,46	2,69	trein	0,19	0,16	0,51

Veff,max,X [mm/s]

meetdagen	24						
top:	50%	25%	12,5%	6,3%	3,1%	1,6%	0,8%
n	219,0	109,5	54,8	27,4	13,7	6,8	3,4
n_afgerond	219,0	110,0	55,0	27,0	14,0	7,0	3,0
μ	-1,618	-1,373	-1,168	-1,060	-0,982	-0,924	-0,880
σ	0,304	0,238	0,132	0,100	0,076	0,058	0,065
β	2,167	1,881	1,558	1,175	0,694	-0,003	#NUM!
Vmax,BTS	0,383	0,395	0,382	0,389	0,395	0,397	#NUM!
iter?	TRUE	FALSE	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
R	→	6,8%	→	4,2%	←	←	←

Veff,max,Y [mm/s]

meetdagen	24						
top:	50%	25%	12,5%	6,3%	3,1%	1,6%	0,8%
n	319,5	159,8	79,9	39,9	20,0	10,0	5,0
n_afgerond	320,0	160,0	80,0	40,0	20,0	10,0	5,0
μ	-1,491	-1,215	-0,990	-0,857	-0,787	-0,734	-0,685
σ	0,338	0,260	0,162	0,092	0,076	0,074	0,075
β	2,311	2,041	1,740	1,393	0,973	0,418	-0,540
Vmax,BTS	0,492	0,505	0,493	0,482	0,490	0,495	0,484
iter?	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
R	6,7%	←	←	←	←	←	←

Veff,max,Z [mm/s]

meetdagen	24						
top:	50%	25%	12,5%	6,3%	3,1%	1,6%	0,8%
n	46,5	23,3	11,6	5,8	2,9	1,5	0,7
n_afgerond	47,0	23,0	12,0	6,0	3,0	1,0	1,0
μ	-1,934	-1,813	-1,733	-1,682	-1,643	-1,630	-1,630
σ	0,146	0,101	0,064	0,046	0,013	#DIV/0!	#DIV/0!
β	1,474	1,073	0,557	-0,243	#NUM!	#NUM!	#NUM!
Vmax,BTS	0,179	0,182	0,183	0,184	#NUM!	#NUM!	#NUM!
iter?	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
R	5,4%	←	←	←	←	←	←

	X	Y	Z
Vmax,BTS	0,39	0,49	0,18
R	6,8%	6,7%	5,4%

Veff,max,X [mm/s]

meetdagen	24						
top:	50%	25%	12,5%	6,3%	3,1%	1,6%	0,8%
n	223,0	111,5	55,8	27,9	13,9	7,0	3,5
n_afgerond	223,0	112,0	56,0	28,0	14,0	7,0	3,0
μ	-1,533	-1,257	-1,128	-1,058	-0,999	-0,966	-0,923
σ	0,312	0,158	0,089	0,071	0,050	0,050	0,047
β	2,174	1,889	1,567	1,187	0,709	0,021	-5,452
Vmax,BTS	0,426	0,384	0,372	0,378	0,382	0,381	0,308
iter?	FALSE	FALSE	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
R	7,1%	←	→	2,9%	←	←	←

Veff,max,Y [mm/s]

meetdagen	24						
top:	50%	25%	12,5%	6,3%	3,1%	1,6%	0,8%
n	631,5	315,8	157,9	78,9	39,5	19,7	9,9
n_afgerond	632,0	316,0	158,0	79,0	39,0	20,0	10,0
μ	-0,669	-0,279	0,121	0,368	0,470	0,518	0,554
σ	0,513	0,456	0,279	0,123	0,059	0,044	0,031
β	2,555	2,307	2,036	1,734	1,386	0,965	0,407
Vmax,BTS	1,898	2,167	1,992	1,790	1,738	1,750	1,762
iter?	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
R	7,9%	←	←	←	←	←	←

Veff,max,Z [mm/s]

meetdagen	24						
top:	50%	25%	12,5%	6,3%	3,1%	1,6%	0,8%
n	399,5	199,8	99,9	49,9	25,0	12,5	6,2
n_afgerond	400,0	200,0	100,0	50,0	25,0	12,0	6,0
μ	-1,729	-1,505	-1,310	-1,201	-1,139	-1,106	-1,090
σ	0,278	0,224	0,129	0,071	0,038	0,019	0,011
β	2,393	2,131	1,841	1,511	1,119	0,618	-0,130
Vmax,BTS	0,345	0,358	0,342	0,335	0,334	0,335	0,336
iter?	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
R	5,1%	←	←	←	←	←	←

	X	Y	Z
Vmax,BTS	0,46	2,11	0,37
R	7,7%	8,5%	5,5%

Vtop fundatie	MAX	MAX	MAX	Vtop fundatie	MAX	MAX	MAX
	X [mm/s]	Y [mm/s]	Z [mm/s]		X [mm/s]	Y [mm/s]	Z [mm/s]
Stoor trilling	0,62	1,47	1,79	Trein trilling	0,48	0,29	0,82

Veff,max,X [mm/s]

meetdagen	24						
top:	50%	25%	12,5%	6,3%	3,1%	1,6%	0,8%
n	3,5	1,8	0,9	0,4	0,2	0,1	0,1
n_afgerond	4,0	2,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
μ	-2,273	-2,273	-2,273	#CALC!	#CALC!	#CALC!	#CALC!
σ	0,000	0,000	#DIV/0!	#CALC!	#CALC!	#CALC!	#CALC!
β	-4,797	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!
Vmax,BTS	0,103	#NUM!	#NUM!	#CALC!	#CALC!	#CALC!	#CALC!
iter?	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
R	0,0%	←	←	←	←	←	←

Veff,max,Y [mm/s]

meetdagen	24						
top:	50%	25%	12,5%	6,3%	3,1%	1,6%	0,8%
n	88,0	44,0	22,0	11,0	5,5	2,8	1,4
n_afgerond	88,0	44,0	22,0	11,0	6,0	3,0	1,0
μ	-2,095	-2,033	-1,976	-1,914	-1,837	-1,711	-1,501
σ	0,100	0,108	0,129	0,162	0,192	0,208	#DIV/0!
β	1,784	1,445	1,037	0,507	-0,337	#NUM!	#NUM!
Vmax,BTS	0,147	0,153	0,158	0,160	0,149	#NUM!	#NUM!
iter?	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
R	3,1%	←	←	←	←	←	←

Veff,max,Z [mm/s]

meetdagen	24						
top:	50%	25%	12,5%	6,3%	3,1%	1,6%	0,8%
n	311,0	155,5	77,8	38,9	19,4	9,7	4,9
n_afgerond	311,0	156,0	78,0	39,0	19,0	10,0	5,0
μ	-1,842	-1,716	-1,646	-1,584	-1,526	-1,463	-1,381
σ	0,153	0,100	0,097	0,103	0,123	0,145	0,173
β	2,301	2,030	1,727	1,378	0,954	0,392	-0,603
Vmax,BTS	0,226	0,220	0,228	0,236	0,245	0,245	0,226
iter?	FALSE	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
R	3,1%	→	3,1%	←	←	←	←

	X	Y	Z
Vmax,BTS	0,10	0,15	0,23
R	0,0%	3,1%	3,1%

Veff,max,X [mm/s]							
meetdagen	24						
top:	50%	25%	12,5%	6,3%	3,1%	1,6%	0,8%
n	195,0	97,5	48,8	24,4	12,2	6,1	3,0
n_afgerond	195,0	98,0	49,0	24,0	12,0	6,0	3,0
μ	-1,842	-1,731	-1,657	-1,588	-1,512	-1,451	-1,377
σ	0,143	0,104	0,099	0,102	0,093	0,098	0,085
β	2,121	1,830	1,499	1,103	0,597	-0,166	#NUM!
Vmax,BTS	0,215	0,214	0,221	0,229	0,233	0,231	#NUM!
iter?	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
R	→	→	3,6%	←	←	←	←

Veff,max,Y [mm/s]							
meetdagen	24						
top:	50%	25%	12,5%	6,3%	3,1%	1,6%	0,8%
n	239,0	119,5	59,8	29,9	14,9	7,5	3,7
n_afgerond	239,0	120,0	60,0	30,0	15,0	7,0	4,0
μ	-1,510	-1,213	-1,060	-0,957	-0,889	-0,802	-0,726
σ	0,339	0,195	0,137	0,121	0,140	0,170	0,198
β	2,201	1,919	1,601	1,228	0,763	0,107	-2,156
Vmax,BTS	0,466	0,432	0,432	0,446	0,458	0,457	0,316
iter?	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
R	7,5%	←	←	←	←	←	←

Veff,max,Z [mm/s]							
meetdagen	24						
top:	50%	25%	12,5%	6,3%	3,1%	1,6%	0,8%
n	124,0	62,0	31,0	15,5	7,8	3,9	1,9
n_afgerond	124,0	62,0	31,0	16,0	8,0	4,0	2,0
μ	-1,906	-1,799	-1,726	-1,666	-1,605	-1,541	-1,464
σ	0,134	0,100	0,092	0,091	0,093	0,096	0,058
β	1,935	1,619	1,249	0,791	0,151	-1,704	#NUM!
Vmax,BTS	0,193	0,194	0,200	0,203	0,204	0,182	#NUM!
iter?	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
R	→	→	3,8%	←	←	←	←

	X	Y	Z
Vmax,BTS	0,22	0,47	0,20
R	3,6%	7,5%	3,8%

BIJLAGE 4 Gegevens passages erts treinen

uitvoer	lengte	gewicht	Materieel	soort	aantalwagons
27-10-2022 2:37	576	4936	2xBR189,18xFALRRS	Erts	18
27-10-2022 10:30	606	4698	2xBR189,19xFALRRS	Erts	19
27-10-2022 18:00	516	4400	2xBR189,16xFALRRS	Erts	16
27-10-2022 22:37	607	4596	2xBR189,19xFALRRS	Erts	19
28-10-2022 6:46	606	5182	2xBR189,19xFALRRS	Erts	19
28-10-2022 22:55	517	4374	2xBR189,16xFALRRS	Erts	16
29-10-2022 2:34	547	4637	2xBR189,17xFALRRS	Erts	17
29-10-2022 6:51	608	5168	2xBR189,19xFALRRS	Erts	19
29-10-2022 11:22	576	4971	2xBR189,18xFALRRS	Erts	18
29-10-2022 14:17	606	5205	2xBR189,19xFALRRS	Erts	19
29-10-2022 21:51	577	4938	2xBR189,18xFALRRS	Erts	18
30-10-2022 10:58	516	4431	2xBR189,16xFALRRS	Erts	16
31-10-2022 7:42	578	4961	2xBR189,18xFALRRS	Erts	18
31-10-2022 10:30	607	5241	2xBR189,19xFALRRS	Erts	19
31-10-2022 14:15	545	4698	2xBR189,17xFALRRS	Erts	17
31-10-2022 17:58	577	4388	2xBR189,18xFALRRS	Erts	18
31-10-2022 22:39	516	4361	2xBR189,16xFALRRS	Erts	16
1-11-2022 2:43	517	4408	2xBR189,16xFALRRS	Erts	16
1-11-2022 6:48	516	4366	2xBR189,16xFALRRS	Erts	16
1-11-2022 10:30	575	4986	2xBR189,18xFALRRS	Erts	18
1-11-2022 22:42	576	4960	2xBR189,18xFALRRS	Erts	18
2-11-2022 7:01	606	5243	2xBR189,19xFALRRS	Erts	19
2-11-2022 11:02	518	4445	2xBR189,16xFALRRS	Erts	16
2-11-2022 14:18	577	4383	2xBR189,18xFALRRS	Erts	18
2-11-2022 22:37	185	1098	2xBR189,5xFALRRS	Erts	5
3-11-2022 2:39	575	4928	2xBR189,18xFALRRS	Erts	18
3-11-2022 6:49	515	4418	2xBR189,16xFALRRS	Erts	16
3-11-2022 9:48	516	4413	2xBR189,16xFALRRS	Erts	16
3-11-2022 22:38	547	4120	2xBR189,17xFALRRS	Erts	17
4-11-2022 2:42	576	4900	2xBR189,18xFALRRS	Erts	18
4-11-2022 6:53	608	5229	2xBR189,19xFALRRS	Erts	19
4-11-2022 10:30	548	4668	2xBR189,17xFALRRS	Erts	17
4-11-2022 22:41	577	4369	2xBR189,18xFALRRS	Erts	18
5-11-2022 6:49	608	5197	2xBR189,19xFALRRS	Erts	19
5-11-2022 10:28	576	4981	2xBR189,18xFALRRS	Erts	18
5-11-2022 17:50	487	4149	2xBR189,15xFALRRS	Erts	15
5-11-2022 21:29	606	5212	2xBR189,19xFALRRS	Erts	19
6-11-2022 10:00	578	4948	2xBR189,18xFALRRS	Erts	18

uitvoer	lengte	gewicht	Materieel	soort	aantalwagons
7-11-2022 6:49	577	4979	2xBR189,18xFALRRS	Erts	18
7-11-2022 18:01	517	3926	2xBR189,16xFALRRS	Erts	16
7-11-2022 22:38	607	5183	2xBR189,19xFALRRS	Erts	19
8-11-2022 2:39	546	4686	2xBR189,17xFALRRS	Erts	17
8-11-2022 6:49	577	4910	2xBR189,18xFALRRS	Erts	18
8-11-2022 10:31	608	5227	2xBR189,19xFALRRS	Erts	19
8-11-2022 18:00	578	4363	2xBR189,18xFALRRS	Erts	18
8-11-2022 22:37	456	3881	2xBR189,14xFALRRS	Erts	14
9-11-2022 2:40	576	4952	2xBR189,18xFALRRS	Erts	18
9-11-2022 6:50	607	5217	2xBR189,19xFALRRS	Erts	19
9-11-2022 18:29	576	4343	2xBR189,18xFALRRS	Erts	18
10-11-2022 2:38	606	4764	2xBR189,19xFALRRS	Erts	19
10-11-2022 14:18	545	4686	2xBR189,17xFALRRS	Erts	17
10-11-2022 22:39	575	4370	2xBR189,18xFALRRS	Erts	18
11-11-2022 2:39	517	4418	2xBR189,16xFALRRS	Erts	16
11-11-2022 6:55	576	4943	2xBR189,18xFALRRS	Erts	18
11-11-2022 13:31	605	5201	2xBR189,19xFALRRS	Erts	19
11-11-2022 17:56	605	4568	2xBR189,19xFALRRS	Erts	19
11-11-2022 22:40	607	5136	2xBR189,19xFALRRS	Erts	19
12-11-2022 2:40	606	5209	2xBR189,19xFALRRS	Erts	19
12-11-2022 14:18	607	5211	2xBR189,19xFALRRS	Erts	19
12-11-2022 17:50	606	5147	2xBR189,19xFALRRS	Erts	19
13-11-2022 14:16	578	4919	2xBR189,18xFALRRS	Erts	18
14-11-2022 7:20	606	5188	2xBR189,19xFALRRS	Erts	19
14-11-2022 10:29	606	5263	2xBR189,19xFALRRS	Erts	19
14-11-2022 14:17	606	5237	2xBR189,19xFALRRS	Erts	19
14-11-2022 22:38	607	5267	2xBR189,19xFALRRS	Erts	19
15-11-2022 2:42	607	5223	2xBR189,19xFALRRS	Erts	19
15-11-2022 10:30	607	5266	2xBR189,19xFALRRS	Erts	19
16-11-2022 2:43	608	5262	2xBR189,19xFALRRS	Erts	19
16-11-2022 6:51	577	4994	2xBR189,18xFALRRS	Erts	18
16-11-2022 14:19	546	4736	2xBR189,17xFALRRS	Erts	17
16-11-2022 17:58	607	4644	2xBR189,19xFALRRS	Erts	19
17-11-2022 2:46	606	5207	2xBR189,19xFALRRS	Erts	19
17-11-2022 10:32	607	5264	2xBR189,19xFALRRS	Erts	19
17-11-2022 13:20	607	5264	2xBR189,19xFALRRS	Erts	19

BIJLAGE 5 Maatregelen onderzoek en afweging TB 2016

Onderstaand is het hoofdstuk Maatregelen van de rapportage "(O)TB Theemswegtracé MD-AF20150603 11/EindFinale versie 18 mei 2016 van RHDHV" zoals bijgevoegd bij het Tracébesluit weergegeven.

Maatregelen

In dit hoofdstuk worden de mitigerende en compenserende maatregelen voor het (O)TB uitgewerkt. We beperken ons tot maatregelen die gerelateerd zijn aan het huidige besluit en binnen de reikwijdte van de initiatiefnemer ligt. Bij de Theemswegtracé dienen aan 18 objecten maatregelen te worden overwogen.

Soorten maatregelen

Er kan onderscheid worden gemaakt tussen drie soorten maatregelen, die overigens ook in combinatie getroffen kunnen worden:

- Maatregelen aan de bron.
- Maatregelen in de overdracht.
- Maatregelen bij de ontvanger.

Een voorbeeld van maatregelen aan de bron is het verbeteren van afvoer van de trog bij de bron of het funderen van de baan in de ondergrond.

Een voorbeeld van maatregelen in de overdracht is het aanbrengen van een ondergrondse trillingsreducerende constructie of een (diepe) sloot. Deze maatregelen worden ook wel transmissie maatregelen genoemd.

Een voorbeeld van maatregelen bij de ontvanger is het verstijven van de vloer van het gebouw of het afveren van het gebouw of het aanpassen van de fundering.

Doelmatigheid

De keuze van eventuele maatregelen hangt af van de doelmatigheid daarvan. In de Bts is voor de beoordeling op doelmatigheid de MKBA-systematiek² voorgeschreven. Als gebruik wordt gemaakt van een doelmatigheidsafweging, dient in de toelichting bij het Tracébesluit in te worden gegaan op de geraamde kosten van een maatregel, de geraamde opbrengsten van de maatregel in termen van trillinghinderreductie en het aantal woningen, het gehanteerde normbedrag per woning en de gemaakte doelmatigheidsafweging. De afwegingscriteria van doelmatigheid die in de toelichting bij de Bts worden genoemd omvatten naast de kosten per woning en de kosten per werkplek en de duurzaamheid van de maatregel ook eventuele neveneffecten van de maatregel.

² MKBA staat voor maatschappelijke kosten en baten analyse.

In de Bts is de verplichting opgenomen om een opleveringstoets uit te voeren. Deze toets voorziet in onderzoek naar de effectiviteit van maatregelen en de omvang van de trillingssterkte binnen 1 jaar na ingebruikname van het project. Dit onderzoek kan aanleiding geven tot het treffen van (nadere)maatregelen.

In 2014 heeft ProRail in overleg met het ministerie afgesproken, naar analogie van het doelmatigheidscriterium voor geluidmaatregelen, een bedrag van € 47.000,- per woning te nemen als acceptabele kosten voor een maatregel. Op basis van de Acceptabele Kostenmethodiek (AK-methodiek) die Witteveen+Bos in het rapport beschrijft, is dan een doelmatigheidsafweging te maken. Voor kantoren is afgesproken een normbedrag van € 500,- te hanteren per werkplek. Dit bedrag wijkt sterk af van het normbedrag voor woningen omdat een belangrijk gezondheidsaspect slaapverstoring bij kantoren niet meeweegt en omdat de blootstellingsduur korter is dan bij bewoners langs het spoor. Er is door ProRail in overleg met het ministerie geen normbedrag voor een kritische werkruimte afgesproken. We gaan uit van een normbedrag voor een maatregel voor een kritische werkruimte van € 500,- per werkplek.

Onderzochte maatregelen

De volgende maatregelen kunnen worden getroffen aan de bron:

- Aan de bovenbouw van het spoor, namelijk door toepassing van dwarsliggersloffen.
- Tussen de bovenbouw en de onderbouw van het spoor, namelijk door toepassing van – verbeterde – ballastmatten tussen de ballast en de betonconstructie.
- Tussen de kolommen en de onderbouw, namelijk door toepassing van stalen veren tussen de prefabbetonnen liggers en de kolommen waarop deze rusten.

De volgende maatregelen kunnen worden toegepast in het overdrachtspad:

- Toepassing van een zachte laag tussen de fundering van de belangrijke kolommen en de omringende grond.
- Toepassing van een diepe sleuf of een trillingsscherm in de bodem tussen de belangrijke kolommen en het te beschermen gebouw.

De volgende maatregel kan worden toegepast bij de ontvanger:

- Toepassing van verstijvende constructies zoals stalen vloerbalken, in de kantoren.

Uit de metingen aan de Blindeweg is gebleken dat de bodemtrillingen op korte afstand (10 m van de kolommen) een laagfrequent karakter hebben. De maatgevende frequenties zijn 1 en 6 Hz. Op grotere afstanden vanaf de kolommen zullen vooral de hogere frequenties uitdempem waardoor dit laagfrequente karakter alleen nog maar versterkt zal worden. Bij een treinsnelheid van ca. 60 km/u komen de genoemde frequenties overeen met afstanden van ca. 17 respectievelijk ca. 2,90 m. Hieruit wordt geconcludeerd dat de bijdrage van de zogenaamde pin-pin frequentie, die veroorzaakt wordt door het passeren van de vaste railoplegpunten boven de dwarsliggers (60 cm) hier niet relevant is. De genoemde afstanden van 17 en 2,9 m zouden overeen kunnen komen met vaste afstanden in de constructie; aan de Blindeweg bedraagt de afstand tussen de kolommen 25 m, wat in dezelfde orde van grootte is om een frequentie van ongeveer 1 Hz te kunnen genereren.

De toepassing van dwarsliggersloffen of ballastmatten berust op het principe van een massaveersysteem. In beginsel heeft een massaveersysteem een transferfunctie die bij zeer lage frequenties de amplitude ongedempt doorgeeft, bij de resonantiefrequentie een versterking van de optredende trillingen veroorzaakt, en bij frequenties ruim boven die resonantiefrequentie een verzwakking opleveren. Voor de genoemde oplossingen, te weten dwarsliggersloffen resp. ballastmatten geldt, dat deze een resonantiefrequentie vertonen die aanzienlijk boven de genoemde frequenties ligt. Voor een geoptimaliseerde ballastmat ligt de resonantiefrequentie rond 15 Hz. Dit is te hoog voor de voorliggende situatie, dwarsliggersloffen of ballastmatten zijn hiermee niet effectieve maatregelen.

Ruimtelijke randvoorwaarden

In de leidingstroken kan niet worden gebouwd omdat deze ruimtelijk zijn gereserveerd voor kabels en leidingen.

Als mogelijk effectieve trillingsmaatregelen blijven over:

Maatregelen bij de bron

- Plaatsen van een stalen verenpakket tussen de kolom en de prefabbetonnen liggers, zie figuur 6.1.
- Bekleden van de fundering van de kolommen (in de grond) met een zachte verende laag, zie figuur 6.2.

Maatregelen in de overdracht

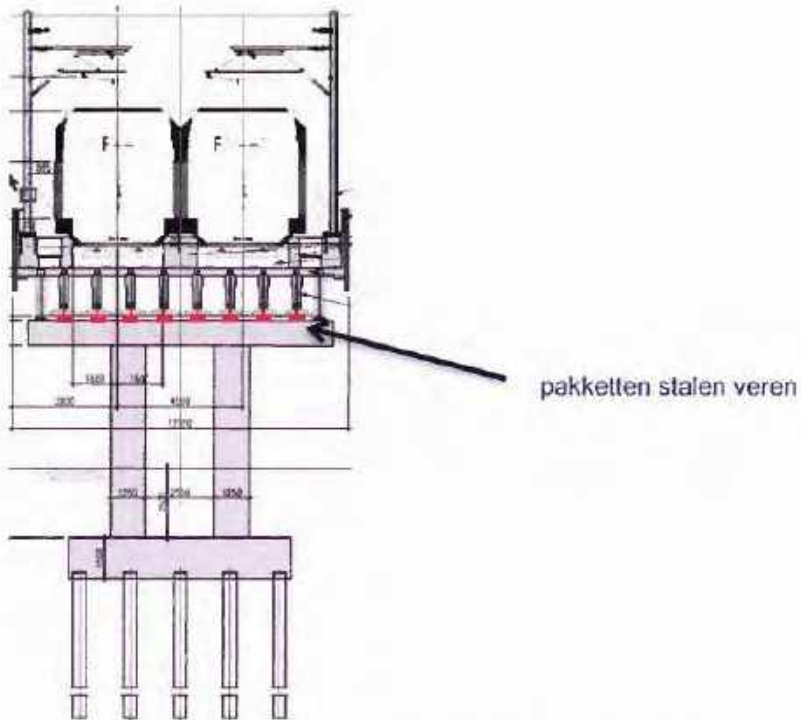
- Niet mogelijk

Tussen het toekomstige spoor en de kantoren langs de Theemsweg is onvoldoende ruimte voor een sleuf of een trillingsscherm. Dit wordt veroorzaakt door de leidingstroken voor leidingen en kabels die daar ter plekke in de grond liggen.

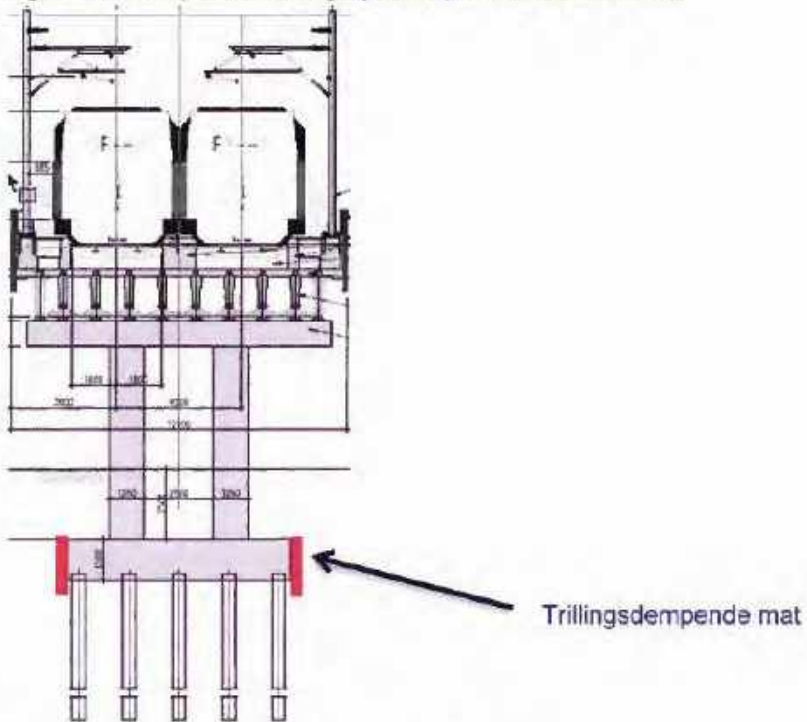
Maatregelen bij de ontvanger

- Maatregelen aan de kantoorvloeren.

De principeschets is in figuur 6.1 en 6.2 weergegeven.



Figuur 6.1: Principeschets voorgespannen pakketten stalen veren.



Figuur 6.2: Principeschets bekleeden fundering pijler.

Afweging maatregelen

Met elk van deze maatregelen kan in beginsel de overschrijding van de streefwaarde voor de trillingen in kantoren en werkruimtes worden tenietgedaan. Voorwaarde is wel dat de maatregelen een werking hebben tot het zeer laagfrequente gebied rond 1 Hz.

In hoofdstuk 3 is het doelmatigheids criterium geïntroduceerd. Effectieve maatregelen worden afgewogen op de maximale bedragen € 500,- per kantoorwerkplek en € 500,- per werkplek in een kritische werkruimte. Per object wordt hiermee het budget conform het doelmatigheids-criterium berekend.

Stalen verenpakketten

Voor de kosten van maatregelen hebben we informatie ingewonnen bij verschillende leveranciers. Het idee van deze maatregel is dat er een ontkoppeling plaatsvindt tussen de rijvloer resp. bodem van de trog enerzijds en de kop van de kolom anderzijds. Uit onderzoek ter plaatse is gebleken dat zonder maatregelen in de bodem trillingen worden veroorzaakt met een zeer lage frequentie (rond 1 Hz).

Om dergelijke lage frequenties te isoleren, is een isolatie nodig die bij deze lage frequenties effectief is. Dat kan alleen met stalen veren bereikt worden. Rekening gehouden moet worden met een flinke statische inverting onder belasting. Nader verkregen informatie geeft aan dat de trog/rijvloer wordt ondersteund door dwarsbalken. Al naar gelang van welk spoor de trein gebruikmaakt, zullen de statische krachten op de ene zijde of de ander zijde van de dwarsbalk terecht komen.

In totaal is er op de belaste zijde van de dwarsbalk een statische massa op te vangen van:

- 217 ton voor de passerende trein;
- 812 ton voor de helft van de betonnen trog;
- 108 ton voor de helft van het ballastbed.

De totale statische belasting aan één zijde van de dwarsbalk is 1137 ton. Eén verenpakket dat geschikt is om frequenties rond 4 Hz te isoleren (en dat ook nog enige isolatie zal hebben bij 1 Hz) kan maximaal 1300 kN dragen. Voor de totale belasting van 1137 ton zijn dan 9 verenpakketten nodig. In totaal zijn dan per kolom 18 pakketten nodig. Per kolom moet dan rekening worden gehouden met een extra bedrag van ca. 36.000 euro, alleen voor de verenpakketten.

Bij passage van een trein zal de helft van de verenpakketten op druk worden belast, de andere helft op trek. Met de leverancier moet worden afgestemd of dit mogelijk en verantwoord is.

De kolommen die de spoorbaan dragen hebben een onderlinge afstand van 25 of 45 meter. De dichtst bij de spoorbaan gelegen kantoren hebben een afstand van 15 tot 20 meter van het tracé. Per object zijn er een aantal relevant bijdragende kolommen. De kosten van de maatregel zijn gebaseerd op uitvoeren van de maatregel aan de relevant bijdragende kolommen.

Tabel 6.1: Afweging stalen verenpakketten.

Object	Aantal werkplekken in object	Normbedrag €	Budget conform doelmatigheids-criterium	Aantal relevant bijdragende Kolommen	Kosten maatregel
Kantoor [redacted]	80	500	40.000	5	180.000
kantoor [redacted] (pandid 11718)*	30	500	15.000	3	108.000
kantoor [redacted] (pandid 12130)*	50	500	25.000	5	180.000
Kantoor [redacted]	35	500	17.500	5	180.000
Kantoor [redacted]	84	500	42.000	5	180.000
kantoor [redacted]	60	500	30.000	5	180.000
kantoor [redacted] (pandid 20963)*	63	500	31.500	5	180.000
kantoor [redacted] (pandid 10691)*	19	500	9.500	4	144.000
kantoor [redacted]	8	500	4.000	4	144.000
kantoor [redacted]	24	500	12.000	4	144.000
kantoor [redacted]	12	500	6.000	4	144.000
kantoor [redacted]	1	500	500	3	108.000
kantoor [redacted]	63	500	31.500	6	216.000
Kantoor [redacted]	89	500	44.500	4	144.000

* zie bijlage 2 en bijlage 3

Voor de kantoren met de meeste werkplekken bedragen de normkosten maximaal 44.500 euro. In tabel 6.2 zijn de kosten van de maatregel weergegeven. In alle gevallen liggen de kosten voor maatregelen ruim boven deze normbedragen per object.

Voor de kritische werkruimtes bedragen de normkosten 2000 tot 2.500 euro. De kritische werkruimtes liggen verder weg van het tracé dan de kantoren. Hierdoor moeten een significant groter aantal kolommen worden aangepast. Ook deze maatregelen zijn niet doelmatig. Ook als voor kritische werkruimtes een normbedrag van 47.000 euro wordt gehanteerd is deze oplossing niet doelmatig. Hierbij wordt aangetekend dat dit een doelmatigheidsafweging is per object. Hierna wordt weergegeven of deze maatregel geprofiteerd kan worden door meerdere objecten. (clustering).

Cluster overweging stalen veren pakketten

Voor objecten die door dezelfde pijlers worden belast kan een clustering in de doelmatigheidsafweging zinvol zijn. Dit houdt in dat meerdere objecten profiteren van een maatregel. Clustering leidt ertoe dat stalen veren pakketten eerder doelmatig worden bevonden in vergelijking met een doelmatigheidsafweging per object. Het zijn clusters van objecten waarbij deze objecten in de nabijheid van elkaar liggen, elk aan een ander zijde van het tracé. Vanuit dit oogpunt zijn er twee clusters zinvol in het Theemswegtracé. In tabel 6.6 zijn de beide clusters weergegeven.

Tabel 6.2: Afweging stalen verenpakketten per cluster.

Cluster	Budget cluster conform doelmatigheidscriterium	Aantal relevant bijdragende Kolommen	Kosten maatregel
Kantoor █████ kantoor █████ (pandid 12130)*	40.000+25.000	5	180.000
kantoor █████ kantoor █████ (pandid 11718)*	17.500+15.000	7	210.000

* zie bijlage 2 en bijlage 3

Voor de clusters bedragen de normkosten maximaal 65.000 euro. In tabel 6.1 zijn de kosten van de maatregel weergegeven. In beide gevallen liggen de kosten voor maatregelen ruim boven deze normbedragen per cluster. Ook als voor de kritische werkruimte in kantoor █████ een normbedrag van 47.000 euro wordt gehanteerd is deze oplossing niet doelmatig.

Trillingsisolerende laag

De oplossing is het aanbrengen van een trillingsisolerende laag rondom de poer in de grond, die de kolom draagt. Deze laag wordt, vanwege het verticale karakter van de maatgevende trillingen, vooral op afschuiving belast. Het meest geschikte materiaal zal in een latere fase moeten worden geselecteerd. Hier wordt uitgegaan van een materiaal op basis van gerecycled rubber, met een dikte van ca. 10 cm. Het materiaal moet bestand zijn tegen de gronddruk en tegen water. Per poer moet worden gerekend op ca. 50 m².

De kosten worden op ca. € 200 per m² geschat zodat de kosten per poer, inclusief aanleg, op ca. 15.000 euro komen. In tabel 6.3 zijn de kosten en de budgetten doelmatigheidscriterium per object weergegeven.

Tabel 6.3: Afweging trillingsisolerende laag.

Object	Aantal werkplekken In object	Normbedrag €	Budget conform doelmatigheidscriterium	Aantal relevant bijdragende Kolommen	Kosten maatregel
Kantoor █████	80	500	40.000	5	75.000
kantoor █████ (pandid 11718)*	30	500	15.000	3	45.000
kantoor █████ (█████ pandid 12130)*	50	500	25.000	5	75.000
Kantoor █████	35	500	17.500	5	75.000
Kantoor █████	84	500	42.000	6	75.000
kantoor █████	60	500	30.000	5	75.000
kantoor █████ (pandid 20963)*	63	500	31.500	5	75.000
kantoor █████ (pandid 10691)*	19	500	9.500	4	60.000
kantoor █████	8*	500	4.000	4	60.000
kantoor █████	24	500	12.000	4	60.000
kantoor █████	12	500	6.000	4	60.000
kantoor █████	1	500	500	3	45.000
kantoor █████	63	500	31.500	6	90.000
Kantoor █████	89	500	44.500	4	60.000

* zie bijlage 2 en bijlage 3

Ook deze oplossing is voor de kantoren in alle gevallen niet doelmatig.

Voor de kritische werkruimtes bedragen de normkosten 2000 tot 2.500 euro. Voor de kritische werkruimtes die verder weg gelegen zijn van het tracé dan de kantoren, moeten een significant groter aantal kolommen worden aangepast. Ook hiervoor is deze oplossing niet doelmatig. Ook als voor kritische werkruimtes een normbedrag van 47.000 euro wordt gehanteerd is deze oplossing niet doelmatig.

Hierbij wordt aangetekend dat dit een afweging is per object conform de doelmatigheidsafweging uit de Bts.

Cluster overweging trillingsisolerende laag

Voor objecten die door dezelfde pijlers worden belast kan een clustering in de doelmatigheidsafweging zinvol zijn. Clustering leidt ertoe dat de maatregel trillingsisolerende laag eerder doelmatig worden bevonden in vergelijking met een doelmatigheidsafweging per object. Het zijn clusters van objecten waarbij deze objecten in de nabijheid van elkaar liggen, elk aan een ander zijde van het tracé. Vanuit dit oogpunt zijn er twee clusters zinvol in het Theemswegtracé. In tabel 6.4 zijn de beide clusters weergegeven.

Tabel 6.4: Afweging trillingsisolerende laag per cluster.

Cluster	Budget cluster conform doelmatigheidscriterium	Aantal relevant bijdragende kolommen	Kosten maatregel
Kantoor [redacted] kantoor [redacted] pandid 12130)*	40.000+25.000	5	75.000
kantoor [redacted] kantoor [redacted] (pandid 11718)*	17.500+15.000	7	105.000

* zie bijlage 2 en bijlage 3

Voor de clusters bedragen de normkosten maximaal 65.000 euro. In tabel 6.5 zijn de kosten van de maatregel weergegeven. In beide gevallen liggen de kosten voor maatregelen boven deze normbedragen per cluster. Ook als voor de kritische werkruimte in kantoor [redacted] een normbedrag van 47.000 euro wordt gehanteerd is deze oplossing niet doelmatig.

Afweging vloerversteviging

De kantoren met een overschrijding bestaan uit 1 tot 3 verdiepingen. Inclusief verkeersruimte wordt gerekend met een vloeroppervlak van 23 m² per persoon. Het verstijven van de vloer gebeurt door het aanbrengen van extra stalen liggers onder de vloer. In een kantooromgeving is vaak sprake van een verlaagd (systeem)plafond. Daarom kan deze ingreep vaak zonder zeer grote aanpassingen worden gerealiseerd. Bij objecten met een bouwlaag kan deze maatregel niet worden uitgevoerd. Voor een vloeroppervlak van 50 m² een kostenpost van ca. 25.000 euro gerekend. Hierbij wordt aangetekend dat het kantoor [redacted] en [redacted] bestaat uit unitbouw. Een vloerverstijving is voor unitbouw technisch vrijwel niet uitvoerbaar.

In tabel 6.5 zijn de kosten van vloerversteviging en de budgetten doelmatigheidscriterium per object weergegeven.

Tabel 6.5: Afweging vloerversteviging en budget doelmatige maatregelen Theemswegtracé.

Object	Aantal werkplekken in object	Normbedrag €	Budget conform doelmatigheidscriterium	Vloeroppervlakte [m ²]	Kosten maatregel
Kantoor [redacted]	89	500	44.500	1.365	682.333
Kantoor [redacted]	52	500	26.000	1.196	598.000
Kantoor [redacted]	80	500	40.000	1.840	920.000
kantoor [redacted] (pandid 11718)*	30	500	15.000	1.840	920.000
kantoor [redacted] (pandid 12130)*	50	500	25.000	840	420.000
Kantoor [redacted]	84	500	42.000	128.800	644.000
kantoor [redacted]	60	500	30.000	1.380	690.000
kantoor [redacted] (pandid 20963)*	63	500	31.500	1.449	724.500
kantoor [redacted] (pandid 10691)*	19	500	9.500	1.365	109.250
kantoor [redacted]	8	500	4.000	184	92.000
kantoor [redacted]	24	500	12.000	552	276.000
kantoor [redacted]	1	500	500	31	15.795

* zie bijlage 2 en bijlage 3

Vloerversteviging is op objectniveau veruit de duurste oplossing. Ook deze oplossing gaat bij alle kantoren het maximale bedrag voor doelmatige maatregelen ver te boven.

In de tabel komen geen kritische werkruimtes voor omdat de maatregel vloerversteviging alleen voor objecten met 2 verdiepingen of meer, dit zijn uitsluitend kantoren.

Conclusies

Omdat er op basis van het doelmatigheidscriterium in artikel 9 lid 1 van de Bts geen doelmatige maatregelen bestaan om de trillingen terug te dringen tot de gewenste waarden zoals in hoofdstuk 3 aangegeven, blijven maatregelen achterwege. De maximale trillingssterkte V_{max} in objecten ten gevolge het Theemswegtracé bedraagt ten hoogste 0,82. Hiermee ligt de maximale trillingssterkte V_{max} in alle objecten ten gevolge het Theemswegtracé significant lager dan het plafond in de Bts, de grenswaarde van 3.2 waarboven maatregelen moeten worden genomen. Hiermee worden de trillingen ten gevolge van het Theemswegtracé aanvaardbaar geacht.

Notitie / Memo

HaskoningDHV Nederland B.V.
Mobility & Infrastructure

Aan: Havenbedrijf Rotterdam
Van: [REDACTED]
Datum: 12 juli 2023
Kopie:
Ons kenmerk: BI8134-100-100
Classificatie: Alleen voor intern gebruik
Gecontroleerd door

Onderwerp: Meting brugtoeslag Theemswegtracé 2023

In het in het kader van Artikel 17.2 Opleveringstoets van het Tracébesluit Theemswegtracé is de geluidtoeslag van de bruggen bepaald conform de methodiek in het Reken -en Meetvoorschrift 2012.

Bijlage 1 bevat het technische meetrapport van DEKRA Rail waarin de methode van meten, de analyses, resultaten van de metingen en bepaling van de brugtoeslag van beide bruggen zijn vastgelegd.

Methodiek

De metingen zijn uitgevoerd conform Reken -en Meetvoorschrift 2012 (RMV2012), hoofdstuk 6.2, *Methode voor meting en modellering van stalen kunstwerken*. Deze meetmethode wordt veelvuldig toegepast voor betonnen bruggen omdat er geen reden is om af te wijken van dat protocol. Het meetprotocol geeft geen mogelijkheden om rekening te houden met de asymmetrie (kromming) van het spoor op een brug.

Brugtoeslag

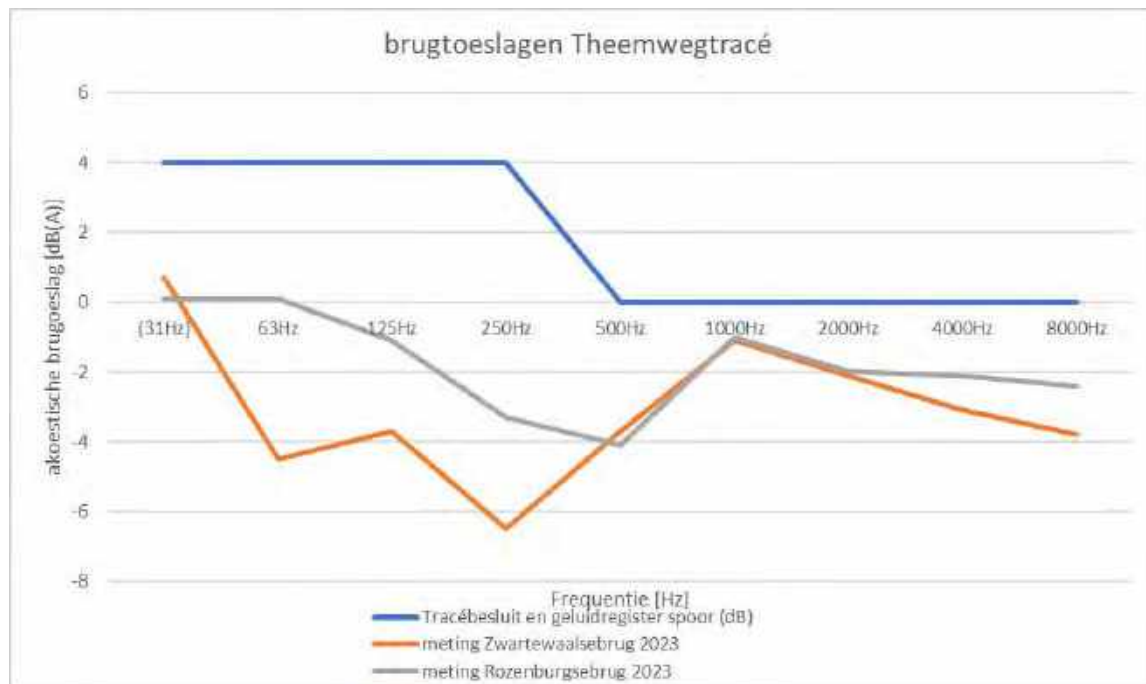
Een belangrijk onderdeel van geluidmetingen is de oppervlaktegesteldheid van de loopspiegels van de spoorstaven. Hiervoor zijn vooraf aan de geluidmetingen railruweidmetingen uitgevoerd waarbij de akoestische kwaliteit van de loopspiegels is vastgelegd. Uit de resultaten volgt dat de gemiddelde railruweid in de referentiedoorsnede lager is dan de gemiddelde Nederlandse railruweid. Daarmee voldoet deze meetdoorsnede aan de eisen zoals gesteld in het Reken- en Meetvoorschrift Railverkeer.

De akoestische toeslag van spoorbruggen wordt bepaald door geluidmetingen nabij de betreffende brug en op een dichtbij de brug gelegen referentie meetdoorsnede langs de aardebaan. Om de metingen te standaardiseren zijn deze gecorrigeerd voor de railruweid conform het Reken- en Meetvoorschrift Railverkeer.

Per brug volgt de brugtoeslag uit de hoogst gemeten waarde per frequentieband:

brugtoeslag	(31Hz)	63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz
Tracébesluit / Geluidregister	4	4	4	4	0	0	0	0	0
meting Zwartewaalsebrug 2023	0,7	-4,5	-3,7	-6,5	-3,7	-1,1	-2,1	-3,1	-3,8
meting Rozenburgsebrug 2023	0,1	0,1	-1,1	-3,3	-4,1	-1	-2	-2,1	-2,4

Tabel 1. Spectrale brugtoeslag in het Tracébesluit en van de brugmetingen 2023.



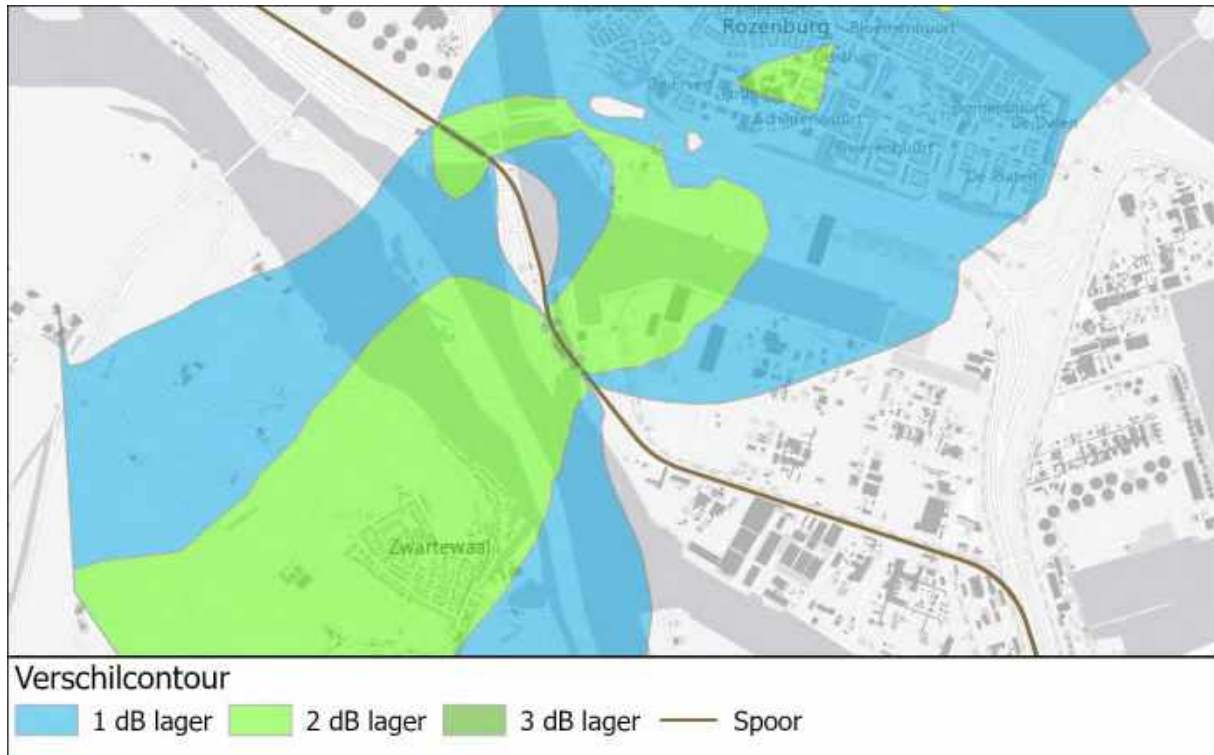
Figuur 1. Spectrale brugtoeslag in het Tracébesluit en van de brugmetingen 2023.

Deze brugtoeslagen gelden voor de totale brugconstructies inclusief betonnen liggers.

Uit de resultaten van de geluidmetingen kan geconcludeerd worden dat de gemeten brugtoeslag afhankelijk van de frequentieband 1 tot 10dB(A) ligt onder de vooronderstelde brugtoeslag in het Tracébesluit.

Het globale effect van de nieuwe toeslag op de omgeving

In het spoormodel van het geluidregister spoor 2023 is de brugtoeslag uit het Tracébesluit vervangen door gemeten de brugtoeslagen uit tabel 1. De verschilcontour is weergegeven in figuur 2.



Geluidgevoelige bestemmingen

In Zwartewaal is de geluidbelasting 2 dB(A) op geluidgevoelige bestemmingen gunstiger dan met de vooronderstelde brugtoeslag uit het Tracébesluit Theemswegtracé. In Rozenburg is de geluidbelasting ca. 1 dB(A) gunstiger.

Kantoren

Alleen de kantoren in de nabijheid van de bruggen hebben een 1 a 2 dB(A) lagere geluidbelasting dan in het Tracébesluit.

Bijlage 1. Rapportage bepaling Akoestische toeslag spoorbruggen
Theemswegtracé, DEKRA Rail (kenmerk DR/23/220248/003)

DEKRA Rail

Rapportage bepaling Akoestische toeslag spoorbruggen Theemswegtracé

3 maart 2023



Rapportage bepaling Akoestische toeslag spoorbruggen Theemswegtracé

Opdrachtgever : Royal Haskoning/DHV Nederland B.V.
Adres : [REDACTED]
Laan 1914 no 35
3818 EX Amersfoort

Uw kenmerk : BI8134-101-100

Ons kenmerk : DR/23/220248/003

Auteur(s) : [REDACTED]

Referent : [REDACTED]

Vrijgave : [REDACTED]

Datum : 3 [REDACTED]

Versie : 1.0 definitief

Managementsamenvatting

In november 2021 is het Theemstracé in gebruik genomen. Het Theemstracé is een vier kilometer lang viaduct met twee spoorbruggen die de Calandbrug en aansluitende sporen vervangen. In de procedure rond het tracébesluit heeft Royal Haskoning/DHV het akoestische deel uitgevoerd. In het Theemstracé liggen twee stalen spoorbruggen te weten over de Rozenburgsesluis, de Rozenburgsebrug, en over de Thomassentunnel, de Zwartewaalsebrug. Een onderdeel in het wettelijk kader zoals vermeld in het tracébesluit is dat binnen een jaar na in gebruik name van het tracé de in de modelleringen gebruikte akoestische toeslag voor deze bruggen door geluidmetingen moet worden gecontroleerd.

Het doel van de in dit rapport beschreven metingen is het bepalen van de akoestische toeslagen om de, in de akoestische onderzoeken gebruikte toeslagen te controleren. Indien sterk afwijkend (hogere) waarden worden gemeten zal het op de bruggen betrekking hebbende onderzoek moeten worden aangepast.

De akoestische toeslag van spoorbruggen wordt bepaald door geluidmetingen nabij de betreffende brug, en op een dichtbij de brug gelegen referentie meetdoorsnede langs de aardebaan. Een belangrijke onderdeel bij de uitvoering van geluidmetingen langs het spoor is de oppervlakte gesteldheid van de loopspiegels van de spoorstaven. Hiervoor zijn voordat de geluidmetingen worden uitgevoerd de railruweidsmetingen uitgevoerd waarbij de akoestische kwaliteit van de loopspiegels is vastgelegd.

Conclusies

Uit de resultaten van de railruweidsmetingen ter hoogte van de referentie doorsneden en op de beide spoorbruggen kan geconcludeerd worden dat:

- de gemiddelde railruweid in de meetdoorsneden ter hoogte van de aardebaan lager of gelijk is aan de landelijk gemiddelde railruweid;
- de railruweid op het spoor van Botlek naar Europoort is afhankelijk van de golflengte gemiddelde 1 tot 2 dB lager dan de gemiddelde railruweid ter hoogte van de referentie doorsnede;
- de railruweid op het spoor van Europoort naar Botlek is afhankelijk van de golflengte gemiddelde 0 tot 4 dB lager dan de gemiddelde railruweid ter hoogte van de referentie doorsnede;

Doordat de gemiddelde railruweid in de referentiedoorsnede lager is dan de gemiddelde Nederlandse railruweid voldoet deze meetdoorsnede aan de eisen zoals gesteld in het Reken- en Meetvoorschrift geluid [2].

Uit de resultaten van de geluidmetingen kan geconcludeerd worden dat:

- Tijdens passages van goederentreinen is de geluidemissie van beide spoorbruggen, gemeten op 7.5 m uit hartspoor en afhankelijk van de meethoogte 7 tot 15 dB(A) lager dan de geluidemissie van deze goederentreinen gemeten op een meetdoorsnede langs de aardebaan.
- In het frequentiegebied van 31.5 tot 250 Hz (geluidafstraling spoorbrug) genereren de beide bruggen gemiddeld een negatieve brugtoeslag tussen 0 en 10 dB.
- In het frequentiegebied van 500 tot 8 kHz (rolgeluid) is de geluidemissie nabij beide bruggen gemiddeld tussen 5 en 15 dB lager dan op overeenkomstige meetpunten langs de aardebaan.

Version revision overview

Number	Status	Date	Author	Description
0.1	concept	10-02-2023	[REDACTED]	Initiële versie
0.2	concept	01-03-2023	[REDACTED]	Wijzigingen doorgevoerd na referentie
1.0	definitief	01-03-2023	[REDACTED]	Vrijgegeven versie

Inhoudsopgave

Managementsamenvatting	2
Inhoudsopgave	4
1 Inleiding	6
2 Doel van deze metingen	6
3 Betrokken partijen	6
3.1 Opdrachtgever	6
3.2 Opdrachtnemer	6
3.3 Betrokken medewerkers	6
4 Referentiekader	7
5 Opzet van de onderzoek	7
5.1 Algemeen	7
5.2 De bruggen	8
5.2.1 Bepaling railruwheid	10
5.2.2 Geluidmetingen	10
5.3 Bepaling akoestische toeslag	11
5.4 Meetapparatuur	11
6 Posities van de meetpunten	11
6.1 Referentie meetdoorsnede	11
6.2 Meetdoorsnede Zwartewaalsebrug over de Thomassentunnel	13
6.3 Meetdoorsnede Rozenburgsebrug over de Rozenburgsesluis	14
7 Uitgevoerde metingen	15
7.1.1 Analyse van de geluidniveaus	15
7.2 Weersomstandigheden	16
7.3 Meetonzekerheid	17
8 Veiligheid	17
9 Meetresultaten	18
9.1 Resultaten railruwheidsmetingen	18
9.2 Resultaten geluidmetingen	19
9.2.1 Resultaten geluidmetingen aan de Zwartewaalsebrug	19
9.2.2 Resultaten geluidmetingen aan de Rozenburgsebrug	22
10 Conclusie	24
11 Referentie documenten	25
Bijlage 1: Logboek Referentie meetdoorsnede	26

Bijlage 2: Logboek Zwartewaalsebrug	27
Bijlage 3: Logboek Rozenburgsebrug	28
Bijlage 4: Resultaten Zwartewaalsebrug, spoor richting Europoort	29
Bijlage 5: Resultaten Zwartewaalsebrug, spoor richting Botlek	32
Bijlage 6: Resultaten Rozenburgsebrug, spoor richting Europoort	34
Bijlage 7: Resultaten Rozenburgsebrug, spoor richting Botlek	36
Bijlage 8: Instrumentatie en meetpuntenlijst	38

1 Inleiding

Inzake de aanleg van het Theemswegtracé heeft Haskoning DHV de akoestische rapportage ten behoeve van het tracébesluit uitgevoerd. In dit tracédeel liggen twee stalen spoorbruggen, te weten over de Rozenburgsesluis (Rozenburgsebrug) en over de Thomassentunnel (Zwartewaalsebrug). Een onderdeel in het wettelijk kader is dat binnen een jaar na ingebruikname van het tracé de in de modelleringen gebruikte akoestische toeslag voor deze bruggen door geluidsmetingen moet worden gecontroleerd.

De opzet van de metingen, de positie van de meetpunten, de uitvoering van de metingen, de resultaten en de conclusie worden in dit rapport beschreven.

2 Doel van deze metingen

Het doel van het bepalen van de akoestische toeslagen is om in de akoestische onderzoeken gebruikte toeslagen te controleren. Indien sterk afwijkend waarden worden gemeten zal het op de bruggen betrekking hebbende onderzoek moeten worden aangepast.

3 Betrokken partijen

3.1 Opdrachtgever

Naam: Royal Haskoning DHV
Adres: Laan 1914 no. 35
Plaats: 3818 EX Amersfoort
Contactpersoon: ██████████

3.2 Opdrachtnemer

Naam: DEKRA Rail b.v.
Adres: Concordiastraat 67
Plaats: 3551 EM Utrecht
Contactpersoon: ██████████

3.3 Betrokken medewerkers

De werkzaamheden zijn uitgevoerd door de in Tabel 1 genoemde specialisten. Volgens het competentiebeheersysteem van DEKRA Rail is het hier betrokken personeel gekwalificeerd om de gespecificeerde rol en taken uit te voeren en te vervullen. De kwalificaties van de medewerkers is vastgelegd in de DEKRA Rail competentiematrix. De competentiematrix is opgenomen in het DEKRA Rail kwaliteitssysteem.

Naam	Rol	Werkzaamheden
██████████	Projectleider	Vorbereiding en uitvoering metingen/ Analyse en rapportage
██████████	Meetspecialist	Vorbereiding en uitvoering metingen
██████████	Meetspecialist	Uitvoering metingen en Referentie meetplan
██████████	Meetspecialist	Vorbereiding en uitvoering metingen
██████████	Referent	Referentie rapport

Tabel 1: Betrokken medewerkers.

4 Referentiekader

De werkzaamheden en rapportages zijn uitgevoerd conform de NEN-EN-ISO/IEC 17025. In het meetplan [1] is omschreven welke normeringen als leidraad zijn gebruikt om de metingen kwalitatief zo goed mogelijk uit te voeren. Voor wat betreft de gebruikte apparatuur, kalibratie van de apparatuur en de meteorologische omstandigheden wordt voldaan aan de NEN-EN-ISO 3095:2013 [3].

5 Opzet van de onderzoek

5.1 Algemeen

In fase 1 van dit project is een site survey uitgevoerd en is de conditie van de loopspiegels van de spoorstaven ter hoogte van de beoogde meetdoorsneden, middels railruwheidsmetingen, vastgesteld. Om de juiste meetlocaties te kunnen bepalen, voor wat betreft de aanwezige railruwheden, zijn in de nacht van 26 op 27 november 2022 de railruwheidsmetingen uitgevoerd. Op basis van de bevindingen uit de site survey en de resultaten van de railruwheidsmetingen is een meetplan opgesteld. Dit meetplan is uitgegeven onder rapportnummer DR/22/220248/002 v1.0 [1].

Fase 2 van dit project bevat de uitvoering van de geluidmetingen en analyse en rapportage van de resultaten. Door slechte weeromstandigheden konden in december 2022 en begin januari 2023 geen bruikbare geluidmetingen uitgevoerd worden. De in dit rapport omschreven metingen zijn uitgevoerd zijn in de dag- en avondperiode van 23 januari 2023.

De geluidemissie van rijdende treinen over een spoorbrug wordt in bijlage IV van het Reken- en Meetvoorschrift geluid 2012 [2] gedefinieerd als een emissietoeslag ten opzichte van de geluidemissie van deze treinen rijdend over een aardebaan in de directe omgeving van de spoorbrug (zonder beïnvloeding door de geluidemissie van de stalen spoorbrug). In Figuur 1 zijn de posities van de verschillende meetdoorsneden aangegeven.



Figuur 1: Posities van de meetdoorsneden in het spoor van en naar de Maasvlakte.

De meetpunten ter hoogte van de bruggen zijn op 7.5 m uit het hart van het spoor richting Botlek (zuidwestzijde van het spoor) geplaatst. In de referentie doorsnede was het praktisch gezien alleen mogelijk om de meetpunten op 7.5. m uit het hart van het spoor richting Maasvlakte (noordoostzijde van het spoor) te plaatsen.

Initieel (zoals omschreven in het meetplan) was het plan om de metingen op 25 meter uit het hart van de sporen uit te voeren. Na uitvoering van één meting op 25 m vanaf de Zwartewaalsebrug bleek dat door de relatief lage geluidniveaus ter hoogte van deze brug het niet mogelijk was om op deze afstand bruikbare geluidmetingen uit te voeren. In overleg met de opdrachtgever is besloten om alle metingen op 7.5 m uit hart van het aanliggende spoor uit te voeren.

5.2 De bruggen

De in dit onderzoek gemeten bruggen zijn qua constructie en samenstelling afwijkend van de conventionele stalen spoorbruggen. Deze bruggen zijn opgebouwd uit een stalen draagconstructie met betonnen draagvloer. Op de draagvloer ligt een doorgaand ballastbed waarin de sporen zijn

gelegd. De hoofdliggers zijn opgebouwd uit geconstrueerde hoofdliggers met een totale hoogte van 5,50 meter, waarvan 3 meter boven B.S. Aan de binnenzijde van de liggers is over de volledige lengte van de bruggen absorberend materiaal bevestigd met een hoogte van 1.75 meter. Zie onderstaande Foto 1.



Foto 1: Spoorligging op de Zwartewaalsebrug.

De sporen op de Zwartewaalsebrug zijn volledig recht. De sporen op de Rozenburgsebrug liggen in een flauwe boog. Zie Foto 2.



Foto 2: Spoorligging op de Rozenburgsebrug.

5.2.1 Bepaling railruwheid

Voor een vergelijking van de geluidemissie van de bruggen en de aardebaan is het belangrijk dat de onderhoudstoestand van de sporen ter plaatse zoveel mogelijk vergelijkbaar is. Voorafgaand aan de geluidmetingen is de railruwheid op beide sporen van de bruggen en op de beide sporen ter hoogte van de referentielocatie op de aardebaan gemeten. Alle locaties van de meetdoorsneden zijn zo gekozen dat er geen lassen, brandplekken of andere loopvlak beschadigingen, waarvan de geluidsproductie verstorend kan zijn, aanwezig zijn. Ter hoogte van de meetdoorsneden zijn op beide sporen over een lengte van 50 m de railruwheidsmetingen uitgevoerd. De metingen worden uitgevoerd met de Mrail trolley van het fabricaat Müller BBM.



Foto 3: Mrail Trolley in het spoor op de Zwartewaalsebrug.

De railruwheid op de geselecteerde locatie in de referentie doorsnede bleek te voldoen aan het criterium zoals gesteld in het Reken- en Meetvoorschrift. Hiermee is deze locatie geschikt om als referentie doorsnede gebruikt te worden voor bepaling van de akoestische toeslag van de bruggen.

5.2.2 Geluidmetingen

In iedere meetdoorsnede zijn de meethoogten van de microfoons zodanig gekozen zodat in iedere meetdoorsnede minimaal 2 microfoons op overeenkomstige meethoogte ten opzichte van B.S. worden gepositioneerd. Dit zijn de meetposities op B.S. hoogte en op 3 m boven B.S. Hiermee worden de op deze posities gemeten geluidniveaus onderling vergelijkbaar. In de meetdoorsnede ter hoogte van de Zwartewaalsebrug is één extra microfoon op een hoogte van 6.20 meter boven B.S. geplaatst. De resultaten van dit toegevoegde meetpunt worden gebruikt om inzicht in het afschermend effect van de zijwanden van de brug te verkrijgen.

De meetafstand in alle doorsneden was 7.5 m uit hart van het aanliggende spoor. In de meetdoorsnede van de Zwartewaalsebrug ligt de hoofdligger op 3,70 m uit hart spoor. Bij de Rozenburgsebrug is de afstand vanaf hart aanliggend spoor tot de hoofdligger 3,25 m.

5.3 Bepaling akoestische toeslag

De bepaling van de akoestische toeslag van de spoorbruggen is met uitzondering van de meethoogten ten opzichte van B.S. uitgevoerd conform de methode zoals omschreven in paragraaf 6.2 van Bijlage IV van het Reken- en Meetvoorschrift geluid 2012.

De geluidemissie van rijdende treinen over een spoorbrug wordt in het meetvoorschrift gedefinieerd als een emissietoeslag ten opzichte van de geluidemissie van deze treinen rijdend over een aardebaan in de directe omgeving van de spoorbrug (zonder beïnvloeding door de geluidemissie van de stalen spoorbrug). De emissietoeslag wordt bepaald door het verschil in de geluidemissie gemeten in het midden van de spoorbrug en de geluidemissie in de referentiedoorsnede op minimaal 150 m vanaf de brug langs de aardebaan.

5.4 Meetapparatuur

De voor de geluidmetingen gebruikte apparatuur voldoet aan de eisen zoals gesteld in de IEC 61672:2002 en IEC 60942:2003. Alle voor het vast leggen van de geluidniveaus gebruikte apparatuur voldoet aan klasse 1. Op Bijlage 8 is de instrumentatielijst opgenomen en is per item de kalibratiegeldigheid vermeld. De kwaliteit van de signalen en juistheid van vastgelegde niveaus is vastgesteld door het uitvoeren van functionele controles van de meet- en testapparatuur en meetopstellingen. De bevindingen hiervan zijn vastgelegd in de logboeken. De meetpunten en instrumentatielijst (Bijlage 8) is onderdeel van de logboeken.

6 Posities van de meetpunten

6.1 Referentie meetdoorsnede

De geluidmetingen op de referentie locatie zijn uitgevoerd aan de noordoostzijde van het spoor. De meetdoorsnede bevindt zich ter hoogte van spoorkilometer 25.15. De spoorstaven zijn met behulp van rughellingplaten op betonnen dwarsliggers bevestigd welke zijn gelegen in steenslag. Het spoor ter hoogte van deze locatie ligt op circa 5.9 m boven lokaal maaiveld. De meetpunten zijn gesitueerd op 7,5 meter uit het hart van het dichtstbijzijnde spoor (richting Maasvlakte) op een hoogte van respectievelijk -2.0 meter, B.S.-hoogte en 3.0 meter boven B.S. Bij het meetpunt op 2 m onder B.S. moet opgemerkt worden dat dit meetpunt door de relatief kleine afstand tot de bodem een afwijkend absorptie patroon zal hebben. Tevens wordt de geluidemissie van de passages richting Botlek deels door de kant van de aardebaan afgeschermd.

Alle meetafstanden en meethoogten van de meetpunten worden gepositioneerd met een nauwkeurigheid van ± 0.1 m.

Op Foto 4 zijn de meetpunten in de meetdoorsnede afgebeeld.



Foto 4: Geluidmeetpunten t.h.v. referentie meetdoorsnede km 25.15.

De triggering en de positie van de passerende treinen zijn in beide sporen in deze meetdoorsnede vastgelegd met inductieve sensoren, zie Foto 5.



Foto 5: Inductieve sensor in het spoor t.h.v. de referentiedoorsnede.

6.2 Meetdoorsnede Zwartewaalsebrug over de Thomassentunnel

De Zwartewaalsebrug heeft een overspanning van 160 meter. Ter weerszijden ligt een stalen aanbrug met laaggelegen rijvloer met een opbouw overeenkomstig met de boogbrug. De aanbruggen hebben een lengte van 50 meter aan de oostzijde en 60 meter aan de westzijde. De spoorstaven zijn m.b.v. rughellingplaten op betonnen dwarsliggers van het type 14002 bevestigd welke zijn gelegen in steenslag.

Het geluidmeetpunt wordt gepositioneerd aan de zuidwestzijde van de brug nabij de Neckarweg op 7,5 meter uit het hart van het spoor richting Rotterdam. Ter hoogte van de Zwartewaalsebrug zijn 4 meetpunten gesitueerd. De meethoogte zijn respectievelijk -3 meter, 0 meter, +3 meter en + 6.2 meter boven B.S. geplaatst. De keuze van de meethoogten wordt bepaald door enerzijds zoveel mogelijk spreiding in de hoogte om een zo goed mogelijk beeld te krijgen van de geluidafstraling van dit type spoorbrug. De maximale meethoogte wordt bepaald door de statief lengte van maximaal 15 meter boven maaiveld. Dit komt bij de Zwartewaalsebrug overeen met de meethoogte van 6.2 m boven B.S. Op Foto 6 zijn de meetpunten in deze meetdoorsnede afgebeeld.

Juist boven het meetpunt op +3 meter boven B.S. is een laserafstandmeter in het statief gemonteerd. Deze laser is in het horizontale vlak juist over beide hoofdliggers gericht.

Locomotieven en hoge goederen wagens geven bij doorsnijding van deze laserbeam

een pulsformig signaal. Hiermee is de positie bepaling van de trein in deze meetdoorsnede bepaald. Met de lengte van dit pulsformig signaal wordt de geometrische passagetijd van de treinpassages T_p in seconden bepaald.

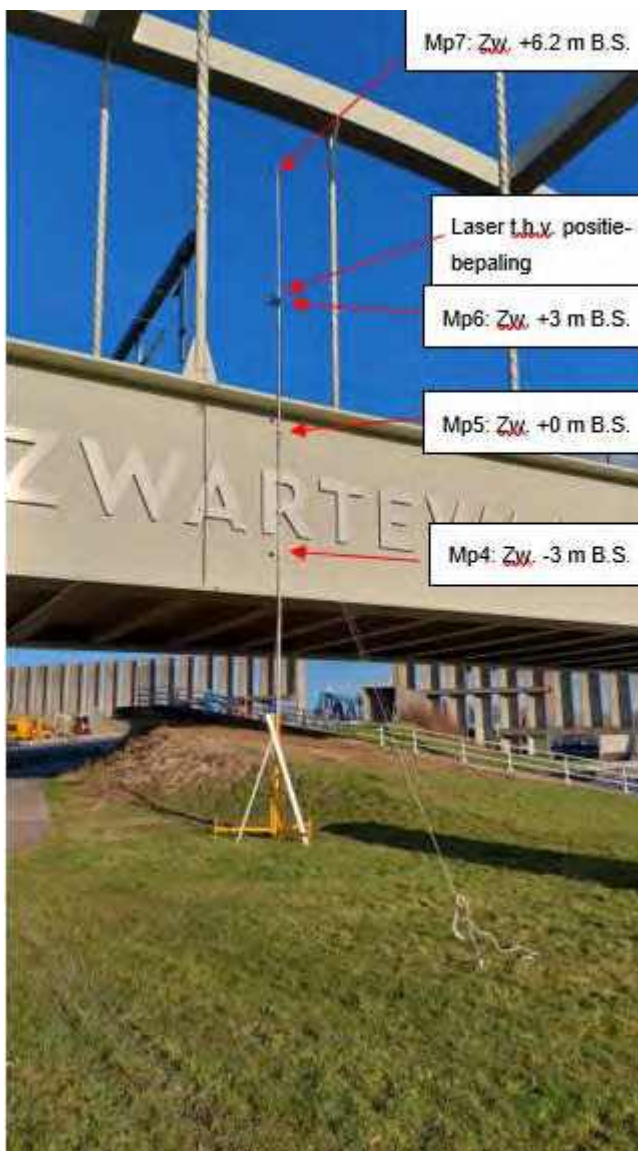


Foto 6: Geluidmeetpunten t.h.v. de Zwartewaalsebrug

6.3 Meetdoorsnede Rozenburgsebrug over de Rozenburgsesluis

Qua constructie is de brug over de Rozenburgsesluis vergelijkbaar met de Zwartewaalsbrug. De spoorstaven zijn met behulp van rughellingplaten op betonnen dwarsliggers van het type 14002 bevestigd welke zijn gelegen in steenslag. De Rozenburgsebrug heeft een overspanning van 173 meter. Ter weerszijden sluit de brug aan op een betonnen viaduct.

De geluidmeetpunten zijn gepositioneerd aan de westzijde van de brug nabij een verblijf van RWS aan de Neckarweg. De langsligger van deze brug heeft een hoogte van 5,50 meter. De onderkant van de ligger bevindt zich op 9,50 meter boven lokaal maaiveld. B.S bevindt zich op 12,00 meter boven lokaal maaiveld. Ter hoogte van de Rozenburgsebrug zijn 3 meetpunten gesitueerd. De meethoogte zijn respectievelijk -3 meter, 0 meter, +3 meter boven B.S. geplaatst. De keuze van de meethoogten is bepaald door enerzijds zoveel mogelijk spreiding in de hoogte om een zogoed mogelijk beeld te krijgen van de geluidafstraling van dit

type spoorbrug. De maximale meethoogte wordt bepaald door de statief lengte van maximaal 15 meter. Dit komt bij de Zwartewaalsebrug overeen met de meethoogte van 6.2 m boven B.S. In beide sporen op deze brug zijn met een onderlinge afstand van 60 m twee inductieve sensoren geplaatst. Met behulp van de door deze sensoren verkregen aspulsen is de passage snelheid van de eerste en de laatste as per treinpassage bepaald. Hiermee is vastgesteld of de betreffende goederentrein optrekkend/afremmend of met constante snelheid deze meetdoorsnede is gepasseerd.

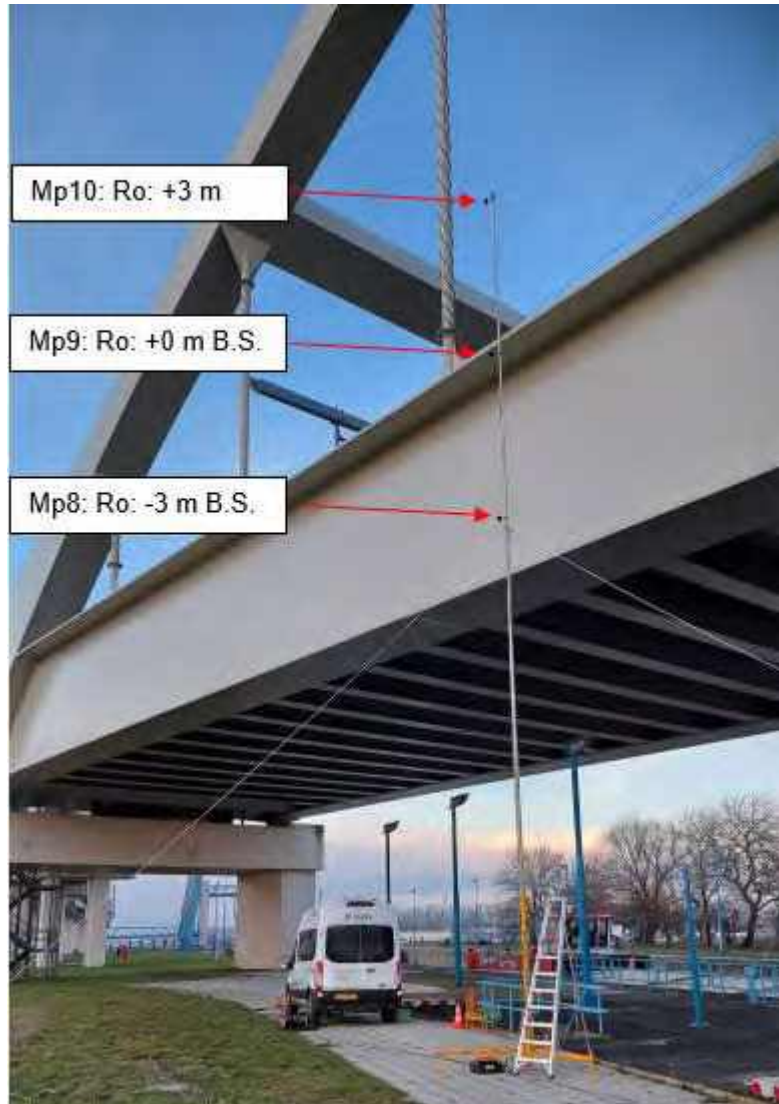


Foto 7: Geluidmeetpunten t.h.v. de Rozenburgsebrug.

7 Uitgevoerde metingen

De metingen zijn uitgevoerd op 23 januari 2023 in de periode tussen 8:00 uur en 22:30 uur. Als eerste zijn de meetpunten ter hoogte van de Zwartewaalsebrug en de referentie doorsnede opgebouwd en zijn metingen verricht. Om 14:30 uur zijn de meetpunten van de Zwartewaalsebrug verplaatst naar de Rozenburgsebrug en zijn metingen uitgevoerd. Gedurende de meetperiode zijn in totaal ruim 40 treinpassages geregistreerd. Door kruisingen ter hoogte van één van de meetdoorsneden, remmende of optrekkende treinen of passages van losse locomotieven zijn 18 passages bruikbaar voor verdere analyse. Deze passages zijn vermeld in Tabel 2.

Tabel 2: Voor analyse gebruikte metingen per brug.

Referentie doorsnede					Meetdoorsnede Zwartewaalsebrug				
Meting	Tijd	Rijrichting	V [km/h]	(DEKRA_2023_01_23_.....)	Tijd	Materieel	Rijrichting	V [km/h]	(DEKRA_2023_01_23_.....)
1	11:55	Btl-Erp	74	114350	11:54	E.loc + containers	Erp	86	115353
2	12:03	Btl-Erp	75	115514	12:02	G2000 + containers	Erp	81	115827
3	12:22	Btl-Erp	71	121218	12:21	2 * 189 + kolen	Erp	81	121359
4	12:28	Btl-Erp	80	122238	12:22	2*189 + kolen	Erp	62	122407
5	13:18	Btl-Erp	67	131545	13:17	Loc+ ketelwagens	Erp	81	131704
6	13:42	Erp-Btl	80	131835	13:43	BR186 + containers	Kfh	78	131944
7	13:45	Btl-Erp	77	134309	13:44	2 * 189 + kolen	Erp	62	134407
8	13:55	Btl-Erp	79	134508	13:54	BR189+ containers	Erp	74	134701
9	14:28	Erp-Btl	62	140220	14:29	Class66+huifwagens	Btl	60	142211
10	15:14	Erp-Btl	68	150445	15:15	6400 +containers	Btl	69	150623
Referentie doorsnede					Meetdoorsnede Rozenburgsebrug				
Meting	Tijd	Rijrichting	V [km/h]	Metingnaam (D)	Tijd	Materieel	Rijrichting	V [km/h]	n (DEKRA_2023)
11	17:05	Erp-Btl	35	165531	17:09	Goederentrein	Btl	43	165526
12	18:02	Erp-Btl	72	175508	18:04	E.loc + Goederentrein	Btl	72	175734
13	18:21	Btl-Erp	77	180338	18:20	E.loc + Goederentrein	Erp	77	181532
14	19:07	Erp-Btl	52	184152	19:09	E.loc + Goederentrein	Btl	64	184543
15	20:52	Btl-Erp	76	203151	20:51	E.loc + Goederentrein	Erp	75	203244
16	21:05	Erp-Btl	73	205725	21:08	D.loc+goederen	Btl	78	205711
17	21:22	Btl-Erp	78	210722	21:21	E.loc + Goederentrein	Erp	78	211608
18	21:23	Erp-Btl	75	212331	21:25	E.loc + Goederentrein	Btl	76	212539

In de bijlagen 1 t/m 3 zijn de logboeken met alle passages per meetdoorsnede afgebeeld.

7.1.1 Analyse van de geluidniveaus

Voor bepaling van de brugtoeslag worden alleen de metingen met overeenkomstige passagesnelheden bij de meetpunten op de bruggen en bij de meetpunten op de aardebaan geselecteerd.

De resultaten worden per spoor ingedeeld en als volgt verwerkt conform de methode zoals beschreven in het Reken en Meetvoorschrift:

- Van de passages worden het equivalente geluidniveau in dB(A) (L_{Aeq}), het equivalente geluidniveau in de afzonderlijke frequentiebanden ($L_{Aeq,i}$), het maximaal optredende geluidniveau in dB(A) (L_{Amax}) en de meettijd bepaald over de geometrische passagetijd (T_p) van de treinen van het meetsignaal per meetdoorsnede. De frequentieanalyses worden uitgevoerd in 1/3 octaven voor de frequentiebanden van 20 Hz tot en met 10 kHz;

- De verschillen in L_{Aeq} (en $L_{Aeq,i}$) per passage tussen de overeenkomstige meetpunten nabij de brug en de aardebaan worden bepaald en vervolgens rekenkundig gemiddeld volgens onderstaande formule:

$$Delta[dB]_{brug,test,i} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (L_{Aeq,brug,i,j} - L_{Aeq,aardenbaan,i,j})$$

$L_{Aeq,brug,i,j}$ = Het equivalente geluidniveau tijdens passage van trein j in octaafband i over de aanbrug of hefbrug, energetisch gemiddeld over de beide meethoogten.

$L_{Aeq,aardenbaan,i,j}$ = Het equivalente geluidniveau tijdens passage van trein j in octaafband i over het spoor ter hoogte van de aardebaan.

n= Het aantal gemeten treinpassages

$L_{Aeq,ab,i,j,k}$ = Meetresultaat bij de aardebaan.

7.2 Weersomstandigheden

Vanwege de weersomstandigheden (te veel wind) konden in de maanden november en december 2022 geen geldige geluidsmetingen uitgevoerd worden en zijn de metingen diverse malen uitgesteld. Gedurende de meetdag op 23 januari 2023 was het rustig en droog weer. In Tabel 3 zijn de meteo-omstandigheden gedurende de meetdag vermeld. Deze gegevens zijn verkregen vanaf de website: [Zwartewaal, Netherlands Weather Conditions | Weather Underground \(wunderground.com\)](https://www.zwartewaal.nl/netherlands-weather-conditions-weather-underground).

Tabel 3: Meteo-omstandigheden tijdens de meetdag 23 januari 2023.

Omschrijving/Tijd	10:45 u	12:30 u	13:20 u	14:05 u	19:10 u	20:30 u
Windsnelheid [km/h]	2.2	2.5	4.2	6.0	10.1	11.2
Windrichting [°]	ZO	Z	ZZW	ZZW	ZZW	Z
Temperatuur [°C]	4	5	5	4	3	3
RH [%]	90	88	86	85	87	89
Luchtdruk [mbar]	1034	1034	1034	1035	1035	1034
Neerslag [mm]	0	0	0	0	0	0

7.3 Meetonzekerheid

De gebruikte apparatuur voldoet aan de eisen conform ISO 17025 om de vereiste meetnauwkeurigheid en/of meetonzekerheid te behalen, is een meetonzekerheidsberekening uitgevoerd.

Bij het bepalen van de meetonzekerheid is rekening gehouden met de invloedsfactoren die van belang kunnen zijn bij het bepalen van de te meten geluidniveaus. Hiervoor is de tool Gum-workbench gebruikt. Deze is gebaseerd op internationale norm EA-4/02. In tabel 4 is de samenvatting van de rekenresultaten vermeld.

Tabel 4: Samenvatting resultaat meetonzekerheidsberekening.

Results:

Quantity	Value	Expanded Uncertainty	Coverage factor	Coverage
ϵ_{totaal}	0.0 dB	0.64 dB	2.00	95% (normal)
ϵ_{weg}	0.0 dB	0.16 dB	2.00	95% (normal)
$\epsilon_{\text{ontvanger}}$	0.0 dB	0.62 dB	2.00	95% (normal)
$\epsilon_{\text{microfoon}}$	0.0 dB	0.16 dB	2.00	95% (normal)
$\epsilon_{\text{versterker}}$	0.0 dB	0.23 dB	2.00	95% (normal)
$\epsilon_{\text{recorder}}$	0.0 dB	$6.6 \cdot 10^{-3}$ dB	2.00	95% (normal)

Voor de toegepaste meetafstanden en gebruikte apparatuur is de meetonzekerheid bepaald op 0.64 dB.

8 Veiligheid

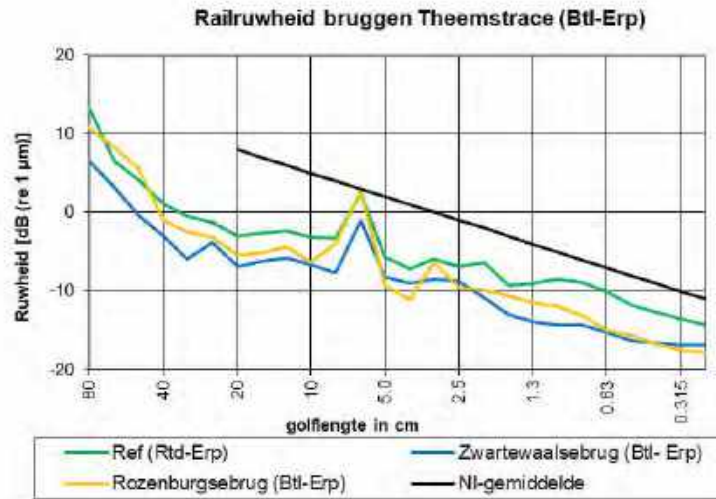
Alle werkzaamheden in de spooromgeving zijn uitgevoerd volgens de ProRail infra specifieke veiligheidsmaatregelen en vallen onder het normale proces van het veiligheidsregime van de railinfra. Er is een gespecialiseerd spoorbeveiligingsbedrijf ingeschakeld om per locatie en werktipe de benodigde documenten op te stellen en het juiste spoorbeveiligingspersoneel in te plannen tijdens de werkzaamheden in en nabij het spoor zodat wordt voldaan aan het geëiste veiligheidsregiem.

Voorafgaand aan de werkzaamheden is een RI&E opgesteld [5]. Het spoorbeveiligingsbedrijf heeft een veiligheidsplan (V&G-plan U) [4] op voor de spoor-specifieke activiteiten en met betrekking tot de restrisiko's voor het uitvoerende DEKRA Railpersoneel.

9 Meetresultaten

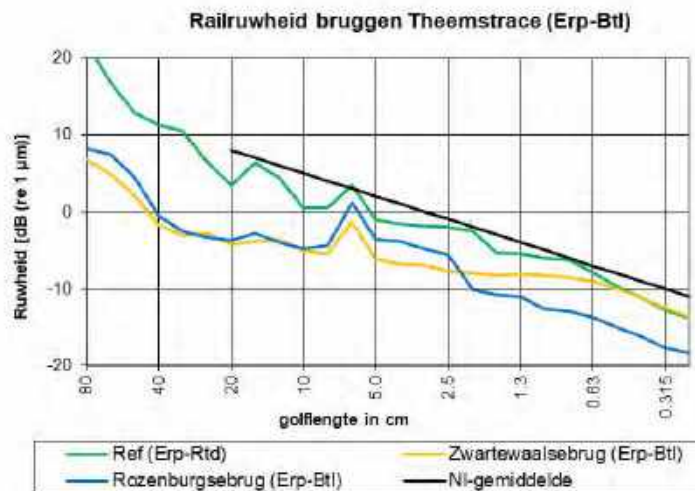
9.1 Resultaten railruheidsmetingen

De gemiddelde railruheidspectra gemeten in het spoor Botlek – Europoort in de verschillende meetdoorsneden zijn weergegeven in Figuur 2. Hierin is ook het spectrum voor de gemiddelde ruwheid van het Nederlandse spoorwernet vermeld.



Figuur 2: Gemiddelde railruwheid van het spoor Botlek naar Europoort

De gemiddelde railruheidspectra gemeten in het spoor Europoort - Botlek in de verschillende meetdoorsneden zijn weergegeven in Figuur 3.



Figuur 3: Gemiddelde railruwheid van het spoor Europoort naar Botlek.

Uit de resultaten blijkt dat de gemiddelde railruwheid in de meetdoorsneden ter hoogte van de aardebaan lager of gelijk aan de landelijk gemiddelde railruwheid is. Hierdoor hoeven de

geluidmeetwaarden niet gecorrigeerd te worden en kunnen de gemeten waarden direct gebruikt worden voor de bepaling van de akoestische toeslag.

De railruwheid op beide bruggen is voor wat betreft de gemeten niveaus vergelijkbaar

De railruwheid in de referentiedoorsnede is in het voor geluid bepalende golflengte gebied (2 tot 10 cm) 1 tot 2 dB hoger dan de railruwheid op beide bruggen.

In alle meetdoorsneden is in het golflengtespectrum bij de golflengte van 6 cm een lichte verhoging zichtbaar.

9.2 Resultaten geluidmetingen

9.2.1 Resultaten geluidmetingen aan de Zwartewaalsebrug

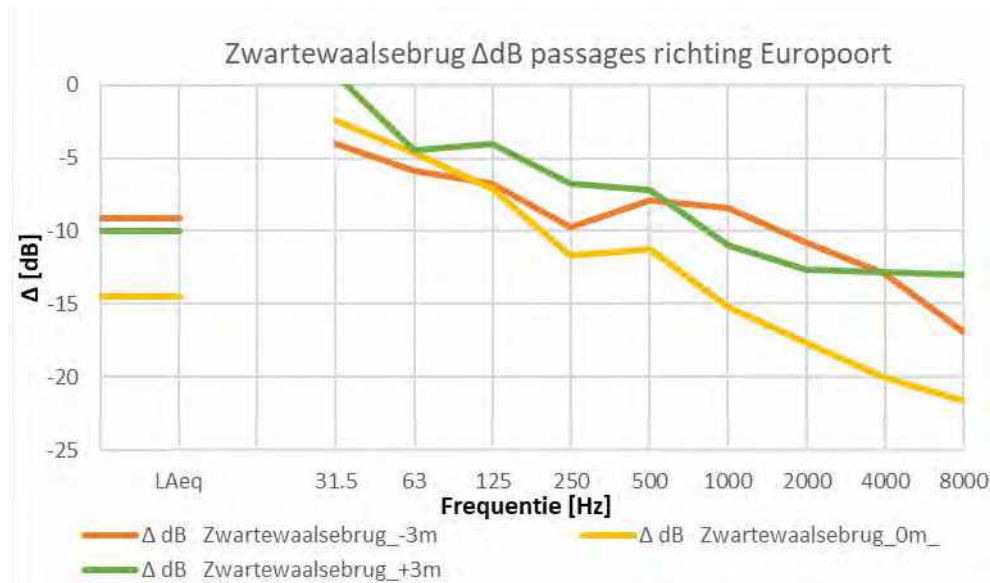
De toeslag is per passage bepaald voor zowel het maximaal optredende geluid (L_{Amax}), het equivalente geluidniveau (L_{Aeq}) en in octaafbanden van 31,5 Hz tot 8000 Hz. In het maximaal optredende geluidniveau kunnen relatief grote spreidingen voorkomen omdat bij sommige passages de maximale geluidniveaus bepaald worden door motorgeluid van diesellocomotieven. Vanwege de hooggeplaatste uitlaat wordt dit geluid vooral bij de hogere meetpunten minder afgeschermd door de hoofdligger. In Tabel 5 is de gemiddelde akoestische toeslag van het spoor richting Europoort per meetpunt weergegeven. In deze tabel is tevens de standaard deviatie over het gemiddelde vermeld.

Tabel 5: Akoestische toeslag [Δ dB] Zwartewaalsebrug rijrichting Europoort.

Gemiddelde passages richting Europoort											
Meetpunt	L_{Amax}	L_{Aeq}	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Zwartewaalsebrug_-3m	-11.2	-9.1	-4.1	-5.9	-6.7	-9.8	-7.9	-8.4	-10.8	-12.9	-16.9
stdev	2.3	1.3	5.8	2.7	1.8	2.3	1.4	1.8	2.5	1.3	1.4
Zwartewaalsebrug_0m	-14.9	-14.5	-2.4	-4.7	-7.1	-11.7	-11.3	-15.2	-17.7	-20.0	-21.6
stdev	2.5	0.7	6.8	3.9	2.0	3.2	1.4	1.5	2.2	0.8	0.9
Zwartewaalsebrug_+3m	-11.0	-10.0	0.7	-4.5	-4.1	-6.8	-7.2	-11.0	-12.6	-12.8	-13.0
stdev	0.9	0.3	5.7	2.5	2.5	3.0	1.8	1.4	2.6	1.6	3.3

In de meetpuntomschrijving is de meethoogte ten opzichte van B.S. vermeld.

In Figuur 4 zijn de resultaten in grafiekvorm afgebeeld.



Figuur 4: Akoestische toeslag [Δ dB] Zwartewaalsebrug rijrichting Europoort.

Tijdens passages van goederentreinen richting Europoort is de gemiddelde geluidemissie ter hoogte van de Zwartewaalsebrug, gemeten op 7.5 m uit hartspoor en afhankelijk van de meethoogte, 9 tot 15 dB lager dan de geluidemissie van deze goederentreinen gemeten bij de referentiedoorsnede.

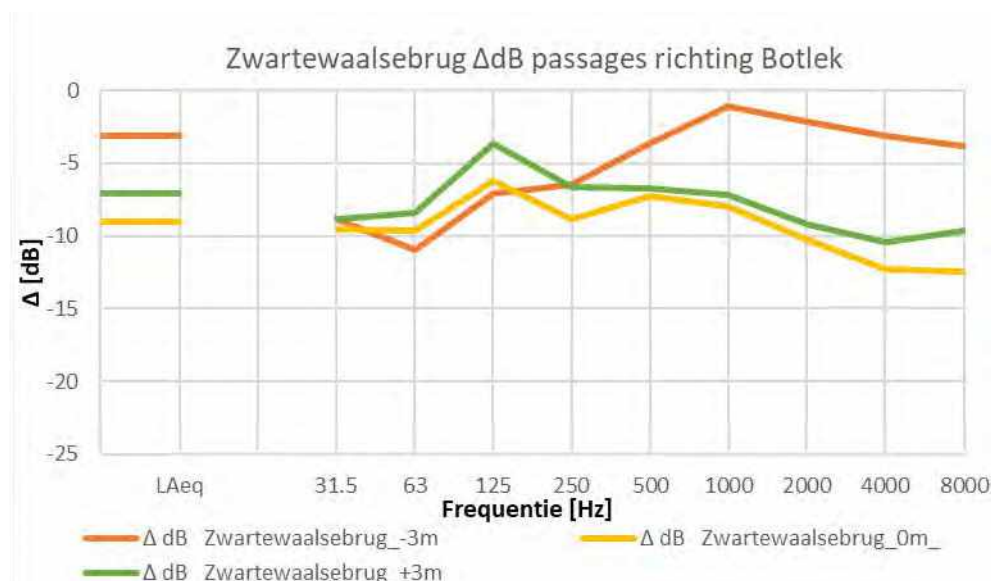
In Bijlage 4 is een overzicht gegeven van de voor de bepaling van de akoestische toeslag gebruikte metingen voor het spoor richting Europoort.

In Tabel 6 is de gemiddelde akoestische toeslag van het spoor richting Europoort per meetpunt weergegeven. In deze tabel is tevens de standaard deviatie over het gemiddelde vermeld.

Tabel 6: Akoestische toeslag [Δ dB] Zwartewaalsebrug rijrichting Botlek.

Gemiddelde passages richting Botlek											
Meetpunt	L _{Amax}	L _{Aeq}	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Zwartewaalsebrug_-3m	-6.8	-3.1	-8.8	-10.9	-7.1	-6.5	-3.7	-1.1	-2.1	-3.1	-3.8
stdev	3.8	1.3	1.6	0.8	0.9	1.1	1.4	2.8	1.1	0.9	2.0
Zwartewaalsebrug_0m_	-10.9	-9.1	-9.5	-9.7	-6.2	-8.8	-7.3	-8.0	-10.3	-12.3	-12.4
stdev	2.7	1.6	2.0	0.9	0.2	0.5	0.8	2.7	1.9	1.8	2.4
Zwartewaalsebrug_+3m	-7.0	-7.1	-8.8	-8.4	-3.7	-6.7	-6.7	-7.1	-9.2	-10.4	-9.7
stdev	6.2	2.3	1.0	0.2	0.9	1.3	1.4	2.4	0.9	1.6	1.0

In Figuur 5 zijn de resultaten in grafiekvorm afgebeeld.



Figuur 5: Akoestische toeslag [Δ dB] Zwartewaalsebrug rijrichting Botlek.

Tijdens passages van goederentreinen richting Botlek is de gemiddelde geluidemissie ter hoogte van de Zwartewaalsebrug, gemeten op 7.5 m uit hartspoor en afhankelijk van de meethoogte, 1 tot 9 dB lager dan de geluidemissie van deze goederentreinen gemeten bij de referentiedoorsnede. Duidelijk zichtbaar in deze Figuur 5 is het vermeende verminderde effect op het meetpunt op 3 meter onder B.S. Deze afwijking wordt veroorzaakt door de relatief lage ligging van het laagste meetpunt ten opzichte van de bodem in de referentiedoorsnede. De geluidemissie van de passages richting Botlek wordt deels afgeschermd door de kant van de aardebaan. In het frequentiegebied van 31.5 tot 160 Hz (geluidafstraling spoorbrug) is de geluidemissie van beide sporen gemiddeld tussen 1 en 11 dB lager dan op overeenkomstige meetpunten in de referentie doorsnede.

In het frequentiegebied van 500 tot 8 kHz (rolgeluid) is de geluidemissie van beide sporen gemiddeld tussen 1 en 12 dB lager dan op overeenkomstige meetpunten bij de referentiedoorsnede.

In Bijlage 5 is een overzicht gegeven van de voor de bepaling van de akoestische toeslag gebruikte metingen voor het spoor richting Botlek.

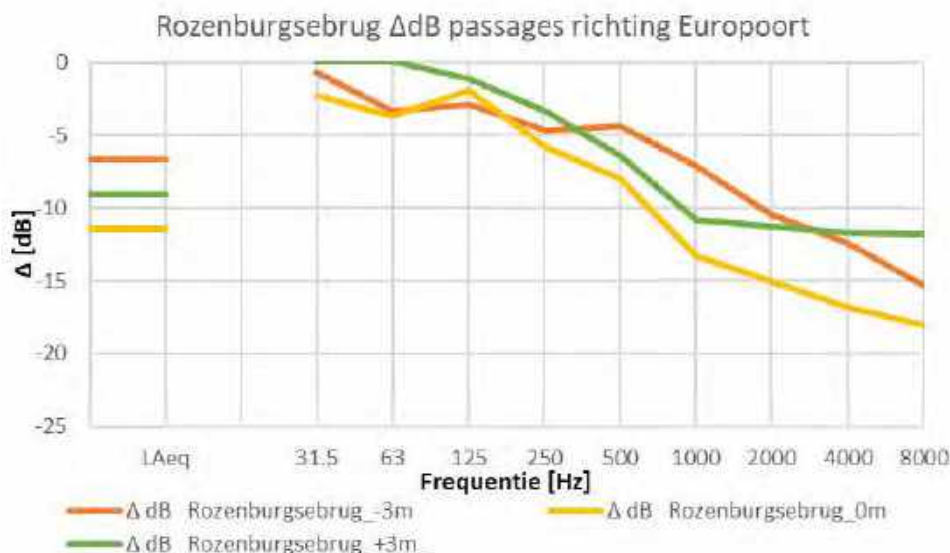
9.2.2 Resultaten geluidmetingen aan de Rozenburgsebrug

In Tabel 7 is de gemiddelde akoestische toeslag van het spoor richting Europoort per meetpunt weergegeven. In deze tabel is tevens de spreiding over het gemiddelde vermeld.

Tabel 7: Akoestische toeslag [Δ dB] Rozenburgsebrug rijrichting Europoort.

Gemiddelde passages richting Europoort											
Meetpunt	L_{Amax}	L_{Aeq}	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Rozenburgsebrug -3m	-7.4	-6.6	-0.7	-3.4	-2.9	-4.6	-4.4	-7.1	-10.4	-12.4	-15.3
Stdev	2.2	1.7	1.2	3.8	1.7	0.5	2.1	2.0	3.0	3.8	3.2
Rozenburgsebrug 0m	-12.4	-11.4	-2.3	-3.7	-1.9	-5.8	-8.0	-13.3	-15.0	-16.8	-18.0
Stdev	2.0	1.3	1.0	3.2	1.2	0.6	1.6	1.5	2.5	3.5	3.3
Rozenburgsebrug +3m	-11.8	-9.1	0.1	0.1	-1.1	-3.3	-6.4	-10.8	-11.3	-11.7	-11.8
stdev	1.9	1.3	0.8	3.9	1.5	0.8	1.4	1.3	2.2	2.8	2.6

In Figuur 6 zijn de resultaten in grafiek vorm afgebeeld.



Figuur 6: Akoestische toeslag [Δ dB] Rozenburgsebrug rijrichting Europoort.

Tijdens passages van goederentreinen richting Europoort is de gemiddelde geluidemissie ter hoogte van de Rozenburgsebrug, gemeten op 7.5 m uit hartspoor en afhankelijk van de meethoogte, 6 tot 11 dB lager dan de geluidemissie van deze goederentreinen gemeten bij de referentiedoorsnede.

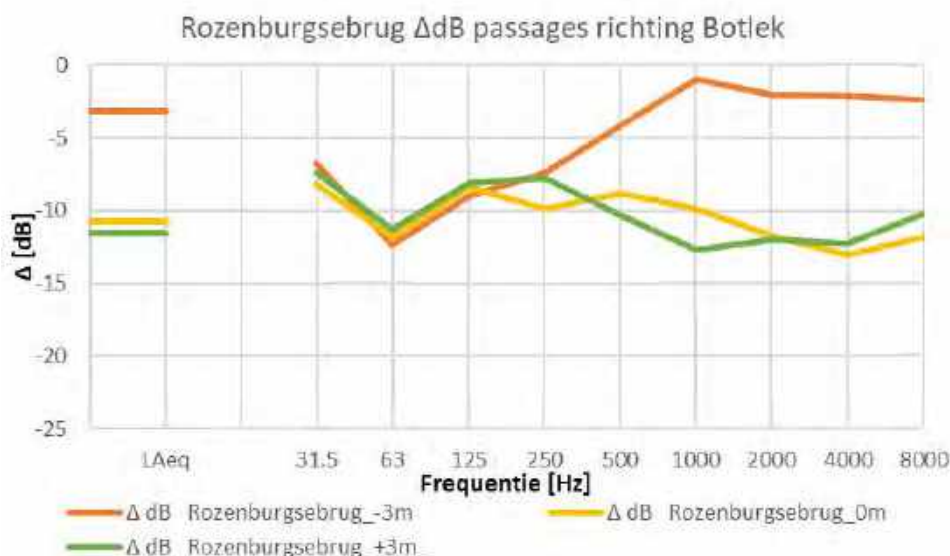
In Bijlage 6 is een overzicht gegeven van de voor de bepaling van de akoestische toeslag gebruikte metingen voor het spoor richting Europoort.

In Tabel 8 is de gemiddelde akoestische toeslag van het spoor richting Botlek per meetpunt weergegeven. In deze tabel is tevens de spreiding over het gemiddelde vermeld.

Tabel 8: Akoestische toeslag [Δ dB] Rozenburgsebrug rijrichting Botlek.

Gemiddelde passages richting Botlek											
Meetpunt	L_{Amax}	L_{Aeq}	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Rozenburgsebrug -3m	-4.0	-3.2	-6.8	-12.3	-9.0	-7.4	-4.1	-1.0	-2.0	-2.1	-2.4
Stdev	0.5	0.6	2.6	2.0	1.2	0.4	0.9	1.0	0.6	1.4	4.4
Rozenburgsebrug 0m	-12.7	-10.8	-8.2	-11.8	-8.4	-9.9	-8.8	-9.9	-11.7	-13.1	-11.8
Stdev	3.4	1.1	1.7	3.1	1.4	0.7	0.9	2.0	1.1	1.2	3.1
Rozenburgsebrug +3m	-12.1	-11.5	-7.4	-11.3	-8.1	-7.8	-10.4	-12.7	-12.0	-12.3	-10.2
stdev	1.6	0.8	1.3	2.0	1.7	0.5	1.1	0.9	0.8	1.1	2.6

In Figuur 7 zijn de resultaten in grafiek vorm afgebeeld.



Figuur 7: Akoestische toeslag [Δ dB] Rozenburgsebrug rijrichting Botlek.

Tijdens passages van goederentreinen richting Botlek is de gemiddelde geluidemissie ter hoogte van de Rozenburgsebrug, gemeten op 7.5 m uit hartspoor en afhankelijk van de meethoogte, 6 tot 11 dB lager dan de geluidemissie van deze goederentreinen gemeten bij de referentiedoorsnede. Ook bij deze brug is het geregistreerde effect op het laagste meetpunt duidelijker lager dan bij de overige meetpunten.

In het frequentiegebied van 31.5 tot 160 Hz (geluidafstraling spoorbrug) is de geluidemissie van beide sporen gemiddeld tussen 3 en 12 dB lager dan op overeenkomstige meetpunten in de referentie doorsnede.

In het frequentiegebied van 500 tot 8 kHz (rolgeluid) is de geluidemissie van beide sporen gemiddeld tussen 1 en 13 dB lager dan op overeenkomstige meetpunten bij de referentiedoorsnede.

Bij de gemeten geluidniveaus ter hoogte van de Rozenburgsebrug moet opgemerkt worden dat bij meerdere passages enig flensgeluid is geconstateerd. Dit wordt veroorzaakt doordat de beide sporen op de Rozenburgsebrug in een boog liggen. Omdat dit flensgeluid regelmatig bij deze brug op lijkt te treden zijn deze geluidniveaus in de verwerking mee genomen.

10 Conclusie

De akoestische toeslag van spoorbruggen wordt bepaald door geluidmetingen nabij de betreffende brug en op een dichtbij de brug gelegen referentie meetdoorsnede langs de aardebaan. Een belangrijke onderdeel bij de uitvoer van geluidmetingen langs het spoor is de oppervlakte gesteldheid van de loopspiegels van de spoorstaven. Hiervoor zijn voordat de geluidmetingen worden uitgevoerd de railruweidsmetingen uitgevoerd waarbij de akoestische kwaliteit van de loopspiegels is vast gelegd.

Uit de resultaten van de railruweidsmetingen ter hoogte van de referentie doorsneden en op de beide spoorbruggen kan geconcludeerd worden dat:

- de gemiddelde railruweid in de meetdoorsneden ter hoogte van de referentie doorsnede lager of gelijk is aan de landelijk gemiddelde railruweid;
- de railruweid op het spoor van Botlek naar Europoort afhankelijk van de golflengte gemiddelde 1 tot 2 dB lager is dan de gemiddelde railruweid ter hoogte van de referentie doorsnede;
- de railruweid op het spoor van Europoort naar Botlek afhankelijk van de golflengte gemiddelde 0 tot 4 dB lager is dan de gemiddelde railruweid ter hoogte van de referentie doorsnede;

Doordat de gemiddelde railruweid in de referentiedoorsnede lager is dan de gemiddelde Nederlandse railruweid voldoet deze meetdoorsnede aan de eisen zoals gesteld in het Reken- en Meetvoorschrift Railverkeer.

Uit de resultaten van de geluidmetingen kan geconcludeerd worden dat:

- Tijdens passages van goederentreinen de geluidemissie van beide spoorbruggen, gemeten op 7.5 m uit hartspoor en afhankelijk van de meethoogte, 7 tot 15 dB lager is dan de geluidemissie van deze goederentreinen gemeten bij de referentiedoorsnede.
- In het frequentiegebied van 31.5 tot 250 Hz (geluidafstraling spoorbrug) genereren de beide bruggen gemiddeld een negatieve brugtoeslag tussen 0 en 10 dB.
- In het frequentiegebied van 500 tot 8 kHz (rolgeluid) is de geluidemissie nabij beide bruggen gemiddeld tussen 5 en 15 dB lager dan op overeenkomstige meetpunten bij de referentiedoorsnede.

11 Referentie documenten

- [1] Meetplan bepaling akoestische toeslag spoorbruggen Theemstracé, DR/22/220248.002, v1.0
- [2] Bijlage IV van het Reken- en Meetvoorschrift geluid 2012
- [3] NEN EN ISO 3095;2013 Acoustics - Railway applications - Measurement of noise emitted by railbound vehicles
- [4] VG-U plan Lite project Theemstrace 220248 v1.0
- [5] RIE VG U plan Lite Theemstrace project 220248 v1.0

Bijlage 1: Logboek Referentie meetdoorsnede

Meetpunt nr./kabelnummer	Meetpunt	Afstand t.o.v. H.S. [m]	Hoogte t.o.v. Maaiveld [m]	Hoogte t.o.v. B.S. [m]	Opmerking	
1	Aarden	7.5	0.2	-2.0		
2	Aarden	7.5	2.0	0.0		
3	Aarden	7.5	5.0	3.0		
21	Kras sensor spoor Rtd-Eur					
22	Kras sensor spoor Eur-Rtd					
	Snelheid met gatso					
Meting	Tijd	Materieel	Rijrichting	V in km/h	Opmerking	Metingnaam (DEKRA _2023_01_23.....)
1	11:23	Losse loc	Btl-Erp	75		
2	11:43	Goederen	Btl-Erp	75-52	sterk remmend	
3	11:55	Goederen	Btl-Erp	74		114350
4	12:03	Goederen	Btl-Erp	75	Containers belad	115514
5	12:12	Losse loc, 2x	Erp-Btl	70-69		120359
6	12:22	Goederen	Btl-Erp	71		121218
7	12:28	Goederen	Btl-Erp	80		122238
8	12:39	Losse loc	Btl-Erp	76-77		122800
9	13:15	Losse loc	Erp-Btl	68	Veel achtergrond	123907
10	13:18	Goederen	Btl-Erp	67		131545
11	13:43	Goederen	Erp-Btl	80	Containers	131835
12	13:45	Goederen	Btl-Erp	77		134309
13	13:55	Goederen	Btl-Erp	79	Laatste deel onb	134508
14	14:02	Loc + 3 tankw	Erp-Btl	76-75	te kort	135525
15	14:29	Goederen	Erp-Btl	62		140220
16	15:04	Losse loc	Erp-Btl	68/67		142904
17	15:17	Goederen	Erp-Btl	68		150445
18	15:18				Korte achtergron	151733
19	15:55	Goederen	Btl-Erp	80		151858
20	16:05	Goederen	Erp-Btl	67		155553
21	16:26	Losse locs (2 s	Btl-Erp/ Erp-	73/74 / 73	Beide sporen los	160527
22	16:55	Losse loc	Btl-Erp	72/84	2 snelheidsmetir	162634
23	17:05	Goederen	Erp-Btl	35		165531
24	17:14	Goederen (2 s	Erp-Btl / Btl-	ca 63 / 77/78	Kruisende treine	170714
25	17:24	Goederen	Erp-Btl	70		171757
26	17:26	Goederen	Btl-Erp	70-72		172534
27	17:31	Losse loc	Btl-Erp	71/72		172743
28	17:43	Losse loc	Erp-Btl	75	Niet opgeslagen ??	
29	17:53	Losse loc	Btl-Erp	74		174420
30	17:54	Losse loc	Erp-Btl	75		175351
31	18:02	Goederen	Erp-Btl	72		175508
32	18:20	Goederen	Btl-Erp	77		180338
33	19:07	Goederen	Erp-Btl	52		184152
34	20:15	Losse Loc	Erp-Btl	63-61		
35	20:31	Losse loc	Btl-Erp	75		
36	20:52	Goederen	Btl-Erp	76		203151
37	20:56	Losse loc	Btl-Erp	80		
38	21:05	Goederen	Erp-Btl	75-52	Remmend	210511
39	21:22	Goederen	Btl-Erp	78		210722
40	21:23	Goederen	Erp-Btl	75		212331
41	21:26	Lloc	Erp-Btl	76		212558
42	21:28	Naijking mp 1		94.2		
43	21:30	Naijking mp 2		94.4		
44	21:31	Naijking mp 3		94.3		

Bijlage 2: Logboek Zwartewaalsebrug

Meetpunt nr./ kabelnummer	Meetpunt	Afstand t.o.v. H.S. [m]	Hoogte t.o.v. Maaiveld [m]	Hoogte t.o.v. B.S. [m]	Sensor
4	Zwartew. br	7.5	5.3	-3.0	
5	Zwartew. br	7.5	8.8	0.0	
6	Zwartew. br	7.5	11.8	3.0	
7	Zwartew. br	7.5	15.0	6.2	
30	Laser t.b.v.	7.5	11.9	3.2	
Meting	Tijd	Materieel	Rijrichting	V in km/h	Metingnaam (DEKRA_2023)
	08:47		Btl		084140
7.5 m	10:15	2*189 + kolen	Erp		095030
	10:28	2*189 + kolen	Btl		102553
		E.loc + containers		met typhoo	103059
	10:32	BL 193 + Cont	Erp		103059
	10:37	Ruismeting			103707
		193 + lege containers	Btl		105453
	11:10	G1206 llt	Btl		110543
	11:19	BR 186 llt	Erp		111119
	11:21	Achtergrondgeluid			112104
	11:42	E.loc + containers	Erp		114124
	11:54	E.loc + containers	Erp		115353
	12:02	G2000 + containers	Erp	passage op eind van signaal	115827
	12:11	2 * 193 llt	Erp		121045
	12:21	2 * 189 + kolen	Erp	met goede laser pulsen	121359
	12:22	2*189 + kolen	Erp		122407
	12:29	Achtergrondgeluid	met claxon		122921
	12:33	G1206 llt	Erp		123148
	13:15	Eloc llt	Btl		125804
	13:17	Loc+ ketelwagens	Erp		131704
	13:42	BR186 + containers	Kfh		131944
	13:44	2 * 189 + kolen	Erp		134407
	13:54	BR189+ containers	Erp		134701
	14:02	1206+ketelwagens	Btl	43 m	135710
	14:20	Achtergrondgeluid			141423
	14:28	Class66+huifwagens	Btl		142211
	15:04	62000 llt	Btl		143147
	15:12	6400 +containers			150623
	15:20	Naijking mp 4		94.3	
	15:24	Naijking mp 5		94.1	152222
	15:26	Naijking mp 6		94.1	152453
	15:29	Naijking mp 7		94.3	152756

Bijlage 3: Logboek Rozenburgsebrug

Meetpunt nr./ kabelnummer	Meetpunt	Afstand t.o.v. H.S. [m]	Hoogte t.o.v. Maaiveld [m]	Hoogte t.o.v. B.S. [m]	Sensor
8	Rozenburgsebrug, geluid	7.5	9.0	-3.0	
9	Rozenburgsebrug, geluid	7.5	12.0	0.0	
10	Rozenburgsebrug, geluid	7.5	15.0	3.0	
24	Kras sensor 1 spoor Rtd-Eur				
25	Kras sensor 2 spoor Rtd-Eur				
26	Kras sensor 1 spoor Rtd-Eur				
27	Kras sensor 2 spoor Rtd-Eur				
Afstand tussen de sensoren oer spoor			60.5 m		
Meting	Tijd	Materieel	Rijrichting	V in km/h	Opmerking
		geen meting			162534
	16:54	6400 llt	Erp		162721
	17:09	Goederentrei	Btl		165526
	17:12	Loc llt	Erp		171106
	17:14	Goederentrei	Erp		171353
	17:16	E.loc + Goede	Btl		171557
	17:18	Achtergrondg	geen file		
	17:26	E.loc + Goede	Erp	kruising	171918
		E.loc + Goede	Btl		
	17:28	E.loc llt	Erp	met flensgeluid	172856
	17:45	E.loc llt	Mvt		173247
	17:49	E.loc llt	Erp		175003
	17:56	E.loc llt	Btl		175405
	18:04	E.loc + Goede	Btl	met flensgeluid midden pasage	175734
	18:21	E.loc + Goede	Erp	met flensgeluid	181532
	19:09	E.loc + Goede	Btl		184543
	19:30	Achtergrondgeluid			202132
	20:17	LLT	erp		wsl niet op ges
	20:22	testmeting			202257
	20:30	LLT	Erp		202441
	20:51	E.loc + Goede	Erp		203244
	20:57	LLT	Erp		205256
	21:08	D.loc+goeder	Btl		205711
	21:22	Omgevingsgeluid			210904
	21:26	E.loc + Goede	Erp		211608
	21:30	E.loc + Goede	Btl	laat ingeschakeld	212539
	21:32:00	LLT	Btl		212711
	22:09	Naijking mp 8 (-3 m)		94.0	220836
	22:10	Naijking mp 89 (0 m)		94.0	220955
	22:11	Naijking mp 10 (3 m)		93.9	221044



Bijlage 4: Resultaten Zwartewaalsebrug, spoor richting Europoort



Bijlage 5: Resultaten Zwartewaalsebrug, spoor richting Botlek



Bijlage 6: Resultaten Rozenburgsebrug, spoor richting Europoort

18	Bestanddeel	Start time:	Treintype	Rijrichting:	Snelheid:	Meetpunt	TP[s]	L _{Amax}	L _{Aeq}	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
	DEKRA_2023_01_23_212539	21:25:40	Goederentrein	Botlek	76	Mvt - Kfh	Rozenburgsebrug_-3m	30.7	76.2	68.9	73.9	68.2	66.5	67.8	65.2	63.8	61.9	56.9	46.7
							Rozenburgsebrug_0m	30.7	77.0	69.1	72.1	69.6	67.9	68.6	65.6	64.1	62.0	56.5	46.0
							Rozenburgsebrug_+3m_	30.7	79.1	71.2	72.4	69.1	70.1	71.1	68.0	66.0	63.7	58.5	48.1
	DEKRA_2023_01_23_212331	21:23:32	Goedeen	Erp-Btl	75		Referentie_-2	32.8	77.9	70.0	77.3	76.6	73.4	73.1	67.0	62.1	61.2	57.7	49.1
							Referentie_0	32.8	85.0	76.8	77.5	75.9	73.0	76.3	72.1	70.0	70.4	68.1	59.0
							Referentie_+3	32.8	87.6	80.0	77.3	76.1	74.5	77.0	75.5	75.8	72.8	69.0	58.7
			Snelheidscorrectie 20 log V 0.1				Δ dB Rozenburgsebrug_-3m	-1.8	-1.2	-3.4	-8.4	-6.8	-5.3	-1.9	1.6	0.5	-0.9	-2.4	
							Δ dB Rozenburgsebrug_0m	-8.1	-7.8	-5.4	-6.4	-5.1	-7.8	-6.5	-6.1	-8.6	-11.7	-13.1	
							Δ dB Rozenburgsebrug_+3m_	-8.6	-8.9	-4.9	-7.1	-4.4	-5.8	-7.6	-10.0	-9.3	-10.6	-10.6	
							Gemiddelde												
							Gem Δ dB Rozenburgsebrug_-3m	-2.2	-1.4	-4.9	-10.5	-7.1	-5.6	-2.3	0.9	-0.2	-0.3	-0.6	
							stdev	0.5	0.6	2.6	2.0	1.2	0.4	0.9	1.0	0.6	1.4	4.4	
							Gem B Rozenburgsebrug_0m	-10.9	-8.9	-6.4	-10.0	-6.5	-8.0	-7.0	-8.0	-9.9	-11.2	-9.9	
							stdev	3.4	1.1	1.7	3.1	1.4	0.7	0.9	2.0	1.1	1.2	3.1	
							Gem Δ dB Rozenburgsebrug_+3m_	-10.3	-9.7	-5.6	-9.5	-6.3	-5.9	-8.5	-10.9	-10.1	-10.4	-8.3	
							stdev	1.6	0.8	1.3	2.0	1.7	0.5	1.1	0.9	0.8	1.1	2.6	
							Afstandscorrectie			Gemeten geluidniveau re		-1.86	dB						
							Gemiddelde passages richting Botlek												
							Meetpunt		L _{Amax}	L _{Aeq}	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
							Gem Δ dB Rozenburgsebrug_-3m	-4.0	-3.2	-6.8	-12.3	-9.0	-7.4	-4.1	-1.0	-2.0	-2.1	-2.4	
							stdev	0.5	0.6	2.6	2.0	1.2	0.4	0.9	1.0	0.6	1.4	4.4	
							Gem B Rozenburgsebrug_0m	-12.7	-10.8	-8.2	-11.8	-8.4	-9.9	-8.8	-9.9	-11.7	-13.1	-11.8	
							stdev	3.4	1.1	1.7	3.1	1.4	0.7	0.9	2.0	1.1	1.2	3.1	
							Gem Rozenburgsebrug_+3m_	-12.1	-11.5	-7.4	-11.3	-8.1	-7.8	-10.4	-12.7	-12.0	-12.3	-10.2	
							stdev	1.6	0.8	1.3	2.0	1.7	0.5	1.1	0.9	0.8	1.1	2.6	

Bijlage 8: Instrumentatie en meetpuntenlijst

Meetdoorsnede: Aardenbaan

Meetpunt nr./kabelnummer	Meetpunt	Afstand t.o.v. H.S. [m]	t.o.v. Maaiveld [m]	t.o.v. B.S. [m]	Sensor	ID Mic	ID 2671	Cal. Datum tot	Voorijking [dB]	Naijking [dB]
1	Aarden baan, geluid	7.5	0.2	-2.0	set 11	1.10.134	1.10.231	07-2024	94.0	94.2
2	Aarden baan, geluid	7.5	2.0	0.0	set 12	1.10.133	1.10.232	07-2024	94.0	94.4
3	Aarden baan, geluid	7.5	5.0	3.0	set 13	1.10.28	1.10.233	07-2024	94.0	94.3
21	Kras sensor spoor Rtd-Eur									
22	Kras sensor spoor Eur-Rtd									
	Snelheid met gatso									

Meetdoorsnede: Zwartewaalsebrug

Meetpunt nr./kabelnummer	Meetpunt	Afstand t.o.v. H.S. [m]	Hoogte t.o.v. Maaiveld [m]	Hoogte t.o.v. B.S. [m]	Sensor	ID Mic	ID 2671	Cal. Datum tot	Voorijking [dB]	Naijking [dB]
4	Zwartew. brug, geluid	7.5	5.3	-3.0	set 1	1.10.121	1.10.235	07-2024	94.0	94.3
5	Zwartew. brug, geluid	7.5	8.8	0.0	set 2	1.10.137	1.10.215	07-2024	94.0	94.1
6	Zwartew. brug, geluid	7.5	11.8	3.0	set 3	1.10.135	1.10.216	07-2024	94.0	94.1
7	Zwartew. brug, geluid	7.5	15.0	6.2	set 4	1.10.136	1.10.217	07-2024	94.0	94.3
30	Laser t.b.v. positie bep	7.5	11.9	3.1						

Meetdoorsnede: Rozenburgsesluis

Meetpunt nr./kabelnummer	Meetpunt	Afstand t.o.v. H.S. [m]	Hoogte t.o.v. Maaiveld [m]	Hoogte t.o.v. B.S. [m]	Sensor	ID Mic	ID 2671	Cal. Datum tot	Voorijking [dB]	Naijking [dB]
8	Zwartew. brug, geluid	7.5	9.0	-3.0	set 1	1.10.121	1.10.235	07-2024	94.0	94.1
9	Zwartew. brug, geluid	7.5	12.0	0.0	set 2	1.10.137	1.10.215	07-2024	94.0	93.9
10	Zwartew. brug, geluid	7.5	15.0	3.0	set 3	1.10.135	1.10.216	07-2024	94.0	94.0
24	Kras sensor 1 spoor Rtd-Eur									
25	Kras sensor 2 spoor Rtd-Eur									
26	Kras sensor 1 spoor Rtd-Eur									
27	Kras sensor 2 spoor Rtd-Eur									
	Afstand tussen de sensoren per spoor		60.5	m						

Overige apparatuur

ID	Omschrijving	Fabriek	Type	Cal datum tot	Opmerking
1.26.27	Calibrator	L&D	Cal200	mei-23	
1.26.42	Calibrator	Grass	42AG	dec-21	
1.17.11	Fronddend	Syrius	DB1023421	mrt-23	
1.17.12	Fronddend	Syrius	DB1023421	mrt-23	
PC020-002L	Labtop	DELL	10.14.233.95	core i5	
PC020-003L	Labtop	DELL	10.14.233.96	core i5	
Software	Dewesoft	versie	2023.1	release	(230123) (64-bit)