

Risico- en kansenanalyse Spoortrillingen Nieuwbouw

Hofwijk Noord te Zaandam

Opdrachtgever:

[Redacted]
[Redacted]
[Redacted]
[Redacted]

Projectnummer:

214274

Versienummer:

2.0

Plaats, datum:

Dordrecht, 23 december 2021

Auteur:

[Redacted]

Paraaf:

Controleur:

[Redacted]

Paraaf:

[Redacted]

Inhoudsopgave

	pagina
1 Inleiding	3
1.1 Algemeen.....	3
1.2 Gegevens.....	3
2 Uitgangspunten.....	4
2.1 Huidige situatie	4
2.2 Herinrichting.....	4
2.3 Spoortrillingen.....	5
3 Eisen, normering en randvoorwaarden	7
3.1 SBR richtlijn A, Schade aan gebouwen.....	7
3.2 SBR richtlijn B, Hinder voor personen in gebouwen.....	7
4 Quicksan trillingshinder	9
4.1 Aandachtszone	9
4.1.1 Klachten over spoortrillingen.....	9
4.1.2 Bodemopbouw.....	9
4.1.3 Ligging waterpartijen.....	10
4.1.4 Wissels, overgangsconstructies en ES-lassen.....	10
4.1.5 Verkeersgegevens spoorwegen	10
4.1.6 Locatie- en type bebouwing.....	11
4.1.7 Toekomstige wijzigingen spoor	11
4.2 Resultaat quickscan	11
5 Monitoring trillingsbelasting.....	12
5.1 Uitvoering metingen	12
5.1.1 Vergelijking meetwaarden.....	13
5.1.2 Dominante frequentie	13
5.2 Beoordeling meetwaarden	14
5.2.1 Correctiefactoren.....	14
5.2.2 Overdracht van bodemtrillingen naar de constructie.....	15
5.3 Toetsing aan SBR-A.....	15
5.4 Toetsing aan SBR-B	16
6 Conclusie	17

Bijlagen

1	Positie trillingsmeters
2	Resultaten monitoring SBR-A meetpunt 01
3	Resultaten monitoring SBR-A meetpunt 02
4	Resultaten monitoring SBR-A meetpunt 03
5	Resultaten monitoring SBR-B meetpunt 01
6	Resultaten monitoring SBR-B meetpunt 02
7	Resultaten monitoring SBR-B meetpunt 03

1 Inleiding

1.1 Algemeen

In opdracht van [REDACTED] is door BK Bouw- & Milieuadvies B.V. een prognose van de te verwachten trillingsbelasting opgesteld in het kader van de gebiedsontwikkeling op de locatie Hofwijk Noord te Zaandam.

Doel van het onderzoek is het in kaart brengen van de risico's door spoortrillingen, de eventuele kans op schade aan de geplande nieuwbouw en hinder voor personen. Een deel van de nieuwbouw wordt op een afstand van minder dan 100 meter tot aan de spoorbaan gerealiseerd.

1.2 Gegevens

Ten behoeve van het onderzoek is gebruikgemaakt van de navolgende gegevens:

1. door de opdrachtgevers aangeleverde gegevens;
2. beeldkwaliteitsplan Hofwijk Noord Zaandam, Mollink Soeters PPHP, kenmerk 17014, van mei 2021;
3. plankaart fase 1, PPHP, kenmerk 17014, van 26 mei 2021;
4. Bouwbesluit 2012;
5. Handreiking Nieuwbouw en Spoortrillingen, ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, opgesteld door Witteveen+Bos Raadgevend ingenieurs B.V. referentie 111016/19-007.368 van mei 2019;
6. SBR richtlijn deel A: Schade aan gebouwen; meet- en beoordelingsrichtlijn, november 2017;
7. SBR richtlijn deel B: Hinder voor personen in gebouwen; meet- en beoordelingsrichtlijn, augustus 2002.

2 Uitgangspunten

2.1 Huidige situatie

De projectlocatie ligt aan de noordzijde van Zaandam en bevindt zich op het industrieterrein Hofwijk Noord. Dit industrieterrein wordt de komende jaren omgevormd tot een woonwijk.

Ter plaatse van de projectlocatie bevinden zich momenteel enkele bedrijven, tevens is een deel van de locatie braakliggend. De totale oppervlakte van de locatie bedraagt circa 5 hectare.

De projectlocatie bevindt zich in het gebied tussen de spoorlijn Zaandam - Hoorn, de Heijermansstraat, de Pro Patriastraat en watergang De Zaan. In het noordelijk en westelijk deel van de projectlocatie zijn voornamelijk bedrijven gevestigd. Het braakliggende terrein bevindt zich op het zuidelijke deel, tevens zijn aan de zuidzijde een aantal woningen en appartementen aanwezig.

De kortste afstand van de grens van de projectlocatie tot aan de meest nabij gelegen spoorbaan bedraagt circa 20 meter. De spoorbaan ligt ter hoogte van de projectlocatie op een talud.

In figuur 1 is de huidige situatie van de locatie waarop voorliggend onderzoek betrekking heeft met een blauw kader weergegeven.

figuur 1: overzicht projectlocatie (huidige situatie)



2.2 Herinrichting

Het ontwikkelgebied Hofwijk Noord te Zaandam, globaal gelegen tussen de Pro Patriastraat en de spoorlijn Zaandam - Hoorn, wordt in meerdere fasen getransformeerd. Het huidige onderzoek heeft betrekking op de eerste fase.

Deze eerste bouwfase voorziet in de bouw van grondgebonden woningen, appartementen en een parkeergarage. Aan de westzijde van de projectlocatie zijn hierbij tevens horeca en commerciële activiteiten gepland.

In de toekomstige situatie zal de parkeergarage op een afstand vanaf 22 meter tot aan de meest nabij gelegen spoorstaaf worden gerealiseerd. Voor de appartementen zal deze afstand vanaf 95 meter en voor de grondgebonden woningen vanaf 99 meter zijn. De hoogte van de voor bewoning bestemde gebouwen binnen de aandachtszone van het spoor zal van vijf tot en met dertien bouwlagen variëren.

In figuur 2 is de toekomstige situatie van de locatie, waarop voorliggend onderzoek betrekking heeft, weergegeven.

figuur 2: overzicht projectlocatie (toekomstige situatie, na herinrichting)



2.3 Spoortrillingen

De trillingsbelasting en de voelbaarheid van trillingen ter plaatse van de nieuw te bouwen gebouwen zijn van belang. Een hogere trillingsbelasting kan de kans op schade aan het bouwwerk vergroten. Trillingen in gebouwen kunnen ook hinderlijk zijn voor mensen die zich in een gebouw bevinden.

Een trilling van een passerend voertuig op de weg of spoorbaan plant zich voort via de bodem naar een bouwwerk. Als de trilling sterk genoeg is dan kan een bouwwerk in trilling worden gebracht.

Voor bewoners kunnen deze trillingen voelbaar zijn doordat de draagconstructie/fundering van een pand de trillingen doorgeeft aan de vloer van de woning die hierdoor meetrilt. Deze trillingen zijn over het algemeen het best voelbaar op hogere verdiepingen en kunnen een gevoel van angst of ongemak veroorzaken. Ook kunnen trillingen slaapproblemen veroorzaken. In de buitenruimte is dit minder van belang. Hinder wordt om deze reden over het algemeen bepaald voor binnenruimtes.

De mate van hinder door spoortrillingen is afhankelijk van meerdere factoren, onder andere:

- de eigenschappen van het trillingssignaal (frequentie en sterkte), per treintype verschillend;
- het aantal trillingen ofwel het aantal treinpassages;
- het tijdstip waarop de trillingen voorkomen;
- de richting waarop de trillingen optreden (horizontaal/verticaal).

Daarnaast zijn de eigenschappen van een gebouw van belang en de ligging van het spoor ten opzichte van het gebouw. Ook kunnen het ontwerp en de kwaliteit van het spoor en het hierop rijdende materieel van invloed zijn op de trillingsbelasting op een gebouw, de bodemopbouw tussen de bron en ontvanger, het type fundering en gebouwconstructie.

Om de kans op schade aan een bouwwerk als gevolg van trillingen te bepalen, wordt de trillingsbelasting berekend. De trillingsbelasting is een combinatie van de topwaarde van de trillingssnelheid V_{top} en de bijbehorende dominante frequentie f_{dom} .

De mate van hinder voor personen in een gebouw als gevolg van trillingen wordt afgeleid met de trillingssterkte.

De trillingssterkte wordt uitgedrukt in de zogenoemde maximale effectieve trillingssnelheid $V_{\max, \text{eff}}$. In onderstaand overzicht wordt de kwalificatie van hinder in een gebouw door weg- en railverkeer van bepaalde trillingssterkten beschreven.

tabel 1: gevoelsomschrijving trillingen

Sterkte $V_{\max}$ in mm/s	Hinderkwalificatie
<0,1	geen hinder (gevoelsgrens)
0,1 - 0,2	weinig hinder (bestaande situatie)
0,2 - 0,8	matige hinder
0,8 - 3,2	hinder
>3,2	ernstige hinder

De beleving van trillingen is voor iedereen anders. Uit de praktijk blijkt dat wanneer spoortrillingen optreden sprake is van een zekere mate van 'geaccepteerde' hinder.

3 Eisen, normering en randvoorwaarden

3.1 SBR richtlijn A, Schade aan gebouwen

De meet- en beoordelingsrichtlijn A, 'Schade aan gebouwen' bevat richtlijnen voor het meten en beoordelen van schade aan gebouwen. Trillingen op de toekomstige nieuwbouw worden getoetst aan de eisen zoals opgenomen in de SBR richtlijn A. De belangrijkste bepalingen uit de SBR richtlijn A zijn in onderstaande opgenomen.

Bouwwerken kunnen door verschillende omstandigheden in trilling raken. Veel bouwwerken zijn niet expliciet ontworpen om trillingen op te nemen, waardoor er kans op schade bestaat, een en ander afhankelijk van aard en constructiewijze van het bouwwerk en de aard, de sterkte en de frequentie van de trillingen. Door verificatie van de belasting op gebouwen door trillingen in relatie met het incasseringsvermogen van bouwwerken in bepaalde gevallen wenselijk is, is in 1993 door de Stichting Bouwresearch (SBR) een richtlijn (nummer 1) opgesteld voor het meten en beoordelen van schade aan bouwwerken door trillingen. In augustus 2002 is de SBR-richtlijn 1 vervangen door de SBR-richtlijn A: 'Schade aan Gebouwen'. De in deze rapportage beschreven monitoring is uitgevoerd conform de laatste versie van de SBR-richtlijn, van november 2017.

De richtlijn maakt onderscheid in de constructiewijze en de staat van het bouwwerk. Hierbij wordt de volgende verdeling van bouwwerken aangehouden:

Categorie 1:

In goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie, indien deze bestaan uit gewapend beton of hout. Onderdelen van een bouwwerk, die geen deel uitmaken van de draagconstructie (bijvoorbeeld scheidingsconstructies), indien deze bestaan uit gewapend beton of hout. Draagconstructies van bouwwerken, geen gebouw zijnde, die bestaan uit metselwerk, zoals pijlers van viaducten, kademuren en dergelijke.

Categorie 2:

In goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie van een gebouw, indien deze bestaan uit metselwerk. In goede staat verkerende onderdelen van een gebouw, die niet tot de draagconstructie behoren, zoals bijvoorbeeld scheidingsconstructies, die bestaan uit niet gewapend beton, metselwerk of uit brosse steenachtige materialen.

Monumenten:

Voor gebouwen/bouwwerken met een monumentenstatus of indien het metselwerk in slechte conditie verkeert, geldt een veiligheidsfactor. Hiermee wordt een dergelijk gebouw of bouwwerk extra beschermd tegen trillingen. Voor de toetsingswaarden is verder het type meting en het type trillingsbron van belang. Onderscheid wordt tevens gemaakt tussen trillingsgevoelige funderingen en niet trillingsgevoelige funderingen.

3.2 SBR richtlijn B, Hinder voor personen in gebouwen

De meet- en beoordelingsrichtlijn B, "Hinder voor personen in gebouwen" bevat richtlijnen voor het meten en beoordelen van hinder voor personen. De richtlijn maakt onderscheid in de functie van het gebouw, aard van de trillingsbron en in bestaande, gewijzigde en nieuwe situaties.

In de Richtlijn vindt de beoordeling plaats door middel van A_1 , A_2 en A_3 .

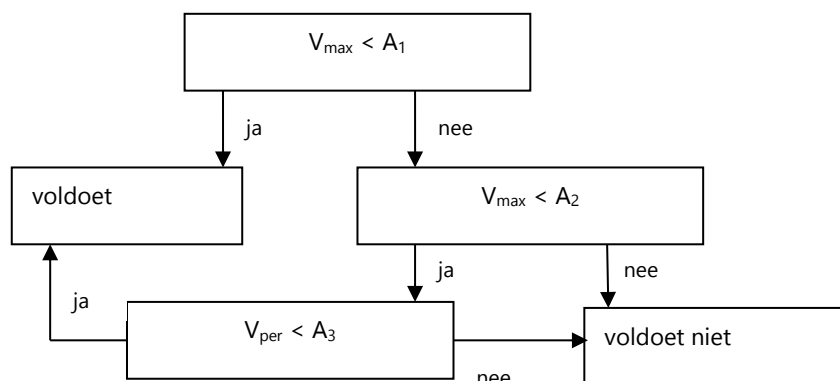
- A_1 is de onderste streefwaarde voor de trillingssterkte V_{max} .
- A_2 is de bovenste streefwaarde voor de trillingssterkte V_{max} .
- A_3 is de streefwaarde voor de trillingssterkte V_{per} .

Voor de hoogte van de streefwaarden geldt in algemene zin dat $A_3 < A_1 \leq A_2$.

Er wordt voldaan aan de streefwaarden indien:

- de waarde van de maximale trillingssterkte in een ruimte ($V_{\max}$) kleiner is dan A_1 of;
- de waarde van de maximale trillingssterkte van een ruimte ($V_{\max}$) kleiner is dan A_2 , waarbij de trillingssterkte over de beoordelingsperiode voor de ruimte (V_{per}) kleiner is dan A_3 ;

De procedure voor de beoordeling van $V_{\max}$ en V_{per} is in het onderstaande stroomschema aangegeven.



In de richtlijn zijn de streefwaarden onder andere gebaseerd op de functie van het gebouw waar de trillingen beoordeeld moeten worden en de aard van de trillingsbron. In de voorliggende situatie worden de optredende trillingen beschouwd als herhaald voorkomende trillingen gedurende een langere periode (>3 maanden) in een nieuwe situatie (nieuwbouw wonen).

Voor de aan te houden streefwaarden wordt onderscheid gemaakt in drie beoordelingsperiodes, te weten:

- dagperiode van 07:00 tot 19:00 uur (12 uur of 43.200 seconden);
- avondperiode van 19:00 tot 23:00 uur (4 uur of 14.400 seconden);
- nachtperiode van 23:00 tot 07:00 uur (8 uur of 28.800 seconden).

In tabel 2 zijn de streefwaarden opgenomen die gelden voor de beoordeling van trillingen ter plaatse van het nieuw te bouwen woningen.

tabel 2: overzicht streefwaarden hinder

Norm	Dag-, avondperiode			Nachtperiode		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
SBR richtlijn B – nieuwe situatie wonen	0,1	0,4	0,05	0,1	0,2	0,05

Uit de praktijk blijkt dat wanneer spoortrillingen optreden sprake is van een zekere mate van 'geaccepteerde' hinder. Hierdoor kan in bepaalde situaties bij de beoordeling van de trillingsbelasting, op basis van de SBR richtlijn B, worden gekozen voor hogere streefwaarden. In deze prognose wordt echter de normering gehanteerd uit tabel 2.

4 Quickscan trillingshinder

Om de mate van hinder als gevolg van spoortrillingen ter plaatse van de geplande nieuwbouw te bepalen dient allereerst de aandachtszone te worden vastgesteld.

4.1 Aandachtszone

4.1.1 Klachten over spoortrillingen

In de toekomstige situatie zal een klein deel van de te realiseren appartementen en grondgebonden woningen zich binnen de aandachtszone (<100 meter tot aan de meest nabij gelegen spoorstaaf) van de spoorlijn bevinden. De locatie van de voorziene parkeergarage bevindt zich volledig binnen deze aandachtszone.

Langs de spoorlijn bevinden zich in de nabije omgeving een klein aantal woningen op vergelijkbare afstand binnen de aandachtszone van de spoorlijn. Bij Prorail is navraag gedaan over klachten met betrekking tot spoortrillingen in de nabijheid van de projectlocatie. Prorail kon in verband met privacyoverwegingen geen informatie hierover verstrekken. Internetonderzoek heeft geen klachten met betrekking tot spoortrillingen in de nabijheid van de projectlocatie opgeleverd.

4.1.2 Bodemopbouw

Op basis van de regionale bodemopbouw bestaan de bovenste bodemlagen uit klei, zand en veen. De regionale bodemopbouw is in onderstaande tabel opgenomen. De informatie is afkomstig van Grondwaterkaart van Nederland opgesteld door de Dienst Grondwaterverkenning TNO) en het Hydrogeologisch Model REGIS II van TNO-NITG.

tabel 3: regionale bodemopbouw

Diepte (m -mv)	Geohydrologische eenheid	Geologische formatie	Lithologie
0,0 - 15	watervoerend pakket	Holocene afzettingen	complexe eenheid, bestaande uit een afwisseling van zandige klei, midden en fijn zand, klei en veen en een weinig grof zand
15 - 20	kleiige eenheid	Formatie van Kreftenheye	kleiige eenheid, hoofdzakelijk bestaande uit kleig zand, fijn zand, klei en midden zand, met weinig veen en een spoor grof zand
20 - 38	watervoerend pakket	Formatie van Kreftenheye	zandige eenheid, hoofdzakelijk bestaande uit midden en grof zand, met weinig zandige klei, fijn zand en grind en een spoor klei en veen

De lokale bodemopbouw bestaat tot circa 13 m -mv uit zand met hieronder tot circa 15 m -mv klei en veen. Vanaf circa 15 m -mv bevindt zich zand. Het maaiveld ligt op NAP-niveau. De lokale bodemopbouw is in het figuur 3 weergegeven. De informatie is afkomstig van Dinoloket (<https://www.dinoloket.nl/ondergrondgegevens>).

figuur 3: overzicht boorprofiel nabij projectlocatie (bron: dinoloket)



Uit de lokale bodemopbouw blijkt dat de bovengrond hoofdzakelijk bestaat uit zand. Door het ontbreken van klei- en veenlagen, zal de bodem geen extra dempende werking op (spoor)trillingen hebben. Trillingen in de bodem zullen zich hierdoor over een grotere afstand verspreiden dan het geval zou zijn bij de aanwezigheid van klei- en veenlagen in de bovengrond.

4.1.3 Ligging waterpartijen

Tussen de projectlocatie en de spoorlijnen is geen watergang aanwezig. In de toekomstige situatie is ter plaatse geen watergang voorzien.

Door het ontbreken van een watergang tussen de projectlocatie en de spoorlijn is er geen sprake van enige obstructie in de bodem waardoor de trillingen niet extra worden gedempt/uitgedoofd.

4.1.4 Wissels, overgangsconstructies en ES-lassen

Ten noordoosten van de projectlocatie bevindt zich op circa 110 meter van de geplande nieuwbouw een spoorviaduct over de Heijermansstraat. Ten westen van de projectlocatie bevindt zich op circa 95 meter afstand een spoorviaduct over de Oostzijde en verderop op circa 105 meter afstand de spoorbrug over De Zaan. In de nabijheid van de projectlocatie zijn geen wissel in de spoorbaan aanwezig.

Zogenoemde ES-lassen zijn niet beschouwd. Wanneer de ES-lassen in een goede conditie verkeren, veroorzaken deze geen extra trillingen.

De aanwezigheid van overgangsconstructies en ES-lassen veroorzaken een variatie in de dynamische belasting van de spoorbaan wat trillingen tot gevolg kan hebben. Aan de westzijde van de projectlocatie is een verhoging van de trillingsniveaus door de aanwezige spoorbrug en het spoorviaduct over de Oostzijde niet uit te sluiten.

4.1.5 Verkeersgegevens spoorwegen

Ten noorden van het ontwikkelgebied ligt tussen de spoorlijn Zaandam – Hoorn. De projectlocatie ligt tussen de dienstregelpunten Zaanbrug en Zaandam-Kogerveld.

In de tabellen 4 en 5 zijn overzichten opgenomen van het aantal treinpassages over spoortrace langs de projectlocatie gedurende de monitoringsperiode. Tevens is het type treinverkeer aangegeven.

tabel 4: overzicht treinverkeer in aantallen en type treinen per dag

Datum	Dag	Reizigersvervoer		Overig		Opmerking
		IC	Spinter	Goederen	Overig	
18-11-2021	do	82	74	0	3	-
19-11-2021	vr	85	73	0	2	-
20-11-2021	za	73	67	0	4	-
21-11-2021	zo	70	65	0	2	-
22-11-2021	ma	84	75	0	1	-
23-11-2021	di	85	74	0	1	-
24-11-2021	wo	85	74	0	4	-
25-11-2021	do	83	74	0	2	-
26-11-2021	vr	85	74	0	6	-
27-11-2021	za	73	68	0	0	-
28-11-2021	zo	62	65	0	1	-
29-11-2021	ma	82	75	0	3	-

tabel 5: overzicht treinverkeer in gemiddelde aantallen en type treinen per uur

Beoordelingsperioden	Aantal uren/dag	Reizigersvervoer, aantal treinen per uur		Overig, aantal treinen per uur	
		IC	Spinter	Goederen	Overig
dagperiode (07:00 tot 19:00 uur)	12	4,5	3,9	0,0	0,1
avondperiode (19:00 tot 23:00 uur)	4	3,8	3,9	0,0	0,2
nachtperiode (23:00 tot 07:00 uur)	8	1,5	1,4	0,0	0,1

Op basis van het overzicht vindt op het traject hoofdzakelijk personenvervoer plaats. Tevens blijkt dat er gedurende de monitoringsperiode geen goederenvervoer heeft plaats gevonden. Goederentreinen zijn over het algemeen zwaarder en leiden over het algemeen tot hogere trillingsniveaus. Op basis van het treinbeeld zijn ter plaatse van de projectlocatie lagere trillingssterkten te verwachten dan het geval zou zijn indien goederenvervoer over het traject zou plaatsvinden.

4.1.6 Locatie- en type bebouwing

In de toekomstige situatie zijn op de projectlocatie grondgebonden woningen, appartementen en een parkeergarage gepland. Tevens zijn aan de westzijde horeca en commerciële activiteiten voorzien. De meest nabij het spoor gelegen nieuw te bouwen appartementenblokken en grondgebonden woningen zullen uit minimaal vijf bouwlagen bestaan. Het kleinste oppervlak van deze bebouwing bedraagt circa 30 bij 35 meter.

Een gebouw komt door een trilling niet of nauwelijks in beweging, als dit gebouw een zeer stijve fundering heeft in combinatie met een korte trillingsgolf ten opzichte van de afmeting van dat gebouw. Gezien de hoogte en omvang van de geplande gebouwen, wordt uitgegaan worden van stijve betonnen funderingsconstructies. Deze constructies zijn over het algemeen minder gevoelig voor bodemtrillingen.

4.1.7 Toekomstige wijzigingen spoor

Ontwikkelingen aan de bron, zoals wijzigingen aan het spoor of van het type treinen dat passeert, kunnen van invloed zijn op het te verwachten trillingsbeeld.

Op basis van de informatie op de website van Prorail zijn in de nabije toekomst geen wijzigingen aan het spoor te verwachten die tot verandering van het treinbeeld kunnen leiden.

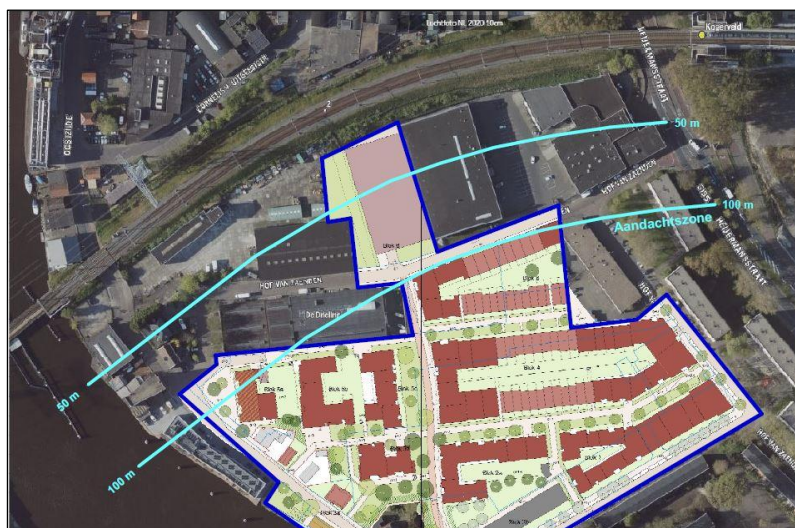
4.2 Resultaat quickscan

De projectlocatie bevindt zich voor een deel binnen de aandachtszone van 100 meter tot de meest nabij gelegen spoorstaaf. In figuur 4 is de aandachtszone voor spoortrillingen op een tekening van de toekomstige situatie weergegeven. De grotere bouwvolumes van de geplande nieuwbouw en de treintypen welke gebruik maken van de spoorbaan geven aanleiding tot lagere verwachte trillingsniveaus in de toekomstige bebouwing.

In verband met de aanwezige zandlagen in de lokale bovengrond, de afwezigheid van een watergang tussen de projectlocatie en de spoorbaan, aanwezigheid van een overgangsconstructie en door de beperkte beschikbaarheid van informatie over trillingsklachten in de omgeving, is enige mate van trillingshinder binnen 100 meter tot de meest nabij gelegen spoorstaaf niet uit te sluiten.

Uit de quickscan wordt geconcludeerd dat ter plaatse van de projectlocatie licht verhoogde trillingsniveaus kunnen voorkomen. Er zijn geen aanwijzingen om de aandachtzone te vergroten.

figuur 4: weergave aandachtzone spoortrillingen (tekening toekomstige situatie)



5 Monitoring trillingsbelasting

Om te onderzoeken of ter plaatse van de geplande nieuwbouw sprake kan zijn van verhoogde trillingsniveaus, met kans op schade of hinder, is een monitoring van de trillingsbelasting en trillingssterkten uitgevoerd. Hierbij is het trillingsbeeld van de bodemtrillingen ten gevolge van spoortrillingen vastgelegd. Ook zijn trillingen geregistreerd die door een andere oorzaak zijn ontstaan. Deze trillingen zijn zo veel als mogelijk uit de resultaten gefilterd voordat deze zijn geanalyseerd.

5.1 Uitvoering metingen

De trillingsmetingen hebben in een aaneengesloten periode van donderdag 18 november tot dinsdag 30 november 2021 op de projectlocatie plaatsgevonden. De metingen zijn met drie VIBRA+ meetsystemen van Profound verricht.

In tabel 6 is het meetbereik van deze type trillingsmeter weergegeven.

tabel 6: meetsystemen

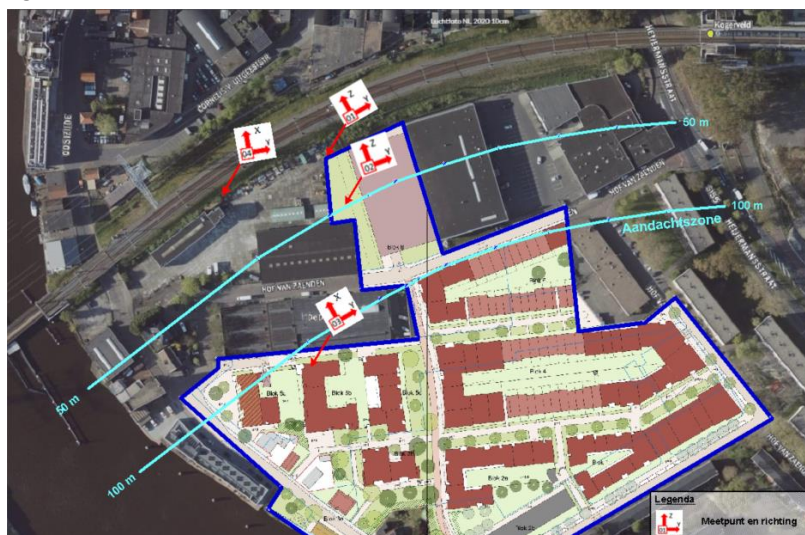
Meetsystemen:	Meetpunt	Frequentiebereik (Hz)	Meetbereik (mm/s)	SBR- A*	SBR- B*
Profound - Vibra+	01 t/m 03	0,8-100	0-100	Voldoet	Voldoet

* het meetapparaat voldoet aan de eisen uit hoofdstuk 7 en bijlage 1 van SBR-A respectievelijk hoofdstuk 7 en bijlage 1 van SBR-B

De trillingen zijn op maaiveldniveau (bodemtrillingen) gemeten. De drie trillingsmeters (meetpunt 01 t/m 03) zijn, gemonteerd op een betonnen stoeptegels, ingegraven onder maaiveldniveau. In verband met de aanwezige stoorbronnen is niet op de funderingslocaties van de toekomstige nieuwbouw maar op verschillende afstanden tot de spoorbaan gemeten. Deze stoorbronnen betreffen voornamelijk het zware wegverkeer over de Hof van Zaenden en verplaats-, laad- en losactiviteiten op de bedrijfspercelen. Als referentiemeetpunt was meetpunt 04 op korte afstand van het spoor voorzien. Dit meetpunt is door waterschade buiten werking geraakt. De trillingsmeter op meetpunt 01 is in verband met een storing door waterschade vanaf 26 november gestopt met meten en heeft hierdoor niet de gehele monitoringsperiode gemeten. De trillingen door stoorbronnen zijn op basis van de trillingskarakteristieken, de passagetijden van het spoorvervoer en het geregistreerd worden door meerdere meetpunten geïdentificeerd.

De meetlocaties zijn in figuur 5 en bijlage 1 op een plattegrond van de toekomstige situatie weergegeven.

figuur 5: overzicht meetlocaties



5.1.1 Vergelijking meetwaarden

Als resultaat van de metingen conform de SBR richtlijn A, Schade aan gebouwen, volgen de opgetreden V_{top} waarden met de bijbehorende f_{dom} . Als resultaat van de metingen conform SBR richtlijn deel B, hinder voor personen volgen de opgetreden $V_{eff,max}$ waarden per 30 seconde intervallen. De verkregen meetwaarden van drie meetlocaties zijn vergeleken.

De gemeten trillingsniveaus voor de drie meetlocaties zijn in grafieken in de bijlagen 2 t/m 7 weergegeven.

5.1.2 Dominante frequentie

Dominante frequentie van trillingen die worden veroorzaakt door langsrijdende treinen zijn afhankelijk van het type trein en de snelheid waarmee de passages plaatsvinden.

Op basis van eerdere metingen vinden de trillingen, veroorzaakt door personentreinen, over het algemeen plaats tussen 5-15 Hz. Goederenvervoer kan trillingen veroorzaken met hogere frequenties.

5.2 Beoordeling meetwaarden

De meetresultaten zijn over een periode van elf dagen, van vrijdag 19 november vanaf 0:00 uur tot 23:59:50 uur op maandag 29 november 2021, beoordeeld. De meetduur voldoet aan de minimale meetduur van één week en is in overeenstemming met de bepalingen uit de richtlijn SBR A en -B en de handreiking nieuwbouw en spoortrillingen. Het treinbeeld gedurende de monitoringsperiode wordt als representatief beschouwd voor het tracé.

De verkregen meetwaarden zijn beoordeeld. Uit de interpretatie en de vergelijking van de gemeten trillingsniveaus blijkt dat:

- het maximale trillingsniveau V_{top} op 20 meter vanaf het spoor, inclusief stoortrillingen door (vracht)verkeer op het naastgelegen terrein, maximaal 2,0 mm/s bedraagt en wordt vastgelegd tussen 1 en 20 Hz;
- de trillingsbelasting en het trillingsbeeld op 51 meter vanaf het spoor hoger is. Hier is sprake van stoortrillingen door het intensief gebruik van het gebied door onder andere vrachtverkeer en de aanwezige bedrijven;
- de trillingsbelasting en het trillingsbeeld op 120 meter vanaf het spoor weer een stuk lager is. Dit meetpunt is op een meer afgelegen deel van het terrein geplaatst waar minder sprake is geweest van stoortrillingen;
- uit de resultaten in tijd blijkt dat verhoogde trillingsniveaus hoofdzakelijk tussen 7:00 en 16:00 uur op werkdagen worden geregistreerd. In de weekenden en de avond- en nachtperiodes zijn slechts enkele licht verhoogde trillingsniveaus vastgelegd. Gezien het kortdurend karakter van deze trillingen, de tijd waarop deze worden vastgelegd en het feit dat de trillingen niet op elk meetpunt worden vastgelegd kan worden uitgesloten dat deze trillingen zijn veroorzaakt door passerend railverkeer. De karakteristieken van deze trillingen wijken af van de karakteristieken voor spoortrillingen en betreffen derhalve stoortrillingen;
- de ruim lagere trillingsniveaus in de avond en in het weekend kunnen niet op basis van het treinbeeld worden verklaard.

Op basis van de bovenstaande waarnemingen wordt geconcludeerd dat de verhoogde trillingsniveaus gedurende de werkdagen en tijdens de overige perioden voor een groot deel niet door spoorverkeer worden veroorzaakt maar van andere oorsprong zijn.

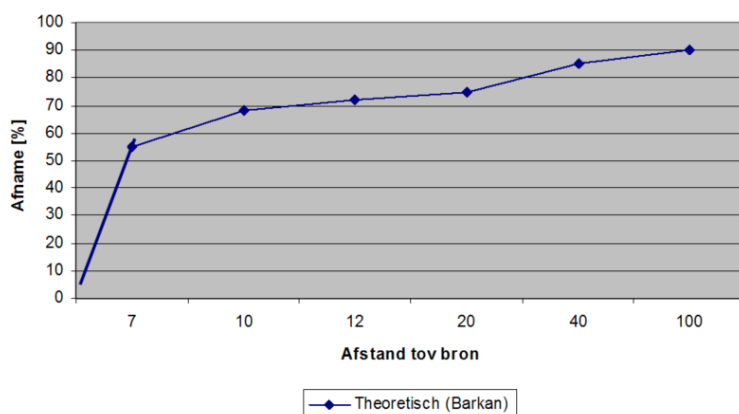
De meetdata is beoordeeld, waarbij trillingen met een piekfrequentie groter of gelijk aan 20 Hz als stoortrillingen zijn beschouwd. Ook trillingen welke plaats vonden op momenten waarin geen railvervoer tussen de aan weerszijden liggende dienstregelpunten plaatsvonden, zijn eveneens als stoortrillingen beoordeeld. Stoortrillingen zijn in de verdere interpretatie buiten beschouwing gelaten.

5.2.1 Correctiefactoren

De toetsing aan de grenswaarden uit SBR richtlijn deel A en de streefwaarde uit SBR richtlijn deel B dient te worden uitgevoerd met de trillingssnelheden die aan de draagconstructie van en respectievelijk in de toekomstige bebouwing worden verwacht. De parkeergarage wordt vanaf 22 meter en de appartementen worden vanaf 95 meter afstand tot de meest nabij gelegen spoorstaaf gerealiseerd. Gezien de metingen op relatief vergelijkbare afstanden zijn uitgevoerd als waar toekomstige bebouwing is gepland is correctie van de meetwaarden niet noodzakelijk.

Om de trillingsbelasting te berekenen op locaties waar geen metingen zijn uitgevoerd kunnen de resultaten op basis van de volgende methode worden omgerekend. De trillingssterkte neemt door bodemdemping en de afstand tussen de bron en ontvanger van trillingen af. Deze afname is te berekenen met de formule van Barkan. In grafiek 1 is als voorbeeld de afname van de trillingssterkte weergegeven in procenten per meter afstand.

grafiek 1: weergave formule van Barkan



5.2.2 Overdracht van bodemtrillingen naar de constructie

Bij de overdracht van de bodem naar de draagconstructie treedt doorgaans demping van trillingen op. De grootte van de demping is voornamelijk afhankelijk van de mate van stijfheid van de fundering en de grootte/massa van het gebouw ten opzichte van de grootte van de trillingsgolven. De gemeten $V_{\text{eff,max}}$ waarden op maaiveldniveau dienen hierop te worden gecorrigeerd met een dempingsfactor.

Bij de overdracht van de draagconstructie naar de vloeren treedt doorgaans enige versterking op door opslinging van vloervelden. Deze opslinging is onder andere afhankelijk van de overspanning van vloerdelen en de stijfheid van de constructie. De bepaalde $V_{\text{eff,max}}$ waarden op de draagconstructie dienen hierop veelal te worden gecorrigeerd met de versterkingsfactor.

De dempings- en vergrotingsfactoren berusten grotendeels op praktijkervaringen. Hierbij is gebruik gemaakt van vergelijkbare projecten, projecten van andere onderzoeksbureaus en is rekening gehouden met de resultaten van de 'quickscan trillingshinder' in hoofdstuk 4.

Voor de bepaling van $V_{\text{eff,max}}$ welke kunnen optreden in de geplande bebouwing is uitgegaan van de volgende waarde en factoren:

- correctiefactor verschil in afstand: op basis van de formule van Barkan;
- correctiefactor bodem naar fundering: 0,7 (uitgaande van stijve fundering);
- correctiefactor fundering naar vloer: 1,4 (uitgaande van betonnen vloeren);

5.3 Toetsing aan SBR-A

Met de uitgangspunten uit de voorgaande paragrafen zijn de te verwachten waarden voor V_{top} aan de draagconstructie van de te realiseren gebouwen per meetpunt berekend.

Op basis van toetsing van de meetresultaten aan de normering uit de SBR A, gecorrigeerd voor meetstrategie 'indicatief' en type trillingen 'continu', voor gebouwcategorie 1 kan worden geconcludeerd dat de kans op schade aan de bebouwing door spoortrillingen verwaarloosbaar klein is (<1%).

In bijlagen 2-4 zijn de, niet voor stoortrillingen gecorrigeerde, meetgegevens opgenomen.

5.4 Toetsing aan SBR-B

Met de uitgangspunten uit de voorgaande paragrafen zijn de te verwachten waarden voor $V_{\text{eff,max}}$ in de te realiseren gebouwen per meetpunt berekend.

Het hoogste niveau van de drie meetpunten gedurende de monitoringsperiode (worst-case) is getoetst aan de streefwaarden van alle beoordelingsperioden uit de SBR-B.

De berekende waarden voor $V_{\text{eff,max}}$ zijn getoetst aan de streefwaarden conform de SBR-B. In de onderstaande tabel is de toetsing weergegeven.

tabel 7: toetsing aan streefwaarden SBR-B

Toetsing	$V_{\text{eff,max}}$ (A1)	Voldoet aan A1	$V_{\text{eff,max}}$ (A2)	V_{per} (A3)	Voldoet aan A2 / A3	Conclusie
streefwaarden SBR-B	0,1	-	0,4	0,05	-	-
dagperiode	<0,1	ja	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	voldoet aan SBR-B
avondperiode	<0,1	ja	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	voldoet aan SBR-B
streefwaarden SBR-B	0,1	-	0,2	0,05	-	-
nachtperiode	<0,1	ja	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	voldoet aan SBR-B

Voor alle beoordelingsperioden (dag-, avond- en nachtperiode) wordt voor de verwachte trillingsbelasting op vloerniveau van de geplande bebouwing voldaan aan streefwaarden uit de SBR-B.

De te verwachten hinderkwalificatie door railverkeer valt in de categorie 'geen hinder'.

In bijlage 5-7 zijn de niet voor stoortrillingen gecorrigeerde, meetgegevens opgenomen.

6 Conclusie

Op basis van het uitgevoerde onderzoek kan worden geconcludeerd dat het verwachte trillingsniveau aan de draagconstructie van de geplande bebouwing voldoet aan grenswaarden uit de SBR-A. De kans op schade aan de geplande bebouwing als gevolg van spoortrillingen is hierdoor verwaarloosbaar klein.

Uit de toetsing aan het gestelde in de meet- en beoordelingsrichtlijn SBR-B kan worden geconcludeerd dat de mate van hinder door spoortrillingen voor de bewoners/gebruikers van de nieuw te bouwen woningen en appartementen voldoet aan deze richtlijn. De te verwachten trillingsniveaus door railverkeer vallen in de categorie 'geen hinder'.

De omgerekende $V_{eff,max}$ -waarden, waarmee de toetsing is uitgevoerd, gelden ook voor de vloeren op de hogere verdiepingen. Deze $V_{eff,max}$ -waarden zijn worst-case berekend waarbij de afname van het trillingsniveau als gevolg van verspreiding en demping tijdens de voortplanting door het gebouw niet zijn meegenomen.

Bij het bepalen van de correctiefactoren is uitgegaan dat de nieuwbouw wordt voorzien van een stijve fundering. Tevens is de berekening uitgevoerd met kengetallen voor betonnen vloeren.

Vervolgonderzoek is niet noodzakelijk.

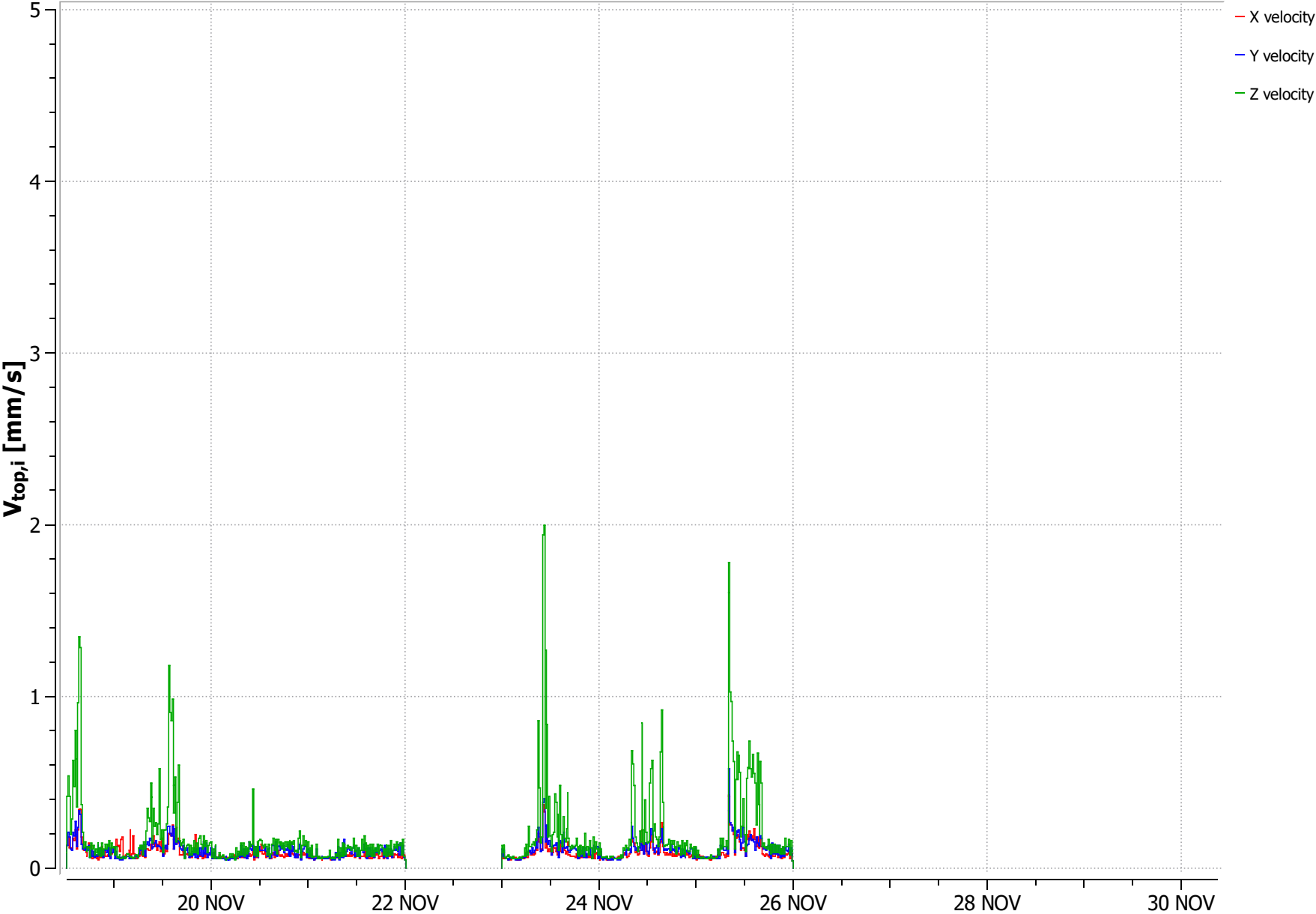
Bijlage

1 Positie trillingsmeters

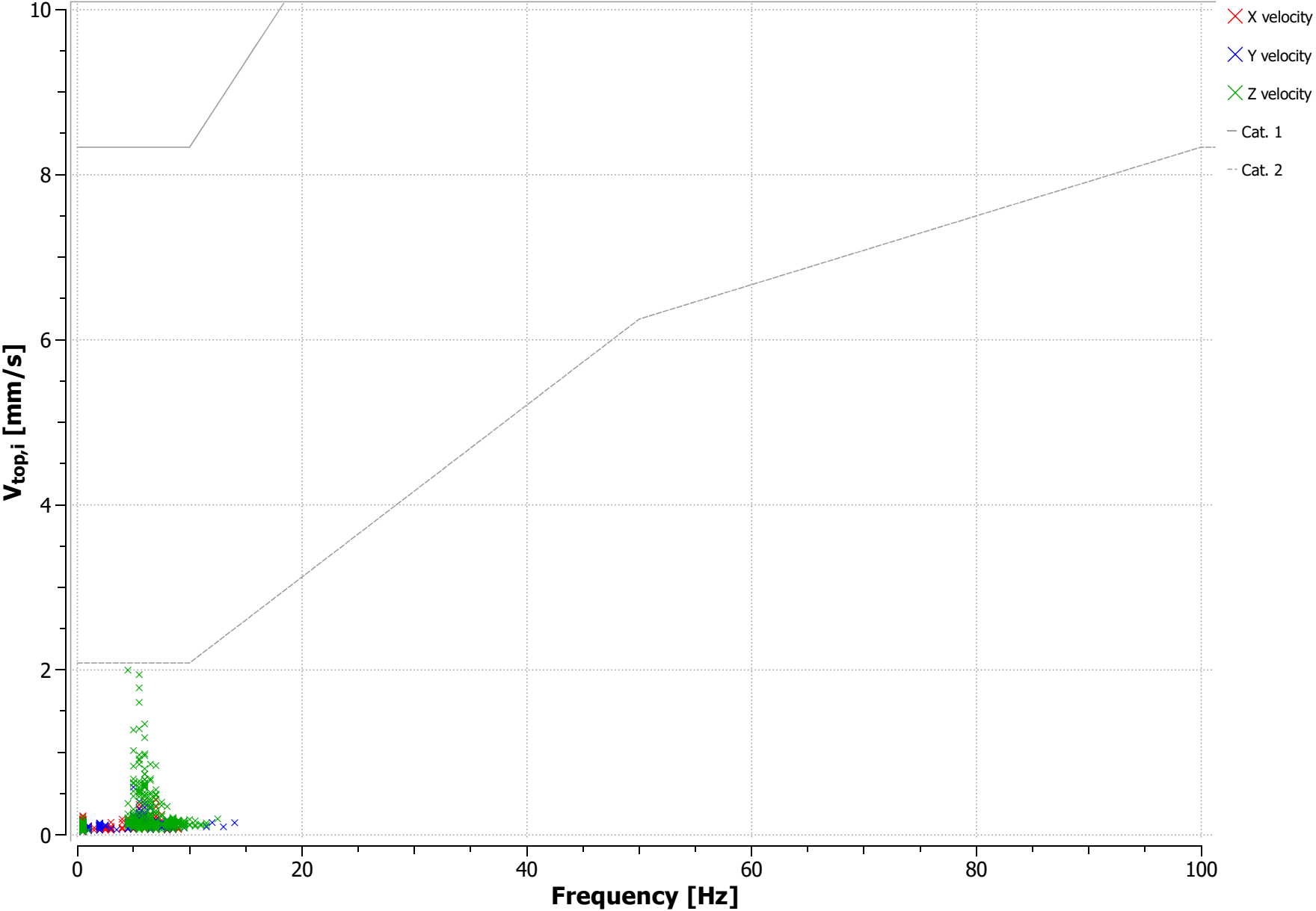
Bijlage

2 Resultaten monitoring SBR-A meetpunt 01

Hofwijk Noord Zaandam: Meetpunt 01 (20m, VIB02174)



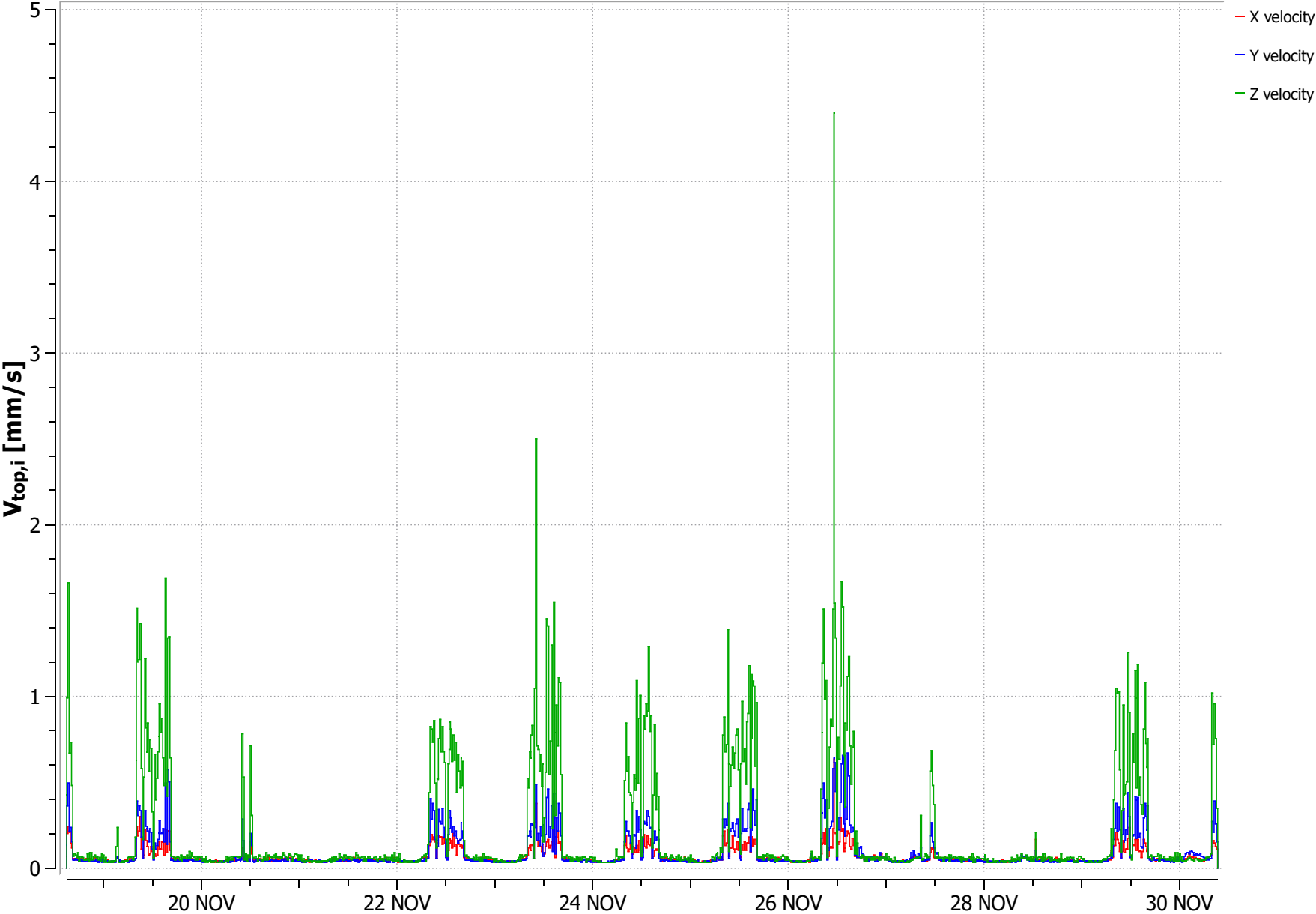
Hofwijk Noord Zaandam: Meetpunt 01 (20m, VIB02174)



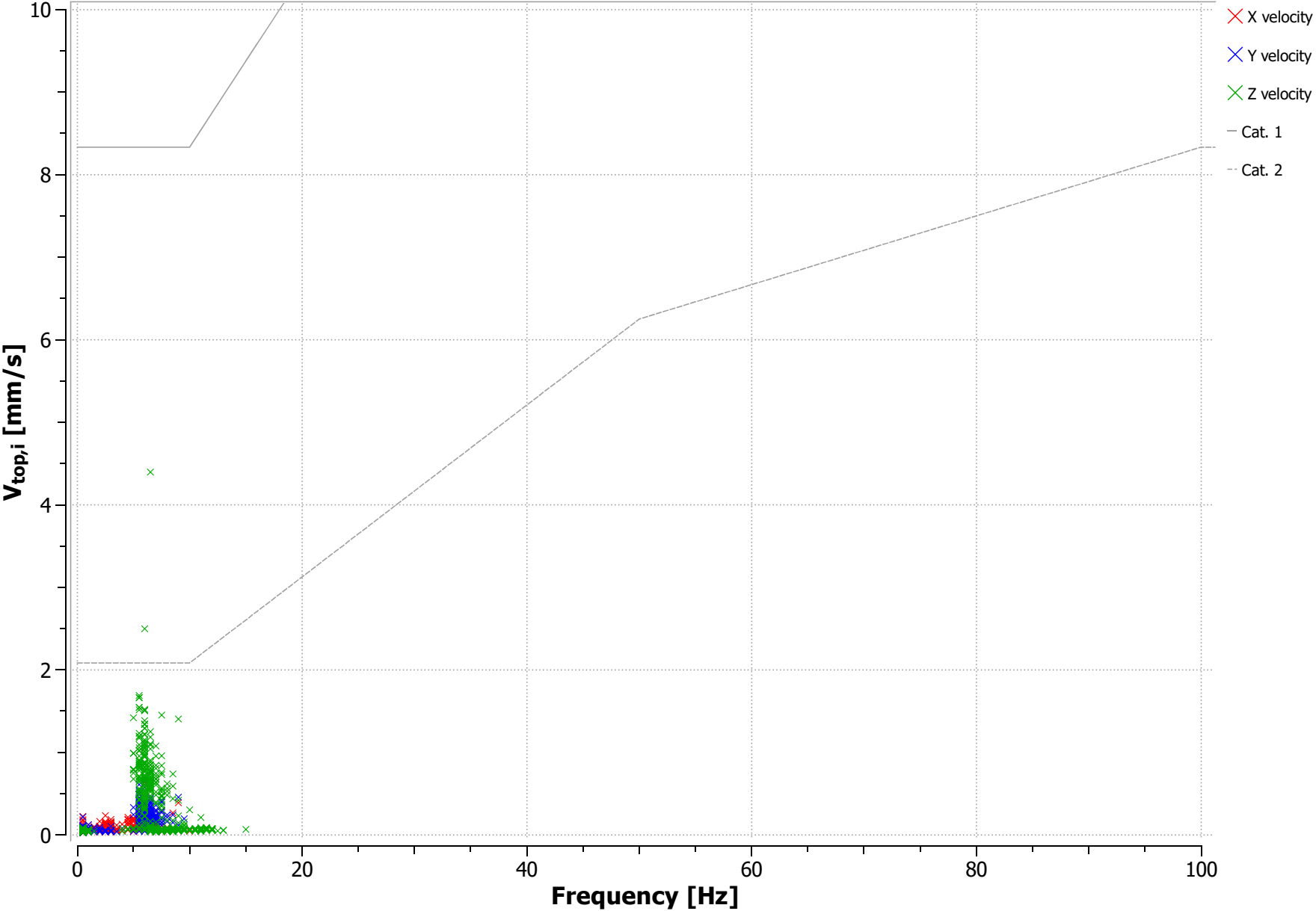
Bijlage

3 Resultaten monitoring SBR-A meetpunt 02

Hofwijk Noord Zaandam: Meetpunt 02 (51m, VIB00529)



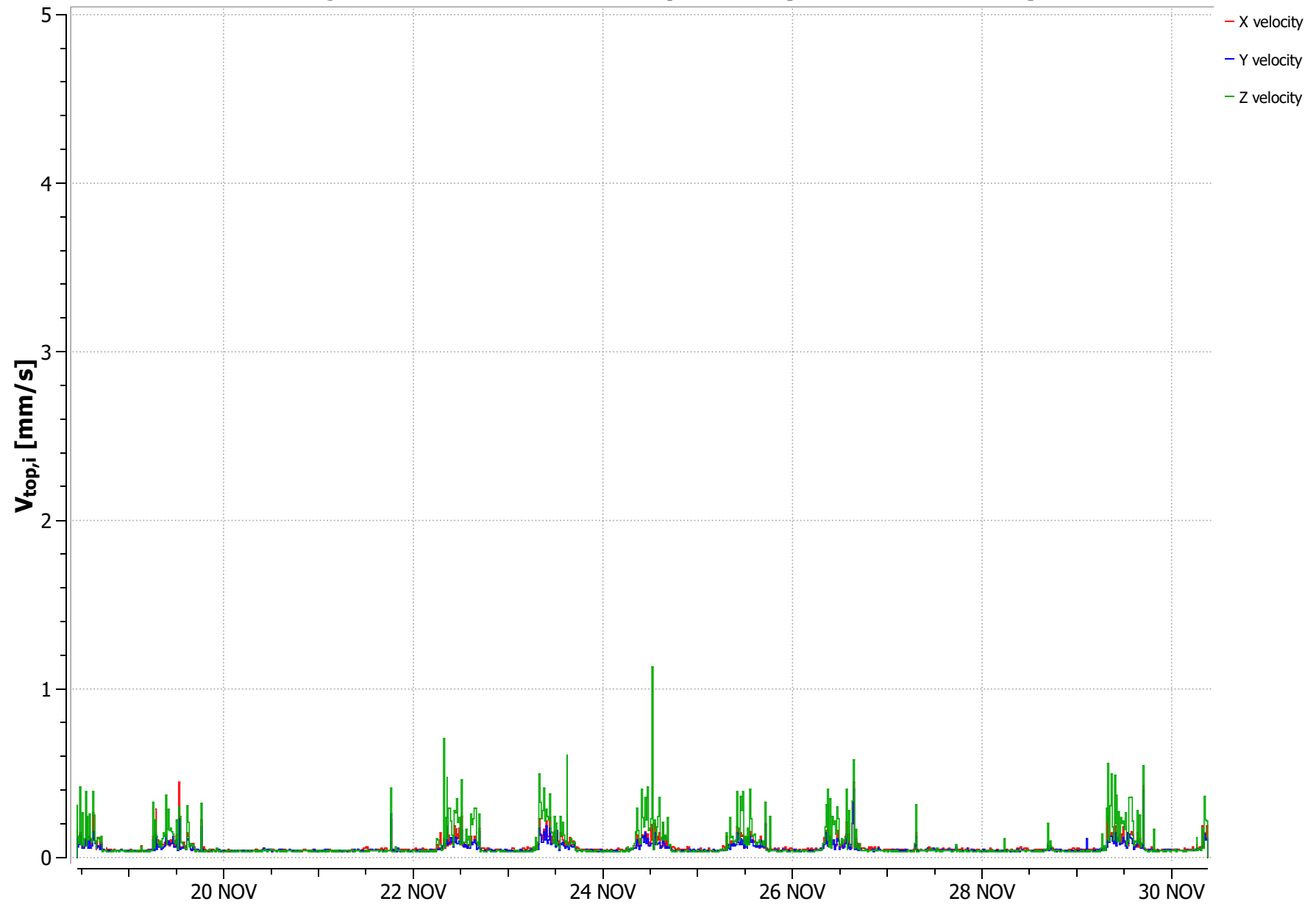
Hofwijk Noord Zaandam: Meetpunt 02 (51m, VIB00529)



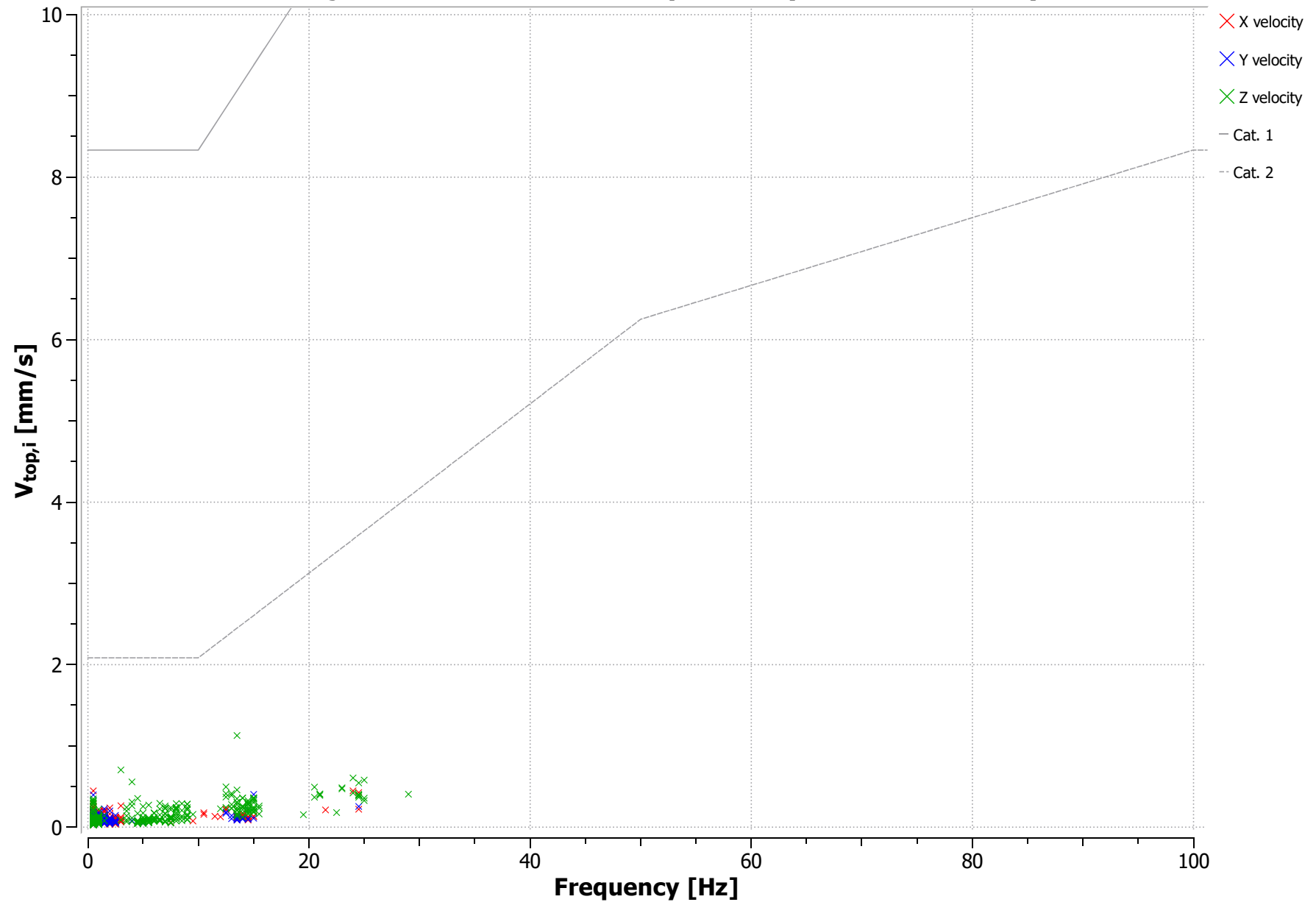
Bijlage

4 Resultaten monitoring SBR-A meetpunt 03

Hofwijk Noord Zaandam: Meetpunt 03 (120m, VIB00530)



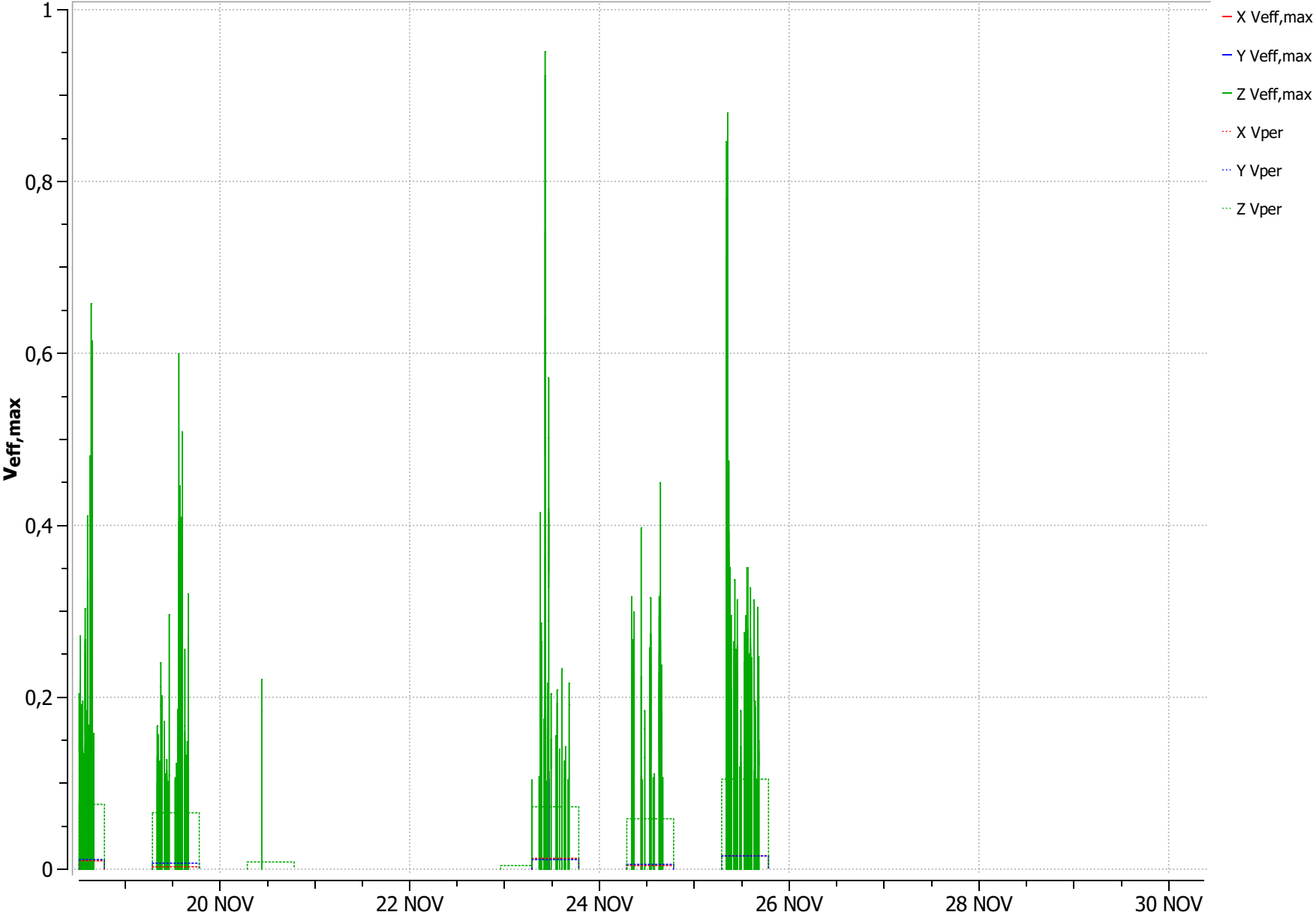
Hofwijk Noord Zaandam: Meetpunt 03 (120m, VIB00530)



Bijlage

5 Resultaten monitoring SBR-B meetpunt 01

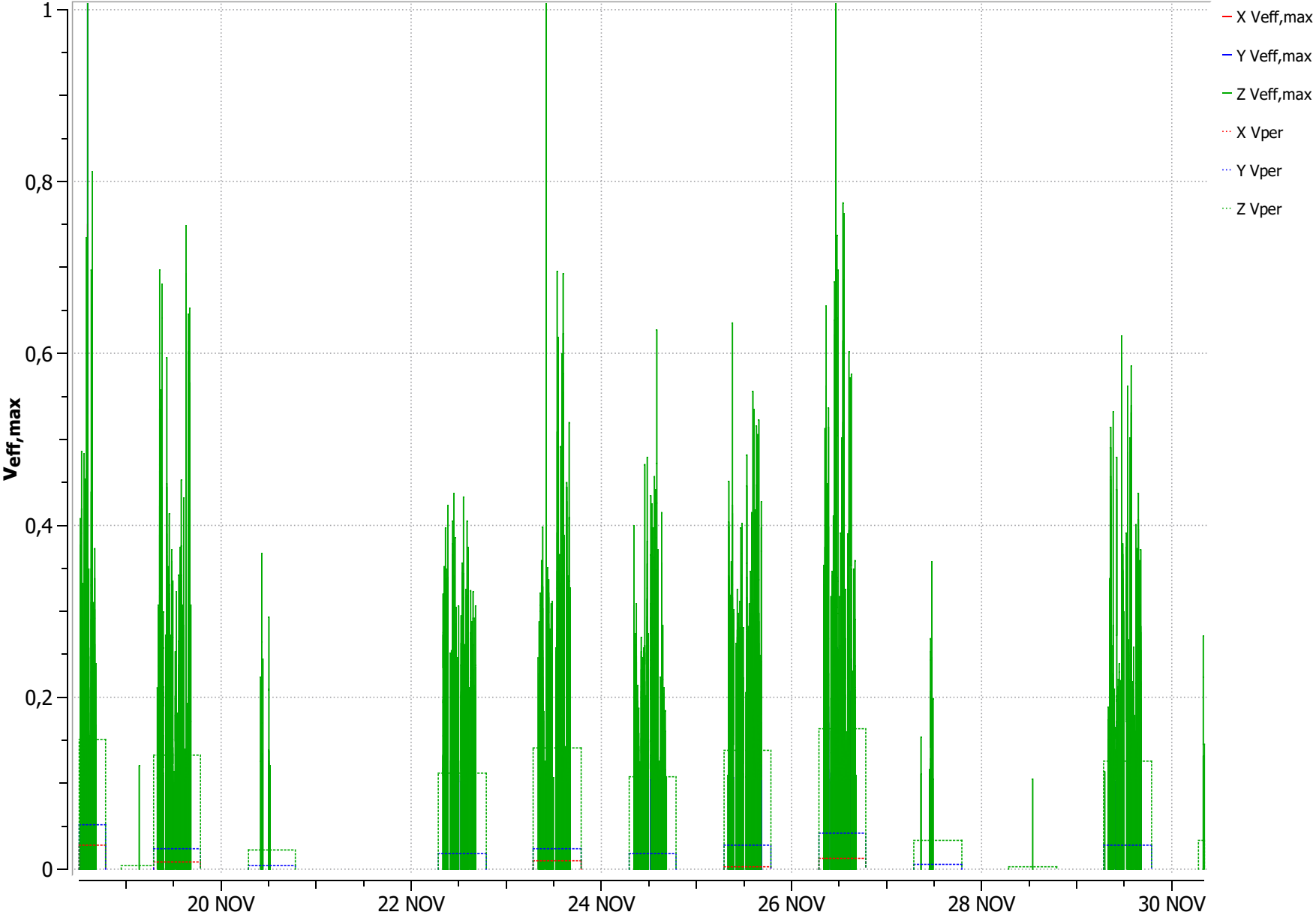
Hofwijk Noord Zaandam: Meetpunt 01 (20m, VIB02174)



Bijlage

6 Resultaten monitoring SBR-B meetpunt 02

Hofwijk Noord Zaandam: Meetpunt 02 (51m, VIB00529)



Bijlage

7 Resultaten monitoring SBR-B meetpunt 03

Hofwijk Noord Zaandam: Meetpunt 03 (120m, VIB00530)

