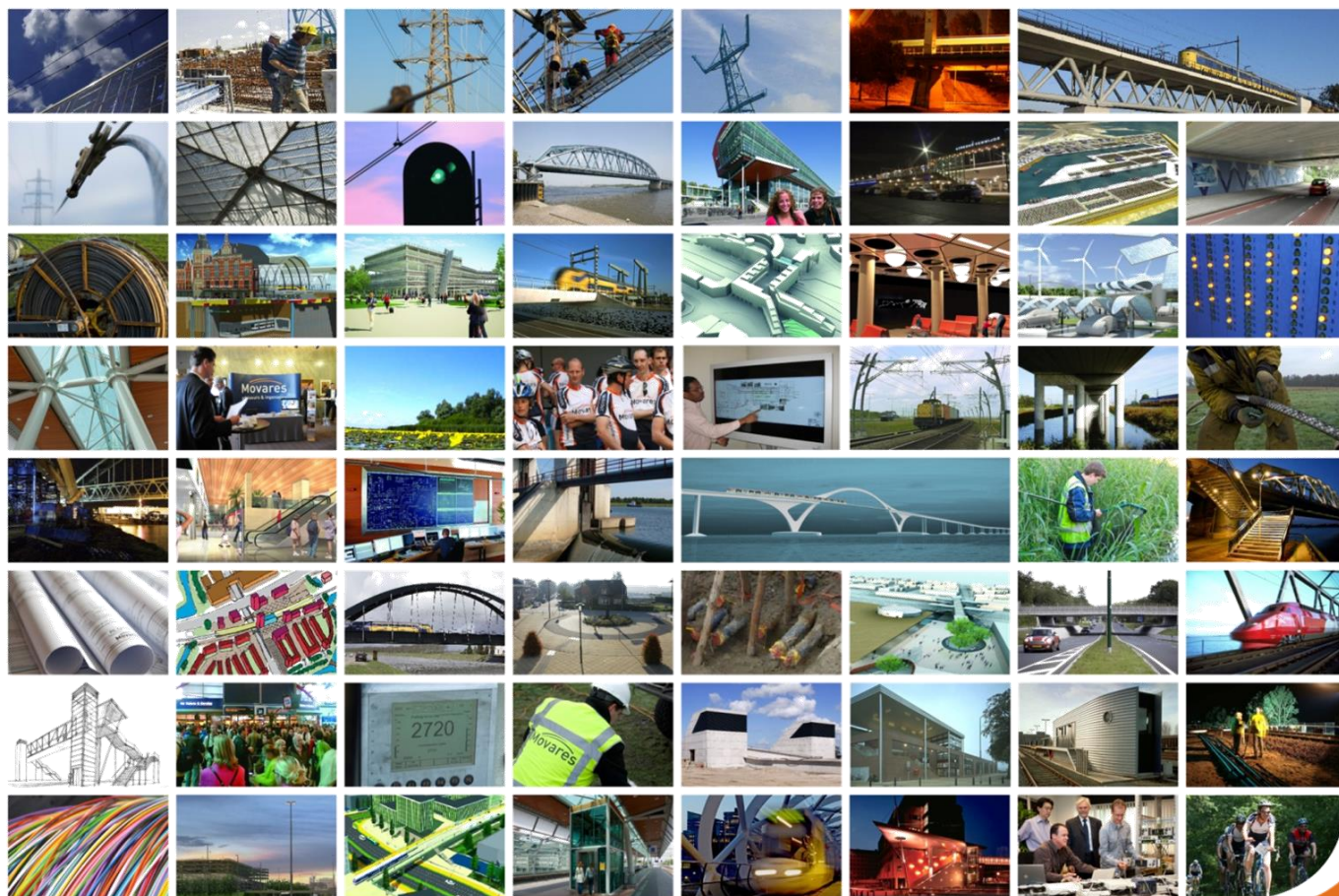




MNPHSAA-876048429-16340

TB versie 2.0 | Movares versie 4.0 | Vrijgegeven | 12-9-2023

Inhoudsopgave

Samenvatting.....	4
1 Inleiding	6
1.1 Programma hoogfrequent spoorvervoer (PHS).....	6
1.2 Maatregelen op de corridor Alkmaar-Amsterdam	6
1.3 Tracébesluit	6
1.4 Leeswijzer.....	7
2 Wettelijk en beleidsmatig kader.....	8
2.1 Algemeen.....	8
2.2 Beoordelingskader trillinghinder	8
2.3 Beoordelingskader trillingsschade.....	9
2.4 Beoordelingskader verstoring van gevoelige apparatuur	10
2.5 Gehanteerde beoordelingscriteria	10
3 Onderzoeksmethode en uitgangspunten	11
3.1 Inleiding	11
3.2 Onderzoek naar trillingsschade	11
3.3 Onderzoek naar trillingshinder.....	11
3.3.1 Stap 1: Indicatieve trillingsmeting en empirische prognose	11
3.3.2 Stap 2: Nauwkeurige trillingsprognoses in woningen	12
3.3.3 Stap 3: Indien nodig: ontwerpen van maatregelen	12
3.4 Onderzoek naar verstoring van gevoelige apparatuur	12
3.5 Uitgangspunten.....	12
3.5.1 Bestaande situatie	13
3.5.2 Plansituatie	14
4 Effecten	16
4.1 Inleiding	16
4.2 Trillingsschade.....	16
4.2.1 Trillingen van treinverkeer	16
4.2.2 Trillingen van bouwactiviteiten.....	17
4.3 Trillingshinder	17
4.4 Verstoring van trillingsgevoelige apparatuur	18
4.5 Overzicht van de effecten.....	19
5 Mitigerende maatregelen.....	20
5.1 Inleiding	20
5.2 Mitigerende maatregelen.....	20
5.3 Effect maatregelen	20
5.4 Cumulatieve effecten.....	20
6 Conclusies	22
Colofon	23

Bijlage I – VibraDyna	24
Bijlage II – Beoordelingskader.....	29
Bijlage III – Gebruikt bodemonderzoek	34
Bijlage IV – Verwerkingsprocedure trillingsmetingen	36
Bijlage V – Resultaten maaiveldmetingen (t.b.v. stap 1)	45
Bijlage VI – Resultaten metingen in woningen (t.b.v. stap 2).....	69
Bijlage VII – Trillingsschade tijdens de bouwfase	74
Bijlage VIII – Resultaten woningmetingen.....	79
Bijlage IX – Resultaten modelberekeningen	114

Samenvatting

Aanleiding en doelstelling

Zowel het reizigers- als het goederenvervoer over het spoor zal naar verwachting de komende jaren groeien. Om deze groei op het spoor in goede banen te leiden en er zorg voor te dragen dat de kwaliteit verbetert, is door het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat het Programma Hoogfrequent Spoorvervoer (PHS) voorbereid. PHS is een programma om de capaciteit van het spoor te vergroten, zodat er meer reizigerstreinen kunnen rijden op de drukste trajecten in de brede Randstad.

In de verkenningsfase van PHS is onderzocht welke goederenroutes voldoende capaciteit bieden voor het toenemende goederenverkeer en tevens ruimte bieden aan de frequentieverhoging van het reizigersvervoer in de Randstad en omgeving. Op basis van deze verkenning heeft het Kabinet op 4 juni 2010 een voorkeursbeslissing genomen over frequentieverhogingen voor het reizigersvervoer in de brede Randstad en een toekomstvastе routing van het goederenverkeer. In de Voorkeursbeslissing PHS zijn de daarvoor benodigde maatregelen opgenomen. De Voorkeursbeslissing PHS van het Kabinet is in oktober 2010 in de Tweede Kamer behandeld. Voor de corridor Alkmaar-Amsterdam betekent PHS dat het aantal intercity's tussen Amsterdam en Alkmaar per uur per richting toeneemt van vier naar zes. Ook is als gevolg van PHS een toename van het aantal sprinters tussen Amsterdam en Uitgeest voorzien, eveneens van vier naar zes sprinters per uur per richting.

De voorgenomen wijzigingen kunnen leiden tot een toename van de trillingshinder die omwonenden ervaren. In het kader van de tracéwetprocedure voor PHS Alkmaar-Amsterdam is daarom een onderzoek uitgevoerd naar trillingen. In dit onderzoek zijn drie aspecten onderzocht: trillingsschade tijdens de exploitatie- en bouwphase, trillingshinder tijdens de exploitatiefase en verstoring van trillingsgevoelige apparatuur tijdens de exploitatie- en bouwphase. In de onderzoeken is door middel van metingen op maaiveld en in gebouwen, aangevuld met modelberekeningen, een berekening gemaakt van de trillingen in de bestaande situatie en de plansituatie.

Resultaten

In het TB-onderzoek is het nieuwe spoorontwerp met de PHS-dienstregeling getoetst. Uit dit onderzoek volgt dat:

1. Het project leidt niet tot overschrijdingen van het beoordelingskader voor trillingshinder, de *Beleidsregel trillinghinder spoor* (Bts). Er zijn daarom geen maatregelen tegen trillingshinder nodig. De trillingssterkte neemt op de meeste locaties af, doordat het treintype dat de meeste trillingen veroorzaakt in de nabije toekomst wordt vervangen door treintypes die voor minder trillingen zorgen.
2. Er is geen kans op een toename van de verstoring van in het onderzoeksgebied aanwezige gevoelige apparatuur: locaties met mogelijk gevoelige apparatuur bevinden zich buiten het gebied waar het project tot een toename van de trillingssterkte leidt of waar bouwwerkzaamheden de trillingen kunnen verstoren.
3. Het project leidt niet tot een verhoogde kans op schade door trillingen van treinverkeer: op locaties waar de trillingen hoger kunnen zijn dan de grenswaarde voor trillingsschade, is geen sprake van een toename van de trillingen als gevolg van het project. Tijdens bouwwerkzaamheden is er wel een kans op trillingsschade aan een aantal panden als gevolg van heiwerkzaamheden voor de fundatie van een geluidscherm in Alkmaar, voor de fundatie van de traverse en enkele technische gebouwen bij station Uitgeest en voor een grondkerende constructie ten zuiden van Uitgeest. Voor deze bouwwerkzaamheden dient in de vervolgonderzoeken na detaillering van de bouwwerkzaamheden te worden getoetst of er nog steeds een kans op schade is. Indien dat het geval is, dient een trillingsarme bouwmethode te worden gekozen, of een combinatie van een bouwkundige vooropname van de panden in combinatie met monitoring tijdens de bouwwerkzaamheden, zodat de werkzaamheden tijdig kunnen worden stilgelegd. Met deze voorzorgsmaatregelen wordt schade aan omliggende panden voorkomen.

Mitigerende maatregelen

In het TB-onderzoek is trillingshinder getoetst aan de streef- en grenswaarden uit de Bts. Bij deze toetsing blijkt dat wordt voldaan aan deze waarden. Ook (een toename van de kans op) verstoring van gevoelige apparatuur treedt niet op. Er zijn daarom geen mitigerende maatregelen nodig voor de exploitatiefase.

Tijdens de bouwfase zijn overschrijdingen van het beoordelingskader voor trillingsschade niet overal uit te sluiten. Indien uit nader onderzoek (na detaillering bouwmethodes) volgt dat schade nog steeds niet is uit te sluiten, dan wordt geadviseerd om trillingsarme bouwmethodes te gebruiken, of een combinatie van een bouwkundige vooropname van de panden in combinatie met monitoring tijdens de bouwwerkzaamheden, zodat de werkzaamheden tijdig kunnen worden stilgelegd. Met deze maatregelen wordt in het hele projectgebied voldaan aan het beoordelingskader voor trillingen.

1 Inleiding

1.1 Programma hoogfrequent spoorvervoer (PHS)

Zowel het reizigers- als het goederenvervoer over het spoor zal naar verwachting de komende jaren groeien. Om deze groei op het spoor in goede banen te leiden en er zorg voor te dragen dat de kwaliteit verbetert, is door het ministerie van Infrastructuur en Milieu het Programma Hoogfrequent Spoorvervoer (PHS) voorbereid. PHS is een programma om de capaciteit van het spoor te vergroten, zodat er meer reizigerstreinen kunnen rijden op de drukste trajecten in de brede Randstad. In de verkenningsfase van PHS is onderzocht welke goederenroutes voldoende capaciteit bieden voor het toenemende goederenverkeer en tevens ruimte bieden aan de frequentieverhoging van het reizigersvervoer in de Randstad en omgeving. Op basis van deze verkenning heeft het Kabinet op 4 juni 2010 een voorkeursbeslissing genomen over frequentieverhogingen voor het reizigersvervoer in de brede Randstad en een toekomstvaste routing van het goederenverkeer. In de Voorkeursbeslissing PHS zijn de daarvoor benodigde maatregelen opgenomen. De Voorkeursbeslissing PHS van het Kabinet is in oktober 2010 in de Tweede Kamer behandeld. Voor de corridor Alkmaar-Amsterdam betekent PHS dat het aantal intercity's tussen Amsterdam en Alkmaar per uur per richting toeneemt van vier naar zes. Ook is als gevolg van PHS een toename van het aantal sprinters tussen Amsterdam en Uitgeest voorzien, eveneens van vier naar zes sprinters per uur per richting.

1.2 Maatregelen op de corridor Alkmaar-Amsterdam

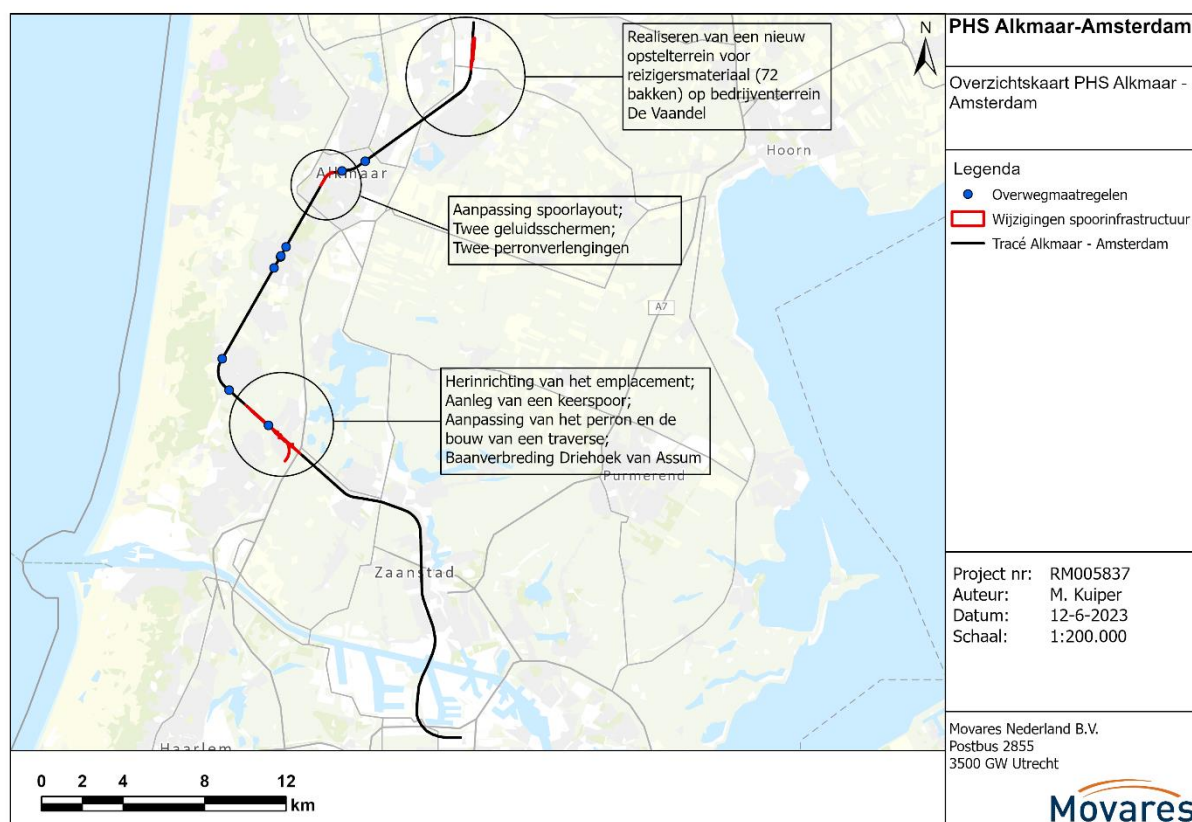
Voor de uitvoering van de PHS-dienstregeling en de verbetering van de betrouwbaarheid moeten de capaciteit, robuustheid van het spoor en de transfer van reizigers ter hoogte van het station Uitgeest worden uitgebreid en verbeterd. Daarnaast dient er een uitbreiding plaats te vinden van de opstelcapaciteit van reizigersmaterieel op de corridor. Op de corridor Alkmaar-Amsterdam zijn, om de PHS-dienstregeling toe te kunnen passen, de volgende maatregelen noodzakelijk:

1. Uitgeest: herinrichting van het emplacement, aanleg van een keerspoor, realiseren van een onderstation ten noordwesten van het station en de aanpassing van het perron- en transfersituatie;
2. Alkmaar: Het verwijderen van oude sporen en inpassen van nieuwe sporen, twee perronverlengingen en het realiseren van twee geluidsschermen.
3. Heerhugowaard: Het realiseren van een nieuw opstel terrein voor reizigersmaterieel (72 bakken) ter hoogte van bedrijventerrein de Vaandel;
4. Het aanpassen van 18 overwegen langs het tracé Alkmaar-Amsterdam.

De mogelijke effecten worden hoofdzakelijk veroorzaakt door de toename aan vervoersbewegingen over het spoor. Veranderingen in het ruimtebeslag door de te nemen fysieke maatregelen aan het spoor hebben op deze effecten nauwelijks invloed. Om deze reden wordt niet verder ingegaan op de fysieke maatregelen die worden genomen, en de bijbehorende werkterreinen binnen het projectgebied. Voor verdere toelichting van de maatregelen, het ruimtebeslag en locaties van de werkterreinen wordt verwezen naar het Tracébesluit Toelichting hoofdstuk 1.

1.3 Tracébesluit

Een overzichtskaart met de wijzigingen aan het spoor en de hiervoor genoemde maatregelen is weergegeven in Figuur 1.1. Om deze wijzigingen aan het spoor en de maatregelen planologisch mogelijk te maken wordt een tracébesluit (TB) opgesteld en in procedure gebracht. In dit rapport zullen de effecten van het TB met betrekking tot trillingen worden beschreven en zal worden aangegeven of eventuele mitigerende maatregelen voor de uitvoering van het Tracébesluit noodzakelijk zijn.



Figuur 1.1 Overzichtskartaanpassingen PHS Alkmaar-Amsterdam

1.4 Leeswijzer

De voorliggende rapportage gaat in op het aspect trillingen ten behoeve van het TB PHS Alkmaar-Amsterdam. Dit rapport is als volgt opgebouwd: in hoofdstuk 2 wordt het beoordelingskader geschetst. In hoofdstuk 3 worden de onderzoeksmethode en uitgangspunten verder toegelicht. In hoofdstuk 4 wordt beschreven wat de effecten zijn van het project met betrekking tot trillingen. In hoofdstuk 5 worden mitigerende maatregelen besproken. In hoofdstuk 6 zijn vervolgens de conclusies opgenomen.

2.2. Wettelijk en beleidsmatig kader

2.1 Algemeen

Bij het voorkomen van trillingen zijn drie aspecten relevant: het voorkomen van schade aan gebouwen, het voorkomen van hinder voor personen en het voorkomen van verstoring van gevoelige apparatuur.

Voor al deze drie aspecten is geen wettelijk kader voorhanden. In dit onderzoek wordt daarom, zoals gebruikelijk, voor trillingsschade de SBR A-richtlijn (schade aan gebouwen) gehanteerd. Voor trillingshinder heeft het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat beleid geformuleerd over hoe trillingen te beoordelen bij tracéwetprocedures. Dit beleid is opgenomen in de *Beleidsregel trillinghinder spoor* (hierna: Bts) en vormt het kader voor dit onderzoek. Voor verstoring van apparatuur wordt de SBR C-richtlijn (verstoring van gevoelige apparatuur) gehanteerd. Deze drie beoordelingskaders worden in de volgende paragrafen nader omschreven, daarna wordt toegelicht welke beoordelingscriteria zijn gehanteerd in paragraaf 0.

2.2 Beoordelingskader trillinghinder

Tot op heden zijn normen voor trillingshinder nog niet vastgelegd in wetgeving, zoals dat bijvoorbeeld voor geluidhinder wel het geval is. Vooruitlopend op eventuele toekomstige wetgeving heeft de toenmalige staatssecretaris van Infrastructuur en Milieu in 2012 een *Beleidsregel trillinghinder spoor* (Bts) opgesteld, die een wijziging van en aanvulling op de eerder gebruikte SBR B-richtlijn is. In 2014 is een aangevulde versie van de Bts gepubliceerd, waarbij vooral nader wordt ingegaan op de volgende onderdelen:

1. De normstelling voor het al dan niet treffen van maatregelen. De Bts geeft aan wanneer in het tracébesluit maatregelen ter voorkoming of beperking van trillingshinder achterwege kunnen blijven bij de aanleg of wijziging van een spoorweg;
2. De mogelijkheid om maatregelen af te wegen op grond van doelmatigheid, door middel van een kosteneffectiviteitscriterium. In dit kosteneffectiviteitscriterium wordt uitsluitend gegeven of bepaalde maatregelen, gezien de kosten, effectiviteit, milieu- en maatschappelijke impact en de mate van trillingshinder voldoende kosteneffectief zijn. Doorgaans wordt een richtbedrag van € 47.000 per woning met overschrijdingen genoemd. Voor kantoren wordt een bedrag van € 500 per werkplek aangehouden¹;
3. De trillingssterkte V_{max} wordt bepaald over een meetperiode van tenminste 1 week. Het resultaat is het maximale niveau in een week, vergelijkbaar met de grootte $V_{max,stat}$ van de SBR B-richtlijn. De meetmethode en de naverwerkingsmethode zijn gebaseerd op die van de SBR B-richtlijn, maar verder uitgebreid met het doel de reproduceerbaarheid van de metingen en berekeningen te vergroten. Deze methodiek is beschreven in een memo van Level Acoustics² en in Bijlage IV;
4. De gemiddelde trillingssterkte V_{per} wordt afzonderlijk getoetst. Een situatie voldoet als zowel de streefwaarde voor V_{max} als voor V_{per} wordt gehaald.

Net als in de SBR B-richtlijn verschillen de streef- en grenswaarden in de Bts over de dag en avond (7.00 – 23.00 uur) en nacht (23.00 – 7.00 uur) en per gebouwfunctie. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen gebouwen met een kritische werkruimte (gevoelige apparatuur e.d.), gezondheidszorg en wonen en kantoren en gebouwen ten behoeve van onderwijs of bijeenkomsten. Bij elke gebouwfunctie horen andere toegestane trillingssterktes, zie tabel 1 voor de normstelling voor bestaande situaties.

¹ Dit bedrag is gebaseerd op een MKBA¹, uitgevoerd door Witteveen+Bos, Royal Haskoning DHV en TNO in relatie tot de *Beleidsregel trillinghinder spoor* (Bts). Dit bedrag wordt bij ook bij andere tracébesluiten gebruikt als richtbedrag voor het treffen van maatregelen, en is inclusief projectmanagement, engineering, administratie en toezicht (PEAT) en BTW.

² Koopman, A., LA.131001a.M04 van 13 april 2018

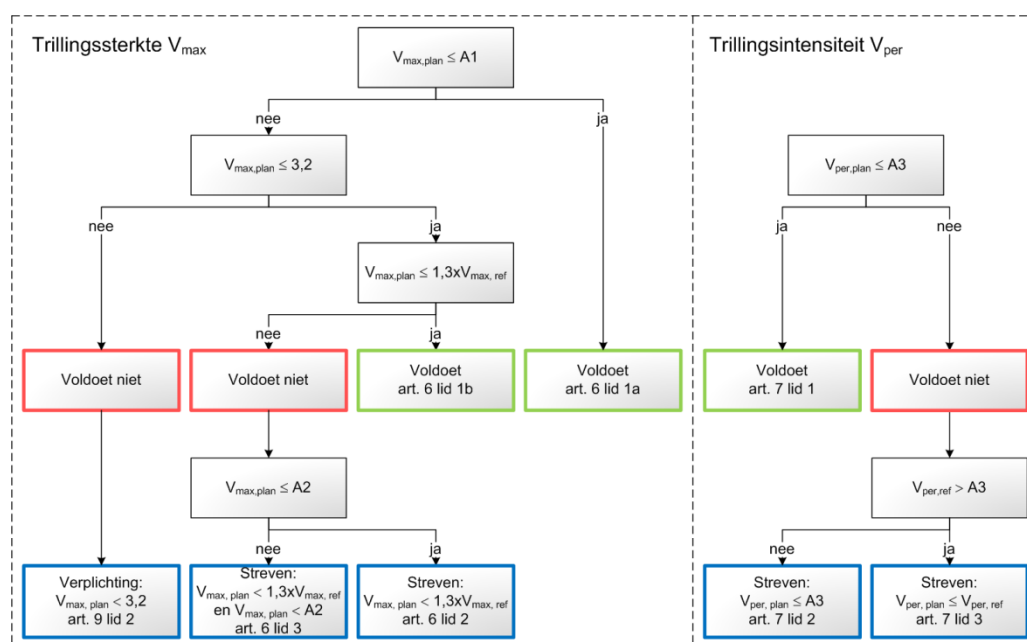
Tabel 1 Normstelling bestaande situatie volgens Bts³

Gebouwfunctie	Dag en avond			Nacht		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
Gezondheidszorg en wonen	0.2	0.8	0.1	0.2	0.4	0.1
Onderwijs, kantoor en bijeenkomsten	0.3	1.2	0.15	0.3	1.2	0.15
Kritische ruimte	0.1	0.1	---	0.1	0.1	---

Om te beoordelen of een bepaalde locatie voldoet aan de Bts moet het schema in Figuur 2 worden doorlopen. Dit schema geeft aan wanneer maatregelen dienen te worden afgewogen. Maatregelen ter voorkoming of beperking van de trillingshinder met betrekking tot de waarde van V_{max} kunnen achterwege blijven indien wordt voldaan aan één van de twee volgende condities:

1. De waarde van V_{max} in de plansituatie is lager dan A1 en de waarde van de gemiddelde trillingssterkte V_{per} is lager dan A3 uit tabel 1.
2. De toename in trillingssterkte in de plansituatie ten opzichte van de referentiesituatie is 30 procent of minder en de waarde van de gemiddelde trillingssterkte V_{per} is lager dan A3 en de trillingssterkte in de plansituatie is lager 3.2 (de waarde waarboven maatregelen *moeten* worden getroffen conform Bts art. 9 lid 2).

Een nadere omschrijving van het beoordelingskader is te vinden in Bijlage II.



Figuur 2.1 Beoordeling van gewijzigde situaties in de Bts

2.3 Beoordelingskader trillingsschade

De toetsing van trillingsschade vindt in Nederland vrijwel altijd plaats op basis van de SBR A-richtlijn (2017). Deze richtlijn beschrijft de meetmethodiek en toetsingscriteria voor trillingsschade. Van de SBR A-richtlijn is een omschrijving opgenomen in Bijlage II. Voor het huidige project zijn hierbij twee activiteiten relevant: treinverkeer in de situatie na ingebruikname van het project, en bouwwerkzaamheden benodigd voor realisatie van het project. Beide activiteiten zijn in dit onderzoek nader onderzocht en getoetst aan de grenswaarden uit de SBR A-richtlijn.

³ De in tabel 1 benoemde streef- en grenswaarden zijn A1 (streefwaarde voor de trillingssterkte V_{max}), A2 (grenswaarde voor de trillingssterkte V_{max}) en A3 (grenswaarde voor de gemiddelde trillingssterkte V_{per})

2.4 Beoordelingskader verstoring van gevoelige apparatuur

Voor trillingsgevoelige apparatuur wordt in de SBR C-richtlijn verwezen naar de specifieke eisen van de apparaten zelf, omdat deze sterk verschillen per type apparaat en fabrikant. Wanneer uit het onderzoek blijkt dat sprake is van verstoring van gevoelige apparatuur, dan wordt voor die apparatuur de bijbehorende trillingseisen gehanteerd.

2.5 Gehanteerde beoordelingscriteria

In het kader van het TB zijn de trillingseffecten van het project beoordeeld op het van toepassing zijnde beoordelingskader. Voor trillingsschade is dat de SBR A-richtlijn, voor trillingshinder de Bts en voor verstoring van gevoelige apparatuur de SBR C-richtlijn.

3. Onderzoeksmethode en uitgangspunten

3.1 Inleiding

Dit rapport beschrijft het onderzoek zoals dat is uitgevoerd ten behoeve van het TB. Er zijn onderzoeken uitgevoerd naar de aspecten trillingsschade, trillingshinder en verstoring van gevoelige apparatuur. De aanpak in deze onderzoeken is in de volgende paragrafen beschreven. In de laatste paragraaf van dit hoofdstuk worden de gebruikte uitgangspunten toegelicht.

3.2 Onderzoek naar trillingsschade

Voor het aspect trillingsschade zijn twee activiteiten nader onderzocht: trillingen van treinverkeer en bouwactiviteiten. Deze aspecten zijn als volgt onderzocht:

1. De trillingen van treinverkeer zijn onderzocht met behulp van een rekenmodel, *VibraDyna*. Hierbij zijn berekeningen gemaakt van de trillingssnelheid op de fundering van alle gebouwen binnen 500 meter van het spoor in de situatie na realisatie van het project. Het rekenmodel berekent daarbij de trillingssnelheid op de fundering, waarbij het rekening houdt met de verschillende invloedsparameters op de trillingen, zoals afstand, bodemopbouw en rijnsnelheid van de treinen. Een toelichting op het rekenmodel is te vinden in Bijlage I. De resultaten van het model zijn gekalibreerd met praktijkmetingen. Hierbij is een berekening gemaakt voor de huidige en toekomstige situatie. Locaties met trillingen boven de grenswaarde én een toename van de trillingen als gevolg van het project, komen in aanmerking voor nader onderzoek. Op alle andere locaties zorgt het project niet voor een verhoogde kans op trillingsschade, en is nader onderzoek niet nodig.
2. Ten behoeve van het onderzoek naar trillingsschade tijdens de bouwphase is een berekening uitgevoerd met een op de CUR166-richtlijn gebaseerd prognosemodel, aangevuld met praktijkervaringen uit eerdere projecten, zie Bijlage VII.

3.3 Onderzoek naar trillingshinder

Ten behoeve van het onderzoek naar trillingshinder zijn verschillende stappen doorlopen. De stappen hebben een toenemende nauwkeurigheid, waarbij in elke volgende stap de nauwkeurigheid groter wordt. Op deze manier wordt alleen verder onderzoek gedaan op een locatie wanneer dat nodig is, de zogenaamde zeefmethode.

De volgende stappen zijn achtereenvolgens doorlopen:

1. Stap 1: inventarisatie van locaties waar een toename van de trillingen – conform de definities van de Bts – kan optreden. Dit wordt gedaan door gebruik te maken van maaiveldmetingen⁴ en gebouwgegevens – zoals bouwjaar, afmetingen, bouwstijl en bouwhoogte – door middel van een nauwkeurige berekening in *VibraDyna*;
2. Stap 2: uitvoeren van trillingsmetingen aan en in gebouwen en maken van nauwkeurige trillingsprognoses voor aandachtslocaties;
3. Stap 3: ontwerpen van trillingsmaatregelen.

Bovengenoemde stappen worden in de volgende subparagrafen nader toegelicht.

Stap 1: Indicatieve trillingsmeting en empirische prognose

Om een goede voorspelling te kunnen maken van de trillingssituatie, is een quickscan gedaan om voor het gehele onderzoeksgebied de trillingssituatie in beeld te brengen. Door middel van deze quickscan is een inventarisatie gemaakt van locaties waar een overschrijding van het beoordelingskader (de Bts) kan optreden door een toename van de trillingssterkte V_{max} of de gemiddelde trillingssterkte V_{per} . Op locaties waar een overschrijding van het beoordelingskader niet valt uit te sluiten, is nader onderzoek verricht. Op deze locaties zijn trillingsmetingen uitgevoerd aan

⁴ Maaiveldmetingen: bij deze metingen worden de trillingen van de passerende treinen op een vaste referentieafstand van 20 meter gemeten op verschillende locaties langs het tracé, en daarnaast op grotere afstand van het spoor om de uitdamping van de trillingen met de afstand vast te leggen. De metingen zijn bemand uitgevoerd, alleen treinpassages zijn vastgelegd, stoortrillingen (bijv. van overig verkeer) worden buiten beschouwing gelaten.

treinpassages op maaiveld loodrecht op het spoor, om de bronsterkte van de verschillende passerende treinen te bepalen en om de uitdemping van de trillingen met de afstand tot het spoor vast te stellen. Deze metingen zijn bemand uitgevoerd,

Deze metingen zijn vervolgens gebruikt in het rekenmodel VibraDyna⁵. Met dit model kan voor elk gebouw een uitspraak worden gedaan over de kans op het wel of niet overschrijden van de Bts na realisatie van het project. Met VibraDyna is voor het gehele onderzoeksgebied de trillingssituatie in beeld gebracht op basis van locatie specifieke metingen. Het model is toegepast op een zone van 500 meter aan weerszijden van de sporen. Op grotere afstand tot het spoor is geen significante toename in trillingshinder te verwachten en zijn de trillingssterktes lager dan de A1-streefwaarde uit de Bts. Trillingen zijn op dergelijke grote afstanden doorgaans niet voelbaar.

Met het model worden voor alle gebouwen in het onderzoeksgebied in de bestaande en plansituatie de trillingssterkte V_{max} en de gemiddelde trillingssterkte V_{per} bepaald. Door de rekenresultaten in de verschillende situaties te toetsen aan de Bts, wordt zichtbaar voor welke locaties er een kans is op overschrijden van het beoordelingskader. Voor locaties die op basis van de rekenresultaten niet voldoen aan de Bts is nader onderzoek verricht in de hieronder beschreven stap 2 van het trillingsonderzoek.

Stap 2: Nauwkeurige trillingsprognoses in woningen

In de tweede stap van het trillingsonderzoek zijn alleen die locaties beschouwd waar op basis van de resultaten van stap 1 een toename in trillingshinder waarschijnlijk is. Voor deze stap is gebruik gemaakt van metingen in gebouwen (zie Bijlage II voor methode van verwerking van de metingen). Per groep vergelijkbare gebouwen met mogelijke overschrijdingen uit stap 1 is een aantal representatieve woningen (qua ligging, type en bouwstijl) geselecteerd waarin metingen zijn verricht. Vanuit de metingen wordt vervolgens per treinpassage een prognose gemaakt voor de toekomstige trillingssterkte, aan de hand van de parameters die wijzigen.

Het resultaat van deze stap is een trillingsprognose die kan worden beschouwd als de meest nauwkeurige prognose die met de thans beschikbare middelen mogelijk is. Indien er na deze stap nog steeds locaties overblijven waar (een toename van) trillingshinder waarschijnlijk is, dan worden er voor deze locaties in stap 3 maatregelen beschouwd.

Stap 3: Indien nodig: ontwerpen van maatregelen

Mocht uit stap 2 van het onderzoek blijken dat er locaties zijn die niet voldoen aan het beoordelingskader, dan worden voor deze locaties maatregelen ontworpen en doorgerekend op effectiviteit en kosten. Bij deze afweging van maatregelen wordt ook aangegeven of bepaalde maatregelen kosteneffectief zijn, en daarmee mogelijk doelmatig.

3.4 Onderzoek naar verstoring van gevoelige apparatuur

Verstoring van gevoelige apparatuur kan optreden als er sprake is van een toename van de trillingssterkte. In dit onderzoek is met behulp van het rekenmodel (uit stap 1 van het onderzoek naar trillingshinder) gekeken waar sprake is van een toename van de trillingen. Op die locaties, en in een zone van 200 meter rond bouwwerkzaamheden, is een analyse uitgevoerd om vast te stellen of er mogelijk sprake is van verstoring van gevoelige apparatuur. Hierbij is bepaald of er bedrijven aanwezig zijn die gebruik maken van gevoelige apparatuur in de nabijheid van genoemde locaties. Buiten de 200 meter-zone zorgen overige omgevingstrillingen (zoals wegverkeer) voor hogere trillingen.

3.5 Uitgangspunten

Deze paragraaf bevat de voor het onderzoek gebruikte uitgangspunten. In het trillingsonderzoek wordt onderscheid gemaakt tussen twee situaties:

1. De *Bestaande situatie*, in 2018. De bestaande of huidige situatie wordt in de Bts beschreven als de referentiesituatie, maar in deze rapportage benoemd als bestaande situatie. De metingen zijn

⁵ VibraDyna is een door Movares ontwikkeld rekenmodel, gebaseerd op empirische formules, modelberekeningen en een groot aantal metingen, dat de trillingen van weg- en railverkeer berekent. In dit onderzoek is gebruik gemaakt van versie 1.5.

uitgevoerd in 2019. De spoorligging, het spoorgebruik en aantal treinen zijn gebaseerd op gegevens uit 2018, maar deze zijn tussen 2018, de metingen in 2019 en 2023 niet significant gewijzigd. Wel zijn in 2021 op enkele locaties houten dwarsliggers vervangen door betonnen dwarsliggers, maar de invloed hiervan op de trillingen is beperkt.

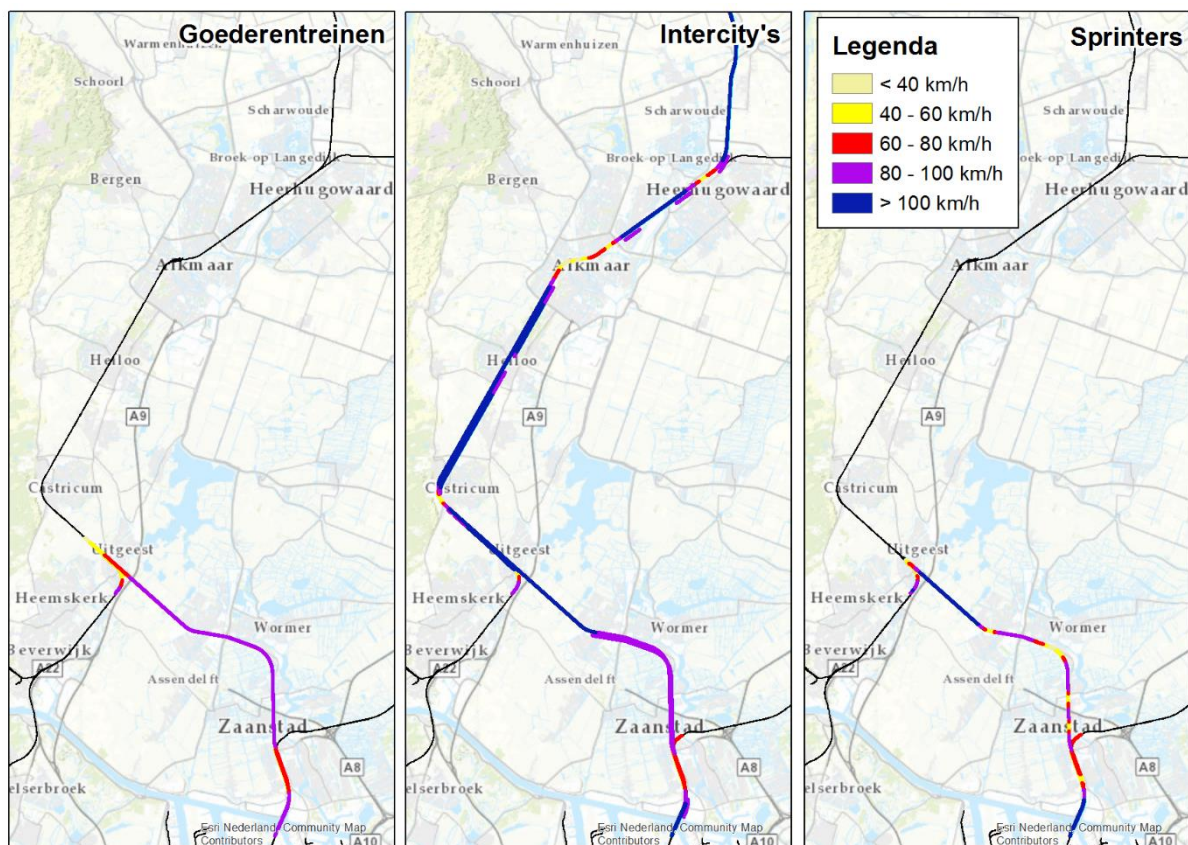
2. De *Plansituatie*, de situatie die ontstaat na realisering en ingebruikname van het project PHS AA in het jaar 2030.

De verschillende situaties worden hieronder toegelicht op de voor trillingen relevante onderdelen.

3.6 Bestaande situatie

Deze paragraaf bevat een beschrijving van de bestaande situatie. Als bestaande situatie geldt de spoorligging van 2018, vóór aanvang van de werkzaamheden ten behoeve van PHS AA. De beoordeling van trillingshinder vindt plaats ten opzichte van deze situatie. Alle overige gegevens, zoals spoorgebruik en treinintensiteiten, zijn gelijk aan die in dit referentiejaar en gebaseerd op de realisatiegegevens van 2018:

1. Het spoorgebruik is, afgezien van enkele emplacementen, conform het standaard spoorgebruik in Nederland: treinen rijden rechts.
2. Voor de snelheidsprofielen worden de maximale te hanteren snelheden gebruikt, deze zijn bepaald aan de hand van de seinplaatsing en de aanzet- en remcurves van de diverse treintypes. De in dit onderzoek gehanteerde maximale snelheden van reizigers- en goederentreinen zijn weergegeven in Figuur 3. Er zijn geen significante verschillen in rijsnelheid tussen de bestaande en de plansituatie, alleen lokaal bij Uitgeest vinden minimale wijzigingen plaats als gevolg van seinoptimalisaties.



Figuur 3.1 Snelheid (van links naar rechts) van goederentreinen, intercity's en sprinters in de bestaande en plansituatie (snelheid verandert niet tussen bestaande en plansituatie, dus snelheden van bestaande situatie (zoals hier getoond) zijn ook geldig voor plansituatie)

3. De treinaantallen per uur per richting zijn weergegeven in Tabel 3.1.

Voor de vastgestelde maar nog niet gerealiseerde bouwplannen langs het spoor geldt dat deze ook zijn meegenomen in het onderzoek, zie hiervoor hoofdstuk 1.5 van de toelichting op het tracébesluit.

In het onderzoek zijn deze bouwplannen zowel in de bestaande als de plansituatie meegenomen, zodat deze bebouwing is getoetst op dezelfde manier als andere, reeds gerealiseerde bebouwing. Voor een deel van de bouwplannen zijn de bouwvlakken nog niet bekend, zodat de trillingssituatie niet nauwkeurig kan worden bepaald. In dat geval is een zo goed mogelijke inschatting gemaakt van de afmetingen van de bebouwing. Daarmee zijn de dynamische eigenschappen van de bebouwing ingeschat, en zijn deze meegenomen zoals bouwplannen waarvan de bebouwing al wel bekend is.

3.7 Plansituatie

Deze paragraaf bevat een beschrijving van de plansituatie, de situatie die ontstaat na realisatie van PHS AA. De voor trillingen meest relevante wijzigingen ten opzichte van de bestaande situatie zijn:

1. Aanpassing van de sporenlay-out bij Uitgeest, bij Alkmaar en realisatie van een opstelsterrein bij Heerhugowaard, zie ook hoofdstuk 1.
2. Een deel van het bestaande materieel wordt uitgefaseerd. In de plansituatie rijden er geen treinen meer van het type SGM, deze zijn dan vervangen door treinen van het type SNG (Sprinter Nieuwe Generatie) en SLT (Sprinter Light Train), zie Figuur .



Figuur 3.2 Sprinters, van links naar rechts de SNG, Flirt, SLT en SGM, bron: www.treinenweb.nl, foto Ariën Clay

3. Het aantal treinen neemt toe. De treinaantallen zijn weergegeven in Tabel 3.1. In deze tabellen staat *Best.* voor de bestaande situatie en *Plan* voor plansituatie. De treinaantallen zijn gemiddeld over het jaar en over beide rijrichtingen, en gebaseerd op de realisatiegegevens van 2018 (voor de bestaande situatie) en op de PHS-prognose voor de plansituatie.

Tabel 3.1 Treinaantallen per uur per richting voor bestaande⁶ en plansituatie⁷

Treintype en verbinding ⁸	Dag 7:00 – 19:00		Avond 19:00 – 23:00		Nacht 23:00 – 7:00	
	Best.	Plan	Best.	Plan	Best.	Plan
Goederen Zaandam - Uitgeest - Beverwijk v.v.	0.00	0.07	0.05	0.08	0.05	0.05
IC Amsterdam – Den Helder v.v.	2.00	2.00	2.00	2.00	0.64	0.64
IC Amsterdam – Schagen v.v.	0.00	0.27	0.00	0.09	0.00	0.09
IC Amsterdam – Alkmaar v.v.	1.86	3.02	2.00	2.27	0.18	0.18
IC Alkmaar – Haarlem v.v.	0.30	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00
IC Amsterdam – Enkhuizen v.v.	2.36	2.36	2.00	2.00	0.64	0.64
SPR Haarlem – Hoorn v.v.	2.00	2.00	2.00	2.00	0.64	0.64
SPR Amsterdam - Uitgeest v.v.	4.00	5.29	1.50	4.36	1.00	0.91
SPR Hoorn Kersenboogerd – Hoofddorp v.v.	2.00	2.00	2.00	2.00	0.64	0.64
LM Zaandam – Uitgeest v.v.	0.10	0.00	0.40	0.25	0.25	0.32
LM Uitgeest – Alkmaar v.v.	0.45	0.46	0.60	0.63	0.45	1.25
LM Alkmaar – Heerhugowaard/Schagen v.v.	0.10	0.75	0.15	1.25	0.25	1.07

⁶ Voor goederentreinen en leeg materieel zijn de gegevens voor de bestaande situatie gebaseerd op realisatiegegevens uit 2018. Deze gegevens zijn afgerond weergegeven op tienden (0.1), waardoor er bij kleine hoeveelheden treinen (zoals bij goederentreinen) afwijkingen kunnen ontstaan t.o.v. de resultaten in de plansituatie, die zijn afgerond op honderdsten (0.01). De gegevens zijn namelijk gemiddeld over beide rijrichtingen, dus als de Naleving 0.0 geeft voor treinen vanuit Uitgeest naar Beverwijk en 0.1 voor treinen vanuit Beverwijk naar Uitgeest, dan staat er in de tabel 0.05.

⁷ IC = Intercity, SPR = Sprinter en LM = Leeg Materieel. v.v. staat in deze tabel voor de omgekeerde rijrichting. Het aantal treinen is gemiddeld over beide rijrichtingen. De weergegeven aantallen zijn dus per rijrichting, voor beide richtingen samen dienen de getallen maal 2 te worden genomen.

⁸ Er rijden ook goederentreinen op andere trajecten in het meest zuidelijke deel van het plangebied, zoals tussen Sloterdijk en Haarlem en tussen Houtrakpolder (Aziëhaven) en Sloterdijk, maar deze aantallen wijzigen niet.

4 Effecten

4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de effecten van het project op de aspecten trillingsschade, trillingshinder en verstoring van gevoelige apparatuur beschreven.

4.2 Trillingsschade

Voor het onderzoek naar trillingsschade zijn twee relevante activiteiten onderzocht: treinverkeer en bouwactiviteiten. Deze activiteiten worden in de volgende subparagrafen beschreven.

4.2.1 Trillingen van treinverkeer

Om de trillingen van het treinverkeer te toetsen is gebruik gemaakt van metingen aan de fundering van een aantal qua trillingen maatgevende woningen, aangevuld met modelberekeningen voor de niet gemeten locaties (zie Bijlage IX). De trillingen aan de fundering in de toekomstige situatie en de grenswaarde uit de SBR A-richtlijn zijn weergegeven in Tabel 4.1. Hierbij is voor alle woningen streng getoetst: omdat er geen bouwkundige informatie van de woningen bekend is, is aangenomen dat deze in categorie 2 (gevoelig) vallen, de categorie met de meest strenge grenswaarden.

Tabel 4.1 Verwachte trillingssnelheden (V_d) en grenswaarden (V_r) aan fundering gebouwen in plansituatie, o.b.v. metingen in huidige situatie⁹

Meetlocatie	V_d [mm/s]	V_r [mm/s]	Beoordeling
Schoutenbosch 89, Castricum	0.69	1.96	Voldoet ($V_d < V_r$)
Dorpstraat 1a, Castricum	1.25	2.07	Voldoet ($V_d < V_r$)
Mient 11, Castricum	0.82	1.96	Voldoet ($V_d < V_r$)
Mient 33, Castricum	0.98	1.96	Voldoet ($V_d < V_r$)
Korte Kapellaan 14, Heiloo	0.74	1.96	Voldoet ($V_d < V_r$)
Kapellaan 29, Heiloo	0.86	1.96	Voldoet ($V_d < V_r$)
Runxputteweg 2, Heiloo	0.78	1.96	Voldoet ($V_d < V_r$)
Groeneweg 22, Heiloo	1.47	2.55	Voldoet ($V_d < V_r$)
Groeneweg 8, Heiloo	0.78	1.96	Voldoet ($V_d < V_r$)
Groeneweg 6, Heiloo	0.94	1.96	Voldoet ($V_d < V_r$)
Stationsweg 112, Heerhugowaard	0.32	1.96	Voldoet ($V_d < V_r$)

Uit de meetresultaten blijkt dat in alle onderzochte woningen de trillingen aan de fundering ruim lager zijn dan de grenswaarden uit de SBR A-richtlijn, de kans op schade in de gemeten woningen is dus kleiner dan 1%. Voor de niet-gemeten gebouwen zijn de trillingen met een modelberekening vastgesteld, zie paragraaf 0. Uit de modelberekeningen blijkt dat er in het onderzoeksgebied geen gebouwen zijn waar de trillingen hoger zijn dan de grenswaarde én waar de trillingen in de toekomstige situatie hoger zijn dan in de huidige situatie. Het project zorgt daarom niet voor een verhoogde kans op trillingsschade, zodat nader onderzoek naar trillingsschade niet nodig is.

⁹ V_d is bepaald o.b.v. een indicatieve meting (veiligheidsfactor 1.6), V_r is bepaald o.b.v. herhaald kortdurende metingen (veiligheidsfactor 1.5) en categorie 2-gebouwen met een bouwkundig gevoelige status (veiligheidsfactor 1.7). De grenswaarde V_r hangt af van de dominante frequentie (maatgevende frequentie, zie par. 9.4 van de SBR A-richtlijn) van de trillingen conform de SBR A-richtlijn par. 10.3.3., en kan dus verschillen tussen gebouwen als de dominante frequentie verschilt. Bij de meeste gebouwen ligt de dominante frequentie onder de 10 Hz, bij Dorpstraat 1a in Castricum en Groeneweg 22 in Heiloo ligt de dominante frequentie, en dus ook de grenswaarde, hoger.

4.2.2 Trillingen van bouwactiviteiten

Tijdens de bouwphase van het project is in een aantal panden sprake van een kans op trillingsschade als gevolg van bouwwerkzaamheden. De locaties met een kans op trillingsschade in de bouwphase zijn weergegeven in kaarten in Bijlage VII, het betreft de volgende objecten:

1. Een aantal metselwerk gebouwen rond de traverse en nieuwe technische gebouwen bij station Uitgeest. Hier vinden vermoedelijk heiwerkzaamheden plaats t.b.v. de fundering van genoemde objecten, deze heiwerkzaamheden kunnen tot trillingsschade in omliggende panden leiden.
2. Een metselwerk gebouw rond het geluidscherm bij de Van der Kaaijstraat in Alkmaar. Hier vinden heiwerkzaamheden plaats t.b.v. het aanbrengen van de fundatie van het scherm.
3. De fietsenstalling bij station Alkmaar. Hier vinden heiwerkzaamheden plaats t.b.v. het aanbrengen van de fundatie van het scherm.
4. Een aantal metselwerk gebouwen rond de grondkerende constructie ten zuiden van Uitgeest, bij het steunpunt van de Provincie Noord-Holland aan de Provincialeweg. Hier wordt een damwand als grondkerende constructie aangebracht.

In dit onderzoek is worst-case gerekend om de kans op trillingsschade te bepalen. Dit kan leiden tot een overschatting van de afstand waarop de werkzaamheden schade kunnen veroorzaken. Op de locaties waar een kans op trillingsschade als gevolg van bouwwerkzaamheden is, dient daarom na detaillering van de bouwwerkzaamheden te worden getoetst of er nog steeds een kans op schade is, liefst met een gedetailleerder rekenmodel (als er meer informatie beschikbaar is). De gebouwen waar dit over gaat zijn weergegeven in de kaarten in Bijlage VII, de betreffende adressen zijn weergegeven in Tabel 4.2.2.

Tabel 4.2 Adressen met kans op trillingsschade tijdens bouwphase

Bron trillingen	Adres(sen)
1. Traverse + gebouwen station Uitgeest	Anna van Renesseplein 1 – 25, Uitgeest
	Stationsplein 1, Uitgeest
	Stationsplein 5, Uitgeest
2. Geluidschermen Alkmaar	Van der Kaaijstraat 64, Alkmaar
	Fietsenstalling NS station Alkmaar
3. Grondkerende constructie ten zuiden van Uitgeest	Provincialeweg 8, Uitgeest met bijbehorende opstallen

Indien schade nog steeds niet is uit te sluiten, dan dient een trillingsarme bouwmethode te worden gekozen, of een combinatie van een bouwkundige vooropname van de panden in combinatie met monitoring tijdens de bouwwerkzaamheden, zodat de werkzaamheden tijdig kunnen worden stilgelegd. Met deze voorzorgsmaatregelen wordt schade aan omliggende panden voorkomen.

4.3 Trillingshinder

Voor het onderzoek naar trillingshinder zijn in stap 1 van het onderzoek maaiveldmetingen verricht op 22 locaties (zie Bijlage V), waarna in 11 gebouwen metingen zijn verricht in het kader van stap 2 (zie Bijlage VI en VIII). De resultaten van de metingen en berekeningen per gebouw zijn weergegeven in Tabel , zie voor meer detail Bijlage VI en VIII). Per meetlocatie zijn achtereenvolgens weergegeven:

- de onzekerheidswaarde R in de bestaande en de plansituatie. Deze waarde is een indicatie van de reproduceerbaarheid van de meting, waarbij gestreefd wordt naar een waarde van maximaal 10 procent. Bij een onzekerheidswaarde van meer dan 10 wordt deze onzekerheid meegenomen in de beoordeling van de trillingen, en wordt strenger getoetst. In de bestaande situatie is de R -waarde direct gebaseerd op de meting, in de plansituatie is deze berekend, zie Bijlage VI.
- de gemeten trillingssterkte in de bestaande situatie en de berekende trillingssterkte voor de plansituatie.
- de verhouding Q tussen de trillingssterkte V_{max} in de plansituatie en de bestaande situatie, eventueel gecorrigeerd voor onzekerheid, zie Bijlage IV.
- de maximale waarde van de gemiddelde trillingssterkte V_{per} in de bestaande situatie en plansituatie

Zowel voor V_{max} als voor V_{per} is de maximale waarde over alle sensoren weergegeven, detailresultaten staan in Bijlage VIII. Overschrijdingen van de streef- en grenswaarden zijn oranje gearceerd.

Tabel 4.3 Resultaten metingen en predicties in gebouwen

Meetlocatie	Bestemming	R-waarde [%]		Trillingssterkte V_{max}			Gemiddelde trillingssterkte V_{per}	
		R_{ref}	R_{plan}	ref	plan	Q	ref	plan
Schoutenbosch 89, Castricum	Wonen	3	3	0.4	0.4	0.9	0.07	0.08
Dorpstraat 1a, Castricum	Wonen	3	3	0.4	0.3	0.9	0.05	0.06
Mient 11, Castricum	Wonen	20	20	0.5	0.5	1.3	0.08	0.09
Mient 33, Castricum	Wonen	3	3	0.3	0.3	0.9	0.06	0.06
Korte Kapellaan 14, Heiloo	Wonen	3	3	0.4	0.3	0.9	0.05	0.05
Kapellaan 29, Heiloo	Wonen	3	3	0.4	0.3	0.8	0.06	0.05
Runxputteweg 2, Heiloo	Wonen	3	3	1.1	1.0	0.9	0.20	0.18
Groeneweg 22, Heiloo	Wonen	3	3	1.3	1.1	0.9	0.29	0.24
Groeneweg 8, Heiloo	Wonen	3	3	1.3	1.1	0.8	0.21	0.20
Groeneweg 6, Heiloo	Wonen	3	3	0.4	0.4	0.9	0.06	0.06
Stationsweg 112, Heerhugowaard	Wonen	4	4	0.1	0.1	0.9	0.01	0.01

Uit de resultaten van de berekeningen kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

1. De trillingssterkte V_{max} neemt op vrijwel alle locaties af ($Q < 1$) doordat de nu vaak maatgevende SGM-sprinters in de toekomst niet meer rijden. Daarvoor in de plaats rijdt SNG- en SLT-materieel (beide types materieel rijden nu al regelmatig op dit traject). Uit de metingen blijkt dat dit nieuwere materieel voor minder trillingen zorgt. In de berekeningen voor de plansituatie zijn de trillingen van de treinen van het type SGM omgerekend naar trillingen van treinen van het type SNG en SLT.
2. De gemiddelde trillingssterkte V_{per} is op drie locaties in zowel de huidige (ref) als de plansituatie hoger dan de grenswaarde A3. Wanneer sprake is van een overschrijding van de grenswaarde in zowel de referentie- als de plansituatie, dan dienen conform artikel 7 lid 3 uit de Bts maatregelen te worden afgewogen om de toename weg te nemen. Er is echter sprake van een afname van de gemiddelde trillingssterkte in de plansituatie, daarom zijn maatregelen niet nodig.
3. De afname van de trillingssterkte V_{max} compenseert de toename van het aantal treinen, waardoor de gemiddelde trillingssterkte V_{per} op de meeste locaties, ondanks het grotere aantal treinen, niet toeneemt of zelfs afneemt. Op enkele locaties neemt V_{per} wel toe, maar blijft deze onder de grenswaarde.
4. Doordat er op het traject geen sprake is van structureel goederenvervoer, maar er incidenteel wel als goederentreinen gemarkeerde treinen passeren (bijv. onderhoudstreinen, losse locomotieven), kunnen deze treinen wel maatgevend zijn voor de trillingen. Dat is specifiek het geval bij Mient 11 in Castricum. Doordat deze treinen maar incidenteel passeren, is een hoge R-waarde het gevolg, en daardoor is een rekenkundige toename van de trillingen niet uit te sluiten (zie Bijlage IV voor de gehanteerde methode om de toename te berekenen). Aan de gelijkblijvende trillingssterkte is echter te zien dat de trillingen hier niet daadwerkelijk toenemen, de verwachte toename is puur rekenkundig¹⁰.

4.4 Verstoring van trillingsgevoelige apparatuur

Op basis van gegevens van de Kamer van Koophandel zijn alle bedrijven in het onderzoeksgebied geanalyseerd rond locaties waar op basis van stap 1 van het onderzoek naar trillingshinder een toename in trillingen wordt verwacht, en bedrijven die binnen 200 meter liggen van bouwwerkzaamheden die hoge trillingen veroorzaken. Op andere locaties nemen de maximale trillingen namelijk niet toe, dus is daar geen kans op een toename van de verstoring van

¹⁰ De verwerkingsmethode geeft bij een R-waarde van groter dan 10 aan dat er langer dient te worden gemeten of dat in de toetsing rekening moet worden gehouden met de onzekerheid. In dit project is niet gekozen voor langer meten omdat er geen structureel goederenvervoer passeert. Hierdoor is een realistische meetduur niet vooraf in te schatten. Bovendien vinden er geen wijzigingen aan het goederenvervoer plaats (behoudens mogelijk een kleine toename van het aantal goederentreinen). Daarom zijn de resultaten gecorrigeerd voor de onzekerheid, hierdoor is voor locaties met een hoge R-waarde strenger getoetst.

trillingsgevoelige apparatuur. Uit deze analyse (o.b.v. o.a. gegevens van de Kamer van Koophandel) blijkt dat er geen bedrijven met gevoelige apparatuur in deze zone zijn gehuisvest.

4.5 Overzicht van de effecten

Het project leidt niet tot een toename van de kans op trillingsschade in de eindsituatie, de trillingssterkte als gevolg van treinverkeer neemt niet toe door het project. Tijdens de bouwphase kunnen werkzaamheden zoals het heien van palen (t.b.v. fundaties van geluidschermen bij station Alkmaar, gebouwen en de traverse in Uitgeest) of het intrillen van damwanden (t.b.v. grondkerende constructie ten zuiden van Uitgeest) wel leiden tot trillingsschade aan omliggende panden als er geen aanvullende maatregelen worden getroffen.

Voor trillingshinder geldt dat het project nergens tot een toename van de trillingssterkte V_{max} leidt. Door de inzet van nieuwer materieel is er geen toename van de trillingssterkte, en ook de gemiddelde trillingssterkte V_{per} (tijdsgemiddelde van de trillingen) neemt niet toe, of blijft onder de grenswaarde. Dit komt doordat de afnemende trillingssterkte de toename van het aantal treinen compenseert. Er behoeven daarom geen maatregelen te worden afgewogen in het kader van dit project.

Tenslotte, het project leidt nergens tot een verstoring van gevoelige apparatuur. Er bevinden zich geen bedrijven met gevoelige apparatuur in de nabijheid van bouwwerkzaamheden t.g.v. het project, of in de nabijheid van de locaties waar wijzigingen aan het spoor plaatsvinden.

5 Mitigerende maatregelen

5.1 Inleiding

In dit onderzoek zijn drie beoordelingskaders van belang: de SBR A-richtlijn voor trillingsschade, de Bts voor trillingshinder en de SBR C-richtlijn voor verstoring van gevoelige apparatuur. Voor trillingsschade geldt dat in een aantal panden een overschrijding van het beoordelingskader tijdens de bouwphase niet is uit te sluiten. Voor trillingshinder en verstoring van gevoelige apparatuur zijn er geen overschrijdingen van het beoordelingskader en is een maatregelafweging niet nodig.

5.2 Mitigerende maatregelen

Op de locaties waar een kans op trillingsschade is tijdens de bouwphase, dient in de vervolgonderzoeken na detaillering van de bouwwerkzaamheden te worden getoetst of er nog steeds een kans op schade is. Indien dat het geval is, dient een trillingsarme bouwmethode te worden gekozen, of een combinatie van een bouwkundige vooropname van de panden in combinatie met monitoring tijdens de bouwwerkzaamheden, zodat de werkzaamheden tijdig kunnen worden stilgelegd. Met deze voorzorgsmaatregelen wordt schade aan omliggende panden voorkomen.

5.3 Effect maatregelen

Met de voorgestelde maatregelen tegen trillingsschade vanwege bouwwerkzaamheden zijn er geen overschrijdingen van de beoordelingskaders voor trillingsschade, trillingshinder en verstoring van gevoelige apparatuur.

In de berekeningen en afweging is voor de nog niet gerealiseerde panden uitgegaan van een 'goede bouwwijze', waarbij rekening wordt gehouden met het feit dat de panden nabij het spoor liggen. Dit betekent dat in de constructie van met name de vloeren eigenfrequenties dienen te worden vermeden die samenvallen met de dominante eigenfrequenties van het treinverkeer, zoals opgenomen in de bijlagen van dit onderzoek. Niet gerealiseerde panden waarvan de constructiewijze bekend is, zijn op vergelijkbare manier als reeds gerealiseerde panden meegenomen in het onderzoek.

5.4 Cumulatieve effecten

De cumulatie van de trillingen van treinverkeer met andere trillingsbronnen kan leiden tot hogere trillingen dan wanneer de verschillende trillingsbronnen afzonderlijk worden bekeken. In het onderzoeksgebied kan cumulatie optreden met zwaar wegverkeer, zoals bussen en vrachtverkeer. In de praktijk treedt cumulatie op wanneer aan onderstaande twee condities wordt voldaan:

1. Beide trillingsbronnen hebben vergelijkbare trillingssterktes. Dit betekent doorgaans dat de afstand tot beide trillingsbronnen vergelijkbaar moet zijn, maar ook dat het type trillingsbron vergelijkbaar moet zijn. De trillingsspectra van bussen en vrachtwagens hebben andere karakteristieken dan treinen, zodat er gewoonlijk geen sprake zal zijn van significante versterking van de trillingen bij gelijktijdige passage.
2. Beide trillingsbronnen treden gelijktijdig op. In de praktijk betekent dit dat op het moment van een treinpassage ook een ander voertuig langskomt wat vergelijkbare trillingen veroorzaakt. Dit zal alleen optreden bij drukke vervoerslijnen. Cumulatie van treinverkeer (meerdere treinpassages tegelijkertijd) is in de metingen onderzocht (zie Bijlage VIII). Ook op dit moment is er al veelvuldig sprake van gelijktijdige passages, door de toename van het treinverkeer zal dit vaker optreden. Gelijktijdige passage van treinen leidt vaak tot iets hogere trillingen. Deze toename van de cumulatie is meegenomen in de predictie van de trillingen en daarmee ook in de beoordeling van de trillingen in de gebouwen.

In het onderzoeksgebied is naar verwachting geen sprake van significante cumulatie van trillingen, doordat de verschillen in afstand of trillingsbron tussen het treinverkeer en overig verkeer groot zijn.

Voor de cumulatie met wegverkeer geldt dat er sterke verschillen zijn tussen de trillingsbronnen, waardoor cumulatie niet waarschijnlijk is. Het optreden van cumulatie is ook onderzocht tijdens metingen in de gebouwen (zie Bijlage VIII). Uit de metingen volgt dat er geen sprake is van significante cumulatieve effecten.

6 Conclusies

In dit onderzoeksrapport zijn de trillingseffecten van het project PHS AA onderzocht voor de aspecten trillingsschade, trillingshinder en verstoring van trillingsgevoelige apparatuur. Uit het onderzoek volgt dat er geen overschrijdingen zijn van het beoordelingskader voor trillingshinder, de Bts, en ook niet voor het beoordelingskader voor verstoring van trillingsgevoelige apparatuur.

Wel zijn tijdens de bouwphase overschrijdingen van het beoordelingskader voor trillingsschade niet uit te sluiten. Voor een aantal bouwwerkzaamheden (heien van palen t.b.v. technische gebouwen bij station Uitgeest, heien van palen t.b.v. fundering geluidschermen in Alkmaar, intrillen van damwanden grondkerende constructie ten zuiden van station Uitgeest) wordt nader onderzoek geadviseerd zodra de bouwmethode duidelijk is. Indien uit dit nader onderzoek nog overschrijdingen volgen, adviseren wij om trillingsarme bouwmethodes te hanteren. Met deze maatregelen is de impact van het project op trillingen volledig te mitigeren. De wijzigingen in infrastructuur en de toename van het aantal treinen leiden dan ook nergens tot significante negatieve effecten.

Colofon

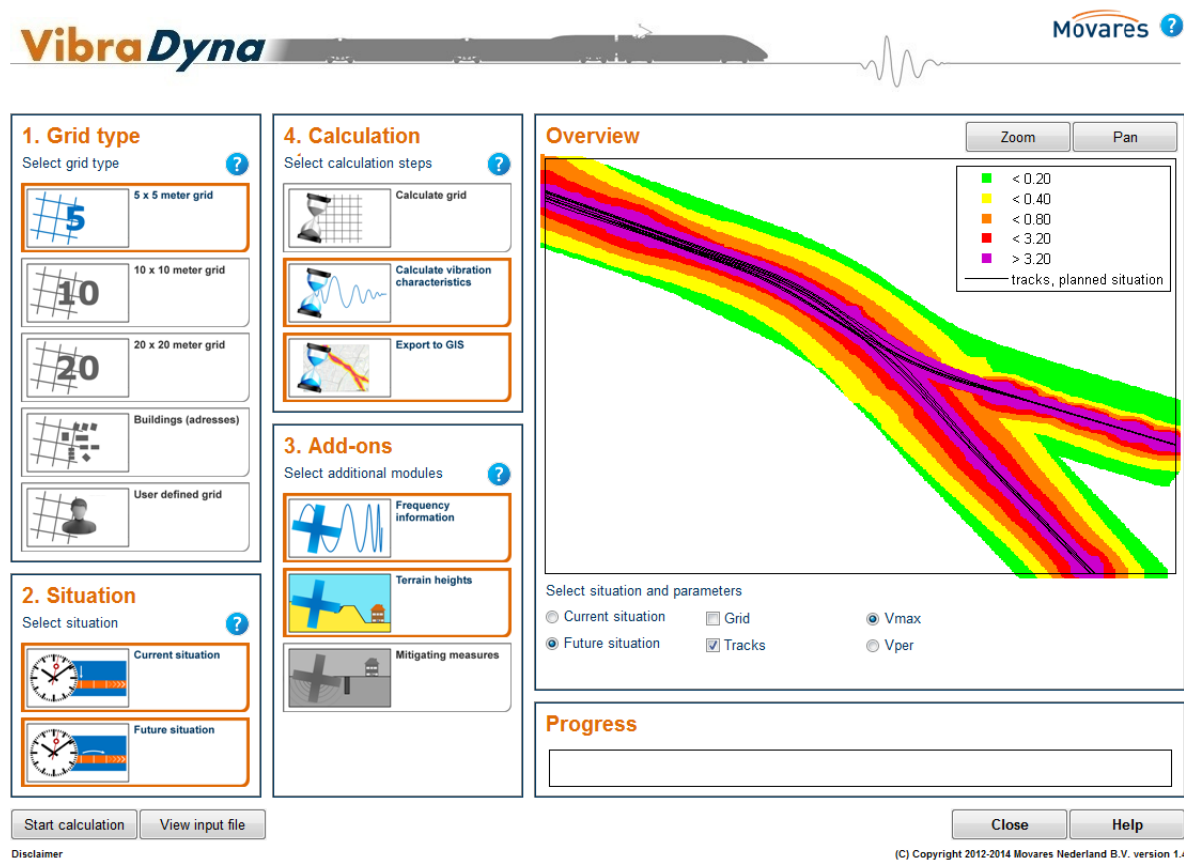
Opdrachtgever	ProRail B.V. R. van Bladel
Uitgave	Movares Nederland B.V. Daalseplein 100 Postbus 2855 3500 GW Utrecht
Telefoon	030 265 3500
Ondertekenaar	K.A.M. Ingels
Projectnr	RM005837
Opgesteld door	P.M. Boon

© 2023, Movares Nederland B.V.

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

Bijlage I – VibraDyna

In dit onderzoek is gebruik gemaakt van VibraDyna, een door Movares ontwikkeld trillingsmodel dat met behulp van een database en door de gebruiker geselecteerde specifieke gegevens de trillingssituatie berekent ten gevolge van rail- of wegverkeer, zie Figuur .



Figuur 5 VibraDyna, hier is versie 1.4 getoond

In het huidige onderzoek is gebruik gemaakt van een nauwkeurige, frequentieafhankelijke berekening op basis van metingen. VibraDyna kent ook de mogelijkheid om een snelle, globale berekening uit te voeren met een lagere nauwkeurigheid. Deze berekening kan dan gebruikt worden om te bepalen waar metingen ten behoeve van een nauwkeuriger model noodzakelijk zijn. Dit globale model is in het voorliggende onderzoek niet gebruikt, de meetlocaties voor de maaiveldmetingen zijn bepaald op basis van (variaties in) de bodemopbouw en veranderingen in het project. Beide types modellen worden hieronder nader toegelicht.

I.1 Globale berekening op basis van expert judgement

De berekeningen in VibraDyna kunnen aanzienlijk worden versneld en versimpeld door alleen gebruik te maken van de database van het model. Deze database bevat gegevens over de grondopbouw, trillingssterktes, invloed van wissels en kunstwerken en diverse andere aspecten, en is opgebouwd op basis van jarenlange ervaring met metingen langs spoorlijnen en wegen. De aannames in dit model zijn worst-case (conservatief).

I.1.1 In- en uitvoer

Gebruikers kunnen de volgende parameters variëren:

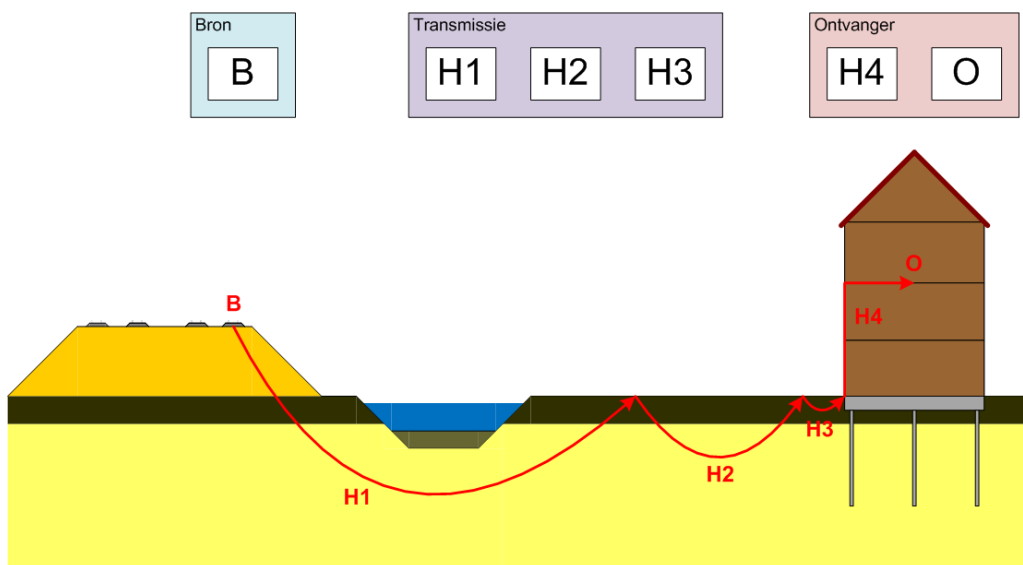
1. Afstand tussen gebouw en spoor
2. Bodemtype (zand, veen, klei, etc.). Deze gegevens zijn op hoofdlijnen uit archieven beschikbaar
3. Voertuigtypes
4. Voertuigsnellheden
5. Voertuigintensiteiten in dag-, avond- en nachtperiode

6. Wissels en kunstwerken

Output van het model is de trillingssterkte en gemiddelde trillingssterkte op de door de gebruiker opgegeven locatie(s). Resultaten kunnen worden gevisualiseerd in bijvoorbeeld een GIS-applicatie.

1.1.2 Bron, transmissie en ontvanger

VibraDyna is gebaseerd op de Barkanvergelijking, een empirische vergelijking die de voortplanting van trillingsgolven door de bodem beschrijft. Uit onderzoek blijkt dat deze empirische relatie goed bruikbaar is om de afname van trillingen met de afstand tot een trillingsbron te beschrijven. In de overdracht van trillingen van bron naar ontvanger wordt onderscheid gemaakt tussen de bron, de transmissie (of overdracht) en de ontvanger. Een voorbeeld van een dwarsdoorsnede van een gebied langs het spoor is weergegeven in Figuur 4. Bron, transmissie en ontvanger zijn daarin aangegeven.



Figuur 4 Transmissie van trillingen

In de globale berekening worden alle parameters niet-frequentieafhankelijk beschouwd.

1.1.3 Database

Er is een aantal bronparameters dat de trillingssterkte beïnvloedt, deze bronparameters kunnen worden onderscheiden in twee categorieën:

1. Treinafhankelijke parameters, zoals treinsnelheid, aslast, afvering en wielruwheid. Deze parameters worden deels ingegeven door de gebruikers, en zijn deels opgenomen in de database van VibraDyna.
2. Baanparameters, zoals oneffenheden in de baan, zetting van de baan en de aanwezigheid van wissels en kunstwerken. Deze parameters zijn opgenomen in de database van VibraDyna.

Parameters uit categorie 1 worden meegenomen door onderscheid te maken tussen verschillende treintypes en door het introduceren van een variatie op de betrouwbaarheid. Parameters uit categorie 2 worden meegenomen als afzonderlijke trillingsbronnen.

1.1.4 Berekening

Met behulp van de relaties tussen de treintypes en de Barkanvergelijking wordt de trillingssterkte V_{max} per treintype bepaald in de referentie- en plansituatie.

De gemiddelde trillingssterkte V_{per} wordt berekend met behulp van de maximale uurintensiteit van de verschillende treintypes. Dit resulteert in een conservatieve inschatting van V_{per} , aangezien niet alle maximale uurintensiteiten in dezelfde periode (dag, avond of nacht) optreden.

I.2 Nauwkeurige berekening op basis van metingen

Voor veel onderzoeken is een grotere nauwkeurigheid van het onderzoek gewenst dan een bepaling op basis van expert judgement, zodat de posities van aandachtslocaties beter inzichtelijk kunnen worden gemaakt. In dat geval kan een nauwkeuriger berekening worden uitgevoerd met *VibraDyna*, waarbij gebruik wordt gemaakt van metingen. Deze metingen worden door de gebruiker zelf uitgevoerd en als invoer in het model gestopt.

De volgende meetresultaten kunnen worden ingevoerd in het model:

- Trillingsmetingen aan voertuigpassages op maaiveld loodrecht op het spoor of de weg, om de bronsterkte van de verschillende passerende voertuigen te bepalen.
- Valproeven om de afnamecurve van de lokale bodem vast te stellen (de bodemeigenschappen). Deze afnamecurve kan ook met trillingsmetingen aan treinen worden vastgesteld.

Ten opzichte van de globale berekening wordt deze nauwkeuriger berekening frequentieafhankelijk uitgevoerd. Daarnaast wordt rekening gehouden met lokale variaties in taludgeometrie, bodem- en baanopbouw. Daardoor heeft dit type model een grotere betrouwbaarheid dan de globale berekening.

I.2.1 Frequentieafhankelijkheid

In het nauwkeurige model wordt gerekend met zogenaamde tertsbandspectra van trillingssignalen van treinen. Uit diverse onderzoeken blijkt dat de tertsbandspectra van treinen, mits genormaliseerd voor snelheid, per treintype weinig variatie kennen. De beperkte variatie die er is wordt vooral veroorzaakt door variaties in wielonrondheid, wielruwheid en aslast.

Ook een groot aantal andere invloeden is frequentieafhankelijk. Te denken valt aan de invloed van wissels, geometriewijzigingen, de eigenschappen van gebouwen of de damping van de bodem. Door deze invloeden frequentieafhankelijk in het model in te voeren, wordt de nauwkeurigheid van het trillingsmodel vergroot ten opzichte van het werken met scalaire grootheden.

I.2.2 Relatie tussen tertsbandspectrum en v_{eff}

De trillingssterkte v_{eff} is een gewogen voortschrijdend gemiddelde, dat gecorrigeerd is voor frequenties. Deze grootheid wordt gebruikt om de trillingssterkte V_{max} te bepalen, die vervolgens getoetst wordt aan de Bts.

De v_{rms} -waarde is bepaald uit het tertsbandspectrum door energetisch te sommeren over de frequenties, na het toepassen van de correctie uit de SBR B-richtlijn:

$$v_{rms} = \sqrt{\sum_{i=1}^N F_c(f) \cdot v_i(f)^2}$$

Hierbij is $v_i(f)$ het tertsbandspectrum en $F_c(f)$ de correctiefactor van de SBR B-richtlijn. De waarde van v_{rms} is vervolgens omgerekend naar een v_{eff} volgens de voorgeschreven naverwerkingsmethode. De trillingssterkte V_{max} wordt vervolgens bepaald uit de gehele verzameling van gemeten v_{eff} -waarden voor alle treinen.

I.2.3 Berekening

De berekening in *VibraDyna* vindt plaats volgens een aantal stappen. Met behulp van de relaties tussen de treintypen en een frequentieafhankelijke Barkanvergelijking wordt de trillingssterkte V_{max} bepaald voor de referentie- en plansituatie. De gemiddelde trillingssterkte V_{per} wordt op analoge wijze als in stap 1 berekend.

I.3 Betrouwbaarheid van *VibraDyna*

In dit onderzoek wordt gebruik gemaakt van trillingsmodellen in plaats van metingen in gebouwen. Het gebruik van trillingsmodellen in plaats van het uitvoeren van metingen heeft een aantal voordelen:

- Het maakt het mogelijk om sneller een goede prognose te geven van de trillingssterkte.
- Het maakt het mogelijk om een groter aantal verschillende locaties te beschouwen. Het uitvoeren van metingen op een groot aantal locaties is zowel tijdrovend als kostbaar en kan bij het gebruik van een betrouwbaar trillingsmodel achterwege blijven.

Nadeel van het gebruik van modellen is dat een model slechts een *benadering* van de werkelijkheid is. Zo kunnen gebouwen met een ongunstige overdrachtskarakteristiek (tussen maaiveld en de bewoonde vloeren) afwijken van de gemiddelde prognoses die het model hanteert. Om er toch voor te zorgen dat de modellen zo betrouwbaar mogelijk zijn, is de volgende aanpak gehanteerd:

1. Modelparameters zijn bepaald op basis van een groot aantal metingen in een groot aantal gebouwen door het gehele land, over langere tijd. De beoordeling van de trillingssterkte vindt plaats op basis van een bovengrens die statistisch wordt bepaald. Hierdoor is het percentage gebouwen waar in werkelijkheid een hogere trillingssterkte wordt gemeten, zeer klein. Bij het nauwkeurige model is het mogelijk om gebouweigenschappen toe te voegen, zodat de invloed van sterk afwijkende bebouwing sterk wordt gereduceerd.
2. Het model is geverifieerd in eerdere onderzoeken met behulp van metingen in gebouwen. Uit deze verificatiemetingen volgt dat het gebruikte model een hoge betrouwbaarheid heeft, zie onder meer de trillingsonderzoeken ten behoeve van de tracébesluiten *Sporen in Arnhem*¹¹, *Sporen in Utrecht*¹² en *Doorstroomstation Utrecht*¹³ met de bijbehorende Opleveringstoetsen.
3. In de beoordeling van de modelresultaten worden drie categorieën onderscheiden:
 - a. Gebouwen die voldoen aan het beoordelingskader.
 - b. Gebouwen die wel voldoen aan het beoordelingskader, maar waarbij nog een kans op een overschrijding is.
 - c. Gebouwen die niet voldoen aan het beoordelingskader.

Locaties waarvan niet zeker is dat ze voldoen aan het beoordelingskader, komen voor nader onderzoek in aanmerking. Door deze conservatieve manier van beoordeling worden alle locaties (extreme uitschieters uitgezonderd) waar een mogelijke overschrijding is van het beoordelingskader, net zo lang onderzocht totdat duidelijk is dat er geen overschrijdingen zullen optreden. Wanneer blijkt dat er desondanks overschrijdingen zijn van het beoordelingskader, dan worden maatregelen ontworpen om de locatie alsnog te laten voldoen aan de streefwaarden.

De maximale trillingssterkte en gemiddelde trillingssterkte wordt door VibraDyna bepaald met een betrouwbaarheid van 95 procent. Bij beoordeling op de Bts speelt vooral de toename in trillingssterkte een belangrijke rol. Om deze toename conservatief genoeg te berekenen, rekent VibraDyna met simultane probabilistische verdelingen van de trillingssterkte per meetpunt. Voor elke factor die de trillingssterkte beïnvloedt, is de correlatie bepaald tussen deze factor in de referentie- en plansituatie. Door vervolgens een simultane probabilistische verdeling op te stellen van de maximale trillingssterkte in de referentie- en plansituatie, kunnen kansdichtheidscontouren worden getrokken zoals in Figuur 5. De zwarte punt geeft in dit geval de trillingssterkte in de referentie- en plansituatie weer.

Hoe groter de correlatie tussen de beide situaties is (d.w.z., hoe minder veranderingen er zijn tussen referentie- en plansituatie), hoe meer de contouren worden samengetrokken naar de lijn die loopt tussen de zwarte punt en het centrum van de contouren in Figuur 5, en hoe betrouwbaarder de predictie dus is.

Door de simultane probabilistische verdeling van de trillingssterkte in de referentie- en plansituatie te integreren over het groene gebied in Figuur 5, kan een kans worden toegekend aan of een woning voldoet aan het beoordelingskader. Voor de in Figuur 5 getoonde contouren is deze kans bijvoorbeeld gelijk aan 85 procent. Enkele aandachtspunten bij deze overschrijdingskansen:

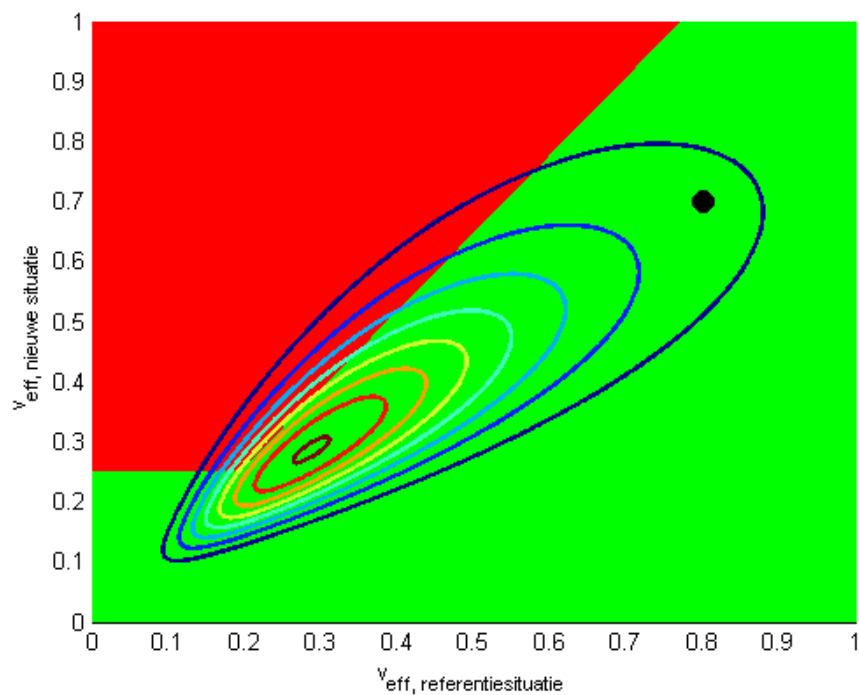
1. Voor het getoonde voorbeeld is er nog een kans van 15 procent op een overschrijding van de streefwaarden. Bij overschrijdingen is de waarde van de trillingssterkte in de nieuwe situatie waarschijnlijk echter aanzienlijk lager dan de trillingssterkte die weergegeven is door de zwarte stip in Figuur 5. Op basis van uitgebreid onderzoek is ervoor gekozen om locaties nader te onderzoeken indien de overschrijdingskans groter is dan 80 procent. De overschrijdingskans wordt alleen meegenomen om te bepalen of een woning of deelgebied wordt meegenomen in een vervolgonderzoek, niet bij het al dan niet nemen van maatregelen.

¹¹ Boon, ir. P.M., *Sporen in Arnhem, Trillingsonderzoek t.b.v. Tracébesluit*, Movares Nederland B.V., D79-PBO-KA1400006, 31 maart 2014, versie 1.0

¹² Boon, ir. P.M., *Sporen in Utrecht, Trillingsonderzoek t.b.v. Tracébesluit*, Movares Nederland B.V., D79-PBO-KA1400005, 31 maart 2014, versie 1.0

¹³ Boon, ir. P.M., *Doorstroomstation Utrecht (DSSU), Trillingsonderzoek*, Movares Nederland B.V., OND-ET-CON-TR-RAP-100, 4 juni 2015, versie 3.0

2. In het globale model wordt een eventuele wijziging in taludgeometrie nog niet meegenomen. Daarom wordt in dit model extra conservatief getoetst door te rekenen met een lagere correlatiecoëfficiënt (meer spreiding in resultaten mogelijk).



Figuur 5 Voorbeeld trillingssterkte in referentie- en plansituatie (zwarte stip) en kansdichtheidscontouren van mogelijke trillingssterktes (correlatiecoëfficiënt van 0.85)

Bijlage II – Beoordelingskader

II.1 Algemeen

Treinverkeer, maar ook bouwwerkzaamheden en wegverkeer, kunnen leiden tot trillingen in gebouwen. Deze trillingen kunnen resulteren in hinder en/of schade. De Duitse DIN 4150-2 (1999) norm beschrijft criteria voor het meten en beoordelen van trillingen. De Nederlandse SBR richtlijn is hierop gebaseerd.

De SBR richtlijn is in Nederland de meest gebruikte richtlijn voor het beoordelen van trillingen en bestaat uit 3 delen:

- Deel A (2017): schade aan gebouwen;
- Deel B (2006): hinder voor personen in gebouwen;
- Deel C: verstoring van apparatuur.

Daarnaast heeft de toenmalige staatssecretaris van Infrastructuur en Milieu in 2012 een *Beleidsregel Trillingshinder Spoor* (Bts) opgesteld, dat een wijziging van en aanvulling op de SBR B-richtlijn is. In dit onderzoek wordt naar drie aspecten gekeken: trillingsschade (overschrijdingen van de SBR A-richtlijn), trillingshinder (aantal overschrijdingen van de Bts) en kans op verstoring van gevoelige apparatuur. In de volgende paragrafen staan de verschillende beoordelingskaders beschreven.

II.2 SBR richtlijn deel A – beoordelingskader trillingsschade

II.2.1 Schade als gevolg van bouwwerkzaamheden

Bouwwerkzaamheden kunnen leiden tot schade aan gebouwen in de omgeving van de werkzaamheden. Heien, het intrillen van damwanden en sloopwerkzaamheden kunnen hoge trillingsnelheden veroorzaken, die zeker op korte afstand van de trillingsbron tot schade in gebouwen kunnen leiden.

II.2.2 Schade ten gevolge van treinverkeer

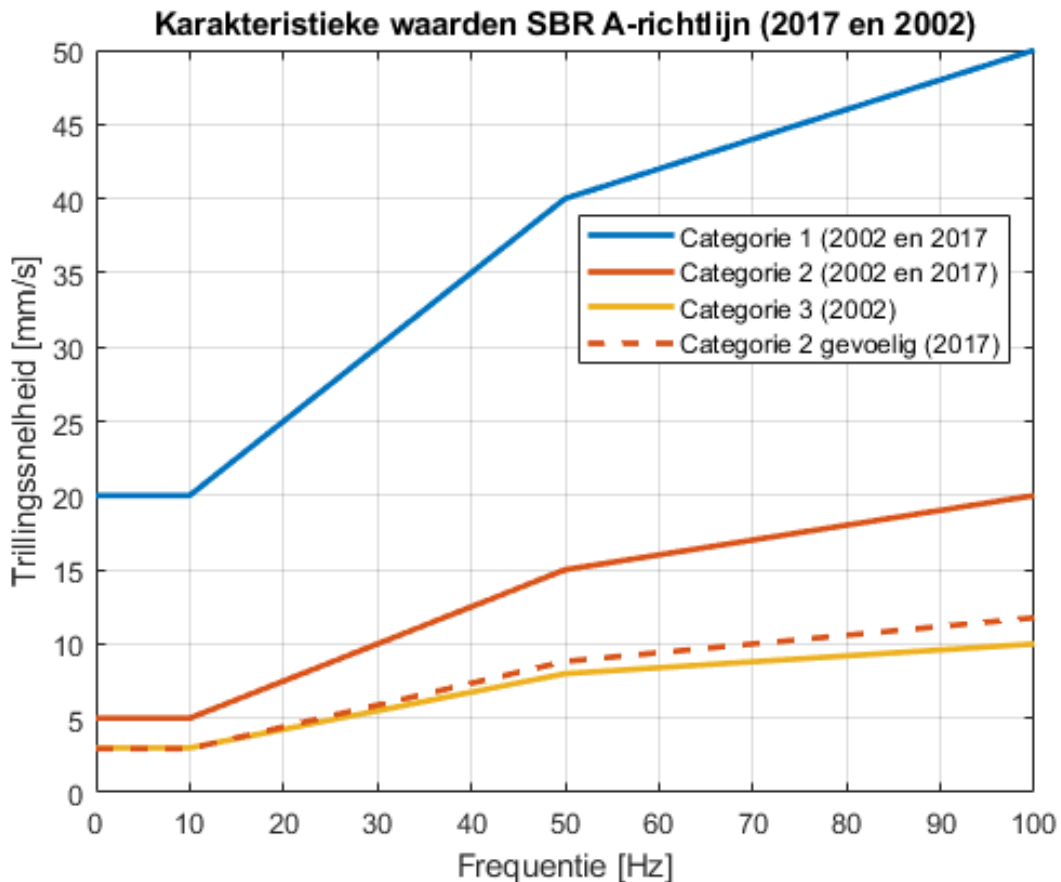
De sterkte van trillingen ten gevolge van treinverkeer zijn voor vrijwel alle gebouwen te gering om schade aan gebouwen te veroorzaken. Op afstanden groter dan 10 meter vanaf de spoorbaan is de trillingssnelheid, gemeten aan de fundering, zonder uitzondering kleiner dan 2 mm/s. Voor de meeste woningen (categorie 2 conform de SBR A-richtlijn) wordt een ondergrens voor de trillingssnelheid van 5 mm/s aangehouden. Onder deze grens is de kans op schade kleiner dan 1 procent. Dergelijke trillingssterktes treden niet op in dit project als gevolg van treinverkeer, zie ook Bijlage VIII.

II.2.3 Algemeen

De grenswaarden voor trillingen t.a.v. schade volgens SBR A-richtlijn worden vastgesteld op basis van drie beoordelingscriteria:

1. Type bouwwerk. De volgende verschillende typen van bouwwerken onderscheiden:
 - a. Categorie 1: in goede staat verkerende onderdelen van een draagconstructie indien deze bestaan uit gewapend beton of hout; onderdelen van een bouwwerk die geen deel uitmaken van de draagconstructie, indien deze bestaan uit gewapend beton of hout en draagconstructies van bouwwerken die geen gebouw zijn en bestaan uit metselwerk zoals pijlers van viaducten, kademuren en dergelijke;
 - b. 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, welke bestaan uit niet-gewapend beton, metselwerk of uit brossen steenachtige materialen.
 - c. Categorie 2 met een gevoelige bouwkundige staat of monument. In de versie uit 2017 van de SBR-A richtlijn is de eerdere gebouwcategorie 3 (oude en monumentale panden met grote cultuurhistorische waarde, en in slechte staat verkerende gebouwen uit metselwerk of onderdelen daarvan) vervallen, en is er een veiligheidsfactor voor gebouwen met een monumentale status of slechte staat toegevoegd. Bij toepassing van deze

veiligheidsfactor hebben categorie 2-gebouwen met een gevoelige staat iets hogere grenswaarden dan de voormalige categorie 3-gebouwen. De grenswaarden per categorie zijn weergegeven in Figuur 6. Ter indicatie zijn ook de waarden uit de vorige SBR A-richtlijn (2002-versie) getoond.



Figuur 6 Grenswaarden in SBR A-richtlijn

2. Type trillingsbron. Er worden drie verschillende typen trillingsbronnen onderscheiden, elk met een eigen veiligheidsfactor:
 - a. Bronnen die incidenteel voorkomende, kortdurende trillingen veroorzaken ten gevolge van een stootvormige excitatie. Het aantal malen dat het trillingsverschijnsel voorkomt is zo gering dat er geen rekening behoeft te worden gehouden met vermoeiingseffecten van constructiematerialen. Voorbeelden van dit type trillingen zijn explosies en botsingen. De veiligheidsfactor die gehanteerd moet worden is 1.0.
 - b. Bronnen die herhaalde kortdurende belastingen veroorzaken bij een stootvormige excitatie. Hieronder worden bronnen verstaan die zodanig vaak voorkomen dat met vermoeiingseffecten in materialen rekening moet worden gehouden. Een voorbeeld van dit type trillingen is heiwerkzaamheden. De veiligheidsfactor die gehanteerd moet worden is 1.5.
 - c. Bronnen die continue trillingen veroorzaken. Hieronder worden verstaan alle bronnen die niet onder de voorgaande twee categorieën kunnen worden ingedeeld. Als gevolg van deze trillingen kunnen resonanties en/of vermoeiingseffecten in de onderdelen van een gebouw optreden. Voorbeelden van dit type trillingen zijn machines met roterende onderdelen, vibratoren, verdichtingswerk d.m.v. trilwalsen en het inbrengen van damwanden d.m.v. trilblokken. De veiligheidsfactor die gehanteerd moet worden is 2.5.

In dit onderzoek wordt schade gerelateerd aan de bouw van kunstwerken. Het gaat dan om bouw- en sloopwerkzaamheden waarbij heipalen worden aangebracht en damwanden worden ingetrild. Het inheien van palen valt onder categorie 2 (veiligheidsfactor 1.5), het intrillen van damwanden onder categorie 3 (veiligheidsfactor 2.5). De grenswaarden dienen door deze veiligheidsfactor te worden gedeeld.

3. Type meting. Afhankelijk van de hoeveelheid meetpunten wordt opnieuw een driedeling gemaakt:
- a. Indicatieve meting. Bij een indicatieve meting wordt slechts op één meetpunt in drie richtingen gemeten. Dit meetpunt wordt gemonteerd op een stijf punt aan de fundering. De gekozen horizontale richtingen worden zoveel mogelijk gekozen overeen komend met de hoofdasen van het gebouw. De veiligheidsfactor is 1.6.
 - b. Beperkte meting. Bij een beperkte meting wordt ten minste in één meetpunt op het begane grondniveau en ten minste één meetpunt op de hoogste verdieping van het gebouw gemeten. De veiligheidsfactor is 1.4.
 - c. Uitgebreide meting. Bij een uitgebreide meting dient een groter aantal meetpunten te worden gemeten, als aanvulling op de beperkte meting. (een uitgebreide beschrijving is in de SBR trillingsrichtlijn deel A gegeven). De veiligheidsfactor is 1.0.
- In dit onderzoek wordt nog geen gebruik gemaakt van meetpunten, daarom wordt conform de SBR A-richtlijn de hoogste veiligheidsfactor (1.6, corresponderend met een indicatieve meting) gehanteerd.

II.2.4 Toetsing

Na de grenswaarden voor een bepaald gebouw gedeeld te hebben door de partiële veiligheidsfactor behorend bij het type trillingsbron, kan de met behulp van berekeningen bepaalde trillingssnelheid ten gevolge van werkzaamheden getoetst worden aan de grenswaarde. Daar bovenop wordt een veiligheidsfactor gehanteerd.

In dit onderzoek wordt aangegeven voor hoeveel gebouwen een overschrijding van de SBR A-richtlijn wordt verwacht. Deze toetsing vindt alleen plaats in de nabijheid van hei- en trilwerkzaamheden.

II.3 Bts (Beleidsregel trillinghinder spoor) – beoordelingskader trillingshinder

Tot op heden zijn er nog geen richtlijnen voor trillingshinder vastgelegd in wetgeving, zoals dat bijvoorbeeld voor geluidhinder wel het geval is. Vooruitlopend op toekomstige wetgeving heeft de toenmalige staatssecretaris van Infrastructuur en Milieu in 2012 een *Beleidsregel Trillinghinder Spoor* (Bts) opgesteld, dat een wijziging van en aanvulling op de SBR B-richtlijn is. Deze Bts is in 2014 deels gewijzigd. Enkele belangrijke aanvullingen ten opzichte van de SBR B-richtlijn zijn:

- Een nadere invulling van het kosteneffectiviteitscriterium bij de afweging van maatregelen, met een richtbedrag van € 47.000 per woning met overschrijdingen of € 500 per werkplek. Dit bedrag is gebaseerd op een MKBA¹⁴, uitgevoerd door Witteveen+Bos, RoyalHaskoningDHV en TNO;
- Een aanpassing van de meetprocedure. De trillingssterkte wordt bepaald over een meetperiode van tenminste een week;
- De introductie van een naverwerkingsmethode, met als doel een reproduceerbare maximale trillingssterkte te genereren, die vergelijkbaar is met de methode zoals gehanteerd in de SBR B-richtlijn;
- De introductie van een reproduceerbaarheidswaarde *R*. Deze factor is een indicatie van de onzekerheid in de meting en eventuele prognoses die zijn gemaakt, en geeft aan in hoeverre het resultaat van een herhaling van de meting of berekeningen kan afwijken van het gegeven resultaat. Wanneer deze *R*-waarde groter is dan 10 procent, wordt bij het beoordelen van de trillingssituatie en het nemen van maatregelen rekening gehouden met deze onzekerheid.

In de Bts wordt onderscheid gemaakt tussen nieuwe en bestaande situaties, waarbij de streefwaarden voor nieuwe situaties strenger zijn dan voor bestaande situaties. Dit project valt onder bestaande (gewijzigde) situaties. Bts artikel 1 spreekt van een 'bestaande situatie als een referentiesituatie waarin reeds sprake is van trillingen als gevolg van railverkeer'.

De Bts maakt daarnaast onderscheid tussen de dag- en avondperiode en de nachtperiode. Hierbij geldt dat de streefwaarden van de trillingssterktes gedurende de nacht lager zijn dan die gedurende de dag en avond.

¹⁴ MKBA = Maatschappelijke Kosten Baten Analyse, methodiek om de maatschappelijk gezien acceptabele kosten van een maatregel te bepalen. Zie Ruijgrok, dr. ir. E.C.M. e.a., *Kosteneffectiviteitstoetsing Trillingsreducerende Maatregelen Spoor*, Witteveen+Bos, juni 2013, projectcode ut702-1-1

Om de trillingssterkte in een gebouw te bepalen dient de effectieve trillingssnelheid v_{eff} gemeten te worden in een gebouw gedurende een periode van minimaal een week. Deze effectieve trillingssnelheid wordt bepaald als voortschrijdend gemiddelde per 30 seconden. Vervolgens wordt per 30 seconden de maximale waarde van dit voortschrijdend gemiddelde genomen. Middels een statistische procedure wordt vervolgens een waarde bepaald voor $V_{max, Bts}$, zie ook Bijlage IV. Deze waarde wordt gebruikt voor toetsing aan de streefwaarden.

V_{per} is een weergave van de gemiddelde trillingssterkte. Deze waarde wordt bepaald door het kwadratisch gemiddelde te nemen van de maximale trillingssterkte per 30 seconden indien deze boven de drempelwaarde van 0.1 valt. Trillingssnelheden onder de 0.1 zijn nauwelijks voelbaar en worden niet meegenomen in de bepaling van de V_{per} . Het kwadratisch gemiddelde wordt vervolgens gecorrigeerd voor de tijd waarin de trillingssnelheden boven de 0.1 uitkomen. Zie voor de exacte bepaling de SBR B-richtlijn.

II.3.1 Normstelling in de Bts

De streefwaarden in de Bts verschillen over de dag en avond (7.00 – 23.00 uur) en nacht (23.00 – 7.00 uur) en per gebouwfunctie. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen *gebouwen met een kritische werkruimte* (gevoelige apparatuur e.d.), *gezondheidszorg en wonen* en *kantoren en gebouwen ten behoeve van onderwijs of bijeenkomsten*. Bij elke gebouwfunctie horen andere toegestane trillingssterktes, zie Tabel 2 voor de normstelling voor bestaande situaties.

De Bts kent drie waarden: A1, de streefwaarde voor de trillingssterkte V_{max} , A2, de grenswaarde voor de trillingssterkte V_{max} en A3, de grenswaarde voor de gemiddelde trillingssterkte V_{per} .

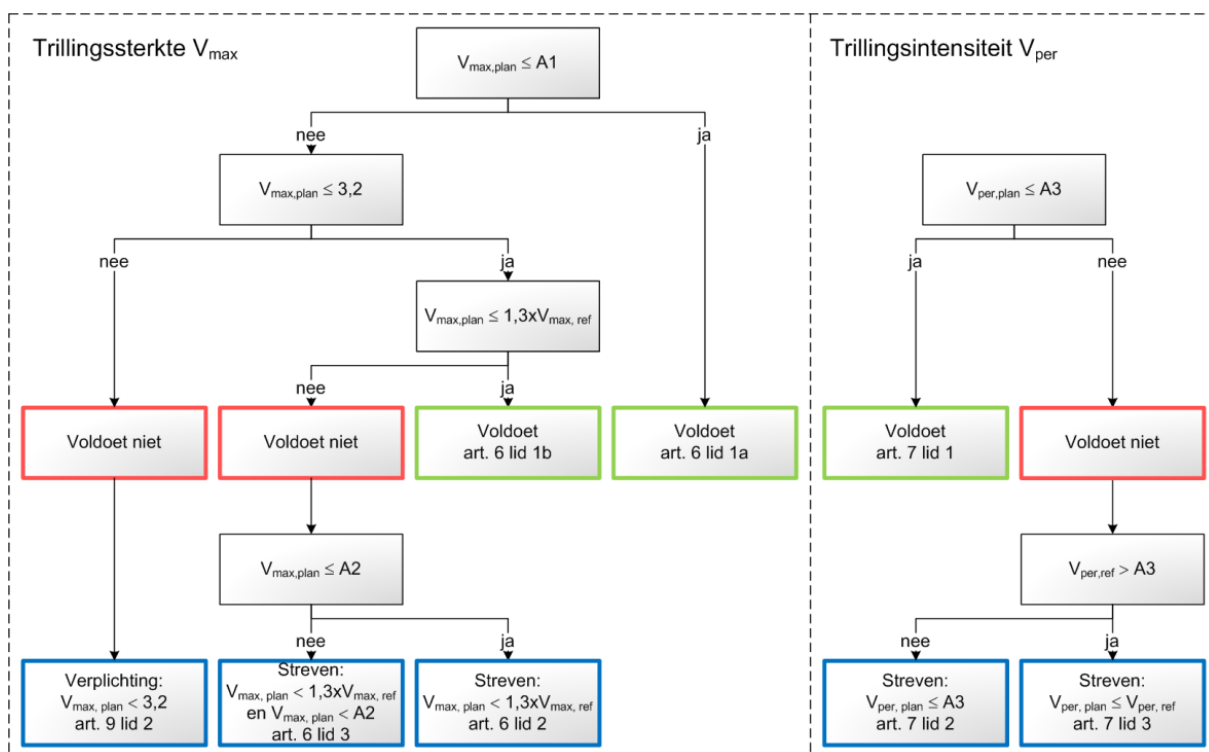
Tabel 2 Normstelling bestaande situatie volgens Bts

Gebouwfunctie	Dag en avond			Nacht		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
Gezondheidszorg en wonen	0.2	0.8	0.1	0.2	0.4	0.1
Onderwijs, kantoor en bijeenkomsten	0.3	1.2	0.15	0.3	1.2	0.15
Kritische ruimte	0.1	0.1	---	0.1	0.1	---

II.3.2 Beoordeling van trillingssituatie

Om te beoordelen of een bepaalde locatie voldoet aan de Bts voor bestaande situaties moet het schema in Figuur 7 worden doorlopen. Dit schema geeft aan wanneer maatregelen dienen te worden afgewogen. Maatregelen ter voorkoming of beperking van de trillingshinder met betrekking tot de waarde van V_{max} kunnen achterwege blijven indien wordt voldaan aan één van de twee volgende condities:

1. De waarde van V_{max} in de plansituatie is lager dan A1 en de waarde van de gemiddelde trillingssterkte V_{per} is lager dan A3.
2. De toename in trillingssterkte in de plansituatie ten opzichte van de referentiesituatie is 30 procent of minder en de waarde van de gemiddelde trillingssterkte V_{per} is lager dan A3 en de trillingssterkte in de plansituatie is lager dan de grenswaarde van 3.2.



Figuur 7 Beoordeling van gewijzigde situaties in de Bts

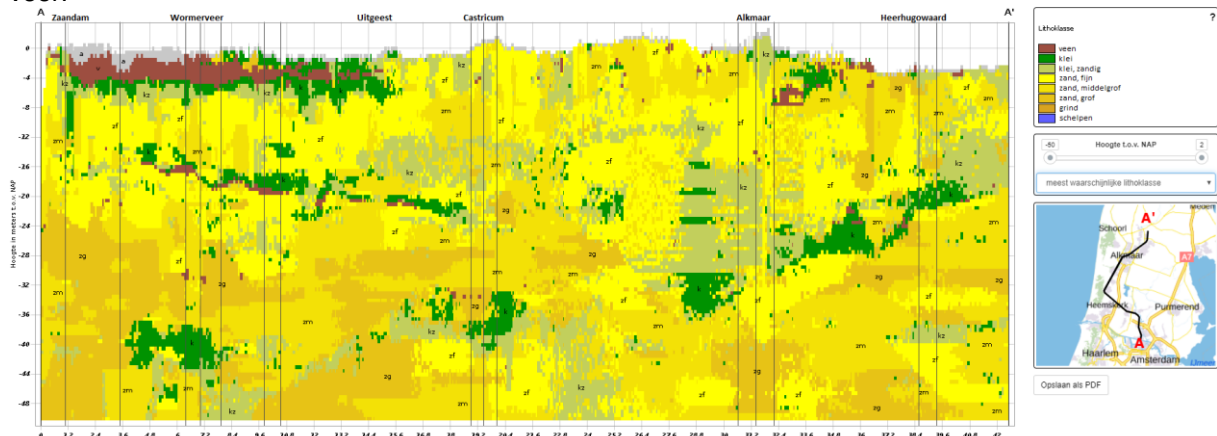
II.4 SBR C-richtlijn (gevoelige apparatuur)

Voor gevoelige apparatuur bestaan geen eenduidige richtlijnen. Bij de toetsing wordt gebruik gemaakt van apparaatspecifieke eisen, conform de SBR C-richtlijn. Waar relevant worden deze eisen opgehaald bij de leverancier van de apparaten.

Bijlage III – Gebruikt bodemonderzoek

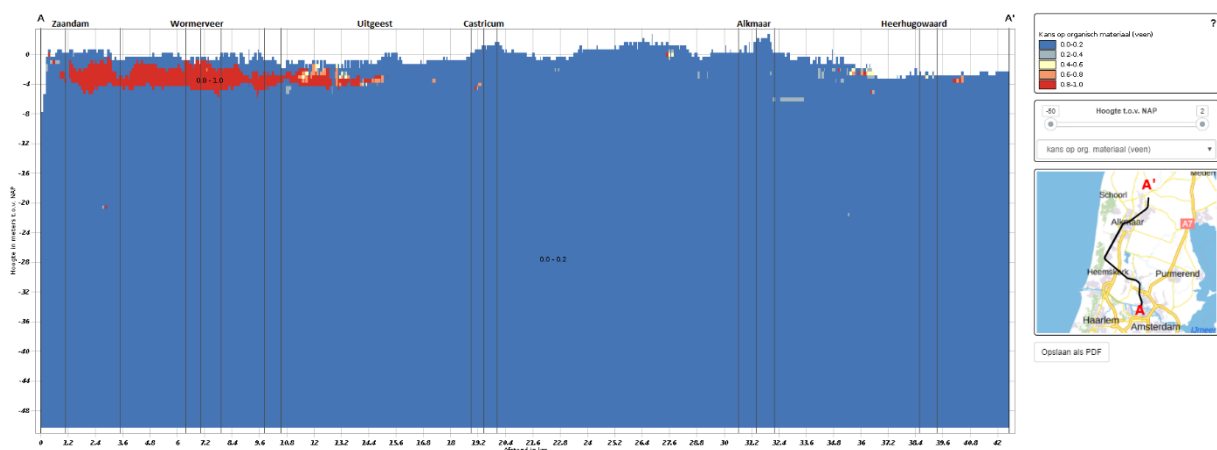
In deze bijlage is het gebruikte bodemonderzoek weergegeven. Dit bodemonderzoek is gebruikt voor het vaststellen van de meetlocaties en het inrichten van het rekenmodel voor stap 2 en 3. Hierbij is gekeken naar de opbouw van de bodemlagen en de kans op slappe lagen die de trillingen sterker uitdempem.

De opbouw van de bodem is weergegeven in Figuur 8. Hier is duidelijk zichtbaar dat met name tussen Zaandam en Krommenie-Assendelft sprake is van een slappe toplaag van de bodem met veen. Tussen Uitgeest en Alkmaar is de bodem meer zandig met hier en daar wat zandige kleilagen, tussen Alkmaar en Heerhugowaard is er veel variatie in de toplaag en komen lokaal ook klei- en veenlagen voor.

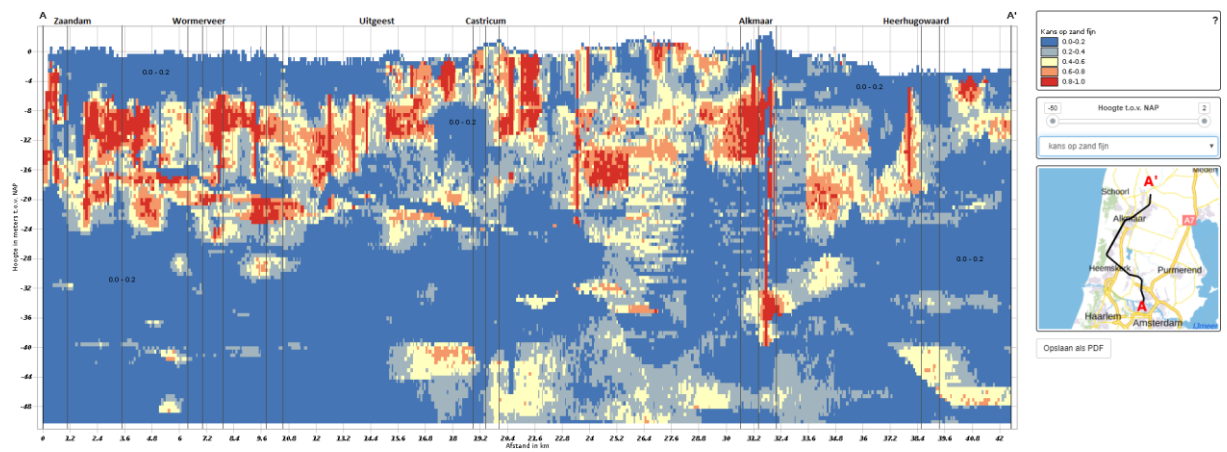


Figuur 8 Opbouw van de bodem over het onderzoeksgebied (bron: Dinoloket)

De kans op het voorkomen van veenlagen en zandlagen is weergegeven in Figuur 9 resp. Figuur 10. Deze figuren benadrukken het geschetste beeld in Figuur 8. Op de locaties met veenlagen en een sterke gelaagdheid zullen spoor sloten zorgen voor een sterke afname van de trillingen. Door de slappe toplaag zullen de trillingen sneller uitdempem dan op locaties waar deze slappe toplaag afwezig zijn en er sprake is van zandlagen in de toplaag. Daar zullen de trillingen hoger zijn.



Figuur 9 Kans op voorkomen van (slappe) veenlagen (bron: Dinoloket)



Figuur 10 Kans op voorkomen van fijne zandlagen (bron: Dinoloket)

Bijlage IV – Verwerkingsprocedure trillingsmetingen

In dit trillingsonderzoek zijn metingen uitgevoerd in woningen. Deze metingen zijn onbemand uitgevoerd met behulp van een meetcomputer die continu (gedurende minimaal een week) de trillingssignalen meet. Aan deze meetcomputer is een webcam gekoppeld die de treinen registreert. Om een dataset met trillingen van treinverkeer te genereren wordt de volgende procedure doorlopen om te garanderen dat alle door treinen veroorzaakte trillingen in beschouwing worden genomen en dat niet-spoorgerelateerde trillingen buiten beschouwing worden gelaten:

1. Stap 1: met behulp van gegevens over de passagetijden¹⁵ en videobeelden zijn de treinen gemarkeerd. De lijst met passagetijden is gebruikt om te verifiëren dat alle passerende treinen (ook in de nacht) daadwerkelijk zijn gemarkeerd: het aantal treinen in de database komt overeen met het aantal gemarkeerde treinen.
2. Stap 2: bij de meting wordt gebruik gemaakt van meerdere sensoren. Met behulp van spectraalanalyse¹⁶ worden de trillingssignalen van beide sensoren op elkaar gedeeld. Hierdoor kunnen lokale fenomenen (bijvoorbeeld voetstappen in de ene ruimte) worden uitgefilterd. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de videobeelden om te verifiëren of de uitgefilterde signalen daadwerkelijk vervuild zijn met voetstappen.
3. Stap 3: met behulp van spectraalanalyse worden afwijkende trillingssignalen nader geanalyseerd. Signalen met een sterk afwijkend frequentiespectrum zijn vaak vervuild met werkzaamheden buiten of passerend vrachtverkeer. Omdat deze trillingen niet te wijten zijn aan passerende treinen, worden deze trillingen apart gemarkeerd als zijnde achtergrondtrillingen.
4. Stap 4: de hoogste waarden uit de dataset worden nogmaals gecontroleerd of het niet-vervulde treinsignalen zijn of niet. Elke trein wordt gemarkeerd met de bijbehorende spoorafstand. Alle niet-spoorgerelateerde trillingsbronnen worden apart gemarkeerd. In de datasets in het meetrapport zijn deze trillingsbronnen eveneens weergegeven.

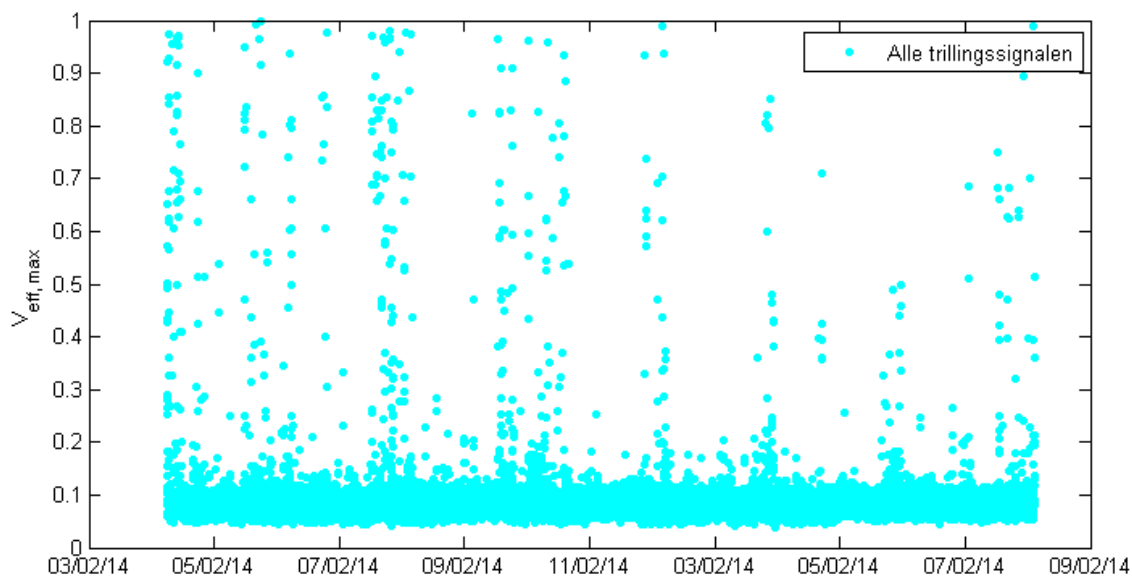
Deze stappen worden met behulp van een voorbeeldsituatie nader toegelicht in deze bijlage.

¹⁵ Deze passagetijden zijn opgevraagd bij ProRail

¹⁶ Spectraalanalyse is het onderzoeken van het frequentiespectrum van een trillingssignaal. Hierbij wordt naar de verschillende frequenties gekeken.

IV.1 Verwerking ruwe meetdata

Na het uitvoeren van de meting wordt de ruwe data geconverteerd naar V_{rms} -waarden per 5 seconden, en vervolgens naar $V_{eff,max}$ -waarden per 30 seconden, conform de procedure in de SBR B-richtlijn en het memo LA.131001a.M04a van Level Acoustics. Per meetlocatie is deze meetdata weergegeven in Bijlage VIII. Een voorbeeld van een dergelijk resultaat is weergegeven in Figuur 11. Elk punt stelt een 30-secondeperiode voor. In de resultaten is duidelijk zichtbaar dat er periodieke verstoringen optreden, die met een dag-nacht ritme terugkeren.

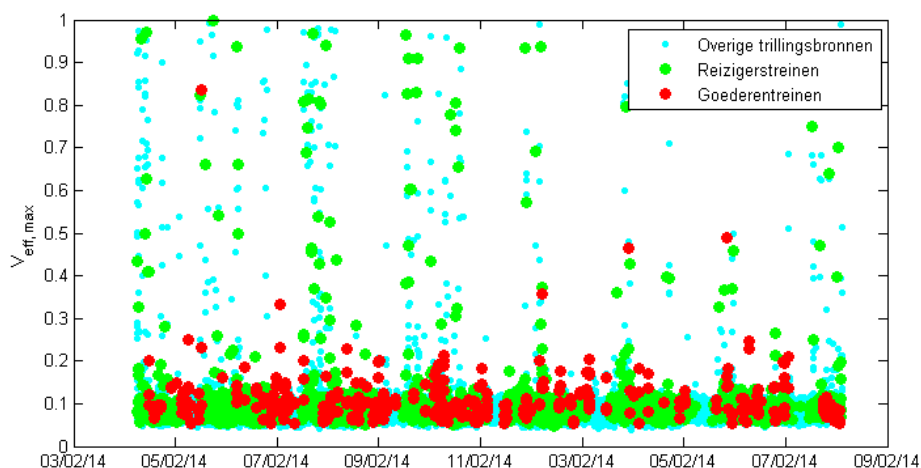


Figuur 11 Meetdata, $V_{eff,max}$ per 30 seconden voor het fictieve voorbeeld

IV.2 Stap 1 – Toekennen events

In de eerste stap van de verwerkingsprocedure wordt gekeken of binnen een bepaalde 30-secondeperiode een trein passeert, en zo ja, om welk type trein het gaat en over welk spoor deze trein rijdt. Deze eerste selectie vindt bij voorkeur plaats met behulp van gegevens over de passagetijden van alle treinen, en wordt eventueel geverifieerd met behulp van de videobeelden. Door deze dubbele procedure wordt gegarandeerd dat alle gepasseerde treinen worden meegenomen in de analyse. Een voorbeeld wordt in het kader op de volgende pagina toegelicht.

Het resultaat van deze stap is weergegeven in Figuur 12. De blauwe stippen zijn geen treinen, de overige als trein gemarkeerde stippen zijn mogelijk treinen maar kunnen ook vervuild zijn. In vervolgstappen worden deze vervuilde signalen verwijderd.



Figuur 12 Meetdata met gemarkeerde treinpassages voor het fictieve voorbeeld

Voorbeeldsituatie

De gegevens per treinpassage geven voor verschillende zogenaamde ‘dienstregelpunten’ de passagetijd van elke gepasseerde trein aan. Per passage en per dienstregelpunt zijn het unieke treinnummer, de vervoerder, het treintype, de rijrichting en het type trein opgenomen. Met deze gegevens kan een inschatting worden gemaakt van de passagetijd van elke trein op de meetlocatie.

In dit voorbeeld zijn er gegevens van een trein met treinnummer 104 van vervoerder NSR (NS Reizigers) op de punten *Ut* en *Utoa*, zie Figuur 13. De locaties van deze punten zijn bekend, de meetlocatie ligt halverwege tussen deze punten in. Verder is de richting van de trein en het type trein (*IC*) aangegeven. Op basis van de passagetijden en de locatie is de verwachting dat deze trein tussen 12:42:30 en 12:43:15 passeert.

ProRail

PAB Detailtreinactiviteiten

Dag	Vervoerder	Treinnummer	Rijrichting	Rijvolgorde	Dienstregelpunt	Activiteit	Plantijd	Rijkarakteristiek
							Uitvoering	Uitvoering
24-02-2014	NSR	104	VB	540	Ut	V	21-jul-2013 12:42:00	IC
24-02-2014	NSR	104	VB	550	Utoa	D	21-jul-2013 12:43:58	IC
24-02-2014	NSR	105	NB	180	Utoa	D	21-jul-2013 12:44:26	ICE
24-02-2014	NSR	105	NB	190	Ut	A	21-jul-2013 12:46:43	ICE

Figuur 13 Voorbeeldgegevens treinpassages voor het fictieve voorbeeld

Elk type trein heeft een karakteristiek trillingsspectrum. Voor de verschillende 30-secondeperiodes waarin de treinpassage kan hebben plaatsgevonden, wordt het karakteristieke trillingsspectrum van de passerende trein vergeleken met het trillingsspectrum van die 30-secondeperiode. Middels een gewogen¹⁷ kleinste kwadratenmethode¹⁸ wordt bepaald welke periode van 30 seconden het best passend is, deze periode wordt gemarkeerd als de treinpassage.

Op een deel van de locaties vindt aanvullend geautomatiseerde verificatie plaats op basis van beeldverwerking van de videobeelden, zie Figuur 14. Hierbij worden opeenvolgende videobeelden geautomatiseerd met elkaar vergeleken om te bepalen of er een trein passeert, en zo ja, in welke richting en met welke rijnsnelheid.

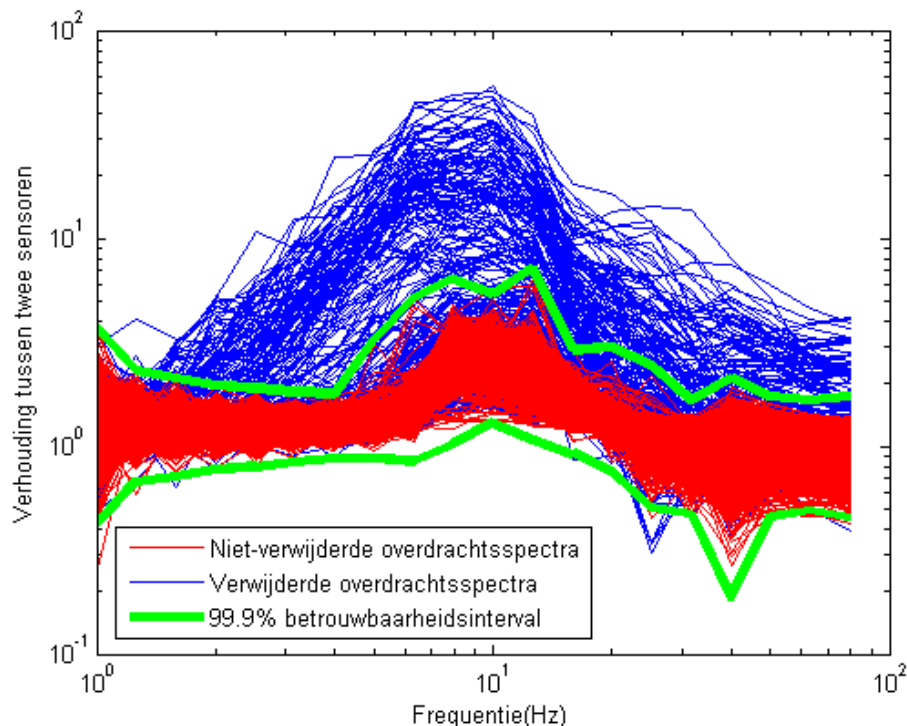


Figuur 14 Videobeelden en trillingssignalen voor het fictieve voorbeeld

Op deze manier wordt gegarandeerd dat alle gepasseerde treinen ook daadwerkelijk worden gemarkeerd als zijnde een trein.

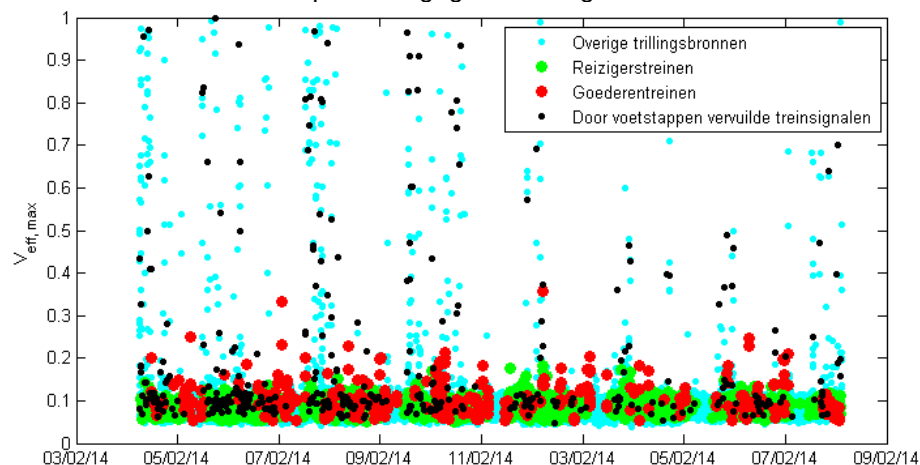
IV.3 Stap 2 – Filteren interne verstoringen

Omdat gebruik wordt gemaakt van meerdere sensoren, kunnen de trillingsspectra van de verschillende sensoren op elkaar worden gedeeld. Hierdoor worden lokaal optredende trillingen, zoals voetstappen, inzichtelijk gemaakt. Deze voetstappen vertonen immers alleen een uitslag op een van beide sensoren. Een voorbeeld van deze selectie op trillingsspectra is weergegeven in Figuur 15. De selectiecriteria worden vastgesteld op basis van de spreiding in overdrachten en geverifieerd in de videobeelden.



Figuur 15 Spectraalanalyse in stap 2 voor het fictieve voorbeeld

Het resultaat van deze stap is weergegeven in Figuur 16.



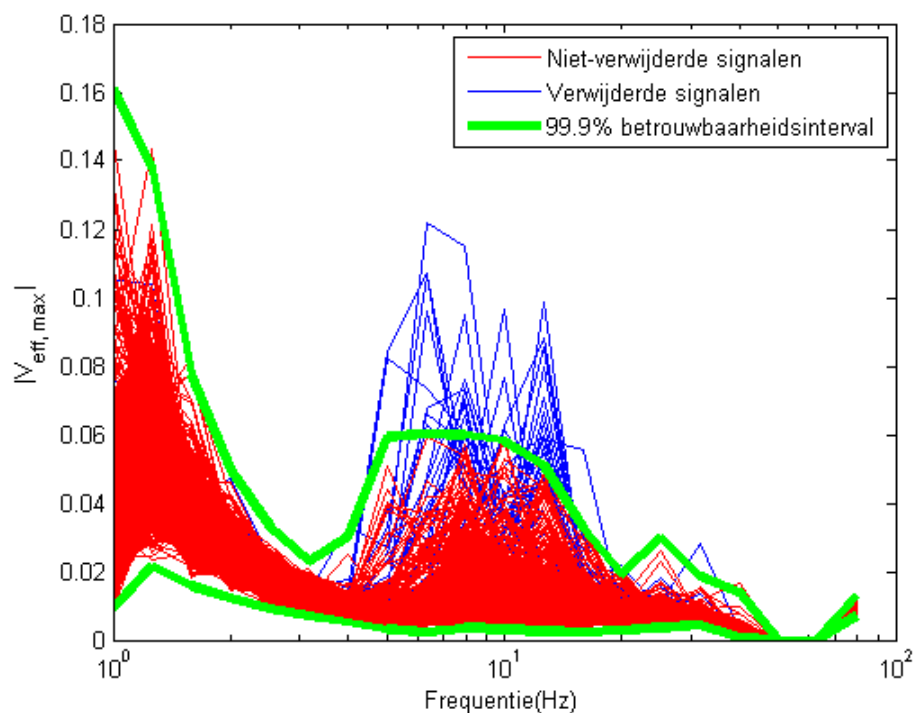
Figuur 16: Meetdata met gemarkeerde treinpassages en uitgefilterde lokale trillingsbronnen voor het fictieve voorbeeld

¹⁷ Gewogen voor trillingssterkte, zodat sterkere trillingssignalen zwaarder worden meegenomen dan minder sterke trillingssignalen

¹⁸ Kleinste kwadratenmethode is een rekenmethode om een verdeling punten te vergelijken met bijvoorbeeld een berekende waarde. De methode geeft aan welke punten het dichtst bij de berekende waarde liggen.

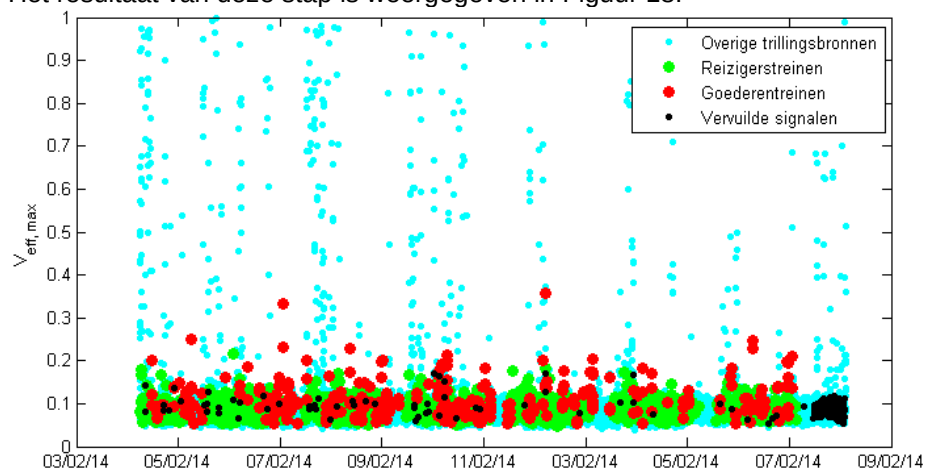
IV.4 Stap 3 – Filteren externe verstoringen

Conform het memo van Level Acoustics worden niet-spoor gerelateerde gebeurtenissen, zoals wegverkeer en bouwwerkzaamheden, verwijderd uit de dataset. In het geval van externe verstoringen, zoals de passage van vrachtauto's of het gelijktijdig uitvoeren van werkzaamheden buiten het gebouw, kunnen deze verstoringen worden uitgefilterd met behulp van spectraalanalyse. Deze spectraalanalyse vindt per treintype plaats, zodat duidelijk zichtbaar wordt welke 30-secondeperiodes sterk afwijkende trillingsspectra hebben. Een voorbeeld hiervan is weergegeven in Figuur 17. De selectiecriteria worden vastgesteld op basis van de spreiding in signalen en geverifieerd met behulp van de videobeelden.



Figuur 17 Spectraalanalyse in stap 3 voor het fictieve voorbeeld

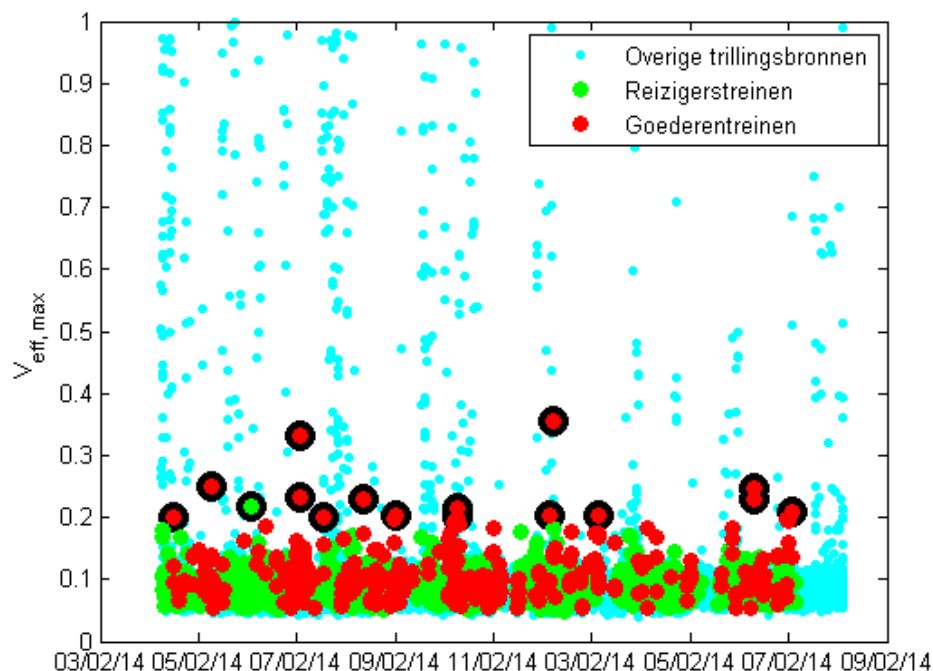
Het resultaat van deze stap is weergegeven in Figuur 18.



Figuur 18 Meetdata met gemarkeerde treinpassages en externe trillingsbronnen voor het fictieve voorbeeld

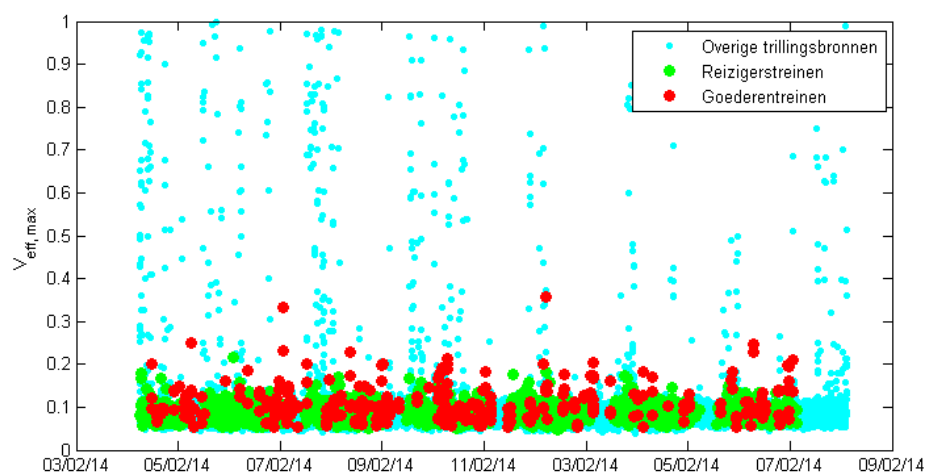
IV.5 Stap 4 – Controle van hoogste waarden

Als laatste controlestap worden alle hoge trillingssignalen nogmaals gecontroleerd op vervuiling door andere trillingsbronnen. Deze laatste controle vindt handmatig plaats in de meetsoftware. Hierbij worden de trillingssignalen en videobeelden beschouwd op afwijkingen en verstoringen. Een voorbeeldselectie van te controleren trillingssignalen (zwart omcirkelde meetpunten) voor dit voorbeeld is weergegeven in Figuur 19.



Figuur 19 Te controleren treinsignalen in stap 4 voor het fictieve voorbeeld

Het resultaat van deze stap is weergegeven in Figuur 20. Dit is de uiteindelijke dataset waarover de trillingssterkte V_{max} en de gemiddelde trillingssterkte V_{per} worden bepaald.



Figuur 20 Schone dataset met treinpassages voor het fictieve voorbeeld

IV.6 Naverwerkingsprocedure

De naverwerkingsprocedure zoals die is toegepast in dit trillingsonderzoek is gebaseerd op optie 1 uit het memo LA.131001a.M04 van Level Acoustics (versie van 13 april 2018), waarbij gedurende minimaal 7 x 24 uur op diverse meetpunten in een gebouw is gemeten en de trillingen van alle meetrichtingen zijn vastgelegd. Verder wordt per treinpassage het treintype vastgelegd (goederen of reizigerstreinen). Van alle treinpassages met een gemeten $V_{eff,max} \geq 0.05$ worden de berekende $V_{eff,max,j}$ ($V_{eff,max}$ per richting) en de berekende $V_{eff,max}$ vastgelegd gedurende ten minste 7x24 uur op alle meetpunten.

Omdat er op dit traject geen structureel goederenverkeer plaatsvindt, is afgeweken van de bepaling om per treintype 50 passages vast te leggen, voor goederentreinen is dit namelijk niet planbaar. Vervolgens wordt de volgende naverwerkingsprocedure gestart, en worden per treintype de volgende stappen doorlopen:

1. Er wordt vastgesteld op grond van hoeveel meetdagen de verzameling $V_{eff,max,j}$ -waarden tot stand is gekomen. Deze parameter wordt *#meetdagen* genoemd;
2. Alle treinpassages met een $V_{eff,max,j} \geq 0.02$ op de fundering worden geselecteerd. Indien geen funderingspunt is gekozen, dan wordt gekozen voor een meetpunt op de laagst beschikbare verdieping waarbij $V_{eff,max,j} \geq 0.05$;
3. Per meetpunt wordt het aantal treinen bepaald: *#treinen*
4. Van de berekende $V_{eff,max,j}$ wordt de natuurlijke logaritme genomen:

$$\ln(V_{eff,max,j})$$

5. Vervolgens wordt hierover het gemiddelde μ bepaald:

$$\mu = \text{gemiddelde}\{\log(V_{eff,max,j})\}$$

6. De betrouwbaarheidscoëfficiënt β wordt vastgesteld volgens de formule:

$$\beta = t^{-1} \left[1 - \frac{\left(\frac{\#meetdagen}{7} \right)}{\#treinen}; \#treinen - 1 \right]$$

7. Vervolgens wordt $V_{max,Bts}$ per meetpunt en per meetrichting bepaald met de volgende formule:

$$V_{max,Bts} = e^{\mu+0.3\beta}$$

8. De reproduceerbaarheid R wordt per meetpunt en richting als volgt bepaald:

$$R = 100\% \cdot 0.3 \cdot \sqrt{\frac{4}{\#treinen} + 0.01}$$

9. De toetswaarde voor $V_{max,Bts}$ bedraagt dan:

$$\begin{array}{ll} V_{max,Bts} & \text{als } R \leq 10\% \\ V_{max,Bts} \cdot \left(1 + \frac{R}{100\%} \right) & \text{als } R > 10\% \end{array}$$

10. Te toename van $V_{max,Bts}$ is een verhouding tussen de plan- en referentiesituatie, de zogenaamde Q -waarde. Hiervoor wordt in de Bts een grenswaarde van 1.3 gehanteerd. Een waarde kleiner dan 1 duidt op een afname van de trillingen. Q wordt als volgt bepaald:

$$Q = \frac{V_{max,Bts,plansituatie}}{V_{max,Bts,referentiesituatie}}$$

Hierbij wordt de $V_{max,Bts}$ zonder eventuele correctiefactor gebruikt. De onzekerheid in de toename Q wordt bepaald volgens de formule:

$$R_Q = \sqrt{R_{referentiesituatie}^2 + R_{plansituatie}^2}$$

De waarde van Q wordt dan als volgt bepaald:

$$\begin{array}{ll} Q & \text{als } R_Q \leq 14\% \\ Q \cdot \left(1 + \frac{R}{100\%}\right) & \text{als } R_Q > 14\% \end{array}$$

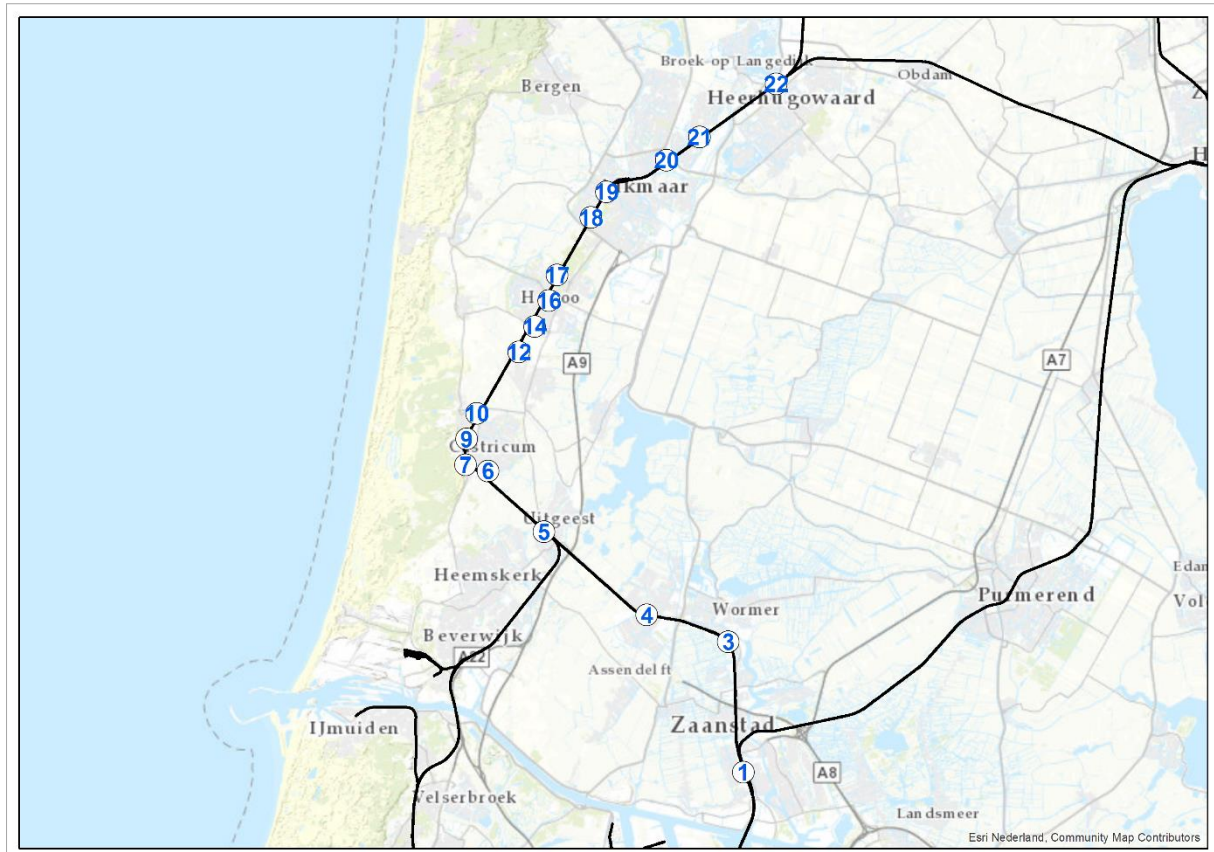
Vervolgens wordt getoetst aan de Bts, waarbij de volgende parameters worden getoetst:

1. De Q -waarde behorend bij het treintype met de hoogste $V_{max,Bts}$ in de plansituatie
2. De $V_{max,Bts}$ in de plansituatie, per treintype
3. De V_{per} van alle treinen bij elkaar

Bijlage V – Resultaten maaiveldmetingen (t.b.v. stap 1)

Voor het in dit trillingsonderzoek gebruikte nauwkeurige rekenmodel (zie Bijlage I) zijn maaiveldmetingen uitgevoerd aan de bodemopbouw en treinpassages op 22 locaties. De locaties van de uitgevoerde maaiveldmetingen zijn weergegeven in Figuur 21, de nummers corresponderen met de paragraafnummers in deze bijlage.

Bij de metingen is gebruik gemaakt van een aantal sensoren op verschillende afstanden tot de sporen. Door per treinpassage het tertsbandspectrum van de trillingen te registreren, is per locatie een gemiddeld tertsbandspectrum van de passerende treinen vastgesteld.



Figuur 21 Locaties van maaiveldmetingen ten noorden van Amsterdam Centraal, de nummers corresponderen met de paragraafnummers

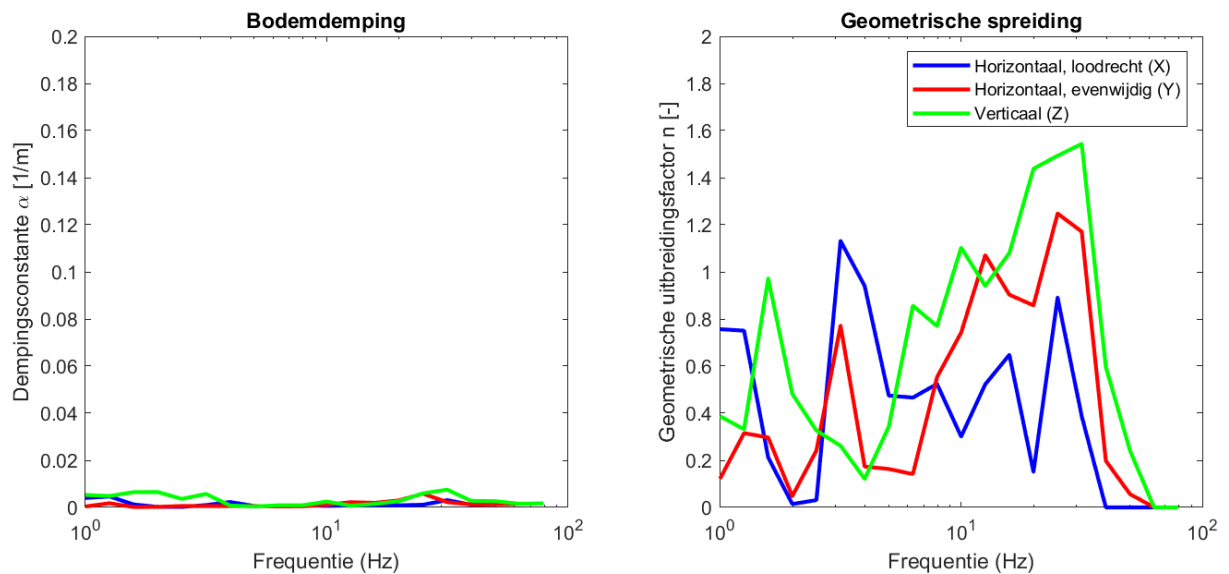
Door de trillingssignalen als functie van de tijd te transformeren naar het frequentie-domein (Fourier-transformatie) kan voor elke afstand tot de trillingsbron een tertsbandspectrum worden gegenereerd. Vervolgens kan met behulp van de zogenaamde Barkanvergelijking de trillingssterkte op een willekeurige afstand tot het spoor worden bepaald. De gebruikte Barkanvergelijking luidt:

$$V(r, f) = V(r_0, f) \frac{r_0^{n(f)}}{r} e^{-\alpha(f)(r-r_0)}$$

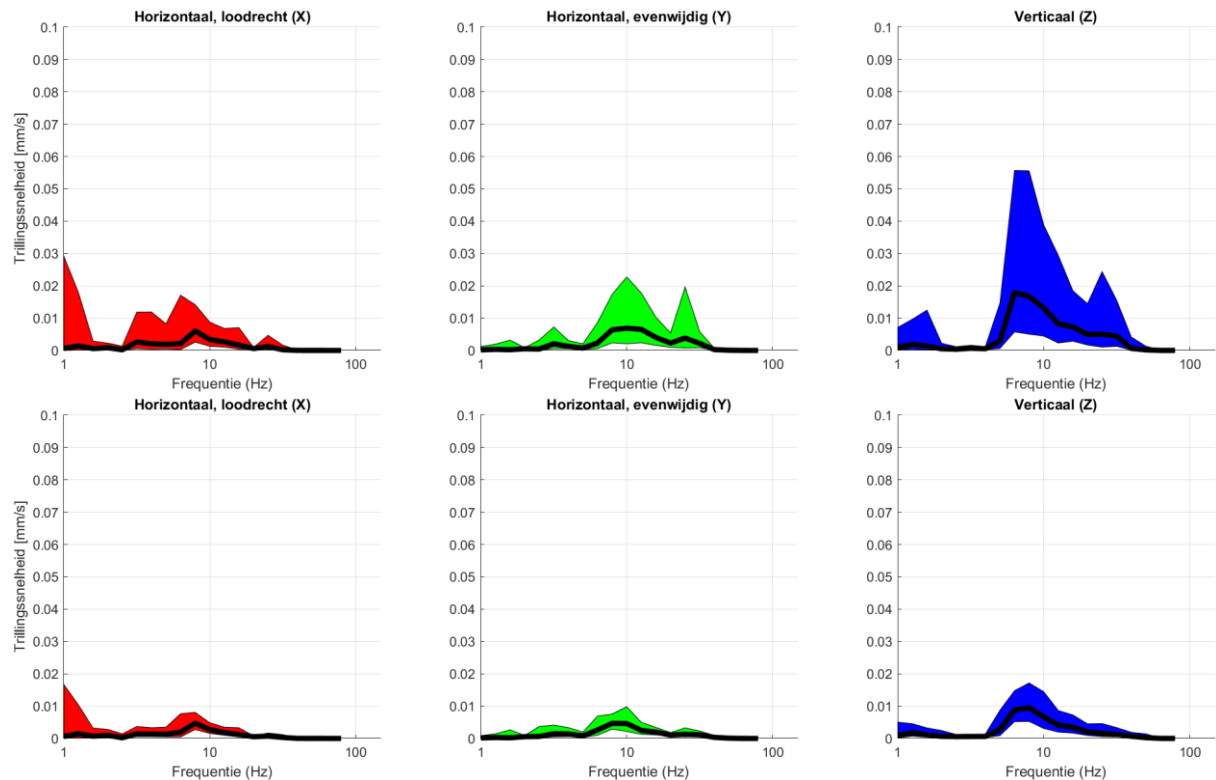
Hierin is $V(r, f)$ de trillingssterkte op een willekeurige afstand r tot de trillingsbron, r_0 een referentieafstand, n een frequentieafhankelijke factor die de geometrische uitbreiding van de trillingen beschrijft en α een frequentieafhankelijke factor die de bodemdemping beschrijft. Met behulp van de kleinste-kwadratenmethode is deze relatie voor elke frequentie in het tertsbandspectrum te bepalen. Resultaat van de maaiveldmetingen is per locatie een dempingsconstante, een geometrische uitbreidingsfactor en een trillingsspectrum op verschillende afstanden tot het spoor. De resultaten per meetlocatie zijn weergegeven in de volgende subparagrafen.

V.1 Vurehout - Zaandam

De bodemdemping en geometrische spreiding zijn weergegeven in Figuur 22. De trillingsspectra op 20 en 50 meter afstand van het spoor, in drie richtingen, voor treinen van het type VIRM zijn weergegeven in Figuur 23.



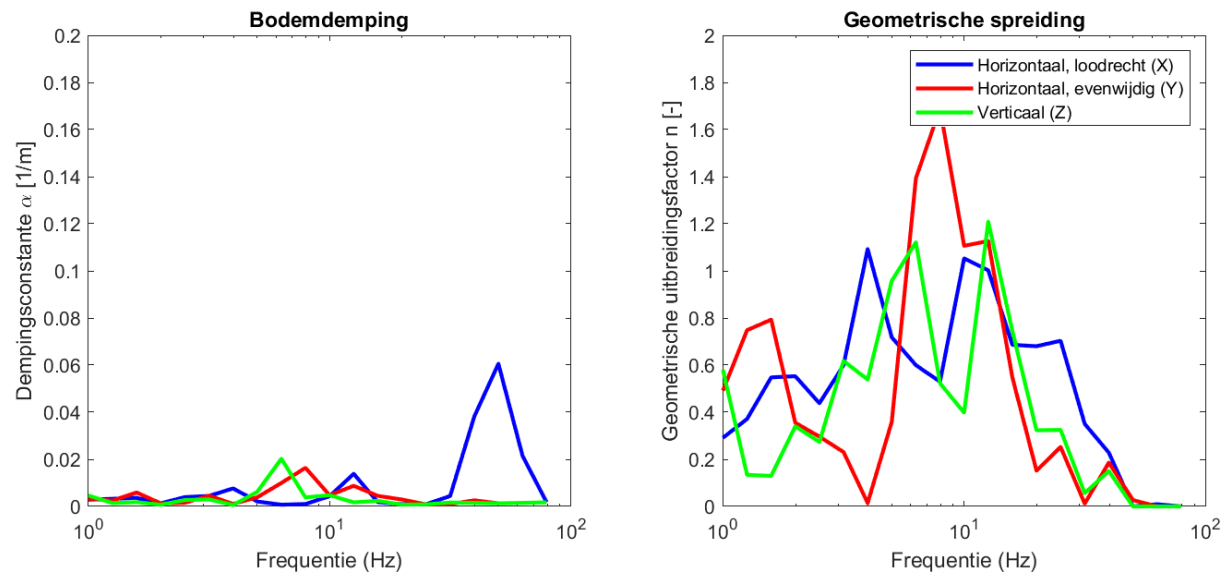
Figuur 22: Dampingsparameter (links) en geometrische uitbreidingsfactor als functie van de frequentie (rechts)



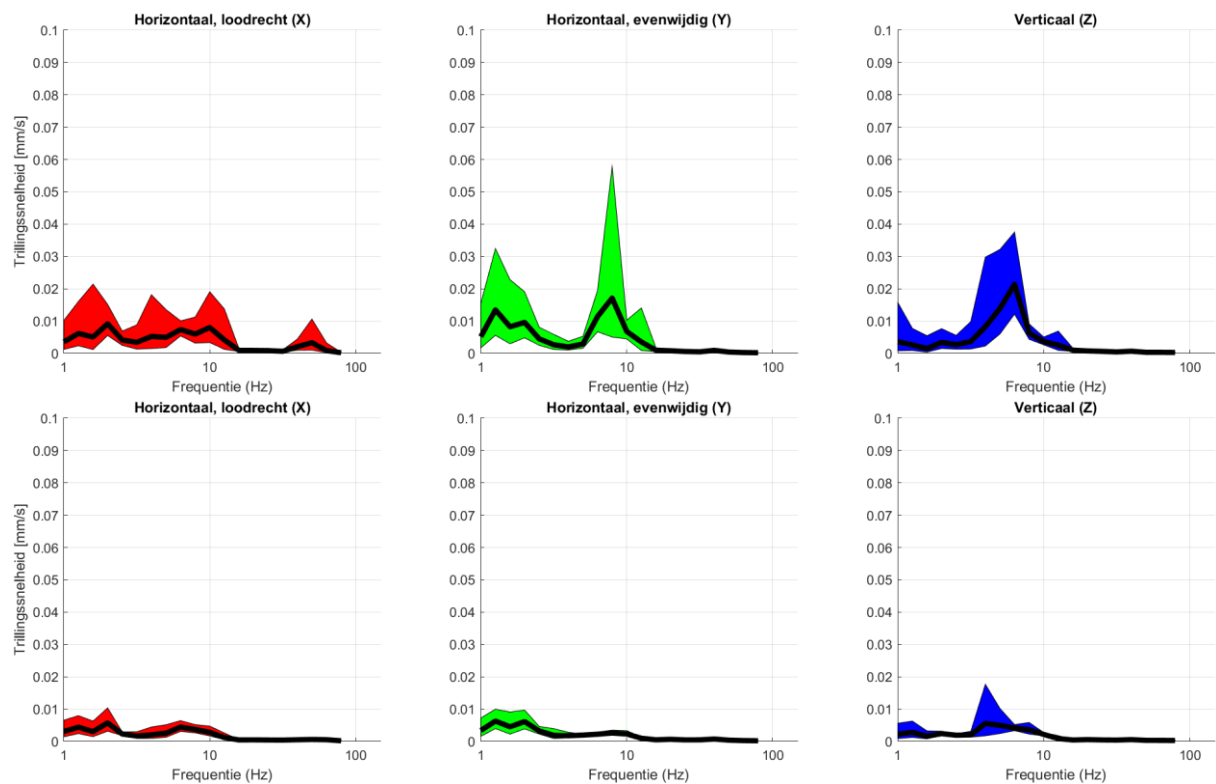
Figuur 23: Trillingsspectra (95 procentinterval) op 20 (boven) en 50 (onder) meter afstand

V.2 Oost-Indische kade - Wormerveer

De bodemdemping en geometrische spreiding zijn weergegeven in Figuur 24. De trillingsspectra op 20 en 50 meter, in drie richtingen, voor treinen van het type VIRM zijn weergegeven in Figuur 25.



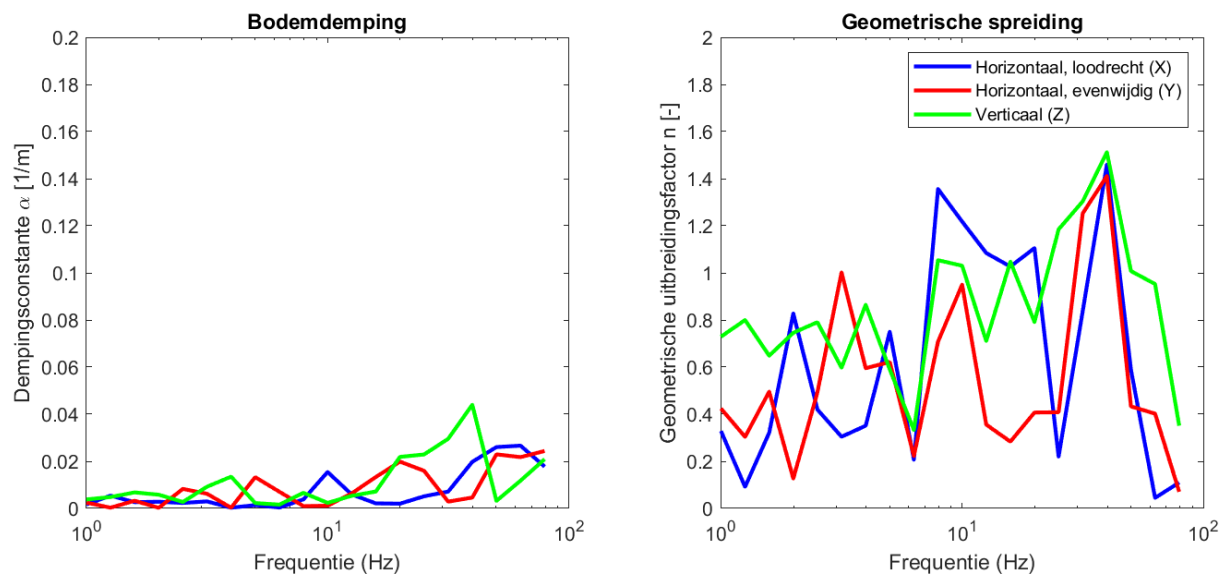
Figuur 24: Dampingsparameter (links) en geometrische uitbreidingsfactor als functie van de frequentie (rechts)



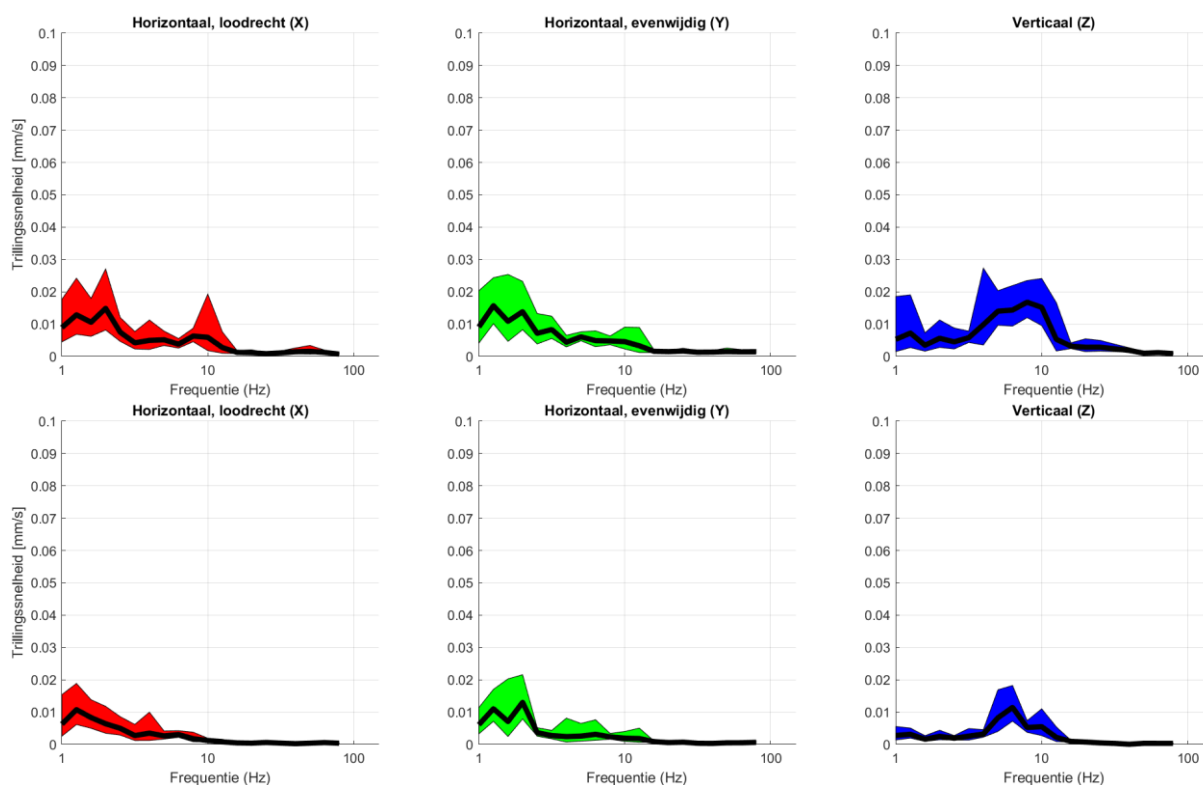
Figuur 25: Trillingsspectra (95 procentinterval) op 20 (boven) en 50 (onder) meter afstand

V.3 Warmoesstraat - Wormerveer

De bodemdemping en geometrische spreiding zijn weergegeven in Figuur 26. De trillingsspectra op 20 en 50 meter, in drie richtingen, voor treinen van het type VIRM zijn weergegeven in Figuur 27.



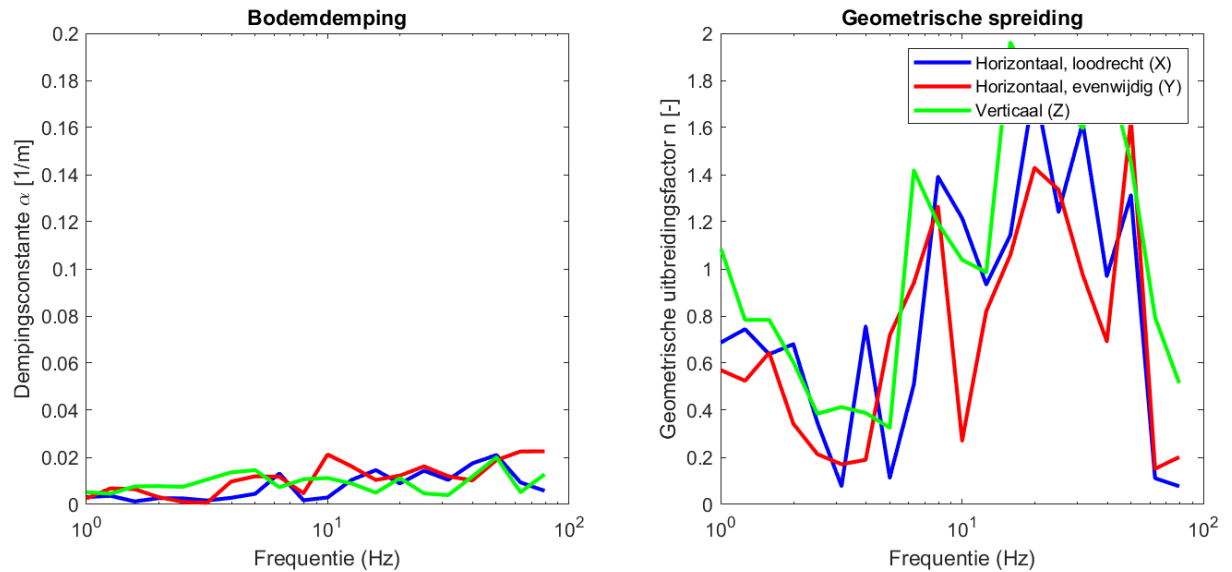
Figuur 26: Dampingsparameter (links) en geometrische uitbreidingsfactor als functie van de frequentie (rechts)



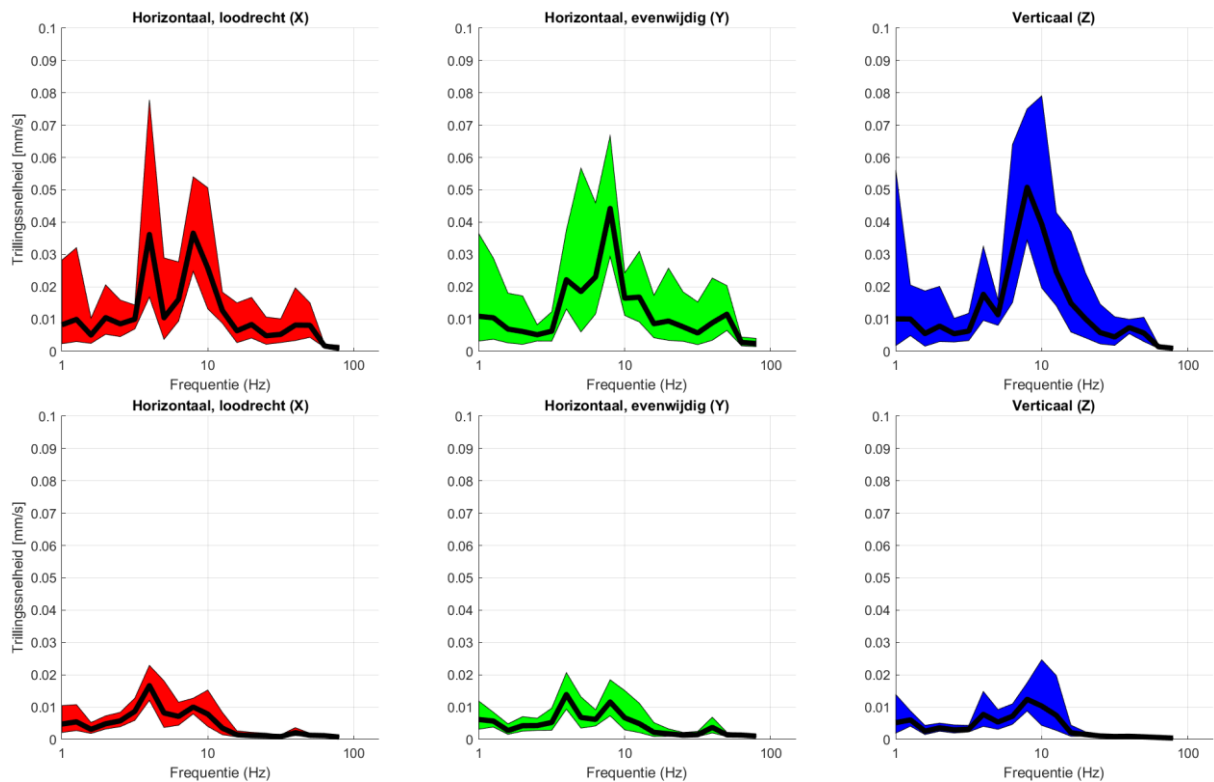
Figuur 27: Trillingsspectra (95 procentinterval) op 20 (boven) en 50 (onder) meter afstand

V.4 Wisselwachter - Assendelft

De bodemdemping en geometrische spreiding zijn weergegeven in Figuur 28. De trillingsspectra op 20 en 50 meter, in drie richtingen, voor treinen van het type VIRM zijn weergegeven in Figuur 29.



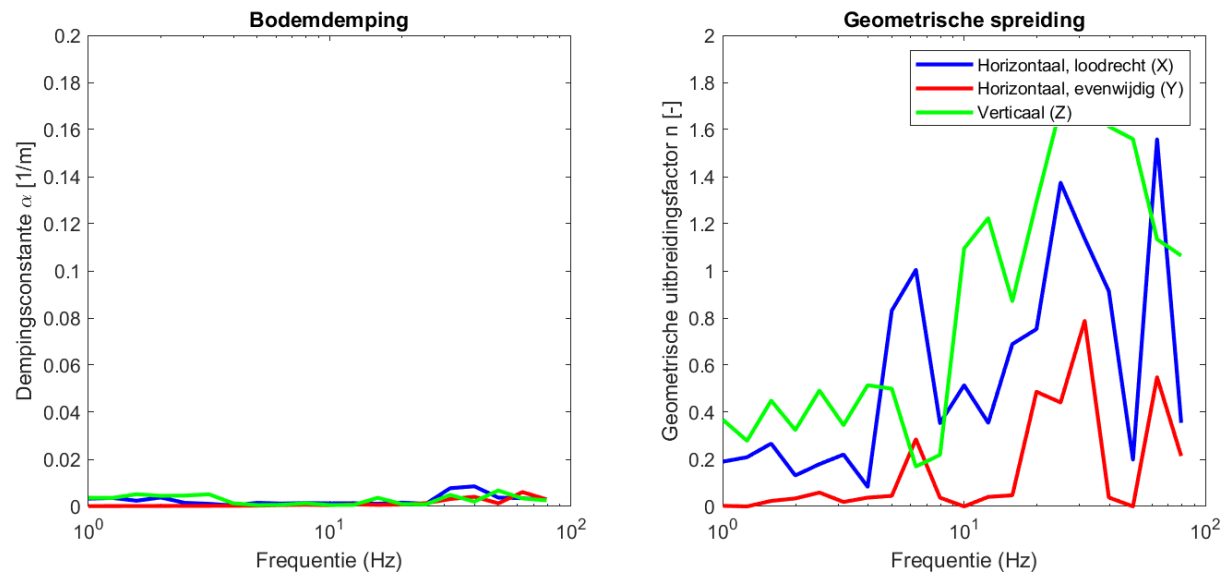
Figuur 28: Dampingsparameter (links) en geometrische uitbreidingsfactor als functie van de frequentie (rechts)



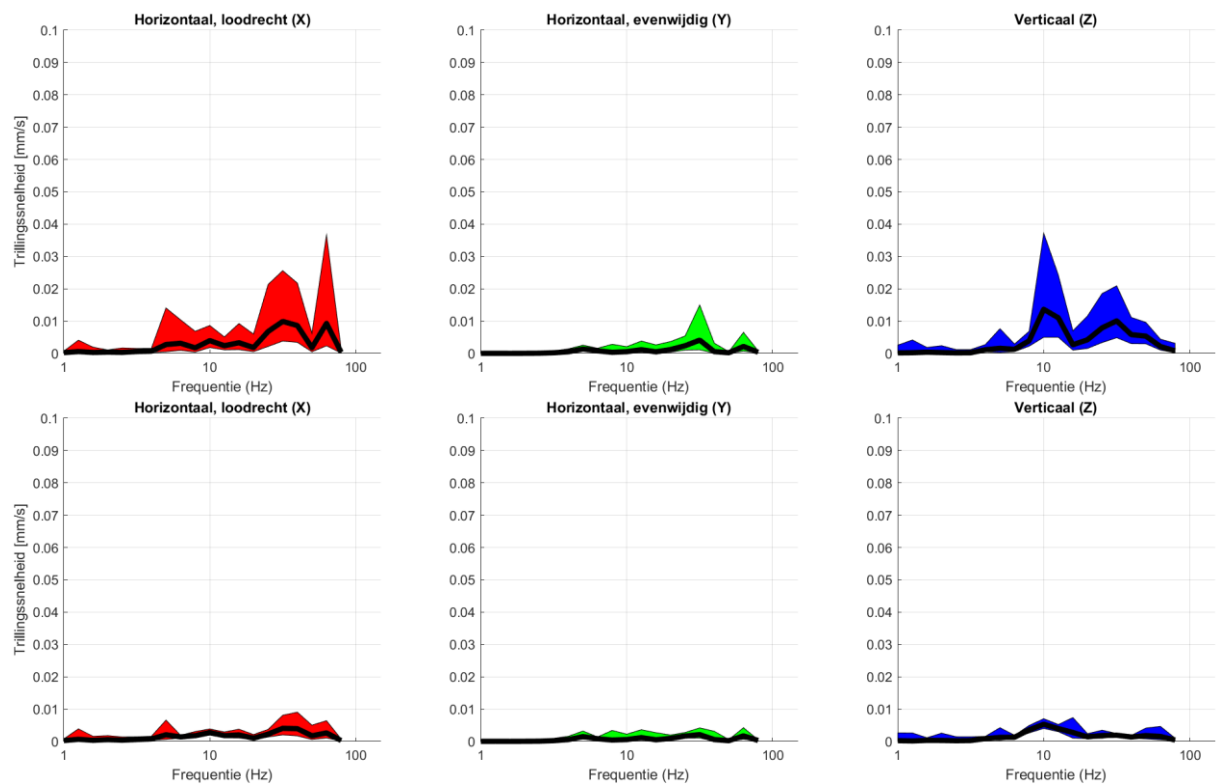
Figuur 29: Trillingsspectra (95 procentinterval) op 20 (boven) en 50 (onder) meter afstand

V.5 Anna van Renesselaan - Uitgeest

De bodemdemping en geometrische spreiding zijn weergegeven in Figuur 30. De trillingsspectra op 20 en 50 meter, in drie richtingen, voor treinen van het type VIRM zijn weergegeven in Figuur 31.



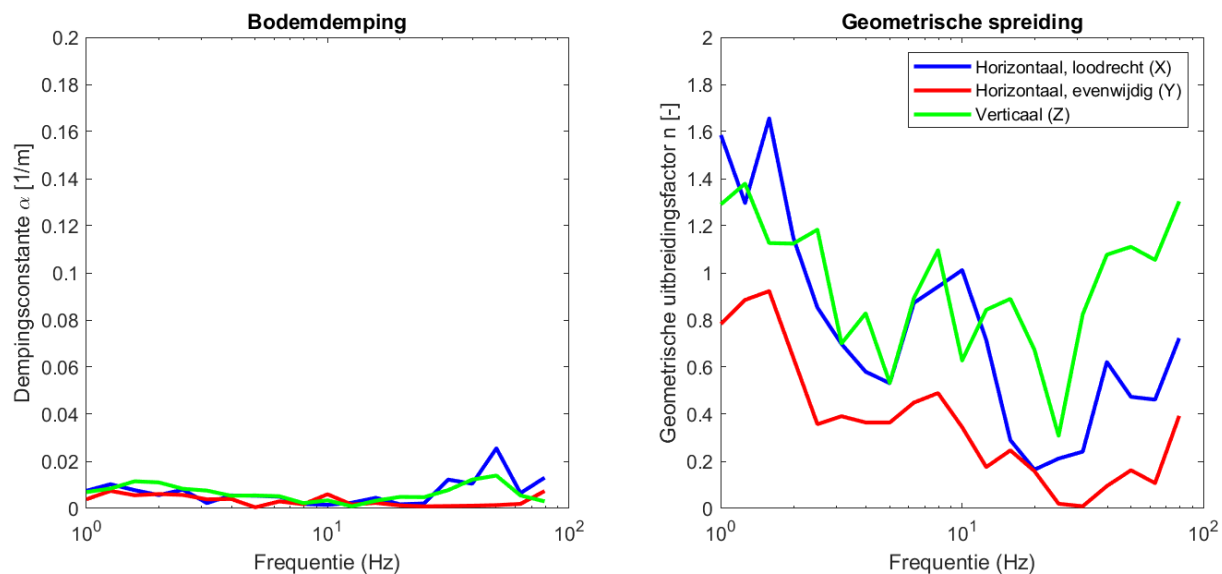
Figuur 30: Dampingsparameter (links) en geometrische uitbreidingsfactor als functie van de frequentie (rechts)



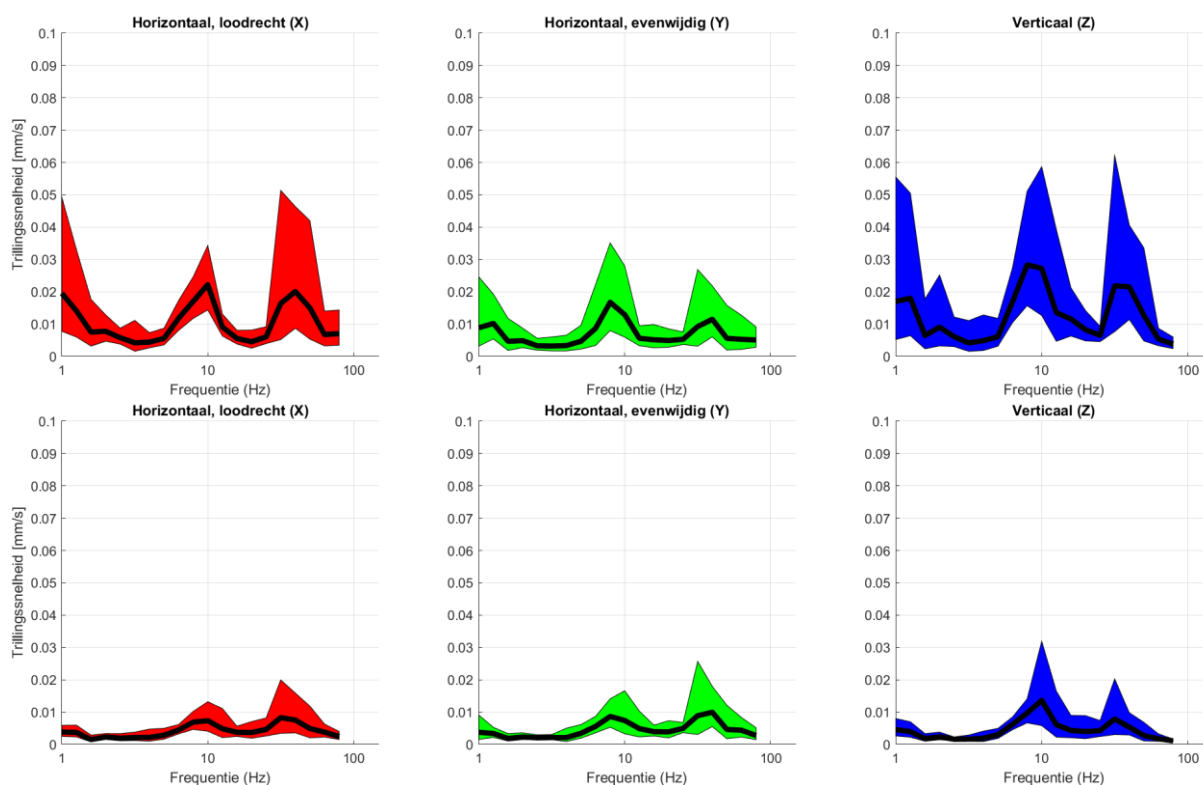
Figuur 31: Trillingsspectra (95 procentinterval) op 20 (boven) en 50 (onder) meter afstand

V.6 Zuster Vahlstraat - Castricum

De bodemdemping en geometrische spreiding zijn weergegeven in Figuur 32. De trillingsspectra op 20 en 50 meter, in drie richtingen, voor treinen van het type VIRM zijn weergegeven in Figuur 33.



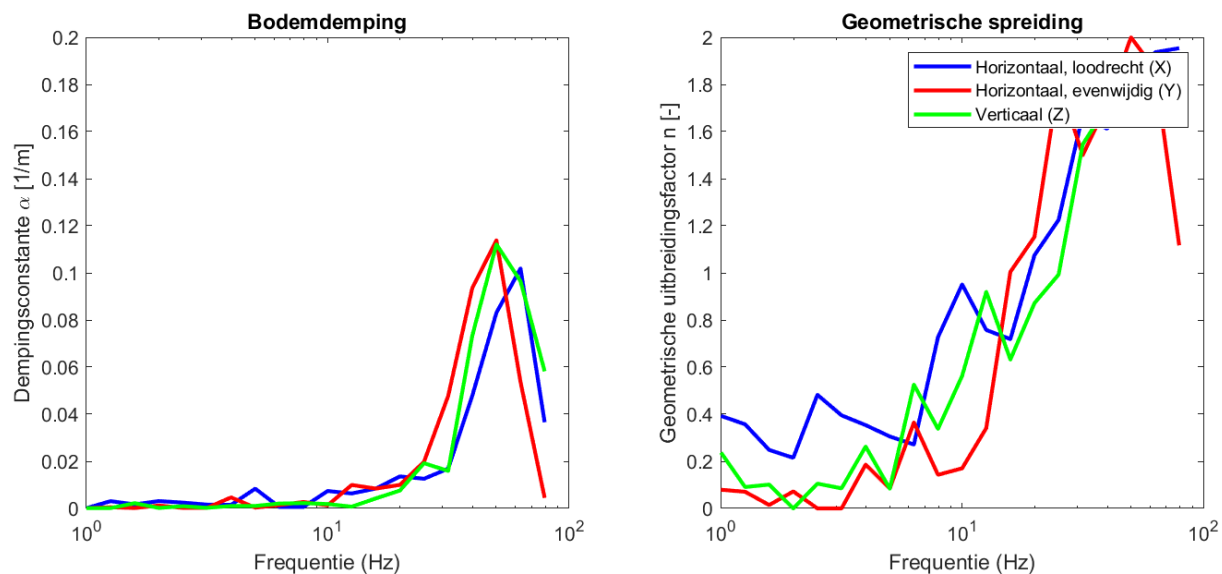
Figuur 32: Dampingsparameter (links) en geometrische uitbreidingsfactor als functie van de frequentie (rechts)



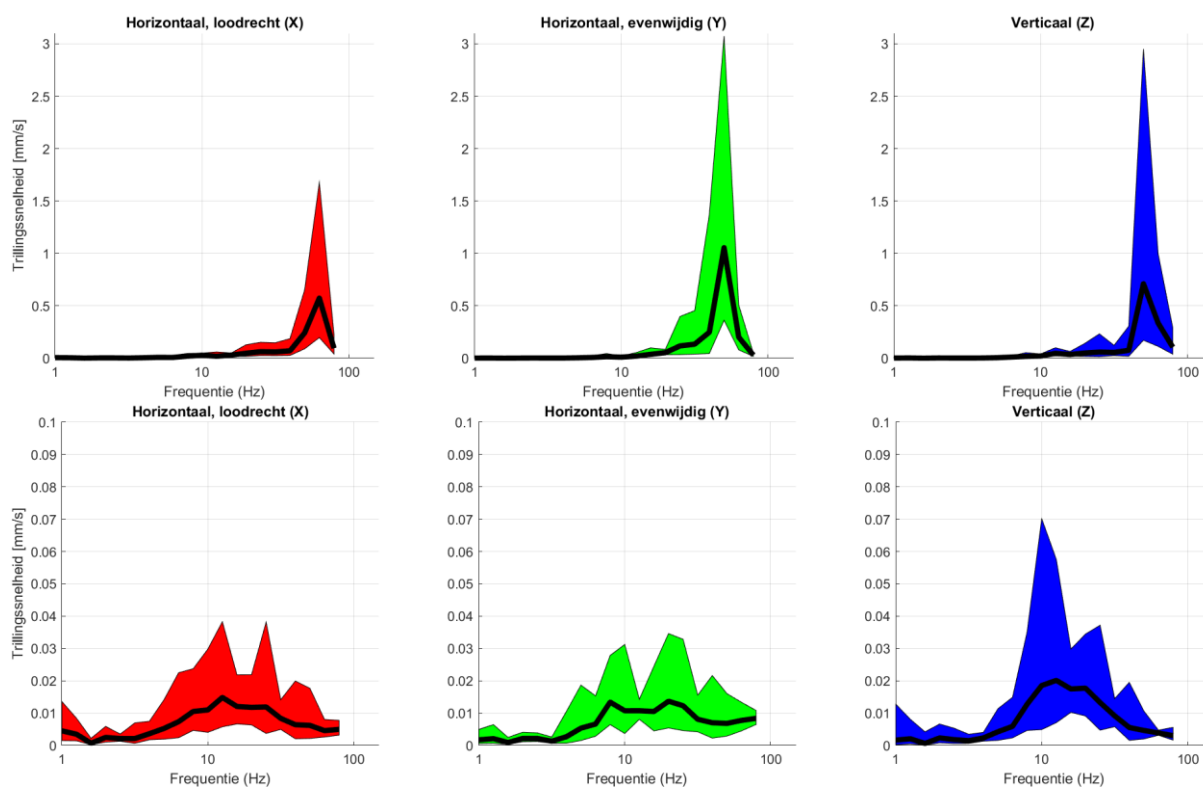
Figuur 33: Trillingsspectra (95 procentinterval) op 20 (boven) en 50 (onder) meter afstand

V.7 Kramersweg - Castricum

De bodemdemping en geometrische spreiding zijn weergegeven in Figuur 34. De trillingspectra op 20 en 50 meter, in drie richtingen, voor treinen van het type VIRM zijn weergegeven in Figuur 35.



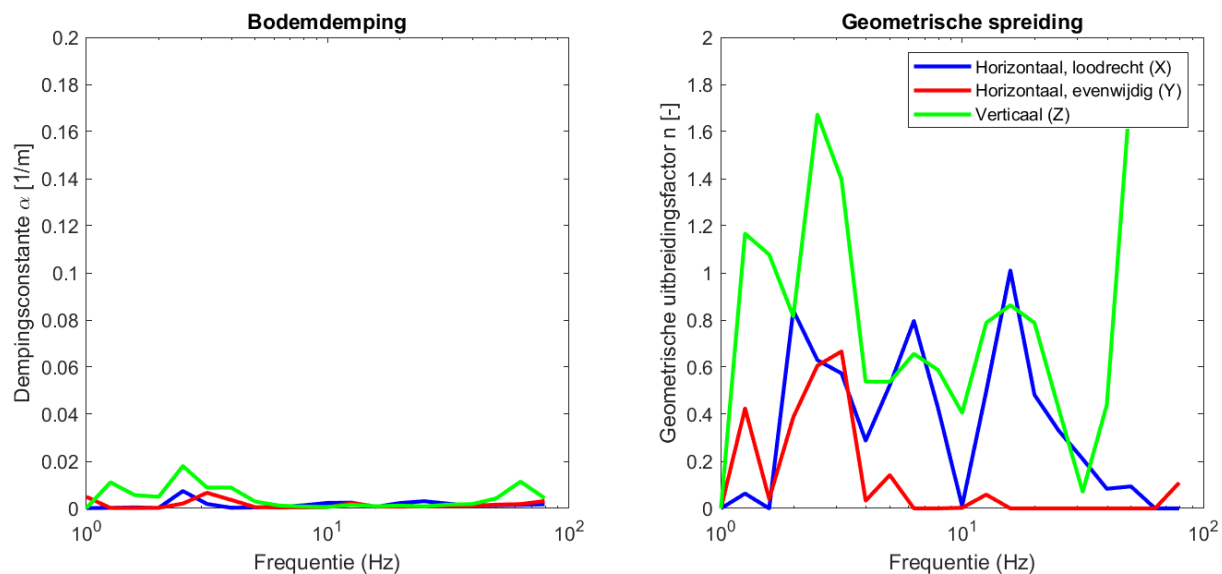
Figuur 34: Dampingsparameter (links) en geometrische uitbreidingsfactor als functie van de frequentie (rechts)



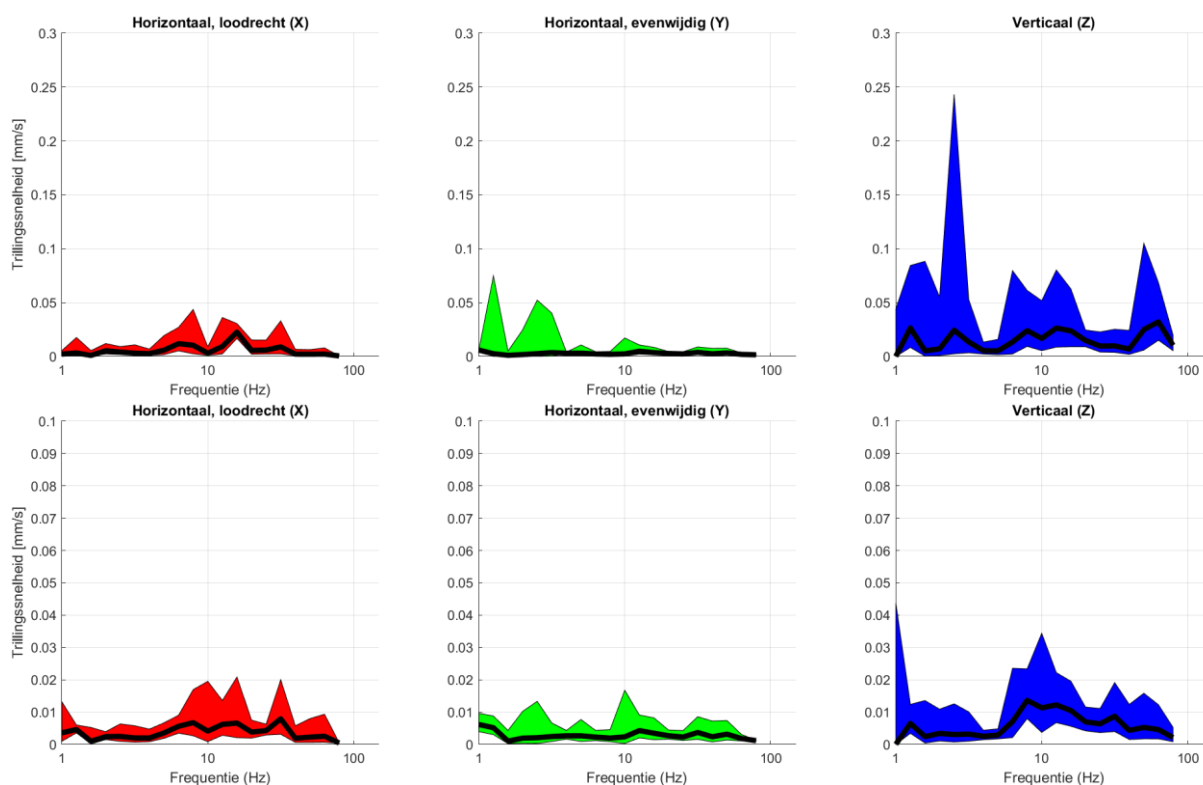
Figuur 35: Trillingspectra (95 procentinterval) op 20 (boven) en 50 (onder) meter afstand

V.8 Brakenburgstraat - Castricum

De bodemdemping en geometrische spreiding zijn weergegeven in Figuur 36. De trillingsspectra op 20 en 50 meter, in drie richtingen, voor treinen van het type VIRM zijn weergegeven in Figuur 37.



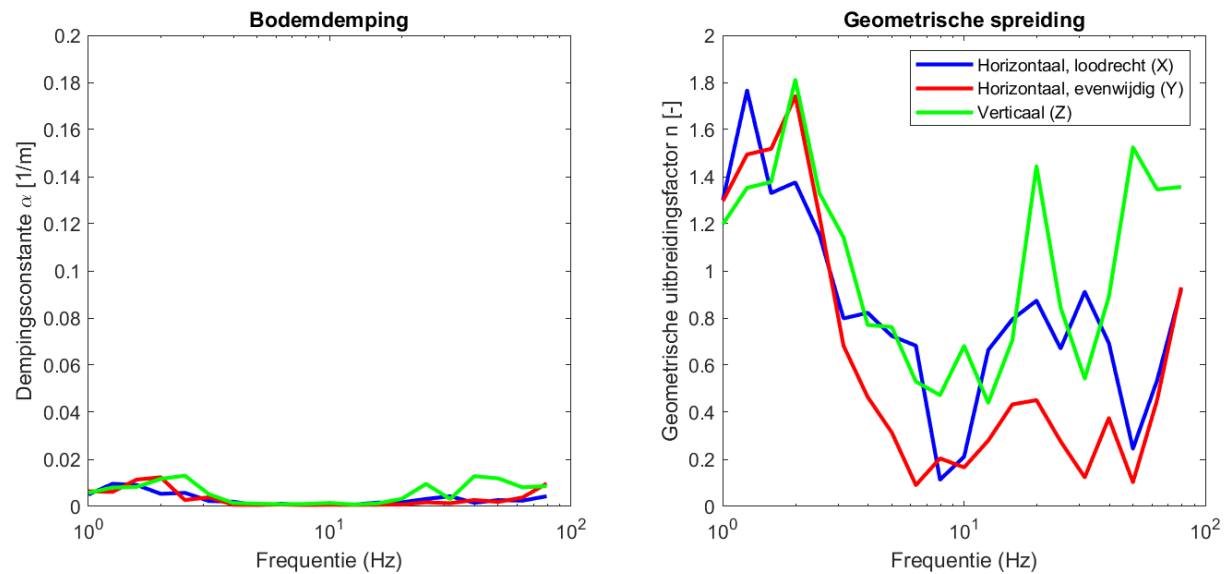
Figuur 36: Dampingsparameter (links) en geometrische uitbreidingsfactor als functie van de frequentie (rechts)



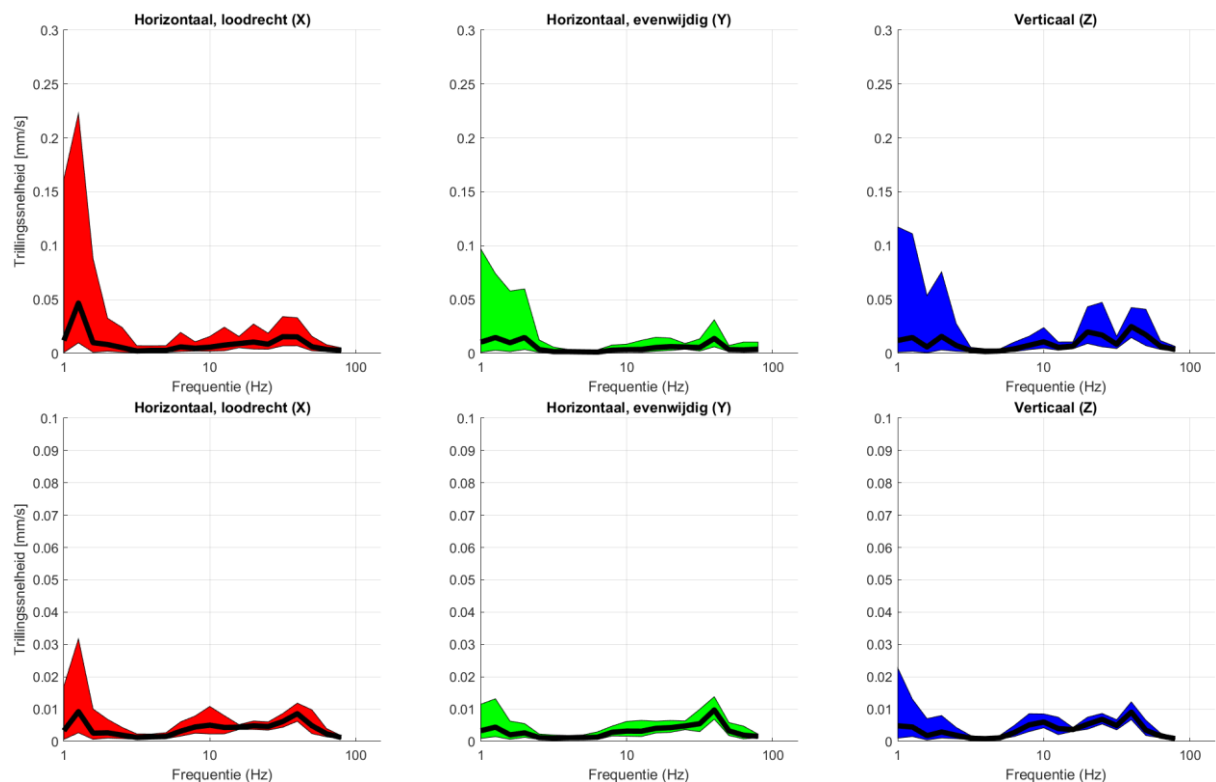
Figuur 37: Trillingsspectra (95 procentinterval) op 20 (boven) en 50 (onder) meter afstand

V.9 Ruitersweg - Castricum

De bodemdemping en geometrische spreiding zijn weergegeven in Figuur 38. De trillingsspectra op 20 en 50 meter, in drie richtingen, voor treinen van het type VIRM zijn weergegeven in Figuur 39.



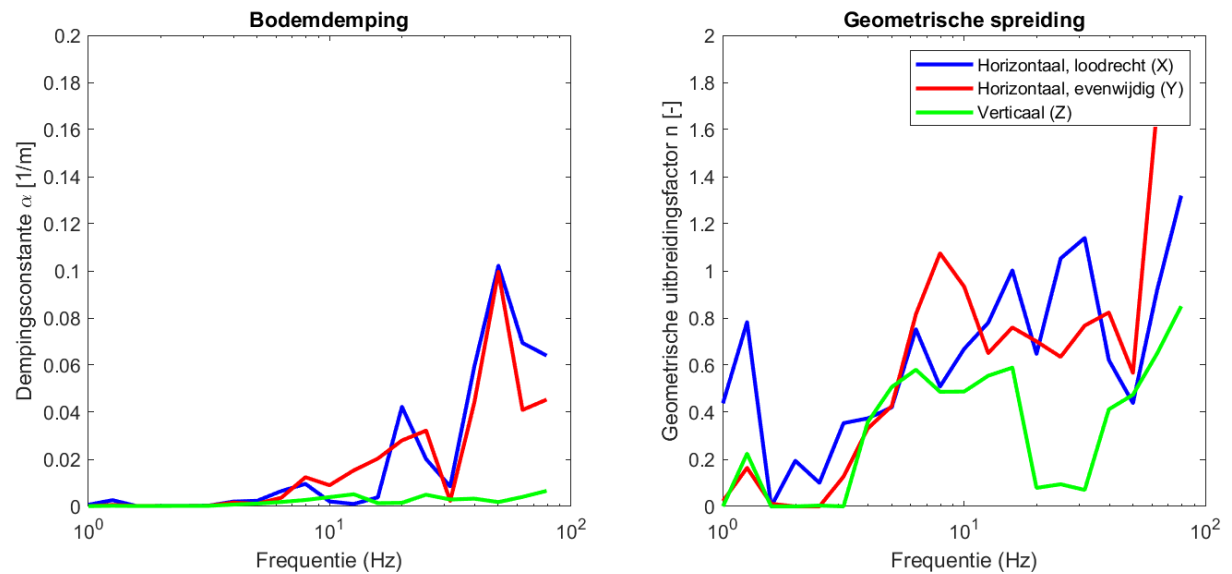
Figuur 38: Dampingsparameter (links) en geometrische uitbreidingsfactor als functie van de frequentie (rechts)



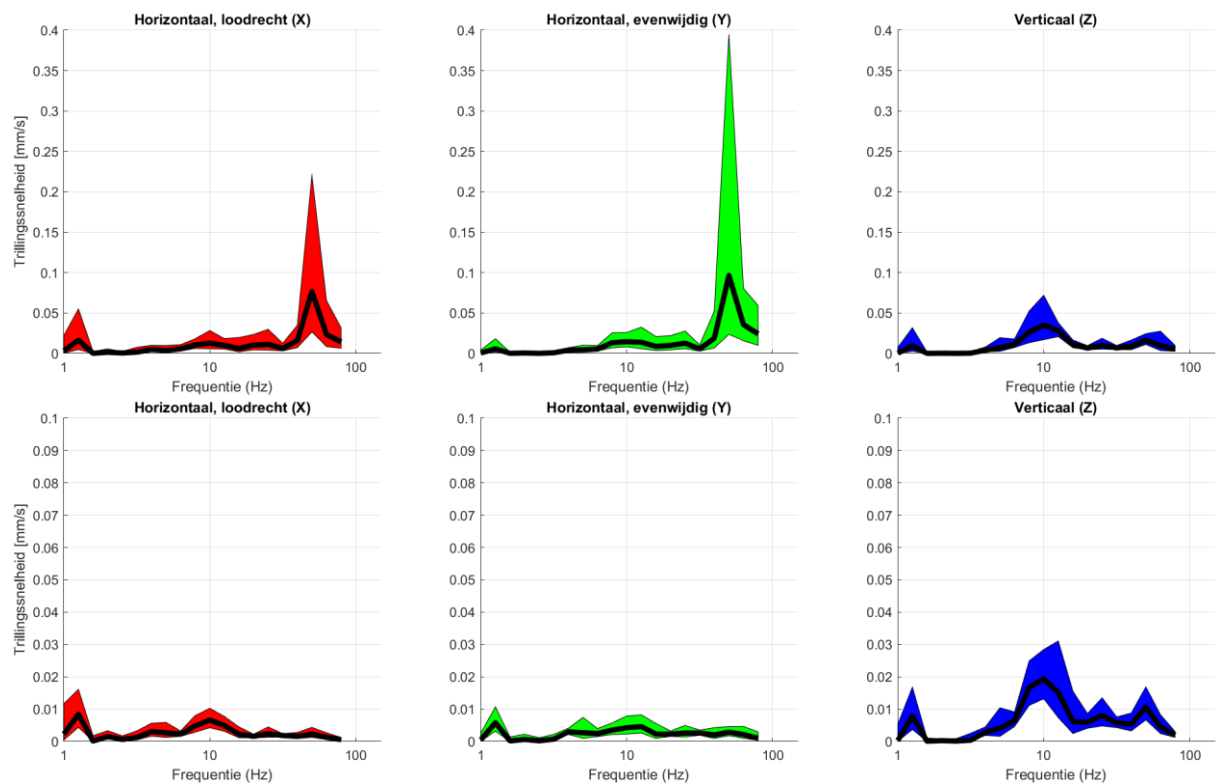
Figuur 39: Trillingsspectra (95 procentinterval) op 20 (boven) en 50 (onder) meter afstand

V.10 Schulpstet - Castricum

De bodemdemping en geometrische spreiding zijn weergegeven in Figuur 40. De trillingsspectra op 20 en 50 meter, in drie richtingen, voor treinen van het type VIRM zijn weergegeven in Figuur 41.



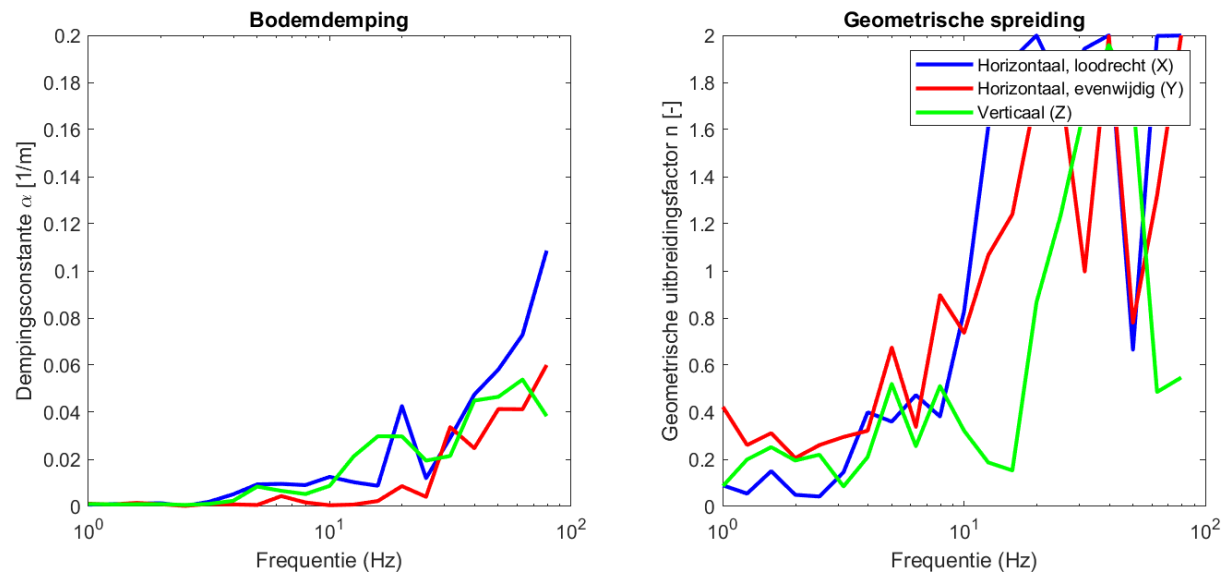
Figuur 40: Dampingsparameter (links) en geometrische uitbreidingsfactor als functie van de frequentie (rechts)



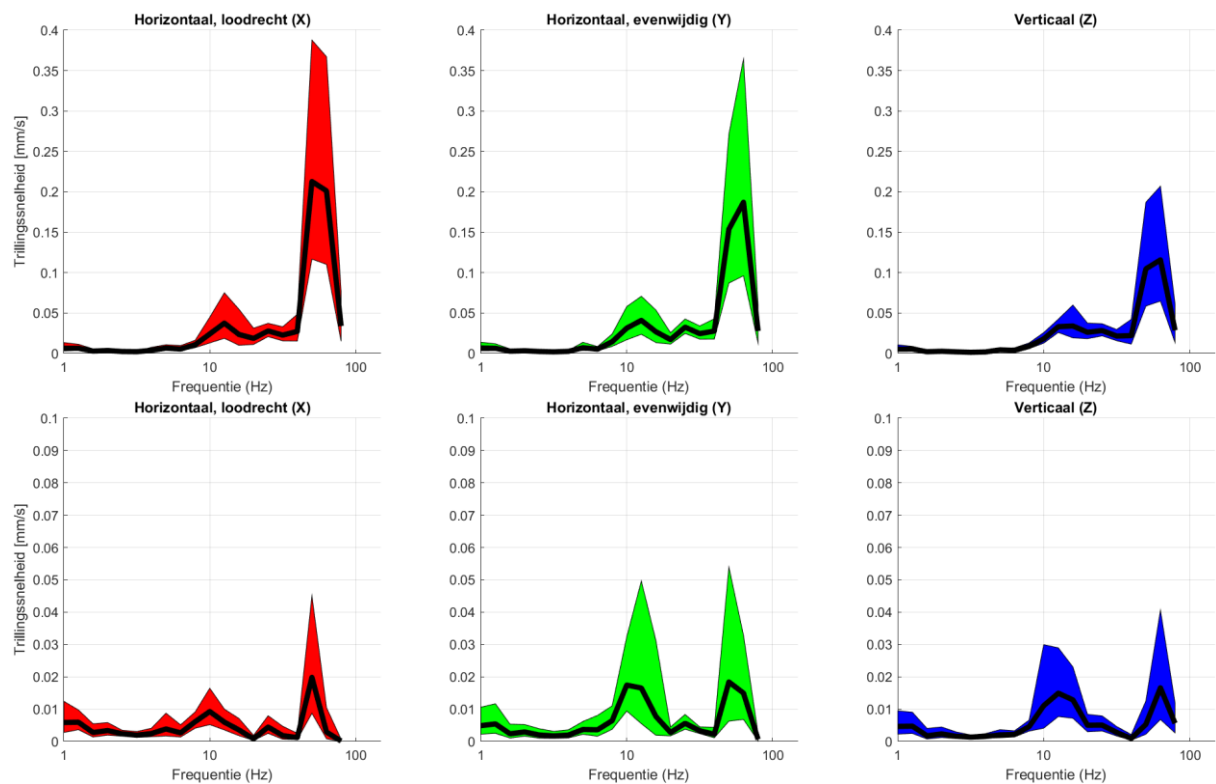
Figuur 41: Trillingsspectra (95 procentinterval) op 20 (boven) en 50 (onder) meter afstand

V.11 Visweg - Limmen

De bodemdemping en geometrische spreiding zijn weergegeven in Figuur 42. De trillingsspectra op 20 en 50 meter, in drie richtingen, voor treinen van het type VIRM zijn weergegeven in Figuur 43.



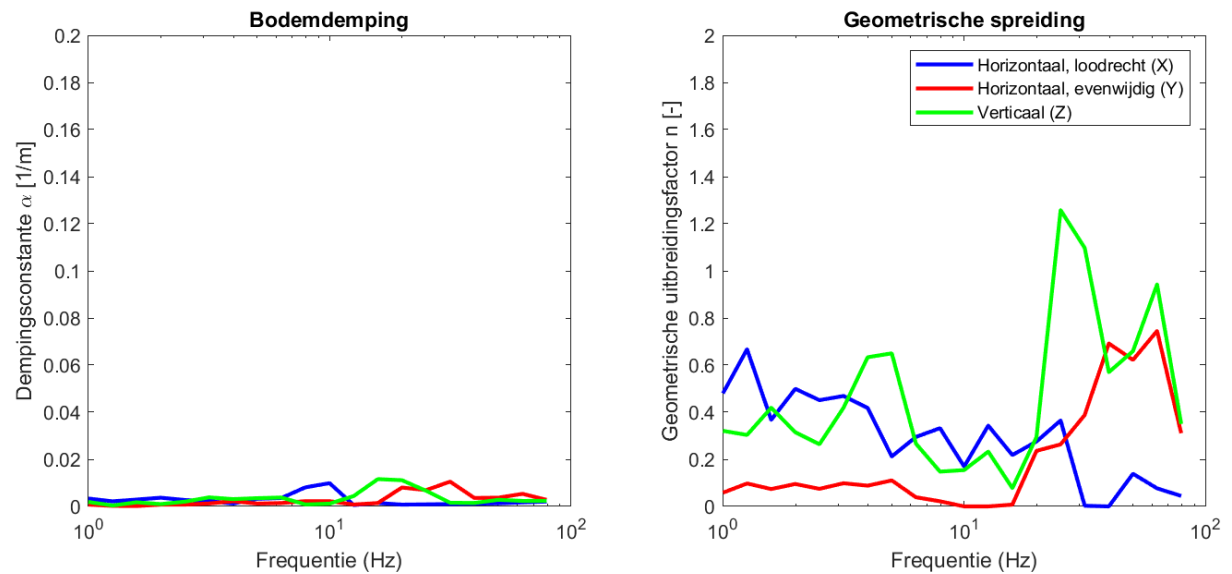
Figuur 42: Dampingsparameter (links) en geometrische uitbreidingsfactor als functie van de frequentie (rechts)



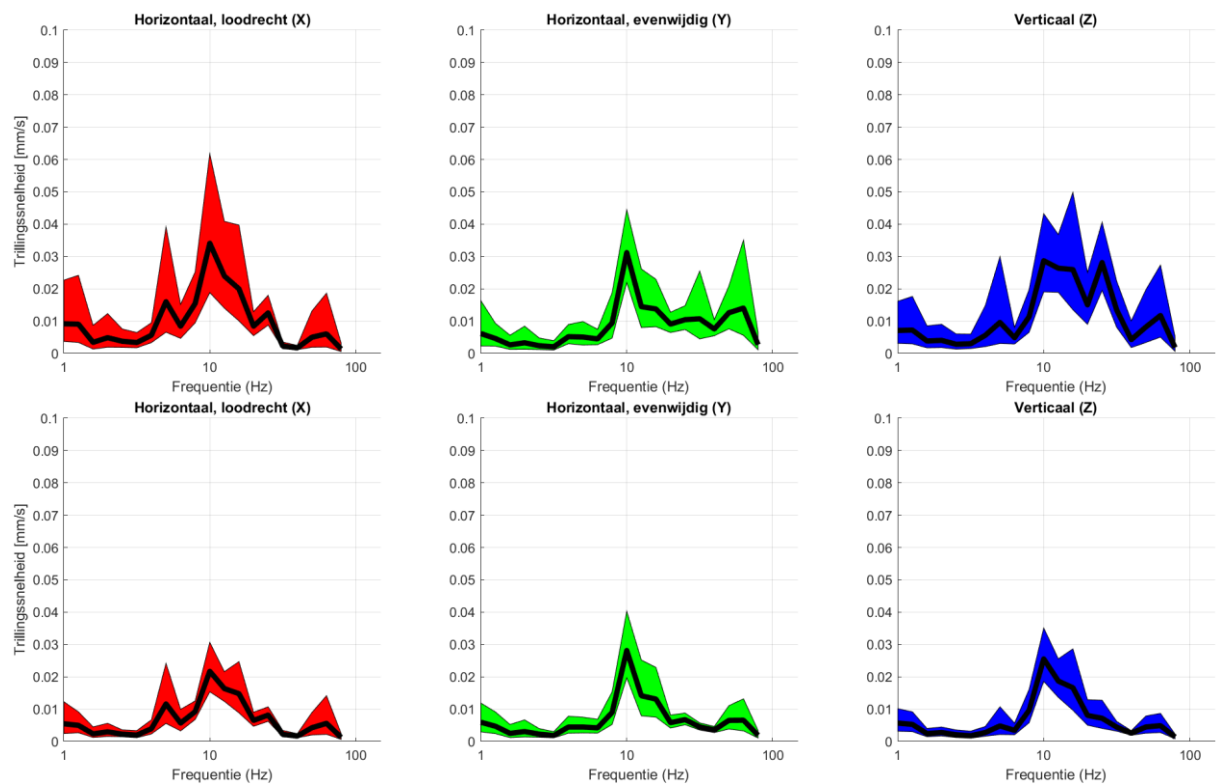
Figuur 43: Trillingsspectra (95 procentinterval) op 20 (boven) en 50 (onder) meter afstand

V.12 Korte Kapellaan - Heiloo

De bodemdemping en geometrische spreiding zijn weergegeven in Figuur 44. De trillingsspectra op 20 en 50 meter, in drie richtingen, voor treinen van het type VIRM zijn weergegeven in Figuur 45.



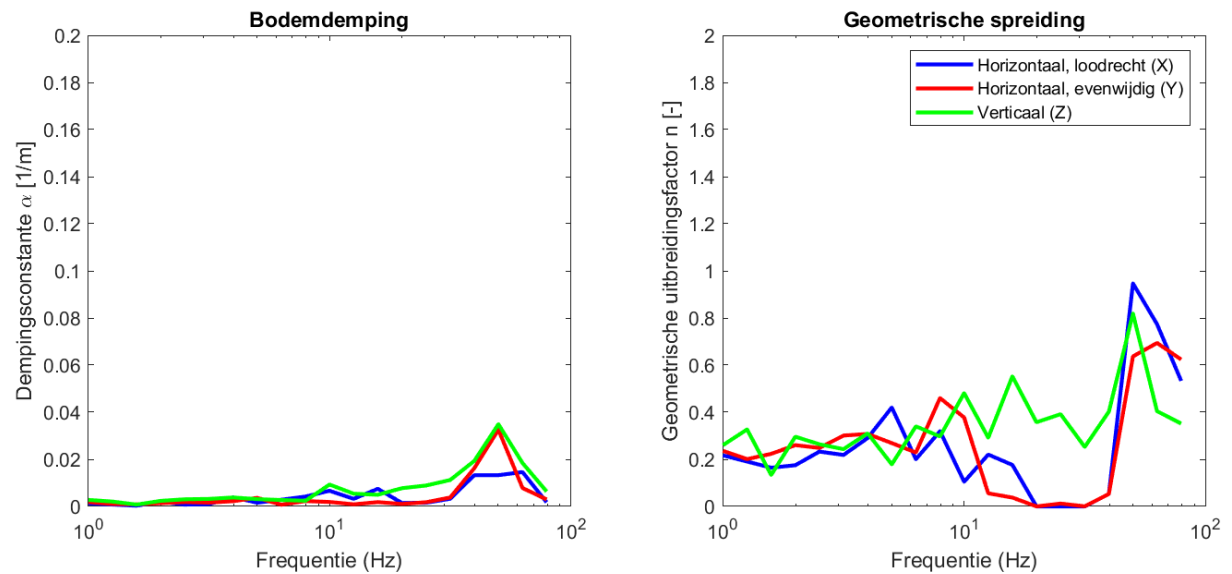
Figuur 44: Dampingsparameter (links) en geometrische uitbreidingsfactor als functie van de frequentie (rechts)



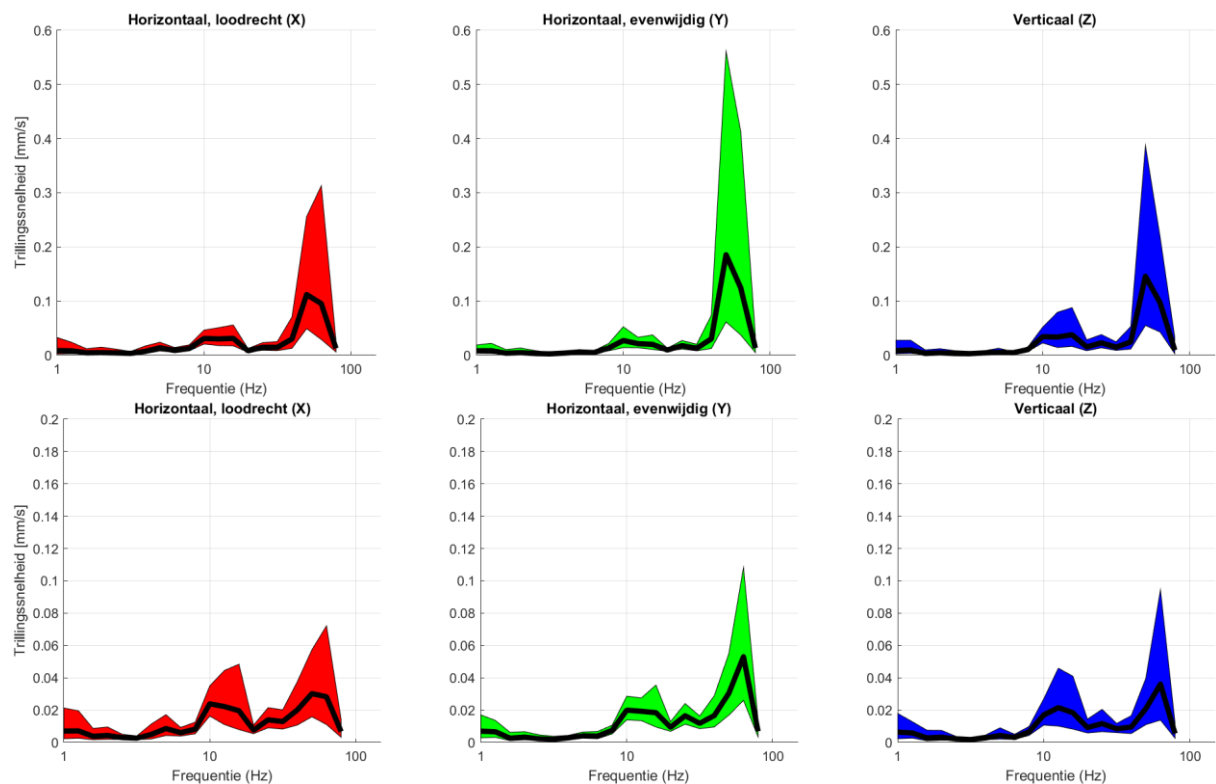
Figuur 45: Trillingsspectra (95 procentsinterval) op 20 (boven) en 50 (onder) meter afstand

V.13 Groeneweg zuid - Heiloo

De bodemdemping en geometrische spreiding zijn weergegeven in Figuur 46. De trillingspectra op 20 en 50 meter, in drie richtingen, voor treinen van het type ICM zijn weergegeven in Figuur 47.



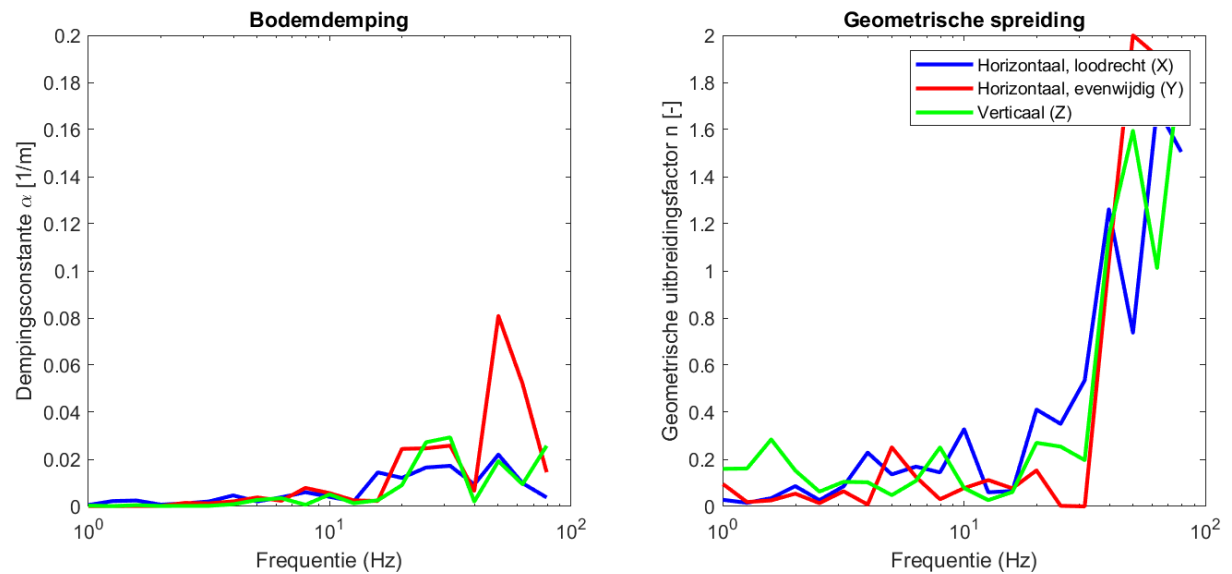
Figuur 46: Dampingsparameter (links) en geometrische uitbreidingsfactor als functie van de frequentie (rechts)



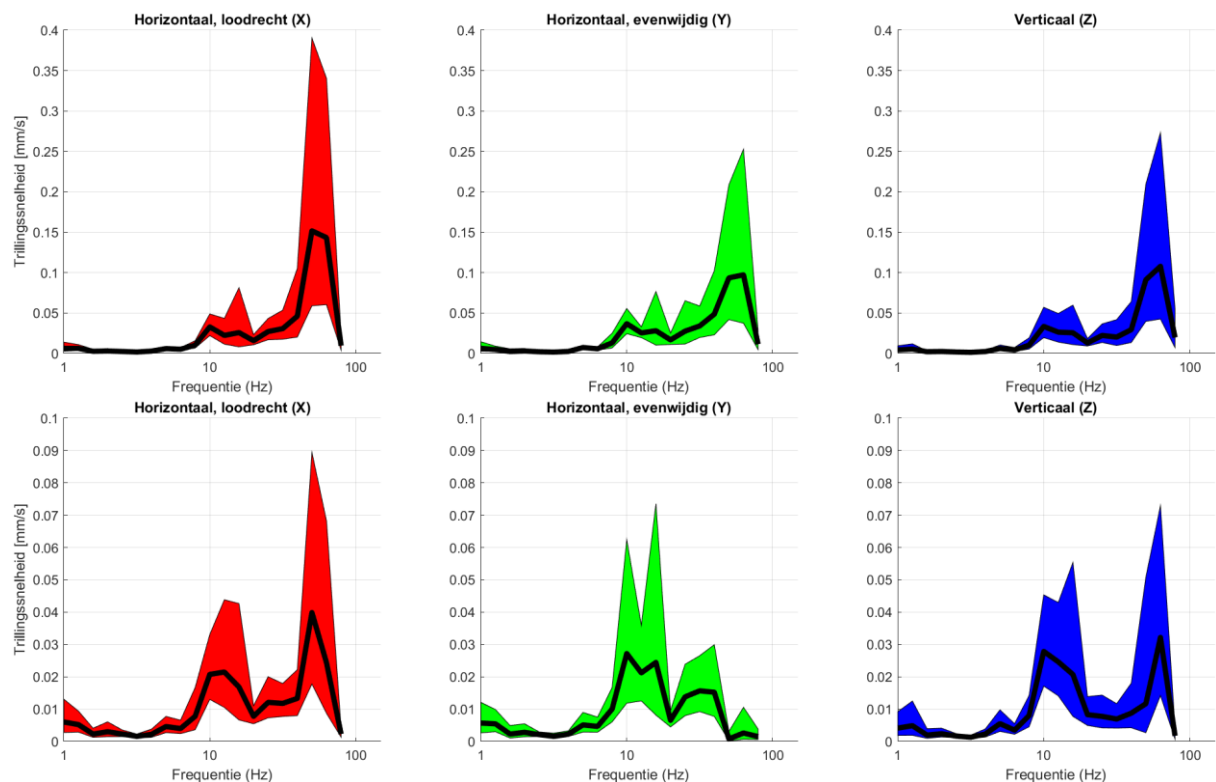
Figuur 47: Trillingspectra (95 procentinterval) op 20 (boven) en 50 (onder) meter afstand

V.14 Groeneweg noord - Heiloo

De bodemdemping en geometrische spreiding zijn weergegeven in Figuur 48. De trillingsspectra op 20 en 50 meter, in drie richtingen, voor treinen van het type VIRM zijn weergegeven in Figuur 49.



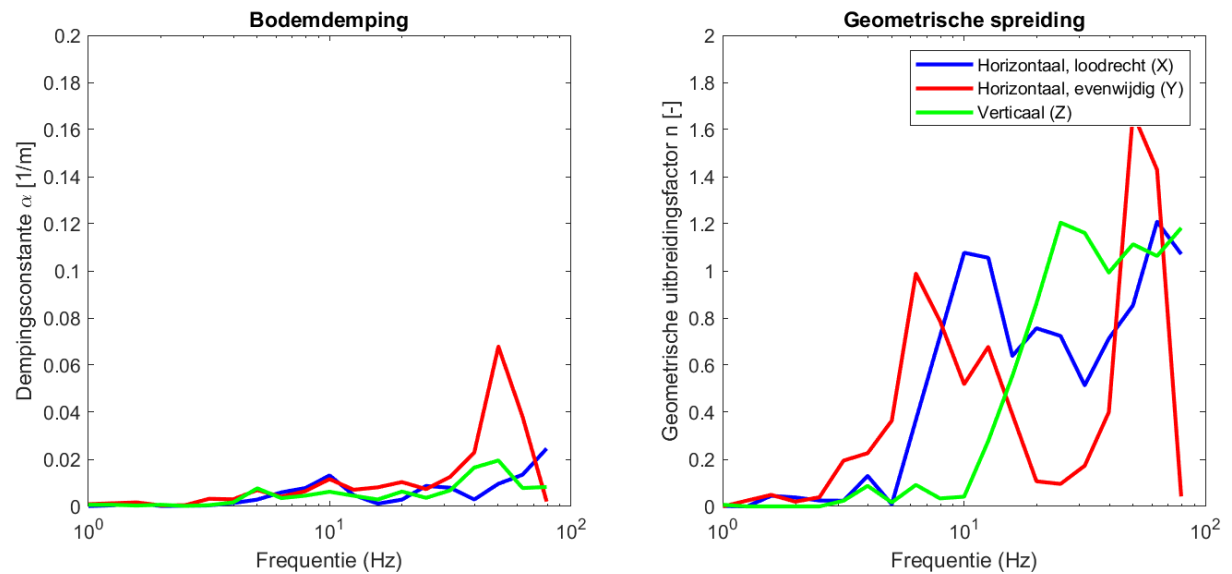
Figuur 48: Dampingsparameter (links) en geometrische uitbreidingsfactor als functie van de frequentie (rechts)



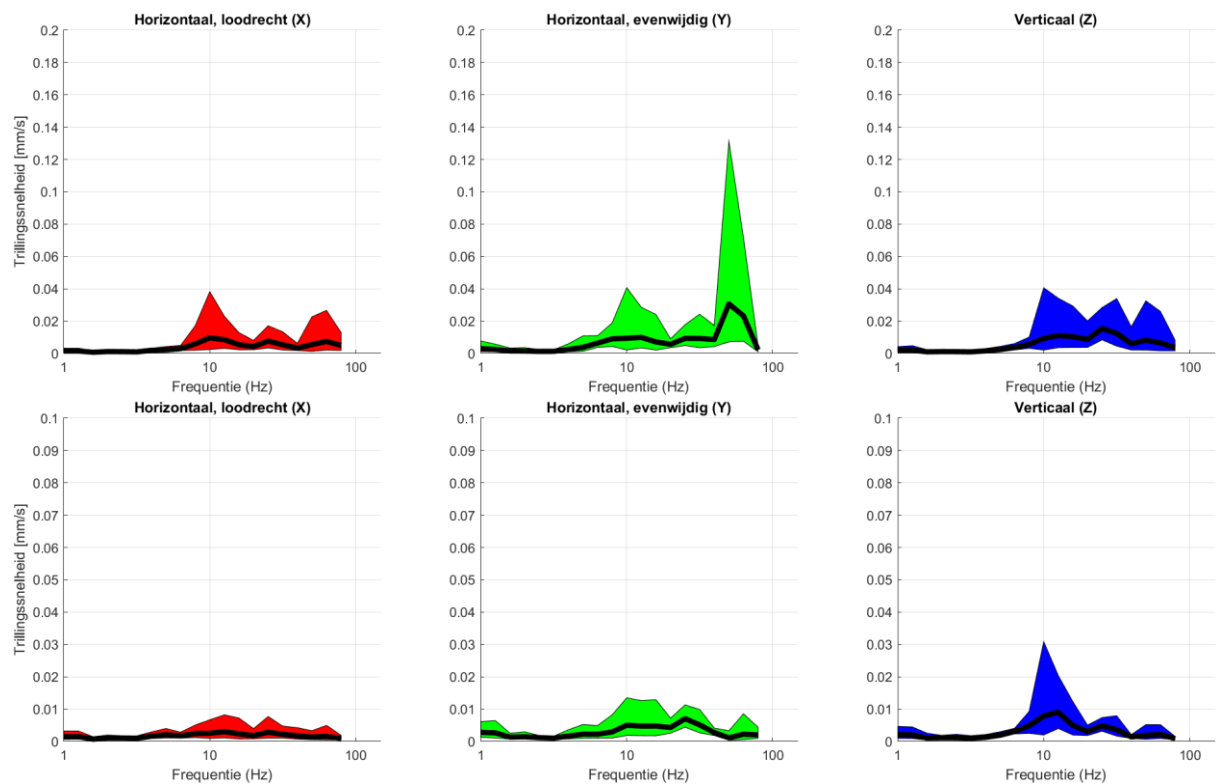
Figuur 49: Trillingsspectra (95 procentinterval) op 20 (boven) en 50 (onder) meter afstand

V.15 De Elba - Heiloo

De bodemdemping en geometrische spreiding zijn weergegeven in Figuur 50. De trillingsspectra op 20 en 50 meter, in drie richtingen, voor treinen van het type VIRM zijn weergegeven in Figuur 51.



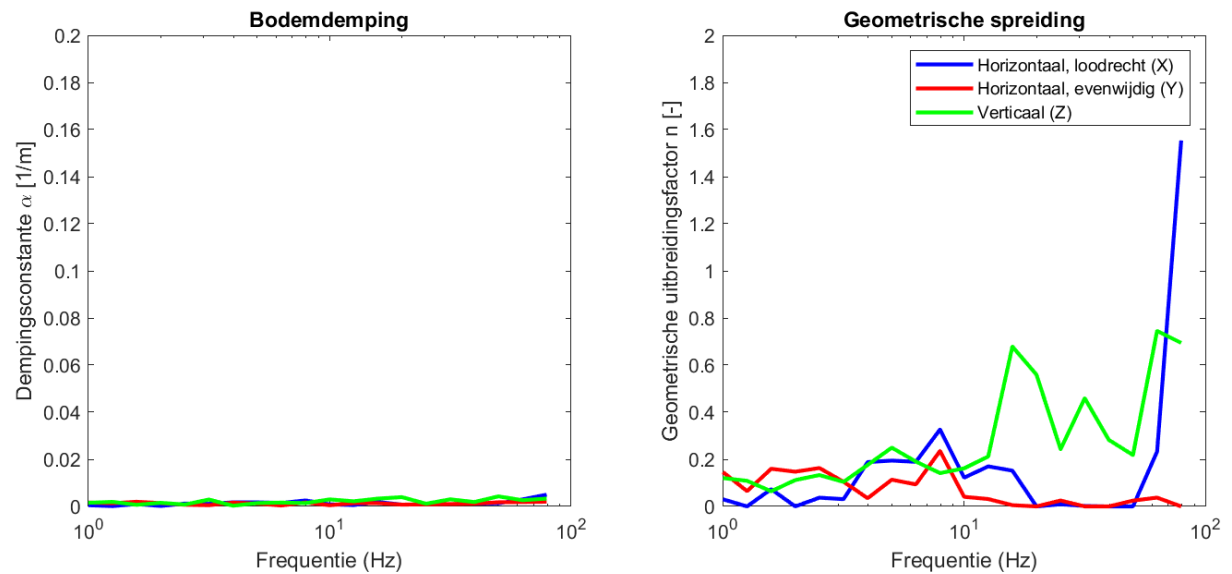
Figuur 50: Dampingsparameter (links) en geometrische uitbreidingsfactor als functie van de frequentie (rechts)



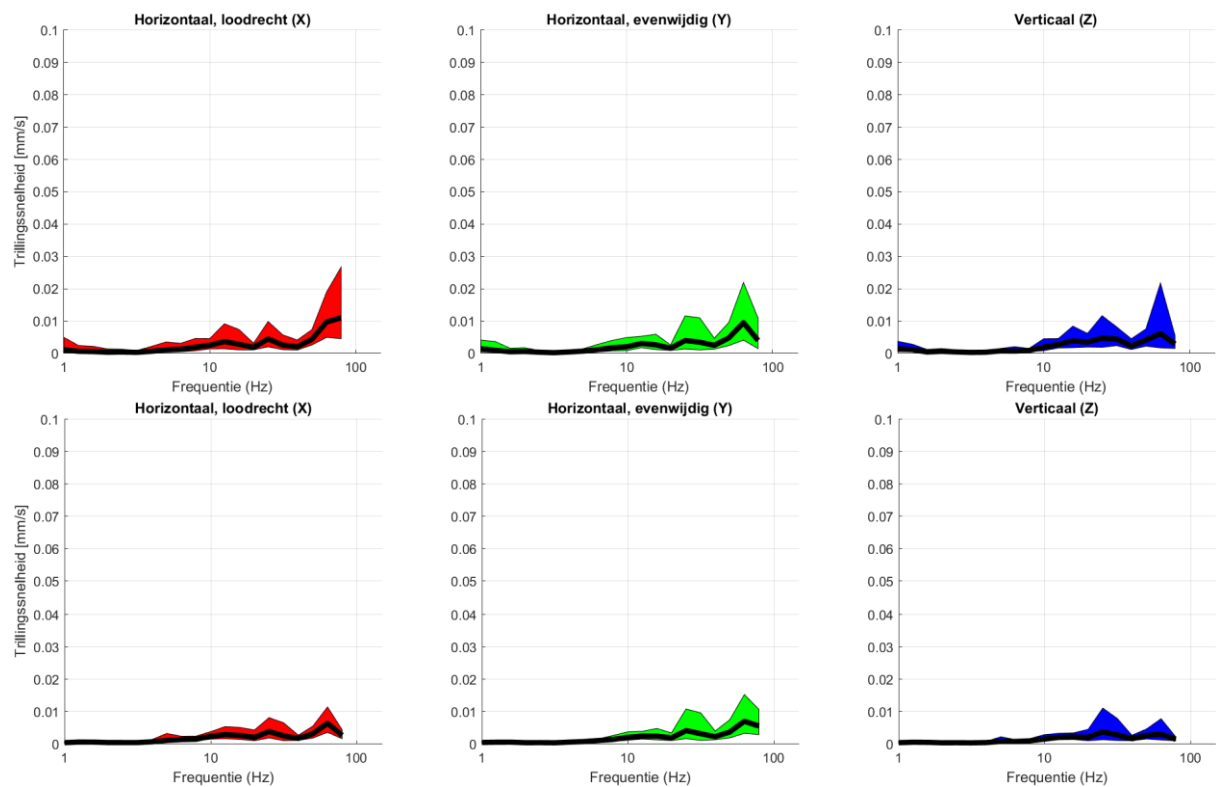
Figuur 51: Trillingsspectra (95 procentinterval) op 20 (boven) en 50 (onder) meter afstand

V.16 Land van Maat - Heiloo

De bodemdemping en geometrische spreiding zijn weergegeven in Figuur 52. De trillingsspectra op 20 en 50 meter, in drie richtingen, voor treinen van het type VIRM zijn weergegeven in Figuur 53.



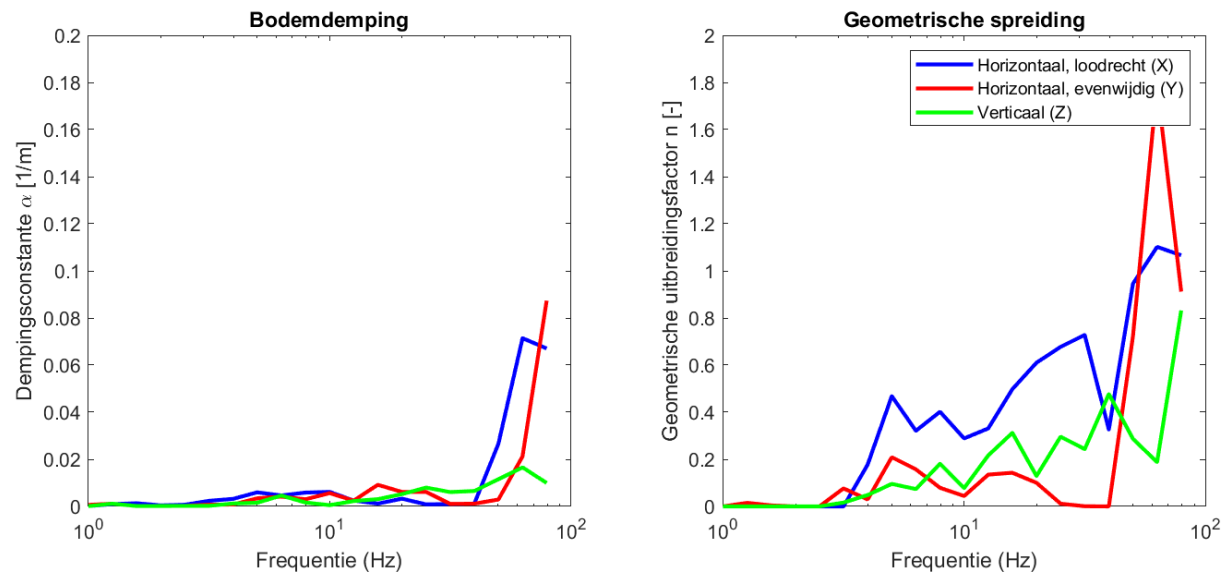
Figuur 52: Dampingsparameter (links) en geometrische uitbreidingsfactor als functie van de frequentie (rechts)



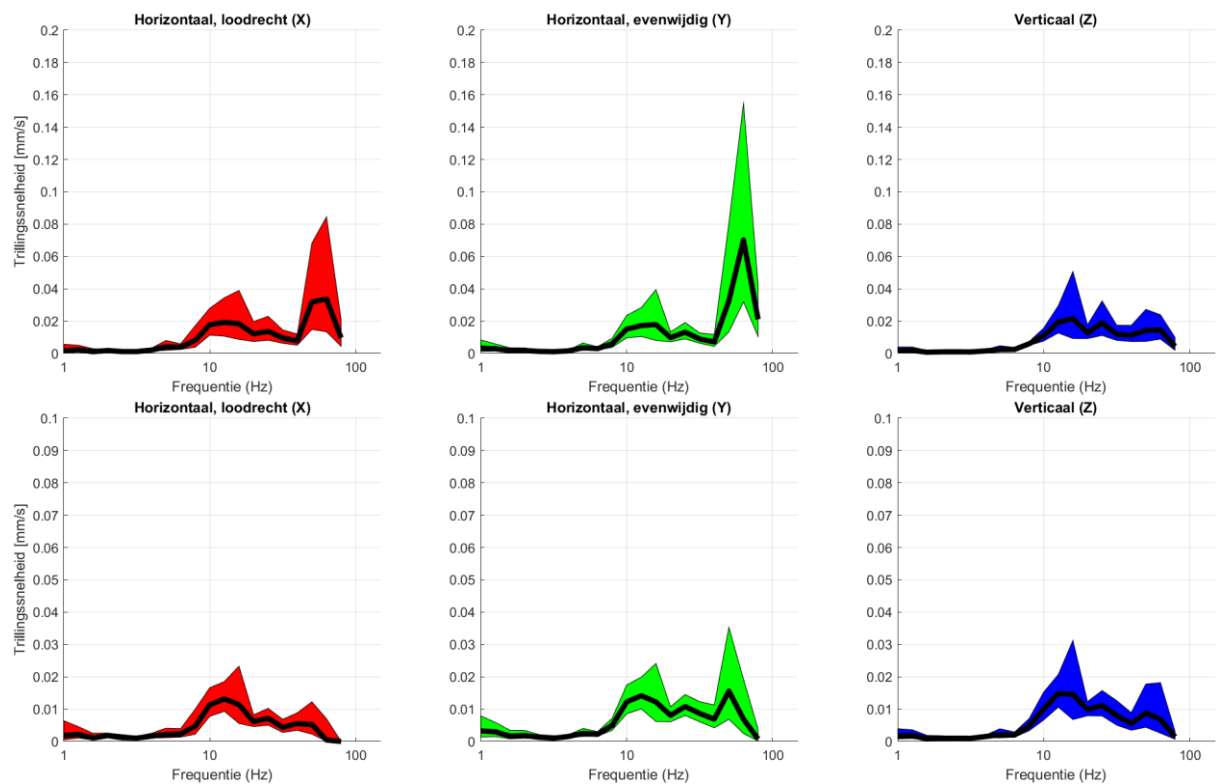
Figuur 53: Trillingsspectra (95 procentinterval) op 20 (boven) en 50 (onder) meter afstand

V.17 Rechte Hondsboschelaan - Heiloo

De bodemdemping en geometrische spreiding zijn weergegeven in Figuur 54. De trillingsspectra op 20 en 50 meter, in drie richtingen, voor treinen van het type VIRM zijn weergegeven in Figuur 55.



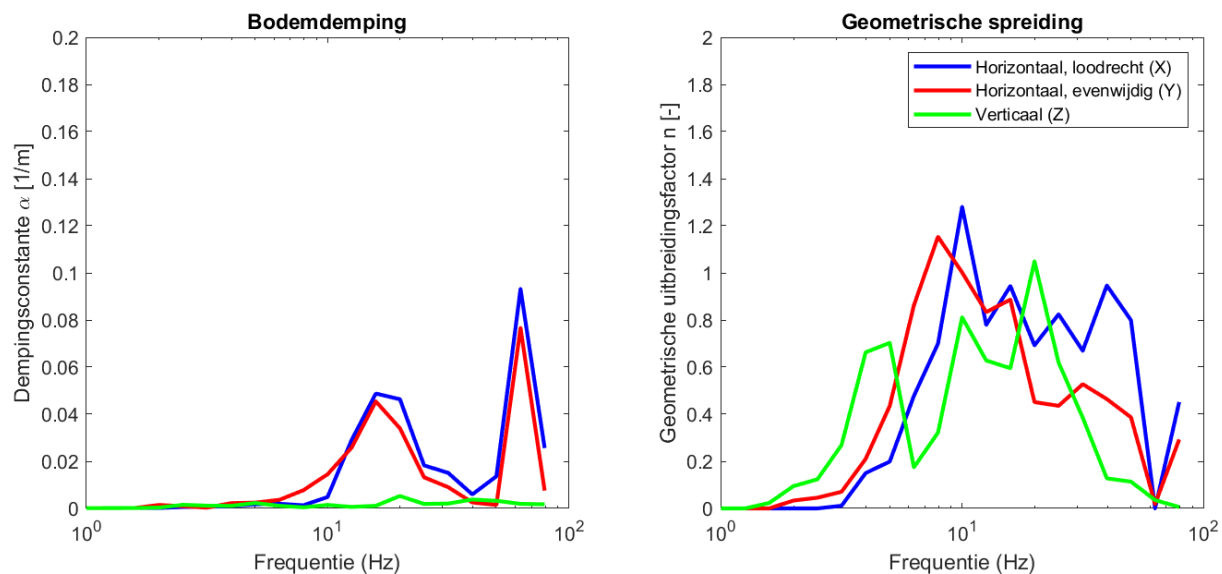
Figuur 54: Dampingsparameter (links) en geometrische uitbreidingsfactor als functie van de frequentie (rechts)



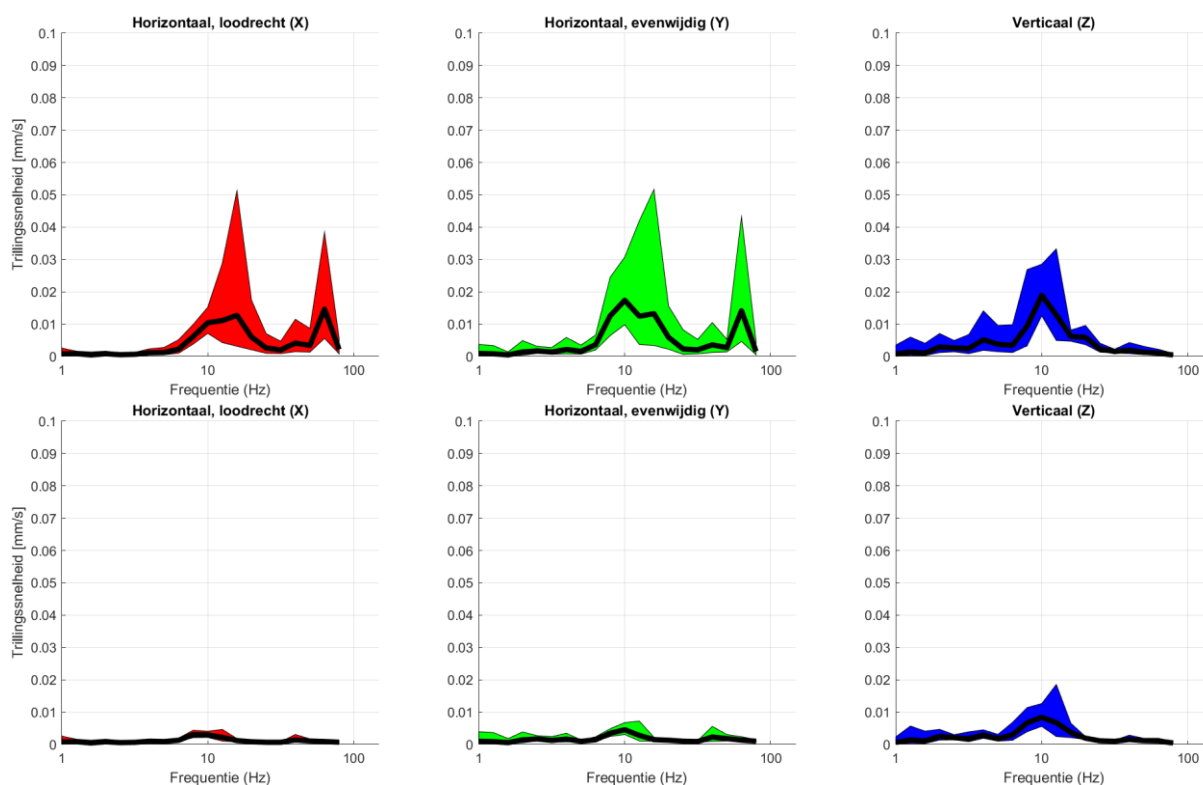
Figuur 55: Trillingsspectra (95 procentinterval) op 20 (boven) en 50 (onder) meter afstand

V.18 Willem Marishof - Alkmaar

De bodemdemping en geometrische spreiding zijn weergegeven in Figuur 56. De trillingsspectra op 20 en 50 meter, in drie richtingen, voor treinen van het type VIRM zijn weergegeven in Figuur 57.



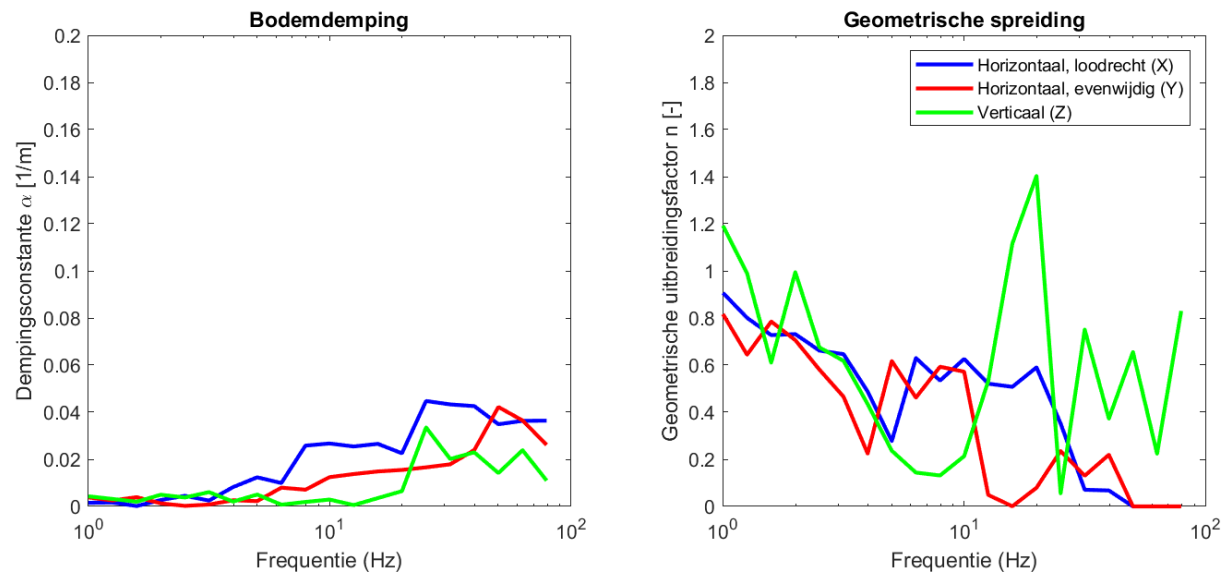
Figuur 56: Dampingsparameter (links) en geometrische uitbreidingsfactor als functie van de frequentie (rechts)



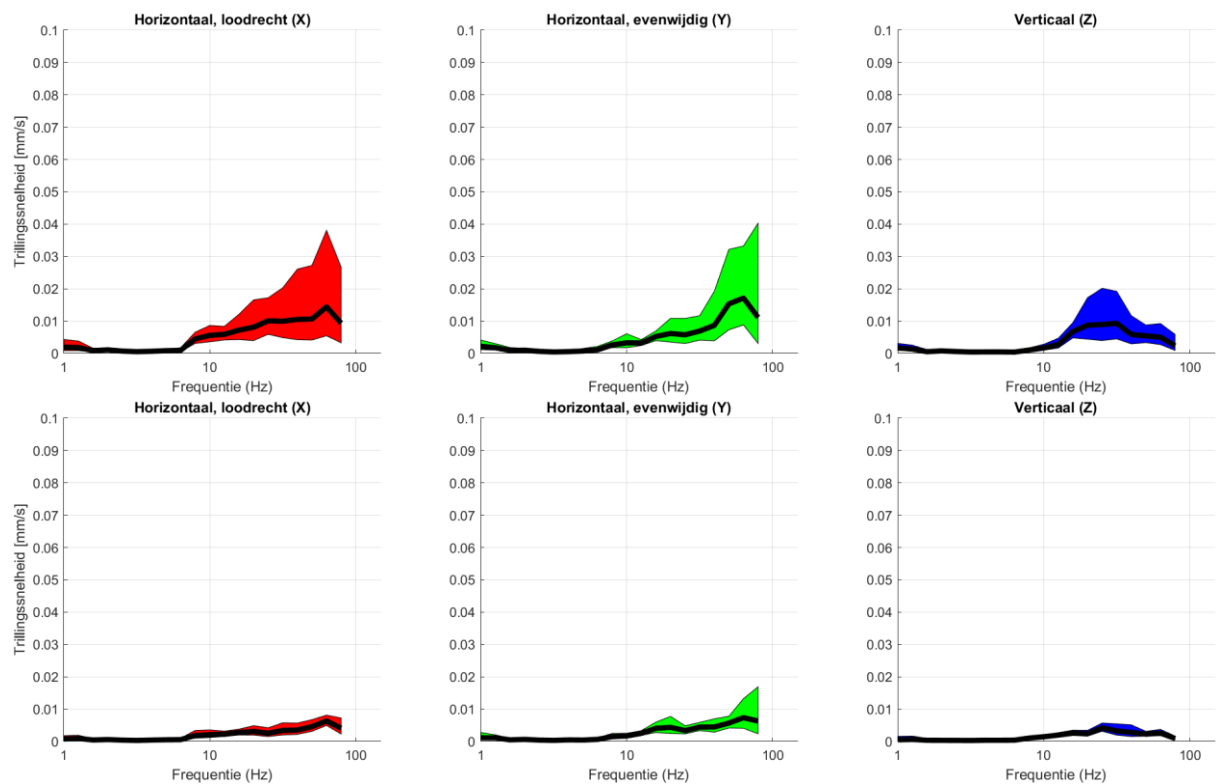
Figuur 57: Trillingsspectra (95 procentsinterval) op 20 (boven) en 50 (onder) meter afstand

V.19 Eikelenbergstraat - Alkmaar

De bodemdemping en geometrische spreiding zijn weergegeven in Figuur 58. De trillingsspectra op 20 en 50 meter, in drie richtingen, voor treinen van het type VIRM zijn weergegeven in Figuur 59.



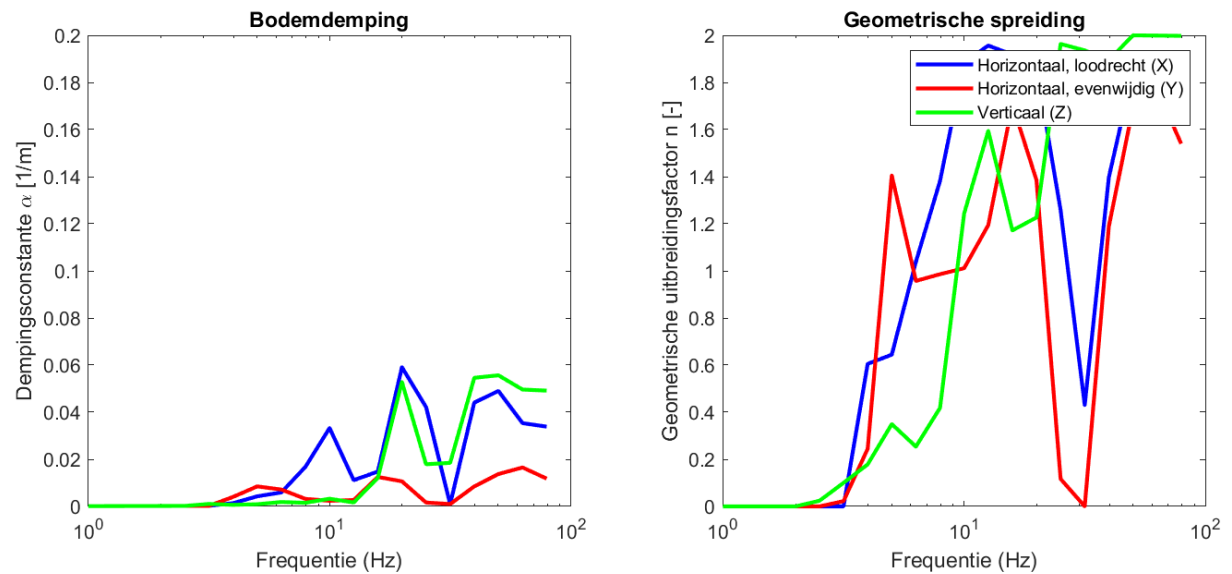
Figuur 58: Dampingsparameter (links) en geometrische uitbreidingsfactor als functie van de frequentie (rechts)



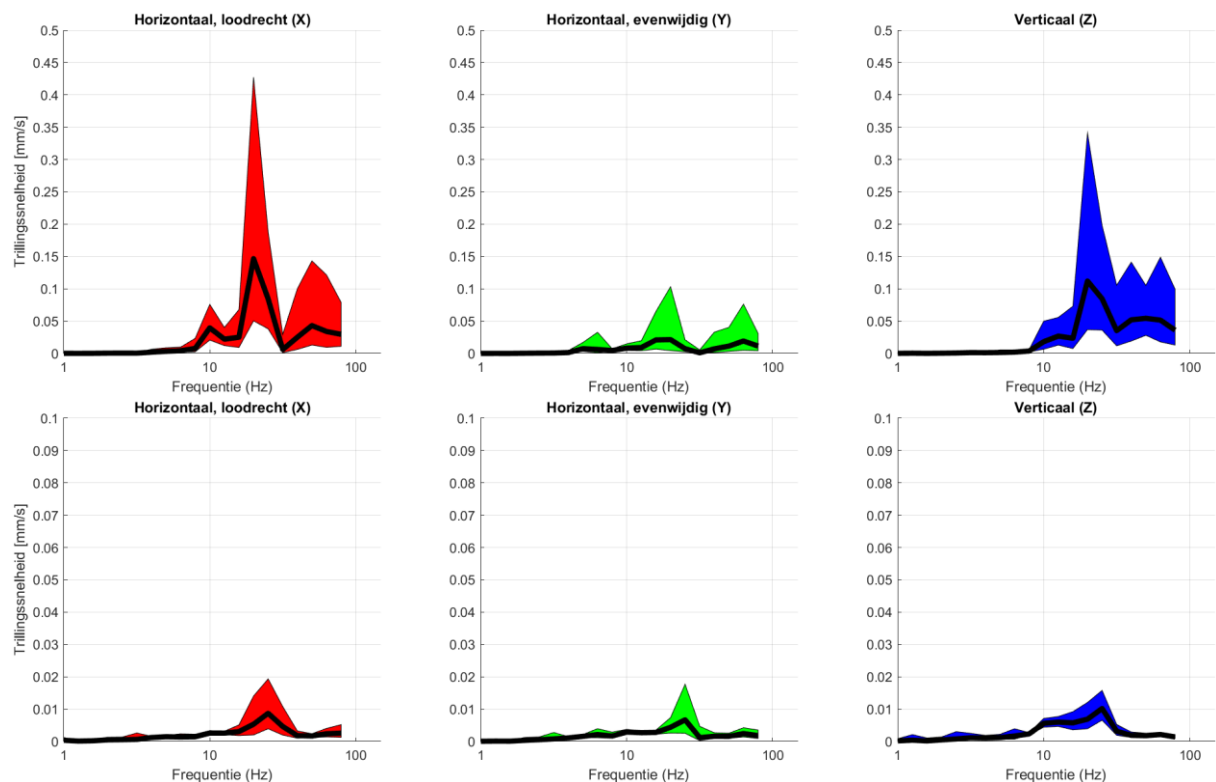
Figuur 59: Trillingsspectra (95 procentinterval) op 20 (boven) en 50 (onder) meter afstand

V.20 Heinenwaard - Alkmaar

De bodemdemping en geometrische spreiding zijn weergegeven in Figuur 60. De trillingsspectra op 20 en 50 meter, in drie richtingen, voor treinen van het type VIRM zijn weergegeven in Figuur 61.



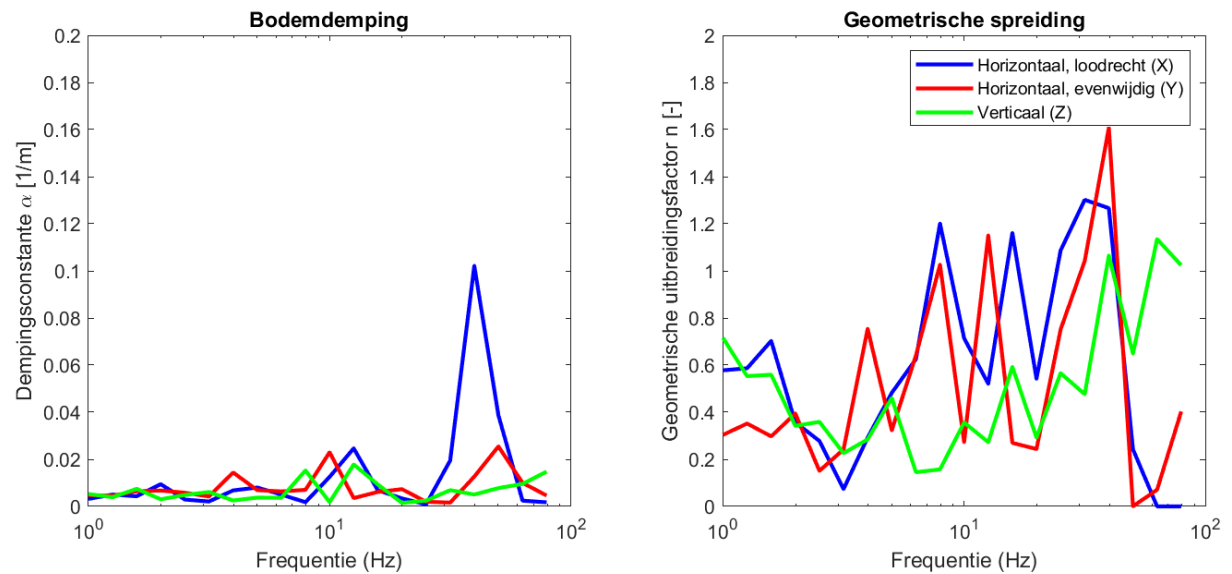
Figuur 60: Dampingsparameter (links) en geometrische uitbreidingsfactor als functie van de frequentie (rechts)



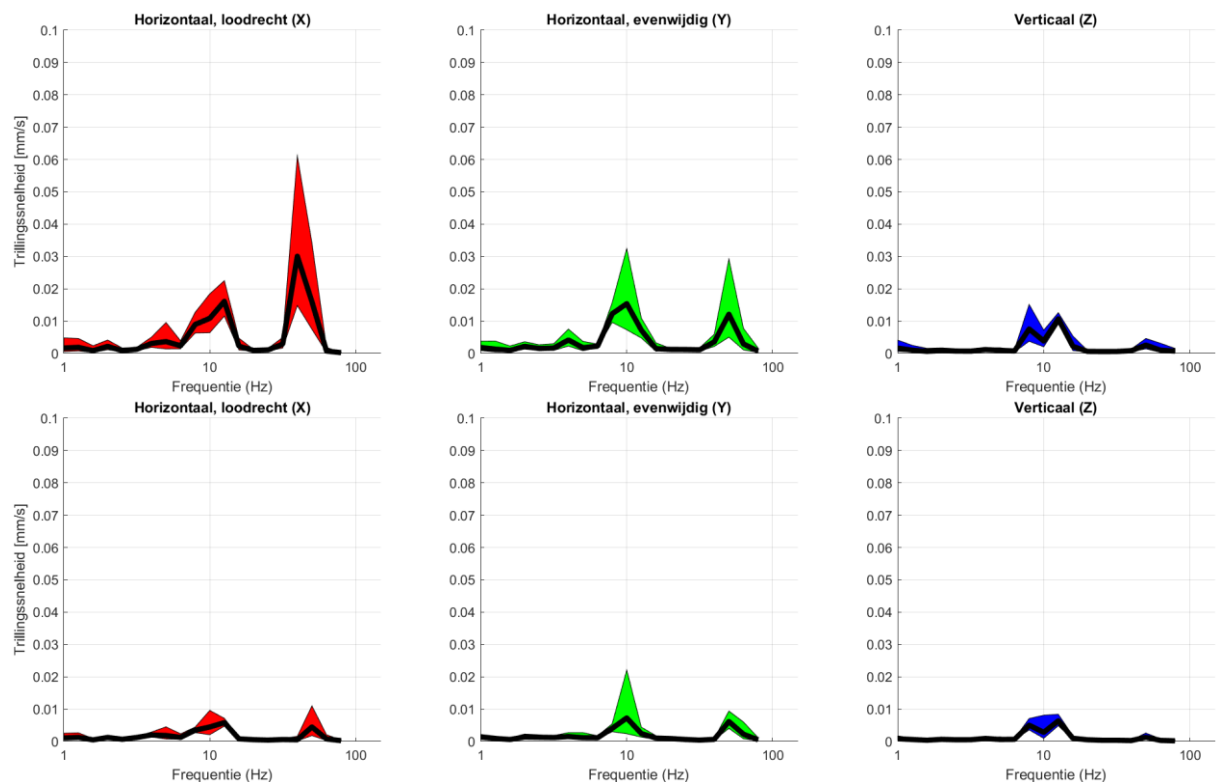
Figuur 61: Trillingsspectra (95 procentinterval) op 20 (boven) en 50 (onder) meter afstand

V.21 Wielewaal - Sint Pancras

De bodemdemping en geometrische spreiding zijn weergegeven in Figuur 62. De trillingsspectra op 20 en 50 meter, in drie richtingen, voor treinen van het type VIRM zijn weergegeven in Figuur 63.



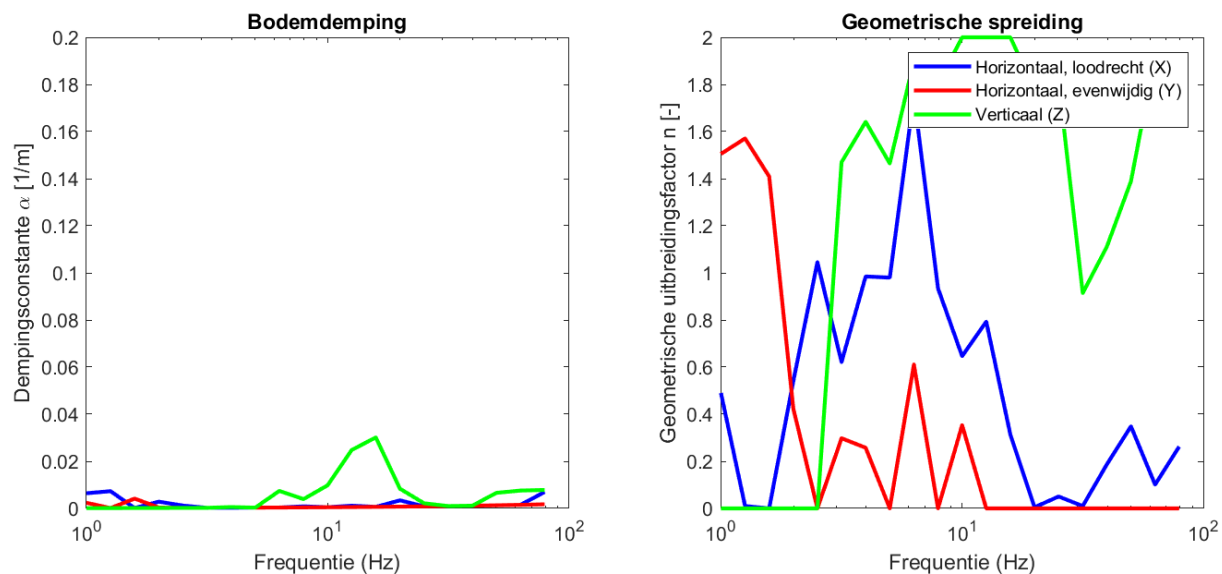
Figuur 62: Dampingsparameter (links) en geometrische uitbreidingsfactor als functie van de frequentie (rechts)



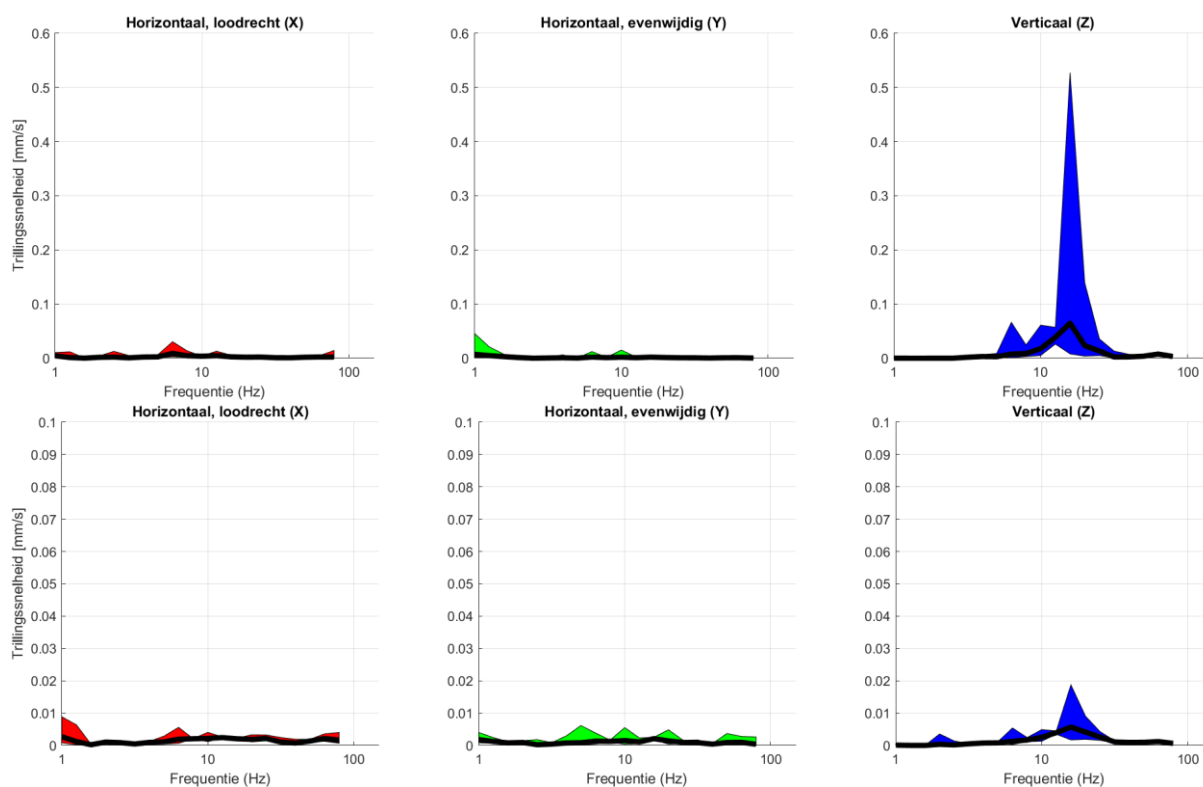
Figuur 63: Trillingsspectra (95 procentinterval) op 20 (boven) en 50 (onder) meter afstand

V.22 Stationsweg - Heerhugowaard

De bodemdemping en geometrische spreiding zijn weergegeven in Figuur 64. De trillingspectra op 20 en 50 meter, in drie richtingen, voor treinen van het type VIRM zijn weergegeven in Figuur 65.



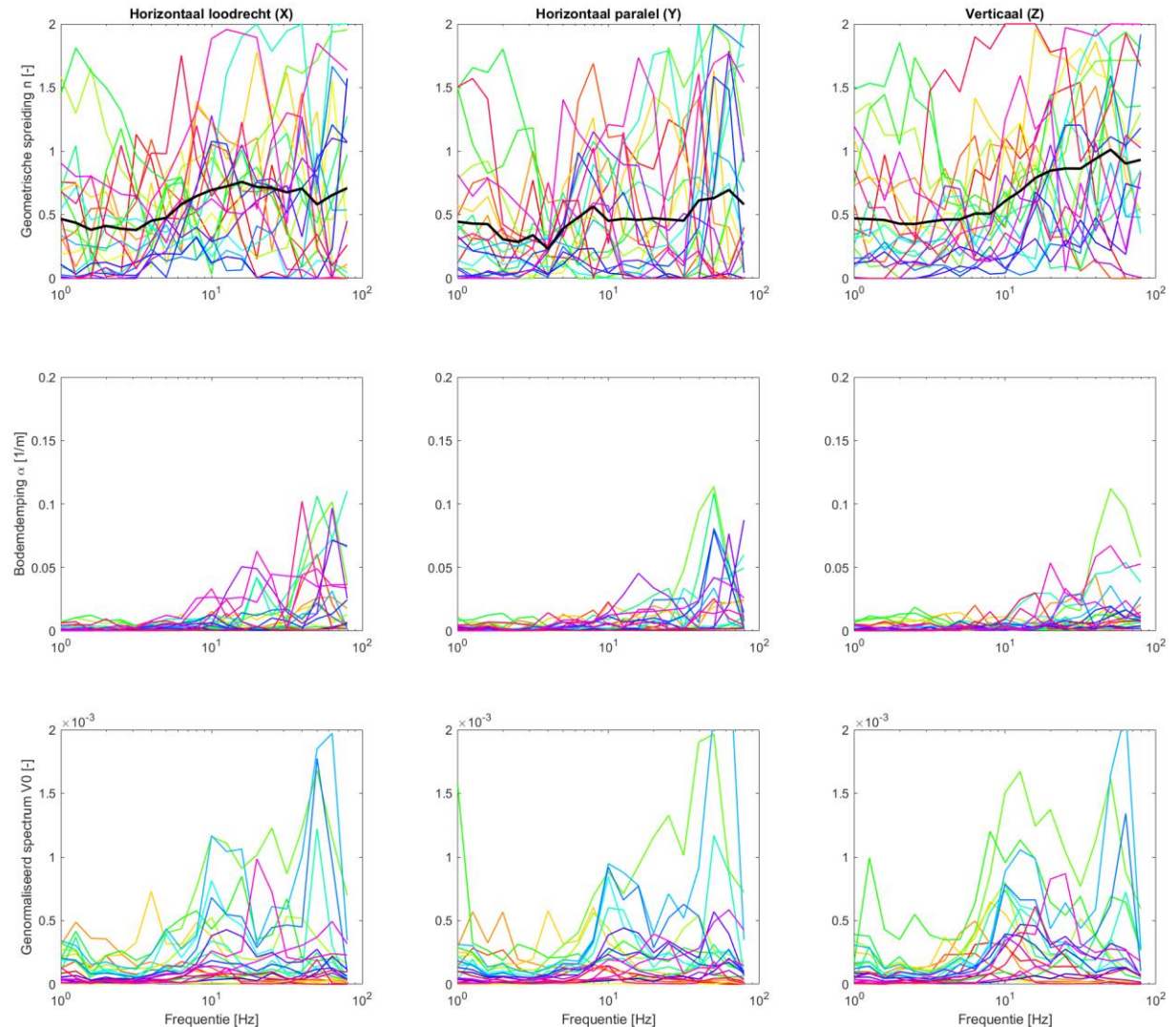
Figuur 64: Dampingsparameter (links) en geometrische uitbreidingsfactor als functie van de frequentie (rechts)



Figuur 65: Trillingspectra (95 procentsinterval) op 20 (boven) en 50 (onder) meter afstand

V.23 Samenvatting en analyse

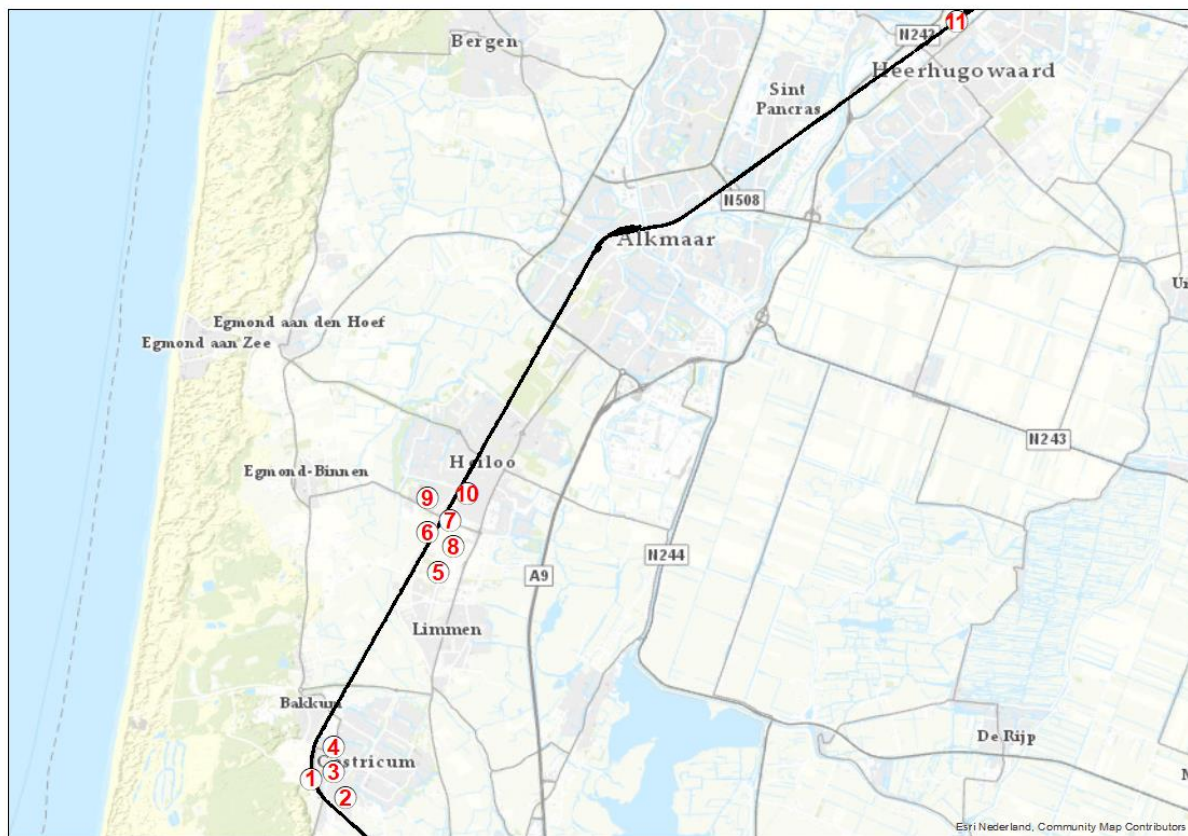
De trillingsspectra (genormaliseerd voor snelheid), geometrische spreiding en bodemdemping voor alle meetlocaties zijn weergegeven in Figuur 66. In deze figuur is zichtbaar dat in het onderzoeksgebied veel variatie optreedt in met name de bodemeigenschappen. Daarnaast zijn er een aantal locaties met een afwijkend trillingsspectrum, de meest waarschijnlijke oorzaak hiervoor is een kwalitatief minder goede spoorligging.



Figuur 66: Geometrische spreiding (boven), bodemdemping (midden) en voor snelheid genormaliseerd trillingsspectrum (onder) voor alle locaties

Bijlage VI – Resultaten metingen in woningen (t.b.v. stap 2)

In de tweede stap van het trillingsonderzoek zijn trillingsmetingen uitgevoerd in 11 gebouwen waar op basis van VibraDyna-berekeningen uit stap 1 van het onderzoek (mogelijk) niet wordt voldaan aan de Bts. De locaties van de metingen zijn weergegeven in Figuur 67, de nummers corresponderen met de paragraafnummers in Bijlage VIII.



Figuur 67: Uitgevoerde metingen in gebouwen, de nummers corresponderen met de paragraafnummers in Bijlage VIII

VI.1 Onderzoeksaanpak

In dit onderzoek is de volgende onderzoeksaanpak gehanteerd:

1. Er is een trillingsmeting uitgevoerd in gebouwen op representatieve locaties in de omgeving van gebouwen waar op basis van de VibraDyna-berekening een overschrijding van het beoordelingskader wordt verwacht. De meetlocaties zijn geselecteerd op basis van ligging ten opzichte van het spoor, gebouwkenmerken en de afstand tot wissels en andere trillingsbronnen in de spoorbaan. De metingen hebben een meetduur van bij voorkeur twee weken, om voldoende trillingen van goederentreinen te registreren. Van elke meetlocatie zijn alle meetwaarden (zowel treinen als andere trillingsbronnen) geregistreerd.
2. Voor alle locaties is een berekening voor de plansituatie gemaakt aan de hand van de resultaten van de meting. Per trein is een berekening gemaakt van de trillingssterkte in de plansituatie, aan de hand van de sporenlay-out in de referentiesituatie, de treinsnelheden, de taludgeometrie en de baanopbouw. Alle factoren met frequentieafhankelijkheid worden hierin frequentieafhankelijk verrekend.
3. De resultaten van de prognose worden beoordeeld op de streef- en grenswaarden, die volgen uit de referentiesituatie (conform de Bts).

Het prognosemodel is beschreven in de volgende paragraaf.

VI.2 Prognosemodel

De trillingssterkte op een bepaalde positie wordt bepaald door een groot aantal factoren. In het rekenmodel worden de volgende parameters onderscheiden:

- De treinsnelheid. De trillingssterkte schaalst exponentieel met de treinsnelheid.
- Invloed van wissels. De invloed van wissels neemt af met de afstand tot de wissels.
- Invloed van wijzigingen in taludgeometrie.
- Invloed van wijzigingen in spooropbouw, zoals de aanleg van bijvoorbeeld dive-unders of zettingsvrije platen.
- Wijzigingen in spoorligging (sporen komen verder weg of dichterbij te liggen).

Overige factoren, zoals aslast, afvering, wielonrondheid en overdracht in de woning tussen fundering en vloerniveau wijzigen niet bij dit project, doordat de momenteel gebruikte treintypes en de bebouwing na realisatie van het project niet gewijzigd zijn ten opzichte van de bestaande situatie. De invloed hiervan is daarom niet meegenomen.

In het prognosemodel worden alle wijzigingen relatief (d.w.z. ten opzichte van de metingen) beschouwd, hierdoor is de betrouwbaarheid van de berekeningen groot. Alle wijzigingen worden als toeslagfactor ten opzichte van de gemeten waarde toegepast.

De invloed van de wijzigingen is onderzocht met behulp van metingen en modellen. Toeslagfactoren voor de uitdamping van de bodem, de geometriewijziging en een eventuele wijziging in baanopbouw zijn locatiespecifiek, alle overige factoren zijn universeel toepasbaar. In de volgende subparagrafen wordt de invloed van de factoren nader toegelicht.

VI.2.1 Invloed wissels

De invloed van wissels is in kaart gebracht door op een groot aantal locaties waar wissels in de nabijheid liggen, de gemeten resultaten van sporen zonder wissels te vergelijken met de resultaten van sporen met wissels. Zodoende kan de invloed van wissels worden gemodelleerd als toeslag op het trillingssignaal van een doorgaande trein. Vooral rond Uitgeest en ten zuiden van station Alkmaar wijzigen posities van wissels.

VI.2.2 Invloed spoorafstand

De overdracht van trillingen door de bodem kan worden beschreven met behulp van de Barkanvergelijking. De Barkanvergelijking wordt in het prognosemodel alleen gebruikt om relatieve veranderingen van sporen en wissels te beschrijven. Omdat het op de meeste locaties om kleine veranderingen gaat, heeft de Barkanvergelijking en de nauwkeurigheid van de parameters daarin slechts een beperkte invloed op het eindresultaat. De parameters in de Barkanvergelijking zijn bepaald uit valproeven en metingen aan treinpassages op maaiveldniveau. Meer gedetailleerde informatie over de gebruikte bodemparameters is opgenomen in Bijlage V.

VI.2.3 Invloed taludwijziging en spooropbouw

De vorm van het talud en de aanwezigheid van bijvoorbeeld sloten heeft invloed op de trillingen. Binnen dit project worden alleen bij Heerhugowaard wijzigingen in de locatie van sloten aangebracht. Door deze wijzigingen kan de trillingssterkte in omliggende gebouwen wijzigen. De invloed van deze wijzigingen is daarom doorgerkend met behulp van het 3D eindige elementen programma Geovib. Hierbij is een model gemaakt van de grondopbouw en de taludvorm in de verschillende situaties. Vervolgens wordt voor alle situaties het tertsbandspectrum van een treinpassage bepaald. De ratio van beide spectra bepaalt de toeslagfactor ten gevolge van de taludwijziging.

VI.2.4 Invloed snelheidswijziging

Door wijzigingen in seinplaatsing en posities van wissels veranderen de snelheidsprofielen van de treinen. Om de invloed van de snelheid op de trillingssterkte vast te stellen is gebruik gemaakt van metingen op meerdere locaties in Nederland. De relatie tussen snelheid en trillingssterkte kent een exponentieel verband tot snelheden rond de kritische treinsnelheid. De kritische treinsnelheid is afhankelijk van de bodem.

Omdat de invloed van snelheidswijzigingen verschilt per locatie, wordt in dit onderzoek conservatief gerekend. Overigens zijn de verschillen in rijnsnelheid zeer beperkt, het gaat om minimale

verplaatsingen van seinen waardoor treinen net op andere posities optrekken of afremmen. Binnen dit project is slechts zeer beperkt sprake van wijzigingen in rijsnelheid, het gaat vooral om beperkte verplaatsingen van seinen.

VI.2.5 Invloed wijziging in treinintensiteit

In het prognosemodel wordt voor elke trein de trillingssterkte in de plansituatie bepaald op basis van het trillingssignaal uit de metingen. Als gevolg van deze aanpak wordt er niet gecorrigeerd voor aanpassingen in het aantal passerende treinen. De berekende waarde van V_{per} uit de prognose dient daarom nog te worden gecorrigeerd voor wijzigingen in treinintensiteit. Een verhoging van de treinintensiteit leidt tot een hogere waarde van de gemiddelde trillingssterkte V_{per} . De nieuwe waarde van V_{per} kan worden berekend met behulp van de volgende vergelijking:

$$V_{per,nieuw} = V_{per,nieuw,ongecorrigeerd} \cdot \sqrt{\frac{n_{nieuw}}{n_{oud}}}$$

Hierbij is n de treinintensiteit in treinen per periode (dag, avond, nacht). $V_{per,nieuw,ongecorrigeerd}$ is de gemiddelde trillingssterkte zoals deze volgt uit de prognoses, deze waarde is nog niet gecorrigeerd voor wijzigingen in aantal treinen.

VI.2.6 Bepaling gewijzigde trillingssterkte

Met behulp van de verschillende toeslagfactoren is de trillingssterkte per trein in de verschillende situaties bepaald vanuit de metingen.

VI.3 Resultaten

De resultaten van de metingen, inclusief berekeningen voor de plansituatie, zijn weergegeven in Tabel 3. De verwerkingsprocedure van de metingen is opgenomen in Bijlage IV. De berekeningen hebben plaatsgevonden vanuit de metingen die zijn uitgevoerd in 2019, zie Bijlage VIII voor meer details. Per meetlocatie zijn achtereenvolgens weergegeven:

- de R -waarde van de referentiesituatie, plansituatie en de gecombineerde R_Q -waarde. Deze reproduceerbaarheidswaarde (in procenten) geeft aan of de datasets van de metingen en prognoses voor de verschillende situaties voldoende reproduceerbaar zijn. Conform het memo van Level Acoustics¹⁹ wordt gestreefd naar een R -waarde die niet groter is dan 10 procent. Bij de grenswaarde $A2$ in de Bts van 0.4 is de onzekerheid dan in de orde van de afrondingsfout. Voor het, door middel van een voor- en nameting, toetsen of er sprake is van een toename van meer dan 30 procent, is het ook van belang dat de onzekerheid in beide metingen niet te groot is.
- de berekende of gemeten trillingssterkte in de referentiesituatie (ref), eventueel gecorrigeerd voor de R -waarde.
- de berekende trillingssterkte voor de plansituatie (plan), eventueel gecorrigeerd voor de R -waarde.
- de verhouding tussen de trillingssterkte $V_{max, Bts}$ in de varianten en de referentiesituatie (Q), eventueel gecorrigeerd voor een hoge R_Q -waarde, zie Bijlage IV. De streefwaarde voor deze Q -waarde is 1.3.
- de maximale waarde van de gemiddelde trillingssterkte V_{per} in de referentiesituatie (ref).
- de maximale waarde van de gemiddelde trillingssterkte V_{per} in de plansituatie (plan).

Zowel voor $V_{max, Bts}$ als voor V_{per} is de maximale waarde over alle sensoren weergegeven. Overschrijdingen van de streef- of grenswaarden uit de Bts zijn oranje gearceerd, als deze overschrijdingen het gevolg zijn van een hoge R -waarde, dan zijn deze geel gearceerd.

¹⁹ Koopman, A., LA.131001.M04.2

Tabel 3: Resultaten metingen in gebouwen

Meetlocatie	Bestemming	R-waarde		Trillingssterkte $V_{\max}$			Gemiddelde trillingssterkte V_{per}	
		R_{ref}	R_{plan}	ref	plan	Q	ref	plan
Schoutenbosch 89, Castricum	Wonen	3	3	0.4	0.4	0.9	0.07	0.08
Dorpstraat 1a, Castricum	Wonen	3	3	0.4	0.3	0.9	0.05	0.06
Mient 11, Castricum	Wonen	20	20	0.5	0.5	1.3	0.08	0.09
Mient 33, Castricum	Wonen	3	3	0.3	0.3	0.9	0.06	0.06
Korte Kapellaan 14, Heiloo	Wonen	3	3	0.4	0.3	0.9	0.05	0.05
Kapellaan 29, Heiloo	Wonen	3	3	0.4	0.3	0.8	0.06	0.05
Runxputweg 2, Heiloo	Wonen	3	3	1.1	1.0	0.9	0.20	0.18
Groeneweg 22, Heiloo	Wonen	3	3	1.3	1.1	0.9	0.29	0.24
Groeneweg 8, Heiloo	Wonen	3	3	1.3	1.1	0.8	0.21	0.20
Groeneweg 6, Heiloo	Wonen	3	3	0.4	0.4	0.9	0.06	0.06
Stationsweg 112, Heerhugowaard	Wonen	4	4	0.1	0.1	0.9	0.01	0.01

Om te bepalen of in overige gebouwen overschrijdingen van het beoordelingskader kunnen optreden, zijn de modelresultaten van de modelberekening met *VibraDyna* gecorrigeerd aan de hand van de meet- en rekenresultaten voor de gebouwen. Hiermee is een nauwkeurige predictie voor alle gebouwen opgesteld, deze is getoetst aan de Bts. De resultaten zijn opgenomen in Bijlage IX.

In de berekeningen en afweging is voor de nog niet gerealiseerde panden uitgegaan van een 'goede bouwwijze', waarbij rekening wordt gehouden met het feit dat de panden nabij het spoor liggen. Dit betekent dat in de constructie van met name de vloeren eigenfrequenties dienen te worden vermeden die samenvallen met de dominante eigenfrequenties van het treinverkeer. Niet gerealiseerde panden waarvan de constructiewijze bekend is, zijn op vergelijkbare manier als reeds gerealiseerde panden meegenomen in het onderzoek²⁰.

VI.4 Betrouwbaarheid

De betrouwbaarheid van de prognoses in dit onderzoek is afhankelijk van een aantal aspecten:

- De betrouwbaarheid van de meting. Alleen bij het meten van voldoende treinpassages is de meting, en daarmee ook de prognose, voldoende betrouwbaar. De betrouwbaarheid van de meting wordt in dit onderzoek aangegeven middels een zogenaamde *R*- of reproduceerbaarheidswaarde. Een *R*-waarde van kleiner dan 10 procent impliceert een goed reproduceerbare meting, de resultaten van een tweede meting zullen maximaal 10 procent afwijken van de gepresenteerde meetresultaten. De betrouwbaarheid van de meting wordt meegenomen in de beoordeling;
- De betrouwbaarheid van de diverse toeslagfactoren voor de wijzigingen ten gevolge van het project. De belangrijkste wijzigingen zijn:
 - Invloed afstandswijziging, met name rond station Uitgeest en ten zuiden van station Alkmaar. De invloed van de afstandswijziging is meegenomen met de Barkanvergelijking, op basis van de locatiespecifieke maaiveldmetingen (zie Bijlage V). Verder geldt dat de invloed van deze toeslagfactor doorgaans gering is (in het project vinden vrijwel geen afstandswijzigingen plaats). Uit ervaringen met eerdere projecten blijkt dat er slechts een beperkte onzekerheid is op de invloed van de afstandswijziging, bij dit project is de invloed vrijwel nihil doordat er vrijwel nergens sprake is van het dichterbij komen van sporen;

²⁰ Specifiek voor het plan Zandzoom in Heiloo is alleen een bestemmingsplanwijziging doorgevoerd. Er is nog geen definitieve verkaveling bekend, daarom zijn deze panden niet meegenomen in de berekeningen in Bijlage IX. In het bestemmingsplan is een voorwaardelijke verplichting opgenomen dat de trillingen dienen te voldoen aan de streefwaarden uit de SBR B-richtlijn. Ter plekke van dit plan (rond meetlocaties Runxputweg 2, Groeneweg 22 en Groeneweg 8) nemen de trillingen niet toe t.g.v. het project, zodat het project geen invloed heeft op de benodigde inspanningen om te voldoen aan de voorwaardelijke verplichting.

- Invloed wijziging treintypes. De invloed van de trillingen van verschillende treintypes zijn bepaald op basis van een vergelijking van de trillingen tussen de treintypes in de metingen. Vervolgens zijn de trillingen van treinen die in de toekomst niet meer rijden, hiervoor gecorrigeerd. Omdat deze correctiefactor in de huidige metingen is vastgesteld, is de onzekerheid hiervan gering.

Zoals gebruikelijk wordt de beoordeling van de trillingen uitgevoerd op de verwachtingswaarde van de trillingen, met inachtneming van bovenstaande conservatieve inschattingen. Uit ervaringen met eerdere projecten blijkt dat dit de meest betrouwbare beoordelingsmethodiek is, waarbij factoren met een sterke mate van onzekerheid worst-case worden meegenomen, zodat niet onterecht bepaalde locaties over het hoofd worden gezien bij een maatregelenafweging.

VI.5 Verschillen modelberekeningen en woningmetingen

Verschillen tussen de modelberekeningen en predicties op basis van woningmetingen kunnen worden veroorzaakt door (een combinatie van) de volgende aspecten:

1. Het model van stap 2 is nauwkeuriger dan het model van stap 1, omdat in stap 2 alleen gerekend wordt met toeslagfactoren voor de wijzigingen in bijvoorbeeld treinsnelheid, de ligging van sporen en wissels en taludgeometrie. Hoe geringer deze wijzigingen zijn, hoe meer de plansituatie overeenkomt met de gemeten referentiesituatie, en hoe betrouwbaarder de berekeningen dus zijn;
2. Het model van stap 2 rekent met nauwkeurige, modelbepaalde parameters voor de wijzigingen in taludgeometrie. Vooral op locaties met sterke wijzigingen in taludgeometrie is het model van stap 2 aanzienlijk nauwkeuriger dan het model van stap 1;
3. In stap 2 wordt in gebouwen gemeten, hierdoor worden de specifieke gebouweigenschappen nauwkeuriger meegenomen dan in stap 1. Elk gebouw heeft een specifieke overdracht tussen fundering en midden vloerveld. Hierdoor is het ene gebouw gevoeliger voor een toename van de trillingssterkte in het laagfrequente gebied dan een ander gebouw. Verschillen tussen stap 1 en stap 2 worden meestal veroorzaakt door verschillen in gebouweigenschappen.

Bijlage VII – Trillingsschade tijdens de bouwphase

VII.1 Inleiding

Tijdens de realisatiefase van het project worden op diverse locaties bouwwerkzaamheden uitgevoerd. Bij een deel van deze werkzaamheden is een kans op trillingsschade aan omliggende gebouwen niet uit te sluiten. Deze trillingsschade kan optreden door bijvoorbeeld het intrillen van damwanden of heiwerkzaamheden. Daarom is een nadere analyse uitgevoerd met behulp van een rekenmodel, gebaseerd op de CUR166-richtlijn, om te bepalen voor welke gebouwen trillingsschade niet kan worden uitgesloten, en waar daarom een vooropname en eventueel maatregelen dienen te worden getroffen tijdens de uitvoering van de werkzaamheden. De vooropnames zijn bedoeld om de huidige schade van gebouwen vast te stellen, zodat na de werkzaamheden een causaal verband kan worden gelegd tussen de eventueel opgetreden schade en de uitgevoerde werkzaamheden.

Omdat er nog geen gedetailleerd ontwerp beschikbaar is van de diverse kunstwerken, is in het onderzoek naar schade een conservatieve aanname gedaan over de werkzaamheden en afmetingen van de objecten. Bij verdere detaillering kan een nauwkeuriger beschouwing worden gehouden.

In het huidige ontwerp worden de volgende werkzaamheden met kans op schade voorzien:

1. Het realiseren van een geluidsscherm. De fundaties van deze schermen worden doorgaans onderheid, het inbrengen van deze palen kan leiden tot schade aan omliggende panden.
2. Het realiseren van een traverse en zettingsvrije plaat bij station Uitgeest, ook hiervoor vinden heiwerkzaamheden plaats.
3. Het realiseren van technische gebouwen bij station Uitgeest. Voor de funderingen vinden mogelijk heiwerkzaamheden plaats.
4. Het realiseren van een aantal duikers bij de keerspoelen ten noorden van station Uitgeest. Voor de funderingen vinden mogelijk heiwerkzaamheden plaats.
5. Het realiseren van technische gebouwen bij opstel terrein De Vaandel in Heerhugowaard. Voor de funderingen vinden heiwerkzaamheden plaats.
6. Het realiseren van grondkerende constructies ten zuiden van station Uitgeest in het kader van baanverbetering.

Verder vinden op een aantal locaties verdichtingswerkzaamheden van de bodem plaats. Bij de uitvoering van de werkzaamheden past de aannemer lichtere verdichtingsmachines toe in de nabijheid van bebouwing, waardoor er geen kans is op trillingsschade aan de bebouwing.

VII.2 Uitgangspunten

In de berekeningen is op basis van een quickscan een aantal uitgangspunten gehanteerd, deze zijn weergegeven in Tabel 4.

Tabel 4 Uitgangspunten modelberekeningen

Model	Omschrijving	Werkzaamheden
1	Geluidsscherm, 1 m hoogte	Heien palen, Ø 200 mm, 5 m lang
2	Fundatie gebouwen Heerhugowaard De Vaandel	Heien palen, 350x350 mm, 18 m lang
3	Fundatie zettingsvrije plaat en traverse Uitgeest	Heien palen, 350x350 mm, 8 m lang
4	Fundatie gebouwen Uitgeest	Heien palen, 350x350 mm, 8 m lang
5	Fundatie duikers Uitgeest	Heien palen, 350x350 mm, 8 m lang
6	Damwanden grondkerende constructie Uitgeest	Damwand intrillen, AZ26, 15 m lang

In de berekeningen is een veiligheidsfactor van 2.0 toegepast op de trillingssnelheden. Uit eerdere analyse van de trillingssignalen blijkt dat de trillingen ten gevolge van heien een grote component in het frequentiegebied van onder de 10 Hz hebben, daarom is de maximaal toegestane amplitude uit dit frequentiegebied in de SBR A-richtlijn toegepast. Voor het intrillen van damwanden is een frequentie van 38 Hz uitgehouden om de grenswaarden uit de SBR A-richtlijn te bepalen.

VII.3 Modelling

De contourafstanden rond de werkzaamheden zijn berekend met behulp van een op de CUR166-richtlijn gebaseerd prognosemodel, aangevuld met praktijkervaringen uit eerdere projecten. De opbouw van de bodem is gebaseerd op sonderingen uit het projectgebied.

VII.4 Resultaten

De contourafstanden voor categorie 1-, en 2 gebouwen en gevoelige categorie 2 gebouwen voor de verschillende werkzaamheden zijn weergegeven in Tabel 5.

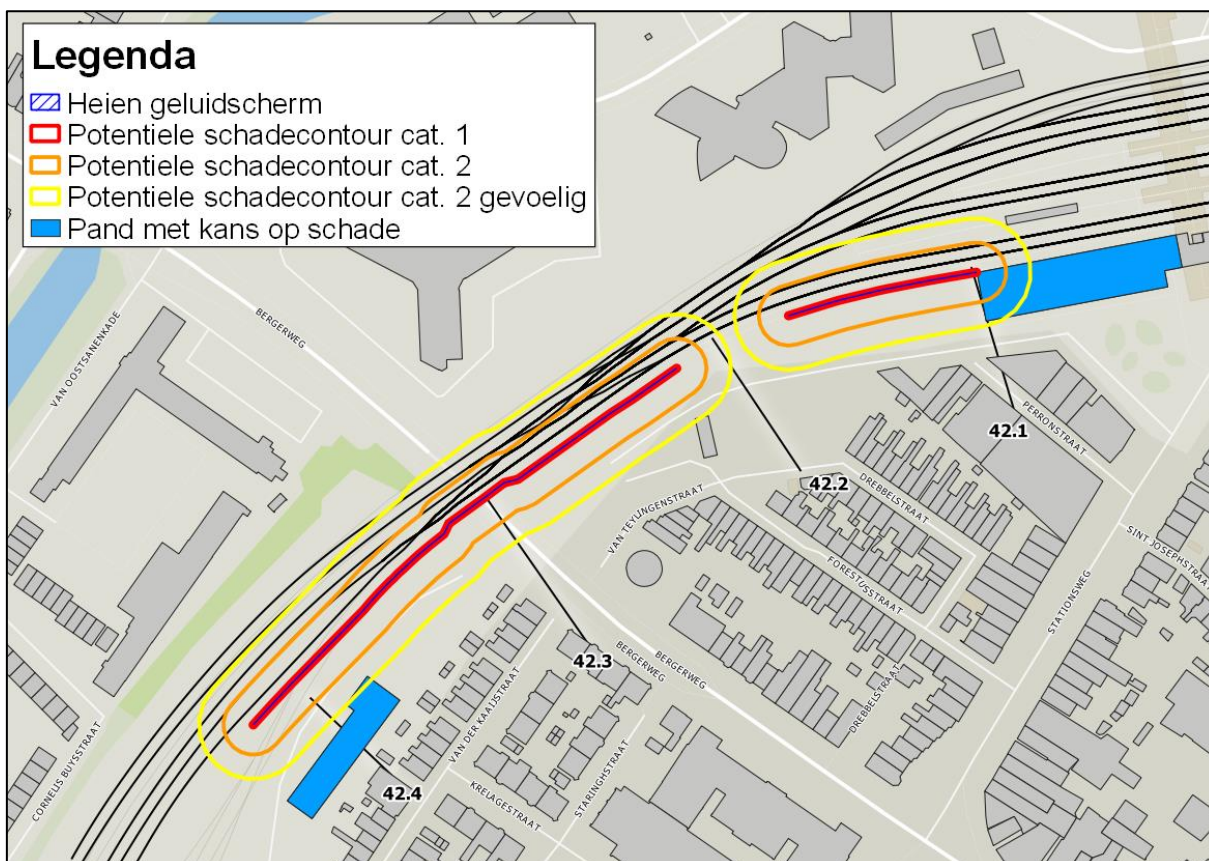
Tabel 5 Contourafstanden mogelijke bouwschade

Werkzaamheden	Toegestane afstand (m)		
	Categorie 1	Categorie 2	Categorie 2 (gevoelig/monument)
Fundatie geluidscherm	1	11	20
Fundatie gebouwen Heerhugowaard De Vaandel	3	33	49
Fundatie zettingsvrije plaat en traverse Uitgeest	4	34	50
Fundatie gebouwen Uitgeest	4	34	50
Fundatie duikers Uitgeest	4	34	50
Damwanden Uitgeest	3	24	39

De contourafstanden voor categorie 1-, en 2 gebouwen en gevoelige categorie 2 gebouwen zijn geprojecteerd rond de werkzaamheden van de verschillende locaties, zie Figuur 68 tot Figuur 71. Binnen de aangegeven afstanden tot de werkzaamheden is trillingsschade ten gevolge van de bouwwerkzaamheden niet uit te sluiten.

Kans op trillingsschade treedt op bij de volgende werkzaamheden:

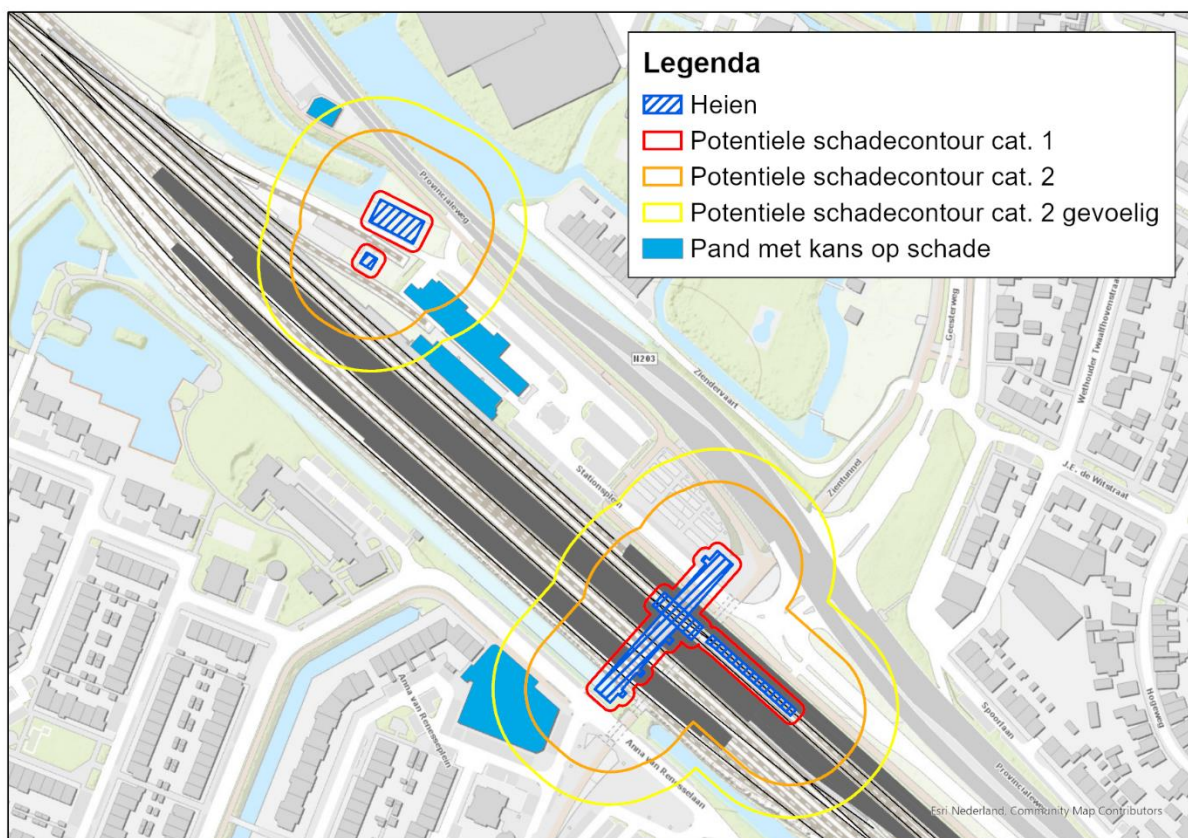
1. Realisatie fundatie geluidschermen bij station Alkmaar. Het gaat hier om één gebouw en de fietsenstalling bij station Alkmaar.
2. Realisatie fundatie technische gebouwen bij station Uitgeest. Het gaat hier om twee gebouwen van station Uitgeest.
3. Realisatie fundatie traverse bij station Uitgeest. Het gaat hier om een gebouw met een winkel- en woonfunctie aan de westkant van het spoor.
4. Realisatie grondkerende constructies ten zuiden van station Uitgeest. Het gaat hier om gebouwen die behoren bij het steunpunt van de provincie Noord-Holland langs de Provincialeweg.



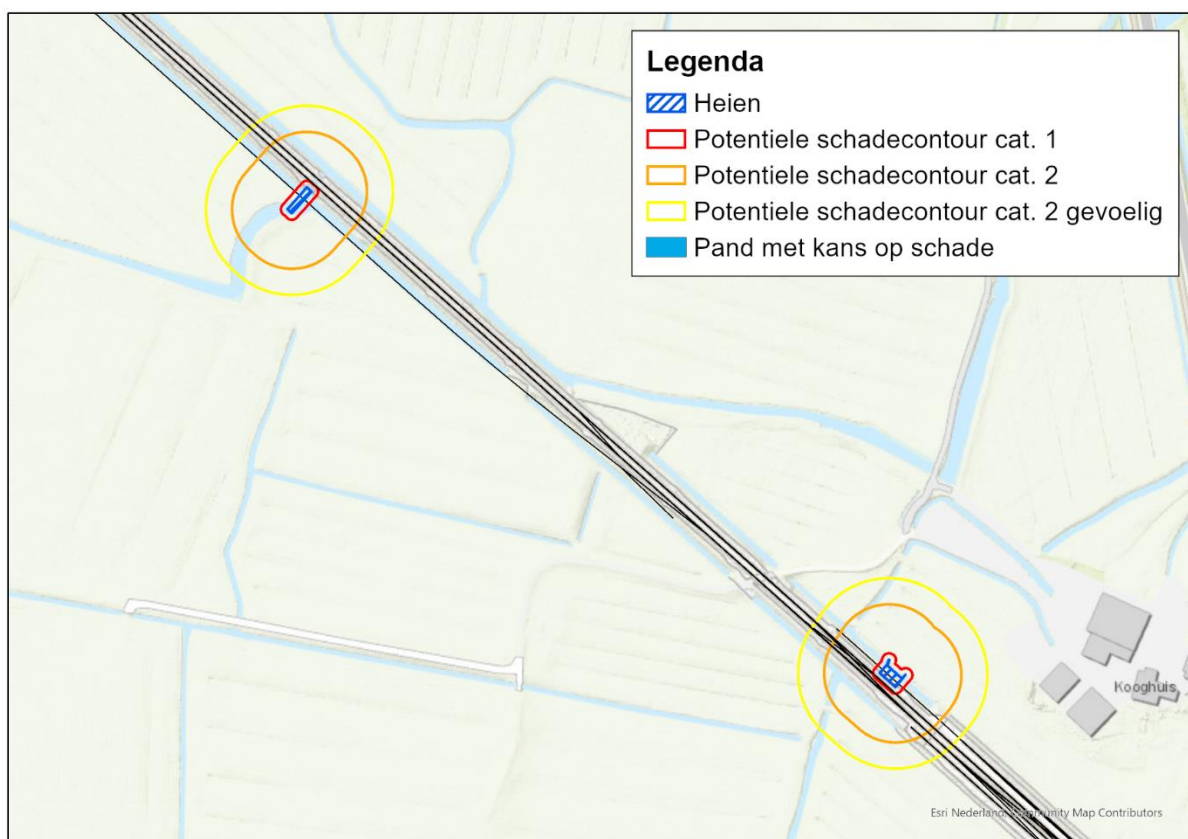
Figuur 68 Schadecontouren en panden met kans op schade bij geluidschermen in Alkmaar



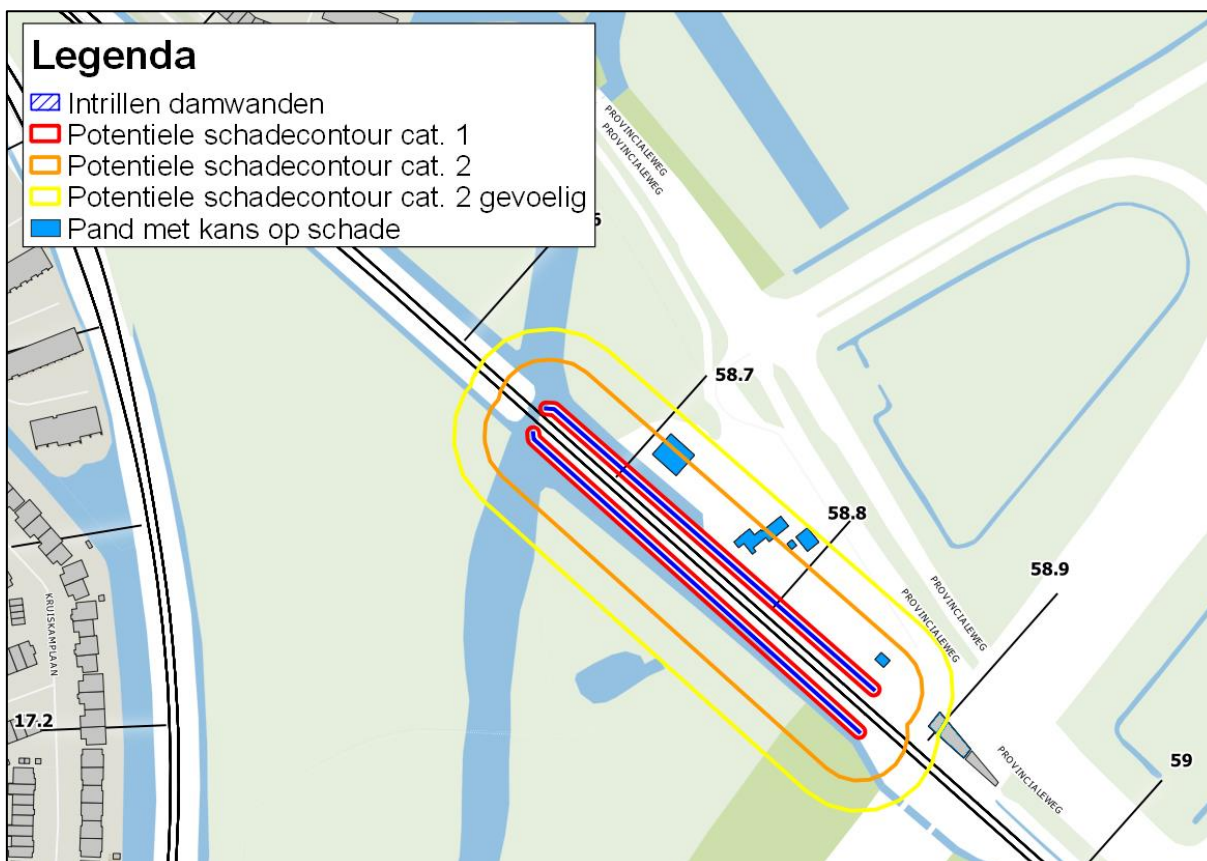
Figuur 69 Schadecontouren opstelsterrein Heerhugowaard De Vaandel



Figuur 70 Schadecontouren en panden met kans op schade bij station Uitgeest



Figuur 71 Schadecontouren ten noorden van station Uitgeest



Figuur 72 Schadecontouren ten zuiden van station Uitgeest

Voor bouwwerkzaamheden met een kans op schade adviseren wij om in het vervolgtraject, bij de detaillering van de werkzaamheden, aandacht te besteden aan het aspect trillingsschade tijdens realisatie. Dat kan op de volgende manieren:

1. Objecten lichter funderen, verder bij bebouwing vandaan realiseren of (bij damwanden) lichtere of kortere profielen gebruiken. Zodra de detaillering van de objecten afgerond is, adviseren wij om een gedetailleerde schadeprognose te maken met behulp van 3D eindige elementenmodellen;
2. Als daaruit blijkt dat er nog steeds panden met kans op schade zijn, adviseren wij om te kiezen voor een trillingsarme bouwmethode of, indien dat niet mogelijk is, bouwkundige vooropnames in de omliggende panden uit te voeren en de trillingen te monitoren tijdens de werkzaamheden. Bij overschrijdingen van de grenswaarden van de SBR A-richtlijn dienen de werkzaamheden te worden stilgelegd, zodat gekeken kan worden naar eventuele maatregelen (trillingsarme bouwmethode of afscherming van werkzaamheden of trillingsgevoelige objecten).

Bijlage VIII – Resultaten woningmetingen

Deze bijlage bevat een overzicht en schets van de meetopstelling, de resultaten van de metingen en de berekening voor de referentie- en plansituatie voor alle meetlocaties.

VIII.1 Schoutenbosch 89 - Castricum

Deze meetlocatie heeft de functie *Wonen*, een foto van dit gebouw is weergegeven in Figuur 73.



Figuur 73 Gevel

In dit gebouw is een meting uitgevoerd conform de Bts. Er zijn 2 meetpunten geplaatst gedurende de gehele meetperiode:

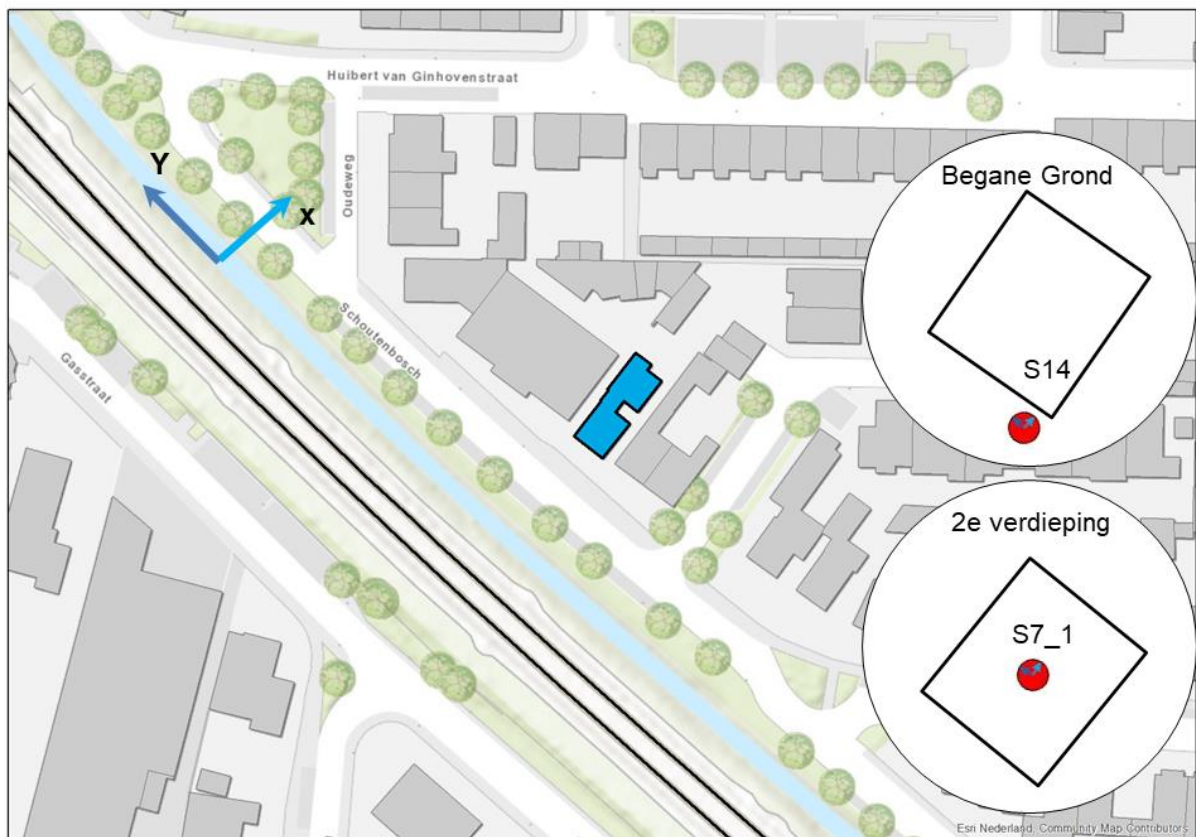
- Een driedimensionale trillingssensor (14) op een stijf punt op de begane grond (fundering).
- Een driedimensionale trillingssensor (7) in het midden van de vloer op de 2^e verdieping.

De gegevens van de metingen zijn opgenomen in Tabel 6.

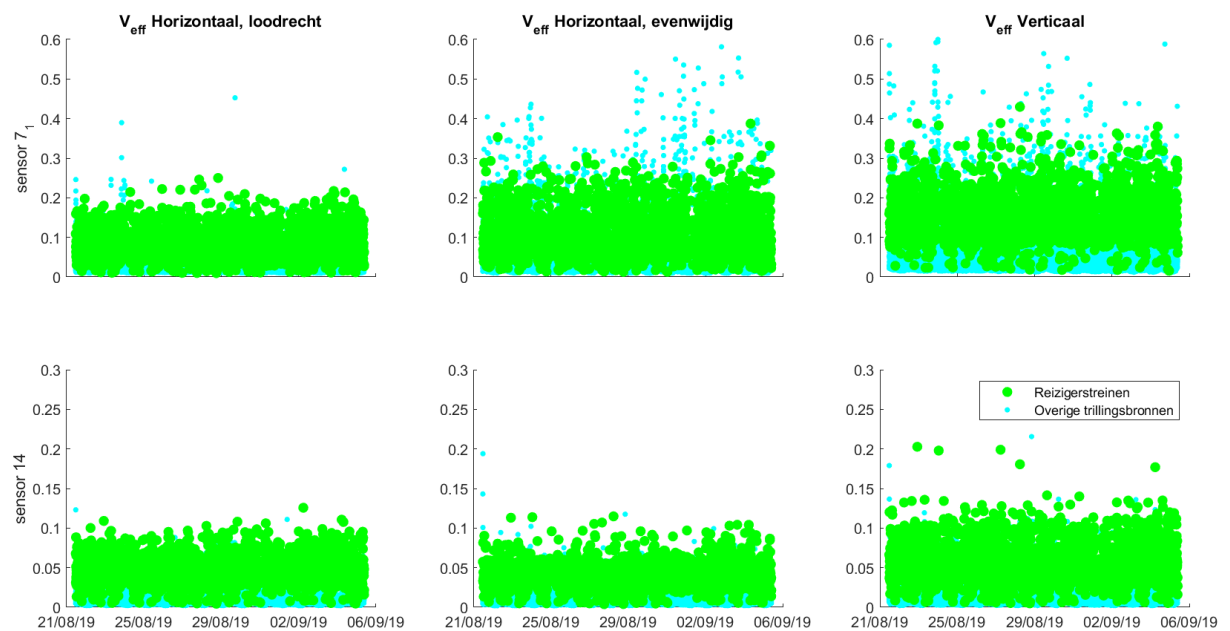
Tabel 6 Gegevens meting

1	Uitvoerende organisatie	Movares Nederland B.V.
	Verantwoordelijke persoon	ir. M. Wijnands, mark.wijnands@movares.nl
2	Meting uitgevoerd door	Sybren van Klaarsbergen
3	Tijdsperiode meting	21 augustus 2019 tot 5 september 2019
4	Type trillingsbron	Treinen, lokaal vrachtverkeer zorgt ook voor hoge trillingen
5	Gebouwomschrijving	Tweelaags gebouw, opgebouwd uit metselwerk
6	Locatie metingen	Zie Figuur 74
7	Geotechnische gegevens	Zie Bijlage III
8	Meetposities	Zie Figuur 74
9	Gebruikte meetopnemers	Twee 3D-geofoons
	Gebruikte registratieapparatuur	D-meetcomputer met 2 aangesloten kanalen
	Gebruikte verwerkingsapparatuur	Meetcomputer
10	Overzicht meetwaarden	Zie Figuur 75
11	Motivatatie classificatie gebouw	Op basis van gegevens BAG
12	Overige relevante omstandigheden	Zie Bijlage VI

Een overzicht van de gebruikte sensorposities en de sporenlay-out is weergegeven in Figuur 74, de meetresultaten zijn weergegeven in Figuur 75.



Figuur 74 Opstelling sensoren



Figuur 75 Meetresultaten

VIII.1.2 Resultaten meting

De meetresultaten zijn samengevat weergegeven in Tabel 7. H1 is horizontaal, loodrecht op het spoor, H2 is horizontaal, parallel aan het spoor en V is verticaal.

Tabel 7 Resultaten bestaande situatie

	7_1, midden vloer			14, stijf punt		
	H1	H2	V	H1	H2	V
V _{per} , dag	0.02	0.04	0.07	<0.01	<0.01	0.01
V _{per} , avond	0.02	0.04	0.06	<0.01	<0.01	0.01
V _{per} , nacht	0.01	0.03	0.04	<0.01	<0.01	0.01
V _{max} , goederen						
V _{max} , reizigers	0.20	0.25	0.38	0.12	0.10	0.13
R, goederen						
R, reizigers	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20
V _{max}	0.20	0.25	0.38	0.12	0.10	0.13

Op deze locatie zijn 2949 reizigerstreinen gemeten, er zijn geen goederentreinen gepasseerd tijdens de meetperiode.

VIII.1.3 Resultaten berekening plansituatie

Aan de hand van de metingen en de wijzigingen tussen de bestaande situatie en de plansituatie is een berekening gemaakt voor de trillingen in de plansituatie op basis van het rekenmodel uit Bijlage VI. De trillingen in de plansituatie zijn weergegeven in Tabel 8.

Tabel 8 Resultaten plansituatie

	7_1, midden vloer			14, stijf punt		
	H1	H2	V	H1	H2	V
V _{per} , dag	0.01	0.04	0.08	<0.01	<0.01	0.01
V _{per} , avond	0.02	0.04	0.06	<0.01	<0.01	0.01
V _{per} , nacht	0.01	0.03	0.04	<0.01	<0.01	0.01
V _{max} , goederen						
V _{max} , reizigers	0.18	0.23	0.35	0.11	0.10	0.12
R, goederen						
R, reizigers	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20
V _{max}	0.18	0.23	0.35	0.11	0.10	0.12

De Q-waarde bedraagt 0.9. De trillingsterkte neemt af, vooral doordat de nu maatgevende SGM-sprinters in de nabije toekomst vervangen worden door materieel dat minder trillingen veroorzaakt.

VIII.1.4 Conclusies

De trillingssterkte V_{max} neemt in de plansituatie af ten opzichte van de bestaande situatie. De gemiddelde trillingssterkte V_{per} is in de plansituatie lager dan de grenswaarde. Voor deze locatie dienen geen maatregelen te worden afgewogen op doelmatigheid.

Uit de metingen en berekeningen blijkt verder dat de trillingssnelheid aanzienlijk lager is dan de grenswaarde voor trillingsschade uit de SBR A-richtlijn, de kans op schade ten gevolge van treinverkeer is dus verwaarloosbaar.

VIII.2 Dorpsstraat 1a - Castricum

Deze meetlocatie heeft de functie *Wonen*, een foto van dit gebouw is weergegeven in Figuur 76.



Figuur 76 Gevel (woning links is nr. 1a)

In dit gebouw is een meting uitgevoerd conform de Bts. Er zijn 2 meetpunten geplaatst gedurende de gehele meetperiode:

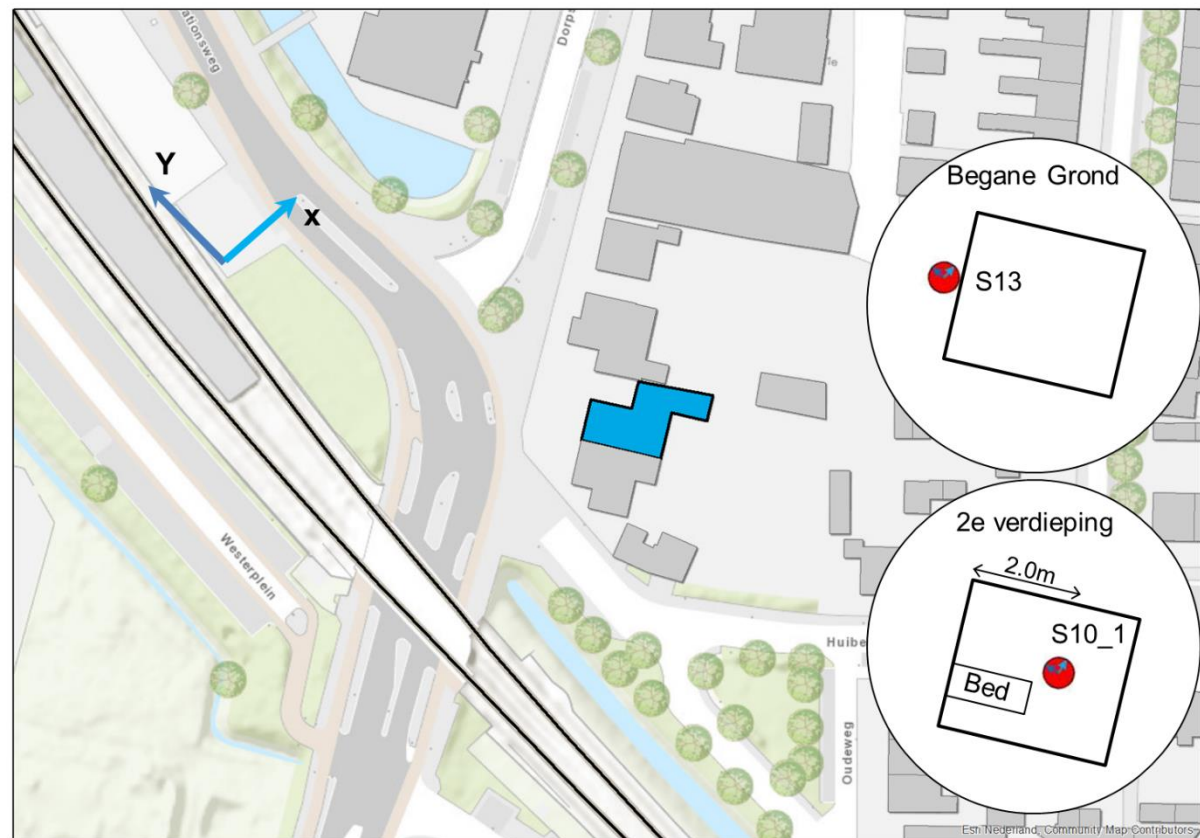
- Een driedimensionale trillingssensor (13) op een stijf punt op de begane grond (fundering).
- Een driedimensionale trillingssensor (10_1) in het midden van de vloer op de 2^e verdieping.

De gegevens van de metingen zijn opgenomen in Tabel 9.

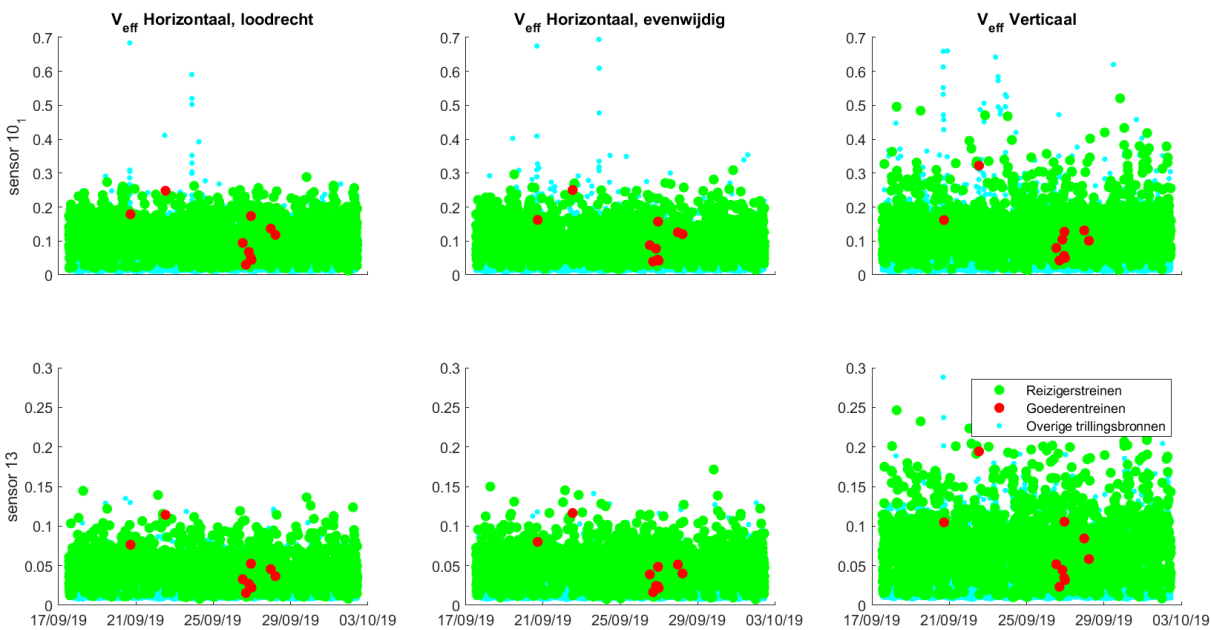
Tabel 9 Gegevens meting

1	Uitvoerende organisatie	Movares Nederland B.V.
	Verantwoordelijke persoon	ir. M. Wijnands, mark.wijnands@movares.nl
2	Meting uitgevoerd door	Sybren van Klaarsbergen
3	Tijdsperiode meting	17 september 2019 tot 2 oktober 2019
4	Type trillingsbron	Treinen, lokaal vrachtverkeer zorgt ook voor hoge trillingen
5	Gebouwomschrijving	Drielaagse dubbele woning, opgebouwd uit metselwerk
6	Locatie metingen	Zie Figuur 77
7	Geotechnische gegevens	Zie Bijlage III
8	Meetposities	Zie Figuur 77
9	Gebruikte meetopnemers	Twee 3D-geofoons
	Gebruikte registratieapparatuur	D-meetcomputer met 2 aangesloten kanalen
	Gebruikte verwerkingsapparatuur	Meetcomputer
10	Overzicht meetwaarden	Zie Figuur 78
11	Motivatatie classificatie gebouw	Op basis van gegevens BAG
12	Overige relevante omstandigheden	Zie Bijlage VI

Een overzicht van de gebruikte sensorposities en de sporenlay-out is weergegeven in Figuur 77, de meetresultaten zijn weergegeven in Figuur 78.



Figuur 77 Opstelling sensoren



Figuur 78 Meetresultaten

VIII.2.2 Resultaten meting

De meetresultaten zijn samengevat weergegeven in Tabel 10. H1 is horizontaal, loodrecht op het spoor, H2 is horizontaal, parallel aan het spoor en V is verticaal.

Tabel 10 Resultaten bestaande situatie

	10_1, midden vloer			13, stijf punt		
	H1	H2	V	H1	H2	V
V _{per} , dag	0.04	0.03	0.05	0.01	0.01	0.02
V _{per} , avond	0.03	0.03	0.04	<0.01	<0.01	0.02
V _{per} , nacht	0.03	0.02	0.03	<0.01	<0.01	0.02
V _{max} , goederen	0.23	0.21	0.21	0.08	0.08	0.14
V _{max} , reizigers	0.31	0.28	0.37	0.13	0.14	0.21
R, goederen	27	27	27	27	27	27
R, reizigers	3	3	3	3	3	3
V _{max}	0.31	0.28	0.37	0.13	0.14	0.21

Op deze locatie zijn 3098 reizigers- en 10 goederentreinpassages (werktreinen en losse locomotieven) gemeten.

VIII.2.3 Resultaten berekening plansituatie

Aan de hand van de metingen en de wijzigingen tussen de bestaande situatie en de plansituatie is een berekening gemaakt voor de trillingen in de plansituatie op basis van het rekenmodel uit Bijlage VI. De trillingen in de plansituatie zijn weergegeven in Tabel 11.

Tabel 11 Resultaten plansituatie

	10_1, midden vloer			13, stijf punt		
	H1	H2	V	H1	H2	V
V _{per} , dag	0.04	0.04	0.06	0.01	0.01	0.03
V _{per} , avond	0.03	0.03	0.04	<0.01	<0.01	0.02
V _{per} , nacht	0.02	0.02	0.03	<0.01	<0.01	0.01
V _{max} , goederen	0.23	0.21	0.21	0.08	0.08	0.14
V _{max} , reizigers	0.27	0.25	0.33	0.12	0.14	0.19
R, goederen	27	27	27	27	27	27
R, reizigers	3	3	3	3	3	3
V _{max}	0.27	0.25	0.33	0.12	0.14	0.19

De Q-waarde bedraagt 0.9. De trillingsterkte neemt af, vooral doordat de nu maatgevende SGM-sprinters in de nabije toekomst vervangen worden door materieel dat minder trillingen veroorzaakt.

VIII.2.4 Conclusies

De trillingssterkte V_{max} neemt in de plansituatie af ten opzichte van de bestaande situatie. De gemiddelde trillingssterkte V_{per} is in de plansituatie lager dan de grenswaarde. Voor deze locatie dienen geen maatregelen te worden afgewogen op doelmatigheid.

Uit de metingen en berekeningen blijkt verder dat de trillingssnelheid aanzienlijk lager is dan de grenswaarde voor trillingsschade uit de SBR A-richtlijn, de kans op schade ten gevolge van treinverkeer is dus verwaarloosbaar.

VIII.3 Mient 11 - Castricum

Deze meetlocatie heeft de functie *Wonen*, een foto van dit gebouw is weergegeven in Figuur 79.



Figuur 79 Gevel

In dit gebouw is een meting uitgevoerd conform de Bts. Er zijn 2 meetpunten geplaatst gedurende de gehele meetperiode:

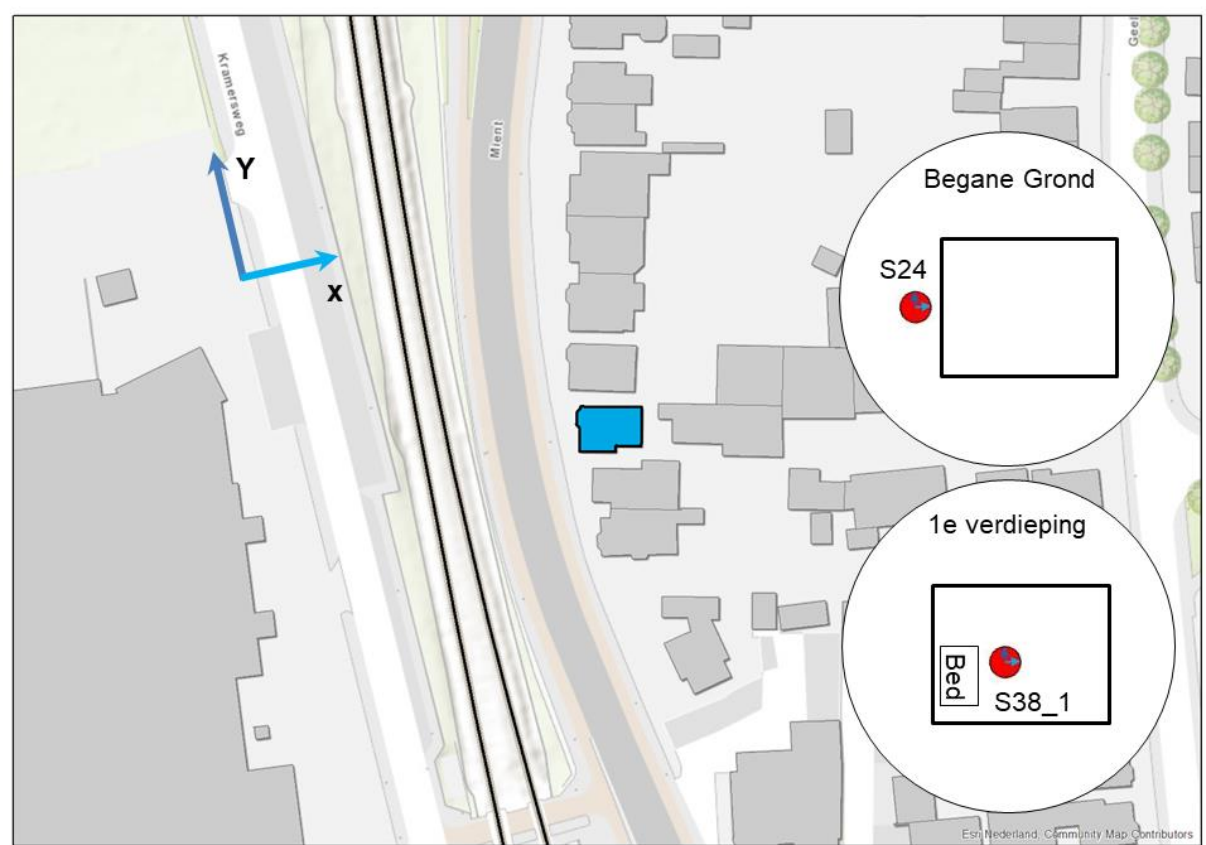
- Een driedimensionale trillingssensor (24) op een stijf punt op de begane grond (fundering).
- Een driedimensionale trillingssensor (38) in het midden van de vloer op de 1^e verdieping.

De gegevens van de metingen zijn opgenomen in Tabel 12.

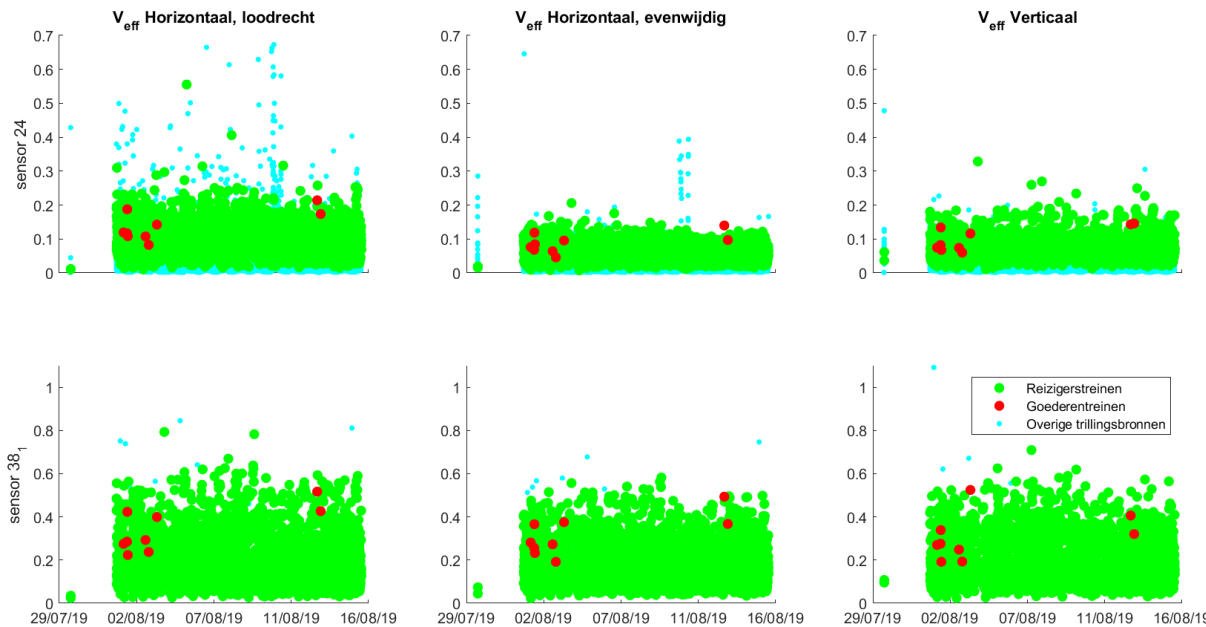
Tabel 12 Gegevens meting

1	Uitvoerende organisatie	Movares Nederland B.V.
	Verantwoordelijke persoon	ir. M. Wijnands, mark.wijnands@movares.nl
2	Meting uitgevoerd door	Sybren van Klaarsbergen
3	Tijdsperiode meting	1 augustus 2019 tot 15 augustus 2019
4	Type trillingsbron	Treinen, lokaal vrachtverkeer zorgt ook voor hoge trillingen
5	Gebouwomschrijving	Tweelaags gebouw, opgebouwd uit metselwerk
6	Locatie metingen	Zie Figuur 80
7	Geotechnische gegevens	Zie Bijlage III
8	Meetposities	Zie Figuur 80
9	Gebruikte meetopnemers	Twee 3D-geofoons
	Gebruikte registratieapparatuur	D-meetcomputer met 2 aangesloten kanalen
	Gebruikte verwerkingsapparatuur	Meetcomputer
10	Overzicht meetwaarden	Zie Figuur 81
11	Motivatatie classificatie gebouw	Op basis van gegevens BAG
12	Overige relevante omstandigheden	Zie Bijlage VI

Een overzicht van de gebruikte sensorposities en de sporenlay-out is weergegeven in Figuur 80, de meetresultaten zijn weergegeven in Figuur 81.



Figuur 80 Opstelling sensoren



Figuur 81 Meetresultaten

VIII.3.2 Resultaten meting

De meetresultaten zijn samengevat weergegeven in Tabel 13. H1 is horizontaal, loodrecht op het spoor, H2 is horizontaal, parallel aan het spoor en V is verticaal.

Tabel 13 Resultaten bestaande situatie

	24, stijf punt			38_1, midden vloer		
	H1	H2	V	H1	H2	V
V _{per} , dag	0.04	0.01	0.02	0.08	0.08	0.08
V _{per} , avond	0.03	0.01	0.01	0.07	0.07	0.07
V _{per} , nacht	0.02	0.01	0.01	0.05	0.04	0.05
V _{max} , goederen	0.20	0.13	0.14	0.50	0.46	0.45
V _{max} , reizigers	0.25	0.15	0.17	0.45	0.42	0.44
R, goederen	20	20	20	20	20	20
R, reizigers	3	3	3	3	3	3
V _{max}	0.25	0.15	0.17	0.50	0.46	0.45

Op deze locatie zijn 2826 reizigers- en 9 goederentreinpassages (werktreinen en losse locomotieven) gemeten.

VIII.3.3 Resultaten berekening plansituatie

Aan de hand van de metingen en de wijzigingen tussen de bestaande situatie en de plansituatie is een berekening gemaakt voor de trillingen in de plansituatie op basis van het rekenmodel uit Bijlage VI. De trillingen in de plansituatie zijn weergegeven in Tabel 14.

Tabel 14 Resultaten plansituatie

	24, stijf punt			38_1, midden vloer		
	H1	H2	V	H1	H2	V
V _{per} , dag	0.04	0.01	0.01	0.09	0.08	0.08
V _{per} , avond	0.03	0.01	0.01	0.08	0.08	0.08
V _{per} , nacht	0.02	0.01	0.01	0.06	0.06	0.06
V _{max} , goederen	0.20	0.13	0.14	0.50	0.46	0.45
V _{max} , reizigers	0.22	0.14	0.14	0.41	0.39	0.40
R, goederen	20	20	20	20	20	20
R, reizigers	3	3	3	3	3	3
V _{max}	0.22	0.14	0.14	0.50	0.46	0.45

De Q-waarde bedraagt 1.3. De trillingsterkte van de reizigerstreinen neemt af, vooral doordat de nu maatgevende SGM-sprinters in de nabije toekomst vervangen worden door materieel dat minder trillingen veroorzaakt. Echter, doordat er op het traject geen sprake is van structureel goederenvervoer, maar er incidenteel wel als goederentreinen gemarkeerde treinen passeren (bijv. onderhoudstreinen, losse locomotieven), is een hoge R-waarde het gevolg, en daardoor is een rekenkundige toename van de trillingen niet uit te sluiten (zie Bijlage IV voor de gehanteerde methode om de toename te berekenen)²¹.

VIII.3.4 Conclusies

De trillingssterkte V_{max} neemt in de plansituatie toe ten opzichte van de bestaande situatie, maar blijft lager dan de streefwaarde. Deze toename is bovendien puur rekenkundig, veroorzaakt doordat er geen structureel goederenvervoer plaatsvindt, waardoor incidenteel passerende treinen een rekenkundige onzekerheid geven. De gemiddelde trillingssterkte V_{per} is in de plansituatie lager dan de grenswaarde. Voor deze locatie dienen geen maatregelen te worden afgewogen op doelmatigheid. Uit de metingen en berekeningen blijkt verder dat de trillingssnelheid aanzienlijk lager is dan de grenswaarde voor trillingsschade uit de SBR A-richtlijn, de kans op schade ten gevolge van treinverkeer is dus verwaarloosbaar.

²¹ De verwerkingsmethode geeft bij een R-waarde van groter dan 10 aan dat er bij voorkeur langer dient te worden gemeten. Daar is in dit project vanaf gezien omdat er geen structureel goederenvervoer passeert, waardoor een realistische meetduur niet vooraf is in te schatten, en omdat er toch geen wijzigingen aan het goederenvervoer plaatsvinden.

VIII.4 Mient 33 - Castricum

Deze meetlocatie heeft de functie *Wonen*, een foto van dit gebouw is weergegeven in Figuur 82.



Figuur 82 Gevel

In dit gebouw is een meting uitgevoerd conform de Bts. Er zijn 2 meetpunten geplaatst gedurende de gehele meetperiode:

- Een driedimensionale trillingssensor (10) op een stijf punt op de begane grond (fundering).
- Een driedimensionale trillingssensor (29_1) in het midden van de vloer op de 2^e verdieping.

De gegevens van de metingen zijn opgenomen in Tabel 15.

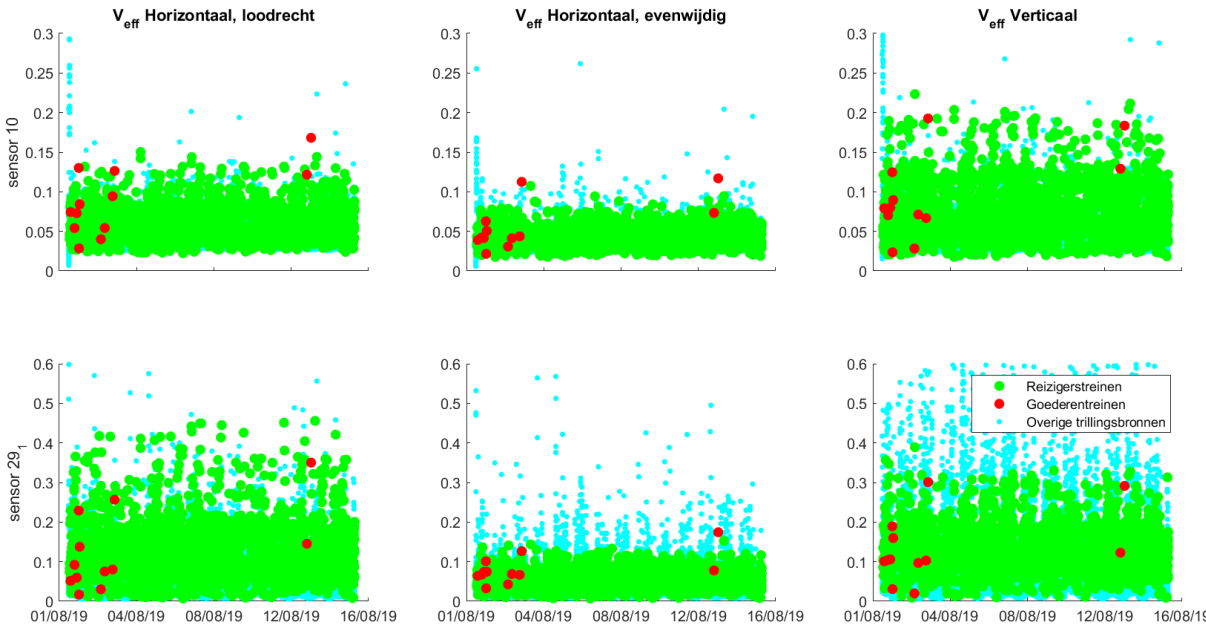
Tabel 15 Gegevens meting

1	Uitvoerende organisatie	Movares Nederland B.V.
	Verantwoordelijke persoon	ir. M. Wijnands, mark.wijnands@movares.nl
2	Meting uitgevoerd door	Sybre van Klaarsbergen
3	Tijdspanne meting	1 augustus 2019 tot 15 augustus 2019
4	Type trillingsbron	Treinen, lokaal vrachtverkeer zorgt voor hogere trillingen
5	Gebouwomschrijving	Drielaags geschakeld gebouw, opgebouwd uit metselwerk
6	Locatie metingen	Zie Figuur 83
7	Geotechnische gegevens	Zie Bijlage III
8	Meetposities	Zie Figuur 83
9	Gebruikte meetopnemers	Twee 3D-geofoons
	Gebruikte registratieapparatuur	D-meetcomputer met 2 aangesloten kanalen
	Gebruikte verwerkingsapparatuur	Meetcomputer
10	Overzicht meetwaarden	Zie Figuur 84
11	Motivatie classificatie gebouw	Op basis van gegevens BAG
12	Overige relevante omstandigheden	Zie Bijlage VI

Een overzicht van de gebruikte sensorposities en de sporenlay-out is weergegeven in Figuur 83, de meetresultaten zijn weergegeven in Figuur 84.



Figuur 83 Opstelling sensoren



Figuur 84 Meetresultaten

VIII.4.2 Resultaten meting

De meetresultaten zijn samengevat weergegeven in Tabel 16. H1 is horizontaal, loodrecht op het spoor, H2 is horizontaal, parallel aan het spoor en V is verticaal.

Tabel 16 Resultaten bestaande situatie

	10, stijf punt			29_1, midden vloer		
	H1	H2	V	H1	H2	V
V _{per} , dag	0.01	<0.01	0.02	0.06	0.01	0.06
V _{per} , avond	0.01	<0.01	0.02	0.05	<0.01	0.04
V _{per} , nacht	0.01	<0.01	0.01	0.03	<0.01	0.03
V _{max} , goederen	0.13	0.08	0.13	0.15	0.12	0.17
V _{max} , reizigers	0.15	0.11	0.18	0.27	0.13	0.30
R, goederen	18	18	18	18	18	18
R, reizigers	3	3	3	3	3	3
V _{max}	0.15	0.11	0.18	0.27	0.13	0.30

Op deze locatie zijn 2592 reizigers- en 12 goederentreinpassages (werktreinen en losse locomotieven) gemeten.

VIII.4.3 Resultaten berekening plansituatie

Aan de hand van de metingen en de wijzigingen tussen de bestaande situatie en de plansituatie is een berekening gemaakt voor de trillingen in de plansituatie op basis van het rekenmodel uit Bijlage VI. De trillingen in de plansituatie zijn weergegeven in Tabel 17.

Tabel 17 Resultaten plansituatie

	10, midden vloer			29_1, stijf punt		
	H1	H2	V	H1	H2	V
V _{per} , dag	0.01	<0.01	0.02	0.05	0.01	0.06
V _{per} , avond	0.01	<0.01	0.02	0.05	<0.01	0.04
V _{per} , nacht	0.01	<0.01	0.01	0.03	0.01	0.03
V _{max} , goederen	0.13	0.08	0.13	0.15	0.12	0.17
V _{max} , reizigers	0.13	0.10	0.16	0.24	0.12	0.27
R, goederen	18	18	18	18	18	18
R, reizigers	3	3	3	3	3	3
V _{max}	0.13	0.10	0.16	0.24	0.12	0.27

De Q-waarde bedraagt 0.9. De trillingsterkte neemt af, vooral doordat de nu maatgevende SGM-sprinters in de nabije toekomst vervangen worden door materieel dat minder trillingen veroorzaakt.

VIII.4.4 Conclusies

De trillingssterkte V_{max} neemt in de plansituatie af ten opzichte van de bestaande situatie. De gemiddelde trillingssterkte V_{per} is in de plansituatie lager dan de grenswaarde. Voor deze locatie dienen geen maatregelen te worden afgewogen op doelmatigheid.

Uit de metingen en berekeningen blijkt verder dat de trillingssnelheid aanzienlijk lager is dan de grenswaarde voor trillingsschade uit de SBR A-richtlijn, de kans op schade ten gevolge van treinverkeer is dus verwaarloosbaar.

VIII.5 Korte Kapellaan 14 - Heiloo

Deze meetlocatie heeft de functie *Wonen*, een foto van dit gebouw is weergegeven in Figuur 85.



Figuur 85 Gevel (nr. 14 is de woning rechts)

In dit gebouw is een meting uitgevoerd conform de Bts. Er zijn 2 meetpunten geplaatst gedurende de gehele meetperiode:

- Een driedimensionale trillingssensor (24_1) op een stijf punt op de begane grond (fundering).
- Een driedimensionale trillingssensor (26_1) in het midden van de vloer op de 1^e verdieping.

De gegevens van de metingen zijn opgenomen in Tabel 18.

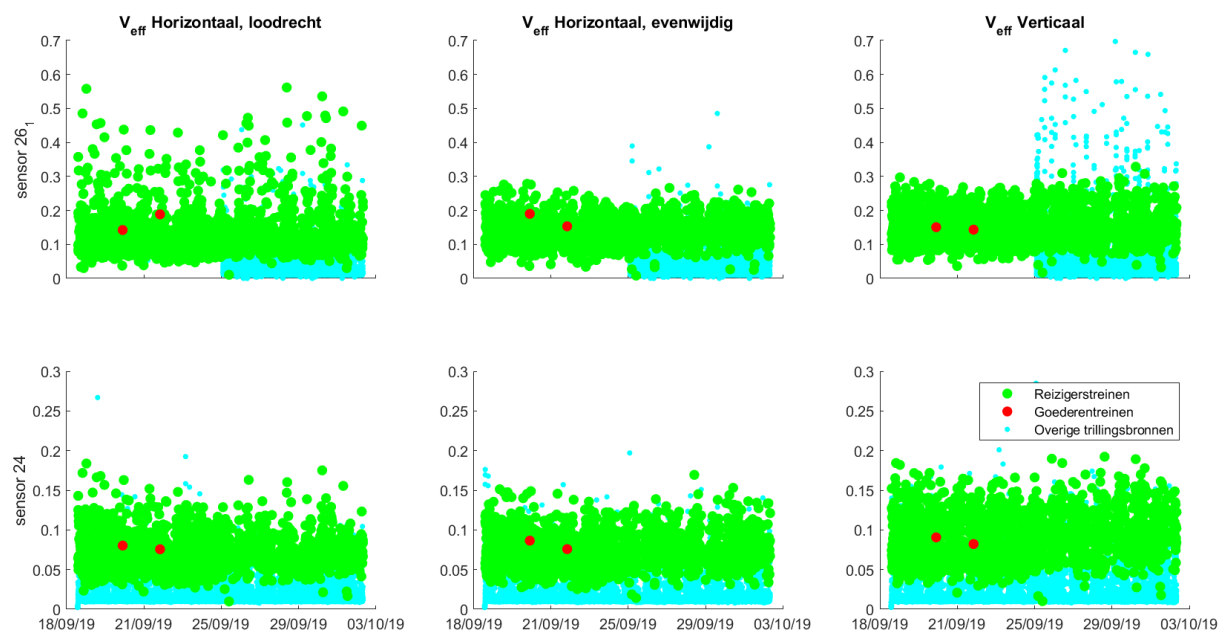
Tabel 18 Gegevens meting

1	Uitvoerende organisatie	<i>Movares Nederland B.V.</i>
	Verantwoordelijke persoon	<i>ir. M. Wijnands, mark.wijnands@movares.nl</i>
2	Meting uitgevoerd door	<i>Sybren van Klaarsbergen</i>
3	Tijdsperiode meting	<i>18 september 2019 tot 2 oktober 2019</i>
4	Type trillingsbron	<i>Treinen, interne verstoringen zorgen ook voor hoge trillingen</i>
5	Gebouwomschrijving	<i>Tweelaags gebouw, opgebouwd uit metselwerk</i>
6	Locatie metingen	<i>Zie Figuur 86</i>
7	Geotechnische gegevens	<i>Zie Bijlage III</i>
8	Meetposities	<i>Zie Figuur 86</i>
9	Gebruikte meetopnemers	<i>Twee 3D-geofoons</i>
	Gebruikte registratieapparatuur	<i>D-meetcomputer met 2 aangesloten kanalen</i>
	Gebruikte verwerkingsapparatuur	<i>Meetcomputer</i>
10	Overzicht meetwaarden	<i>Zie Figuur 87</i>
11	Motivatatie classificatie gebouw	<i>Op basis van gegevens BAG</i>
12	Overige relevante omstandigheden	<i>Zie Bijlage VI</i>

Een overzicht van de gebruikte sensorposities en de sporenlay-out is weergegeven in Figuur 86, de meetresultaten zijn weergegeven in Figuur 87. De achtergrondtrillingen zijn op sensor 26_1 niet gedurende de hele meetperiode zichtbaar. Dit komt doordat deze sensor een deel van de tijd niet heeft gemeten, de trillingen in deze periode zijn berekend op basis van de trillingen en de overdracht met sensor 24_1 (over de periode dat beide sensoren wel actief waren). Deze berekening is alleen uitgevoerd voor de treinpassages, niet voor de achtergrondtrillingen.



Figuur 86 Opstelling sensoren



Figuur 87 Meetresultaten

VIII.5.2 Resultaten meting

De meetresultaten zijn samengevat weergegeven in Tabel 19. H1 is horizontaal, loodrecht op het spoor, H2 is horizontaal, parallel aan het spoor en V is verticaal.

Tabel 19 Resultaten bestaande situatie

	26_1, midden vloer			24_1, stijf punt		
	H1	H2	V	H1	H2	V
V _{per} , dag	0.04	0.05	0.05	0.01	0.01	0.02
V _{per} , avond	0.04	0.05	0.05	0.01	0.01	0.02
V _{per} , nacht	0.02	0.03	0.03	0.01	0.01	0.01
V _{max} , goederen	0.06	0.07	0.06	0.03	0.03	0.03
V _{max} , reizigers	0.31	0.36	0.37	0.18	0.18	0.22
R, goederen	43	43	43	43	43	43
R, reizigers	3	3	3	3	3	3
V _{max}	0.31	0.36	0.37	0.18	0.18	0.22

Op deze locatie zijn 2511 reizigers- en 2 goederentreinpassages (werktreinen en losse locomotieven) gemeten.

VIII.5.3 Resultaten berekening plansituatie

Aan de hand van de metingen en de wijzigingen tussen de bestaande situatie en de plansituatie is een berekening gemaakt voor de trillingen in de plansituatie op basis van het rekenmodel uit Bijlage VI. De trillingen in de plansituatie zijn weergegeven in Tabel 20.

Tabel 20 Resultaten plansituatie

	26_1, midden vloer			24_1, stijf punt		
	H1	H2	V	H1	H2	V
V _{per} , dag	0.03	0.05	0.05	<0.01	0.01	0.01
V _{per} , avond	0.03	0.05	0.04	<0.01	<0.01	0.01
V _{per} , nacht	0.02	0.03	0.02	<0.01	<0.01	<0.01
V _{max} , goederen	0.06	0.07	0.06	0.03	0.03	0.03
V _{max} , reizigers	0.25	0.33	0.31	0.15	0.16	0.20
R, goederen	43	43	43	43	43	43
R, reizigers	3	3	3	3	3	3
V _{max}	0.25	0.33	0.31	0.15	0.16	0.20

De Q-waarde bedraagt 0.9. De trillingsterkte neemt af, vooral doordat de nu maatgevende SGM-sprinters in de nabije toekomst vervangen worden door materieel dat minder trillingen veroorzaakt.

VIII.5.4 Conclusies

De trillingssterkte V_{max} neemt in de plansituatie af ten opzichte van de bestaande situatie. De gemiddelde trillingssterkte V_{per} is in de plansituatie lager dan de grenswaarde. Voor deze locatie dienen geen maatregelen te worden afgewogen op doelmatigheid.

Uit de metingen en berekeningen blijkt verder dat de trillingssnelheid aanzienlijk lager is dan de grenswaarde voor trillingsschade uit de SBR A-richtlijn, de kans op schade ten gevolge van treinverkeer is dus verwaarloosbaar.

VIII.6 Kapellaan 29 - Heiloo

Deze meetlocatie heeft de functie *Wonen*, een foto van dit gebouw is weergegeven in Figuur 73.



Figuur 88 Gevel

In dit gebouw is een meting uitgevoerd conform de Bts. Er zijn 2 meetpunten geplaatst gedurende de gehele meetperiode:

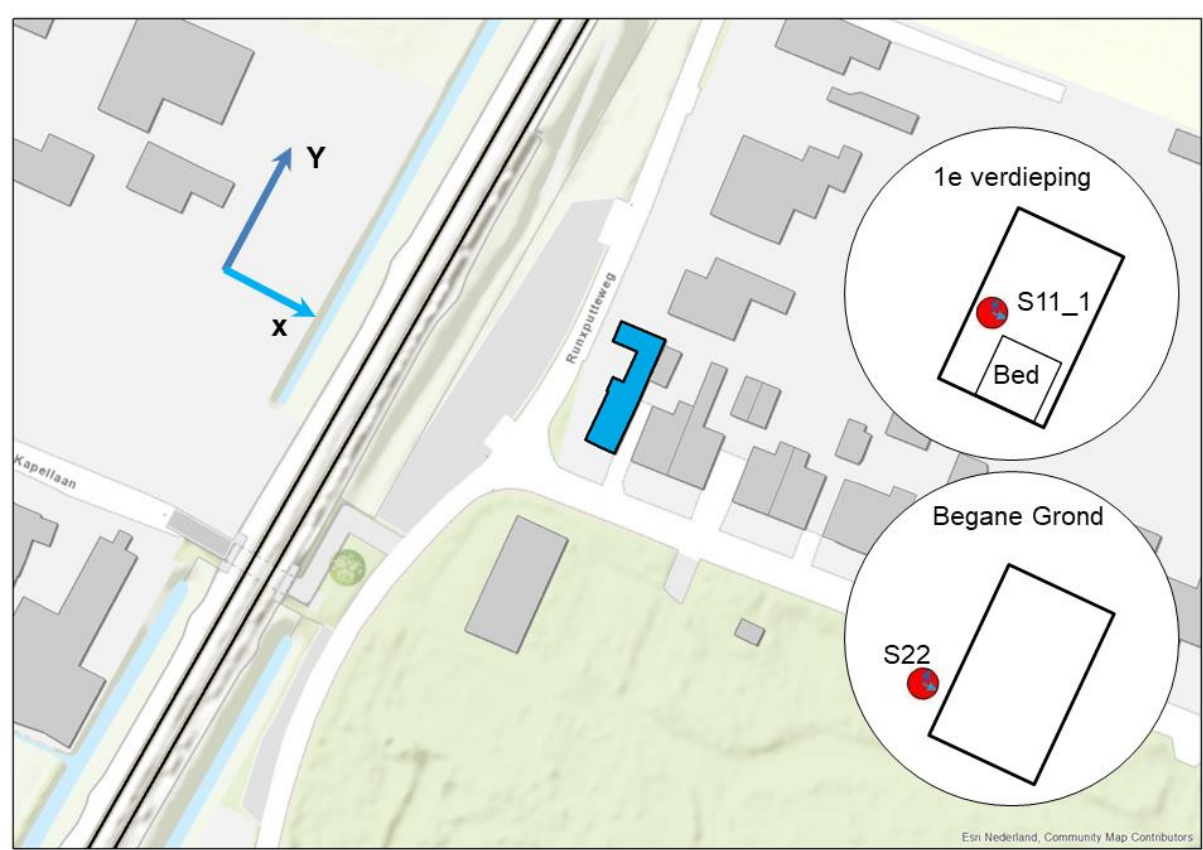
- Een driedimensionale trillingssensor (22) op een stijf punt op de begane grond (fundering).
- Een driedimensionale trillingssensor (11_1) in het midden van de vloer op de 1^e verdieping.

De gegevens van de metingen zijn opgenomen in Tabel 21.

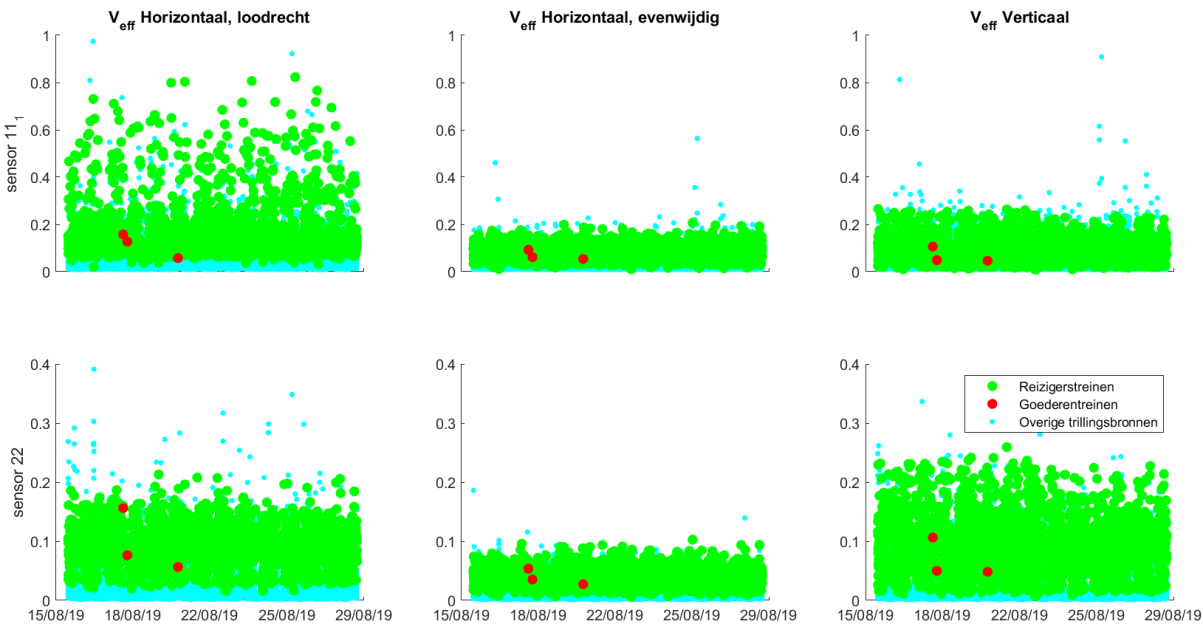
Tabel 21 Gegevens meting

1	Uitvoerende organisatie	Movares Nederland B.V.
	Verantwoordelijke persoon	ir. M. Wijnands, mark.wijnands@movares.nl
2	Meting uitgevoerd door	Sybre van Klaarsbergen
3	Tijdsperiode meting	15 augustus 2019 tot 28 augustus 2019
4	Type trillingsbron	Treinen, lokaal vrachtverkeer en interne verstoringen zorgen ook voor hoge trillingen
5	Gebouwomschrijving	Tweelaags gebouw, opgebouwd uit metselwerk en vliesgevel
6	Locatie metingen	Zie Figuur 89
7	Geotechnische gegevens	Zie Bijlage III
8	Meetposities	Zie Figuur 89
9	Gebruikte meetopnemers	Twee 3D-geofoons
	Gebruikte registratieapparatuur	D-meetcomputer met 2 aangesloten kanalen
	Gebruikte verwerkingsapparatuur	Meetcomputer
10	Overzicht meetwaarden	Zie Figuur 90
11	Motivatatie classificatie gebouw	Op basis van gegevens BAG
12	Overige relevante omstandigheden	Zie Bijlage VI

Een overzicht van de gebruikte sensorposities en de sporenlay-out is weergegeven in Figuur 89, de meetresultaten zijn weergegeven in Figuur 90.



Figuur 89 Opstelling sensoren



Figuur 90 Meetresultaten

VIII.6.2 Resultaten meting

De meetresultaten zijn samengevat weergegeven in Tabel 22. H1 is horizontaal, loodrecht op het spoor, H2 is horizontaal, parallel aan het spoor en V is verticaal.

Tabel 22 Resultaten bestaande situatie

	11_1, midden vloer			22, stijf punt		
	H1	H2	V	H1	H2	V
V _{per} , dag	0.06	0.03	0.05	0.03	<0.01	0.05
V _{per} , avond	0.06	0.02	0.04	0.03	<0.01	0.04
V _{per} , nacht	0.03	0.02	0.02	0.02	<0.01	0.02
V _{max} , goederen	0.12	0.08	0.07	0.10	0.04	0.08
V _{max} , reizigers	0.36	0.22	0.22	0.22	0.10	0.21
R, goederen	35	35	35	35	35	35
R, reizigers	3	3	3	3	3	3
V _{max}	0.36	0.22	0.22	0.22	0.10	0.21

Op deze locatie zijn 2543 reizigers- en 3 goederentreinpassages (werktreinen en losse locomotieven) gemeten.

VIII.6.3 Resultaten berekening plansituatie

Aan de hand van de metingen en de wijzigingen tussen de bestaande situatie en de plansituatie is een berekening gemaakt voor de trillingen in de plansituatie op basis van het rekenmodel uit Bijlage VI. De trillingen in de plansituatie zijn weergegeven in Tabel 23.

Tabel 23 Resultaten plansituatie

	11_1, midden vloer			22, stijf punt		
	H1	H2	V	H1	H2	V
V _{per} , dag	0.05	0.02	0.03	0.01	<0.01	0.04
V _{per} , avond	0.05	0.02	0.03	0.01	<0.01	0.03
V _{per} , nacht	0.03	0.01	0.02	0.01	<0.01	0.02
V _{max} , goederen	0.12	0.08	0.07	0.10	0.04	0.08
V _{max} , reizigers	0.27	0.20	0.19	0.19	0.09	0.18
R, goederen	35	35	35	35	35	35
R, reizigers	3	3	3	3	3	3
V _{max}	0.27	0.20	0.19	0.19	0.09	0.18

De Q-waarde bedraagt 0.8. De trillingsterkte neemt af, vooral doordat de nu maatgevende SGM-sprinters in de nabije toekomst vervangen worden door materieel dat minder trillingen veroorzaakt.

VIII.6.4 Conclusies

De trillingssterkte V_{max} neemt in de plansituatie af ten opzichte van de bestaande situatie. De gemiddelde trillingssterkte V_{per} is in de plansituatie lager dan de grenswaarde. Voor deze locatie dienen geen maatregelen te worden afgewogen op doelmatigheid.

Uit de metingen en berekeningen blijkt verder dat de trillingssnelheid aanzienlijk lager is dan de grenswaarde voor trillingsschade uit de SBR A-richtlijn, de kans op schade ten gevolge van treinverkeer is dus verwaarloosbaar.

VIII.7 Runxputteweg 2 - Heiloo

Deze meetlocatie heeft de functie *Wonen*, een foto van dit gebouw is weergegeven in Figuur 73.



Figuur 91 Gevel

In dit gebouw is een meting uitgevoerd conform de Bts. Er zijn 2 meetpunten geplaatst gedurende de gehele meetperiode:

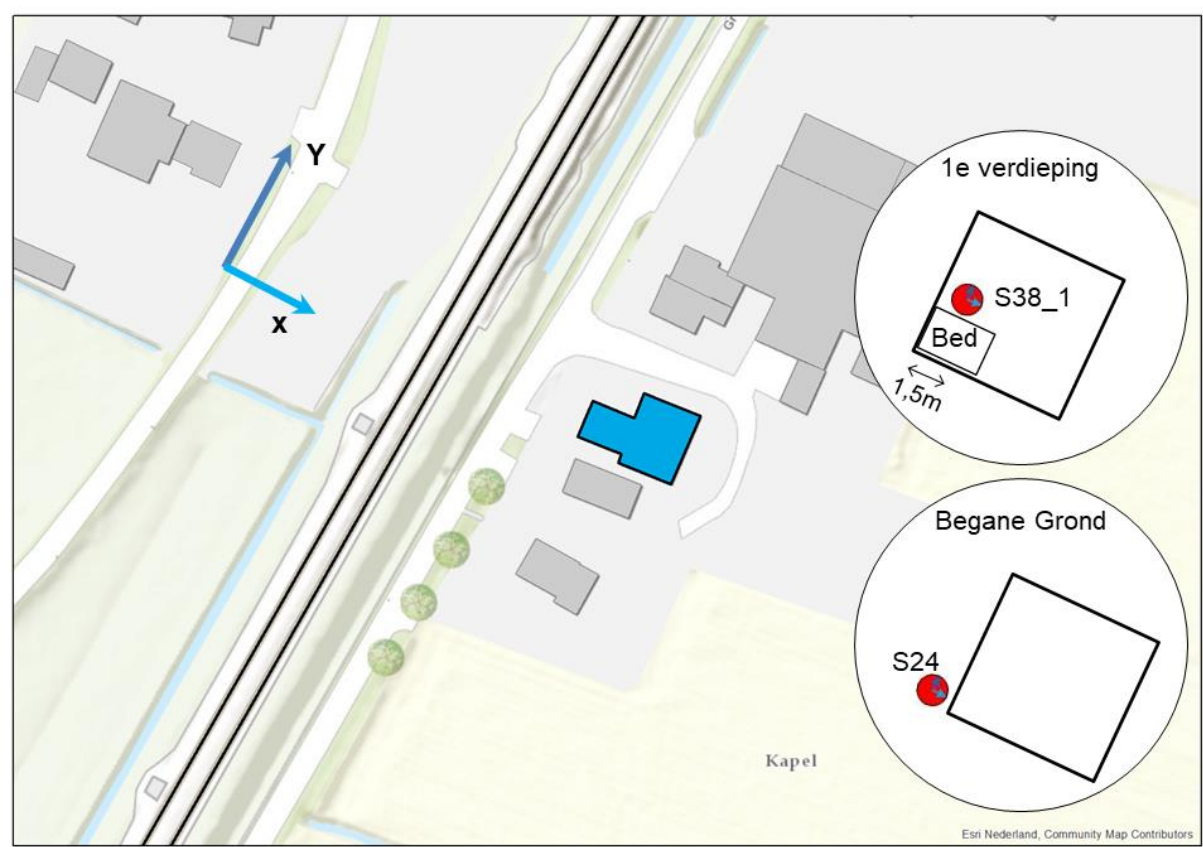
- Een driedimensionale trillingssensor (24) op een stijf punt op de begane grond (fundering).
- Een driedimensionale trillingssensor (38_1) in het midden van de vloer op de 1^e verdieping.

De gegevens van de metingen zijn opgenomen in Tabel 24.

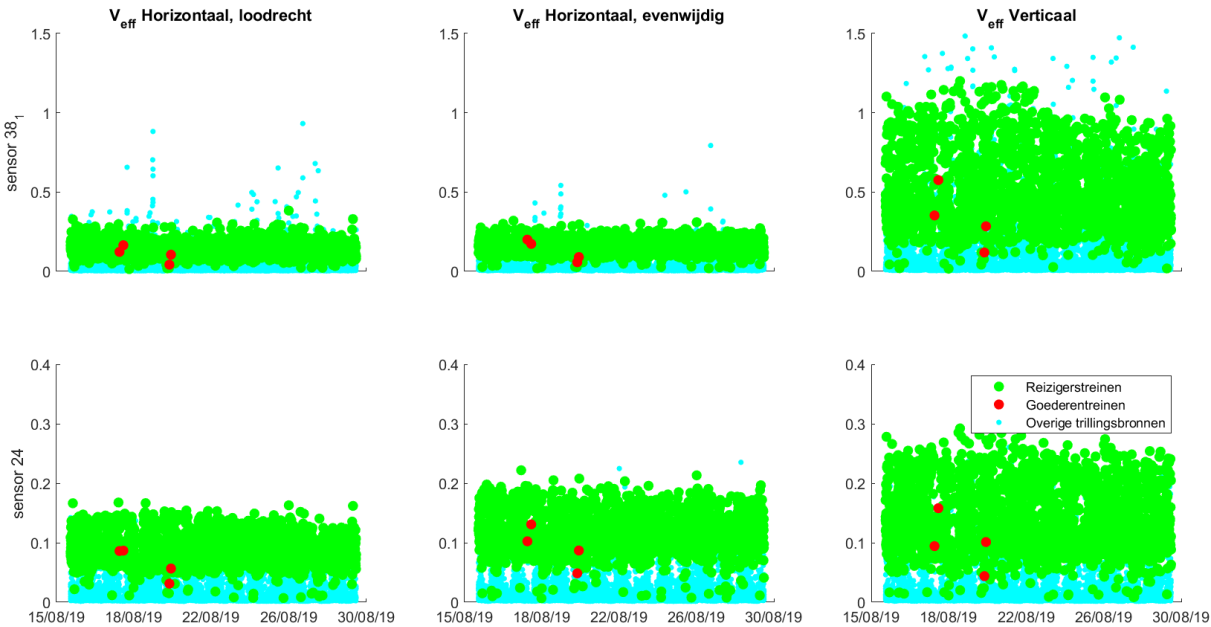
Tabel 24 Gegevens meting

1	Uitvoerende organisatie	Movares Nederland B.V.
	Verantwoordelijke persoon	ir. M. Wijnands, mark.wijnands@movares.nl
2	Meting uitgevoerd door	Sybren van Klaarsbergen
3	Tijdsperiode meting	15 augustus 2019 tot 29 augustus 2019
4	Type trillingsbron	Treinen
5	Gebouwomschrijving	Drielaags gebouw, opgebouwd uit metselwerk
6	Locatie metingen	Zie Figuur 92
7	Geotechnische gegevens	Zie Bijlage III
8	Meetposities	Zie Figuur 92
9	Gebruikte meetopnemers	Twee 3D-geofoons
	Gebruikte registratieapparatuur	D-meetcomputer met 2 aangesloten kanalen
	Gebruikte verwerkingsapparatuur	Meetcomputer
10	Overzicht meetwaarden	Zie Figuur 93
11	Motivatatie classificatie gebouw	Op basis van gegevens BAG
12	Overige relevante omstandigheden	Zie Bijlage VI

Een overzicht van de gebruikte sensorposities en de sporenlay-out is weergegeven in Figuur 92, de meetresultaten zijn weergegeven in Figuur 93.



Figuur 92 Opstelling sensoren



Figuur 93 Meetresultaten

VIII.7.2 Resultaten meting

De meetresultaten zijn samengevat weergegeven in Tabel 25. H1 is horizontaal, loodrecht op het spoor, H2 is horizontaal, parallel aan het spoor en V is verticaal.

Tabel 25 Resultaten bestaande situatie

	38_1, midden vloer			24, stijf punt		
	H1	H2	V	H1	H2	V
V _{per} , dag	0.04	0.05	0.20	0.01	0.03	0.05
V _{per} , avond	0.04	0.04	0.19	0.01	0.03	0.04
V _{per} , nacht	0.03	0.03	0.12	0.01	0.02	0.03
V _{max} , goederen	0.13	0.15	0.38	0.08	0.12	0.12
V _{max} , reizigers	0.33	0.37	1.12	0.21	0.28	0.32
R, goederen	30	30	30	30	30	30
R, reizigers	3	3	3	3	3	3
V _{max}	0.33	0.37	1.12	0.21	0.28	0.32

Op deze locatie zijn 3006 reizigers- en 4 goederentreinpassages (werktreinen en losse locomotieven) gemeten.

VIII.7.3 Resultaten berekening plansituatie

Aan de hand van de metingen en de wijzigingen tussen de bestaande situatie en de plansituatie is een berekening gemaakt voor de trillingen in de plansituatie op basis van het rekenmodel uit Bijlage VI. De trillingen in de plansituatie zijn weergegeven in Tabel 26.

Tabel 26 Resultaten plansituatie

	38_1, midden vloer			24, stijf punt		
	H1	H2	V	H1	H2	V
V _{per} , dag	0.04	0.05	0.18	<0.01	0.03	0.04
V _{per} , avond	0.03	0.04	0.17	<0.01	0.03	0.04
V _{per} , nacht	0.03	0.03	0.11	<0.01	0.02	0.03
V _{max} , goederen	0.13	0.15	0.38	0.08	0.12	0.12
V _{max} , reizigers	0.29	0.33	0.97	0.19	0.26	0.28
R, goederen	30	30	30	30	30	30
R, reizigers	3	3	3	3	3	3
V _{max}	0.29	0.33	0.97	0.19	0.26	0.28

De Q-waarde bedraagt 0.9. De trillingsterkte neemt af, vooral doordat de nu maatgevende SGM-sprinters in de nabije toekomst vervangen worden door materieel dat minder trillingen veroorzaakt. De waarde van V_{per} is hoger dan de grenswaarde van 0.10, maar neemt af doordat materieel met minder trillingen wordt ingezet. Dit compenseert de toename van het aantal treinen. Doordat V_{per} niet toeneemt, zijn maatregelen op grond van artikel 7 lid 3 van de Bts niet nodig.

VIII.7.4 Conclusies

De trillingssterkte V_{max} neemt in de plansituatie af ten opzichte van de bestaande situatie. De gemiddelde trillingssterkte V_{per} is zowel in de referentie- als de plansituatie hoger dan de grenswaarde, maar neemt af door het project. Voor deze locatie dienen geen maatregelen te worden afgewogen op doelmatigheid.

Uit de metingen en berekeningen blijkt dat de trillingssnelheid lager is dan de grenswaarde voor trillingsschade uit de SBR A-richtlijn, de kans op schade ten gevolge van treinverkeer is dus verwaarloosbaar.

VIII.8 Groeneweg 22 - Heiloo

Deze meetlocatie heeft de functie *Wonen*, een foto van dit gebouw is weergegeven in Figuur 94.



Figuur 94 Gevel

In dit gebouw is een meting uitgevoerd conform de Bts. Er zijn 2 meetpunten geplaatst gedurende de gehele meetperiode:

- Een driedimensionale trillingssensor (22) op een stijf punt op de begane grond (fundering).
- Een driedimensionale trillingssensor (11_1) in het midden van de vloer op de 1^e verdieping.

De gegevens van de metingen zijn opgenomen in Tabel 27.

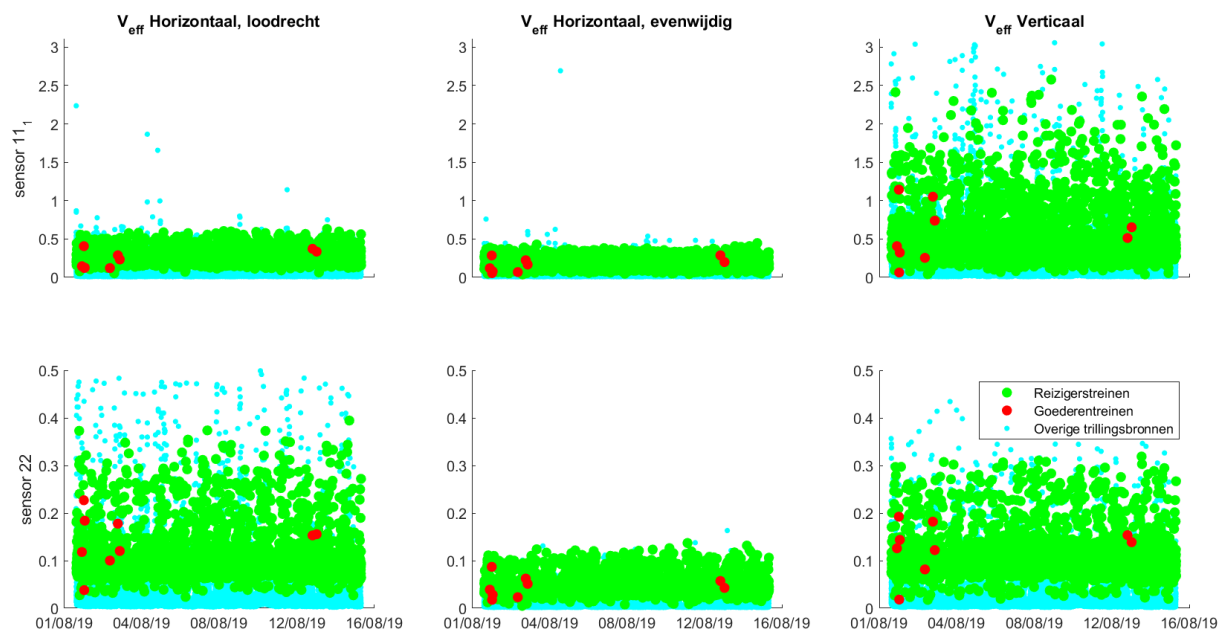
Tabel 27 Gegevens meting

1	Uitvoerende organisatie	Movares Nederland B.V.
	Verantwoordelijke persoon	ir. M. Wijnands, mark.wijnands@movares.nl
2	Meting uitgevoerd door	Sybren van Klaarsbergen
3	Tijdsperiode meting	1 augustus 2019 tot 15 augustus 2019
4	Type trillingsbron	Treinen, lokaal vrachtverkeer en interne verstoringen zorgen ook voor hoge trillingen
5	Gebouwomschrijving	Tweelaags gebouw, opgebouwd uit metselwerk
6	Locatie metingen	Zie Figuur 95
7	Geotechnische gegevens	Zie Bijlage III
8	Meetposities	Zie Figuur 95
9	Gebruikte meetopnemers	Twee 3D-geofoons
	Gebruikte registratieapparatuur	D-meetcomputer met 2 aangesloten kanalen
	Gebruikte verwerkingsapparatuur	Meetcomputer
10	Overzicht meetwaarden	Zie Figuur 96
11	Motivatatie classificatie gebouw	Op basis van gegevens BAG
12	Overige relevante omstandigheden	Zie Bijlage VI

Een overzicht van de gebruikte sensorposities en de sporenlay-out is weergegeven in Figuur 95, de meetresultaten zijn weergegeven in Figuur 96.



Figuur 95 Opstelling sensoren



Figuur 96 Meetresultaten

VIII.8.2 Resultaten meting

De meetresultaten zijn samengevat weergegeven in Tabel 28. H1 is horizontaal, loodrecht op het spoor, H2 is horizontaal, parallel aan het spoor en V is verticaal.

Tabel 28 Resultaten bestaande situatie

	11_1, midden vloer			22, stijf punt		
	H1	H2	V	H1	H2	V
V _{per} , dag	0.11	0.08	0.29	0.04	<0.01	0.04
V _{per} , avond	0.10	0.07	0.25	0.04	<0.01	0.03
V _{per} , nacht	0.06	0.04	0.16	0.02	<0.01	0.02
V _{max} , goederen	0.33	0.22	0.68	0.20	0.06	0.17
V _{max} , reizigers	0.67	0.45	1.26	0.27	0.12	0.27
R, goederen	20	20	20	20	20	20
R, reizigers	3	3	3	3	3	3
V _{max}	0.67	0.45	1.26	0.27	0.12	0.27

Op deze locatie zijn 2552 reizigers- en 9 goederentreinpassages (werktreinen en losse locomotieven) gemeten.

VIII.8.3 Resultaten berekening plansituatie

Aan de hand van de metingen en de wijzigingen tussen de bestaande situatie en de plansituatie is een berekening gemaakt voor de trillingen in de plansituatie op basis van het rekenmodel uit Bijlage VI. De trillingen in de plansituatie zijn weergegeven in Tabel 29.

Tabel 29 Resultaten plansituatie

	11_1, midden vloer			22, stijf punt		
	H1	H2	V	H1	H2	V
V _{per} , dag	0.11	0.08	0.24	0.04	<0.01	0.03
V _{per} , avond	0.10	0.07	0.22	0.03	<0.01	0.03
V _{per} , nacht	0.06	0.05	0.15	0.02	<0.01	0.02
V _{max} , goederen	0.33	0.22	0.68	0.20	0.06	0.17
V _{max} , reizigers	0.57	0.42	1.09	0.24	0.11	0.24
R, goederen	20	20	20	20	20	20
R, reizigers	3	3	3	3	3	3
V _{max}	0.57	0.42	1.09	0.24	0.11	0.24

De Q-waarde bedraagt 0.9. De trillingsterkte neemt af, vooral doordat de nu maatgevende SGM-sprinters in de nabije toekomst vervangen worden door materieel dat minder trillingen veroorzaakt. De waarde van V_{per} is hoger dan de grenswaarde van 0.10, maar neemt af doordat materieel met minder trillingen wordt ingezet. Dit compenseert de toename van het aantal treinen. Doordat V_{per} niet toeneemt, zijn maatregelen op grond van artikel 7 lid 3 van de Bts niet nodig.

VIII.8.4 Conclusies

De trillingssterkte V_{max} neemt in de plansituatie af ten opzichte van de bestaande situatie. De gemiddelde trillingssterkte V_{per} is zowel in de referentie- als de plansituatie hoger dan de grenswaarde, maar neemt af door het project. Voor deze locatie dienen geen maatregelen te worden afgewogen op doelmatigheid.

Uit de metingen en berekeningen blijkt dat de trillingssnelheid lager is dan de grenswaarde voor trillingsschade uit de SBR A-richtlijn, de kans op schade ten gevolge van treinverkeer is dus verwaarloosbaar.

VIII.9 Groeneweg 8 - Heiloo

Deze meetlocatie heeft de functie *Wonen*, een foto van dit gebouw is weergegeven in Figuur 97.



Figuur 97 Gevel

In dit gebouw is een meting uitgevoerd conform de Bts. Er zijn 2 meetpunten geplaatst gedurende de gehele meetperiode:

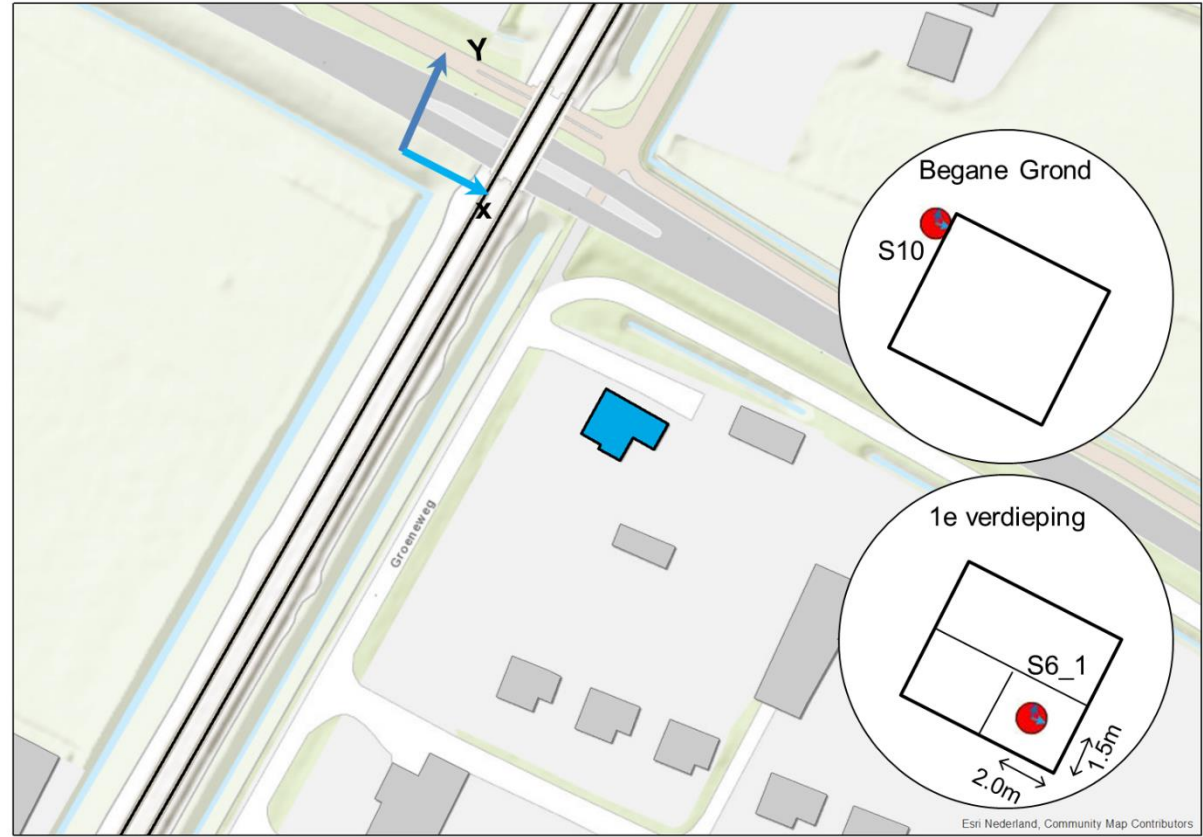
- Een driedimensionale trillingssensor (10) op een stijf punt op de begane grond (fundering).
- Een driedimensionale trillingssensor (6_1) in het midden van de vloer op de 1^e verdieping.

De gegevens van de metingen zijn opgenomen in Tabel 30.

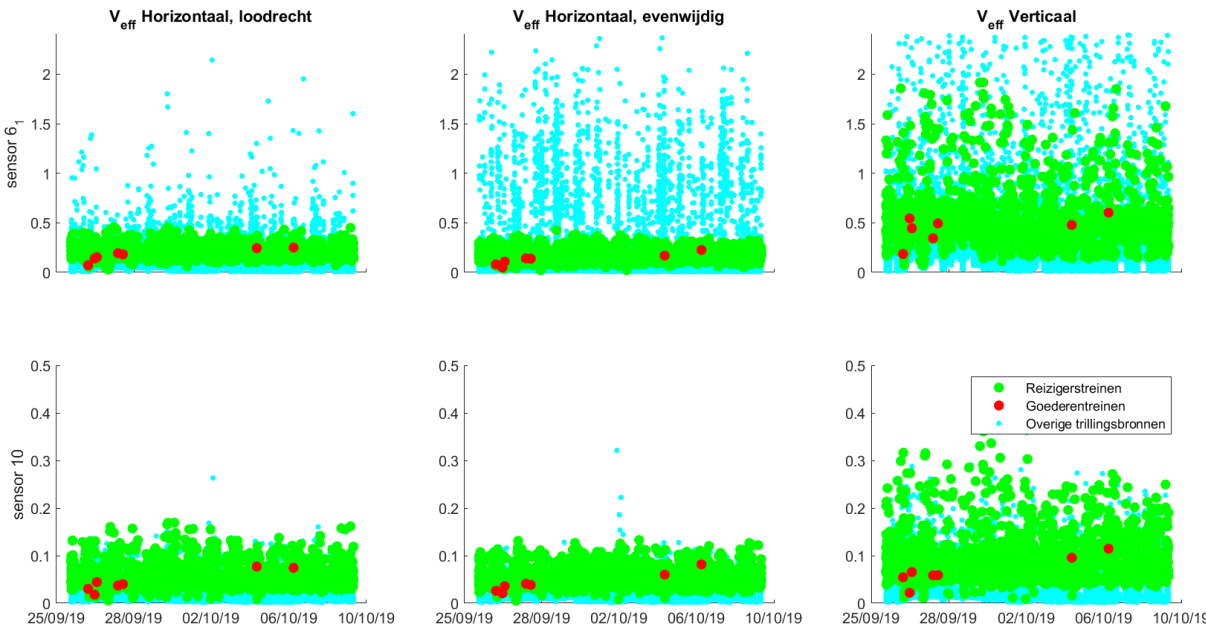
Tabel 30 Gegevens meting

1	Uitvoerende organisatie	<i>Movares Nederland B.V.</i>
	Verantwoordelijke persoon	<i>ir. M. Wijnands, mark.wijnands@movares.nl</i>
2	Meting uitgevoerd door	<i>Sybren van Klaarsbergen</i>
3	Tijdsperiode meting	<i>25 september 2019 tot 9 oktober 2019</i>
4	Type trillingsbron	<i>Treinen, lokaal vrachtverkeer en interne verstoringen zorgen ook voor hoge trillingen</i>
5	Gebouwomschrijving	<i>Tweelaags gebouw, opgebouwd uit metselwerk</i>
6	Locatie metingen	<i>Zie Figuur 98</i>
7	Geotechnische gegevens	<i>Zie Bijlage III</i>
8	Meetposities	<i>Zie Figuur 98</i>
9	Gebruikte meetopnemers	<i>Twee 3D-geofoons</i>
	Gebruikte registratieapparatuur	<i>D-meetcomputer met 2 aangesloten kanalen</i>
	Gebruikte verwerkingsapparatuur	<i>Meetcomputer</i>
10	Overzicht meetwaarden	<i>Zie Figuur 99</i>
11	Motivatatie classificatie gebouw	<i>Op basis van gegevens BAG</i>
12	Overige relevante omstandigheden	<i>Zie Bijlage VI</i>

Een overzicht van de gebruikte sensorposities en de sporenlay-out is weergegeven in Figuur 98, de meetresultaten zijn weergegeven in Figuur 99.



Figuur 98 Opstelling sensoren



Figuur 99 Meetresultaten

VIII.9.2 Resultaten meting

De meetresultaten zijn samengevat weergegeven in Tabel 31. H1 is horizontaal, loodrecht op het spoor, H2 is horizontaal, parallel aan het spoor en V is verticaal.

Tabel 31 Resultaten bestaande situatie

	6_1, midden vloer			10, stijf punt		
	H1	H2	V	H1	H2	V
V _{per} , dag	0.07	0.06	0.21	0.01	0.01	0.03
V _{per} , avond	0.06	0.05	0.19	0.01	<0.01	0.03
V _{per} , nacht	0.04	0.03	0.11	<0.01	<0.01	0.02
V _{max} , goederen	0.28	0.21	0.65	0.07	0.07	0.11
V _{max} , reizigers	0.52	0.45	1.32	0.15	0.14	0.25
R, goederen	27	27	27	27	27	27
R, reizigers	3	3	3	3	3	3
V _{max}	0.52	0.45	1.32	0.15	0.14	0.25

Op deze locatie 1851 reizigers- en 7 goederentreinpassages (werktreinen en losse locomotieven) gemeten.

VIII.9.3 Resultaten berekening plansituatie

Aan de hand van de metingen en de wijzigingen tussen de bestaande situatie en de plansituatie is een berekening gemaakt voor de trillingen in de plansituatie op basis van het rekenmodel uit Bijlage VI. De trillingen in de plansituatie zijn weergegeven in Tabel 32.

Tabel 32 Resultaten plansituatie

	6_1, midden vloer			10, stijf punt		
	H1	H2	V	H1	H2	V
V _{per} , dag	0.07	0.07	0.20	<0.01	<0.01	0.03
V _{per} , avond	0.06	0.05	0.18	<0.01	<0.01	0.02
V _{per} , nacht	0.04	0.03	0.09	<0.01	<0.01	0.01
V _{max} , goederen	0.28	0.21	0.65	0.07	0.07	0.11
V _{max} , reizigers	0.44	0.42	1.09	0.13	0.13	0.21
R, goederen	27	27	27	27	27	27
R, reizigers	3	3	3	3	3	3
V _{max}	0.44	0.42	1.09	0.13	0.13	0.21

De Q-waarde bedraagt 0.8. De trillingsterkte neemt af, vooral doordat de nu maatgevende SGM-sprinters in de nabije toekomst vervangen worden door materieel dat minder trillingen veroorzaakt. De waarde van V_{per} is hoger dan de grenswaarde van 0.10, maar neemt af doordat materieel met minder trillingen wordt ingezet. Dit compenseert de toename van het aantal treinen. Doordat V_{per} niet toeneemt, zijn maatregelen op grond van artikel 7 lid 3 van de Bts niet nodig.

VIII.9.4 Conclusies

De trillingssterkte V_{max} neemt in de plansituatie af ten opzichte van de bestaande situatie. De gemiddelde trillingssterkte V_{per} is zowel in de referentie- als de plansituatie hoger dan de grenswaarde, maar neemt af door het project. Voor deze locatie dienen geen maatregelen te worden afgewogen op doelmatigheid.

Uit de metingen en berekeningen blijkt dat de trillingssnelheid lager is dan de grenswaarde voor trillingsschade uit de SBR A-richtlijn, de kans op schade ten gevolge van treinverkeer is dus verwaarloosbaar.

VIII.10 Groeneweg 6 - Heiloo

Deze meetlocatie heeft de functie *Wonen*, een foto van dit gebouw is weergegeven in Figuur 100.



Figuur 100 Gevel

In dit gebouw is een meting uitgevoerd conform de Bts. Er zijn 2 meetpunten geplaatst gedurende de gehele meetperiode:

- Een driedimensionale trillingssensor (14) op een stijf punt op de begane grond (fundering).
- Een driedimensionale trillingssensor (11_1) in het midden van de vloer op de 1^e verdieping.

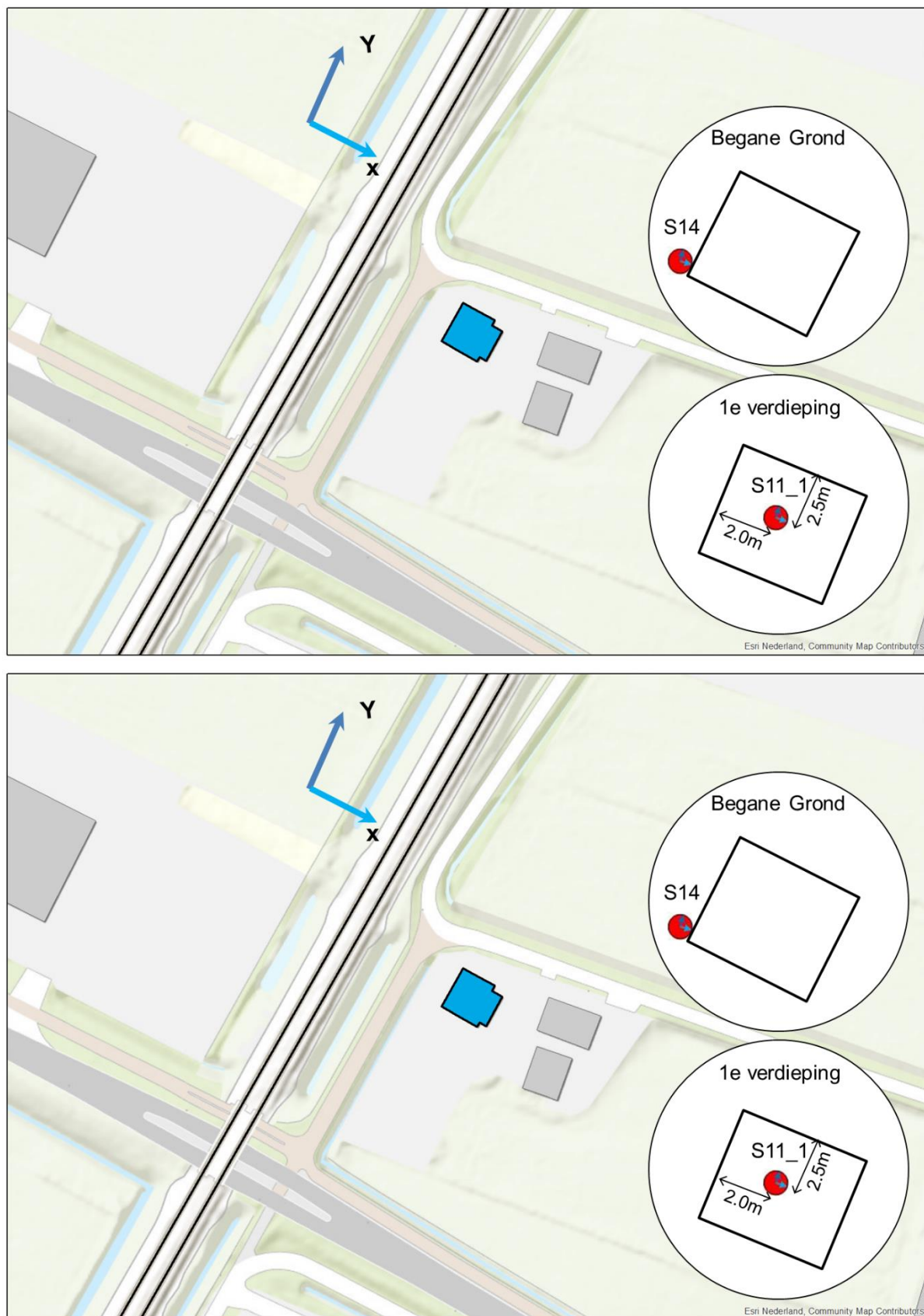
De gegevens van de metingen zijn opgenomen in Tabel 33.

Tabel 33 Gegevens meting

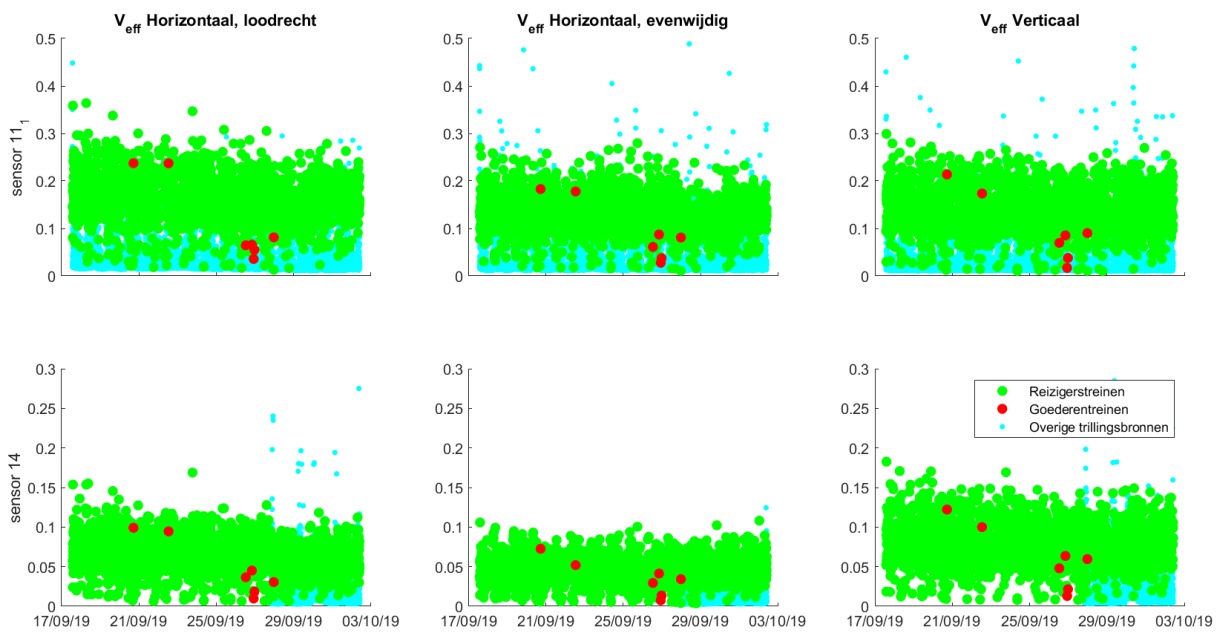
1	Uitvoerende organisatie	<i>Movares Nederland B.V.</i>
	Verantwoordelijke persoon	<i>ir. M. Wijnands, mark.wijnands@movares.nl</i>
2	Meting uitgevoerd door	<i>Sybren van Klaarsbergen</i>
3	Tijdsperiode meting	<i>17 september 2019 tot 2 oktober 2019</i>
4	Type trillingsbron	<i>Treinen, interne verstoringen zorgen ook voor hoge trillingen</i>
5	Gebouwomschrijving	<i>Tweelaags gebouw, opgebouwd uit metselwerk</i>
6	Locatie metingen	<i>Zie Figuur 101 Opstelling sensoren</i>
7	Geotechnische gegevens	<i>Zie Bijlage III</i>
8	Meetposities	<i>Zie Figuur 101 Opstelling sensoren</i>
9	Gebruikte meetopnemers	<i>Twee 3D-geofoons</i>
	Gebruikte registratieapparatuur	<i>D-meetcomputer met 2 aangesloten kanalen</i>
	Gebruikte verwerkingsapparatuur	<i>Meetcomputer</i>
10	Overzicht meetwaarden	<i>Zie Figuur 102</i>

- | | | |
|----|----------------------------------|---------------------------|
| 11 | Motivatie classificatie gebouw | Op basis van gegevens BAG |
| 12 | Overige relevante omstandigheden | Zie Bijlage VI |

Een overzicht van de gebruikte sensorposities en de sporenlay-out is weergegeven in Figuur 101. Opstelling sensoren, de meetresultaten zijn weergegeven in Figuur 102.



Figuur 101 Opstelling sensoren



Figuur 102 Meetresultaten

VIII.10.2 Resultaten meting

De meetresultaten zijn samengevat weergegeven in Tabel 34. H1 is horizontaal, loodrecht op het spoor, H2 is horizontaal, parallel aan het spoor en V is verticaal.

Tabel 34 Resultaten bestaande situatie

	11_1, midden vloer			14, stijf punt		
	H1	H2	V	H1	H2	V
V _{per} , dag	0.06	0.04	0.04	<0.01	<0.01	0.01
V _{per} , avond	0.05	0.03	0.04	0.01	<0.01	0.01
V _{per} , nacht	0.03	0.02	0.02	<0.01	<0.01	0.01
V _{max} , goederen	0.18	0.17	0.18	0.08	0.07	0.11
V _{max} , reizigers	0.44	0.35	0.36	0.18	0.12	0.22
R, goederen	30	30	30	30	30	30
R, reizigers	3	3	3	3	3	3
V _{max}	0.44	0.35	0.36	0.18	0.12	0.22

Op deze locatie 2609 reizigers- en 7 goederentreinpassages (werktreinen en losse locomotieven) gemeten.

VIII.10.3 Resultaten berekening plansituatie

Aan de hand van de metingen en de wijzigingen tussen de bestaande situatie en de plansituatie is een berekening gemaakt voor de trillingen in de plansituatie op basis van het rekenmodel uit Bijlage VI. De trillingen in de plansituatie zijn weergegeven in Tabel 35.

Tabel 35 Resultaten plansituatie

	11_1, midden vloer			14, stijf punt		
	H1	H2	V	H1	H2	V
V _{per} , dag	0.06	0.04	0.04	<0.01	<0.01	0.01
V _{per} , avond	0.05	0.03	0.03	<0.01	<0.01	0.01
V _{per} , nacht	0.02	0.02	0.02	<0.01	<0.01	<0.01
V _{max} , goederen	0.18	0.17	0.18	0.08	0.07	0.11
V _{max} , reizigers	0.40	0.32	0.32	0.16	0.11	0.19
R, goederen	30	30	30	30	30	30
R, reizigers	3	3	3	3	3	3
V _{max}	0.40	0.32	0.32	0.16	0.11	0.19

De Q-waarde bedraagt 0.9. De trillingsterkte neemt af, vooral doordat de nu maatgevende SGM-sprinters in de nabije toekomst vervangen worden door materieel dat minder trillingen veroorzaakt.

VIII.10.4 Conclusies

De trillingssterkte V_{max} neemt in de plansituatie af ten opzichte van de bestaande situatie. De gemiddelde trillingssterkte V_{per} is in de plansituatie lager dan de grenswaarde. Voor deze locatie dienen geen maatregelen te worden afgewogen op doelmatigheid.

Uit de metingen en berekeningen blijkt verder dat de trillingssnelheid aanzienlijk lager is dan de grenswaarde voor trillingsschade uit de SBR A-richtlijn, de kans op schade ten gevolge van treinverkeer is dus verwaarloosbaar.

VIII.11 Stationsweg 112 - Heerhugowaard

Deze meetlocatie heeft de functie *Wonen*, een foto van dit gebouw is weergegeven in Figuur 103.



Figuur 103 Gevel

In dit gebouw is een meting uitgevoerd conform de Bts. Er zijn 2 meetpunten geplaatst gedurende de gehele meetperiode:

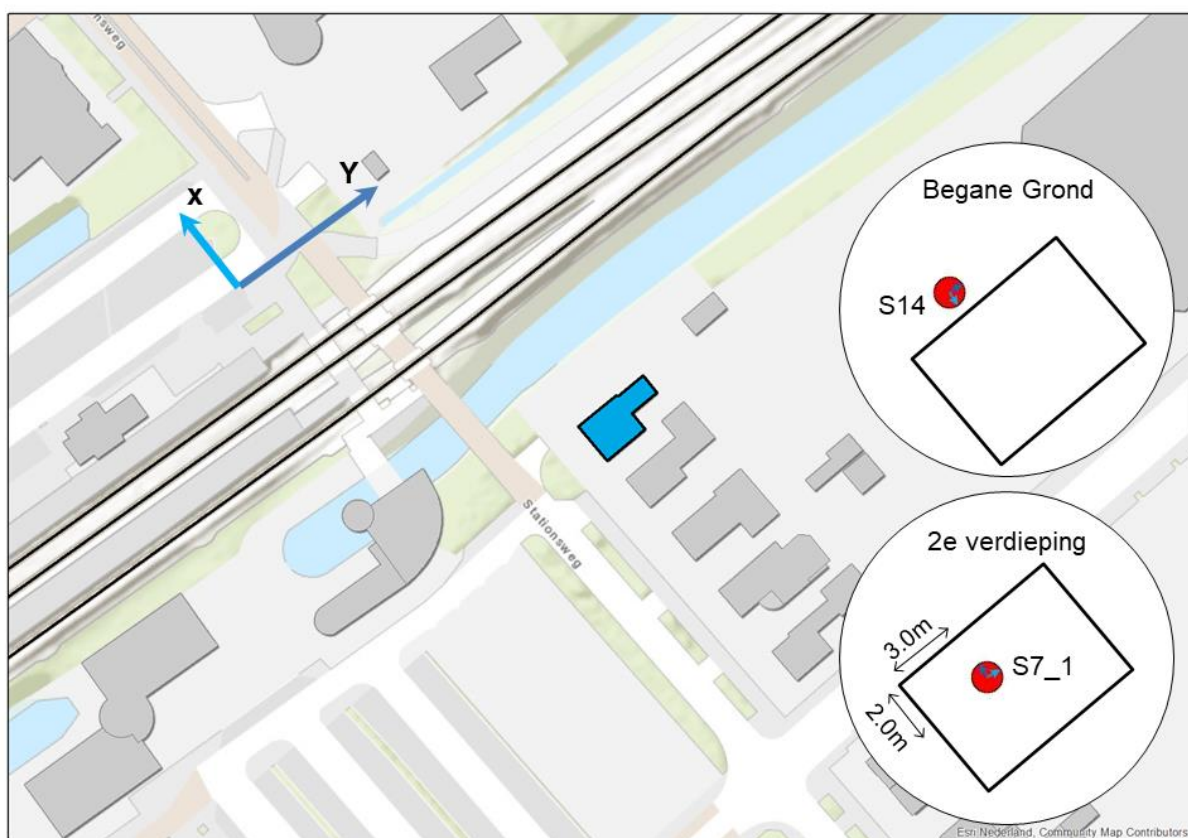
- Een driedimensionale trillingssensor (14) op een stijf punt op de begane grond (fundering).
- Een driedimensionale trillingssensor (7_1) in het midden van de vloer op de 2^e verdieping.

De gegevens van de metingen zijn opgenomen in Tabel 36.

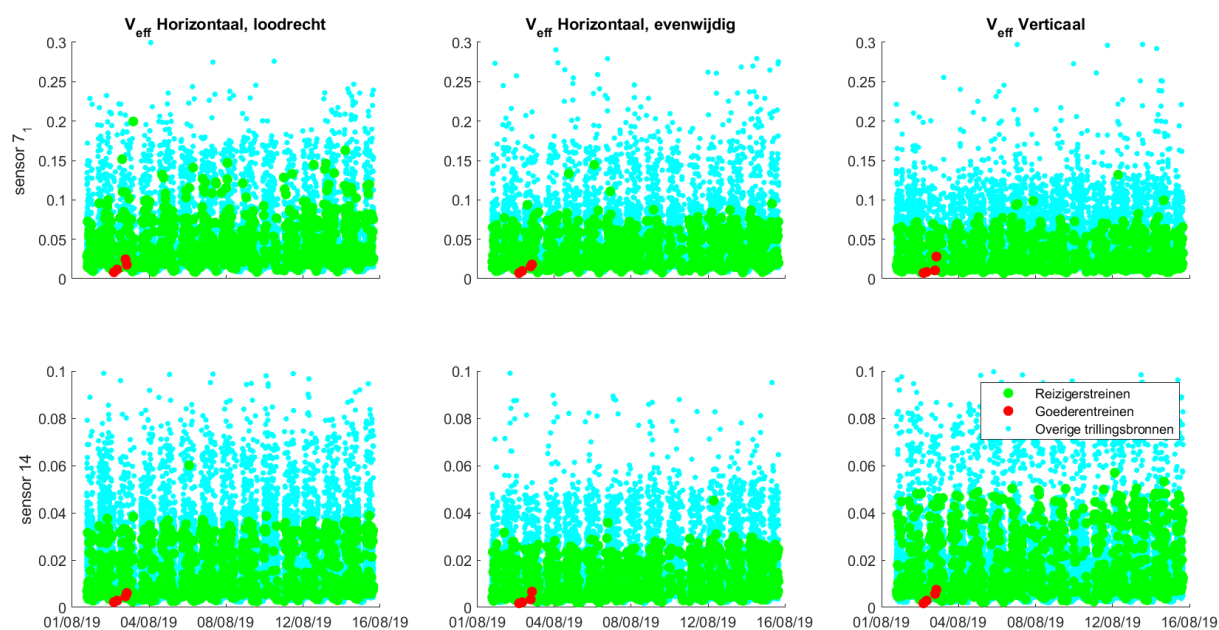
Tabel 36 Gegevens meting

1	Uitvoerende organisatie	Movares Nederland B.V.
	Verantwoordelijke persoon	ir. M. Wijnands, mark.wijnands@movares.nl
2	Meting uitgevoerd door	Sybren van Klaarsbergen
3	Tijdsperiode meting	1 augustus 2019 tot 15 augustus 2019
4	Type trillingsbron	Treinen, interne verstoringen zorgen ook voor hoge trillingen
5	Gebouwomschrijving	Drielaags gebouw, opgebouwd uit metselwerk
6	Locatie metingen	Zie Figuur 104
7	Geotechnische gegevens	Zie Bijlage III
8	Meetposities	Zie Figuur 104
9	Gebruikte meetopnemers	Twée 3D-geofoons
	Gebruikte registratieapparatuur	D-meetcomputer met 2 aangesloten kanalen
	Gebruikte verwerkingsapparatuur	Meetcomputer
10	Overzicht meetwaarden	Zie Figuur 105
11	Motivatíe classificatie gebouw	Op basis van gegevens BAG
12	Overige relevante omstandigheden	Zie Bijlage VI

Een overzicht van de gebruikte sensorposities en de sporenlay-out is weergegeven in Figuur 104, de meetresultaten zijn weergegeven in Figuur 105.



Figuur 104 Opstelling sensoren



Figuur 105 Meetresultaten

VIII.11.2 Resultaten meting

De meetresultaten zijn samengevat weergegeven in Tabel 37. H1 is horizontaal, loodrecht op het spoor, H2 is horizontaal, parallel aan het spoor en V is verticaal. De trillingssterkte van goederentreinen is gelijk aan 0.00, omdat er geen goederentreinen passeerden met een

trillingssterkte die groter was dan de drempelwaarde uit de naverwerkingsmethode: alle als goederentrein gemarkeerde treinen hadden een zeer lage trillingssterkte.

Tabel 37 Resultaten bestaande situatie

	7_1, midden vloer			14, stijf punt		
	H1	H2	V	H1	H2	V
V _{per} , dag	0.01	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
V _{per} , avond	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
V _{per} , nacht	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
V _{max} , goederen	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
V _{max} , reizigers	0.12	0.10	0.09	0.05	0.04	0.06
R, goederen	43	43	43	43	43	43
R, reizigers	4	4	4	4	4	4
V _{max}	0.12	0.10	0.09	0.05	0.04	0.06

Op deze locatie zijn 1058 reizigers- en 4 goederentreinpassages (werktreinen en losse locomotieven) gemeten.

VIII.11.3 Resultaten berekening plansituatie

Aan de hand van de metingen en de wijzigingen tussen de bestaande situatie en de plansituatie is een berekening gemaakt voor de trillingen in de plansituatie op basis van het rekenmodel uit Bijlage VI. De trillingen in de plansituatie zijn weergegeven in Tabel 38.

Tabel 38 Resultaten plansituatie

	7_1, midden vloer			14, stijf punt		
	H1	H2	V	H1	H2	V
V _{per} , dag	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
V _{per} , avond	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
V _{per} , nacht	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
V _{max} , goederen	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
V _{max} , reizigers	0.11	0.09	0.08	0.05	0.04	0.05
R, goederen	43	43	43	43	43	43
R, reizigers	4	4	4	4	4	4
V _{max}	0.11	0.09	0.08	0.05	0.04	0.05

De Q-waarde bedraagt 0.9. De trillingsterkte neemt af, vooral doordat de nu maatgevende SGM-sprinters in de nabije toekomst vervangen worden door materieel dat minder trillingen veroorzaakt.

VIII.11.4 Conclusies

De trillingssterkte V_{max} neemt in de plansituatie af ten opzichte van de bestaande situatie. De gemiddelde trillingssterkte V_{per} is in de plansituatie lager dan de grenswaarde. Voor deze locatie dienen geen maatregelen te worden afgewogen op doelmatigheid.

Uit de metingen en berekeningen blijkt verder dat de trillingssnelheid aanzienlijk lager is dan de grenswaarde voor trillingsschade uit de SBR A-richtlijn, de kans op schade ten gevolge van treinverkeer is dus verwaarloosbaar.

Bijlage IX – Resultaten modelberekeningen

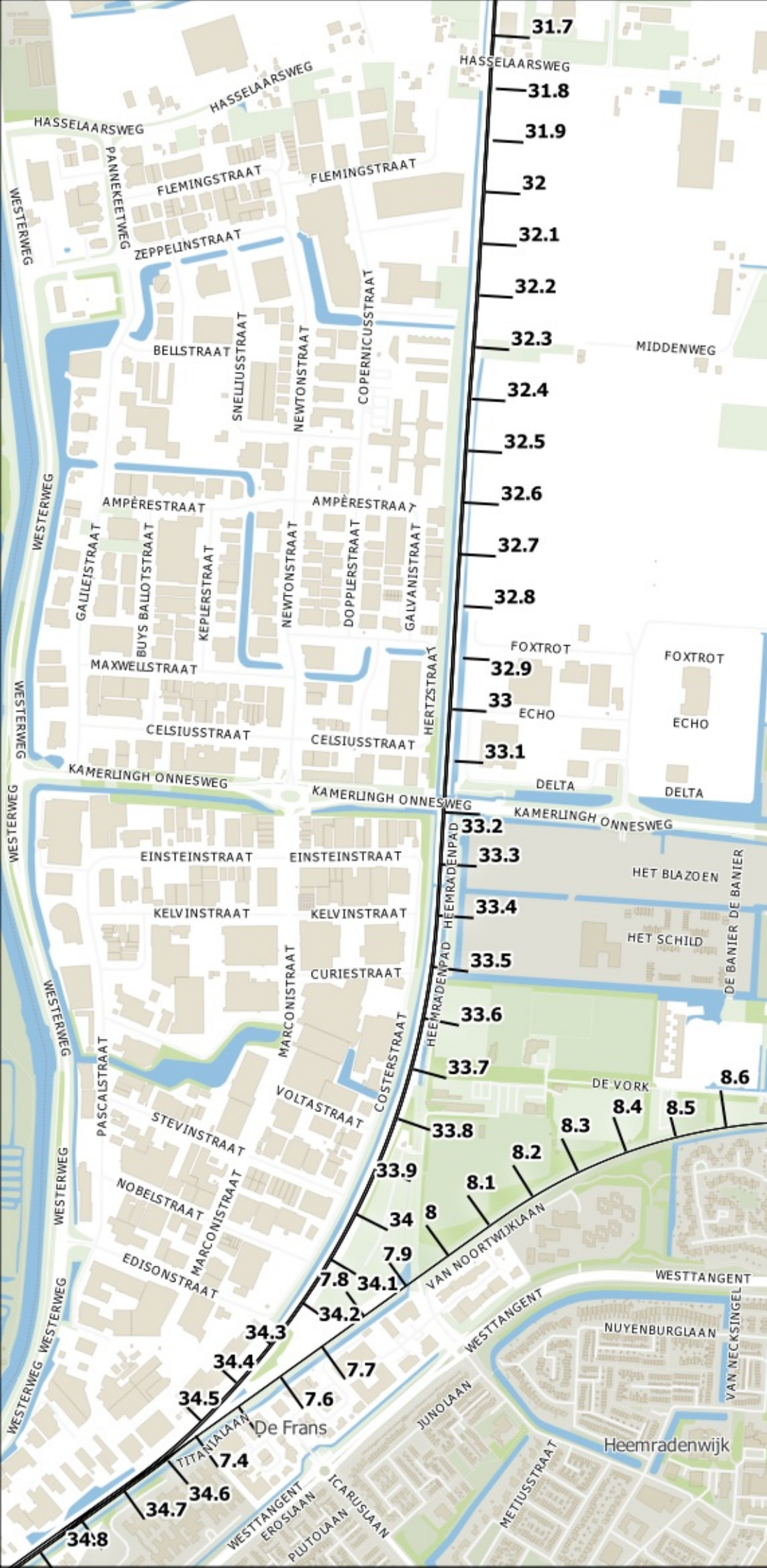
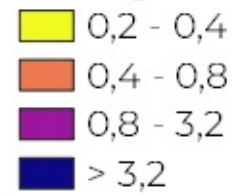
Deze bijlage bevat kaarten met de volgende onderdelen:

1. Trillingssterkte V_{max} in de bestaande situatie en de plansituatie.
2. Gemiddelde trillingssterkte V_{per} in de bestaande situatie en de plansituatie.
3. Trillingssnelheid V_d in de plansituatie, gebruikt om te toetsen op trillingsschade.

De berekeningen zijn uitgevoerd met *VibraDyna* (zie Bijlage I), waarbij gebruik is gemaakt van maaiveldmetingen (Bijlage V) om het model te verfijnen en woningmetingen (Bijlage VIII) om de resultaten uit de modelberekeningen te corrigeren voor in woningen gemeten resultaten.

Referentiesituatie

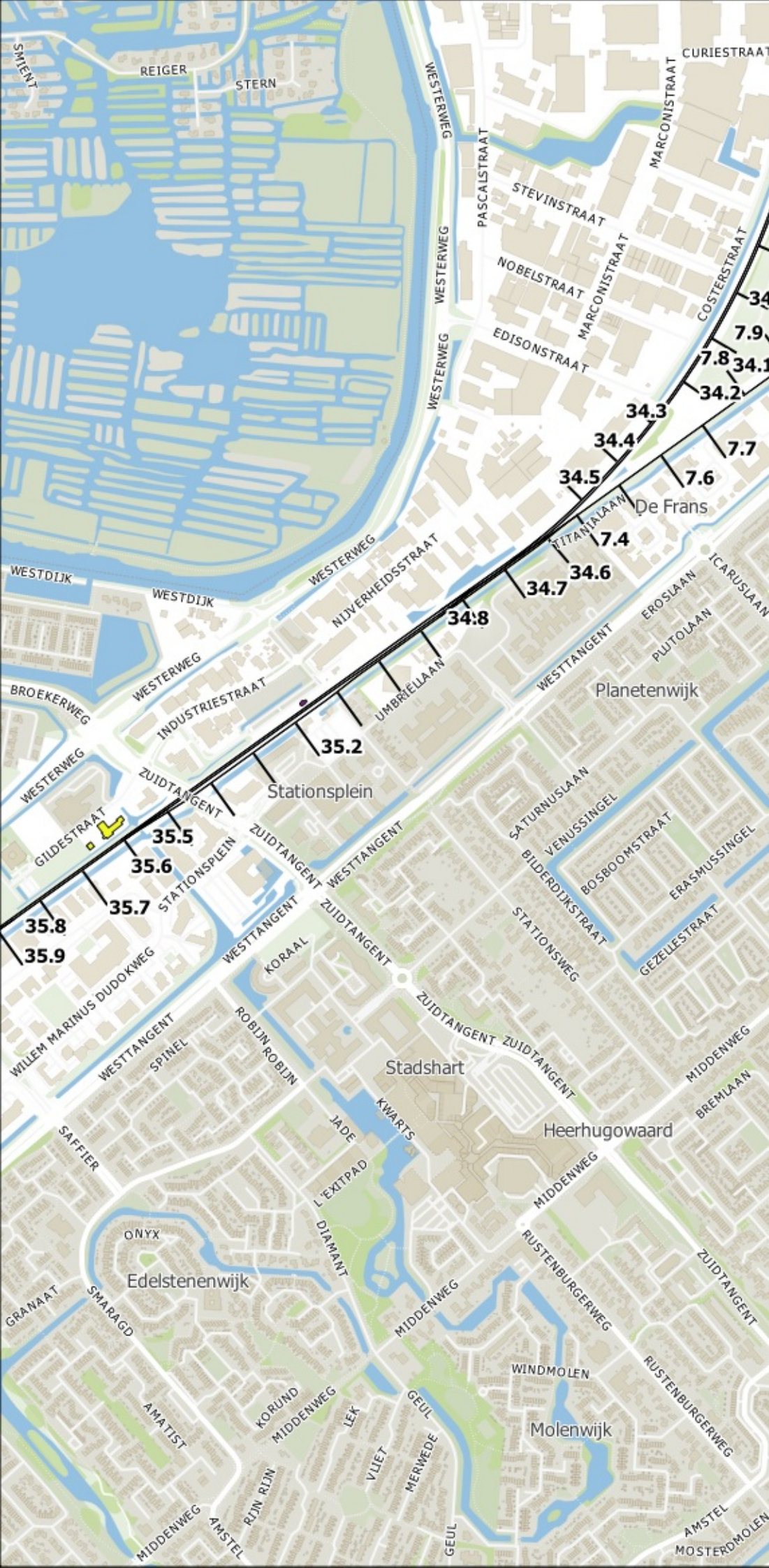
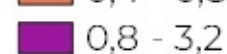
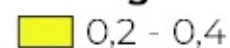
Trillingssterkte Vmax



Heerhugowaard noord



Referentiesituatie

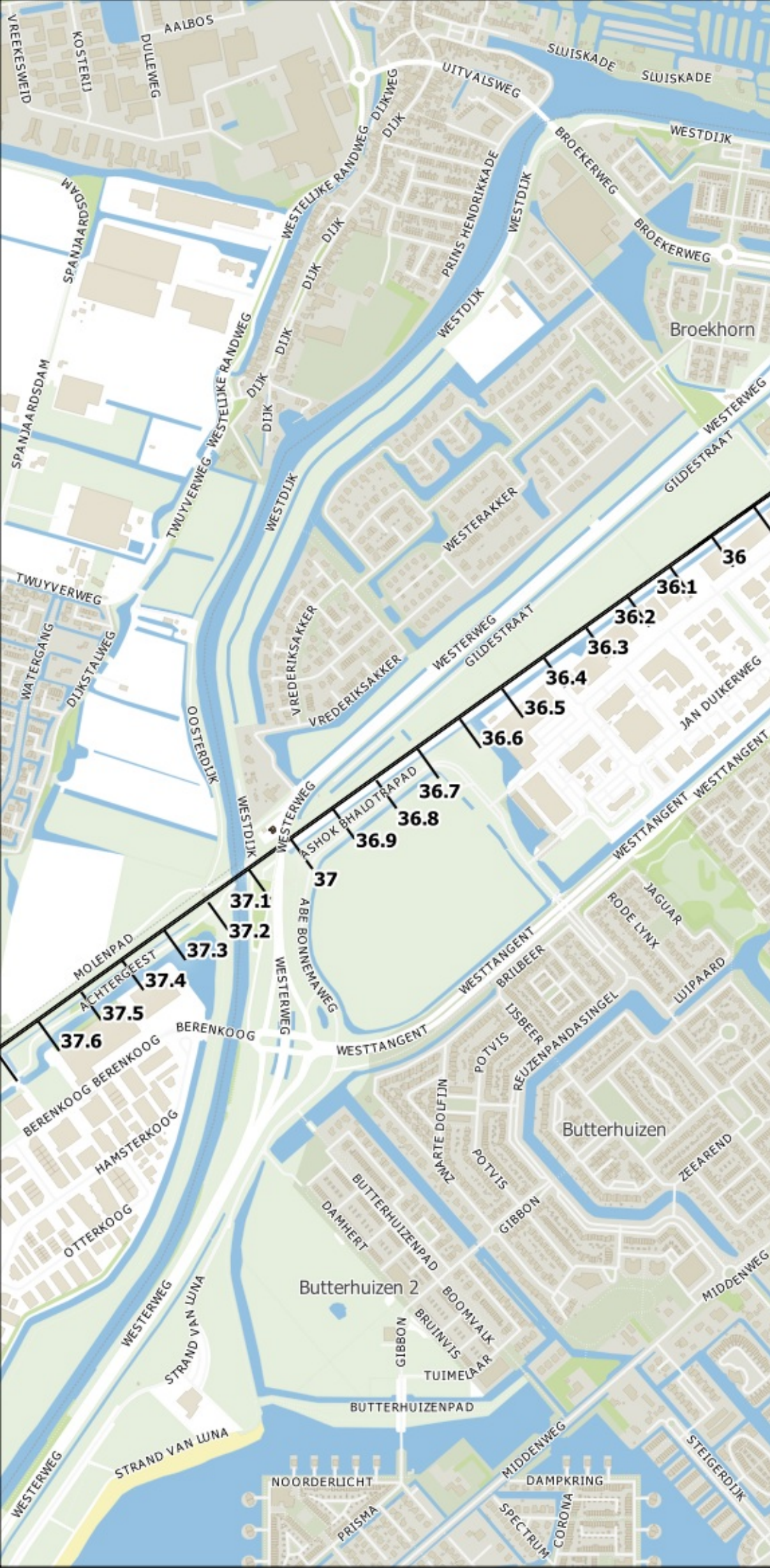
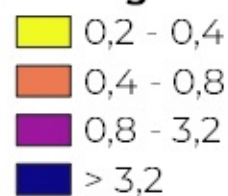


Heerhugowaard



Referentiesituatie

Trillingssterkte Vmax

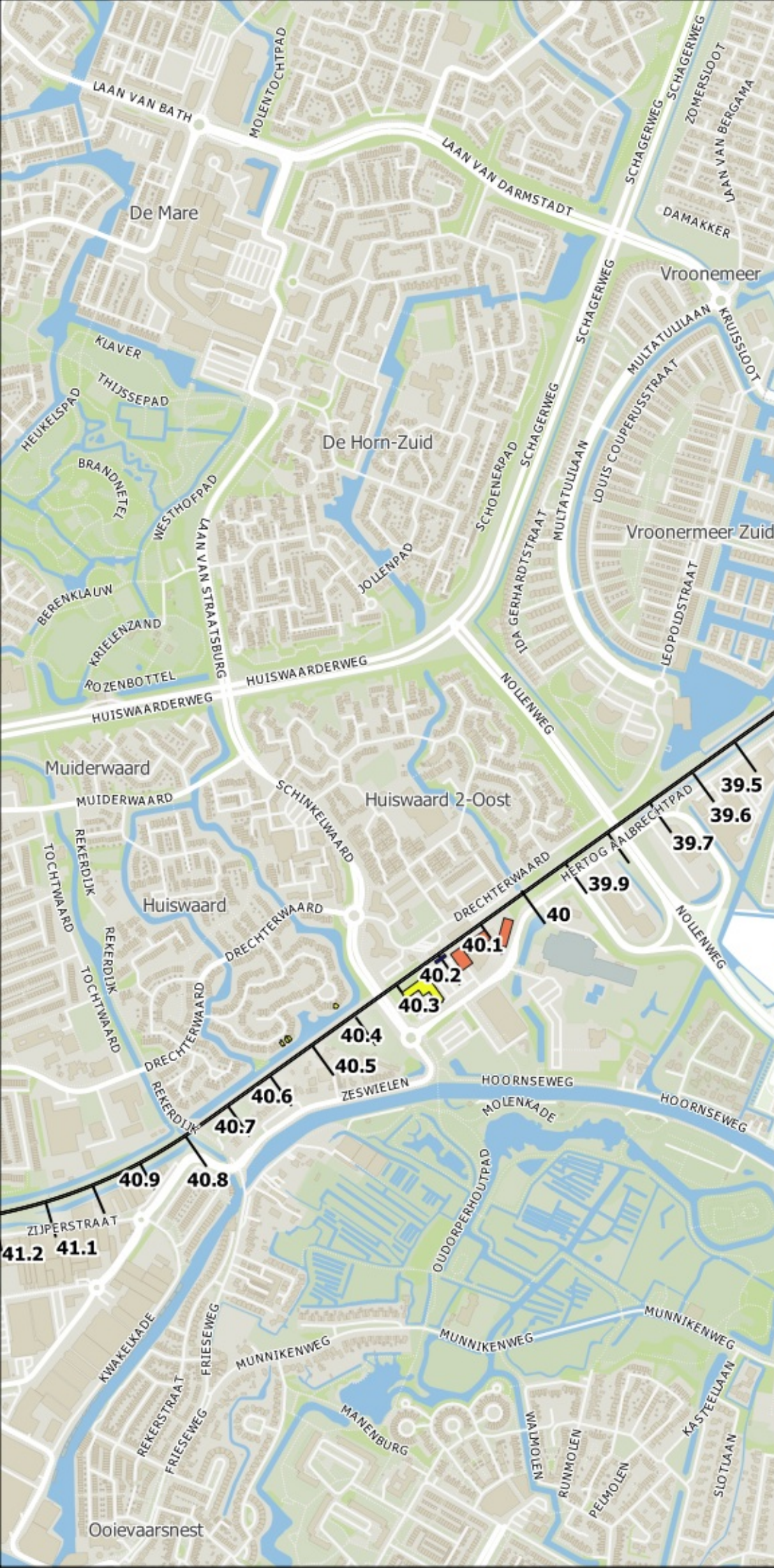
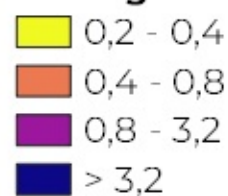


Heerhugowaard zuid



Referentiesituatie

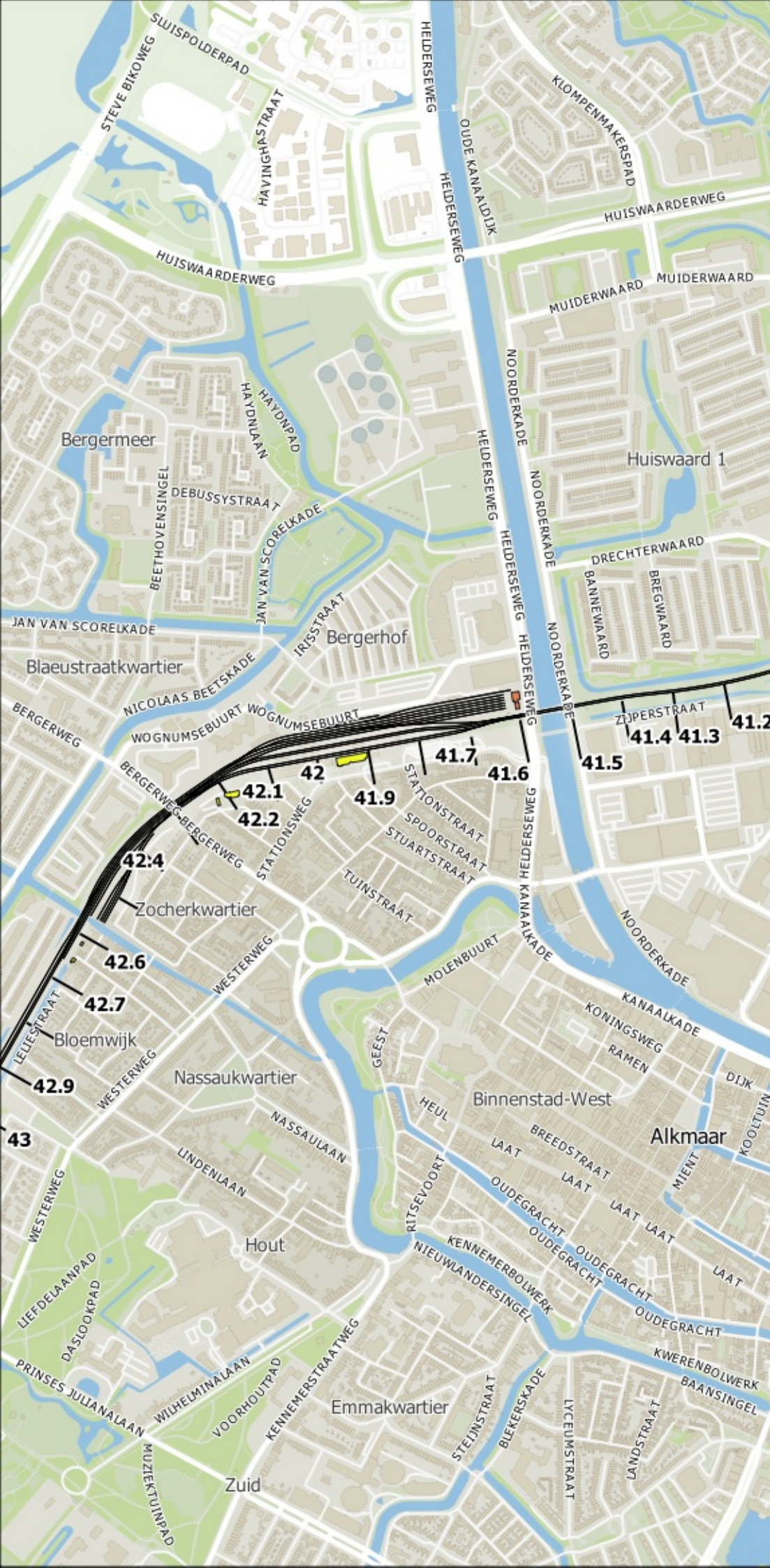
Trillingssterkte Vmax



Alkmaar noord

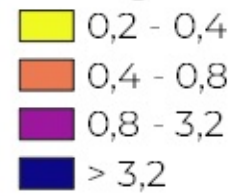


	0,2 - 0,4
	0,4 - 0,8
	0,8 - 3,2
	> 3,2



Referentiesituatie

Trillingssterkte Vmax

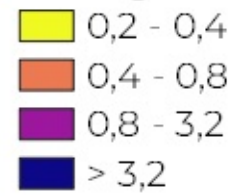


Alkmaar zuid



Referentiesituatie

Trillingssterkte Vmax

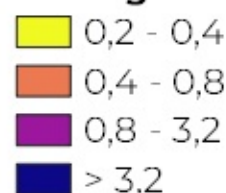


Heiloo noord



Referentiesituatie

Trillingssterkte V_{max}

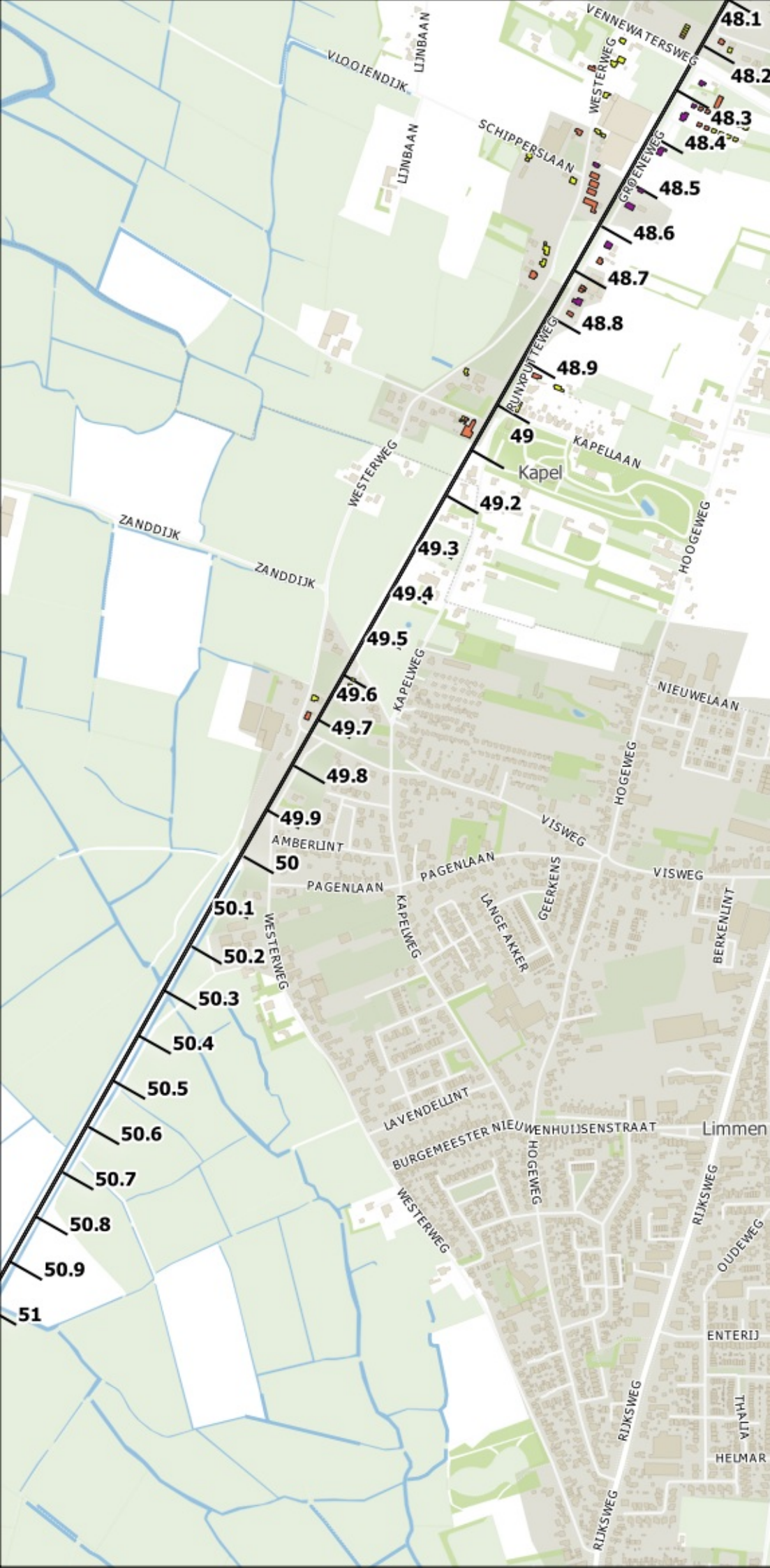
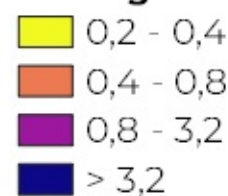


Heiloo zuid



Referentiesituatie

Trillingssterkte Vmax

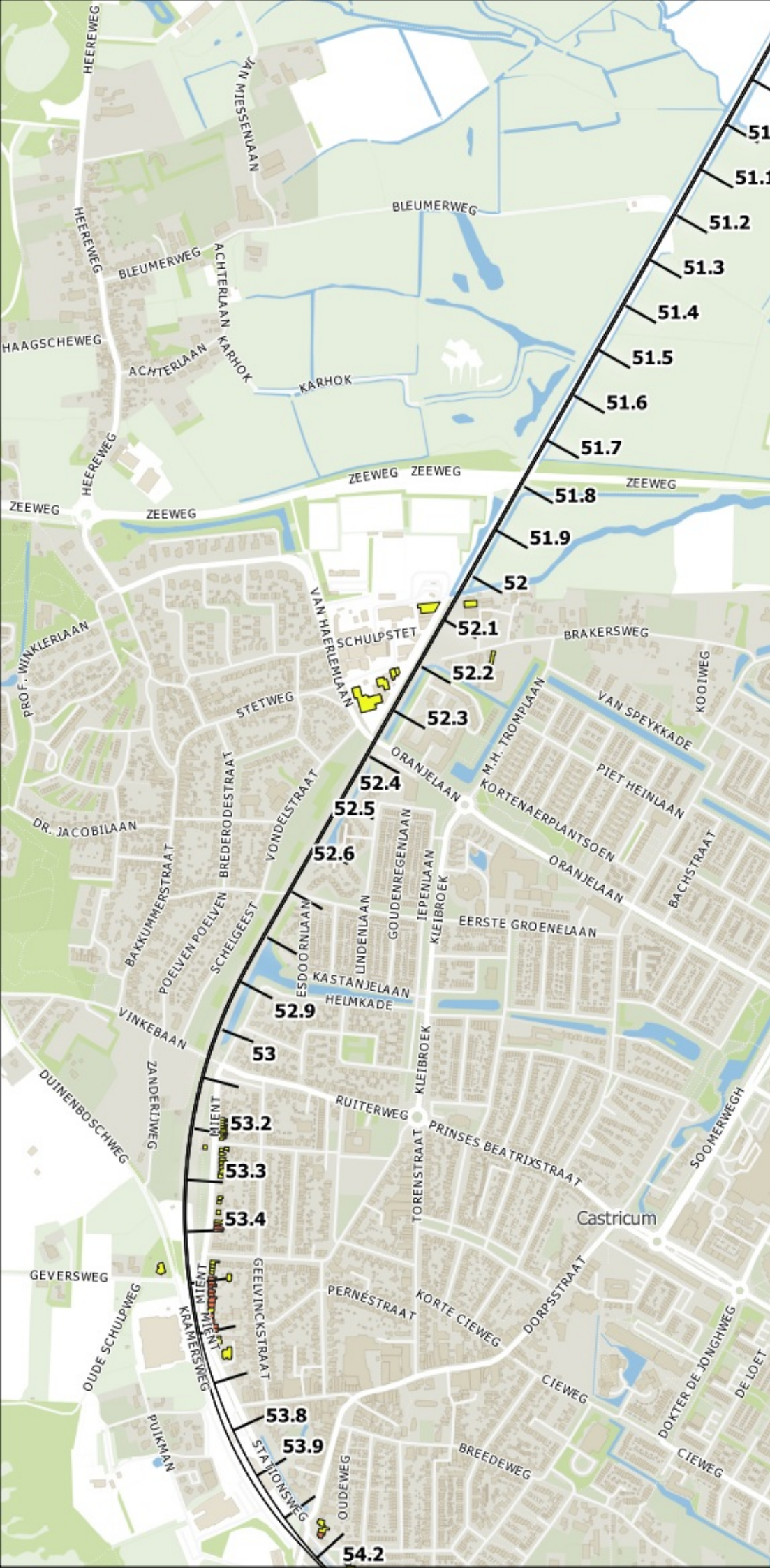
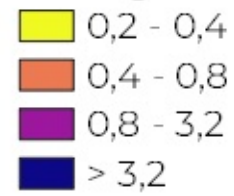


Limmen



Referentiesituatie

Trillingssterkte Vmax

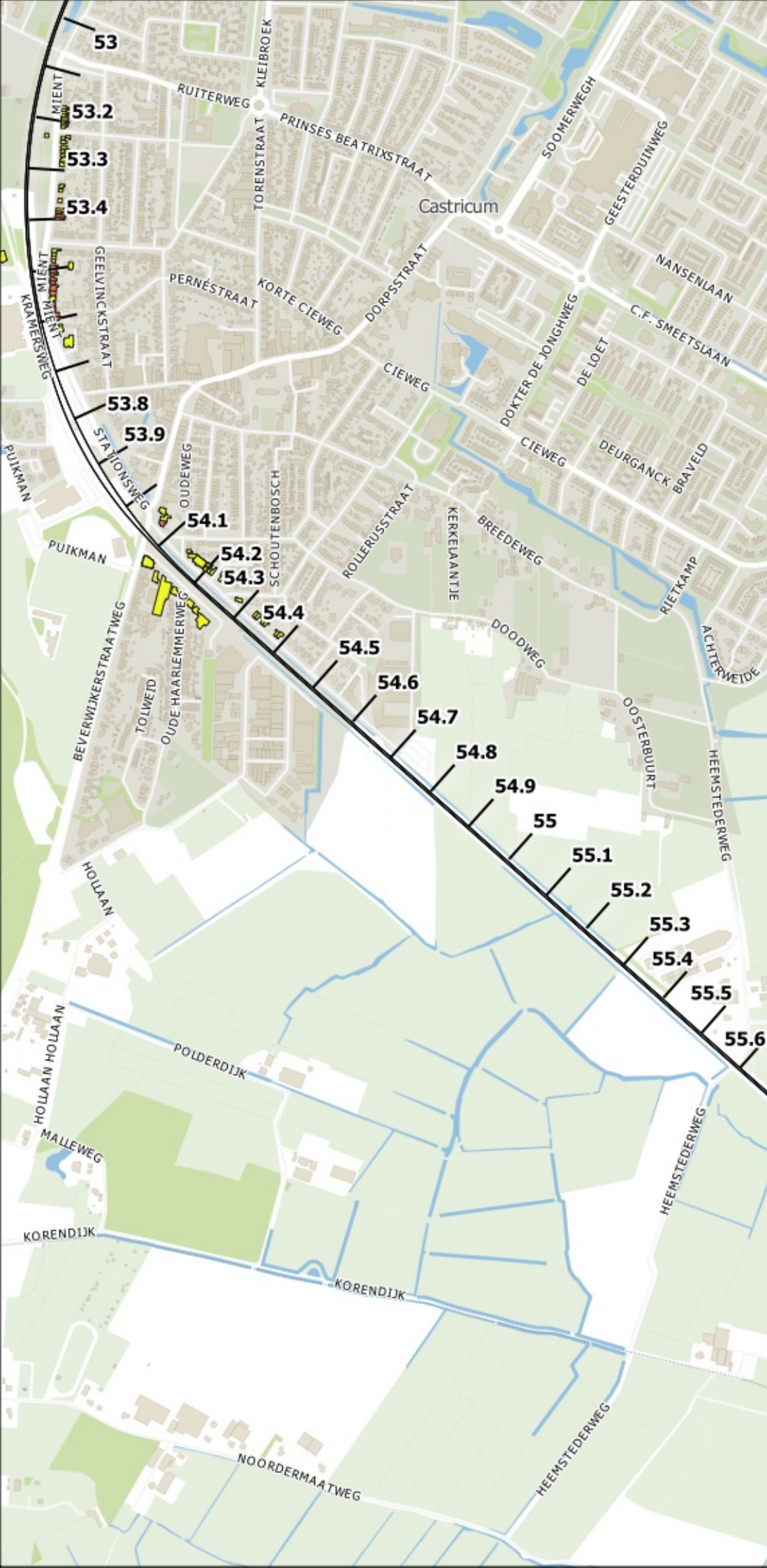
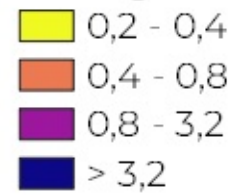


Castricum noord



Referentiesituatie

Trillingssterkte Vmax

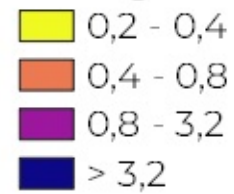


Castricum zuid



Referentiesituatie

Trillingssterkte Vmax

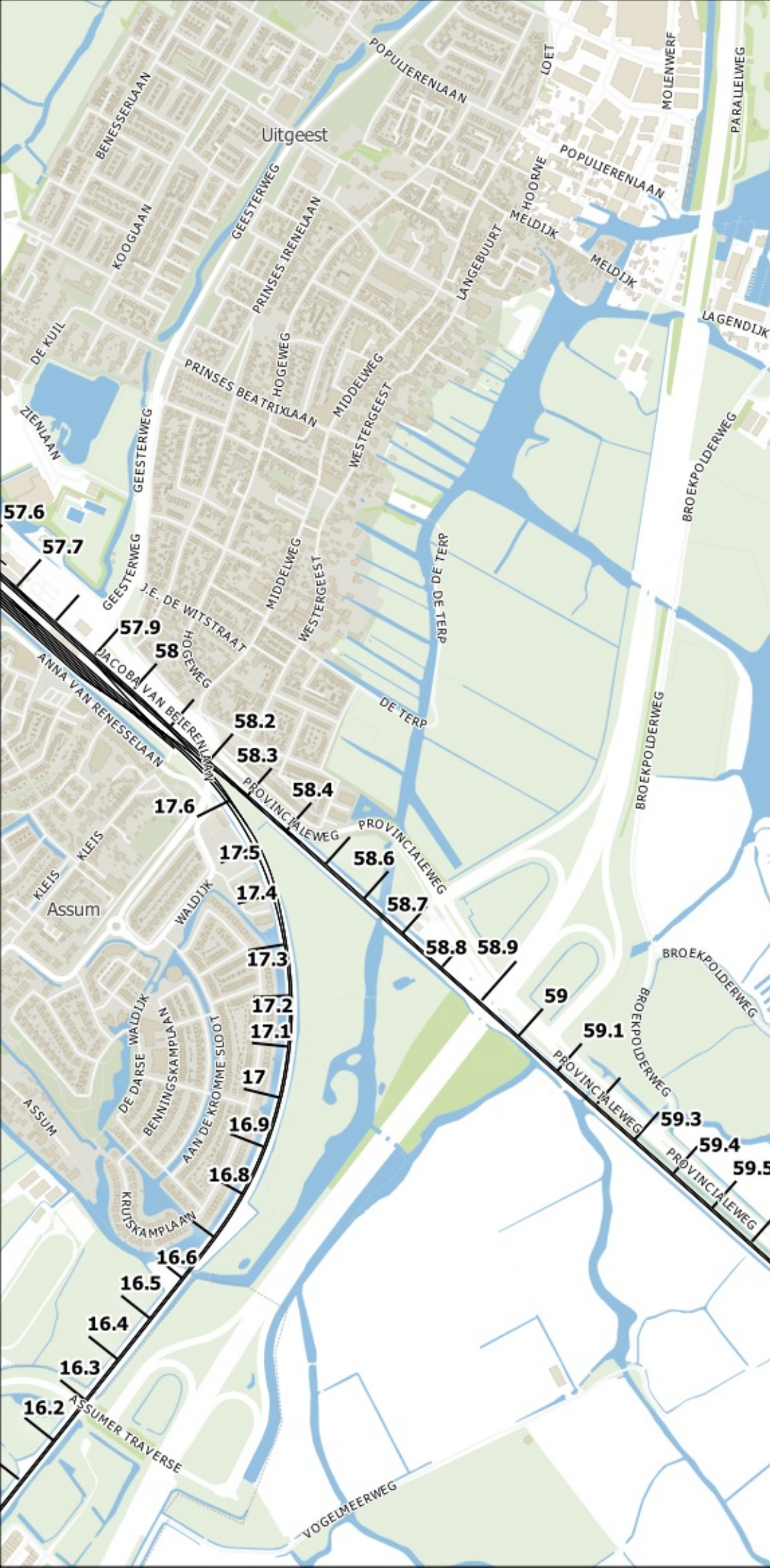
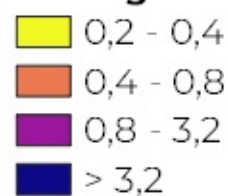


Uitgeest noord



Referentiesituatie

Trillingssterkte V_{max}

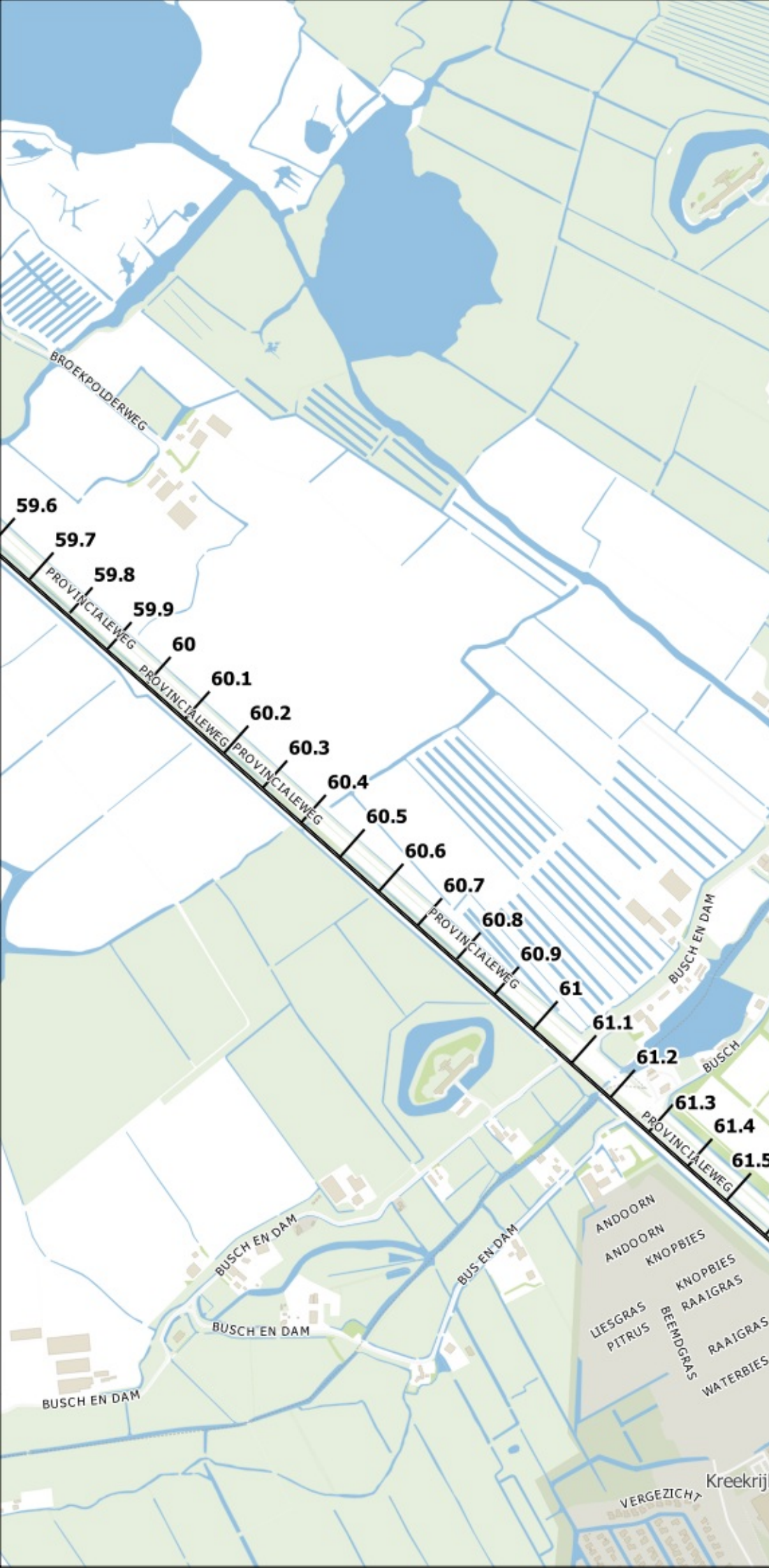
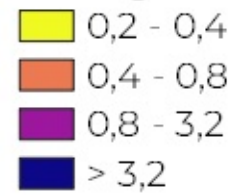


Uitgeest



Referentiesituatie

Trillingssterkte Vmax

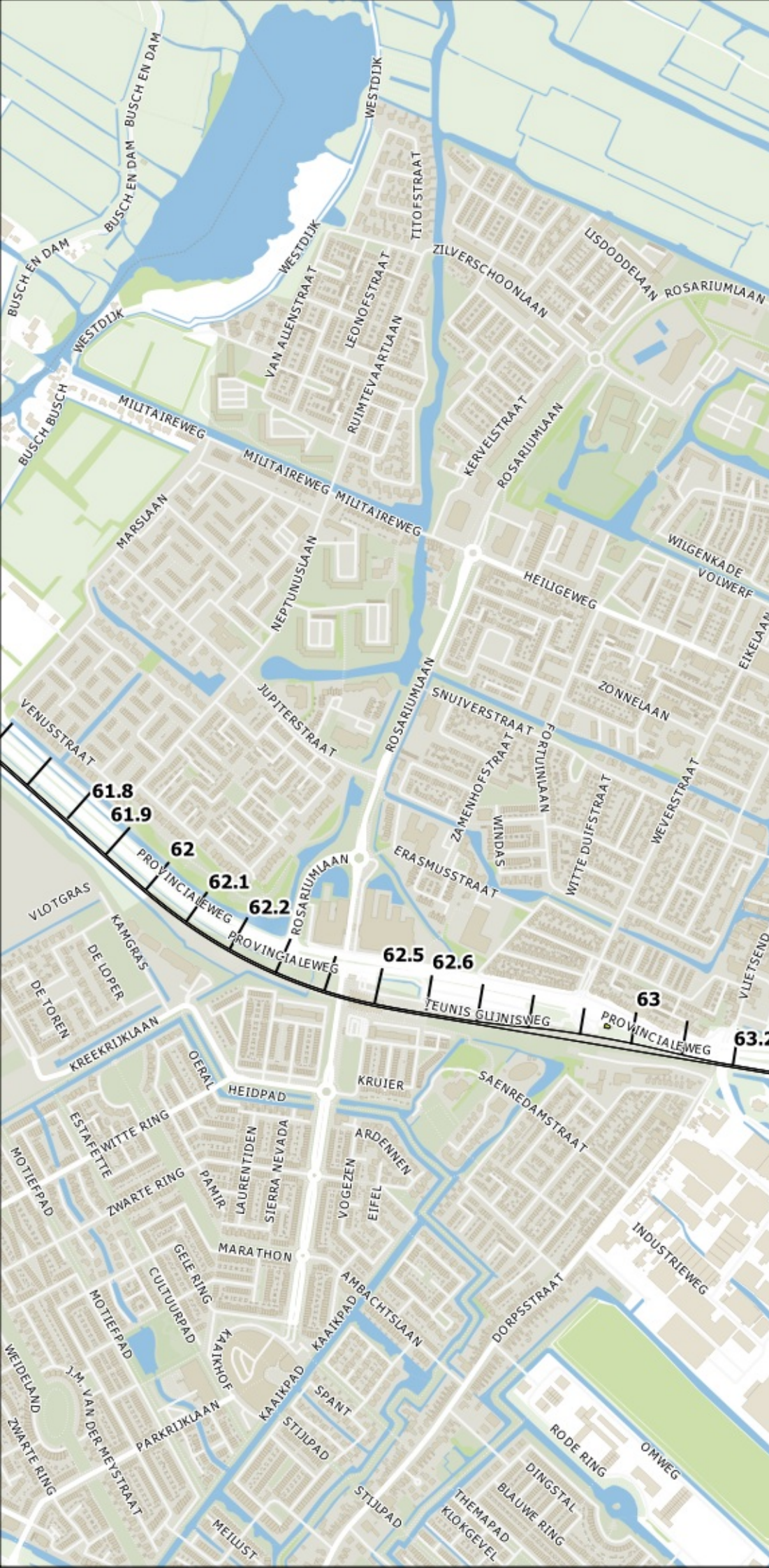
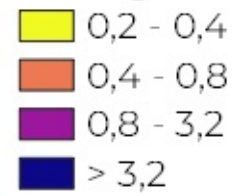


Krommenie noord



Referentiesituatie

Trillingssterkte Vmax

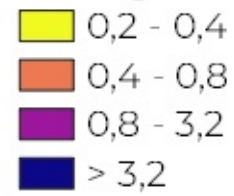


Krommenie



Referentiesituatie

Trillingssterkte Vmax

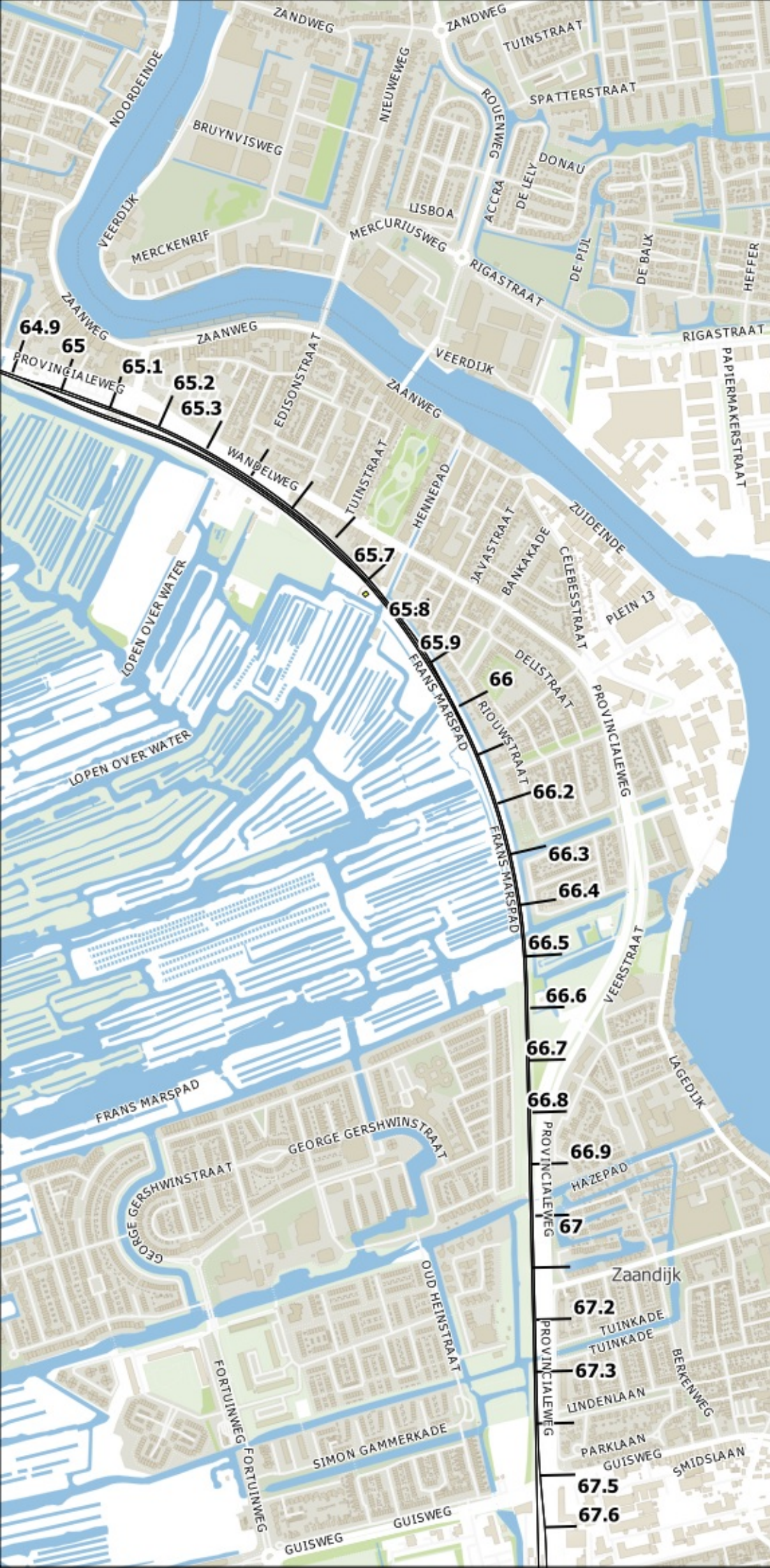
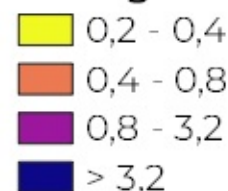


Wormerveer



Referentiesituatie

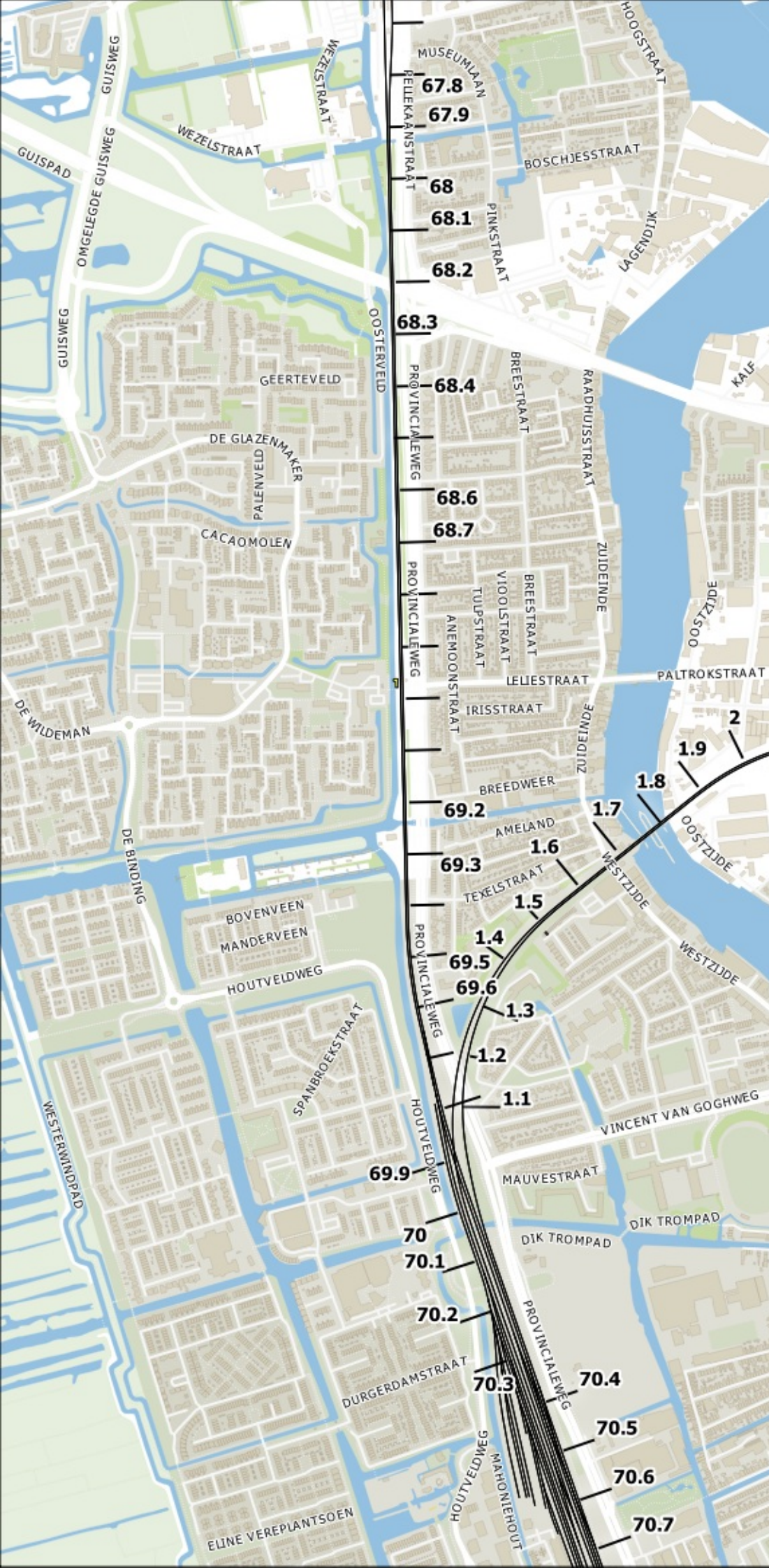
Trillingssterkte Vmax



Zaandijk

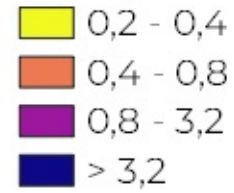


	0,2 - 0,4
	0,4 - 0,8
	0,8 - 3,2
	> 3,2



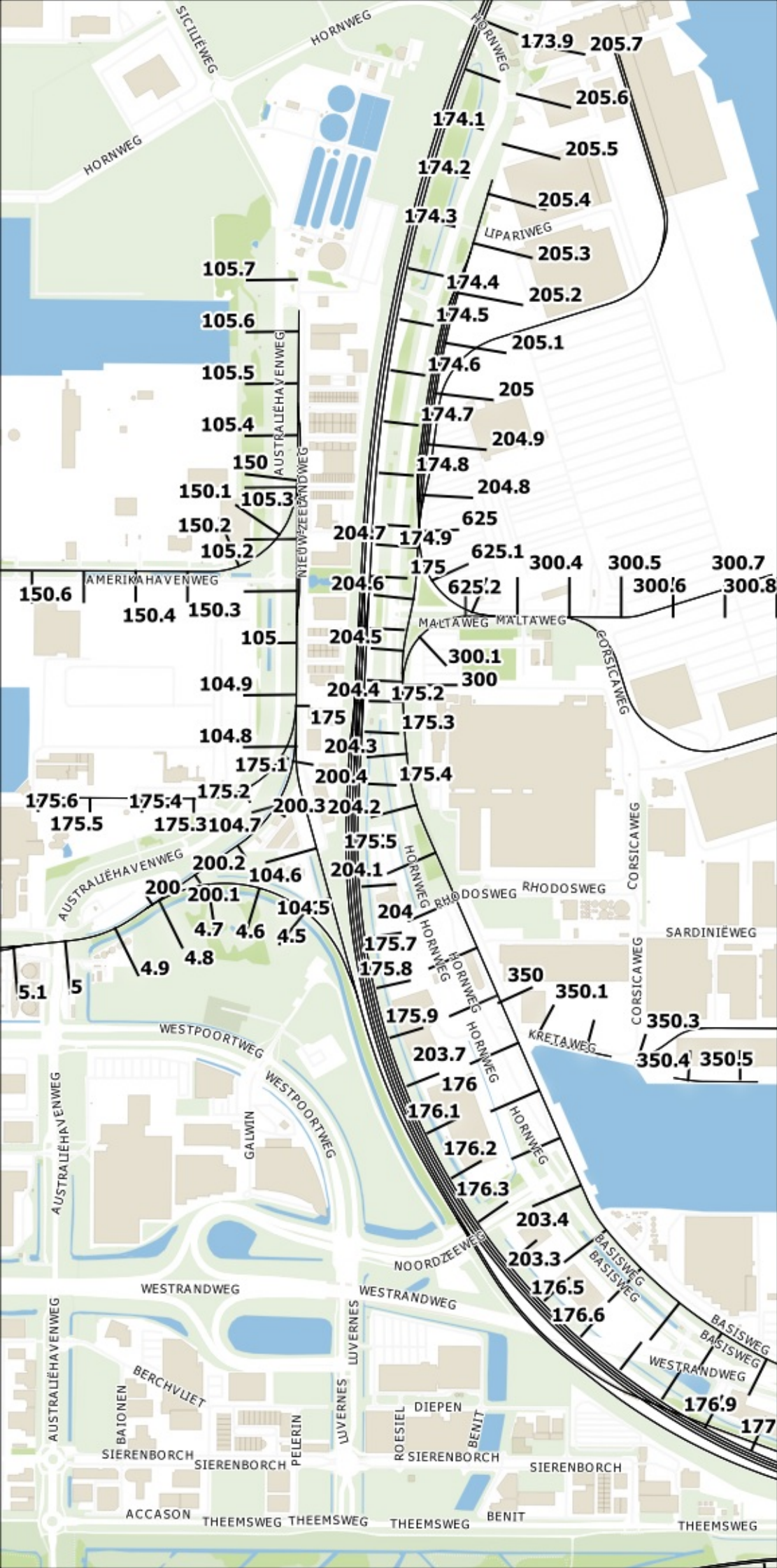
Referentiesituatie

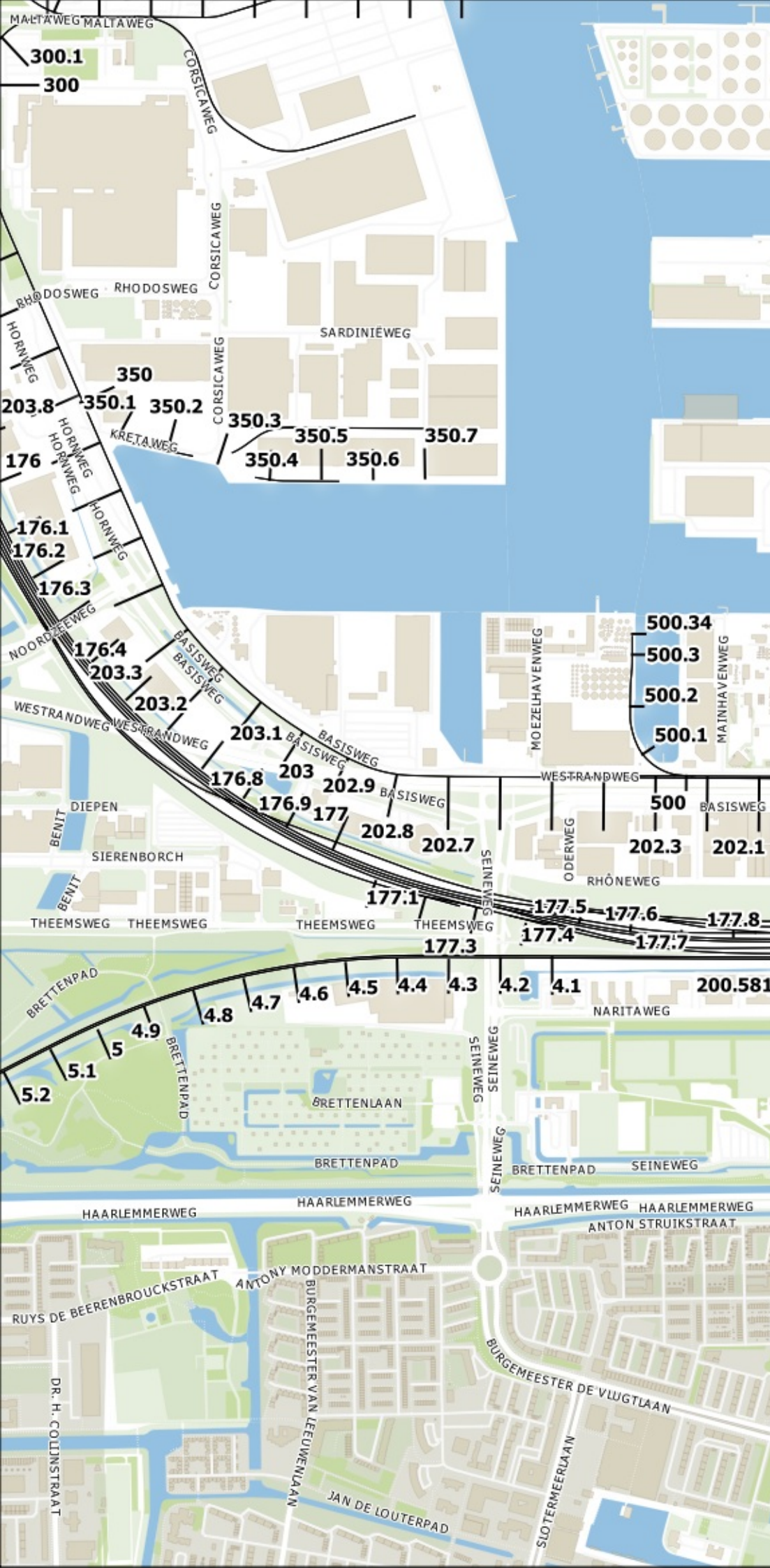
Trillingssterkte Vmax



Zaandam

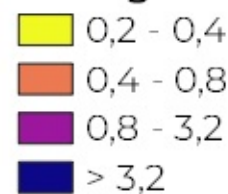






Referentiesituatie

Trillingssterkte Vmax

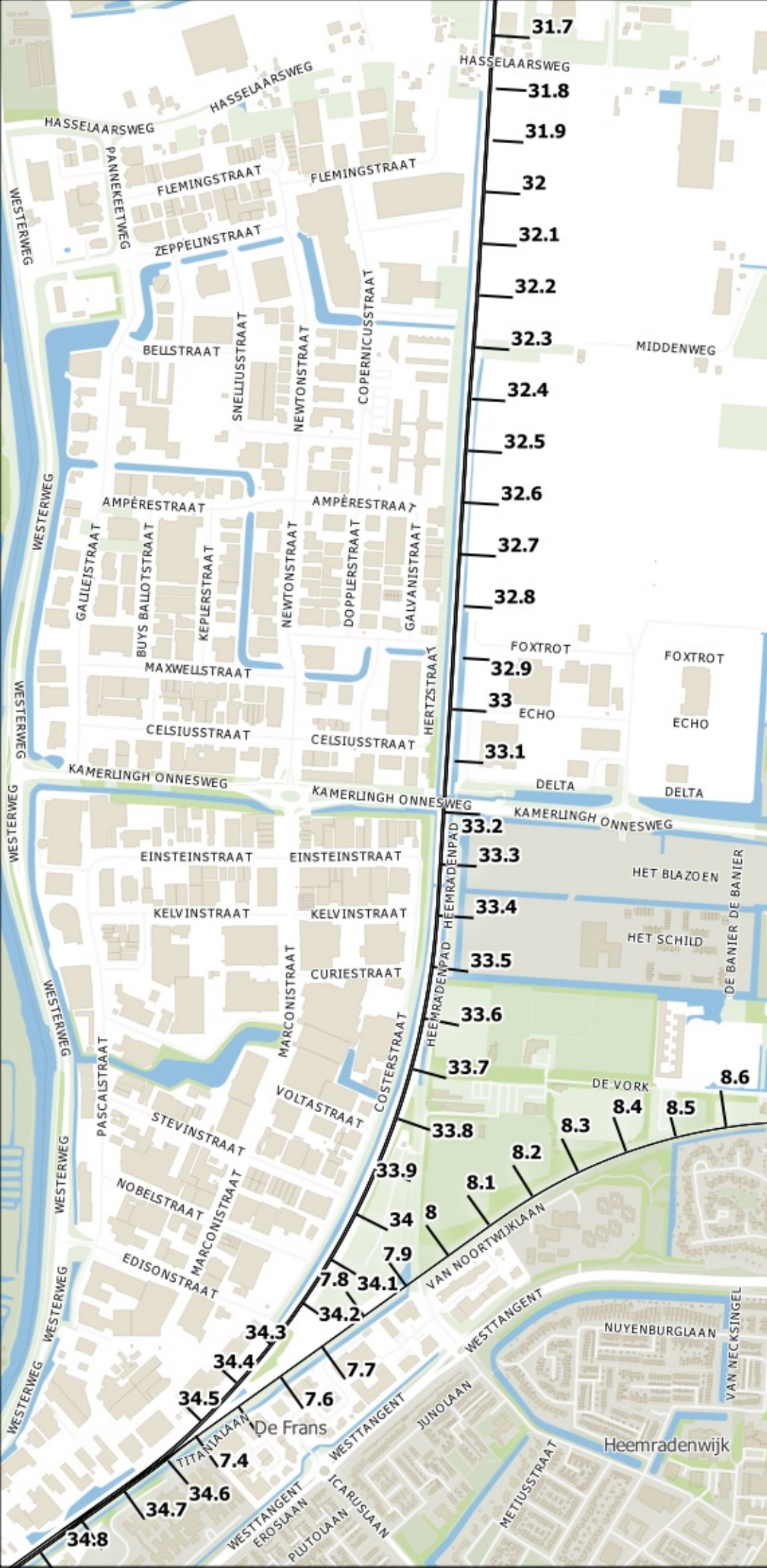
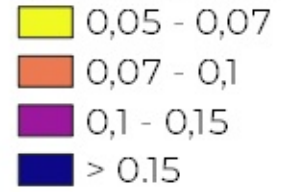


Amsterdam Sloterdijk



Referentiesituatie

Gemiddelde trillingssterkte Vper

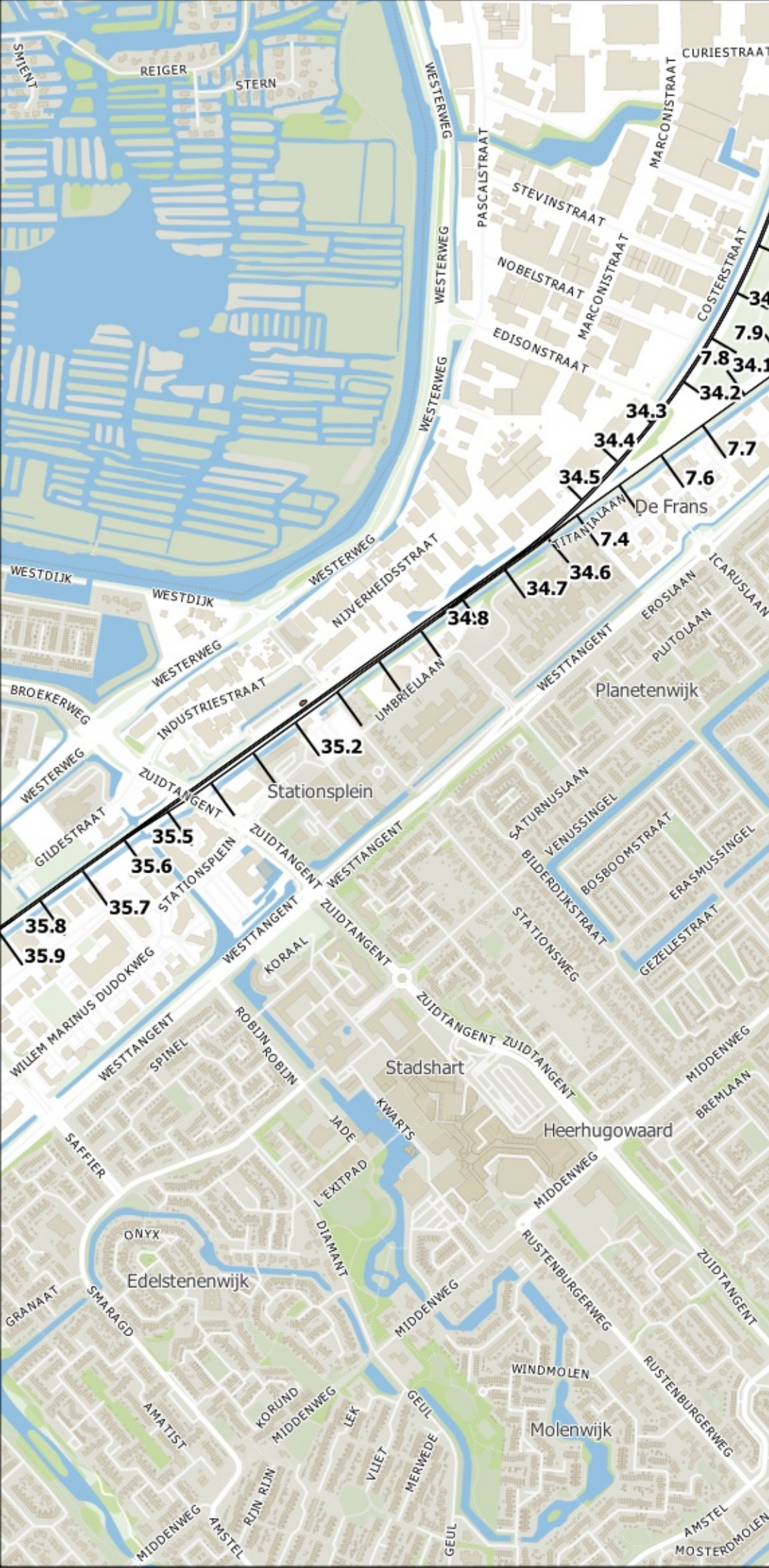
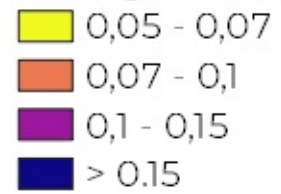


Heerhugowaard noord



Referentiesituatie

Gemiddelde trillingssterkte Vper

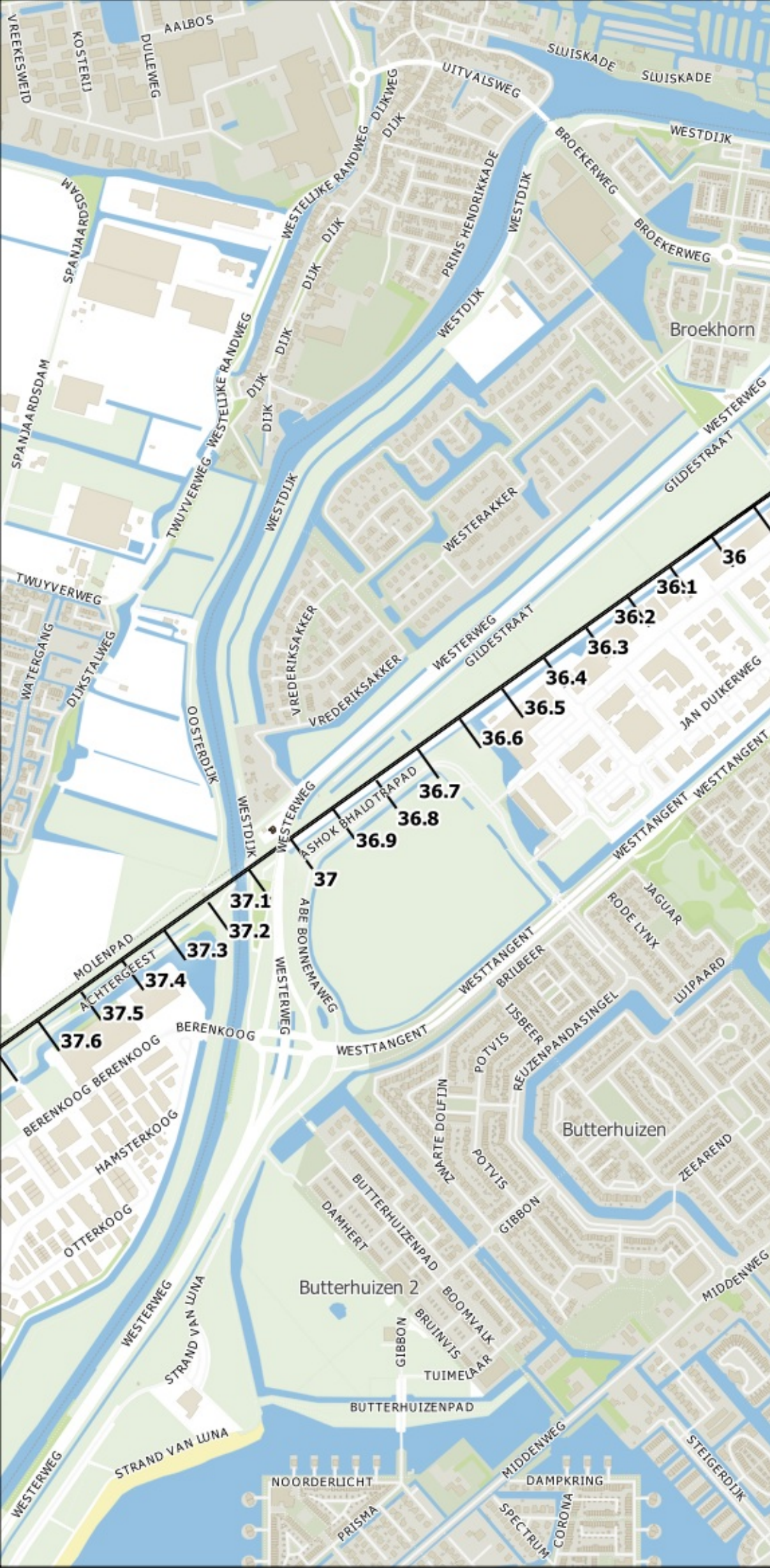
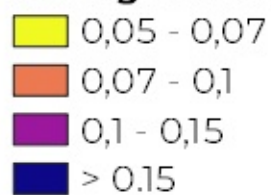


Heerhugowaard



Referentiesituatie

Gemiddelde
trillingssterkte Vper

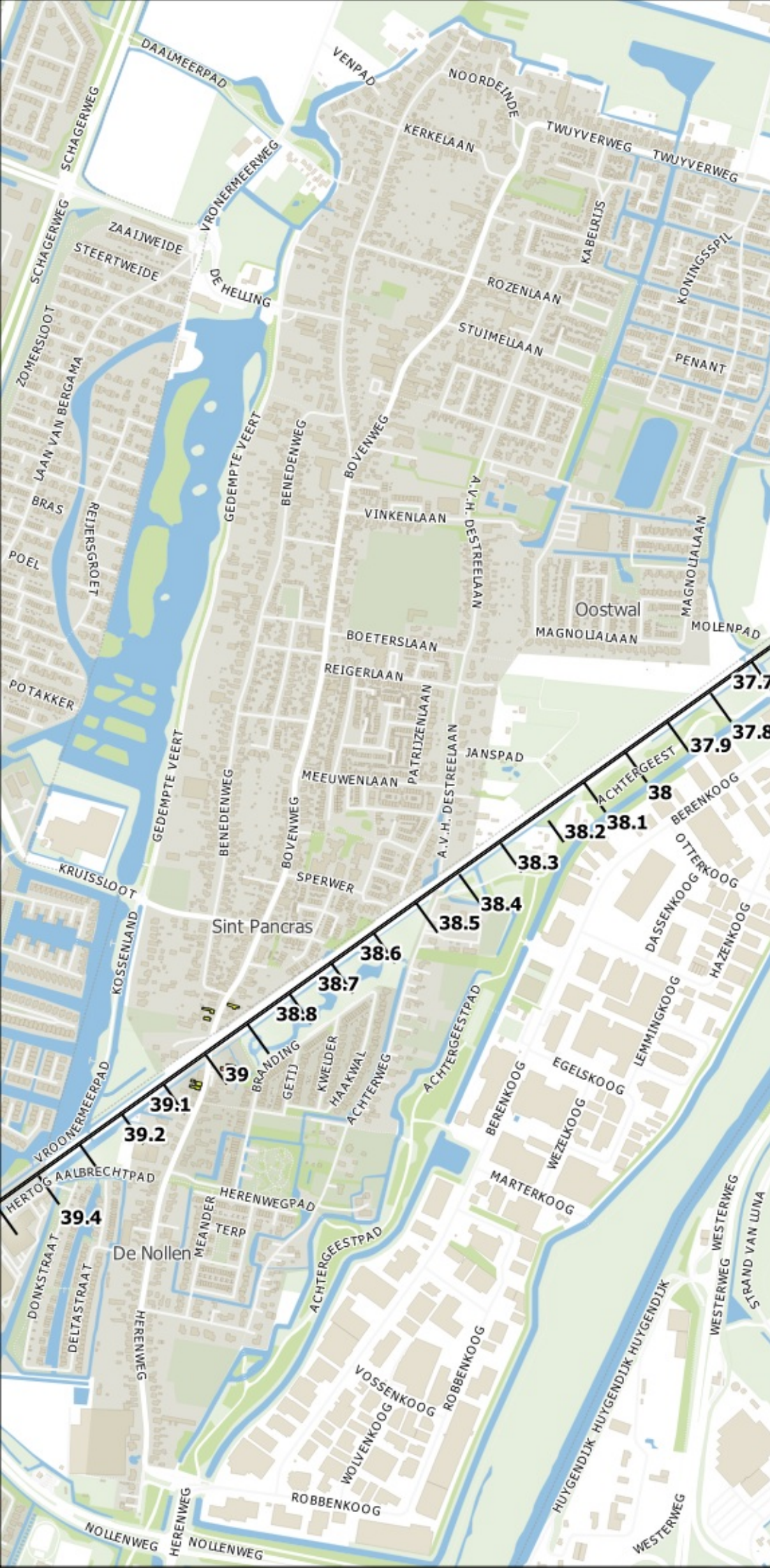
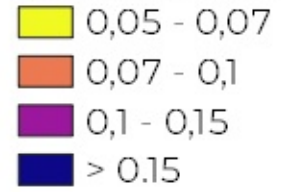


Heerhugowaard zuid



Referentiesituatie

Gemiddelde trillingssterkte Vper

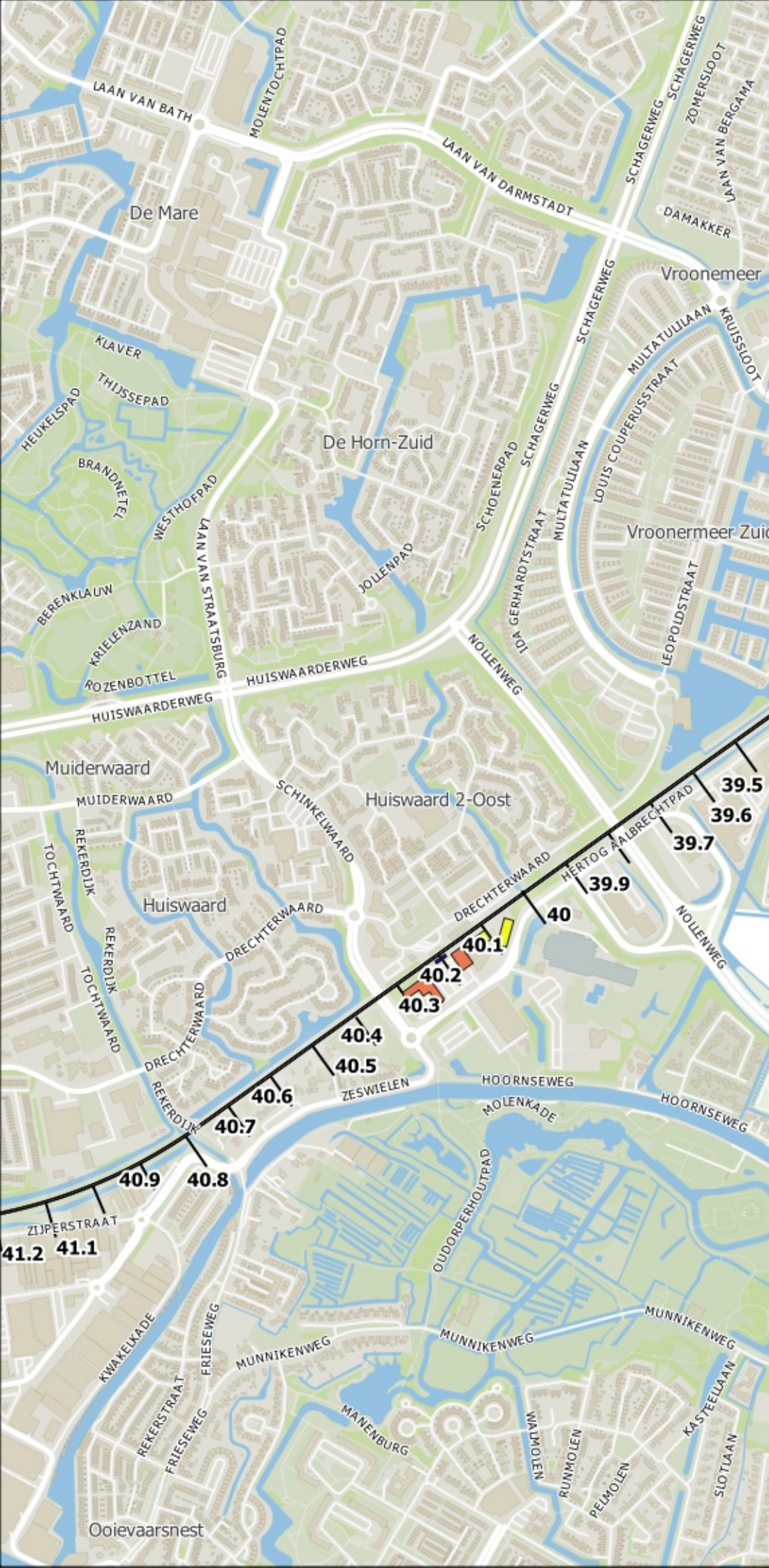


Sint Pancras



Referentiesituatie

Gemiddelde trillingssterkte Vper

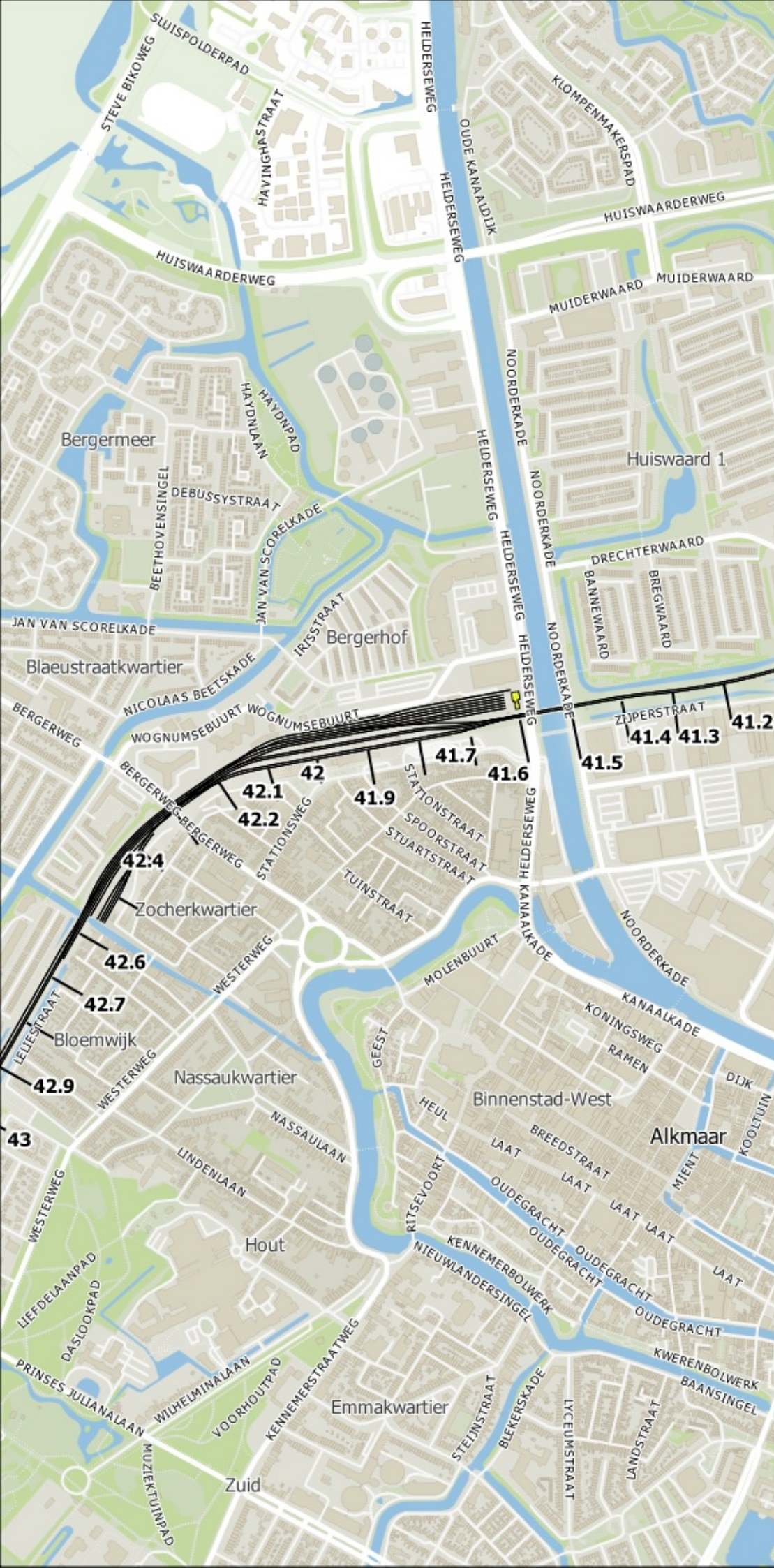
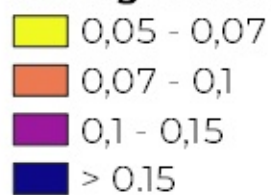


Alkmaar noord



Referentiesituatie

Gemiddelde
trillingssterkte V_{per}

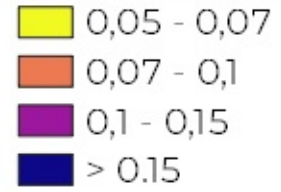


Alkmaar



Referentiesituatie

Gemiddelde trillingssterkte Vper

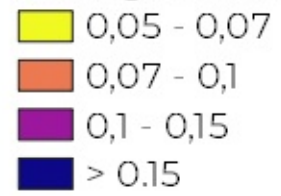


Alkmaar zuid



Referentiesituatie

Gemiddelde trillingssterkte Vper

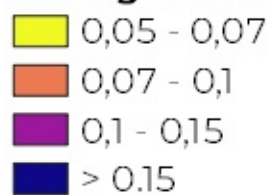


Heiloo noord



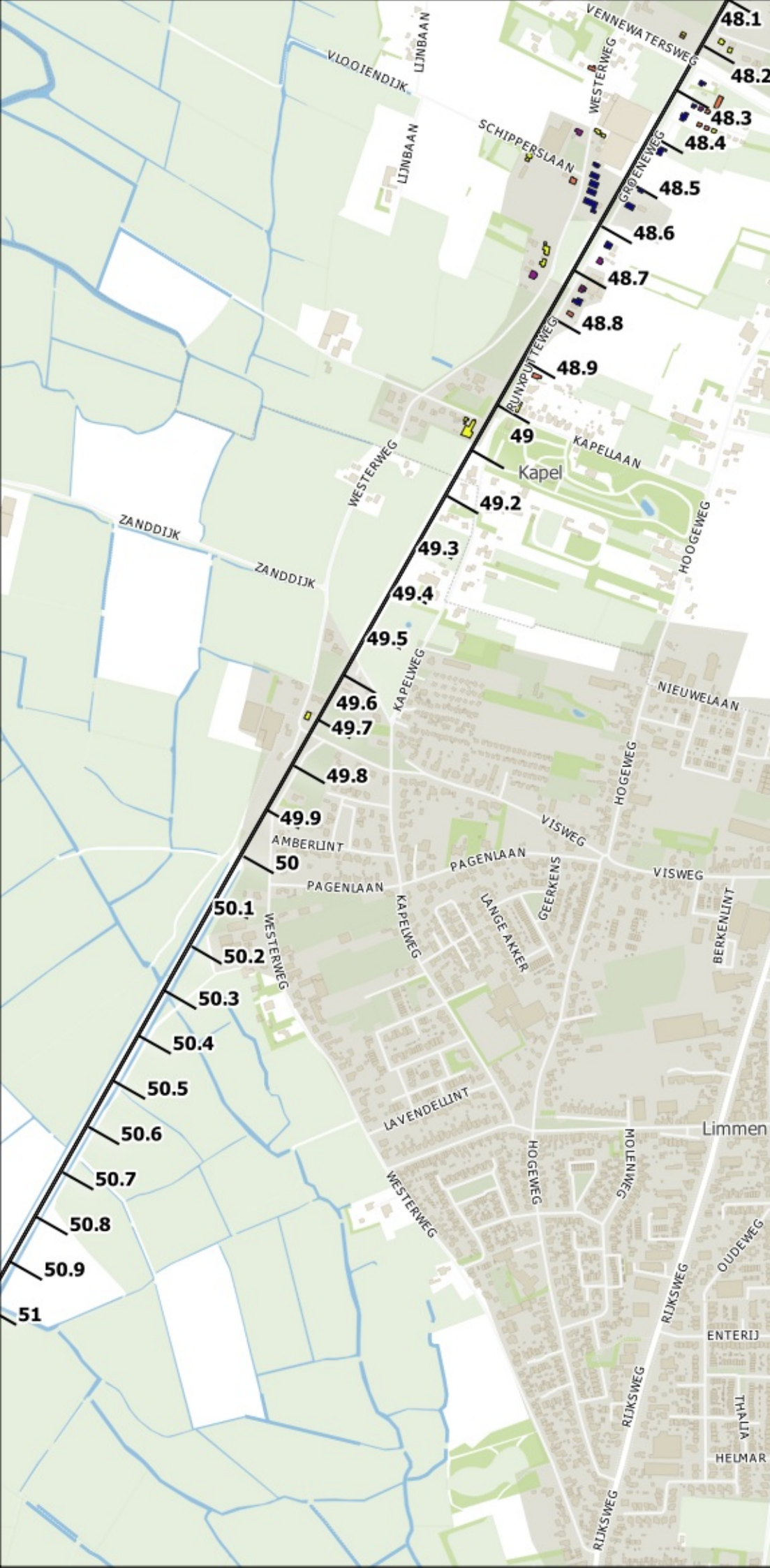
Referentiesituatie

Gemiddelde
trillingssterkte V_{per}



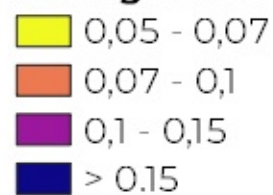
Heiloo zuid





Referentiesituatie

Gemiddelde trillingssterkte Vper

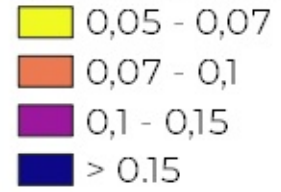


Limmen



Referentiesituatie

Gemiddelde trillingssterkte Vper

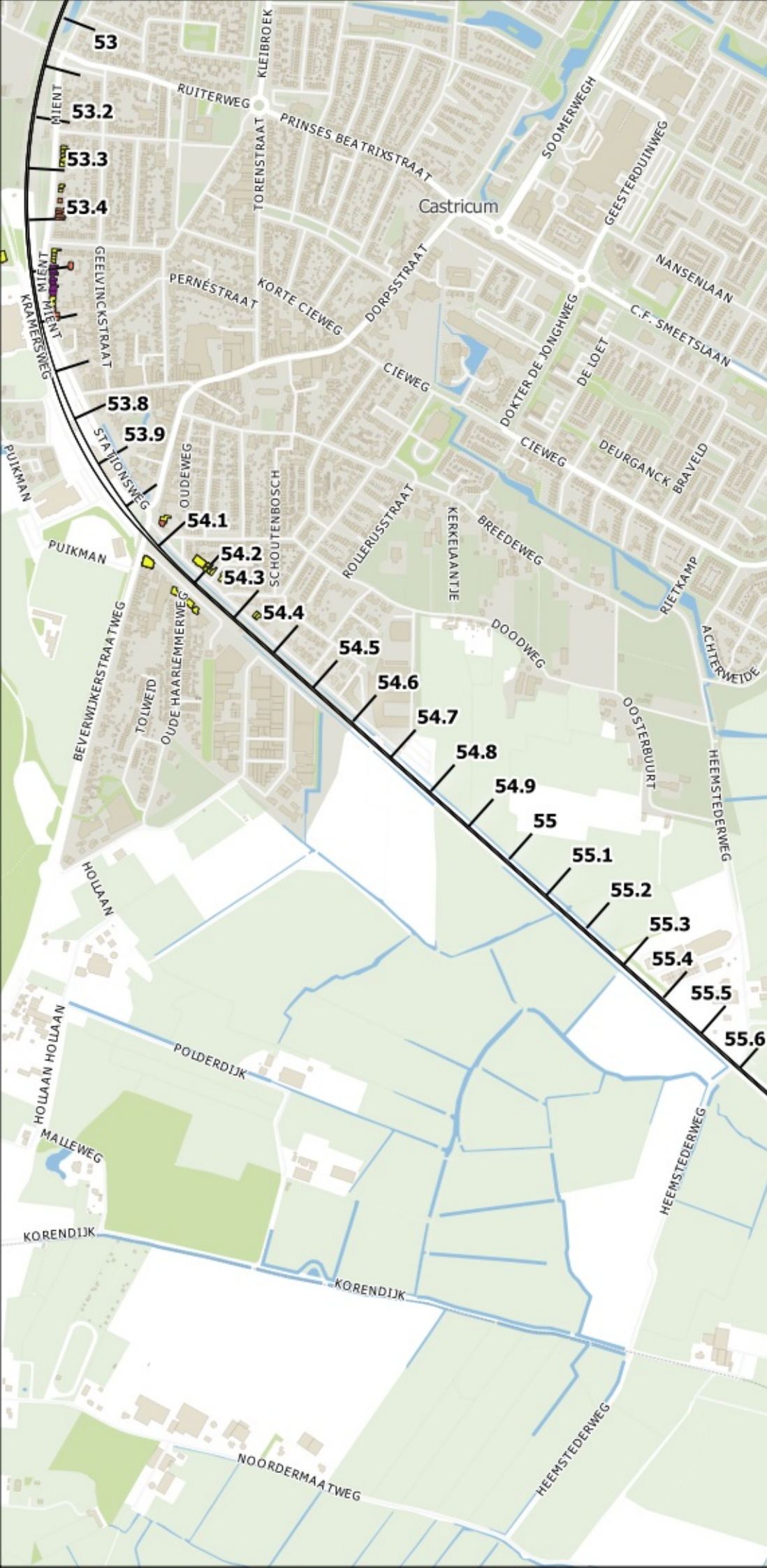
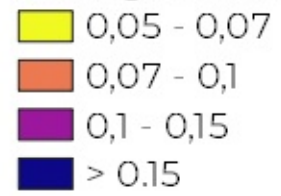


Castricum noord



Referentiesituatie

Gemiddelde trillingssterkte Vper

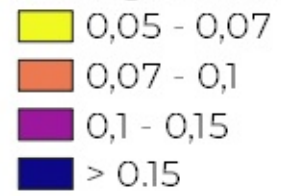


Castricum zuid



Referentiesituatie

Gemiddelde trillingssterkte Vper

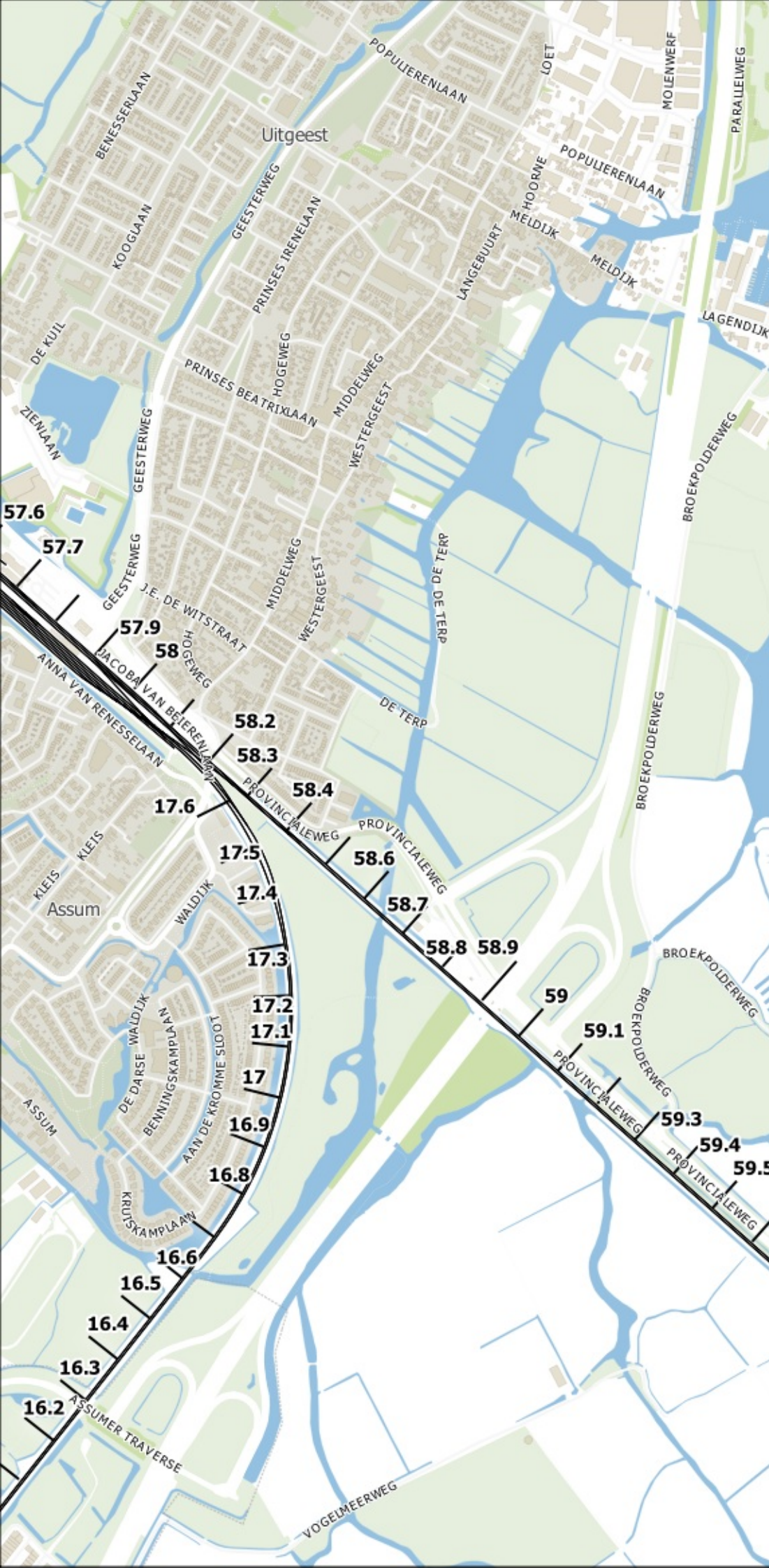
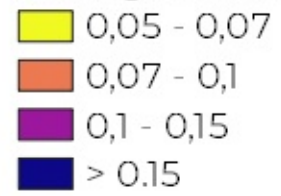


Uitgeest noord



Referentiesituatie

Gemiddelde trillingssterkte Vper

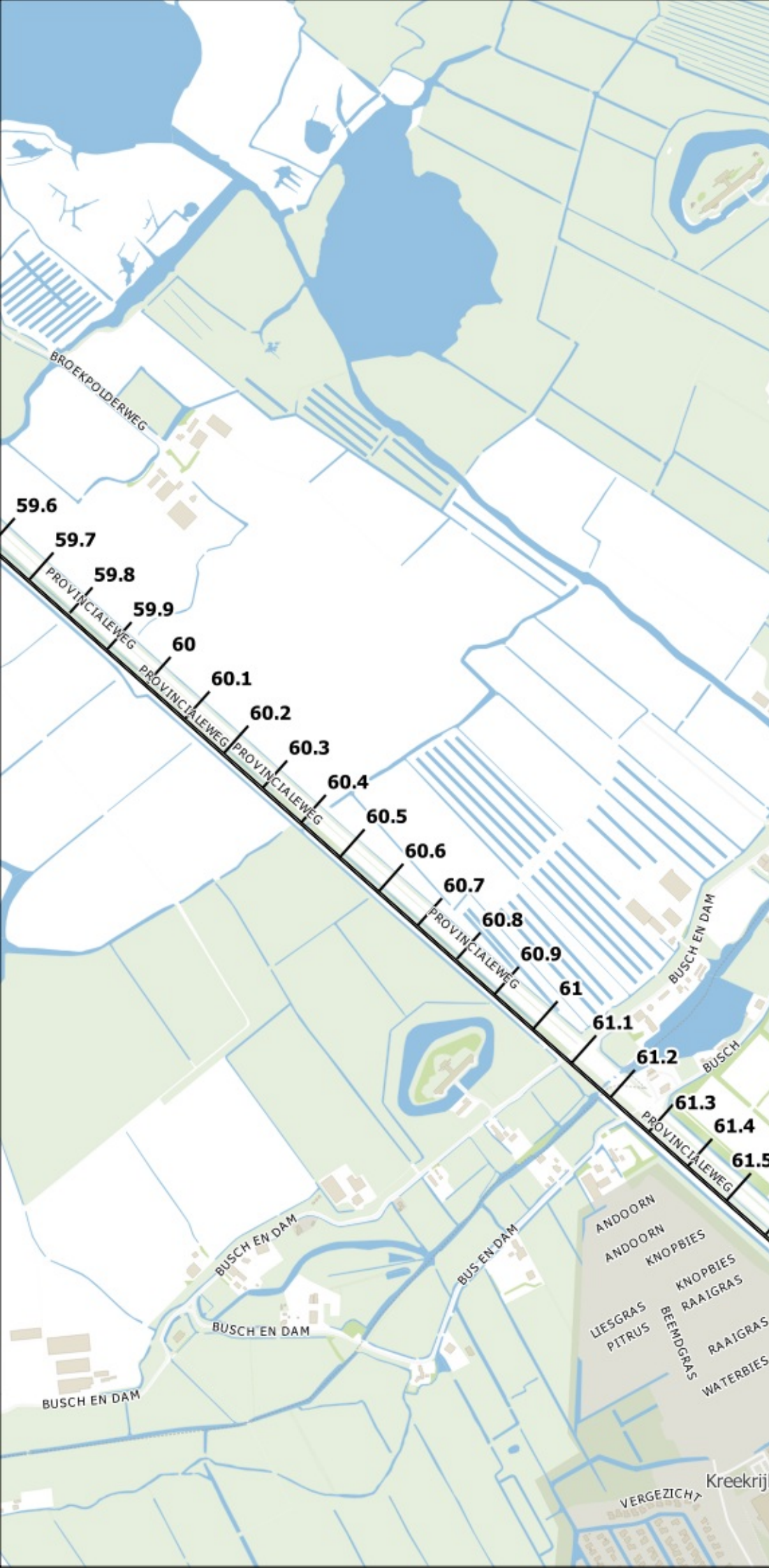
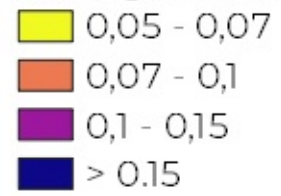


Uitgeest



Referentiesituatie

Gemiddelde trillingssterkte Vper

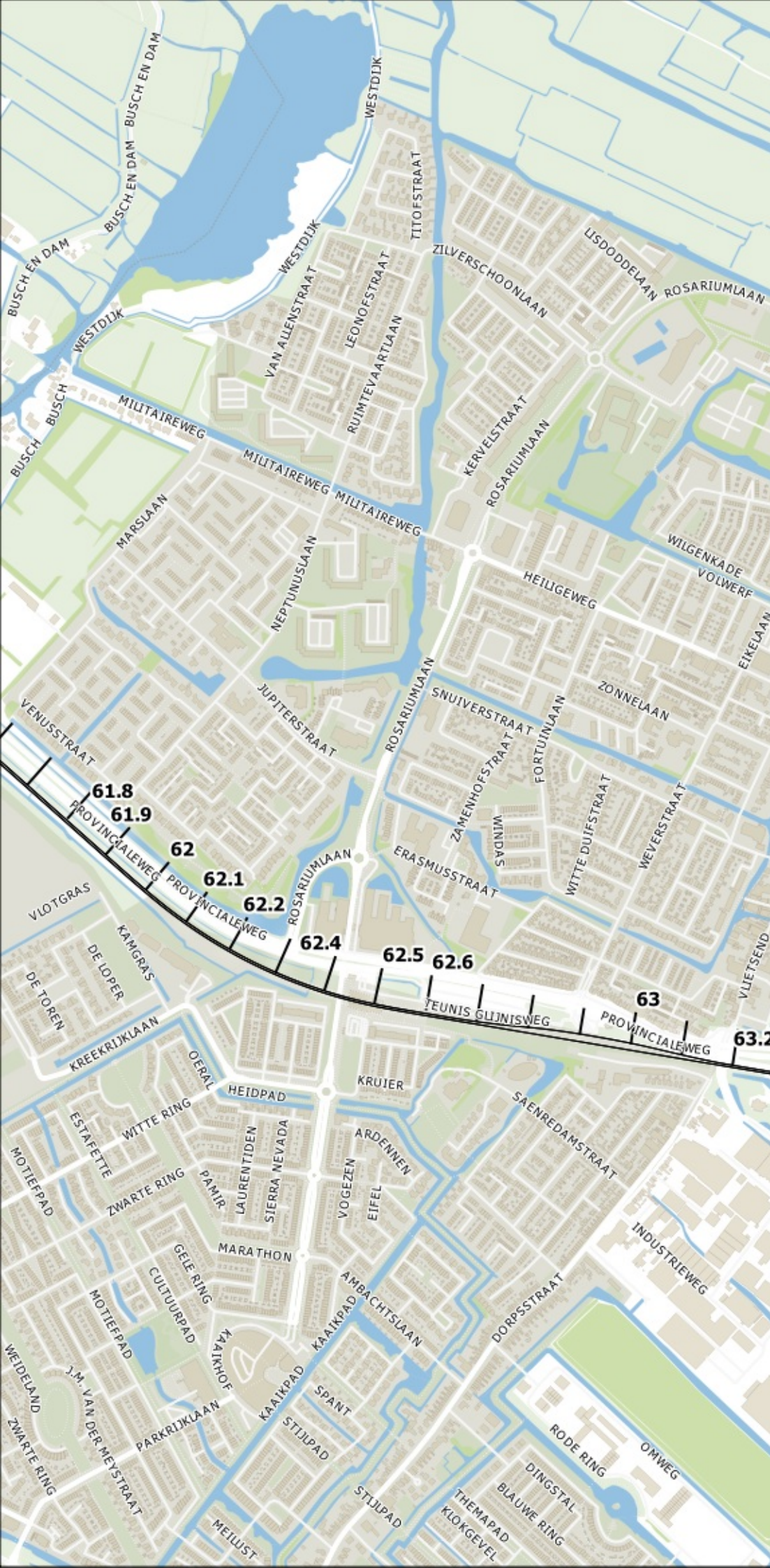
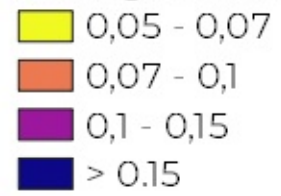


Krommenie noord



Referentiesituatie

Gemiddelde trillingssterkte Vper



Krommenie



Referentiesituatie

Gemiddelde trillingssterkte Vper

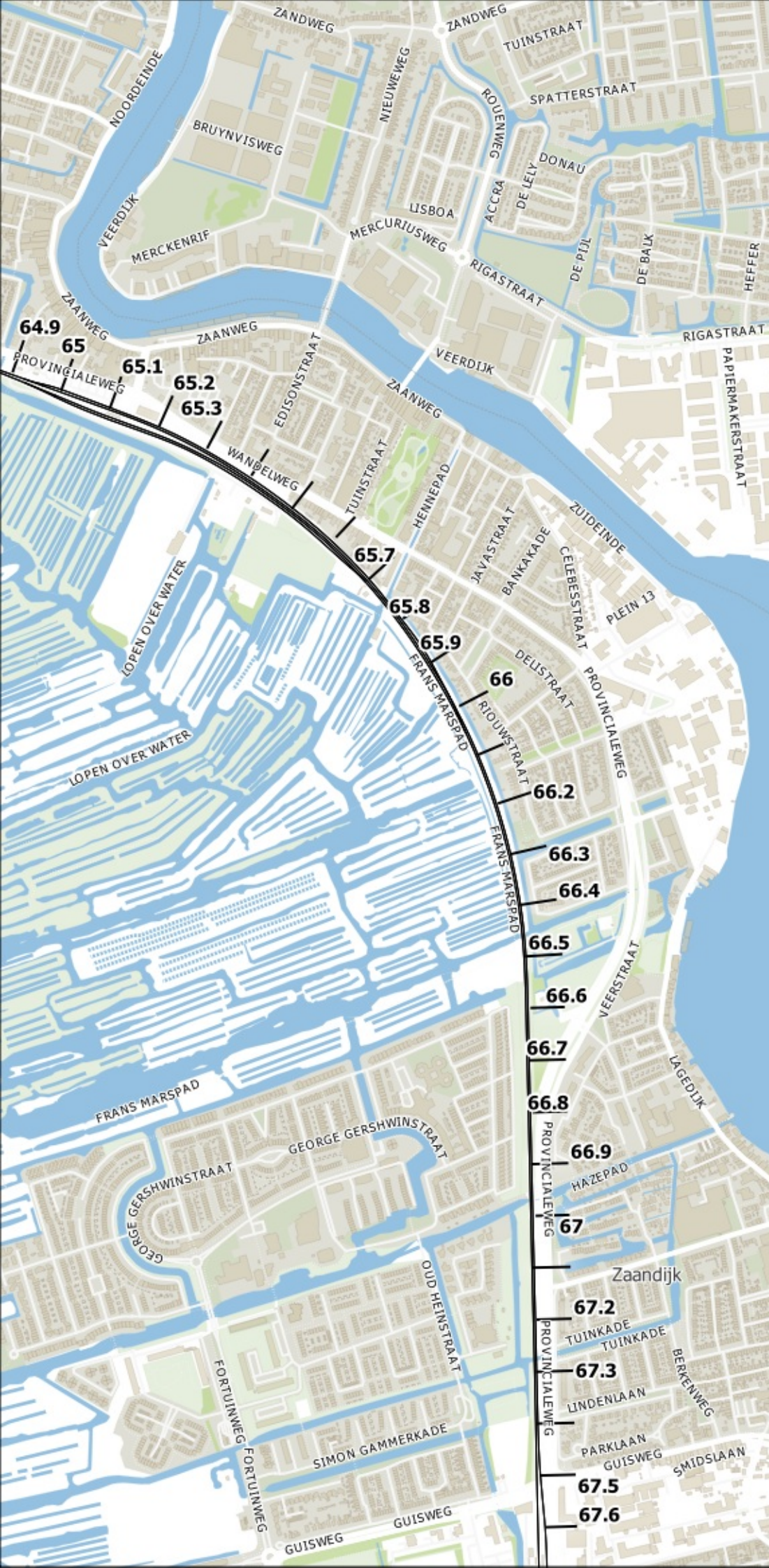


Wormerveer



Gemiddelde trillingssterkte V_{per}

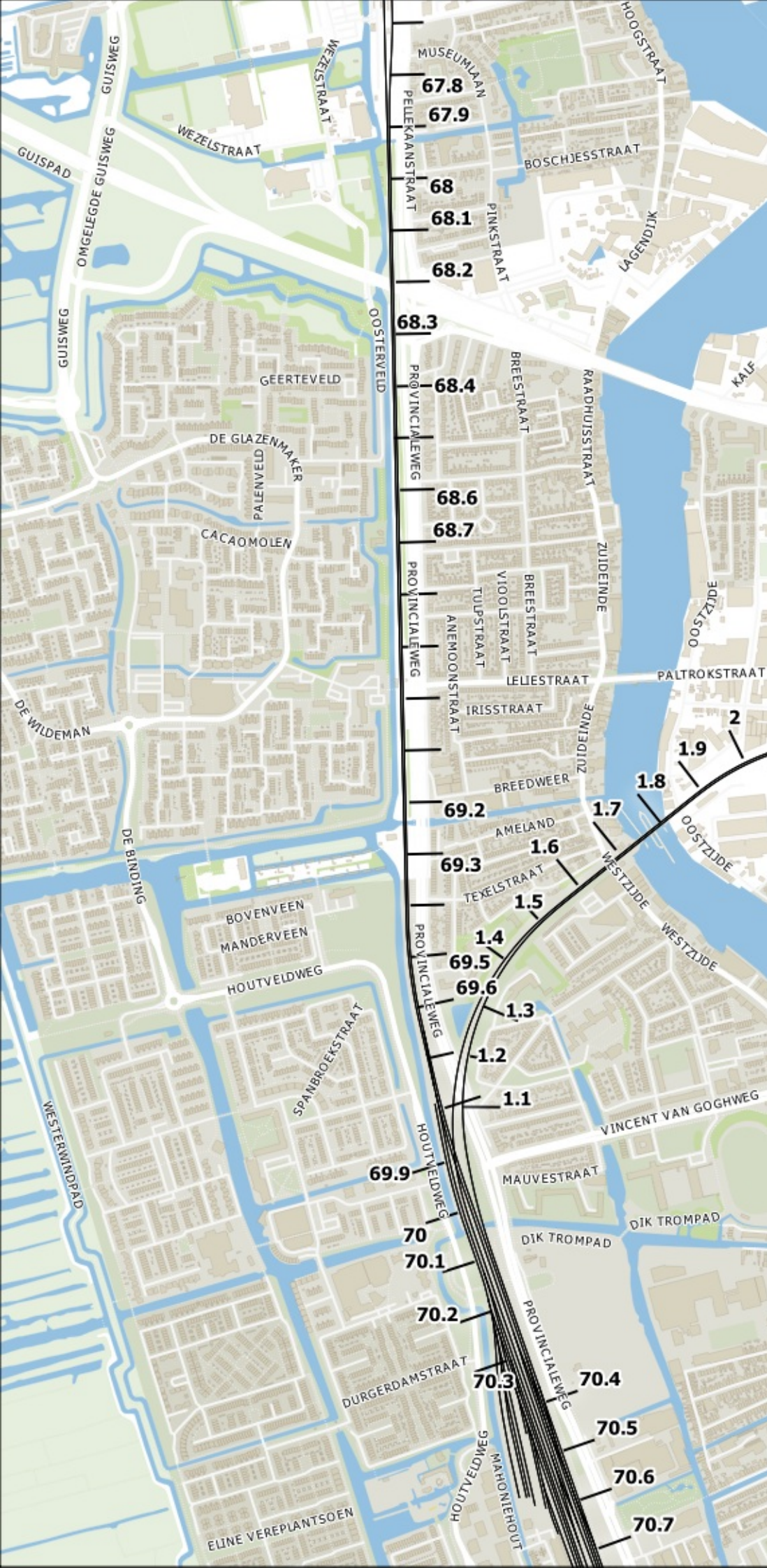
- 0,05 - 0,07
- 0,07 - 0,1
- 0,1 - 0,15
- > 0,15



A map of the Alkmaar region in the Netherlands. The town of Wormerveer is highlighted in red. Other labeled locations include Alkmaar, Egmond-Binnen, Bakkum, Castricum, Uitgeest, Heemskerk, Beverwijk, Driehuis, Velsersbroek, Spaarndam, Koog aan de Zaan, Zaandam, Jisp, Wormerveer, Stompetersen, Oterleek, Sint Pancras, Broek op Langedijk, Zuid-Scharwoude, Oudkarspel, Schoorl, Groet, Tuitjenhorn, and 't Veld.

Referentiesituatie

Gemiddelde trillingssterkte Vper



Koog aan de Zaan



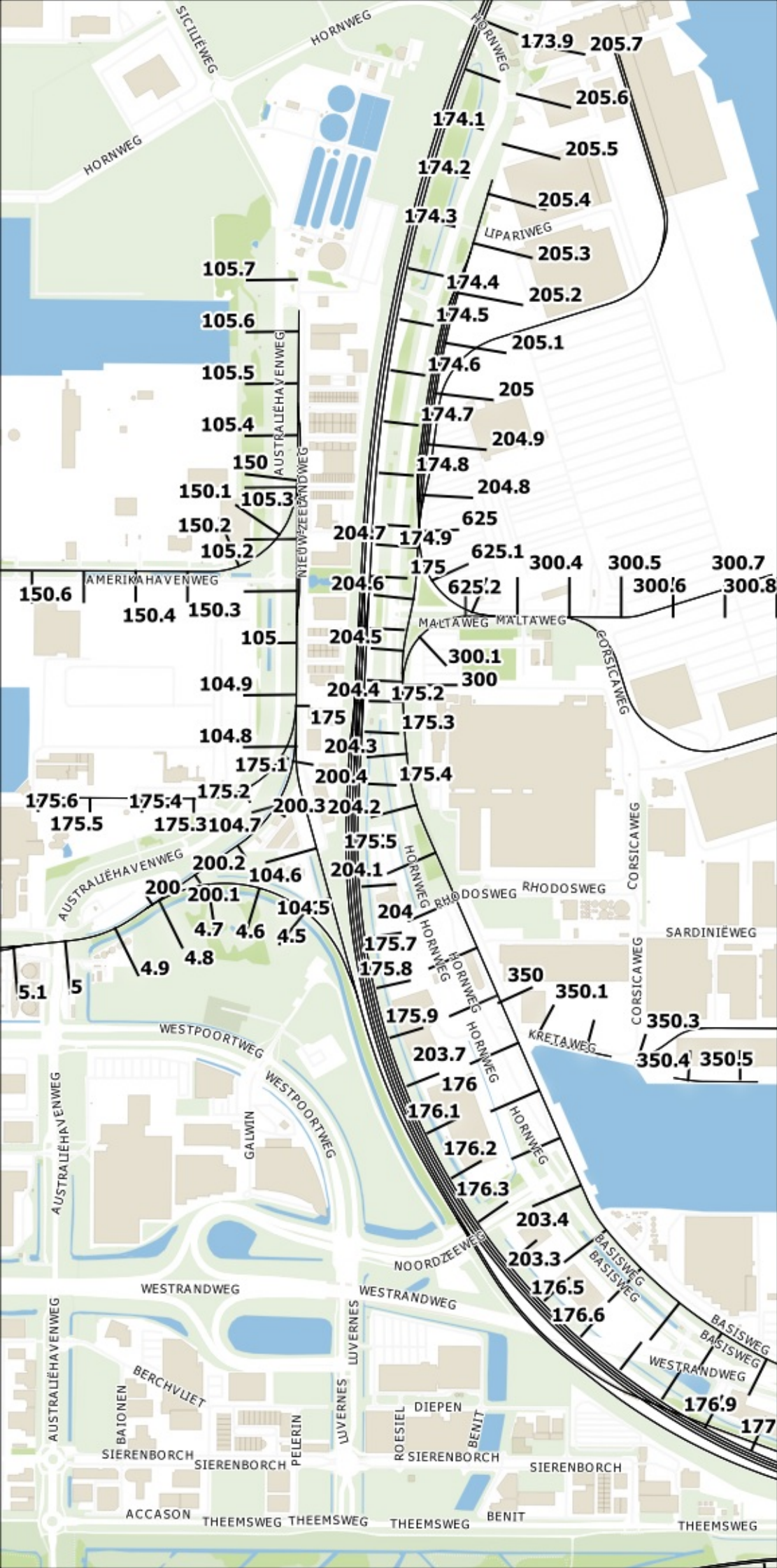
Referentiesituatie

Gemiddelde trillingssterkte Vper



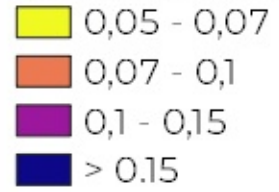
Zaandam





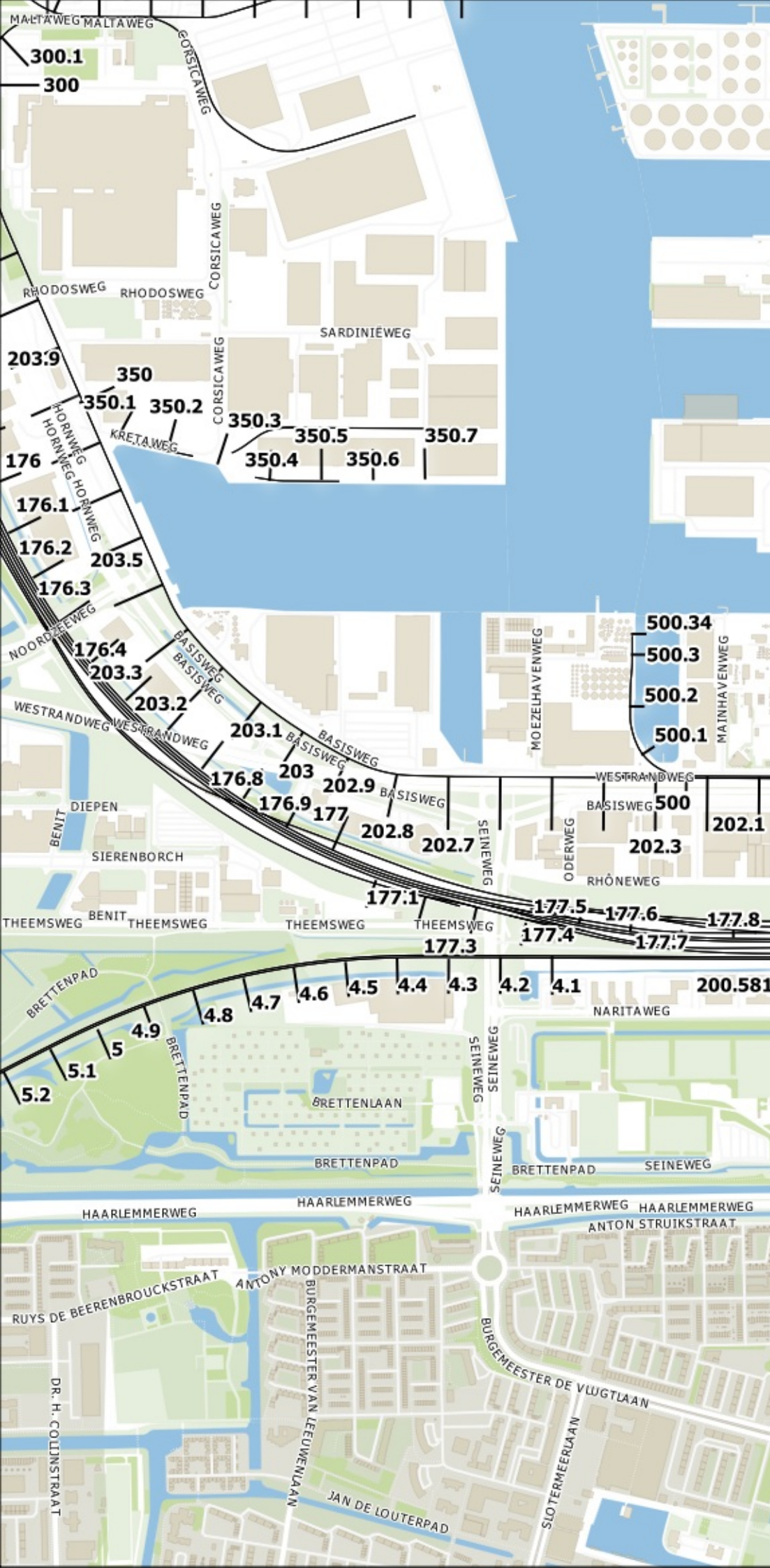
Referentiesituatie

Gemiddelde trillingssterkte Vper



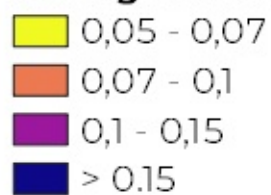
Houtrakpolder



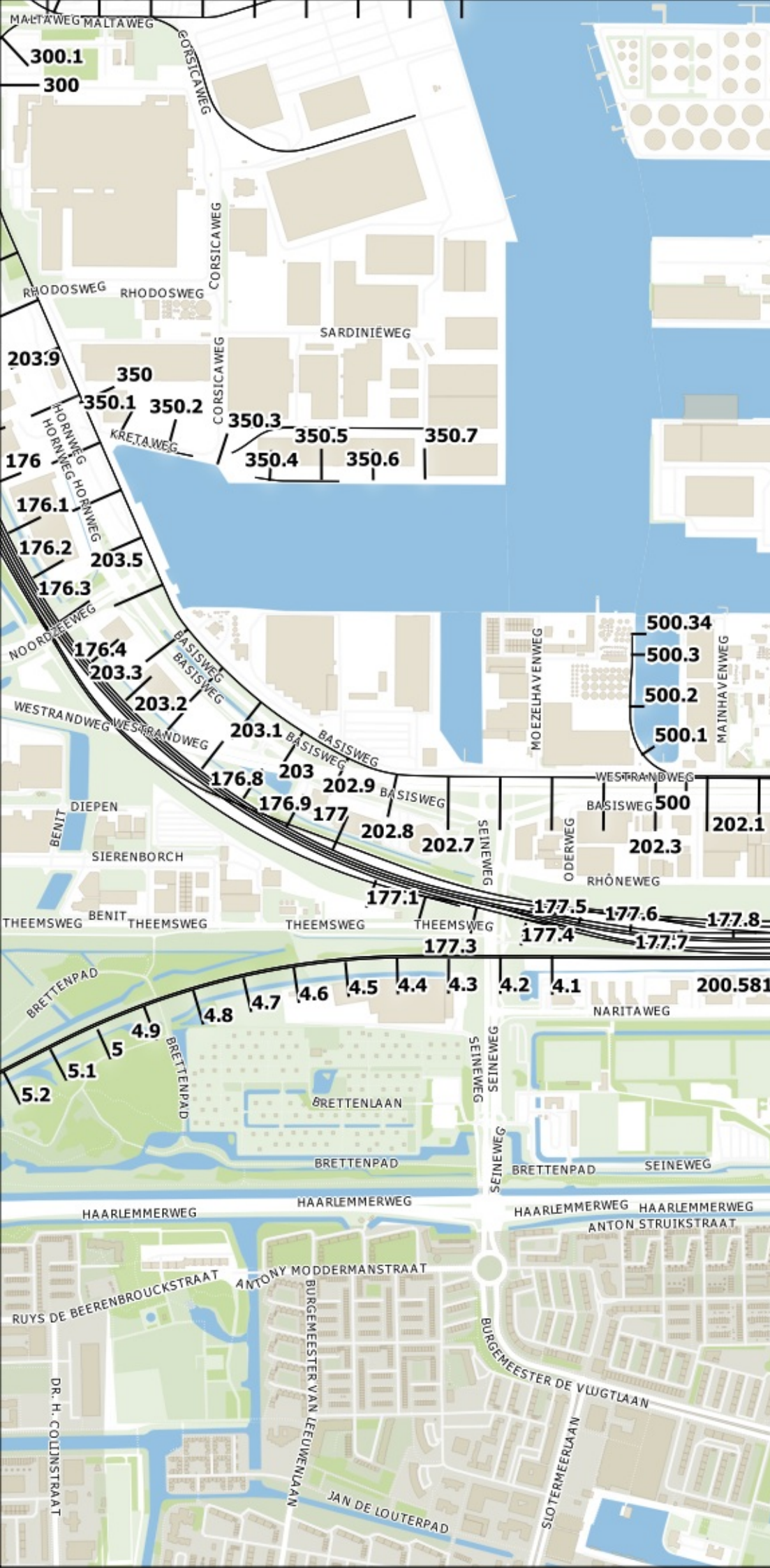


Referentiesituatie

Gemiddelde
trillingssterkte Vper

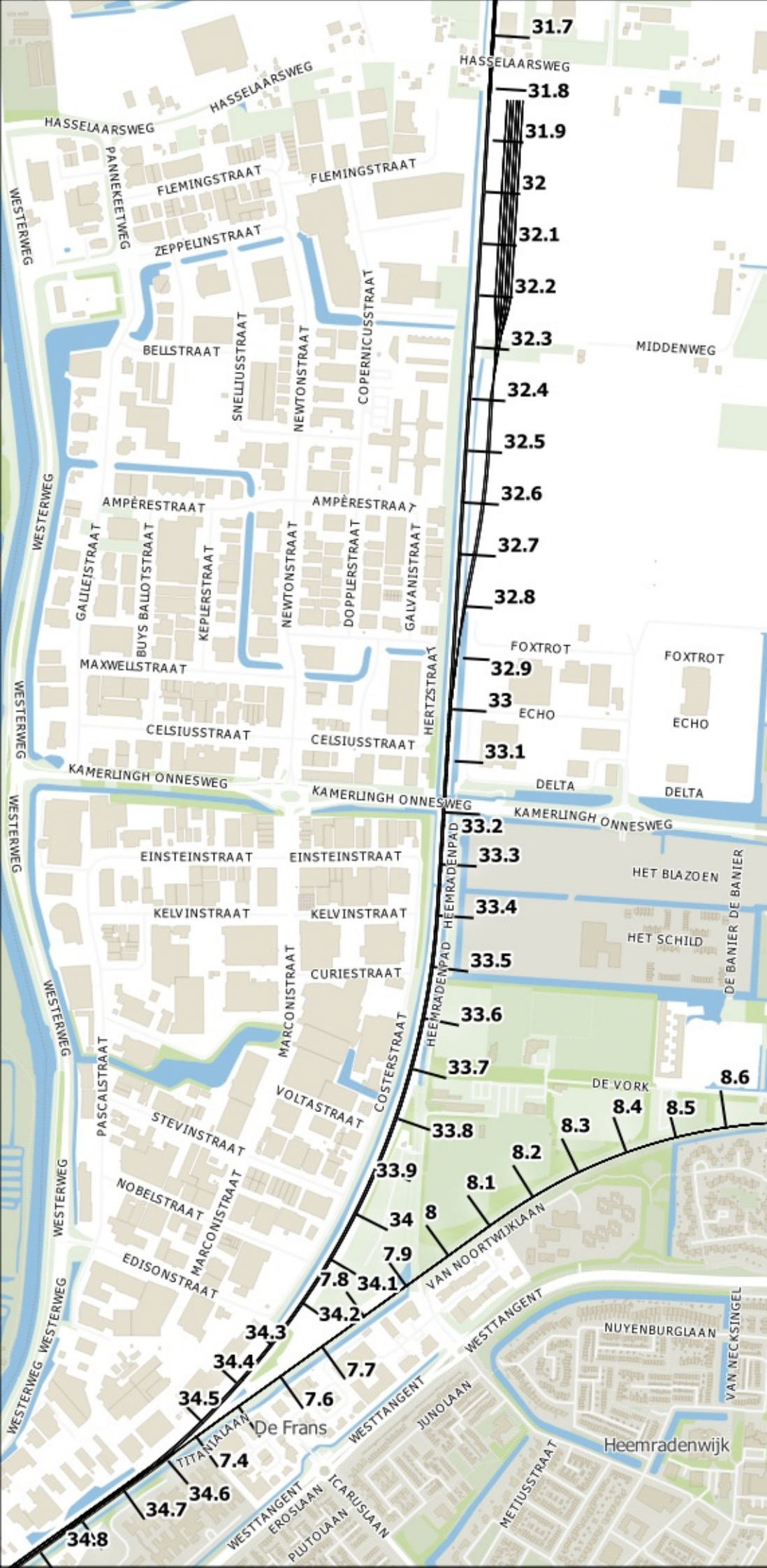
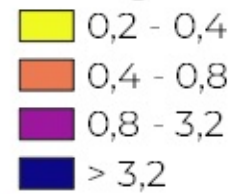


Amsterdam Sloten



Plansituatie

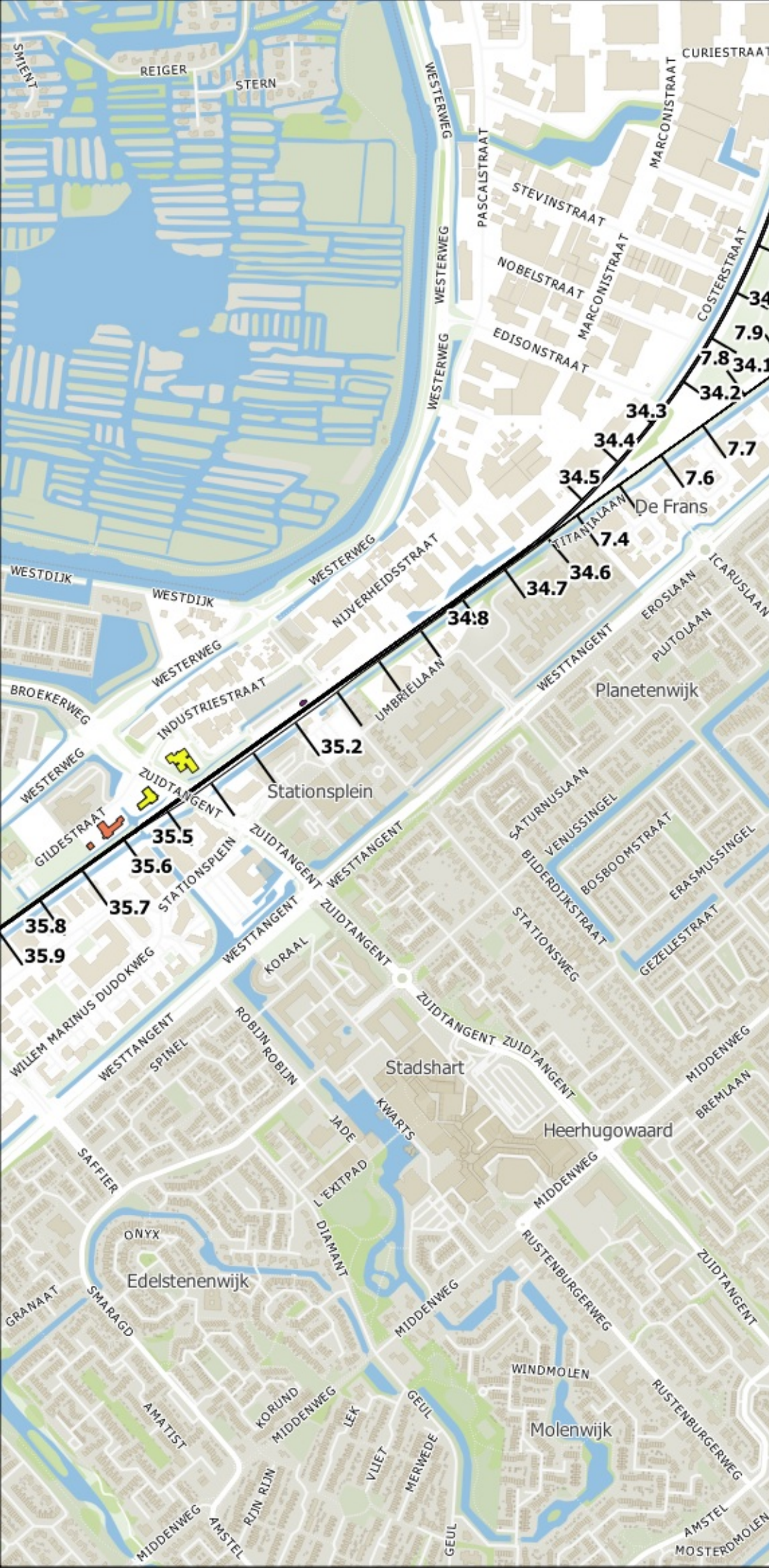
Trillingssterkte Vmax



Heerhugowaard noord



Plansituatie

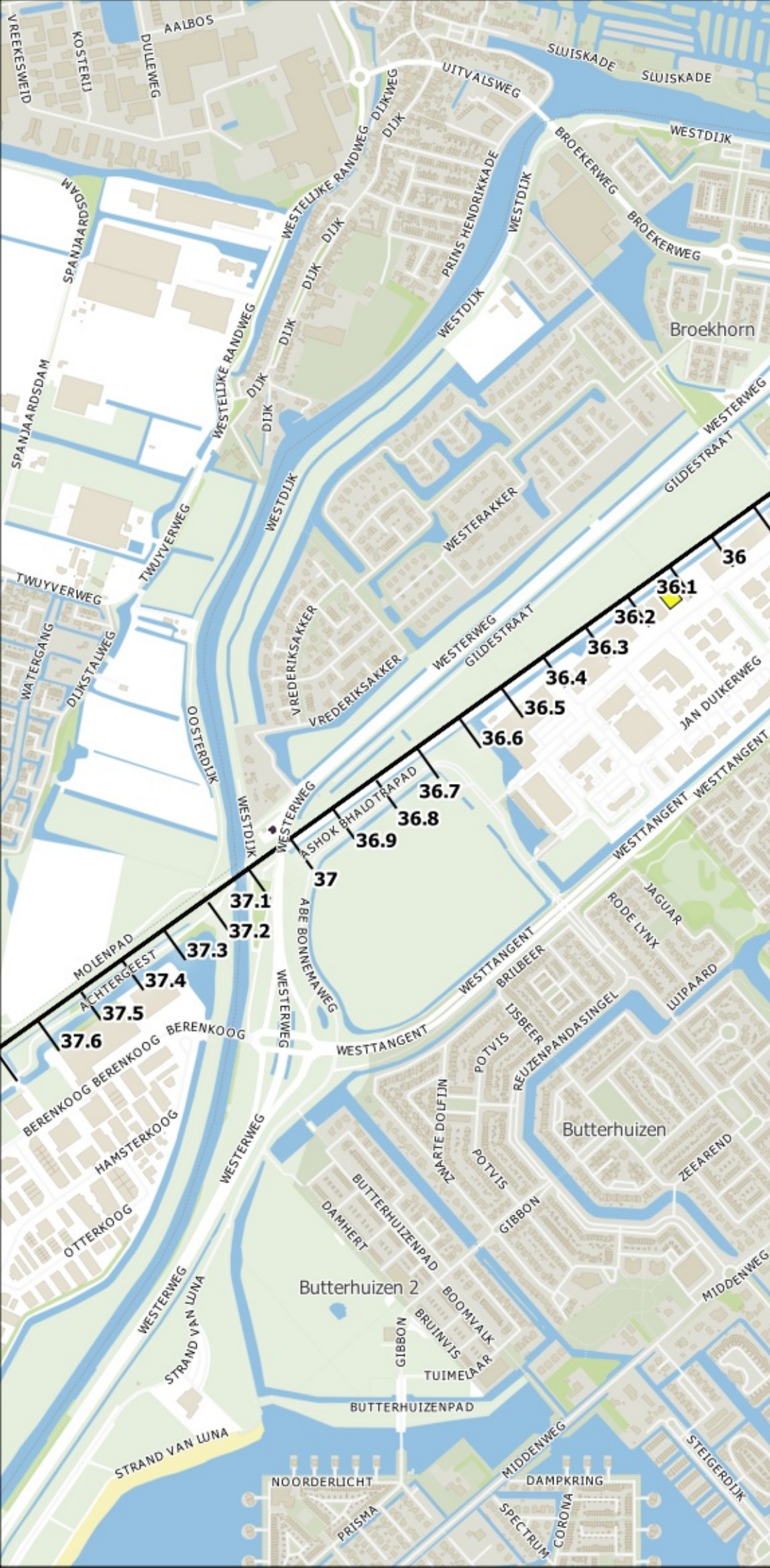
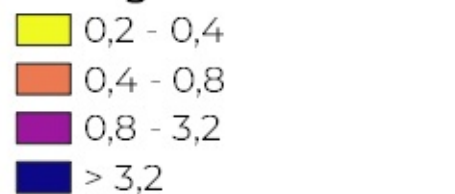


Heerhugowaard



Plansituatie

Trillingssterkte V_{max}

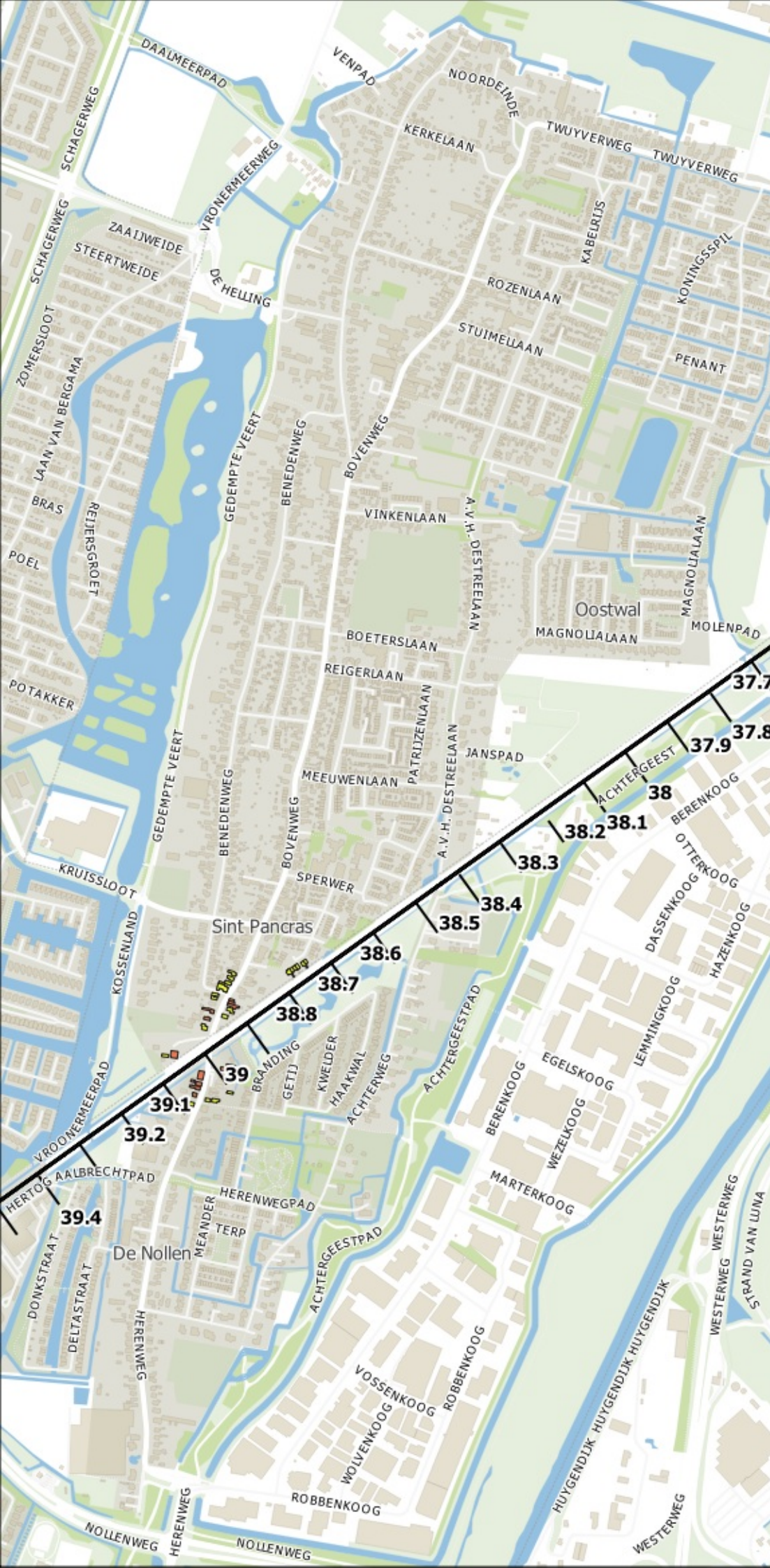
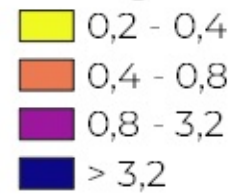


Heerhugowaard zuid



Plansituatie

Trillingssterkte Vmax

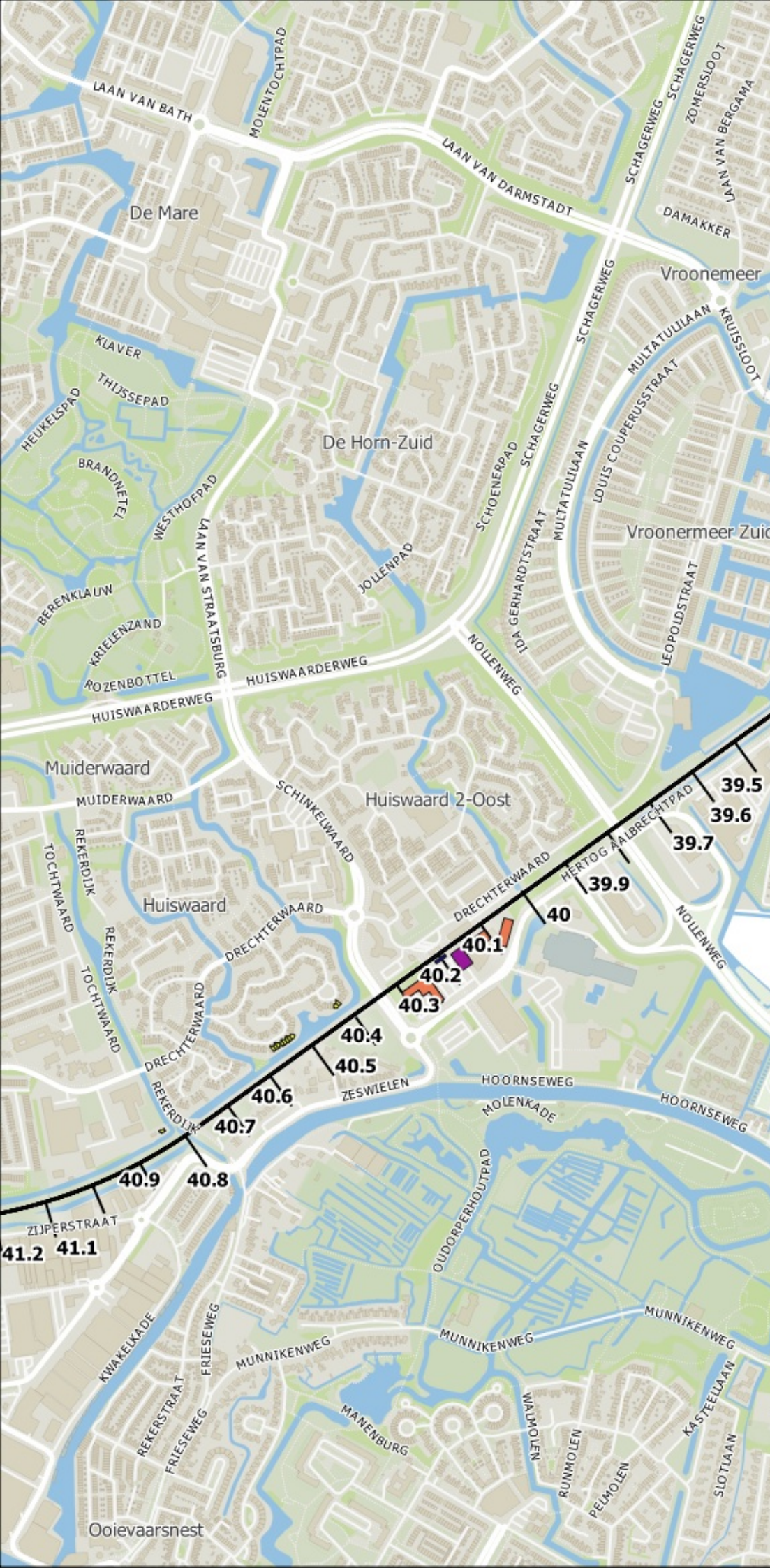
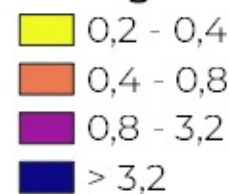


Sint Pancras



Plansituatie

Trillingssterkte Vmax

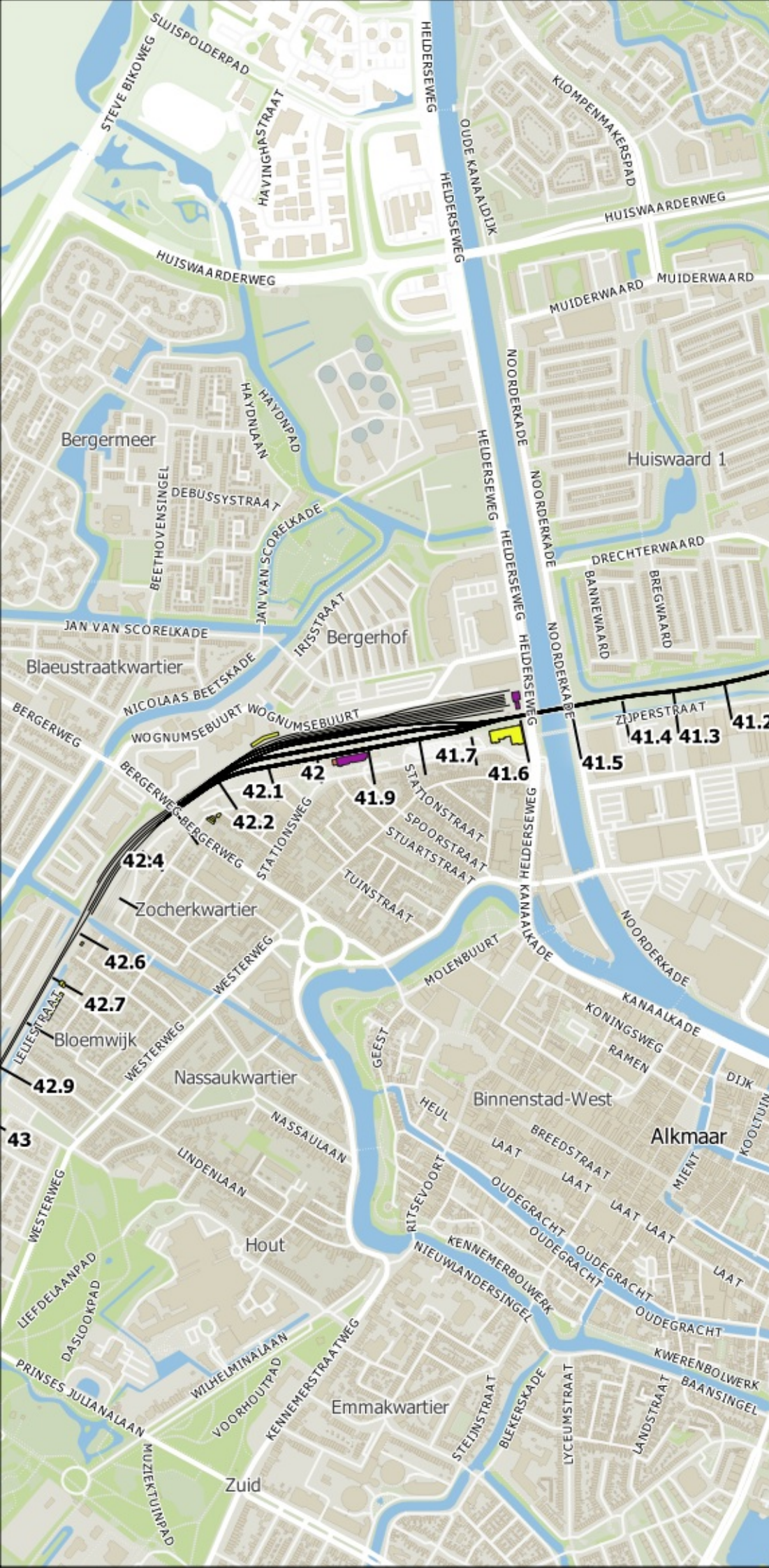
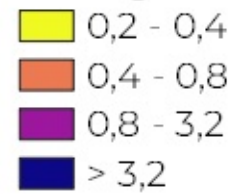


Alkmaar noord



Plansituatie

Trillingssterkte Vmax

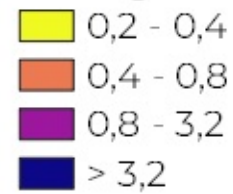


Alkmaar



Plansituatie

Trillingssterkte Vmax

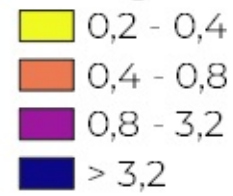


Alkmaar zuid



Plansituatie

Trillingssterkte Vmax

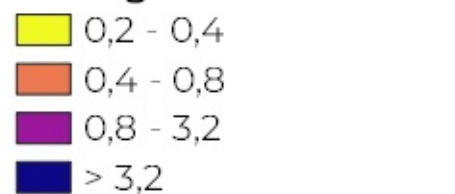


Heiloo noord



Plansituatie

Trillingssterkte V_{max}

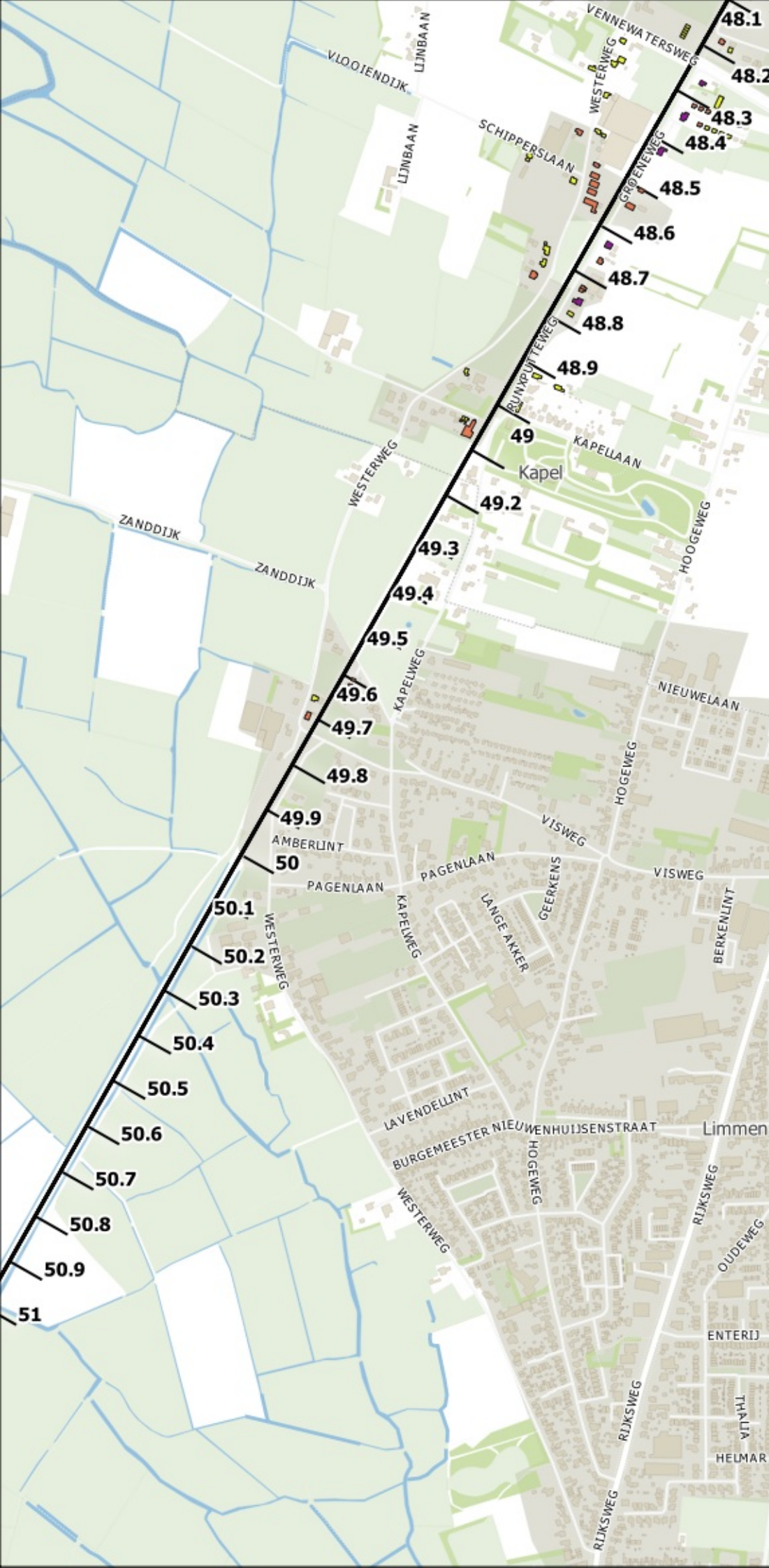
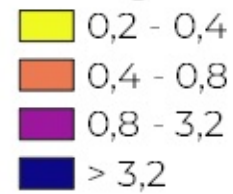


Heiloo zuid



Plansituatie

Trillingssterkte Vmax

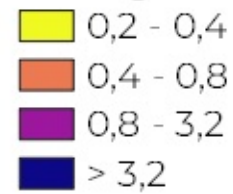


Limmen



Plansituatie

Trillingssterkte Vmax

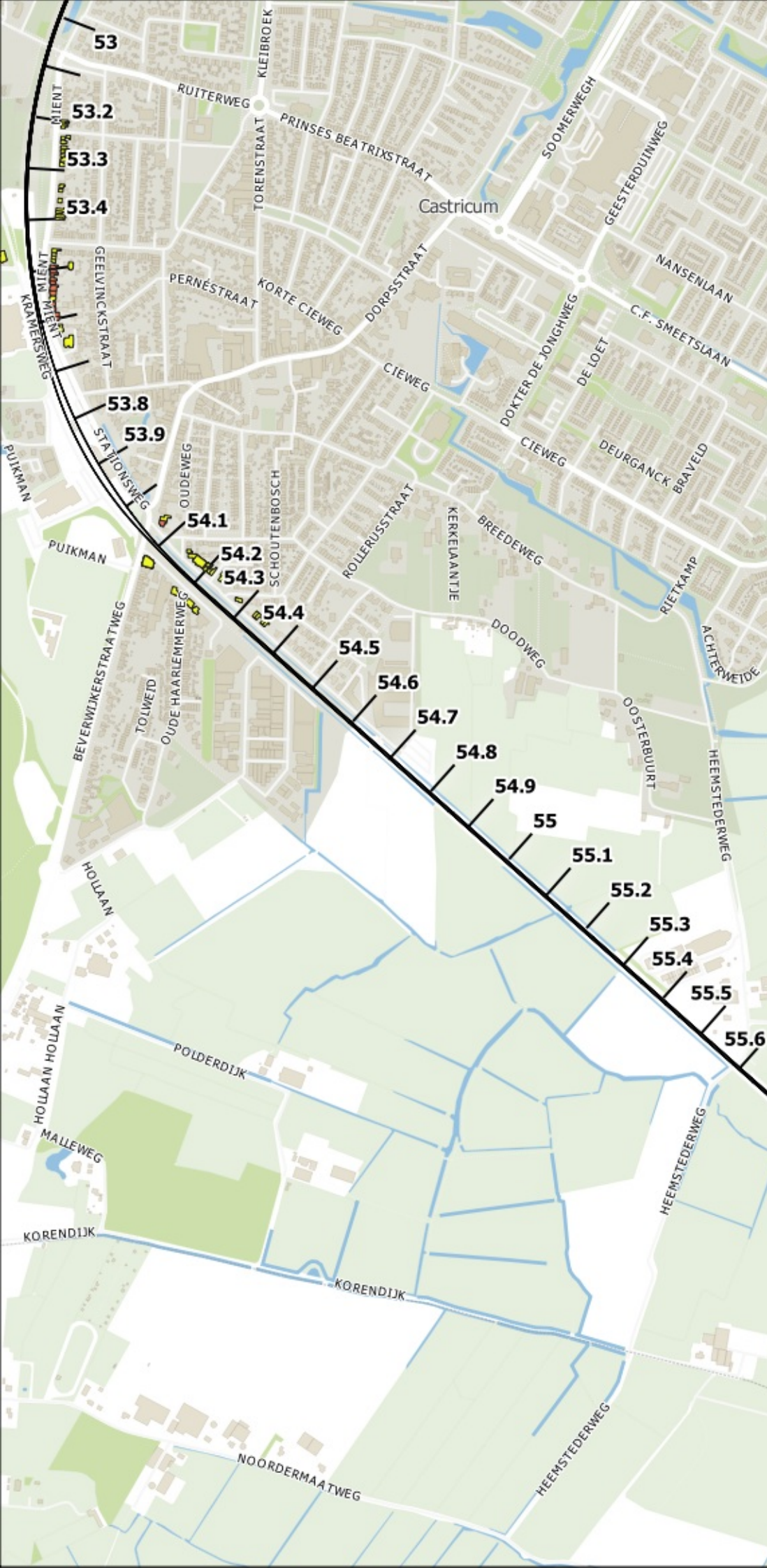
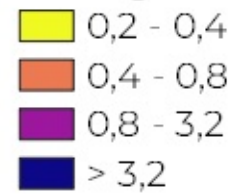


Castricum noord



Plansituatie

Trillingssterkte Vmax

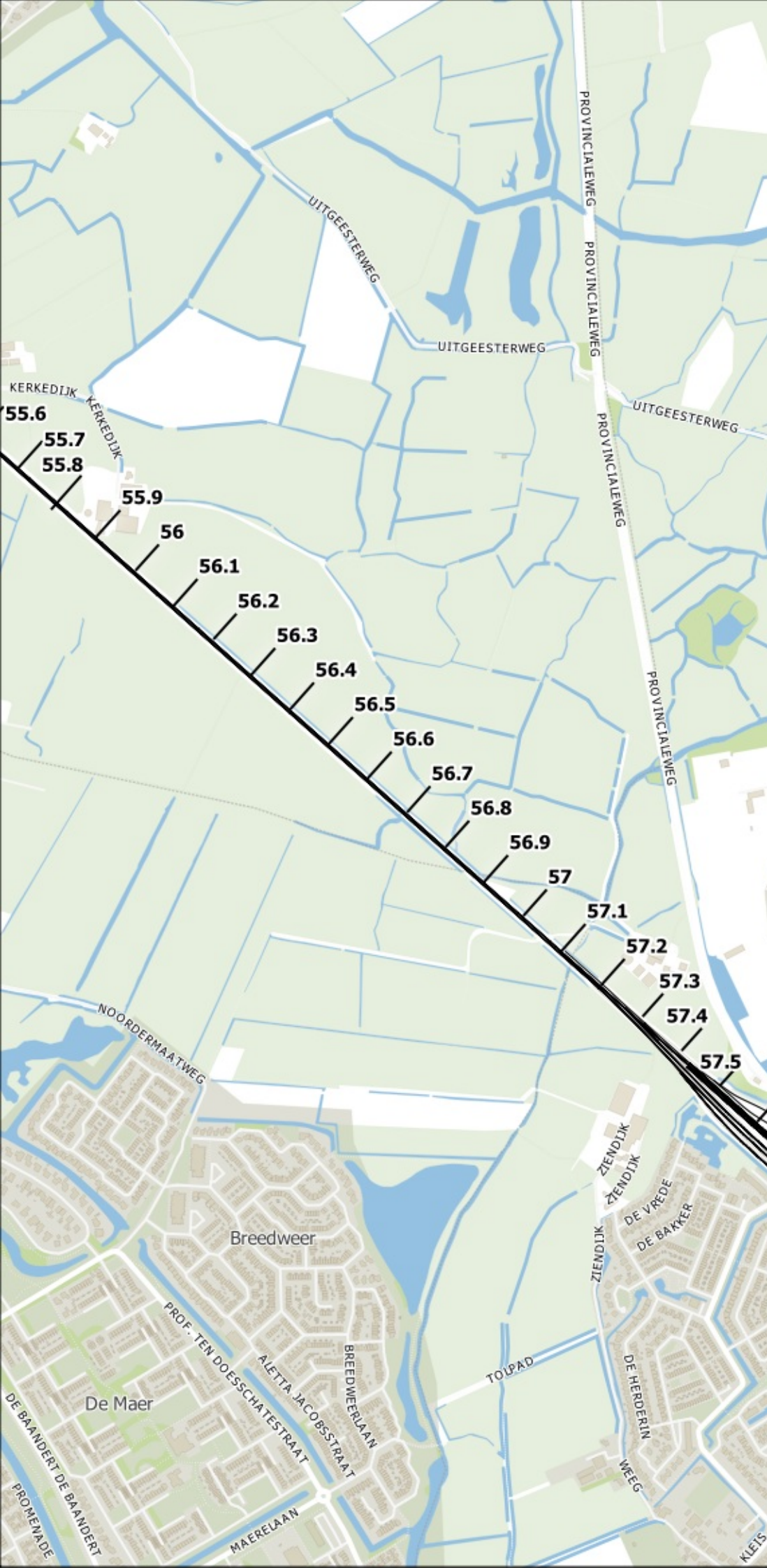
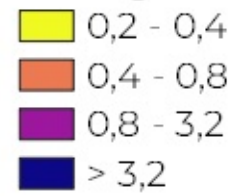


Castricum zuid



Plansituatie

Trillingssterkte Vmax

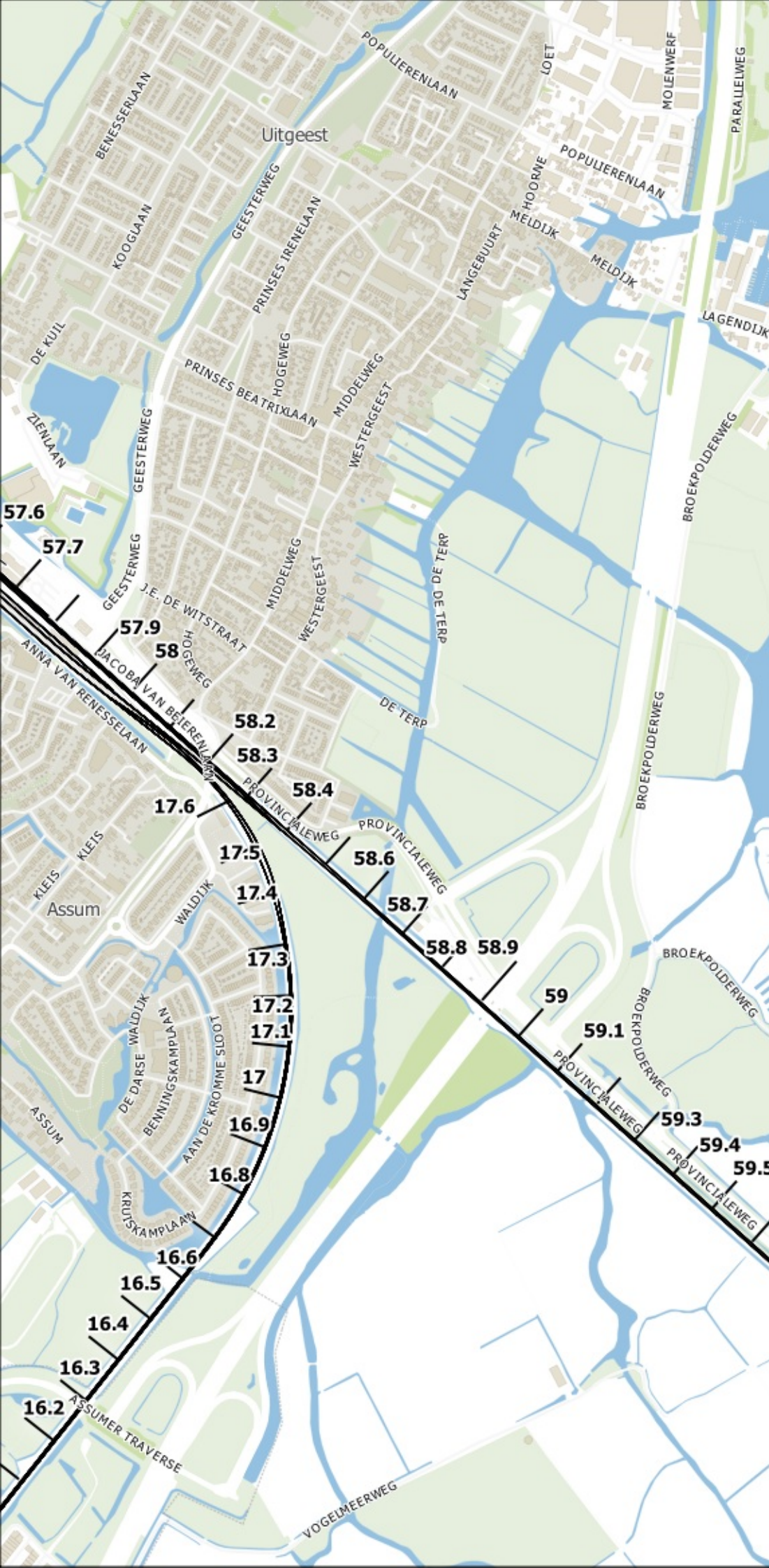
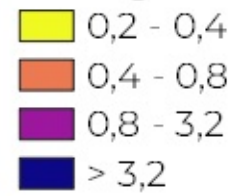


Uitgeest noord



Plansituatie

Trillingssterkte Vmax

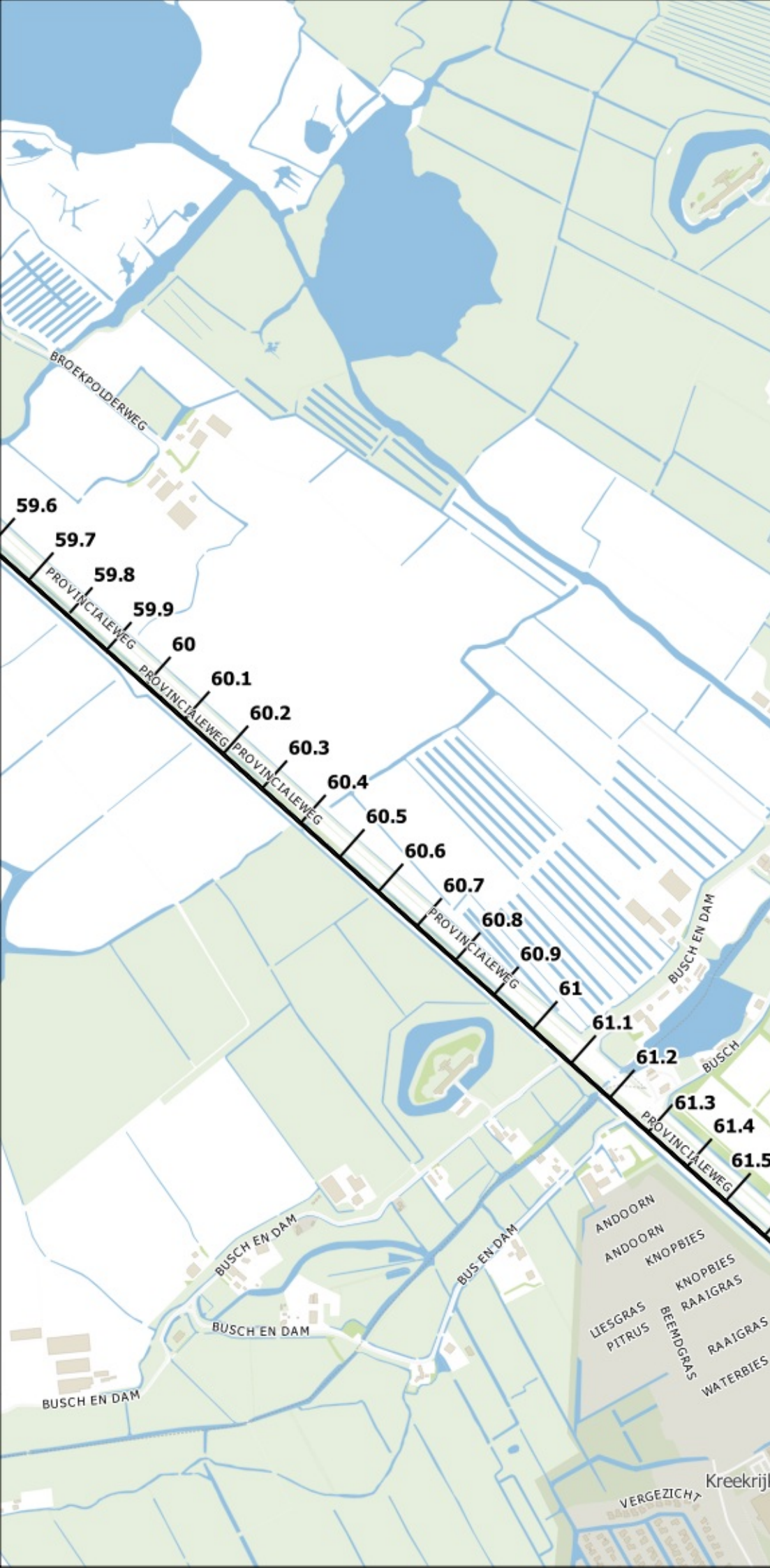
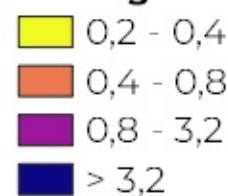


Uitgeest



Plansituatie

Trillingssterkte Vmax

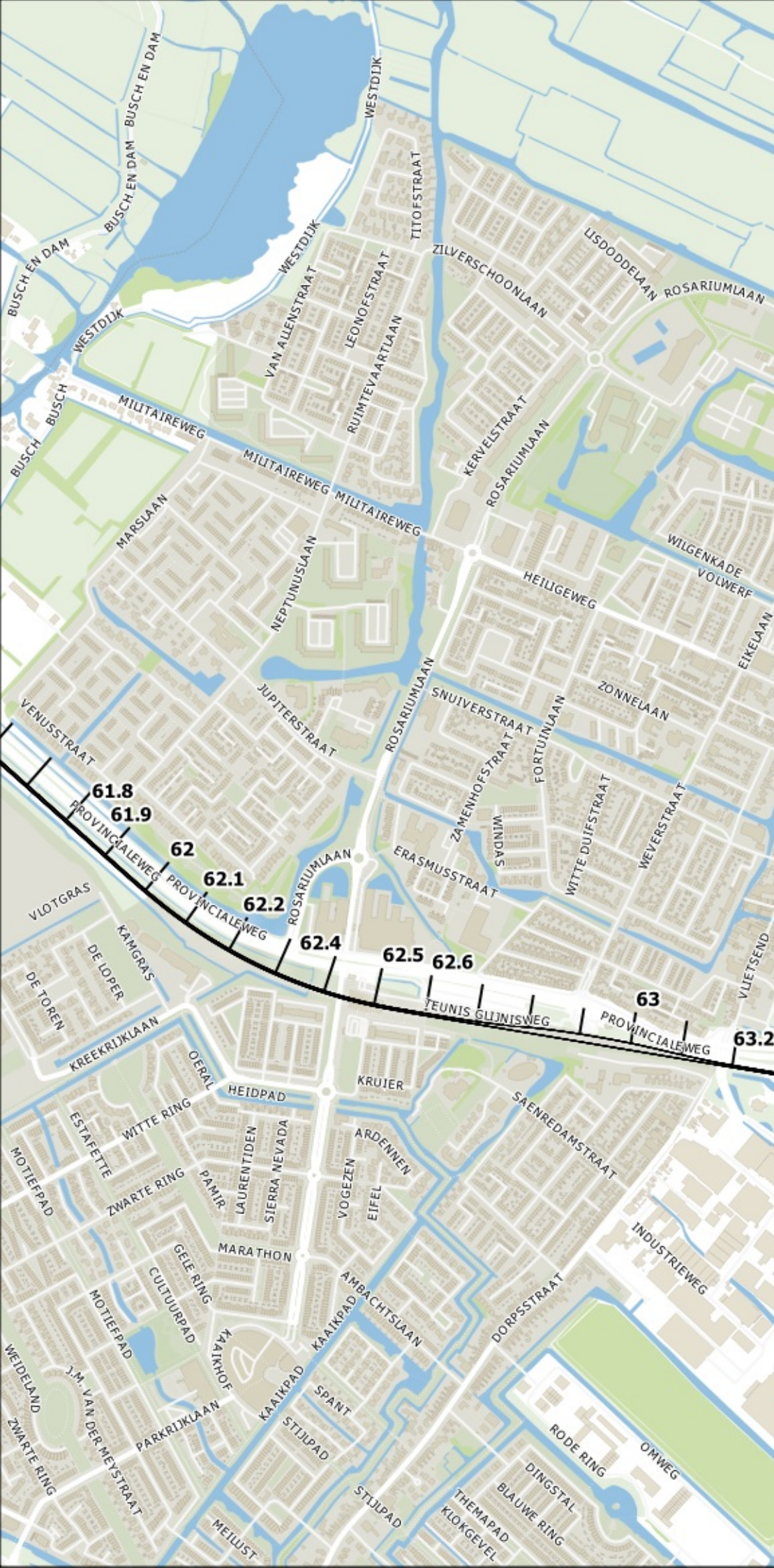
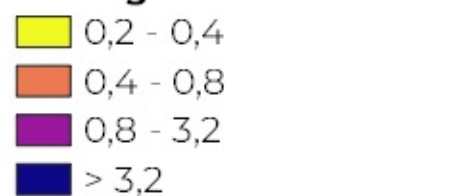


Krommenie noord



Plansituatie

Trillingssterkte V_{max}

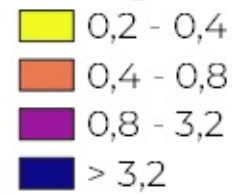


Krommenie



Plansituatie

Trillingssterkte Vmax

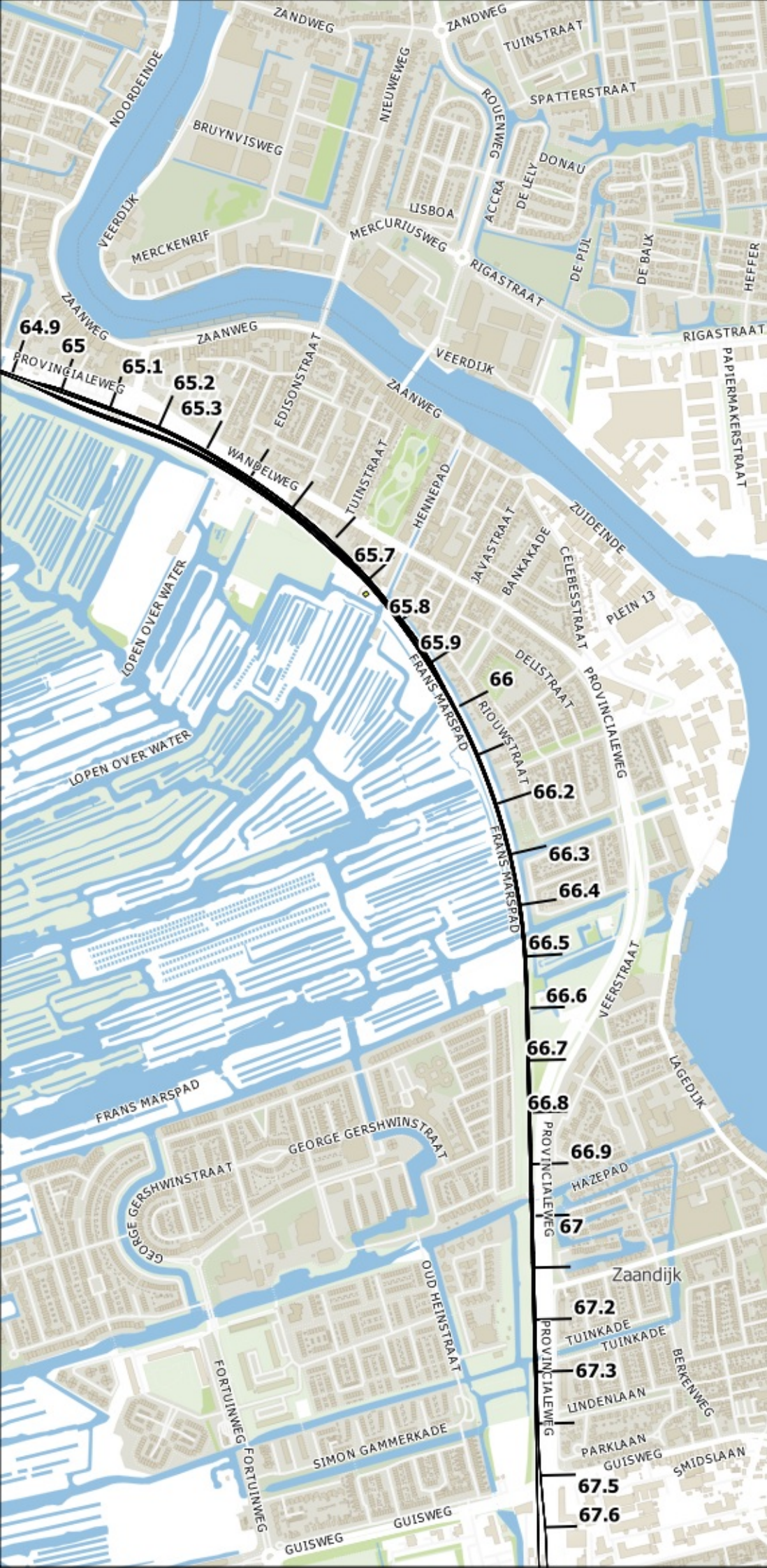
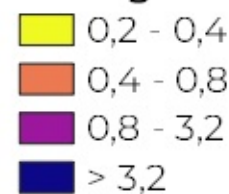


Wormerveer



Plansituatie

Trillingssterkte Vmax

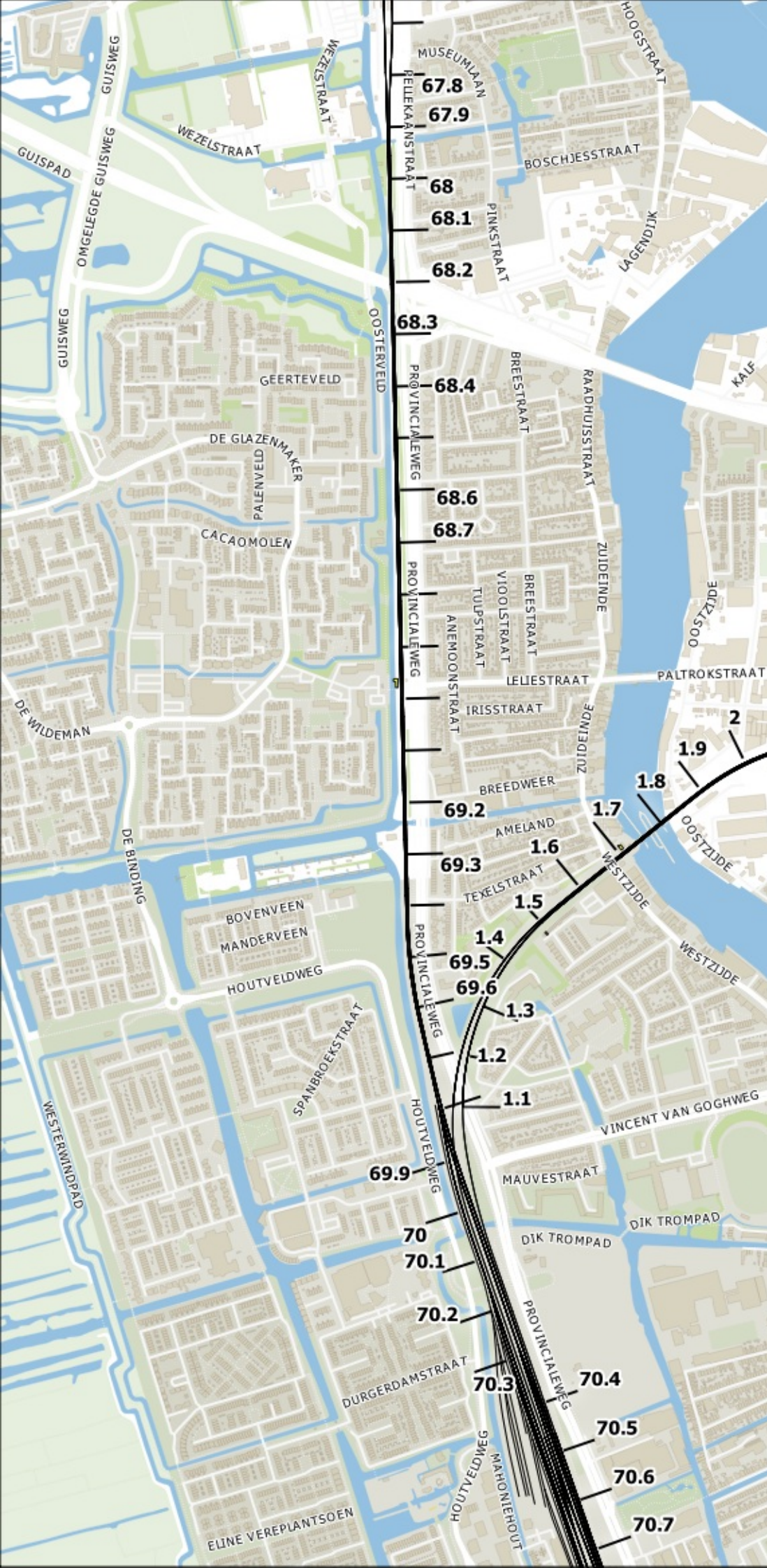
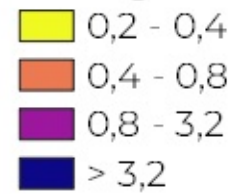


Zaandijk



Plansituatie

Trillingssterkte Vmax

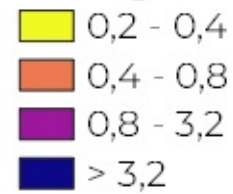


Koog aan de Zaan



Plansituatie

Trillingssterkte Vmax

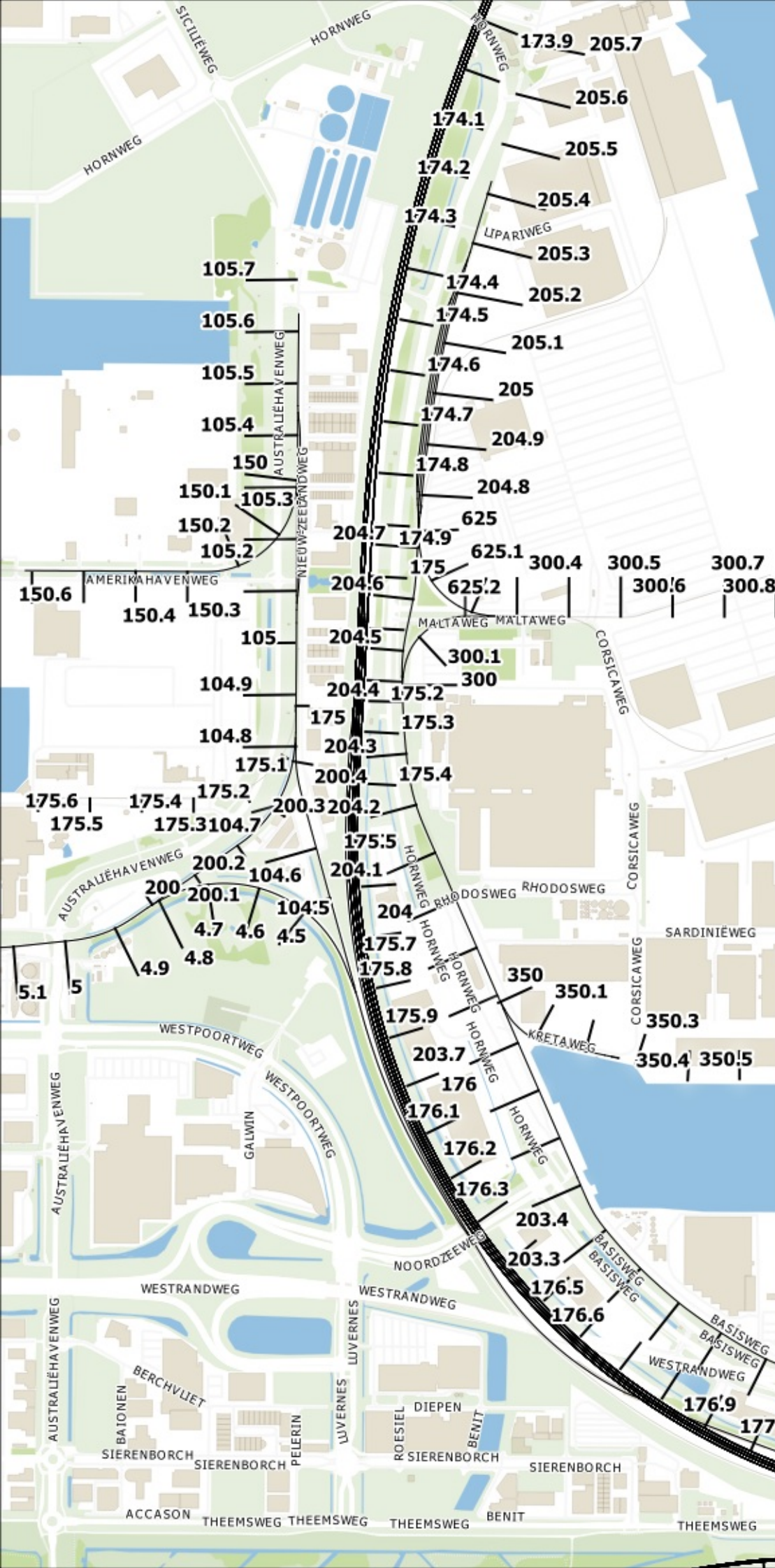
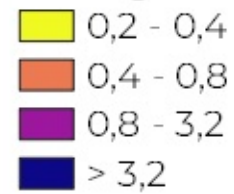


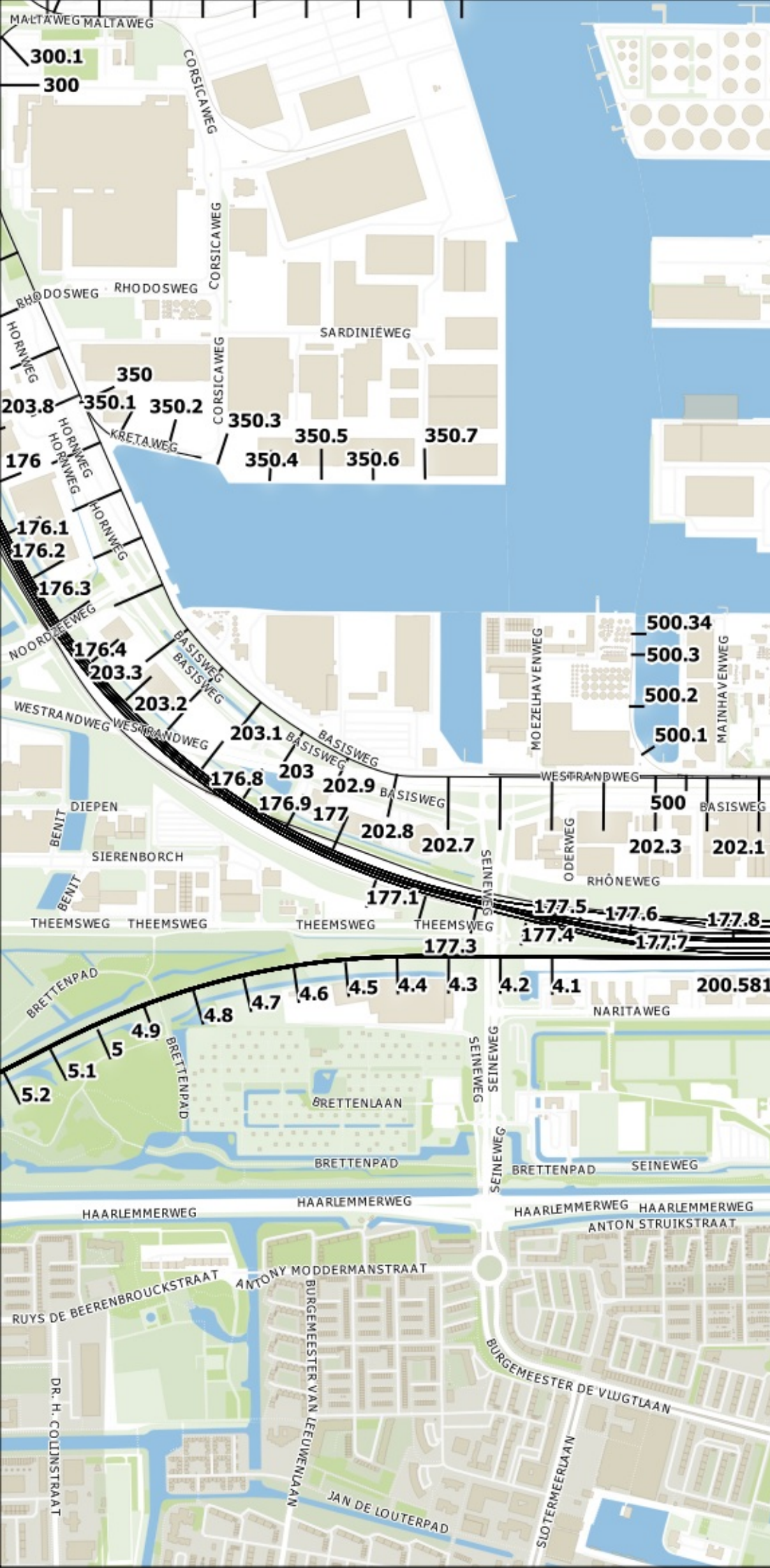
Zaandam



Plansituatie

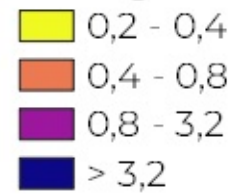
Trillingssterkte Vmax





Plansituatie

Trillingssterkte Vmax

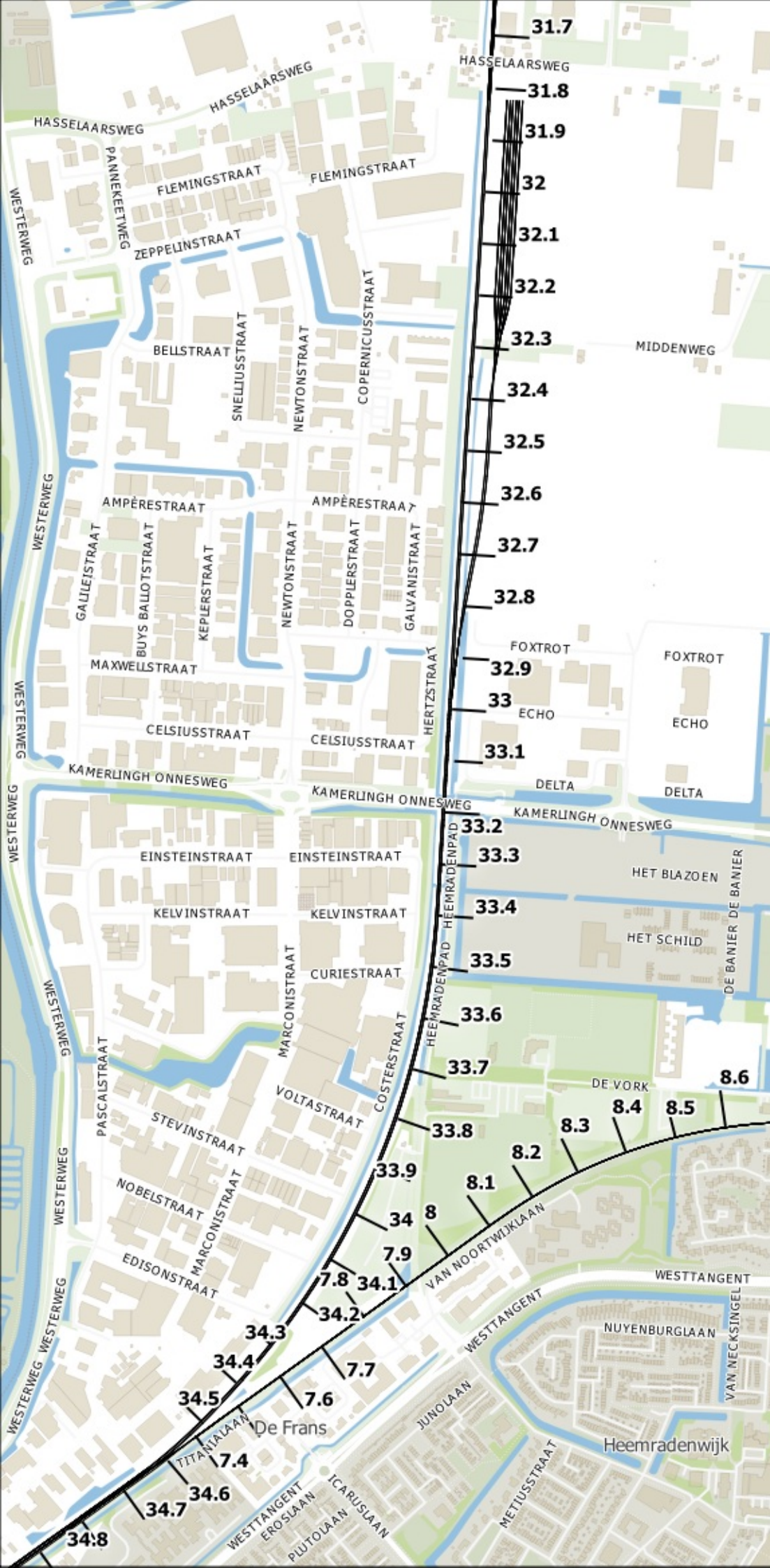
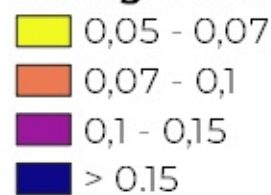


Amsterdam Sloterijk



Plansituatie

Gemiddelde trillingssterkte Vper

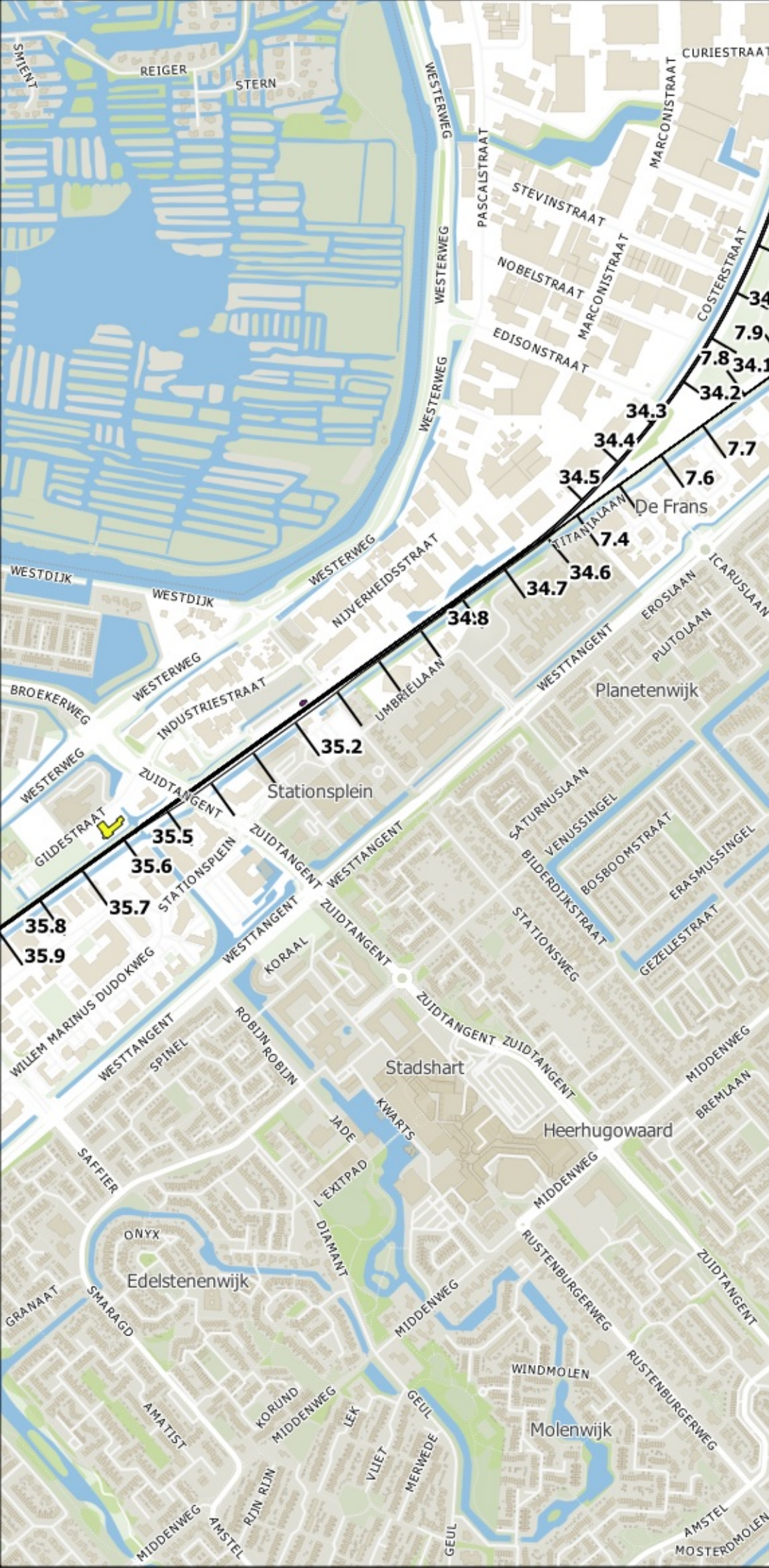
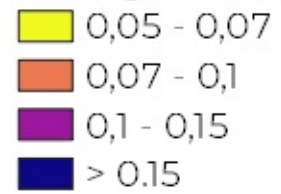


Heerhugowaard noord



Plansituatie

Gemiddelde trillingssterkte Vper

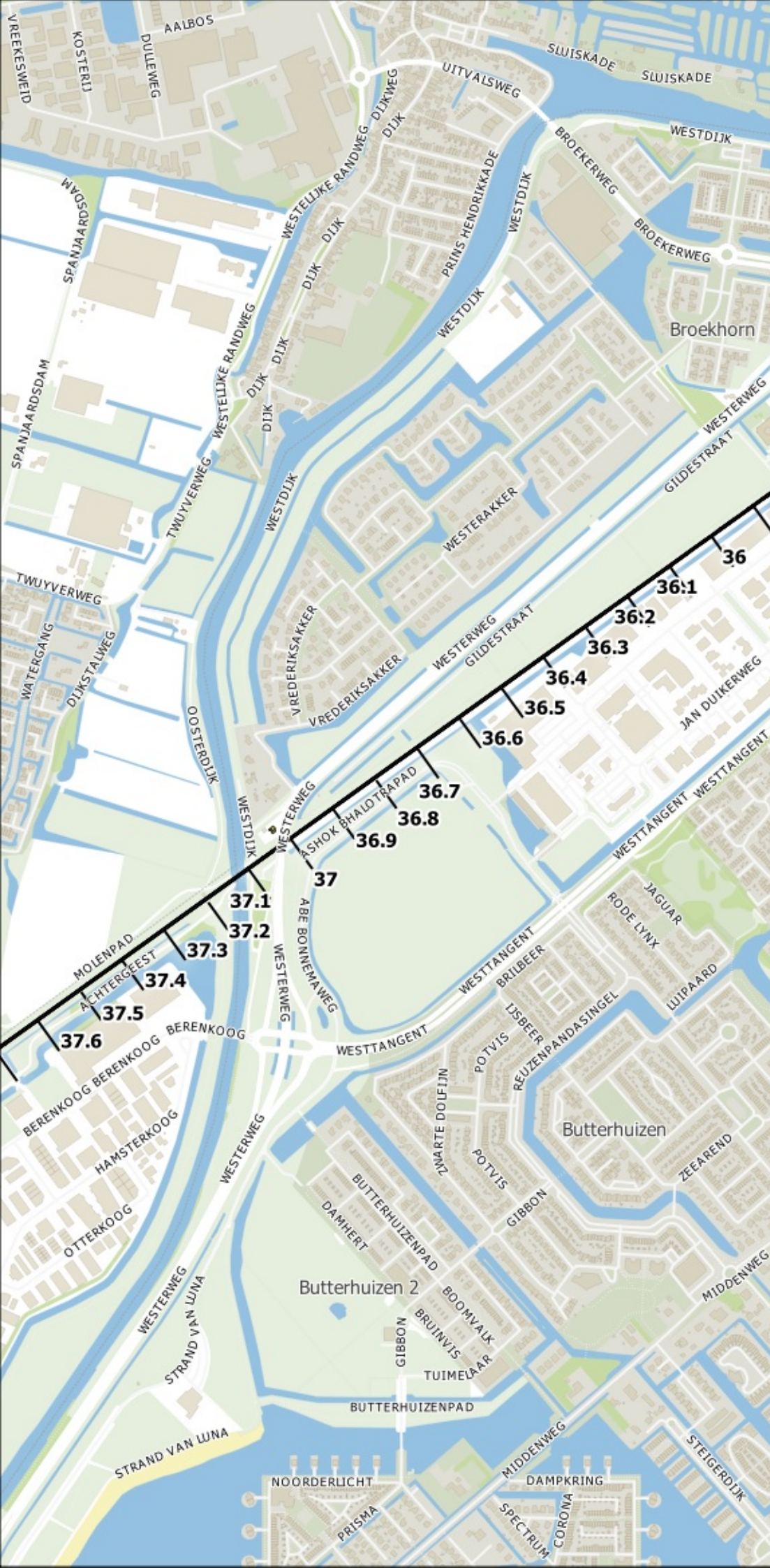
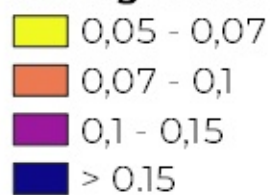


Heerhugowaard



Plansituatie

Gemiddelde
trillingssterkte V_{per}

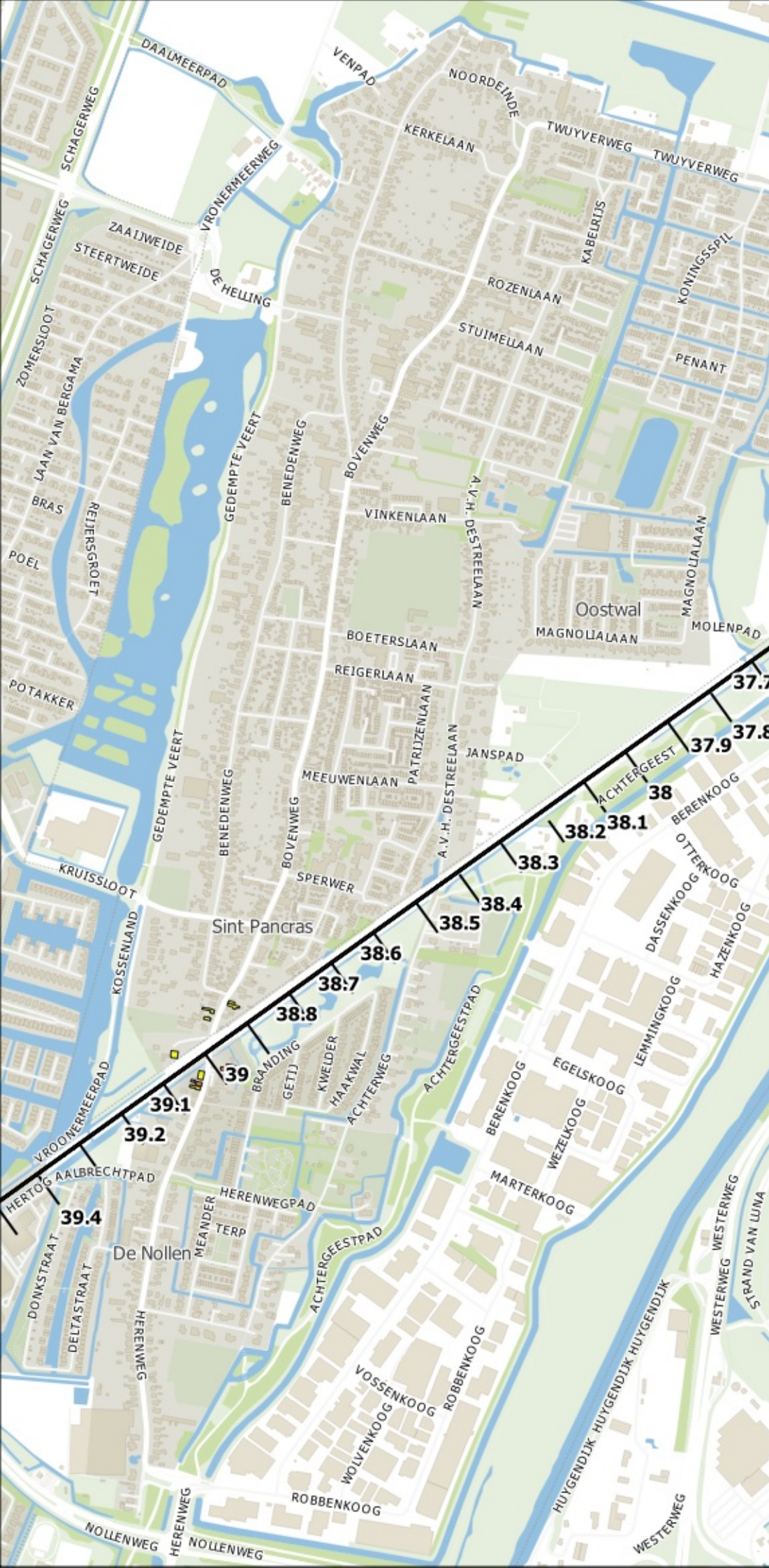
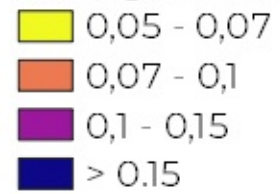


Heerhugowaard zuid



Plansituatie

Gemiddelde trillingssterkte Vper

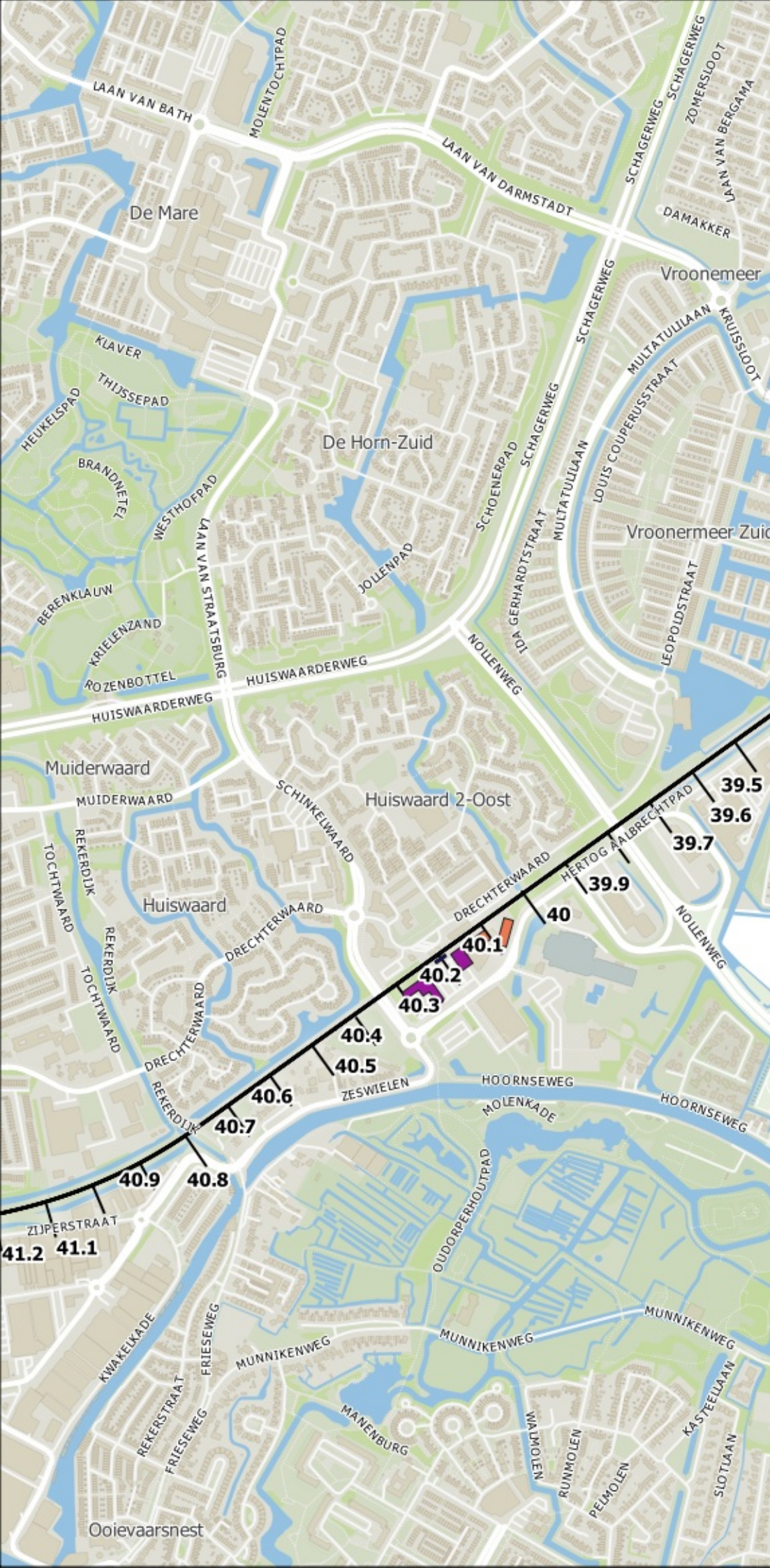
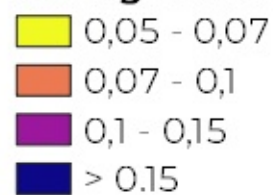


Sint Pancras



Plansituatie

Gemiddelde trillingssterkte Vper

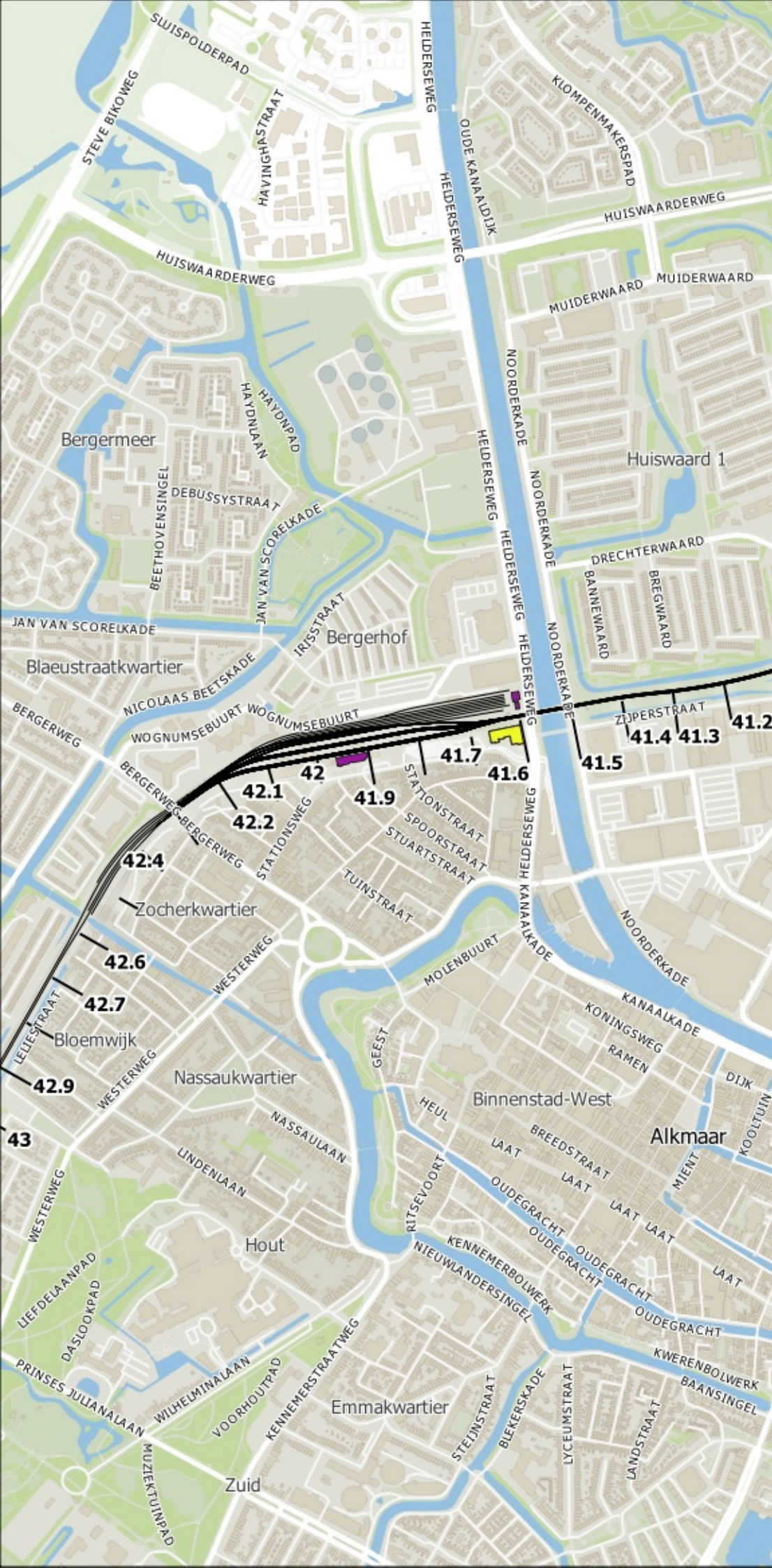
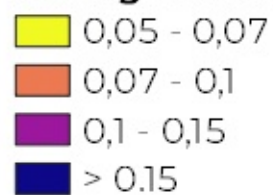


Alkmaar noord



Plansituatie

Gemiddelde
trillingssterkte Vper



Alkmaar



Plansituatie

Gemiddelde trillingssterkte Vper

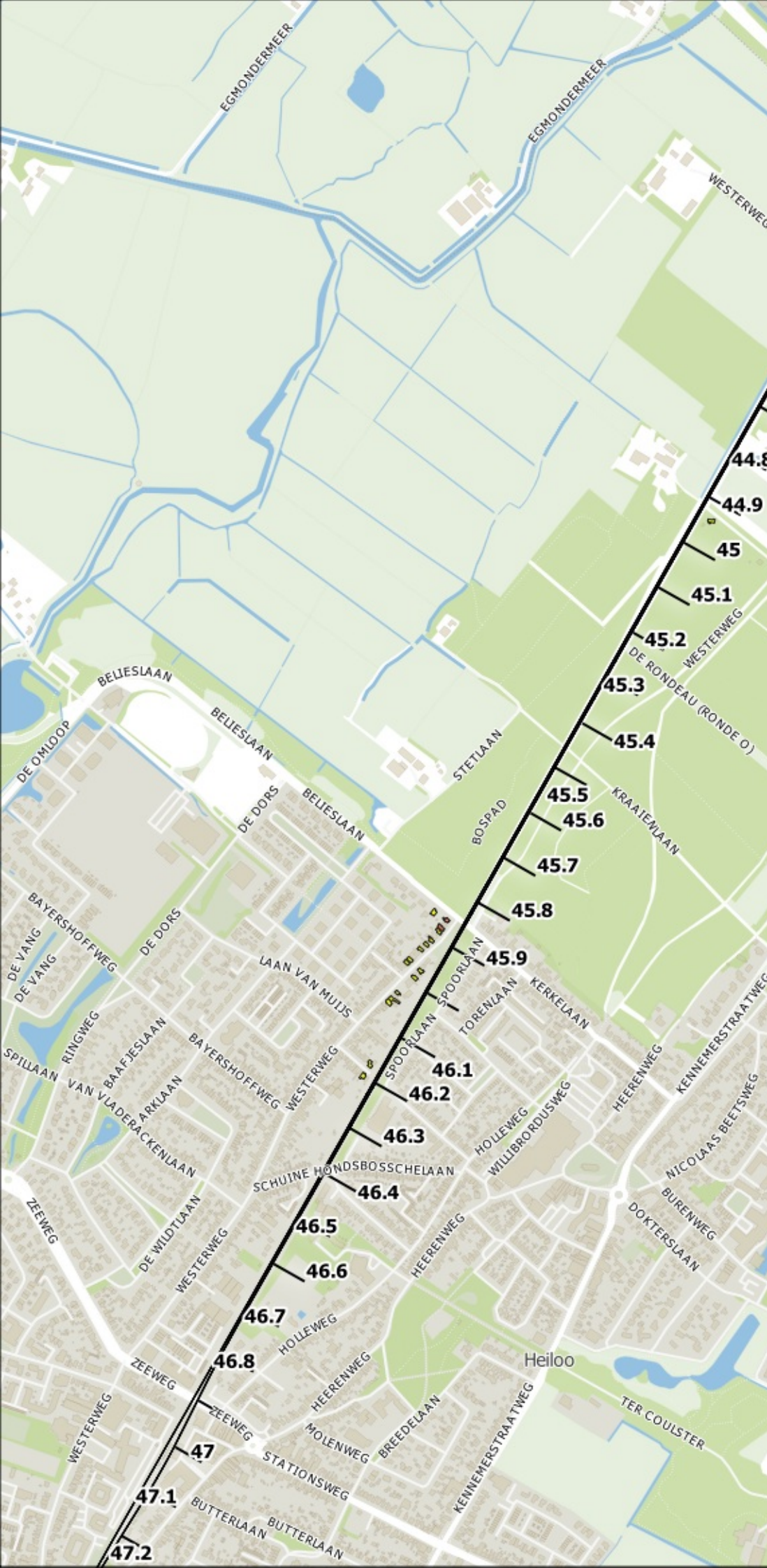
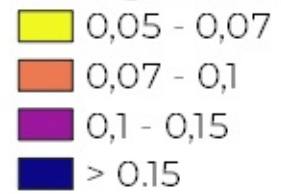


Alkmaar zuid



Plansituatie

Gemiddelde trillingssterkte Vper

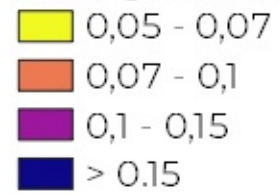


Heiloo noord



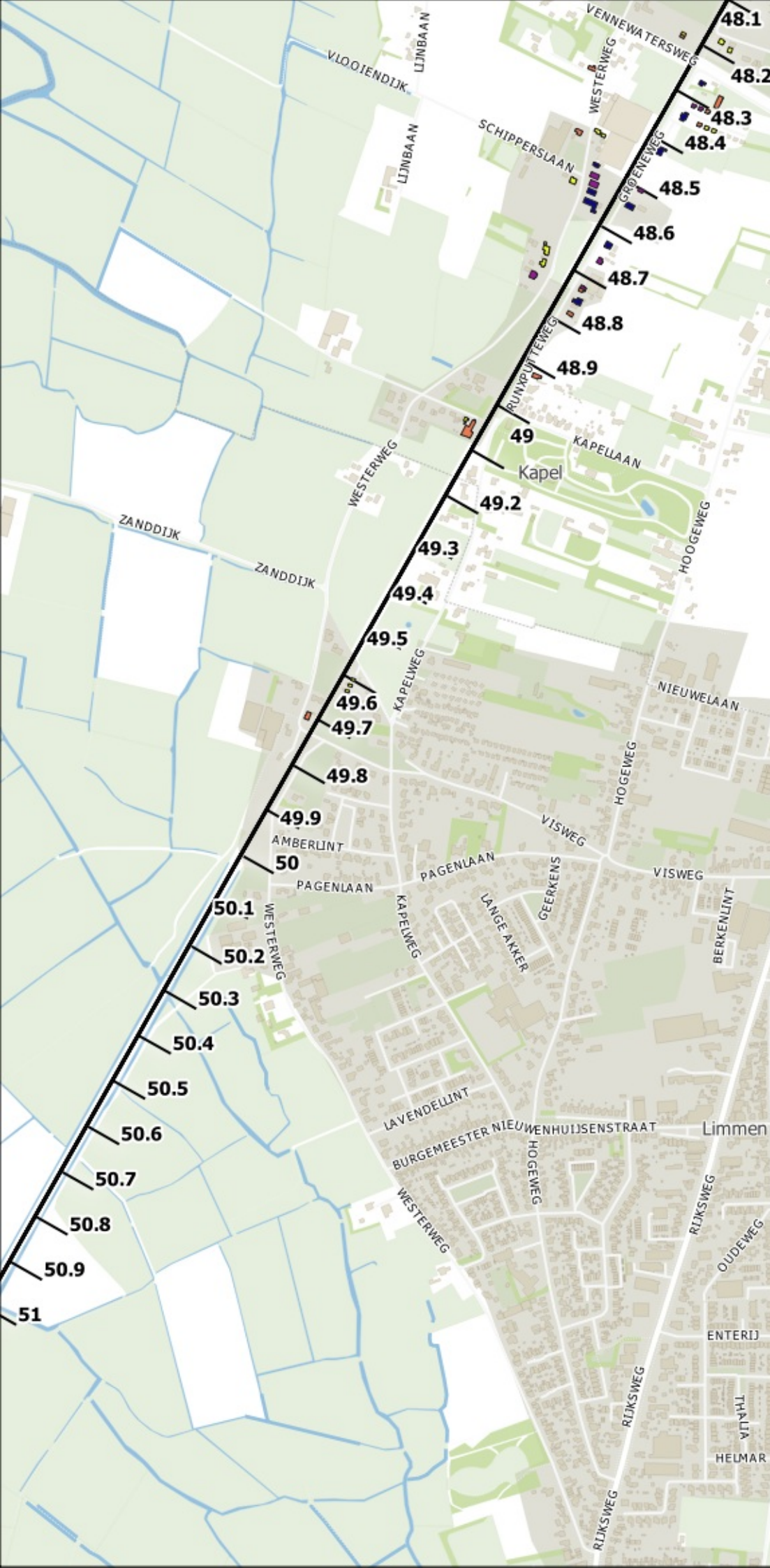
Plansituatie

Gemiddelde trillingssterkte Vper



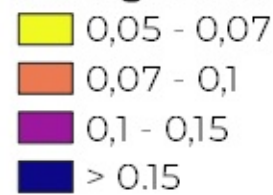
Heiloo zuid





Plansituatie

Gemiddelde trillingssterkte Vper



Limmen



Plansituatie

Gemiddelde trillingssterkte Vper

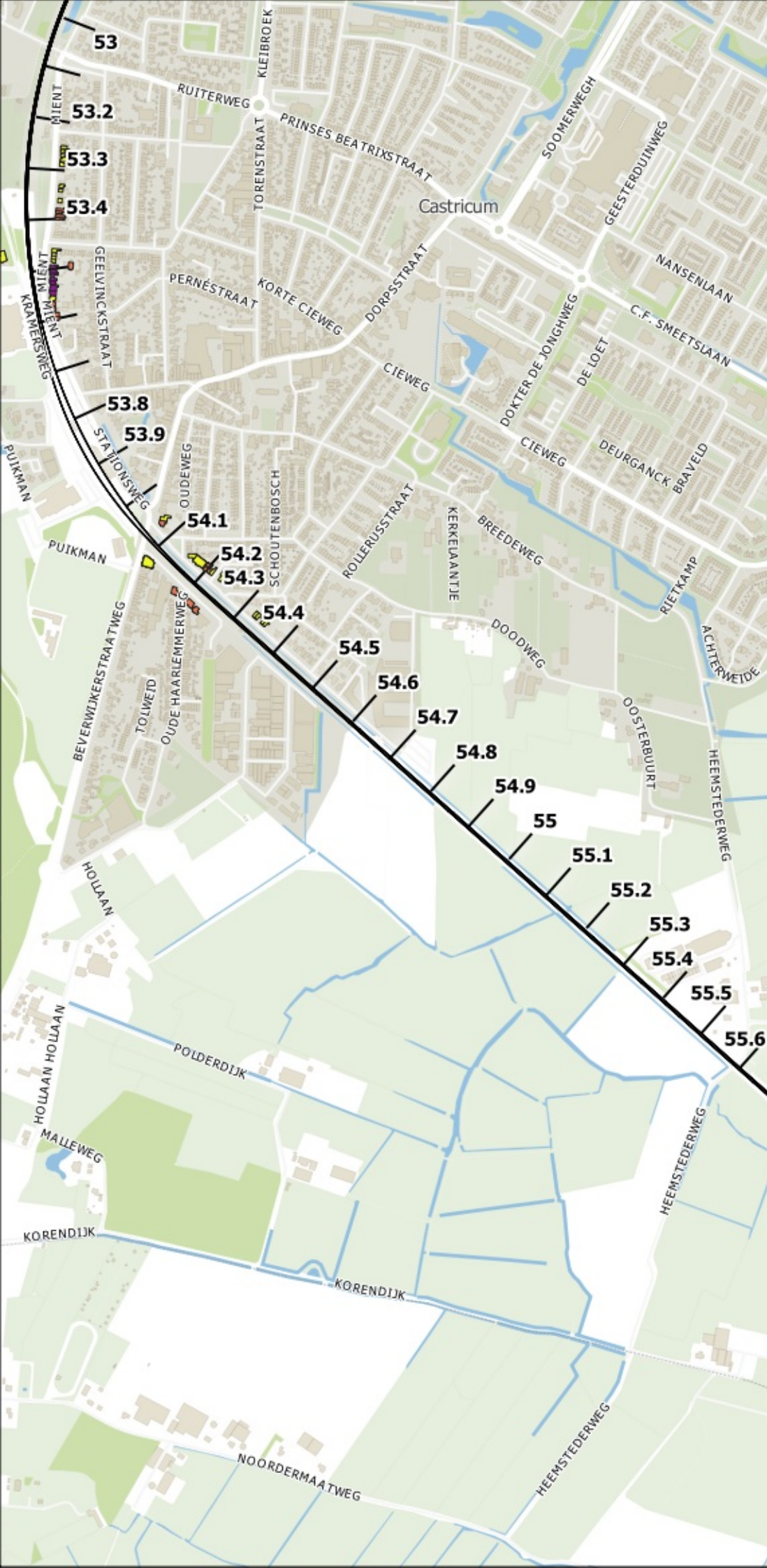
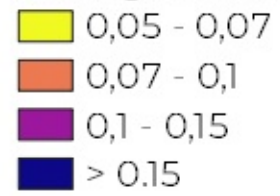


Castricum noord



Plansituatie

Gemiddelde trillingssterkte Vper

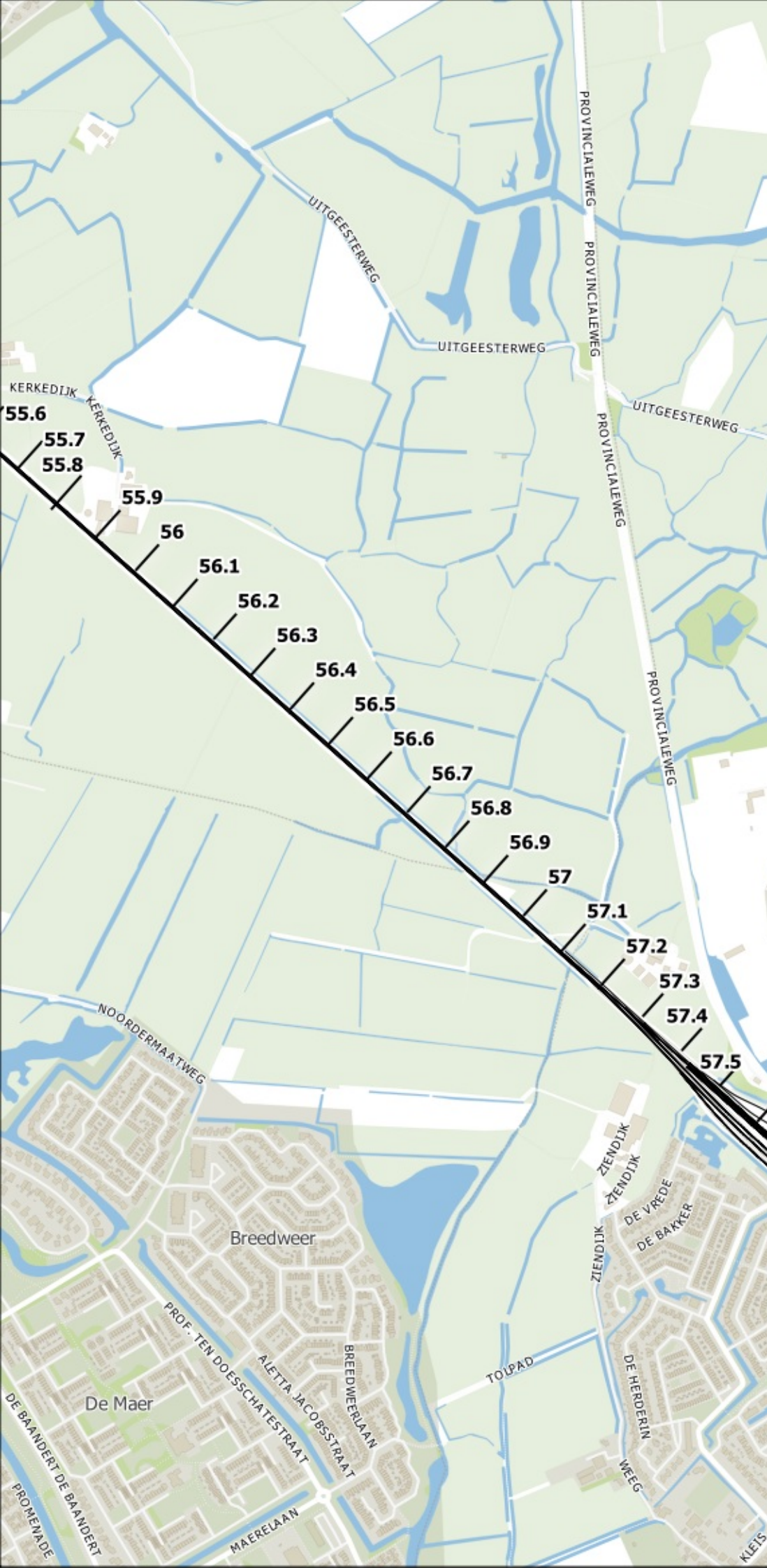
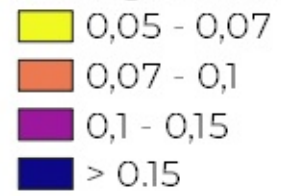


Castricum zuid



Plansituatie

Gemiddelde trillingssterkte Vper

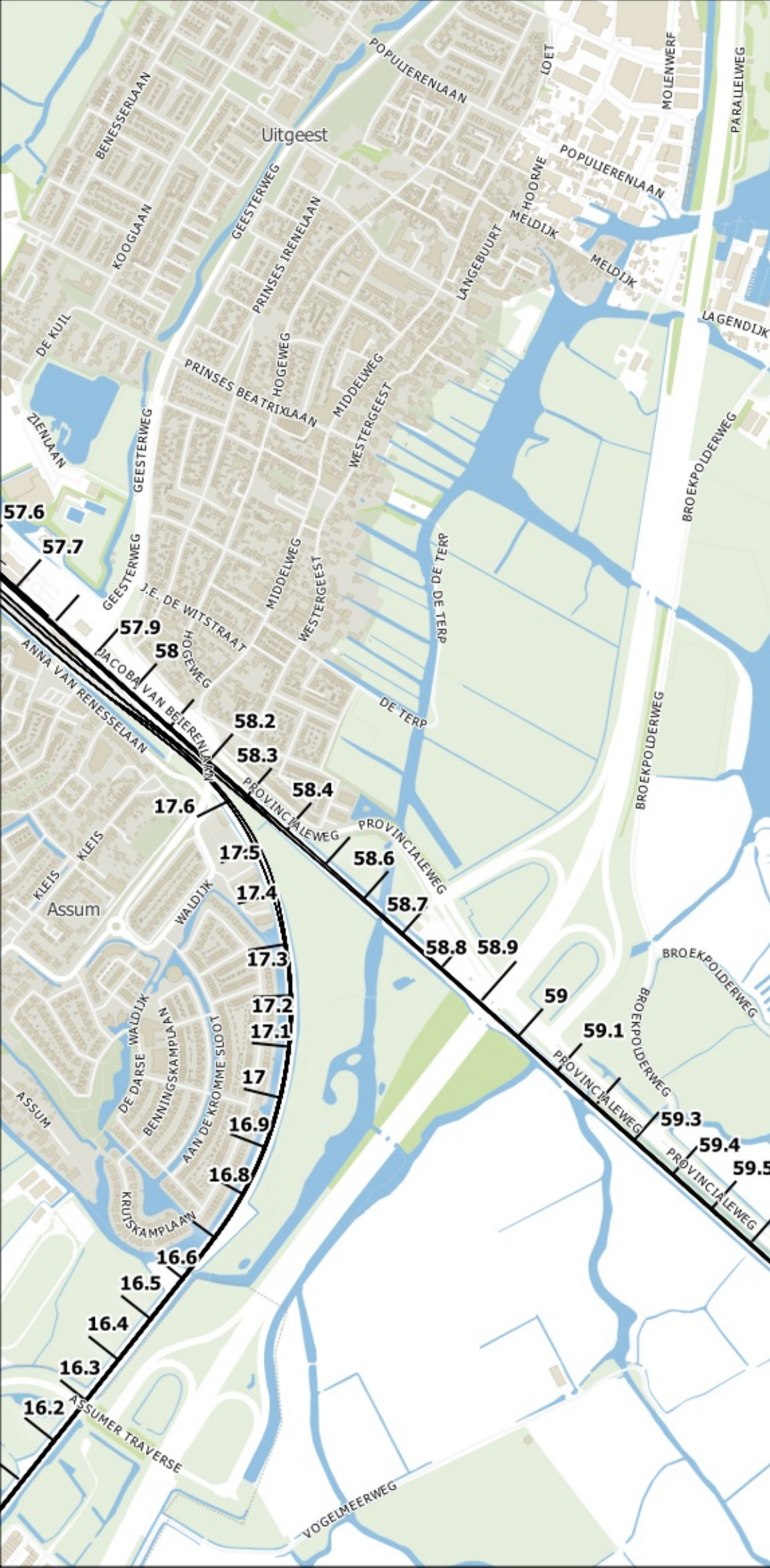
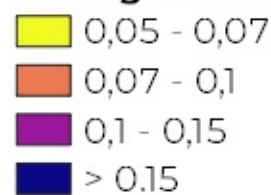


Uitgeest noord



Plansituatie

Gemiddelde trillingssterkte Vper

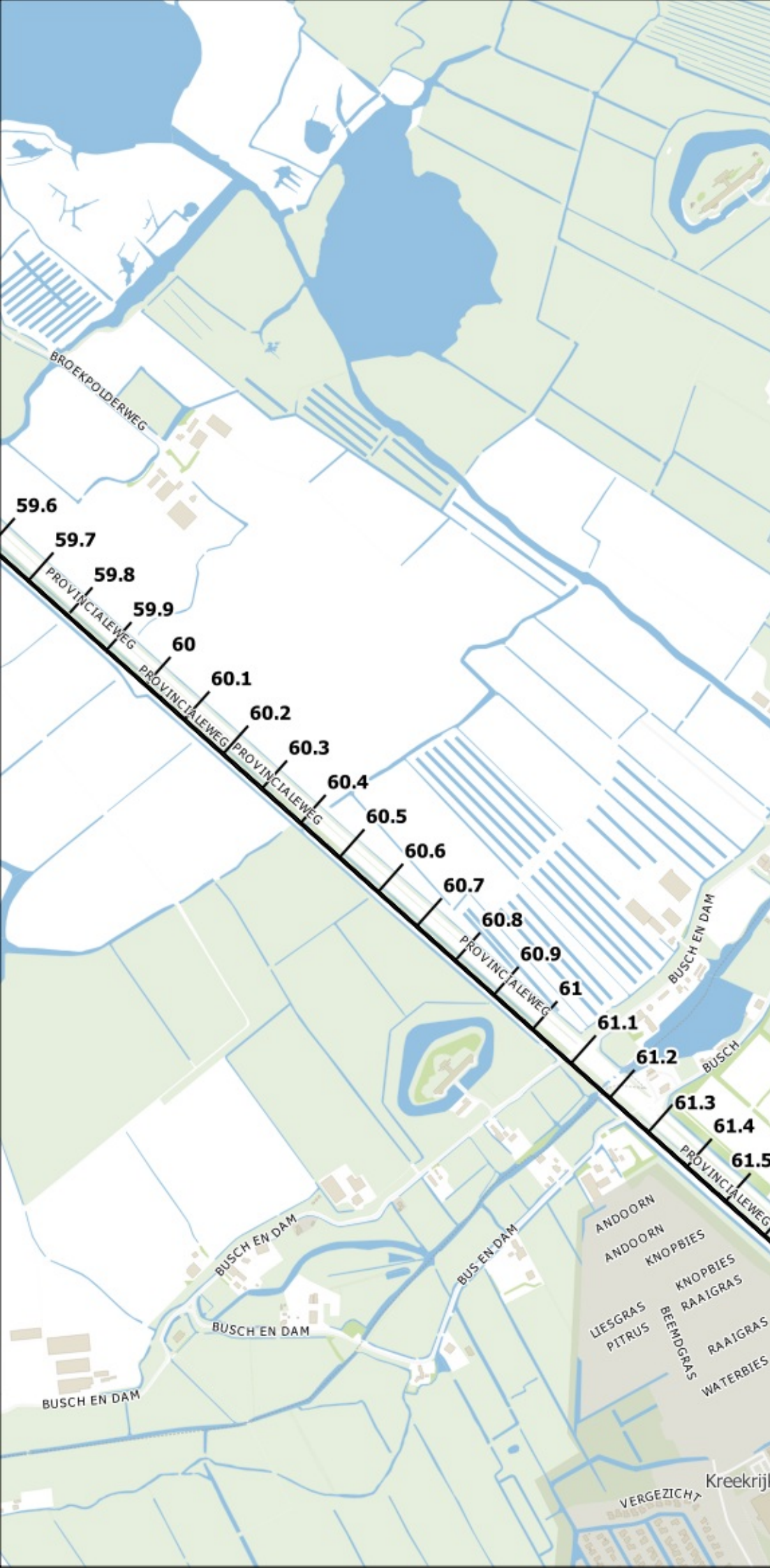
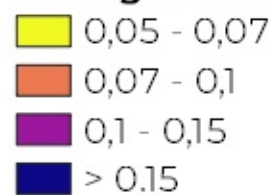


Uitgeest



Plansituatie

Gemiddelde trillingssterkte Vper

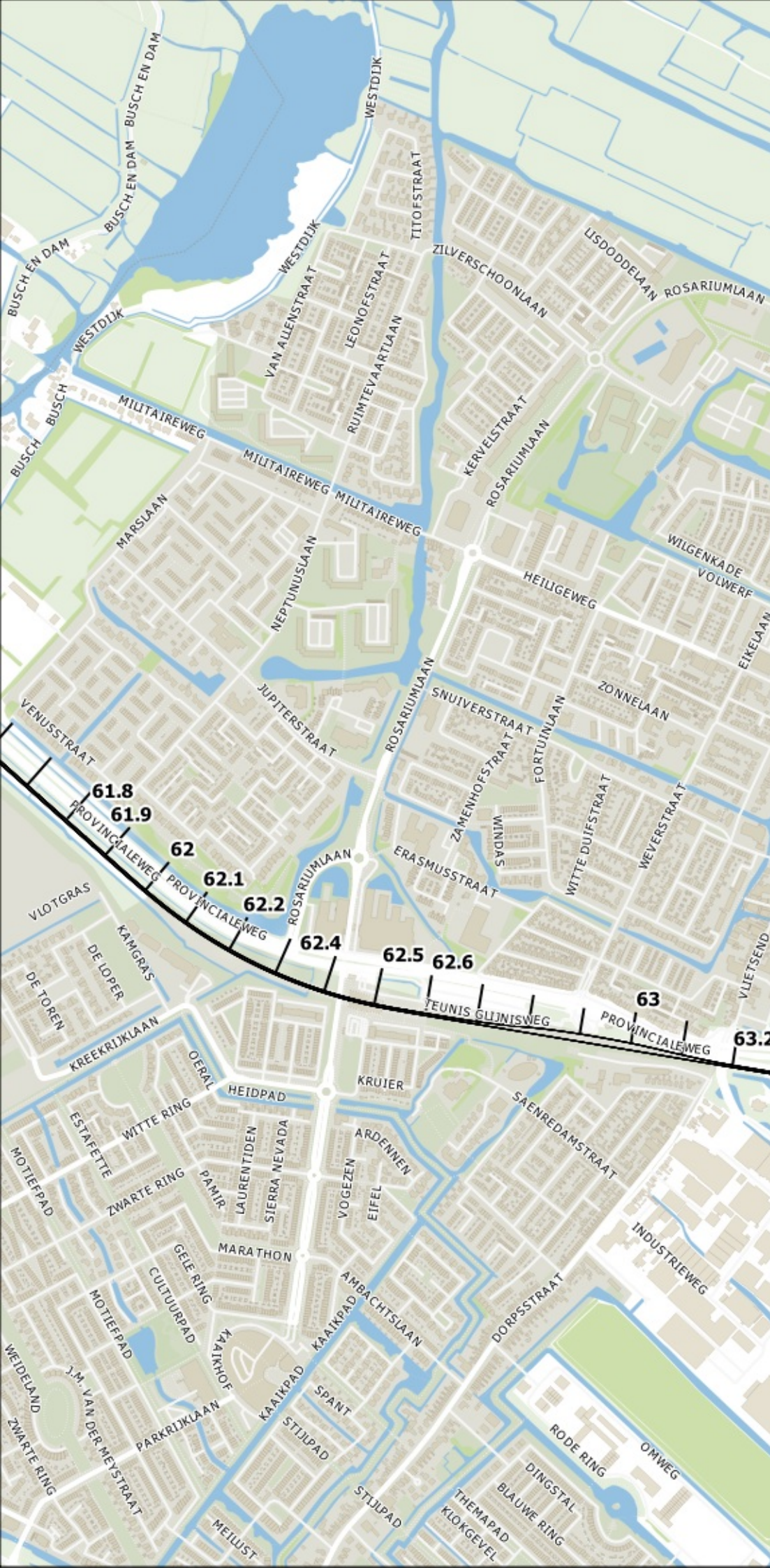
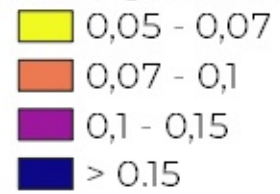


Krommenie noord



Plansituatie

Gemiddelde trillingssterkte Vper



Krommenie



Plansituatie

Gemiddelde trillingssterkte Vper

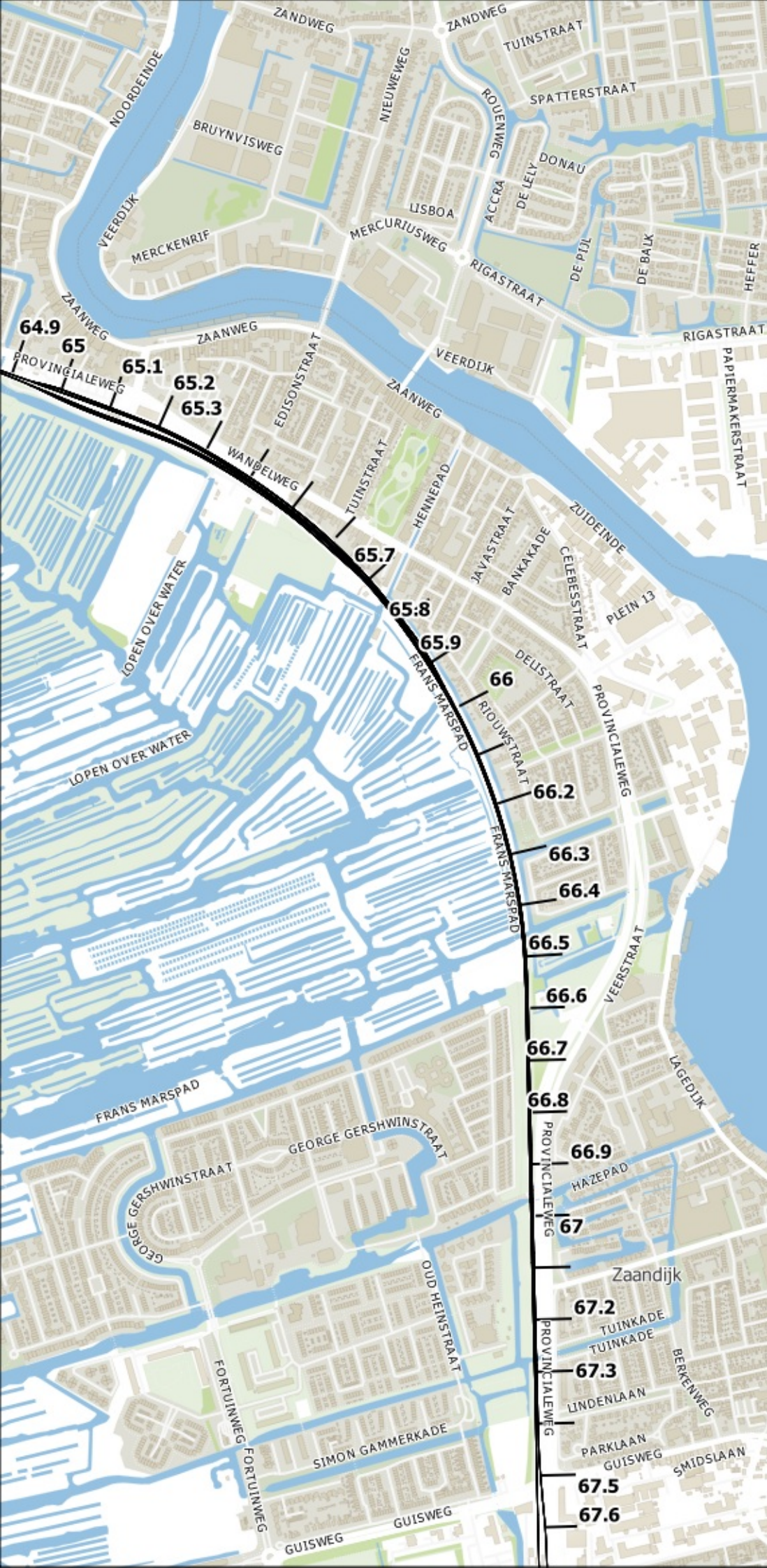
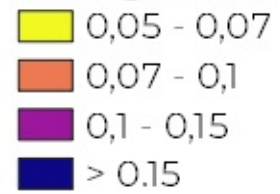


Wormerveer



Plansituatie

Gemiddelde
trillingssterkte V_{per}

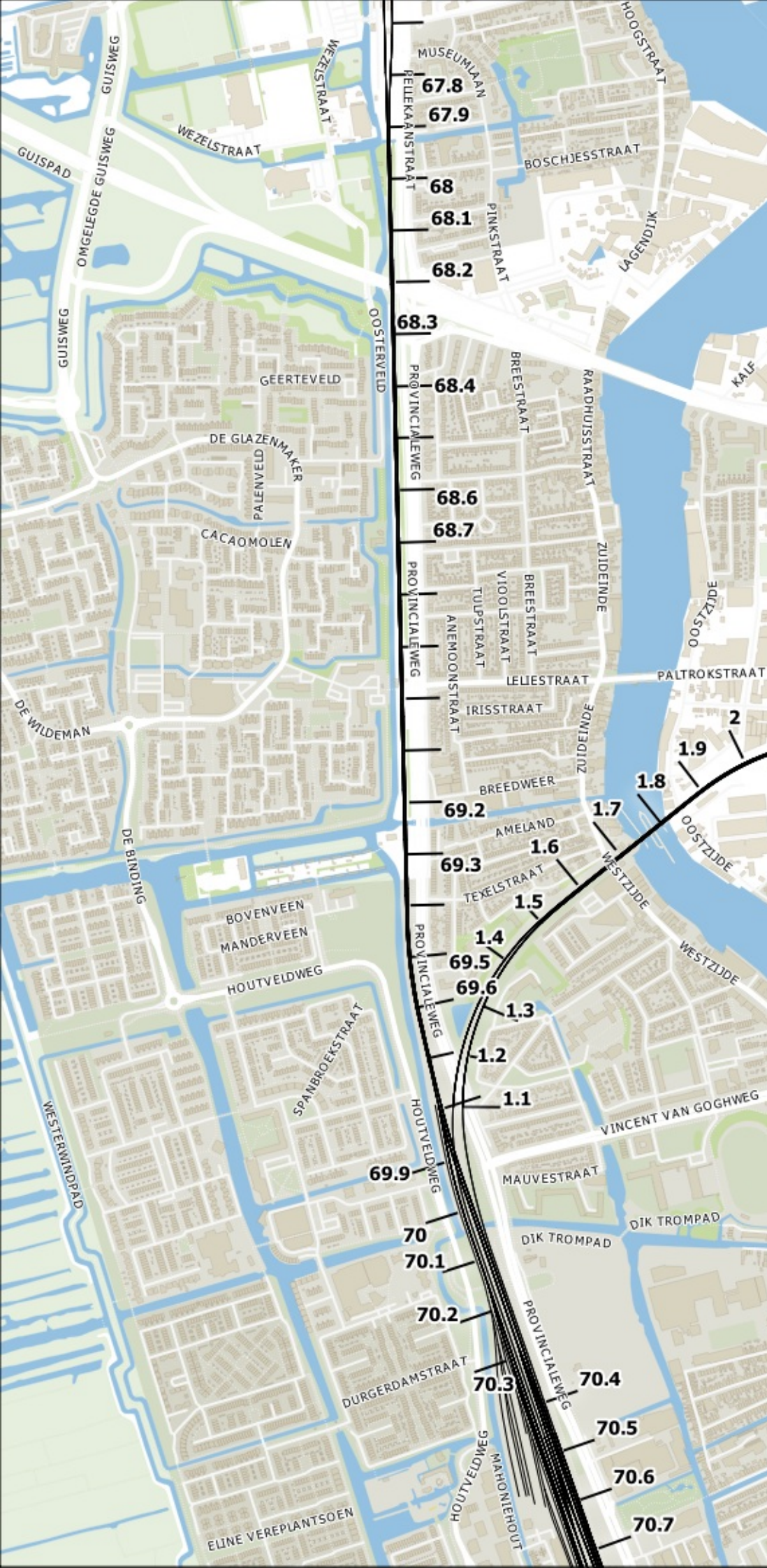
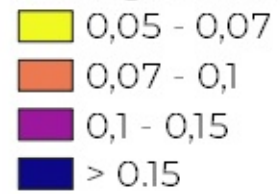


Zaandijk



Plansituatie

Gemiddelde trillingssterkte Vper

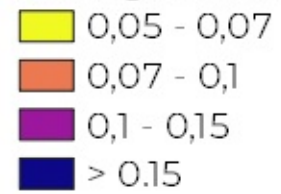


Koog aan de Zaan



Plansituatie

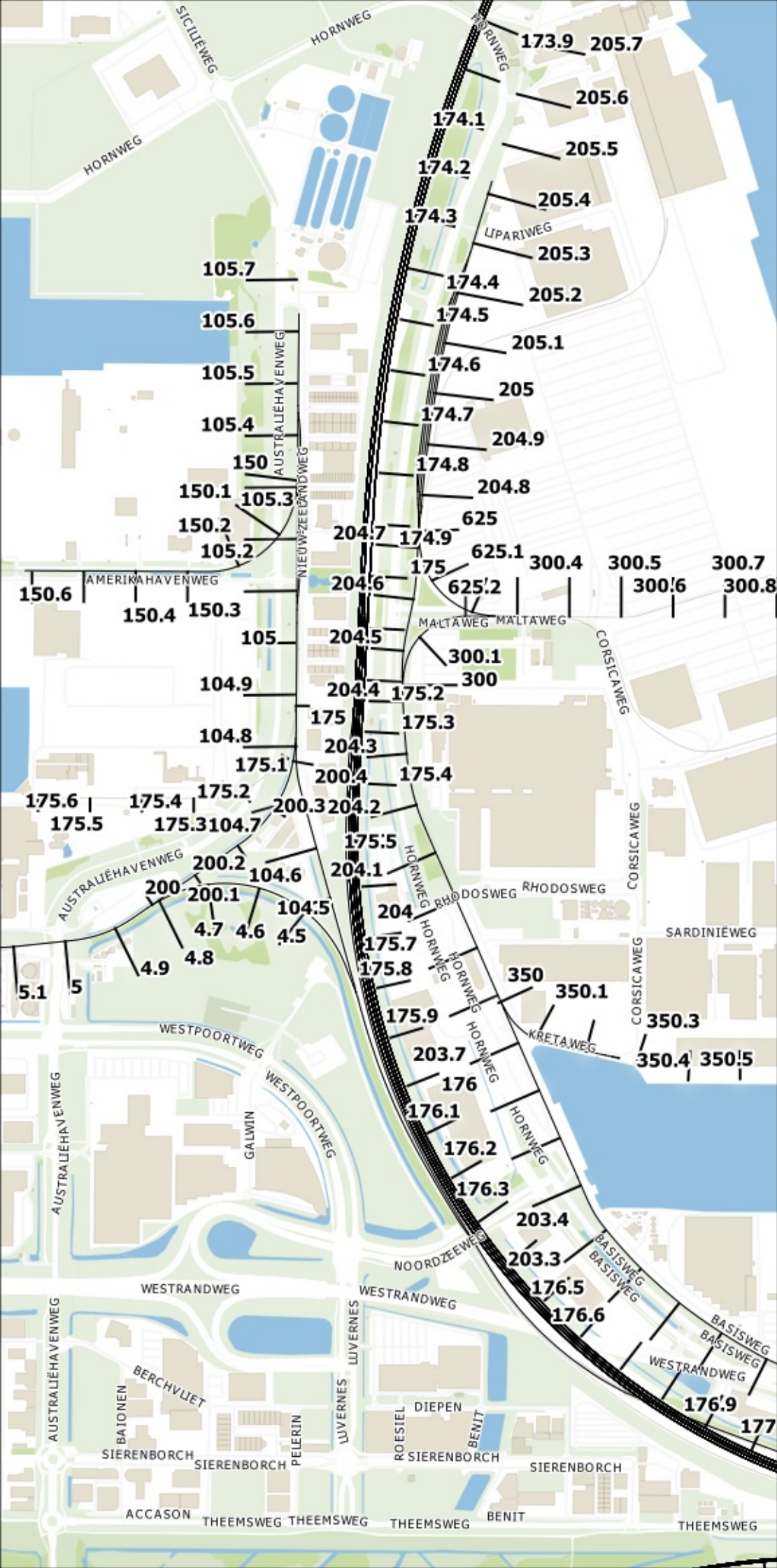
Gemiddelde trillingssterkte Vper

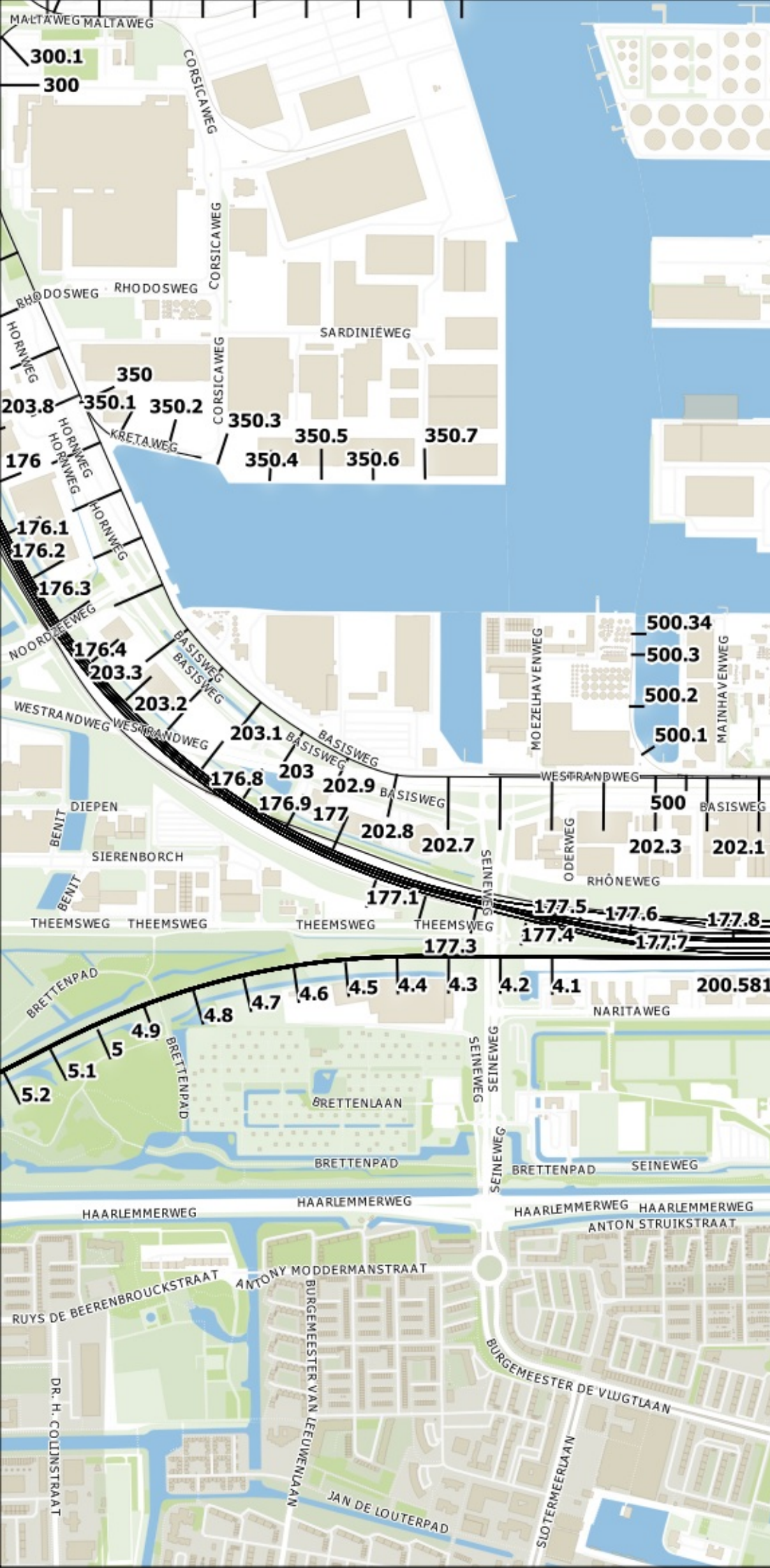


Zaandam



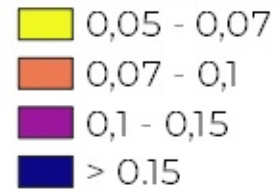
Gemiddelde
trillingssterkte Vper





Plansituatie

Gemiddelde trillingssterkte Vper

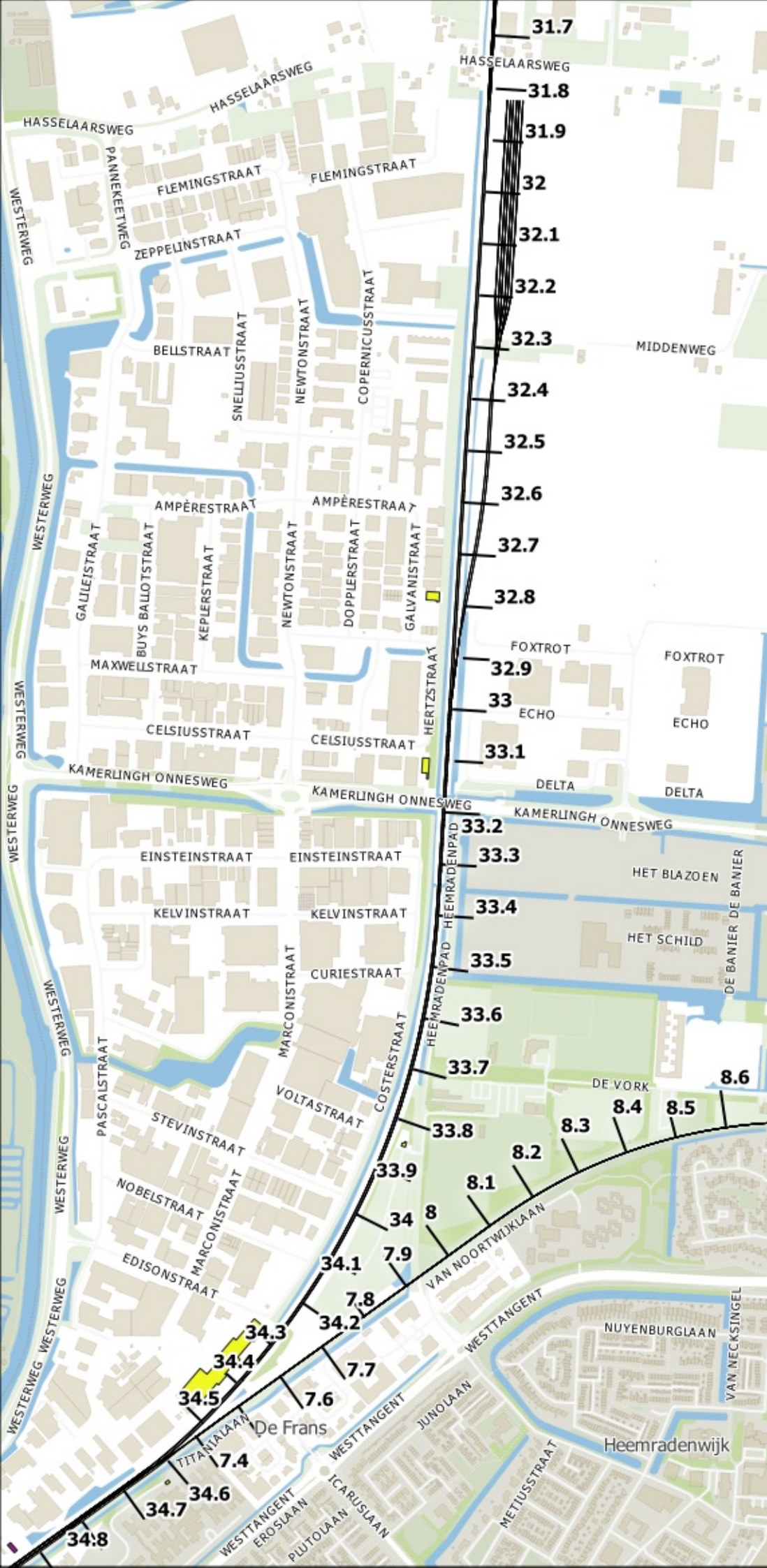
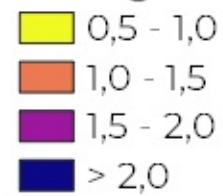


Amsterdam Sloterijk



Plansituatie

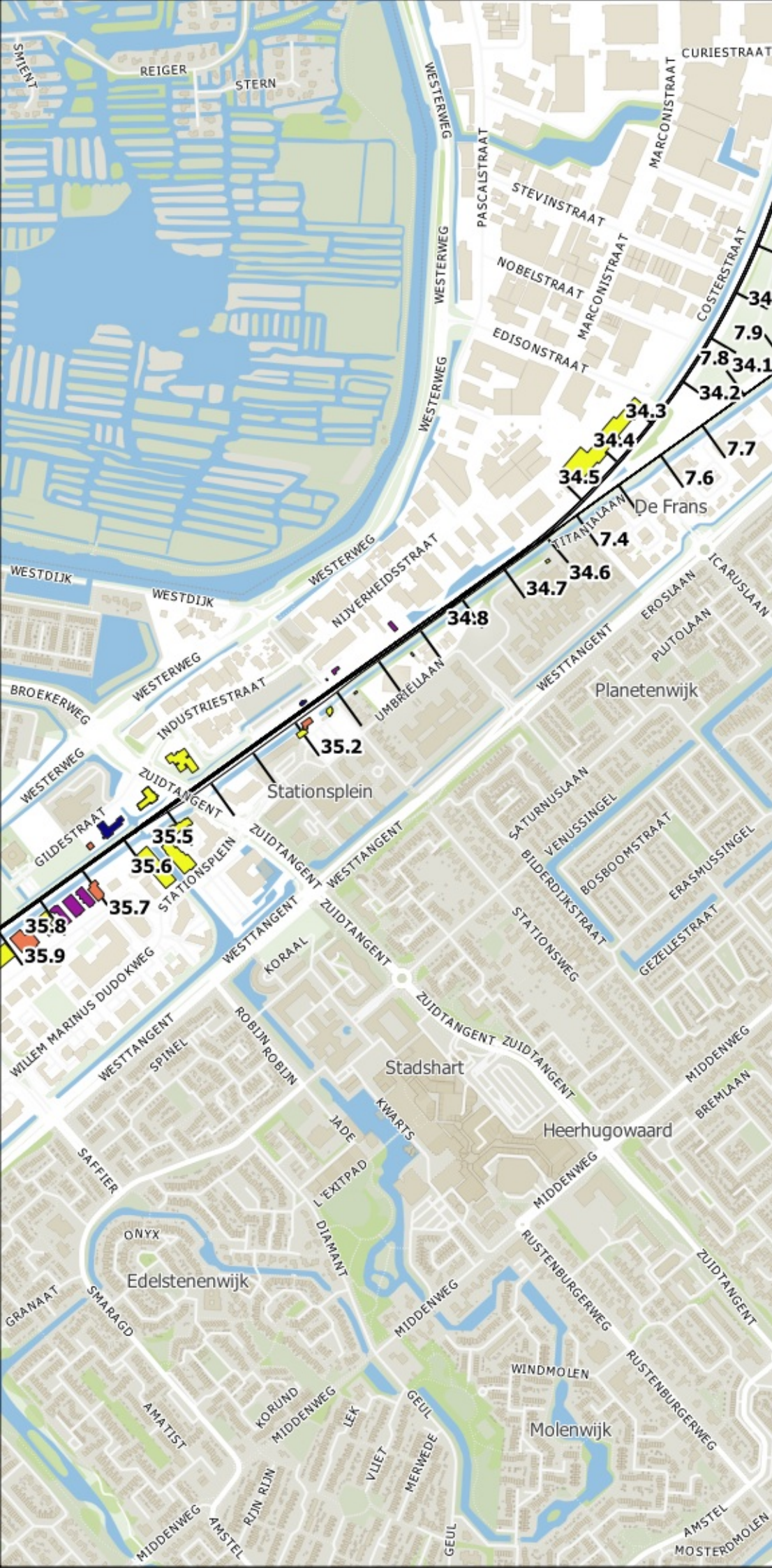
Trillingsnelheid Vd



Heerhugowaard noord



Plansituatie

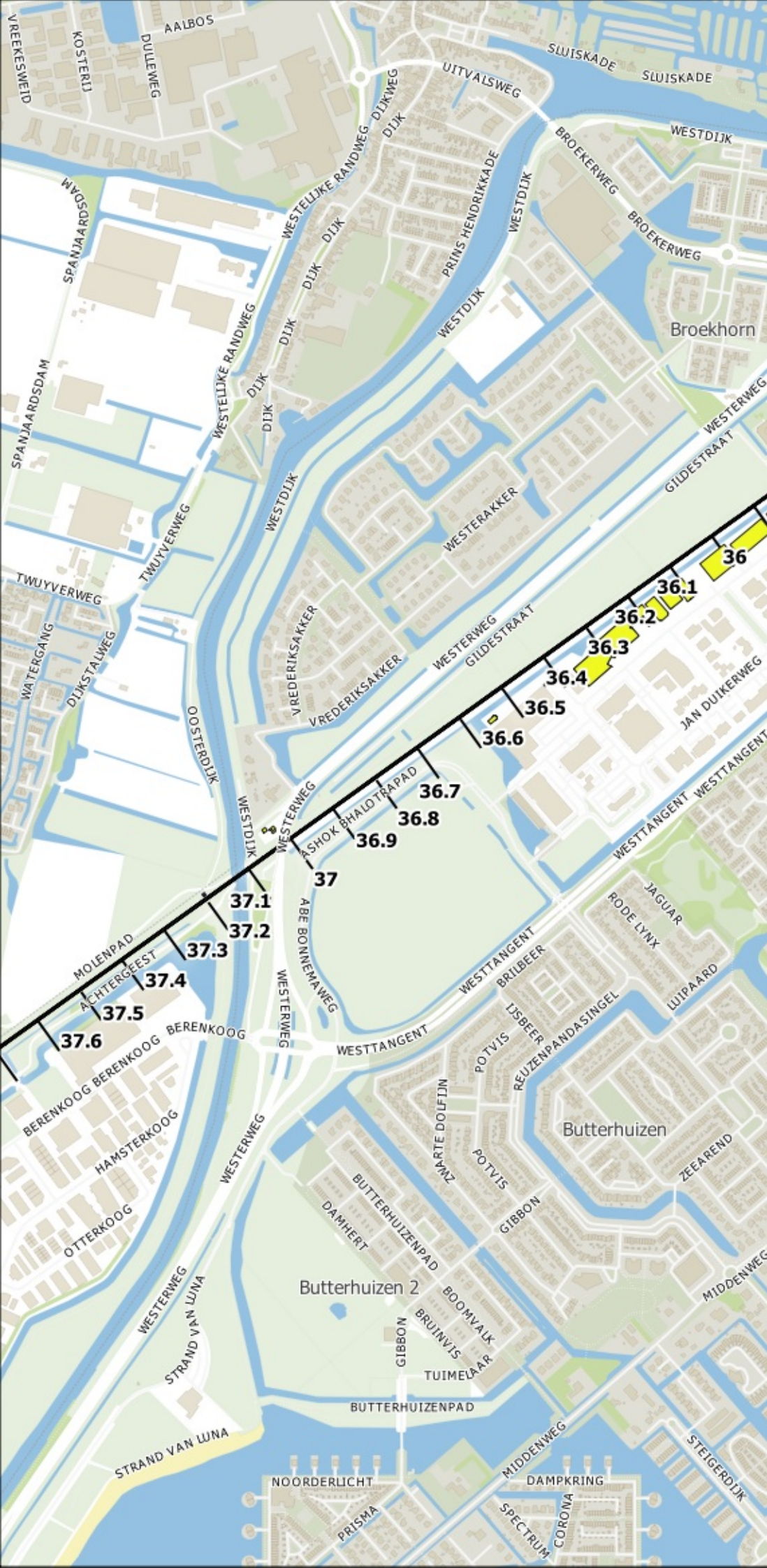
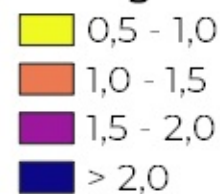


Heerhugowaard



Plansituatie

Trillingsnelheid Vd

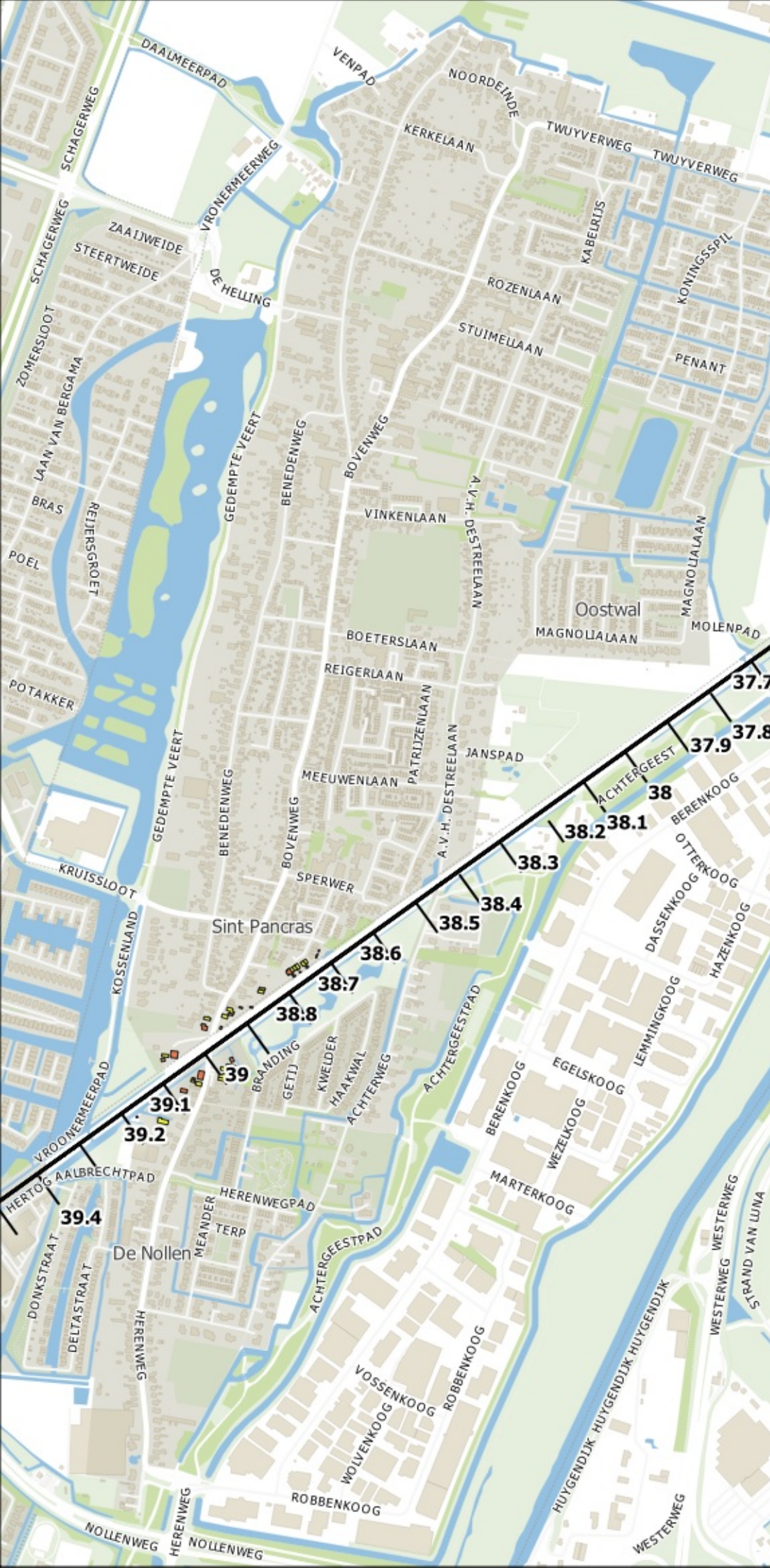
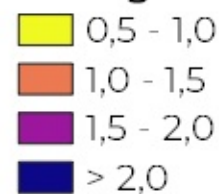


Heerhugowaard zuid



Plansituatie

Trillingsnelheid Vd

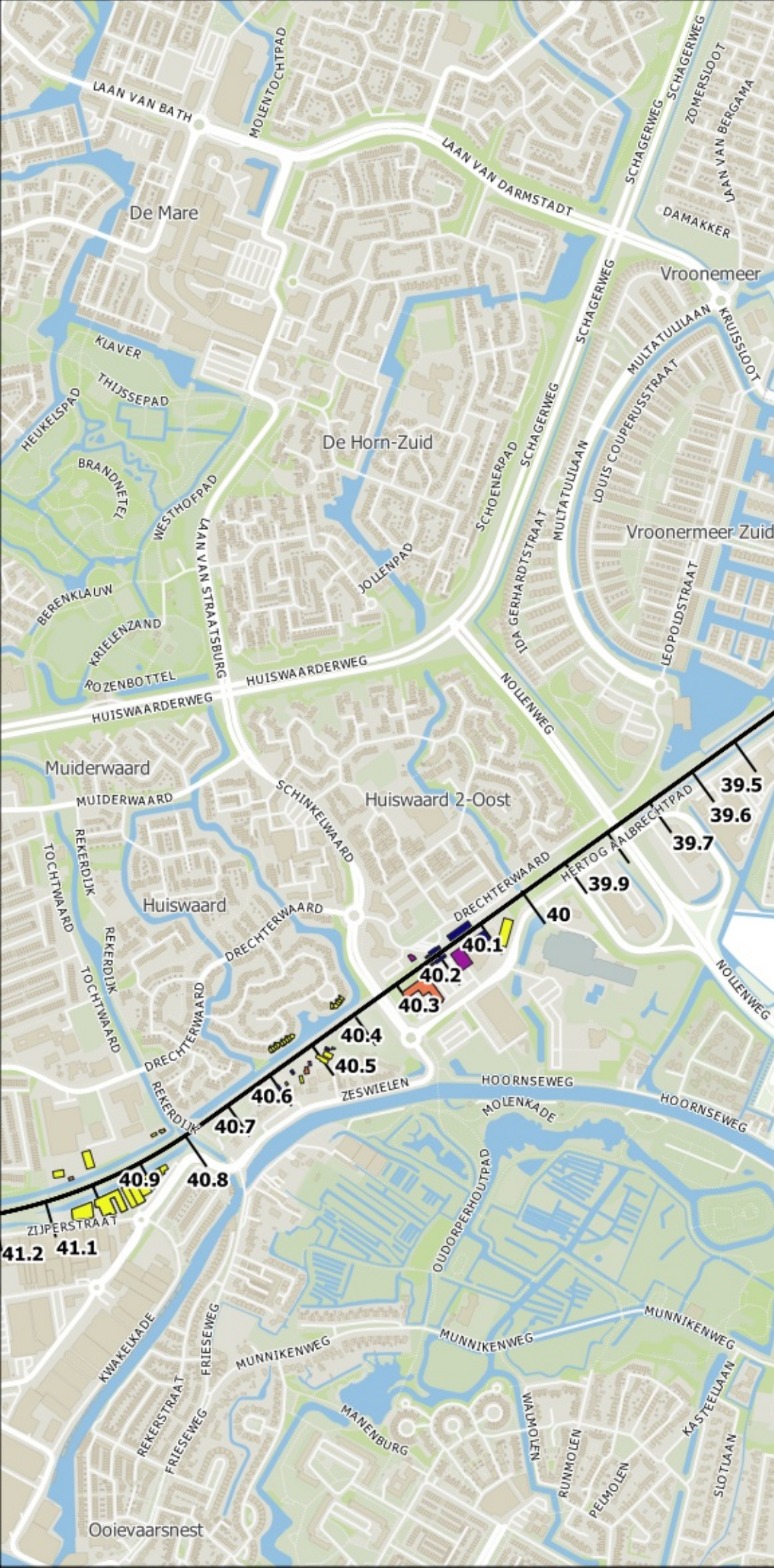
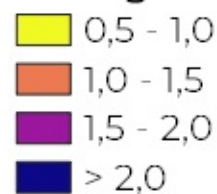


Sint Pancras



Plansituatie

Trillingssnelheid V_d



Alkmaar noord



Plansituatie

Trillingsnelheid Vd

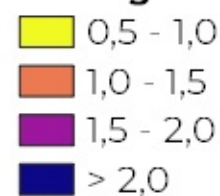
- 0,5 - 1,0
- 1,0 - 1,5
- 1,5 - 2,0
- > 2,0

Alkmaar



Plansituatie

Trillingsnelheid Vd

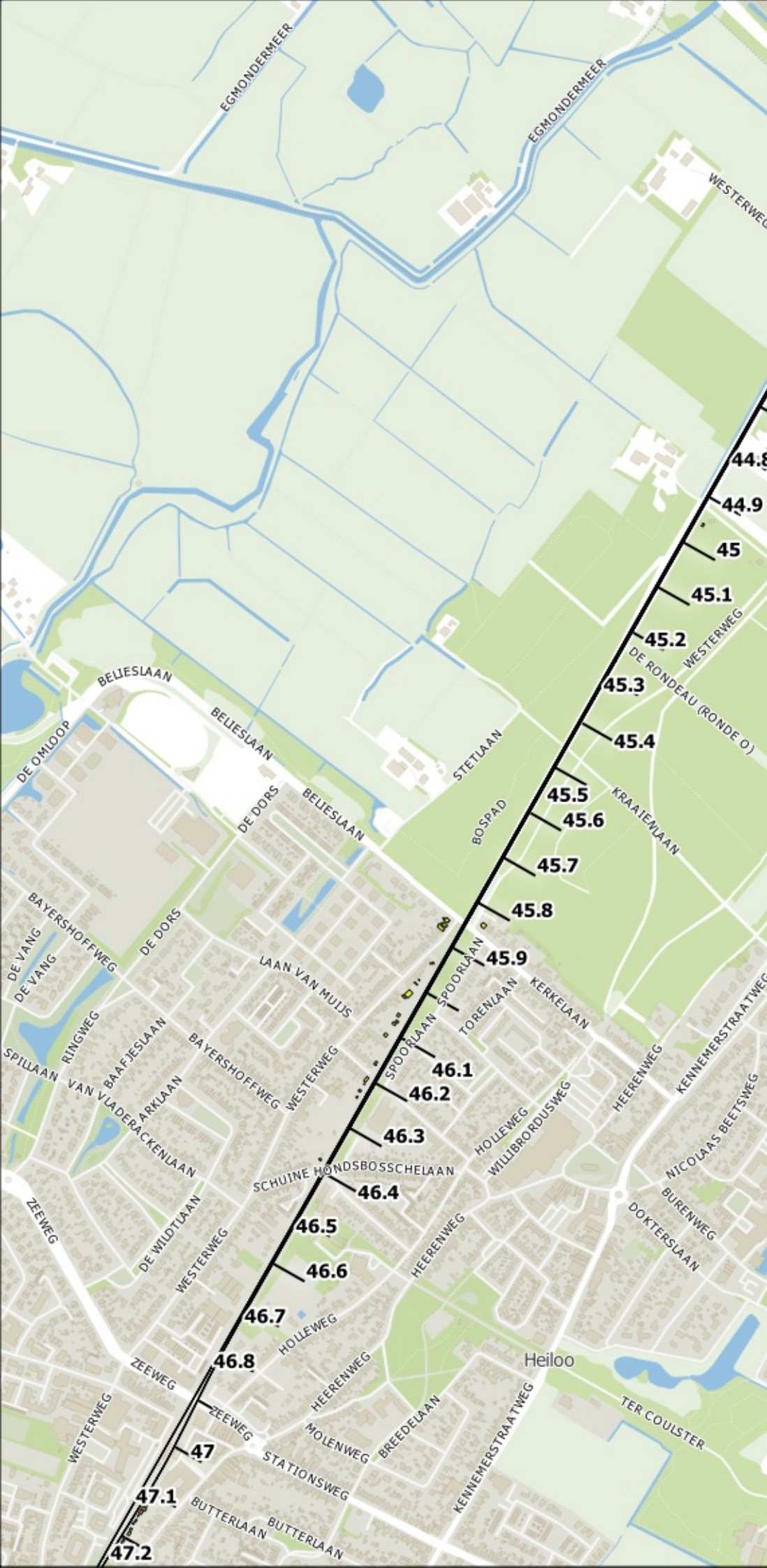
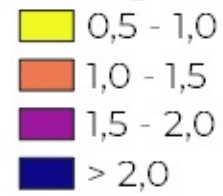


Alkmaar zuid



Plansituatie

Trillingsnelheid Vd

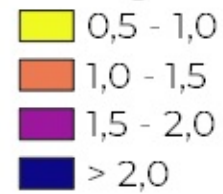


Heiloo noord



Plansituatie

Trillingsnelheid Vd

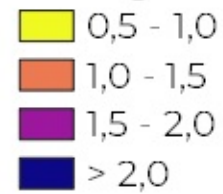


Heiloo zuid



Plansituatie

Trillingsnelheid Vd

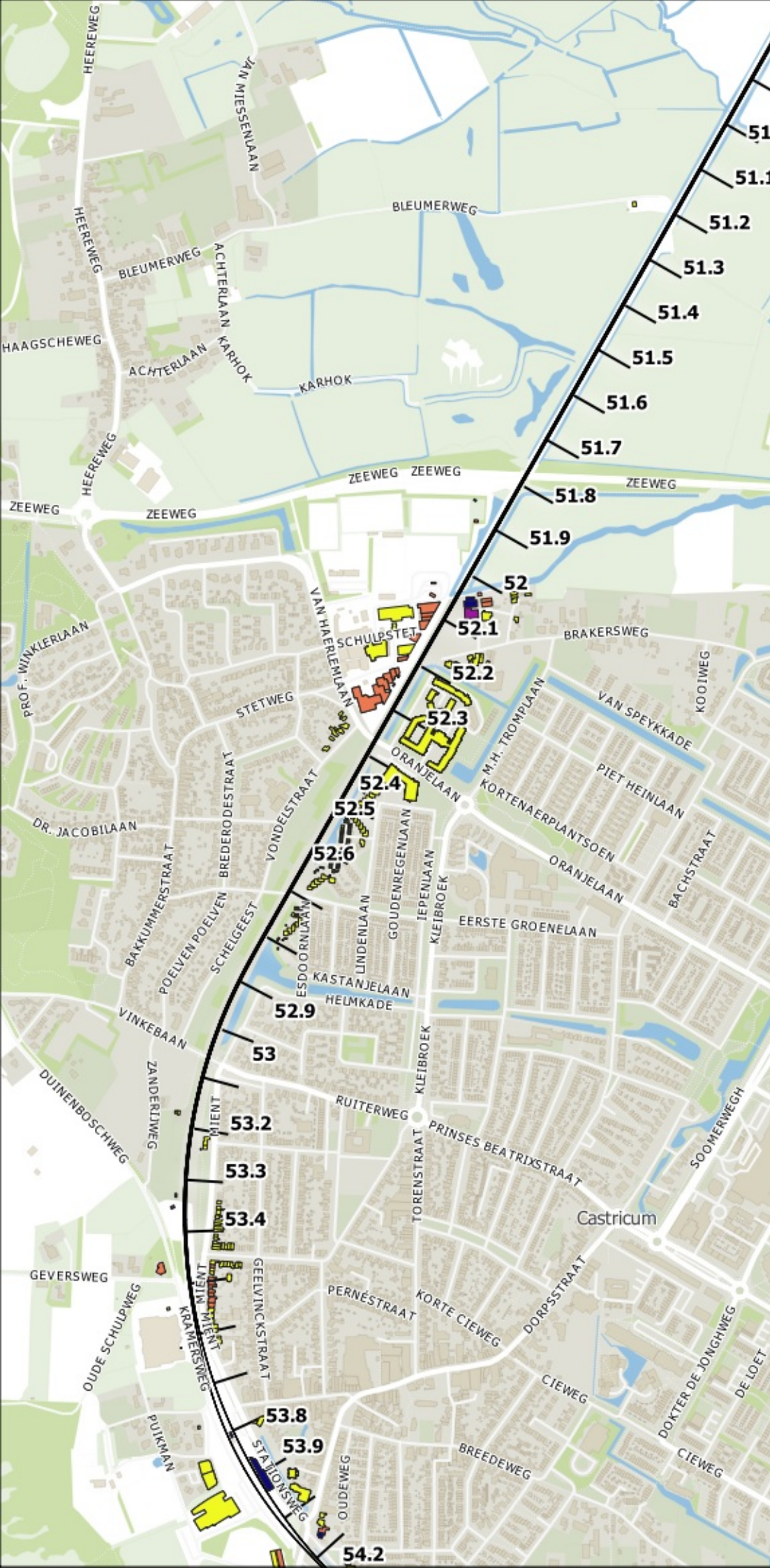
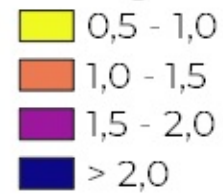


Limmen



Plansituatie

Trillingsnelheid Vd

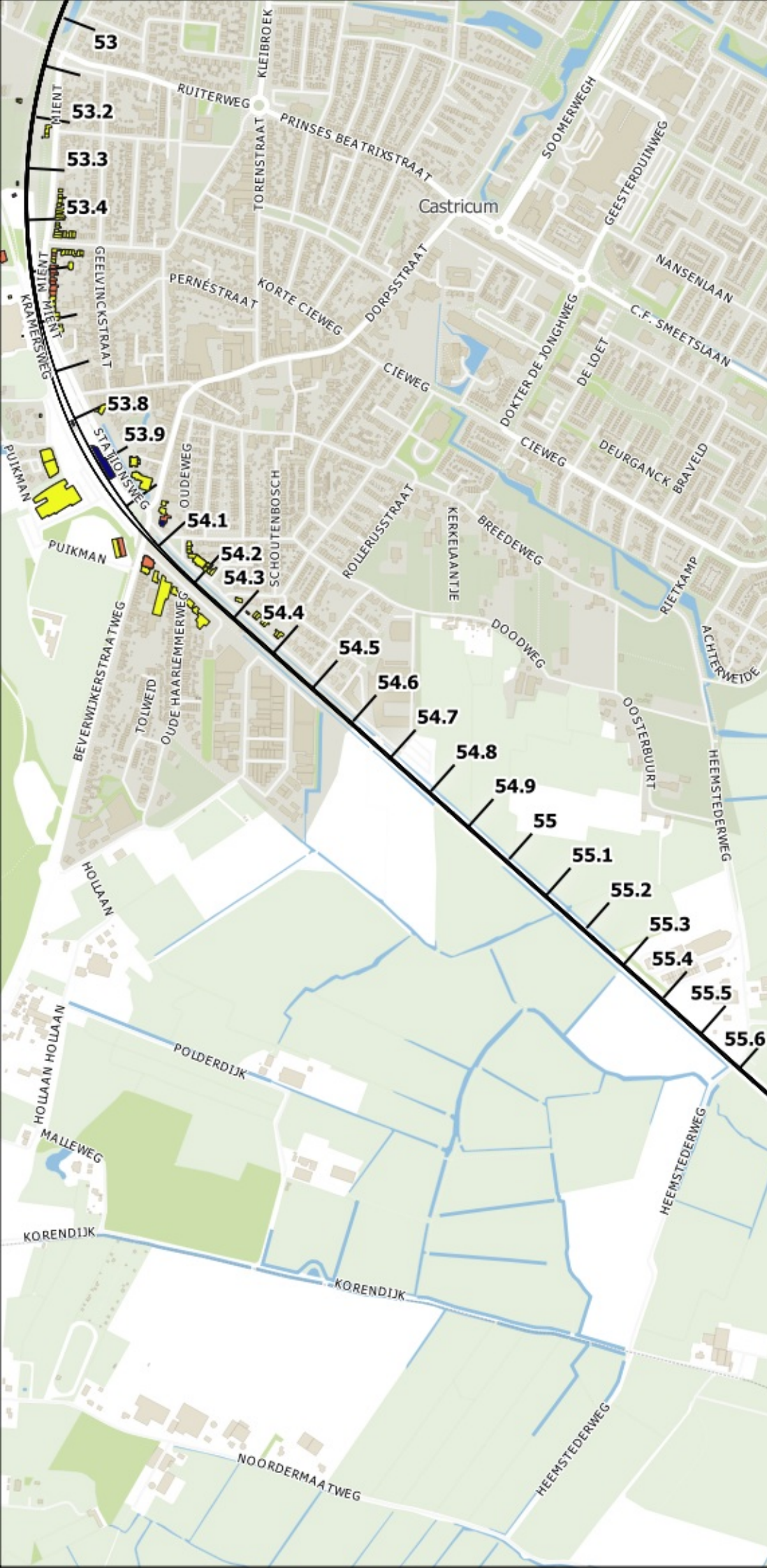
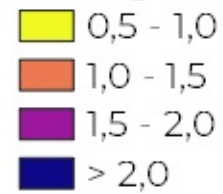


Castricum noord



Plansituatie

Trillingsnelheid Vd

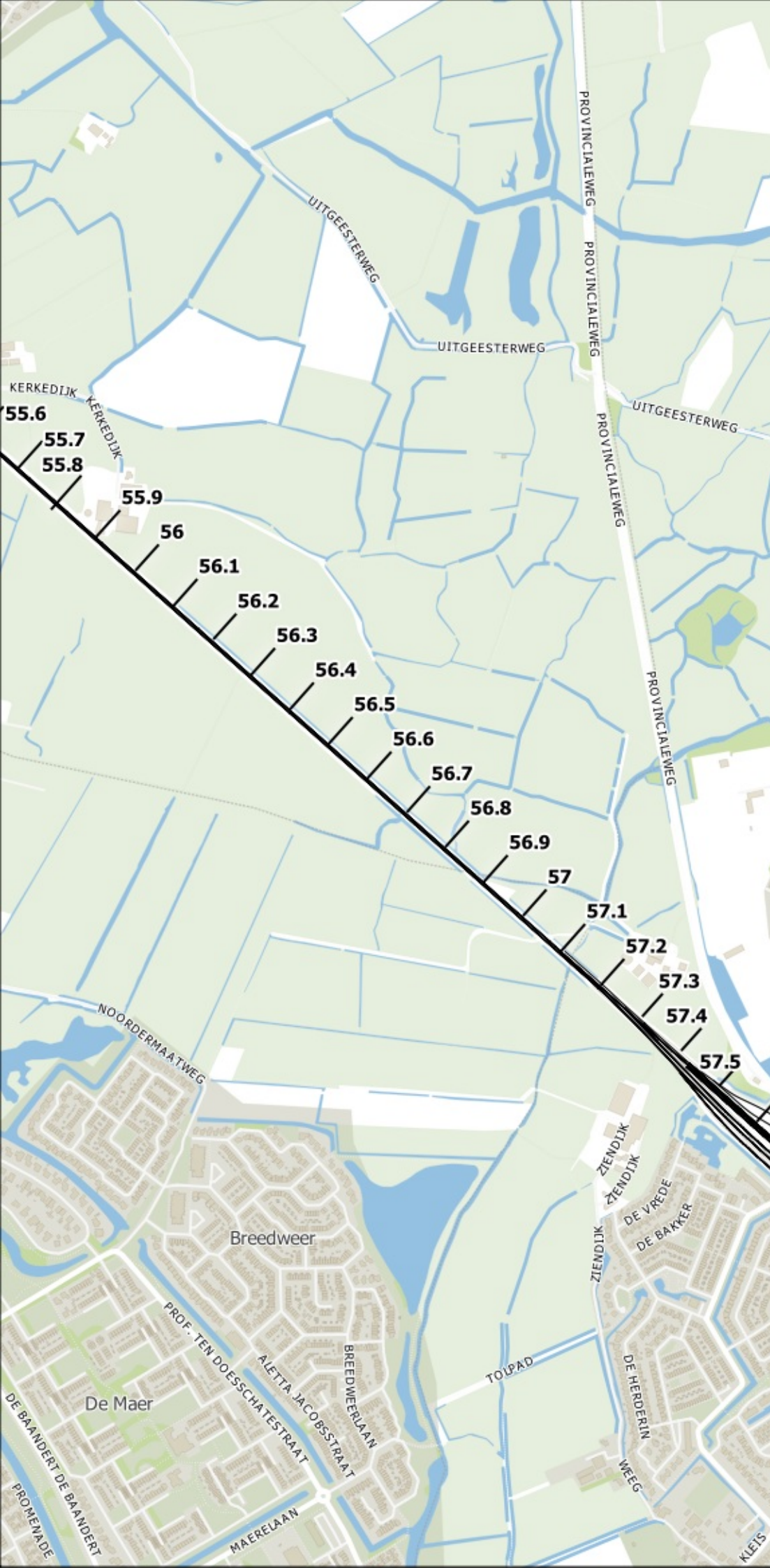
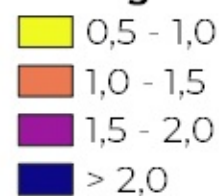


Castricum zuid



Plansituatie

Trillingsnelheid Vd

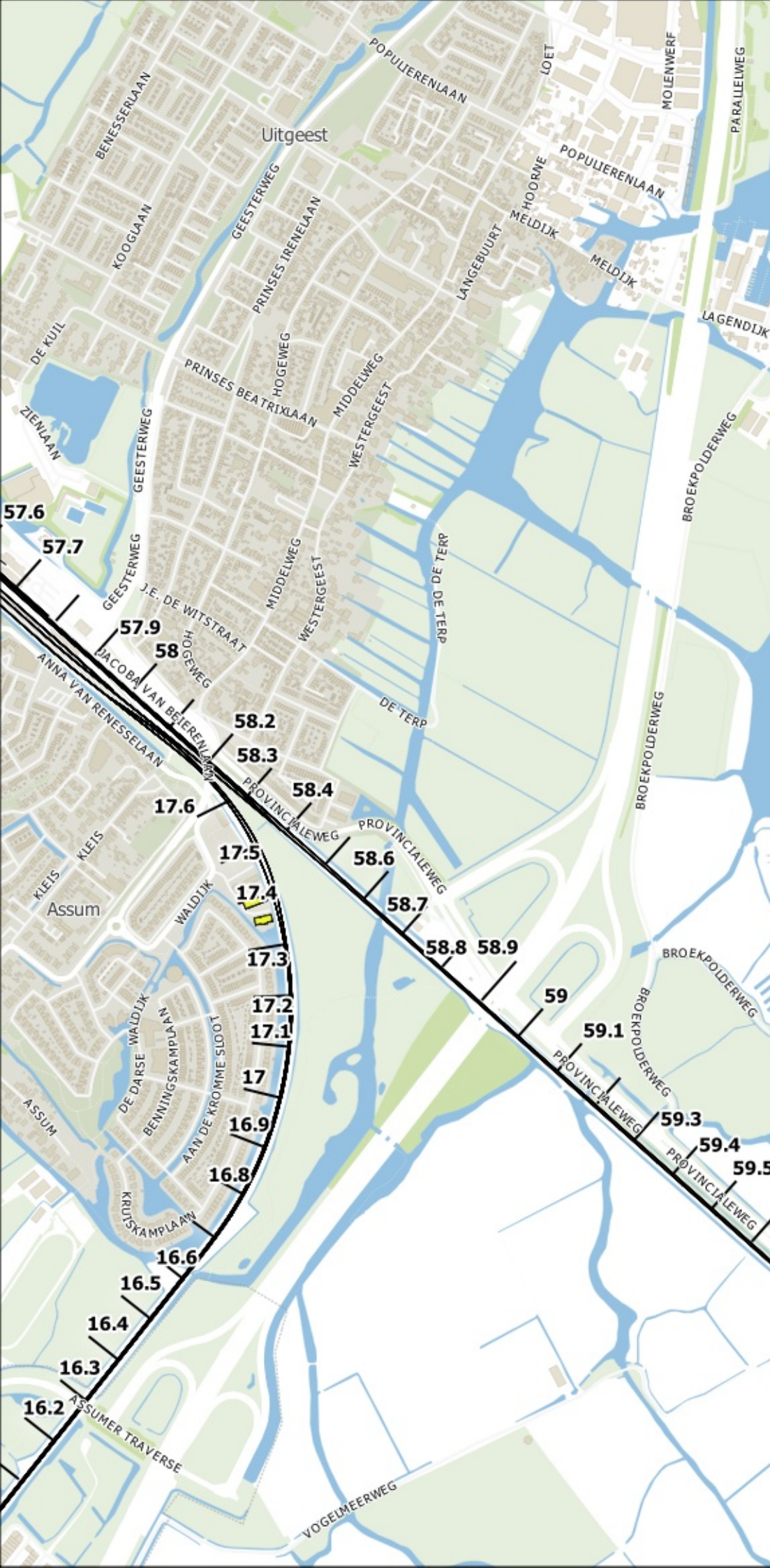
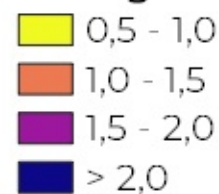


Uitgeest noord



Plansituatie

Trillingsnelheid Vd

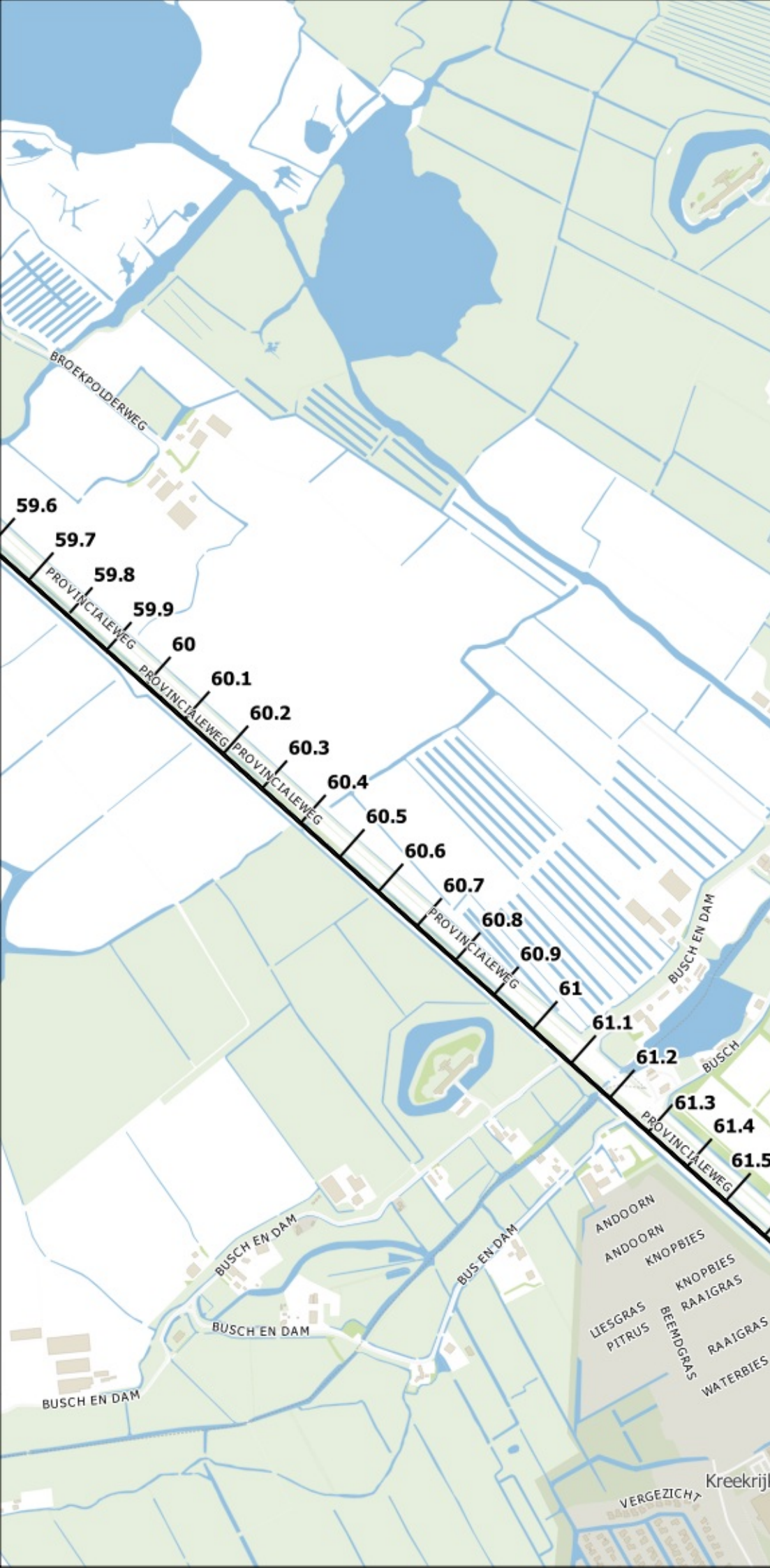
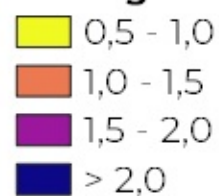


Uitgeest



Plansituatie

Trillingssnelheid Vd

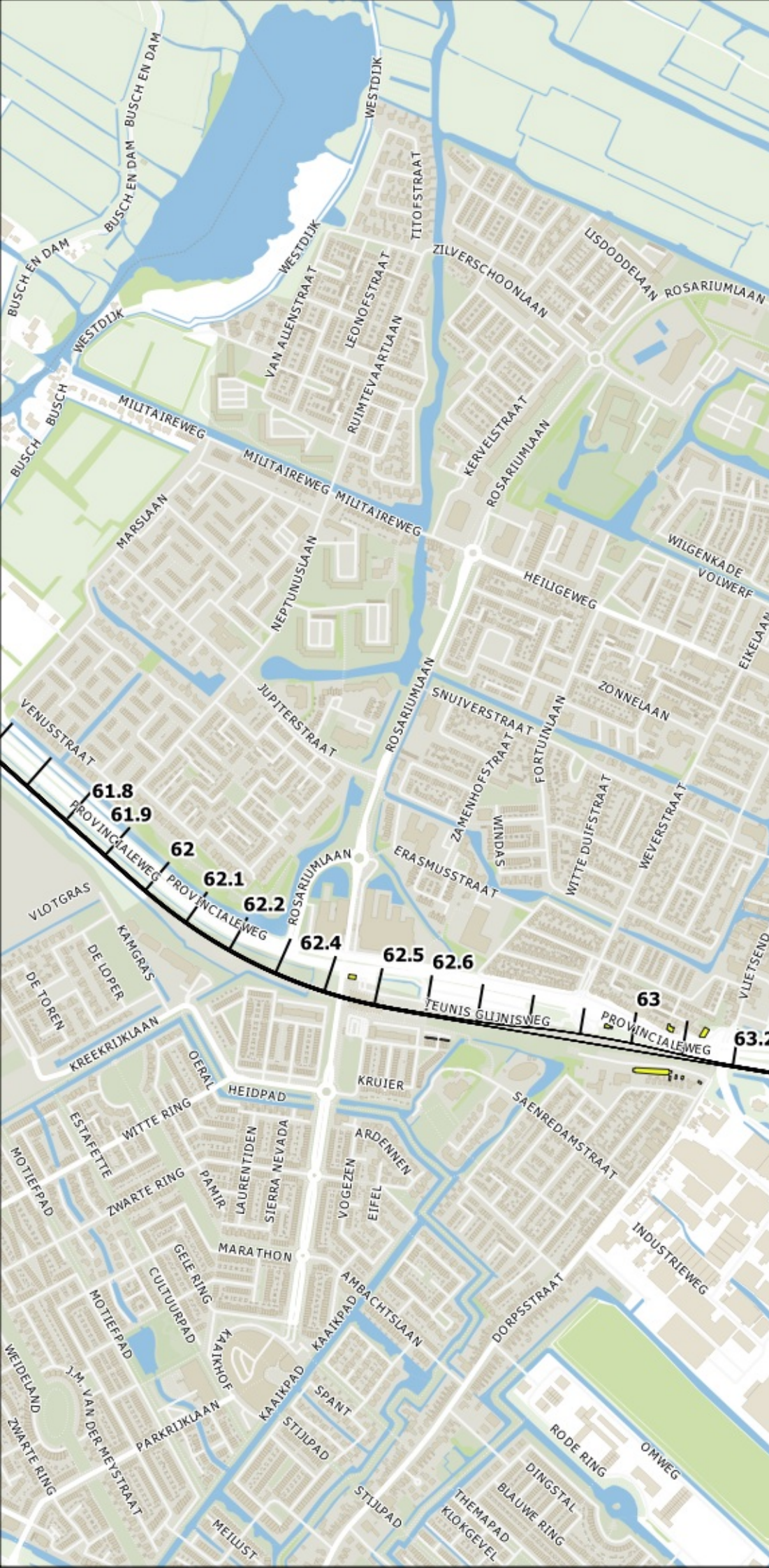
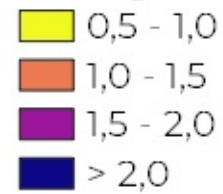


Krommenie noord



Plansituatie

Trillingsnelheid Vd

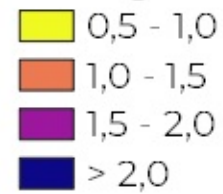


Krommenie



Plansituatie

Trillingsnelheid Vd

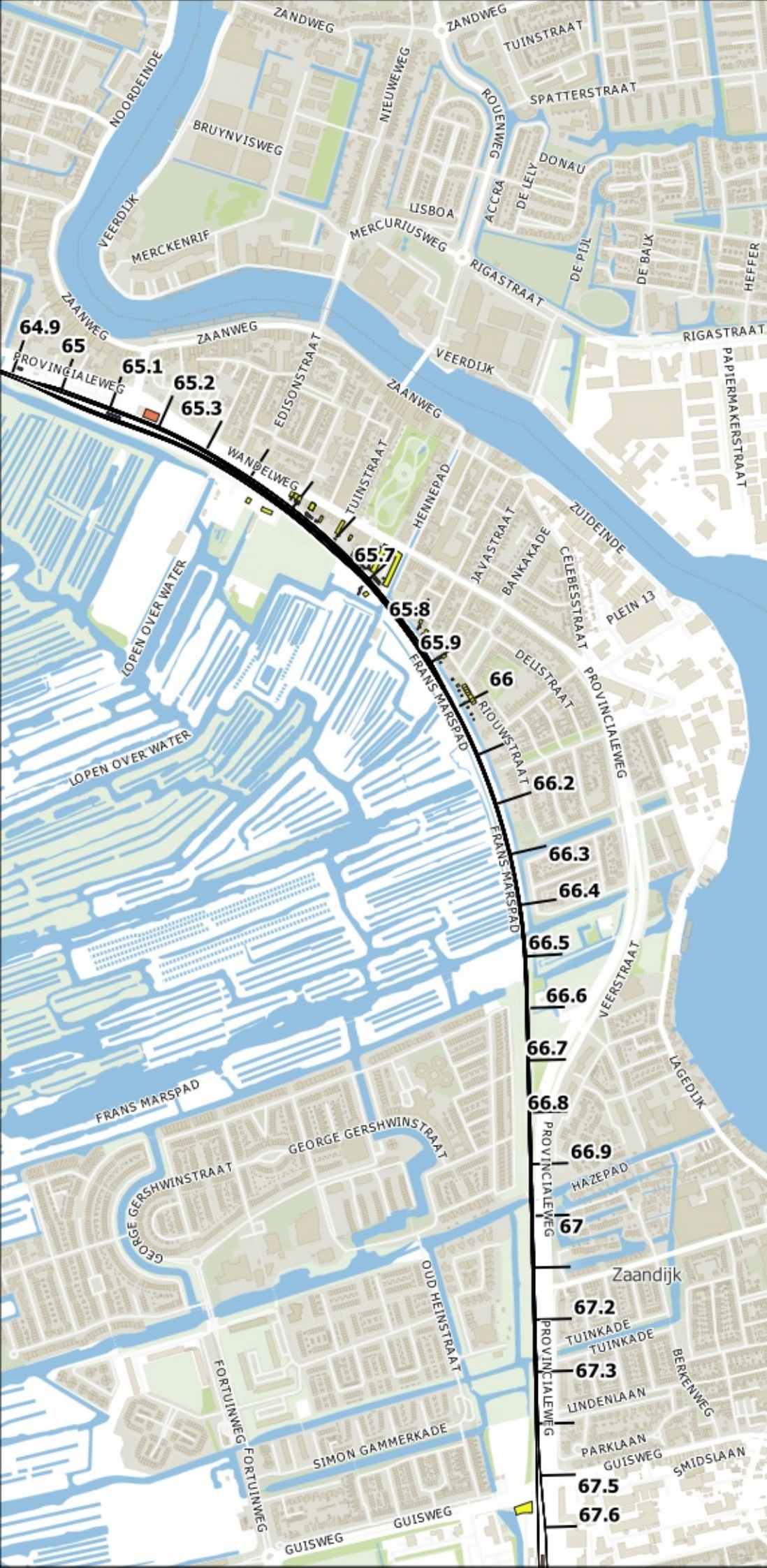
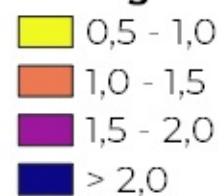


Wormerveer



Plansituatie

Trillingsnelheid Vd

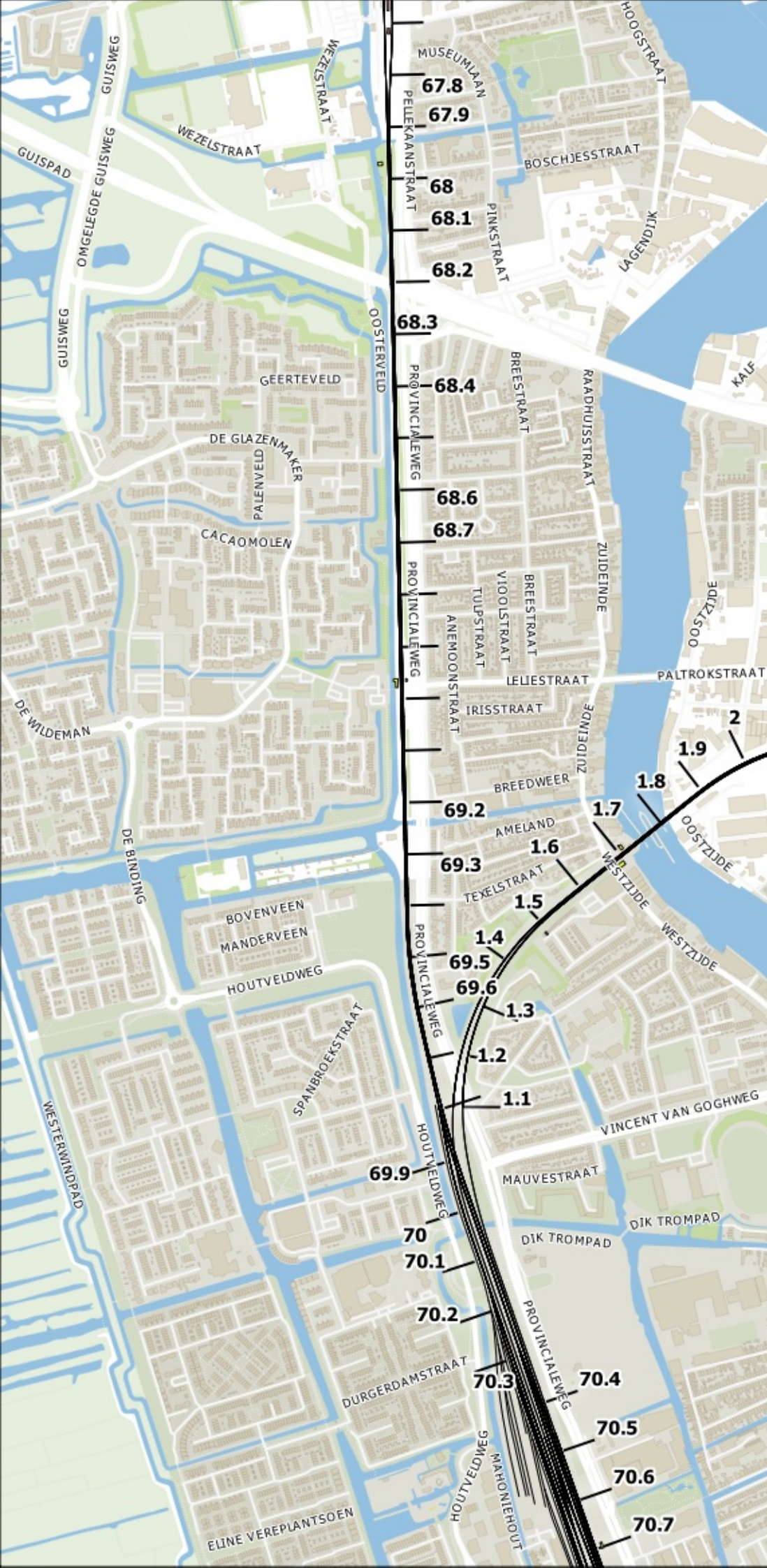
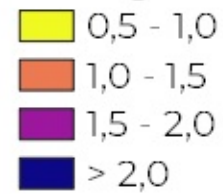


Zaandijk



Plansituatie

Trillingsnelheid Vd

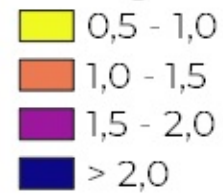


Koog aan de Zaan



Plansituatie

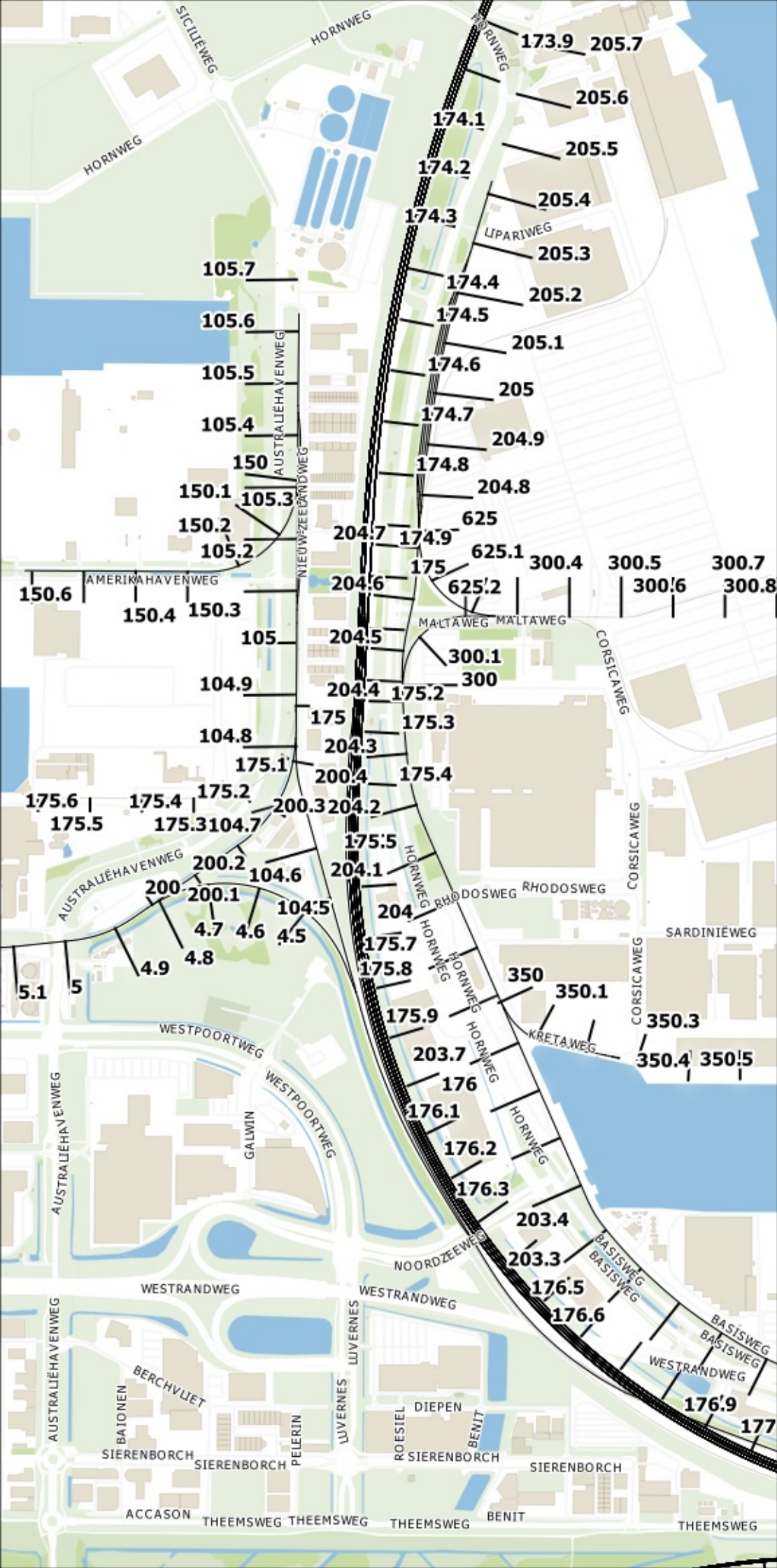
Trillingsnelheid Vd



Zaandam



0,5 - 1,0
 1,0 - 1,5
 1,5 - 2,0
 > 2,0



0,5 - 1,0
 1,0 - 1,5
 1,5 - 2,0
 > 2,0

