

DE HOEF AMERSFOORT

Trillingsonderzoek t.b.v. MER



WBD1903

Trillingsonderzoek MER De
Hoef Amersfoort

16 augustus 2019

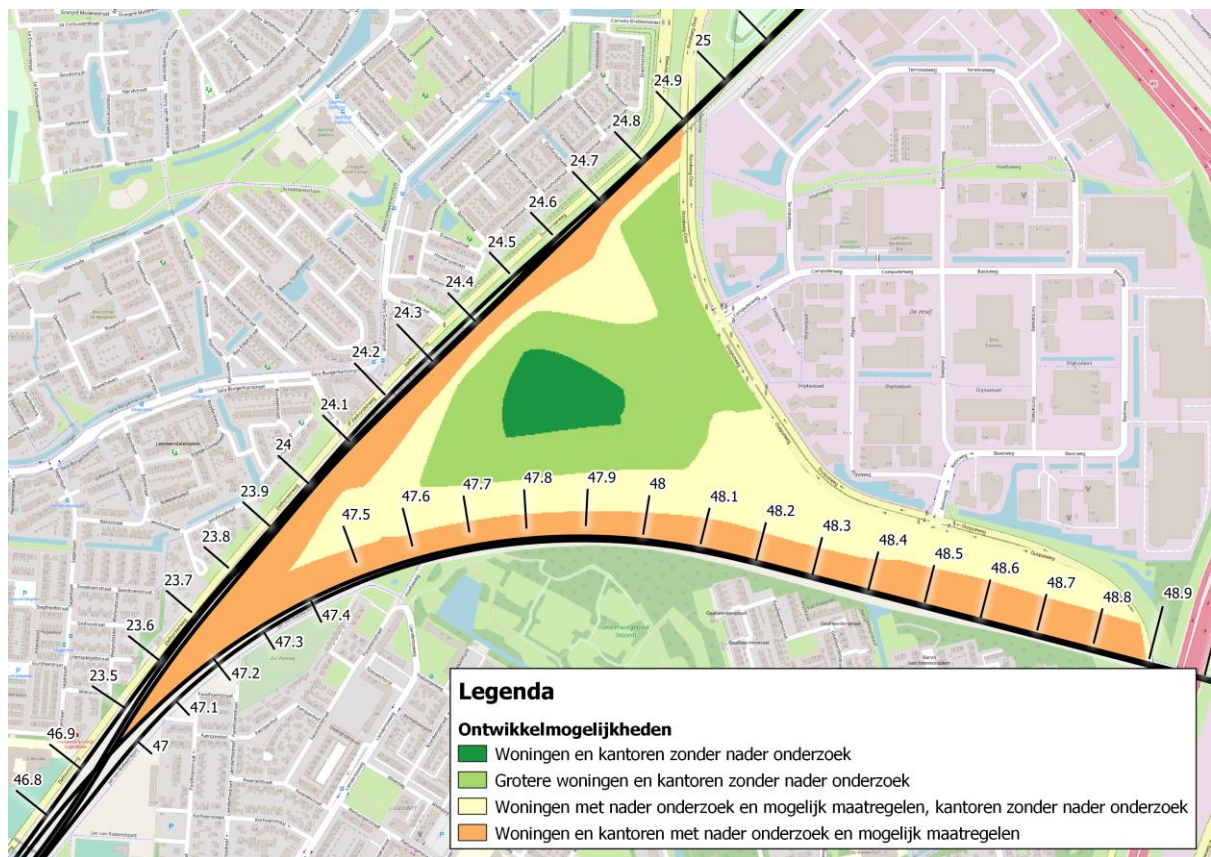
Managementsamenvatting

De gemeente Amersfoort wil de wijk De Hoef herontwikkelen. Deze wijk is gelegen tussen de spoorlijnen Amersfoort – Apeldoorn en Amersfoort – Zwolle en de Outputweg. Voor de herontwikkeling van deze wijk wordt een MER opgesteld. Gezien de ligging direct langs het spoor is trillingshinder als gevolg van treinverkeer in (een deel van) het onderzoeksgebied niet uit te sluiten. Daarom worden, in het voorliggende onderzoek, op basis van metingen in het plangebied uitspraken gedaan over de ontwikkelmogelijkheden in het onderzoeksgebied: welke functies en gebouwtypes zijn waar wel en niet mogelijk als trillingshinder in de gebouwen dient te worden voorkomen?

Uit het onderzoek volgen de volgende aanbevelingen voor de inrichting van het plangebied:

1. Maak, zeker in de zone tot 200 meter van het spoor, zoveel mogelijk gebruik van grotere gebouwen (hogere gebouwen en meer grondoppervlak). De trillingen zijn dan namelijk lager dan bij laagbouw en grondgebonden woningen.
2. Realiseer in de zone dichtbij het spoor (tot 150 meter bij laagbouw, tot 100 meter bij middenbouw) zoveel mogelijk gebouwen met een minder trillingsgevoelige functie, zoals kantoren of onderwijslocaties.
3. Gebruik de verder weggelegen zones voor woningbouw. Lokaal is een grotere (tot 200 meter) of kleinere (tot 60 meter) afstand tot het spoor mogelijk voor woningbouw dan de onder punt 2 genoemde zones. Woningbouw binnen de onder punt 2 genoemde zones is wel mogelijk, maar alleen na nader onderzoek (wanneer de gebouweigenschappen bekend zijn), en waar nodig met een geoptimaliseerd ontwerp (zoals een stijver geconstrueerd gebouw) of trillingsisolatie aan de gebouwen.

Een samenvatting van de ontwikkelmogelijkheden in het gebied is weergegeven in de figuur op de volgende pagina.



Inhoudsopgave

1	Inleiding	5
1.1	Aanleiding	5
1.2	Doel	5
1.3	Leeswijzer	5
2	Situatie en uitgangspunten.....	7
2.1	Situatiebeschrijving	7
2.2	Uitgangspunten	8
3	Beoordelingskader en werkwijze	12
3.1	Beoordelingskader.....	12
3.2	Werkwijze	15
3.3	Rekenmethode	16
4	Verwachte trillingen in het plangebied	18
4.1	Meetresultaten.....	18
4.2	Trillingen in het plangebied	20
5	Conclusies en aanbevelingen.....	27
I	Bijlage geotechnisch bodemonderzoek.....	28
II	Bijlage rekenmodel	31
	Toelichting rekenmodel	31
	Opzet GIS-module rekenmodel	31
III	Bijlage meetresultaten Alcedo.....	34
IV	Bijlage kaartmateriaal.....	41

verschillende types gebouwen op basis van de gemeten trillingen en de eigenschappen en functies van de gebouwen. Het resultaat van deze stap wordt in hoofdstuk 4 beschreven. In hoofdstuk 5 geven we de conclusies en aanbevelingen.

De bijlages bevatten technische informatie van het onderzoek, zoals een toelichting op de rekenmethodiek en grondonderzoek van nabijgelegen locaties.

2 Situatie en uitgangspunten

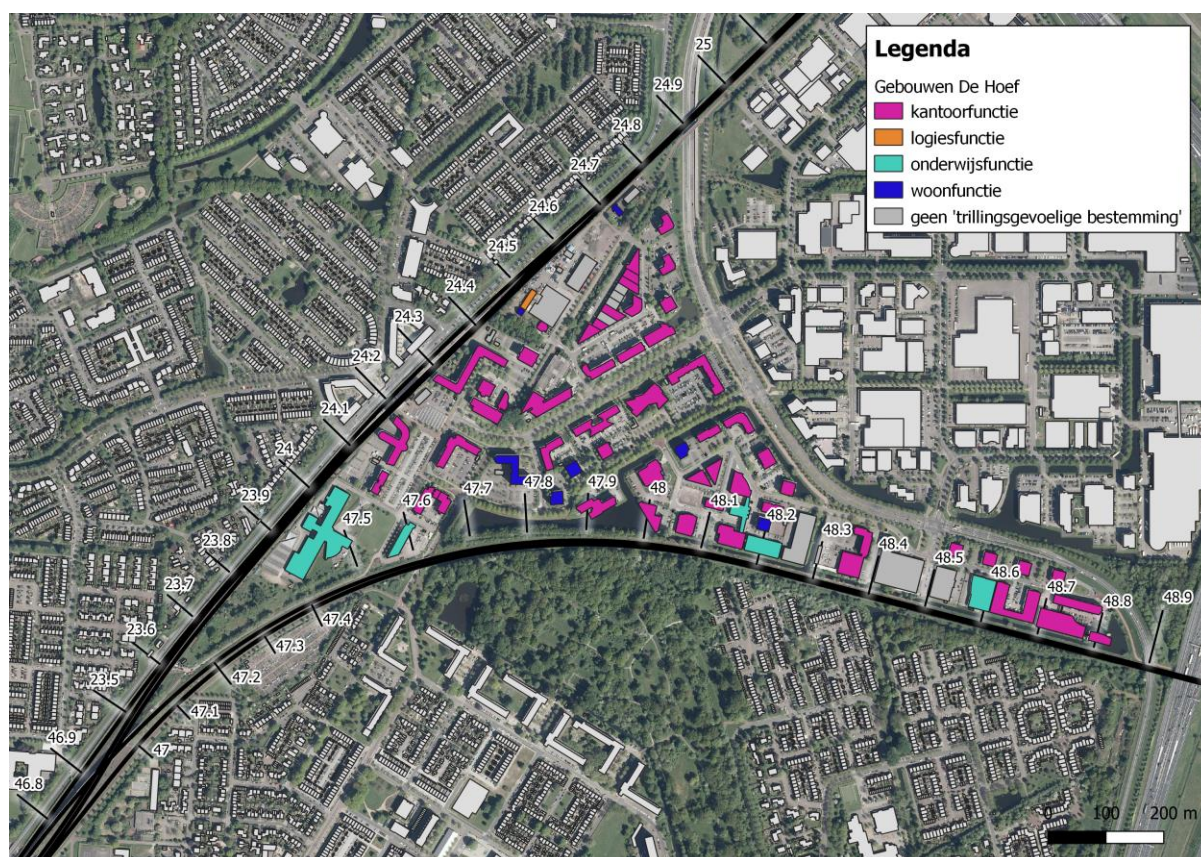
In dit hoofdstuk geven wij een toelichting op de situatie in het plangebied en geven we de uitgangspunten van het onderzoek weer.

2.1 Situatiebeschrijving

In deze paragraaf geven we een beschrijving van de huidige en toekomstige situatie in het onderzoeksgebied. Eerst gaan we in op de huidige situatie, daarna op de toekomstige situatie. De referentiesituatie ten aanzien van het spoor is identiek aan de huidige situatie, er zijn geen wijzigingen aan het spoor en spoorgebruik voorzien rond het onderzoeksgebied.

2.1.1 Huidige situatie

De wijk De Hoef ligt ingeklemd tussen de spoorlijnen Amersfoort – Zwolle en Amersfoort – Apeldoorn en de Outputweg. In de huidige situatie kenmerkt de bebouwing zich door voornamelijk lage en middelhoge gebouwen met verschillende bestemmingen (hoofdzakelijk *kantoor*, maar ook *onderwijsgebouwen* en tot *woningen* omgebouwde panden), zie Figuur 2.



Figuur 2 Huidige gebouwfuncties in het onderzoeksgebied (conform BAG)

Het aantal treinen per uur per richting en de rijnsnelheid van de treinen zijn weergegeven in Tabel 1. Deze gegevens zijn gebaseerd op gegevens uit het Geluidsregister Spoor.

Tabel 1 Aantal treinen per uur per richting (gemiddeld, beide richtingen samen)

Type trein	Rijsnelheid (km/h)	dag (7:00 – 19:00)	avond (19:00 – 23:00)	nacht (23:00 – 7:00)
Stoptrein Amersfoort – Zwolle v.v. ¹	0 – 100 km/h	6.00	6.00	1.00
Intercity Amersfoort – Zwolle v.v.	120 – 140 km/h	2.00	2.00	0.50
Goederen Amersfoort – Zwolle v.v.	70 – 90 km/h	0.21	0.35	0.40
Stoptrein Amersfoort – Ede v.v.	120 – 130 km/h	4.00	2.50	1.38
Intercity Amersfoort – Apeldoorn v.v.	120 – 130 km/h	3.25	2.25	0.63
Goederen Amersfoort – Apeldoorn v.v.	70 – 90 km/h	0.32	0.37	0.31

Andere relevante trillingsbronnen zijn niet aanwezig in het plangebied. Alleen lokaal, rond drempels of eventueel bij klinkerwegen, kan wegverkeer op korte afstand voor voelbare trillingen zorgen. In dit onderzoek is wegverkeer niet nader kwantitatief beschouwd, omdat er geen klachten over trillingen van wegverkeer bekend zijn uit het plangebied.

Cumulatie van trillingen door het gelijktijdig passeren van spoor- en wegverkeer treedt niet op omdat de trillingsfrequenties van de trillingen van spoorverkeer sterk afwijken van de (mogelijke) trillingen van treinverkeer (vergelijkbare trillingsfrequenties zijn namelijk een belangrijke vereiste voor het optreden van cumulatie).

2.1.2 Toekomstige situatie

In de toekomstige situatie vindt er nieuwbouw en wijziging van bestaande gebouwen plaats in het onderzoeksgebied, zodat de eigenschappen, functies en locaties van de bebouwing wijzigen, en daarmee mogelijk ook van lokale wegen. Er zijn geen wijzigingen gepland aan het spoorverkeer rond het onderzoeksgebied. Omdat de inrichting van het gebied op dit moment nog onbekend is, wordt in de berekeningen rekening gehouden met verschillende bouwtypes en bouwfuncties.

2.2 Uitgangspunten

In deze paragraaf lichten wij de gebruikte uitgangspunten toe. In het volgende hoofdstuk (onder werkwijze) leggen we uit hoe deze uitgangspunten zijn verwerkt in de berekeningen.

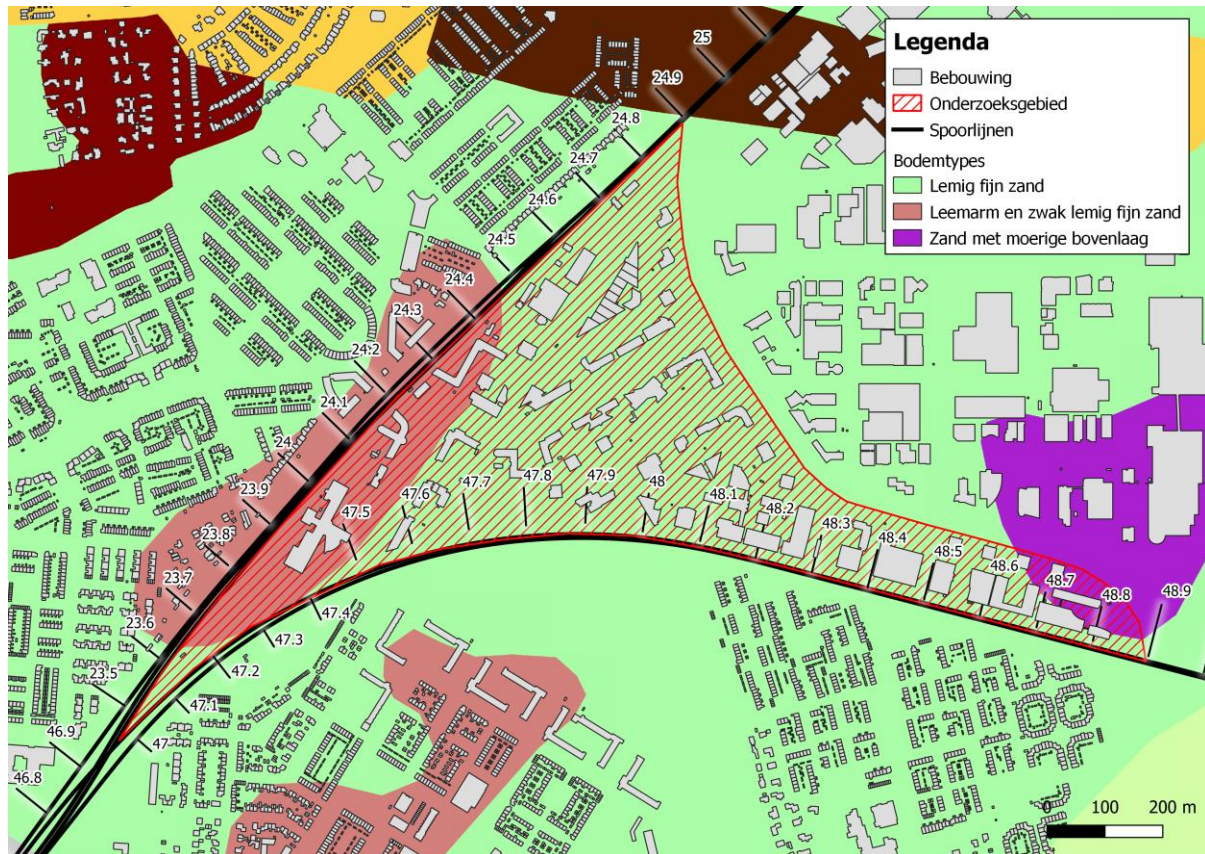
2.2.1 Gegevens bebouwing

De geplande bebouwing in het onderzoeksgebied is nog niet bekend. Daarom is in dit achtergrondrapport gerekend met zowel laag- als middenbouw. In de berekeningen is uitgegaan van normale betonnen vloeren (kanaalplaat-, breedplaat-, ribben- of broodjesvloeren) en een conventionele bouwwijze (geen extreme overspanningen of slappe, open constructies).

¹ Inclusief IC Amersfoort – Amersfoort Schothorst, deze eindigt op station Amersfoort Schothorst

2.2.2 Gegevens ondergrond

De bodem in het onderzoeksgebied bestaat uit zand- en zwak lemige zandlagen, zie de bodemkaart in Figuur 3 en het grondonderzoek in Bijlage I. Het bodemtype in het plangebied kenmerkt zich door relatief weinig demping in de bodem, waardoor trillingen tot op grotere afstand voelbaar kunnen zijn.



Figuur 3 Bodemopbouw in het onderzoeksgebied conform BRO bodemkaart

Het plangebied bestaat uit een grotendeels vlak gebied, de spoorlijnen liggen ongeveer op maaiveld. De Outputweg gaat in een tunnel onder de spoorlijn Amersfoort – Zwolle door en stijgt aan de oostzijde van het onderzoeksgebied naar het niveau van de A28, waarna beide wegen over de spoorlijn Amersfoort – Apeldoorn gaan, zie Figuur 4.

De gegevens over bodemtype, bodemlagen en hoogte zijn gebruikt om de bodemopbouw te modelleren. De bodemopbouw heeft invloed op hoe de trillingen uitdempnen met de afstand, en op hoe de gebouwen reageren op trillingen.



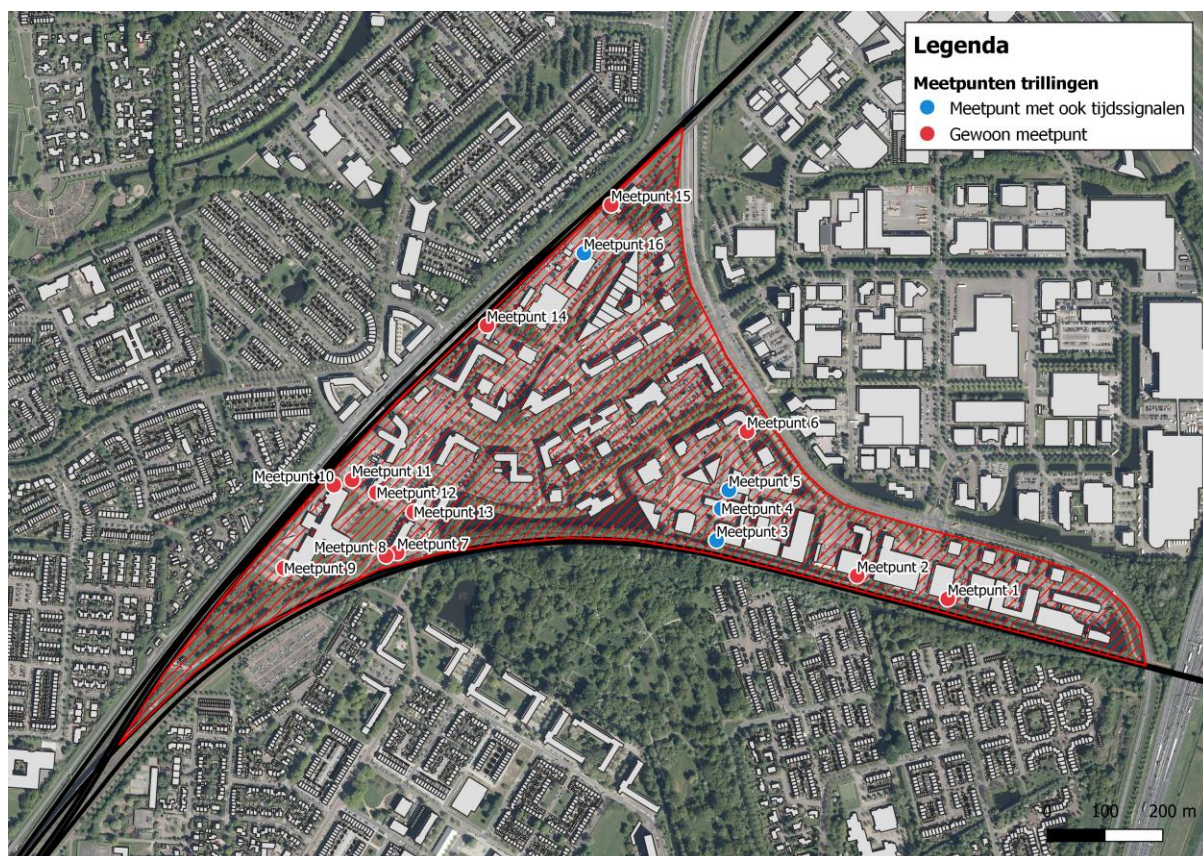
Figuur 4 Hoogte van het maaiveld conform AHN3

2.2.3 Gegevens trillingsbronnen

Om de trillingen in het plangebied te bepalen zijn door Alcedo metingen uitgevoerd. Hiervoor zijn meerdere meetpunten in het onderzoeksgebied geplaatst. Er zijn twee types metingen uitgevoerd:

1. Langdurige metingen op 16 meetpunten, waarbij conform de SBR-richtlijn deel B de trillingen per 30 seconden zijn vastgelegd.
2. Kortdurende metingen op 4 punten waarbij de trillingen gedetailleerder zijn vastgelegd voor een nauwkeuriger predictie van de trillingen. De resultaten van deze nauwkeurige metingen kunnen in de toekomst bij planontwikkelingen in het gebied gebruikt worden om nauwkeurige predicties in geplande nieuwbouw te realiseren.

Beide types metingen zijn gecombineerd om een zo nauwkeurig mogelijke predictie te geven van de trillingen in het gehele onderzoeksgebied. De locaties van de metingen zijn weergegeven in Figuur 5. De resultaten van de metingen zijn weergegeven in hoofdstuk 4.



Figuur 5 Meetpunten trillingsonderzoek

3 Beoordelingskader en werkwijze

In dit hoofdstuk geven wij een toelichting op het beoordelingskader, de werkwijze en de gebruikte rekenmethode.

3.1 Beoordelingskader

Er bestaat in Nederland geen wettelijk kader voor de beoordeling van trillingshinder in gebouwen. Wel geldt dat in het kader van een goede ruimtelijke ordening kan worden verzocht om trillingen mee te nemen bij de wijziging van bestemmingsplannen waar trillingen een rol kunnen spelen. Het is daarom gebruikelijk om ook bij m.e.r.-procedures aandacht te besteden aan trillingen, zeker als deze zich rond bekende trillingsbronnen als spoorlijnen bevinden. Op basis van jurisprudentie wordt daarbij al enkele decennia gebruik gemaakt van de SBR-richtlijn om trillingen in gebouwen te beoordelen.²

Deze SBR-richtlijn bestaat uit drie delen (deel A – schade in gebouwen, deel B – hinder voor personen in gebouwen en deel C – verstoring van gevoelige apparatuur) waarvan alleen deel B voor dit onderzoek relevant is. De afstand tussen het spoor en de gebouwen is dermate groot dat er geen schade aan de gebouwen zal ontstaan, en verstoring van gevoelige apparatuur als gevolg van de realisatie van dit plan is ook niet aan de orde.

In deze SBR-richtlijn deel B zijn een aantal aspecten relevant, deze worden hieronder kort toegelicht:

1. De richtlijn toetst zowel een maximaal optredende trillingssterkte (V_{max} , treedt op bij de trein die gedurende de meetperiode de hoogste trillingen veroorzaakt) als het tijdsgemiddelde van de trillingen (V_{per} , deze grootte is in tegenstelling tot V_{max} dus ook afhankelijk van het aantal treinen).
2. De richtlijn maakt in de beoordeling onderscheid tussen verschillende situaties, en toetst daarbij strenger in:
 - a. Nieuwbouwsituaties (nieuwe gebouwen, nieuw spoor, aanleg van wissels). Bij bestaande situaties zijn de streefwaarden minder streng, er wordt dan uitgegaan van een zekere mate van gewenning en er zijn minder mogelijkheden om de trillingen te reduceren.
 - b. Gebouwen met een overnachtingsfunctie (woningen, ziekenhuizen). De meeste hinder wordt vaak in rust ervaren. Bij gebouwen met een niet-

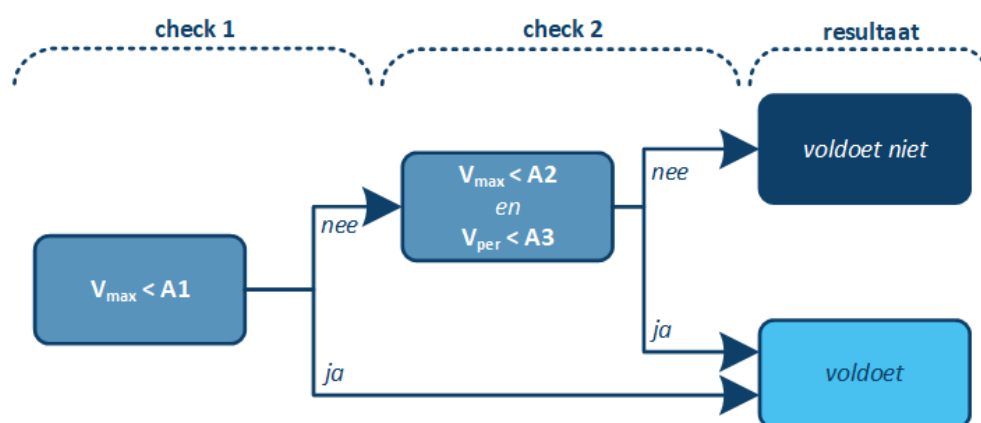
² Voor spoorprojecten wordt door ProRail sinds 2012 ook wel gebruik gemaakt van de Bts, deze is afgeleid van de SBR-richtlijn en op aspecten aangescherpt (waaronder een doelmatigheidsafweging en een andere manier om de trillingen vast te stellen). Deze richtlijn wordt echter doorgaans niet gebruikt om de trillingen in nieuwbouw langs het spoor te beoordelen.

overnachtingsfunctie (kantoren, scholen) gelden minder strenge streefwaarden. Winkels, sport- en industrie panden vallen buiten de richtlijn.

- c. De nacht, omdat de meeste hinder vaak in rust wordt ervaren. De streefwaarden voor overdag zijn ca. een factor 2 minder streng dan 's nachts.
3. Een gebouw kan op twee manieren voldoen aan de richtlijn: de trillingssterkte V_{max} moet lager zijn dan de onderste streefwaarde A1 (zie Tabel 2), óf V_{max} moet lager zijn dan de bovenste streefwaarde A2, waarbij tegelijkertijd de trillingsintensiteit V_{per} lager is dan de streefwaarde A3. Zie ook het schema in Figuur 6.

Tabel 2 Streefwaarden in de SBR-richtlijn deel B voor gebouwen met bestemming wonen

Functie	Dag en avond			Nacht		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
Gezondheidszorg	0.1	0.4	0.05	0.1	0.2	0.05
Wonen	0.1	0.4	0.05	0.1	0.2	0.05
Onderwijs en kantoor	0.15	0.6	0.07	0.15	0.6	0.07
Bijeenkomst	0.15	0.6	0.07	0.15	0.6	0.07
Kritische werkruimte	0.1	0.1	-	0.1	0.1	-



Figuur 6 Schema beoordeling SBR B-richtlijn

Een locatie die conform de SBR-richtlijn deel B niet voldoet aan het beoordelingskader, valt niet direct af als mogelijke woon- of kantoorlocatie. De richtlijn biedt in bijlage 5 namelijk een aantal handvatten aan om maatregelen af te wegen. Deze bijlage hanteert 5 niveaus van hinderclassificatie, zie Tabel 3.

Tabel 3 Classificatie van hinder conform de SBR-richtlijn deel B, bijlage 5

V_{max}	Hinderkwalificatie	Aanwijzingen
< 0.1	Geen hinder	Geen maatregelen nodig
0.1 – 0.2	Weinig hinder	Geen maatregelen nodig
0.2 – 0.8	Matige hinder	Doelmatigheidsafweging nodig (zie onder)
0.8 – 3.2	Hinder	Doelmatigheidsafweging nodig (zie onder)
> 3.2	Ernstige hinder	Niet acceptabel

Bij geen of weinig hinder zijn geen maatregelen nodig om de trillingen te reduceren, bij de classificaties 'matige hinder' en 'hinder' is een maatregelafweging nodig. 'Ernstige hinder' is niet toelaatbaar. Voor de afweging van maatregelen bij 'matige hinder' en

'hinder' geeft de richtlijn aan dat dit kan worden geaccepteerd onder een aantal voorwaarden:

1. De mate waarin de trillingssterkte voorkomt. Hiervoor geldt dat de trillingsintensiteit V_{per} een goede indicatie is, of het aantal overschrijdingen per dag. Hierbij geldt dat bij een lage waarde van V_{per} of een gering aantal overschrijdingen, een maatregel minder snel als doelmatig mag worden beschouwd, omdat de kosten dan niet meer opwegen tegen het ervaren effect.
2. De aanwezigheid van achtergrondtrillingen die de trillingen van het treinverkeer kunnen maskeren. Hierbij geldt dat het niet nodig is om de trillingen van het treinverkeer te reduceren tot onder het niveau van de achtergrondtrillingen. In dat geval zijn maatregelen als niet doelmatig te beschouwen, omdat de hinder er niet door afneemt.
3. De mogelijkheid tot het treffen van reducerende maatregelen. Het is conform bestaande jurisprudentie gebruikelijk om hierbij een afweging te maken tussen de kosten en het effect van de maatregelen, maar ook aspecten als duurzaamheid en impact op de omgeving kunnen worden meegenomen in deze afweging. Hierbij geldt dat een maatregel met hoge kosten of impact en een beperkt effect minder snel als doelmatig mag worden beschouwd, omdat de kosten dan niet meer opwegen tegen het ervaren effect. In onderstaand kader worden mogelijke maatregelen benoemd.

Maatregelen

Maatregelen tegen treinverkeer kunnen op drie niveaus worden getroffen:

1. Bij de trillingsbron (de treinen of het spoor)
2. In de bodem (tussen het spoor en de gebouwen)
3. Bij de ontvanger (het gebouw waarin de trillingen worden ervaren).

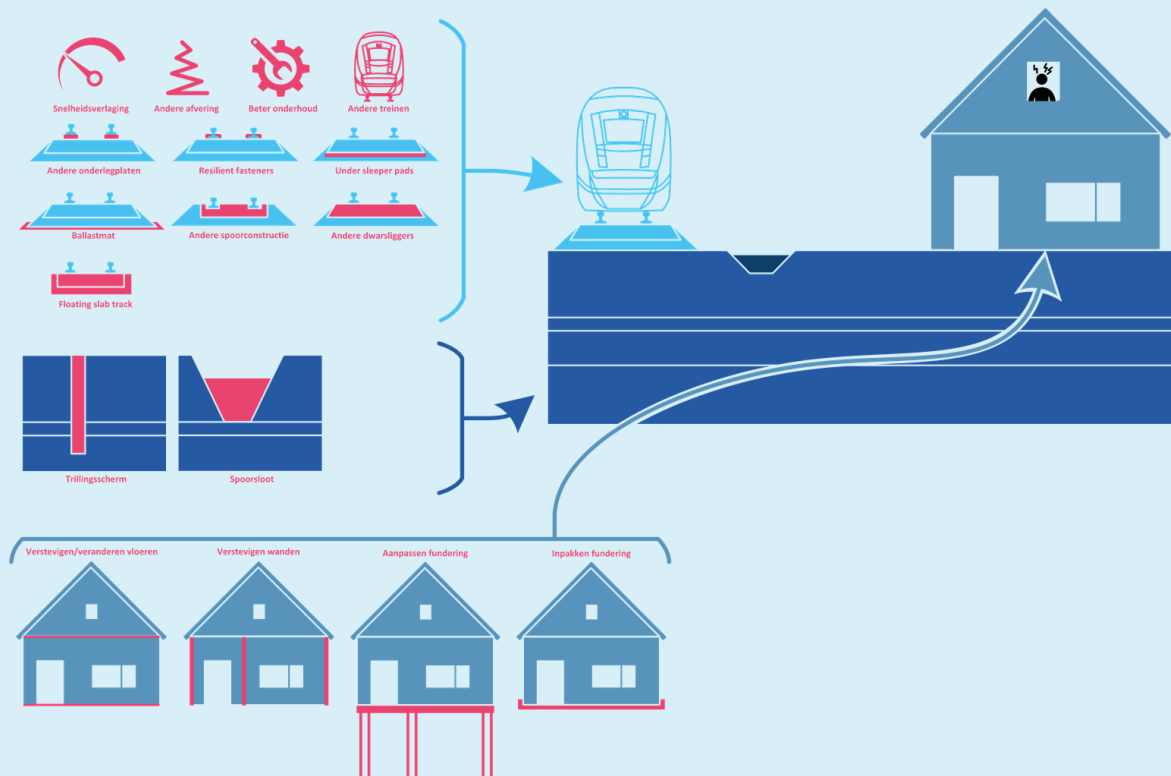
Maatregelen op de verschillende niveaus zijn weergegeven in Figuur 7.

De meest effectieve manier om de trillingen te reduceren, is het nemen van maatregelen aan de trillingsbron (het spoor of de treinen), bijvoorbeeld door het toepassen van ballastmatten, het aanpassen van de rijnsnelheid van de treinen of het hanteren van strengere vlakheidseisen voor het spoor. Deze maatregelen vallen doorgaans buiten de scope van niet-spoor gerelateerde onderzoeken, omdat deze buiten het plangebied moeten worden getroffen. Vaak zijn de kosten van deze maatregelen hoger dan maatregelen in de bodem of aan gebouwen, onder meer doordat langdurige buitendienststellingen nodig zijn.

Bij maatregelen in de bodem kan gedacht worden aan het toevoegen van obstakels in de bodem, die ervoor zorgen dat de gebouwen worden afgeschermd. Voorbeelden zijn het toevoegen van een spoorsloot of een trillingsscherm van piepschuim (EPS), beton, jet-grout (soil-mix methode voor beton) of een damwand. Nadeel van deze maatregelen is dat deze vooral effectief zijn dicht op de trillingsbron (het spoor) of dicht op de bebouwing, waardoor planologische inpassing doorgaans complex is. Verder geldt voor deze maatregelen vaak een lange bouwtijd, forse neveneffecten (op natuur, duurzaamheid, hinder tijdens realisatie) en zijn deze maatregelen vaak niet of slechts aan te passen aan toekomstige situatie.

Bij maatregelen aan de gebouwen is een breed scala aan maatregelen mogelijk. Die variëren van het stijver uitvoeren van de gebouwen (bijvoorbeeld door te kiezen voor een tunnelbouwmethode of stijvere vloeren), het toepassen van meer dempende materialen (zoals hout en metselwerk in plaats van beton, of breedplaatvloeren in plaats van kanaalplaatvloeren) tot het ontkoppelen van de fundering of de vloeren

door middel van rubberen oplegblokken of stalen veren. Bij nieuwbouw zijn dit meestal de meest eenvoudige maatregelen om te treffen, de kosten zijn eigenlijk altijd lager dan 10% van de stichtingskosten van een gebouw.



Figuur 7 Maatregelen tegen trillingen

4. De historie. In situaties waarbij in het verleden bijvoorbeeld al forse ingrepen zijn gedaan om de trillingen te reduceren en waarbij geen projecten zijn gepland die een toekomstige toename van de trillingen zullen veroorzaken, kan eerder worden betoogd dat maatregelen niet doelmatig zijn.

Op basis van bovenstaande handvatten kan per situatie worden beoordeeld of er maatregelen nodig zijn, en zo ja, of deze maatregelen doelmatig zijn of dat er ook zonder maatregelen een acceptabele situatie ontstaat.

In het huidige onderzoek worden twee beoordelingscriteria gehanteerd:

1. Categorie-indeling conform bijlage 5 uit de SBR B-richtlijn (zie Tabel 3).
2. Beoordeling op de SBR B-richtlijn voor nieuwbouw (zie Figuur 6, geldt ook bij functiewijziging van *kantoor* naar *wonen*).

3.2 Werkwijze

In de MER t.b.v. de herontwikkeling van De Hoef wordt alleen de toekomstige situatie in beeld gebracht. Rond het plangebied zijn namelijk geen wijzigingen in het spoorgebruik voorzien, de berekeningen voor de toekomstige situatie zijn daarmee ook representatief voor de huidige en referentiesituatie (bij gelijke bouwwijze).

Zoals in de voorgaande paragraaf toegelicht wordt in dit onderzoek inzichtelijk gemaakt binnen welke afstanden van het spoor een kans is op trillingshinder, afhankelijk van het

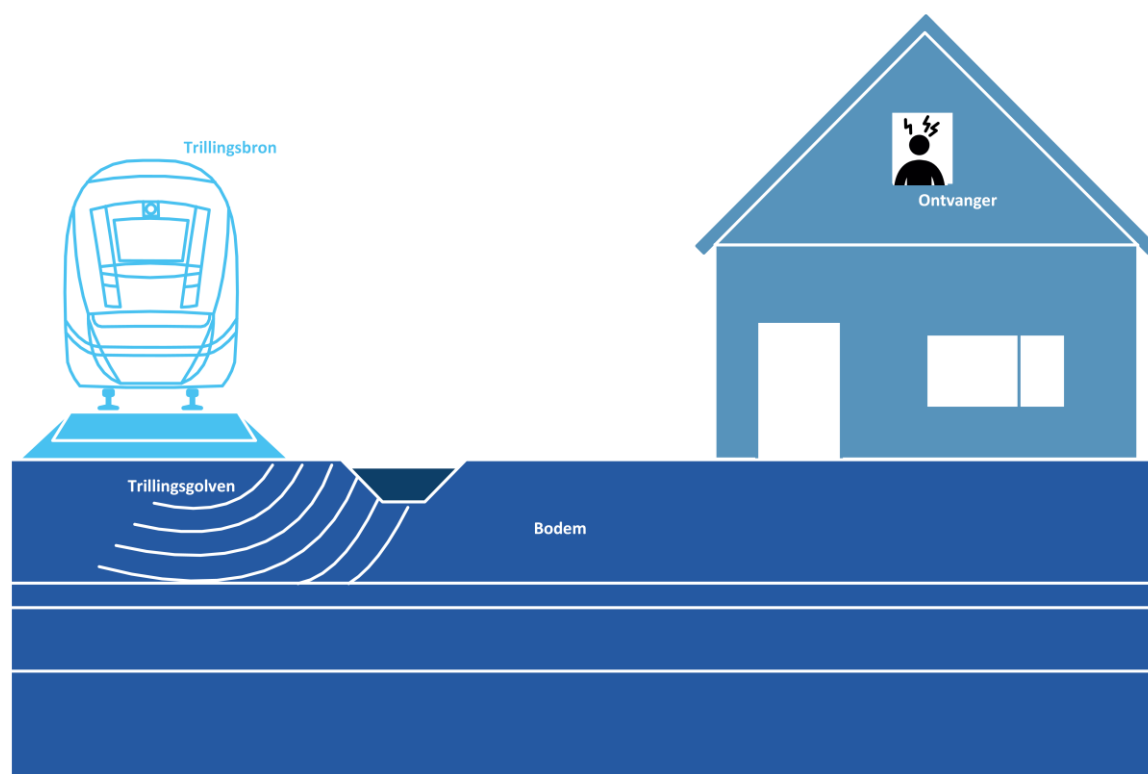
type bebouwing en de functie van de bebouwing. De hiervoor gebruikte rekenmethode wordt toegelicht in de volgende paragraaf.

3.3 Rekenmethode

In de SBR-richtlijn deel B worden de trillingen beoordeeld in gebouwen. Omdat het bij dit project gaat om (deels) nog niet gerealiseerde gebouwen, wordt op basis van metingen op maaiveld en aan bestaande funderingsstroken een berekening gemaakt van de verwachte trillingen in de gebouwen. Deze verwachte trillingen zijn afhankelijk van de constructieve eigenschappen van de gebouwen, maar ook van de bodem, de afstand tot het spoor en natuurlijk de gemeten trillingen. Hieronder wordt een korte uitleg gegeven over hoe trillingen zich voortplanten van de trillingsbron tot in het gebouw, en hoe dat is vertaald naar het gebruikte rekenmodel.

3.3.1 Trillingen – van trillingsbron naar gebouw

Trillingen ontstaan doordat een bewegend object (een trein, tram of vrachtwagen bijvoorbeeld) over een niet-effen ondergrond rijdt. Door de massa en beweging van het voertuig, variaties in de ondergrond (die per definitie niet perfect vlak is) en variaties in de rondheid van de wielen van het voertuig ontstaan spanningen in de bodem die zich door de bodem verplaatsen. Afhankelijk van de opbouw van de bodem en de aanwezigheid van obstakels (zoals sloten en damwanden) verplaatsen de trillingen zich diep of juist ondiep door de bodem. Gebouwen worden daardoor in trilling gebracht. Afhankelijk van hoe het gebouw is geconstrueerd, worden bepaalde trillingen meer of minder versterkt in het gebouw. Deze trillingen kunnen als hinderlijk worden ervaren door personen in gebouwen. Dit hele systeem van trillingsbron (hier de trein), overdrachtsmedium (de bodem, waardoor de trillingen zich verplaatsen) en ontvanger (het gebouw met daarin de personen die de hinder ervaren) is schematisch weergegeven in Figuur 8.



Figuur 8 Trillingen – het systeem van trillingsbron, de bodem als doorgeefmedium en het gebouw als ontvanger

In de subparagrafen hieronder wordt toegelicht hoe in dit onderzoek hiermee wordt omgegaan.

3.3.2 De trillingsbron

In dit onderzoek zijn treinen de bron van de trillingen. De trillingen van het treinverkeer zijn gemeten door Alcedo op 16 punten in het onderzoeksgebied. De resultaten van deze metingen vormen de basis van dit onderzoek.

3.3.3 De bodem

De bodem op deze locatie bestaat uit leem- en zandlagen met verschillende stijfheden, zie Bijlage 1. De uitdamping van de trillingen met de afstand is bepaald met een rekenmodel op basis van deze bodemopbouw en geijkt aan de hand van de metingen van Alcedo op de meetlocatie voor een zo betrouwbaar mogelijke predictie van de trillingen. Hiervoor is gebruikt gemaakt van een rekenmodel waarmee op basis van ruim 400 metingen in woningen in heel Nederland een predictie wordt gemaakt van de trillingen in de toekomstige bebouwing. Hierbij wordt rekening gehouden met de lokale situatie (sporen, wissels, bodemopbouw, rijnsnelheid van de treinen en treintypes bijvoorbeeld). Meer uitleg bij het gebruikte rekenmodel is opgenomen in Bijlage 2.

3.3.4 Het gebouw

De trillingen gaan via de fundering een gebouw binnen. Afhankelijk van het type fundering, de bodem, de massa en afmetingen van het gebouw zal de fundering de trillingen meer of minder uitdempen. Vervolgens worden de trillingen in het gebouw weer versterkt door bewegingen van het gebouw en de vloeren. Omdat nog niet alle details bekend zijn van de toekomstige bebouwing, is in de berekeningen uitgegaan van twee types gebouwen (laagbouw en middenbouw) met normale betonnen vloeren (kanaalplaat-, breedplaat-, ribben- of broodjesvloeren) en een conventionele bouwwijze (geen extreme overspanningen of zeer slappe, open staalconstructies).

In het volgende hoofdstuk worden de resultaten van de metingen en berekeningen toegelicht.

4 Verwachte trillingen in het plangebied

In dit hoofdstuk geven wij een korte toelichting op de meetresultaten, daarna bespreken we de verwachte trillingen in het plangebied aan de hand van de twee eerder gedefinieerde beoordelingscriteria.

4.1 Meetresultaten

Alcedo heeft metingen uitgevoerd op 16 meetpunten in het onderzoeksgebied, zie Figuur 5. De resultaten van deze metingen (aan de funderingen van bestaande panden) zijn samengevat weergegeven in Tabel 4, een grafische weergave is opgenomen in Figuur 9, gedetailleerde resultaten zijn opgenomen in bijlage III.

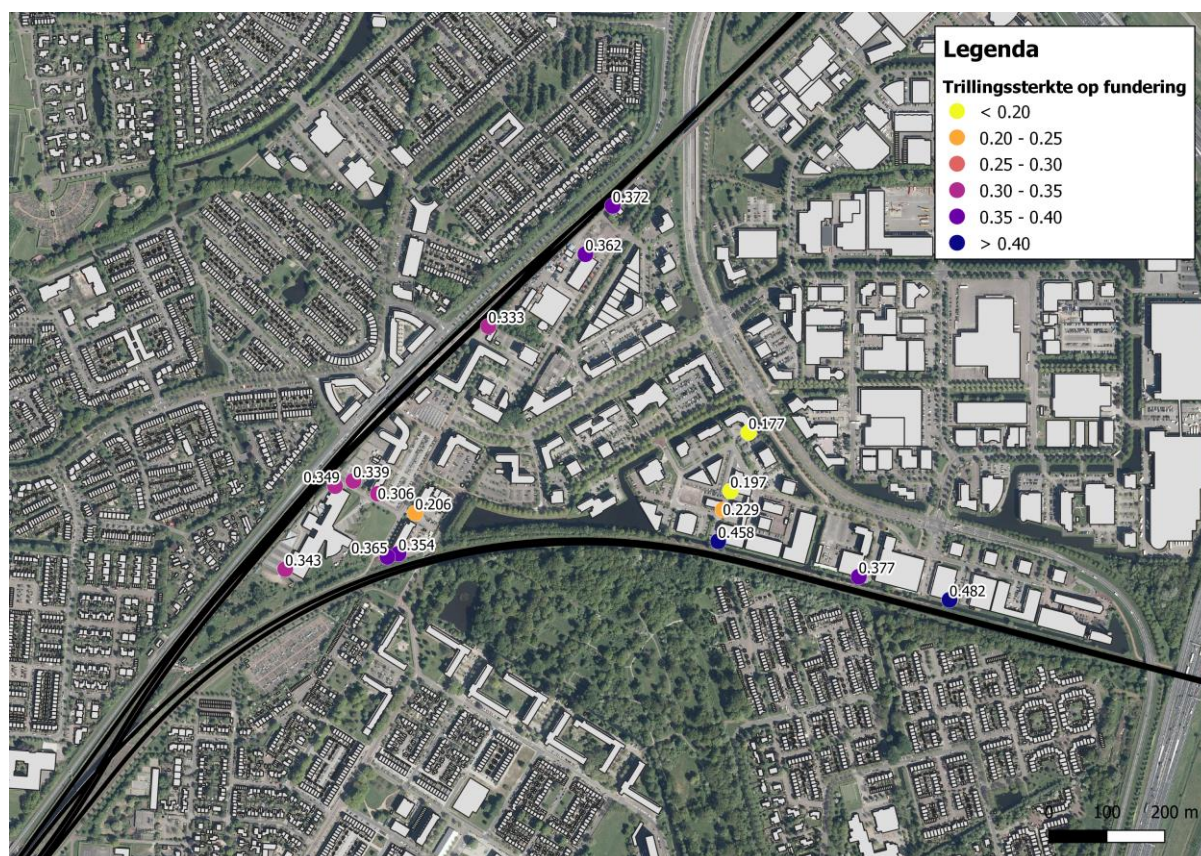
Tabel 4 Trillingen per meetpunt

Meetpunt	V_{max}	V_{per}
Meetpunt 1	0.48	0.01
Meetpunt 2	0.38	0.01
Meetpunt 3	0.46	0.01
Meetpunt 4	0.23	0.01
Meetpunt 5	0.20	0.00
Meetpunt 6	0.18	0.00
Meetpunt 7	0.35	0.01
Meetpunt 8	0.37	0.01
Meetpunt 9	0.34	0.02
Meetpunt 10	0.35	0.03
Meetpunt 11	0.34	0.03
Meetpunt 12	0.31	0.01
Meetpunt 13	0.21	0.00
Meetpunt 14	0.33	0.02
Meetpunt 15	0.37	0.03
Meetpunt 16	0.36	0.02

Uit de metingen volgt:

1. De hoogste trillingen treden op langs het spoor richting Apeldoorn, ondanks de aanwezigheid van een spoorloot tussen het spoor en de gebouwen.
2. Wissels in het spoor zorgen voor hogere trillingen, met name door de aanwezigheid van ES-lassen (onderbrekingen in het spoor t.b.v. het beveiligingssysteem).
3. Goederentreinen zorgen voor de hoogste trillingen.
4. De trillingen in verticale richting zijn maatgevend.

Verder is te zien dat lokale stoorbronnen (vooral lokaal verkeer zoals vrachtwagens) incidenteel voor hoge trillingen zorgen. Op vrijwel alle locaties is het treinverkeer echter maatgevend voor de trillingen³.



Figuur 9 Resultaten trillingsmetingen

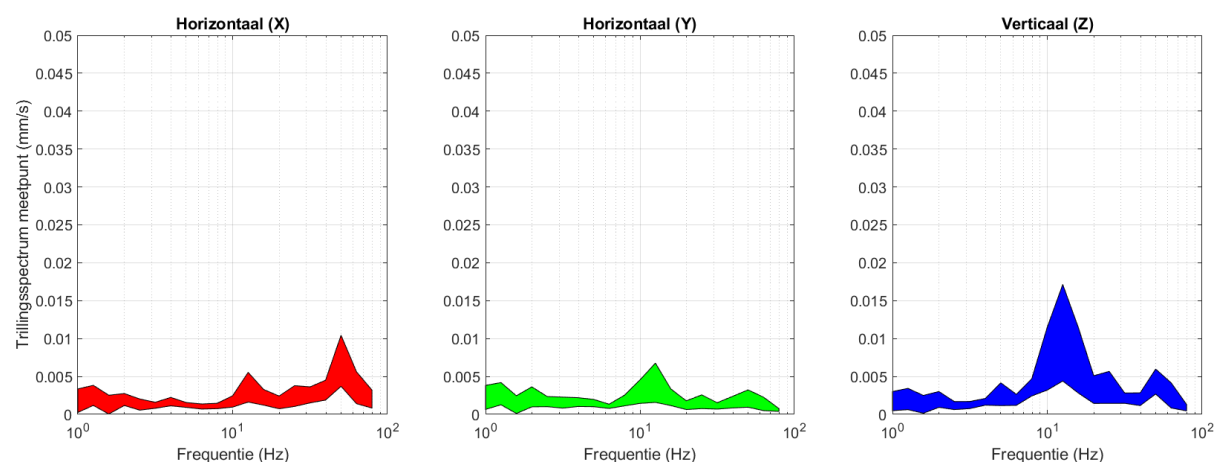
Vervolgens is op enkele meetpunten gekeken welke trillingsfrequenties maatgevend zijn. Deze informatie is gebruikt om een predictie in de gebouwen te maken, en kan bij toekomstige onderzoeken (bijv. t.b.v. nieuwbouw langs het spoor) worden gebruikt om tijdens het ontwerpproces hoge trillingen in de gebouwen te voorkomen.

Spectrogrammen van de trillingen (weergegeven als 1/3-octaaftbandspectrum of tertsbandspectrum) zijn weergegeven in Figuur 10 (voor meetpunt 3, langs de lijn Amersfoort – Apeldoorn) en in Figuur 11 (voor meetpunt 16, langs de lijn Amersfoort – Zwolle). In deze figuur is zichtbaar dat de dominante frequentie van de trillingen rond 10 tot 15 Hz ligt, en dat de trillingen in verticale richting maatgevend zijn.

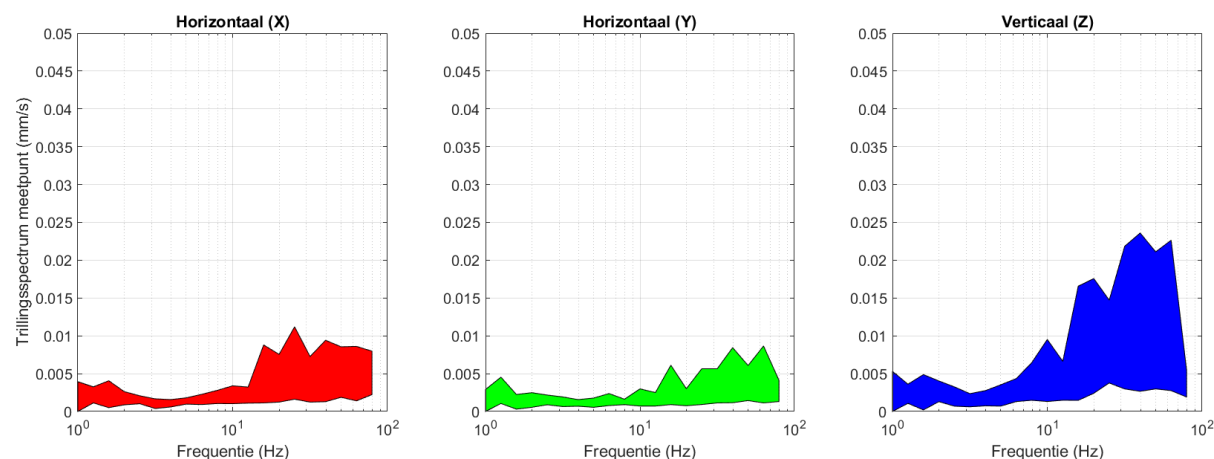
³ Relevant is nog dat in de periode van de metingen werkzaamheden waren op het traject Amersfoort – Amersfoort Vathorst (minder treinen) en op het traject Amersfoort – Apeldoorn (geen treinen) van 26 tot en met 28 juli. Langs het traject Amersfoort – Apeldoorn waren op het moment van de werkzaamheden geen sensoren geplaatst. Langs het traject Amersfoort – Amersfoort Vathorst wel, daar zien we bij sommige sensoren (bijv. sensor 9 en 10) op die dagen afwijkende resultaten. Deze resultaten hebben echter geen invloed op de conclusies van het onderzoek, de maatgevende treinen zijn op de andere dagen gemeten, zie bijlage III.

Er zijn wel enkele opvallende verschillen tussen de meetpunten:

1. Bij meetpunt 3 zijn de trillingen rond 10 tot 15 Hz (de maatgevende frequentie in het grootste deel van het onderzoeksgebied, zeker op grotere afstand tot het spoor) hoger dan bij meetpunt 16. Dit komt vooral door verschillen in de rijnsnelheid, maar ook lokale verschillen in de opbouw van de spoorbaan kunnen hiervoor zorgen.
2. Bij meetpunt 16 zijn met name de trillingen boven de 20 Hz (deze dempen echter snel uit met de afstand en worden ook door de fundering van gebouwen fors verzwakt) veel hoger dan bij meetpunt 3. Dit verschil kan komen door de aanwezigheid van wissels en ES-lassen bij meetpunt 16, verschillen in baan- en bodemstijfheid (de bodem is richting Apeldoorn wat slapper) en door de aanwezigheid van een spoorloot langs het spoor richting Apeldoorn (deze dempt de hogere trillingsfrequenties uit).



Figuur 10 Tertsbandspectra bij meetpunt 3



Figuur 11 Tertsbandspectra bij meetpunt 16

Met behulp van de meetresultaten is de afname van de trillingen met de afstand vastgesteld, zie bijlage III.

4.2 Trillingen in het plangebied

In deze paragraaf beschrijven wij de berekende trillingen in het plangebied, daarna geven we adviezen m.b.t. de inrichting van het plangebied. In de laatste subparagraaf lichten we

de invloed van onzekerheden in de metingen en rekenmodellen op de conclusies van het onderzoek toe.

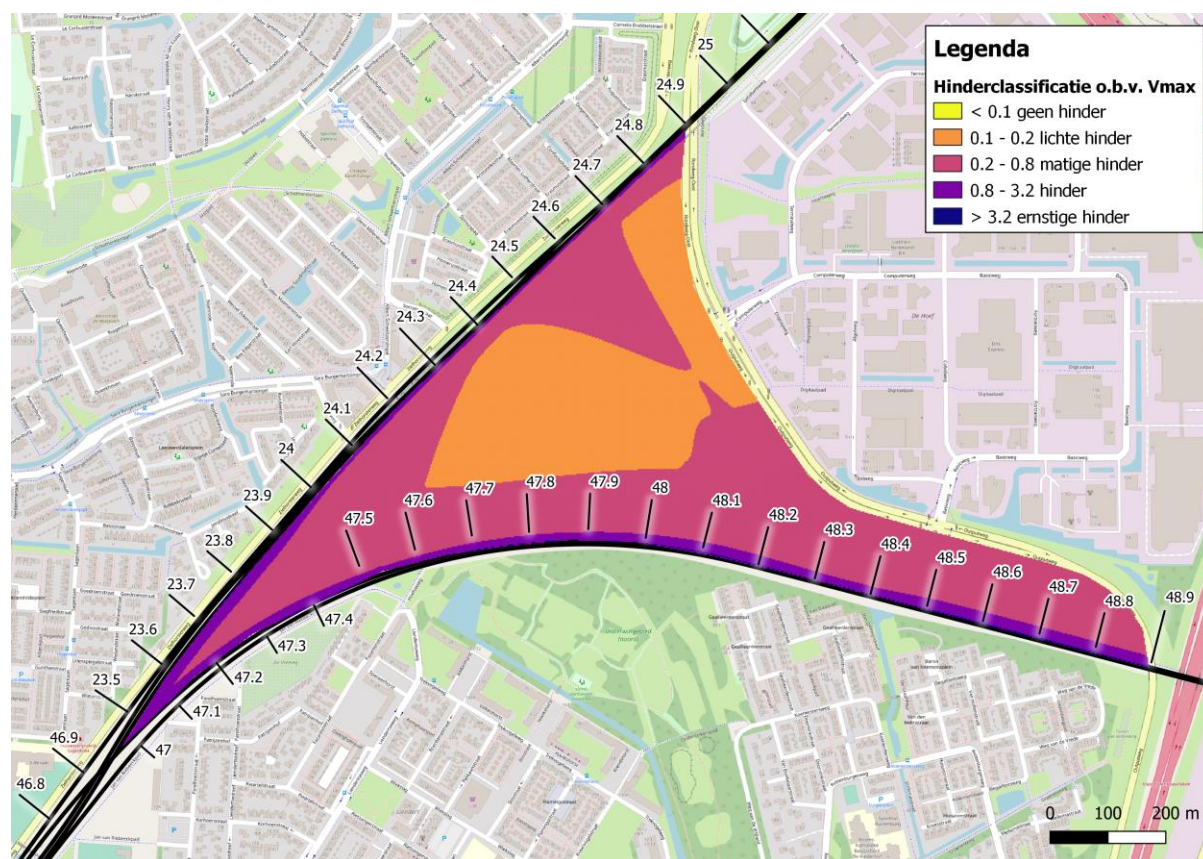
4.2.1 Verwachte trillingen

Op basis van het rekenmodel is een berekening gemaakt voor het hele plangebied voor twee gebouwtypes en functies: laagbouw, representatief voor grondgebonden woningen en kleine kantoren en middenbouw, representatief voor appartementencomplexen of grotere kantoren. Een grotere weergave van deze kaarten is opgenomen in bijlage IV.

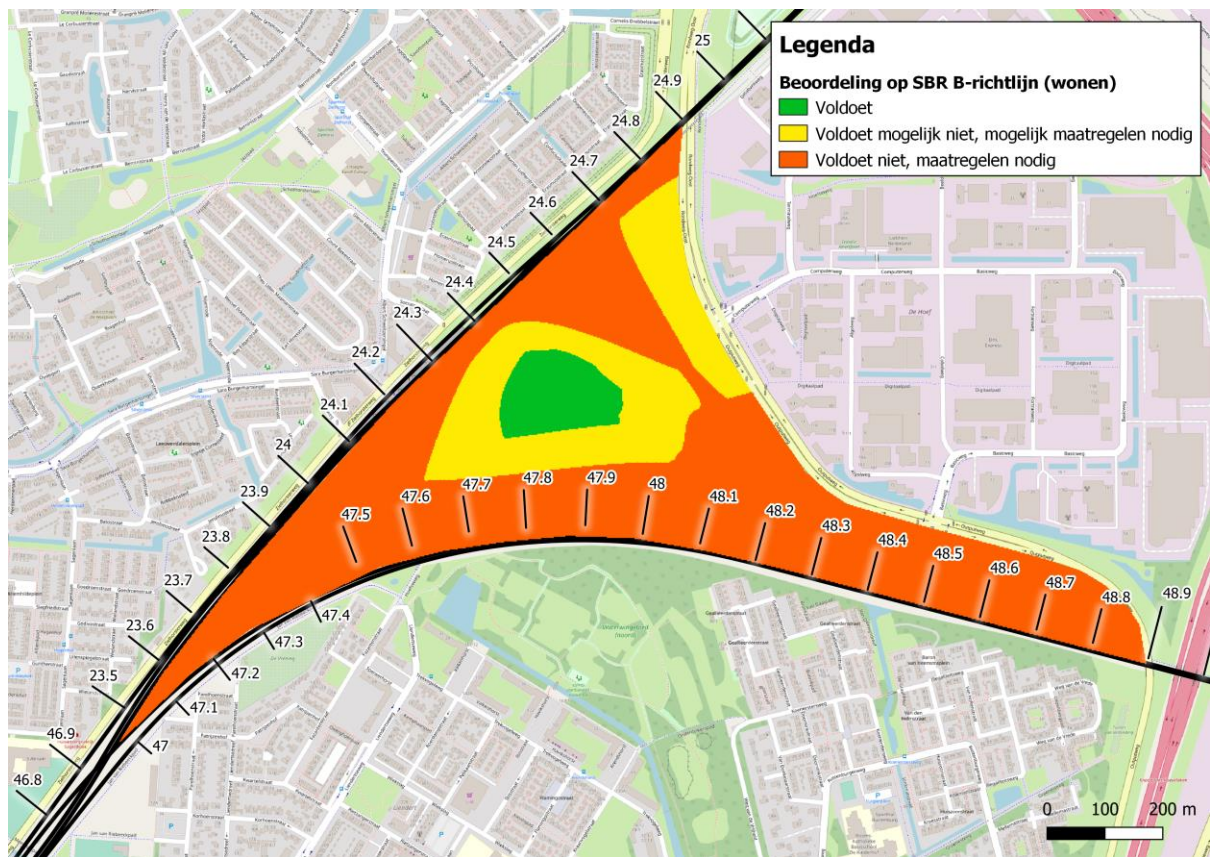
Voor laagbouw (bouwhoogte minder dan 12 meter) is de hinderclassificatie conform het beoordelingskader van bijlage 5 van de SBR B-richtlijn, en een beoordeling aan de streefwaarden voor nieuwbouw weergegeven in Figuur 12 tot en met Figuur 14. Voor de beoordeling op de SBR B-richtlijn zijn drie klassen gehanteerd:

1. Locatie voldoet aan het beoordelingskader (groen)
2. Locatie voldoet mogelijk aan het beoordelingskader (geel). Door onzekerheden in de meet- en rekenresultaten kan een overschrijding hier niet worden uitgesloten.
3. Locatie voldoet niet aan het beoordelingskader (oranje).

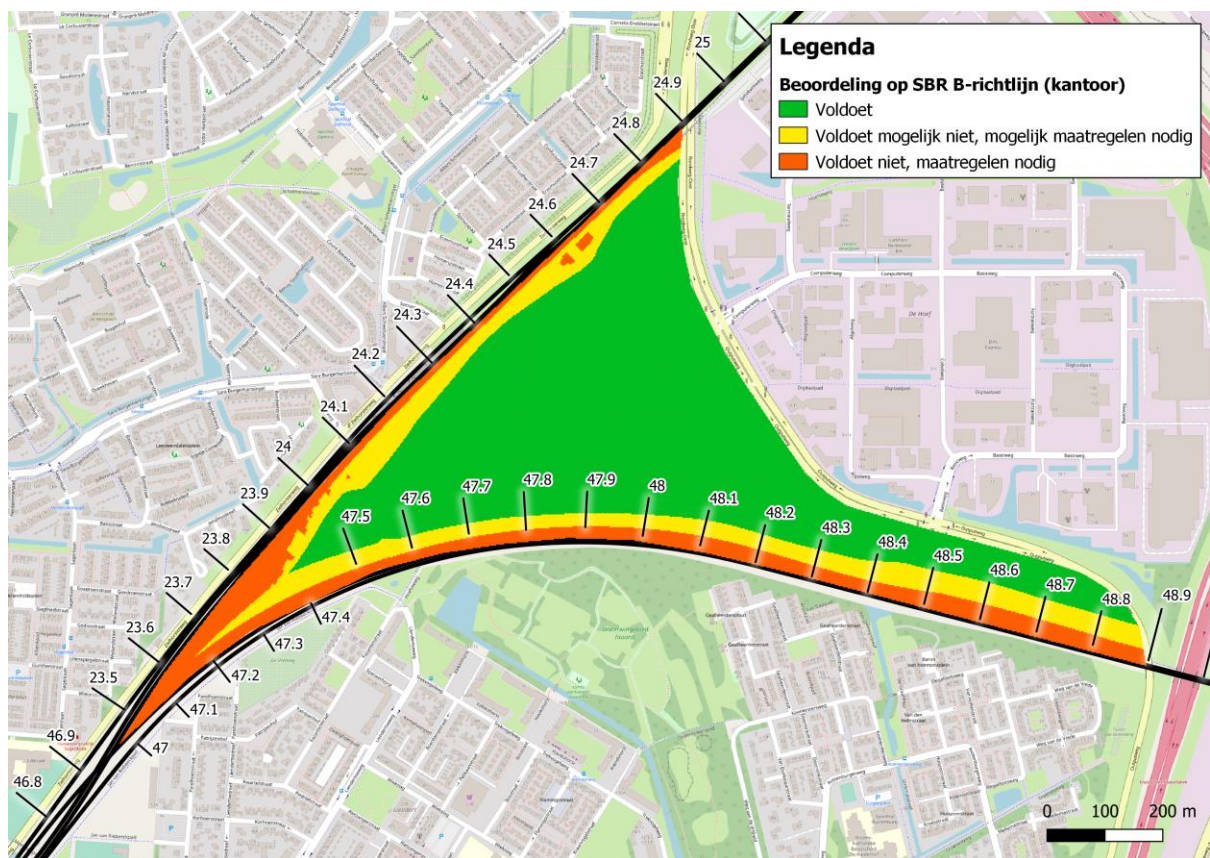
In de gele en oranje zones dient bij de uitwerking van het ontwerp van nieuwe gebouwen rekening te worden gehouden met trillingen (zoals optimalisatie van de constructie of treffen van maatregelen).



Figuur 12 Hinderclassificatie conform de SBR B-richtlijn, bijlage 5 voor laagbouw (tot 12 meter hoogte)

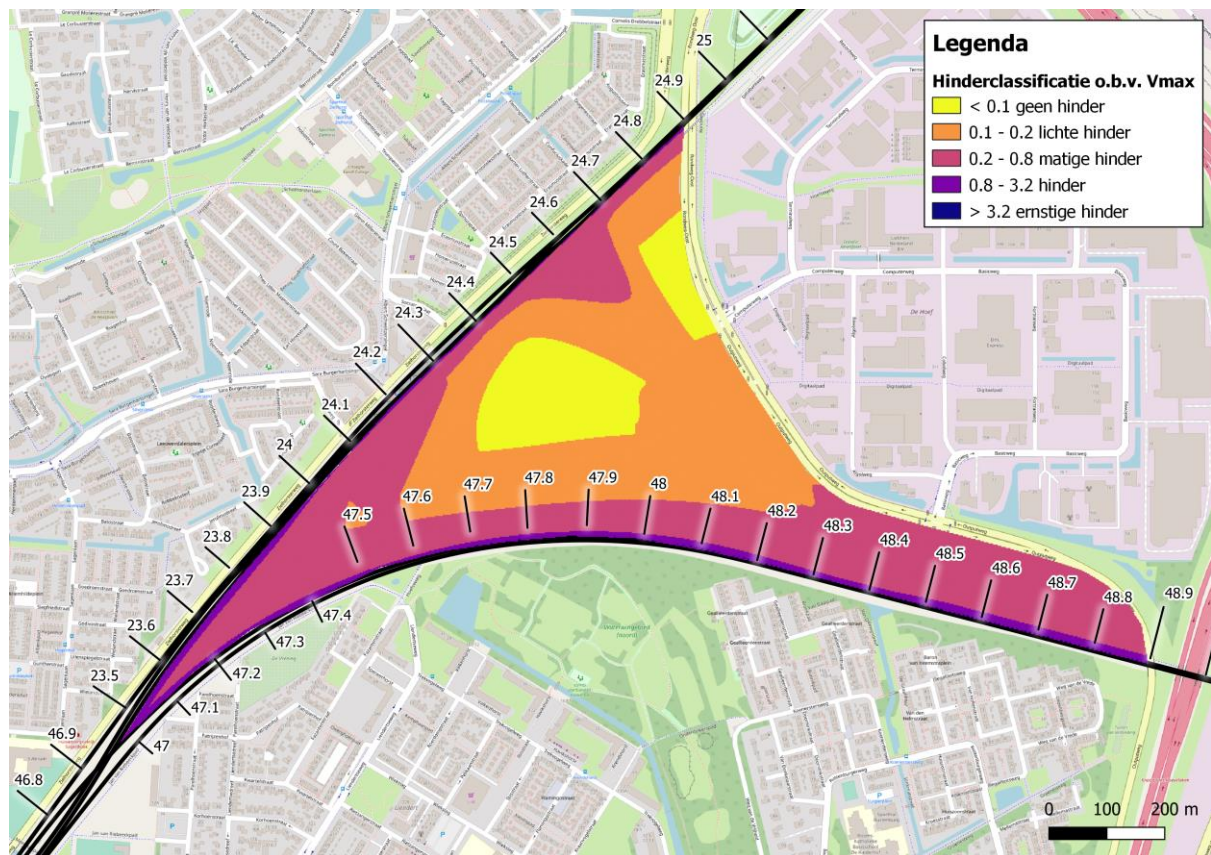


Figuur 13 Beoordeling trillingshinder (SBR B-richtlijn, streefwaarden nieuwbouw) voor laagbouw

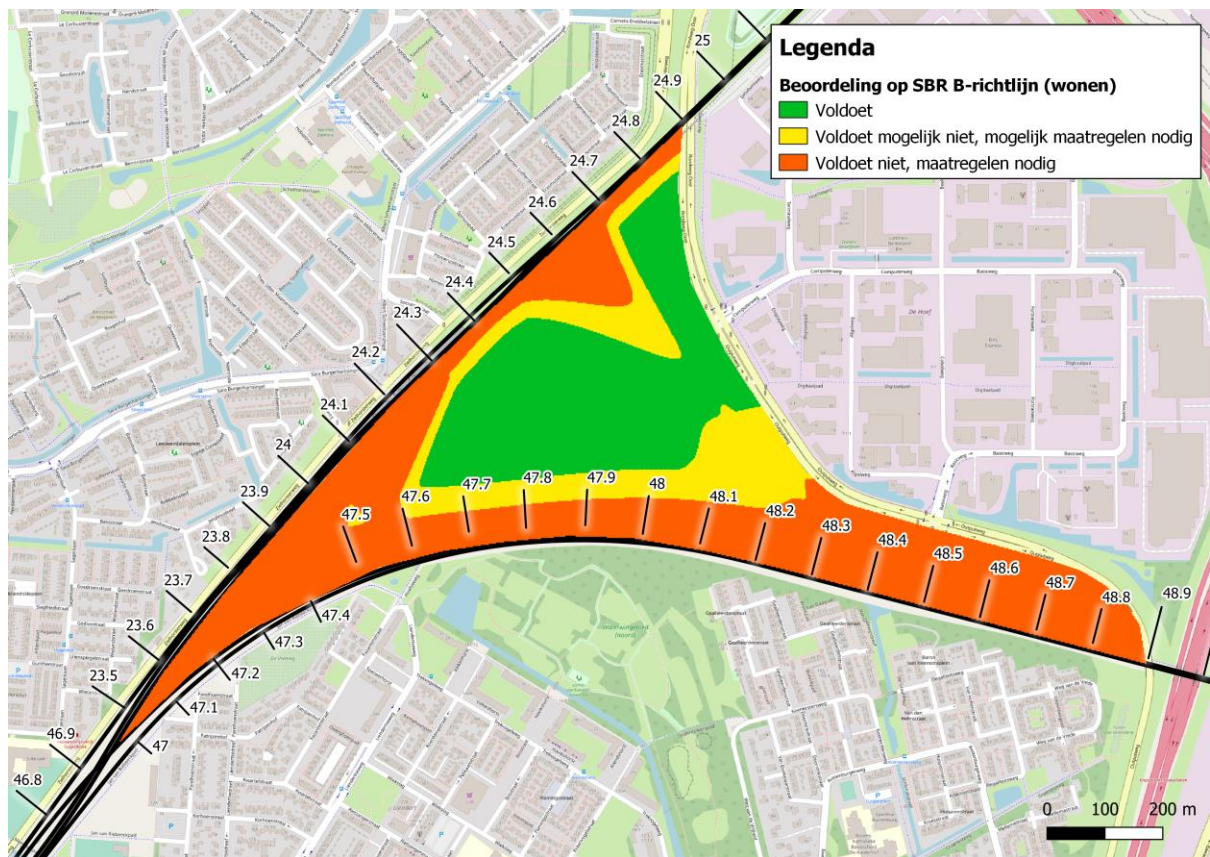


Figuur 14 Beoordeling trillingshinder (SBR B-richtlijn, streefwaarden nieuwbouw) voor laagbouw

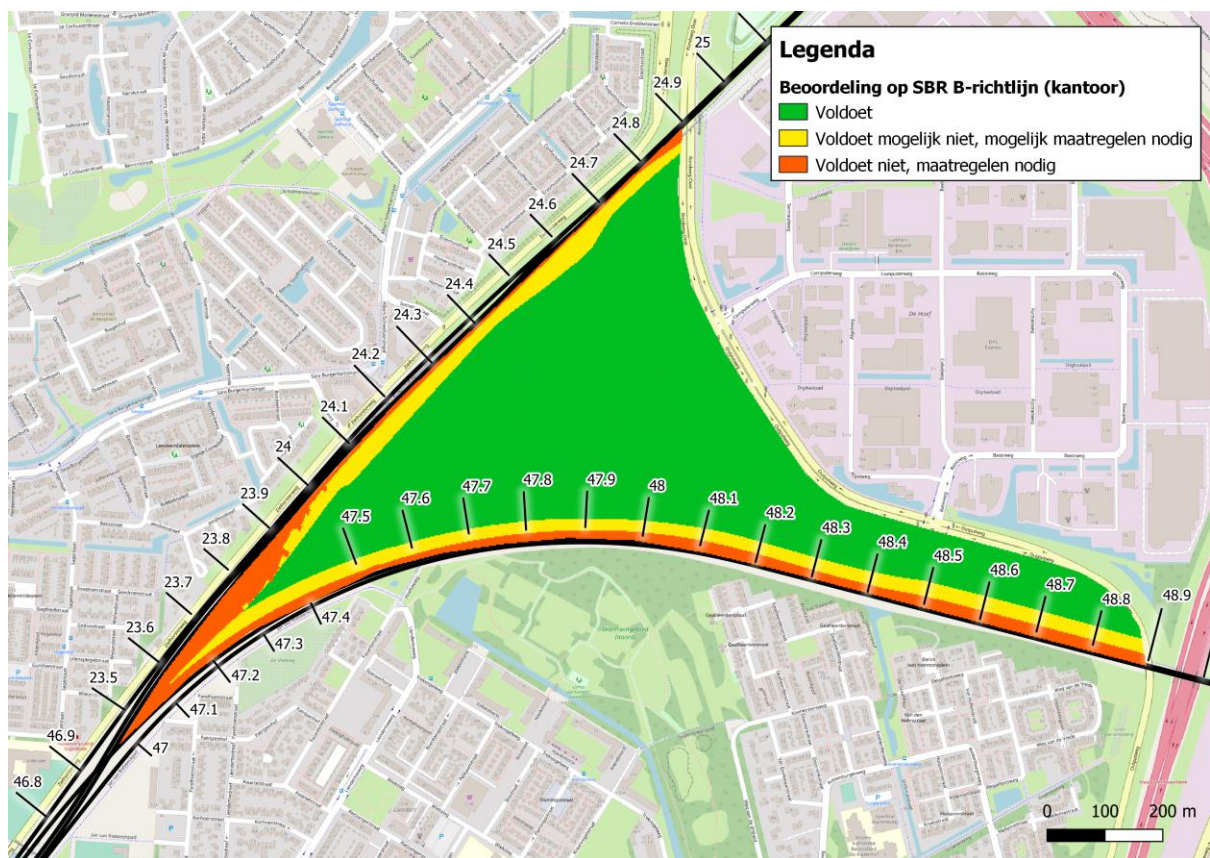
Voor middenbouw (bouwhoogte tussen de 12 en 50 meter) is de hinderclassificatie conform het beoordelingskader van bijlage 5 van de SBR B-richtlijn en een beoordeling aan de streefwaarden voor nieuwbouw weergegeven in Figuur 15 tot en met Figuur 17.



Figuur 15 Hinderclassificatie conform de SBR B-richtlijn, bijlage 5 voor middenbouw (12 tot 50 meter hoogte)



Figuur 16 Beoordeling trillingshinder (SBR B-richtlijn, streefwaarden nieuwbouw) voor middenbouw



Figuur 17 Beoordeling trillingshinder (SBR B-richtlijn, streefwaarden nieuwbouw) voor middenbouw

4.2.2 Inrichting plangebied

Op basis van de resultaten in de voorgaande paragraaf adviseren wij het volgende voor de inrichting van het plangebied:

1. In vrijwel het gehele plangebied wordt voldaan aan het beoordelingskader voor gebouwen met een functie *kantoor* of *onderwijs*. Gebruik de zone dichtbij het spoor (tot ca. 100 meter) voor gebouwen met een functie *kantoor* of *onderwijs*. Bij laagbouw adviseren wij om een grotere zone (tot ca. 150 meter) aan te houden voor gebouwen met een functie *kantoor* of *onderwijs*.
2. De trillingen zijn lager naarmate gebouwen groter zijn (hoger, meer vloeroppervlak). Realiseer, zeker in de zone dichtbij het spoor, daarom zoveel mogelijk hogere en grotere gebouwen.
3. De verder van het spoor gelegen zone (meer dan 100 meter bij middenbouw, meer dan 150 meter bij laagbouw) kan gebruikt worden voor gebouwen met een functie *wonen*, zonder dat daar maatregelen nodig zijn. Hier en daar kan op basis van de resultaten van dit onderzoek een kleinere (tot 60 meter bij middenbouw, tot 90 meter bij laagbouw) of grotere afstand (tot 150 meter bij middenbouw, tot 200 meter bij laagbouw) worden gehanteerd als zone waarbinnen maatregelen niet nodig zijn bij gebouwen met een functie *wonen*. Met name rond wissels (door de vele ES-lassen) zijn lokaal grotere afstanden van het spoor nodig om overschrijdingen te voorkomen van het beoordelingskader voor gebouwen met een functie *wonen*.
4. Wanneer toch woningbouw wordt gerealiseerd binnen de onder punt 3 genoemde zones, dan dient bij de uitwerking van het ontwerp rekening te worden gehouden met trillingen. De in dit onderzoek gepresenteerde meetwaarden en trillingsspectra kunnen daarbij gebruikt worden om het ontwerp te optimaliseren (zoals het stijver construeren van het gebouw), of maatregelen aan de gebouwen te treffen (zoals trillingisolatie).

4.2.3 Onzekerheden in het onderzoek

Zoals eerder benoemd kent dit onderzoek een aantal onzekerheden, hiervoor geldt het volgende:

1. Ten aanzien van de trillingsbron: de natuurlijke variatie als gevolg van spooronderhoud en de temperatuur kunnen zorgen voor zo'n 30% variatie in de trillingen. Er is gemeten in een relatief warme periode, dit zorgt voor relatief hoge trillingen. De status van het spoor is onbekend. Op basis van bovenstaande verwachten we dat de huidige berekeningen mogelijk iets hogere trillingen geven dan bijvoorbeeld in de winterperiode.
2. Ten aanzien van de bodem geldt dat in een relatief droge periode is gemeten, waardoor de demping van de bodem lager is. Met name leem- en kleilagen kunnen indrogen waardoor de trillingen hoger zijn. Vooral op kortere afstanden tot het spoor (zoals bij de eerstelijnsbebouwing) kan dit ervoor zorgen dat de huidige berekeningen ca. 15% hogere trillingen geven dan in een klimatologisch normale periode. De invloed van variaties in de bodemopbouw is grotendeels ondervangen door het plaatsen van een groot aantal meetpunten. De invloed van lokale variaties in de bodem is daarmee beperkt.

3. Ten aanzien van de gebouwen geldt dat de huidige berekeningen zijn gebaseerd op metingen die in vergelijkbare gebouwen zijn uitgevoerd, zie bijlage II. Omdat er veel variatie tussen gebouwen zit, en ook tussen metingen, is deze onzekerheid relatief groot. Bij het realiseren van nieuwbouw kan op basis van bijvoorbeeld een VO van het geplande gebouw een nauwkeuriger predictie van de trillingen worden gemaakt. Hierbij kan gebruik worden gemaakt van de voor het huidige onderzoek uitgevoerde metingen.

Bovengenoemde onzekerheden zijn in dit onderzoek meegenomen door in de beoordeling op de SBR-richtlijn deel B een zone aan te geven waar sprake is van 'mogelijke overschrijdingen'. In deze zone kan in bepaalde worst-case situaties (nog drogere periode, lokale afwijkingen in de bodem, lokaal slechtere spoorligging) sprake zijn van overschrijdingen.

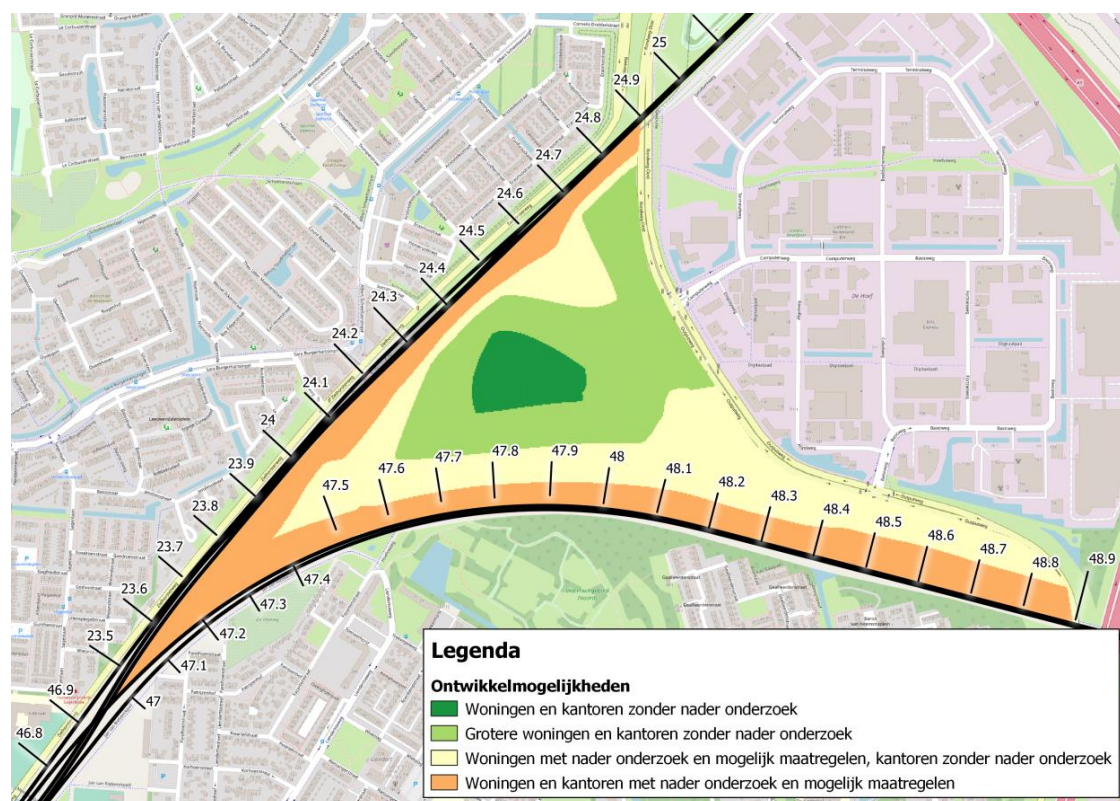
5 Conclusies en aanbevelingen

In het voorliggende onderzoek is de trillingssituatie in De Hoef in Amersfoort in beeld gebracht. Hiervoor is een meetonderzoek uitgevoerd in het plangebied en zijn berekeningen uitgevoerd om vast te stellen op welke afstand bepaalde gebouwfuncties en types gebouwen zonder aanvullende trillingsmaatregelen kunnen worden gerealiseerd.

Op basis van de resultaten van dit onderzoek adviseren wij het volgende voor de inrichting van het plangebied:

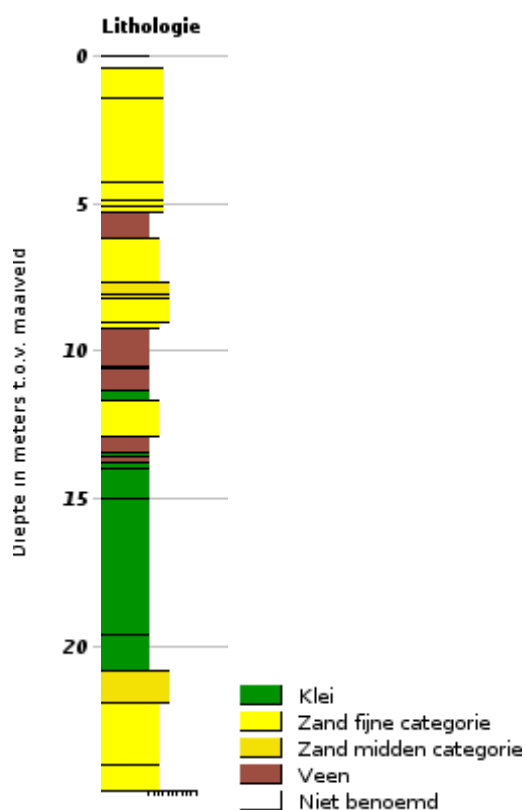
1. Maak, zeker in de zone tot 200 meter van het spoor, zoveel mogelijk gebruik van grotere gebouwen (hogere gebouwen en meer grondoppervlak). De trillingen zijn dan namelijk lager dan bij laagbouw en grondgebonden woningen.
2. Realiseer in de zone dichtbij het spoor (tot 150 meter bij laagbouw, tot 100 meter bij middenbouw) zoveel mogelijk gebouwen met een minder trillingsgevoelige functie, zoals kantoren of onderwijslocaties.
3. Gebruik de verder weggelegen zones voor woningbouw. Lokaal is een grotere (tot 200 meter) of kleinere (tot 60 meter) afstand tot het spoor mogelijk voor woningbouw dan de onder punt 2 genoemde zones. Woningbouw binnen de onder punt 2 genoemde zones is wel mogelijk, maar alleen na nader onderzoek (wanneer de gebouweigenschappen bekend zijn), en waar nodig met een geoptimaliseerd ontwerp (zoals een stijver geconstrueerd gebouw) of trillingsisolatie aan de gebouwen.

Een samenvatting van de ontwikkelmogelijkheden is weergegeven in onderstaande figuur.



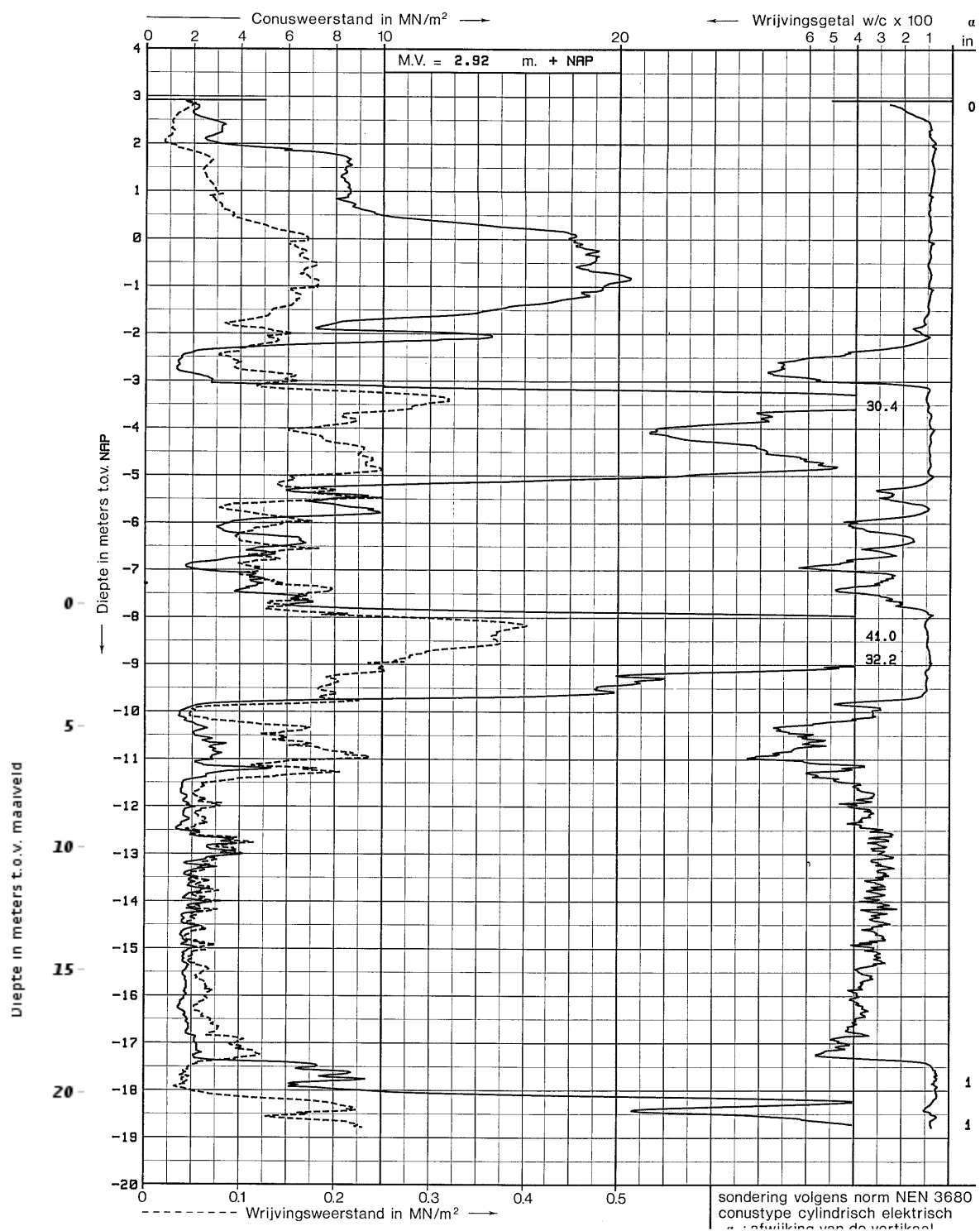
Bijlage geotechnisch bodemonderzoek

Deze bijlage bevat geotechnische achtergrondinformatie. Deze informatie is gebruikt in het rekenmodel om bijvoorbeeld de uitdamping van de trillingen met de afstand en het gedrag van de bebouwing te bepalen. Een boring in het onderzoeksgebied (nr. B32B0558) is weergegeven in Figuur 18. Hier is te zien dat de bodem voornamelijk is opgebouwd uit zandlagen, op grotere diepte komen ook klei- en veenlagen voor. Met name door de aanwezigheid van zand in de toplagen dempen de trillingen slecht uit met de afstand.

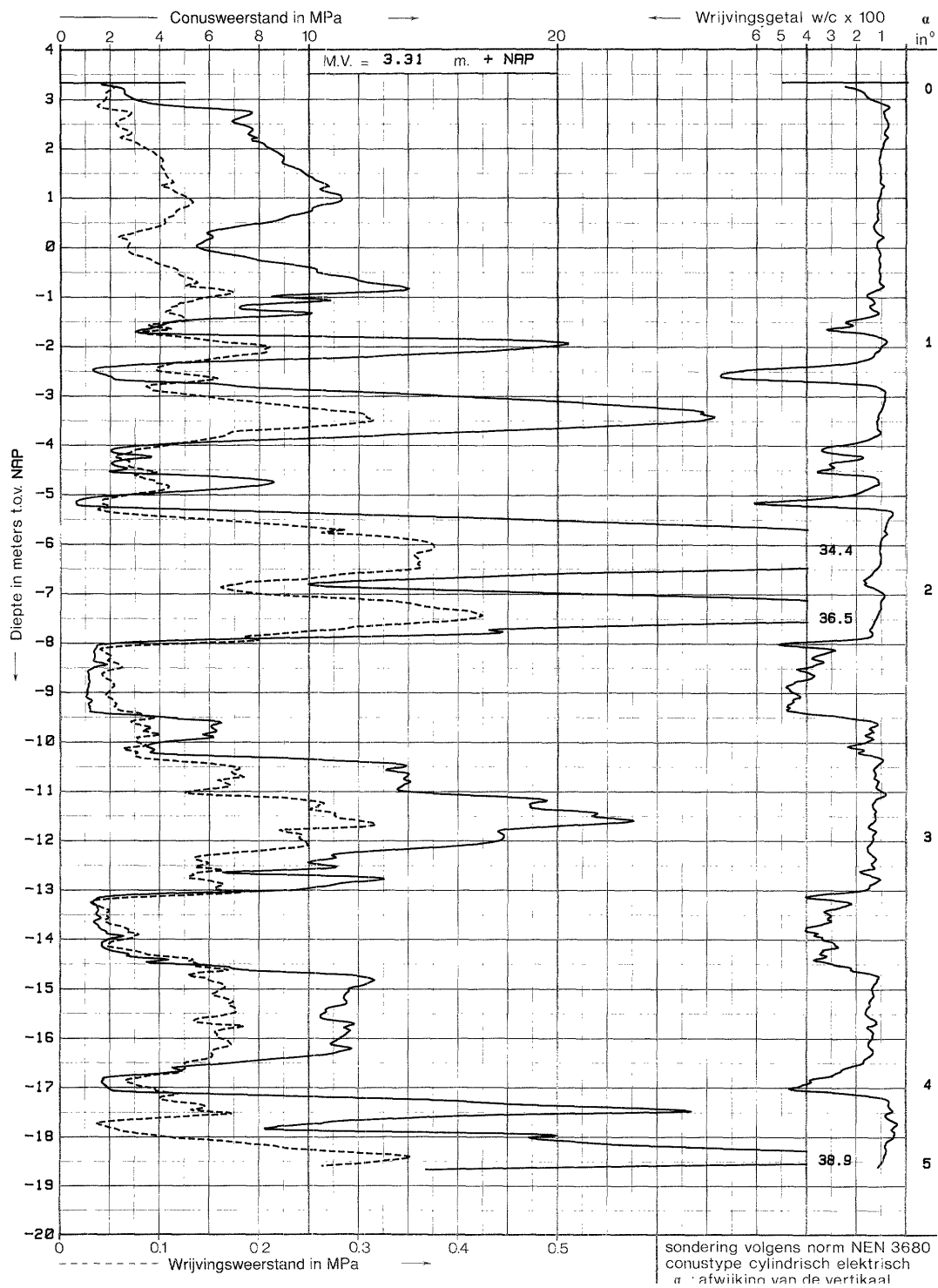


Figuur 18 Boring nabij het onderzoeksgebied, B32B0558

Twee representatieve sonderingen uit het onderzoeksgebied, waarin de gelaagde bodemopbouw ook goed zichtbaar is, zijn weergegeven in Figuur 19 en Figuur 20.



Figuur 19 Sondering in het onderzoeksgebied, S32B00471



Figuur 20 Sondering in het onderzoeksgebied, S32B00478

Bijlage rekenmodel

Toelichting rekenmodel

In dit rapport is gebruik gemaakt van het door We-Boost Data ontwikkelde rekenmodel Buildyn om de trillingen in de geplande bebouwing te berekenen. Dit rekenmodel bevat een aantal modules:

1. Een module om op basis van een ruimtelijk GIS-model de trillingen in een plangebied te berekenen. Deze module maakt op basis van gegevens uit het Geluidregister Spoor, de lokale bodemopbouw en situatie en ruim 400 metingen in gebouwen in heel Nederland, een berekening van de verwachte trillingen in gebouwen op basis van een aantal kenmerken.
2. Een module op basis van een zogenaamd beam-element model (BEM) waarin gebouwen gemodelleerd en doorgerekend worden. Deze module wordt gebruikt om nauwkeurige trillingspredicties in gebouwen op te stellen, maar is in dit onderzoek niet gebruikt omdat er geen specifieke gegevens van de bebouwing beschikbaar zijn. Deze module is geijkt met praktijkresultaten uit ruim 200 metingen in gebouwen.

In het voorliggende onderzoek is gebruik gemaakt van module 1, deze module wordt in deze bijlage nader toegelicht.

Opzet GIS-module rekenmodel

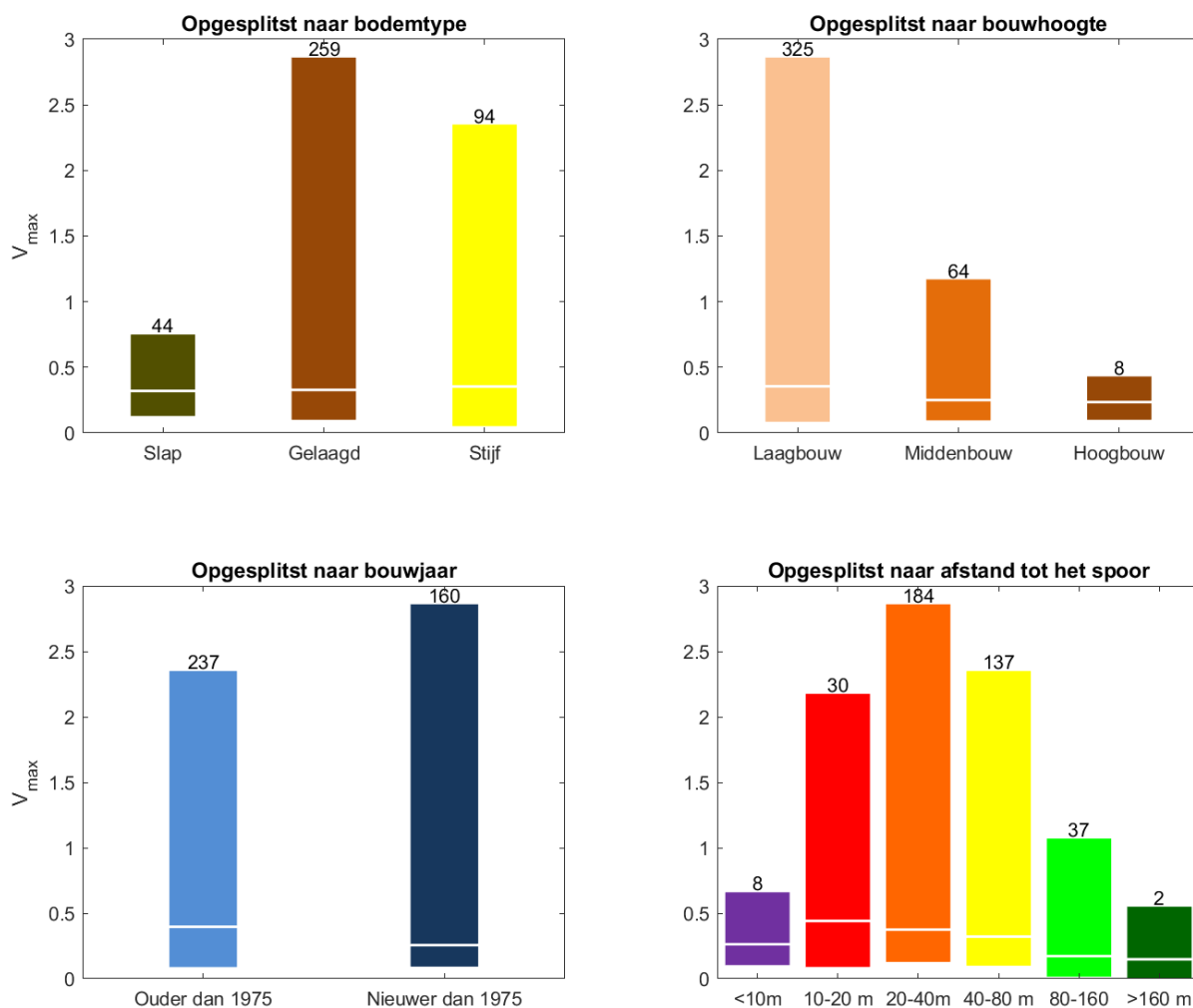
De GIS-module in Buildyn berekent de trillingen van trein-, metro- of tramverkeer op een willekeurig punt op basis van een rekenmodel gebaseerd op een data-analyse met niet-lineaire regressie op 400 metingen die in Nederland zijn uitgevoerd door diverse onderzoeks- en adviesbureaus, en waarvan de meetresultaten publiek beschikbaar zijn (bijvoorbeeld via rapportages op www.ruimtelijkeplannen.nl). Hiervoor is een database aangelegd waarbij de kenmerken van deze metingen (bijvoorbeeld gebouweigenschappen (zoals bouwjaar, hoogte, type constructie, type vloer), bodemeigenschappen (zoals type bodem, geotechnische gegevens, hoogte van het terrein) en eigenschappen van de trillingsbron (zoals type treinen, rijsnelheid, aanwezigheid van wissels, type spoorconstructie) zijn vastgelegd.

Op deze database is met kunstmatige intelligentietechnieken (supervised learning en random forest) een niet-lineaire regressie uitgevoerd, waarmee een algoritme is gemaakt dat voor een willekeurige, niet-gemeten situatie de trillingen berekent op basis van de eigenschappen van die locatie. Een aantal tussenresultaten van het model op de trainingsset van ruim 400 gebouwen is weergegeven in Figuur 21. In deze figuur is het volgende te zien:

1. Bodem: de breedte van de trillingen (weergegeven als de balk) is het grootst bij een gelaagde bodem. Dat is verklaarbaar omdat de onzekerheid in de bodemopbouw daar vaak het grootst is. Ook bij zandbodems is een grote variatie zichtbaar, dat komt omdat de ligging van het spoor en de aanwezigheid van bijvoorbeeld wissels en slechte overwegen daar veel meer invloed heeft dan op een slappe bodem. De mediaan van

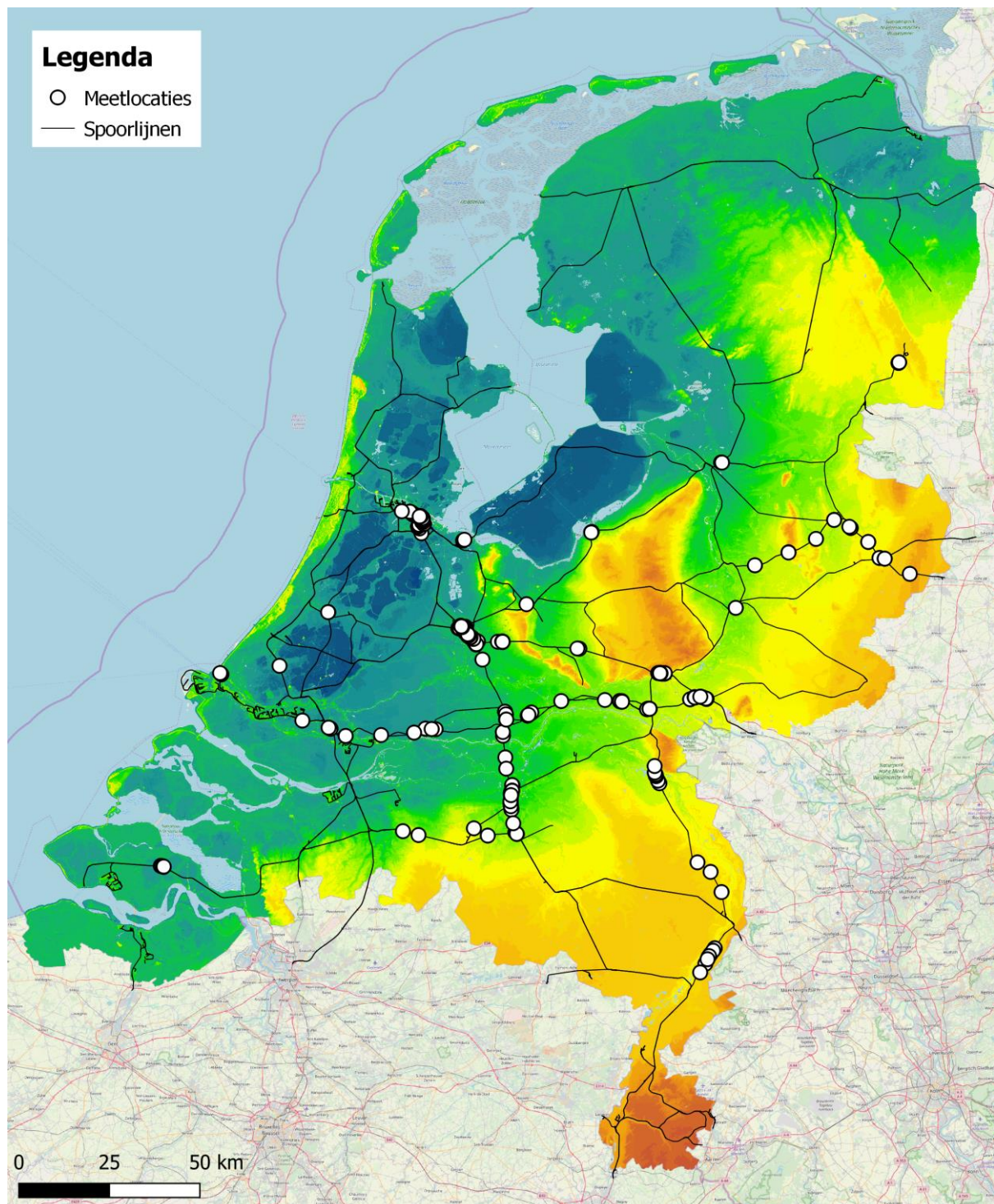
de trillingen (de witte lijn) verschilt niet significant tussen de verschillende bodemtypes.

2. Gebouwhoogte: de trillingen nemen significant af in hogere gebouwen. Dit komt vooral door een stijvere constructie en grotere massa, waardoor de gebouwen minder snel in beweging worden gebracht.
3. Bouwjaar: de mediane of middelste trillingsniveaus (weergegeven met de witte lijn) zijn bij oude gebouwen significant hoger dan bij nieuwe gebouwen. Dit komt doordat oude gebouwen vaak houten vloeren hebben, en daardoor gevoeliger zijn voor trillingen. Er is geen significant verschil in de maximale trillingssterkte tussen nieuwe en oude gebouwen. Dit komt vooral doordat bij enkele nieuwe gebouwen dichtbij een spoorwegovergang een significant afwijkend trillingsniveau is gemeten.
4. Afstand tot het spoor: zoals verwacht nemen de trillingen af met de afstand tot het spoor. Duidelijk zichtbaar is wel dat op korte afstand tot het spoor niet altijd de hoogste trillingen optreden (doordat de trillingsgolven daar nog niet goed zijn ontwikkeld) en dat ook op grote afstand (meer dan 160 meter) vrij hoge trillingen kunnen optreden.



Figuur 21 Enkele classificaties van de metingen zoals gebruikt in Buildyn

De locaties van de gebruikte metingen zijn weergegeven in Figuur 22. Er is een goede geografische spreiding in het midden van het land, in de noordelijke provincies zijn geen of minder meetlocaties.

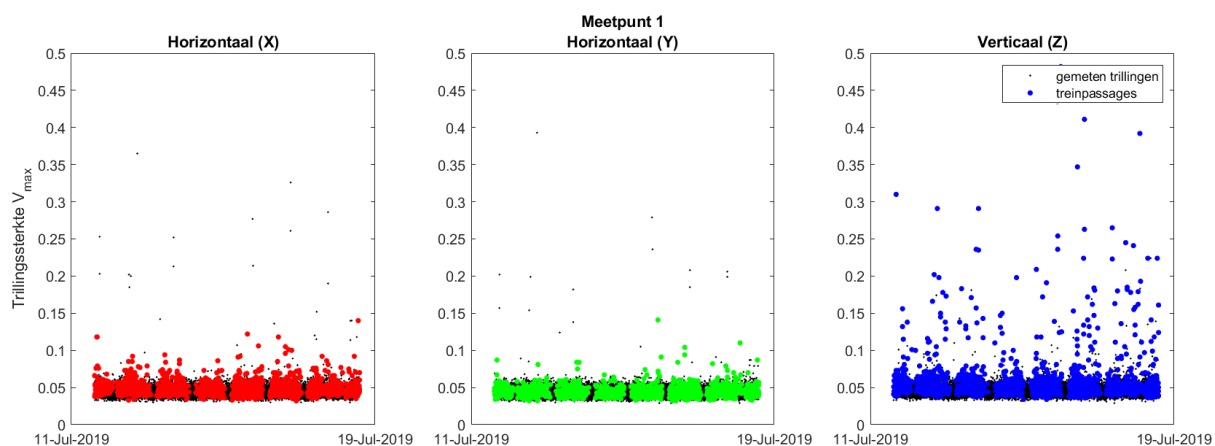


Figuur 22 Locaties van metingen gebruikt in Buildyn, geprojecteerd op een hoogtekaart van Nederland

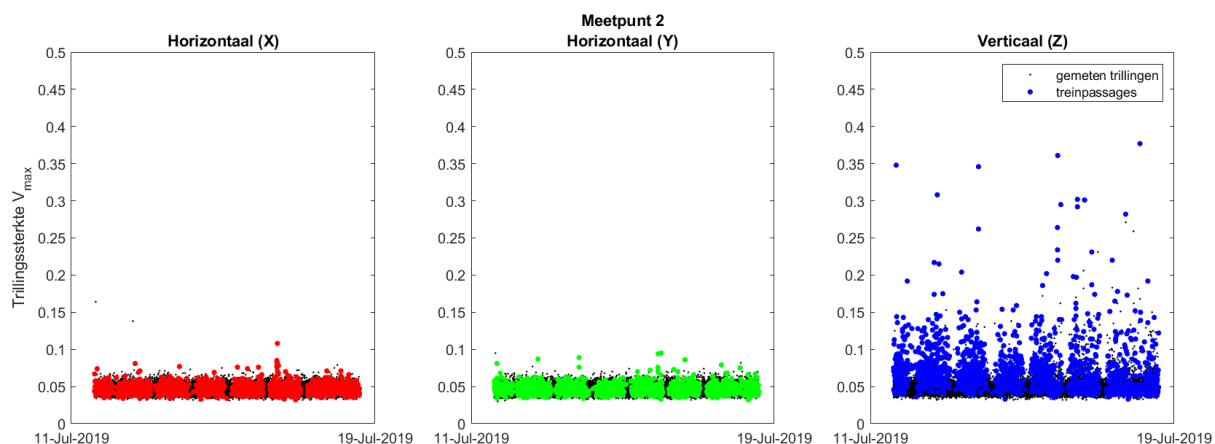


Bijlage meetresultaten Alcedo

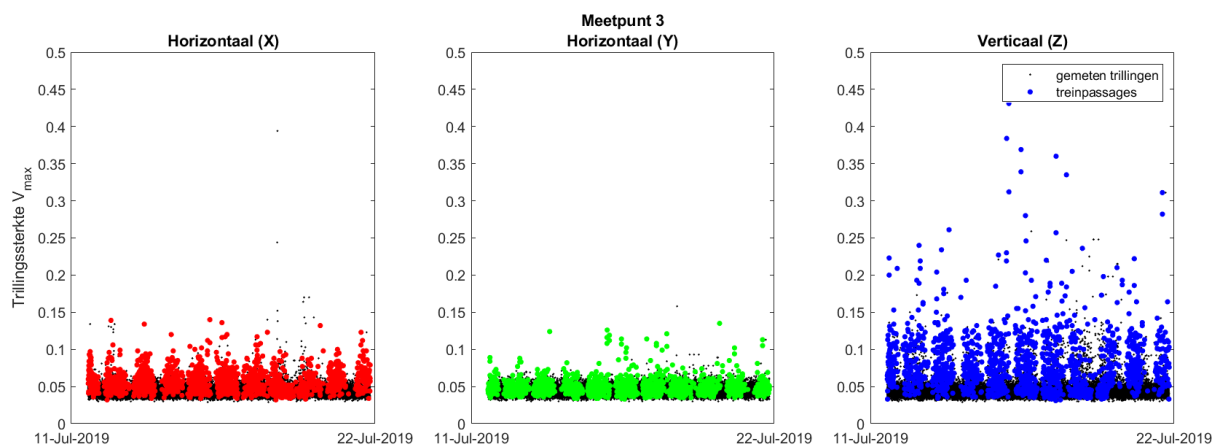
Deze bijlage bevat de resultaten van de metingen van Alcedo. Per meetpunt is de trillingssterkte (V_{max}) per 30 seconden als functie van de tijd weergegeven.



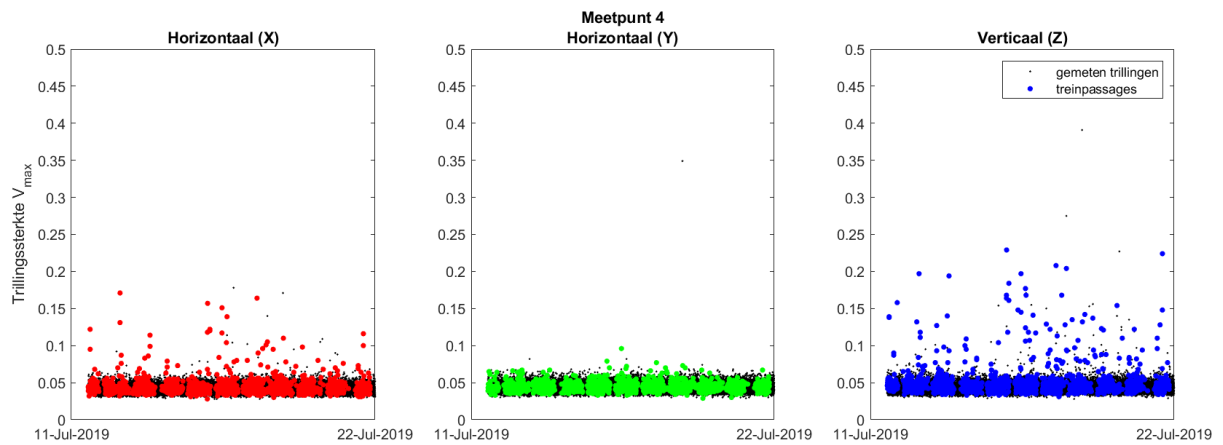
Figuur 23 Trillingen als functie van de tijd bij meetpunt 1



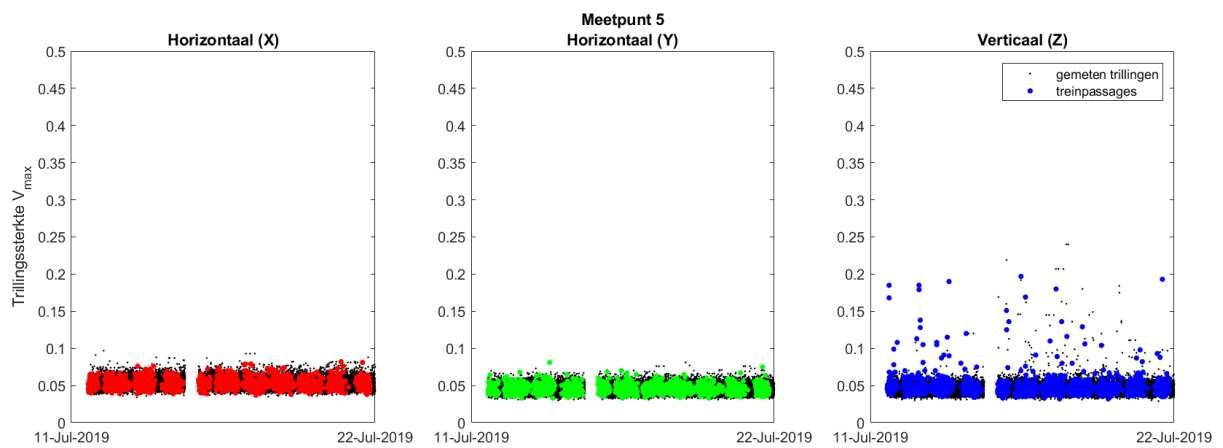
Figuur 24 Trillingen als functie van de tijd bij meetpunt 2



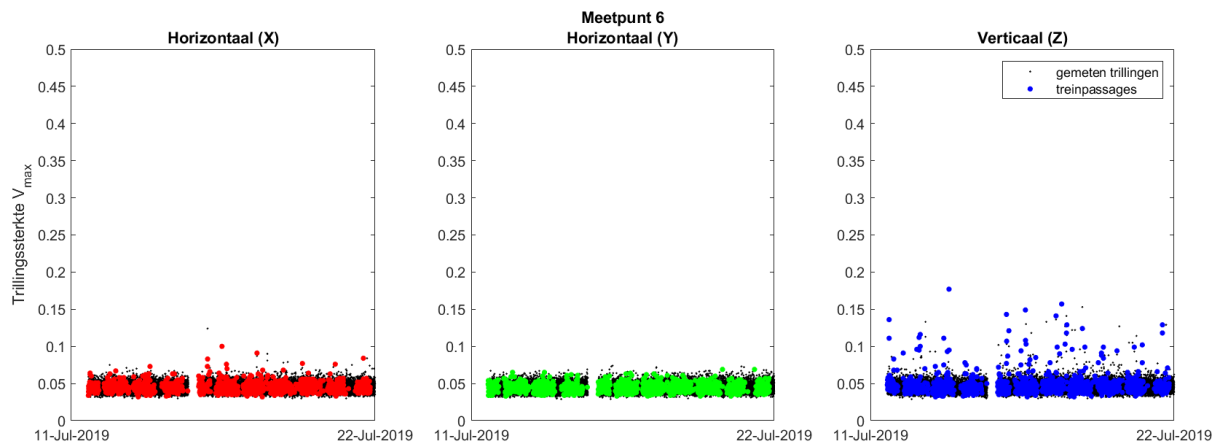
Figuur 25 Trillingen als functie van de tijd bij meetpunt 3



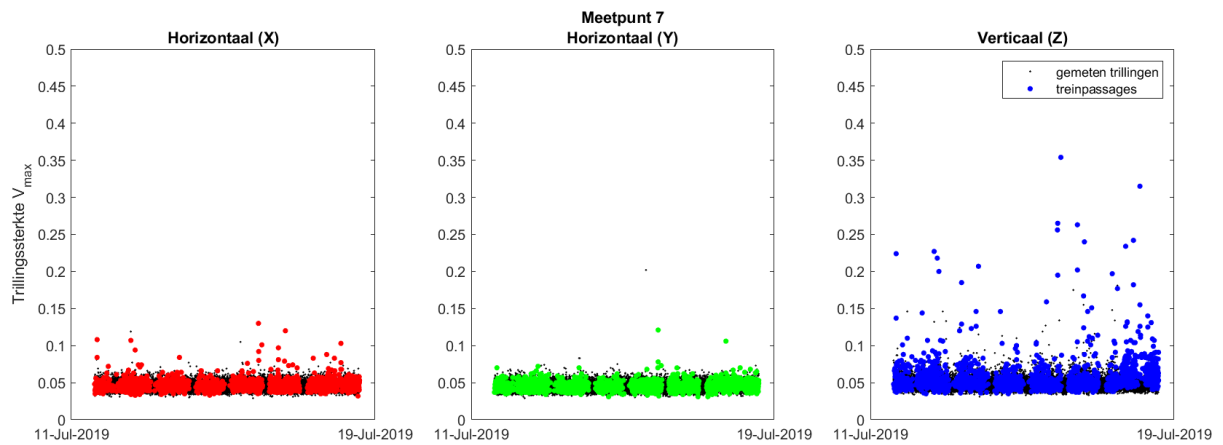
Figuur 26 Trillingen als functie van de tijd bij meetpunt 4



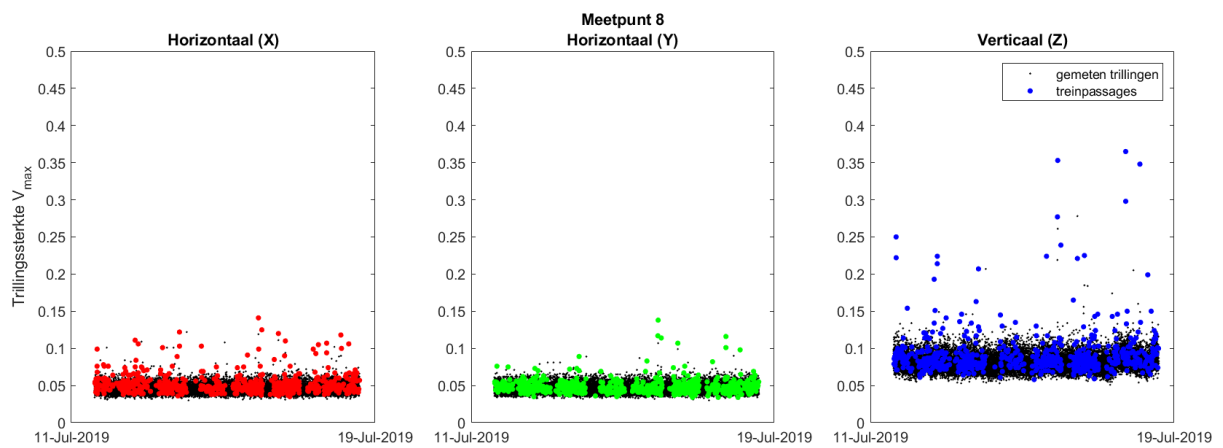
Figuur 27 Trillingen als functie van de tijd bij meetpunt 5



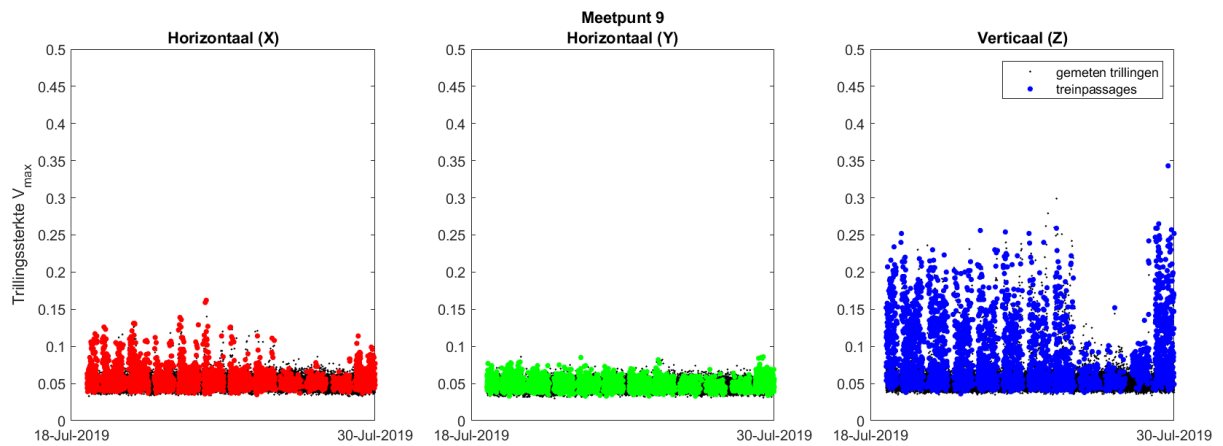
Figuur 28 Trillingen als functie van de tijd bij meetpunt 6



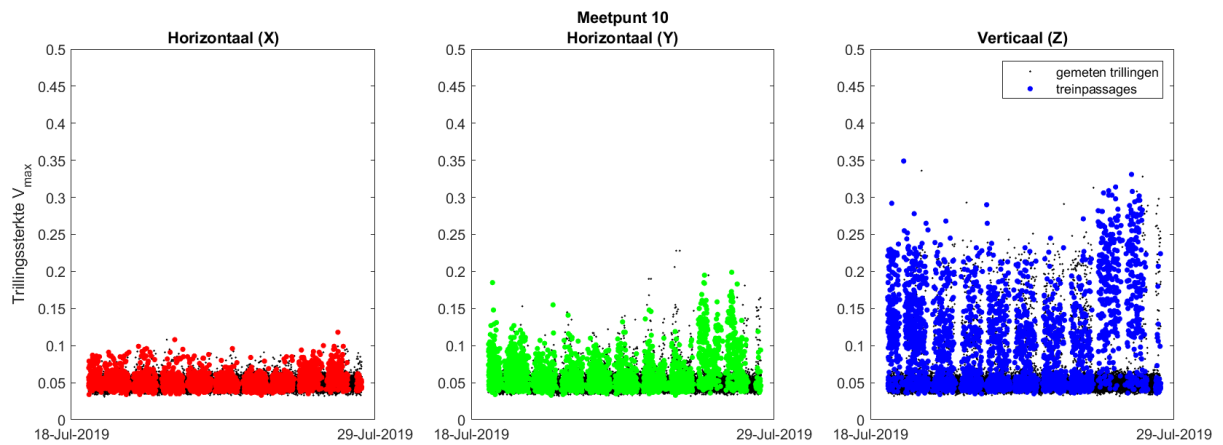
Figuur 29 Trillingen als functie van de tijd bij meetpunt 7



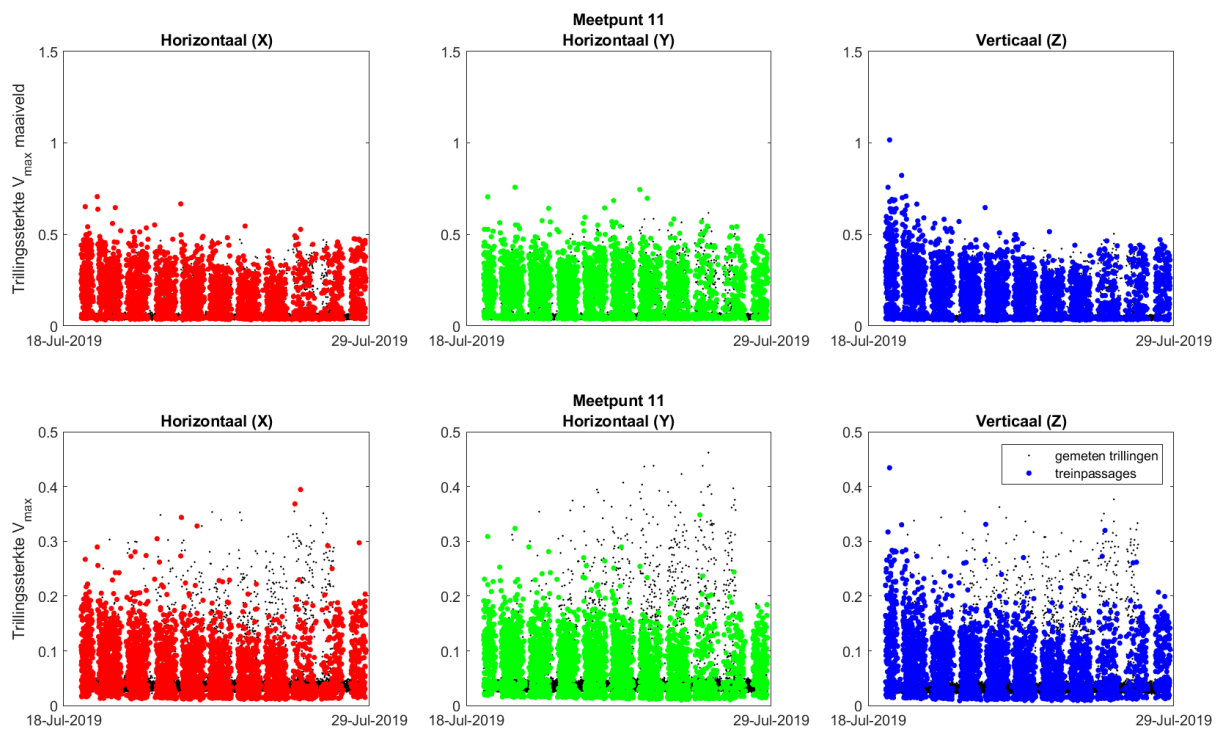
Figuur 30 Trillingen als functie van de tijd bij meetpunt 8



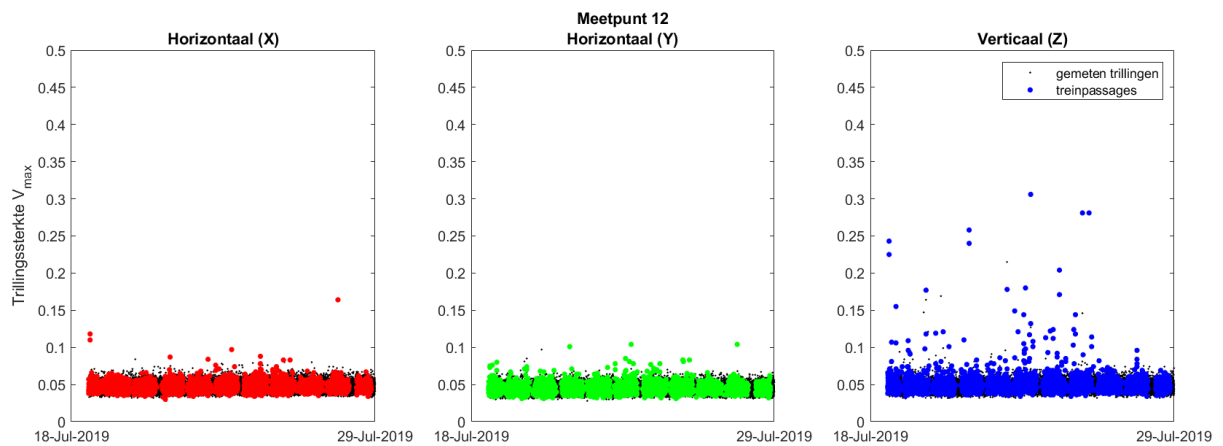
Figuur 31 Trillingen als functie van de tijd bij meetpunt 9



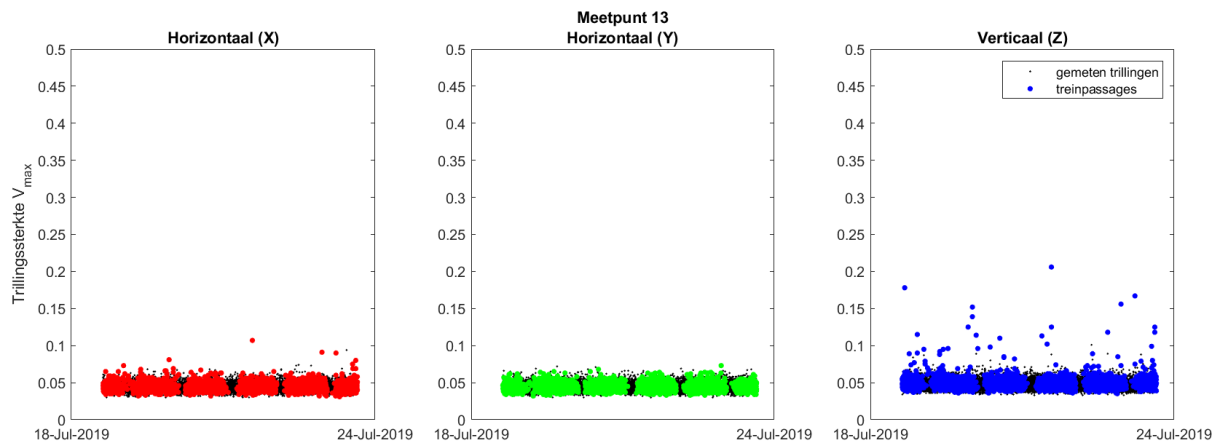
Figuur 32 Trillingen als functie van de tijd bij meetpunt 10



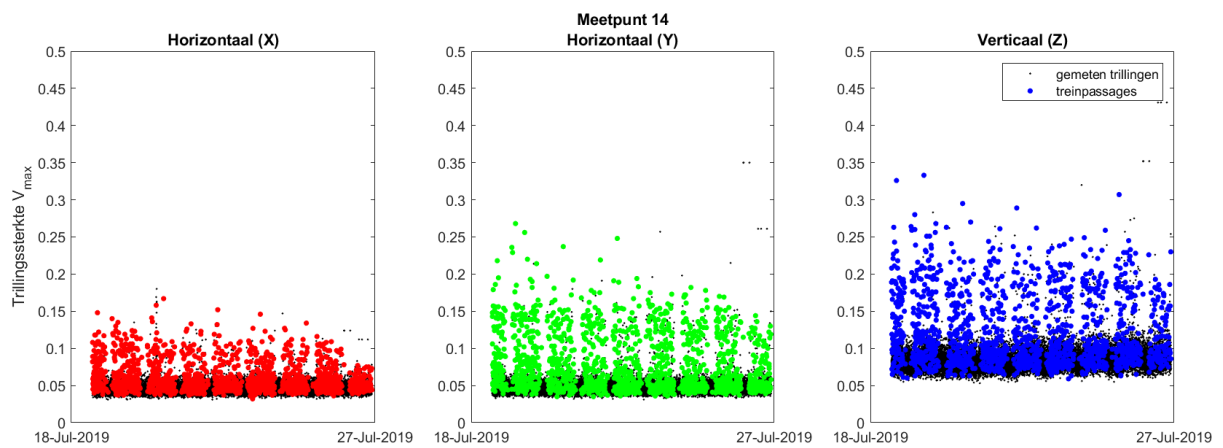
Figuur 33 Trillingen als functie van de tijd bij meetpunt 11. Boven de werkelijke meetdata (op maaiveld), onder de gecorrigeerde meetdata (vertaald naar funderingspunt)



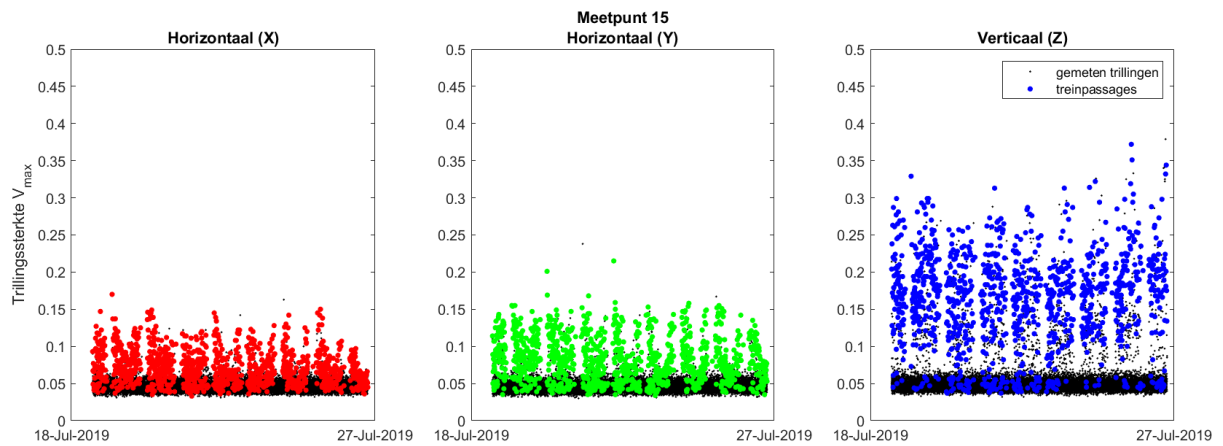
Figuur 34 Trillingen als functie van de tijd bij meetpunt 12



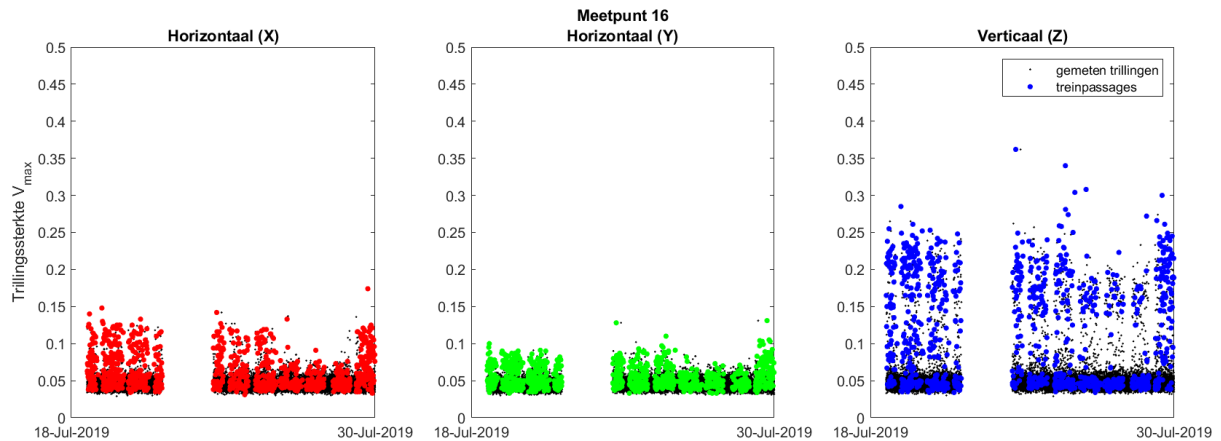
Figuur 35 Trillingen als functie van de tijd bij meetpunt 13



Figuur 36 Trillingen als functie van de tijd bij meetpunt 14

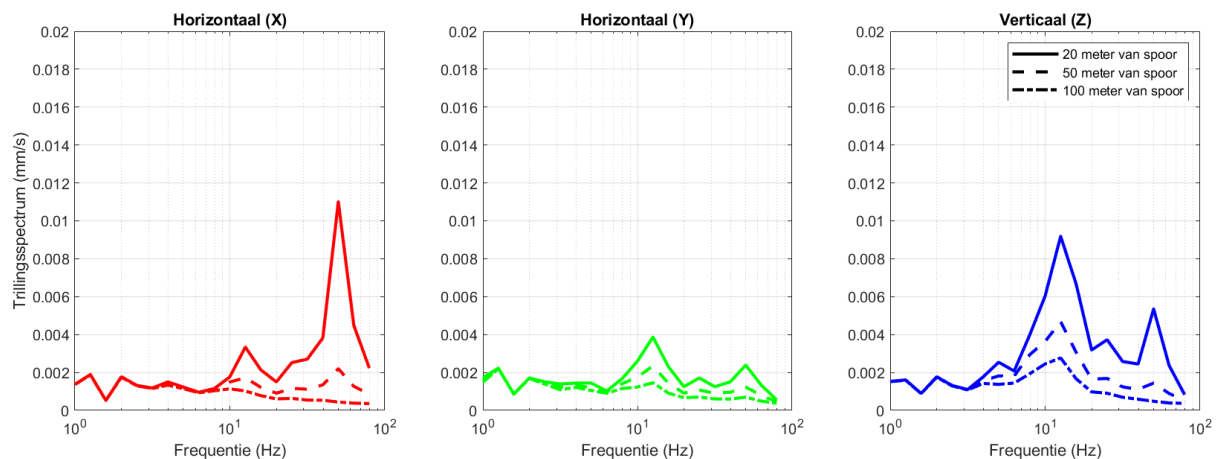


Figuur 37 Trillingen als functie van de tijd bij meetpunt 15



Figuur 38 Trillingen als functie van de tijd bij meetpunt 16

Op vier meetpunten (zie hoofdstuk 2 en 4) zijn ook tijdssignalen geregistreerd. Deze tijdssignalen zijn vertaald naar tertsbandspectra, de gemiddelde trillingsspectra zijn weergegeven in Figuur 39. Hier is goed te zien dat de trillingen vanaf ca. 6 Hz uitdempsen met de afstand.

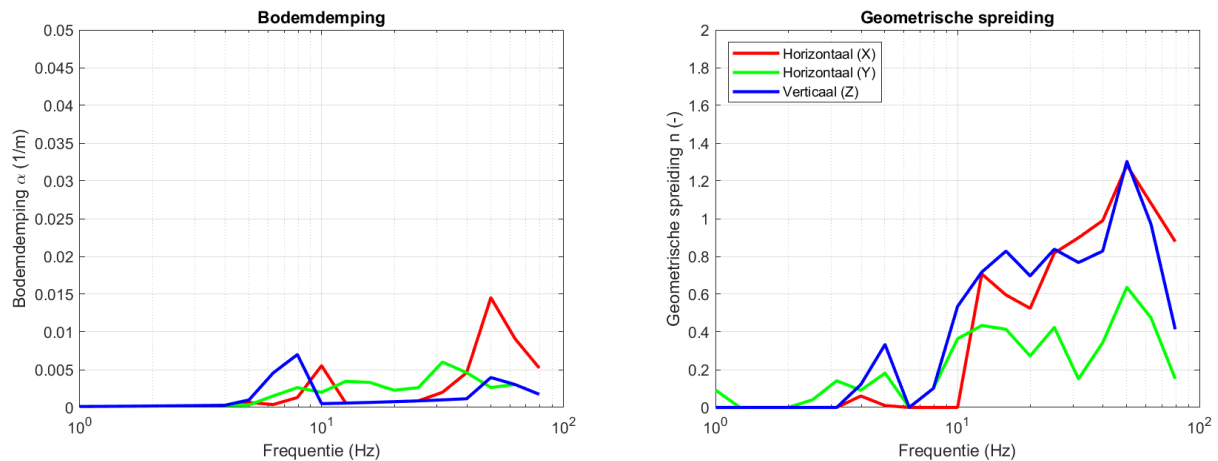


Figuur 39 Trillingsspectra op meetpunt 3, 4 en 5

Met behulp van deze trillingsspectra is de uitdemping van de trillingen met de afstand bepaald. Voor deze uitdemping van de trillingen met de afstand wordt de Barkanvergelijking gebruikt (zie vergelijking 1).

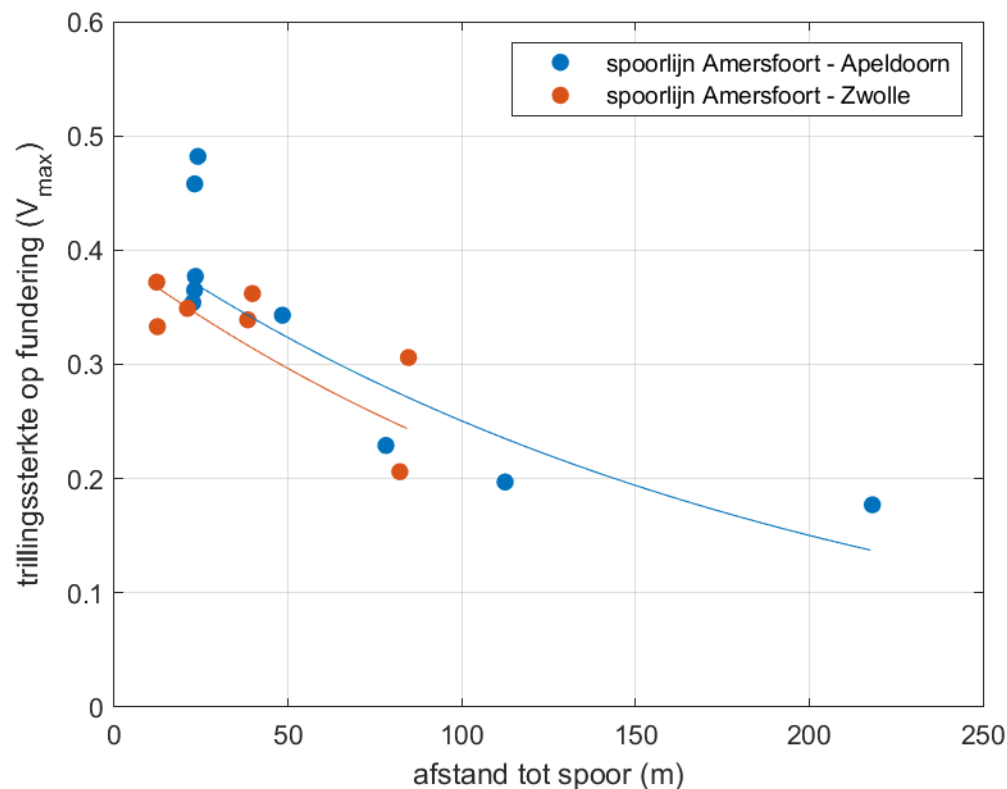
$$V(r) = V(r_0) \left(\frac{r_0}{r} \right)^n e^{-\alpha(r-r_0)} \quad (1)$$

Hierbij is $V(r)$ de trillingssterkte op een willekeurige afstand r , r_0 is een referentieafstand (hier 20 meter), α is de bodemdemping (zie Figuur 40) en n is de geometrische uitspreiding van de trillingsgolf (zie Figuur 40). Deze resultaten zijn verwerkt in de kalibratie van het rekenmodel.



Figuur 40 Bodemdemping α (links) en geometrische spreidingsfactor n (rechts) in het plangebied

Tenslotte zijn in Figuur 41 de gemeten trillingssterktes per meetpunt uitgezet tegen de afstand tot het spoor. Door de punten is een Barkanvergelijking gefit. Uit de resultaten is te zien dat de trillingen langs de spoorlijn Amersfoort – Apeldoorn iets hoger zijn dan langs de spoorlijn Amersfoort – Zwolle, maar dat de afname van de trillingen met de afstand vergelijkbaar is.



Figuur 41 Gemeten trillingssterkte V_{max} op de fundering, als functie van de afstand. De lijn is een door de data gefitte Barkanvergelijking

IV

Bijlage kaartmateriaal

Deze bijlage bevat A3-kaarten met contouren van de berekende trillingen. Er zijn kaarten opgenomen voor de volgende situaties:

1. Gebouwfunctie *wonen*
 - a. Laagbouw (lager dan 12 m)
 - b. Middenbouw (12 – 50 m hoog)
2. Gebouwfunctie *kantoor* en *onderwijs*
 - a. Laagbouw (lager dan 12 m)
 - b. Middenbouw (12 – 50 m hoog)

Voor elk van de 4 situaties zijn de volgende kaarten weergegeven:

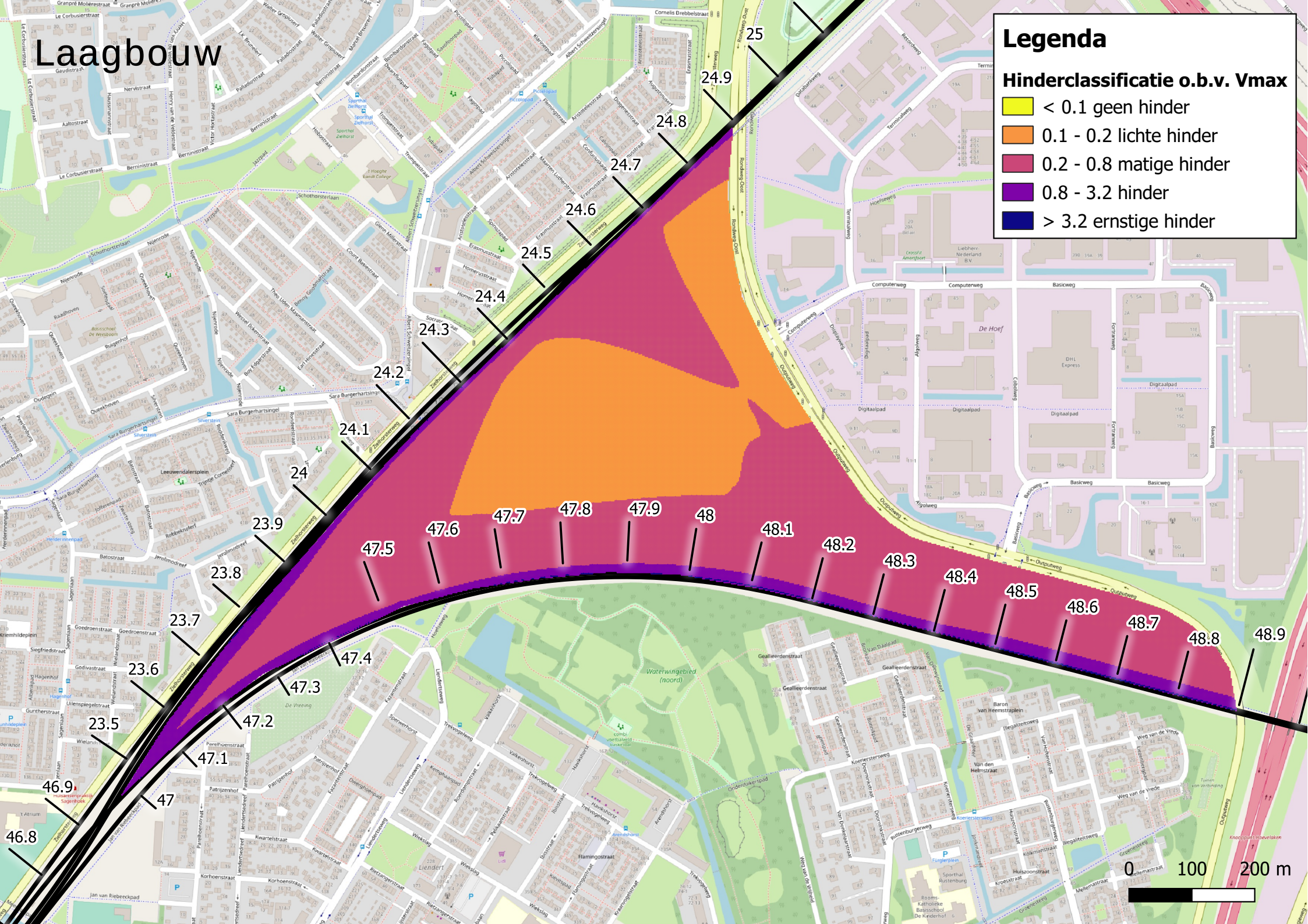
1. Een kaart met een beoordeling van de trillingen conform de SBR B-richtlijn voor nieuwe situaties. Hierbij worden drie klassen gehanteerd, voor gebouwen met een functie *wonen* en voor gebouwen met een functie *kantoor*:
 - Groen: Voldoet aan de streefwaarden. Hier kan zonder maatregelen gebouwd worden.
 - Geel: Voldoet mogelijk aan de streefwaarden, maar valt binnen onzekerheidsmarge model. In deze zone dient tijdens het ontwerpproces van nieuwbouw rekening te worden gehouden met trillingen, of zijn maatregelen nodig om te voldoen aan het beoordelingskader.
 - Oranje: Voldoet niet aan de streefwaarden. In deze zone dient tijdens het ontwerpproces van nieuwbouw rekening te worden gehouden met trillingen, of zijn maatregelen nodig om te voldoen aan het beoordelingskader.
2. Een kaart met contouren conform bijlage 5 van de SBR B-richtlijn, gebaseerd op de verwachtingswaarden uit het rekenmodel

Laagbouw

Legenda

Hinderclassificatie o.b.v. Vmax

- < 0.1 geen hinder
- 0.1 - 0.2 lichte hinder
- 0.2 - 0.8 matige hinder
- 0.8 - 3.2 hinder
- > 3.2 ernstige hinder

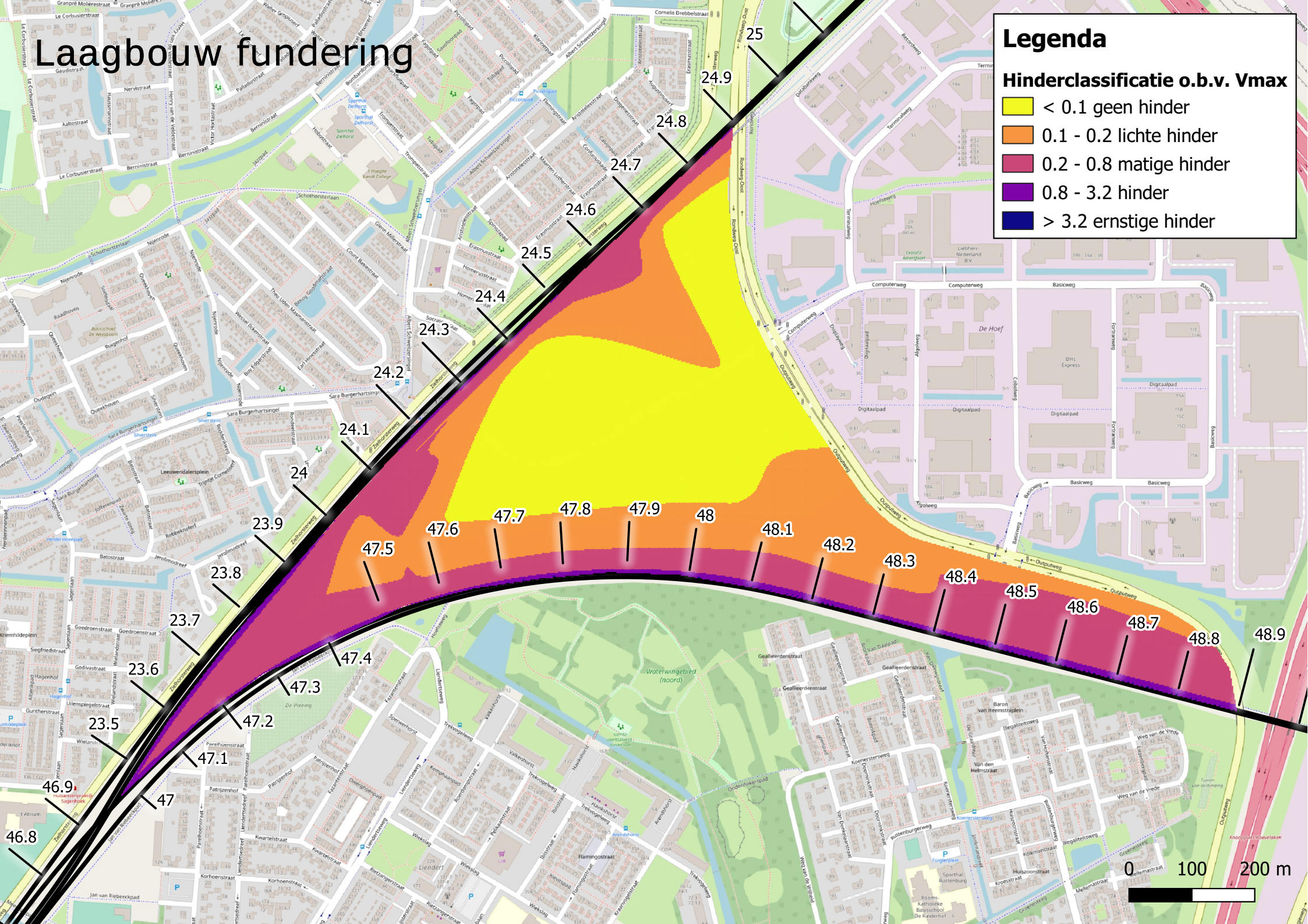


Laagbouw fundering

Legenda

Hinderclassificatie o.b.v. Vmax

- < 0.1 geen hinder
- 0.1 - 0.2 lichte hinder
- 0.2 - 0.8 matige hinder
- 0.8 - 3.2 hinder
- > 3.2 ernstige hinder

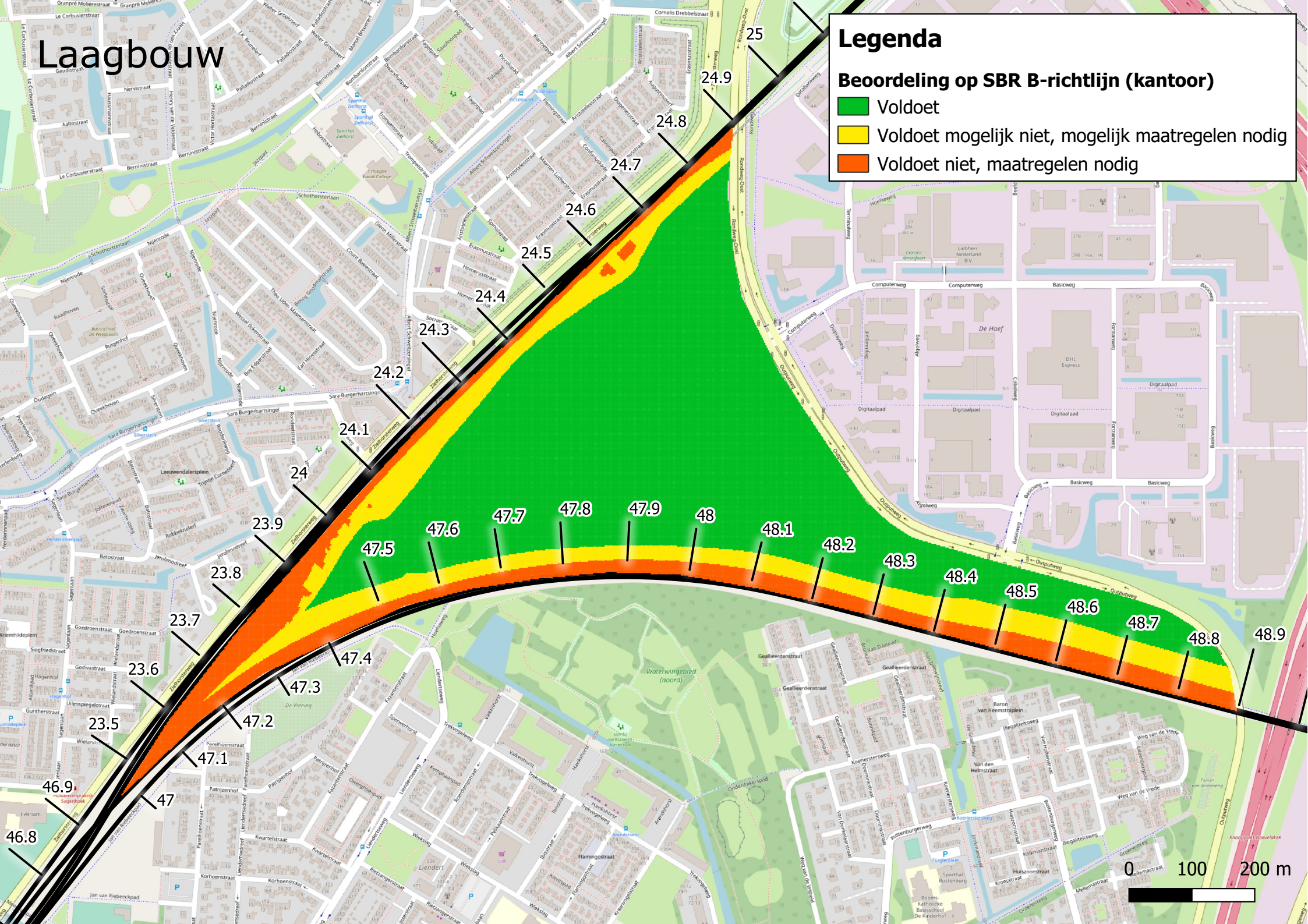


Laagbouw

Legenda

Beoordeling op SBR B-richtlijn (kantoor)

- Voldoet
- Voldoet mogelijk niet, mogelijk maatregelen nodig
- Voldoet niet, maatregelen nodig

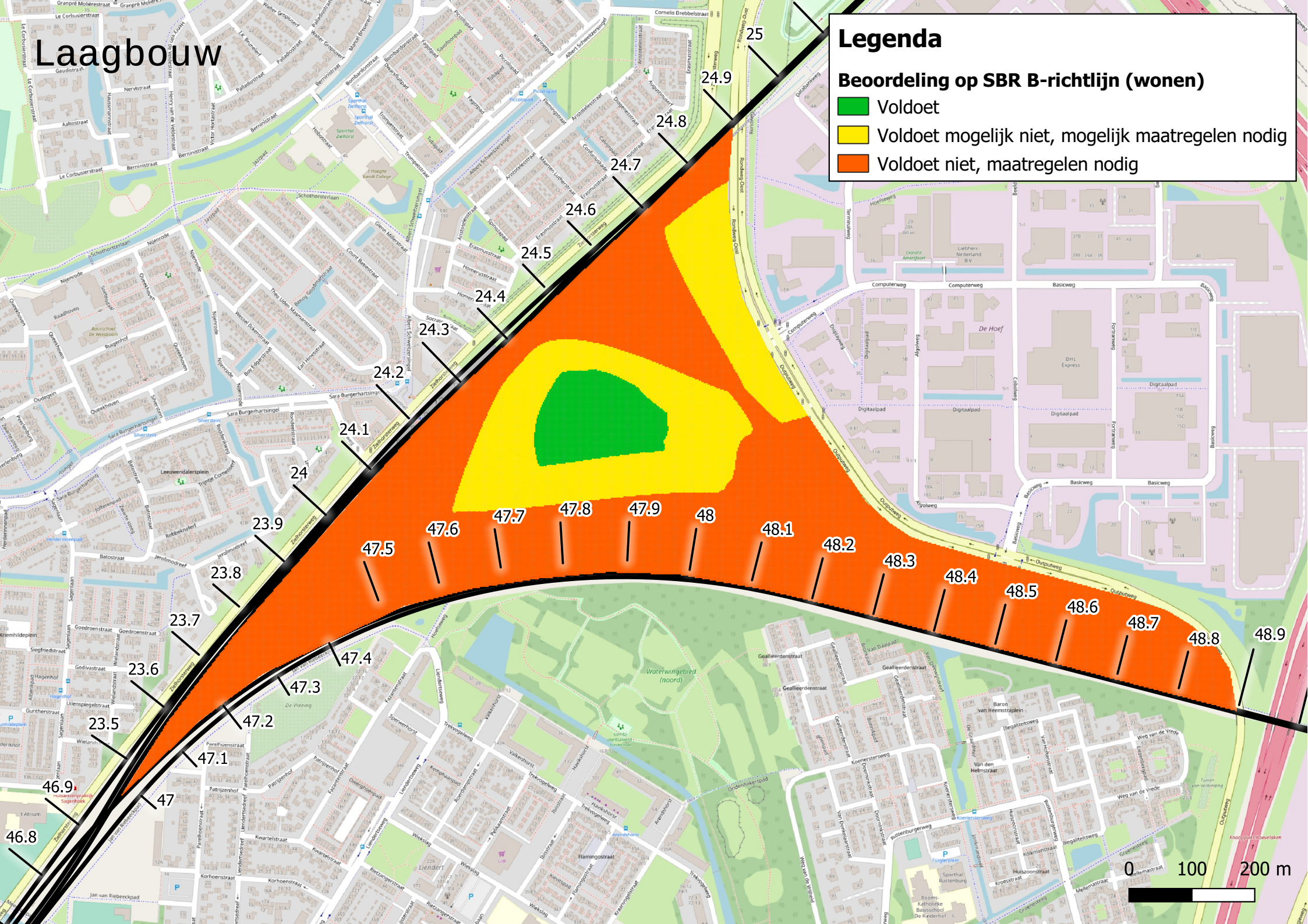


Laagbouw

Legenda

Beoordeling op SBR B-richtlijn (wonen)

- Voldoet
- Voldoet mogelijk niet, mogelijk maatregelen nodig
- Voldoet niet, maatregelen nodig

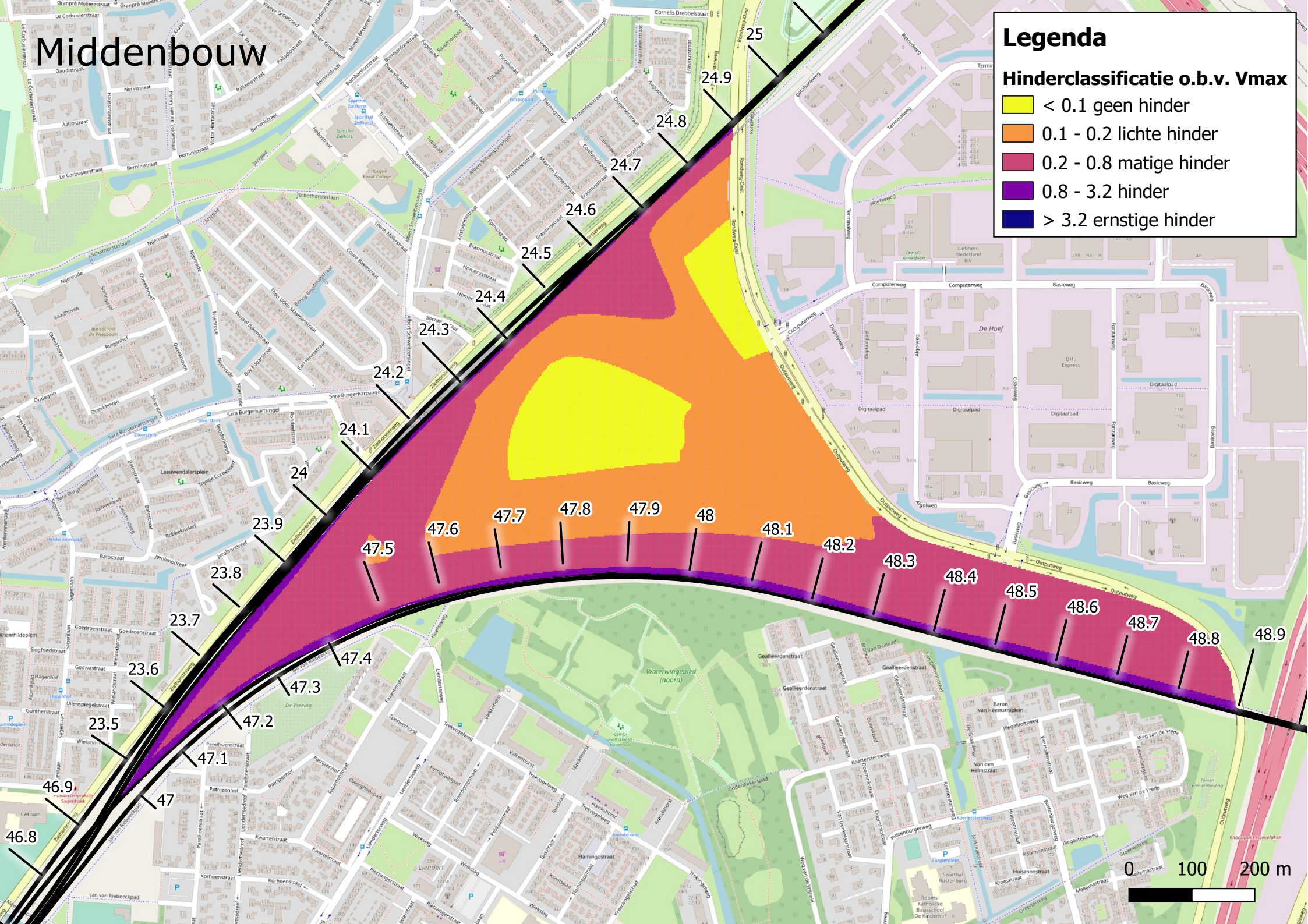


Middenbouw

Legenda

Hinderclassificatie o.b.v. Vmax

- < 0.1 geen hinder
- 0.1 - 0.2 lichte hinder
- 0.2 - 0.8 matige hinder
- 0.8 - 3.2 hinder
- > 3.2 ernstige hinder



Middenbouw fundering

Legenda

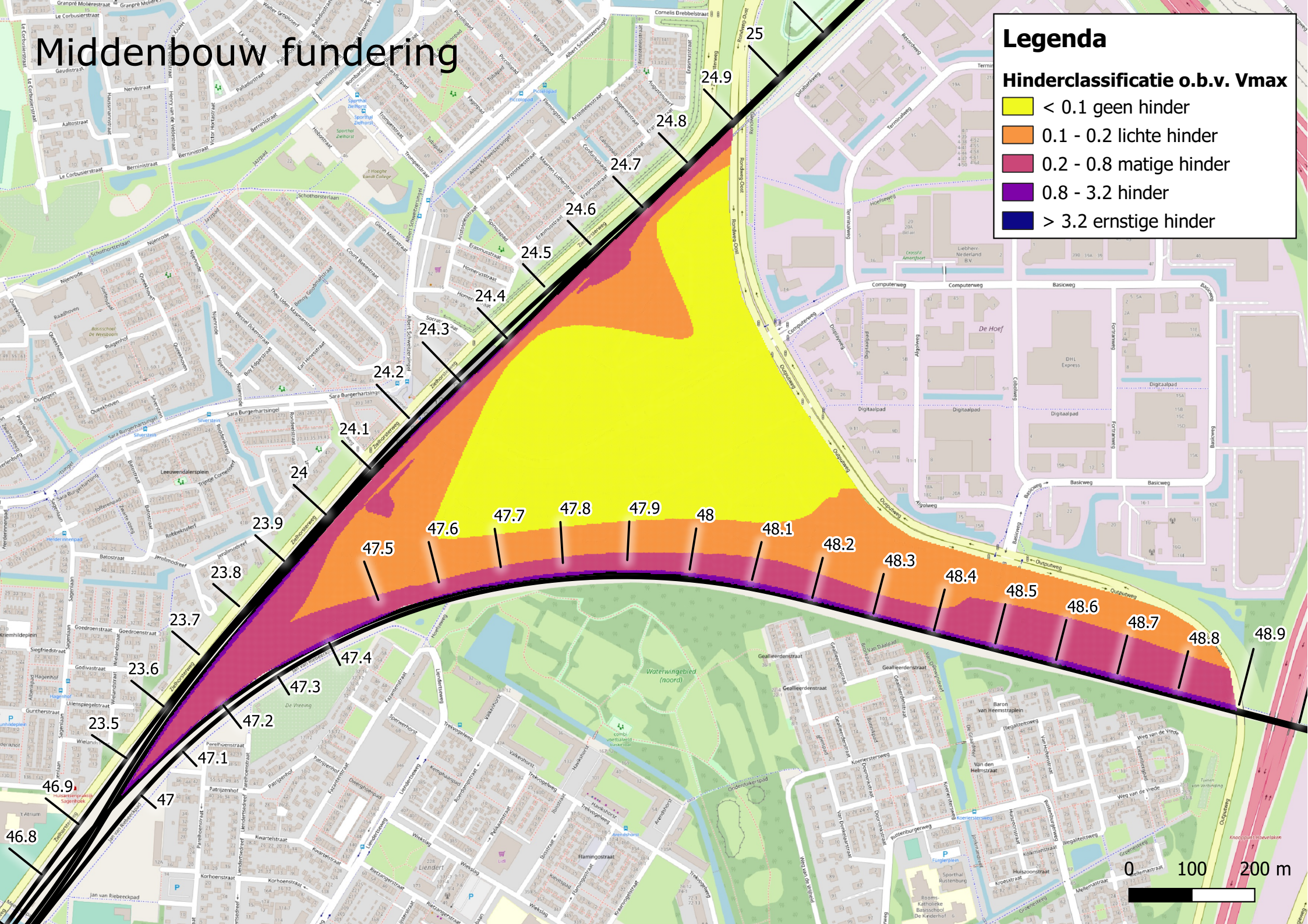
Hinderclassificatie o.b.v. Vmax

- < 0.1 geen hinder
- 0.1 - 0.2 lichte hinder
- 0.2 - 0.8 matige hinder
- 0.8 - 3.2 hinder
- > 3.2 ernstige hinder

0 100 200 m

Hinderclassificatie o.b.v. Vmax

- | | |
|---|-------------------------|
|  | < 0.1 geen hinder |
|  | 0.1 - 0.2 lichte hinder |
|  | 0.2 - 0.8 matige hinder |
|  | 0.8 - 3.2 hinder |
|  | > 3.2 ernstige hinder |



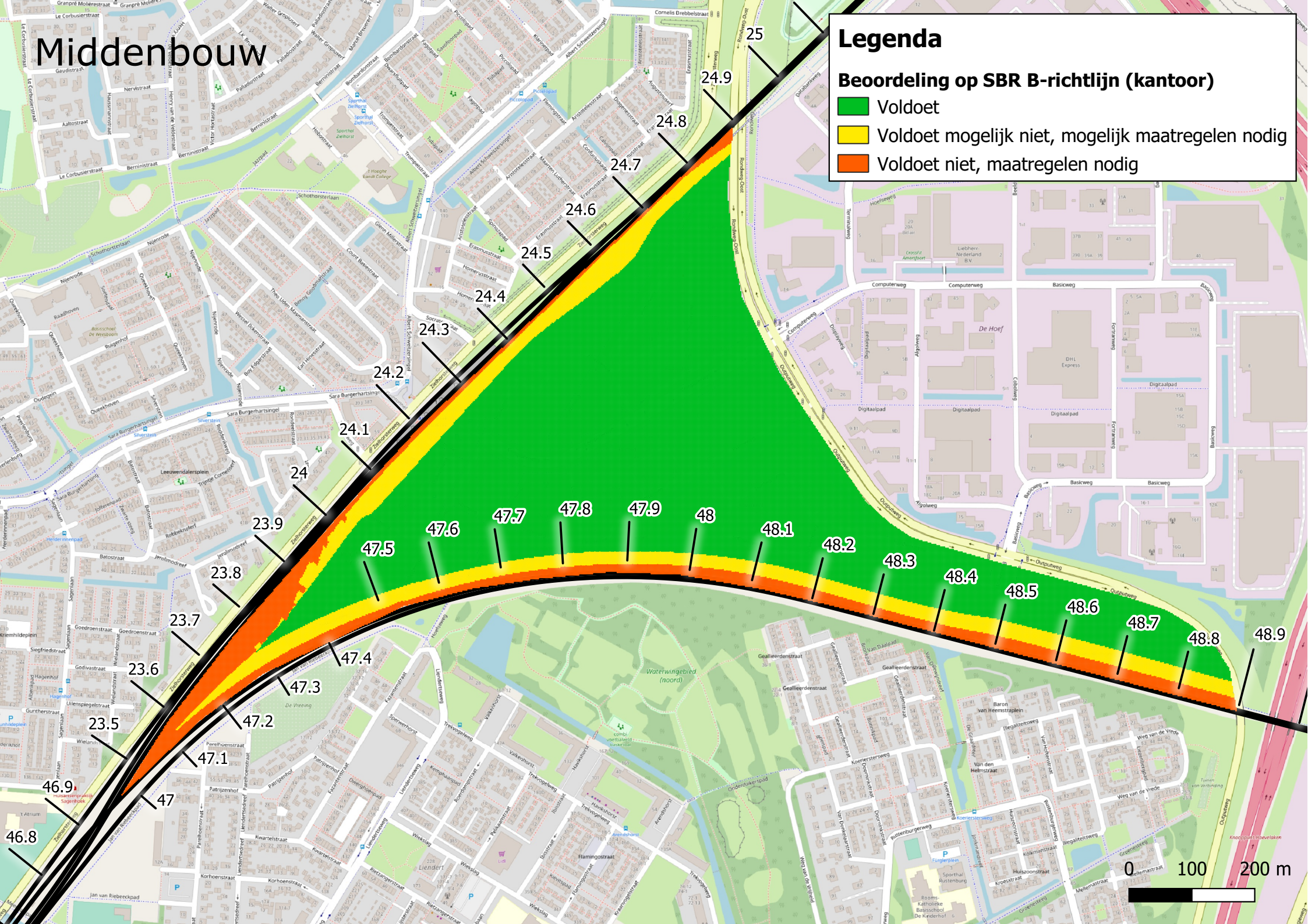
0 100 200 m

Middenbouw

Legenda

Beoordeling op SBR B-richtlijn (kantoor)

- Voldoet
- Voldoet mogelijk niet, mogelijk maatregelen nodig
- Voldoet niet, maatregelen nodig



Middenbouw

Legenda

Beoordeling op SBR B-richtlijn (wonen)

- Voldoet
- Voldoet mogelijk niet, mogelijk maatregelen nodig
- Voldoet niet, maatregelen nodig

