WEBOOST



TRILLINGSONDERZOEK T.B.V. MER

ENTREE ZOETERMEER

COLOFON

Auteur	Jisca Diederik
Controle en vrijgave	Pieter Boon pieter@we-boost.nl +31 6 10 03 94 54
Projectcode	*WBD2025-005*
Versienr	*3.0*
Datum	*10 februari 2025*
Status	*Definitief*
Opdrachtgever	*Gemeente Zoetermeer*

Voor dit onderzoek is gebruik gemaakt van metingen van

© We-Boost 2025

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, 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 We-Boost.

DE KERN VAN DIT RAPPORT

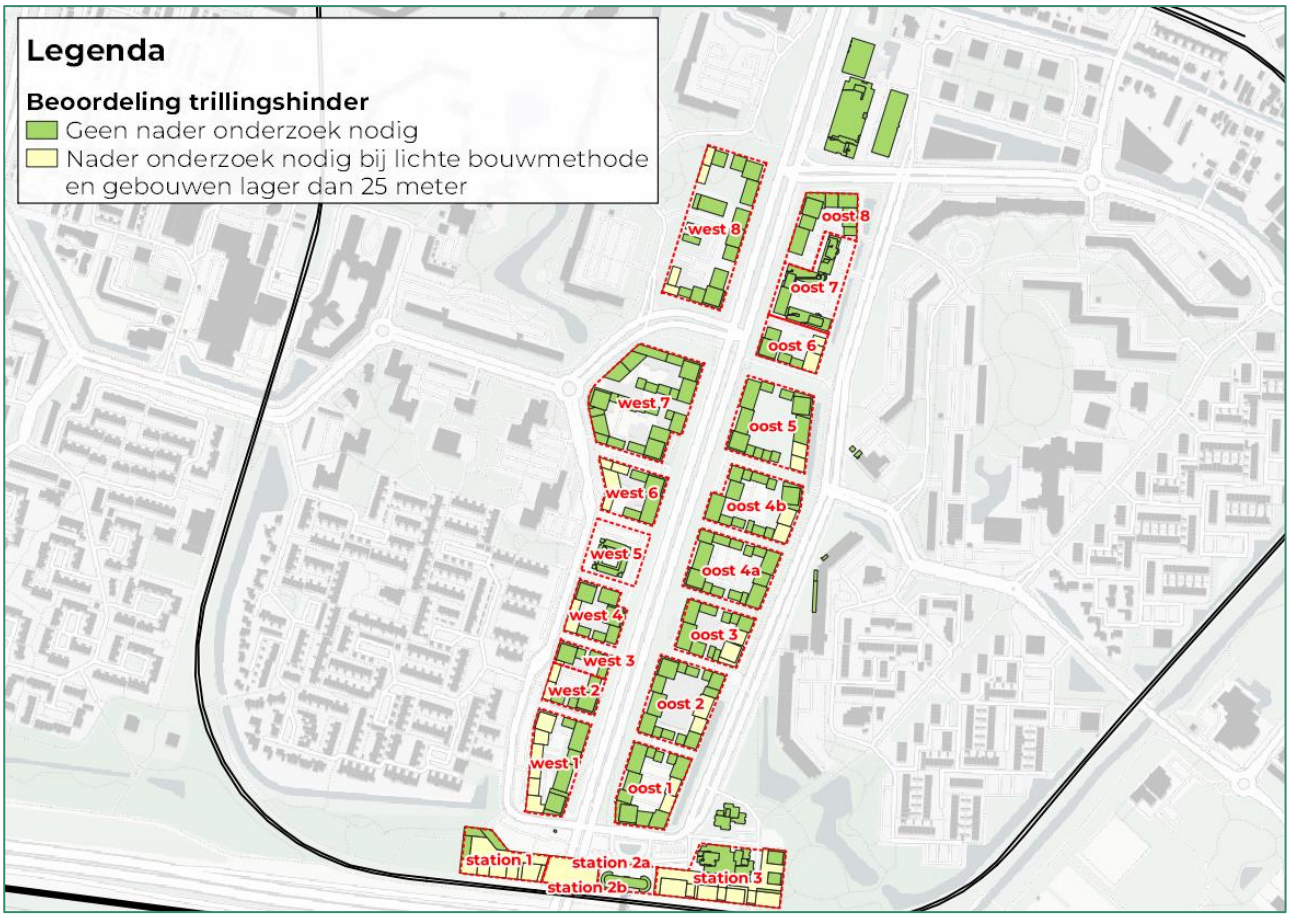
De gemeente Zoetermeer wil het gebied rond de Afrikaweg herontwikkelen tot een moderne stadsentree: Entree. Voor de herontwikkeling van deze wijk wordt een MER opgesteld. Gezien de ligging in de buurt van de spoorlijn Gouda – Den Haag en Randstadrail (lightrailverbinding), is trillingshinder als gevolg van bijvoorbeeld spoorverkeer in het onderzoeksgebied niet op voorhand uit te sluiten. Daarom wordt in het voorliggende onderzoek op basis van metingen en modelberekeningen inzicht gegeven in de ontwikkelmogelijkheden in het onderzoeksgebied: welke functies en gebouwtypes zijn waar mogelijk als trillingshinder in de gebouwen dient te worden voorkomen?

CONCLUSIES

De belangrijkste conclusie van het onderzoek is dat ingrijpende trillingsmaatregelen in het plangebied onnodig zijn:

1. Gebouwen met een onderwijs- of kantoorfunctie kunnen overal in het plangebied worden gerealiseerd, zonder aandacht te hoeven besteden aan trillingen van weg- of spoorverkeer.
2. Voor gebouwen met een meer gevoelige functie (wonen of gezondheidszorg) geldt dat op de meeste locaties zonder nader onderzoek dergelijke bebouwing kan worden gerealiseerd (**groen** in de figuur op de volgende pagina). Uitzondering hierop zijn gebouwen met een woonfunctie binnen 14 meter van klinkerwegen, 25 meter van drempels/plateaus of binnen 8 meter van geasfalteerde wegen en in de zone direct tegen Randstadrail aan (**geel** in de figuur op de volgende pagina). Voor deze gebouwen geldt dat overschrijdingen van de streefwaarden voor trillingshinder niet kunnen worden uitgesloten. Voor deze locaties adviseren wij om:
    a. Gebouwen zo zwaar mogelijk te construeren (geen lichte houtskelet- of staalbouw).
    b. Bij lagere gebouwen (lager dan 25 meter) nader onderzoek te doen. Hier kan het nodig zijn om het ontwerp te optimaliseren zodat de trillingen lager worden. Mogelijkheden hiervoor zijn (1) het verzwaren van de fundering, (2) het toepassen van een stijvere bouwmethode zoals tunnelbouw of (3) het verzwaren van de vloeren door deze dikker te maken of een kortere vloeroverspanning toe te passen.

Kostbare trillingsmaatregelen (meer dan 3% van de stichtingskosten, zoals het afveren van gebouwen) zijn in het hele plangebied onnodig.


Legenda
Beoordeling trillingshinder
Geen nader onderzoek nodig
Nader onderzoek nodig bij lichte bouwmethode en gebouwen lager dan 25 meter
west 8
oost 8
oost 7
oost 6
west 7
oost 5
west 6
oost 4b
west 5
oost 4a
west 4
oost 3
west 3
west 2
oost 2
west 1
oost 1
station 1
station 2a
station 2b
station 3

INHOUDSOPGAVE

1. INLEIDING 7

1.1. Aanleiding 7

1.2. Doel 7

1.3. Leeswijzer 7

2. SITUATIE EN UITGANGSPUNTEN 10

2.1. Situatiebeschrijving 10

2.2. Uitgangspunten 11

3. BEOORDELINGSKADER EN WERKWIJZE 16

3.1. Trillingen en wetgeving 16

3.2. Beoordelingskader trillingshinder 16

3.3. Werkwijze 20

4. VERWACHTE TRILLINGEN 24

4.1. Meetresultaten 24

4.2. Trillingen in het plangebied 25

5. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN 31

BIJLAGEN 32

I. GRONDONDERZOEK 33

II. TOELICHTING OP REKENMODEL 36

II.1 Toelichting rekenmodel 36

II.2 Opzet GIS-module rekenmodel 36

III. METINGEN 39

III.1 Gegevens metingen 39

III.2 Resultaten metingen 40



INLEIDING

In dit hoofdstuk geven we een korte omschrijving van de inhoud van dit onderzoek: de aanleiding, het doel van het onderzoek en een beknopte leeswijzer om informatie snel te kunnen vinden.

1. INLEIDING

1.1. AANLEIDING

De gemeente Zoetermeer wil het gebied rond de Afrikaweg herontwikkelen tot een moderne stadsentree: Entree. De wijk is gelegen tussen de Rijksweg A12 en de Voorweg, rond de Afrikaweg, zie Figuur 1. Voor de herontwikkeling van deze wijk wordt een omgevingsprogramma opgesteld. Gezien de ligging in de buurt van de spoorlijn Gouda – Den Haag en Randstadrail (lightrailverbinding) is trillingshinder als gevolg van spoorverkeer in (een deel van) het onderzoeksgebied niet op voorhand uit te sluiten. In het kader van de m.e.r.-procedure is daarom nader onderzoek gedaan naar trillingen in het plangebied.



Figuur 1 Onderzoeksgebied

1.2. DOEL

Doel van het voorliggende onderzoek is om op basis van metingen uitspraken te doen 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? In het onderzoek zal specifiek aandacht worden besteed aan verschillen in gebouwfunctie en gebouweigenschappen. Dit rapport is opgesteld als MER-achtergrondrapport.

1.3. LEESWIJZER

Wij beschrijven de situatie in het onderzoeksgebied en de uitgangspunten in hoofdstuk 2. In hoofdstuk 3 lichten we het beoordelingskader en de gevolgde rekenmethodiek toe.

Met behulp van de uitgangspunten zoals geformuleerd in hoofdstuk 2 berekenen we de trillingen in het onderzoeksgebied voor 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, maar ook de resultaten van de metingen.



SITUATIEBESCHRIJVING

In dit hoofdstuk wordt een toelichting gegeven op de huidige situatie, de autonome groeisituatie en de beoogde toekomstige situatie gegeven. Daarnaast worden de uitgangspunten van het onderzoek gepresenteerd.

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, referentie- en toekomstige situatie in het onderzoeksgebied. Eerst gaan we in op de huidige situatie, daarna op de referentie of autonome groeisituatie, en tenslotte op de toekomstige situatie.

2.1.1. HUIDIGE SITUATIE

Het te ontwikkelen gebied bevindt zich tussen de Rijksweg A12 en de Voorweg, en wordt doorsneden door de Afrikaweg. In de huidige situatie kenmerkt de bebouwing zich door voornamelijk lage en middelhoge gebouwen met verschillende functies (feitelijk gebruik is hoofdzakelijk kantoor, maar ook woningen, onderwijs en een hotel), zie Figuur 2.



Figuur 2 Huidige gebouwfuncties (meest trillingsgevoelige functie is weergegeven bij feitelijk gebruik) in het onderzoeksgebied (conform BAG)

Het aantal treinen en Randstadrail-voertuigen per uur per richting en de rijsnelheid zijn weergegeven in Tabel 1. Deze gegevens zijn gebaseerd op gegevens uit het Geluidsregister Spoor (aantal goederentreinen) en gegevens van de vervoersmaatschappijen (treinen o.b.v. werkdaggemiddeldes uit vertrekstaten van NS in 2025, trams o.b.v. werkdaggemiddeldes uit vertrekstaten van Randstadrail in 2025). Op de spoorlijn is geen sprake van structureel goederenvervoer.

Tabel 1 Treinen, rijsnelheid en aantal voertuigen per uur per richting (gemiddeld, per richting)

Type trein	Rijsnelheid	dag (7:00 – 19:00)	avond (19:00 – 23:00)	nacht (23:00 – 7:00)
Sprinter Den Haag Gouda - v.v.	0 - 60 km/h	2.00	2.00	0.88
Intercity Den Haag - Gouda v.v.	130 km/h	4.00	3.25	0.88
Goederentrein Den Haag - Gouda v.v.	90 km/h	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Randstadrail Loosduinen - Zoetermeer C. v.v.	0 - 50 km/h	6.00	4.00	1.50

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 voor de wegen in de huidige situatie uitgegaan van geasfalteerde wegen zonder drempels op korte afstand van gebouwen. Voor de intensiteiten van de wegen is uitgegaan van het geluidregister (voor rijkswegen) en de maximale plansituatie 2040 (gemeentelijke wegen), zie ook het akoestisch onderzoeksrapport van Alcedo dat ten behoeve van het Plan-MER is opgesteld.

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 wegverkeer (vergelijkbare trillingsfrequenties zijn namelijk een belangrijke vereiste voor het optreden van cumulatie). Hetzelfde geldt voor spoorverkeer op het hoofdspoornet (Gouda - Den Haag v.v.) en Randstadrail, ook daar is geen kans op cumulatie omdat de trillingsspectra sterk verschillen door de grote verschillen in afstand.

2.1.2. REFERENTIE- OF AUTONOME GROEISITUATIE

In de referentiesituatie is rekening gehouden met een toename van 41% van het lightrailverkeer ten opzichte van de huidige situatie (o.b.v. vervoersprognoses Randstadrail, en in lijn met geluidsonderzoek). Voor treinverkeer is geen toename voorzien. Er zijn geen wijzigingen in spoorgebruik of spoorligging voorzien.

2.1.3. TOEKOMSTIGE SITUATIE

In de toekomstige situatie vindt er nieuwbouw en mogelijk ook transformatie van bestaande gebouwen plaats in het onderzoeksgebied, zodat de eigenschappen, functies en locaties van de bebouwing wijzigen. Ook de weginfrastructuur wijzigt gedeeltelijk, zo worden er een aantal lokale wegen gerealiseerd en wordt de Afrikaweg gereconstrueerd. Het type verharding en de rijsnelheid van het wegverkeer is gebaseerd op de Ontwikkelvisie Entree. Het spoorverkeer (zowel NS-sporen als RandstadRail) wijzigt niet ten opzichte van de referentiesituatie.

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. Op basis van de huidige inzichten is, in lijn met het geluidsonderzoek, voor de gebouwhoogtes rekening gehouden met de gebouwhoogtes zoals weergegeven in Figuur 3. Globaal geldt dat hogere gebouwen minder gevoelig zijn voor trillingen van wegverkeer en lightrailverkeer, omdat deze door de grotere massa minder snel in trilling worden gebracht.



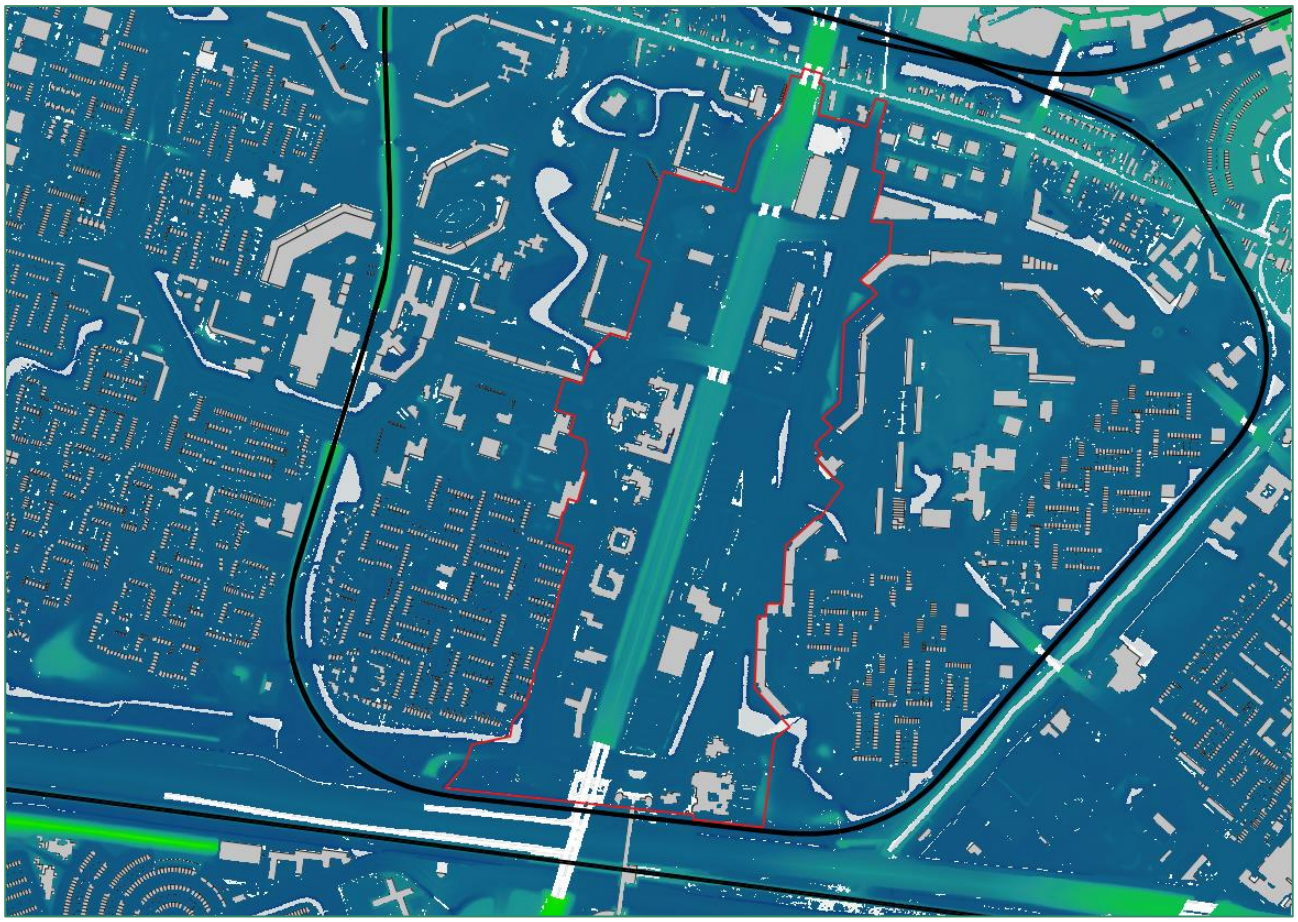
Figuur 3 Gebouwhoogtes

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).

2.2.2. GEGEVENS ONDERGROND

De bodem in het onderzoeksgebied bestaat uit klei- en veenlagen, afgewisseld met zandige lagen, zie het grondonderzoek in Bijlage I. Het bodemtype in het plangebied kenmerkt zich door relatief veel demping in de bodem, waardoor trillingen al snel zijn uitgedempt. Met name de trillingen van de lightrailvoertuigen dempen snel uit met de afstand.

Het plangebied bestaat uit een grotendeels vlak gebied, de spoorlijnen liggen ongeveer op maaiveld. De Afrikaweg ligt iets verhoogd, zie Figuur 4, het dwarsprofiel wordt in de toekomst aangepast. De gegevens over bodemtype, bodemlagen en hoogte zijn gebruikt om de bodemopbouw te modelleren. De bodemopbouw heeft invloed op hoe de trillingen uitdempen met de afstand, en op hoe de gebouwen reageren op trillingen.



Figuur 4 Hoogte van het maaiveld conform AHN4

2.2.3. GEGEVENS TRILLINGSBRONNEN

Om de trillingen in het plangebied te bepalen zijn metingen uitgevoerd tussen 5 en 14 februari 2020[1]. Hiervoor zijn meerdere meetpunten in het onderzoeksgebied geplaatst. Er zijn twee types metingen uitgevoerd:

1. Langdurige metingen op 2 meetpunten, waarbij conform de SBR-richtlijn deel B de trillingen per 30 seconden zijn vastgelegd. Met deze metingen hebben wij de variatie van de trillingen gedurende een week in kaart gebracht.
2. Kortdurende metingen van enkele uren op 5 punten waarbij de trillingen gedetailleerder zijn vastgelegd voor een nauwkeuriger predictie van de trillingen (hierbij zijn ook de frequentiespectra van de trillingen vastgelegd). De resultaten van deze nauwkeurige metingen kunnen in de toekomst bij planontwikkelingen in het gebied gebruikt worden om nauwkeurige predicties in geplande nieuwbouw te maken.

Beide types metingen zijn gecombineerd met een rekenmodel (waarin ook gebruik is gemaakt van metingen op andere locaties buiten het plangebied) 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. De locaties van de meetpunten zijn gebaseerd op locaties waar op basis van expert judgment de

[1] Tussen 2020 en 2025 zijn er geen significante wijzigingen geweest in spoorconstructie, rijsnelheid, spoorgebruik of treintypes op zowel het hoofdspoornet als op Randstadrail. De metingen van 2020 zijn daarmee nog steeds representatief voor de situatie van 2025.

hoogste trillingen worden verwacht: in de nabijheid van de lightrailverbinding en bij het treinspoor (ook om de trillingen van treinen en lightrailvoertuigen te kunnen onderscheiden).



Figuur 5 Locaties meetpunten trillingsonderzoek



3 BEOORDELINGSKADER

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



3. BEOORDELINGSKADER EN WERKWIJZE

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

3.1. TRILLINGEN EN WETGEVING

Er bestaat in Nederland geen wettelijk kader voor de beoordeling van trillingshinder van weg-, spoor- en vaarverkeer in gebouwen. Noch onder de oude Wro, noch onder de nieuwe Omgevingswet zijn regels opgenomen voor de trillingen van deze categorieën.

Wel geldt dat in het kader van een 'evenwichtige toedeling van functies aan locaties' (art. 4.2 uit de Omgevingswet (Ow)) trillingshinder (waar relevant) in kaart dient te worden gebracht en betrokken bij de afweging in het kader van het beschermen van de fysieke leefomgeving. Net als onder de vroegere Wro zijn hulpmiddelen als de Handreiking Nieuwbouw en Spoortrillingen en de SBR-richtlijn van toepassing om mogelijke trillingshinder in kaart te brengen respectievelijk te beoordelen. Als zodanig is er voor trillingshinder ten gevolge van spoorverkeer niets veranderd onder de Ow ten opzichte van de Wro.

3.2. BEOORDELINGSKADER TRILLINGSHINDER

Op basis van jurisprudentie wordt 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[3]– schade in gebouwen, deel B[4] – hinder voor personen in gebouwen en deel C[5] – verstoring van gevoelige apparatuur) waarvan alleen deel B voor dit onderzoek relevant is. De afstand tussen het spoor en het gebouw 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 (de gemiddelde trillingssterkte V_{per}, deze grootheid is in tegenstelling tot V_{max} dus ook afhankelijk van het aantal voertuigen).

[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 nieuw te bouwen woningen langs het spoor te beoordelen.

[3] SBR-richtlijn deel A:2017 – Schade aan bouwwerken

[4] SBR-richtlijn deel B:2002 – Hinder voor personen in gebouwen

[5] SBR-richtlijn deel C:2002 – Verstoring van trillingsgevoelige apparatuur

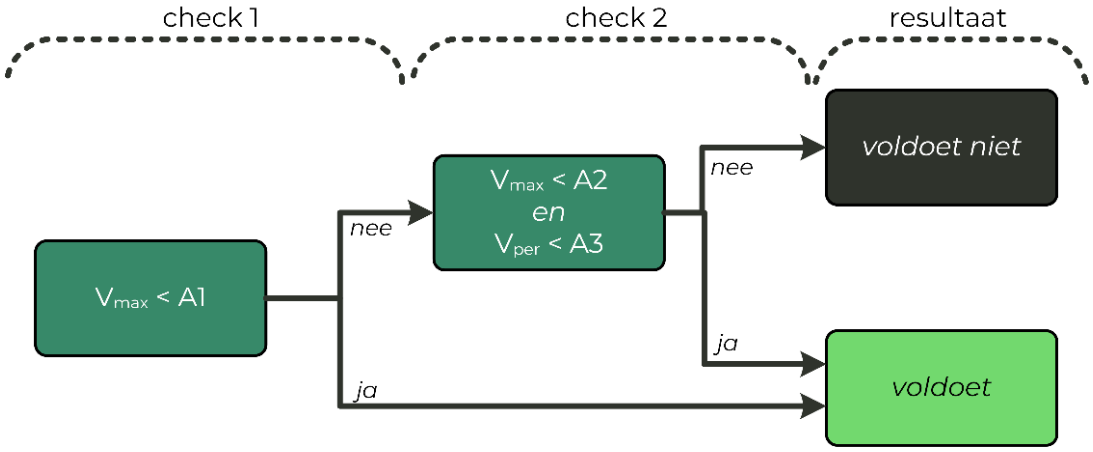
2. De richtlijn maakt in de beoordeling onderscheid tussen verschillende situaties, en toetst daarbij strenger in:
    a. Nieuwbouwsituaties (nieuwe gebouwen, nieuw spoor, aanleg van wissels). Bij bestaande situaties zijn de streefwaarden minder streng, er wordt dan uitgegaan van een zekere mate van 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-overnachtingsfunctie (kantoren, scholen) gelden minder strenge streefwaarden. Winkels, sport- en industriepanden 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 in gebouwen met een overnachtingsfunctie.

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 gemiddelde trillingssterkte V_{per} lager is dan de streefwaarde A3. Zie ook het schema in Figuur 6.

Bij overschrijdingen van de streefwaarde geeft de SBR B-richtlijn in bijlage 5 handvatten om maatregelen af te wegen op doelmatigheid.

Tabel 2 Streefwaarden in de SBR-richtlijn deel B voor nieuwbouw

	Dag en avond			Nacht		
Gebouwfunctie	**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:

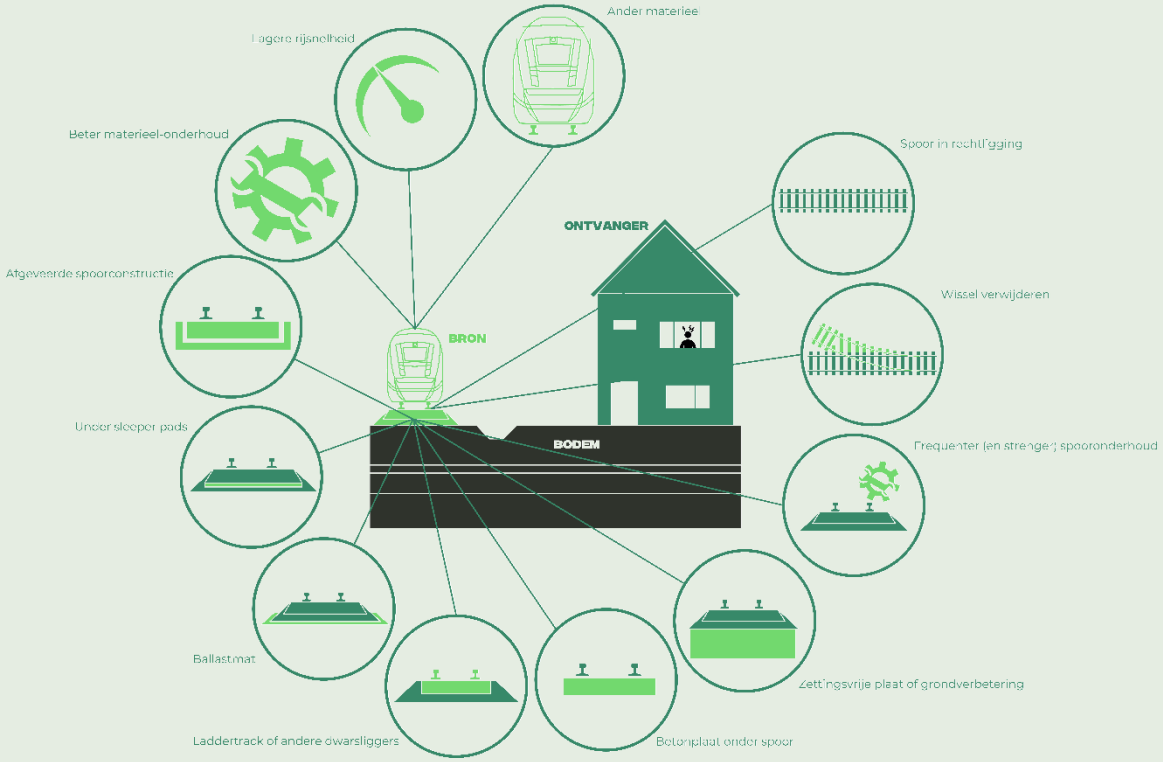
1. De mate waarin de trillingssterkte voorkomt. Hiervoor geldt dat de gemiddelde trillingssterkte V_{per} een goede indicatie is, of het aantal overschrijdingen per dag. Hierbij geldt dat bij een lage waarde van V_{per} of een gering aantal overschrijdingen, een maatregel minder snel als doelmatig mag 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.
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.

MAATREGELEN

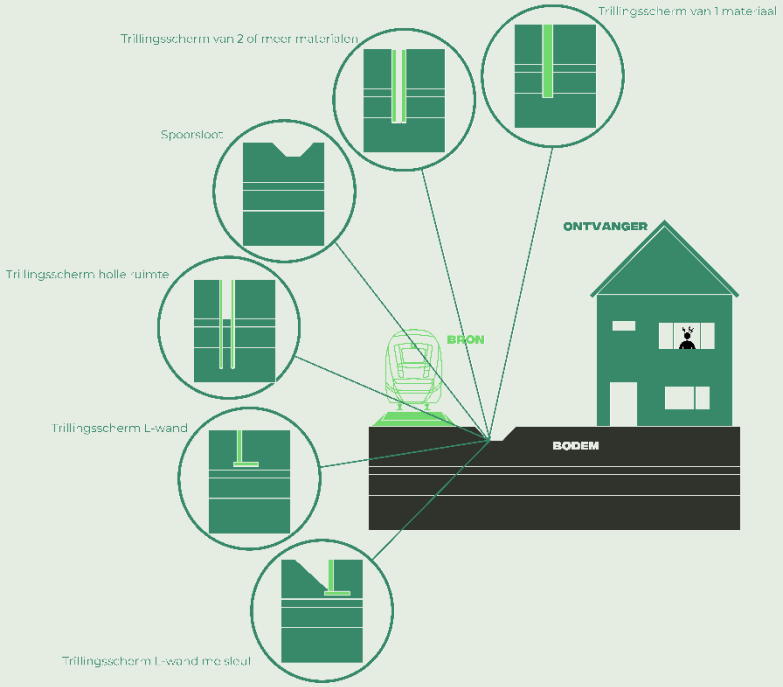
Maatregelen tegen trillingen kunnen op drie niveaus worden getroffen:

1. Bij de trillingsbron (de voertuigen of het spoor), zie Figuur 7. Bij wegverkeer kan worden gedacht aan een vlakkere wegopbouw (asfalt i.p.v. klinkers, geen drempels of sinusvormige drempels i.p.v. prefab of klinkerdrempels, geen putten in de rijlijnen)(.



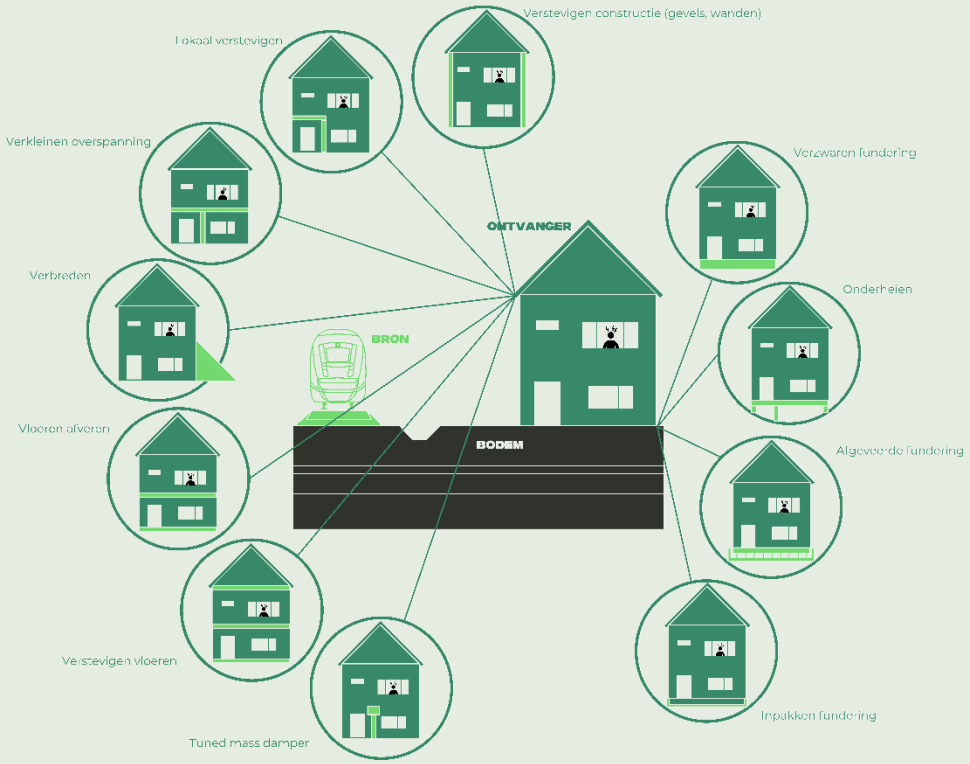
Figuur 7 Maatregelen aan de bron (treinen, lightrailvoertuigen of spoorconstructie)

2. In de bodem (tussen de trillingsbron en de gebouwen), zie Figuur 8.



Figuur 8 Maatregelen in de bodem

3. Bij de ontvanger (het gebouw waarin de trillingen worden ervaren), zie Figuur 9.



Figuur 9 Maatregelen aan gebouwen

De meest effectieve manier om de trillingen te reduceren, is het nemen van maatregelen aan de trillingsbron (het spoor of de voertuigen), bijvoorbeeld door het toepassen van under sleeper pads, ballastmatten, het aanpassen van de rijsnelheid 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 slecht aan te passen aan toekomstige situaties. Bij maatregelen aan de gebouwen is een breed scala aan maatregelen mogelijk. Die variëren van het zwaarder funderen of 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.

3.3. WERKWIJZE

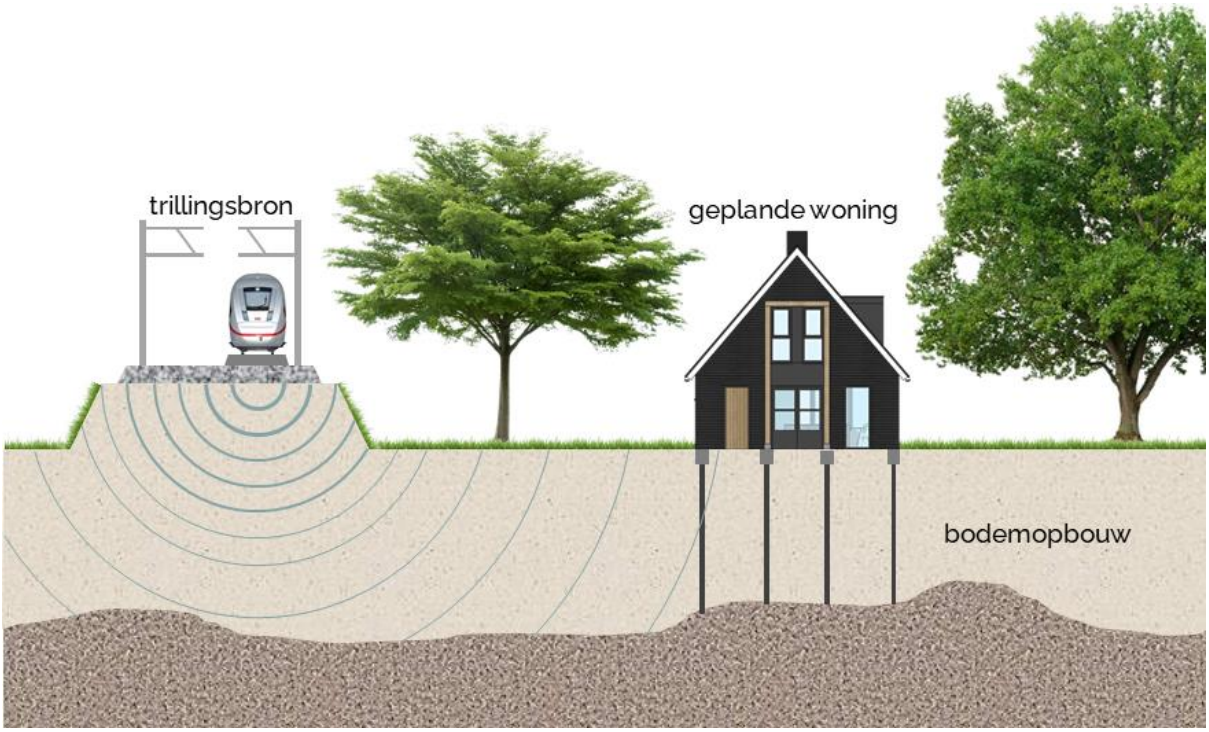
In dit onderzoek wordt een berekening gemaakt van de trillingen in de toekomstige situatie. Zoals in de voorgaande paragraaf toegelicht wordt in dit onderzoek inzichtelijk gemaakt waar een kans is op trillingshinder, afhankelijk van het type bebouwing en de functie van de bebouwing.

De gebruikte rekenmethodiek om de trillingen in de bebouwing te bepalen, wordt hierna verder toegelicht.

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 de trillingsbron 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. Een toelichting op het gebruikte rekenmodel is gegeven in Bijlage II. Het model is een semi-empirisch rekenmodel waarbij op basis van honderden metingen in Nederland en de lokale projectomstandigheden een berekening wordt gemaakt van de trillingen in gebouwen. Deze modelresultaten zijn in dit project geijkt met behulp van de metingen om een zo nauwkeurig mogelijke locatiespecifieke berekening te maken.

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 10.



Figuur 10 Trillingen – het systeem van trillingsbron, de bodem en het gebouw als ontvanger

3.3.2. DE TRILLINGSBRON

In dit onderzoek zijn treinen en lightrailvoertuigen de bron van de trillingen, en op korte afstand van bebouwing ook zwaar wegverkeer, zoals bussen en vrachtwagens. De trillingen van het spoorverkeer zijn gemeten door Alcedo op 7 punten in het onderzoeksgebied. De resultaten van deze metingen vormen de basis van dit onderzoek. Daarnaast is gebruik gemaakt van eerdere metingen aan wegverkeer op vergelijkbare bodems.

3.3.3. DE BODEM

De bodem op deze locatie bestaat uit klei- en zandlagen met verschillende stijfheden, zie Bijlage 1. De uitdemping 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 (of drempels bij wegvoertuigen), bodemopbouw, rijsnelheid van de voertuigen en voertuigtypes bijvoorbeeld). Meer uitleg bij het gebruikte rekenmodel is opgenomen in Bijlage II.

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 gebouwen met normale betonnen vloeren (kanaalplaat-, breedplaat-, ribben- of broodjesvloeren) en een conventionele bouwwijze (geen extreme overspanningen of zeer slappe, open staalconstructies). Wel geven we aan wat het gevolg is van de keuze voor lichte bouwmethodes (zoals houtskeletbouw of lichte staalbouw).

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



VERWACHTE TRILLINGEN

In dit hoofdstuk wordt eerst een korte toelichting gegeven op de meetresultaten, daarna worden de verwachte trillingen in het plangebied gegeven. Hierbij is gebruik gemaakt van de beoordelingsmethode en de werkwijze zoals toegelicht in het voorgaande hoofdstuk.

4 VERWACHTE TRILLINGEN

In dit hoofdstuk geven wij een toelichting op de meetresultaten, daarna toetsen we de verwachte trillingen in het plangebied aan de eerder gedefinieerde beoordelingscriteria.

4.1. MEETRESULTATEN

Er zijn metingen uitgevoerd op 7 meetpunten in het onderzoeksgebied, zie Figuur 5. De resultaten van deze metingen zijn samengevat weergegeven in Tabel 4, zie voor meer gegevens Bijlage III. V_{max} is de trillingssterkte, bepaald conform par. 9.7 uit de SBR B-richtlijn (voor de meetpunten met een korte meetduur is daarbij gebruik gemaakt van par. 9.6). De gemiddelde trillingssterkte V_{per} is bepaald conform par. 9.8 uit de SBR B-richtlijn.

Tabel 4 Trillingen per meetpunt

Meetpunt	V_{max}	V_{per}
Meetpunt 1	1.41	0.12
Meetpunt 2	0.09	< 0.01
Meetpunt 3	0.08	< 0.01
Meetpunt 4	0.07	< 0.01
Meetpunt 5	0.07	< 0.01
Meetpunt 6	0.05	< 0.01
Meetpunt 7	0.06	< 0.01

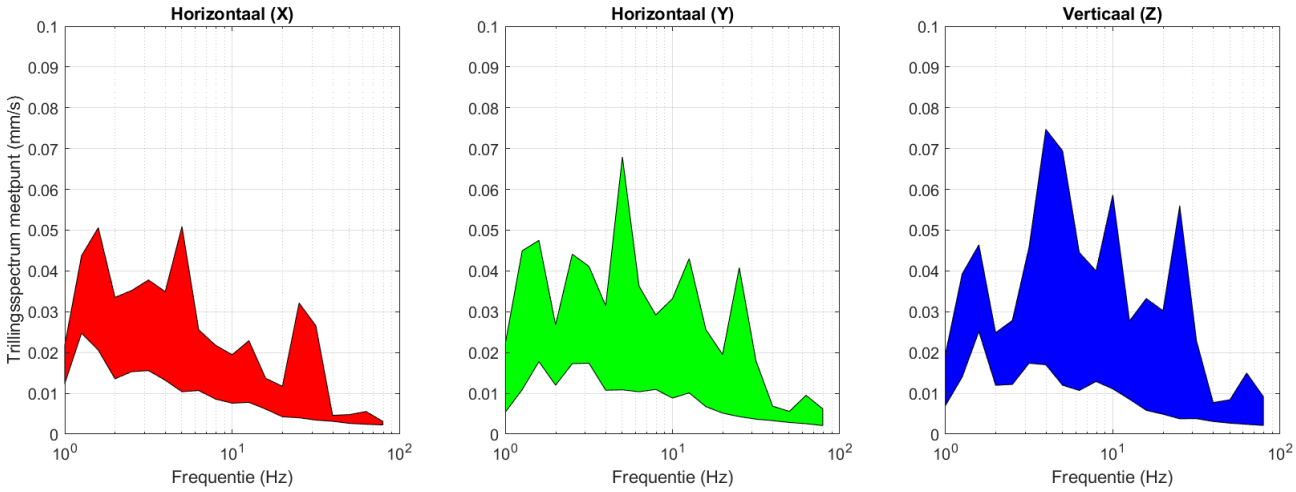
Uit de metingen volgt:

1. De trillingen zijn laag aan de noordzijde van de Rijksweg A12. Op korte afstand van de Randstadrailsporen zorgen de lightrailvoertuigen voor de hoogste trillingen, maar op iets grotere afstand zijn de trillingen van de treinen (op het spoor ten zuiden van de Rijksweg A12) maatgevend, deze trillingen dempen minder snel uit dan de trillingen van lightrailvoertuigen.
2. Er rijdt (vrijwel) geen goederenvervoer op de spoorlijn ten zuiden van de Rijksweg A12.
3. De trillingen zijn op de meeste meetpunten maatgevend in verticale richting.

Verder is op een aantal punten te zien dat lokale stoorbronnen (vooral lokaal vrachtverkeer) incidenteel voor hoge trillingen zorgen, met name op klinkerwegen. Het betreft dan lokaal verkeer op parkeerplaatsen, in de directe nabijheid van meetpunten tijdens de korte metingen.

Vervolgens is gekeken welke trillingsfrequenties maatgevend zijn. Een spectrogram[6] van de trillingen (weergegeven als 1/3-octaafbandspectrum of tertsbandspectrum) is weergegeven in Figuur 11 (meetpunt 4, overige figuren in Bijlage III).

[6] Een spectrogram geeft weer bij welke trillingsfrequenties de meeste trillingsenergie optreedt. Dat geeft inzicht in bijvoorbeeld welke maatregelen kunnen worden genomen, of welke eigenfrequenties bij te realiseren bebouwing moeten worden vermeden. In dit onderzoek is deze informatie gebruikt om een nauwkeurige predictie van de trillingen in de bebouwing te maken.



Figuur 11 Tertsbandspectra bij meetpunt 4

In Figuur 11 is zichtbaar dat de dominante frequentie van de trillingen rond 4 Hz ligt (deze piek is afkomstig van het treinverkeer en dempt langzaam uit met de afstand), maar dat er ook bij 10 en 25 Hz pieken in het trillingsspectrum optreden. Deze laatste pieken zijn vooral afkomstig van de lightrailvoertuigen, en dempen sneller uit met de afstand. Lokaal wegverkeer veroorzaakt vooral trillingen rond 8 tot 10 Hz.

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.

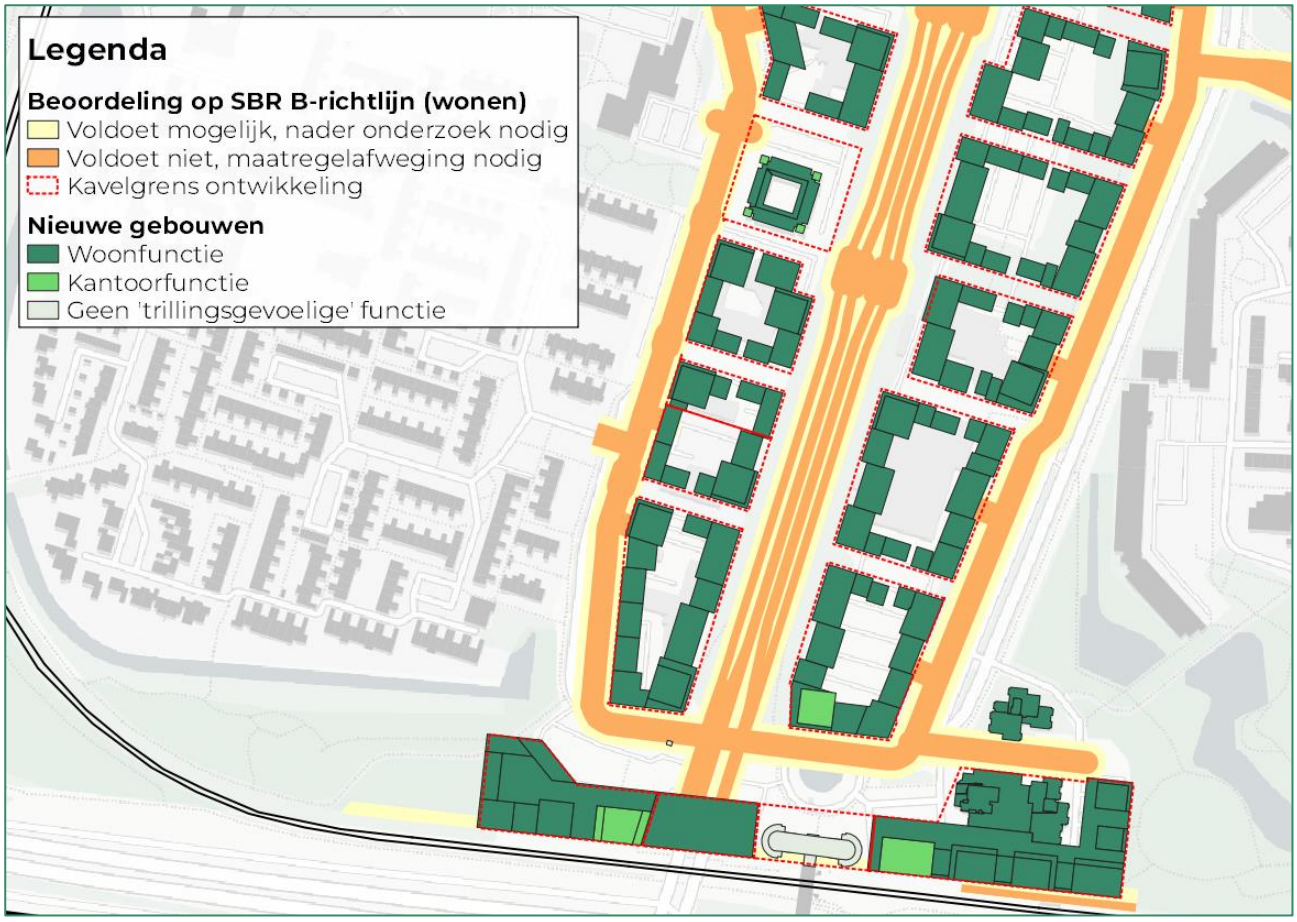
4.2.1. VERWACHTE TRILLINGEN

Op basis van het rekenmodel is een berekening gemaakt voor het hele plangebied op basis van de in Figuur 3 weergegeven gebouwafmetingen. De uiteindelijke trillingen in de gebouwen zijn, naast de afmetingen van het gebouw, afhankelijk van een groot aantal parameters (denk aan de gebruikte materialen, vloeroverspanningen, gebruikte vloertypes, de constructiewijze, het type fundering, etc.). Daarom werken we in dit rapport met drie classificaties bij het beoordelen van de trillingen:

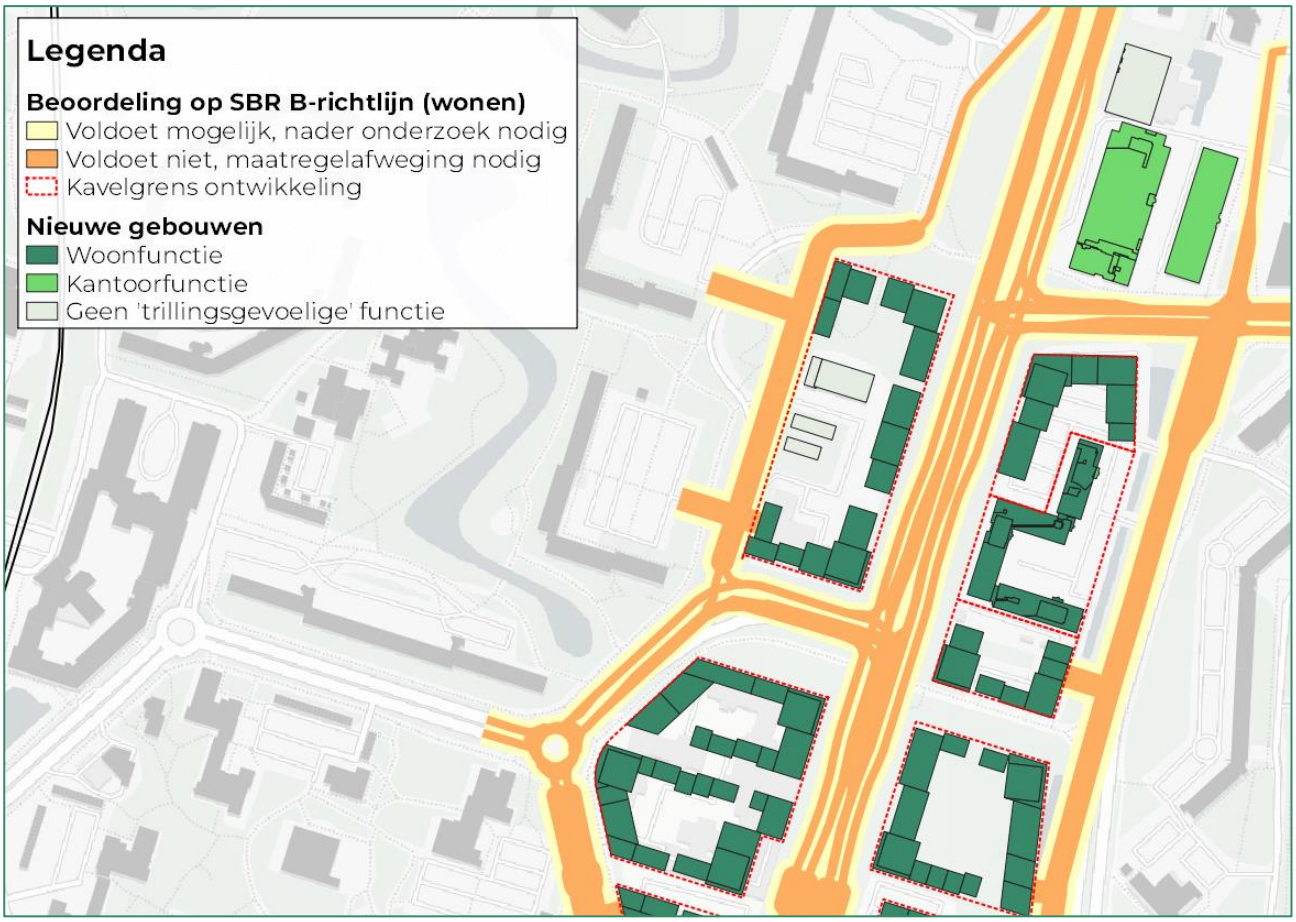
1. Locatie voldoet aan het beoordelingskader (groen), ongeacht de constructieve uitwerking van de gebouwen.
2. Locatie kan voldoen aan het beoordelingskader (geel), maar dit is afhankelijk van de constructieve uitwerking van de gebouwen. In deze zone kunnen bijvoorbeeld ontwerpoptimalisaties van de geplande bebouwing nodig zijn. In ieder geval dient in deze zone rekening te worden gehouden met trillingen bij het realiseren van nieuwe gebouwen. Mogelijke optimalisaties voor gebouwen in deze zone zijn, naast het vermijden van zeer lichte bouw (lichte houtskeletbouw, lichte staalbouw), het realiseren van gebouwen op een parkeerkelder of zwaardere fundering (paalfundering of dikke plaatfundering), het beperken van de beukmaat, het toepassen van stijvere (dikkere) vloeren of het toevoegen van extra constructieve dwarswanden.
3. Locatie kan alleen met maatregelen voldoen aan het beoordelingskader (oranje), in deze zone zijn zwaardere ingrepen dan alleen constructieve optimalisaties nodig om te voldoen aan de

streefwaarden uit het beoordelingskader. Mogelijke maatregelen in deze zone zijn, naast bouwkundige optimalisaties, trillingsschermen in de bodem (bijv. damwanden, trillingsschermen van beton of jet-grout) of het afveren van de gebouwen.

Een kaart met de worst-case beoordelingscontouren van de trillingen door weg- en railverkeer (bij beoordeling op de strenge streefwaarden voor gebouwen met een woonfunctie) en de geplande gebouwfuncties is weergegeven in Figuur 12 en Figuur 13.



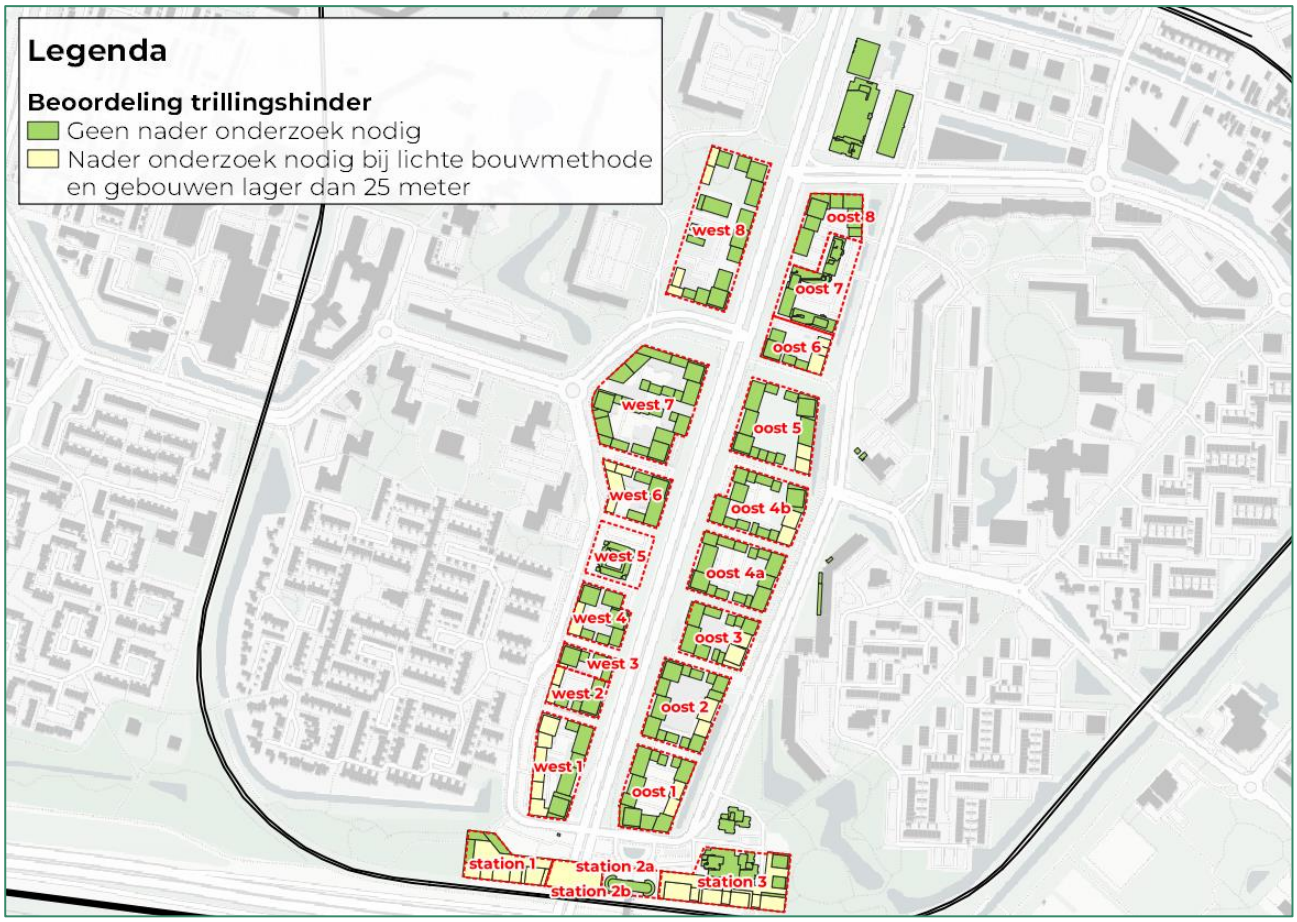
Figuur 12 Worst-case beoordelingscontouren voor gebouwen met functie wonen en functie van nieuwe gebouwen (zuid)



Figuur 13 Worst-case beoordelingscontouren voor gebouwen met functie wonen en functie van nieuwe gebouwen (noord)

Per gebouw is, op basis van de resultaten uit Figuur 12 en Figuur 13, bepaald of nader onderzoek nodig is. Dit is weergegeven in Figuur 14. Samengevat geldt:

1. Binnen de grenzen van de ontwikkellocaties voldoen de trillingen door trein- en lightrailverkeer aan het beoordelingskader ongeacht de gekozen constructie van de gebouwen, met uitzondering van de ontwikkellocaties bij de Rijksweg A12. In een smalle zone direct langs Randstadrail wordt niet voor alle constructietypes voldaan aan het beoordelingskader. Voor deze gebouwen dient bij de verdere ontwikkeling rekening te worden gehouden met trillingen.
2. Bij enkele ontwikkellocaties zijn aan de randen van het kavel overschrijdingen als gevolg van wegverkeer bij een woonfunctie niet volledig uit te sluiten. Het gaat dan met name om wegverkeer over de klinkerwegen: omdat deze wegen gevoeliger zijn voor verzakkingen, zijn de trillingen daar vaak hoger dan op geasfalteerde wegen. Hetzelfde geldt voor de erfontsluitingswegen tot de ontwikkelkavels, deze liggen soms op zeer korte afstand tot bebouwing, waardoor lokaal bij gevoelige gebouwen (lage gebouwen met een qua trillingen ongunstige constructie of gebouwen met een lichte constructie) trillingen mogelijk voelbaar kunnen zijn.



Figuur 14 Worst-case beoordeling per gebouw

4.2.2. INRICHTING PLANGEBIED

Op basis van de resultaten in de voorgaande paragraaf adviseren wij het volgende voor de verdere uitwerking van de plannen:

1. Bij de erfontsluitingswegen van de ontwikkelkavels:
    a. Zorg voor een zo vlak mogelijke wegopbouw als de wegen op korte afstand van de bebouwing komen te liggen. Liever asfalt (of streetprint asfalt) dan klinkers, en geen drempels. Zorg bij klinkers voor een goede, stabiele ondergrond.
    b. Zorg voor wat zwaarder geconstrueerde gebouwen op korte afstand van de erfontsluitingswegen. Denk aan gebouwen in tunnelbouw (i.h.w.g. beton) of kalkzandsteen en betonnen vloeren, of eventueel met een verzwaarde fundering (parkeerkelder, plaatfundering of palenfundering). Dit is met name nodig voor gebouwen met een bouwhoogte lager dan 25 meter, hogere gebouwen hebben vaak voldoende massa waardoor de trillingen naar verwachting niet hinderlijk zullen zijn.

    Met bovenstaande optimalisaties zijn hinderlijke trillingen in alle kavels 'oost' te voorkomen, en in een groot deel van de kavels 'west'.
2. Voor de gebouwen op korte afstand van wegen met elementenverharding:
    a. Zorg voor een zo stabiel mogelijke ondergrond, en vermijd putten in de rijlijnen.
    b. Optimaliseer de locaties van eventuele drempels, positioneer deze zo ver mogelijk bij bebouwing vandaan. Voer eventuele drempels uit in sinusvorm, of liefst zo geleidelijk mogelijk.
    c. Zorg voor wat zwaarder geconstrueerde gebouwen op korte afstand van de klinkerwegen. Denk aan gebouwen in tunnelbouw (i.h.w.g. beton) of kalkzandsteen en betonnen vloeren, of eventueel met een verzwaarde fundering (parkeerkelder,

plaatfundering of palenfundering). Dit is met name nodig voor gebouwen met een bouwhoogte lager dan 25 meter, hogere gebouwen hebben vaak voldoende massa waardoor de trillingen naar verwachting niet hinderlijk zullen zijn.

Met bovenstaande optimalisaties zijn hinderlijke trillingen ook in de resterende kavels 'west' te voorkomen.

3. Voor de gebouwen direct langs de sporen van Randstadrail:
    a. Zorg voor wat zwaarder geconstrueerde gebouwen op korte afstand van het spoor. Denk aan gebouwen in tunnelbouw (i.h.w.g. beton) of kalkzandsteen en betonnen vloeren, of eventueel met een verzwaarde fundering (parkeerkelder, plaatfundering of palenfundering).

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 klimatologisch als normaal te beschouwen periode. De status van het spoor is onbekend, activiteiten zoals akoestisch slijpen hebben geen relevante impact op de trillingen. Op basis van bovenstaande verwachten we dat de huidige berekeningen representatief zijn voor de situatie in het plangebied.
2. Voor wegverkeer geldt dat met name de kwaliteit van het wegdek (hoe vlak is de weg?) van invloed is op de trillingen. Op vlakke, geasfalteerde wegen veroorzaakt verkeer nauwelijks trillingen. Drempels en putdeksels kunnen wel leiden tot trillingen. Bij verkeer op klinkerwegen is vaak sprake van hogere trillingen, vooral omdat dit type wegen gevoeliger is voor lokale zettingsverschillen, waardoor oneffenheden optreden en met name zwaar verkeer voor hogere trillingen kan zorgen. Deze kans op zettingen bij klinkerwegen is meegenomen in dit onderzoek, maar kent veel variatie. Daarom is ten aanzien van de trillingen van wegverkeer conservatief gerekend in dit onderzoek.
3. Ten aanzien van de bodem geldt dat met name op korte afstand tot het spoor variaties in de trillingen mogelijk zijn door lokale variaties in de bodem. Deze variaties zijn meegenomen in dit onderzoek door op meerdere punten metingen uit te voeren en de resultaten te correleren aan de bodemopbouw.
4. 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', de gele zone. In deze zone kan in bepaalde worst-case situaties (drogere periode, lokale afwijkingen in de bodem, lokaal slechtere spoorligging of verzakkingen in de weg, relatief slappe gebouwen) sprake zijn van overschrijdingen. Voor deze zone adviseren wij ontwerpoptimalisaties van de gebouwen bij de uitwerking van het ontwerp.



5. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

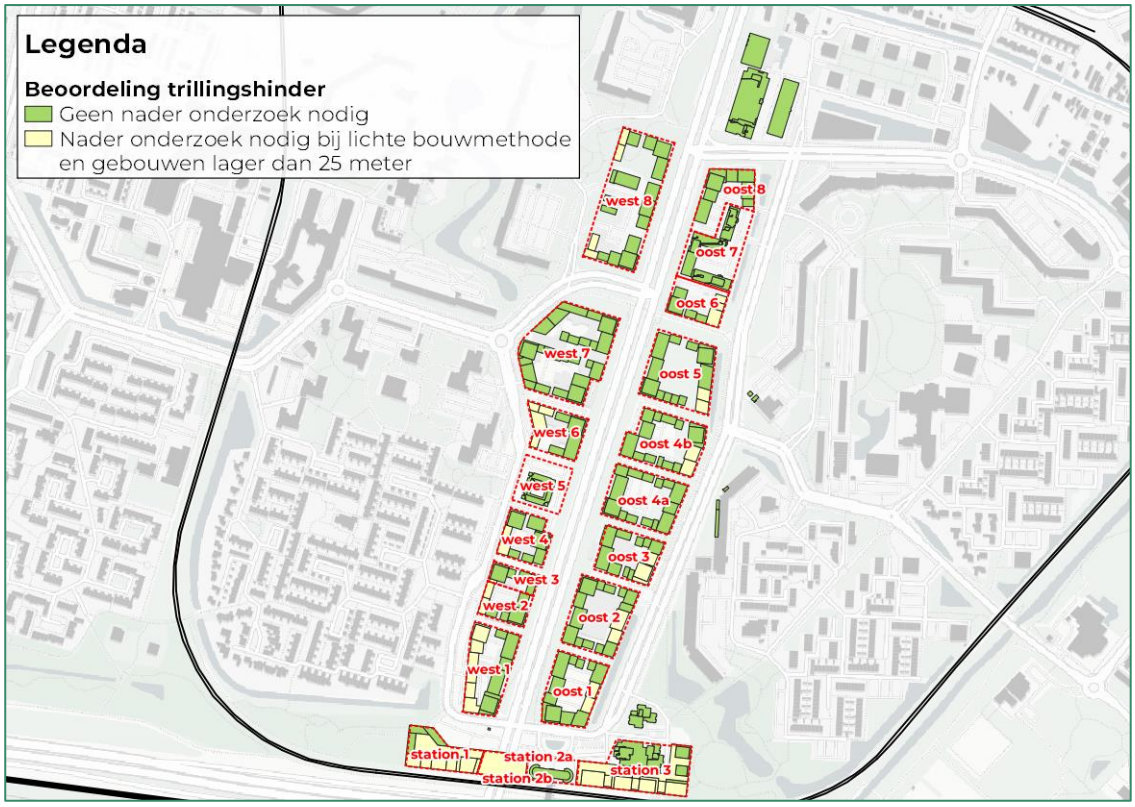
Dit hoofdstuk bevat conclusies en aanbevelingen

5. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

In het voorliggende onderzoek is de trillingssituatie in het plangebied van Entree in Zoetermeer 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:

3. Gebouwen met een onderwijs- of kantoorfunctie kunnen overal in het plangebied worden gerealiseerd, zonder aandacht te hoeven besteden aan trillingen van weg- of spoorverkeer.
4. Voor gebouwen met een meer gevoelige functie (wonen of gezondheidszorg) geldt dat op de meeste locaties zonder nader onderzoek dergelijke bebouwing kan worden gerealiseerd (**groen** in Figuur 15). Uitzondering hierop zijn gebouwen met een woonfunctie binnen 14 meter van klinkerwegen, 25 meter van drempels/plateaus of binnen 8 meter van geasfalteerde wegen en in de zone direct tegen Randstadrail aan (**geel** in Figuur 15). Voor deze gebouwen geldt dat overschrijdingen van de streefwaarden voor trillingshinder niet kunnen worden uitgesloten. Voor deze locaties adviseren wij om:
    a. Gebouwen zo zwaar mogelijk te construeren (geen lichte houtskelet- of staalbouw).
    b. Bij lagere gebouwen (lager dan 25 meter) nader onderzoek te doen. Hier kan het nodig zijn om het ontwerp te optimaliseren zodat de trillingen lager worden. Mogelijkheden hiervoor zijn (1) het verzwaren van de fundering, (2) het toepassen van een stijvere bouwmethode zoals tunnelbouw of (3) het verzwaren van de vloeren door deze dikker te maken of een kortere vloeroverspanning toe te passen.

Zware en dure trillingsmaatregelen zijn in het hele plangebied onnodig.



Figuur 15 Locaties waar nader onderzoek nodig is bij gebouwen met een woonfunctie

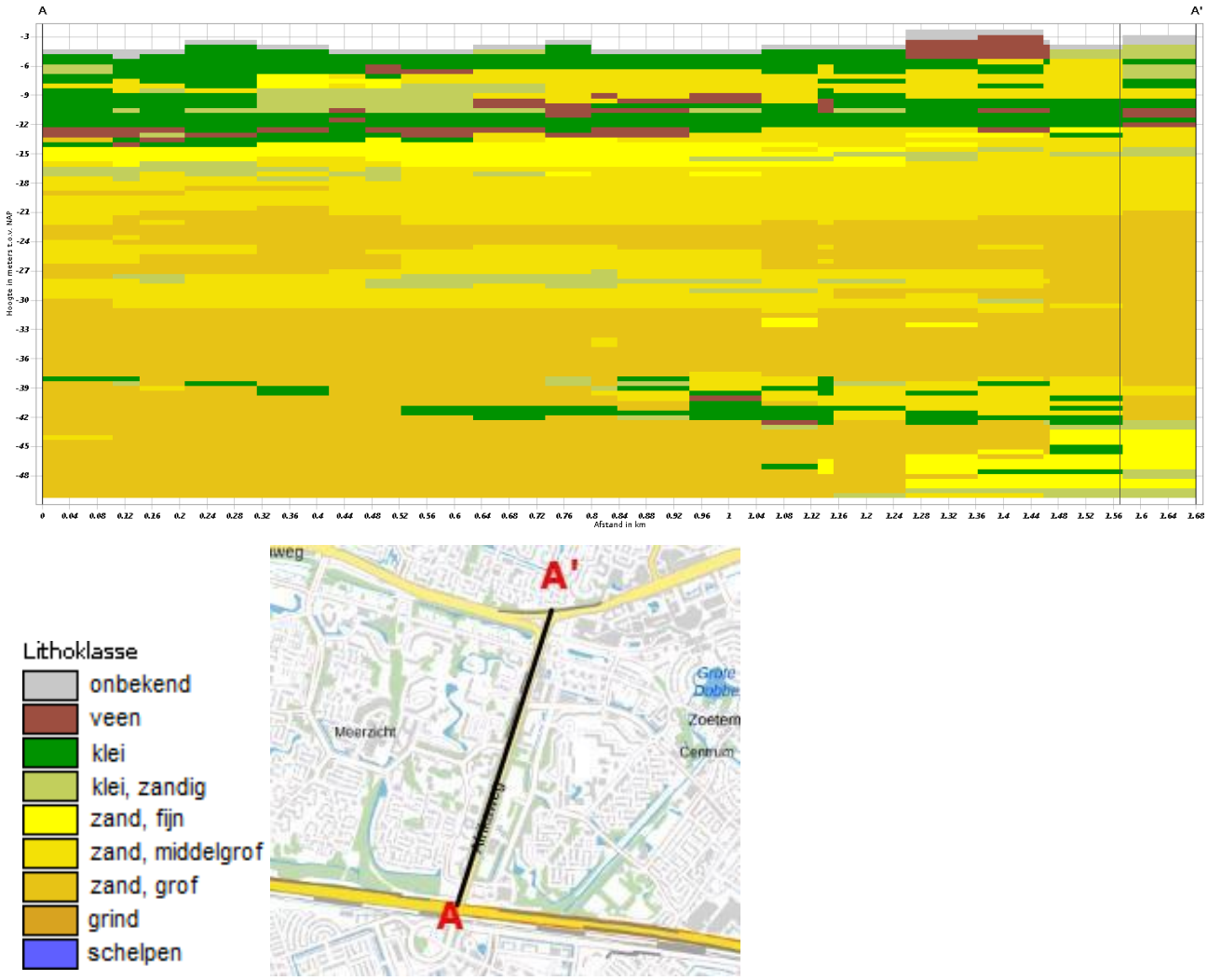
BIJLAGEN

Dit document bevat de volgende bijlages:

I. **Bijlage I - Grondonderzoek**. Hier staan uitgangspunten t.a.v. de gehanteerde bodemopbouw voor dit onderzoek.
II. **Bijlage II - Rekenmodel**. Hier staat een beschrijving van het gebruikte rekenmodel,
III. **Bijlage III - Metingen**. Deze bijlage bevat detailresultaten met grafieken en overzichten van de uitgevoerde trillingsmetingen.

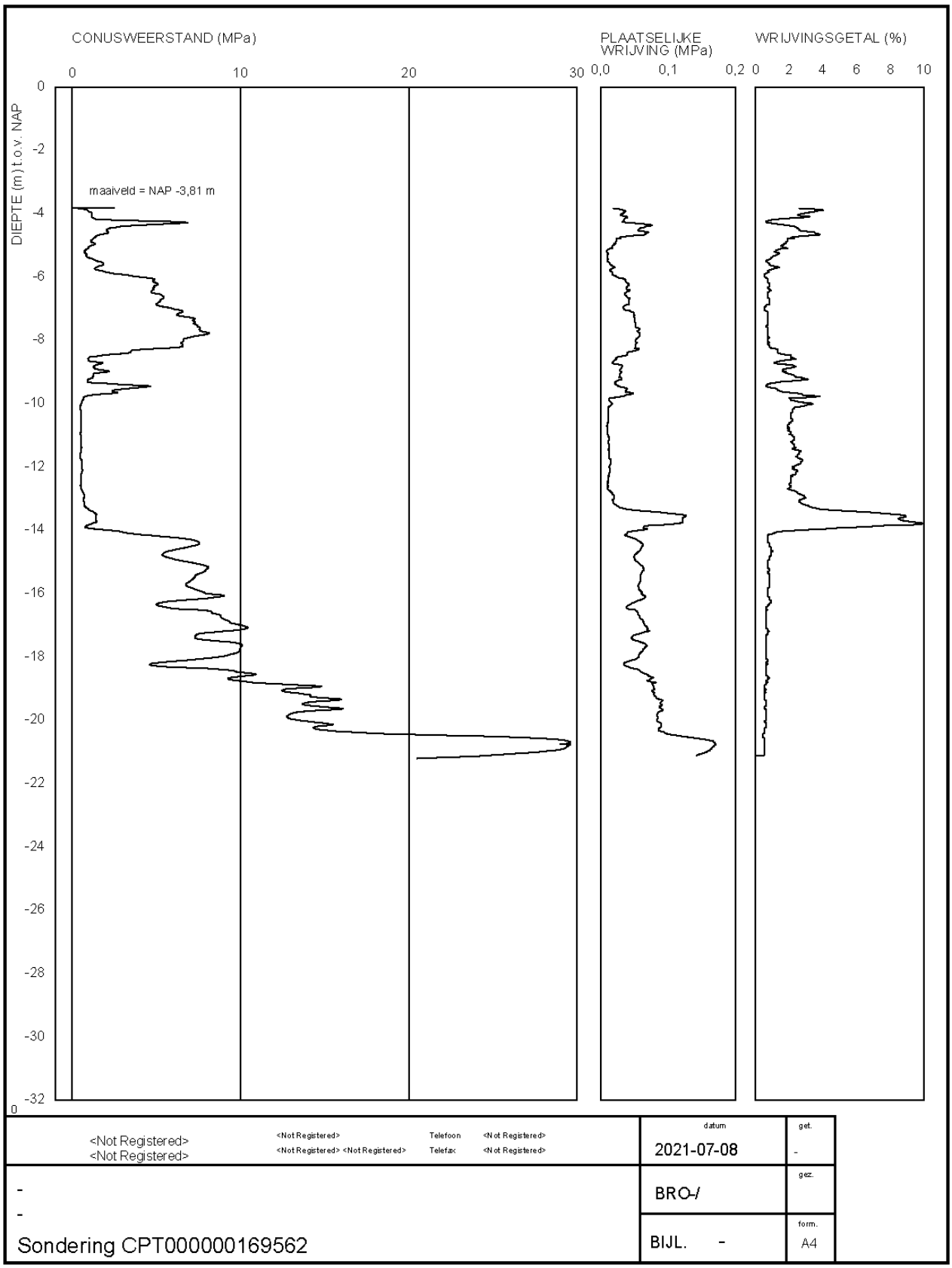
GRONDONDERZOEK

Deze bijlage bevat geotechnische achtergrondinformatie. Deze informatie is gebruikt in het rekenmodel om bijvoorbeeld de uitdemping van de trillingen met de afstand en het gedrag van de bebouwing te bepalen. De bodemopbouw op basis van het GeoTop-model is weergegeven in Figuur 16. Hier is te zien dat de eerste 10 meter van het plangebied voornamelijk bestaat uit klei, zand- en veenlagen. Dichter bij de Rijksweg A12 is sprake van meer klei, verderop komen meer zand- en veenlagen voor. Deze variatie in de bodem zorgt ook voor variatie in de (uitdemping van) trillingen.



Figuur 16 Bodemopbouw langs Afrikaweg

Een representatieve sondering uit het midden van het onderzoeksgebied is weergegeven in Figuur 17.



Figuur 17 Representatieve sondering uit plangebied (bron: Dinoloket)

De locatie van de getoonde sondering is weergegeven in Figuur 18.



Figuur 18 Locatie getoonde sondering

II. TOELICHTING OP REKENMODEL

II.1 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.

II.2 OPZET GIS-MODULE REKENMODEL

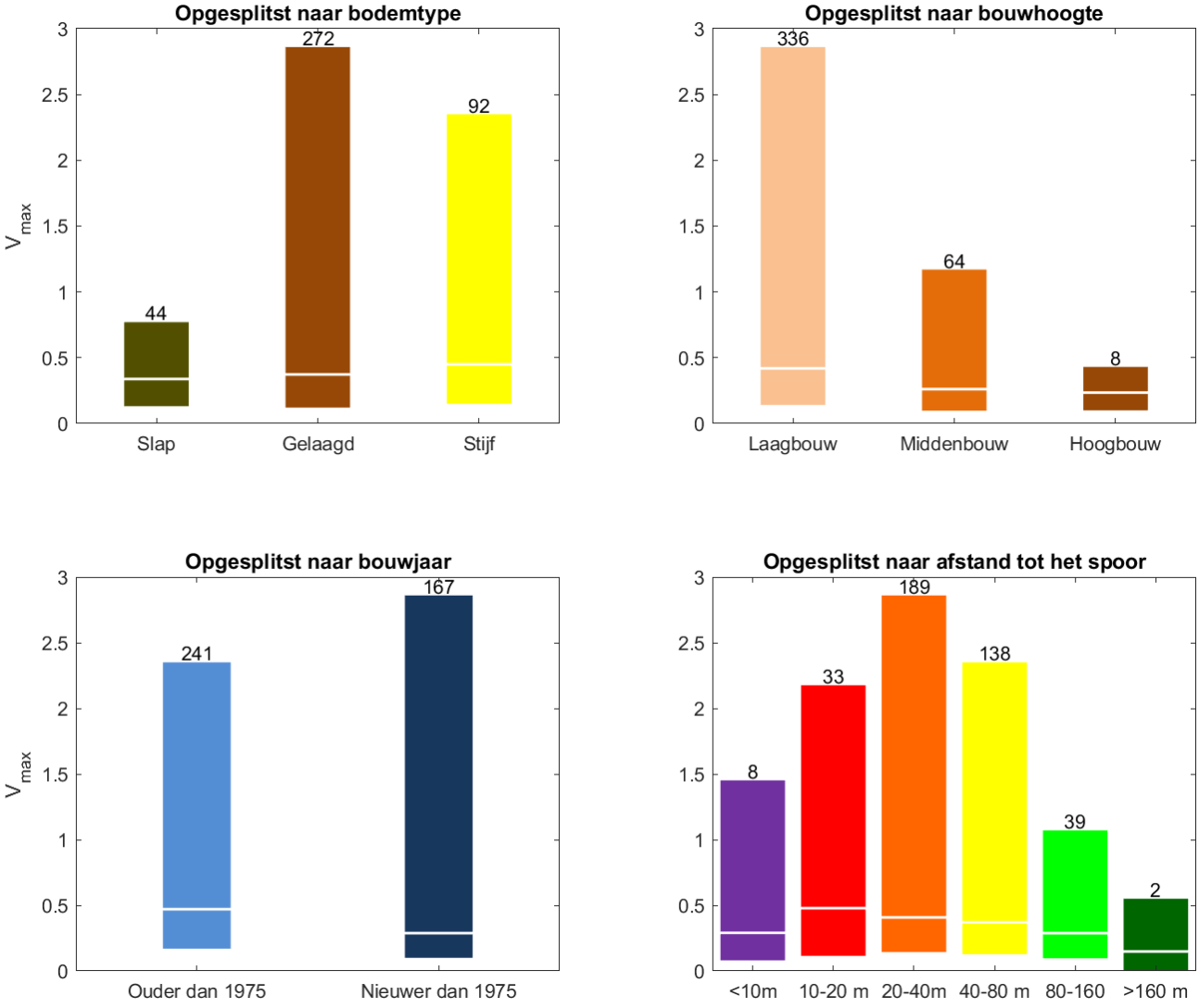
De GIS-module in Buildyn berekent de trillingen van trein-, metro-, tram- en wegverkeer op een willekeurig punt op basis van een rekenmodel gebaseerd op een data-analyse met niet-lineaire regressie op 400 metingen die in Nederland zijn uitgevoerd door diverse onderzoeks- en adviesbureaus, en waarvan de meetresultaten publiek beschikbaar zijn (bijvoorbeeld via rapportages op www.ruimtelijkeplannen.nl en www.omgevingsplannen.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 voertuigen, rijsnelheid, aanwezigheid van wissels of drempels, type spoor- of wegconstructie) 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 19 voor een situatie langs het spoor. In deze figuur is het volgende te zien:

1. Bodem: de brandbreedte 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

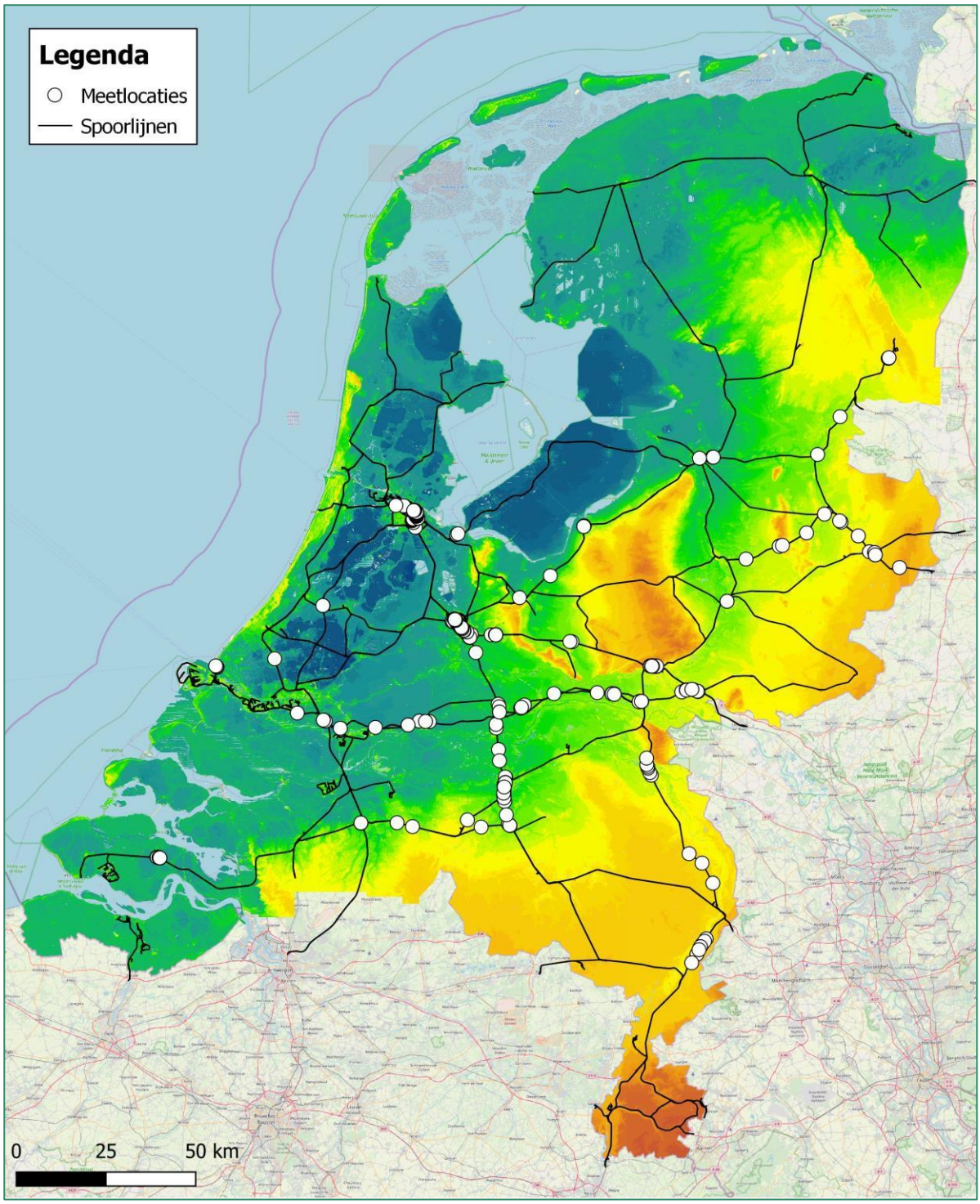
gebouwen vaak houten vloeren hebben, en daardoor gevoeliger zijn voor trillingen. Er is geen significant verschil in de maximale trillingssterkte tussen nieuwe en oude gebouwen. Dit komt vooral doordat bij enkele nieuwe gebouwen dichtbij een spoorwegovergang een significant afwijkend trillingsniveau 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 19 Enkele classificaties van de metingen zoals gebruikt in het rekenmodel

De locaties van de gebruikte metingen zijn weergegeven in Figuur 20. Er is een goede geografische spreiding in het midden van het land, in de noordelijke provincies zijn minder meetlocaties.



Figuur 20 Locaties van metingen gebruikt in het rekenmodel geprojecteerd op een hoogtekaart van Nederland

III. METINGEN

Deze bijlage bevat gegevens over de metingen.

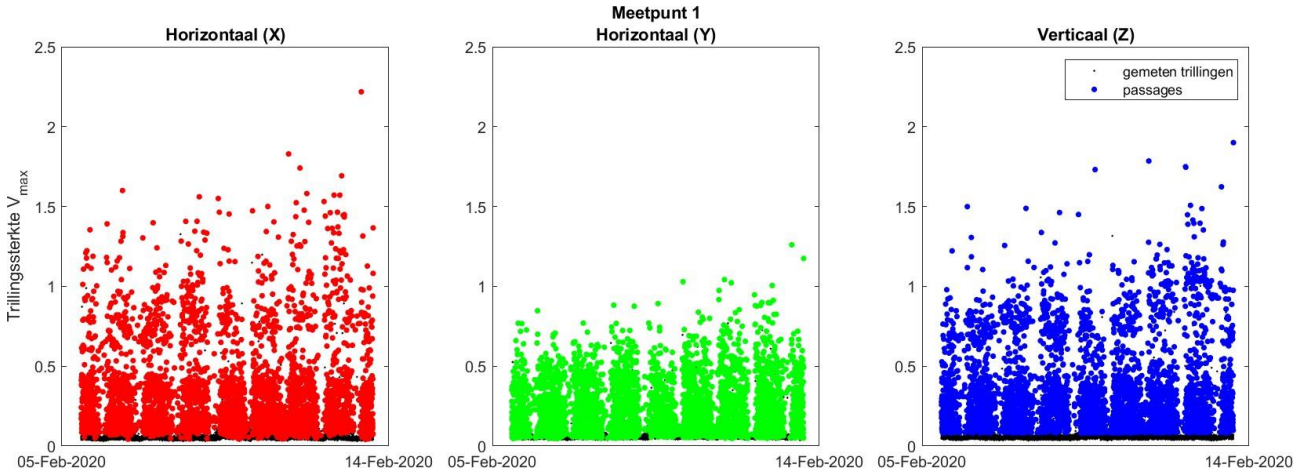
III.1 GEGEVENS METINGEN

Hieronder is een overzicht opgenomen met relevante gegevens van de metingen, conform de eisen in hoofdstuk 11 uit de SBR B-richtlijn.

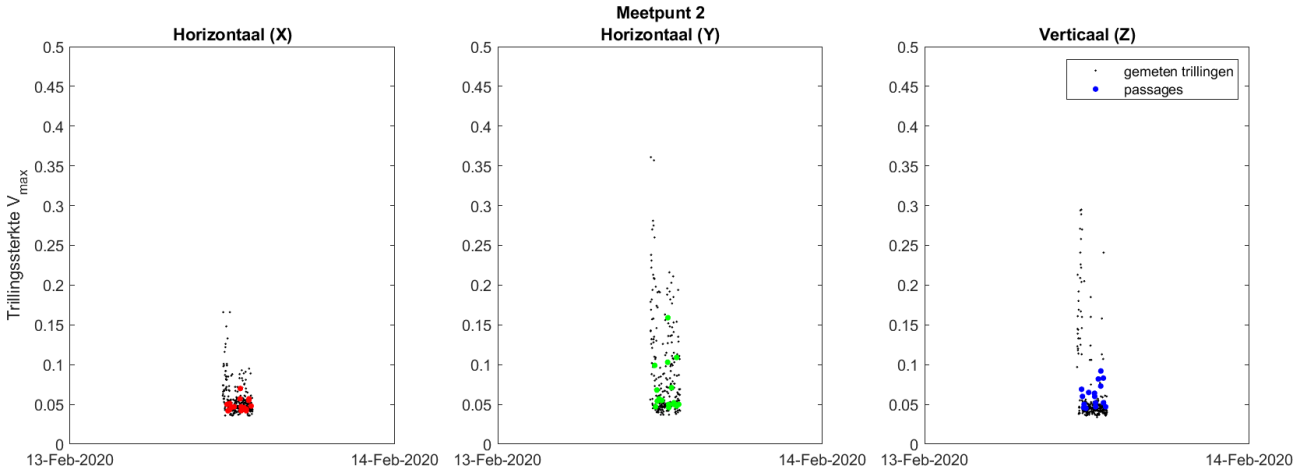
1	*Uitvoerende partij*	Alcedo B.V. Ondernemersweg 3 7451PK Holten
	Verantwoordelijke	Daan Borgonje
2	*Meting uitgevoerd door*	Leon Spikker
3	*Datum en tijd metingen*	5 tot 13 februari 2020
4	*Trillingsbron*	Treinen, lightrailvoertuigen en wegverkeer
5	*Classificatie gebouw*	Niet van toepassing
6	*Locatie metingen*	Zie Figuur 5
7	*Geotechnische gegevens*	Zie bijlage I
8	*Locaties meetpunten en meetrichtingen*	Zie Figuur 5, tenzij anders vermeld: X-richting loodrecht op de trillingsbron Y-richting parallel aan trillingsbron Z-richting verticaal
9	*Gebruikte apparatuur*	FrogWatch opnemers. Zie een uitgebreide toelichting van de specificaties op https://www.frog.watch/facts/.
10	*Gemeten trillingen*	Zie bijlage III.2
11	*Motivatie classificatie gebouw*	Op basis van constructietekeningen en gegevens BAG
12	*Overige relevante omstandigheden*	Geen

III.2 RESULTATEN METINGEN

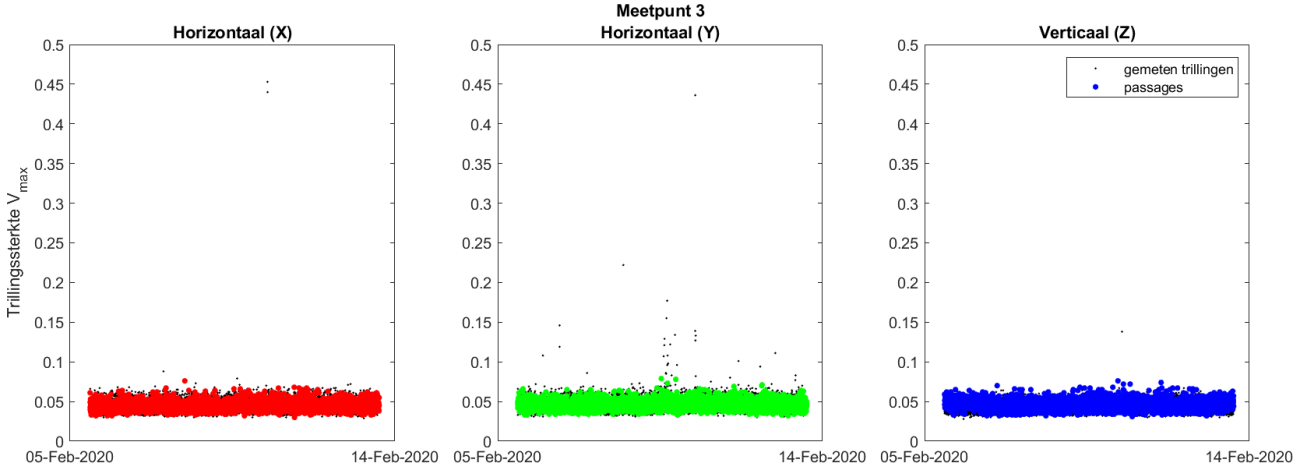
Deze bijlage bevat de resultaten van de metingen van Alcedo. Per meetpunt zijn de gemeten trillingen en de tertsbandspectra per voertuigpassage weergegeven.



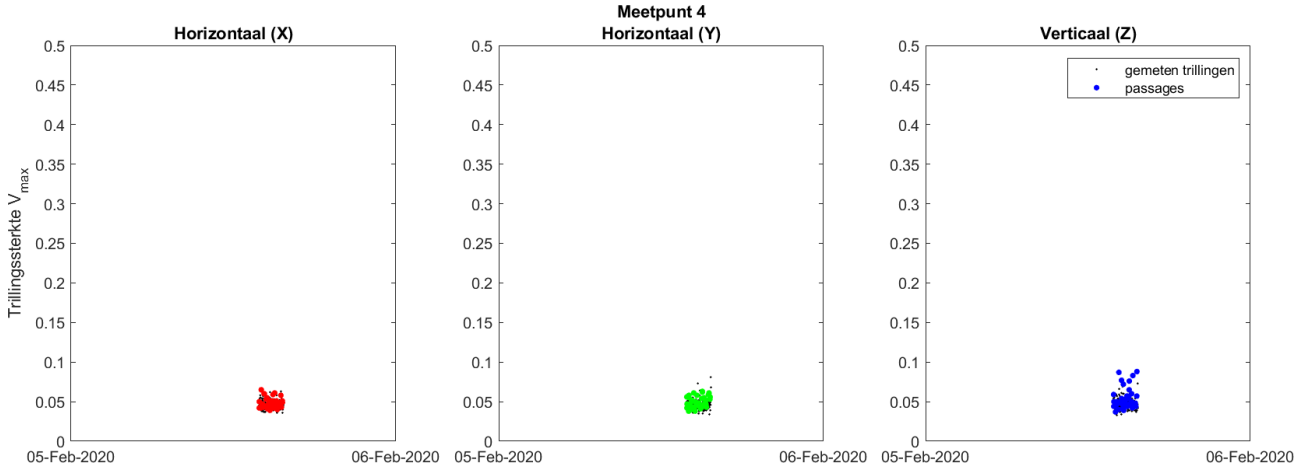
Figuur 21 Trillingen als functie van de tijd bij meetpunt 1



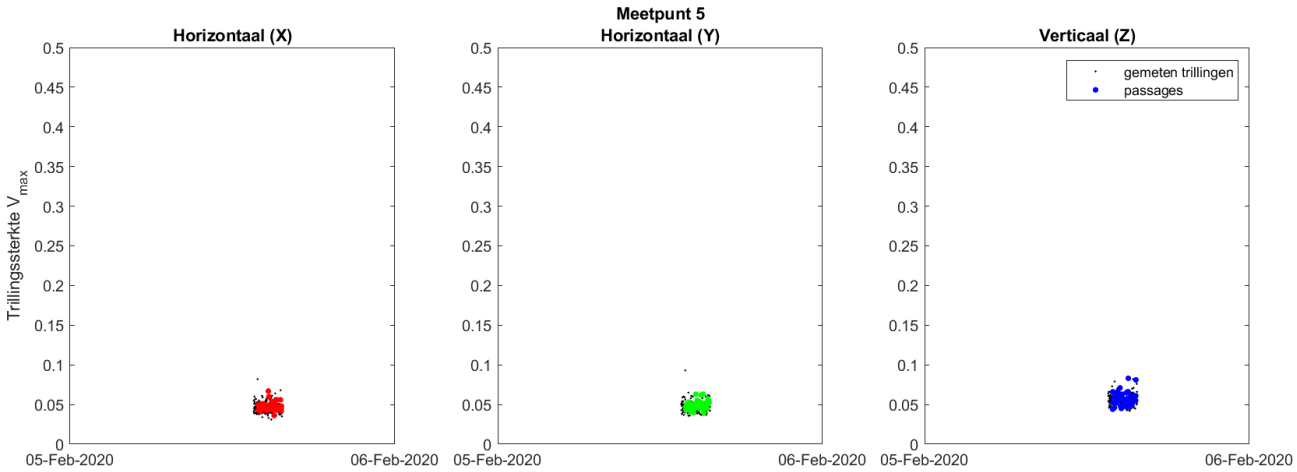
Figuur 22 Trillingen als functie van de tijd bij meetpunt 2



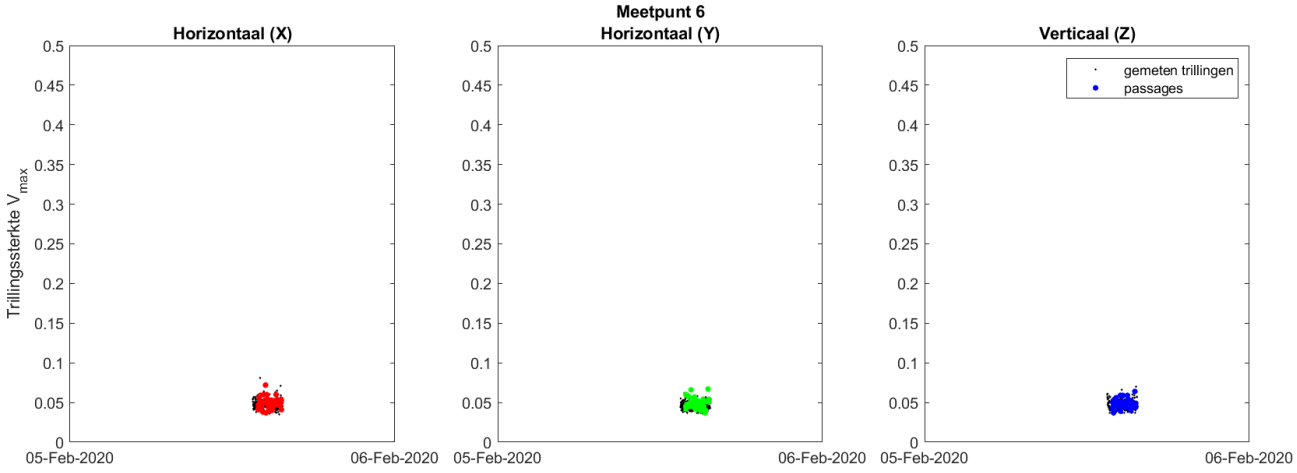
Figuur 23 Trillingen als functie van de tijd bij meetpunt 3



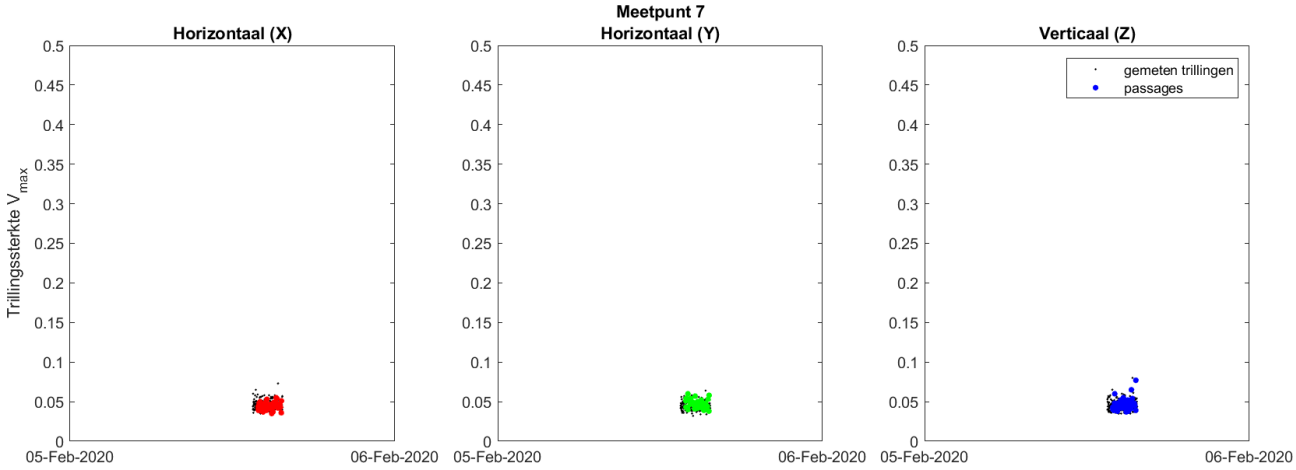
Figuur 24 Trillingen als functie van de tijd bij meetpunt 4



Figuur 25 Trillingen als functie van de tijd bij meetpunt 5

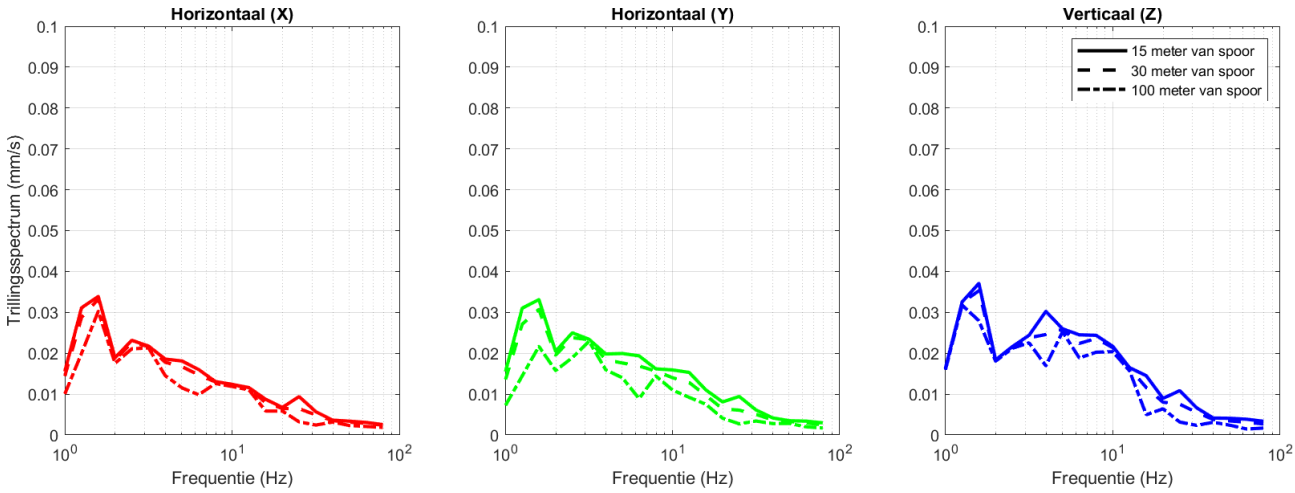


Figuur 26 Trillingen als functie van de tijd bij meetpunt 6



Figuur 27 Trillingen als functie van de tijd bij meetpunt 7

Op vijf meetpunten (zie hoofdstuk 2 en 4) zijn ook tijdssignalen geregistreerd. Deze tijdssignalen zijn vertaald naar tertsbandspectra, de gemiddelde trillingsspectra (mediaan van de spectrogrammen) zijn weergegeven in Figuur 28. Hier is goed te zien dat de trillingen van de lightrailvoertuigen nauwelijks uitdempen met de afstand, maar ook dat er sprake is van relatief lage trillingsniveaus.

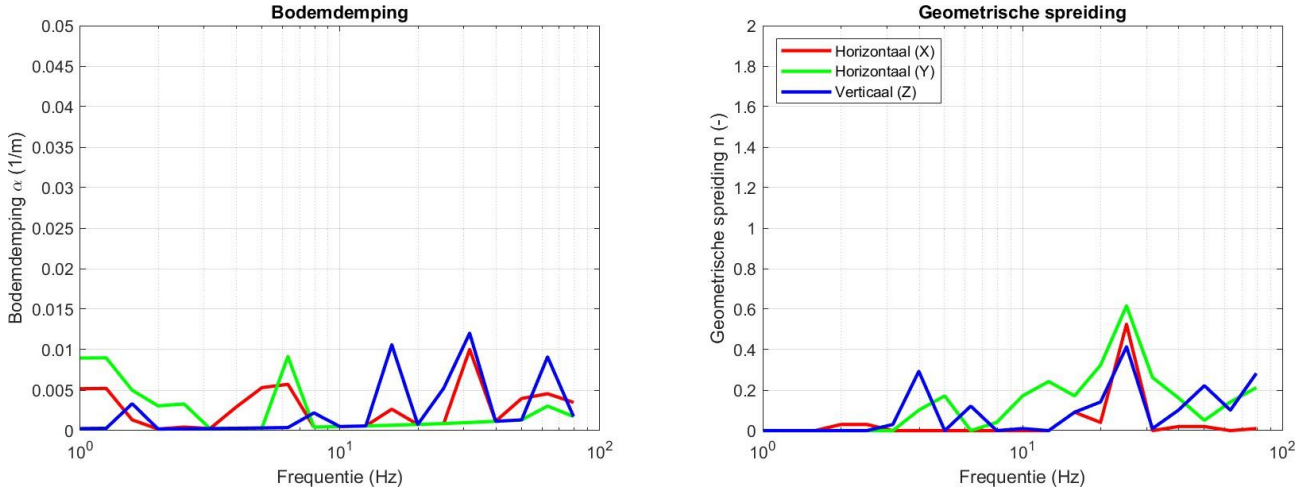


Figuur 28 Trillingsspectra op 15, 30 en 100 meter van de sporen van Randstadrail

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).

$$V(r,f) = V_0(f) \cdot \left(\frac{r_0}{r}\right)^{n(f)} \cdot e^{-\alpha \cdot (r - r_0)} \qquad (1)$$

Hierbij is *V(r)* de trillingssterkte op een willekeurige afstand *r*, *r0* is een referentieafstand (hier 20 meter), α is de bodemdemping (zie Figuur 29) en *n* is de geometrische uitspreiding van de trillingsgolf (zie Figuur 29). Deze resultaten zijn verwerkt in de kalibratie van het rekenmodel.



Figuur 29 Bodemdemping (links) en geometrische spreiding conform vergelijking (1)