

Opsteller | [REDACTED]  
Datum | 28 juni 2023  
Onderwerp | Beoordeling trillingen geoptimaliseerd model Erve Berchus  
Projectcode | WBD2022-026

---

## INLEIDING

Tussen de Aletta Jacobslaan en het spoor in Hengelo, nabij het Gezondheidspark, wordt nieuwbouw met een woonfunctie ontwikkeld. Het plan bestaat uit 145 woningen, in een mix van vrijstaande, twee-onder-één-kap, rijwoningen, appartementen en zorgwoningen. Het plangebied bevindt zich ten noorden van de spoorlijn Zutphen – Hengelo. Gezien de beperkte afstand tot het spoor, met name voor de eerstelijnsbebouwing (<15 meter), kan trillingshinder als gevolg van treinverkeer niet op voorhand worden uitgesloten. In het kader van Wro art. 3.1 is daarom in een eerder stadium onderzocht of sprake is van een aanvaardbaar woon- en leefklimaat ten aanzien van trillingshinder<sup>1</sup>.

Conclusie van dat onderzoek was dat grote delen van het plan voldeden aan het beoordelingskader, maar dat in 8 tot 12 appartementen dichtbij de spoorwegovergang overschrijdingen van het beoordelingskader mogelijk zijn. De hoogte van de overschrijdingen is daarbij afhankelijk van het constructieve concept van de woningen. De trillingen zijn hoger bij de spoorwegovergang door de korte afstand tot het spoor en de ligging nabij de spoorwegovergang, die voor fors hogere trillingen zorgt. In de andere woningen werden geen overschrijdingen van de streefwaarden verwacht.

Inmiddels is de verkaveling aangepast (naar een geoptimaliseerd model, van 23 juni 2023). Dit memo bevat een beoordeling van dit geoptimaliseerde model.

## BEOORDELING

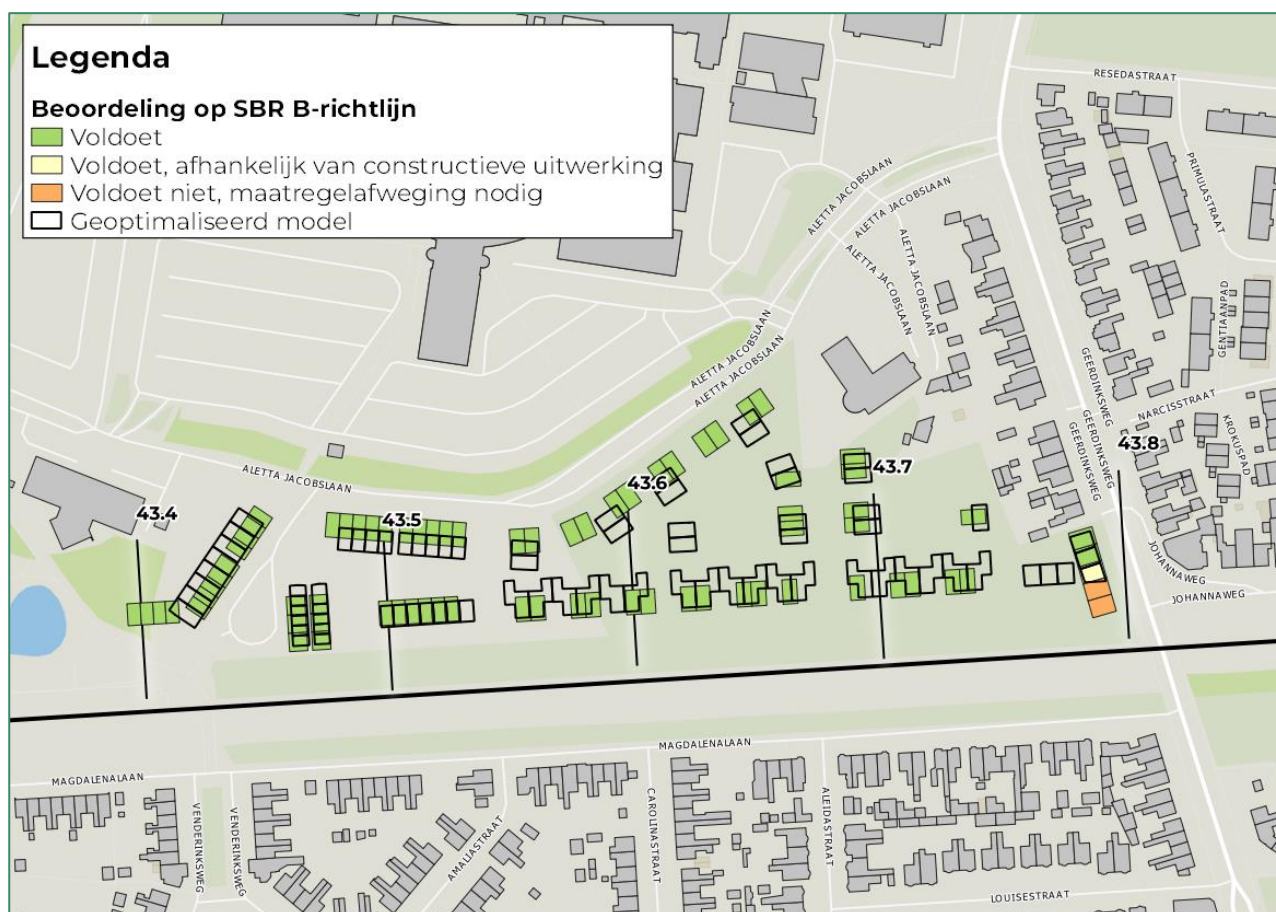
De bouwconcepten zijn niet wezenlijk gewijzigd tussen de eerdere beoordeling en het geoptimaliseerde model. Belangrijkste wijziging is verandering van de structuur van het plan (waardoor met name de 3-kamerappartementen van Welbions en de startersappartementen dichtbij de spoorwegovergang zijn gewijzigd, en de ligging van de andere woningen is aangepast). Afmetingen en hoogtes van de blokken veranderen maar beperkt. Het geoptimaliseerde model is geprojecteerd op de eerdere beoordeling in Figuur 1. Hier zijn de wijzigingen goed zichtbaar. In het geoptimaliseerde model zijn de trillingen lager, zo zijn de

---

<sup>1</sup> Zie [REDACTED] Gezondheidspark Hengelo, trillingsonderzoek t.b.v. nieuwbouw, 12 oktober 2022, We-Boost



appartementen van Welbions, de woningen parallel aan het spoor en de startersappartementen bij de spoorwegovergang verder bij het spoor vandaan gepositioneerd.



Figuur 1 Geoptimaliseerd model geprojecteerd op beoordeling uit eerdere onderzoek

De trillingen in het aangepaste plan zijn beoordeeld op basis van de rekenresultaten uit het eerdere onderzoek.

## CONCLUSIES

De belangrijkste conclusie is dat alleen in de startersappartementen dichtbij de overweg Geerdinksweg incidentele overschrijdingen van het beoordelingskader voor trillingshinder, de SBR B-richtlijn, mogelijk zijn, afhankelijk van hoe de appartementen verder worden gedetailleerd. Het gaat om minder dan 1 overschrijding per dag, veroorzaakt door zware goederentreinen met een afwijkende trillingssterkte. Alle andere treinen voldoen (ruim) aan het beoordelingskader. Overschrijdingen zijn mogelijk in 12 appartementen.



## HOE VERDER?

In het eerdergenoemde onderzoek is beschreven welke maatregelen wel en niet mogelijk zijn. Uit dat onderzoek volgde dat maatregelen aan het spoor kostbaar zijn (kosten bedragen meer dan € 0.5 mln. om overschrijdingen te voorkomen, betreft vooral maatregelen aan de overweg). Maatregelen in de bodem zijn nog kostbaarder, waarschijnlijk onvoldoende effectief en lastig inpasbaar door de korte afstand tussen spoor en bebouwing. Overschrijdingen zijn wel te voorkomen door in de bouwkundige detaillering rekening te houden met trillingen.

Mogelijke oplossingen om de incidentele overschrijdingen te voorkomen zijn:

1. Zware constructie met **betonnen skelet met breedplaatvloeren**. Betonnen wanden (liefst i.h.w.g.) en een breedplaatvloer met een eigenfrequentie boven de 12.5 Hz zorgen ervoor dat de trillingen voldoen aan de streefwaarden.
2. **Fundering afschermen**. Door het plaatsen van 1000 mm dikke EPS-blokken tegen de fundering of een 2 meter diepe L-wand met luchtsponw wordt de fundering afgeschermd, en voldoen de trillingen aan de streefwaarden.
3. **Fundering verzwaren**, bijvoorbeeld door een palenfundering of een dikke plaatfundering. Ook hiermee zijn de trillingen lager dan de streefwaarden.

Door één van bovengenoemde optimalisaties of maatregelen door te voeren, is te voldoen aan het beoordelingskader voor trillingshinder. We adviseren om deze maatregelen in het verdere uitwerkingsproces af te wegen op doelmatigheid (d.w.z., of het effect opweegt tegen de meerkosten, gelet op het beperkte en incidentele karakter van de overschrijdingen). Met een beroep op bijlage 5 van de SBR B-richtlijn kan ook worden gemotiveerd dat er geen onaanvaardbaar woon- en leefklimaat ontstaat in de geplande appartementen, zelfs zonder maatregelen, mits goed wordt gemotiveerd waarom de genoemde maatregelen niet inpasbaar of te kostbaar zijn. Argumenten die aanvullend daarbij gebruikt kunnen worden, zijn:

- Er is sprake van een beperkt aantal overschrijdingen. Het gaat om minder dan 1 overschrijding per dag.
- De trillingen voldoen weliswaar niet aan de strenge streefwaarden voor nieuwbouw uit de SBR B-richtlijn, maar wel aan de soepeler streefwaarden voor bestaande situaties uit de SBR B-richtlijn. In de soepeler streefwaarden voor bestaande situaties is een zekere mate van gewenning meegenomen.
- De woningen worden gerealiseerd in een zone dichtbij het spoor, waar nu ook al bebouwing is gerealiseerd die soms dicht bij het spoor staat. Het gaat daar bovendien om oudere, lichtere en meer trillingsgevoelige bebouwing, waar de trillingen dus hoger zullen zijn dan in de nieuwe gebouwen. Bovendien zijn er geen klachten over trillingshinder bekend uit de bestaande woningen. Daarom ontstaat in de geplande appartementen geen onacceptabele situatie: de trillingen zijn daar immers (veel) lager dan in andere, al bestaande bebouwing rond deze locatie.



WE  
BOOST



**TRILLINGSONDERZOEK T.B.V. NIEUWBOUW**

---

# **GEZONDHEIDSPARK HENGELO**



# COLOFON

Auteur

[REDACTED]  
[REDACTED]

Controle en vrijgave

[REDACTED]  
[REDACTED]  
[REDACTED]



Projectcode

WBD2022-026

Versienr

1.0

Datum

12 oktober 2022

Status

Definitief

Opdrachtgever

HK2 Projectontwikkeling

Voor dit onderzoek is gebruik gemaakt van metingen van

# ALCEDO

© We-Boost 2022

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.

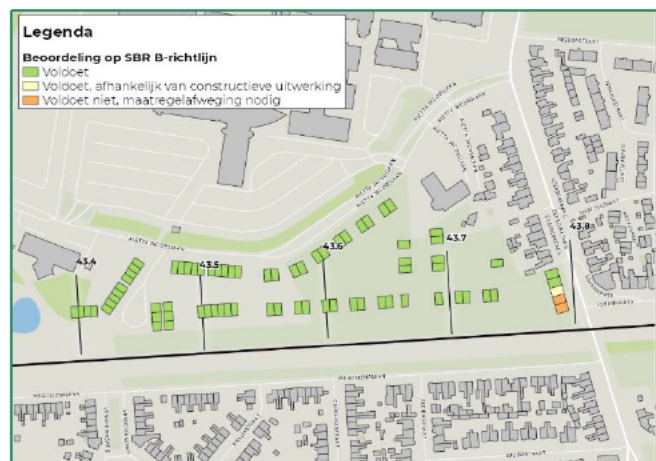
# DE KERN VAN DIT RAPPORT

Tussen de Aletta Jacobslaan en het spoor in Hengelo, nabij het Gezondheidspark, wordt nieuwbouw met een woonfunctie ontwikkeld. Het plan bestaat uit 48 appartementen, 28 beneden-bovenwoningen, 16 rijenwoningen en 36 twee-onder-één-kapwoningen. Het plangebied bevindt zich ten noorden van de spoorlijn Zutphen – Hengelo. Gezien de beperkte afstand tot het spoor, kan trillingshinder als gevolg van treinverkeer niet op voorhand worden uitgesloten.

Doel van het voorliggende onderzoek is daarom om vast te stellen of er sprake zal zijn van trillingshinder in de nieuw te realiseren bebouwing, en zo ja, met welke maatregelen een aanvaardbaar woon- en leefklimaat kan worden gegarandeerd (e.e.a. conform de Wro art. 3.1, wat in wezen niet verandert in de Omgevingswet (art. 4.2)). In dit onderzoek is met behulp van metingen op de bouwlocatie en modelberekeningen onderzocht wat de trillingen zullen zijn in de toekomstige bebouwing. Hierbij volgen we de aanpak zoals voorgeschreven in de *Handreiking Nieuwbouw en Spoortrillingen* van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.

## CONCLUSIES

De belangrijkste conclusie van het onderzoek is dat alleen in het blok appartementen dichtbij de overweg Geerdinksweg incidentele overschrijdingen van het beoordelingskader voor trillingshinder, de SBR B-richtlijn, worden verwacht. Het gaat om minder dan 1 overschrijding per dag, veroorzaakt door zware goederentreinen met een afwijkende trillingssterkte. Alle andere treinen voldoen (ruim) aan het beoordelingskader. Overschrijdingen worden verwacht in 8 tot 12 appartementen, afhankelijk van constructieve keuzes in het uitwerkingsproces.



De trillingen zijn hier hoger door de korte afstand tot het spoor en de ligging nabij de spoorwegovergang, die voor fors hogere trillingen zorgt. In de andere woningen worden geen overschrijdingen van de streefwaarden verwacht: de afstand tot het spoor is groter, er ligt een spoorsloot tussen het spoor en de gebouwen (die de trillingen dempt) en de woningen liggen verder bij de overweg vandaan. Bovendien is de rijsnelheid van de treinen laag.

Omdat er overschrijdingen van het beoordelingskader worden verwacht, is onderzoek gedaan naar mitigerende maatregelen. Hierbij is zowel gekeken naar maatregelen aan het spoor, in de bodem als naar maatregelen aan de geplande gebouwen.

## AFWEGING VAN MAATREGELEN

Uit het onderzoek naar maatregelen volgt dat effectieve maatregelen aan het spoor kostbaar zijn (kosten bedragen meer dan € 0.5 mln. om overschrijdingen te voorkomen, betreft vooral

maatregelen aan de overweg). Maatregelen in de bodem zijn nog kostbaarder, waarschijnlijk onvoldoende effectief en lastig inpasbaar door de korte afstand tussen spoor en bebouwing. Met maatregelen aan de gebouwen zijn overschrijdingen alleen te voorkomen door het afveren van de gebouwen (stalen veerdozen tussen fundering en onderste bouwlaag), of door meerdere maatregelen te combineren.

Op basis van het maatregelenonderzoek adviseren we om bij de verdere uitwerking de volgende opties af te wegen:

1. Is het mogelijk om de appartementen **verder bij het spoor vandaan** te plaatsen? Dat kan door een kleinere beukmaat te hanteren, door het gebouw smaller te maken (4 appartementen minder) of het gebouw anders vorm te geven (in een hoek bijvoorbeeld). Ter indicatie: 7 meter verder van het spoor vandaan zijn de trillingen ca. 40% lager.
2. Is het mogelijk om de constructie als **betonnen skelet met breedplaatvloeren** uit te voeren? Hiermee zijn de trillingen met zo'n 5 tot 15% te reduceren. Door extra dikke wanden te gebruiken, in combinatie met i.h.w.g. beton, is dit reductiepercentage op te voeren tot zo'n 25 tot 35%.
3. Is het mogelijk om de **fundering af te scherm**, door het plaatsen van 1000 mm dikke EPS-blokken tegen de fundering, of eventueel een 2 meter diepe L-wand met luchtsponw? Deze maatregel kan de trillingen met 25 tot 45% reduceren (EPS), resp. 15 tot 30%.
4. Is het mogelijk om de **fundering te verzwaren**, bijvoorbeeld door gebruik te maken van een palenfundering of een dikke plaatfundering? Deze maatregel heeft zo'n 10 tot 20% effect.

Met bovenstaande maatregelen is een acceptabel woon- en leefklimaat ten aanzien van trillingen te garanderen in alle woningen in het plangebied. In totaal is minimaal 50% reductie nodig, dit is te bereiken met verschillende combinaties van bovenstaande maatregelen.

Meest effectief en robuust is het afveren van de funderingen van het appartementenblok. Hiervoor dienen de woningen met een dubbele fundering te worden uitgevoerd. Met deze maatregel zijn overschrijdingen in alle woningen in het plangebied weg te nemen, maar de maatregel kost tussen de € 200.000 en € 350.000 voor het gehele woonblok.

Tenslotte, gelet op de hoge trillingen in de appartementen dichtbij het spoor adviseren we om in ieder geval om bovenstaande aanbevelingen mee te nemen in de verdere ontwikkeling van het plan.





# INHOUDSOPGAVE

|            |                                       |           |
|------------|---------------------------------------|-----------|
| <b>I.</b>  | <b>INLEIDING</b>                      | <b>8</b>  |
| 1.1.       | Aanleiding                            | 8         |
| 1.2.       | Doel                                  | 8         |
| 1.3.       | Leeswijzer                            | 8         |
| <b>2.</b>  | <b>SITUATIE EN UITGANGSPUNTEN</b>     | <b>11</b> |
| 2.1.       | Situatie                              | 11        |
| 2.2.       | Uitgangspunten                        | 12        |
| <b>3.</b>  | <b>BEOORDELINGSKADER EN WERKWIJZE</b> | <b>15</b> |
| 3.1.       | Trillingen en wetgeving               | 15        |
| 3.2.       | Beoordelingskader trillingshinder     | 15        |
| 3.3.       | Rekenmethode                          | 16        |
| <b>4.</b>  | <b>VERWACHTE TRILLINGEN</b>           | <b>20</b> |
| 4.1.       | Meetresultaten                        | 20        |
| 4.2.       | Trillingen in geplande bebouwing      | 20        |
| <b>5.</b>  | <b>MITIGERENDE MAATREGELEN</b>        | <b>24</b> |
| 5.1.       | Nut en noodzaak van maatregelen       | 24        |
| 5.2.       | Analyse resultaten                    | 24        |
| 5.3.       | Maatregelen aan de trillingsbron      | 25        |
| 5.4.       | Maatregelen in de bodem               | 26        |
| 5.5.       | Maatregelen aan de gebouwen           | 27        |
| 5.6.       | Advies voor maatregelen               | 28        |
| 5.7.       | Onzekerheden in het onderzoek         | 29        |
| <b>I.</b>  | <b>GRONDONDERZOEK</b>                 | <b>31</b> |
| <b>II.</b> | <b>REKENMODEL</b>                     | <b>33</b> |



### **III. RESULTATEN METINGEN**

**37**

### **I. DETAILS MAATREGELEN**

**43**





## 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.

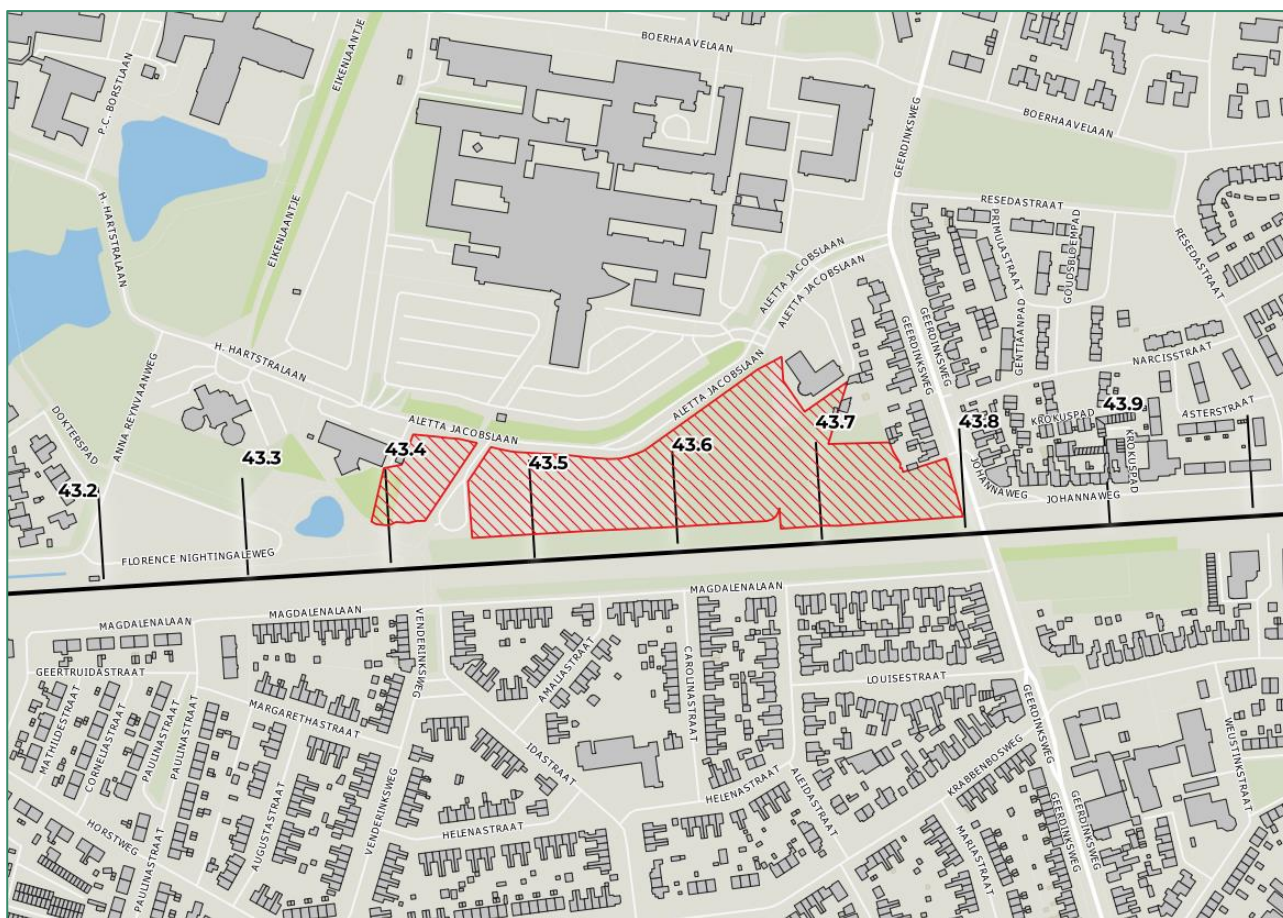




# INLEIDING

## 1.1. AANLEIDING

Tussen de Aletta Jacobslaan en het spoor in Hengelo, nabij het Gezondheidspark, wordt nieuwbouw met een woonfunctie ontwikkeld. Het plan bestaat uit 48 appartementen, 28 beneden-bovenwoningen, 16 rijenwoningen en 36 twee-onder-één-kapwoningen. Het plangebied bevindt zich ten noorden van de spoorlijn Zutphen – Hengelo, zie Figuur 1. Gezien de beperkte afstand tot het spoor, met name voor de eerstelijnsbebouwing (<15 meter), kan trillingshinder als gevolg van treinverkeer niet op voorhand worden uitgesloten.



Figuur 1 Plangebied

## 1.2. DOEL

Doel van dit onderzoek is om vast te stellen of er sprake zal zijn van trillingshinder in de geplande bebouwing, en zo ja, met welke maatregelen deze hinder is te voorkomen. Hiervoor maken wij een nauwkeurige predictie van de trillingen in de geplande bebouwing, conform de in de *Handreiking Nieuwbouw en Spoortrillingen* omschreven aanpak. Deze trillingen toetsen we aan het van toepassing zijnde beoordelingskader. Als we overschrijdingen van het beoordelingskader verwachten, dan geven we aan met welke constructieve aanpassingen of maatregelen kan worden voldaan aan de streefwaarden uit het beoordelingskader.

## 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 berekenen we de trillingen in de woning op basis van de gemeten trillingen en de eigenschappen van het gebouw. Het resultaat van deze stap wordt in hoofdstuk 4 beschreven. In hoofdstuk 5 gaan we in op mitigerende maatregelen.

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





## SITUATIEBESCHRIJVING



In dit hoofdstuk wordt een toelichting gegeven op de beoogde toekomstige situatie en worden de uitgangspunten van het onderzoek weergegeven.

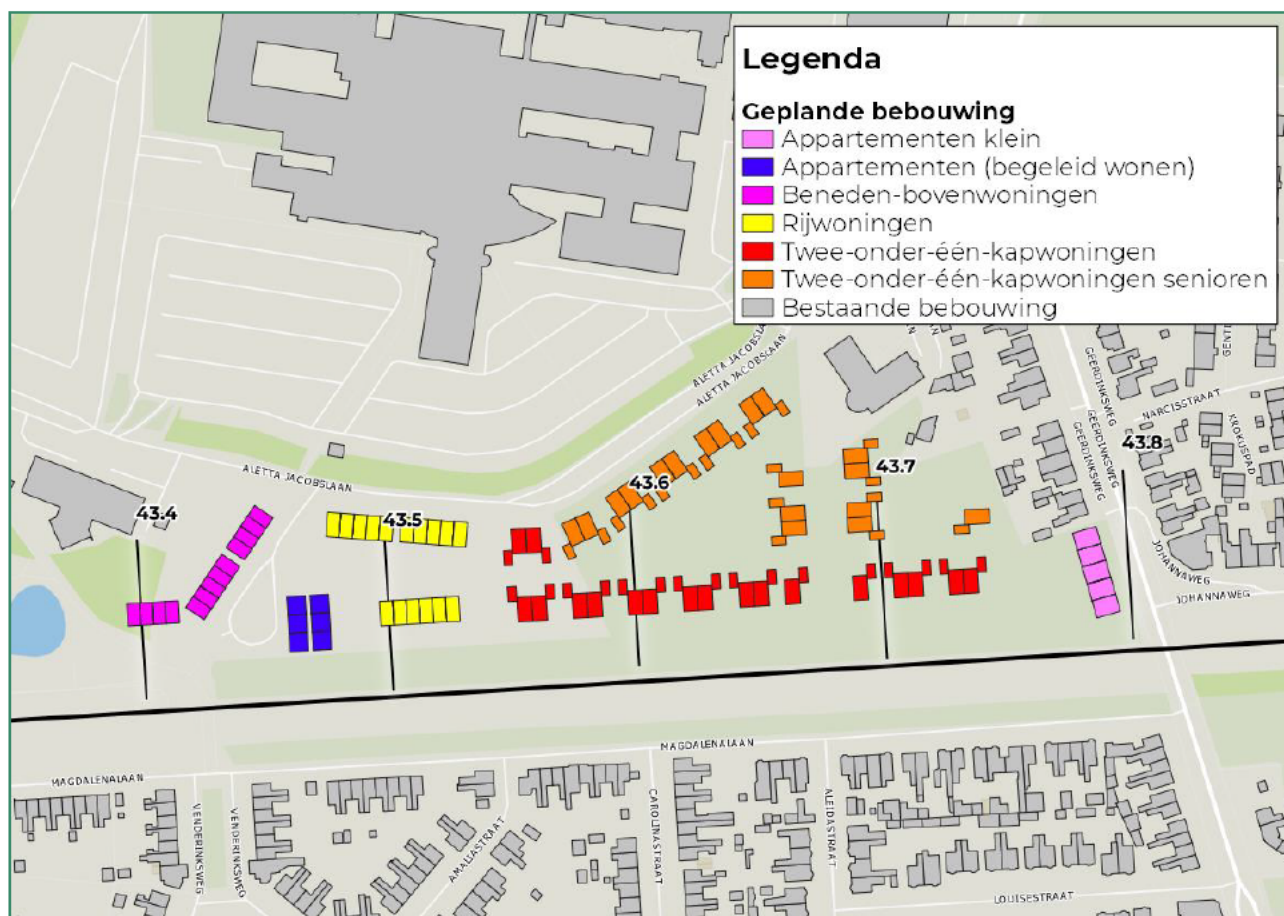




# 2. SITUATIE EN UITGANGSPUNTEN

## 2.1. SITUATIE

Tussen de Aletta Jacobslaan en het spoor in Hengelo, nabij het Gezondheidspark, wordt nieuwbouw met een woonfunctie ontwikkeld. Het plan bevat twee blokken met in totaal 48 appartementen, waarvan een deel bedoeld is voor begeleid wonen. Verder is er één blok van 28 beneden-boven woningen opgenomen in het westelijke deel van het plangebied. De overige bebouwing betreft rijwoningen en twee-onder-één-kapwoningen. De geplande bebouwing is weergegeven in Figuur 2.



Figuur 2 Bestaande en geplande bebouwing op de planlocatie

De geplande nieuwbouw bevindt zich in een zone van 15 tot 105 meter van het spoor. De rijsnelheid en het aantal treinen per uur per richting zijn weergegeven in Tabel 1. De gegevens in Tabel 1 zijn gebaseerd op het Geluidsregister Spoor en gegevens van de vervoerders. Reizigerstreinen stoppen op het nabijgelegen station Hengelo Gezondheidspark. Volgens de IMA-2021 (vooruitblik voor spoorvervoer) wordt er geen toename van het aantal treinen verwacht.

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

| Treindienst     | Snelheid      | Aantal overdag | Aantal 's avonds | Aantal 's nachts |
|-----------------|---------------|----------------|------------------|------------------|
| Sprinters       | 40 - 110 km/h | 2.00           | 1.75             | 0.50             |
| Goederentreinen | 40 - 90 km/h  | 0.04           | 0.02             | 0.00             |

Andere trillingsbronnen, met name zwaar wegverkeer over de spoorwegovergang Geerdinksweg, kunnen ook voor voelbare trillingen in de woningen dichtbij de spoorwegovergang zorgen, maar zijn in dit onderzoek niet nader kwantitatief beschouwd.

## 2.2. UITGANGSPUNTEN

Voor dit onderzoek is gebruik gemaakt van een aantal uitgangspunten. In het volgende hoofdstuk wordt toegelicht hoe deze uitgangspunten zijn verwerkt in de berekeningen.

### 2.2.1. GEGEVENS BEBOUWING

Er is nog geen definitief ontwerp van de bebouwing beschikbaar. Voor het uitvoeren van de berekeningen is daarom een aantal varianten doorgerekend, zodat dit rapport bruikbaar is voor verschillende constructieve uitwerkingen. Zo hebben we verschillende constructiewijzen en materiaaltypes doorgerekend, zodat we robuuste uitspraken kunnen doen over de verwachte trillingen. In Tabel 2 zijn de belangrijkste varianten weergegeven. Het rekenmodel voor de bebouwing is hierop gebaseerd.

Tabel 2 Eigenschappen bebouwing

| Parameter         | Eigenschappen                                                                                                                                                                               |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Vloertype         | Meerdere varianten: <ul style="list-style-type: none"><li>• Kanaalplaatvloer 200 en 260 mm, 70 mm zandcement dekvloer</li><li>• Breedplaatvloer 200 mm, 70 mm zandcement dekvloer</li></ul> |
| Gebouwhoogte      | 6 tot 15 meter, afhankelijk van bouwblok                                                                                                                                                    |
| Vloeroverspanning | 5.2 tot 7.2 meter, afhankelijk van bouwblok                                                                                                                                                 |
| Constructietype   | Meerdere varianten: <ul style="list-style-type: none"><li>• Kalkzandsteen en metselwerk</li><li>• Prefab beton en i.h.w.g. beton</li></ul>                                                  |
| Fundering         | Meerdere varianten: <ul style="list-style-type: none"><li>• Op staal</li><li>• Op palen, Ø350 mm, 10 m lang</li></ul>                                                                       |

### 2.2.2. GEGEVENS ONDERGROND

Voor gegevens van de ondergrond is gebruik gemaakt van beschikbare boringen en sonderingen uit Dinoloket en bodemonderzoeken die in de omgeving van het plangebied zijn uitgevoerd. Deze gegevens 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.

### 2.2.3. MEETRESULTATEN

Zoals te zien in Figuur 4 zijn door Alcedo op zeven locaties metingen uitgevoerd. Aangezien er geen bestaande bebouwing is in het plangebied zijn alle metingen uitgevoerd op maaiveld. Meetpunt 4 is gebruikt om de effect van de overweg te bepalen. Meetpunt 3 geeft inzicht in het effect van de bestaande sloot die tussen het plangebied en het spoor ligt. Meetpunten 2, 5 en 6 zijn gebruikt om de uitdemping in de bodem te bepalen, de overige meetpunten om de variatie



van de trillingen in het plangebied te bepalen. De metingen zijn uitgevoerd van 21 tot 28 september 2022.



Figuur 3 Meetpunten





# BEOORDELINGSKADER



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





# **BEOORDELINGSKADER EN WERKWIJZE**

## **3.1. TRILLINGEN EN WETGEVING**

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 o.b.v. de Wet Ruimtelijke Ordening (Wro) kan worden verzocht om trillingen mee te nemen bij de wijziging van bestemmingsplannen waar trillingen een rol kunnen spelen.

Per 1 januari 2023 wordt de Omgevingswet (Ow) naar verwachting van kracht. Ook in de Ow zijn geen streef- en grenswaarden opgenomen voor trillingen afkomstig van hoofd- en spoorwegen. Het begrip 'goede ruimtelijke ordening' uit de Wro art. 3.1 is in de Ow vervangen door het begrip 'evenwichtige toedeling van functies aan locaties', art. 4.2. Vanuit dit artikel moet ook in het kader van een omgevingsplan onder de Ow trillingshinder (waar relevant) in kaart worden gebracht en betrokken worden bij de afweging in het kader van het beschermen van de fysieke leefomgeving. Net als onder de 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.

## **3.2. BEOORDELINGSKADER TRILLINGSHINDER**

Op basis van jurisprudentie wordt al enkele decennia gebruik gemaakt van de SBR-richtlijn om trillingen in gebouwen te beoordelen.<sup>1</sup>

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 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 ( $V_{per}$ , deze grootheid 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

---

<sup>1</sup> 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.



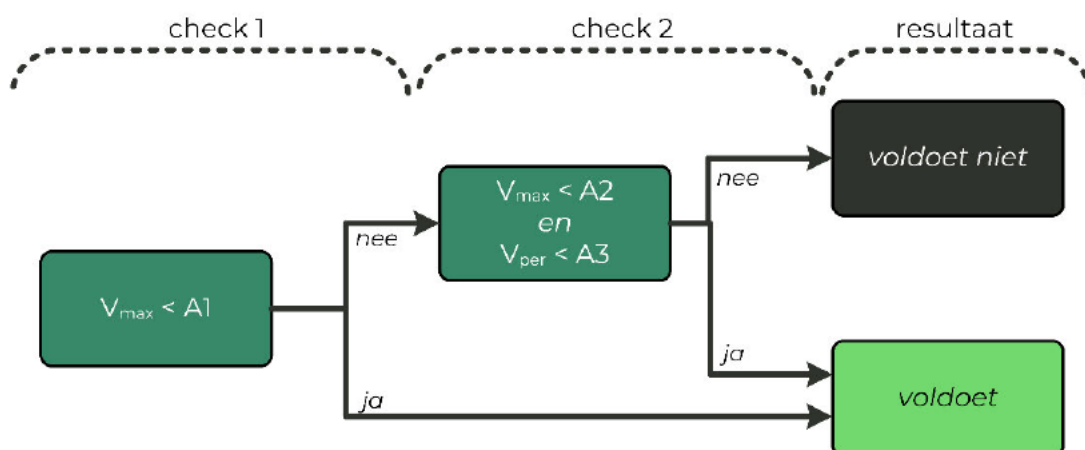
een zekere mate van gewenning en er zijn minder mogelijkheden om de trillingen te reduceren.

- 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. In dit plan gaat het uitsluitend om gebouwen met een woonfunctie.
- 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.

Een gebouw kan op twee manieren voldoen aan de richtlijn: de trillingssterkte  $V_{max}$  moet lager zijn dan de onderste streefwaarde A1 (zie Tabel 3), 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 5.

*Tabel 3 Streefwaarden in de SBR-richtlijn deel B voor gebouwen met bestemming wonen*

|                    | Dag en avond |     |      | Nacht |     |      |
|--------------------|--------------|-----|------|-------|-----|------|
| Situatie           | A1           | A2  | A3   | A1    | A2  | A3   |
| Nieuwe situatie    | 0.1          | 0.4 | 0.05 | 0.1   | 0.2 | 0.05 |
| Bestaande situatie | 0.2          | 0.8 | 0.10 | 0.2   | 0.4 | 0.10 |



*Figuur 4 Schema beoordeling SBR B-richtlijn*

### 3.3. REKENMETHODE

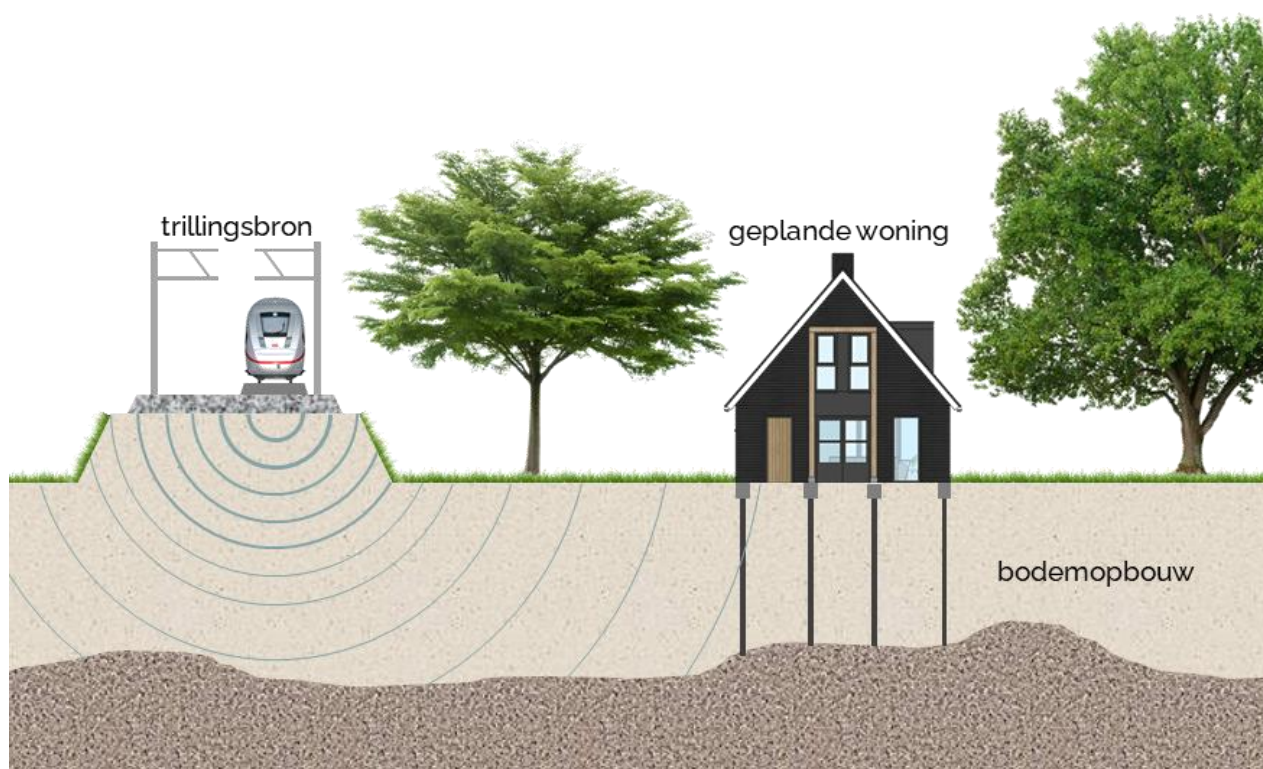
In de SBR-richtlijn deel B worden de trillingen beoordeeld in gebouwen. Omdat het bij dit project gaat om nog niet gerealiseerde gebouwen, wordt op basis van metingen in de omgeving van de bebouwing een berekening gemaakt van de verwachte trillingen in de geplande nieuwe bebouwing. Deze verwachte trillingen zijn afhankelijk van de constructieve eigenschappen van de geplande bebouwing, 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. In de volgende subparagrafen wordt beschreven hoe dat is vertaald naar een rekenmodel.

#### 3.3.1. TRILLINGEN – VAN TRILLINGSBRON NAAR GEBOUW

Trillingen ontstaan doordat een bewegend object (een trein, tram of vrachtwagen bijvoorbeeld) over een niet-efen 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 6.

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



*Figuur 5 Trillingen – het systeem van trillingsbron, de bodem als doorgeefmedium en het gebouw als ontvanger*

### **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 meerdere punten op maaiveld in het plangebied en aan de fundering van het bestaande gebouw. De beoordeling van de trillingen in de geplande bebouwing heeft plaatsgevonden op basis van deze metingen.

### **3.3.3. DE BODEM**

De bodem op deze locatie bestaat voornamelijk uit stijve zandlagen, zie bijlage I. De uitdemping van de trillingen met de afstand is bepaald met een rekenmodel op basis van deze bodemopbouw voor een zo betrouwbaar mogelijke predictie van de trillingen.

### **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. Het gebouwgedrag is in dit onderzoek bepaald op basis van de bodemopbouw, de constructieve eigenschappen en de gebruikte materialen van de gebouwen. Hiervoor maken we gebruik van het rekenmodel Buildyn, een zogenaamd beam-element model (BEM) waarin het gebouw gemodelleerd en doorgerekend wordt. De resultaten van het model zijn geijkt met praktijkresultaten uit metingen. Een toelichting op het rekenmodel Buildyn is gegeven in bijlage II.







## VERWACHTE TRILLINGEN



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

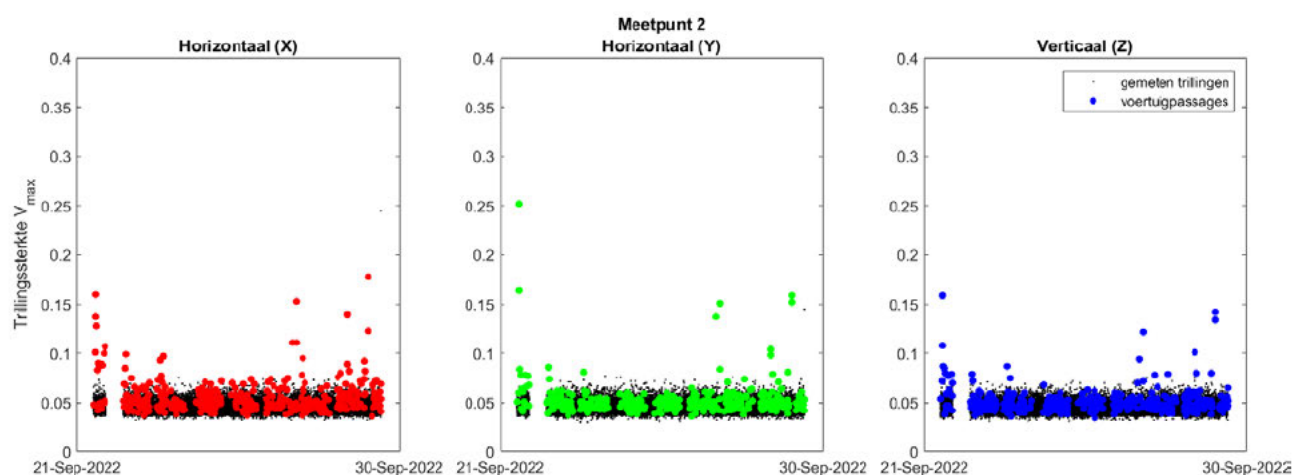


# **VERWACHTE TRILLINGEN**

## 4.1. MEETRESULTATEN

Alcedo heeft metingen uitgevoerd op maaiveld. De trillingen op meetpunt 2 zijn weergegeven in Figuur 7. Dit meetpunt was gelegen in het midden van het plangebied, dichtbij het spoor. Overige gegevens uit de metingen hebben we opgenomen in bijlage III. In Figuur 7 valt op dat de meeste trillingen gelijk zijn aan de achtergrondtrillingen, maar dat af en toe hogere trillingen worden waargenomen. Het betreft dan vooral de trillingen van goederentreinen. De trillingen van reizigerstreinen zijn laag, het gaat om lichte treinen op lage snelheid.

Uit de meetresultaten in bijlage III blijkt dat bij de overweg de trillingen fors hoger zijn, en dat de sloot een dempend effect heeft op de trillingen.



Figuur 6 Gemeten trillingen aan fundering bestaande bebouwing

## 4.2. TRILLINGEN IN GEPLANEDE BEBOUWING

De geplande bebouwing is gemodelleerd op basis van de informatie uit Tabel 2. Een voorbeeld van het (frequentie-afhankelijke) gedrag van de geplande bebouwing is weergegeven in bijlage II. Met deze resultaten is bepaald in welke mate de trillingen worden versterkt tussen de huidige meetpunten en de vloeren in de toekomstige bebouwing.

De resultaten per gebouwtype hebben we weergegeven in Tabel 4, samen met een beoordeling van de trillingen. De trillingen zijn weergegeven als een bandbreedte, omdat de trillingen afhankelijk zijn van de constructieve uitwerking. **Oranje** arcering geeft aan dat er sprake is van een overschrijding van de streefwaarden uit de SBR B-richtlijn in minimaal een woning van het betreffende type.

Tabel 4 Trillingen per bouwdeel en beoordeling op SBR B-richtlijn

| Type                           | $V_{\max, \text{dag}}$ | $V_{\max, \text{nacht}}$ | $V_{\text{per}}$ | Beoordeling                              |
|--------------------------------|------------------------|--------------------------|------------------|------------------------------------------|
| Appartementen klein            | 0.2 – 0.9              | 0.2 – 0.5                | 0.00 – 0.01      | Voldoet niet, < 1 overschrijding per dag |
| Appartementen (begeleid wonen) | 0.2                    | 0.1 – 0.2                | 0.00             | Voldoet                                  |
| Beneden-bovenwoningen          | 0.1 – 0.3              | 0.1 – 0.2                | 0.00             | Voldoet                                  |
| Rijwoningen                    | 0.2 – 0.3              | 0.1 – 0.2                | 0.0              | Voldoet                                  |





| Type                     | $V_{\max, \text{dag}}$ | $V_{\max, \text{nacht}}$ | $V_{\text{per}}$ | Beoordeling |
|--------------------------|------------------------|--------------------------|------------------|-------------|
| 2-onder-1-kap            | 0.2 – 0.3              | 0.2                      | 0.00 – 0.01      | Voldoet     |
| 2-onder-1-kap (senioren) | 0.2 – 0.3              | 0.1 – 0.2                | 0.00             | Voldoet     |

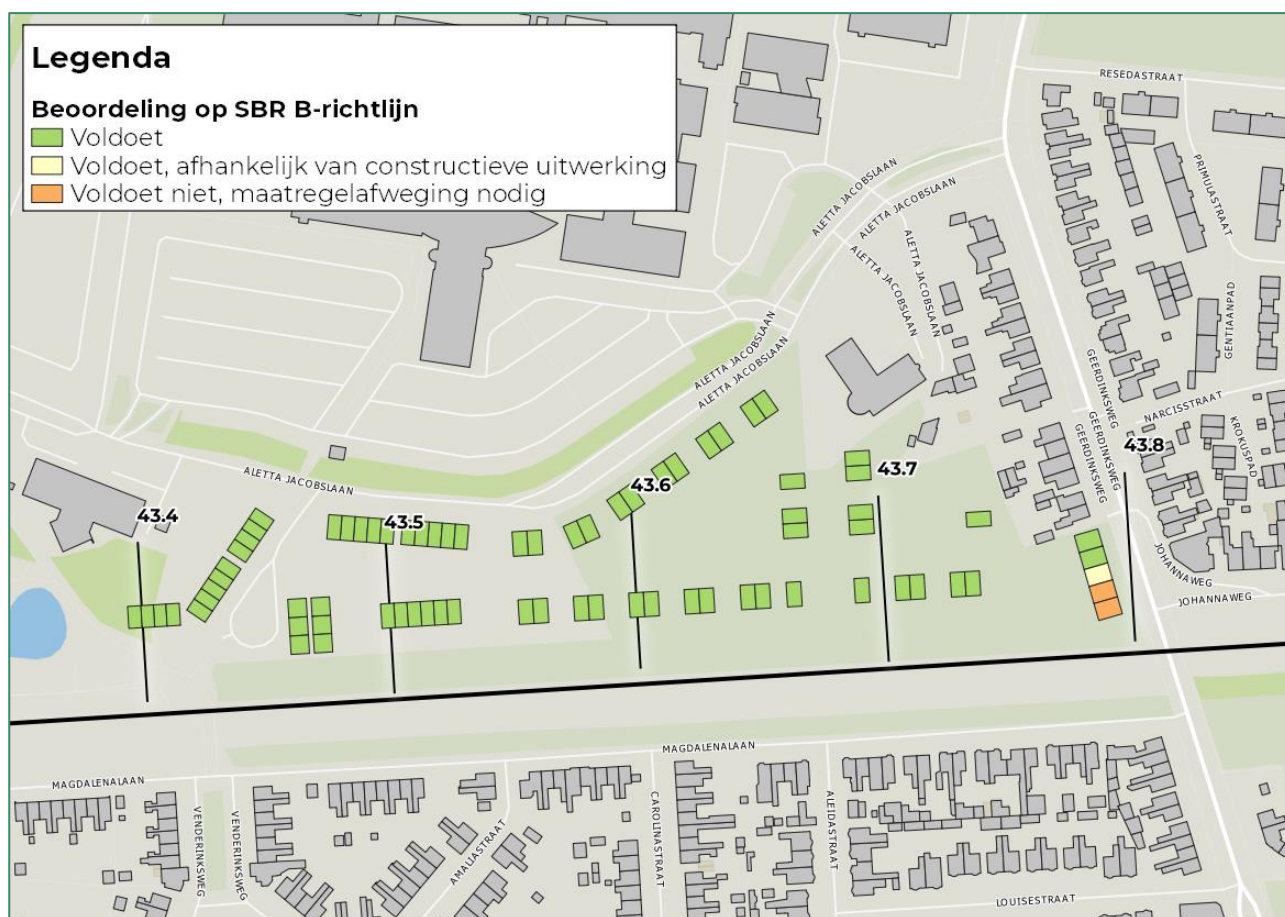
De resultaten (onder- en bovengrens van de trillingen, en beoordeling) zijn grafisch weergegeven in Figuur 7 en Figuur 8. Samengevat geldt het volgende:

- ▶ Alleen in de appartementen dichtbij de overweg zijn overschrijdingen van het beoordelingskader mogelijk. Hoewel het om relatief zware bebouwing gaat, zijn de trillingen toch hoog door de korte afstand tot het spoor en de spoorwegovergang. Door de aanwezigheid van ES-lassen, een vaak mindere spoorligging rond de overweg en verschillen in de stijfheid van de spoorbaan rond de overweg, zijn de trillingen daar hoger.
- ▶ De treinen met de hoogste trillingen rijden overdag, daardoor zijn de trillingen overdag hoger dan in de nacht. In de nacht zijn de streefwaarden strenger.
- ▶ De hoogte van de trillingen is afhankelijk van de constructieve uitwerking. Uit de variantenanalyse zijn de volgende conclusies te trekken:
  - De trillingen zijn lager bij een zwaardere fundering (zoals een palenfundering)
  - De trillingen zijn lager als de eigenfrequentie van de vloer hoger is. Dat kan bereikt worden met een kortere beukmaat of een dikkere vloer
  - De trillingen zijn lager bij zwaardere bouw: prefab beton geeft lagere trillingen dan kalkzandsteen, dikke wanden geven lagere trillingen dan dunne wanden
  - De trillingen zijn lager bij breedplaatvloeren dan bij kanaalplaatvloeren



Figuur 7 Trillingssterkte  $V_{\max}$ , links ondergrens, rechts de bovengrens, boven overdag, onder in de nacht





*Figuur 8 Beoordeling trillingen aan SBR B-richtlijn*

Omdat er sprake is van overschrijdingen van het beoordelingskader, geven we in het volgende hoofdstuk concrete handvatten voor de optimalisatie van de constructie en voor maatregelen.





## MAATREGELEN



In dit hoofdstuk worden handvatten gegeven om de woningen trillingsarm te ontwerpen, en wordt aangegeven welke maatregelen mogelijk zijn om de trillingen te verminderen.

Hierbij worden ook handvatten gegeven voor een juridisch houdbare afweging tussen effect en kosten van maatregelen.





## MITIGERENDE MAATREGELEN

Door incidentele passages van zware goederentreinen over de spoorwegovergang Geerdinksweg zijn in 8 tot 12 appartementen dichtbij de spoorwegovergang incidentele overschrijdingen van het beoordelingskader niet uit te sluiten. De mate van overschrijding is onder meer afhankelijk van de constructieve uitwerking van de gebouwen.

In dit hoofdstuk beschrijven we de mogelijke maatregelen en bouwkundige optimalisaties waarmee in het hele plangebied kan worden voldaan aan de streefwaarden uit het beoordelingskader.

### 5.1. NUT EN NOODZAAK VAN MAATREGELEN

Voor de afweging van maatregelen geeft bijlage 5 van de SBR B-richtlijn handvatten. Deze bijlage classificeert de trillingen in het plangebied als *matige hinder*, incidenteel is in de appartementen dichtbij de spoorwegovergang *hinder* mogelijk. Vervolgens geeft deze bijlage aan dat (matige) hinder 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. De gemiddelde trillingssterkte in het plangebied is overal ruim lager dan de streefwaarde. Het gaat bovendien om incidentele passages met trillingen die hoger zijn dan de streefwaarden (minder dan 1 per dag). Er is dus sprake van een incidenteel aantal overschrijdingen, een reden om maatregelen eventueel achterwege te laten.
2. De aanwezigheid van achtergrondtrillingen die de trillingen van het treinverkeer kunnen maskeren. Hiervoor geldt dat de trillingen van wegverkeer lager zijn dan van het treinverkeer. Van een maskerend effect is dus geen sprake.
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.

Gelet op bovenstaande dient daarom een afweging plaats te vinden waarbij maatregelen worden afgewogen op doelmatigheid (kosten vs. effect). Daarom gaan we hierna in op maatregelen om de trillingen en het laagfrequent geluid te reduceren. Om effectieve maatregelen te treffen, stellen we eerst vast bij welke trillingsfrequenties vooral hoge trillingen optreden. Daarna gaan we in op maatregelen die mogelijk zijn aan de trillingsbron (de trein of het spoor), maatregelen in de bodem en maatregelen aan het gebouw. Daarbij bespreken we ook bouwkundige optimalisaties.

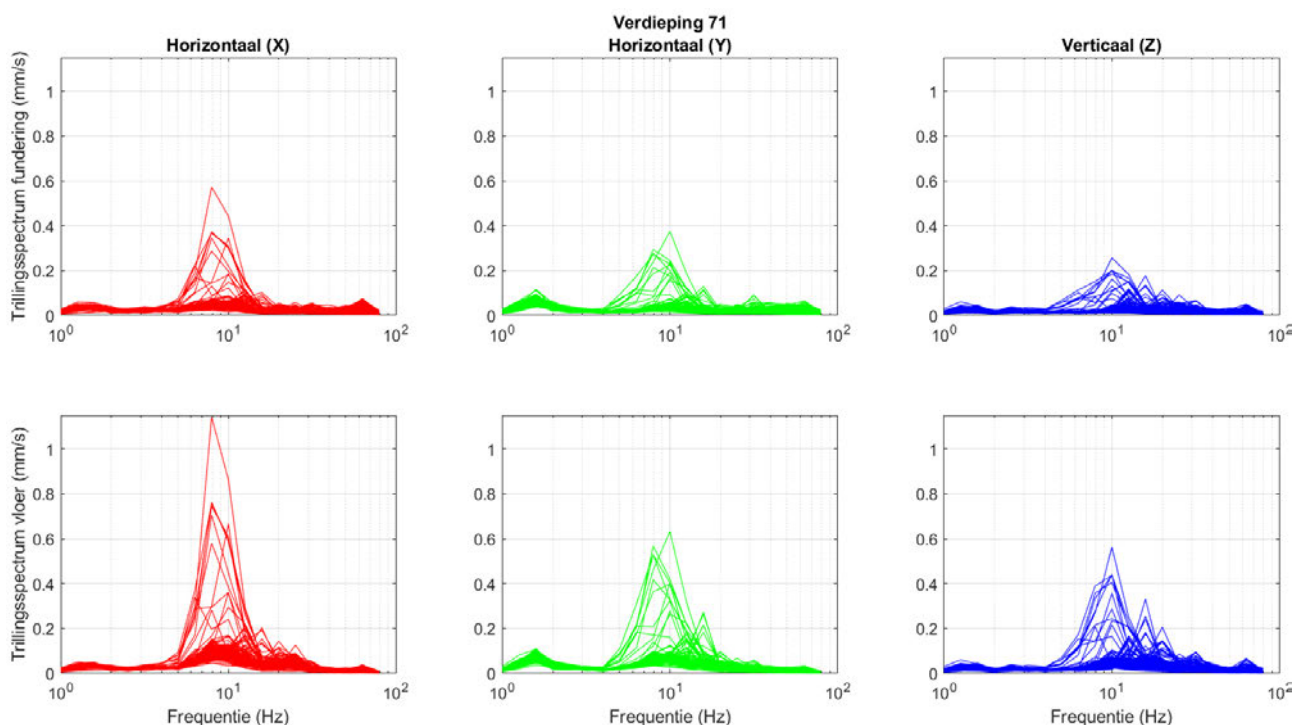
### 5.2. ANALYSE RESULTATEN

Om te bepalen welke trillingsrichting en trillingsfrequenties in de gebouwen maatgevend zijn, is een nadere analyse uitgevoerd van de verwachte trillingen, zie Figuur 11. In deze figuur is de trillingssnelheid per treinpassage weergegeven als tertsbandspectrum op de fundering en de hoogste verdieping van het bouwdeel nabij de spoorwegovergang. Hieruit kan worden afgeleid bij welke frequentie en in welke trillingsrichting de trillingen het hoogst zijn.

Uit Figuur 9 volgt dat de hoogste trillingen optreden in de horizontale X-richting (loodrecht op het spoor). De trillingen zijn vooral hoog tussen de 6 en 12 Hz. Deze hoge trillingen zijn vooral afkomstig van goederentreinen over de overweg, en worden in het gebouw versterkt door de



eigenfrequenties van vooral de wanden. Maatregelen en optimalisaties moeten vooral effectief zijn tegen de trillingen tussen 6 en 12 Hz.



Figuur 9 Verwachte trillingen op fundering (boven) en op hoogste verdieping (onder)

In de volgende subparagrafen wordt ingegaan op mogelijke maatregelen aan de trillingsbron, in de bodem of aan de gebouwen.

### 5.3. MAATREGELEN AAN DE TRILLINGSBRON

De meest effectieve manier om de trillingen te reduceren, is het nemen van maatregelen aan de trillingsbron (het spoor of de treinen). Effectief is vooral het verwijderen van de overweg (vervangen door een onderdoorgang) of het aanpassen van de overweg naar een overweg met Strailbeplating (doorgaand spoor, met daartussen rubberen platen). Dit type overweg zorgt voor minder trillingen omdat er meer sprake is van doorgaand spoor. Ook een betonplaat met ballastmat onder het spoor kan hier effectief zijn. Andere maatregelen aan het spoor zijn niet effectief of niet inpasbaar.

Nadeel van maatregelen aan het spoor zijn de hoge kosten hiervan (m.n. doordat een buitendienststelling nodig is), bovendien vallen deze maatregelen buiten het plangebied. Bovendien zijn de kosten van deze maatregelen hoog. Het vervangen van de overweg kost € 150.000 tot € 250.000, maar ook met die maatregel wordt nog niet voldaan aan het beoordelingskader. Een onderdoorgang is veel kostbaarder (kosten bedragen enkele miljoenen) en ook een betonplaat met ballastmat onder het spoor kost tussen de € 0.5 en € 0.7 mln<sup>2</sup>. Kosten voor tijdelijk vervoer van treinreizigers en herstel van de omgeving zijn hierin niet meegenomen.

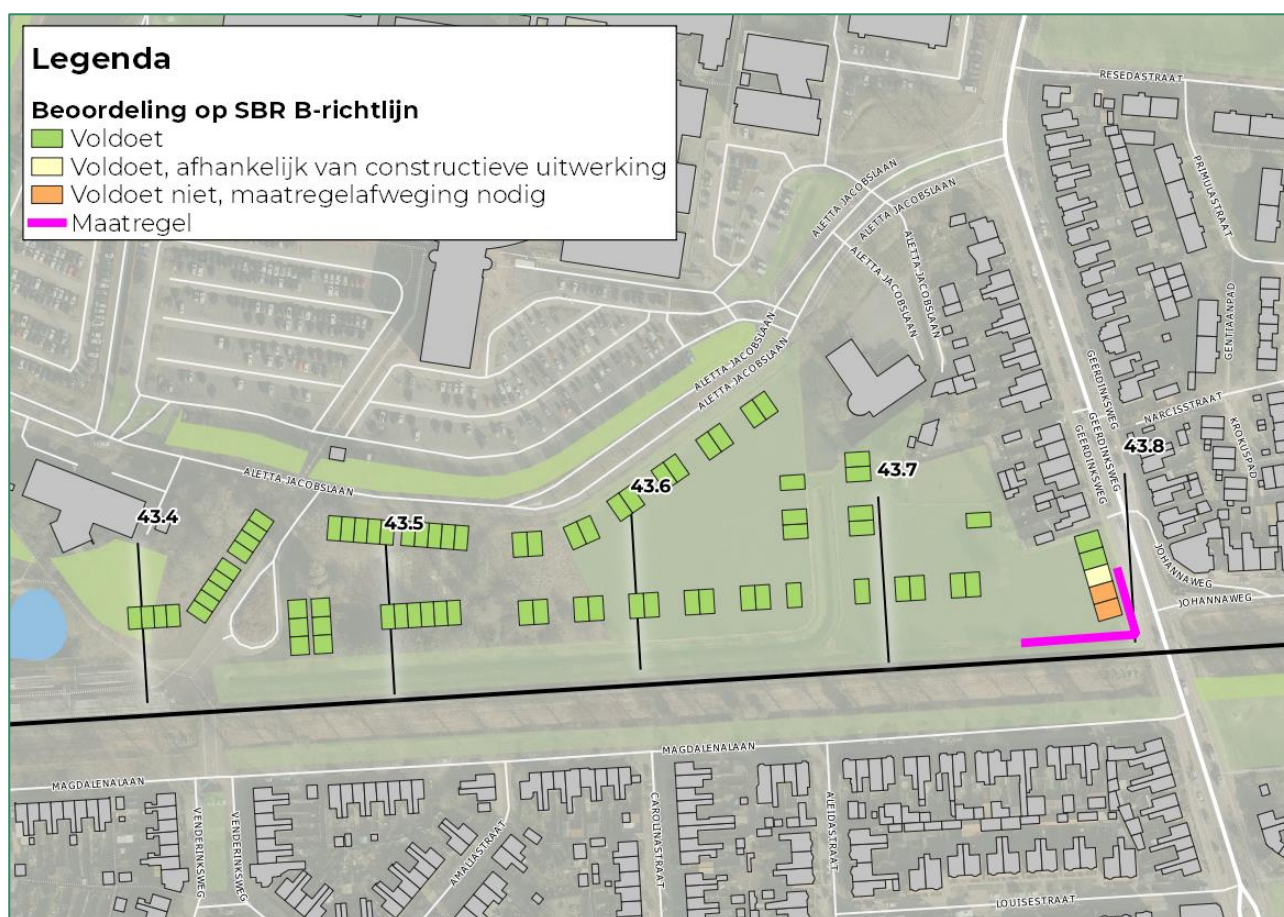
<sup>2</sup> Ter indicatie: ProRail hanteert bij doelmatigheidsafwegingen een bedrag van € 47.000 per adres met een overschrijding.

## 5.4. MAATREGELLEN IN DE BODEM

Bij maatregelen in de bodem kan gedacht worden aan het toevoegen van obstakels in de bodem, die ervoor zorgen dat de gebouwen worden afgeschermd. Uit de metingen blijkt bijvoorbeeld al dat de sloot een gunstig effect heeft op de trillingen, ondanks de geringe diepte. Bij de appartementen is deze sloot echter niet aanwezig.

Andere voorbeelden van trillingsschermen zijn een scherm van piepschuim (EPS), beton, jet-grout (soil-mix methode voor beton), het verdiepen van de spoorvloot of het aanbrengen van een damwand. Nadeel van deze maatregelen is dat deze vaak hoge kosten met zich meebrengen en dat ze (met uitzondering van een diepere spoorvloot) niet aanpasbaar zijn aan toekomstige situaties. Een spoorvloot is hier, gezien de beperkte ruimte, niet inpasbaar.

Een trillingsscherm is alleen effectief dicht bij de bron of dicht bij de ontvanger. Gezien de korte afstand tot het spoor komt een maatregel al snel in de vergunningsplichtige zone van ProRail (tot 10 meter uit buitenste spoorstaaf). Om het plangebied af te schermen, is een trillingsscherm van ca. 75 meter lengte nodig, zie Figuur 10.



Figuur 10 Locatie van mogelijk trillingsscherm

De diepte van een scherm moet, gezien de dominante trillingsfrequenties, voor veel schermtypes minimaal 17 meter diep zijn om echt effectief te zijn. Mogelijke maatregelen in de bodem met een inschatting van het effect en de kosten zijn weergegeven in Tabel 5.



Tabel 5 Mogelijke maatregelen in de bodem, effect op trillingen en kosten

| Maatregel                                  | Effect   | Kosten <sup>3</sup> |
|--------------------------------------------|----------|---------------------|
| Betonnen wand (diepwandmethode)            | 20 – 30% | € 1.4 – 2.3 mln     |
| Jet-grout wand                             | 15 – 25% | € 1.3 – 2.1 mln     |
| Damwand (intrillen)                        | 5 – 10%  | € 0.7 – 1.2 mln     |
| Betonnen wand, bekleed met rubber          | 40 – 60% | € 1.7 – 2.8 mln     |
| Damwand met EPS (piepschuim)               | 15 – 30% | € 1.1 – 1.6 mln     |
| Damwand met sleuf (luchtspouw)             | 15 – 25% | € 1.4 – 2.2 mln     |
| L-wand 4.0 m diep                          | 5 – 15%  | € 0.2 – 0.3 mln     |
| L-wand 4.0 m diep, bekleed met rubber      | 10 – 25% | € 0.3 – 0.5 mln     |
| CSM-wand (Cutter Soil Mix of Mix-In-Place) | 5 – 10%  | € 0.9 – 1.4 mln     |
| Trillingsscherm EPS (piepschuim), 1 m dik  | 5 – 10%  | € 0.3 – 0.5 mln     |

De minimaal benodigde reductie van de trillingen is 50% (om te voldoen aan de streefwaarden uit de SBR B-richtlijn). Die reductie is alleen (mogelijk) te behalen met een betonnen trillingsscherm van 17 meter diep en 0.5 meter dik, bekleed met 100 mm rubber of 700 mm EPS (piepschuim) tot minimaal 7 meter diepte. De kosten van deze maatregel bedragen tussen de € 1.7 en 2.8 mln, en zijn daarmee nog hoger dan maatregelen aan het spoor. Bovendien kunnen ook met deze maatregel nog overschrijdingen voorkomen. Andere, goedkopere maatregelen zijn nog steeds relatief kostbaar, en nog minder effectief.

Tenslotte, voor al deze maatregelen geldt, net als bij maatregelen aan het spoor, dat ze deels buiten het plangebied dienen te worden getroffen en niet of slecht aanpasbaar zijn aan toekomstige situaties. Bovendien zijn de genoemde kosten exclusief kosten voor het verleggen van kabels en leidingen, vergunningverlening en herinrichten van de openbare ruimte op naastgelegen percelen. De totale kosten worden daarmee hoger.

## 5.5. MAATREGELEN AAN DE GEBOUWEN

Tenslotte zijn ook maatregelen en optimalisaties aan de bebouwing mogelijk. Zeker in dit stadium van het plan is dat een optie die kosteneffectief kan zijn. Eerder zijn hiervoor al een aantal opties weergegeven. Mogelijke maatregelen zijn het verder verzwaren van de constructie (dikkere wanden, dikkere vloeren, zwaardere fundering) of het inpakken of afveren van de fundering. Ook het verder bij het spoor vandaan plaatsen van het bouwblok zorgt voor een sterke afname van de trillingen. Het globale effect en de kosten van de mogelijke maatregelen aan de woningen zijn weergegeven in Tabel 6.

<sup>3</sup> Totale investeringskosten, incl. BTW, prijspeil 2022, met een bandbreedte van +/-25%. Kosten zijn exclusief kosten voor grondverwerving, verleggen van kabels en leidingen en kosten voor een vergunningsprocedure. De werkelijke kosten van maatregelen zullen daardoor hoger uitvallen.

Tabel 6 Mogelijke maatregelen aan de gebouwen, reductie t.o.v. kalkzandsteen constructie met 200 mm kanaalplaatvloeren

| Maatregel                                                         | Effect   | Kosten <sup>4</sup> |
|-------------------------------------------------------------------|----------|---------------------|
| Betonnen skelet i.p.v. kalkzandsteen                              | 3 – 7%   | < 1% SK             |
| Toepassen breedplaat- i.p.v. kanaalplaatvloeren                   | 4 – 6%   | < 2% SK             |
| Eigenfrequentie vloer > 13 Hz                                     | 10 – 15% | < 1% SK             |
| Dikkere wanden i.c.m. i.h.w.g. beton                              | 15 – 25% | < 2% SK             |
| Ontkoppelen van de fundering (afveren)                            | 70 – 90% | 6 – 10% SK          |
| Inpakken van de fundering met 150 mm rubber                       | 20 – 30% | 2 – 4% SK           |
| Afschermen van de fundering met 1 m dik EPS                       | 25 – 45% | < 1% SK             |
| Afschermen van de fundering met 2 m diepe L-wand                  | 15 – 30% | < 1% SK             |
| Palenfundering i.p.v. balkenfundering                             | 10 – 20% | 2 – 5% SK           |
| Bouwblok 7 m bij spoor vandaan (effectief 4 appartementen minder) | 35 – 40% | 10 – 20% SK         |

Meest effectief is het ontkoppelen van de fundering (toepassen van stalen veerdozen tussen de fundering en afgeveerd op een lage frequentie van maximaal 3 Hz, zie bijlage IV voor een voorbeelduitwerking). Hiermee zijn de trillingen in alle woningen te reduceren tot onder de streefwaarden. De kosten van deze maatregel zijn echter hoog (naar schatting tussen de € 200.000 en € 350.000 voor het gehele blok appartementen. Om met andere maatregelen te voldoen, is een combinatie van maatregelen nodig (afschermen van de fundering, zwaardere fundering en bouwkundige optimalisaties zoals het verzwaren van het gebouwskelet).

## 5.6. ADVIES VOOR MAATREGELEN

In het plangebied zijn overschrijdingen van de streefwaarden voor trillingshinder niet overal uit te sluiten. In 8 tot 12 appartementen dichtbij de overweg aan de Geerdinksweg kunnen incidenteel hoge trillingen optreden, als er zware goederentreinen over deze overweg rijden. De hoogte van de trillingen is afhankelijk van de constructieve uitwerking van de gebouwen.

Omdat er sprake is van overschrijdingen van het beoordelingskader, is een onderzoek naar maatregelen uitgevoerd. Uit het onderzoek volgt dat effectieve maatregelen aan het spoor kostbaar zijn (kosten bedragen meer dan € 0.5 mln. om overschrijdingen te voorkomen). Maatregelen in de bodem zijn nog kostbaarder, en waarschijnlijk onvoldoende effectief. Met maatregelen aan de gebouwen zijn overschrijdingen alleen te voorkomen door het afveren van de gebouwen (stalen veerdozen tussen fundering en onderste bouwlaag), of door meerdere maatregelen te combineren.

Op basis van het maatregelenonderzoek adviseren we om bij de verdere uitwerking de volgende opties af te wegen:

<sup>4</sup> SK = Stichtingskosten

1. Is het mogelijk om de appartementen verder bij het spoor vandaan te plaatsen? Dat kan door een kleinere beukmaat te hanteren, door het gebouw smaller te maken (4 appartementen minder) of het gebouw anders vorm te geven (in een hoek bijvoorbeeld). Ter indicatie: 7 meter verder van het spoor vandaan zijn de trillingen ca. 40% lager.
2. Is het mogelijk om de constructie als betonnen skelet met breedplaatvloeren uit te voeren? Hiermee zijn de trillingen met zo'n 5 tot 15% te reduceren. Door extra dikke wanden te gebruiken, in combinatie met i.h.w.g. beton, is dit reductiepercentage op te voeren tot zo'n 25 tot 35%.
3. Is het mogelijk om de fundering af te schermen, door het plaatsen van 1000 mm dikke EPS-blokken tegen de fundering, of eventueel een 2 meter diepe L-wand met luchtsponw? Deze maatregel kan de trillingen met 25 tot 45% reduceren (EPS), resp. 15 tot 30%.
4. Is het mogelijk om de fundering te verzwaren, bijvoorbeeld door gebruik te maken van een palenfundering of een dikke plaatfundering? Deze maatregel heeft zo'n 10 tot 20% effect.

Met bovenstaand stappenplan is een acceptabel woon- en leefklimaat ten aanzien van trillingen te garanderen in alle woningen in het plangebied. In totaal is minimaal 50% reductie nodig, dit is te bereiken met verschillende combinaties van bovenstaande maatregelen.

Meest effectief en robuust is het afveren van de funderingen van het appartementenblok. Hiervoor dienen de woningen met een dubbele fundering te worden uitgevoerd. Met deze maatregel zijn overschrijdingen in alle woningen in het plangebied weg te nemen, maar de maatregel kost tussen de € 200.000 en € 350.000 voor het gehele woonblok.

Tenslotte, gelet op de hoge trillingen in de appartementen dichtbij het spoor adviseren we om in ieder geval om bovenstaande aanbevelingen mee te nemen in de verdere ontwikkeling van het plan.

## 5.7. ONZEKERHEDEN IN HET ONDERZOEK

Dit onderzoek kent een aantal onzekerheden, hiervoor geldt het volgende:

- 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, afhankelijk van de spoorconstructie en de bodemopbouw. Er is gemeten in een klimatologisch als normaal te typeren periode. Er is geen informatie bekend over de huidige status van de spoorligging, wel is bekend dat die vooral rond spoorwegovergangen vaak slechter is (zoals ook door de metingen in dit onderzoek lijkt te worden bevestigd, de trillingen zijn daar hoger). Door te meten op meerdere punten hebben we variaties waar mogelijk meegenomen in de analyse en berekeningen. Er is op basis van bovenstaande informatie geen reden om te twijfelen aan de representativiteit van de berekeningen voor de toekomstige trillingen.
- 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. Door op meerdere punten te meten is de invloed van deze variaties meegenomen in de berekeningen. Bovendien is op diverse afstanden van het spoor gemeten. De invloed van de onzekerheid in de bodem is daarmee meegenomen in de analyse, de impact op de resultaten is daardoor beperkt.
- Ten aanzien van de gebouwen geldt dat er altijd verschillen zijn tussen het beoogde ontwerp en het gerealiseerde ontwerp (verschillen tussen as-built en definitief ontwerp). Bovendien is het dynamische gedrag van bijvoorbeeld beton afhankelijk van de mate van gescheurdheid van het beton en zijn er natuurlijke variaties in materiaalgedrag (van bijvoorbeeld hout, metselwerk en beton). In de berekeningen is gerekend met een verwachtingswaarde van de





trillingen op basis van een aan de hand van praktijkmetingen geijkt rekenmodel. Hiermee wordt een resultaat verkregen dat representatief is voor de toekomstige situatie.

Bovenstaande onzekerheden hebben geen significante invloed op de conclusies van dit onderzoek.

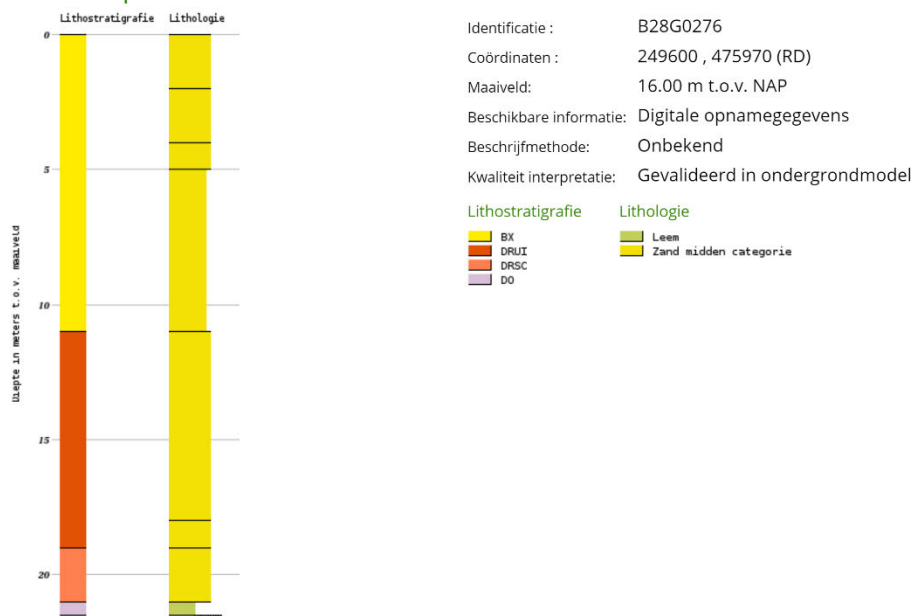


# GRONDONDERZOEK

Deze bijlage bevat geotechnische achtergrondinformatie. Deze informatie is gebruikt om bijvoorbeeld de uitdemping van de trillingen met de afstand te bepalen. Daarnaast is deze informatie gebruikt in het rekenmodel waarmee de dynamische eigenschappen van de bebouwing worden bepaald.

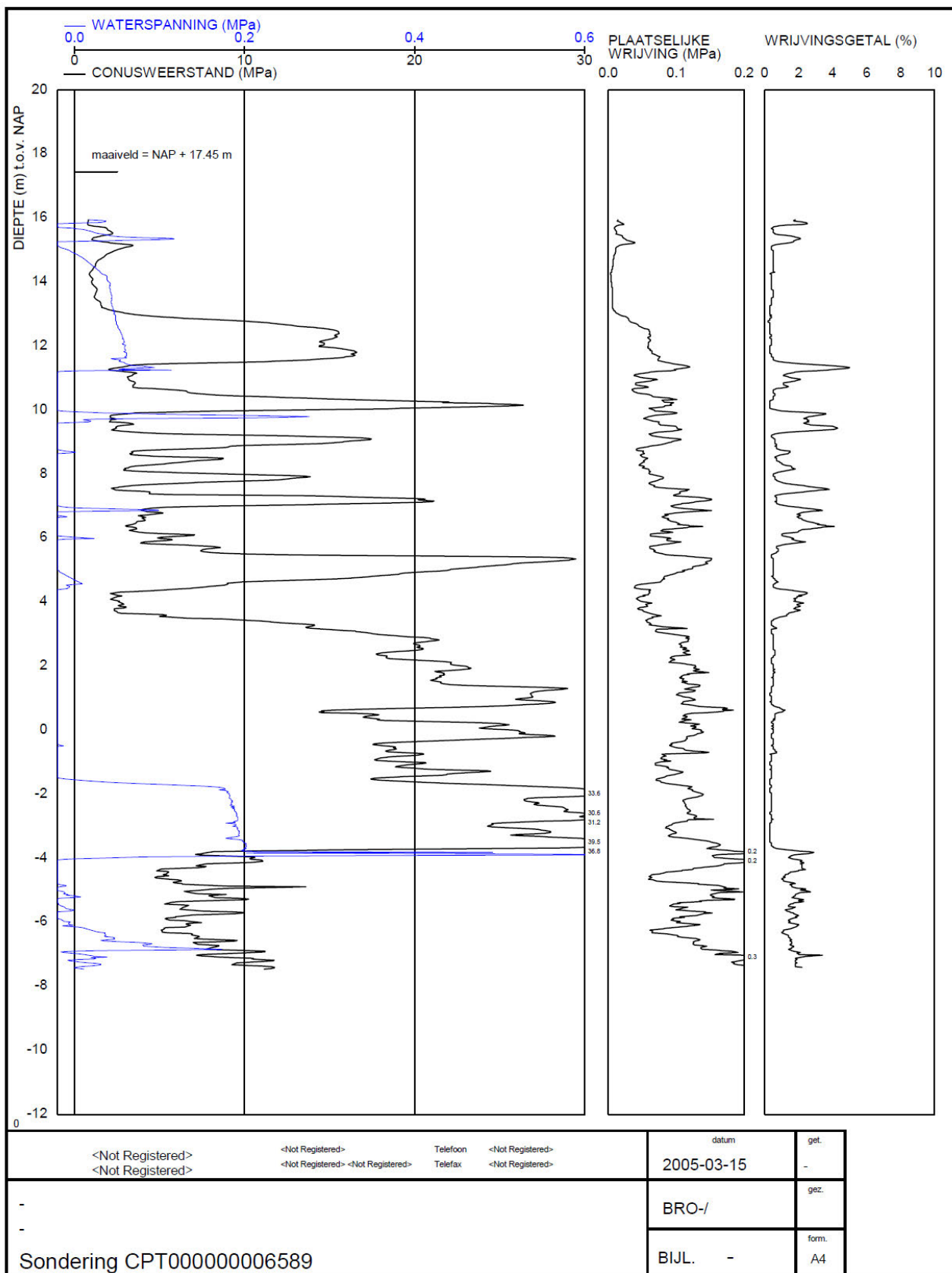
Een grondboring in de nabijheid van het onderzoeksgebied is weergegeven in Figuur 13. De bodem is vooral opgebouwd uit zandlagen, met leemlagen op grotere diepte. Door dit stijve zandpakket dempen de trillingen relatief slecht uit met de afstand.

## Boormonsterprofiel



Figuur 11 Boring in het onderzoeksgebied

Een representatieve sondering uit het onderzoeksgebied, waarin onder meer de conusweerstand te zien is, is weergegeven in Figuur 12. Ook hier is de relatief stijve bodemopbouw te zien.



Figuur 12 Sondering nabij het onderzoeksgebied



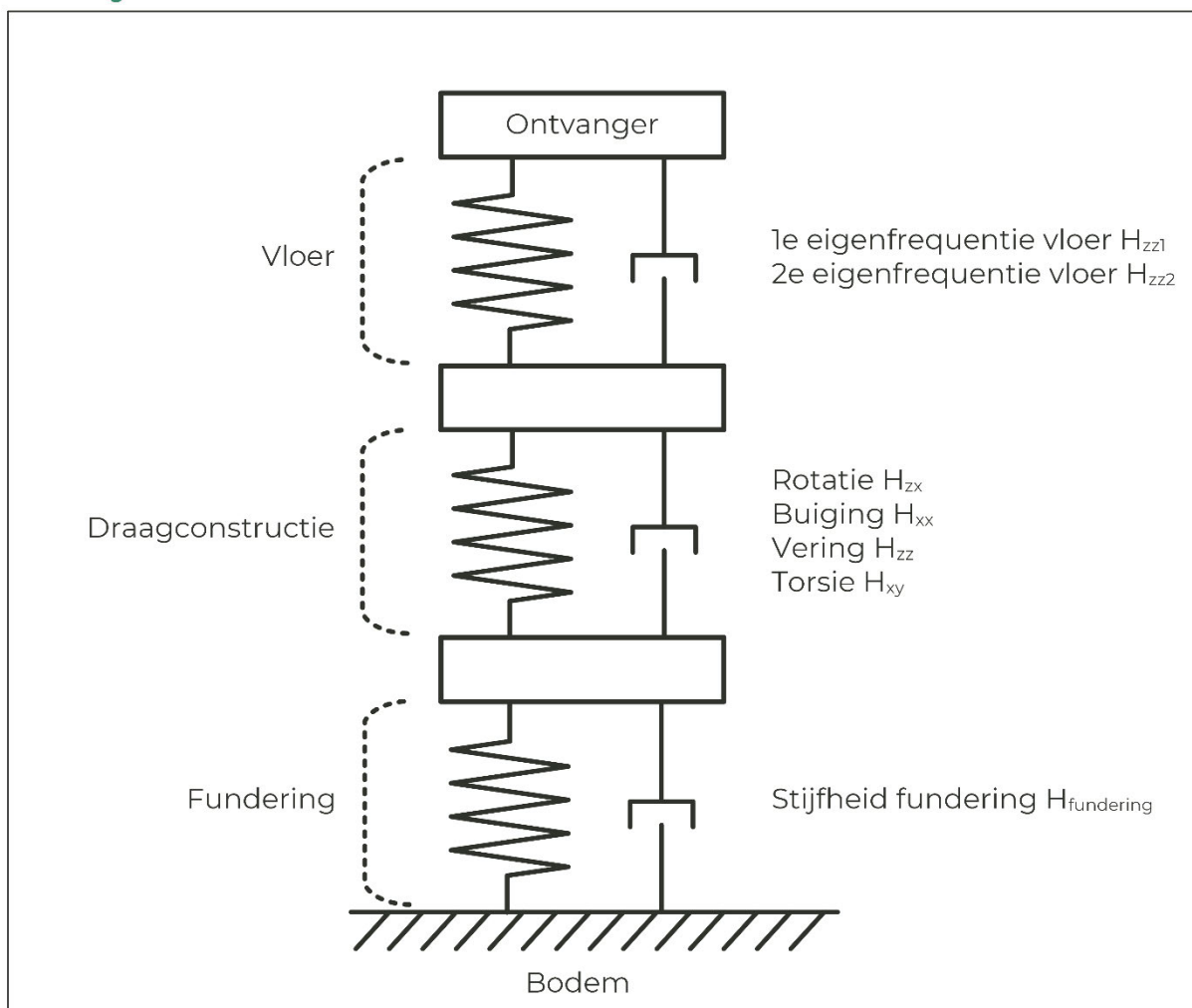
## REKENMODEL

In dit rapport is gebruik gemaakt van het rekenmodel Buildyn om de trillingen in de geplande bebouwing te berekenen. Buildyn is een zogenaamd beam-element model (BEM) waarin een gebouw gemodelleerd en doorgerekend wordt. Dit model is gekalibreerd met meer dan 600 praktijkmetingen, met behulp van een slim algoritme. Door die combinatie van een slim algoritme en een grote hoeveelheid praktijkdata, verkrijgen we een nauwkeurigheid die doorgaans significant beter is dan een Eindige Elementenmodel, omdat de resultaten sterk leunen op de praktijk (terwijl een Eindige Elementenmodel zeer gevoelig is voor de gebruikte input t.a.v. bijv. demping en stijfheden).

In Buildyn wordt een gebouw gemodelleerd door middel van gekoppelde massa-veersystemen, zie Figuur 13. De verschillende componenten van het model, zoals weergegeven aan de rechterzijde van Figuur 13, worden in deze bijlage nader toegelicht. Afhankelijk van de constructie van het gebouw wordt de draagconstructie als één (lage bebouwing, starre bebouwing), of als meerdere elementen (hoge bebouwing, slappere bebouwing) gemodelleerd.

Buildyn

WVB



Figuur 13 Principe van Buildyn met een gebouw als gekoppeld massaveersysteem. Rechts de verschillende componenten van het rekenmodel

## FUNDERING

De fundering van een gebouw kan de trillingen uitdempen. De invloed van de fundering op de trillingen is afhankelijk van een aantal parameters:

- Type fundering (op staal, op palen, oude strokenfundering) en afmetingen daarvan
- Afmetingen en gewicht van het gebouw
- Bodem waarop het gebouw staat

Vooraf boven de 10 Hz worden trillingen uitgedempt door de fundering, bij slappe bodems en grote gebouwen kan ook al bij lagere frequenties demping optreden.

In Buildyn wordt de invloed van de stijfheid van het gebouw als geheel (de zogenaamde rigid-body-mode) verdisconteerd in de stijfheid van de fundering. Overige stijfheidseffecten worden meegenomen in het gedrag van de draagconstructie.

## DRAAGCONSTRUCTIE

De trillingen worden door de draagconstructie vaak versterkt. Hierbij zijn meerdere effecten te onderscheiden, waarbij met name rotatie van het gebouw als geheel (op de ondergrond), doorbuiging en vering van het gebouw op zijn fundatie een rol spelen. Bij hogere of slappere gebouwen speelt ook doorbuiging en torsie (rotatie om een verticale as in het gebouw) een rol.

Het principe van rotatie is rechts weergegeven. Verticale trillingsgolven zorgen voor rotatie van het gebouw, waardoor met name in hogere gebouwen horizontale trillingen ontstaan.

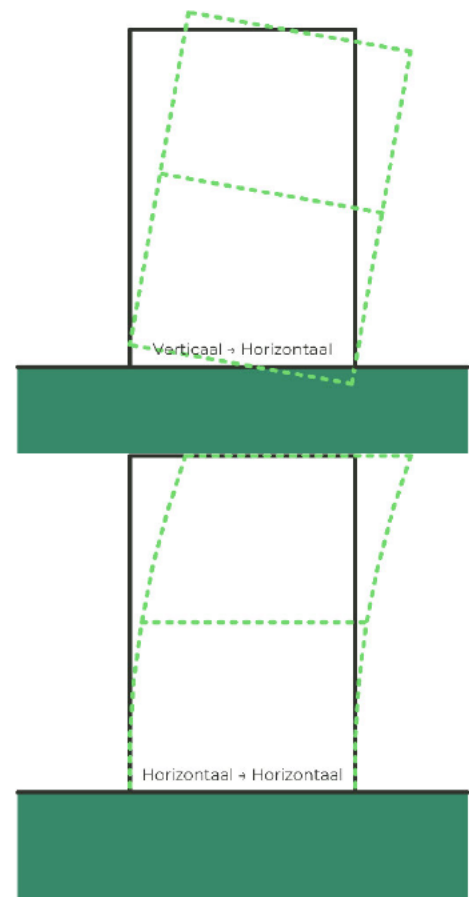
Dit effect noemen we  $H_{zx}$ , en is afhankelijk van:

- Afmetingen van het gebouw (breedte, lengte, hoogte)
- Gewicht van het gebouw
- Type en gewicht van de fundering
- Stijfheid van de ondergrond

Het tweede principe, dat van doorbuiging van het gebouw, is rechts weergegeven. Hierbij zijn met name de horizontale trillingsgolven maatgevend, die bij slappere gebouwen zorgen voor doorbuiging van het gebouw, en daarmee voor horizontale trillingen hoger in het gebouw.

Dit effect noemen we  $H_{xx}$ , en is afhankelijk van:

- Afmetingen van het gebouw
- Constructietype (stijfheid, starheid van verbindingen, open ruimtes)
- Gebruikte materialen

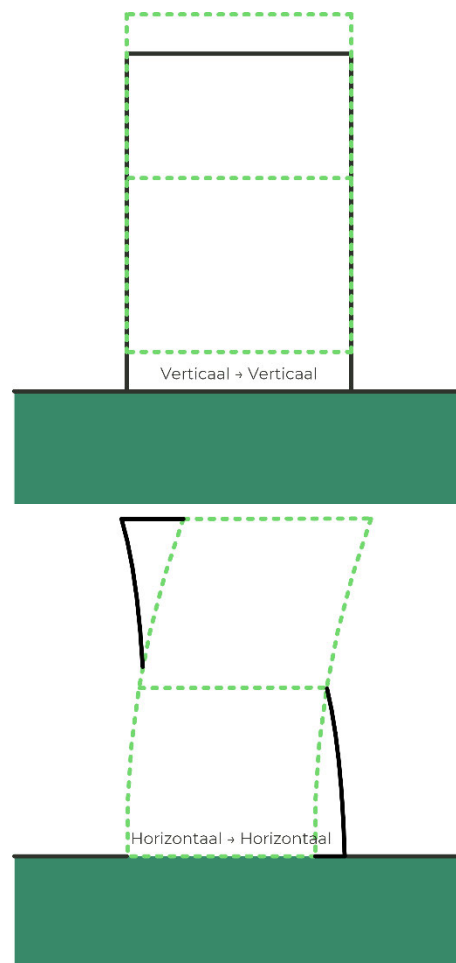


Het derde principe, dat van vering van het gebouw op zijn fundatie, is rechts weergegeven. Dit principe speelt vooral een rol bij wat hogere gebouwen, of bij gebouwen met een slappe onderlaag of lokaal slappere elementen (denk aan kolommen en balkenstructuren). Dit effect noemen we  $H_{zz}$ , en is afhankelijk van:

- » Hoogte van het gebouw
- » Constructietype (stijfheid, starheid van verbindingen, open ruimtes)

Het vierde principe, dat van torsie van het gebouw, is rechts weergegeven. Dit principe speelt vooral een rol bij wat hogere gebouwen, of bij gebouwen met een slappere constructie. Dit effect noemen we  $H_{xy}$ , en is afhankelijk van:

- » Hoogte van het gebouw
- » Constructietype (stijfheid, starheid van verbindingen, open ruimtes)
- » Afmetingen van het gebouw (symmetrie)



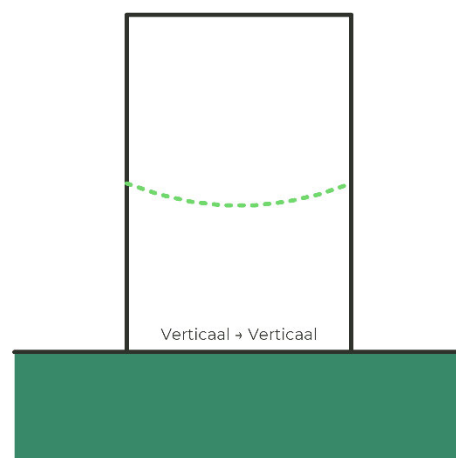
## VLOEREN

Trillingen worden doorgaans als maatgevend ervaren in het midden van de vloeren, waar de doorbuiging het grootst is en de laagste eigenfrequentie optreedt. In specifieke gevallen, met name op stijve zandgronden en bij hoge trillingsfrequenties, kan ook de zogenaamde tweede buigmodus van een vloer een rol spelen. In Buildyn worden daarom beide effecten gemodelleerd.

De eerste buigmodus van de vloer (bij de eerste eigenfrequentie) is simpele doorbuiging, zoals weergegeven in de principeschets rechts. Met name de eigenfrequentie (de frequentie waarvoor de vloer gevoelig is) en de demping bepalen in hoeverre de trillingen worden opgeslingerd. De trillingen zijn het hoogst in het midden van de vloer.

Dit effect noemen we  $H_{zz1}$ , en is afhankelijk van:

- » Type vloer (doorsnede, materiaal, en bij beton: gescheurd of ongescheurd)
- » Afmetingen van de vloer
- » Type oplegging

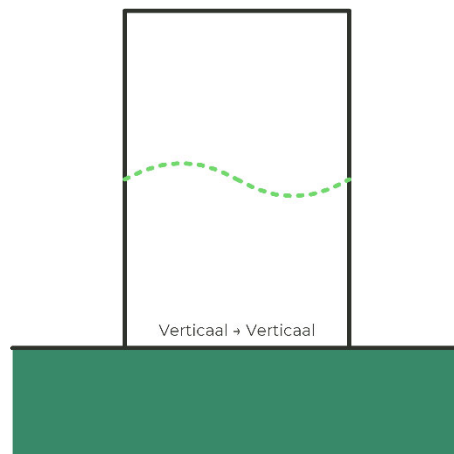




Bij de tweede buigmodus van de vloer (bij de tweede eigenfrequentie) zijn de trillingen maximaal op ongeveer  $\frac{1}{4}$  van het vloerveld, zie de principeschets rechts.

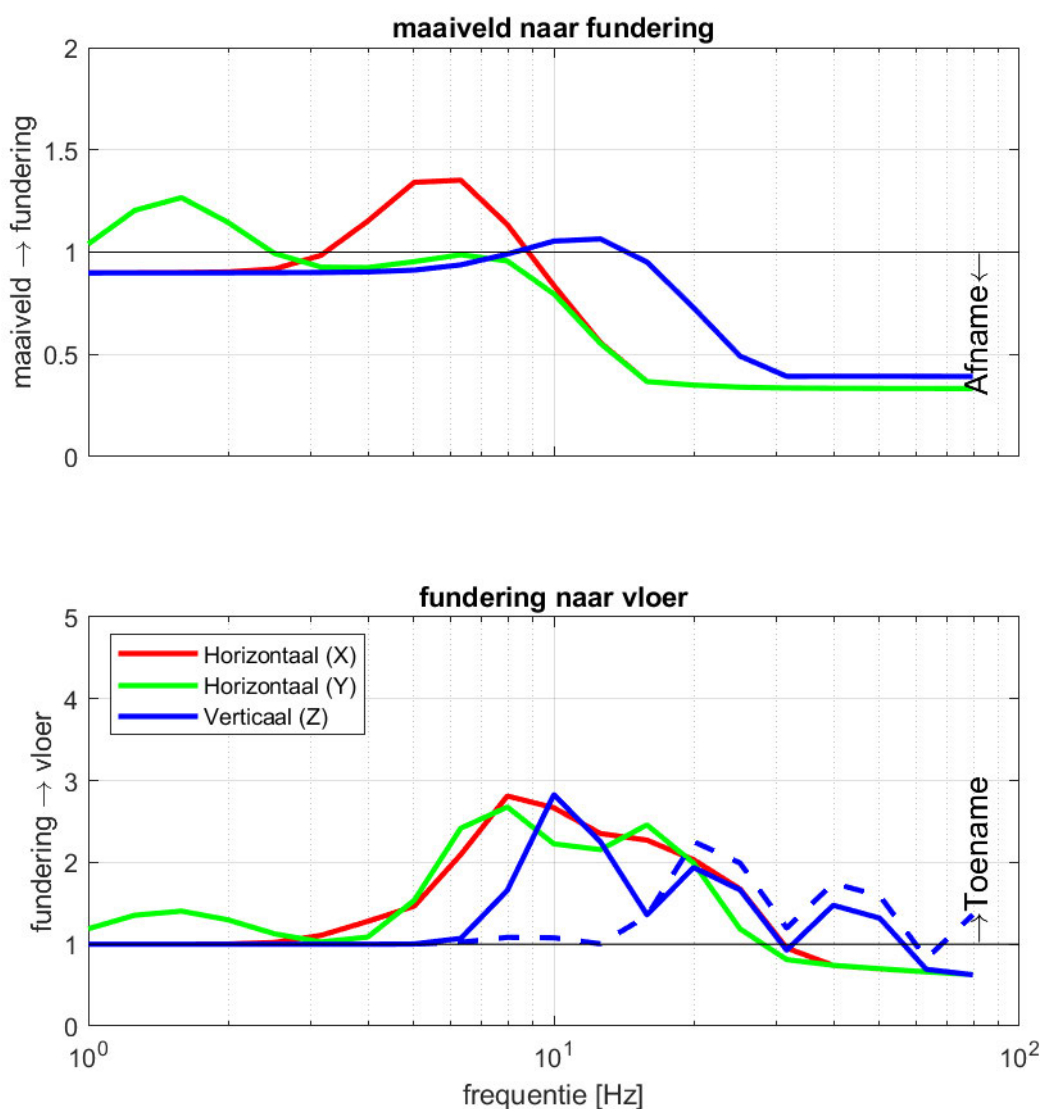
Dit effect noemen we  $H_{zz2}$ , en is afhankelijk van dezelfde parameters als  $H_{zz1}$ .

Uiteindelijk zorgen alle gebouwbewegingen samen voor een versterking van de trillingen tussen de fundering en de vloer. In de hierna volgende figuren zijn deze totale overdrachten in de X-, Y- en Z-richting van het gebouw weergegeven. Voor de vloeren wordt onderscheid gemaakt tussen de  $H_{zz1}$  en de  $H_{zz2}$ -beweging, omdat beide niet op hetzelfde punt kunnen optreden ( $H_{zz1}$  is maximaal in het midden van de vloer,  $H_{zz2}$  op een kwart van de randen).



## RESULTATEN

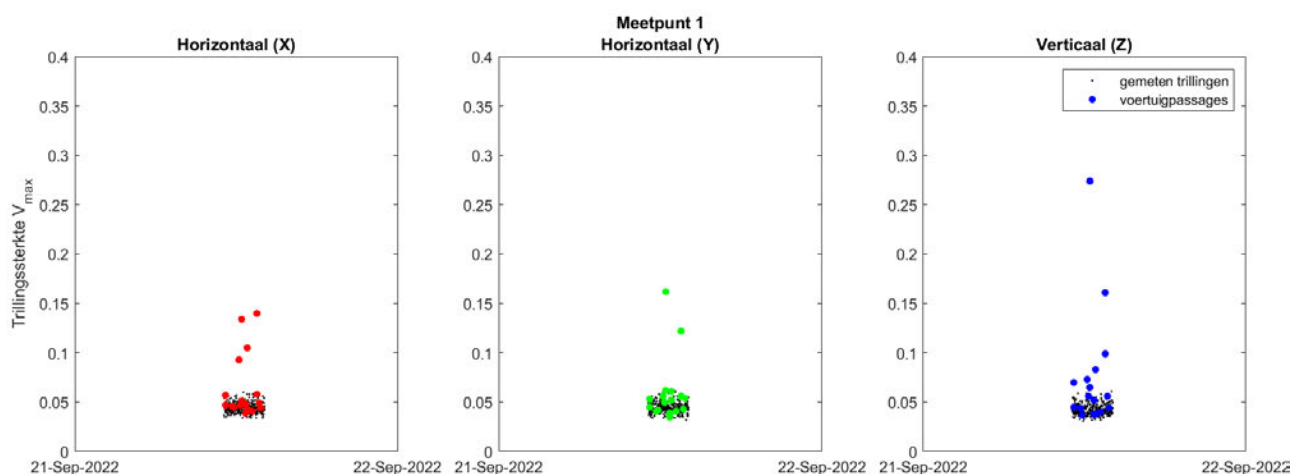
Ter illustratie zijn de resultaten uit de Buildyn-berekeningen voor het maatgevende punt op de hoogste verdieping van de appartementen bij de overweg weergegeven in Figuur 16.



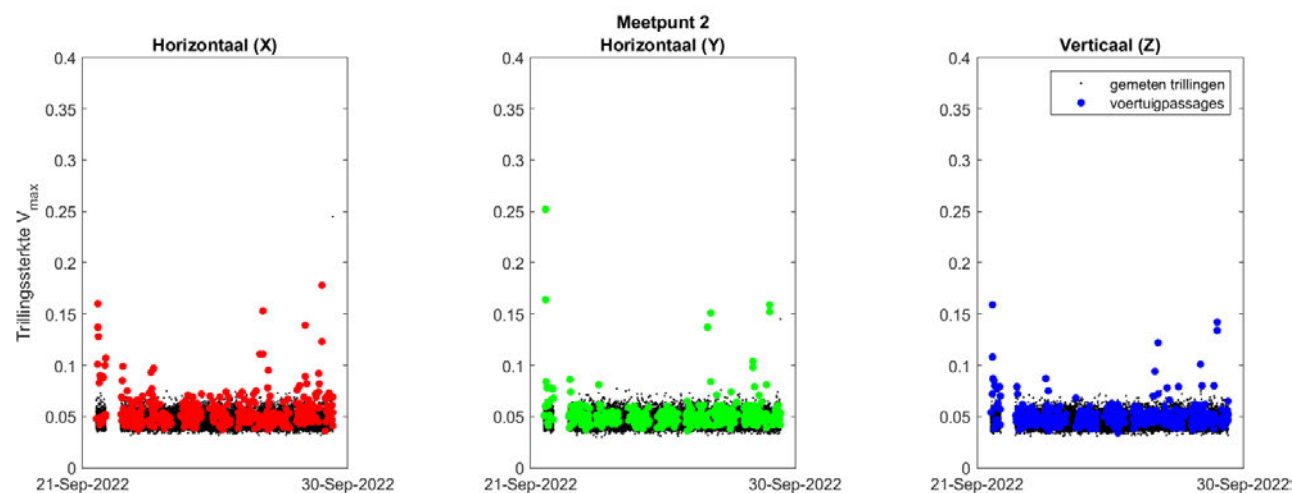
Figuur 14 Buildyn-resultaten voor bovenste verdieping, 7.2 m beukmaat, 260 mm appartementenvloer. Doorgaande lijn verticaal is midden vloer, onderbroken lijn is op  $\frac{1}{4}$  en  $\frac{3}{4}$  van overspanning

# RESULTATEN METINGEN

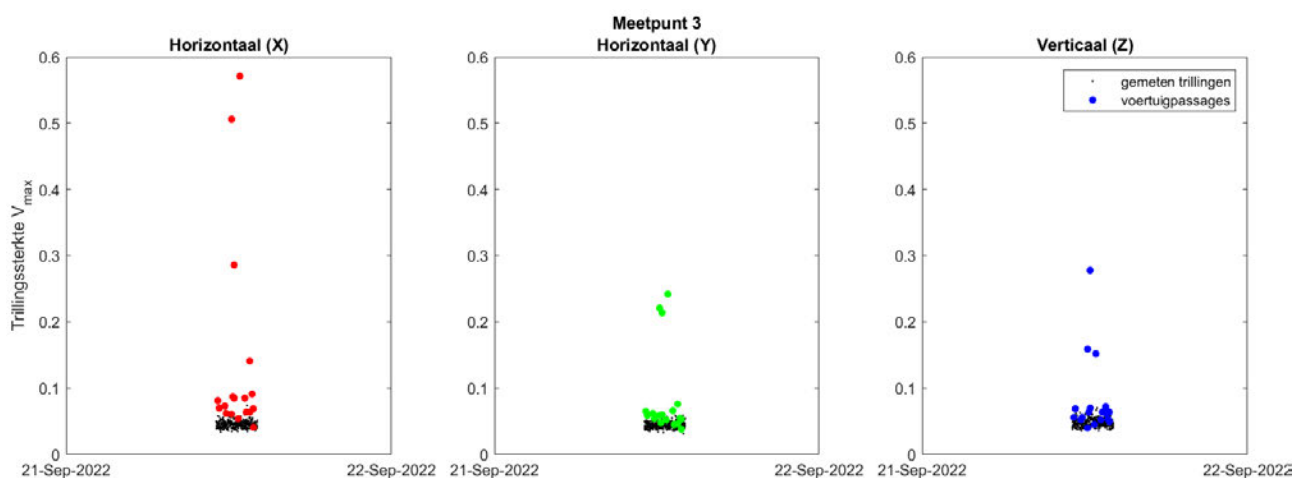
Deze bijlage bevat de resultaten van de metingen van Alcedo. Per meetpunt zijn de gemeten trillingen en de tertsbandspectra per treinpassage weergegeven.



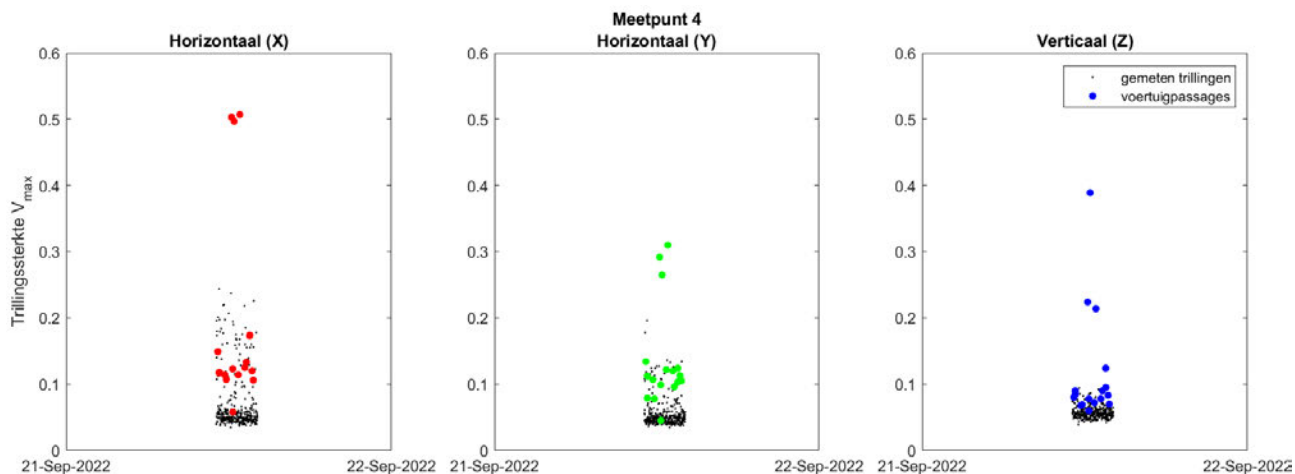
Figuur 15 Gemeten trillingen bij meetpunt 1 (maaiveld, 18,5 meter van het spoor)



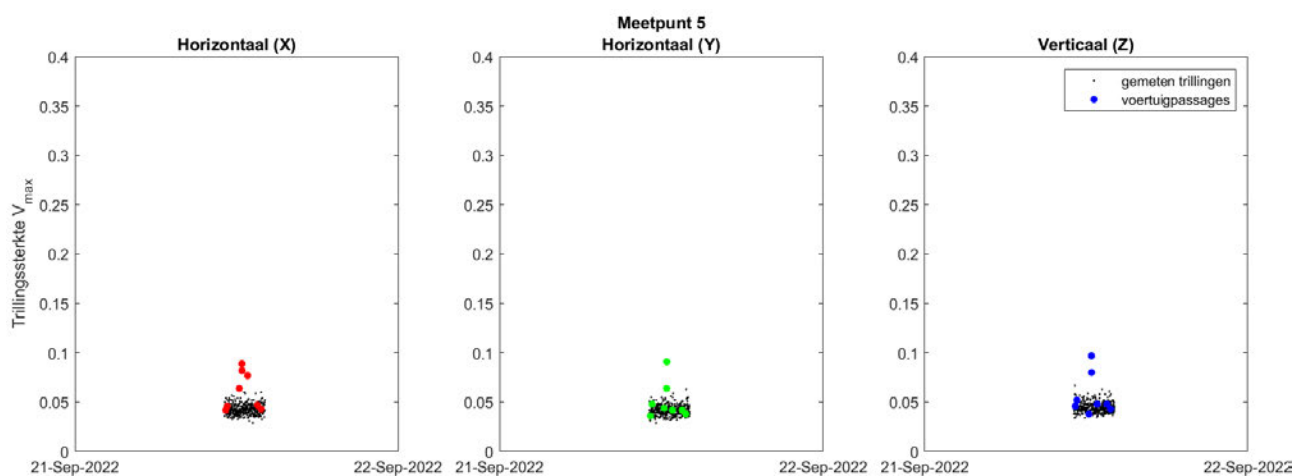
Figuur 16 Gemeten trillingen bij meetpunt 2 (maaiveld, 18,5 meter van het spoor)



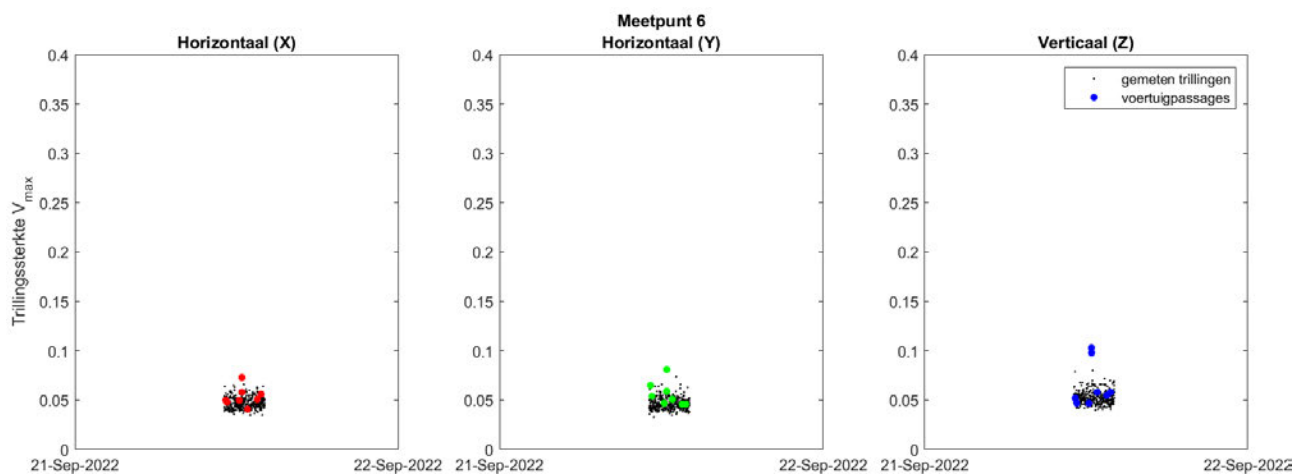
Figuur 17 Gemeten trillingen bij meetpunt 3 (maaiveld, 11,5 meter van het spoor)



Figuur 18 Gemeten trillingen bij meetpunt 4 (maaiveld, nabij oostenlijke spoorwegovergang)

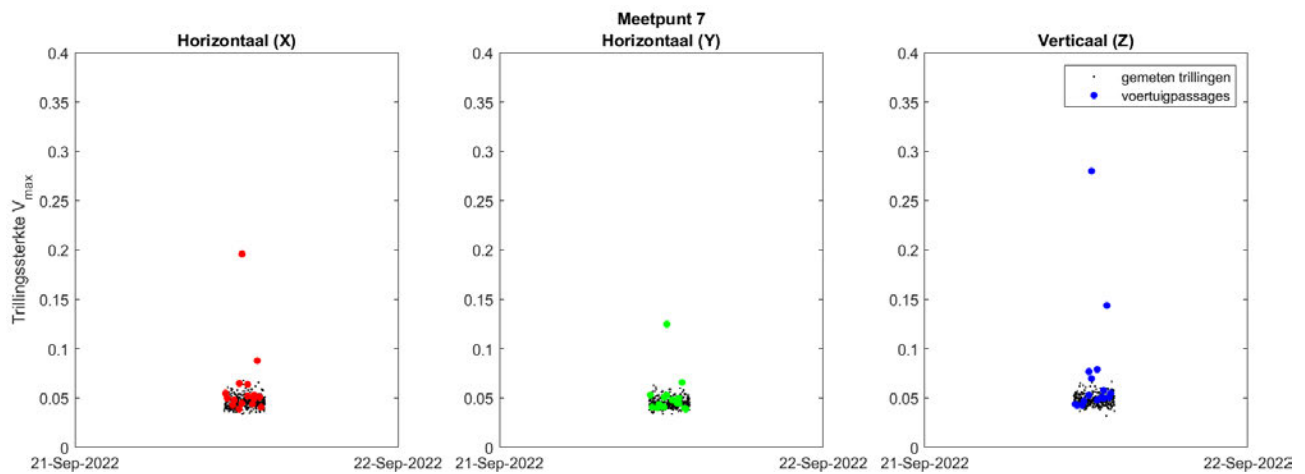


Figuur 19 Gemeten trillingen bij meetpunt 5 (maaiveld, 44 meter van het spoor)

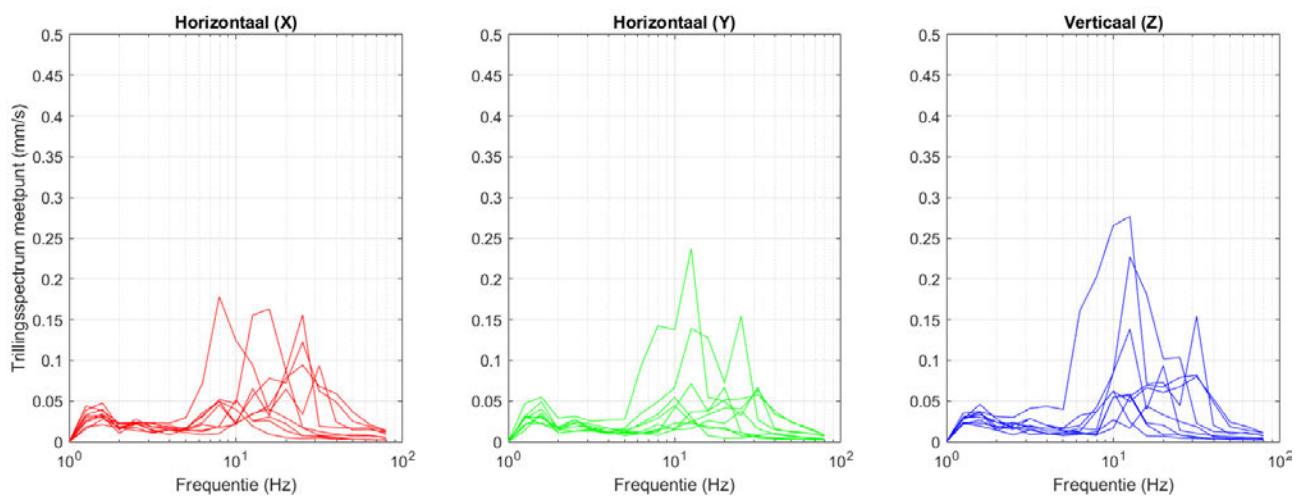


Figuur 20 Gemeten trillingen bij meetpunt 6 (maaiveld 70 meter van het spoor)

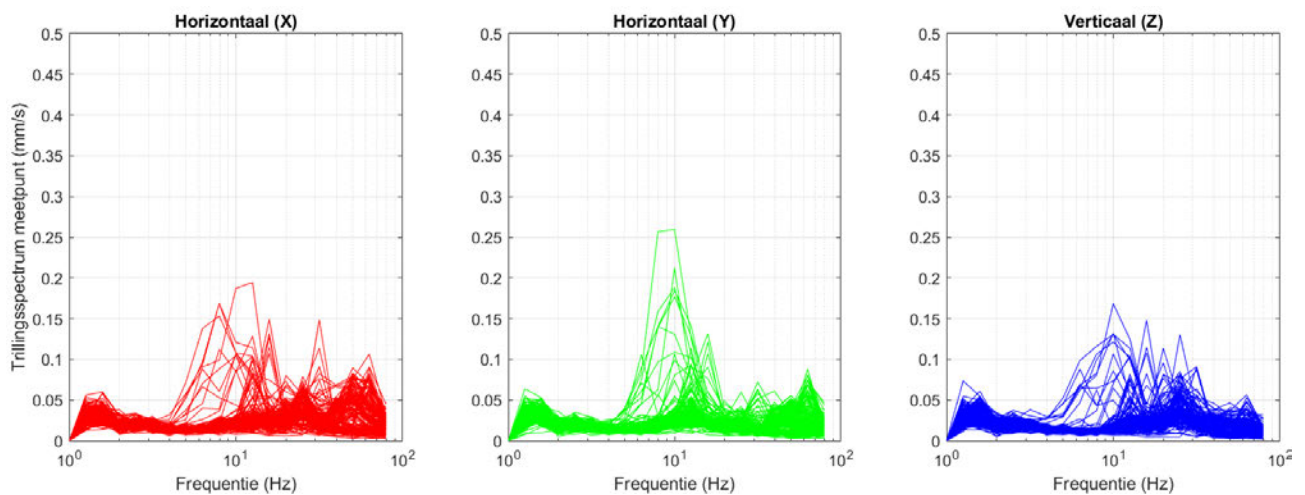




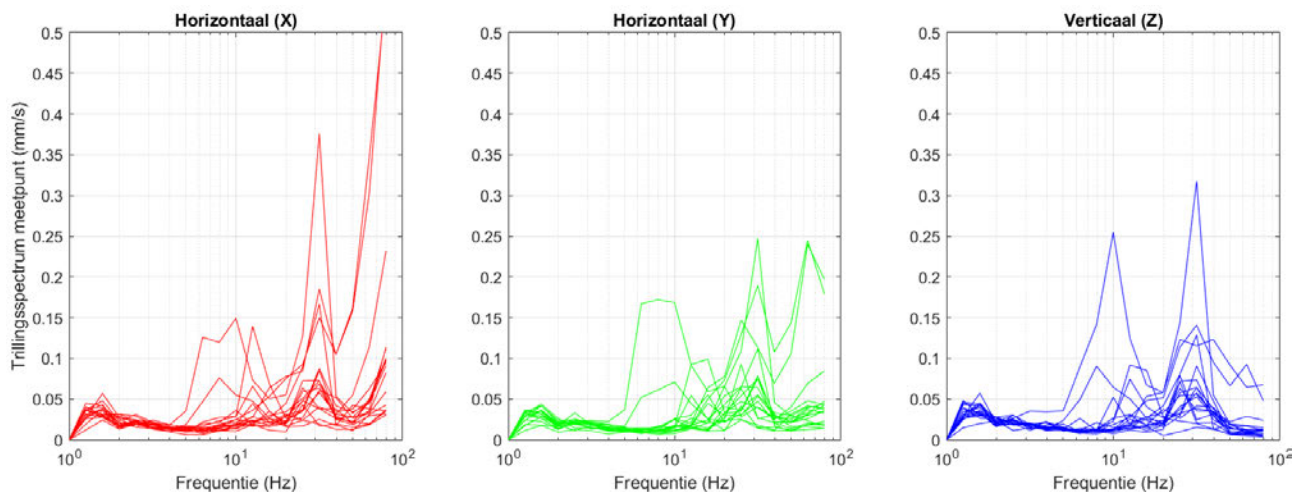
Figuur 21 Gemeten trillingen bij meetpunt 6 (maaiveld, 30.5 meter van het spoor)



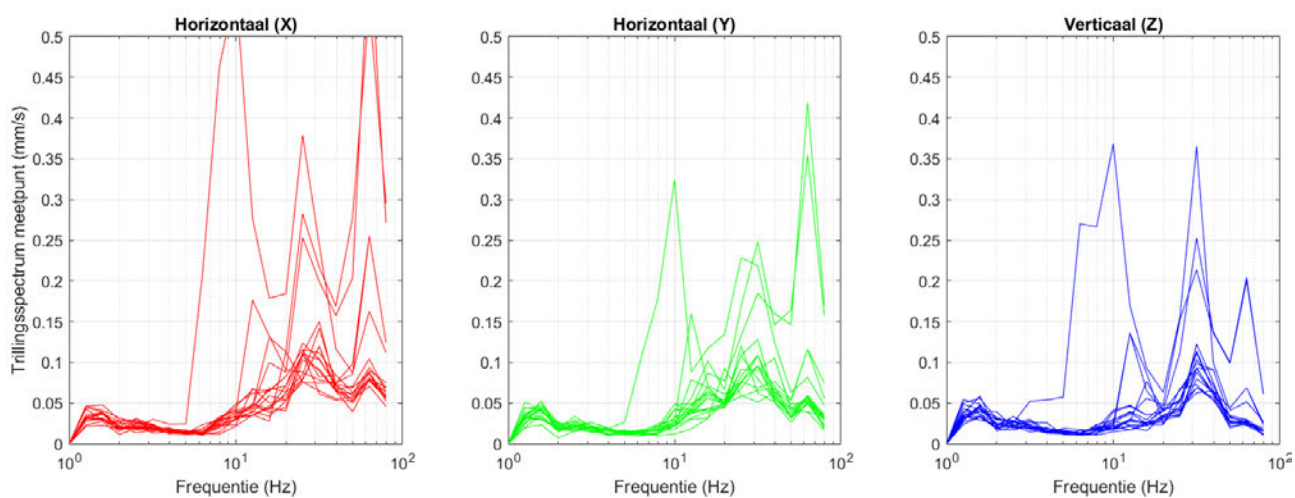
Figuur 22 Tertsbandspectra bij meetpunt 1



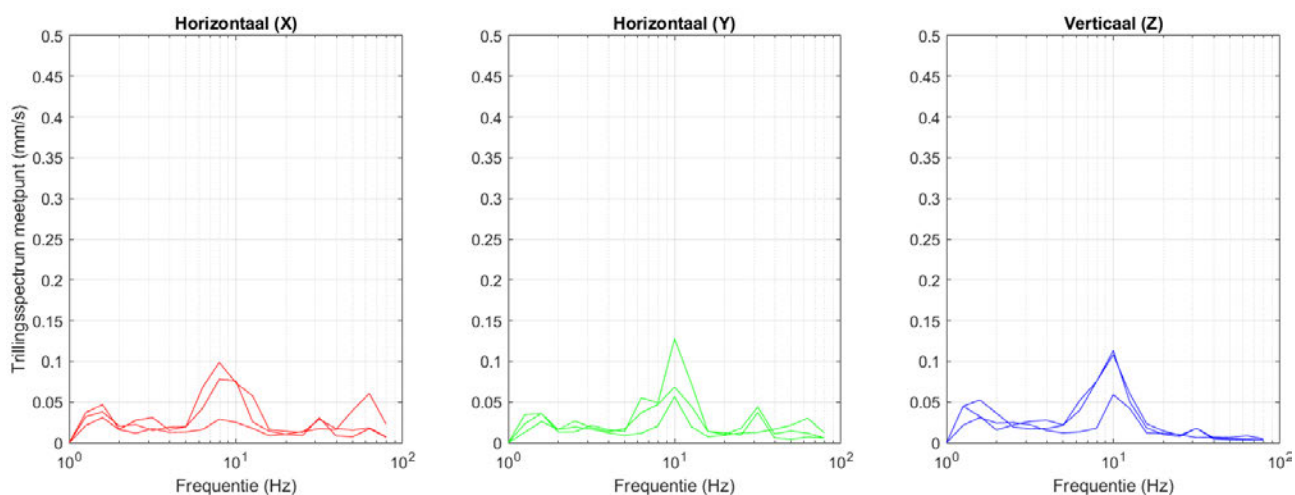
Figuur 23 Tertsbandspectra bij meetpunt 2



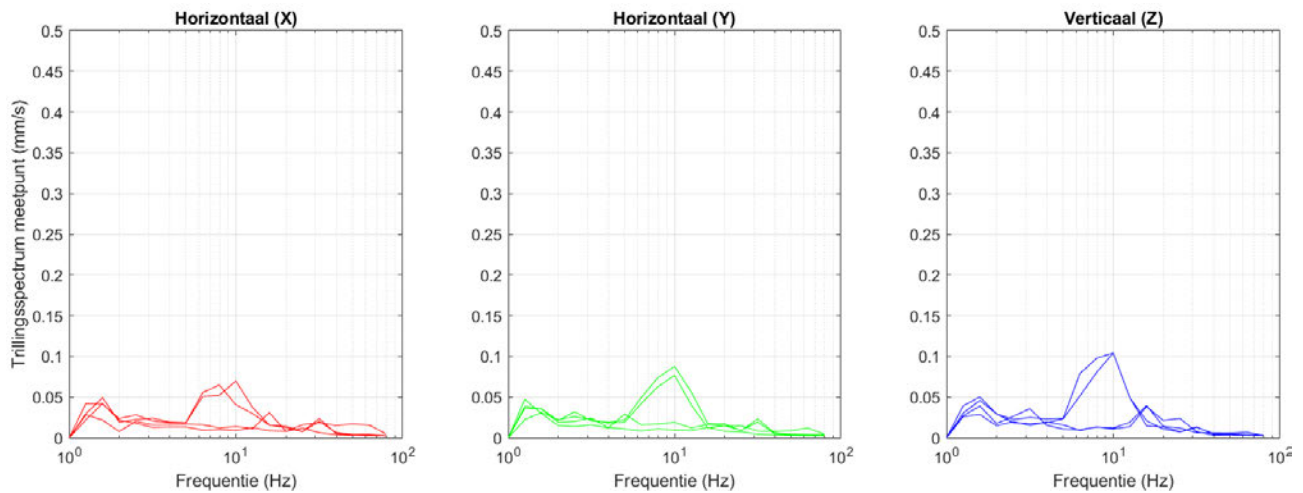
*Figuur 24 Tertsbandspectra bij meetpunt 3*



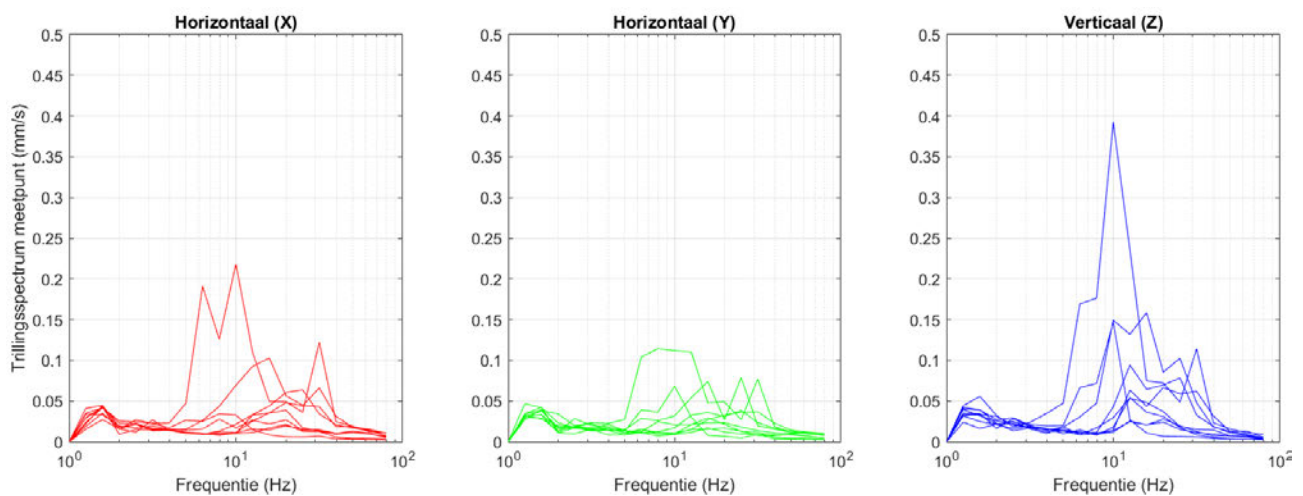
*Figuur 25 Tertsbandspectra bij meetpunt 4*



*Figuur 26 Tertsbandspectra bij meetpunt 5*



Figuur 27 Tertsbandspectra bij meetpunt 6



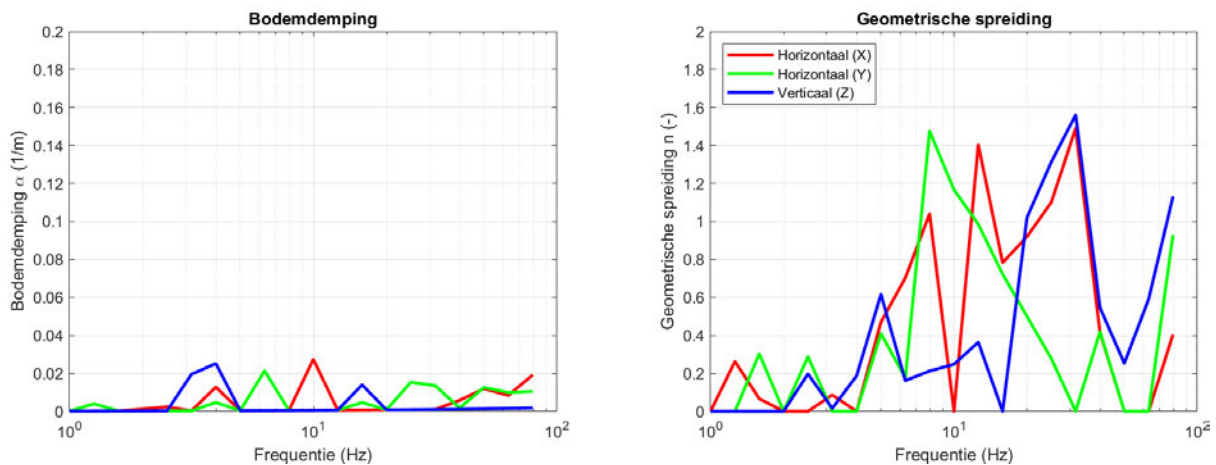
Figuur 28 Tertsbandspectra bij meetpunt 7

De uitdemping van de trillingen als functie van de afstand is bepaald met de empirische Barkan-vergelijking, zoals weergegeven in vergelijking 1.

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

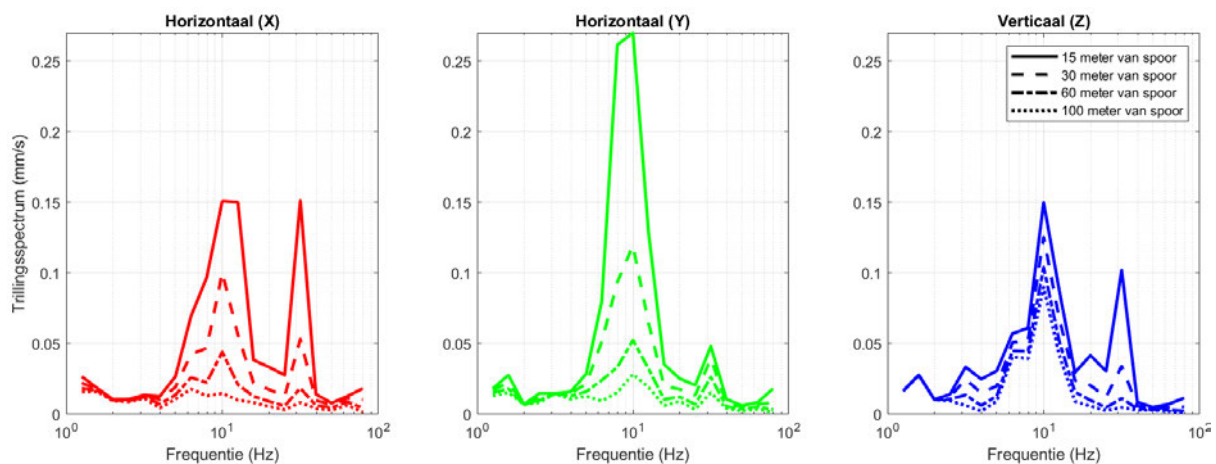
In deze vergelijking staat  $V$  voor de trillingssnelheid,  $f$  voor de frequentie,  $r$  voor de afstand tot de trillingsbron,  $r_0$  voor de referentieafstand (hier 20 m),  $n$  voor de geometrische spreidingsfactor en  $\alpha$  voor de bodemdemping. De geometrische spreiding en bodemdemping zijn weergegeven in Figuur 29.





Figuur 29 Bodemdamping  $\alpha$  (links) en geometrische spreiding  $n$  (rechts) als functie van de frequentie, boven voor positie middenin plangebied, onder voor positie rechts in plangebied

De gemiddelde trillingsspectra op verschillende afstanden van het spoor zijn weergegeven in Figuur 30. Hier is te zien dat vooral de trillingen sterk uitdempsen met de afstand.

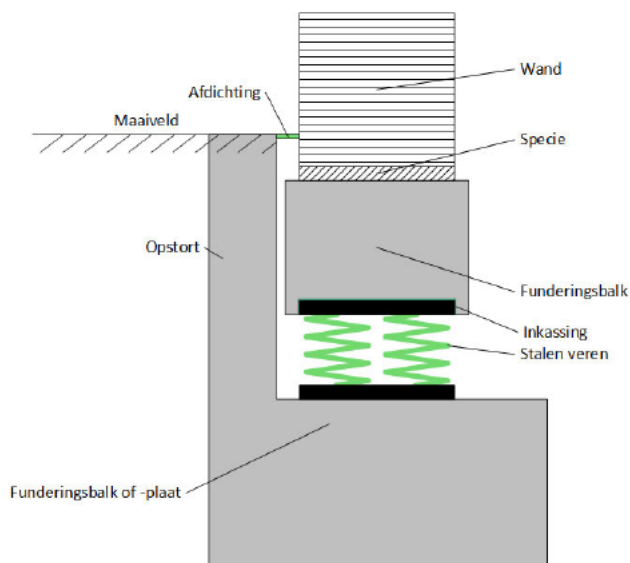


Figuur 30 Gemiddelde trillingsspectra op 15, 30, 60 en 100 meter van het spoor

## DETAILS MAATREGELEN

Deze bijlage bevat achtergrondinformatie en principedetails van de besproken maatregelen.

Een principeschets van een afgeveerde fundering met stalen veerdozen is weergegeven in Figuur 31. Een foto van een concrete toepassing bij eengezinswoningen in Prinsenbeek is weergegeven in Figuur 32 (fundering op staal, bij fundering op palen worden de stalen veerdozen vaak aangebracht op de paalkoppen, in een inkassing in de funderingsbalken). Aan de zijkant kan de bodem van de woning worden geïsoleerd door het aanbrengen van bijvoorbeeld een laag EPS, of door het aanbrengen van een opstort op de funderingsbalk of -plaat.



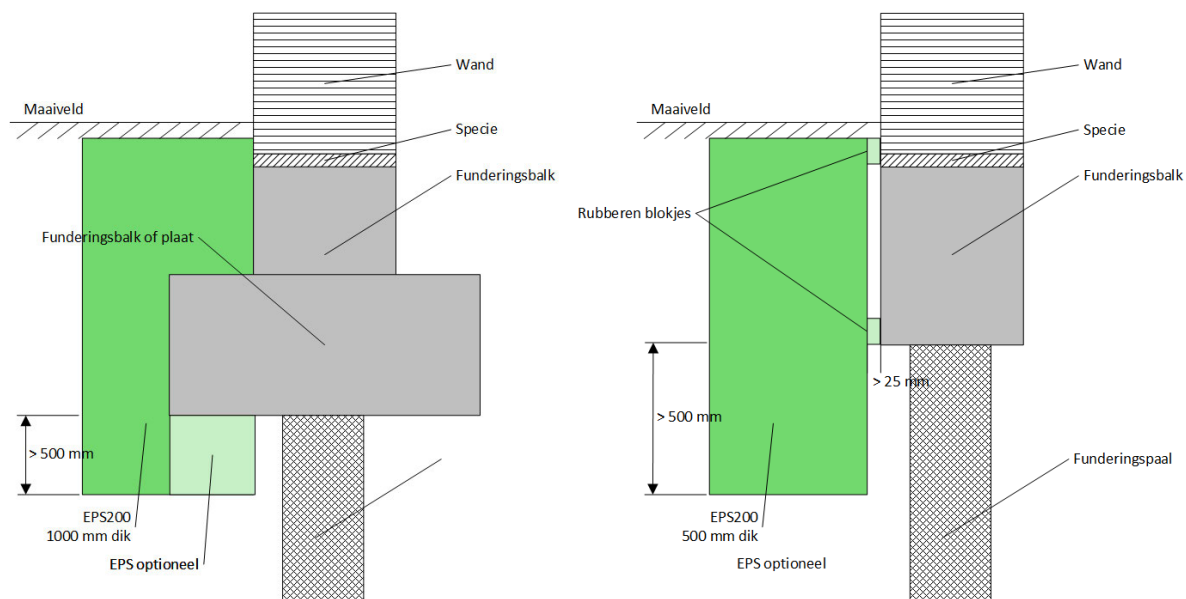
*Figuur 31 Principeschets afgeveerde fundering (hier met stalen veerdozen, fundering op staal)*



*Figuur 32 Dubbele fundering met stalen veerdozen (project in Prinsenbeek)*

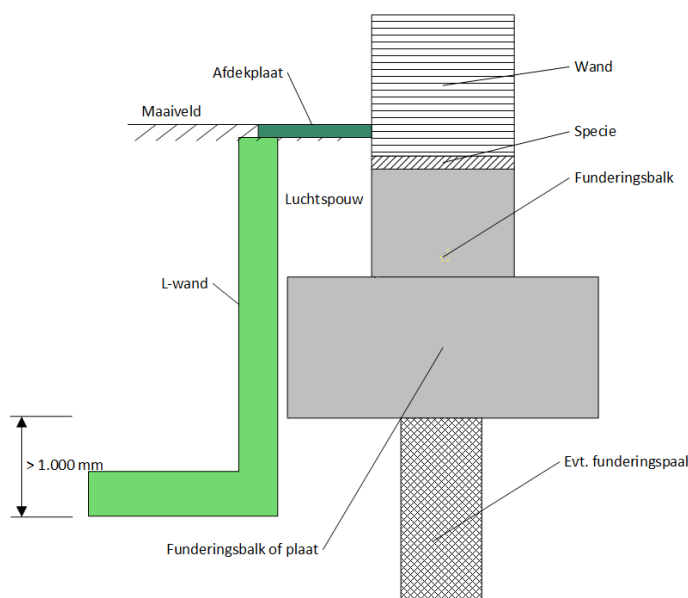
Een principeschets van het bekleden van de fundering met EPS (piepschuim) is weergegeven in Figuur 33. De EPS-kwaliteit dient wat zwaarder te zijn dan standaard i.v.m. de gronddruk. Hier is EPS200 aangegeven. De minimaal benodigde dikte voor voldoende reductie is zo'n 1000 mm, om opdrijven te voorkomen moet dit tot de GHG-waarde van het grondwaterpeil worden aangebracht en verankerd worden aan de fundering. Een geringere dikte is ook mogelijk, mits

gebruik wordt gemaakt van een luchtsponw van minimaal 25 mm breed (afgedekt om vuilophoping te voorkomen). Verder dient het EPS dieper te zijn dan de funderingsbalken, bij voorkeur minimaal 500 mm onder de onderzijde van de funderingsbalk. Minder diep is mogelijk, maar leidt tot een lagere effectiviteit.



*Figuur 33 Fundering met EPS-scherm ervoor (links) en met EPS en luchtsponw (rechts)*

Een principeschets van het plaatsen van een L-wand direct voor de fundering is rechts weergegeven in Figuur 34. Belangrijk hierbij is dat een luchtsponw nodig is (geen contact tussen L-wand en fundering), en dat deze dient te worden afgedekt met een afdekplaat. De L-wand moet in ieder geval ruim (minimaal 500, liefst 1.000 mm) lager liggen dan de onderzijde van de funderingsbalk of plaat om effectief te zijn, bij een paalfundering is de effectiviteit lager omdat een deel van de trillingen via de palen het gebouw ingaat.



*Figuur 34 L-wand met luchtsponw voor fundering*