

# GARSTLANDEN IV

Trillingsonderzoek



WBD1921

ir. P.M. Boon  
27 januari 2020  
versie 1.0

# Managementsamenvatting

In Gramsbergen worden binnen het plan Garstlanden IV woningen ontwikkeld door diverse ontwikkelaars. Dit gebied ligt in de nabijheid van de spoorlijn Zwolle/Almelo – Emmen. 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 geplande bebouwing, en zo ja, met welke maatregelen deze hinder is te voorkomen.

De belangrijkste bevinding van dit onderzoek is dat incidentele overschrijdingen in een deel van de bouwblokken niet zijn uit te sluiten (zie de figuur hiernaast voor een beoordeling van de trillingen). Het gaat om minder dan 2 overschrijdingen per dag, veroorzaakt door goederentreinen met afwijkende trillingsniveaus. De laagfrequente trillingen van deze goederentreinen dempen slechts langzaam uit met de afstand.



Omdat niet in alle bouwblokken volledig wordt voldaan aan het beoordelingskader, is een maatregelafweging uitgevoerd. Hierbij is gekeken naar maatregelen aan het spoor (valt buiten het plangebied, dus niet mogelijk), in de bodem en aan de gebouwen. Gezien het karakter van de trillingen (laagfrequent, slecht uitdempend) en het plangebied (uitgestrekt plangebied, niet direct gelegen aan het spoor) zijn er geen maatregelen in de bodem of aan de gebouwen te treffen waarmee in alle gebouwen kan worden voldaan aan de streefwaarden. Er zijn daarmee geen doelmatige maatregelen te treffen.

Wel adviseren wij in de verdere uitwerking van de plannen de volgende afwegingen uit te voeren:

1. Zijn er mogelijkheden om de inrichting van het plangebied nog te wijzigen, bijvoorbeeld door woningen met de woningscheidende wand dwars op het spoor te positioneren. Doordat de woningen in die richting stijver zijn, worden de trillingen van de goederentreinen minder versterkt. Ook appartementengebouwen geven door hun grotere massa de trillingen slechter door, en kennen daardoor lagere trillingsniveaus.
2. Zijn er mogelijkheden om de grondgebonden woningen stijver te construeren, bijvoorbeeld door (een van de) volgende maatregelen (in aflopende prioriteit):
  - a. Toepassen van prefab beton wanden i.p.v. kalkzandsteen wanden
  - b. Toevoegen van extra stijfheid in de wanden loodrecht op de woningscheidende wand

- c. Toepassen van breedplaatvloeren i.p.v. kanaalplaatvloeren
- d. Toepassen van dikkere vloeren

Overigens geldt dat ook zonder bovenstaande aanpassingen geen onacceptabele situatie ontstaat in het licht van bijlage 5 van de SBR B-richtlijn, gezien het feit dat er geen doelmatige maatregelen zijn te treffen en dat het gaat om incidentele overschrijdingen van de streefwaarden (ruim minder dan 1 per dag).

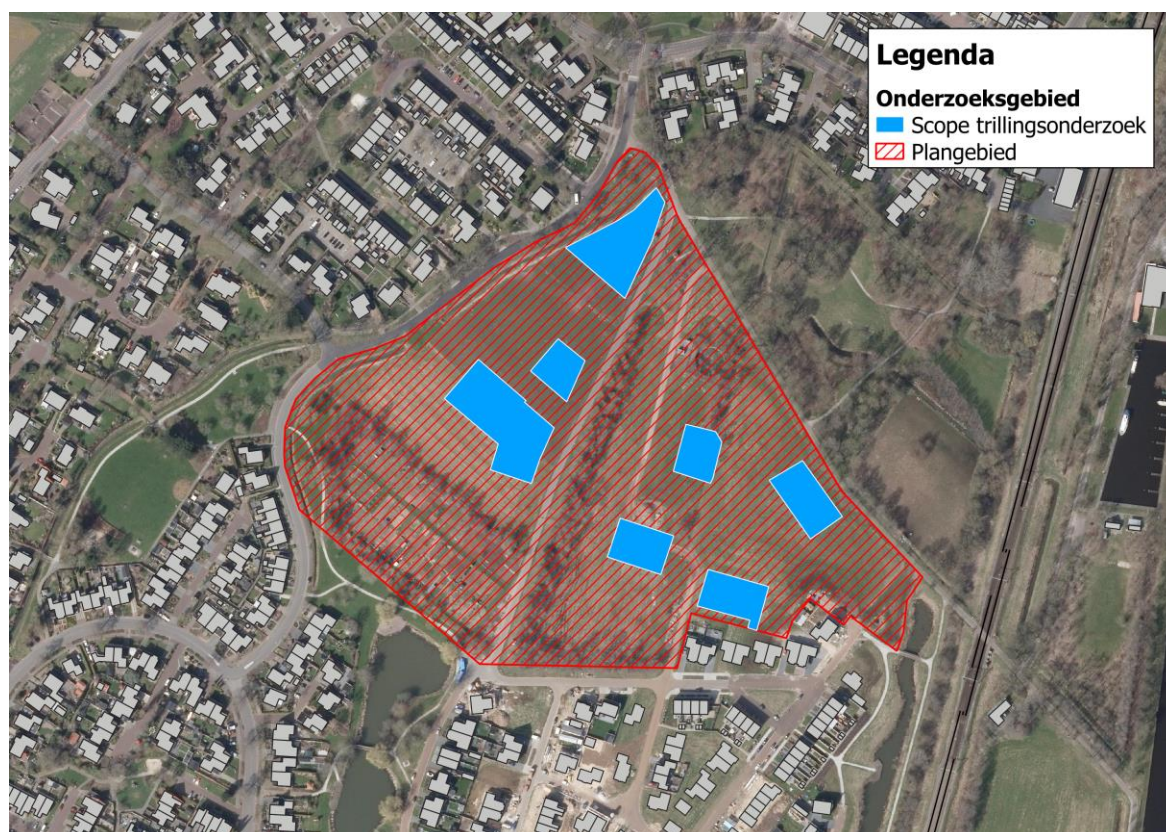
# Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Inleiding</b> .....	<b>5</b>
1.1	Aanleiding .....	5
1.2	Doel .....	5
1.3	Leeswijzer .....	5
<b>2</b>	<b>Situatie en uitgangspunten</b> .....	<b>7</b>
2.1	Situatie.....	7
2.2	Uitgangspunten .....	8
<b>3</b>	<b>Beoordelingskader</b> .....	<b>10</b>
3.1	Beoordelingskader.....	10
3.2	Rekenmethode .....	11
<b>4</b>	<b>Verwachte trillingen in de woningen</b> .....	<b>14</b>
4.1	Meetresultaten.....	14
4.2	Trillingen in geplande nieuwbouw .....	15
4.3	Maatregelen .....	17
<b>5</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen</b> .....	<b>22</b>
<b>I</b>	<b>Bijlage Geotechnisch bodemonderzoek</b> .....	<b>23</b>
<b>II</b>	<b>Bijlage Rekenmodel Buildyn</b> .....	<b>24</b>
	Fundering .....	25
	Draagconstructie .....	25
	Vloeren .....	26
	Resultaten .....	26

# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding

In Gramsbergen worden binnen het plan Garstlanden IV woningen ontwikkeld door diverse ontwikkelaars. Dit gebied ligt in de nabijheid van de spoorlijn Zwolle/Almelo – Emmen, zie Figuur 1. Gezien de beperkte afstand tot het spoor kan trillingshinder als gevolg van treinverkeer niet *op voorhand* worden uitgesloten. Het huidige onderzoek heeft betrekking op de in Figuur 1 gemarkeerde delen van het plangebied.



Figuur 1 Plangebied Garstlanden IV in Gramsbergen

## 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. Deze trillingen toetsen we aan het van toepassing zijnde beoordelingskader (de SBR B-richtlijn). Als er overschrijdingen van het beoordelingskader worden verwacht, dan geven we aan met welke constructieve aanpassingen of maatregelen wel wordt voldaan aan 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 woningen op basis van de gemeten trillingen en de eigenschappen van de gebouwen. Het resultaat van deze stap wordt in hoofdstuk 4 beschreven. In hoofdstuk 5 geven we de conclusies en aanbevelingen.

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

## 2 Situatie en uitgangspunten

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

### 2.1 Situatie

De planlocatie bestaat op dit moment uit een braakliggend terrein. In de plansituatie wordt een woonwijk gerealiseerd, zie Figuur 2.



Figuur 2 Bestaande en toekomstige bebouwing

De nieuwbouw bevindt zich op een afstand van ca. 45 tot 425 meter van het spoor. De rijsnelheid en het aantal treinen per uur per richting zijn weergegeven in Tabel 1. Deze gegevens zijn gebaseerd op gegevens uit het Geluidsregister Spoor. Volgens de NMCA spoor 2030-2040 (voortuitblik voor goederenvervoer) zal het goederenvervoer op deze lijn licht toenemen van de huidige 2 tot 3 goederentreinen naar 3 tot 5 goederentreinen per dag. Er wordt geen verandering in het aantal reizigerstreinen voorzien.

Tabel 1 Treinen, rijsnelheid en aantal treinen 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)
Stoptrein	55-80 km/h	1.00	1.00	0.50
Sneltrein	90-100 km/h	1.00	1.00	0.13
Goederentrein	85-90 km/h	0.02	0.10	0.07

Andere trillingsbronnen, zoals lokaal verkeer, kunnen ook voor trillingen zorgen. Bij een relatief vlakke wegopbouw zijn deze trillingen echter beperkt. In het plangebied zal voornamelijk sprake zijn van bestemmingsverkeer (doorgaans licht wegverkeer), wat lage trillingen veroorzaakt.

## 2.2 Uitgangspunten

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

### 2.2.1 Gegevens bebouwing

In het onderzochte deel van het plangebied worden grondgebonden woningen en appartementen gebouwd. De grondgebonden woningen worden als twee-onder-een-kap woningen en rijwoningen gerealiseerd. In dit onderzoek is uitgegaan van grondgebonden woningen met 3 bouwlagen, voor de appartementen is uitgegaan van 5 bouwlagen. Voor de appartementen zijn meerdere beukmaten onderzocht.

Er is op dit moment nog geen ontwerp van de bebouwing uitgewerkt, daarom wordt in de berekeningen uitgegaan van de gegevens in Tabel 2, gebaseerd op het stedenbouwkundig plan. In het vervolg van dit rapport wordt aangegeven wat de invloed is van variaties op deze parameters op de trillingen. Het rekenmodel voor de bebouwing is gebaseerd op Tabel 2.

*Tabel 2 Eigenschappen bebouwing*

Parameter	Eigenschappen
Vloertype	Appartementen: Breedplaatvloer 200 mm met cementdekvloer 70 mm Grondgebonden woningen: Kanaalplaatvloer 200 mm met cementdekvloer 70 mm
Hoogte	Appartementen: 5 bouwlagen Grondgebonden woningen: 3 bouwlagen
Lengte vloerveld	Appartementen: 6.6 m Rijwoningen: 5.4 m Twee-onder-een-kap woningen: 6.6 m
Breedte vloerveld	10 m (diepte woningen)
Constructietype	Wanden-vloeren
Fundering	Op palen
Stijfheid gebouw	Kalkzandsteen en metselwerk

### 2.2.2 Gegevens ondergrond

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

### 2.2.3 Meetresultaten

Door Alcedo zijn metingen uitgevoerd in het onderzoeksgebied op twee punten, zie Figuur 3. De metingen zijn uitgevoerd van 16 tot en met 23 januari 2020, en zijn verricht op de fundering van een woning vlakbij het plangebied. De meetresultaten uit dit meetonderzoek geven we weer in hoofdstuk 4.





*Figuur 3 Meetpunten bij het onderzoeksgebied, rechts, dichtbij het spoor meetpunt 1, links in een woning meetpunt 2*

# 3 Beoordelingskader

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

## 3.1 Beoordelingskader

Er bestaat in Nederland geen wettelijk kader voor de beoordeling van trillingshinder in gebouwen. Wel geldt dat in het kader van een goede ruimtelijke ordening kan worden verzocht om trillingen mee te nemen bij de wijziging van bestemmingsplannen waar trillingen een rol kunnen spelen. 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 grootte is in tegenstelling tot  $V_{max}$  dus ook afhankelijk van het aantal treinen).
2. De richtlijn maakt in de beoordeling onderscheid tussen verschillende situaties, en toetst daarbij strenger in:
  - a. Nieuwbouwsituaties (nieuwe gebouwen, nieuw spoor, aanleg van wissels). Bij bestaande situaties zijn de streefwaarden minder streng, er wordt dan uitgegaan van een zekere mate van gewenning en er zijn minder mogelijkheden om de trillingen te reduceren.
  - b. Gebouwen met een overnachtingsfunctie (woningen, ziekenhuizen). De meeste hinder wordt vaak in rust ervaren. Bij gebouwen met een niet-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.

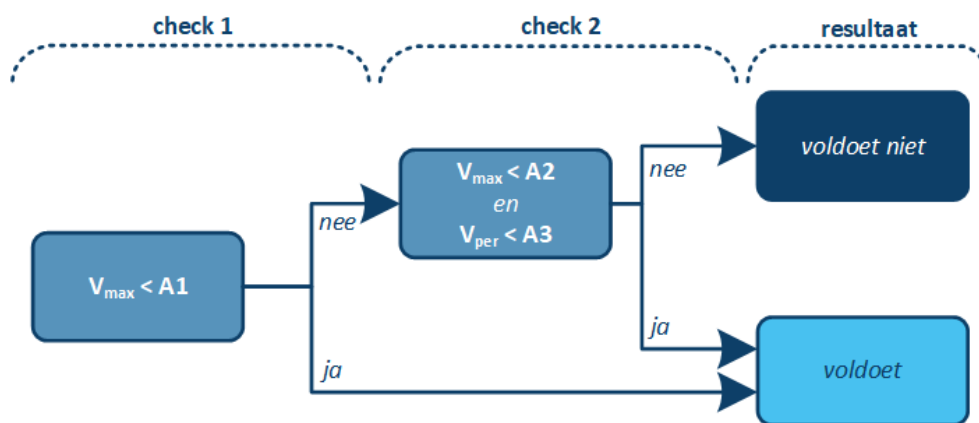
---

<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.

3. Een woning 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 4.

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

Situatie	Dag en avond			Nacht		
	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

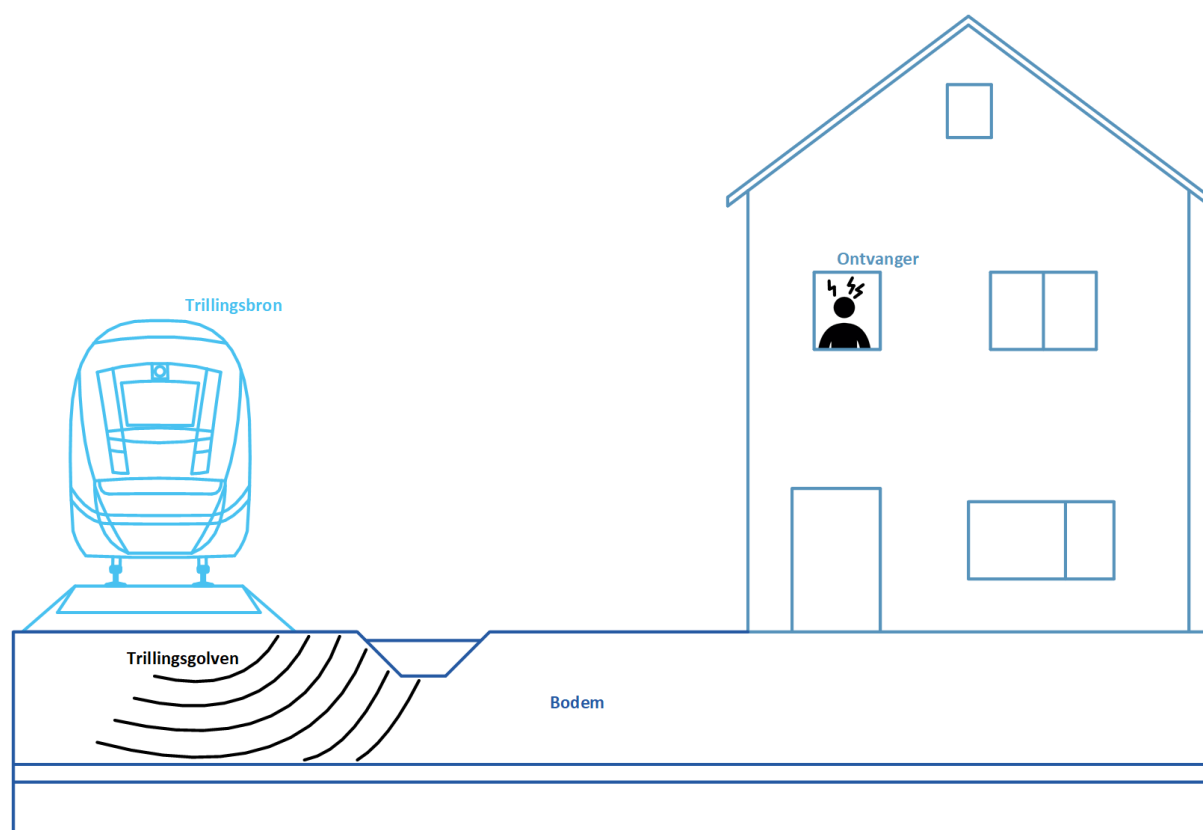
## 3.2 Rekenmethode

In de SBR-richtlijn deel B worden de trillingen beoordeeld in gebouwen. Omdat het bij dit project gaat om nog niet gerealiseerd gebouwen, wordt op basis van metingen aan bestaande 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, en hoe dat is vertaald naar een rekenmodel.

### 3.2.1 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 5.

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



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

### 3.2.2 De trillingsbron

In dit onderzoek zijn treinen de bron van de trillingen. De trillingen van het treinverkeer zijn gemeten door Alcedo op meerdere punten aan bestaande gebouwen. De beoordeling van de trillingen in de geplande bebouwing heeft plaatsgevonden op basis van deze metingen.

### 3.2.3 De bodem

De bodem op deze locatie bestaat hoofdzakelijk uit zand-, klei- en leemlagen met verschillende stijfheden, 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.

### 3.2.4 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, een aantal mogelijkheden voor de constructieve eigenschappen en voor 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.

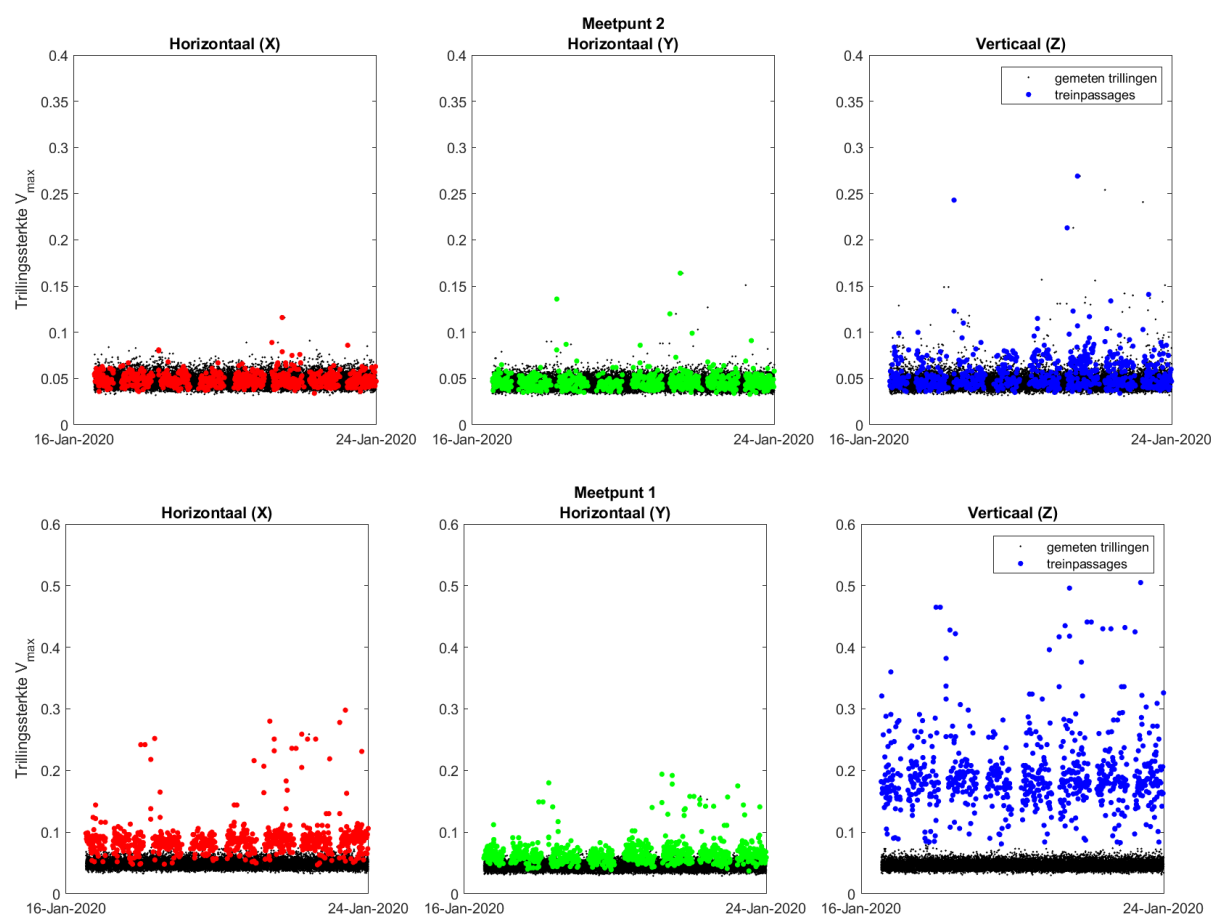
# 4 Verwachte trillingen in de woningen

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

## 4.1 Meetresultaten

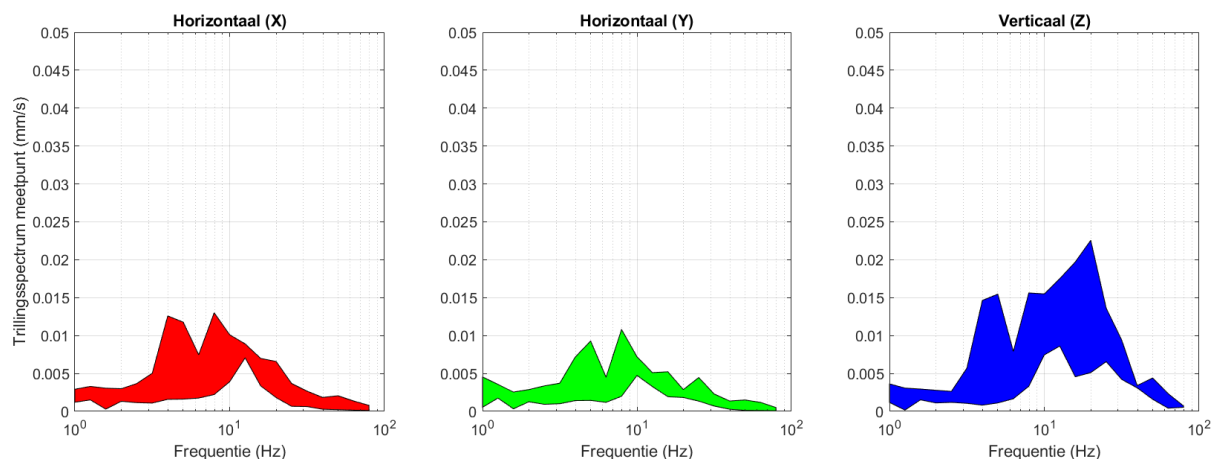
Alcedo heeft metingen uitgevoerd aan de fundering van een woning aan Het Spijk 16 (op ca. 98 meter van het spoor). De trillingen op dit meetpunt zijn weergegeven in Figuur 6. Ter referentie zijn ook de meetpunten aan een meetpunt dichtbij het spoor (fundering van een trafohuisje op ca. 16 m afstand) weergegeven. In deze figuren valt het volgende op:

1. De trillingen zijn maatgevend in verticale richting, de hoogst gemeten waarde aan de fundering van de woning bedraagt ca. 0.27, en is afkomstig van een goederentrein.
2. De trillingen van reizigerstreinen zijn laag in de woning, de op Gramsbergen stoppende treinen veroorzaken trillingen die vergelijkbaar zijn met de achtergrondruis, de doorgaande reizigerstreinen (sneltreinen) geven soms wel trillingen die iets hoger zijn dan de achtergrondniveaus.



Figuur 6 Gemeten trillingen aan de fundering van Het Spijk 16 (boven) en trafohuisje op 16 meter afstand (onder)

Vervolgens is een meting aan het meetpunt bij het trafohuisje uitgevoerd. Hierbij is specifiek gekeken naar welke trillingsfrequenties maatgevend zijn, deze input is gebruikt om de trillingen in de gebouwen te bepalen en de uitdemping van de trillingen met de afstand vast te stellen. Spectrogrammen van de trillingen (weergegeven als 1/3-octaaftbandspectrum of tertsbandspectrum) zijn weergegeven in Figuur 7. In deze figuur is goed zichtbaar dat de dominante frequentie van de trillingen tussen de 8 en 20 Hz ligt, maar dat er ook af en toe hoge trillingen zijn bij lagere frequenties (rond de 4 Hz). Deze laagfrequente trillingen zijn afkomstig van zware goederentreinen, en dempen slecht uit met de afstand. De hogere frequenties worden sterk uitgedempt door de fundering van gebouwen.



*Figuur 7 Tertsbandspectra op fundering van trafohuisje*

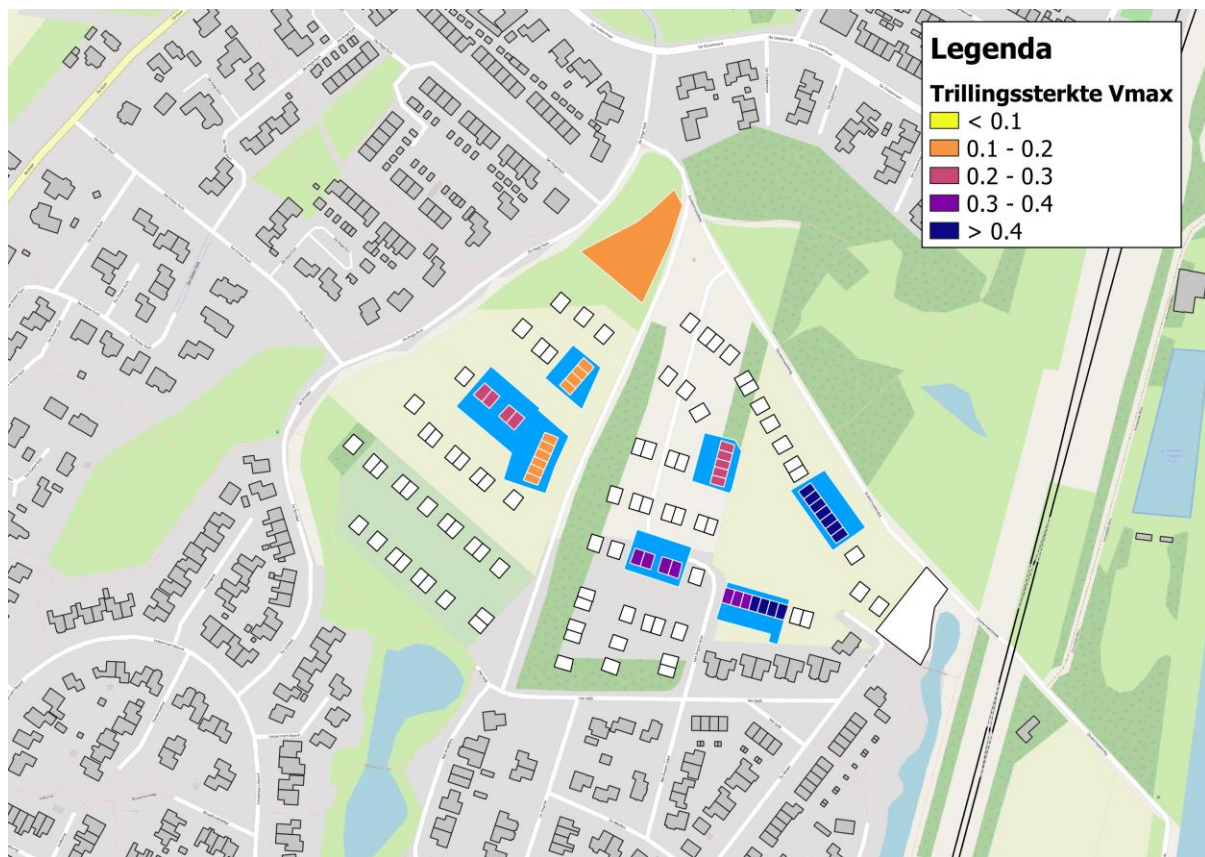
## 4.2 Trillingen in geplande nieuwbouw

De geplande bebouwing is gemodelleerd op basis van de input uit hoofdstuk 2. Het (frequentie-afhankelijke) gedrag van verschillende gebouwen is weergegeven in Bijlage II. Met deze resultaten is bepaald in welke mate de trillingen worden versterkt tussen de meetpunten op de fundering van het huidige gebouw en de vloeren in het toekomstige gebouw. De versterking van de trillingen tussen de fundering en een maatgevend punt op de hoogste verdieping van de toekomstige gebouwen per bouwtype is weergegeven in Tabel 4. De variatie is bijvoorbeeld afhankelijk van de afstand tot het spoor, maar ook van de oriëntatie van de woning (haaks of parallel aan het spoor).

*Tabel 4 Versterking van de trillingen per bouwtype*

Type gebouw	Versterking trillingen
Appartementen	1.4 – 1.7
Rijwoningen	1.3 – 2.3
Twee-onder-een-kap woningen	1.7 – 3.0

Met deze overdrachten is op basis van de metingen bepaald wat de verwachte trillingen zullen zijn in de woningen. De resultaten voor de bovengrens<sup>2</sup> van de trillingssterkte  $V_{max}$  zijn weergegeven in Figuur 8.



Figuur 8 Bovengrens van de trillingssterkte  $V_{max}$  in de woningen

De beoordeling van de trillingen aan de SBR B-richtlijn (zie hoofdstuk 3) is weergegeven in Figuur 9. Globaal geldt het volgende:

1. Alleen op zeer grote afstand zijn overschrijdingen van de streefwaarden met voldoende zekerheid uit te sluiten. Dat komt doordat de laagfrequente trillingen van de goederentreinen maar langzaam uitdempem met de afstand, en daardoor tot op grote afstand nog voelbaar kunnen zijn. Hierdoor zijn in veel bouwblokken incidentele overschrijdingen van de streefwaarden niet uit te sluiten.
2. In alle gevallen waar incidentele overschrijdingen niet zijn uit te sluiten, gaat het om minder dan 2 overschrijdingen per week, veroorzaakt door goederentreinen. Door de lichte toename van het aantal goederentreinen kan dit aantal toenemen naar minder dan 3 overschrijdingen per week in het hoge economische scenario voor de toekomst.

<sup>2</sup> Berekend met de bovengrenswaarde voor de overdracht



3. De trillingen zijn lager in gebouwen waarvan de oriëntatie haaks op het spoor is (woningscheidende wanden haaks op het spoor). De woningen zijn in die richting stijver, waardoor de trillingen uit die richting (die op maaiveld dominant is dan de andere horizontale richting) minder worden doorgegeven.



Figuur 9 Beoordeling van de bovengrens van de trillingen aan de SBR B-richtlijn

### 4.3 Maatregelen

Door de slechte uitdemping van de trillingen met de afstand, verwachten we ook op grote afstand incidentele overschrijdingen van de streefwaarden voor trillingshinder voor nieuwe situaties. Hoewel het om incidentele overschrijdingen gaat, hebben we voor die locaties toch een maatregelafweging uitgevoerd. Deze afweging beschrijven we in deze paragraaf.

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. Vervolgens geeft deze bijlage aan dat matige hinder kan worden geaccepteerd onder een aantal voorwaarden:

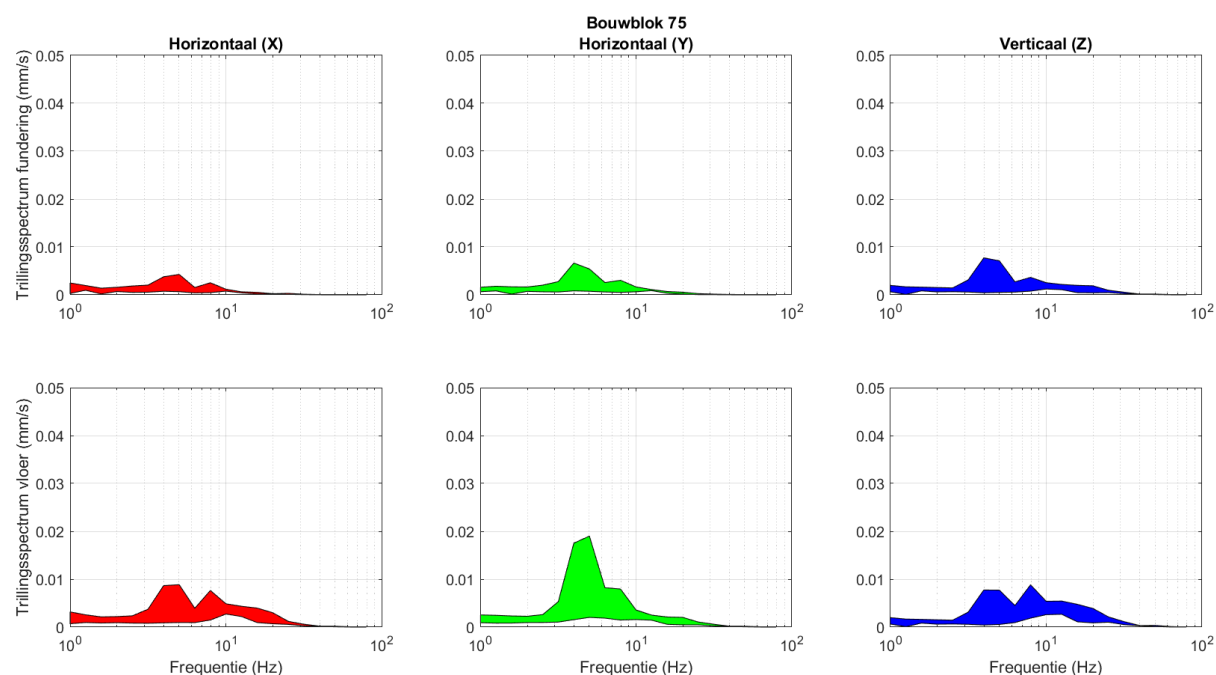
1. De mate waarin de trillingssterkte voorkomt. Hiervoor geldt dat de trillingsintensiteit  $V_{per}$  een goede indicatie is. Die is laag in het hele plangebied ( $V_{per} < 0.02$ , dus ruim lager dan de streefwaarde van 0.05). Voor de gele bouwblokken in Figuur 9 geldt dat het aantal overschrijdingen beperkt is. Daar is dus sprake van incidentele overschrijdingen, die het achterwege laten van een maatregel zouden kunnen rechtvaardigen.
2. De aanwezigheid van achtergrondtrillingen die de trillingen van het treinverkeer kunnen maskeren. Daar is hier geen sprake van.

- 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.

Omdat voorwaarde 2 niet van toepassing is voor een deel van de bouwblokken, gaan we hierna in op maatregelen om de trillingen te reduceren. Om effectieve maatregelen te treffen, doen we eerst een nadere analyse van de verwachte trillingen. Zo stellen we 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 de gebouwen.

#### 4.3.1 Analyse resultaten

Om te bepalen welke trillingsrichting en trillingsfrequenties in de gebouwen maatgevend zijn, is een nadere analyse uitgevoerd van de verwachte trillingen. Voor het meest maatgevende bouwblok (op 113 meter van het spoor) is het trillingsspectrum in de X-, Y- en Z-richting op zowel de fundering als bovenin het gebouw weergegeven in Figuur 10.



*Figuur 10 Trillingsspectra in een woning op 113 m van het spoor (kortste afstand). Boven de trillingen op de fundering, onder op de hoogste vloer.*

In Figuur 10 is zichtbaar dat de trillingen in horizontale richting, loodrecht op het spoor (Y-richting), het hoogst zijn. De trillingen zijn het hoogst bij frequenties tussen de 3 en 6 Hz. Maatregelen moeten daarom vooral in horizontale richting, bij lage frequenties, de trillingen uitdempen.

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

#### 4.3.2 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), bijvoorbeeld door het toepassen van

ballastmatten, het aanpassen van de rijsnelheid van de treinen of het hanteren van strengere vlakheidseisen voor het spoor. Ook het verwijderen van de wissels of de overweg nabij de planlocatie zal zorgen voor een afname van de trillingen. Deze maatregelen vallen echter buiten de scope van dit onderzoek, omdat deze maatregelen allemaal buiten het plangebied moeten worden getroffen. Bovendien zijn de kosten van deze maatregelen hoger dan maatregelen aan de gebouwen.

#### 4.3.3 Maatregelen 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. Voorbeelden zijn het toevoegen van een spoorloot, 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. Omdat het hier gaat om een uitgestrekt plangebied, kunnen deze maatregelen niet dicht bij de bebouwing worden getroffen (i.v.m. reflectie van trillingen naar andere woningen), en de zone dichtbij het spoor valt buiten het plangebied. Daardoor is dit type maatregelen niet inpasbaar.

Bovendien zijn de kosten van dergelijke maatregelen zeer hoog. Om het plangebied af te schermen is een lengte nodig van ca. 750 meter voor maatregelen bij het spoor. Vanwege de laagfrequente trillingen, de gelaagde bodem en de grote afstand zijn zeer diepe trillingsschermen nodig van 15 tot 20 meter diep, en 1 meter breed. De kosten van een dergelijke maatregel bedragen, afhankelijk van de uitvoering, tussen de € 18 en € 28 mln., en daarmee ruim niet doelmatig.<sup>3</sup> Een ander nadeel van maatregelen in de bodem is dat deze niet aanpasbaar zijn aan eventuele toekomstige wijzigingen in het spoorgebruik.

#### 4.3.4 Maatregelen aan de gebouwen

Bij maatregelen aan de gebouwen is een breed scala aan maatregelen mogelijk. Die variëren van het stijver uitvoeren van de gebouwen (bijvoorbeeld door te kiezen voor een kleinere beukmaat, dikkere vloeren of een prefab betonwanden concept), het toepassen van meer dempende materialen (zoals breedplaatvloeren in plaats van kanaalplaatvloeren) tot het ontkoppelen van de fundering of de vloeren door middel van rubber of stalen veren. Het globale effect en de kosten van de mogelijke maatregelen aan gebouwen zijn weergegeven in Tabel 5.

Samengevat geldt dat er geen maatregelen zijn waarmee de incidentele overschrijdingen in alle woningen kunnen worden voorkomen. Het stijver maken van de woningen in de Y-richting (loodrecht op de woningscheidende wand) heeft het meeste effect, dat komt doordat de woningen in die richting het slapst zijn. Door het stijver uitvoeren van de woningen (door een concept van prefab beton i.p.v. kalkzandsteen, met dikkere

---

<sup>3</sup> ProRail hanteert voor het treffen van trillingsmaatregelen vaak een bedrag van € 47.000 in bestaande situaties. De kosten voor maatregelen in de bodem op deze locatie zijn ruim hoger dan dit bedrag. Bovendien zal een dergelijke kostenverhoging per woning leiden tot onverkooptbare woningen, daarom wordt bij nieuwbouw vaak een (veel) lager (projectafhankelijk te motiveren) bedrag gehanteerd.

breedplaatvloer (dikker dan 200 mm)) kunnen de trillingen wel worden gereduceerd, maar er blijven incidentele overschrijdingen van de streefwaarden mogelijk.

Tabel 5 Mogelijke maatregelen aan de gebouwen, en effect op aantal overschrijdingen

Maatregel	Effect	Kosten <sup>4</sup>
Stijvere constructie	10 – 20%	< 3% SK
Stijvere vloer	5 – 15%	< 2% SK
Toepassen van dempende materialen	10 – 20%	< 3% SK
Ontkoppelen van de vloeren	0 %	2 – 4% SK
Ontkoppelen van de fundering	0 – 10%	4 – 8% SK
Inpakken van de fundering	0 – 10%	1 – 3% SK
Zwaardere fundering	5 – 15%	3 – 5% SK

#### 4.3.5 Afweging van maatregelen

Door de slechte uitdemping van de trillingen met de afstand zijn tot op zeer grote afstand incidentele overschrijdingen van de streefwaarden voor trillingshinder mogelijk in de grondgebonden woningen in het plangebied. Deze overschrijdingen worden veroorzaakt door de passage van goederentreinen met afwijkende trillingsniveaus. Het gaat om minder dan 2 overschrijdingen per week. Gezien het karakter van de trillingen (laagfrequent, slecht uitdempend) en het plangebied (uitgestrekt plangebied, niet direct gelegen aan het spoor) zijn er geen maatregelen in de bodem of aan de gebouwen te treffen waarmee in alle gebouwen kan worden voldaan aan de streefwaarden.

Daarom is op basis van bijlage 5 van de SBR B-richtlijn een maatregelafweging uitgevoerd. Hiervoor geldt dat er geen doelmatige maatregelen zijn te treffen in het plangebied, de enige effectieve maatregelen (waarmee de trillingen kunnen worden gereduceerd tot onder de streefwaarden) zijn maatregelen aan het spoor of aan de treinen. Bovendien gaat het om incidentele overschrijdingen, waardoor er geen onacceptabel woon- en leefklimaat ontstaat in het plangebied.

Wel adviseren wij in de verdere uitwerking van de plannen de volgende afwegingen uit te voeren:

1. Zijn er mogelijkheden om de inrichting van het plangebied nog te wijzigen, bijvoorbeeld door woningen met de woningscheidende wand dwars op het spoor te positioneren. Doordat de woningen in die richting stijver zijn, worden de trillingen van de goederentreinen minder versterkt. Ook appartementengebouwen geven door hun grotere massa de trillingen slechter door, en kennen daardoor lagere trillingsniveaus.
2. Zijn er mogelijkheden om de grondgebonden woningen stijver te construeren, bijvoorbeeld door (een van de) volgende maatregelen (in aflopende prioriteit):

<sup>4</sup> SK = Stichtingskosten

- a. Toepassen van prefab beton wanden i.p.v. kalkzandsteen wanden
- b. Toevoegen van extra stijfheid in de wanden loodrecht op de woningscheidende wand
- c. Toepassen van breedplaatvloeren i.p.v. kanaalplaatvloeren
- d. Toepassen van dikkere vloeren

Overigens geldt dat ook zonder bovenstaande aanpassingen geen onacceptabele situatie ontstaat in het licht van bijlage 5 van de SBR B-richtlijn, gezien het feit dat er geen doelmatige maatregelen zijn te treffen en dat het gaat om incidentele overschrijdingen (ruim minder dan 1 per dag).

#### 4.3.6 Onzekerheden in het onderzoek

Dit onderzoek kent 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 typeren periode. De status van het spoor is onbekend. Op basis van bovenstaande verwachten we dat de huidige berekeningen representatief zijn voor de toekomstige trillingen.
2. 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. Omdat ook op grotere afstand van het spoor is gemeten, is de invloed van die lokale variaties beperkt.
3. 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 geïjkt rekenmodel. Hiermee wordt een resultaat verkregen dat representatief is voor de toekomstige situatie.

Bovenstaande onzekerheden geven geen aanleiding tot een andere maatregelafweging.

# 5 Conclusies en aanbevelingen

In het voorliggende onderzoek zijn de verwachte trillingen in de nieuwbouw van het plan Garstlanden IV in Gramsbergen bepaald. Uit het onderzoek volgt dat incidentele overschrijdingen in een deel van de bouwblokken niet zijn uit te sluiten. Het gaat om minder dan 2 overschrijdingen per dag, veroorzaakt door goederentreinen met afwijkende trillingsniveaus. De laagfrequente trillingen van deze goederentreinen dempen slechts langzaam uit met de afstand.

Omdat niet volledig wordt voldaan aan het beoordelingskader, is een maatregelafweging uitgevoerd. Hierbij is gekeken naar maatregelen aan het spoor (valt buiten het plangebied, dus niet mogelijk), in de bodem en aan de gebouwen. Gezien het karakter van de trillingen (laagfrequent, slecht uitdempend) en het plangebied (uitgestrekt plangebied, niet direct gelegen aan het spoor) zijn er geen maatregelen in de bodem of aan de gebouwen te treffen waarmee in alle gebouwen kan worden voldaan aan de streefwaarden. Er zijn daarmee geen doelmatige maatregelen te treffen.

Wel adviseren wij in de verdere uitwerking van de plannen de volgende afwegingen uit te voeren:

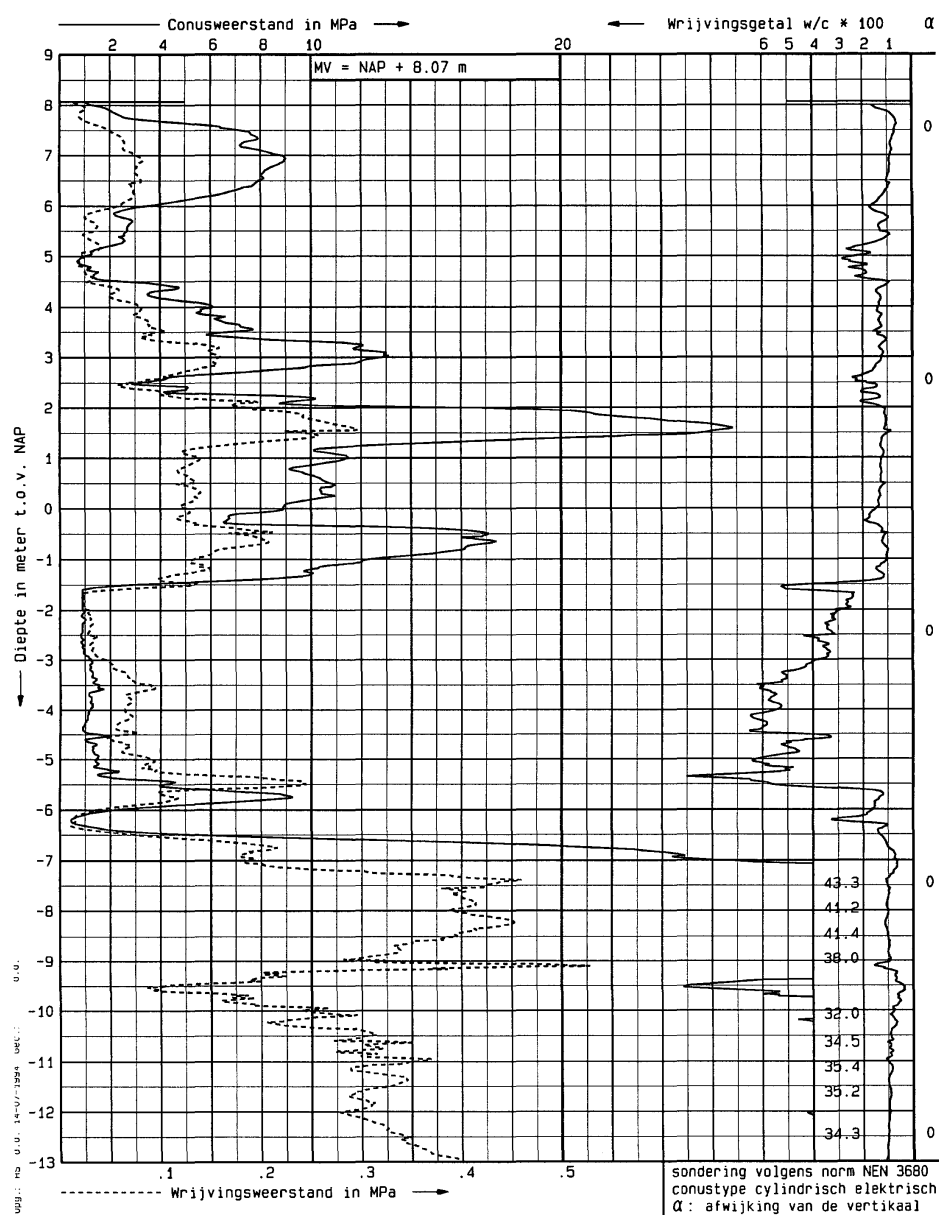
1. Zijn er mogelijkheden om de inrichting van het plangebied nog te wijzigen, bijvoorbeeld door woningen met de woningscheidende wand dwars op het spoor te positioneren. Doordat de woningen in die richting stijver zijn, worden de trillingen van de goederentreinen minder versterkt. Ook appartementengebouwen geven door hun grotere massa de trillingen slechter door, en kennen daardoor lagere trillingsniveaus.
2. Zijn er mogelijkheden om de grondgebonden woningen stijver te construeren, bijvoorbeeld door (een van de) volgende maatregelen (in aflopende prioriteit):
  - a. Toepassen van prefab beton wanden i.p.v. kalkzandsteen wanden
  - b. Toevoegen van extra stijfheid in de wanden loodrecht op de woningscheidende wand
  - c. Toepassen van breedplaatvloeren i.p.v. kanaalplaatvloeren
  - d. Toepassen van dikkere vloeren

Overigens geldt dat ook zonder bovenstaande aanpassingen geen onacceptabele situatie ontstaat in het licht van bijlage 5 van de SBR B-richtlijn, gezien het feit dat er geen doelmatige maatregelen zijn te treffen en dat het gaat om incidentele overschrijdingen van de streefwaarden (ruim minder dan 1 per dag).

## Bijlage Geotechnisch bodemonderzoek

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 sondering in de nabijheid van het onderzoeksgebied (nr. S22E00011) is weergegeven in Figuur 11. Hier is te zien dat de bodem is opgebouwd uit zand-, klei- en lemlagen met verschillende structuren. Door de gelaagde bodem dempen met name laagfrequente trillingen van goederentreinen minder snel uit met de afstand, waardoor deze op relatief grote afstand nog meetbaar zijn.

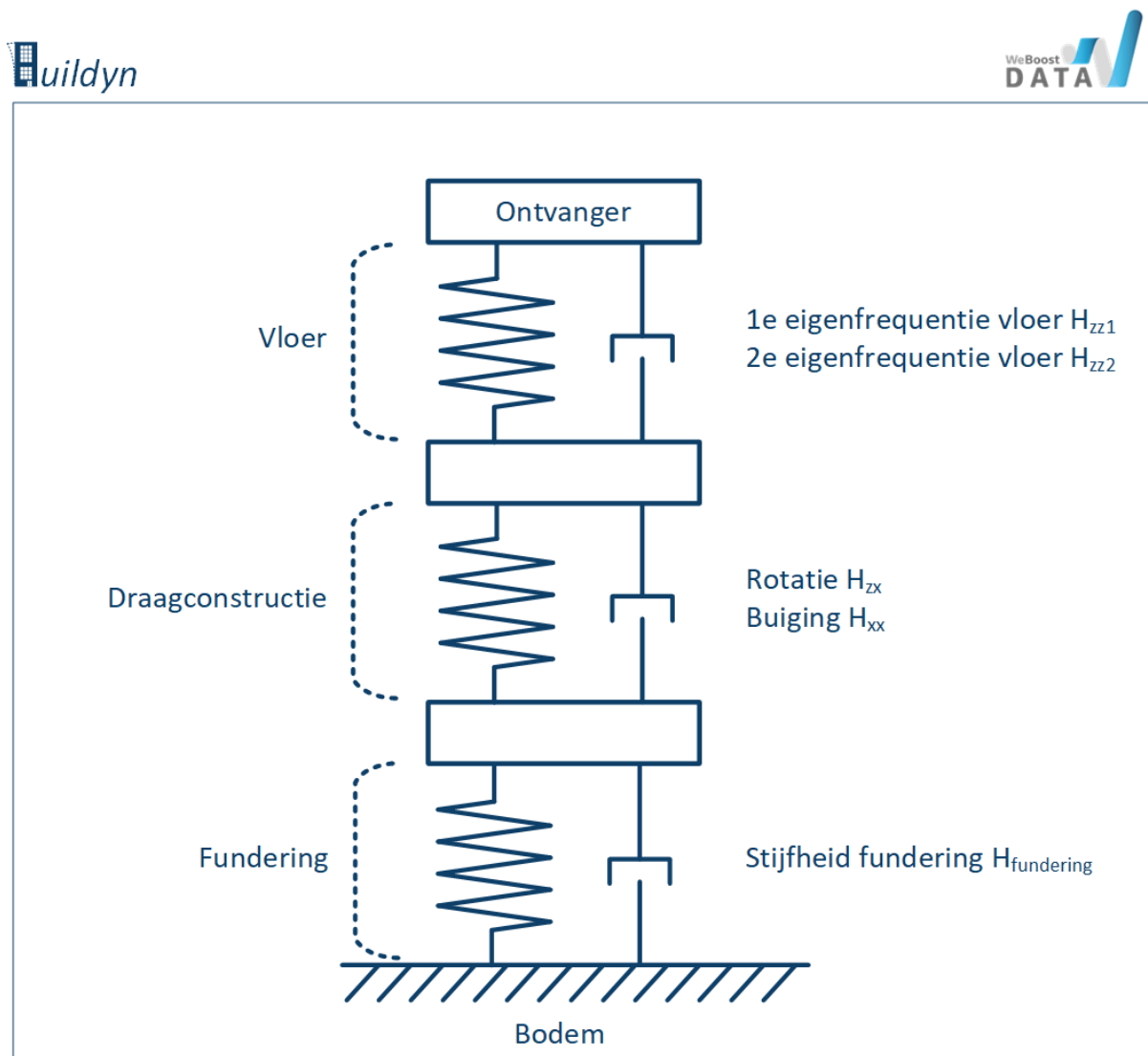


Figuur 11 Sondering nabij het onderzoeksgebied, S22E00011

## Bijlage Rekenmodel Buildyn

In dit rapport is gebruik gemaakt van het door We-Boost Data ontwikkelde rekenmodel Buildyn om de trillingen in de geplande bebouwing te berekenen. Buildyn is een zogenaamd beam-element model (BEM) waarin het gebouw gemodelleerd en doorgerekend wordt. De resultaten van het model zijn geijkt met praktijkresultaten uit ruim 200 metingen in gebouwen. Dit model bestaat uit een aantal modules, deze worden in deze bijlage kort toegelicht.

In Buildyn wordt een gebouw gemodelleerd door middel van gekoppelde massaveersystemen, zie Figuur 12. De verschillende componenten van het model, zoals weergegeven aan de rechterzijde van Figuur 12, worden in deze bijlage nader toegelicht.



Figuur 12 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)
- Afmetingen en gewicht van het gebouw
- Bodem waarop het gebouw staat

Met name boven de 10 Hz kunnen trillingen worden uitgedempt door de fundering.

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 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) en doorbuiging een rol spelen.

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

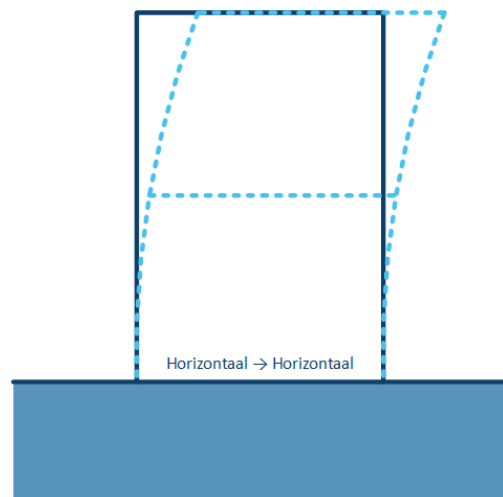
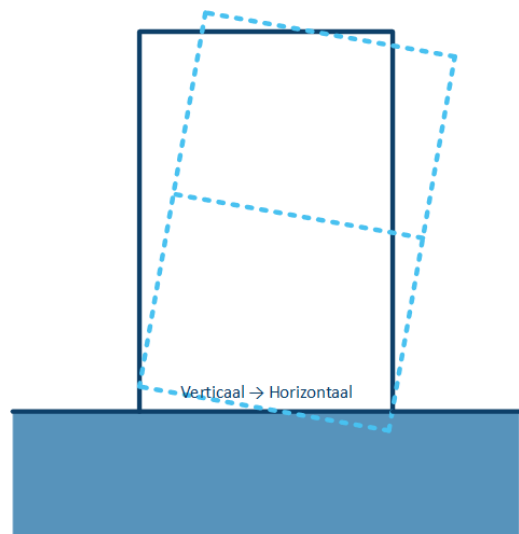
Dit effect wordt in Buildyn weergegeven als  $H_{zx}$ , en is afhankelijk van:

- 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 wordt in Buildyn weergegeven als  $H_{xx}$ , en is afhankelijk van:

- Afmetingen van het gebouw (breedte, lengte, hoogte)



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

## 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.

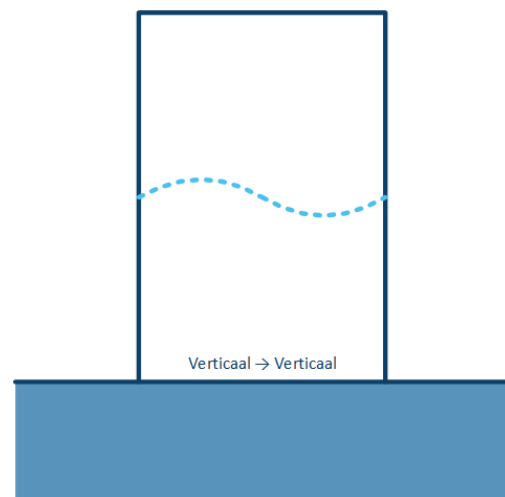
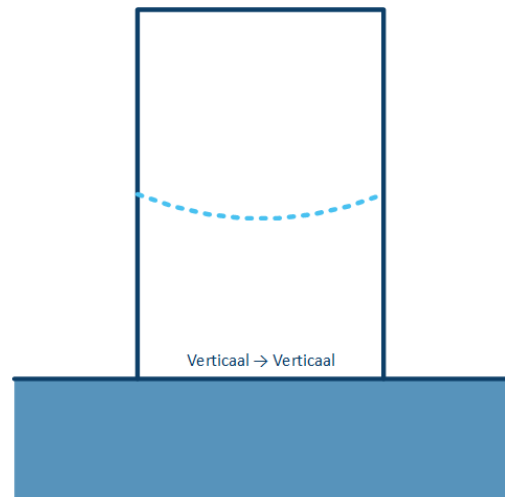
De eerste buigmodus van de vloer (bij de eerste eigenfrequentie) is simpele doorbuiging, zoals weergegeven in de principeschets rechts. Met name de eigenfrequentie (de frequentie waarvoor de vloer gevoelig is) en de demping bepalen in hoeverre de trillingen worden opgeslingerd. De trillingen zijn het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

Dit effect wordt in Buildyn weergegeven als  $H_{zz1}$ , en is afhankelijk van:

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

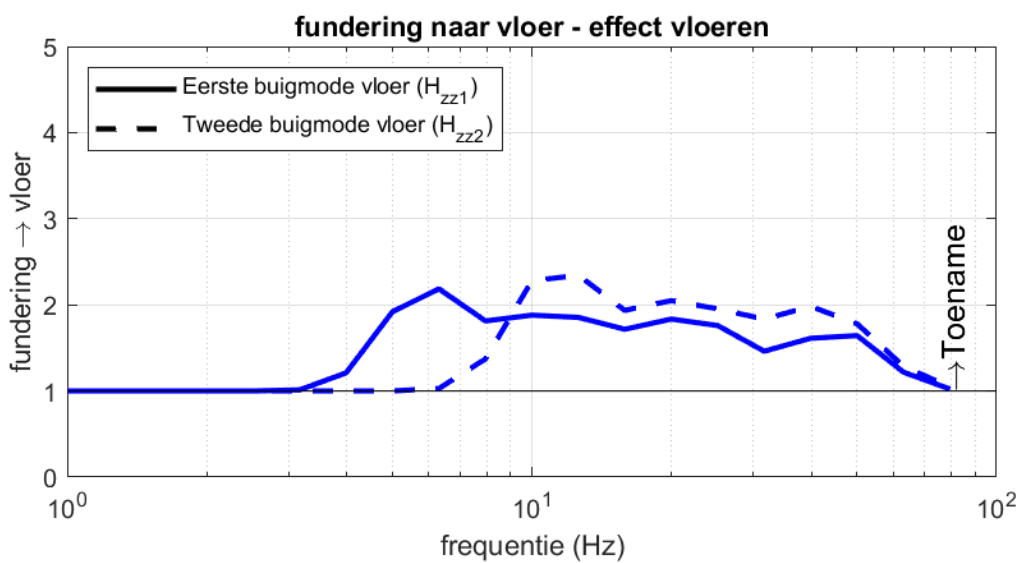
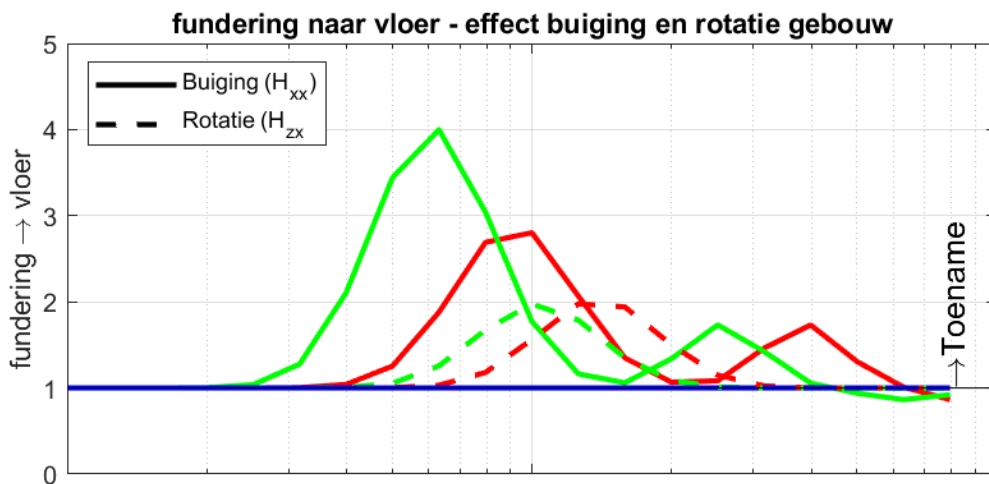
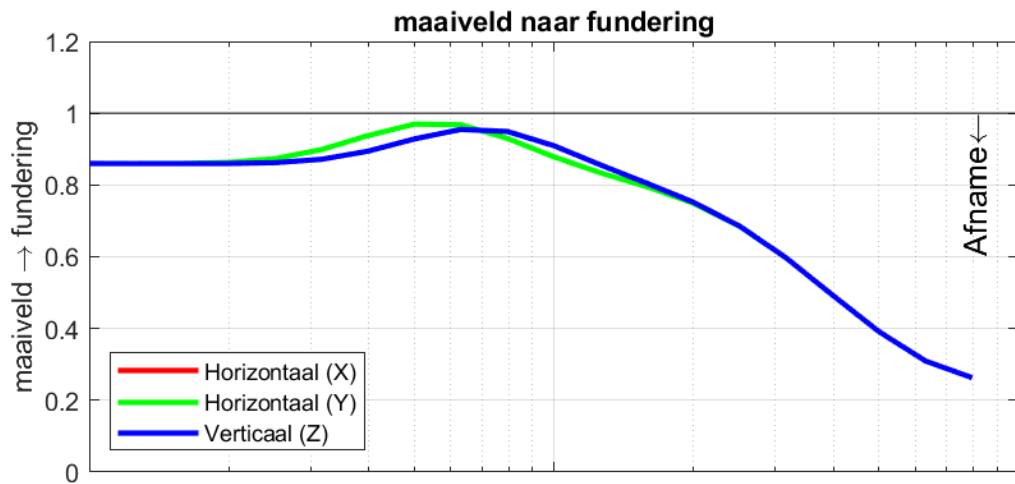
Bij de tweede buigmodus van de vloer (bij de tweede eigenfrequentie) zijn de trillingen maximaal op ongeveer  $\frac{1}{4}$  van het vloerveld, zie de principeschets rechts.

Dit effect wordt in Buildyn weergegeven als  $H_{zz2}$ , en is afhankelijk van dezelfde parameters als  $H_{zz1}$ .

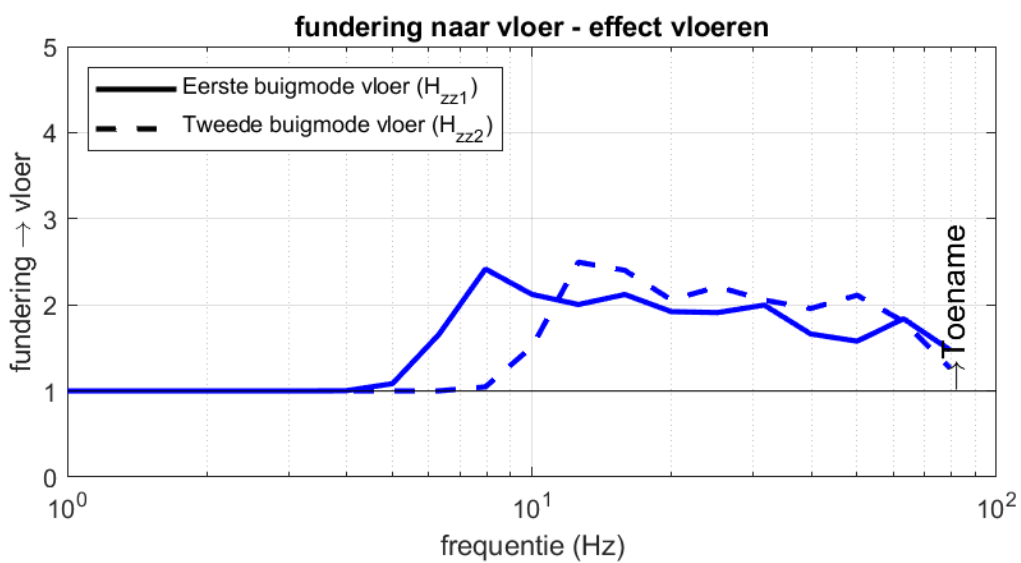
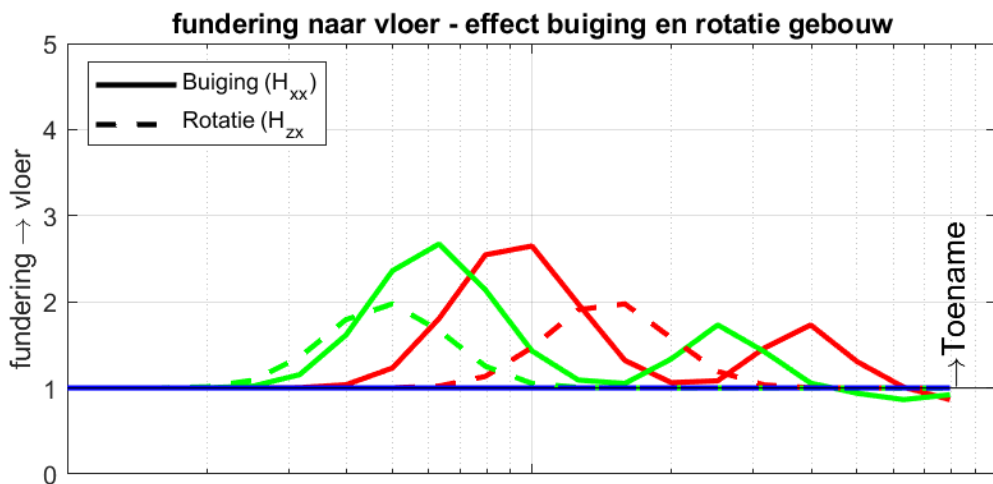
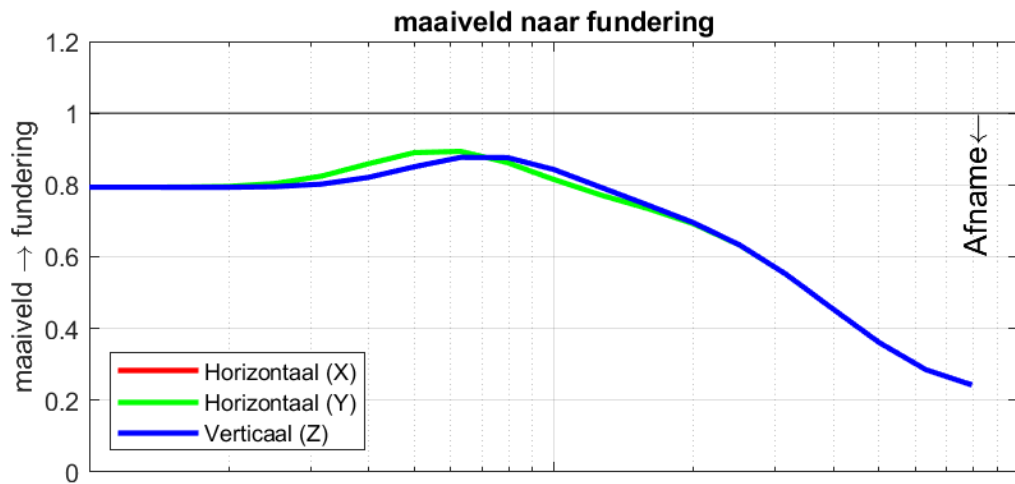


## Resultaten

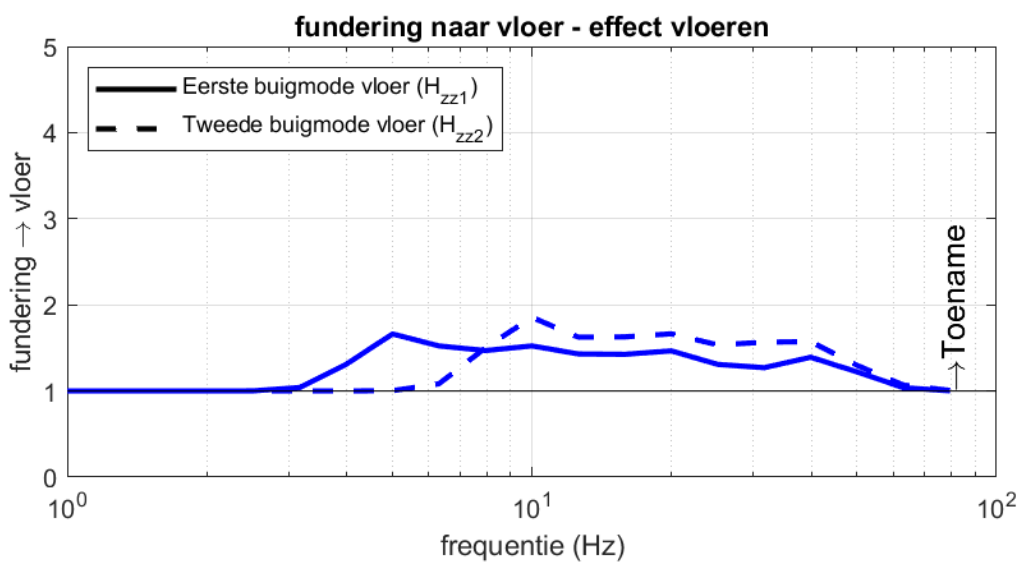
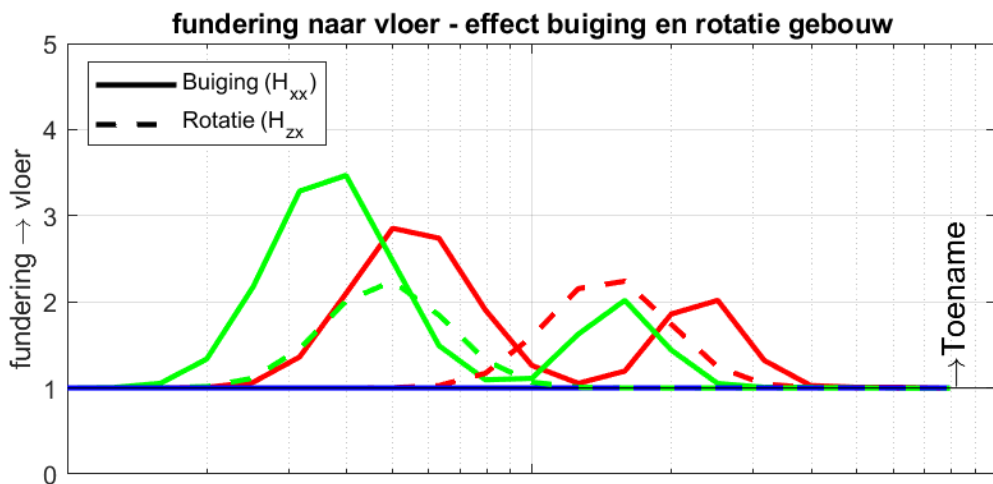
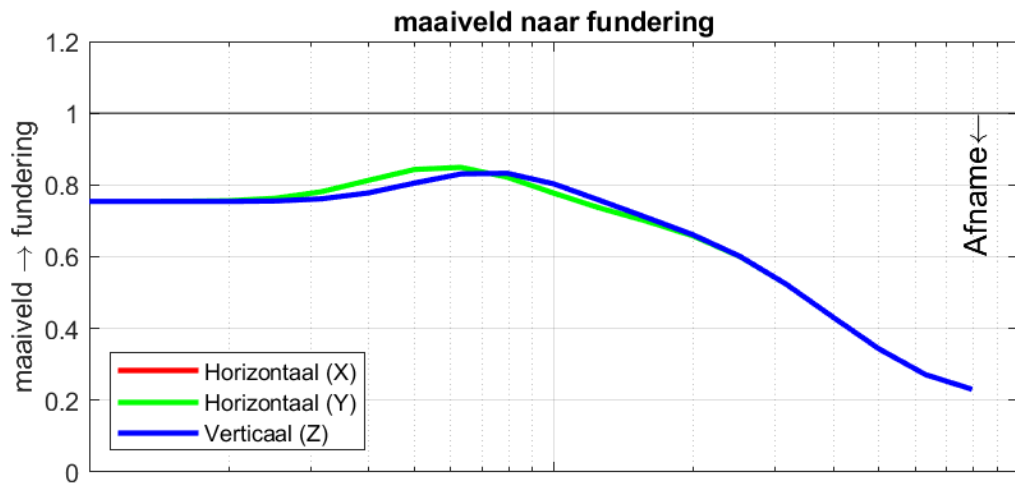
De resultaten uit de Buildyn-berekeningen voor een representatieve twee-onder-een-kap woning zijn weergegeven in Figuur 13, voor een rijwoning in Figuur 14 en voor de appartementen in Figuur 15.



Figuur 13 Buildyn-resultaten voor een twee-onder-een-kapwoning met een beukmaat van 6.6 m



Figuur 14 Buildyn-resultaten voor een rijwoning met een beukmaat van 5.4 m



Figuur 15 Buildyn-resultaten voor appartementen met een beukmaat van 6.6 m