

**WV  
EBOOST**



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

---

**PARALLELWEG**

**EMMEN**

# COLOFON

Auteur	Thijmen van der Veen <a href="mailto:thijmen@we-boost.nl">thijmen@we-boost.nl</a>
Controle en vrijgave	Pieter Boon <a href="mailto:pieter@we-boost.nl">pieter@we-boost.nl</a> +31 6 10 03 94 54
Projectcode	WBD2021-060
Versienr	5.0
Datum	23 januari 2023
Status	Definitief
Opdrachtgever	BJZ.nu



Voor dit onderzoek is gebruik gemaakt van metingen van

# ALCEDO

© We-Boost 2023

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.

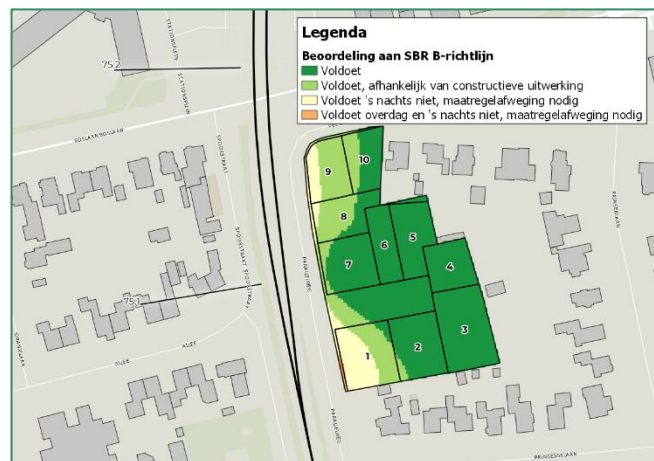
# DE KERN VAN DIT RAPPORT

Aan de Parallelweg in Emmen wordt nieuwbouw ontwikkeld met een woonfunctie. De kavels komen vrij door de sloop van een pand met kantoorfunctie. De kavels bevinden zich op relatief beperkte afstand van de spoorlijn Emmen – Hardenberg. Gezien de beperkte afstand tot het spoor kan trillingshinder als gevolg van treinverkeer niet op voorhand worden uitgesloten. Doel van het voorliggende onderzoek is om vast te stellen of er sprake zal zijn van trillingshinder in nieuw te realiseren bebouwing, en zo ja, met welke maatregelen een aanvaardbaar woon- en leefklimaat te garanderen.

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

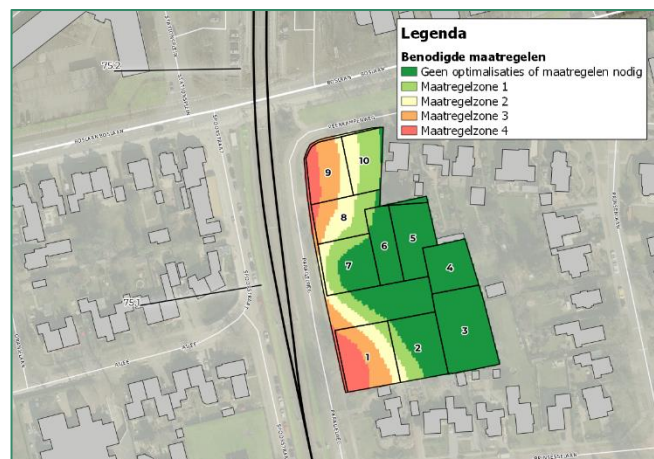
De belangrijkste conclusie van het onderzoek is dat overschrijdingen van de streefwaarden voor trillingshinder voor nieuwe situaties uit de SBR B-richtlijn (het beoordelingskader voor trillingshinder) in delen van het plangebied niet zijn uit te sluiten. Met name rond het wissel (zuidwestelijke hoek van plangebied) en rond de overweg (noordwestelijke hoek van het plangebied) dient rekening te worden gehouden met trillingen bij de ontwikkeling van nieuwe woningen. Op korte afstand van het spoor zullen zelfs in qua trillingen goed gebouwde woningen overschrijdingen optreden, zie de figuur hiernaast.



De trillingen zijn relatief hoog door het wissel en de overweg in de nabijheid van delen van de kavels, waarbij vooral goederentreinen voor hoge trillingen zorgen.

## AANBEVELINGEN

Omdat overschrijdingen van de streefwaarden voor trillingshinder niet overal zijn uit te sluiten, dient in delen van het plangebied rekening te worden gehouden met trillingen bij de verdere ontwikkeling van de woningen. Hierbij zijn vijf zones te identificeren, zie de figuur hiernaast (grotere versie is verderop in dit document te vinden). Per zone gelden verschillende adviezen:



- 
1. In deze zone hoeft geen rekening te worden gehouden met trillingen.
  1. Positioneer het pand zo ver mogelijk bij het spoor vandaan.
  2. Vermijd lichte bouwtechnieken, zoals stalen constructies en lichte houtskeletbouw. Zware houtskeletbouw is wel mogelijk.
  3. Vermijd de **rood** gearceerde vloertypes in onderstaande tabel.
  1. Positioneer het pand zo ver mogelijk bij het spoor vandaan.
  2. Vermijd lichte bouwtechnieken, zoals stalen constructies en lichte houtskeletbouw. Zware houtskeletbouw is wel mogelijk.
  3. Vermijd de **rood** en **geel** gearceerde vloertypes in onderstaande tabel.
  1. Positioneer het pand zo ver mogelijk bij het spoor vandaan.
  2. Vermijd lichte bouwtechnieken, zoals stalen constructies en lichte houtskeletbouw. Zware houtskeletbouw is wel mogelijk.
  3. Vermijd de **rood**, **geel** en **lichtgroen** gearceerde vloertypes in onderstaande tabel.
  1. Positioneer het pand zo ver mogelijk bij het spoor vandaan.
  2. Vermijd lichte bouwtechnieken, zoals stalen constructies en lichte houtskeletbouw. Zware houtskeletbouw is wel mogelijk.
  3. Vermijd de **rood**, **geel** en **lichtgroen** gearceerde vloertypes in onderstaande tabel.
  4. Pak aan de spoorzijde van het pand de fundering in (bijv. met 1000 mm dik EPS, of 250 mm dik rubber), tot ca. 1 meter onder onderkant fundering, of maak gebruik van een afschermend element (bijv. prefab L-wand met luchtspouw voor de fundering).

Overspanning	Kanaalplaatvloer 200	Kanaalplaatvloer 260	Breedplaatvloer 200	Breedplaatvloer 250	Ribbenvloer	Hout, 300x100, hoh 400	Hout, 275x75, hoh 600	Hout, 195x71, hoh 610
4.0 meter	rood	rood	lichtgroen	rood	rood	geel	geel	lichtgroen
5.0 meter	geel	geel	lichtgroen	lichtgroen	geel	geel	geel	donkergroen
6.0 meter	lichtgroen	geel	lichtgroen	donkergroen	lichtgroen	geel	lichtgroen	lichtgroen
7.0 meter	lichtgroen	lichtgroen	donkergroen	donkergroen	geel	lichtgroen	donkergroen	rood
8.0 meter	lichtgroen	geel	donkergroen	donkergroen	lichtgroen	lichtgroen	lichtgroen	rood

Met bovenstaand stappenplan is een acceptabel woon- en leefklimaat ten aanzien van trillingen te garanderen in het gehele plangebied.

Meest effectief en robuust is het afveren van de funderingen van de woningen. 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 deze maatregel kost tussen de € 11.000 en € 25.000 per woning.



Andere maatregelen, zoals maatregelen aan het spoor of in de bodem, zijn gezien de hoge kosten niet doelmatig.

Tenslotte, het kan voorkomen dat optimalisaties en maatregelen niet doelmatig worden geacht, bijvoorbeeld omdat het plan dan niet uitvoerbaar wordt of te kostbaar is. Afhankelijk van de verwachte hinder, zoals beschreven in dit rapport, en de afstand tot het spoor kan dan eventueel met een beroep op bijlage 5 worden gemotiveerd dat ook zonder maatregelen geen onaanvaardbaar woon- en leefklimaat ontstaat in de geplande woningen. Argumenten die gebruikt kunnen worden om te motiveren dat er dan geen maatregelen worden getroffen, kunnen zijn:

- Er is sprake van een beperkt aantal overschrijdingen (argument geldt niet voor het zuidwestelijke kavel binnen 30 meter van het spoor). Het gaat in de rest van het plangebied om maximaal 1 overschrijding per dag.
- De trillingen voldoen weliswaar niet aan de strenge streefwaarden voor nieuwbouw uit de SBR B-richtlijn, maar, op de zone tot 30 meter van het spoor in het zuidwestelijke kavel na, 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 ook dicht bij het spoor staat. Het gaat bovendien om oudere, meer trillingsgevoelige bebouwing, waar de trillingen dus hoger zullen zijn dan in de nieuwe woningen. Ook zonder maatregelen tegen trillingen ontstaat in de geplande bebouwing daarom geen onacceptabele situatie: de trillingen zijn daar immers (veel) lager dan in andere, al bestaande bebouwing rond deze locatie.



# 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.	Beoordelingskader trillingen	15
3.2.	Rekenmethode	16
<b>4.</b>	<b>VERWACHTE TRILLINGEN</b>	<b>19</b>
4.1.	Meetresultaten	19
4.2.	Trillingen in geplande gebouw	19
<b>5.</b>	<b>MITIGERENDE MAATREGELEN</b>	<b>23</b>
5.1.	Nut en noodzaak van maatregelen	23
5.2.	Onzekerheden in het onderzoek	31
<b>I.</b>	<b>GRONDONDERZOEK</b>	<b>32</b>
<b>II.</b>	<b>REKENMODEL</b>	<b>34</b>
<b>III.</b>	<b>RESULTATEN METINGEN</b>	<b>38</b>
<b>IV.</b>	<b>DETAILS MAATREGELEN</b>	<b>41</b>

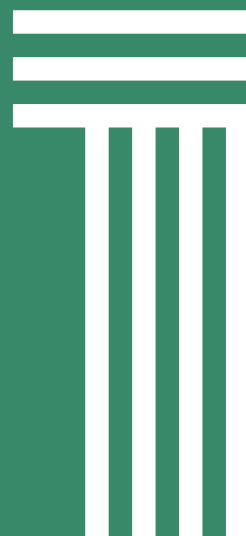




## INLEIDING



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

Aan de Parallelweg in Emmen wordt nieuwbouw ontwikkeld met een woonfunctie. De kavels komen vrij door de sloop van een pand met kantoorfunctie. De kavels bevinden zich ten oosten van de spoorlijn Emmen – Hardenberg, in een zone van 20 tot 60 meter van het spoor, zie Figuur 1. Gezien de beperkte afstand tot het spoor 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.

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.



# **SITUATIE EN UITGANGSPUNTEN**

## **2.1. SITUATIE**

De planlocatie ten oosten van het spoor en de Parallelweg in Emmen is momenteel in gebruik door een pand met kantoorfunctie. Deze wordt gesloopt waardoor er tien kavels vrijkomen. De geplande nieuwbouw bestaat uit grondgebonden vrijstaande woningen en 2-onder-1 kapwoningen. Er is alleen een voorlopige indeling van de kavels bekend, zie Figuur 2.



*Figuur 2 Voorlopige verkaveling van de planlocatie*

De geplande nieuwbouw bevindt zich in een zone van 20 tot 72 meter van het spoor. De rijksnelheid 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. Volgens de NMCA Spoor (vooruitblik voor goederenvervoer) kan het aantal goederentreinen toenemen. Er wordt eveneens een lichte toename van het aantal reizigerstreinen voorzien. In de berekeningen is met deze toenames rekening gehouden.

*Tabel 1 Treinen, rijksnelheid en aantal treinen per uur per richting (gemiddeld, per richting)*

Type trein	Rijksnelheid	dag (7:00 – 19:00)	avond (19:00 – 23:00)	nacht (23:00 – 7:00)
Sprinter	30-40 km/h	1.25	1.00	0.75
Intercity	30-40 km/h	1.08	0.50	0.13
Goederentrein	20-40 km/h	0.01	0.04	0.02

Andere trillingsbronnen, zoals zwaar wegverkeer over de Parallelweg over de spoorwegovergang Boslaan, kunnen ook voor voelbare trillingen in de woningen dichtbij de weg en

spoorwegovergang zorgen, maar zijn in dit onderzoek niet nader kwantitatief beschouwd om de volgende redenen:

1. Uit de metingen blijkt dat treinverkeer qua trillingen maatgevend is, zie ook hoofdstuk 4.
2. Maatregelen tegen de trillingen van treinen zijn, door de kortere afstand tot de bron en de hogere trillingsfrequenties van wegverkeer, minimaal net zo effectief tegen de trillingen van wegverkeer.

## 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

Voor het uitvoeren van de berekeningen is een groot aantal varianten vrijstaande woningen doorgerekend, zodat dit rapport bruikbaar is voor verschillende types woningen. Zo hebben we verschillende afmetingen, 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	<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><li>• Houten vloer, 300 x 100 mm balken, hoh 400 mm</li><li>• Ribcassettevloer</li></ul>
Hoogte	6.0 tot 9.0 meter
Lengte vloerveld	6.0 tot 8.0 meter
Breedte vloerveld	9.0 tot 12.0 meter
Constructietype	<ul style="list-style-type: none"><li>• Kalkzandsteen en metselwerk</li><li>• Prefab beton en i.h.w.g. beton, diverse wanddiktes (150 tot 300 mm)</li><li>• Houtskeletbouw</li></ul>
Fundering	Op staal

### 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 vier locaties metingen uitgevoerd. Het gaat hierbij om drie meetpunten op het maaiveld en een meetpunt aan de fundering van de bestaande



bebouwing. De metingen zijn uitgevoerd van 11 februari tot 18 februari 2022. De meting heeft een meetduur van een week, conform de eisen uit de SBR B-richtlijn, om de trillingen van de incidenteel passerende goederentreinen goed vast te leggen. Op een aantal meetpunten is korter gemeten, deze meetpunten zijn gebruikt om de (frequentie-afhankelijke) verhouding tussen die specifieke meetpunten en het meetpunt van een week vast te leggen. Zo ontstaat inzicht in het effect van het wissel en de overweg, maar kunnen we ook de trillingsinvloed van de fundering van het bestaande gebouw vaststellen. Vervolgens is die verhouding gebruikt om de trillingen op alle meetpunten over de hele meetduur vast te stellen (methode conform RIVAS en CargoVibes onderzoeken). De metingen zijn uitgevoerd met FrogWatch trillingsmeters, die voldoen aan de eisen uit de SBR-richtlijnen<sup>1</sup>.



Figuur 3 Meetpunten

<sup>1</sup> Zie een uitgebreide toelichting van de specificaties op <https://www.frog.watch/facts/>





# **BEOORDELINGSKADER**



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



# **BEOORDELINGSKADER EN WERKWIJZE**

## **3.1. BEOORDELINGSKADER TRILLINGEN**

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>2</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. 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 4.

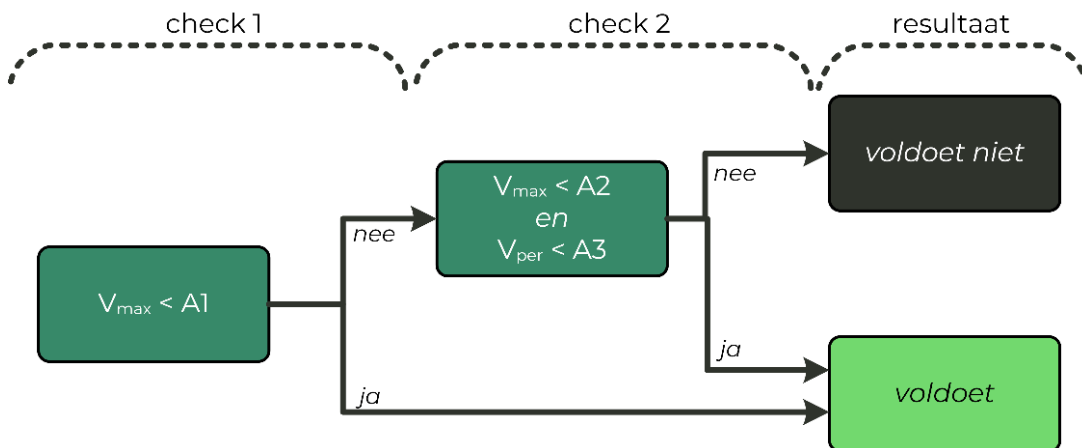
---

<sup>2</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.



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 gerealiseerde gebouwen, wordt op basis van metingen in de omgeving van de bebouwing (op maaiveld en 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. In de volgende subparagrafen wordt beschreven hoe dat is vertaald naar een rekenmodel.

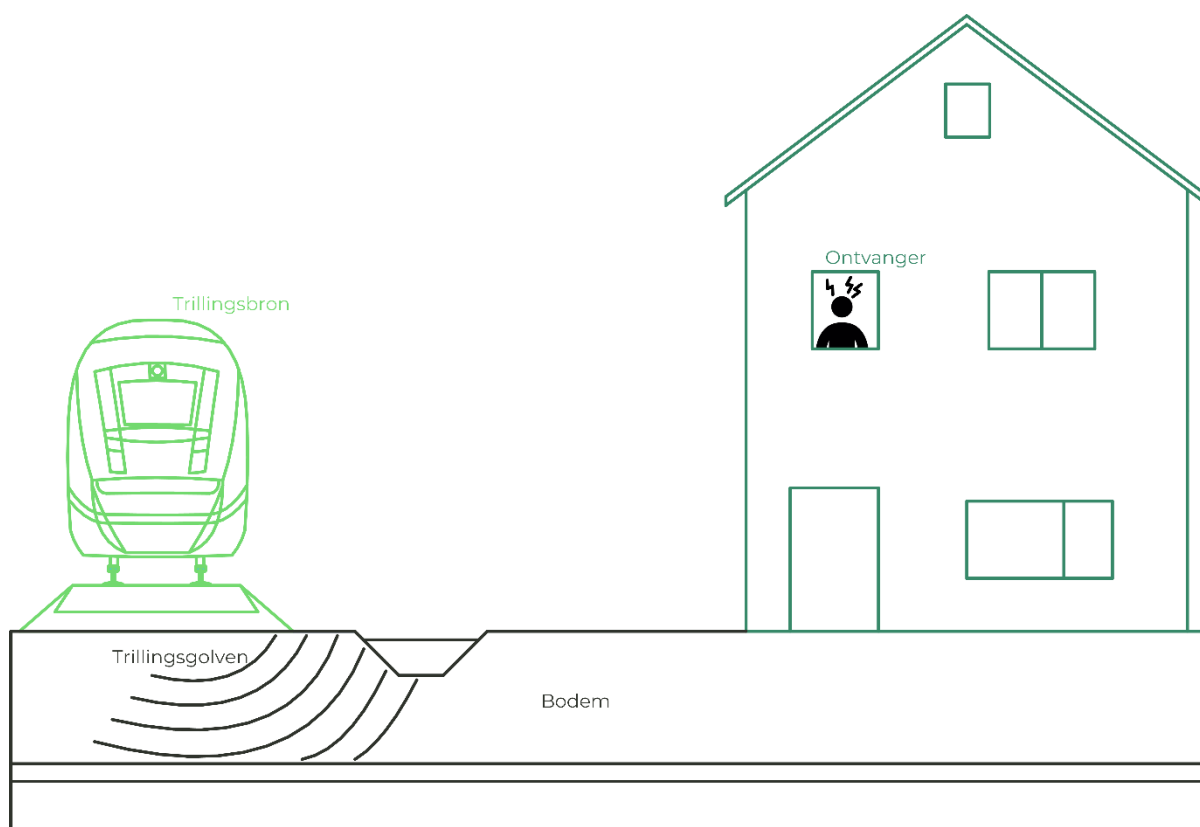
#### 3.2.1. TRILLINGEN – VAN TRILLINGSBRON NAAR GEBOUW

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 systeem 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 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.

### **3.2.3. 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.

### **3.2.4. 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, 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 geïjkt 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.

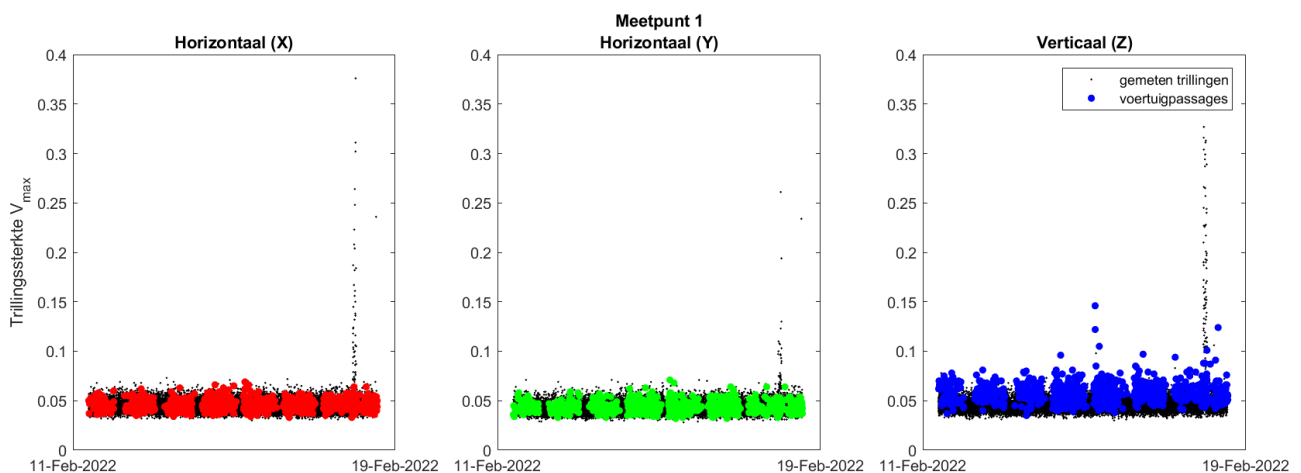


# VERWACHTE TRILLINGEN

## 4.1. MEETRESULTATEN

Alcedo heeft metingen uitgevoerd op maaiveld en aan de fundering van de bestaande bebouwing. De trillingen op het meetpunt aan de fundering zijn weergegeven in Figuur 6. Overige gegevens uit de metingen hebben we opgenomen in bijlage III. In Figuur 6 valt het volgende op:

- Alleen in verticale richting zijn de trillingen van de meeste treinen hoger dan de achtergrondtrillingen (die vooral afkomstig zijn van lokaal verkeer over de Parallelweg en de spoorwegovergang Boslaan).
- Incidenteel passeren goederentreinen (maken kop bij station Emmen), deze zorgen voor de hoogste trillingen.
- Op enkele momenten (eind van de meting) was sprake van forse stoortrillingen, mogelijk door werkzaamheden aan het spoor of in de omgeving. Deze stoortrillingen zijn verwijderd uit de metingen.



Figuur 6 Gemeten trillingen aan fundering bestaande bebouwing

In bijlage III valt nog op dat de trillingen rond de spoorwegovergang en rond het wissel in het spoor hoger zijn.

## 4.2. TRILLINGEN IN GEPLANDE GEBOUWEN

De geplande bebouwing is gemodelleerd op basis van de informatie uit hoofdstuk 2. Er is een groot aantal bouwkundige en constructieve uitwerkingen doorgerekend. Het trillingsgedrag van een representatief gebouw is weergegeven in Bijlage II. Met de modelresultaten zijn de trillingen in de toekomstige gebouwen bepaald. De trillingen zijn sterk afhankelijk van de bouwkundige en constructieve uitwerking. In Tabel 4 is aangegeven vanaf welke afstand per kavel (nummering o.b.v. Figuur 9) de trillingen voldoen aan het beoordelingskader, we houden daarbij vier classificaties in de beoordeling aan:

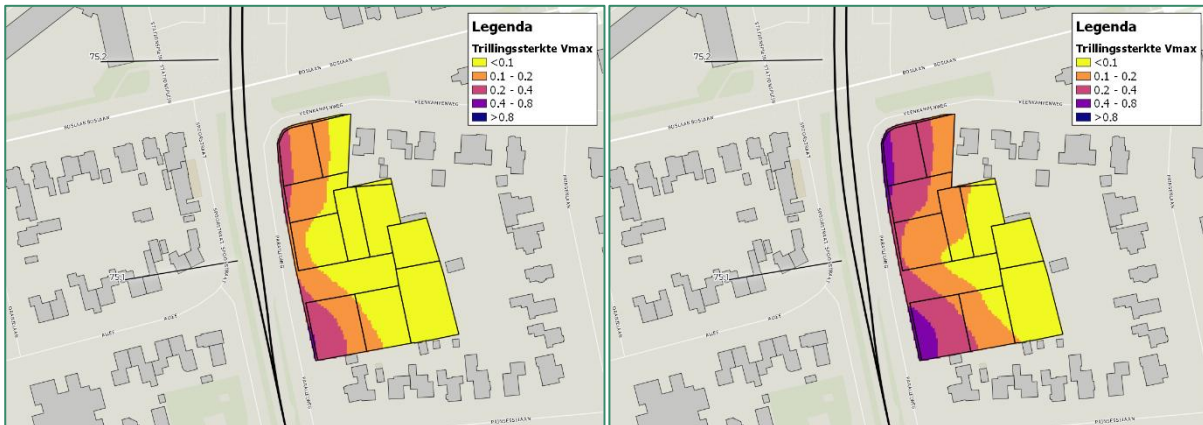
1. Voldoet, ongeacht constructieve uitwerking: vrijwel elk type gebouw voldoet. In deze zone hoeft geen rekening te worden gehouden met trillingen bij verdere uitwerking van het plan.
2. Voldoet bij goed ontwerp, d.w.z. dat bij de verdere uitwerking rekening wordt gehouden met trillingen. Handvatten hiervoor worden verderop in dit rapport gegeven.

3. Voldoet niet: in deze zone zijn er alleen in de nachtperiode (na 23:00 en voor 7:00) overschrijdingen van het beoordelingskader, mits sprake is van een goed ontwerp.
4. Voldoet niet: in deze zone is sprake van een relatief groot aantal overschrijdingen per dag, en is zonder maatregelen of constructieve optimalisaties een acceptabel woon- en leefklimaat niet mogelijk.

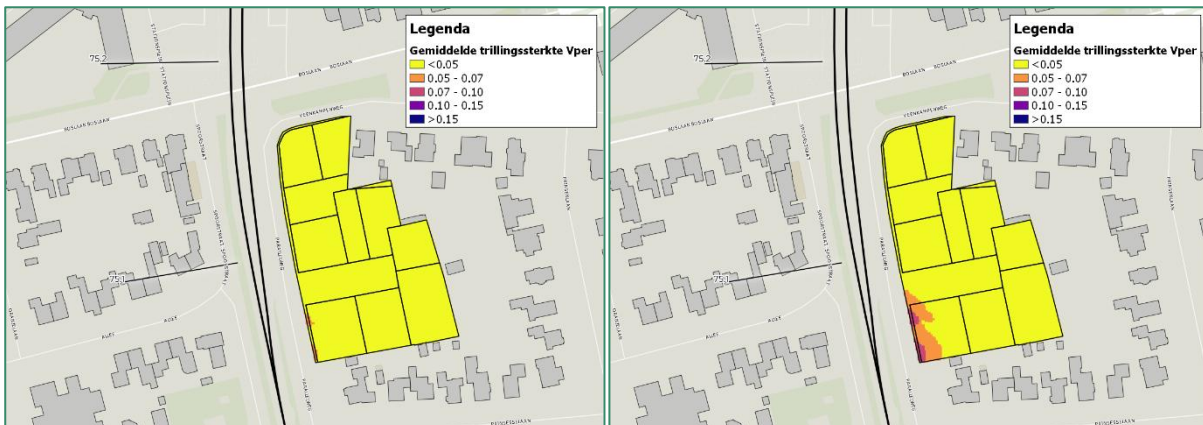
Tabel 4 Beoordeling kavels aan SBR B-richtlijn zie voor kavelnummering Figuur 9

Classificatie	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Voldoet, ongeacht constructieve uitwerking		>50m	heel	heel	heel	heel	>25m	>35m		>40m
Voldoet bij goed ontwerp	>35m	<50m					<25m	<35m	>20m	<40m
Voldoet niet, beperkt aantal overschrijdingen	<35m							<20m	<20m	
Voldoet niet, maatregelen nodig	<20m									

Een contourkaart van de minimale (bij qua trillingen goed ontworpen woningen) en maximale (bij qua trillingen slecht ontworpen woningen) trillingssterkte  $V_{max}$  en de gemiddelde trillingssterkte  $V_{per}$  en een beoordeling aan de streefwaarden uit de SBR B-richtlijn is weergegeven in Figuur 7 tot en met Figuur 9. Relevant hierbij is dat er geen significant verschil is tussen de trillingssterkte  $V_{max}$  in de dag/avond en in de nachtperiode: de maatgevende goederentreinen komen zowel 's avonds als 's nachts langs. Daarom is hier geen onderscheid naar gemaakt in de beoordeling.



Figuur 7 Trillingssterkte  $V_{max}$ , links ondergrens, rechts de bovengrens

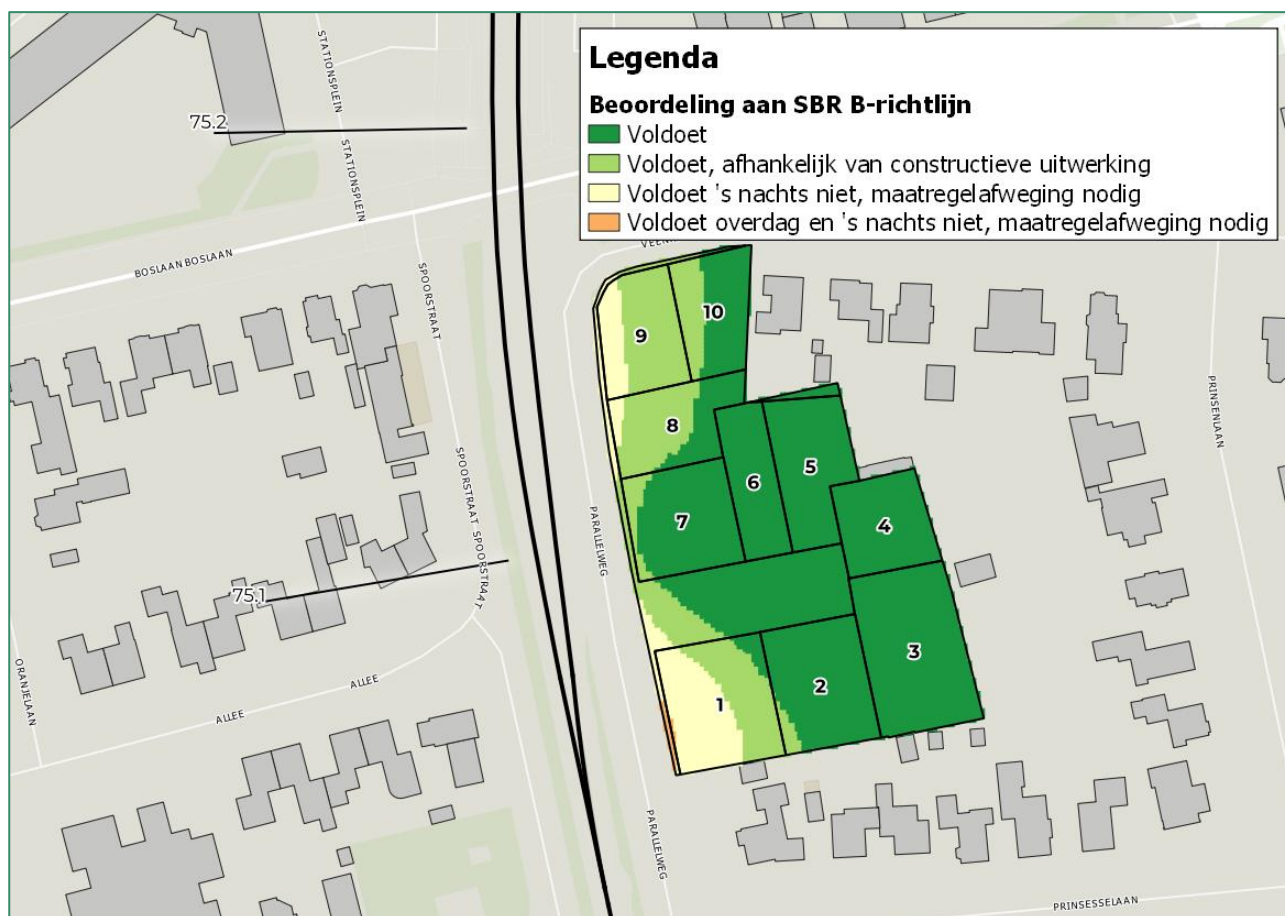


Figuur 8 Gemiddelde trillingssterkte  $V_{per}$ , links ondergrens, rechts de bovengrens

Samengevat geldt het volgende:

- Vanaf een afstand van 50 meter hoeft geen rekening te worden gehouden met trillingen, in alle woningen wordt daar voldaan aan de streefwaarden.
- In de zone tot 50 meter adviseren we om rekening te houden met trillingen. Binnen deze zone zijn drie gebieden te onderscheiden:
  - In de noordelijke helft (kavels 8, 9 en 10) zijn de trillingen hoger door de ligging nabij de spoorwegovergang Boslaan, en moet tot op een afstand van ca. 40 meter rekening worden gehouden met trillingen. Ook in een qua trillingen geoptimaliseerd ontwerp zijn binnen 20 meter van het spoor nog incidentele overschrijdingen mogelijk. Het gaat dan om minder dan 1 trein per dag. Voor deze laatste zone adviseren we om maatregelen af te wegen.
  - In de middenzone (kavels 4, 5, 6 en 7) is sprake van doorgaand spoor en zijn de trillingen relatief laag. Alleen dichtbij het spoor (binnen 25 meter van het spoor) dient rekening te worden gehouden met trillingen.
  - In de zuidelijke helft (kavels 1, 2 en 3) zijn de trillingen hoger door een wissel in het spoor, en moet tot op een afstand van ca. 50 meter rekening worden gehouden met trillingen. Ook in een qua trillingen geoptimaliseerd ontwerp zijn binnen 35 meter van het spoor nog overschrijdingen mogelijk. Het gaat om een relatief groot aantal overschrijdingen (meerdere treinen per dag), ook de waarde van de gemiddelde trillingssterkte  $V_{per}$  is relatief hoog. Voor deze zone zijn maatregelen nodig om een aanvaardbaar woon- en leefklimaat te garanderen.

In het volgende hoofdstuk geven we concrete handvatten voor de optimalisatie van woningen en voor maatregelen.



Figuur 9 Beoordeling trillingen aan SBR B-richtlijn



## 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 MAATREGELLEN

Door de passage van goederentreinen (en op korte afstand tot het spoor ook van reizigerstreinen) wordt niet in het gehele plangebied voldaan aan het beoordelingskader voor trillingshinder. Of er daadwerkelijk sprake is van overschrijdingen, is afhankelijk van de constructieve uitwerking van de individuele woningen en de afstand tot het spoor.

In dit hoofdstuk beschrijven we de mogelijke maatregelen en bouwkundige optimalisaties waarmee de trillingen kunnen worden voorkomen.

## 5.1. NUT EN NOODZAAK VAN MAATREGELLEN

Voor de afweging van maatregelen geeft bijlage 5 van de SBR B-richtlijn handvatten. Deze bijlage classificeert de trillingen in het plangebied als *weinig hinder* en dichtbij het spoor 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 gemiddelde trillingssterkte  $V_{per}$  een goede indicatie is. De gemiddelde trillingssterkte in het plangebied is vrijwel overal lager dan de streefwaarde, uitgezonderd een kleine zone in kavel 1 (zuidwestelijk kavel), waar bij een qua trillingen niet goed ontworpen gebouw tot ca. 30 meter van het spoor sprake is van een gemiddelde trillingssterkte boven de streefwaarde. Daarbuiten geldt dat sprake is van een beperkt aantal overschrijdingen (minder dan 1 per dag). Uitgezonderd deze zone in het zuidwestelijk kavel is het achterwege laten van een maatregel daarmee te motiveren.
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, alleen incidenteel zorgt zwaar vrachtverkeer over de Parallelweg of de spoorwegovergang Boslaan voor trillingen die vergelijkbaar zijn aan die van het treinverkeer. Van een maskerend effect is dus niet echt 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.

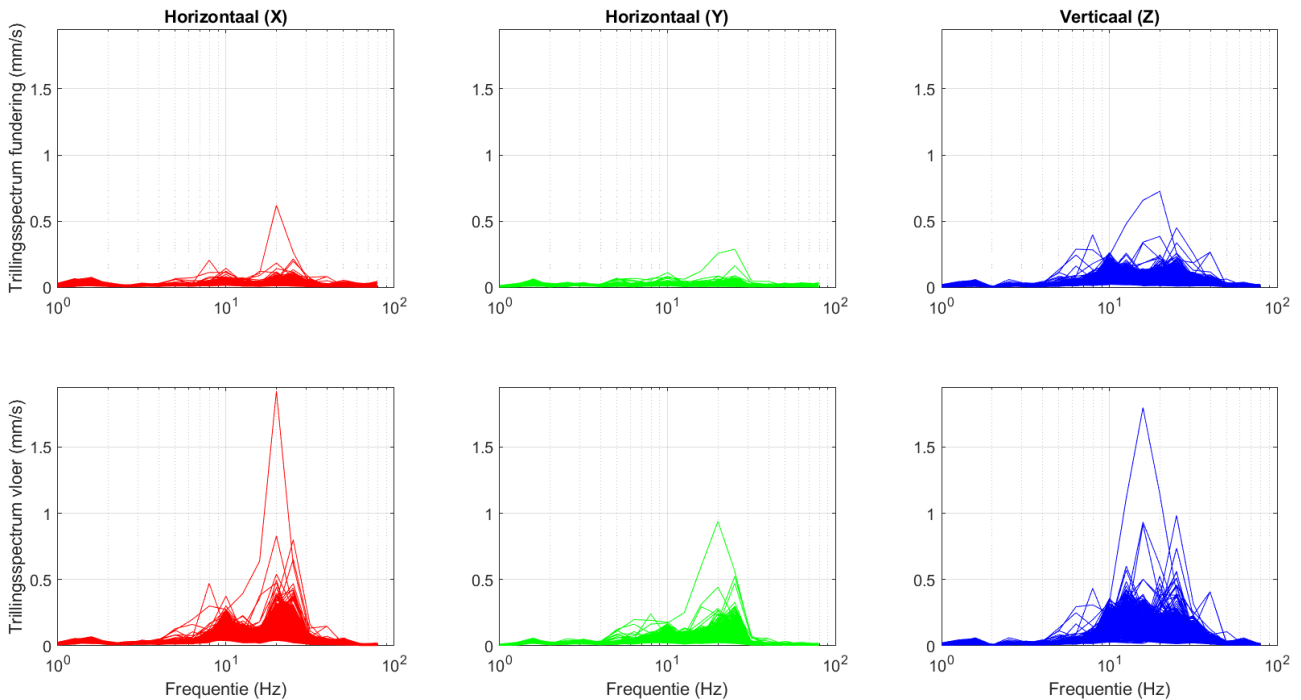
Omdat voorwaarde 2 niet van toepassing is, en voorwaarde 1 ook niet voor een deel van het plangebied, gaan we hierna in op maatregelen om de trillingen te reduceren. Om effectieve maatregelen te treffen, stellen we eerst vast bij welke trillingsfrequenties vooral hoge trillingen optreden. Daarna gaan we in op maatregelen die mogelijk zijn aan de trillingsbron (de trein of het spoor), maatregelen in de bodem en maatregelen aan de gebouwen. Daarbij bespreken we ook bouwkundige optimalisaties.

### 5.1.1. ANALYSE RESULTATEN

Om te bepalen welke trillingsrichting en trillingsfrequenties maatgevend zijn, is een analyse uitgevoerd van de verwachte trillingen, zie Figuur 10. In deze figuur is de trillingsnelheid per treinpassage weergegeven als tertsbandspectrum op de fundering en de hoogste verdieping van een woning op ca. 20 meter van het spoor, direct aan de rand van het maatgevende kavel 1 (zuidwestelijk kavel). Uit deze figuur kan worden afgeleid bij welke frequentie en in welke trillingsrichting de trillingen het hoogst zijn.



Uit Figuur 10 volgt dat de hoogste trillingen optreden in de verticale richting, maar dat een goederentrein met een afwijkende trillingssterkte ook in horizontale richting (X-richting, loodrecht op het spoor) hoge trillingen geeft. De hoge trillingen in verticale richting komen vooral door opslingering van de trillingen door de constructie van de woning en van de vloeren. De trillingen zijn vooral hoog tussen de 10 en 30 Hz. Maatregelen die genomen worden, moeten daarom vooral effectief zijn tegen trillingen bij die frequenties, omdat daar de meeste trillingsenergie zit.



*Figuur 10 Verwachte trillingen in woning op ca. 20 meter van het spoor, vrijstaande woning van 8 bij 11 meter met 5 m vloeroverspanning, 200 mm kanaalplaatvloer en 3 bouwlagen, kalkzandsteen en metselwerk constructie*

Om een indruk te geven van de maximaal benodigde reductie van de trillingssterkte  $V_{max}$ , is het benodigde percentage om te voldoen aan de streefwaarden voor een nieuwe situatie uit de SBR B-richtlijn, weergegeven in Figuur 11. Dit reductiepercentage is het maximaal benodigde percentage, als in het ontwerp geen rekening is gehouden met trillingen. Concreet gaat het dan vooral om woningen met een relatief lichte constructie en fundering en een vloer met een eigenfrequentie tussen de 12 en 18.0 Hz.







Figuur 11 Maximaal benodigd reductiepercentage om te voldoen aan de streefwaarden voor trillingshinder

### 5.1.2. 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). Effectieve maatregelen zijn bijvoorbeeld het verwijderen of verplaatsen van het wissel en de overweg, het weren van goederentreinen of het toepassen van een ballastmat onder het spoor. Andere maatregelen aan de bron zijn niet echt effectief. Zo heeft het verlagen van de rijnsnelheid (naar bijv. 20 km/h) niet veel effect omdat de rijnsnelheid hier al erg laag is, en hebben bijvoorbeeld onder sleeper pads (zachte rubberen matjes onder de dwarsliggers) onvoldoende effect voor met name het zuidwestelijk kavel 1.

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. Het omleiden van de goederentreinen is alleen mogelijk door eerder een kopmaakmogelijkheid te maken dan op station Emmen, dit brengt zeer hoge kosten met zich mee. Een ballastmat onder het spoor brengt hoge kosten met zich mee

Het omleiden van goederentreinen is niet mogelijk omdat deze kop maakt op station Emmen, een verlaging van de rijnsnelheid is niet realiseerbaar (i.v.m. de dienstregeling met weinig passeermogelijkheden), een ballastmat heeft zeer hoge kosten (€ 0.8 tot € 1.1 mln. voor een ballastmat, over een lengte van ca.160 meter per spoor). Afgezet tegen het aantal woningen, komt dat neer op kosten in de orde van € 80.000 tot € 110.000 per woning. Deze kosten zijn ruim hoger dan het richtbedrag voor maatregelen dat ProRail hanteert bij doelmatigheidsafwegingen (€ 47.000), en staan niet in verhouding tot de bouwsom van de woningen. Maatregelen aan het spoor zijn daarom niet doelmatig.



### 5.1.3. 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 trillings scherm van piepschuim (EPS), beton, jet-grout (soil-mix methode voor beton) of een damwand. Nadeel van deze maatregelen is dat deze vaak hoge kosten met zich meebrengen en dat ze niet aanpasbaar zijn aan toekomstige situaties. Een spoor sloot is hier ruimtetechnisch niet inpasbaar (conflicteert met Parallelweg).

Een trillings scherm is alleen effectief dicht bij de bron of dicht bij de ontvanger. Gezien de omvang van het plangebied is alleen een locatie dichtbij het spoor voor de hand liggend, in de groenstrook tussen spoor en Parallelweg. De maatregel komt dan wel in de vergunningsplichtige zone van ProRail (tot 10 meter uit buitenste spoorstaaf). Om het plangebied af te schermen, is een trillings scherm van ca. 160 meter lengte nodig, zie Figuur 12.



Figuur 12 Locatie van mogelijk trillings scherm

De diepte van een scherm moet, gezien de dominante trillingsfrequenties, voor veel schermtypes minimaal 18 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)	25 – 45%	€ 3.1 – 4.8 mln.
Jet-grout wand	20 – 30%	€ 2.6 – 4.1 mln.
Damwand (intrillen)	5 – 10%	€ 1.3 – 2.1 mln.
Betonnen wand, bekleed met rubber	45 – 70%	€3.9 – 6.0 mln.
Damwand met EPS (piepschuim)	25 – 40%	€ 2.0 – 3.1 mln.
Damwand met sleuf (luchtspouw)	20 – 40%	€ 2.7 – 4.2 mln.
L-wand 4.0 m diep	10 – 20%	€ 0.2 – 0.4 mln.
L-wand 4.0 m diep, bekleed met rubber	15 – 25%	€ 0.5 – 0.9 mln.
CSM-wand (Cutter Soil Mix of Mix-In-Place)	5 – 10%	€ 1.7 – 2.8 mln.
Trillingsscherm EPS (piepschuim), 1 m dik	10 – 15%	€ 0.4 – 0.7 mln.

Voor maatregelen in de bodem geldt opnieuw dat de maatregelen voor individuele woningen erg kostbaar zijn. Vooral in het meest zuidwestelijke perceel (1) en het meest noordwestelijke perceel (9) zijn dichtbij het spoor reducties van meer dan 50% nodig. Alleen een betonnen trillingsscherm van 18 meter diep en 0.5 meter dik, bekleed met 100 mm rubber tot minimaal 8 meter diepte, is dan mogelijk effectief genoeg. De kosten van deze maatregel bedragen tussen de € 3.9 en 6.0 mln. Andere, goedkopere maatregelen zijn nog steeds relatief kostbaar of maar heel beperkt effectief.

Ook bij maatregelen in de bodem geldt dat de kosten voor individuele woningen niet in relatie staan tot de hinder en het effect. De kosten zijn ruim hoger dan het richtbedrag voor maatregelen dat ProRail hanteert bij doelmatigheidsafwegingen (€ 47.000), en staan niet in verhouding tot de bouwsom van de woningen. Maatregelen in de bodem zijn daarmee ook niet doelmatig.

#### 5.1.4. OPTIMALISATIES VAN DE GEBOUWEN

Tenslotte zijn ook optimalisaties aan de woningen mogelijk. Eerder is al aangegeven dat vooral de eigenfrequentie van de vloer een belangrijke rol speelt in de hoogte van de trillingen. Verder zijn nog een aantal bouwkundige optimalisaties mogelijk. Die variëren van een zwaardere fundering (zwaardere paalfundering of dikke betonnen plaatfundering) of het zwaarder construeren (dikkere wanden, betonnen wanden), tot het ontkoppelen van de fundering of de vloeren door middel van stalen veren of een rubberen oplegging. 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. standaard woningtype met 200 mm kanaalplaatvloeren en kalkzandsteen en metselwerk

Maatregel	Effect	Kosten <sup>4</sup>
Toepassen van meer dempende materialen	0 – 10%	< 3% SK
Betonnen skelet i.p.v. kalkzandsteen	0 – 5%	< 1% SK
Toepassen breedplaat- i.p.v. kanaalplaatvloeren	10 – 15%	< 2% SK
Eigenfrequentie vloer niet tussen 8.5 en 13.0 Hz	15 – 45%	< 2% SK
Ontkoppelen van de vloeren	10 – 20%	2 – 3% SK
Ontkoppelen van de fundering (afveren)	70 – 90%	6 – 10% SK
Inpakken van de fundering met 150 mm rubber	5 – 20%	2 – 4% SK
Afschermen van de fundering met 1 m dik EPS	15 – 30%	< 1% SK
Afschermen van de fundering met 2 m diepe L-wand	10 – 20%	< 1% SK
Palenfundering i.p.v. balkenfundering	10 – 20%	1 – 3% SK
Zwaardere fundering (dikkere palen, betonplaat)	10 – 30%	3 – 5% SK

Meest effectief is het ontkoppelen van de fundering (toepassen van stalen veerdozen tussen de fundering en afgeveerd op een lage frequentie van maximaal 4 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 bedragen tussen de € 11.000 en € 25.000 per woning. Veel andere maatregelen of optimalisaties kunnen in het ontwerpproces van een woning worden meegenomen en afgewogen.

### 5.1.5. ADVIES VOOR NIEUWE WONINGEN

In delen van het plangebied zijn overschrijdingen van de streefwaarden voor trillingshinder niet overal uit te sluiten. Dat komt vooral door de aanwezigheid van een wissel en een overweg in de nabijheid van het plangebied.

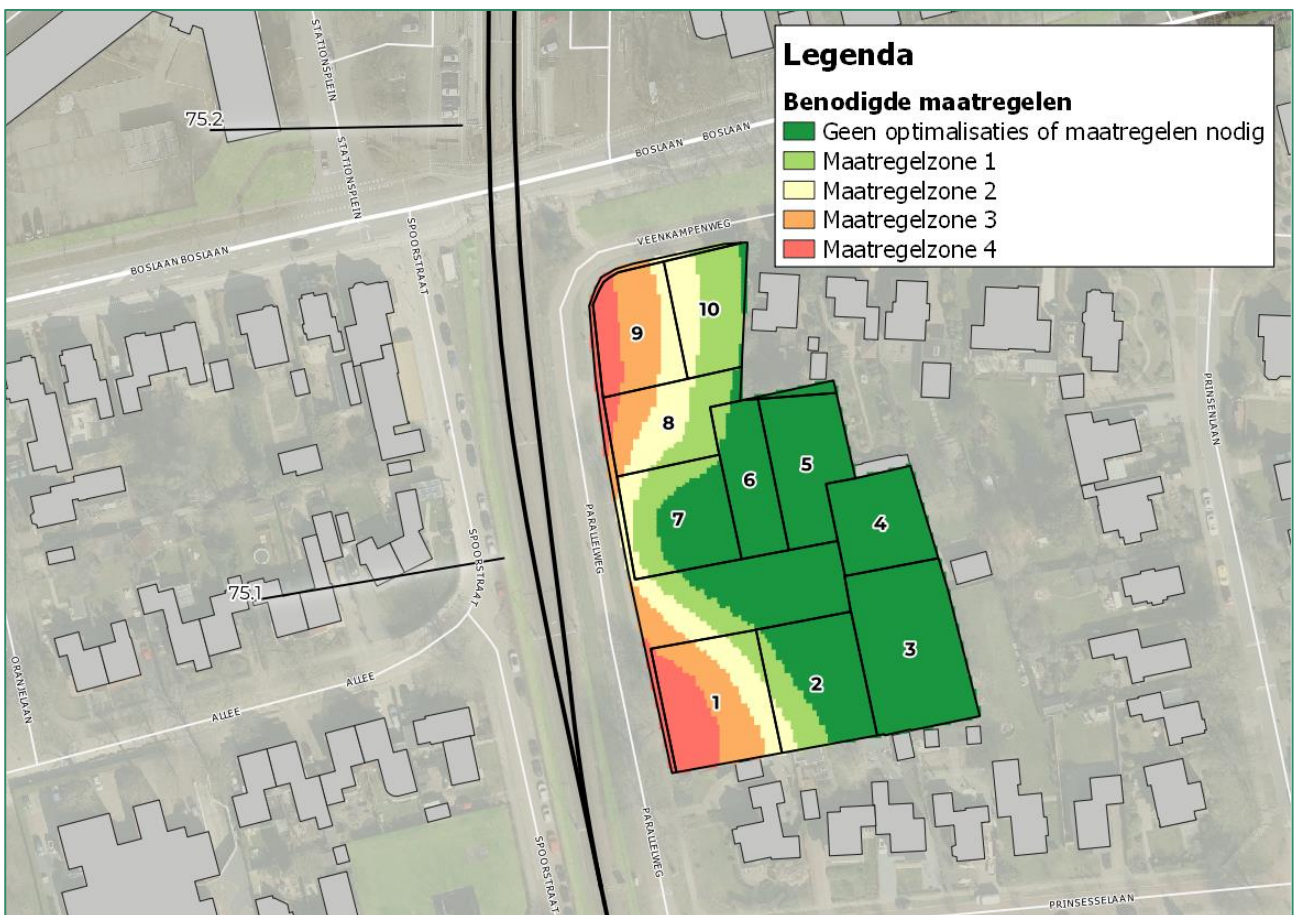
Op basis van het onderzoek zijn vijf zones te identificeren voor maatregelen, zie Figuur 13. Per zone gelden verschillende adviezen:

- 1.** In deze zone hoeft geen rekening te worden gehouden met trillingen.
- 1.** Positioneer het pand zo ver mogelijk bij het spoor vandaan.
- 2.** Vermijd lichte bouwtechnieken, zoals stalen constructies en lichte houtskeletbouw. Zware houtskeletbouw is wel mogelijk.
- 3.** Vermijd de **rood** gearceerde vloertypes in Tabel 7
- 1.** Positioneer het pand zo ver mogelijk bij het spoor vandaan.

<sup>4</sup> SK = Stichtingskosten



- 2. Vermijd lichte bouwtechnieken, zoals stalen constructies en lichte houtskelbouw. Zware houtskelbouw is wel mogelijk.
  - 3. Vermijd de rood en geel gearceerde vloertypes in Tabel 7
- 1. Positioneer het pand zo ver mogelijk bij het spoor vandaan.
  - 2. Vermijd lichte bouwtechnieken, zoals stalen constructies en lichte houtskelbouw. Zware houtskelbouw is wel mogelijk.
  - 3. Vermijd de rood, geel en lichtgroen gearceerde vloertypes in Tabel 7.
- 1. Positioneer het pand zo ver mogelijk bij het spoor vandaan.
  - 2. Vermijd lichte bouwtechnieken, zoals stalen constructies en lichte houtskelbouw. Zware houtskelbouw is wel mogelijk.
  - 3. Vermijd de rood, geel en lichtgroen gearceerde vloertypes in Tabel 7.
  - 4. Pak aan de spoorzijde van het pand de fundering in (bijv. met 1000 mm dik EPS, of 250 mm dik rubber), tot ca. 1 meter onder onderkant fundering, of maak gebruik van een afschermend element (bijv. prefab L-wand met luchtspouw voor de fundering).



Figuur 13 Maatregelzones



Tabel 7 Geadviseerde vloertypes

Overspanning	Kanaalplaatvloer 200	Kanaalplaatvloer 260	Breedplaatvloer 200	Breedplaatvloer 250	Ribbenvloer	Hout, 300x100, hoh 400	Hout, 275x75, hoh 600	Hout, 195x71, hoh 610
4.0 meter	Orange	Orange	Light Green	Orange	Orange	Yellow	Yellow	Light Green
5.0 meter	Yellow	Yellow	Light Green	Light Green	Yellow	Yellow	Yellow	Dark Green
6.0 meter	Light Green	Yellow	Light Green	Dark Green	Light Green	Yellow	Light Green	Light Green
7.0 meter	Light Green	Light Green	Dark Green	Dark Green	Yellow	Light Green	Dark Green	Orange
8.0 meter	Light Green	Yellow	Dark Green	Dark Green	Light Green	Light Green	Light Green	Orange

Met bovenstaand stappenplan is een acceptabel woon- en leefklimaat ten aanzien van trillingen te garanderen in het gehele plangebied.

Meest effectief en robuust is het afveren van de funderingen van de woningen. 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 € 11.000 en € 25.000 per woning.

Tenslotte, het kan voorkomen dat optimalisaties en maatregelen niet doelmatig worden geacht, bijvoorbeeld omdat het plan dan niet uitvoerbaar wordt of te kostbaar is. Afhankelijk van de verwachte hinder, zoals beschreven in dit rapport, en de afstand tot het spoor kan dan eventueel met een beroep op bijlage 5 worden gemotiveerd dat ook zonder maatregelen geen onaanvaardbaar woon- en leefklimaat ontstaat in de geplande woningen. Argumenten die gebruikt kunnen worden om te motiveren dat er dan geen maatregelen worden getroffen, kunnen zijn:

- Er is sprake van een beperkt aantal overschrijdingen (argument geldt niet voor het zuidwestelijke kavel (1) binnen 30 meter van het spoor). Het gaat in de rest van het plangebied om maximaal 1 overschrijding per dag.
- De trillingen voldoen weliswaar niet aan de strenge streefwaarden voor nieuwbouw uit de SBR B-richtlijn, maar, op de zone tot 30 meter van het spoor in het zuidwestelijke kavel na, 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 gewinning meegenomen.
- De woningen worden gerealiseerd in een zone dichtbij het spoor, waar nu ook al bebouwing is gerealiseerd die soms ook dicht bij het spoor staat. Het gaat bovendien om oudere, meer trillingsgevoelige bebouwing, waar de trillingen dus hoger zullen zijn dan in de nieuwe woningen. Ook zonder maatregelen tegen trillingen ontstaat in de geplande bebouwing daarom geen onacceptabele situatie: de trillingen zijn daar immers (veel) lager dan in andere, al bestaande bebouwing rond deze locatie.



## 5.2. 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 kunnen de trillingen rond de overweg en het wissel door de jaren heen variëren met de onderhoudsstatus. Door te meten op meerdere punten hebben we variaties waar mogelijk meegenomen in de analyse en berekeningen. Verder geldt dat dit een traject is met een beperkte hoeveelheid goederentreinen. Het gaat echter wel steeds om hetzelfde type goederentrein, zodat de conform de SBR B-richtlijn gehanteerde meetduur van een week voldoende representatief is voor deze situatie. 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. De invloed hiervan 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 geïjkt 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 14. In deze boring is de bodem opgebouwd uit zand.

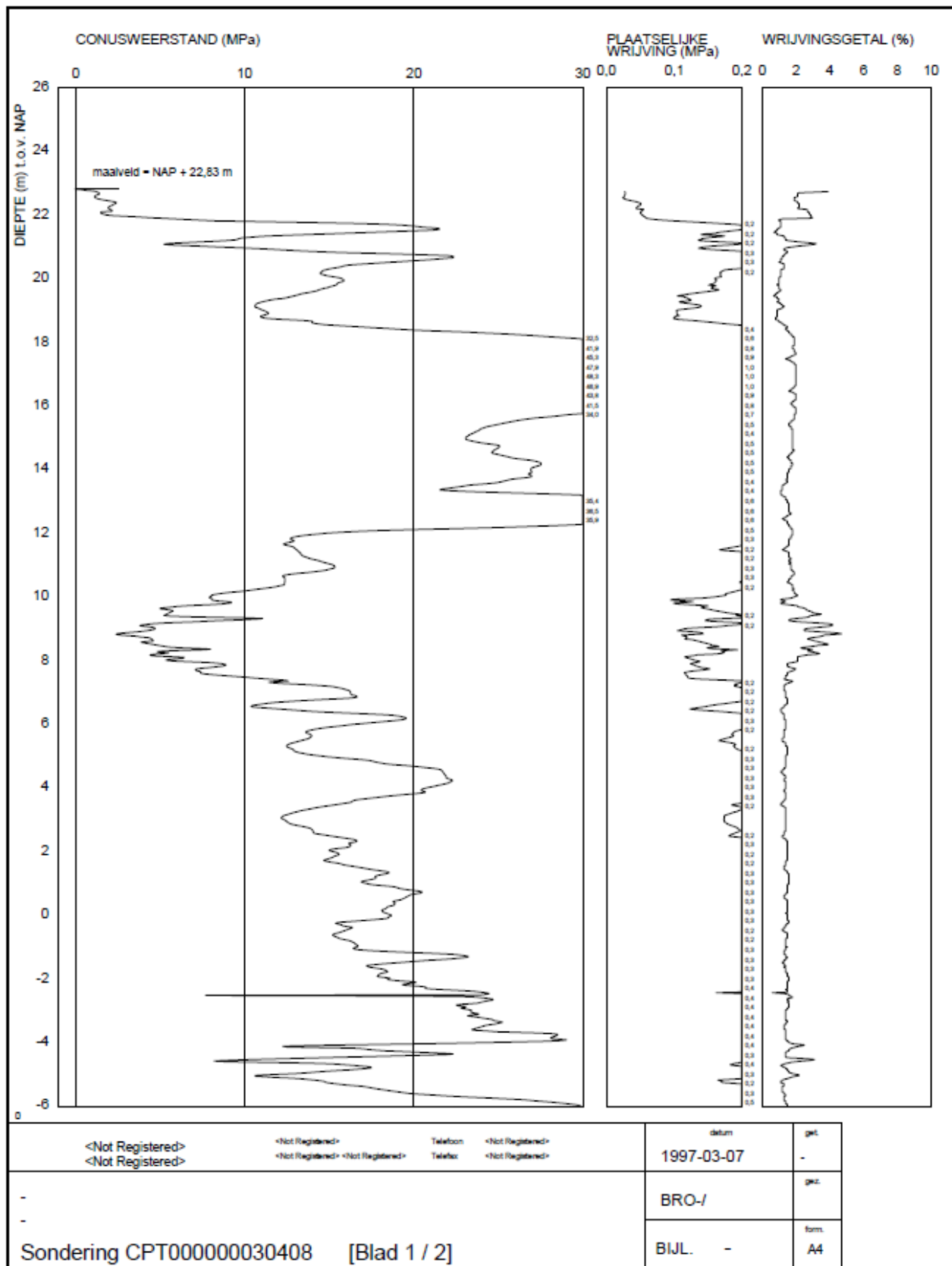
## Boormonsterprofiel



*Figuur 14 Boring in het onderzoeksgebied*

Een representatieve sondering uit het onderzoeksgebied, waarin onder meer de conusweerstand te zien is, is weergegeven in Figuur 15. Ook hier is te zien dat de bodem vooral bestaat uit stijvere zandlagen.





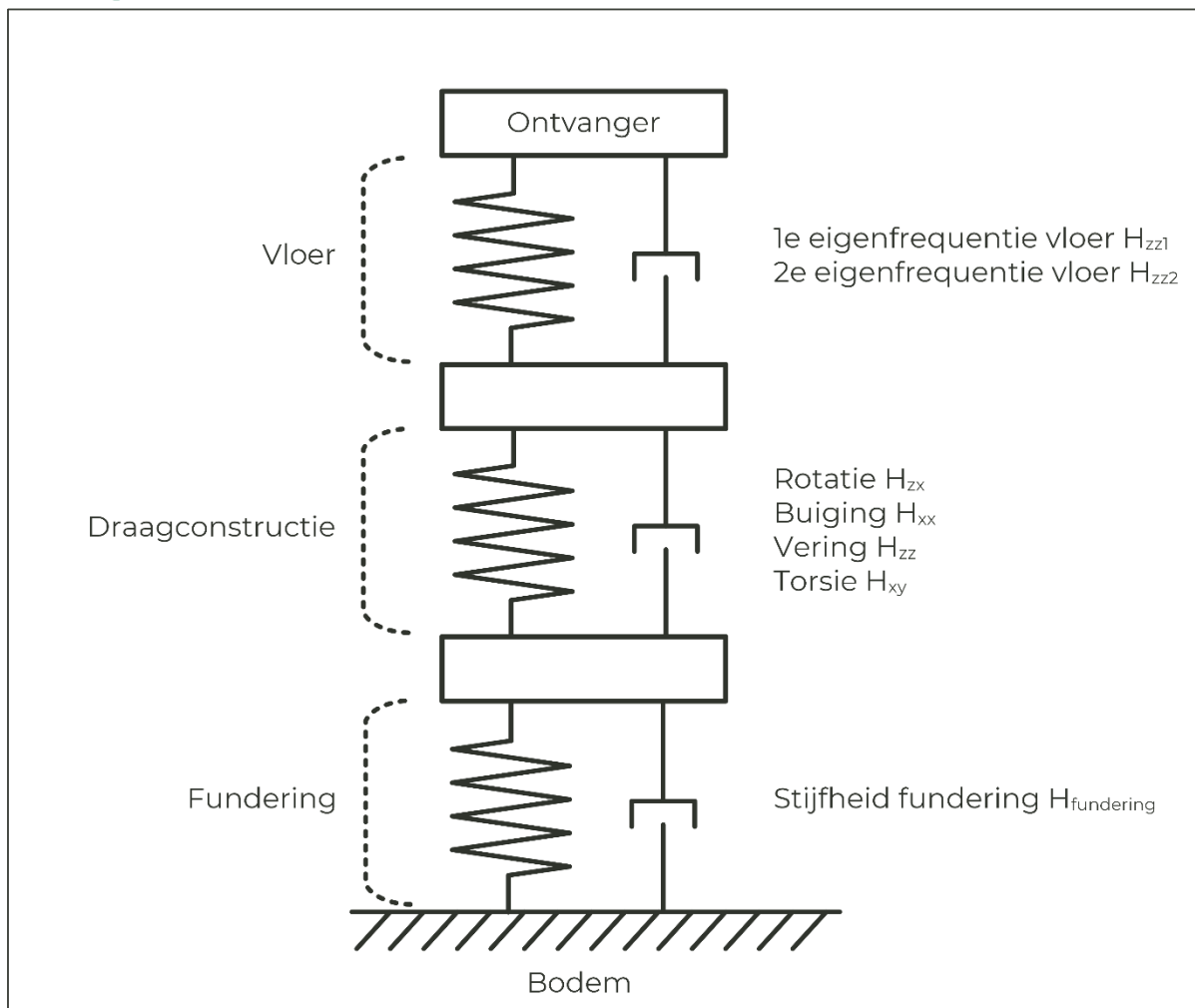
Figuur 15 Sondering nabij het onderzoeksgebied (alleen eerste 28 meter onder NAP)

# 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 16. De verschillende componenten van het model, zoals weergegeven aan de rechterzijde van Figuur 16, 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



Figuur 16 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.

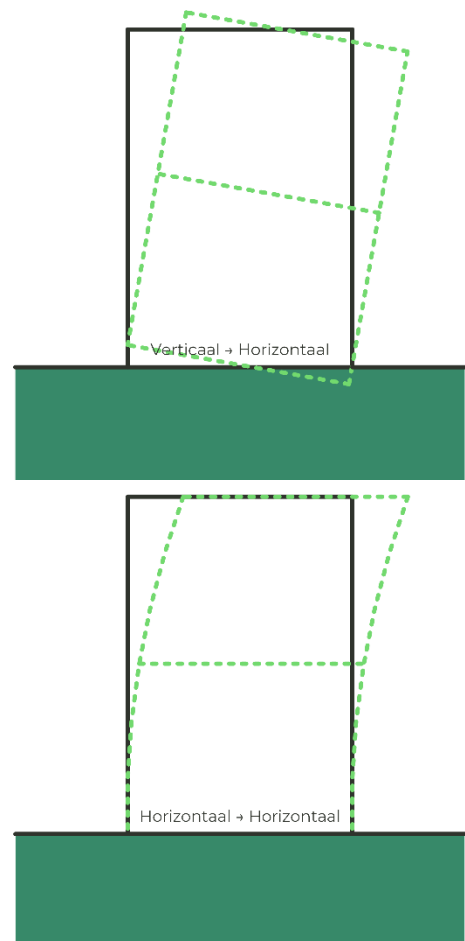
Dit effect noemen we  $H_{zx}$ , en is afhankelijk van:

- 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

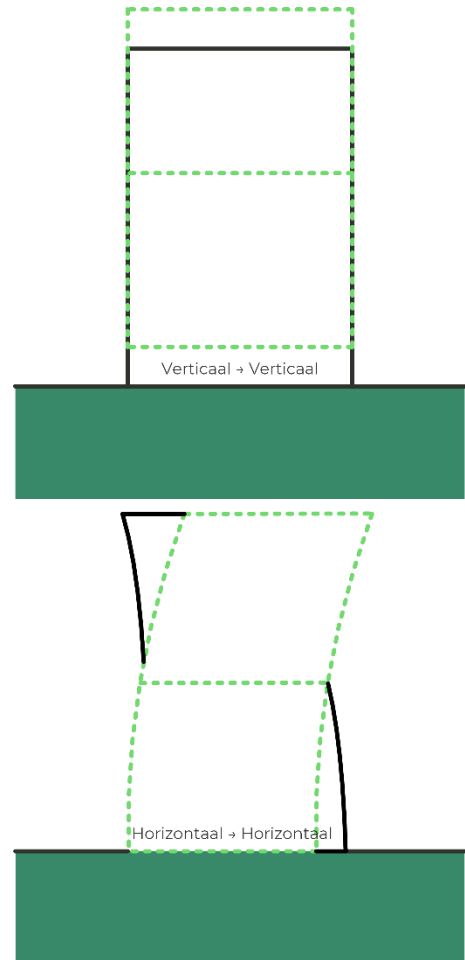


Het derde principe, dat van vering van het gebouw op zijn fundatie, is rechts weergegeven. Dit principe speelt vooral een rol bij wat hogere gebouwen, of bij gebouwen met een slappe onderlaag of lokaal slappere elementen (denk aan kolommen en balkenstructuren). Dit effect noemen we  $H_{zz}$ , en is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



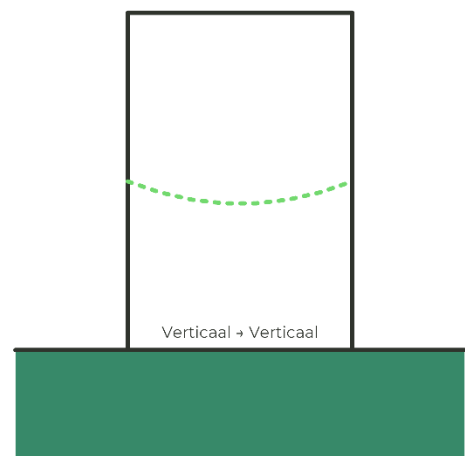
## VLOEREN

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:

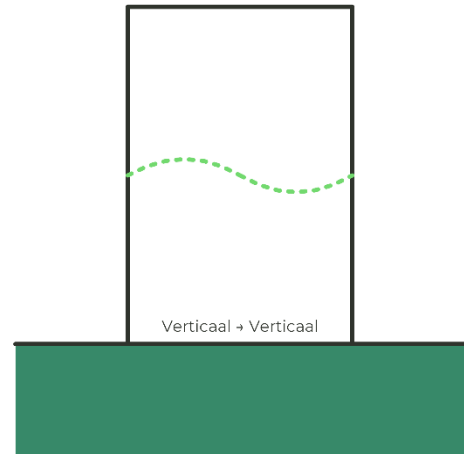
- Type vloer (doorsnede, materiaal, en bij beton: gescheurd of ongescheurd)
- Afmetingen van de vloer
- Type oplegging



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.

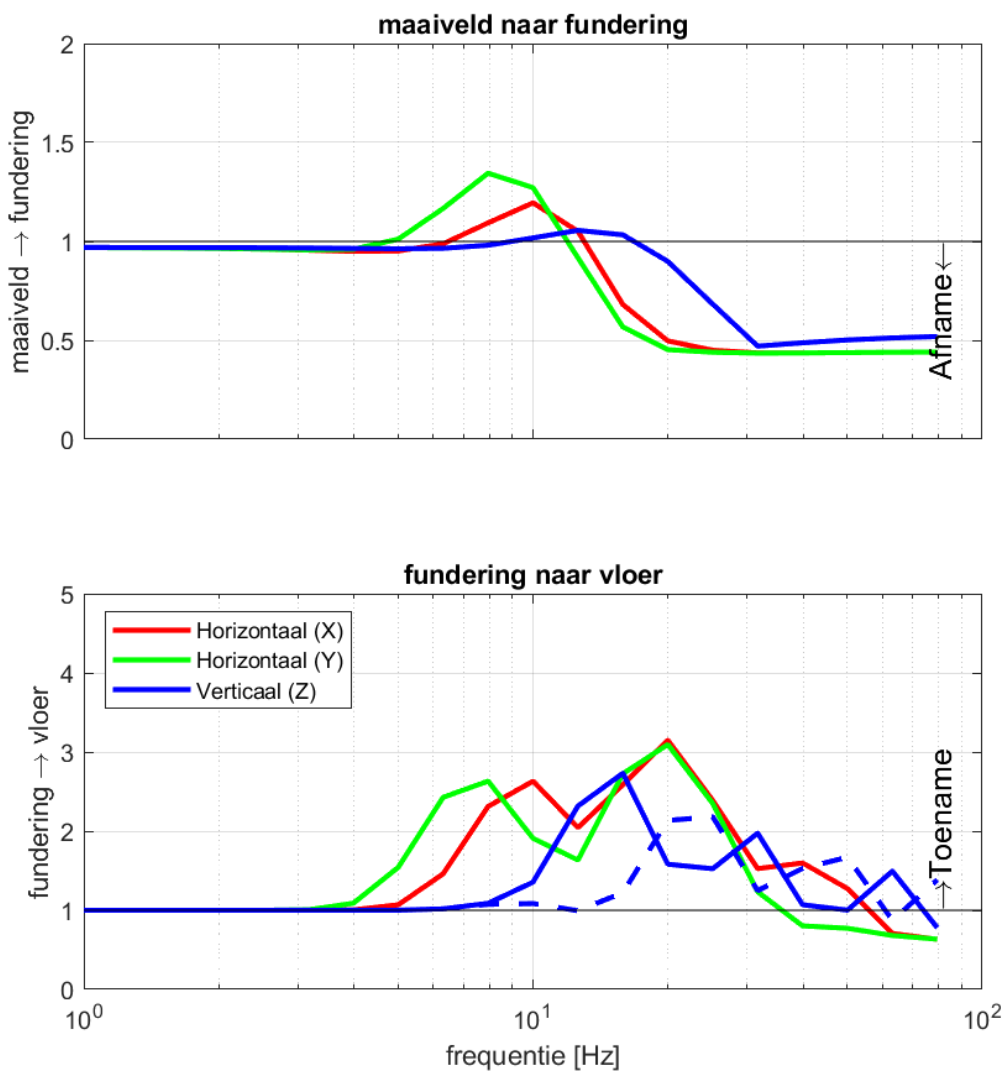
Dit effect noemen we  $H_{zz2}$ , en is afhankelijk van dezelfde parameters als  $H_{zz1}$ .

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

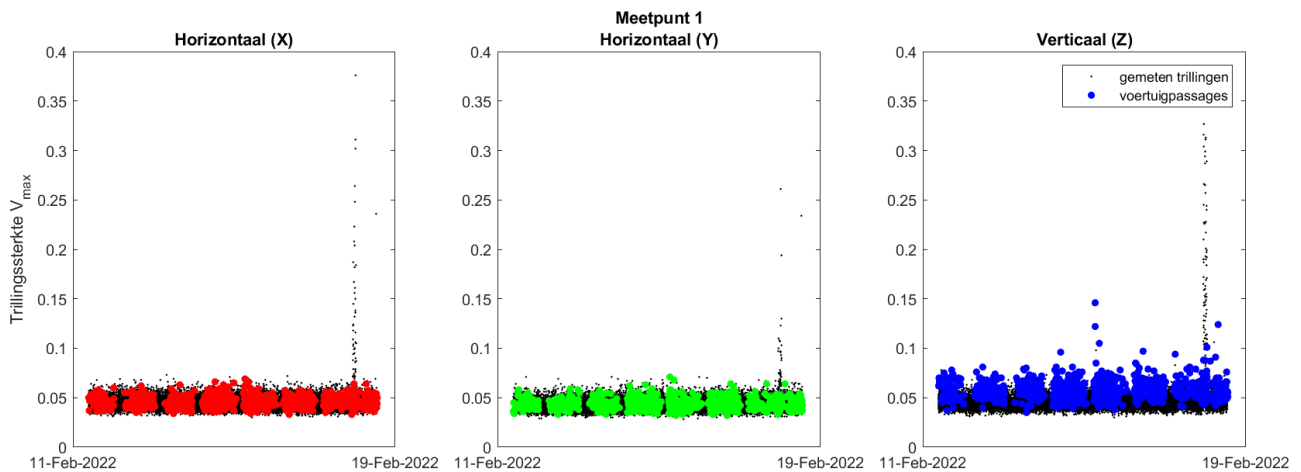
Ter illustratie zijn de resultaten uit de Buildyn-berekeningen voor het maatgevende punt op de hoogste verdieping weergegeven in Figuur 17.



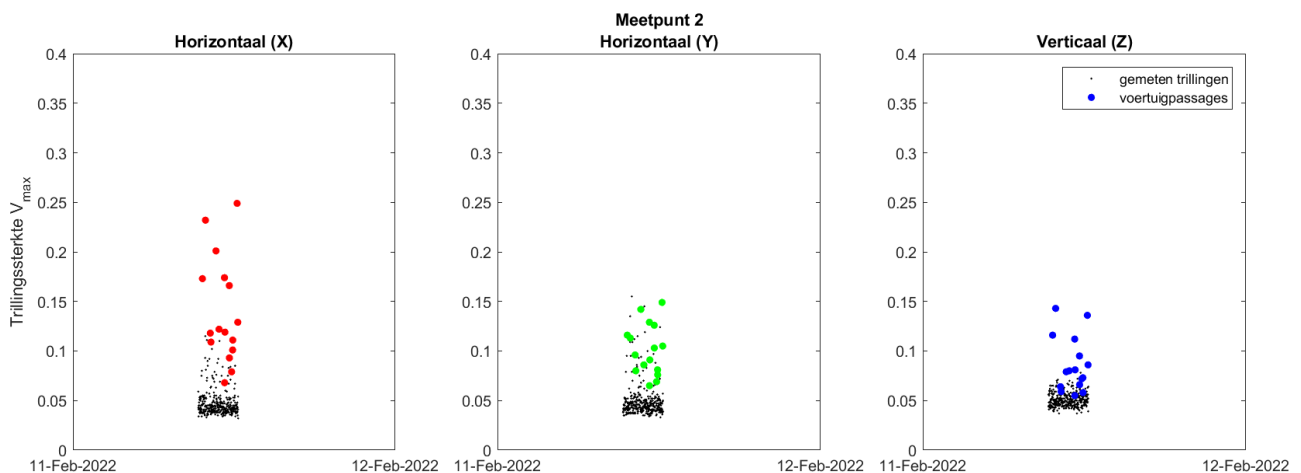
Figuur 17 Buildyn-resultaten voor vrijstaande woning van 8 bij 11 meter met 5 m vloeroverspanning, 200 mm kanaalplaatvloer en 3 bouwlagen, kalkzandsteen en metselwerk constructie. Doorgaande lijn verticaal is midden vloer, onderbroken lijn is op  $\frac{1}{4}$  en  $\frac{3}{4}$  van overspanning

# RESULTATEN METINGEN

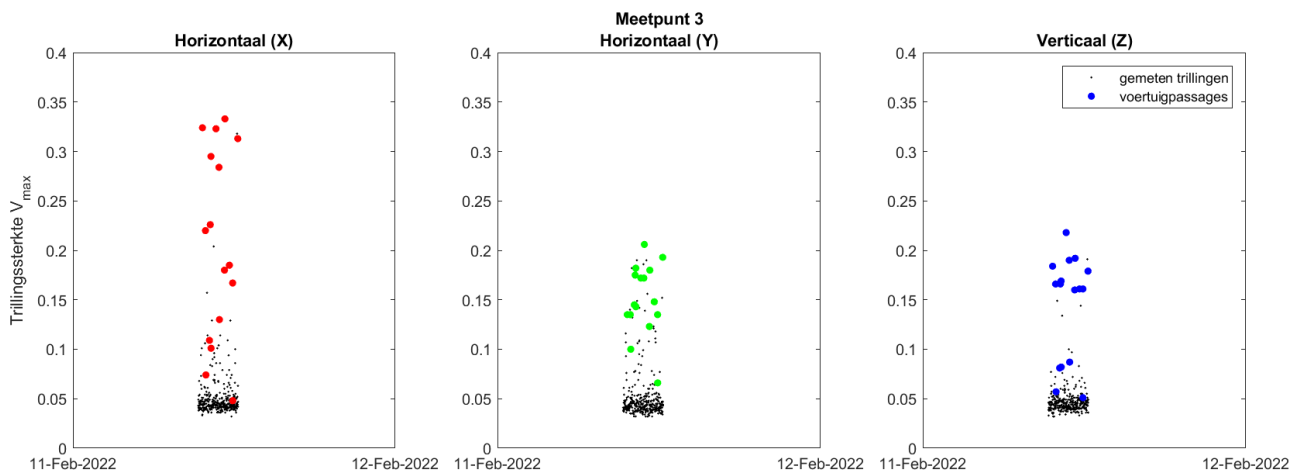
Deze bijlage bevat de resultaten van de metingen van Alcedo. Per meetpunt zijn de gemeten trillingen en de tertsbandspectra per treinpassage weergegeven. Veel treinpassages zijn op de fundering van de bestaande bebouwing lager dan het achtergrondniveau (ruisniveau) van de trillingen.



Figuur 18 Gemeten trillingen bij meetpunt 1 (fundering bestaande bebouwing)

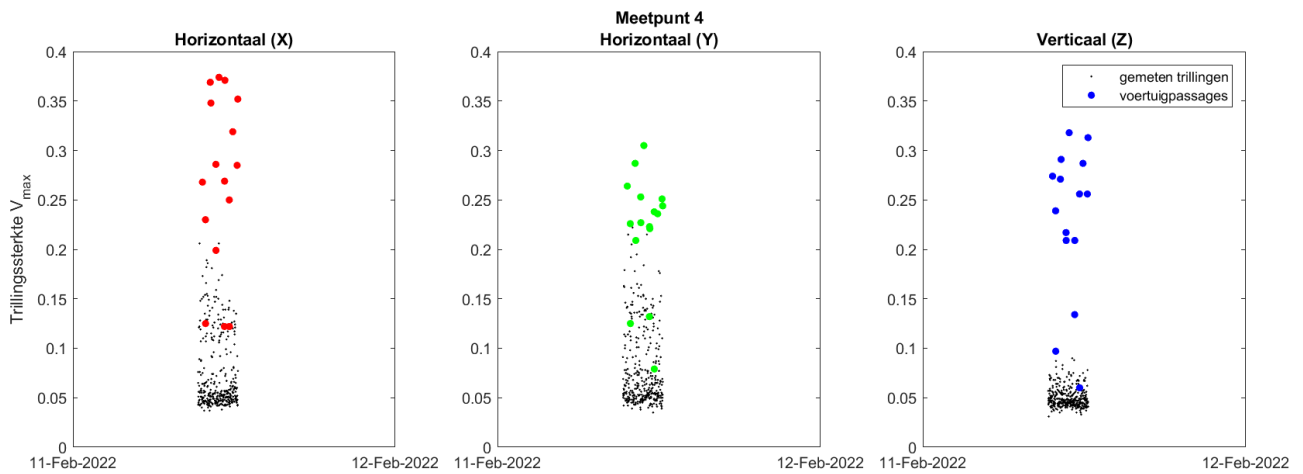


Figuur 19 Gemeten trillingen bij meetpunt 2 (maaiveld, nabij funderingspunt bestaande bebouwing)

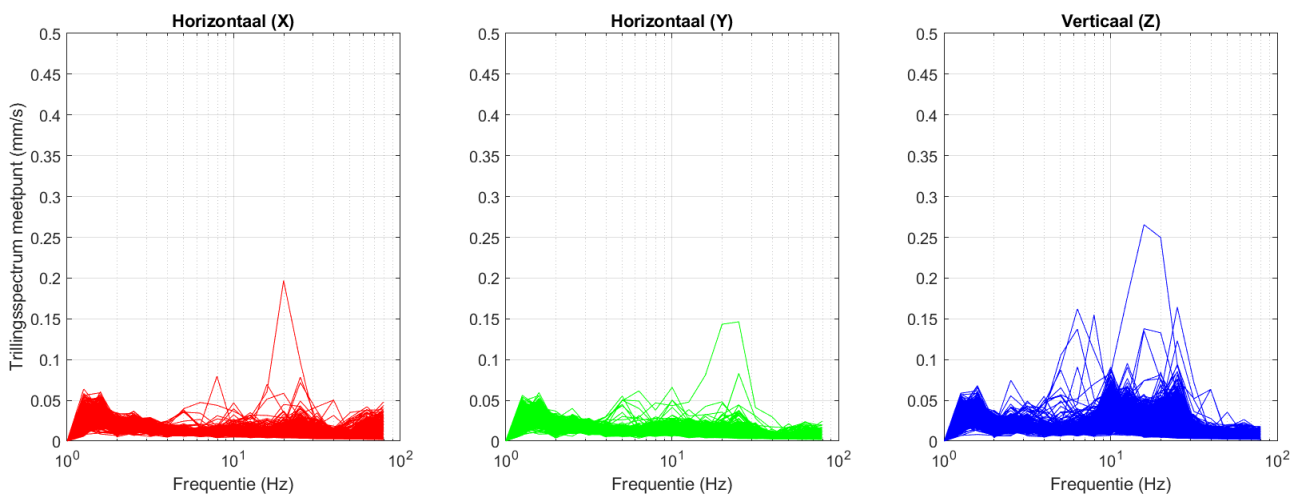


Figuur 20 Gemeten trillingen bij meetpunt 3 (maaiveld, nabij wissel)

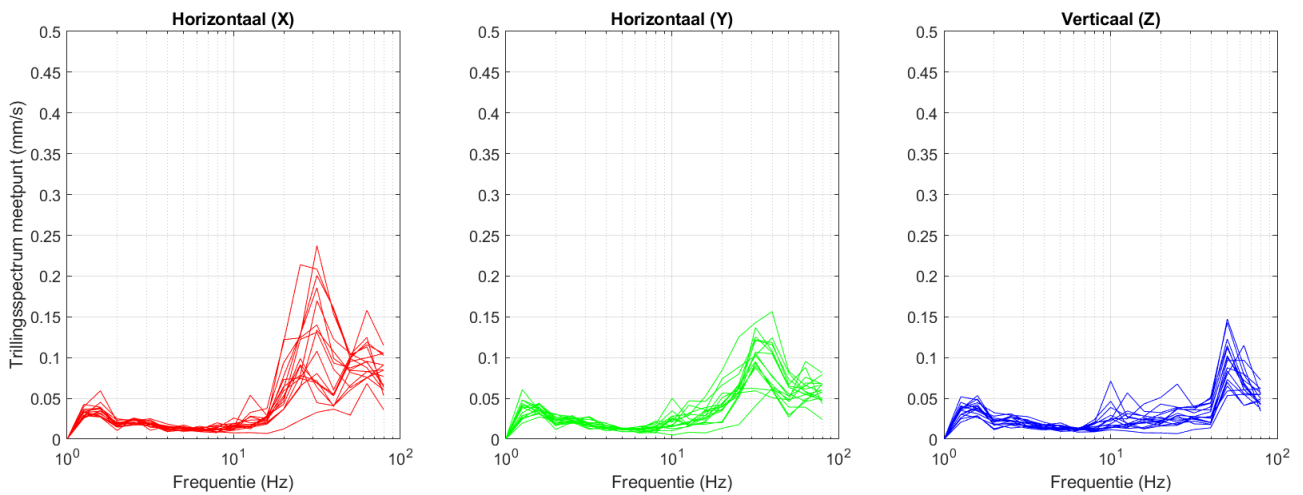




Figuur 21 Gemeten trillingen bij meetpunt 4 (maaiveld, nabij spoorwegovergang)

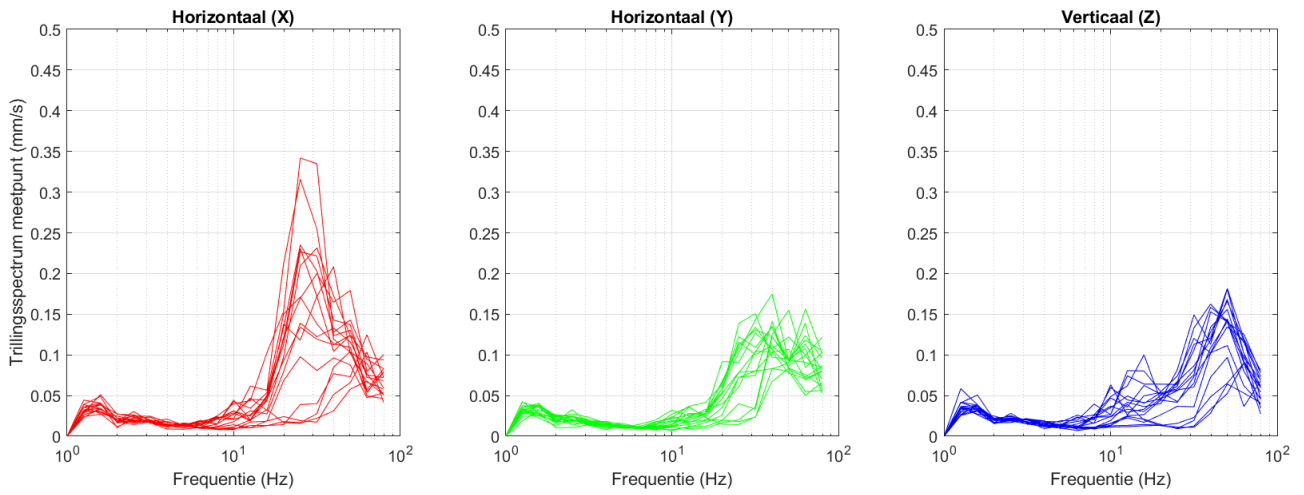


Figuur 22 Tertsbandspectra bij meetpunt 1

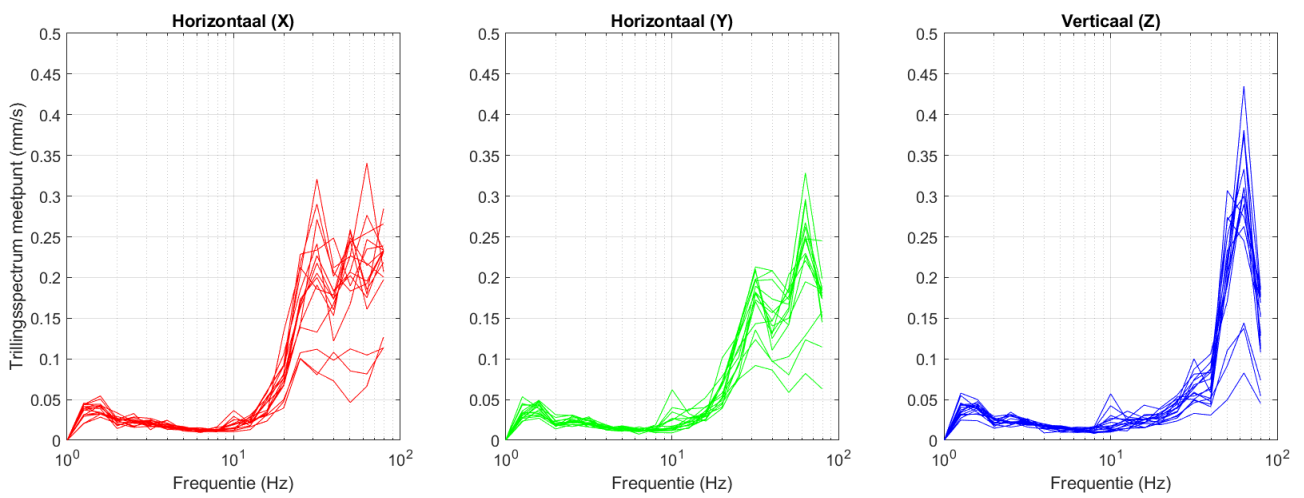


Figuur 23 Tertsbandspectra bij meetpunt 2





Figuur 24 Tertsbandspectra bij meetpunt 3



Figuur 25 Tertsbandspectra bij meetpunt 4

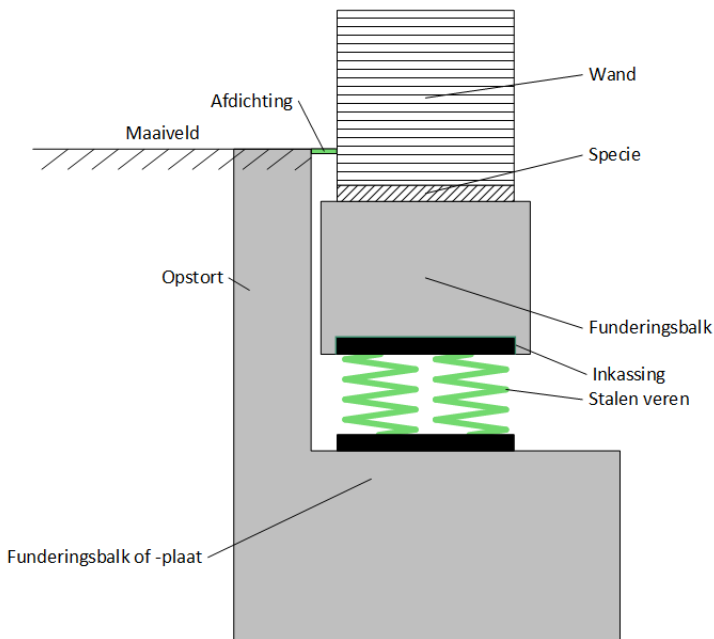




# DETAILS MAATREGELEN

Deze bijlage bevat achtergrondinformatie en principedetails van de voorgestelde maatregelen.

Een principeschets van een afgeveerde fundering met stalen veerdozen is weergegeven in Figuur 26. Een foto van een concrete toepassing bij eengezinswoningen in Prinsenbeek is weergegeven in Figuur 27 (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 een opstort op de funderingsbalken, met een luchtspouw die aan de bovenzijde is afgedicht met bijv. een afdichtklep.



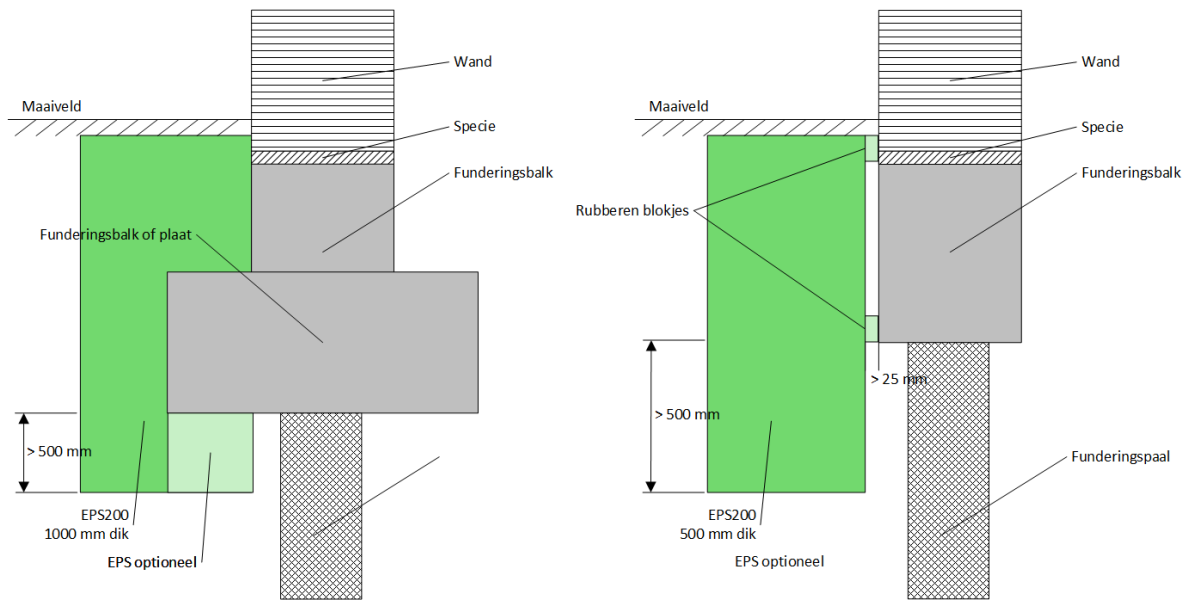
Figuur 26 Principeschets afgeveerde fundering (hier met stalen veerdozen, fundering op staal)



Figuur 27 Dubbele fundering met stalen veerdozen (project in Prinsenbeek)

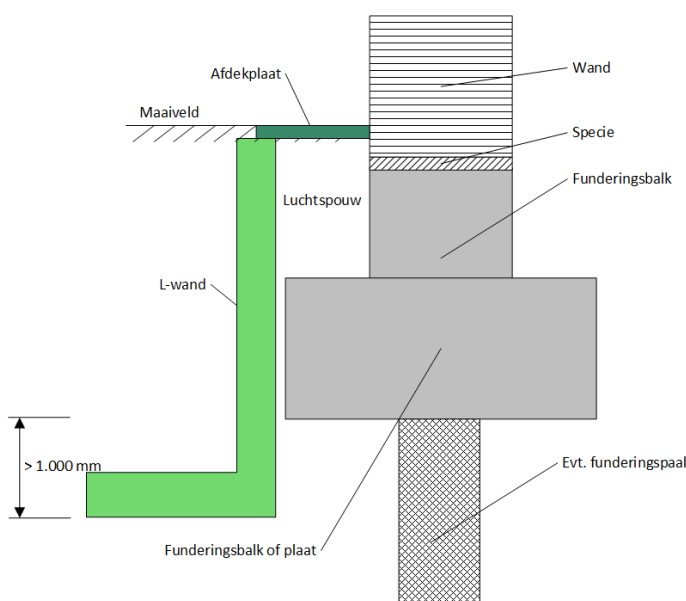
Een principeschets van het bekleden van de fundering met EPS (piepschuim) is weergegeven in Figuur 28. De EPS-kwaliteit dient wat zwaarder te zijn dan standaard i.v.m. de gronddruk. Hier is

EPS2000 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 principeschets is weergegeven in Figuur 28. 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 28 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 weergegeven in Figuur 29. 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 29 L-wand met luchtsponw voor fundering