

**WEEBOST**



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

---

**VEENWEG  
DEVENTER**

# COLOFON

|                      |  |
|----------------------|--|
| Auteur               | Thijmen van der Veen<br><a href="mailto:thijmen@we-boost.nl">thijmen@we-boost.nl</a>           |
| Controle en vrijgave | Pieter Boon<br><a href="mailto:pieter@we-boost.nl">pieter@we-boost.nl</a><br>+31 6 10 03 94 54 |
| Projectcode          | WBD2022-056  |
| Versienr             | 1.0  |
| Datum                | 16 december 2022   |
| Status               | Definitief   |
| Opdrachtgever        | RW Deventer BV   |



Voor dit onderzoek is gebruik gemaakt van metingen van

**ALCEDO** 

© We-Boost 2022

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van We-Boost.

# DE KERN VAN DIT RAPPORT

Aan de Veenweg in Deventer worden 14 nieuwe grondgebonden woningen gerealiseerd volgens het concept van MorgenWonen. Het plangebied bevindt zich ten oosten van de spoorlijn Deventer – Amelo. 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 bebouwing, en zo ja, met welke maatregelen een aanvaardbaar woon- en leefklimaat kan worden gegarandeerd (e.e.a. conform de Wro art. 3.1, wat in wezen niet verandert in de Omgevingswet (art. 4.2)). Voor het beoordelen van mogelijke trillingshinder maken we gebruik van de streefwaarden uit de SBR B-richtlijn. Deze streefwaarden zijn voorkeurswaarden, waarbij het streven moet zijn om de trillingen in de beoogde bebouwing te laten voldoen aan deze waarden.

In dit onderzoek is met behulp van metingen op maaiveld en met 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 conclusie van het onderzoek is dat wordt voldaan aan het beoordelingskader voor trillingshinder, de SBR B-richtlijn. Door de relatief grote afstand tot het spoor en de lage rijsnelheid van de treinen, zijn de trillingen lager dan de streefwaarden.

Omdat er geen overschrijdingen van het beoordelingskader voor trillingshinder worden verwacht, is onderzoek naar mitigerende maatregelen niet nodig. In de woningen is sprake van een aanvaardbaar woon- en leefklimaat ten aanzien van trillingshinder.

Wel geldt dat de trillingen overdag lager zijn dan in de nacht: de goederentreinen met afwijkende trillingen passeren vooral overdag. Omdat een toename van het aantal goederentreinen op basis van vooruitzichten van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat niet is uit te sluiten, kan het zijn dat goederentreinen met afwijkende trillingen in de toekomst incidenteel ook in de nacht passeren, wanneer de streefwaarden strenger zijn dan overdag. Incidentele overschrijdingen van de streefwaarden zijn dan niet uit te sluiten. Het zal dan echter altijd gaan om incidentele, beperkte overschrijdingen, de conclusies ten aanzien van een aanvaardbaar woon- en leefklimaat zullen hierdoor niet wijzigen.



# INHOUDSOPGAVE

|             |                                       |           |
|-------------|---------------------------------------|-----------|
| <b>I.</b>   | <b>INLEIDING</b>                      | <b>6</b>  |
| 1.1.        | Aanleiding                            | 6         |
| 1.2.        | Doel                                  | 6         |
| 1.3.        | Leeswijzer                            | 6         |
| <b>2.</b>   | <b>SITUATIE EN UITGANGSPUNTEN</b>     | <b>9</b>  |
| 2.1.        | Situatie                              | 9         |
| 2.2.        | Uitgangspunten                        | 10        |
| <b>3.</b>   | <b>BEOORDELINGSKADER EN WERKWIJZE</b> | <b>13</b> |
| 3.1.        | Trillingen en wetgeving               | 13        |
| 3.2.        | De SBR-richtlijn                      | 13        |
| 3.3.        | Rekenmethode                          | 14        |
| <b>4.</b>   | <b>VERWACHTE TRILLINGEN</b>           | <b>18</b> |
| 4.1.        | Meetresultaten                        | 18        |
| 4.2.        | Trillingen in geplande bebouwing      | 18        |
| 4.3.        | Onzekerheden in het onderzoek         | 19        |
| <b>I.</b>   | <b>GRONDONDERZOEK</b>                 | <b>21</b> |
| <b>II.</b>  | <b>REKENMODEL</b>                     | <b>23</b> |
| <b>III.</b> | <b>RESULTATEN METINGEN</b>            | <b>27</b> |



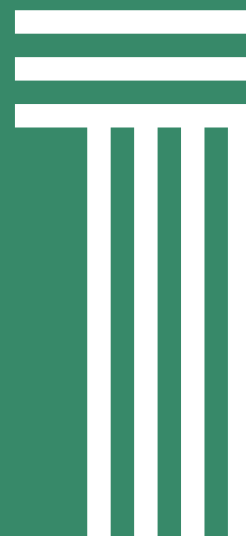




## INLEIDING



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.

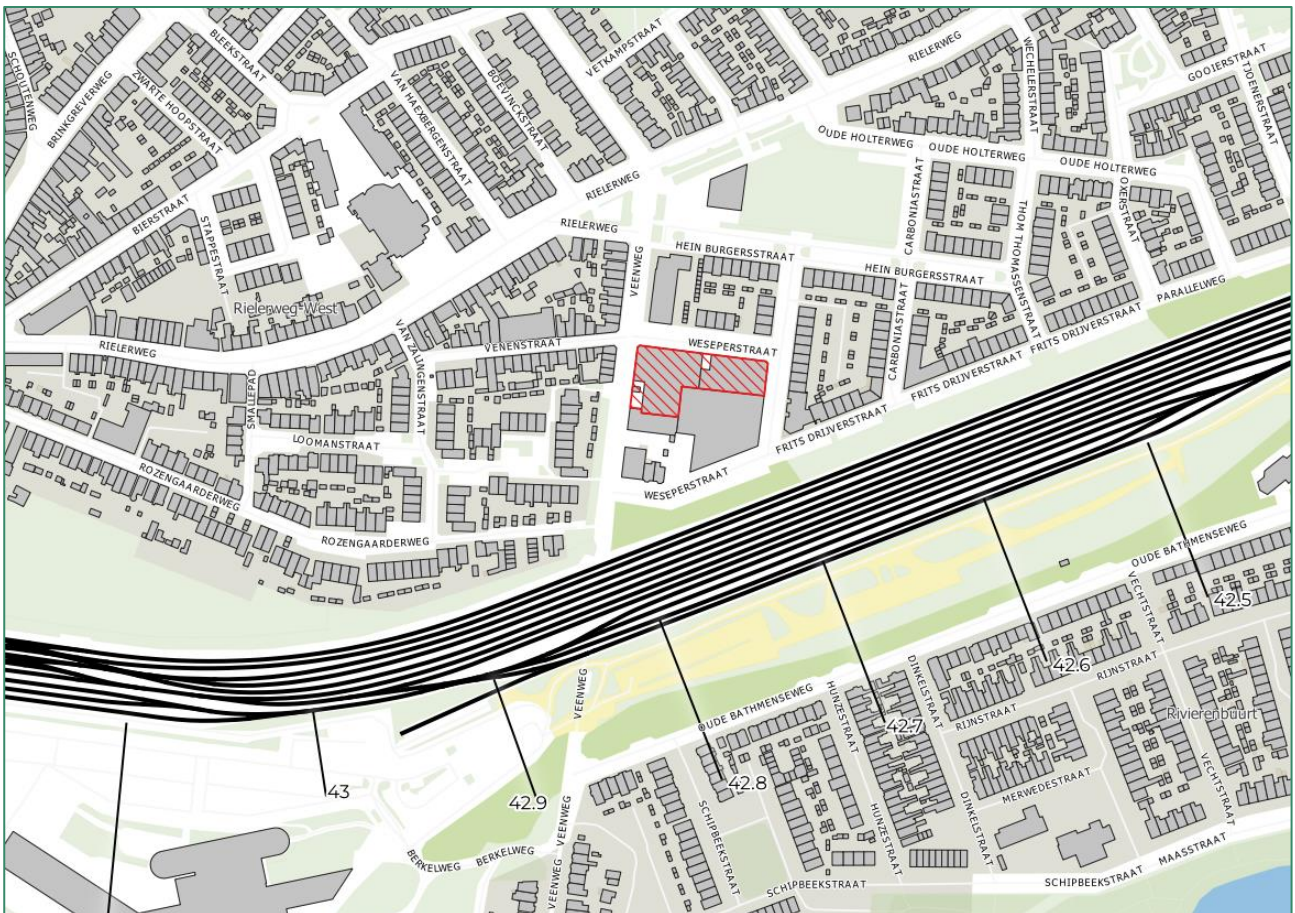




# INLEIDING

## 1.1. AANLEIDING

Aan de Veenweg in Deventer worden 14 nieuwe grondgebonden woningen gerealiseerd volgens het concept van MorgenWonen. Het plangebied bevindt zich ten oosten van de spoorlijn Deventer - Amelo, 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 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 geplande 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 gaan we in op mitigerende maatregelen om de trillingen te verminderen.

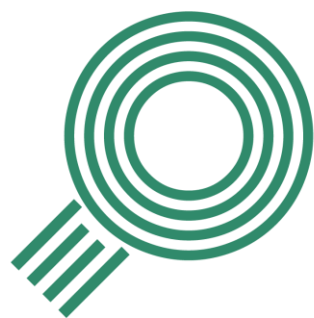
De bijlages bevatten technische informatie van het onderzoek, zoals een toelichting op de rekenmethodiek en grondonderzoek van nabijgelegen locaties.







## 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

Op de planlocatie is momenteel bebouwing aanwezig. Deze bebouwing wordt gesloopt, en er worden 14 nieuwe, grondgebonden woningen ontwikkeld in de vorm van rijwoningen volgens het bouwconcept van MorgenWonen. De bestaande en geplande bebouwing is weergegeven in Figuur 2.



Figuur 2 Bestaande en geplande bebouwing op en rond de planlocatie

De geplande nieuwbouw bevindt zich in een zone van 65 tot 110 meter van het spoor. De rijsnelheid en het aantal treinen per uur per richting zijn weergegeven in Tabel 1. De gegevens in Tabel 1 zijn gebaseerd op het Geluidsregister Spoor en gegevens van de vervoerders. Volgens de IMA-2021 (voorblik voor spoorvervoer) wordt er een toename van het aantal goederentreinen verwacht, van de huidige ongeveer 40 naar 50 tot 67 goederentreinen per dag (beide richtingen samen). Er wordt geen toename van het aantal reizigerstreinen voorzien.

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

| Type trein    | Rijsnelheid | dag<br>(7:00 – 19:00) | avond<br>(19:00 – 23:00) | nacht<br>(23:00 – 7:00) |
|---------------|-------------|-----------------------|--------------------------|-------------------------|
| Sprinter      | 40 km/h     | 2.00                  | 2.00                     | 0.50                    |
| Intercity     | 40 km/h     | 4.50                  | 4.25                     | 1.25                    |
| Goederentrein | 40 km/h     | 0.90                  | 0.81                     | 0.81                    |



Andere trillingsbronnen, zoals zwaar wegverkeer, zullen gezien de vlakke wegopbouw (Veenweg) en het niet-doorgaande karakter van de overige wegen (dus alleen incidenteel bestemmingsverkeer) naar verwachting niet voor waarneembare trillingen in de bebouwing zorgen, en zijn in dit onderzoek niet nader kwantitatief beschouwd.

## 2.2. UITGANGSPUNTEN

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

### 2.2.1. GEGEVENS BEBOUWING

De woningen worden gebouwd conform het bouwconcept van MorgenWonen. Omdat de woningen worden gebouwd conform een vast bouwconcept, staat materialisatie en constructie al min of meer vast. Alleen voor de fundering zijn meerdere varianten doorgerekend. In Tabel 2 zijn de gehanteerde uitgangspunten voor de bebouwing weergegeven. Het rekenmodel voor de bebouwing is hierop gebaseerd.

Tabel 2 Eigenschappen bebouwing

| Parameter         | Eigenschappen  |
|-------------------|--|
| Vloertype         | Ribbenvloer met 70 mm zandcement dekvloer  |
| Hoogte            | 3 bouwlagen  |
| Lengte vloerveld  | 5.7 tot 5.9 meter  |
| Breedte vloerveld | 10.0 meter   |
| Constructietype   | Prefab wanden en vloeren, gevel aan buitenzijde afgewerkt met metselwerk   |
| Fundering         | Meerdere varianten: <ul style="list-style-type: none"><li>• Op staal</li><li>• Palenfundering, 10 meter x Ø 250 mm (boorpalen)</li></ul> |

### 2.2.2. GEGEVENS ONDERGROND

Voor gegevens van de ondergrond is gebruik gemaakt van beschikbare boringen en sonderingen uit Dinoloket en bodemonderzoeken die in de buurt van 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

Zoals te zien in Figuur 3 zijn door Alcedo op twee locaties metingen uitgevoerd. De metingen zijn uitgevoerd van 25 november tot 2 december 2022.







Figuur 3 Meetpunten







# **BEOORDELINGSKADER**



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





# **BEOORDELINGSKADER EN WERKWIJZE**

## **3.1. TRILLINGEN EN WETGEVING**

Er bestaat in Nederland geen wettelijk kader voor de beoordeling van trillingshinder in gebouwen. Wel geldt dat in het kader van een goede ruimtelijke ordening o.b.v. de Wet Ruimtelijke Ordening (Wro) kan worden verzocht om trillingen mee te nemen bij de wijziging van bestemmingsplannen waar trillingen een rol kunnen spelen.

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

## **3.2. DE SBR-RICHTLIJN**

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

---

<sup>1</sup> Voor spoorprojecten wordt door ProRail sinds 2012 ook wel gebruik gemaakt van de Bts, deze is afgeleid van de SBR-richtlijn en op aspecten aangescherpt (waaronder een doelmatigheidsafweging en een andere manier om de trillingen vast te stellen). Deze richtlijn wordt echter doorgaans niet gebruikt om de trillingen in nieuw te bouwen woningen langs het spoor te beoordelen.

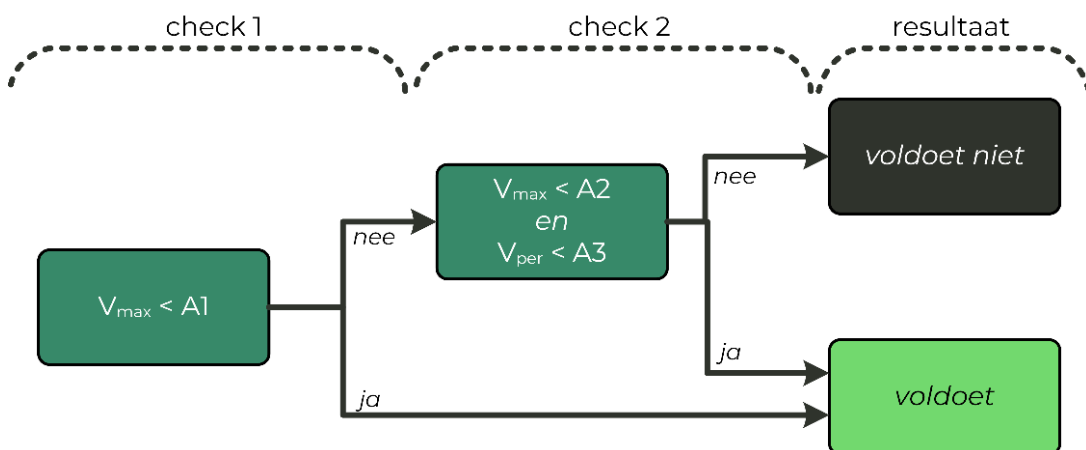
een zekere mate van gewenning en er zijn minder mogelijkheden om de trillingen te reduceren.

- b. Gebouwen met een overnachtingsfunctie (woningen, ziekenhuizen). De meeste hinder wordt vaak in rust ervaren. Bij gebouwen met een niet-overnachtingsfunctie (kantoren, scholen) gelden minder strenge streefwaarden. Winkels, sport- en industriepanden vallen buiten de richtlijn. In dit plan gaat het 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.

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

### 3.3. REKENMETHODE

In de SBR-richtlijn deel B worden de trillingen beoordeeld in gebouwen. Omdat het bij dit project gaat om nog niet gerealiseerde gebouwen, wordt op basis van metingen aan de 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.

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

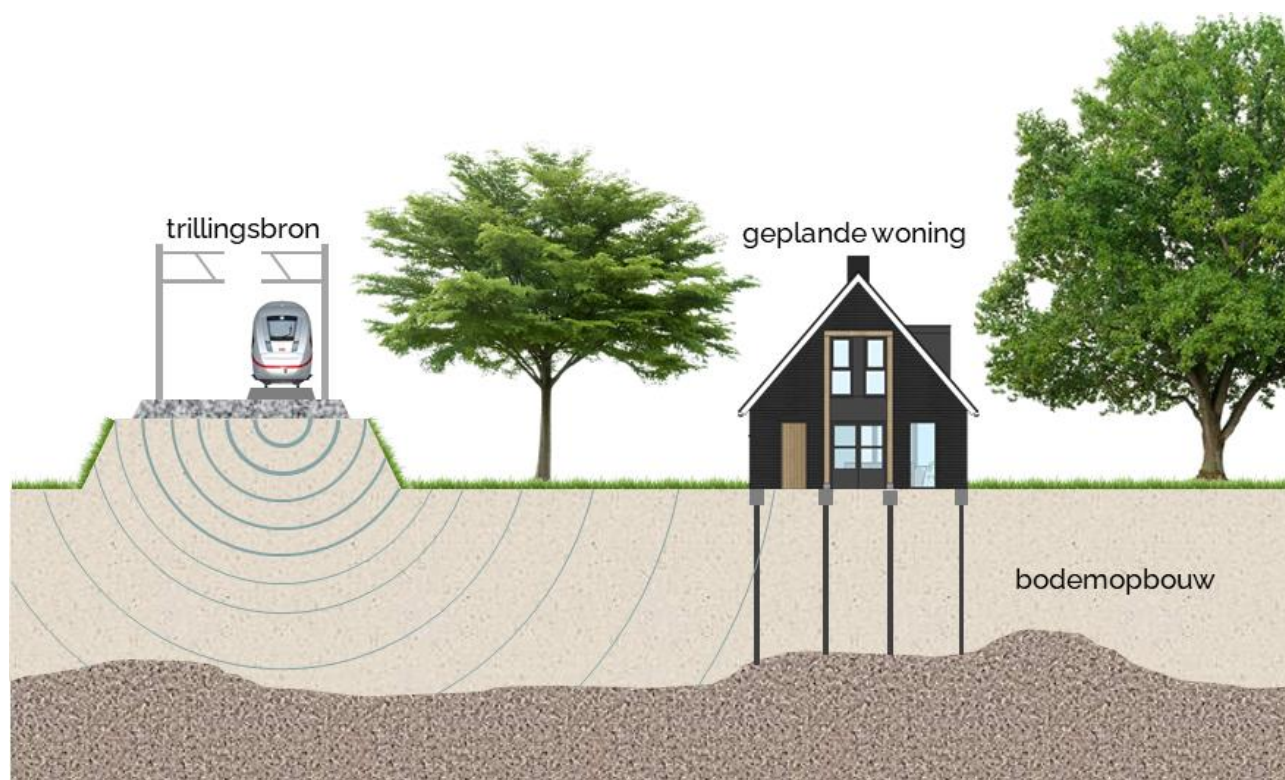
Trillingen ontstaan doordat een bewegend object (een trein, tram of vrachtwagen bijvoorbeeld) over een niet-efen ondergrond rijdt. Door de massa en beweging van het voertuig, variaties in de





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

### **3.3.2. DE TRILLINGSBRON**

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

### **3.3.3. DE BODEM**

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

### **3.3.4. HET GEBOUW**

De trillingen gaan via de fundering een gebouw binnen. Afhankelijk van het type fundering, de bodem, de massa en afmetingen van het gebouw zal de fundering de trillingen meer of minder uitdempen. Vervolgens worden de trillingen in het gebouw weer versterkt door bewegingen van

het gebouw en de vloeren. Het gebouwgedrag is in dit onderzoek bepaald op basis van de bodemopbouw, de constructieve eigenschappen en de gebruikte materialen van de gebouwen. Hiervoor maken we gebruik van het rekenmodel Buildyn, een zogenaamd beam-element model (BEM) waarin het gebouw gemodelleerd en doorgerekend wordt. De resultaten van het model zijn geïjkt met praktijkresultaten uit metingen. Een toelichting op het rekenmodel Buildyn is gegeven in bijlage II. In dit onderzoek is voor de invloed van de fundering gebruik gemaakt van metingen aan de fundering bij eerdere projecten van MorgenWonen.





## 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.



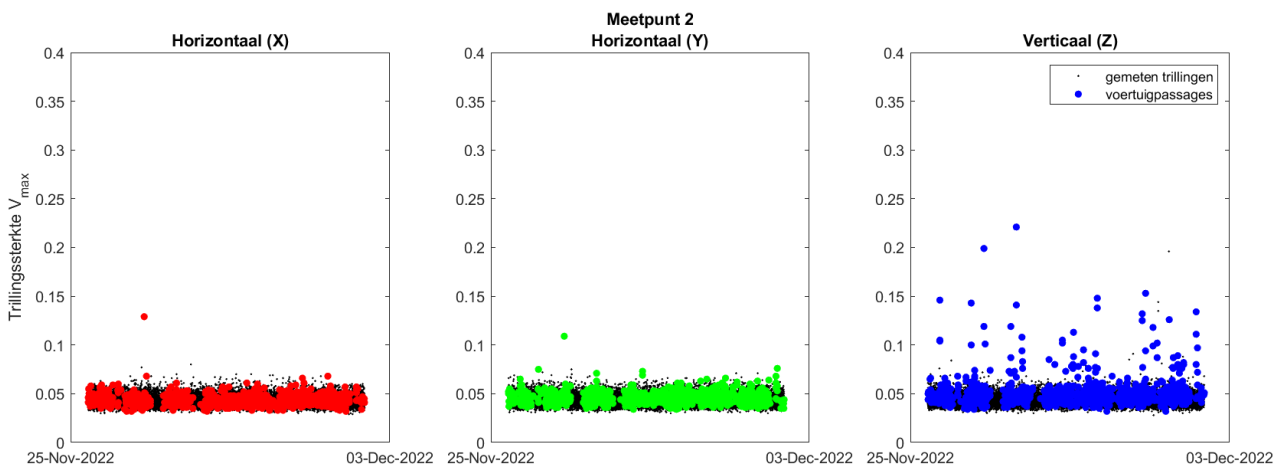




# VERWACHTE TRILLINGEN

## 4.1. MEETRESULTATEN

Alcedo heeft metingen uitgevoerd aan de fundering van de bestaande bebouwing. De trillingen op meetpunt 2 zijn weergegeven in Figuur 7. Overige gegevens uit de metingen hebben we opgenomen in bijlage III. Vooral in verticale richting zijn de trillingen hoog, de horizontale trillingen zijn veel lager. De uitschieter in horizontale richting betreft een remmende goederentrein. De uitschieters zijn allemaal afkomstig van goederentreinen, de trillingen van reizigerstreinen zijn laag en vallen weg in de achtergrondtrillingen.



Figuur 6 Gemeten trillingen op maaiveld (meetpunt 5)

## 4.2. TRILLINGEN IN GEPLANDE BEBOUWING

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

De resultaten hebben we weergegeven in Tabel 4, samen met een beoordeling van de trillingen. De trillingen zijn weergegeven als een bandbreedte, omdat ze verschillen van woning tot woning, op basis van de positie van de woning in het blok en de afmetingen.

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

| Blok        | $V_{max,dag}$ | $V_{max,nacht}$ | $V_{per}$ | Beoordeling |
|-------------|---------------|-----------------|-----------|-------------|
| A01 t/m A06 | 0.3 – 0.4     | 0.1 – 0.2       | 0.01      | Voldoet     |
| A07 t/m A11 | 0.3 – 0.4     | 0.1 – 0.2       | 0.01      | Voldoet     |
| A12 t/m A14 | 0.4           | 0.2             | 0.01      | Voldoet     |

De resultaten (trillingssterkte  $V_{max}$  in de dag en nacht, gemiddelde trillingssterkte  $V_{per}$  en beoordeling van de trillingen) zijn weergegeven in Figuur 7 en Figuur 8.





Figuur 7 Trillingssterkte  $V_{max}$  tijdens dag- en avondperiode (links) en tijdens nachtperiode (rechts)



Figuur 8 Gemiddelde trillingssterkte  $V_{per}$  (links) en beoordeling op SBR B-richtlijn (rechts)

Samengevat geldt het volgende:

- De trillingen overdag zijn hoger dan in de nacht. De treinen met de hoogste trillingssterktes passeren overdag, als deze treinen ook in de nacht zouden passeren, zou er sprake zijn van incidentele overschrijdingen, omdat de streefwaarden in de nacht strenger zijn. Omdat het aantal goederentreinen kan toenemen in de toekomst, kunnen incidentele overschrijdingen in de toekomst daarom niet volledig worden uitgesloten. Momenteel wordt echter voldaan aan de streefwaarden voor trillingshinder.
- De trillingen zijn lager bij een zwaardere fundering. Uit de berekeningen blijkt dat ook met een fundering op staal wordt voldaan aan de streefwaarden, maar de trillingen zijn lager bij een fundering op palen. Hierbij geldt dat hoe langer of dikker de palen zijn, hoe lager de trillingen worden. Hetzelfde geldt voor een dikke, betonnen plaatfundering: ook in dat geval zijn de trillingen lager.

Omdat er geen overschrijdingen zijn van het beoordelingskader, is nader onderzoek naar maatregelen voor deze locatie niet nodig.

### 4.3. 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. Door te meten op meerdere punten hebben we variaties waar mogelijk meegenomen in de analyse en berekeningen, bovendien is de invloed van dit soort variaties op grotere afstand van het spoor beperkt. Er is op basis van bovenstaande informatie geen reden om te twijfelen aan de representativiteit van de berekeningen voor de toekomstige trillingen. Wel geldt dat in de huidige metingen de goederentreinen met afwijkende trillingssterktes overdag passeren. Met de mogelijke toename van het aantal goederentreinen kan het gebeuren dat dit soort goederentreinen ook in de nacht gaat rijden, en dat dit dan leidt tot incidentele overschrijdingen. De conclusies van het onderzoek, namelijk dat er geen sprake is van een onaanvaardbaar woon- en leefklimaat ten aanzien van trillingshinder, veranderen daarbij echter niet: incidentele overschrijdingen van de streefwaarden leiden namelijk niet tot een onaanvaardbaar woon- en leefklimaat.

- Ten aanzien van de bodem geldt dat met name op korte afstand tot het spoor variaties in de trillingen mogelijk zijn door lokale variaties in de bodem. Door op meerdere punten te meten is de invloed van deze variaties meegenomen in de berekeningen. Bovendien is op diverse afstanden van het spoor gemeten. De invloed van de onzekerheid in de bodem is daarmee meegenomen in de analyse, de impact op de resultaten is daardoor beperkt.
- Ten aanzien van de gebouwen geldt dat er altijd verschillen zijn tussen het beoogde ontwerp en het gerealiseerde ontwerp (verschillen tussen as-built en definitief ontwerp). Bovendien is het dynamische gedrag van bijvoorbeeld beton afhankelijk van de mate van gescheurdheid van het beton en zijn er natuurlijke variaties in materiaalgedrag (van bijvoorbeeld hout, metselwerk en beton). In de berekeningen is gerekend met een verwachtingswaarde van de trillingen op basis van een aan de hand van praktijkmetingen geïkt rekenmodel. Hiermee wordt een resultaat verkregen dat representatief is voor de toekomstige situatie.

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





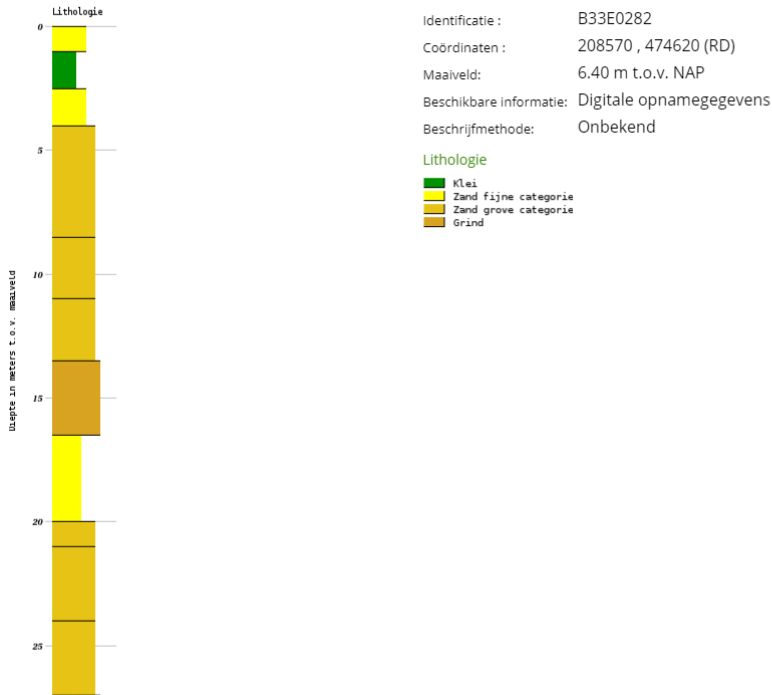


# GRONDONDERZOEK

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

Een grondboring in de nabijheid van het onderzoeksgebied is weergegeven in Figuur 13. De bodem is vooral opgebouwd uit zand, bovenin komen ook wat slappere kleilagen voor.

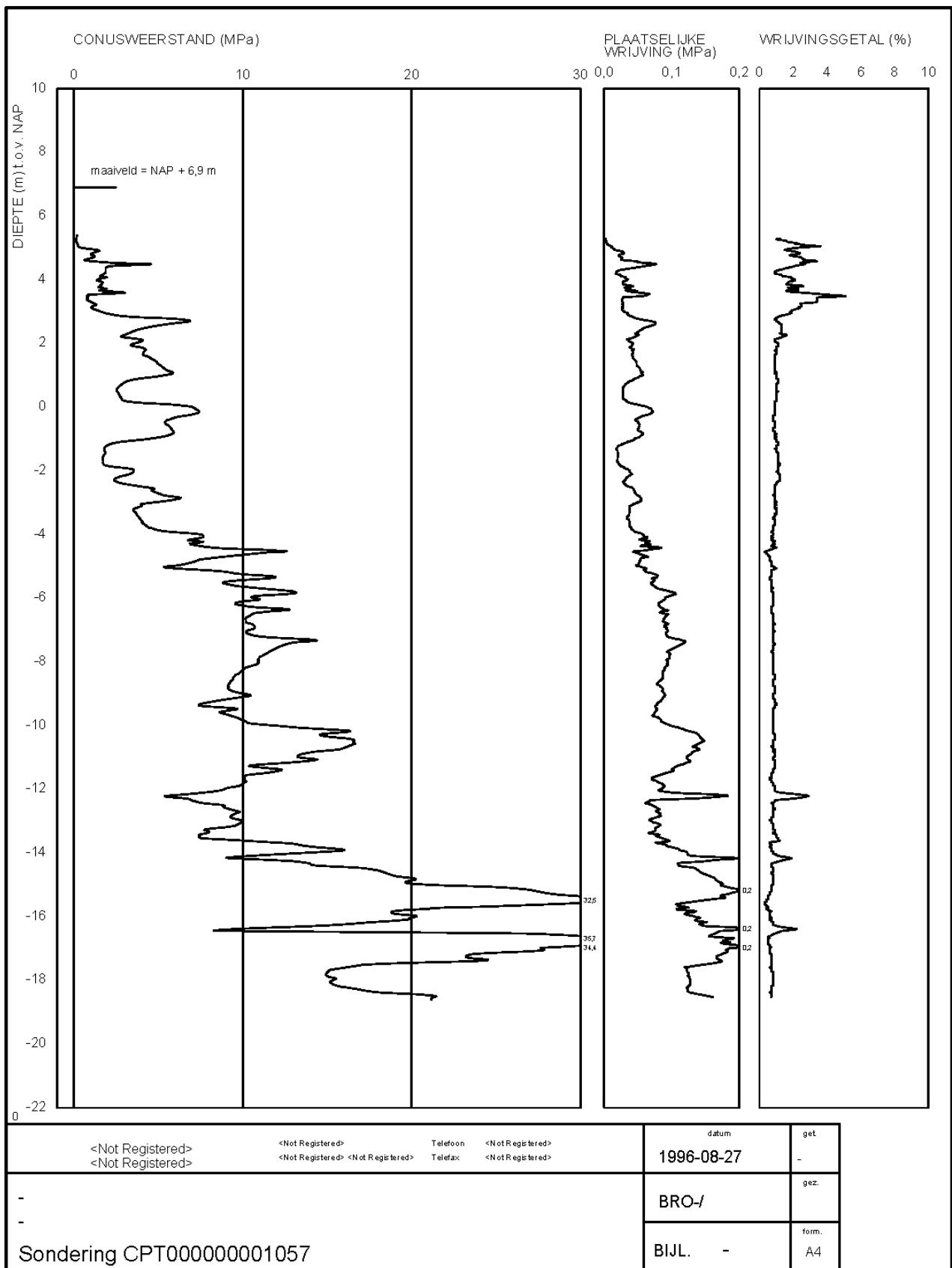
## Boormonsterprofiel



*Figuur 9 Boring in het onderzoeksgebied*

Een representatieve sondering uit het onderzoeksgebied, waarin onder meer de conusweerstand te zien is, is weergegeven in Figuur 10. Ook hier is te zien dat sprake is van zandlagen (laag wrijvingsgetal), met bovenin wat kleiachtige lagen (hoger wrijvingsgetal).





Figuur 10 Sondering nabij het onderzoeksgebied



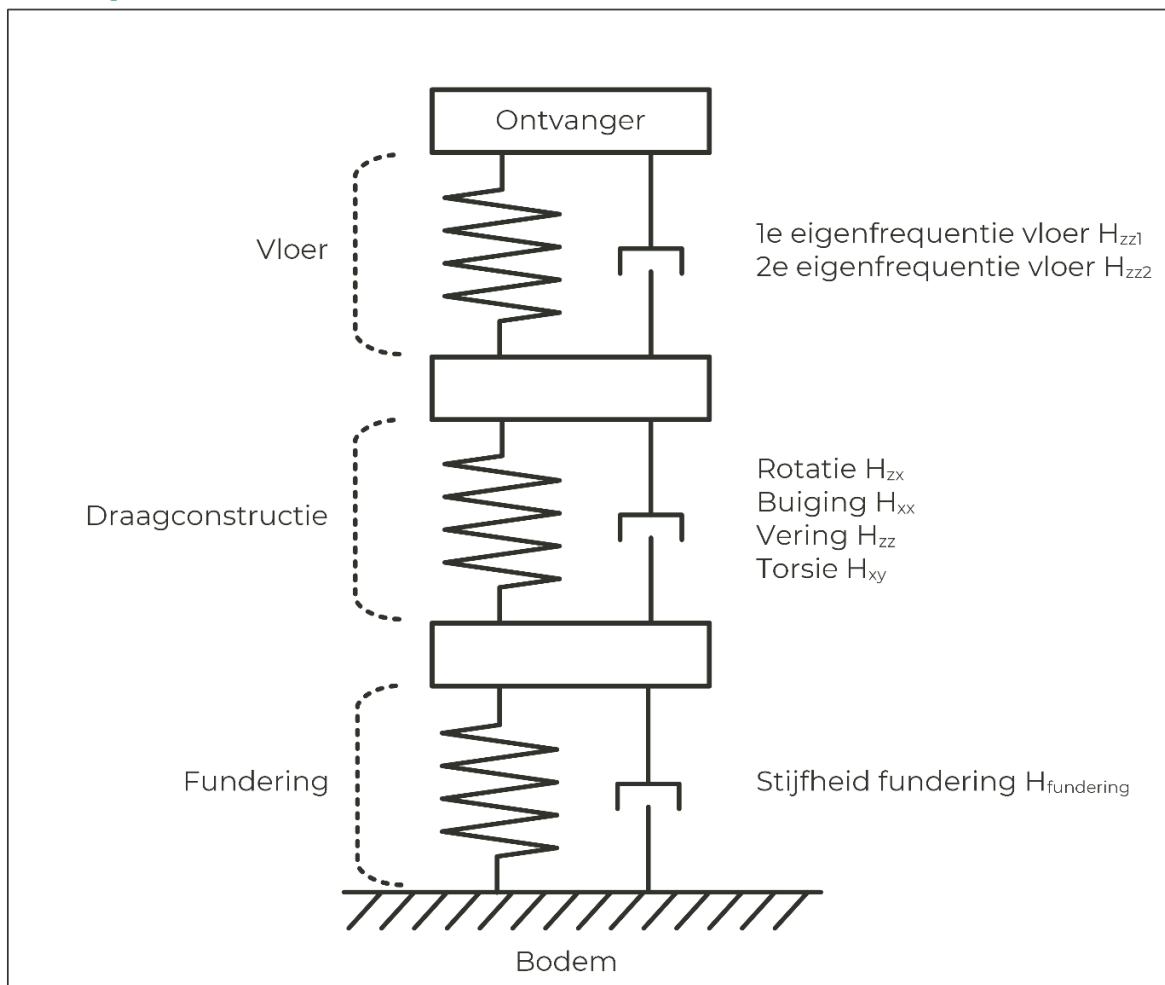
## REKENMODEL

In dit onderzoek is gebruik gemaakt van het rekenmodel Buildyn om de trillingen in de geplande bebouwing te berekenen. In Buildyn wordt de dynamische responsie van een gebouw berekend met behulp van een beam-element model (BEM). Buildyn is met behulp van een slim algoritme gekalibreerd met meer dan 600 praktijkmetingen. Uit evaluatiemetingen blijkt dat het model hierdoor een nauwkeurigheid heeft die vrijwel altijd significant beter is dan een Eindige Elementenmodel. Dat komt doordat de resultaten van het Buildyn-model gebaseerd zijn op werkelijke (as-built) data, terwijl een Eindige Elementenmodel zeer gevoelig is voor de gebruikte input t.a.v. bijv. demping en stijfheden. Qua detailniveau, zoals omschreven in de *Handreiking Nieuwbouw en Spoortrillingen* (Tabel 10.3), gaat het om een model op niveau IV: een 3D-model, mits lokale onderdelen (zoals uitkragingen) zijn mee gemodelleerd omdat de empirische praktijkdata hierop minder nauwkeurig is.

In Buildyn wordt een gebouw gemodelleerd door middel van gekoppelde massa-veersystemen, zie Figuur 11. De verschillende componenten van het model, zoals weergegeven aan de rechterzijde van Figuur 11, 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

WB



Figuur 11 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 of 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.

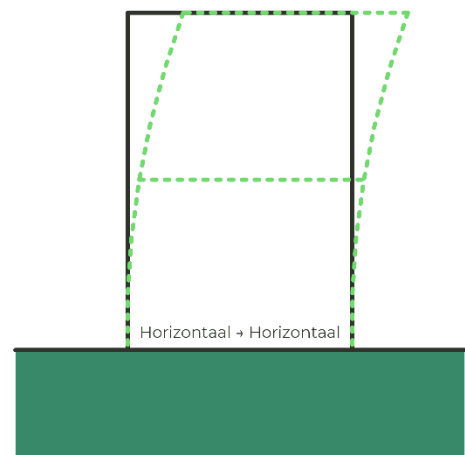
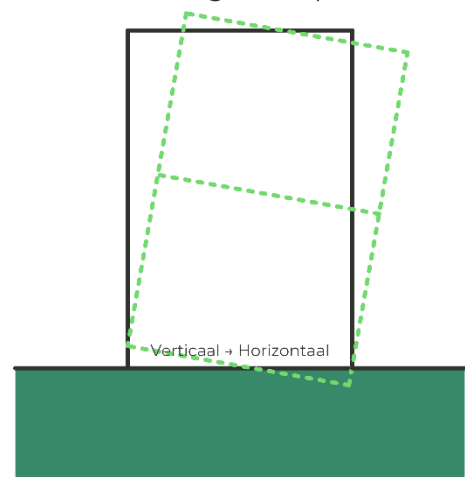
Dit effect noemen we  $H_{zx}$ , en is afhankelijk van:

- 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

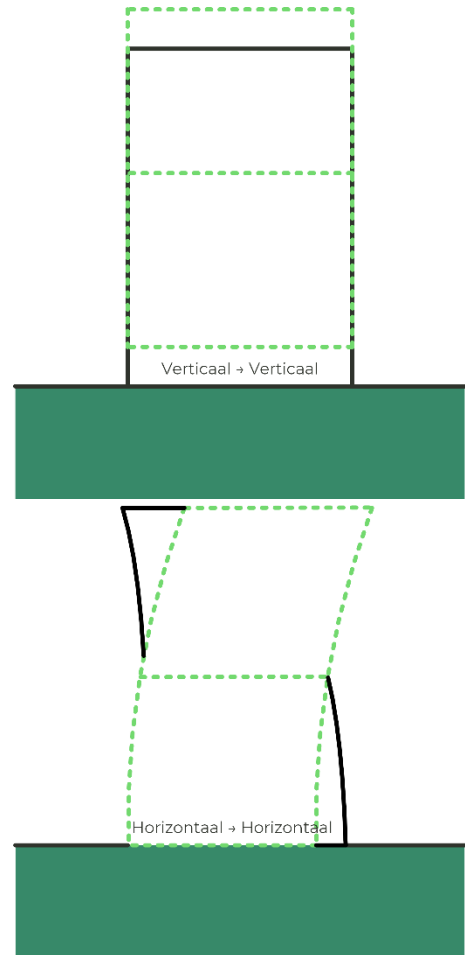


Het derde principe, dat van vering van het gebouw op zijn fundatie, is rechts weergegeven. Dit principe speelt vooral een rol bij wat hogere gebouwen, of bij gebouwen met een slappe onderlaag of lokaal slappere elementen (denk aan kolommen en balkenstructuren). Dit effect noemen we  $H_{zz}$ , en is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



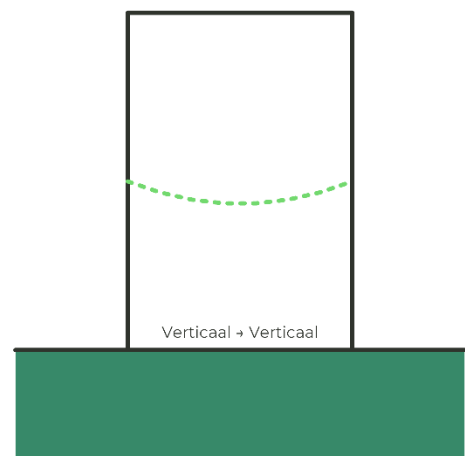
## VLOEREN

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

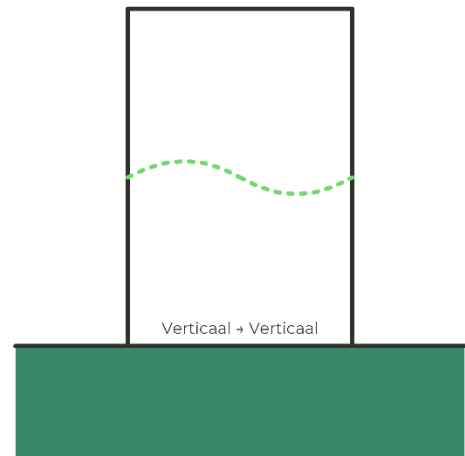




Bij de tweede buigmodus van de vloer (bij de tweede eigenfrequentie) zijn de trillingen maximaal op ongeveer  $\frac{1}{4}$  van het vloerveld, zie de principeschets rechts.

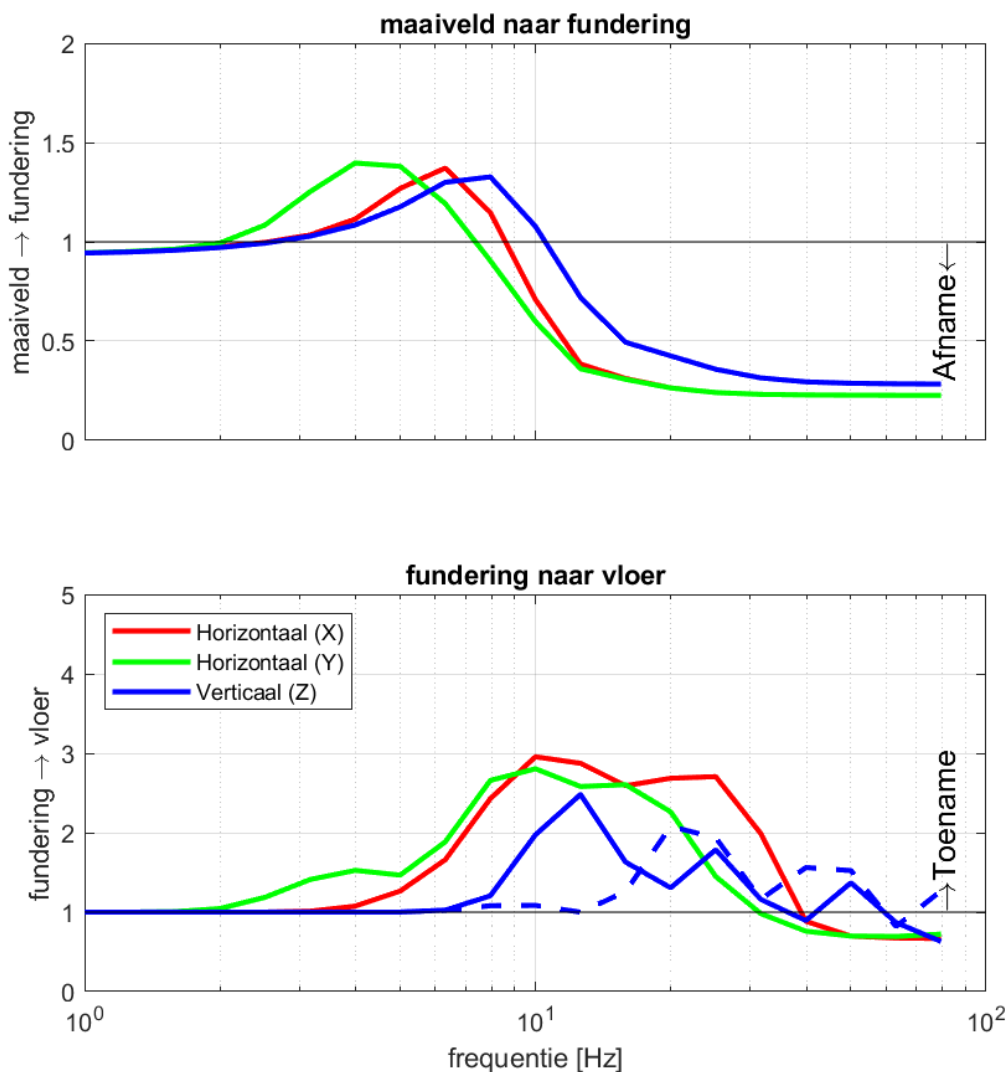
Dit effect noemen we  $H_{zz2}$ , en is afhankelijk van dezelfde parameters als  $H_{zz1}$ .

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



## RESULTATEN

Ter illustratie zijn de resultaten uit de Buildyn-berekeningen voor het maatgevende punt op de hoogste verdieping van een rijwoning dichtbij het spoor weergegeven in Figuur 16.

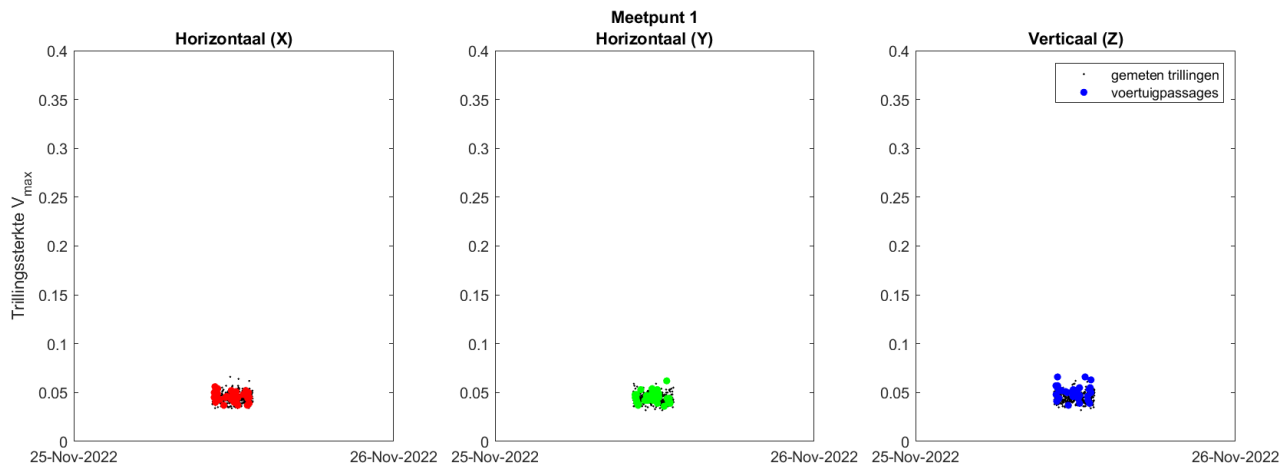


Figuur 12 Buildyn-resultaten voor bovenste verdieping bij rijwoning. Doorgaande lijn verticaal is midden vloer, onderbroken lijn is op  $\frac{1}{4}$  en  $\frac{3}{4}$  van overspanning

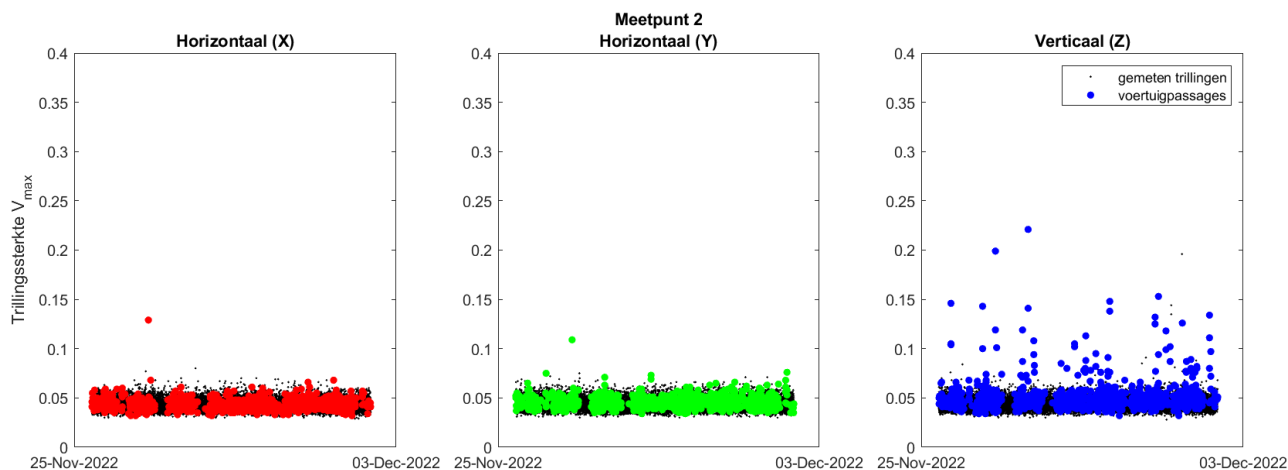


# RESULTATEN METINGEN

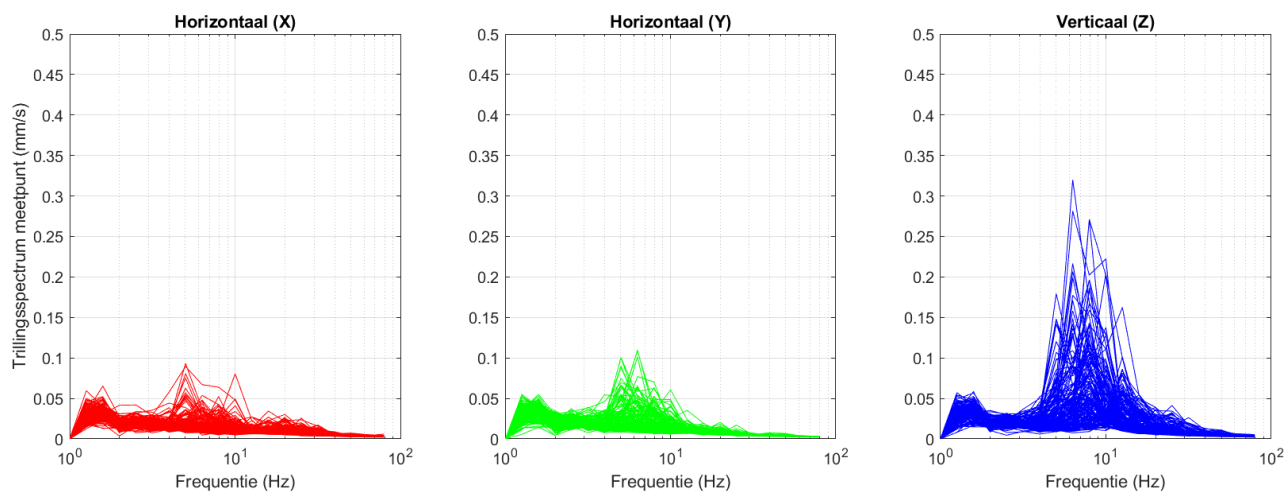
Deze bijlage bevat de resultaten van de metingen van Alcedo. Per meetpunt zijn de gemeten trillingen en de tertsbandspectra per treinpassage weergegeven.



Figuur 13 Gemeten trillingen bij meetpunt 1 (fundering, westzijde plangebied)



Figuur 14 Gemeten trillingen bij meetpunt 2 (fundering, oostzijde plangebied)



Figuur 15 Tertsbandspectra bij meetpunt 2

