

26 januari 2022 - Versie 1.0

## Autorisatieblad

### Deventer Colmschate

#### Trillingsonderzoek ten behoeve van bestemmingsplan

|                    | <b>Naam</b>    | <b>Akkoord</b> | <b>Datum</b> |
|--------------------|----------------|----------------|--------------|
| Opgesteld door     | Gardien, W     | ✓              | 25-01-2022   |
| Gecontroleerd door | Gasparotto, K  | ✓              | 26-01-2022   |
| Vrijgegeven door   | Wijnands, MNJH | ✓              | 26-01-2022   |

Op dit autorisatieblad ontbreken de handtekeningen wegens de digitale verwerking van ons vrijgaveproces. Dit rapport is aantoonbaar vrijgegeven.

#### Versie historie

| <b>Versie</b> | <b>Naam</b>          | <b>Datum</b> | <b>Korte toelichting</b>     |
|---------------|----------------------|--------------|------------------------------|
| 0.1           | Wybo Gardien         | 13-9-2021    | 1 <sup>e</sup> concept       |
| 0.2           | Kareen<br>Gasparotto | 13-9-2021    | interne controle             |
| 0.3           | Wybo Gardien         | 14-9-2021    | verwerking intern commentaar |
| 0.4           | Wybo Gardien         | 14-9-2021    | concept naar klant           |

## Samenvatting

Voor de ruimtelijke onderbouwing van het bestemmingsplan is een trillingsonderzoek uitgevoerd waarin is onderzocht hoe het plan gerealiseerd kan worden, en welke maatregelen daarbij nodig zijn om de hinder van trillingen tot een acceptabel niveau terug te brengen.

Uit de analyse volgt:

- Zonder maatregelen wordt in het plangebied niet aan de streefwaarden voor nieuwe situatie voldaan.
- Vanaf ca. 45 meter afstand wordt voldaan aan de streefwaarden voor bestaande situaties.
- Met het afveren van de gebouwen op standaard stalen veren is het mogelijk om in het hele plangebied te voldoen aan de streefwaarden voor bestaande situatie, en vanaf ca. 60 meter ook aan de streefwaarden voor nieuwe situatie.
- Als er speciale stalen veren met extra demping worden toegepast, dan wordt in alle woningen in het plangebied voldaan aan de streefwaarden voor nieuwe situaties.

### Aanbevelingen

Uit het onderzoek volgt dat het mogelijk is om met het afveren van de gebouwen op stalen veren aan de streefwaarden voor bestaande situaties en nieuwe situaties te voldoen. We bevelen aan om in de verdere uitwerking van het plan de doelmatigheid en kosteneffectiviteit van de maatregelen te onderzoeken, en op basis daarvan te besluiten welke maatregelen er per gebouw getroffen worden.

## Inhoudsopgave

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Samenvatting</b>   | <b>1</b>  |
| <b>1 -Inleiding</b>   | <b>4</b>  |
| 1.1 Aanleiding  | 4         |
| 1.2 Vraag   | 4         |
| 1.3 Aanpak  | 4         |
| 1.4 Leeswijzer  | 4         |
| <b>2 Situatiebeschrijving en uitgangspunten</b>                   | <b>6</b>  |
| 2.1 Inleiding   | 6         |
| 2.2 Omgeving  | 6         |
| 2.3 Bouwlocatie   | 7         |
| 2.4 Geplande bebouwing  | 7         |
| 2.5 Uitgangspunten  | 8         |
| <b>3 Beoordelingskader</b>  | <b>9</b>  |
| 3.1 Handreiking nieuwbouw   | 9         |
| 3.1.1. <i>Afwegingsruimte</i>                                     | 10        |
| 3.2 SBR-B richtlijn   | 10        |
| 3.3 Grootheden  | 10        |
| 3.4 Streefwaarden   | 10        |
| 3.4.1. <i>Nieuwe of bestaande situatie</i>                        | 11        |
| 3.4.2. <i>Periode gedurende de dag</i>                            | 11        |
| 3.4.3. <i>Gebouwfunctie</i>                                       | 11        |
| 3.5 Beoordeling in huidige onderzoek                              | 12        |
| <b>4 Meetresultaten</b>   | <b>13</b> |
| 4.1 Inleiding   | 13        |
| 4.2 Bepaling bodemdemping   | 13        |
| 4.3 Meetresultaten treinverkeer                                   | 13        |
| <b>5 Trillingsprognose</b>  | <b>15</b> |
| 5.1 Prognosemethode   | 15        |
| 5.2 Uitgangspunten prognose                                       | 15        |
| 5.3 Prognose trillingen zonder maatregelen                        | 17        |
| 5.4 Trillingsreducerende maatregelen                              | 18        |
| 5.4.1. <i>Afveren op stalen veren</i>                             | 19        |
| 5.4.2. <i>Maatregel afveren op stalen veren met extra demping</i> | 20        |
| 5.5 Maatregelafweging   | 22        |
| 5.6 Prognose waarde $V_{per}$                                     | 22        |
| <b>6 Conclusie en aanbevelingen</b>                               | <b>24</b> |
| 6.1 Aanbevelingen   | 24        |
| <b>Colofon</b>  | <b>26</b> |

## Bijlage I Gegevens metingen

# 1 -Inleiding

## 1.1 Aanleiding

Janssen de Jong Projectontwikkeling ontwikkelt in Deventer Colmschate woningen aan de Stationsweg. Dit gebied ligt langs de spoorlijn Deventer-Almelo. Op basis van de afstand tot het spoor is trillingshinder in de toekomstige gebouwen in het plangebied niet uit te sluiten. In een eerder stadium is onderzocht welke trillingen er in het gebied te verwachten zijn<sup>1</sup>. De resultaten daarvan wijzen op overschrijdingen van de normen voor trillingshinder volgens de SBR B-Richtlijn.

Om de inrichting van het plan opnieuw te ontwerpen, heeft Movares bepaald vanaf welke afstand bouwen mogelijk is, en welke zwaarte van maatregelen daarbij nodig is. Dit heeft geresulteerd in een trillingsonderzoek waarin met zonekaartjes is aangegeven welke zwaarte van maatregelen op welke afstand nodig is<sup>2</sup>.

De inrichting van het plangebied is nu opnieuw ontworpen op basis van de zonekaartjes, en de omgevingsdienst IJsselland heeft laatste het trillingsonderzoek beoordeeld. De omgevingsdienst schrijft in de beoordeling dat het voor de ruimtelijke onderbouwing van belang is de Handreiking Nieuwbouw en Spoortrillingen te volgen. Er zijn aanvullende berekeningen per woningtype noodzakelijk om vast te kunnen stellen welke doelmatige en/of kosteneffectieve maatregelen hier mogelijk zijn om de trillingssterkte in woningen te beperken.

## 1.2 Vraag

Voor de ruimtelijke onderbouwing van het bestemmingsplan vraagt u ons om een trillingsonderzoek waarin wordt aangetoond dat het plan gerealiseerd kan worden, en welke maatregelen daarbij nodig zijn om de hinder van trillingen tot een acceptabel niveau terug te brengen.

## 1.3 Aanpak

Onze aanpak bestaat uit een prognose van de trillingen in het plangebied per woning/bouwblok. Per woning/bouwblok bepalen we ook het effect van trillingsreducerende maatregelen.

Trillingen van spoorverkeer zijn locatie specifiek. Wij hebben daarom de volgende aanpak gevolgd:

1. Uitvoeren van een trillingsmeting ter plaatse van (een deel van) het plangebied aan de fundering van bestaande gebouwen. Deze metingen geven het meest betrouwbare beeld van trillingen die op funderingsniveau van de bebouwing te verwachten zijn. Deze metingen zijn een aanvulling op de eerder uitgevoerde trillingsmetingen<sup>1</sup>.
2. Het maken van een prognose van trillingsniveaus op basis van de beschikbare bouwgegevens, verschillende typen maatregelen en de resultaten van de metingen.

## 1.4 Leeswijzer

De situatiebeschrijving is weergegeven in hoofdstuk 2. Het beoordelingskader voor trillingsschade staat beschreven in hoofdstuk 3. In hoofdstuk 4 zijn de meetresultaten

<sup>1</sup> D90-CLO-KA-1900009 Trillingsonderzoek Stationsweg Deventer Colmschate / Proj.nr. MN000265 / Vrijgegeven / Versie 1.0 / 5 november 2019

<sup>2</sup> D79-WGA-KA-2100024 Trillingsonderzoek Deventer Colmschate, Maatregelzones/ Proj.nr. MN000265 / Vrijgegeven / Versie 1.0 / 8 juni 2021

weergegeven. Hoofdstuk 5 bevat de resultaten van de trillingsprognose. De conclusies staan in Hoofdstuk 6.

## 2 Situatiebeschrijving en uitgangspunten

### 2.1 Inleiding

Dit hoofdstuk bevat een beschrijving van de meetlocatie en de uitgangspunten voor het onderzoek.

### 2.2 Omgeving

De onderzoekslocatie bevindt zich ten zuiden van de spoorlijn Deventer – Almelo. De spoorlijn wordt zowel door reizigers- als door goederenverkeer gebruikt. Een situatieschets van de geplande bebouwing staat in Figuur 2-1. De kortste afstand van de woningen tot het spoor is 34 meter.



**Figuur 2-1** *Situatieschets van de geplande bebouwing*

De rijksnelheden van het treinverkeer zijn weergegeven in Tabel 2-1, en gebaseerd op gegevens uit het *Geluidregister Spoor*.

**Tabel 2-1** *Rijksnelheden treinverkeer*

| Corridor          | Type trein                            | Snelheid         |
|-------------------|---------------------------------------|------------------|
| Deventer – Almelo | Doorgaande treinen (intercity)        | 100 tot 140 km/h |
| Deventer – Almelo | Stoppende reizigerstreinen (sprinter) | 40 tot 80 km/h   |
| Deventer – Almelo | Goederentreinen                       | 100 km/h         |



Het aantal treinen gedurende dag, avond en nacht is weergegeven in Tabel 2-2. Deze intensiteiten zijn gebaseerd op de NS dienstregeling, en op de geregistreerde treinpassages gedurende de metingen.

**Tabel 2-2** *Intensiteiten treinverkeer per uur per richting*

| Treintype en verbinding    | Dag<br>(7:00 – 19:00) | Avond<br>(19:00 – 23:00) | Nacht<br>(23:00 – 7:00) |
|----------------------------|-----------------------|--------------------------|-------------------------|
| Intercity                  | 2,00                  | 2,00                     | 0,50                    |
| Sprinter                   | 2,00                  | 2,00                     | 0,20                    |
| Internationale trein       | 0,50                  | 0,50                     | 0,00                    |
| Goederen Lelstade – Zwolle | 0,70                  | 0,60                     | 0,25                    |

Na realisatie van de woningen zullen in de nabijheid het onderzoeksgebied naar verwachting geen andere trillingsbronnen met een waarneembare trillingssterkte zijn. Andere bronnen zijn daarom niet meegenomen in dit onderzoek.

### 2.3 Bouwlocatie

De metingen zijn uitgevoerd op maaiveld en funderingsniveau bij bestaande gebouwen in het gebied. Een plattegrond van de locatie met daarop de meetlocaties is weergegeven in Figuur 2-2. Eerder zijn er metingen uitgevoerd op verschillende plaatsen op maaiveld. Vanwege de hoge gemeten waarden die bij de eerdere meting, is een tweede meting uitgevoerd waarbij ook op funderingsniveau op de gebouwen is gemeten. De tweede meting bevestigde de hoge waarden op maaiveld uit de eerdere meting.



**Figuur 2-2** *Locatie van de meetlocatie met de meetpunten van de tweede meting*

### 2.4 Geplande bebouwing

Uit het de plantekening en het presentatieboekje<sup>3</sup> volgen de globale eigenschappen van de gebouwen. De toegepaste beukmaten zijn 5.1, 5.4 en 6.0 m, en de meeste woningen hebben 2 of 3 woonlagen.

## 2.5 Uitgangspunten

### *Handreiking Nieuwbouw en Spoortrillingen 2019*

De Handreiking Nieuwbouw en Spoortrillingen helpt gemeenten, projectinitiatiefnemers en andere stakeholders om bij nieuwbouw langs spoor tijdig en concreet rekening te houden met trillingen van het spoor als gevolg van treinverkeer. De Handreiking biedt houvast en handvatten om trillingshinder voor bewoners en gebruikers zoveel mogelijk te voorkomen. De handreiking is geen beoordelingskader. Voor de beoordeling van trillingshinder verwijst de handreiking naar de SBR richtlijnen.

### *SBR richtlijnen*

In dit onderzoek beschouwen wij trillingshinder. Voor trillingshinder baseren wij ons op de in Nederland meest gebruikte richtlijn voor het beoordelen van trillingshinder, de SBR B-richtlijn. De SBR-B richtlijn geeft voor verschillende situaties trillingen streefwaarden voor trillingen.

---

<sup>3</sup> Stationsweg Deventer, situatie voorstel – 23-06-2021, IM architecten.

### 3 Beoordelingskader

#### 3.1 Handreiking nieuwbouw

De Handreiking Nieuwbouw en Spoortrillingen helpt gemeenten, projectinitiatiefnemers en andere stakeholders om bij nieuwbouw langs spoor tijdig en concreet rekening te houden met trillingen van het spoor als gevolg van treinverkeer. De Handreiking biedt houvast en handvatten om trillingshinder voor bewoners en gebruikers zoveel mogelijk te voorkomen.

De handreiking biedt handelingsperspectief en is opgezet vanuit een structuur van stappen en fasen in een ontwikkeling. De handreiking geeft voorbeelden waarmee gemeenten, omgevingsdiensten, ingenieursbureaus en projectinitiatiefnemers in concrete situaties aan de slag kunnen. Er worden in deze handreiking geen nieuwe eisen gesteld; uitgangspunt is de bestaande regelgeving. De handreiking legt uit wat de huidige mogelijkheden zijn en hoe deze kunnen worden ingezet. Goede samenwerking en overleg tussen initiatiefnemer en gemeente is daarbij van groot belang.

De handreiking maakt onderscheid tussen de verschillende fasen waarin een nieuwbouwinitiatief zich bevindt:

1. De totstandkoming van een visie, zoals een structuurvisie
2. De initiatieffase van een nieuwbouwproject
3. De totstandkoming van een bestemmingsplan dat beoogt de realisatie van een nieuwbouwontwikkeling mogelijk te maken
4. De voorbereiding en behandeling van een omgevingsvergunning bouwen en planologisch afwijken van het bestemmingsplan, waarmee de start van de daadwerkelijke realisatie van een nieuwbouwontwikkeling wordt beoogd
5. De realisatiefase, waarin wordt gebouwd.

Dit onderzoek wordt uitgevoerd ten behoeve van de totstandkoming van een bestemmingsplan (fase 3 uit bovenstaande opsomming). In hoofdstuk 5 van de handreiking is voor deze fase het volgende stroomschema opgenomen.

1. Bevinden zich binnen het plangebied van het in voorbereiding zijnde bestemmingsplan één of meerdere spoorwegen?  
*Ja*
2. Geeft het in voorbereiding zijnde bestemmingsplan de mogelijkheid om binnen een zone van minder dan 100 meter tot een spoorweg nieuwbouw te realiseren?  
*Ja*
  - Aanbevolen wordt om een aandachtszone vast te leggen in de planregels van het bestemmingsplan.  
*Het gehele plangebied ligt in de aandachtszone*
  - Aanbevolen wordt om een quick scan trillingshinder uit te voeren.  
*Uit de quick scan volgt dat er risico is op trillingshinder. Eerder uitgevoerde onderzoeken geven aan dat er risico is op trillingshinder.*
3. Geven de conclusies uit een quick scan trillingshinder aanleiding om een vervolgonderzoek te doen en/of specifieke maatregelen ter voorkoming van trillingshinder in nieuwbouw te treffen?  
*Ja, het onderhavige rapport betreft het vervolgonderzoek*

### 3.1.1. Afwegingsruimte

Bij een bestemmingsplan kan in de regels van de bestemming wonen een voorwaardelijke verplichting worden opgenomen voor het treffen van trillingsreducerende maatregelen. Hieronder is een voorbeeld van de gemeente Utrecht weergegeven.

#### *Voorwaardelijke verplichting trillingen*

- a) *Het bouwen van bouwwerken voor de functie wonen conform artikel 7.1 sub a is uitsluitend toegestaan wanneer minimaal uit een dynamische berekening van de trillingssterkte blijkt dat de streefwaarden voor Wonen nieuwe situatie, zoals bedoeld in Richtlijn deel B van StichtingBouwresearch, niet worden overschreden.*
- b) *In afwijking van de regel onder a is het bouwen van bouwwerken voor de functie wonen conform artikel 7.1 sub a ook toegestaan op voorwaarde dat alle doelmatige en kosteneffectieve maatregelen om de trillingssterkte te verminderen worden getroffen en uit een dynamische berekening blijkt dat tenminste de streefwaarden voor Wonen in bestaande situatie, zoals bedoeld in Richtlijn deel B van Stichting Bouwresearch, niet worden overschreden.*

In een trillingsonderzoek betekent dit, dat er een onderzoek naar maatregelen dient plaats te vinden als er niet wordt voldaan aan de SBR-B streefwaarden voor nieuwe situaties. Deze maatregelen dienen er minimaal voor te zorgen dat er aan de streefwaarden voor bestaande situaties wordt voldaan. Als de streefwaarden voor nieuwe situaties worden overschreden, dienen alle doelmatige en kosteneffectieve maatregelen te worden getroffen om de trillingen zo veel mogelijk te beperken.

### 3.2 SBR-B richtlijn

Op basis van langdurige ervaring met trillingen langs het spoor is hinder als gevolg van passerende treinen mogelijk bij dergelijke afstanden tot het spoor. Er is in dit onderzoek daarom ook beoordeeld op de SBR B-richtlijn.

### 3.3 Grootheden

Conform de SBR B-richtlijn worden twee grootheden bepaald:

1. De trillingssterkte  $V_{max}$ . Dit is een dimensieloze indicatie van de maximaal ervaren trillingen gedurende de meetperiode, de zogenaamde pieksterkte van de trillingen. Deze grootheid wordt bepaald per 30 seconden, zie par. 9.2 en 9.3 van de SBR B-richtlijn. Van al deze maximale waarden per 30 seconden wordt de maximale waarde bepaald, de  $v_{eff, max}$ . Vervolgens wordt, op basis van de vijftien hoogst gemeten waarden een statistische berekening uitgevoerd met als resultaat de trillingssterkte die niet wordt overschreden door 95 procent van de passerende treinen, de  $V_{max}$ . Deze trillingssterkte is beoordeeld op de streefwaarden uit de SBR B-richtlijn;
2. De trillingsintensiteit  $V_{per}$ , een dimensieloze indicatie van het tijdsgemiddelde van de trillingen. Deze grootheid wordt bepaald door het kwadratisch gemiddelde te nemen van de maximale trillingssterkte per 30 seconden indien deze boven de drempelwaarde van 0.1 uitkomt. Trillingsnelheden onder de 0.1 zijn niet of nauwelijks voelbaar en worden niet meegenomen in de bepaling van  $V_{per}$ . Het kwadratisch gemiddelde wordt vervolgens gecorrigeerd voor de tijd waarin de trillingsnelheden boven de 0.1 uitkomen, zie ook par. 9.8 van de SBR B-richtlijn.

### 3.4 Streefwaarden

De SBR B-richtlijn kent drie types streefwaarden:

1. A1, de onderste streefwaarde voor de trillingssterkte  $V_{max}$ ;
2. A2, de bovenste streefwaarde voor de trillingssterkte  $V_{max}$ ;
3. A3, de streefwaarde voor de trillingsintensiteit  $V_{per}$ .

De hoogte van de streefwaarden is afhankelijk van een aantal criteria:

1. Of er sprake is van een nieuwe of bestaande situatie;
2. Periode gedurende de dag;
3. Gebouwfunctie.

De verschillende criteria worden hieronder toegelicht.

#### 3.4.1. Nieuwe of bestaande situatie

In de SBR B-richtlijn wordt onderscheid gemaakt tussen nieuwe en bestaande situaties, waarbij de streefwaarden voor nieuwe situaties strenger zijn dan voor bestaande situaties. Omdat het om nieuwe gebouwen gaat langs een bestaande spoorlijn, wordt het onderzoeksgebied beoordeeld als nieuwe situatie, zie par. 10.3 van de SBR B-richtlijn. Voor de afweging van trillingsreducerende maatregelen wordt echter ook getoetst aan de streefwaarden voor bestaande situaties. Dit sluit aan bij paragraaf 3.1.1.

#### 3.4.2. Periode gedurende de dag

De SBR B-richtlijn maakt daarnaast onderscheid tussen dag, avond en nacht. Hierbij geldt dat de streefwaarden van de trillingssterktes gedurende de nacht strenger zijn dan die gedurende de dag en avond. De SBR B-richtlijn kent de volgende periodes: dag (7.00 – 19.00 uur), avond (19.00 – 23.00 uur) en nacht (23.00 – 7.00 uur). De streefwaarden voor dag en avond zijn aan elkaar gelijk.

Bij metingen aan treinverkeer worden gewoonlijk de streefwaarden voor de nacht gehanteerd, omdat deze strenger zijn dan die van de dag. Deze keuze is gerechtvaardigd omdat het treinverkeer 's nachts doorgaans vergelijkbare trillingen geeft als het treinverkeer overdag.

#### 3.4.3. Gebouwfunctie

Als derde criterium wordt onderscheid gemaakt naar de functie van een gebouw. De SBR B-richtlijn kent de gebouwfuncties *Gezondheidszorg*, *Wonen*, *Kantoor*, *Bijeenkomsten* en *Kritische werkruimte*. Bij elke gebouwfunctie horen andere toegestane trillingssterktes. Op basis van deze drie criteria zijn de streefwaarden voor A1, A2 en A3 weergegeven in Tabel 3-1 en Tabel 3-2 voor nieuwe en bestaande situaties. In de beoordeling is gekeken naar gebouwen met bestemming *wonen*, zie de omkaderde waarden.

**Tabel 3-1** Streefwaarden nieuwe situatie volgens SBR B-richtlijn

| Gebouwfunctie               | Dag en avond      |     |      | Nacht |     |      |
|-----------------------------|-------------------|-----|------|-------|-----|------|
|                             | A1                | A2  | A3   | A1    | A2  | A3   |
| <i>Gezondheidszorg</i>      | 0.1 <sup>1)</sup> | 0.4 | 0.05 | 0.1   | 0.2 | 0.05 |
| <i>Wonen</i>                | 0.1               | 0.4 | 0.05 | 0.1   | 0.2 | 0.05 |
| <i>Kantoor</i>              | 0.15              | 0.6 | 0.07 | 0.15  | 0.6 | 0.07 |
| <i>Bijeenkomsten</i>        | 0.15              | 0.6 | 0.07 | 0.15  | 0.6 | 0.07 |
| <i>Kritische werkruimte</i> | 0.1               | 0.1 | --   | 0.1   | 0.1 | --   |

<sup>1)</sup> Een streefwaarde van 0.1 betekent een waarde kleiner dan 0.15

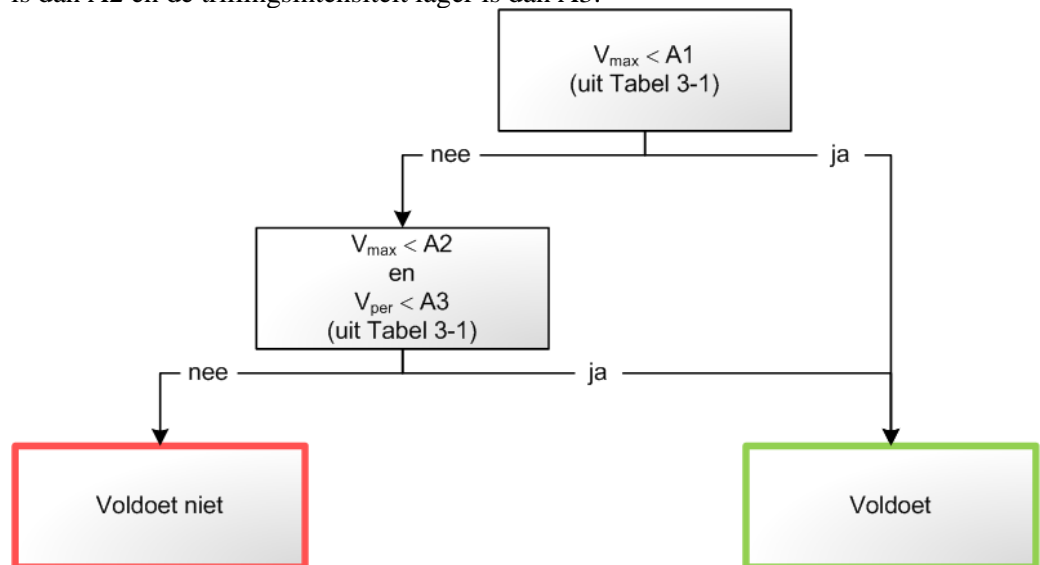
**Tabel 3-2** Streefwaarden bestaande situatie volgens SBR B-richtlijn

| Gebouwfunctie        | Dag en avond      |     |      | Nacht |     |      |
|----------------------|-------------------|-----|------|-------|-----|------|
|                      | A1                | A2  | A3   | A1    | A2  | A3   |
| Gezondheidszorg      | 0.2 <sup>1)</sup> | 0.8 | 0.1  | 0.2   | 0.4 | 0.10 |
| Wonen                | 0.2               | 0.8 | 0.1  | 0.2   | 0.4 | 0.10 |
| Kantoor              | 0.3               | 1.2 | 0.15 | 0.3   | 1.2 | 0.15 |
| Bijeenkomsten        | 0.3               | 1.2 | 0.15 | 0.3   | 1.2 | 0.15 |
| Kritische werkruimte | 0.1               | 0.1 | ---  | 0.1   | 0.1 | ---  |

<sup>1)</sup> Een streefwaarde van 0.2 betekent een waarde kleiner dan 0.25

3.5 Beoordeling in huidige onderzoek

Om te beoordelen of een situatie voldoet, dient het schema in Figuur 3-1 te worden doorlopen. Een locatie voldoet aan het beoordelingskader wanneer de trillingssterkte lager is dan A1. Een tweede mogelijkheid om te voldoen is als de trillingssterkte lager is dan A2 en de trillingsintensiteit lager is dan A3.



**Figuur 3-1** Stroomschema beoordeling nieuwe situatie in SBR B-richtlijn

## 4 Meetresultaten

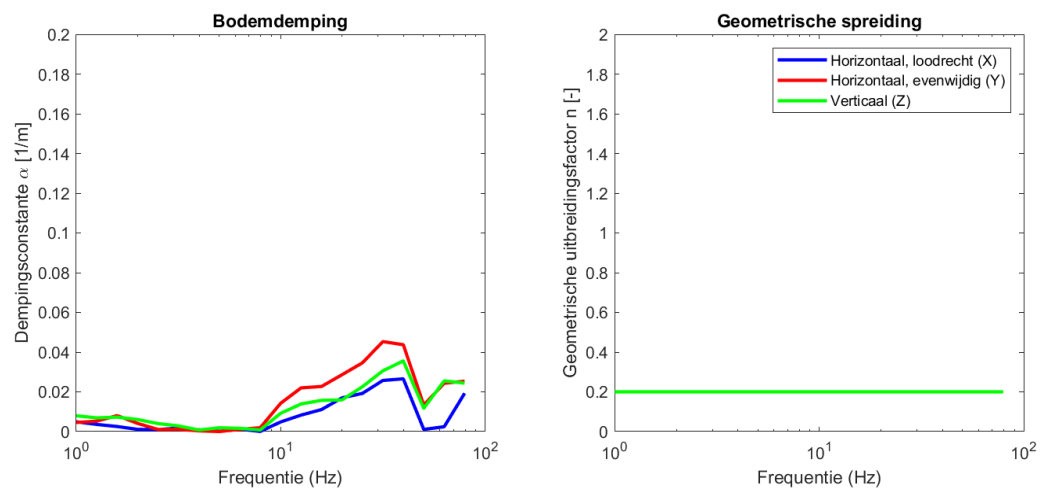
### 4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de aanvullende metingen beschreven. De eerder uitgevoerde metingen<sup>1</sup> zijn alleen op maaiveld uitgevoerd, en gaven grotere trillingen dan vooraf verwacht. Dit was aanleiding om aanvullende metingen uit te voeren. De aanvullende metingen zijn uitgevoerd aan gebouwen, en geven daarmee een accurater beeld van de te verwachten trillingen op de fundering van de nieuwbouw dan de eerder uitgevoerde metingen op maaiveld. Bij de aanvullende metingen zijn tevens opnieuw de trillingen op maaiveld gemeten, en die bevestigden de hoge gemeten trillingen van de eerder uitgevoerde metingen. De metingen zijn voor de volgende doeleinden gebruikt:

1. Bepaling van de bodemdemping, om de afname van trillingen met de afstand tot het spoor te bepalen
2. Een lange meting met meetpunten op de fundering, om de variatie van de trillingen over de tijd vast te stellen. Op deze manier ontstaat een representatief beeld van de trillingen over een looptijd van een week.

### 4.2 Bepaling bodemdemping

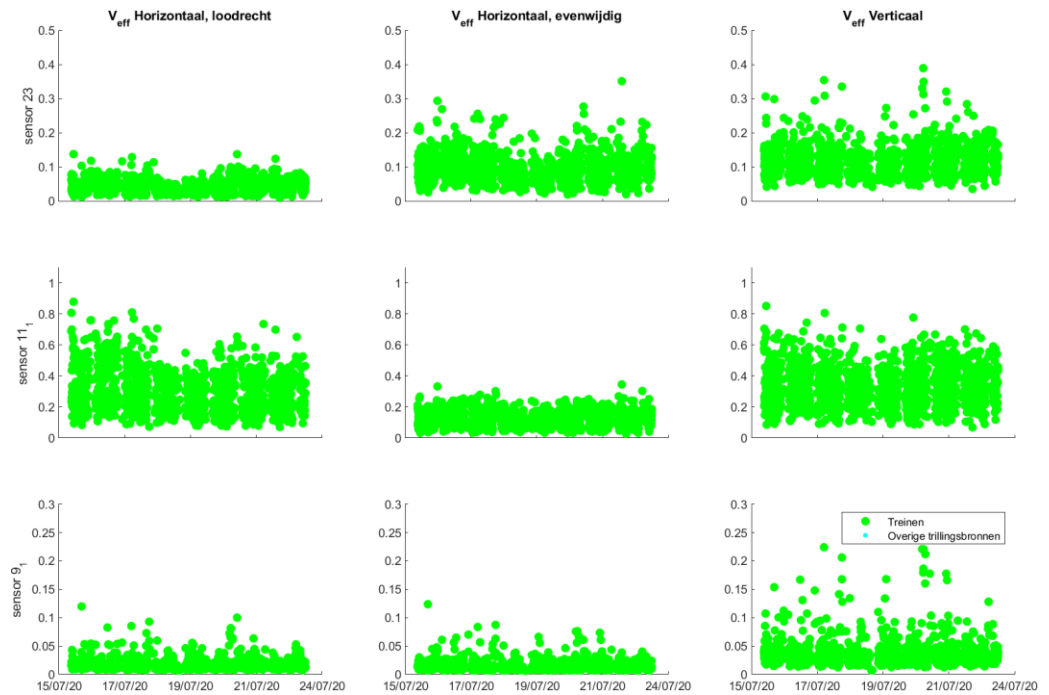
In Figuur 4-1 zijn de dynamische bodemeigenschappen weergegeven. Deze zijn bepaald aan de hand van de gemeten 40 zwaarste treinpassages op de fundering in de meetperiode. Links is de bodemdemping weergegeven, waarbij de geometrische uitbreidingsfactor is vastgesteld op een waarde van 0,2. Hierin is te zien dat er beneden een frequentie van 10Hz nauwelijks sprake is van bodemdemping. Ook voor frequenties boven 10 Hz blijft de bodemdemping beperkt. Dit heeft te maken met de stijve grondslag.



**Figuur 4-1** Bodemdemping en geometrische spreiding

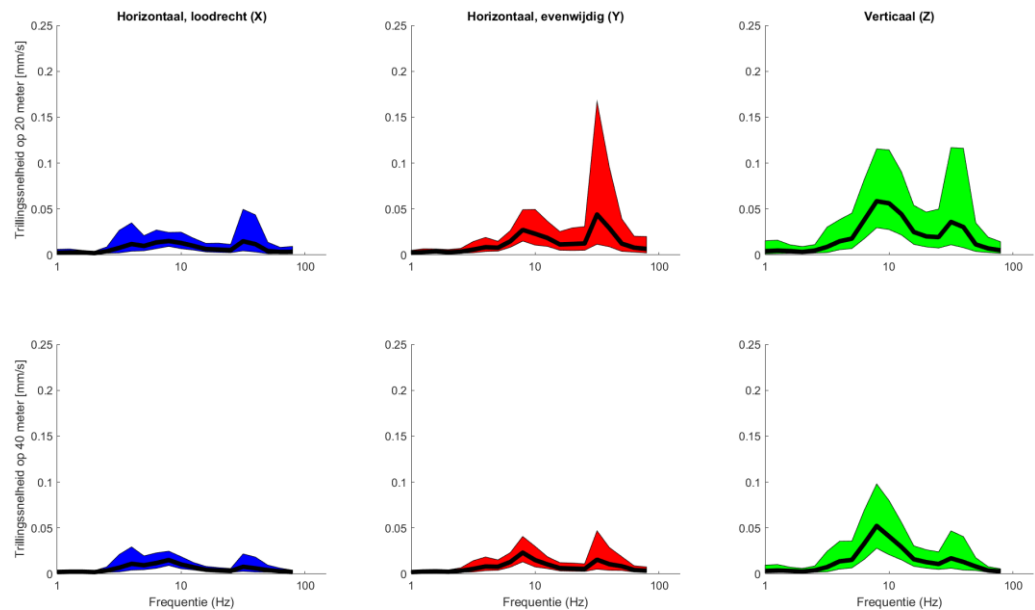
### 4.3 Meetresultaten treinverkeer

De trillingen van de treinpassages die gedurende de aanvullende meting zijn gemeten, staan in Figuur 4-2. Hierbij valt op dat op dat bij de Melkfabriek op funderingsniveau al trillingen worden gemeten die hoger zijn dan de SBR-B streefwaarden voor nieuwe situaties. Bij Holgerweg 93B voldoen de trillingen op funderingsniveau nog net aan de SBR-B streefwaarden voor nieuwe situaties (afgerond op 1 decimaal niet groter dan 0.2).



**Figuur 4-2 gemeten trillingen**  
*Sensor 23: fundering melkfabriek*  
*Sensor 11\_1: maaiveld voor melkfabriek*  
*Sensor 9\_1: fundering Holterweg 93B*

In Figuur 4-3 is het gemiddelde trillingspectrum van alle treinpassages weergegeven voor referentieafstanden van 20 en 40 meter van het spoor. Hierin is te zien dat het spectrum al vanaf ca. 3 Hz bijdraagt aan het trillingsniveau, en dat de verticale richting meestal maatgevend is.



**Figuur 4-3 Trillingsnelheden per richting op afstand van 20 en 40 meter.**



## 5 Trillingsprognose

Op basis van de uitgevoerde trillingsmetingen op de funderingen en theoretische overdrachten van de fundering naar de vloeren, zijn trillingen in de woningen voorspeld.

### 5.1 Prognosemethode

In Hoofdstuk 10 van de Handreiking Nieuwbouw en Spoortrillingen worden verschillende rekenmodellen benoemd die afhankelijk van de situatie toegepast kunnen worden. Het gehanteerde rekenmodel is gebaseerd op empirische en theoretische overdrachtsfactoren uit een document van VROM. De VROM methode is gevalideerd aan de hand van metingen<sup>4</sup>, en Movares heeft de methode verder verfijnd op basis van door Movares gemeten (frequentie-afhankelijke) overdrachtsfactoren. Het gebruikte rekenmodel is het best te vergelijken met een rekenmodel met detailniveau II uit de handreiking.

De handreiking beveelt rekenmodellen met detailniveau III of IV aan wanneer de trillingen mogelijk niet aan de voorschriften voldoen. Dit betreffen eindige elementen berekeningen. In dit geval leveren eindige berekeningen weinig meerwaarde op ten opzichte van het gehanteerde rekenmodel met overdrachtsfactoren om de volgende redenen:

- Er is geen model nodig voor de overdracht van maaiveldtrillingen naar trillingen op de fundering, omdat de trillingen op de fundering gemeten zijn
- De opslingering van de vloeren is gebaseerd op praktijkmetingen. Dit geeft voor de opslingering een betrouwbaarder resultaat dan eindige elementen berekeningen.
- Het betreft laagbouw en de bouwhoogte is beperkt. Eindige elementen berekeningen hebben vooral meerwaarde bij grotere gebouwen en gebouwen met een complexe geometrie.
- Vanwege het eerder geconstateerde laagfrequente karakter van de trillingen, hebben constructieve maatregelen in het gebouw slechts een beperkte invloed op de trillingen. De maatregel *afveren met stalen veren* is goed te voorspellen met theoretische overdrachtsverhoudingen.
- Er is nog geen constructief ontwerp van de gebouwen waar de eindige elementen berekeningen op gebaseerd kunnen worden.

### 5.2 Uitgangspunten prognose

De resultaten van de metingen zijn per woning gecombineerd met frequentie-afhankelijke overdrachtsverhoudingen van fundering naar vloer. De frequentie-afhankelijke overdrachtsverhoudingen zijn gebaseerd op informatie over de geplande bebouwing. Voor berekenen naar de funderingstrillingen op verschillende afstanden van het spoor zijn de gemeten trillingen frequentie-afhankelijk berekend met de *Barkanvergelijking*. De *Barkanvergelijking* gebruikt de frequentie-afhankelijke bodemdempingparameters zoals die zijn bepaald in 4.2.

Hiermee is een prognose gemaakt van de trillingssterktes op de vloeren van de gebouwen, op de locatie van elke onderscheidende woning. Uitgangspunt in de prognose is dat de woningen zijn voorzien van dragende wanden in twee richtingen.

<sup>4</sup> Rekenmodel voor de bepaling van trillingssterkte, Ministerie VROM, mei 1995, distributienummer 12462/164.

Hiermee wordt voorkomen dat de woningen in de horizontale richting gevoelig worden voor de laagfrequente trillingen die in het plangebied zijn gemeten, en daardoor gaan “zwaaien”.

In Figuur 5-1 zijn de verschillende woningtypes op de plankaart aangeduid. De eigenschappen van de corresponderende woningen zijn opgenomen in Tabel 5-1.



**Figuur 5-1 Plangebied met nummering woningtypes**

**Tabel 5-1 Eigenschappen woningtypen in plangebied**

| Type | Afstand [m] | Dak  | Hoogte [m] | Beukmaat [m] | Type vloer      | Type fundering | Dragende Wanden       |
|------|-------------|------|------------|--------------|-----------------|----------------|-----------------------|
| 1    | 34          | Punt | 8.1        | 6            | Breedplaatvloer | Staal          | stijf in 2 richtingen |
| 2    | 50          | Punt | 8.1        | 5.4          | Breedplaatvloer | Staal          | stijf in 2 richtingen |
| 2    | 55          | Punt | 8.1        | 5.4          | Breedplaatvloer | Staal          | stijf in 2 richtingen |
| 2    | 60          | Punt | 8.1        | 5.4          | Breedplaatvloer | Staal          | stijf in 2 richtingen |
| 2    | 66          | Punt | 8.1        | 5.4          | Breedplaatvloer | Staal          | stijf in 2 richtingen |
| 2    | 71          | Punt | 8.1        | 5.4          | Breedplaatvloer | Staal          | stijf in 2 richtingen |
| 2    | 77          | Punt | 8.1        | 5.4          | Breedplaatvloer | Staal          | stijf in 2 richtingen |
| 3_1  | 37          | Plat | 2.7        | 6            | Breedplaatvloer | Staal          | stijf in 2 richtingen |
| 3_2  | 37          | Plat | 5.4        | 6            | Breedplaatvloer | Staal          | stijf in 2 richtingen |
| 3_1  | 46          | Plat | 2.7        | 6            | Breedplaatvloer | Staal          | stijf in 2 richtingen |
| 3_2  | 46          | Plat | 5.4        | 6            | Breedplaatvloer | Staal          | stijf in 2 richtingen |
| 3_1  | 55          | Plat | 2.7        | 6            | Breedplaatvloer | Staal          | stijf in 2 richtingen |
| 3_2  | 55          | Plat | 5.4        | 6            | Breedplaatvloer | Staal          | stijf in 2 richtingen |
| 4    | 73          | Plat | 8.1        | 5.1          | Breedplaatvloer | Staal          | stijf in 2 richtingen |
| 5_3  | 36          | Plat | 8.1        | 5.4          | Breedplaatvloer | Staal          | stijf in 2 richtingen |
| 5_2  | 42          | Plat | 5.4        | 5.4          | Breedplaatvloer | Staal          | stijf in 2 richtingen |
| 5_2  | 47          | Plat | 5.4        | 5.4          | Breedplaatvloer | Staal          | stijf in 2 richtingen |
| 6_2  | 73          | Plat | 5.4        | 5.4          | Breedplaatvloer | Staal          | stijf in 2 richtingen |
| 6_3  | 73          | Plat | 8.1        | 5.4          | Breedplaatvloer | Staal          | stijf in 2 richtingen |
| 7    | 37          | Punt | 8.1        | 5.1          | Breedplaatvloer | Staal          | stijf in 2 richtingen |
| 8_2  | 53          | Plat | 5.4        | 5.4          | Breedplaatvloer | Staal          | stijf in 2 richtingen |

| Type | Afstand [m] | Dak  | Hoogte [m] | Beukmaat [m] | Type vloer      | Type fundering | Dragende Wanden       |
|------|-------------|------|------------|--------------|-----------------|----------------|-----------------------|
| 8_3  | 58          | Plat | 8.1        | 5.4          | Breedplaatvloer | Staal          | stijf in 2 richtingen |
| 9    | 77          | Punt | 8.1        | 6            | Breedplaatvloer | Staal          | stijf in 2 richtingen |
| 9    | 83          | Punt | 8.1        | 6            | Breedplaatvloer | Staal          | stijf in 2 richtingen |
| 10   | 37          | Punt | 8.1        | 5.4          | Breedplaatvloer | Staal          | stijf in 2 richtingen |
| 11   | 59          | Punt | 8.1        | 6            | Breedplaatvloer | Staal          | stijf in 2 richtingen |

De prognoses zijn uitgevoerd vanuit de resultaten van 2 meetposities:

1. Prognose vanuit de meting bij de woning Holterweg 93B. Deze prognose is het meest representatief voor de grotere contourafstanden, vanaf ca. 50 meter
2. Prognose vanuit de meting bij de Melkfabriek. Deze prognose is het meest representatief voor de kleinere contourafstanden, tot ca. 50 meter

De per woning aangehouden trillingssterkte  $V_{max}$  is het maximum van de prognose vanuit de Melkfabriek en Holterweg 93B (worst case benadering).

### 5.3 Prognose trillingen zonder maatregelen

Per woning is een prognose gedaan van de trillingssterkte  $V_{max}$  zonder dat er aanvullende trillingsreducerende maatregelen zijn toegepast. De trillingssterkte is beoordeeld aan de hand van de SBR-B streefwaarden voor nieuwe en bestaande situaties in de (maatgevende) nachtperiode. Om de beoordeling snel inzichtelijk te maken, houden we daarbij de arcering aan zoals weergegeven in Tabel 5-2.

De berekende trillingssterkten  $V_{max}$  zijn in Tabel 5-3 opgenomen. Uit de prognose volgt dat de trillingssterkte  $V_{max}$  in woningen tot een afstand van ca. 45 meter afstand van het spoor hoger zijn dan de streefwaarde voor bestaande situaties. In de overige woningen is de trillingssterkte  $V_{max}$  lager dan de streefwaarde  $V_{max}$  voor bestaande situaties, maar hoger dan de streefwaarde voor nieuwe situaties.

**Tabel 5-2 Arcering tabellen**

| $V_{max}^*$           | Omschrijving   |
|-----------------------|--|
| $\leq 0.2$            | Voldoet aan streefwaarde nieuwe situatie   |
| $> 0.2$ en $\leq 0.4$ | Voldoet aan streefwaarde bestaande situatie<br>Voldoet niet aan streefwaarde nieuwe situatie |
| $> 0.4$               | Voldoet niet aan streefwaarde nieuwe en bestaande situatie                                   |

\* De waarde  $V_{max}$  wordt afgerond op 1 decimaal voor de toetsing aan de streefwaarde. Een waarde  $V_{max}=0.24$  wordt afgerond naar 0,2, en voldoet nog net aan de streefwaarde voor nieuwe situatie.

**Tabel 5-3 Prognose trillingssterkte  $V_{max}$  per woning**

| Type | Afstand [m] | Hoogte [m] | Beukmaat [m] | $V_{max}$ |
|------|-------------|------------|--------------|-----------|
| 1    | 34          | 8.1        | 6            | 0.58      |
| 2    | 50          | 8.1        | 5.4          | 0.38      |
| 2    | 55          | 8.1        | 5.4          | 0.34      |
| 2    | 60          | 8.1        | 5.4          | 0.31      |
| 2    | 66          | 8.1        | 5.4          | 0.29      |
| 2    | 71          | 8.1        | 5.4          | 0.28      |
| 2    | 77          | 8.1        | 5.4          | 0.27      |
| 3_1  | 37          | 2.7        | 6            | 0.53      |

| Type | Afstand [m] | Hoogte [m] | Beukmaat [m] | Vmax |
|------|-------------|------------|--------------|------|
| 3_2  | 37          | 5.4        | 6            | 0.54 |
| 3_1  | 46          | 2.7        | 6            | 0.44 |
| 3_2  | 46          | 5.4        | 6            | 0.44 |
| 3_1  | 55          | 2.7        | 6            | 0.36 |
| 3_2  | 55          | 5.4        | 6            | 0.37 |
| 4    | 73          | 8.1        | 5.1          | 0.30 |
| 5_3  | 36          | 8.1        | 5.4          | 0.56 |
| 5_2  | 42          | 5.4        | 5.4          | 0.45 |
| 5_2  | 47          | 5.4        | 5.4          | 0.40 |
| 6_2  | 73          | 5.4        | 5.4          | 0.26 |
| 6_3  | 73          | 8.1        | 5.4          | 0.30 |
| 7    | 37          | 8.1        | 5.1          | 0.53 |
| 8_2  | 53          | 5.4        | 5.4          | 0.35 |
| 8_3  | 58          | 8.1        | 5.4          | 0.34 |
| 9    | 77          | 8.1        | 6            | 0.27 |
| 9    | 83          | 8.1        | 6            | 0.26 |
| 10   | 37          | 8.1        | 5.4          | 0.54 |
| 11   | 59          | 8.1        | 6            | 0.34 |
| 11   | 65          | 8.1        | 6            | 0.30 |
| 12   | 82          | 8.1        | 6            | 0.26 |

#### 5.4 Trillingsreducerende maatregelen

Uit Tabel 5-3 blijkt dat er in alle woningen overschrijdingen van de SBR-B steefwaarden voor nieuwe situaties te verwachten zijn, en in een aantal woningen ook voor bestaande situaties. Vanwege deze overschrijdingen, beschouwen we het effect van trillingsreducerende maatregelen.

In het onderzoek met de maatregelzones was geconstateerd dat:

- De beukmaat heeft maar beperkt invloed op de trillingen. Op de afstand waarop de woningen nu geprojecteerd zijn (34m en meer), zijn trillingen met frequenties > 10 Hz grotendeels uitgedempt.
- Het afveren van de woningen op rubber, met een afveerfrequentie van 8 Hz leidt tot een aanzienlijke toename van de trillingen. Dit komt doordat trillingen met een frequentie rond 8 Hz sterk aanwezig zijn.
- Het afveren van de woningen op stalen veren met een afveerfrequentie van 2.5 Hz, in combinatie met een demping van 5% leidt wel tot een afname van de trillingen deze afname is echter dicht bij het spoor aanzienlijk groter dan op grote afstand van het spoor.
- Op het moment dat een woning wordt afgeveerd, is de beukmaat van de woning niet meer van invloed op de trillingen.
- Er is geen verschil in de trillingen tussen een fundering op staal of een fundering op palen. Dit heeft te maken met de lage frequenties. Palen geven leiden alleen bij frequenties >10 Hz tot een reductie ten opzichte van een fundering op staal. Op de afstand waarop de nu geprojecteerd zijn (34m en meer), zijn trillingen met frequenties > 10 Hz grotendeels uitgedempt.

Naast bovengenoemde trillingsmaatregelen bij de woningen, zijn in sommige gevallen ook bron- en overdrachtsmaatregelen mogelijk. In deze situatie liggen die maatregelen niet voor de hand om de volgende redenen:

- Bronmaatregelen  
Voorbeelden van bronmaatregelen zijn maatregelen bij het spoor, zoals een aangepaste bovenbouwconstructie met ondersleeperpads of een betonplaat

onder het spoor. Ook valt te denken aan maatregelen zoals het minder hard laten rijden van treinen, of minder zware treinen laten rijden. Deze maatregelen liggen buiten de invloedssfeer van de projectontwikkelaar, en in de praktijk is ProRail niet bereid tot het treffen van deze maatregelen voor een nieuwe woningbouwlocatie.

- Overdrachtsmaatregelen

Bij overdrachtsmaatregelen valt te denken aan afscherpende constructies in de bodem. Voorbeelden hiervan zijn betonnen diepwanden in de bodem, of open sleuven in de bodem. Betonnen diepwanden dienen tot een aanzienlijke diepte te reiken (ca. 20 meter), en zijn dan vooral effectief voor frequenties > 10 Hz. Uit de metingen blijkt dat vooral frequenties van ca. 8 Hz tot voelbare trillingen leiden. Open sleuven in de bodem kunnen meer effectief zijn voor lage frequenties, maar dienen eveneens tot een aanzienlijke diepte te reiken, en zijn dan erg moeilijk te realiseren vanwege de aanwezige grondruk. Bovendien zijn diepe slappe schermen in de bodem zeer kostbaar. Om deze reden worden overdrachtsmaatregelen voor deze nieuwbouwlocatie niet beschouwd.

#### 5.4.1. Afveren op stalen veren

Vanwege bovenstaande constatering beschouwen we in dit onderzoek alleen de maatregel *afveren op stalen veren*. Voor de afveerfrequentie is 2.5 Hz aangehouden. Dit is de ondergrens van wat met stalen veren mogelijk is. Voor de relatieve demping wordt 5% aangehouden. Het resultaat staat in Tabel 5-4.

Uit de resultaten blijkt dat met deze maatregel in alle woningen aan de streefwaarde voor bestaande situaties wordt voldaan. In woningen vanaf ca. 60 meter afstand wordt tevens voldaan aan de streefwaarde voor nieuwe situaties. In de tabel is tevens aangegeven hoe effectief de maatregel is (percentage trillingsreductie). Hieruit blijkt dat de maatregel het meest effectief is in de woningen die het dichtst bij het spoor liggen.

**Tabel 5-4 Trillingsprognose  $V_{max}$  voor maatregel afveren op stalen veren**

| Type | Afstand [m] | Hoogte [m] | Beukmaat [m] | Referentie,<br>geen<br>maatregel | Afvering 2.5H, demping 5% |                        |
|------|-------------|------------|--------------|----------------------------------|---------------------------|------------------------|
|      |             |            |              | $V_{max}$                        | $V_{max}$                 | Trillings-<br>reductie |
| 1    | 34          | 8.1        | 6            | 0.58                             | 0.31                      | 47%                    |
| 2    | 50          | 8.1        | 5.4          | 0.38                             | 0.27                      | 29%                    |
| 2    | 55          | 8.1        | 5.4          | 0.34                             | 0.25                      | 26%                    |
| 2    | 60          | 8.1        | 5.4          | 0.31                             | 0.24                      | 23%                    |
| 2    | 66          | 8.1        | 5.4          | 0.29                             | 0.23                      | 21%                    |
| 2    | 71          | 8.1        | 5.4          | 0.28                             | 0.23                      | 18%                    |
| 2    | 77          | 8.1        | 5.4          | 0.27                             | 0.22                      | 19%                    |
| 3_1  | 37          | 2.7        | 6            | 0.53                             | 0.30                      | 43%                    |
| 3_2  | 37          | 5.4        | 6            | 0.54                             | 0.30                      | 44%                    |
| 3_1  | 46          | 2.7        | 6            | 0.44                             | 0.27                      | 39%                    |
| 3_2  | 46          | 5.4        | 6            | 0.44                             | 0.28                      | 36%                    |
| 3_1  | 55          | 2.7        | 6            | 0.36                             | 0.25                      | 31%                    |
| 3_2  | 55          | 5.4        | 6            | 0.37                             | 0.25                      | 32%                    |
| 4    | 73          | 8.1        | 5.1          | 0.30                             | 0.22                      | 27%                    |
| 5_3  | 36          | 8.1        | 5.4          | 0.56                             | 0.30                      | 46%                    |
| 5_2  | 42          | 5.4        | 5.4          | 0.45                             | 0.29                      | 36%                    |
| 5_2  | 47          | 5.4        | 5.4          | 0.40                             | 0.27                      | 33%                    |

| Type | Afstand [m] | Hoogte [m] | Beukmaat [m] | Referentie,<br>geen<br>maatregel | Afvering 2.5H, demping 5% |                        |
|------|-------------|------------|--------------|----------------------------------|---------------------------|------------------------|
|      |             |            |              | Vmax                             | Vmax                      | Trillings-<br>reductie |
| 6_2  | 73          | 5.4        | 5.4          | 0.26                             | 0.22                      | 15%                    |
| 6_3  | 73          | 8.1        | 5.4          | 0.30                             | 0.22                      | 27%                    |
| 7    | 37          | 8.1        | 5.1          | 0.53                             | 0.30                      | 43%                    |
| 8_2  | 53          | 5.4        | 5.4          | 0.35                             | 0.26                      | 26%                    |
| 8_3  | 58          | 8.1        | 5.4          | 0.34                             | 0.25                      | 26%                    |
| 9    | 77          | 8.1        | 6            | 0.27                             | 0.22                      | 19%                    |
| 9    | 83          | 8.1        | 6            | 0.26                             | 0.21                      | 19%                    |
| 10   | 37          | 8.1        | 5.4          | 0.54                             | 0.30                      | 44%                    |
| 11   | 59          | 8.1        | 6            | 0.34                             | 0.25                      | 26%                    |
| 11   | 65          | 8.1        | 6            | 0.30                             | 0.24                      | 20%                    |
| 12   | 82          | 8.1        | 6            | 0.26                             | 0.21                      | 19%                    |

5.4.2. *Maatregel afveren op stalen veren met extra demping*

Uit Tabel 5-4 blijkt dat met stalen veren de trillingen in de woningen aanzienlijk beperkt kunnen worden, vooral in de woningen die het dichtst bij het spoor liggen. In deze woningen is de voorspelde  $V_{max}$  echter nog steeds hoger dan de streefwaarden voor nieuwe situaties. Om te bepalen wat er nodig is om in deze woningen aan streefwaarden voor nieuwe situaties te voldoen, is het effect van extra demping bij de afvering beschouwd. Hiervoor dienen er aan het afveersysteem visceuze dempers te worden toegevoegd. Dit is geen standaard oplossing. Voor de analyse is uitgegaan van een totaal dempingspercentage van 10% ten opzichte van de kritische demping. Het resultaat van de analyse staat in Tabel 5-5. Deze maatregel leidt er toe dat er in alle woningen in het plangebied wordt voldaan aan de streefwaarden voor nieuwe situaties.

**Tabel 5-5 Trillingsprognose  $V_{max}$  voor maatregel afveren op stalen veren met 10% demping**

| Type | Afstand [m] | Hoogte [m] | Beukmaat [m] | Referentie,<br>geen<br>maatregel | Afvering 2.5H, demping 10% |                        |
|------|-------------|------------|--------------|----------------------------------|----------------------------|------------------------|
|      |             |            |              | Vmax                             | Vmax                       | Trillings-<br>reductie |
| 1    | 34          | 8.1        | 6            | 0.58                             | 0.23                       | 60%                    |
| 2    | 50          | 8.1        | 5.4          | 0.38                             | 0.20                       | 47%                    |
| 2    | 55          | 8.1        | 5.4          | 0.34                             | 0.19                       | 44%                    |
| 2    | 60          | 8.1        | 5.4          | 0.31                             | 0.18                       | 42%                    |
| 2    | 66          | 8.1        | 5.4          | 0.29                             | 0.17                       | 41%                    |
| 2    | 71          | 8.1        | 5.4          | 0.28                             | 0.17                       | 39%                    |
| 2    | 77          | 8.1        | 5.4          | 0.27                             | 0.16                       | 41%                    |
| 3_1  | 37          | 2.7        | 6            | 0.53                             | 0.22                       | 58%                    |
| 3_2  | 37          | 5.4        | 6            | 0.54                             | 0.22                       | 59%                    |
| 3_1  | 46          | 2.7        | 6            | 0.44                             | 0.21                       | 52%                    |
| 3_2  | 46          | 5.4        | 6            | 0.44                             | 0.21                       | 52%                    |
| 3_1  | 55          | 2.7        | 6            | 0.36                             | 0.19                       | 47%                    |
| 3_2  | 55          | 5.4        | 6            | 0.37                             | 0.19                       | 49%                    |
| 4    | 73          | 8.1        | 5.1          | 0.30                             | 0.17                       | 43%                    |
| 5_3  | 36          | 8.1        | 5.4          | 0.56                             | 0.23                       | 59%                    |
| 5_2  | 42          | 5.4        | 5.4          | 0.45                             | 0.21                       | 53%                    |
| 5_2  | 47          | 5.4        | 5.4          | 0.40                             | 0.20                       | 50%                    |
| 6_2  | 73          | 5.4        | 5.4          | 0.26                             | 0.17                       | 35%                    |
| 6_3  | 73          | 8.1        | 5.4          | 0.30                             | 0.17                       | 43%                    |
| 7    | 37          | 8.1        | 5.1          | 0.53                             | 0.22                       | 58%                    |
| 8_2  | 53          | 5.4        | 5.4          | 0.35                             | 0.19                       | 46%                    |

|      |             |            |                 | Referentie,<br>geen<br>maatregel | Afvering 2.5H, demping<br>10% |                        |
|------|-------------|------------|-----------------|----------------------------------|-------------------------------|------------------------|
| Type | Afstand [m] | Hoogte [m] | Beukmaat<br>[m] | Vmax                             |                               | Trillings-<br>reductie |
| 8_3  | 58          | 8.1        | 5.4             | 0.34                             | 0.19                          | 44%                    |
| 9    | 77          | 8.1        | 6               | 0.27                             | 0.16                          | 41%                    |
| 9    | 83          | 8.1        | 6               | 0.26                             | 0.15                          | 42%                    |
| 10   | 37          | 8.1        | 5.4             | 0.54                             | 0.22                          | 59%                    |
| 11   | 59          | 8.1        | 6               | 0.34                             | 0.18                          | 47%                    |
| 11   | 65          | 8.1        | 6               | 0.30                             | 0.18                          | 40%                    |
| 12   | 82          | 8.1        | 6               | 0.26                             | 0.15                          | 42%                    |

## 5.5 Maatregelafweging

Uit paragraaf 5.3 en 5.4 blijkt dat er zonder maatregelen in het plangebied niet aan de streefwaarden voor nieuwe situatie wordt voldaan. Vanaf ca. 45 meter afstand wordt voldaan aan de streefwaarden voor bestaande situaties. Met het afveren van de gebouwen op standaard stalen veren is het mogelijk om in het hele plangebied te voldoen aan de streefwaarden voor bestaande situatie, en vanaf ca. 60 meter ook aan de streefwaarden voor nieuwe situatie. Als er speciale stalen veren met extra demping worden toegepast, dan wordt in alle woningen voldaan aan de streefwaarden voor nieuwe situaties.

Uitgaande van het voorbeeld van de gemeente Utrecht uit paragraaf 3.1.1, dienen er in ieder geval minimaal maatregelen getroffen te worden om de overschrijdingen van de streefwaarden voor bestaande situaties te voorkomen. Dit betekent dat de woningen tot een afstand van 45 meter vanaf het spoor op stalen veren afgeveerd dienen te worden. Of dit normale stalen veren zijn, of stalen veren met extra demping, hangt af van de doelmatigheid en effectiviteit.

Het treffen van maatregelen in de woningen op een afstand van meer dan 45 meter van het spoor, hangt er van af hoe doelmatigheid en effectief ze zijn. Dit kan in een DO-fase worden uitgewerkt.

Wat verder in de afweging kan worden betrokken, is hoe vaak er overschrijdingen van de streefwaarden voor nieuwe situaties optreden, en of deze optreden in de dag-, avond- of nachtperiode. Hieruit blijkt bijvoorbeeld dat er bij de toepassing van standaard stalen veren en woningtype 1 in een periode van één week slechts één trein is geweest met een  $V_{\text{eff,max}}$  groter dan 0.2, en deze reed niet in de nachtperiode maar in de avondperiode, waardoor er nog wordt voldaan aan de streefwaarde voor nieuwe situaties.

## 5.6 Prognose waarde $V_{\text{per}}$

De trillingsprognose in paragraaf 5.3 en 5.4 betreft de  $V_{\text{max}}$ -waarde en is gebaseerd op een selectie van de zwaarste trillingen die zijn opgetreden in de meetperiode. Voor de SBR-B beoordeling conform hoofdstuk 3 is ook een bepaling van de  $V_{\text{per}}$ -waarde nodig. Op basis van de volgende (worst case) uitgangspunten is een indicatieve berekening van de  $V_{\text{per}}$ -waarde uitgevoerd:

- Van alle gemeten trillingen in de periode van 1 week is aangenomen dat ze plaatsvinden op werkdagen;
- Op alle gemeten trillingen op de fundering is een versterkingsfactor toegepast die leidt tot een  $V_{\text{max}}$  van 0.44. Dit is de hoogste waarde van  $V_{\text{max}}$  waarbij nog net aan de streefwaarde A2 voor bestaande situaties wordt voldaan.

De prognose voor  $V_{\text{per}}$  staat in Tabel 5-6. Hieruit blijkt dat de waarde  $V_{\text{per}}$  in geen geval hoger is dan de streefwaarde A3 (0.05) voor nieuwe situaties zo lang de  $V_{\text{max}}$ -waarde lager is dan 0.44. Zo lang de  $V_{\text{max}}$ -waarde niet hoger is dan de streefwaarde A2 voor bestaande situaties, is de beoordeling van de waarde  $V_{\text{max}}$  is maatgevend.

**Tabel 5-6 Prognose  $V_{\text{per}}$  op basis van worst case uitgangspunten**

|                                      | $V_{\text{per,dag}}$ | $V_{\text{per,avond}}$ | $V_{\text{per,nacht}}$ |
|--------------------------------------|----------------------|------------------------|------------------------|
| Prognose o.b.v. meting melkfabriek   | 0.05                 | 0.05                   | 0.03                   |
| Prognose o.b.v. meting Holterweg 93B | 0.02                 | 0.02                   | 0.02                   |





## 6 Conclusie en aanbevelingen

Voor de ruimtelijke onderbouwing van het bestemmingsplan is een trillingsonderzoek uitgevoerd waarin is onderzocht hoe het plan gerealiseerd kan worden, en welke maatregelen daarbij nodig zijn om de hinder van trillingen tot een acceptabel niveau terug te brengen.

Uit de analyse volgt:

- Zonder maatregelen wordt in het plangebied niet aan de streefwaarden voor nieuwe situatie wordt voldaan.
- Vanaf ca. 45 meter afstand wordt voldaan aan de streefwaarden voor bestaande situaties.
- Met het afveren van de gebouwen op standaard stalen veren is het mogelijk om in het hele plangebied te voldoen aan de streefwaarden voor bestaande situatie, en vanaf ca. 60 meter ook aan de streefwaarden voor nieuwe situatie.
- Als er speciale stalen veren met extra demping worden toegepast, dan wordt in alle woningen in het plangebied voldaan aan de streefwaarden voor nieuwe situaties.

### 6.1 Aanbevelingen

Uit het onderzoek volgt dat het mogelijk is om met het afveren van de gebouwen op stalen veren aan de streefwaarden voor bestaande situaties en nieuwe situaties te voldoen. We bevelen aan om in de verdere uitwerking van het plan de doelmatigheid en kosteneffectiviteit van de maatregelen te onderzoeken, en op basis daarvan te besluiten welke maatregelen er per gebouw getroffen worden.

Hierbij is er voor de gebouwen tot 45 meter afstand van het spoor minimaal afvering op stalen veren nodig om aan de streefwaarden voor bestaande situaties te voldoen. Of het trillingsniveau in deze gebouwen nog verder gereduceerd moet worden met aanvullende maatregelen, hangt af van de doelmatigheidsafweging.

Voor gebouwen op een afstand van meer dan 45 meter wordt zonder aanvullende maatregelen aan de streefwaarden voor bestaande situaties voldaan. Of het trillingsniveau in deze gebouwen nog verder gereduceerd moet worden met stalen veren, hangt af van de doelmatigheidsafweging.



## Colofon

Opdrachtgever Janssen de Jong Projectontwikkeling

Uitgave Movares Nederland B.V.

Kennislijn Gebouwen en Infra  
groep Lijninfra en Geotechniek:Lijninfra en Geotechniek

Daalse Kwint  
Postbus 2855  
3500 GW Utrecht

Telefoon 0622624927

Ondertekenaar  
Adviseur

Projectnummer MN000265

Kenmerk D79-WGA-KA-2100039

© 2021, Movares Nederland B.V.

*Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden vervoelvoudigd, 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 Movares Nederland B.V.*

## Bijlage I Gegevens metingen

Conform de eisen in de SBR B-richtlijn, hoofdstuk 11, bevat deze bijlage de gegevens van de metingen.

|    |                                  |  |
|----|----------------------------------|--|
| 1  | Uitvoerende organisatie          | <i>Movares Nederland B.V.<br/>Daalseplein 101<br/>3511 SX Utrecht</i>  |
|    | Verantwoordelijke persoon        | <i>Niels Lommers<br/>e-mail: <a href="mailto:niels.lommers@movares.nl">niels.lommers@movares.nl</a><br/>tel.: 06-14328458</i>  |
| 2  | Meting uitgevoerd door           | <i>Sybren van Klaarbergen</i>  |
| 3  | Tijdperiode meting               | <i>15-07-2020 10:00 tot 23-07-2020 10:00</i>   |
| 4  | Type trillingsbron               | <i>Treinen.</i>  |
| 5  | Gebouwomschrijving               | <i>Melkfabriek, woning Holterweg 93B</i>   |
| 6  | Locatie metingen                 | <i>Zie plattegrond in hoofdstuk 2</i>  |
| 7  | Meetposities                     | <i>Zie plattegrond in hoofdstuk 2</i>  |
| 8  | Gebruikte meetopnemers           | <i>3 3D-geofoons</i>   |
|    | Gebruikte registratieapparatuur  | <i>Webcam gekoppeld aan meetcomputer</i>   |
|    | Gebruikte verwerkingsapparatuur  | <i>Raspberry Pi met USB-DUX.<br/>Meetcomputers leggen zowel de trillingssterkte per 30 seconden als het tijdssignaal vast.</i> |
| 9  | Overzicht meetwaarden            | <i>Zie figuren in hoofdstuk 4</i>  |
| 10 | Overige relevante omstandigheden | <i>Zie hoofdstuk 2</i>   |