

**STATIONSGBIED DRIEBERGEN-ZEIST  
L36.03.01- AANVULLEND ONDERZOEK  
TRILLINGEN**

PRORAIL

17 december 2014  
078219593:D - Definitief  
D01011.000421.1400





# Inhoud

|          |                                                                                   |           |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Inleiding .....</b>                                                            | <b>3</b>  |
| 1.1      | Aanleiding .....                                                                  | 3         |
| 1.2      | Besluitvorming.....                                                               | 3         |
| 1.3      | Doel en positie voorliggende rapportage .....                                     | 5         |
| 1.4      | Leeswijzer .....                                                                  | 6         |
| <b>2</b> | <b>Beoordelingskader.....</b>                                                     | <b>7</b>  |
| 2.1      | Inleiding.....                                                                    | 7         |
| 2.2      | Aanpak hinderbeoordeling volgens SBR.....                                         | 7         |
| 2.3      | Aanpak hinderbeoordeling .....                                                    | 9         |
| <b>3</b> | <b>Onderzoeksmethodiek.....</b>                                                   | <b>10</b> |
| 3.1      | Algemene aanpak .....                                                             | 10        |
| 3.2      | Model trillingsprognose.....                                                      | 10        |
| <b>4</b> | <b>Uitgangspunten.....</b>                                                        | <b>12</b> |
| 4.1      | Bronsterkte.....                                                                  | 12        |
| 4.1.1    | Algemeen .....                                                                    | 12        |
| 4.1.2    | Referentiesituatie .....                                                          | 13        |
| 4.1.3    | Plansituatie .....                                                                | 14        |
| 4.2      | Ruimtelijke demping in ondergrond .....                                           | 15        |
| 4.3      | Overdracht in gebouwen .....                                                      | 16        |
| 4.3.1    | Algemeen .....                                                                    | 16        |
| 4.3.2    | Meetprogramma overdracht woningen.....                                            | 18        |
| 4.4      | Meetresultaten.....                                                               | 20        |
| <b>5</b> | <b>Toets trillingsintensiteit referentie situatie .....</b>                       | <b>21</b> |
| 5.1      | SBR-richtlijn Trillingen deel B Hinder voor personen in gebouwen .....            | 21        |
| 5.2      | Postdictie referentie situatie .....                                              | 21        |
| 5.3      | Toets trillingen referentiesituatie.....                                          | 22        |
| <b>6</b> | <b>Toets trillingsintensiteit plansituatie.....</b>                               | <b>25</b> |
| 6.1      | Predictie plansituatie.....                                                       | 25        |
| 6.2      | Toets trillingen Plan situatie.....                                               | 26        |
| 6.2.1    | Stap 1: Trillingskarakteristieken na wijziging niet meer dan voor wijziging ..... | 26        |
| 6.2.2    | Stap 2: Trillingskarakteristieken niet lager dan streefwaarden nieuw .....        | 27        |
| 6.2.3    | Stap 3: Toetsing aan streefwaarden bestaand .....                                 | 28        |
| 6.3      | Samenvatting toetsing plansituatie .....                                          | 29        |
| <b>7</b> | <b>Mitigerende maatregelen .....</b>                                              | <b>31</b> |
| 7.1      | Benodigde demping .....                                                           | 31        |
| 7.2      | Beschrijving mogelijke maatregelen.....                                           | 32        |

|                     |                                                                              |           |
|---------------------|------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 7.3                 | Effectiviteit en kosten van maatregelen.....                                 | 33        |
| 7.4                 | Uitwerking trillingsbeperkende maatregelen.....                              | 35        |
| 7.4.1               | Locatie Tiendweg.....                                                        | 35        |
| 7.4.2               | Odijkerweg en Stationsweg.....                                               | 37        |
| 7.4.3               | Kwekerij en Princenhofpark.....                                              | 39        |
| <b>8</b>            | <b>Conclusie.....</b>                                                        | <b>41</b> |
| <b>Bijlage 1</b>    | <b>SBR-richtlijn Trillingen deel B Hinder voor personen in gebouwen.....</b> | <b>42</b> |
| <b>Bijlage 2</b>    | <b>Meetrapportage Movares.....</b>                                           | <b>45</b> |
| <b>Bijlage 3</b>    | <b>Toelichting factoren prognose model.....</b>                              | <b>46</b> |
| Bijlage 3.1         | <i>Algemene model beschrijving.....</i>                                      | 47        |
| Bijlage 3.2         | <i>Bronkarakteristiek <math>v_0</math>.....</i>                              | 47        |
| Bijlage 3.3         | <i>Bodemdamping <math>C_{bodem}</math>.....</i>                              | 48        |
| Bijlage 3.4         | <i>Overdrachtsfactor <math>C_{gebouw}</math>.....</i>                        | 49        |
| <b>Bijlage 4</b>    | <b>Referentiedocumenten.....</b>                                             | <b>50</b> |
| Bijlage 4.1         | Bindende documenten.....                                                     | 50        |
| Bijlage 4.2         | Informatieve documenten.....                                                 | 50        |
| <b>Colofon.....</b> |                                                                              | <b>51</b> |



# 1 Inleiding

## 1.1 AANLEIDING

Stationsgebied Driebergen-Zeist wordt herontwikkeld om verschillende redenen. In 2020 wordt er op het baanvak waar station Driebergen-Zeist is gelegen een andere dienstregeling gereden. Om de toekomstbestendigheid van deze dienstregeling te garanderen en de groeiende reizigers aantallen goed te kunnen verwerken, worden onder andere de volgende zaken gerealiseerd:

- Een verbeterd voorplein dat ook (verdiept) onder de sporen doorloopt.
- Het aanleggen van een overdekte fietsenstalling en meer fietsenrekken.
- Het aanleggen van nieuwe fiets- en voetpaden.
- Een gebouwde P+R-voorziening.
- Het aanleggen van een 4e spoor (daarmee komen er twee doorgaande, twee perronsporen en een eilandperron).
- Een inhaalvoorziening voor treinen in beide richtingen, zodat intercity's de sprinters kunnen inhalen.

De twee naast het station gelegen gelijkvloerse overwegen (Hoofdstraat en Odijkerweg) worden conform het standpunt van de minister ten aanzien van de HSL-Oost opgeheven ten behoeve van een betere en veiligere doorstroming van het trein- en autoverkeer. De overweg Hoofdstraat wordt daarbij vervangen door een onderdoorgang (2x2 rijstroken). De overweg Odijkerweg wordt opgeheven en de wegenstructuur wordt daarop aangepast.

De aanpassing van station Driebergen-Zeist wordt gecombineerd met de plannen die de regionale partijen hebben rond het station. Zij willen de regionale wegenstructuur verbeteren, een nieuw busstation aanleggen en het stationsgebied verder ontwikkelen. Dit biedt kansen voor de betrokken partijen (Bestuur Regio Utrecht, gemeente Utrechtse Heuvelrug, gemeente Zeist, provincie Utrecht en ProRail) om samen deze plannen in een integraal project uit te voeren.

## 1.2 BESLUITVORMING

Vanaf 2007 zijn er verschillende varianten voor de ontwikkeling van het stationsgebied Driebergen-Zeist onderzocht. In 2010 en 2011 zijn een drietal baselines uitgewerkt en bestuurlijk vastgesteld. Dit deel van de planstudiefase is afgesloten door een projectnota, publiekssamenvatting en Voorontwerp (VO) bestemmingsplan.

De projectnota is het document, gebaseerd op baseline 3, op basis waarvan het projectbesluit genomen is. In de projectnota zijn het ontwerp en de effectenstudies samengevat. In het projectbesluit is de financiering van het project definitief vastgelegd. Daarmee is definitief duidelijk met welke middelen het project gerealiseerd wordt. De publiekssamenvatting wordt gebruikt in de communicatie met belanghebbenden en geïnteresseerden.

Het ruimtebeslag van het ontwerp voor het stationsgebied is planologisch-juridisch verankerd in een bestemmingsplan. Het plangebied is gelegen binnen twee gemeenten, namelijk de gemeente Utrechtse Heuvelrug en de gemeente Zeist. Hierdoor was het niet mogelijk om één bestemmingsplan op te stellen voor het gehele plangebied. De gemeenteraden van beide gemeenten zijn namelijk enkel bevoegd om plannen voor het eigen grondgebied vast te stellen. Daarom is het bestemmingsplan opgesplitst in een plan voor de gemeente Utrechtse Heuvelrug en een plan voor de gemeente Zeist.

De eerste fase in het bestemmingsplanproces was het VO bestemmingsplan, gevolgd door het Ontwerp bestemmingsplan. Zowel het VO als het ontwerp bestemmingsplan hebben ter inzage gelegen. Hierop heeft eenieder inspraakreacties en zienswijzen kunnen indienen.

De inspraakreacties op het VO bestemmingsplan en de zienswijzen op het ontwerp bestemmingsplan zijn beantwoord in respectievelijk de inspraaknota's en zienswijzennota's van beide Gemeenten.

Naar aanleiding van de zienswijzen, enkele ambtshalve wijzigingen en een aanpassing in het ontwerp ten aanzien van de P&R is het bestemmingsplan voor stationsgebied Driebergen-Zeist aangepast en door beide gemeenteraden vastgesteld.

Een schets van de stand van het ontwerp zoals deze wordt vastgesteld in het bestemmingsplan is weergegeven in Figuur 1-1.



Figuur 1-1, Ontwerp Stationsgebied Driebergen-Zeist

### 1.3 DOEL EN POSITIE VOORLIGGENDE RAPPORTAGE

Het bestemmingsplan is in het voorjaar van 2014 door de twee gemeenteraden vastgesteld.

Op het vastgestelde bestemmingsplan is door een aantal appellanten beroep ingediend. De Raad van State heeft de StAB - Stichting Advisering Bestuursrechtspraak – gevraagd advies te geven over geschillen opgenomen in de ingediende beroepen. Op basis van dit advies is besloten de rapportage inzake de effecten van trillingen op twee onderdelen te actualiseren:

- Rekening te houden met de mogelijkheid dat incidenteel enkele goederentreinen op het spoorgedeelte nabij station Driebergen-Zeist passeren als gevolg van bijsturing, bijvoorbeeld in geval van een calamiteit elders op het spoorwegnet.
- Bepaling overdrachtsfactoren van grond naar vloer voor de woonhuizen aan de Odijkerweg (92 t/m 120) en het woonhuis Tiendweg 38 ( in voorgaande rapportages aangeduid als Tiendweg 1F).

In het rapport Stationsgebied Driebergen- Zeist L.4.2.7-1 Trillingenpredictie, kenmerk 076446164:G – Definitief van 8 september 2014 is nader onderzocht in welke panden personen mogelijk hinder van de trillingen, veroorzaakt door railverkeer, kunnen ondervinden. De metingen bij en aan panden, die als basis hebben gediend voor de prognose, zijn door omstandigheden niet in woningen uitgevoerd. Voor de woningen is destijds een aanname gedaan die een onzekerheid veroorzaakt in de prognose. Om meer zekerheid te verkrijgen omtrent de trillingsniveaus in woningen zijn aanvullende trillingsmetingen uitgevoerd. Bij dit nader onderzoek, uitgevoerd in november 2014, is bij woningen de overdracht van de trillingen in het pand naar het vloerniveau onderzocht.

De actualisatie van het onderzoek trillingsprognose op basis van de bovengenoemde onderdelen omvat enerzijds een aanvulling middels metingen op locatie en anderzijds een verfijnde prognose van de trillingsniveaus in de planfase rondom station Driebergen-Zeist. De gehanteerde meetmethodiek en de beoordeling zijn overeenkomstig de SBR-richtlijn voor Trillingen deel B ‘Hinder voor personen in gebouwen’ uitgevoerd.

In dit voorliggende rapport wordt verwezen en is, voor zover relevant voor dit voorliggende rapport, gebruik gemaakt van de conclusies uit de volgende rapportages:

- L.2.4.3-1 “Rapportage Trillingen, 75546469:D1 Definitief, D01011.000421.0100, 26 oktober 2011 [1].
- L.4.13.4-1 “Trillingsbeperkende maatregelen Stationsgebied Driebergen-Zeist” met kenmerk 077305136:D van 13 december 2013 [2].
- L.4.2.7-1 Stationsgebied Driebergen-Zeist Trillingenpredictie, kenmerk 076446164:G – Definitief van 8 september 2014 [3].
- MOVARES, Trillingsmetingen rondom station Driebergen-Zeist, Driebergen-Zeist, Overdrachtsfactoren Odijkerweg en Tiendweg, D90-RRI-KA-1400005, RM002757, Concept, Versie 0.2, 5 december 2014 [4].

## 1.4 LEESWIJZER

In hoofdstuk 2 wordt het beoordelingskader nader toegelicht. In hoofdstuk 3 wordt de gehanteerde onderzoeksmethodiek beschreven. De gehanteerde uitgangspunten worden beknopt in hoofdstuk 4 toegelicht. De beschrijving van de trillingssituatie voor de referentie situatie 2013, inclusief toetsing, is uitgewerkt in hoofdstuk 5. Voor de plansituatie is de trillingssituatie in hoofdstuk 6 beschreven. In hoofdstuk 7 wordt ingegaan op de mitigerende maatregelen. Tot slot worden in hoofdstuk 8 de conclusies gepresenteerd.

# 2

## Beoordelingskader

### 2.1 INLEIDING

Voor de beoordeling van trillingen is momenteel geen wettelijk toetsingskader beschikbaar. Overeenkomstig de gangbare praktijk wordt voor dit project gebruik gemaakt van de SBR-richtlijnen trillingen (SBR, 2003).

De volgende richtlijnen zijn van toepassing:

- In de SBR-richtlijn deel A, schade aan gebouwen, worden criteria/grenswaarden van maximaal toelaatbare trillingen weergegeven om schade aan gebouwen te voorkomen.
- SBR-richtlijn deel B, hinder voor personen, definieert grenswaarden voor trillingen voor hinder voor personen.
- In SBR-richtlijn deel C, storing aan apparatuur, worden grenswaarden voor maximaal toelaatbare trillingen weergegeven om storingen aan apparatuur te voorkomen.

De hinderbeleving, waarvoor in deel B van de richtlijn een beoordelingskader is opgenomen, wordt hier als uitgangspunt voor het toetsingskader gehanteerd.

Schade aan bebouwing, onderwerp in deel A van de richtlijn, komt aan de orde bij hogere trillingsniveaus dan hinder en is daardoor niet maatgevend.

Richtlijn C heeft betrekking op zeer specifieke trillingsgevoelige objecten. Er zijn langs het tracé geen bedrijven bekend met zeer trillingsgevoelige apparatuur. Om die reden wordt deel C verder niet in de beoordeling betrokken.

### 2.2 AANPAK HINDERBEOORDELING VOLGENS SBR

In SBR-richtlijn deel B, hinder voor personen, worden trillingen door spoorverkeer beoordeeld als een herhaald voorkomende trilling gedurende lange tijd.

Voor de aan te houden streefwaarden wordt onderscheid gemaakt in de functie van het gebouw en eventueel in de functie van de ruimte in dat gebouw:

- Gezondheidszorg.
- Wonen.
- Kantoor en onderwijs.
- Bijeenkomstgebouwen (bioscopen, aula's, schouwburgen, kerken).
- Kritische werkruimten (bepaalde ruimten in laboratoria, operatiekamers, studiezalen).

De richtlijn maakt onderscheid tussen de beoordeling van een bestaande, nieuwe en gewijzigde situatie.

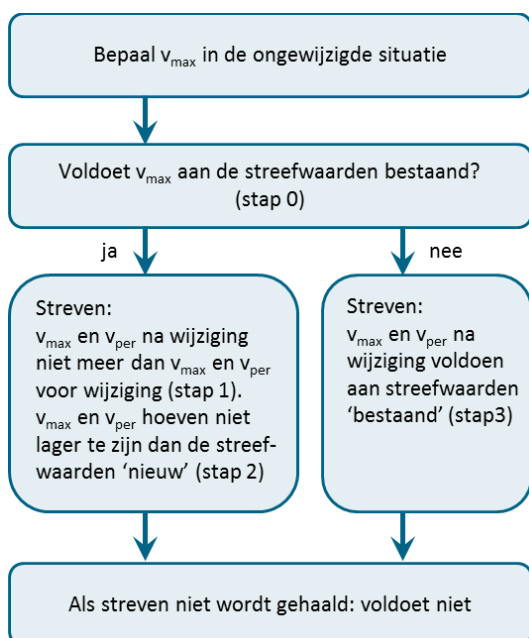
De aanpassingen die aan de bestaande spoorweg gaan plaatsvinden worden beschouwd als een 'gewijzigde situatie' voor die locaties die in de 'bestaande situatie' al trillingen ondervinden die hoger zijn dan de streefwaarden voor een 'nieuwe situatie'.

Wanneer in de 'bestaande situatie' de trillingen onder de streefwaarden voor een 'nieuwe situatie' zijn gelegen wordt de situatie als een 'nieuwe situatie' beoordeeld.

Beoordeling vindt plaats aan de hand van de maximale trillingssterkte ( $v_{eff,max}$ ) en de effectieve waarde van de maxima per beoordelingsperiode ( $v_{per}$ ). In de  $v_{per}$  wordt zowel de gemiddelde effectieve waarde van de (gemeten) trillingen meegenomen als de gesommeerde duur van de trillingen in de beoordelingsperiode.

De SBR-richtlijn deel B (hinder voor personen in gebouwen) geeft drie verschillende streefwaarden  $A_1$ ,  $A_2$  en  $A_3$  ter toetsing van de  $v_{eff,max}$  en de  $v_{per}$  (dimensieloze snelheden) op. Deze streefwaarden zijn erop gericht hinder door trillingen te voorkomen (nieuwe situatie) of zoveel mogelijk te beperken (gewijzigde situatie). Voor een toelichting op de streefwaarden wordt verwezen naar bijlage 1.

Het volgende stroomschema (zie Figuur 2-1) geeft een overzicht van de beoordelingsprocedure van de trillingssterkte op basis van streefwaarden voor de gewijzigde en een nieuwe situatie.



Figuur 2-1, Schematisatie beoordeling trillingen gewijzigde situatie SBR-richtlijn Trillingen deel B.

De streefwaarden voor de bestaande situatie zijn weergegeven in Tabel 2-1.

| Gebouwfunctie        | dag en avond |       |       | nacht |       |       |
|----------------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                      | $A_1$        | $A_2$ | $A_3$ | $A_1$ | $A_2$ | $A_3$ |
| Gezondheidszorg      | 0,2          | 0,8   | 0,1   | 0,2   | 0,4   | 0,1   |
| Wonen                | 0,2          | 0,8   | 0,1   | 0,2   | 0,4   | 0,1   |
| Onderwijs en kantoor | 0,3          | 1,2   | 0,15  | 0,3   | 1,2   | 0,15  |
| Bijeenkomst          | 0,3          | 1,2   | 0,15  | 0,3   | 1,2   | 0,15  |
| Kritische werkruimte | 0,1          | 0,1   | -     | 0,1   | 0,1   | -     |

Tabel 2-1, Streefwaarden voor herhaald voorkomende trillingen voor bestaande situatie (SBR-richtlijn Trillingen deel B).

In Tabel 2-2 zijn de streefwaarden voor een nieuwe situatie opgenomen.

| Gebouwfunctie        | dag en avond   |                |                | nacht          |                |                |
|----------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                      | A <sub>1</sub> | A <sub>2</sub> | A <sub>3</sub> | A <sub>1</sub> | A <sub>2</sub> | A <sub>3</sub> |
| Gezondheidszorg      | 0,1            | 0,4            | 0,05           | 0,1            | 0,2            | 0,05           |
| Wonen                | 0,1            | 0,4            | 0,05           | 0,1            | 0,2            | 0,05           |
| Onderwijs en kantoor | 0,15           | 0,6            | 0,07           | 0,15           | 0,6            | 0,07           |
| Bijeenkomst          | 0,15           | 0,6            | 0,07           | 0,15           | 0,6            | 0,07           |
| Kritische werkruimte | 0,1            | 0,1            | -              | 0,1            | 0,1            | -              |

Tabel 2-2, Streefwaarden voor continue trillingen voor nieuwe (of bestaande) situaties, (SBR-richtlijn Trillingen deel B).

Voor de functies wonen en gezondheidszorg is de nachtsituatie veelal maatgevend. De nachtsituatie verschilt met de dag en avond in de waarde voor A<sub>2</sub>. In de nacht moet de piekwaarde van de trillingsintensiteit de helft zijn van de piekwaarde gedurende de dag en de avond.

## 2.3 AANPAK HINDERBEOORDELING

De voorgenomen aanpassingen betreffen een aanpassing van de huidige spoorlijn. Daarom worden, conform de SBR-richtlijn Trillingen deel B, voor een gewijzigde situatie (§ 10.5.3.4), de volgende stappen doorlopen:

- Stap 0: beoordeling van de trillingskarakteristieken in de referentiesituatie ("ongewijzigde situatie") aan de streefwaarden bestaand ( zie tabel 1 in hoofdstuk 2.2).
- Stap 1: voor de locaties, waar in de referentiesituatie wordt voldaan aan de streefwaarden bestaande situatie, wordt getoetst of de trillingskarakteristieken voor de plansituatie niet meer zijn dan de trillingskarakteristieken voor wijziging;
- Stap 2: voor de locaties waarvoor in stap 1 bij toetsing niet wordt voldaan, en er dus in de plansituatie een toename is van trillingskarakteristieken , wordt getoetst of in de plansituatie wordt voldaan aan de streefwaarden voor een nieuwe situatie ( zie tabel 2 in hoofdstuk 2.2).
- Stap 3: voor de locaties waar in de bestaande situatie niet wordt voldaan aan de streefwaarden bestaand, wordt voor de plansituatie getoetst of de trillingskarakteristieken voldoen aan de streefwaarden bestaand.

De stappen zijn aangegeven in de beoordelingsprocedure , die is weergegeven in Figuur 2-1.

De trillingskarakteristieken die worden beoordeeld zijn:

- De maximale trillingssterkte  $v_{\max}$ .
- De effectieve waarde van de maximale trillingsintensiteit  $v_{\text{per}}$ .

Deze karakteristieken worden afzonderlijk voor de dag, avond en nachtperiode bepaald en getoetst.

Bij een overschrijding van de streefwaarden wordt aangegeven welke trillingsreducerende maatregelen technisch mogelijk zijn, om de trillingsintensiteit ter plaatse van de panden waarin een overschrijding is berekend te reduceren tot een lager niveau of een niveau beneden de streefwaarden.



# 3

## Onderzoeksmethodiek

### 3.1 ALGEMENE AANPAK

In dit rapport wordt kwantitatief inzichtelijk gemaakt of er hinder in de panden rond de toekomstige sporen rond station Driebergen-Zeist verwacht kan worden. Als onderdeel van de toetsing van de plansituatie is een toetsing van de referentiesituatie benodigd.

Voor de referentiesituatie wordt in het voorliggende rapport de situatie 2013 gehanteerd.

De referentiesituatie 2013 is niet volledig middels langdurige metingen in beeld gebracht. Er zijn echter wel langdurige metingen beschikbaar uit 2012, waarmee de bronkarakteristiek van de treinen is vastgelegd en de geometrische demping is beschreven.

In aanvulling op de metingen uit 2012 zijn thans aanvullende metingen uitgevoerd waarmee de overdracht van trillingen in woningen verder is gespecificeerd.

Deze gegevens, tezamen met de treinbezetting van het spoor in 2013, is gebruikt om een postdictie te maken van de trillingsniveaus in de referentiesituatie 2013.

Aanvullend is met de prognose van het spoorgebruik in 2030 op identieke wijze een predictie gemaakt voor de trillingsniveaus in 2030.

De beide datasets zijn vergeleken om op objectniveau tot een hinderbeoordeling te komen.

### 3.2 MODEL TRILLINGSPROGNOSE

Voor het voorspellen van de trillingsniveaus is een model gebruikt waarin de volgende onderscheidende elementen zijn beschreven:

- De karakteristiek van de trillingsbron (de treinen) op het spoortracé, inclusief effect van spoorconstructie.
- De overdracht van de trillingen door de ondergrond naar de omgeving.
- De overdracht van de trillingen vanuit de ondergrond in de belendingen tot op het maatgevende vloerveld.

Met behulp van de bovengenoemde kenmerken, waarbij rekening is gehouden met de middels diverse metingen vastgestelde variatie langs het tracé, is een model gehanteerd waarmee de trillingsniveaus op de aangemerkte locaties langs het tracé worden bepaald. Het model levert de trillingsniveaus, uitgedrukt in de effectieve snelheid van de trilling op vloerniveau.

Het gehanteerde model omvat de volgende basis relatie:

$$v = v_0 \cdot C_{bodem} \cdot C_{gebouw}$$



Hierin is:

- $v$  = trilsnelheid in de woning, die getoetst wordt aan de SBR richtlijn.
- $v_0$  = trilsnelheid op maaiveld gemeten of berekend op referentie afstand  $x_0$ .
- $C_{\text{bodem}}$  = factor voor de geometrische overdracht in de bodem (ruimtelijke en fysische demping).
- $C_{\text{gebouw}}$  = overdrachtsfactor voor de trillingen van maaiveld naar verdiepingsvloer in de panden.

#### Bronsterkte $v_0$

Voor het vaststellen van de bronsterkte  $v_0$  is gebruik gemaakt van metingen uitgevoerd langs het tracé in 2011 en 2012.

Door op verschillende locaties de bronsterkte van de trillingen bij treinpassages op een baanvak te meten, is destijds maatgevende bronsterkte bepaald. Voor een toelichting op de bepaling van  $v_0$  wordt verwezen naar bijlage 3.

#### Dempingsfactor $C_{\text{bodem}}$

Deze dempingsfactor beschrijft de invloed van de bodem op de trillingssnelheden die op afstand van de bron optreden.

In deze factor zit zowel het effect van geometrische verzwakking, bij toenemende afstand tot de bron, als de materiaaldemping opgenomen.

Deze factor is afgeleid uit de meetresultaten die op de verschillende locaties langs het spoor zijn verkregen. Een nadere toelichting op de factor  $C_{\text{bodem}}$  is te vinden in bijlage 3.

#### Overdrachtsfactor $C_{\text{gebouw}}$

Deze overdrachtsfactor beschrijft de verandering van de trillingssnelheid vanuit de bodem tot op het beschouwde vloerniveau in het gebouw. Hierin zit opgesloten de overdrachtsfactor van de ondergrond naar de fundering en de overdracht vanuit de fundering naar de verdiepingsvloer. De overdrachtsfactor is middels trillingsmetingen in en nabij de bebouwing langs het spoortracé bepaald. Achtergrondinformatie over deze factor wordt gegeven in bijlage 3.

# 4

## Uitgangspunten

### 4.1 BRONSTERKTE

#### 4.1.1 ALGEMEEN

Het treinverkeer veroorzaakt trillingen, de sterkte van de trilling en het aantal keer dat een trilling optreedt, is hierbij van belang.

Voor de bepaling van de bronkarakteristiek van de trillingen zijn de volgende uitgangspunten van belang:

- Type trein, inclusief passagesnelheid.
- Dienstregeling.
- Sporen lay-out.

Het type trein, inclusief de treinsnelheid bij passage, is bepalend voor de trillingssterkte van de bron.

De beoordeling van de hinder door trillingen hangt mede af van het aantal herhalingen van de trillingen.

Daarom is het voor de beoordeling van de huidige en de toekomstige situatie van belang de dienstregeling te vergelijken.

Hierbij zijn de periodes als volgt conform de SBR-richtlijn Trillingen ingedeeld:

- Dagperiode: 7.00 uur – 19.00 uur
- Avondperiode: 19.00 uur – 23.00 uur
- Nachtperiode: 23.00 uur – 7.00 uur

Wissels, kruisende kunstwerken in de aardebaan en de aardebaan zijn tevens van invloed op de gegenereerde trillingsniveaus aan de bron.

De bronwaarde van de trillingen in de grond is, zoals gepresenteerd in voorgaande rapportages, op basis van de meetresultaten langs het spoor in de omgeving van station Driebergen-Zeist vastgelegd.

Op basis van statistische analyse van de datasets uit 2011 en 2012 is de 95% bovengrenswaarde van de trillingssterkte op de referentieafstand 5 m bepaald. Een samenvatting is gegeven in Tabel 4-1.

| Locatie             | $v_{\text{eff,max}}$ toekomstig<br>passagierstreinen | $v_{\text{eff,max}}$ toekomstig<br>goederentreinen |
|---------------------|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Tiendweg 38         | 3,4                                                  | 3,7                                                |
| Kwekerij 6-8        | 14,2 (wissel)                                        | 15,6 (wissel)                                      |
| Kwekerij 2a-2c      | 8,7                                                  | 9,5                                                |
| Princenhofpark 1-27 | 8,7                                                  | 9,5                                                |
| Odijkerweg 92       | 10,8                                                 | 12,4                                               |
| Stationsweg 11-15   | 10,8                                                 | 12,4                                               |

Tabel 4-1, Bronsterkte reizigers- en goederentreinen

#### 4.1.2 REFERENTIESITUATIE

Op het traject rijden in de huidige situatie zowel goederentreinen als reizigerstreinen. De reizigerstreinen zijn intercity, ICE en sprinter treinen

De huidige situatie (referentie 2013) is in onderstaande Tabel 4-2 weergegeven.

| Trein soort   | Richting<br>Trein naar | aantal treinen/uur gemiddeld over een etmaal in 2013 |               |              |
|---------------|------------------------|------------------------------------------------------|---------------|--------------|
|               |                        | Dag periode                                          | Avond periode | nachtperiode |
| Intercity     | Arnhem                 | 3,65                                                 | 3,75          | 0,86         |
| Intercity     | Utrecht                | 3,81                                                 | 3,01          | 0,78         |
| Sprinter      | Maarn                  | 2,50                                                 | 2,00          | 0,85         |
| Sprinter      | Utrecht                | 2,53                                                 | 1,98          | 0,67         |
| ICE           | Arnhem                 | 0,39                                                 | 0,25          | 0,00         |
| ICE           | Utrecht                | 0,30                                                 | 0,52          | 0,02         |
| Goederentrein | Arnhem                 | 0,17                                                 | 0,19          | 0,12         |
| Goederentrein | Utrecht                | 0,21                                                 | 0,10          | 0,11         |

Tabel 4-2, Gemiddeld aantal treinpassages per uur ter plaatse van Stationsgebied Driebergen-Zeist, in de referentie situatie (2013)

Op basis van deze gegevens en de duur van de onderscheidende dagdelen ( zie paragraaf 4.1.1) is uit de tabel af te leiden dat er in de huidige situatie per etmaal in de richting Arnhem gemiddeld 3,8 goederentreinen en 116,2 reizigerstreinen passeren. In de richting Utrecht passeren er gemiddeld 3,8 goederentreinen en 113,5 reizigerstreinen.

Op station Driebergen-Zeist halteert ongeveer de helft van het aantal reizigerstreinen. De andere helft, die bestaat uit de ICE-treinen en intercity's, halteert niet. Hiervan passeert ongeveer de helft (dus ongeveer een kwart van alle treinen) rond de maximum snelheid van 130 km/uur. De andere niet halterende treinen rijden stapvoets door het station.

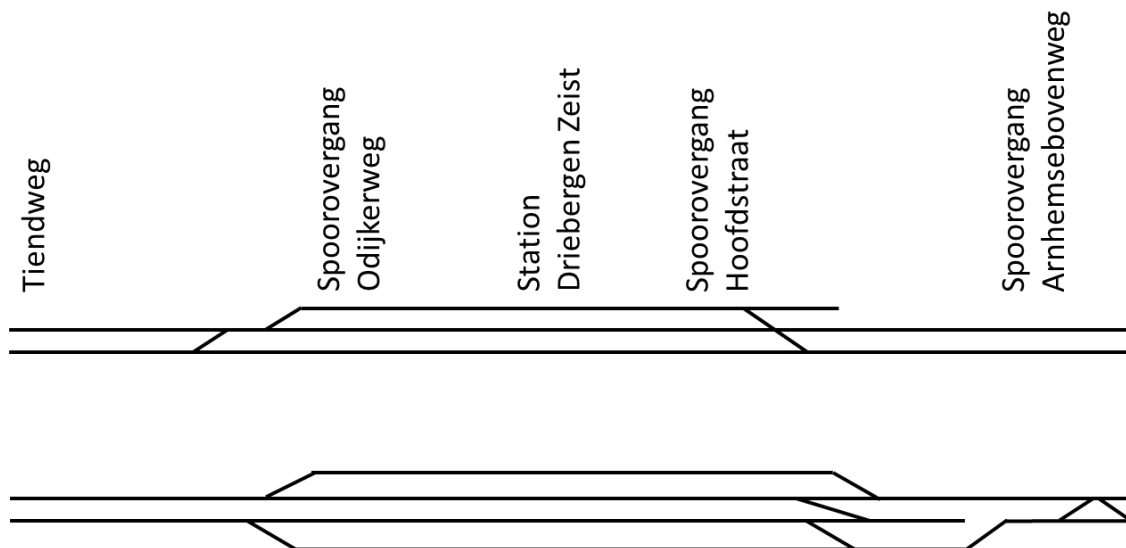
De goederentreinen passeren het station met een inlegsnelheid van 100 km /uur (netverklaring 2014).



Figuur 4-1, Sprinter te Zeist

Voor de goederentreinen wordt in de referentiesituatie aangehouden dat de treinen in de beide richtingen beladen zijn.

De spoorlijn bestaat uit een dubbel spoor op de gedeelten buiten het stationsgebied Driebergen-Zeist. In het huidige stationsgebied zijn drie sporen gelegen. De spoorlay-out en de locatie van wissels zijn schematisch weergegeven in Figuur 4-2, bovenste figuur.



Figuur 4-2, Schets spoorlay-out huidige situatie (boven) en plan situatie (onder)

#### 4.1.3 PLANSITUATIE

Voor de plansituatie is er in voorgaande onderzoeken trillingen vanuit gegaan dat in de toekomst geen sprake zal zijn van structureel goederenvervoer op het traject Utrecht-Arnhem. De gemeenten Zeist en Utrechtse Heuvelrug, de provincie Utrecht en ProRail menen dat dit nog altijd een juist uitgangspunt is. Louter om inzicht te bieden in hoeverre het rijden met goederentreinen de eerdere bevindingen zouden beïnvloeden, is in dit aanvullend onderzoek uitgegaan van een worst-case situatie. Deze situatie behelst de mogelijkheid van incidenteel goederenvervoer. Daarbij is ervan uitgegaan dat in totaal drie goederentreinen per dag in beide richtingen tezamen van het traject Utrecht-Arnhem gebruik maken. Dit aantal is gebaseerd op het incidenteel goederenvervoer inhoudende 0-2 treinen, zoals dat wordt gehanteerd in de Verwerking herijkte goederenprognoses PHS (behorend bij de Lange Termijn Spooragenda deel 2, aangeboden aan de Tweede Kamer bij brief van 28 maart 2014, nr. kenmerk IENM/BSK 2014/65562), met daarbij opgeteld gemiddeld 1 goederentrein per dag voor aanvullende bijsturing (omleidingsroute bij stremmingen). Oftewel, in dit aanvullend onderzoek wordt rekening gehouden met drie goederentreinen per etmaal in beide richtingen tezamen.

| Trein soort   | Richting   | aantal treinen/uur gemiddeld over een etmaal (prognose 2030) |               |              |
|---------------|------------|--------------------------------------------------------------|---------------|--------------|
|               | Trein naar | Dag periode                                                  | Avond periode | nachtperiode |
| Intercity     | Arnhem     | 6,00                                                         | 6,00          | 1,93         |
| Intercity     | Utrecht    | 6,00                                                         | 6,00          | 1,93         |
| Sprinter      | Maarn      | 6,00                                                         | 6,00          | 1,93         |
| Sprinter      | Utrecht    | 6,00                                                         | 6,00          | 1,93         |
| ICE           | Arnhem     | 1,00                                                         | 1,00          | 0,32         |
| ICE           | Utrecht    | 1,00                                                         | 1,00          | 0,32         |
| Goederentrein | Arnhem     | 0,07                                                         | 0,08          | 0,05         |
| Goederentrein | Utrecht    | 0,07                                                         | 0,08          | 0,05         |

Tabel 4-3, Aantal gemiddelde treinpassages per uur ter plaatse van Stationsgebied Driebergen-Zeist, prognose 2030

Op basis van bovenstaande uurgemiddelden en de duur van de onderscheidende dagdelen (zie paragraaf 4.1.1) volgt uit de tabel dat er in de plansituatie per etmaal in de richting Arnhem gemiddeld 1,5 goederentreinen en 241,4 reizigerstreinen passeren. In de richting Utrecht zijn dezelfde aantallen aangehouden.

In de toekomstige situatie zal op het spoortraject Utrecht-Arnhem geen wezenlijke wijziging optreden in het type treinmaterieel voor reizigersvervoer.

In de toekomstige situatie, wanneer er vier sporen liggen ter plaatse van station Driebergen-Zeist, kunnen alle intercity's en ICE's met een snelheid van circa 130 km/uur door het station rijden.

Het spoortraject zal minder worden gebruikt voor goederenvervoer. Aangenomen is dat alle treinen in beide richtingen beladen zijn.

In de plansituatie zal een vierde spoor aanwezig zijn in het gebied rondom station Driebergen-Zeist. Ten behoeve van het vierde spoor worden de huidige sporen verlegd, wissels verplaatst en wissels toegevoegd. In Figuur 4-2 is ter verduidelijking een schets van de sporenlay-out weergegeven.

Opgemerkt wordt dat de wissel die eerder ter hoogte van de Tiendweg (km 45.0) was gepland niet gerealiseerd zal worden. De woning met bedrijfsruimte (adres: Tiendweg 38) die ter hoogte van deze locatie is gelegen, is voor de situatie zonder wissel beoordeeld op trillingen in de plansituatie.

## 4.2 RUIMTELIJKE DEMPING IN ONDERGROND

### Grondopbouw

De bodemopbouw is in de voorgaande rapportages beschreven op basis van archiefgegevens en projectspecifiek geotechnisch onderzoek. Aan de voorgaande rapportages is de geschematiseerde bodemopbouw voor respectievelijk het gebied ten westen van het stationsgebied en in het stationsgebied ontleend. Deze zijn weergegeven in Tabel 4-4 en Tabel 4-5.

| Diepte b.k. laag<br>[m NAP] | Grondsoort              |
|-----------------------------|-------------------------|
| + 3                         | Toplaag Zand / Klei     |
| + 2                         | Zand, matig vast gepakt |
| -2                          | Zand, los gepakt        |
| -3,5                        | Zand, matig vast gepakt |
| -4,5                        | Zand, los gepakt        |

|      |                         |
|------|-------------------------|
| -7,5 | Zand, matig vast gepakt |
| - 13 | Verkende diepte         |

Tabel 4-4, Schematisatie grondopbouw projectgebied ten westen van stationsgebied.

| Diepte b.k. laag<br>[m NAP] | Grondsoort                                     |
|-----------------------------|------------------------------------------------|
| +5                          | Ballastbed                                     |
| + 4                         | Zand, los gepakt                               |
| +3                          | Zand, los tot matig vast gepakt                |
| +0,5                        | Zand, zeer los gepakt, zwak tot uiterst siltig |
| -1,5                        | Zand, los tot matig vast gepakt                |
| -5                          | Zand, los gepakt                               |
| -9                          | Zand, matig vast gepakt                        |
| - 25                        | Verkende diepte                                |

Tabel 4-5, Schematisatie grondopbouw en grondparameters nabij station Driebergen-Zeist.

In het kader van de voorliggende rapportage is voor de overdracht en demping van trillingen via de ondergrond gebruik gemaakt van het model dat ook in de voorgaande rapportages is gehanteerd en dat als volgt is geformuleerd:

$$C_{bodem}(x) = \sqrt{\frac{x_0}{x}} e^{-\alpha(x-x_0)}$$

Waarin:

- $C_{bodem}(x)$  Factor voor de geometrische overdracht in de bodem (ruimtelijke en fysische demping) op afstand  $x$  van de bron [-].
- $x_0$  Referentie-afstand tot de bron (= 10 m) [m].
- $x$  Afstand tot de bron [m].
- $\alpha$  Karakteristieke dempingsconstante ten gevolge van materiaaldemping [ $m^{-1}$ ].

Uit de trillingsmetingen langs het spoor in de omgeving van station Driebergen-Zeist, uitgevoerd in 2012 en 2013 is de materiaaldempingfactor  $\alpha$  afgeleid, zoals vermeld in de rapportage van september 2014. In Tabel 4-6 zijn de destijds afgeleide materiaaldempingfactoren weergegeven, die ook voor de voorliggende rapportage als uitgangspunt zijn gehanteerd.

| Locatie          | $\alpha$ [-] |
|------------------|--------------|
| Tiendweg         | 0,09         |
| Omgeving station | 0,07         |

Tabel 4-6, Materiaal demping grond

## 4.3 OVERDRACHT IN GEBOUWEN

### 4.3.1 ALGEMEEN

In de omgeving van het station is bebouwing aanwezig. Deze bebouwing bestaat deels uit woningen en deels uit bedrijfsgebouwen en kantoren.

De woningen staan met name aan de zuidzijde van het spoor ter plaatse van de Odijkerweg. Aan de noordzijde van het spoor staan er woningen langs de Odijkerweg op een afstand van minimaal 50 m vanuit het bestaande spoor.

Bedrijfspanen zijn zowel ten noorden als ten zuiden van het spoor aanwezig.

De bebouwing is onderscheidend in leeftijd, funderingswijze en constructiewijze.

De bedrijfspanen zijn over het algemeen minder dan 50 jaar oud, op palen gefundeerd en bestaan uit een dragende beton- of staalconstructie.

De woningen zijn overwegend ouder dan 50 jaar, betreffen op staal gefundeerde panden en zijn in metselwerk opgetrokken.

Er is een nadere inventarisatie uitgevoerd van alle bebouwing die zich binnen 50 m vanuit het spoor bevindt. Aan de zuidzijde van het spoor is deze zone, in verband met de ouderdom en bouwkundige gesteldheid van een aantal woningen zekerheidshalve uitgebreid tot 150 m. Bebouwing op grotere afstand bevindt zich op basis van verwachting en eerdere berekeningen niet in de invloedssfeer van het spoor.

Aan de hand van archiefonderzoek, waarbij gegevens uit de gemeentelijke archieven zijn geraadpleegd, de veelal beschikbare bouwtekeningen en een veldbezoek inclusief in pandig bezoek aan de woningen, zijn per object de volgende kenmerken vastgelegd:

- De leeftijd van de bebouwing.
- Het funderingstype (fundering op staal of paalfundering).
- Het type bouw (metselwerk of betonbouw).
- Het type vloer (hout of beton).

De aard van de constructie is van invloed op de gevoeligheid voor trillingen van het gebouw. De nieuwere gebouwen zijn minder gevoelig voor trillingen dan de oudere.

Naast de kenmerken van de bebouwing is voor het bepalen van trillingsniveaus in de objecten de bestemming van belang in verband met het te hanteren beoordelingskader.

Op basis van veldverkenning en raadpleging van BAG is de gebruiksfunctie per object bepaald, waarbij onderscheid is gemaakt tussen woon-en kantoorfunctie. Voor de bestemming wonen gelden de strengste streefwaarden met betrekking tot trillingshinder.

In onderstaande tabel is een overzicht opgenomen van de aanwezige bebouwing, met vermelding van bouwjaar en gebruiksfunctie (bron: BAG). In afwijking van de informatie ontleend aan BAG, zijn de volgende wijzigingen aangehouden:

- De panden Odijkerweg 106 en 108 zijn volgens BAG gebouwd in 1970. Uit waarneming op locatie is echter geen onderscheid in de gebouwkenmerken waarneembaar ten opzichte van de aangrenzende panden Odijkerweg 102 en 104. Om die reden worden deze panden samengevoegd tot één cluster met kenmerken conform de kenmerken van de panden Odijkerweg 102 en 104.
- Voor pand Odijkerweg 114/116 is het bouwjaar, op basis van visuele inschatting tijdens een veldbezoek, ingeschat op rond 1985, omdat het bouwjaar volgens BAG (1900) niet strookt met de kenmerken van het pand.

Onderstaand is in Tabel 4-7 een samenvatting gegeven van als mogelijk trillingsgevoelige beoordeelde bebouwing. Hierbij zijn tevens de kenmerken en functie van de panden weergegeven. Voor een nadere toelichting hierop wordt verwezen naar bijlage 4.

| Object/cluster nummer | Adres                  | Gebruiks-functie   | Categorie    | Fundatie                | Bouwjaar ca. | vloer |
|-----------------------|------------------------|--------------------|--------------|-------------------------|--------------|-------|
| 1                     | Tiendweg 38 (woning)   | Wonen              | 2 metselwerk | staalfundering          | 1973         | hout  |
| 2                     | Kwekerijweg 6 en 8     | Industrie          | 1 betonbouw  | staalfundering          | 1988         | beton |
| 3                     | Kwekerijweg 2a, 2b, 2c | Kantoor            | 1 betonbouw  | staalfundering          | 1996         | beton |
| 4                     | Princenhofpark 1-27    | Kantoor            | 1 betonbouw  | staal- en paalfundering | 1988         | beton |
| 5                     | Stationsweg 3          | Kantoor            | 1 betonbouw  | staalfundering          | 2003         | beton |
| 6                     | Stationsweg 11, 13, 15 | Kantoor            | 1 betonbouw  | paalfundering           | 1986         | beton |
| 7                     | Odijkerweg 82          | Geen <sup>1)</sup> | 1 betonbouw  | staalfundering          | 1989         | beton |
| 8                     | Odijkerweg 92 t/m 96   | Wonen              | 2 metselwerk | staalfundering          | 1933         | hout  |
| 9                     | Odijkerweg 98          | Wonen              | 2 metselwerk | staalfundering          | 1900-1910    | hout  |
| 10                    | Odijkerweg 100         | Wonen              | 2 metselwerk | staalfundering          | 1900-1910    | hout  |
| 11                    | Odijkerweg 102 t/m 108 | Wonen              | 2 metselwerk | staalfundering          | 1900-1910    | hout  |
| 12                    | Odijkerweg 110/112     | Wonen              | 2 metselwerk | staalfundering          | 1949         | hout  |
| 13                    | Odijkerweg 114/116     | Wonen              | 2 metselwerk | staalfundering          | 1985         | beton |
| 14                    | Odijkerweg 118/120     | Wonen              | 2 metselwerk | staalfundering          | 1900-1910    | hout  |

Tabel 4-7, Samenvatting inventarisatie bebouwing (alleen mogelijk trillingsgevoelige bebouwing)

- 1) Volgens opgave van de gemeente Zeist is de bestemming spoorweg-doeleinden.

In de voorgaande onderzoeken ten behoeve van het aspect trillingen zijn bij een achttal panden trillingsmetingen uitgevoerd. Hierbij is door metingen in en buiten de panden ondermeer de overdrachtsfactor  $C_{\text{gebouw}}$  voor trillingen door spoorverkeer bepaald. In alle gevallen zijn de metingen uitgevoerd aan opstallen met een bedrijfsfunctie.

Om inzicht te verkrijgen op de respons op spoorgerelateerde trillingen in woningen zijn in november 2014 aanvullende trillingsmetingen uitgevoerd aan acht woningen. Dit betreft zeven woningen aan de Odijkerweg en één woning aan de Tiendweg.

In de navolgende paragrafen wordt het uitgevoerde meetprogramma kort toegelicht en worden de resultaten in de vorm van de overdrachtskarakteristieken gepresenteerd.

#### 4.3.2 MEETPROGRAMMA OVERDRACHT WONINGEN

Op basis van een conservatieve inschatting van het invloedsgebied van de trillingen van 150 m zijn binnen deze afstand vanuit het toekomstige spoor langs de Odijkerweg een 15-tal woningen geïnventariseerd (Odijkerweg 92 tot en met 120 even nummers).



Op basis van nadere visuele beoordeling van de woningen zijn hieruit een zestal maatgevende panden geselecteerd. Deze woningen zijn ofwel onderdeel van een cluster gelijksoortige woningen of als singulier object dermate afwijkend dat deze afzonderlijk beschouwd dient te worden.

De panden waaraan metingen zijn uitgevoerd betreffen de woningen Odijkerweg, 92, 98, 100, 102, 110, 114 en 120.

Ter plaatse van de Tiendweg was het voornemen om een meting uit te voeren aan de woning Tiendweg 38.

Doordat van de eigenaren geen betredingstoestemming voor het uitvoeren van metingen in deze woning werd verkregen, was het niet mogelijk de uitgangspunten ten aanzien van het gedrag van de woning bij de overdracht van trillingen middels metingen vast te stellen.

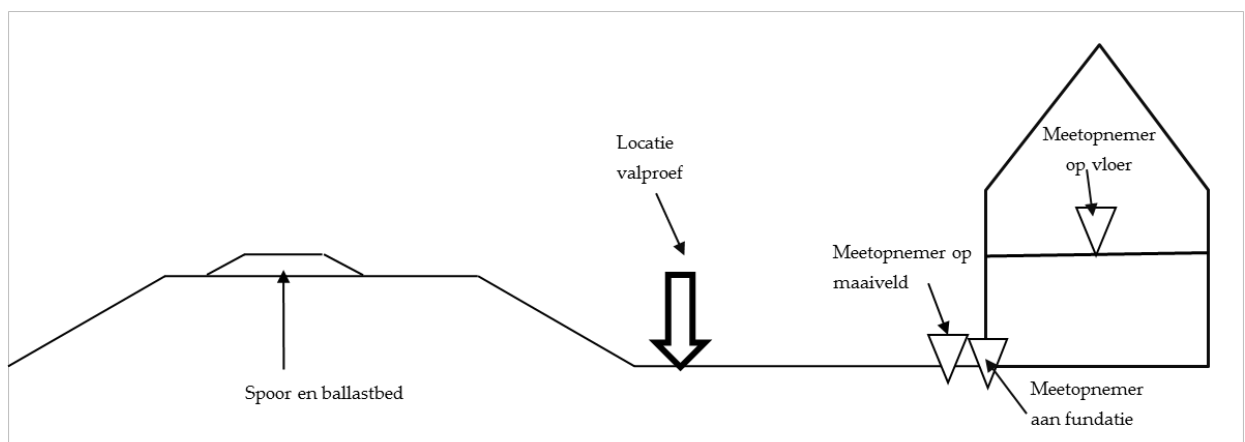
Vervolgens is in de nabijheid naar een representatieve vervangende woning gezocht, die op een vergelijkbare afstand van het spoor ligt. De woning Tiendweg 22 ligt circa 260 m ten westen van de woning Tiendweg 38 en ten zuiden van het spoor Utrecht-Arnhem. De afstand tot het spoor is, evenals bij de woning Tiendweg 38, circa 26 m. Ook qua gebouwtipe, een metselwerk constructie met één verdieping, is de woning Tiendweg 22 goed vergelijkbaar met het object Tiendweg 38. De woningen zijn respectievelijk circa 40 en 30 jaar geleden gebouwd.

Op basis van gegevens uit het bouwdoosier van de gemeente Zeist is vastgesteld dat de woning Tiendweg 22 een betonnen begane grondvloer heeft en een houten 1<sup>e</sup> verdiepingsvloer.

Op basis van deze uitgangspunten wordt geconcludeerd dat het pand Tiendweg 22 voor trillingsoverdracht een goede referentie biedt voor de woning Tiendweg 38.

De metingen aan de bovengenoemde panden hadden de volgende opzet, zie Figuur 4-3:

- Per object is gemeten op het maaiveld voor de bebouwing, aan de fundering van het gebouw en op twee vloeren (begane grond en verdiepingsvloer) van het gebouw.
- De metingen werden gedurende een periode van minimaal 24 uur uitgevoerd, waarbij ten tijde van het passeren van treinen de trillingen gemeten.
- Om zeker te zijn dat bij deze kortdurende metingen voldoende informatie betreffende de overdracht beschikbaar zou zijn is tevens een valproef uitgevoerd. Bij de valproef wordt kunstmatig een trilling opgewekt door het laten vallen van een gewicht op de grond. Meting van de trilling met de meters voor, in en aan de woning levert vergelijkbare informatie als de meting tijdens treinpassages.
- Gedurende de gehele meetperiode zijn de passerende treinen op locatie middels cameraregistratie vastgelegd, zodat terugkoppeling van de trillingsregistratie naar trein en rijrichting kon plaatsvinden.



Figuur 4-3, Meetopstelling fase 3

De metingen zijn uitgevoerd door Movares in de periode van 11 tot en met 18 november 2014. Voor een nadere beschrijving van de metingen wordt verwezen naar de rapportage met kenmerk D90-RRI-KA-1400005, versie 0.2 van 5 december 2014, die als bijlage 2 in dit rapport is bijgevoegd.

#### 4.4 MEETRESULTATEN

Op basis van de trillingsmetingen is een overdracht van de trilling in de grond naar de vloer van de woningen bepaald. Dit heeft de volgende resultaten opgeleverd, zie Tabel 4-8. Voor een toelichting op de resultaten wordt verwezen naar de rapportage van Movares in bijlage 2.

| Woning<br><br>Straat en huisnummer | Pand mede<br>representatief<br>voor panden met<br>huisnummers | Gemiddelde overdrachtsfactor vloer/grond |                 |               |
|------------------------------------|---------------------------------------------------------------|------------------------------------------|-----------------|---------------|
|                                    |                                                               | valgewicht                               | passagierstrein | goederentrein |
| Odijkerweg 92                      | 94, 96                                                        | 1,67                                     | 2,87            | 2,08          |
| Odijkerweg 98                      |                                                               | 0,82                                     | 2,96            | 3,38          |
| Odijkerweg 100                     |                                                               | 3,25                                     | 3,19            | 2,21          |
| Odijkerweg 102                     | 104,106,108                                                   | 2,76                                     | 1,94            | 1,33          |
| Odijkerweg 110                     | 112                                                           | 2,9                                      | 3,10            | 2,64          |
| Odijkerweg 114                     | 116                                                           | 2,66                                     | 1,49            | 1,16          |
| Odijkerweg 120                     | 118                                                           | 1,1                                      | 1,75            | 1,14          |
| Tiendweg 22                        |                                                               | 0,82                                     | 2,50            | 1,87          |

Tabel 4-8, Overdrachtscoëfficiënten op basis van trillingsmetingen

Uit Tabel 4-8 blijkt dat er een variatie is in de bepaalde overdrachtsfactoren van trillingen naar vloerniveau. De overdrachtsfactoren zijn afhankelijk van verschillende factoren zoals gewicht en stijfheid van het pand, de grootte van het vloeroppervlak, de lengte van de overspanning van het vloeroppervlak en het type vloer. Hierdoor worden ook niet alle frequenties op dezelfde wijze doorgegeven. Omdat het trillingsspectrum van de reizigerstreinen afwijkt van dat van de goederentreinen worden voor beide treintypen verschillende overdrachtsfactoren bepaald.

In de trillingsprognose voor de woningen is dit onderscheid in overdrachtsfactoren in rekening gebracht. Omdat uit de metingen tijdens treinpassages bij alle woningen eenduidig de overdrachtsfactoren konden worden bepaald zijn de resultaten van de valgewichtproeven verder buiten beschouwing gelaten. Voor de panden waaraan in november 2014 geen metingen zijn uitgevoerd, zijn de overdrachtsfactoren gehanteerd zoals die zijn opgenomen in Tabel 5-5 van de rapportage van september 2014 (ref[3]).

# 5

## Toets trillingsintensiteit referentie situatie

### 5.1 SBR-RICHTLIJN TRILLINGEN DEEL B HINDER VOOR PERSONEN IN GEBOUWEN

Voor de toetsing van de geprognoseerde trillingsintensiteiten wordt de SBR-richtlijn “Trillingen deel B Hinder voor personen in gebouwen” (SBR-B) gehanteerd, zoals toegelicht in hoofdstuk 2.

Voor de toetsing van de trillingen zijn de  $v_{eff,max}$  (maximale effectieve waarde van de momentane trillingsintensiteit) en de  $v_{per}$  (kwadratisch gemiddelde van de effectieve waarde van de maxima) van belang.

Er is in dit geval conform de SBR B sprake van een gewijzigde situatie. De referentie situatie wordt in dat geval getoetst aan de streefwaarden voor bestaande situaties ( tabel 3 van SBR B).

### 5.2 POSTDICTIE REFERENTIE SITUATIE

Voor de referentiesituatie zijn op basis van de uitgangspunten zoals omschreven in hoofdstuk 3 de trillingskarakteristieken bepaald ter beoordeling van de hinderbeleving.

De resultaten van de berekening zijn weergegeven in Tabel 5-2.

In de tabel zijn de trillingsniveaus bepaald per gebouwcluster en gebaseerd op de metingen die aan het maatgevende pand binnen het cluster zijn uitgevoerd.

Met betrekking tot het pand Tiendweg 38, waarvoor van de eigenaren van deze woning geen toestemming werd verkregen voor metingen in de woning, is uitgegaan van de overdrachtsfactoren die zijn bepaald voor het pand Tiendweg 22.

| Locatie                       | functie   | $V_{eff,max}$ | $V_{per}$ | $V_{per}$ | $V_{per}$ |
|-------------------------------|-----------|---------------|-----------|-----------|-----------|
|                               |           |               | Dag       | avond     | nacht     |
| Tiendweg 38                   | Wonen     | 0,58          | 0,17      | 0,15      | 0,09      |
| Kwekerijweg 6-8               | Industrie | 0,40          | 0,11      | 0,10      | 0,06      |
| Kwekerijweg 2a-2c             | Kantoor   | 0,48          | 0,14      | 0,12      | 0,07      |
| Princenhofpark 1-27           | Kantoor   | 0,48          | 0,14      | 0,12      | 0,07      |
| Stationsweg 11-15             | Kantoor   | 0,38          | 0,12      | 0,11      | 0,06      |
| Odijkerweg 92, 94, 96         | Wonen     | 0,48          | 0,13      | 0,13      | 0,07      |
| Odijkerweg 98                 | Wonen     | 0,26          | 0,08      | 0,07      | 0,04      |
| Odijkerweg 100                | Wonen     | 0,06          | 0,02      | 0,02      | 0,01      |
| Odijkerweg 102, 104, 106, 108 | Wonen     | 0,05          | 0,01      | 0,01      | 0,01      |
| Odijkerweg 110,112            | Wonen     | 0,02          | 0,01      | 0,01      | 0,01      |
| Odijkerweg 114/116            | Wonen     | 0,00          | 0,00      | 0,00      | 0,00      |
| Odijkerweg 118,120            | Wonen     | 0,00          | 0,00      | 0,00      | 0,00      |

Tabel 5-1, Postdictie trillingen op vloer referentiesituatie

### 5.3 TOETS TRILLINGEN REFERENTIESITUATIE

De toetsing van de berekende trillingsniveaus in de referentiesituatie is uitgevoerd aan de hand van de streef- en grenswaarden voor een bestaande situatie. Hierbij wordt afzonderlijk getoetst voor de dag-, avond- en nachtperiode.

In Tabel 5-2 tot en met Tabel 5-4 is de toetsing voor de drie beoordelingsperioden uitgevoerd.

In de kolommen onder “voldoet A?” is afzonderlijk getoetst op de A1, A2 en A3 waarden.

Vervolgens is in de laatste kolom van de tabel het eindoordeel van de toetsing weergegeven.

Er wordt voldaan aan de streefwaarden indien A1 niet wordt overschreden, ofwel zowel A2 en A3 niet worden overschreden. Indien aan deze voorwaarde is voldaan is in de laatste kolom “voldoet niet” weergegeven.

| Locatie                       | functie   | $V_{eff,max}$ | $V_{per}$ | $A_1$ | $A_2$ | $A_3$ | Voldoet A? |       |       | Conclusie    |
|-------------------------------|-----------|---------------|-----------|-------|-------|-------|------------|-------|-------|--------------|
|                               |           |               |           |       |       |       | $A_1$      | $A_2$ | $A_3$ |              |
| Tiendweg 38                   | Wonen     | 0,58          | 0,17      | 0,2   | 0,8   | 0,1   | nee        | ja    | nee   | voldoet niet |
| Kwekerijweg 6-8               | Industrie | 0,40          | 0,11      | 0,3   | 1,2   | 0,15  | ja         | ja    | ja    | voldoet      |
| Kwekerijweg 2a-2c             | Kantoor   | 0,48          | 0,14      | 0,3   | 1,2   | 0,15  | nee        | ja    | ja    | voldoet      |
| Princenhofpark 1-27           | Kantoor   | 0,48          | 0,14      | 0,3   | 1,2   | 0,15  | nee        | ja    | ja    | voldoet      |
| Stationsweg 11-15             | Kantoor   | 0,38          | 0,12      | 0,3   | 1,2   | 0,15  | nee        | ja    | ja    | voldoet      |
| Odijkerweg 92, 94, 96         | Wonen     | 0,48          | 0,13      | 0,2   | 0,8   | 0,1   | nee        | ja    | nee   | voldoet niet |
| Odijkerweg 98                 | Wonen     | 0,26          | 0,08      | 0,2   | 0,8   | 0,1   | nee        | ja    | ja    | voldoet      |
| Odijkerweg 100                | Wonen     | 0,06          | 0,02      | 0,2   | 0,8   | 0,1   | ja         | ja    | ja    | voldoet      |
| Odijkerweg 102, 104, 106, 108 | Wonen     | 0,05          | 0,01      | 0,2   | 0,8   | 0,1   | ja         | ja    | ja    | voldoet      |
| Odijkerweg 110,112            | Wonen     | 0,02          | 0,01      | 0,2   | 0,8   | 0,1   | ja         | ja    | ja    | voldoet      |
| Odijkerweg 114/116            | Wonen     | 0,00          | 0,00      | 0,2   | 0,8   | 0,1   | ja         | ja    | ja    | voldoet      |
| Odijkerweg 118,120            | Wonen     | 0,00          | 0,00      | 0,2   | 0,8   | 0,1   | ja         | ja    | ja    | voldoet      |

Tabel 5-2, Toets trillingen op vloer referentie situatie, dagperiode

| Locatie                       | functie   | $V_{eff,max}$ | $V_{per}$ | $A_1$ | $A_2$ | $A_3$ | Voldoet A? |       |       | Conclusie    |
|-------------------------------|-----------|---------------|-----------|-------|-------|-------|------------|-------|-------|--------------|
|                               |           |               |           |       |       |       | $A_1$      | $A_2$ | $A_3$ |              |
| Tiendweg 38                   | Wonen     | 0,58          | 0,15      | 0,2   | 0,8   | 0,1   | nee        | ja    | nee   | voldoet niet |
| Kwekerijweg 6-8               | Industrie | 0,40          | 0,10      | 0,3   | 1,2   | 0,15  | ja         | ja    | ja    | voldoet      |
| Kwekerijweg 2a-2c             | Kantoor   | 0,48          | 0,12      | 0,3   | 1,2   | 0,15  | nee        | ja    | ja    | voldoet      |
| Princenhofpark 1-27           | Kantoor   | 0,48          | 0,12      | 0,3   | 1,2   | 0,15  | nee        | ja    | ja    | voldoet      |
| Stationsweg 11-15             | Kantoor   | 0,38          | 0,11      | 0,3   | 1,2   | 0,15  | nee        | ja    | ja    | voldoet      |
| Odijkerweg 92, 94, 96         | Wonen     | 0,48          | 0,13      | 0,2   | 0,8   | 0,1   | nee        | ja    | nee   | voldoet niet |
| Odijkerweg 98                 | Wonen     | 0,26          | 0,07      | 0,2   | 0,8   | 0,1   | nee        | ja    | ja    | voldoet      |
| Odijkerweg 100                | Wonen     | 0,06          | 0,02      | 0,2   | 0,8   | 0,1   | ja         | ja    | ja    | voldoet      |
| Odijkerweg 102, 104, 106, 108 | Wonen     | 0,05          | 0,01      | 0,2   | 0,8   | 0,1   | ja         | ja    | ja    | voldoet      |
| Odijkerweg 110,112            | Wonen     | 0,02          | 0,01      | 0,2   | 0,8   | 0,1   | ja         | ja    | ja    | voldoet      |
| Odijkerweg 114/116            | Wonen     | 0,00          | 0,00      | 0,2   | 0,8   | 0,1   | ja         | ja    | ja    | voldoet      |
| Odijkerweg 118,120            | Wonen     | 0,00          | 0,00      | 0,2   | 0,8   | 0,1   | ja         | ja    | ja    | voldoet      |

Tabel 5-3, Toets trillingen op vloer referentiesituatie, avondperiode

| Locatie                       | functie   | $V_{eff,max}$ | $V_{per}$<br>nacht | $A_1$ | $A_2$ | $A_3$ | Voldoet A? |       |       | Conclusie    |
|-------------------------------|-----------|---------------|--------------------|-------|-------|-------|------------|-------|-------|--------------|
|                               |           |               |                    |       |       |       | $A_1$      | $A_2$ | $A_3$ |              |
| Tiendweg 38                   | Wonen     | 0,58          | 0,09               | 0,2   | 0,4   | 0,1   | nee        | nee   | ja    | voldoet niet |
| Kwekerijweg 6-8               | Industrie | 0,40          | 0,06               | 0,3   | 1,2   | 0,15  | nee        | ja    | ja    | voldoet      |
| Kwekerijweg 2a-2c             | Kantoor   | 0,48          | 0,07               | 0,3   | 1,2   | 0,15  | nee        | ja    | ja    | voldoet      |
| Princenhofpark 1-27           | Kantoor   | 0,48          | 0,07               | 0,3   | 1,2   | 0,15  | nee        | ja    | ja    | voldoet      |
| Stationsweg 11-15             | Kantoor   | 0,38          | 0,06               | 0,3   | 1,2   | 0,15  | nee        | ja    | ja    | voldoet      |
| Odijkerweg 92, 94, 96         | Wonen     | 0,48          | 0,07               | 0,2   | 0,4   | 0,1   | nee        | nee   | ja    | voldoet niet |
| Odijkerweg 98                 | Wonen     | 0,26          | 0,04               | 0,2   | 0,4   | 0,1   | nee        | ja    | ja    | voldoet      |
| Odijkerweg 100                | Wonen     | 0,06          | 0,01               | 0,2   | 0,4   | 0,1   | ja         | ja    | ja    | voldoet      |
| Odijkerweg 102, 104, 106, 108 | Wonen     | 0,05          | 0,01               | 0,2   | 0,4   | 0,1   | ja         | ja    | ja    | voldoet      |
| Odijkerweg 110,112            | Wonen     | 0,02          | 0,01               | 0,2   | 0,4   | 0,1   | ja         | ja    | ja    | voldoet      |
| Odijkerweg 114/116            | Wonen     | 0,00          | 0,00               | 0,2   | 0,4   | 0,1   | ja         | ja    | ja    | voldoet      |
| Odijkerweg 118,120            | Wonen     | 0,00          | 0,00               | 0,2   | 0,4   | 0,1   | ja         | ja    | ja    | voldoet      |

Tabel 5-4, Toets trillingen op vloer referentiesituatie, nachtperiode

Uit de tabel blijkt voor de maatgevende objecten in de ongewijzigde situatie (referentiesituatie) het volgende:

- In de woning Tiendweg 38 wordt in alle perioden niet voldaan aan de streefwaarden bestaand.
- In de bedrijfspanden Kwekerijweg 6-8, Kwekerijweg 2a-2c, Princenhofpark 1-27 en Stationsweg 11-15 wordt in alle perioden voldaan aan de streefwaarden bestaand.
- In de woningen Odijkerweg 92, 94 en 96 wordt niet voldaan aan de streefwaarden bestaand.
- In de woningen Odijkerweg 98 tot en met 120 (even nummers) wordt in alle perioden voldaan aan de streefwaarden bestaand.

## 6

## Toets trillingsintensiteit plansituatie

## 6.1 PREDICTIE PLANSITUATIE

Voor de plansituatie is, op basis van de uitgangspunten zoals omschreven in hoofdstuk 3, een predictie opgesteld van de trillingskarakteristieken. De resultaten van de berekening zijn weergegeven in Tabel 6-1. In de tabel zijn de trillingsniveaus bepaald per gebouwcluster en gebaseerd op de metingen die aan het maatgevende pand binnen het cluster zijn uitgevoerd.

| Locatie                       | $V_{eff,max}$ | $V_{per}$<br>dag | $V_{per}$<br>avond | $V_{per}$<br>Nacht |
|-------------------------------|---------------|------------------|--------------------|--------------------|
| Tiendweg 38                   | 0,58          | 0,23             | 0,23               | 0,07               |
| Kwekerijweg 6-8               | 0,40          | 0,15             | 0,15               | 0,08               |
| Kwekerijweg 2a-2c             | 0,45          | 0,17             | 0,17               | 0,09               |
| Princenhofpark 1-27           | 0,45          | 0,17             | 0,17               | 0,09               |
| Stationsweg 11-15             | 1,06          | 0,35             | 0,35               | 0,11               |
| Odijkerweg 92, 94, 96         | 1,05          | 0,35             | 0,35               | 0,11               |
| Odijkerweg 98                 | 0,62          | 0,20             | 0,20               | 0,07               |
| Odijkerweg 100                | 0,15          | 0,05             | 0,05               | 0,02               |
| Odijkerweg 102, 104, 106, 108 | 0,10          | 0,03             | 0,03               | 0,01               |
| Odijkerweg 110,112            | 0,05          | 0,02             | 0,02               | 0,01               |
| Odijkerweg 114/116            | 0,01          | 0,00             | 0,00               | 0,00               |
| Odijkerweg 118,120            | 0,00          | 0,00             | 0,00               | 0,00               |

Tabel 6-1, Predictie trillingsniveaus plansituatie

Voor de plansituatie is uitgegaan van een spoor zonder wissels ter hoogte van het pand Tiendweg 38. In Tabel 6-2 zijn de waarden voor de plansituatie weergegeven indien er geen wissels worden toegepast ter hoogte van dit pand. De situatie met wissels wordt in de toetsing dus verder buiten beschouwing gelaten.

| Locatie     | $V_{eff,max}$ | $V_{per}$<br>dag | $V_{per}$<br>avond | $V_{per}$<br>Nacht |
|-------------|---------------|------------------|--------------------|--------------------|
| Tiendweg 38 | 0,58          | 0,23             | 0,23               | 0,07               |

Tabel 6-2, Predictie trillingsniveaus plansituatie Tiendweg 38, zonder wissels in spoor

## 6.2 TOETS TRILLINGEN PLAN SITUATIE

De toetsing van de berekende trillingsniveaus in de referentiesituatie is uitgevoerd aan de hand van de methodiek conform SBR-B paragraaf 10.5.3.4, en zoals beschreven in hoofdstuk 2, met de stappen 1 t/m 3. Omdat de geprognoseerde  $v_{per}$  voor de dag- en avondperiode in de plansituatie niet onderscheidend zijn (zie Tabel 6-1) en de streefwaarden ook identiek zijn voor de dag- en avondperiode, wordt de toetsing hier gecombineerd uitgevoerd voor dag- en avondperiode, en wordt de nachtperiode aansluitend afzonderlijk per stap getoetst.

### 6.2.1 STAP 1: TRILLINGSKARAKTERISTIEKEN NA WIJZIGING NIET MEER DAN VOOR WIJZIGING

In deze stap worden alle panden die bij toetsing in de ongewijzigde situatie voldoen aan de streefwaarden voor bestaande situatie getoetst.

Omdat de  $v_{per}$  in de referentiesituatie voor dag- en avondperiode verschillen is hier voor de toetsing de laagste waarde die betrekking heeft op de avondperiode aangehouden als referentiewaarde. De toetsing is in Tabel 6-2 weergegeven.

| Locatie                          | plansituatie  |           | referentie-situatie |                   | toets<br>$v_{plan} \leq v_{ref}$ |           | Resultaat<br>dag/avond |
|----------------------------------|---------------|-----------|---------------------|-------------------|----------------------------------|-----------|------------------------|
|                                  | $v_{eff,max}$ | $v_{per}$ | $v_{eff,max}$       | $v_{per} (avond)$ | $v_{eff,max}$                    | $v_{per}$ |                        |
| Kwekerijweg 6-8                  | 0,40          | 0,15      | 0,40                | 0,10              | ja                               | nee       | Voldoet niet           |
| Kwekerijweg 2a-2c                | 0,45          | 0,17      | 0,48                | 0,12              | ja                               | nee       | Voldoet niet           |
| Princenhofpark 1-27              | 0,45          | 0,17      | 0,48                | 0,12              | ja                               | nee       | Voldoet niet           |
| Stationsweg 11-15                | 1,06          | 0,35      | 0,38                | 0,11              | nee                              | nee       | Voldoet niet           |
| Odijkerweg 98                    | 0,62          | 0,20      | 0,30                | 0,08              | nee                              | nee       | Voldoet niet           |
| Odijkerweg 100                   | 0,15          | 0,05      | 0,06                | 0,02              | nee                              | nee       | Voldoet niet           |
| Odijkerweg 102,<br>104, 106, 108 | 0,10          | 0,03      | 0,05                | 0,01              | nee                              | nee       | Voldoet niet           |
| Odijkerweg 110,112               | 0,05          | 0,02      | 0,02                | 0,01              | nee                              | nee       | Voldoet niet           |
| Odijkerweg 114/116               | 0,01          | 0,00      | 0,00                | 0,00              | ja                               | ja        | Voldoet                |
| Odijkerweg 118,120               | 0,00          | 0,00      | 0,00                | 0,00              | ja                               | ja        | Voldoet                |

Tabel 6-2, Stap 1: toetsing toename trillingsniveaus plansituatie dag/avondperiode



| Locatie                          | plansituatie  |           | referentie-situatie |           | toets<br>v-plan ≤ v-ref |           | Resultaat<br>dag/avond |
|----------------------------------|---------------|-----------|---------------------|-----------|-------------------------|-----------|------------------------|
|                                  | $V_{eff,max}$ | $V_{per}$ | $V_{eff,max}$       | $V_{per}$ | $V_{eff,max}$           | $V_{per}$ |                        |
| Kwekerijweg 6-8                  | 0,40          | 0,15      | 0,40                | 0,08      | ja                      | nee       | Voldoet niet           |
| Kwekerijweg 2a-2c                | 0,45          | 0,17      | 0,48                | 0,09      | ja                      | nee       | Voldoet niet           |
| Princenhofpark 1-27              | 0,45          | 0,17      | 0,48                | 0,09      | ja                      | nee       | Voldoet niet           |
| Stationsweg 11-15                | 1,06          | 0,35      | 0,38                | 0,06      | nee                     | nee       | Voldoet niet           |
| Odijkerweg 98                    | 0,62          | 0,07      | 0,30                | 0,05      | nee                     | nee       | Voldoet niet           |
| Odijkerweg 100                   | 0,15          | 0,05      | 0,06                | 0,01      | nee                     | nee       | Voldoet niet           |
| Odijkerweg 102,<br>104, 106, 108 | 0,10          | 0,03      | 0,05                | 0,01      | nee                     | nee       | Voldoet niet           |
| Odijkerweg 110,112               | 0,05          | 0,02      | 0,02                | 0,01      | nee                     | nee       | Voldoet niet           |
| Odijkerweg 114/116               | 0,01          | 0,00      | 0,00                | 0,00      | nee                     | ja        | Voldoet niet           |
| Odijkerweg 118,120               | 0,00          | 0,00      | 0,001               | 0,00      | ja                      | ja        | Voldoet                |

Tabel 6-3, Stap 1: toetsing toename trillingsniveaus plansituatie nachtperiode

Uit de toetsing blijkt dat op alle locaties, behoudens locatie Odijkerweg 118/120, een toename van de trillingsniveaus optreedt.

## 6.2.2 STAP 2: TRILLINGSKARAKTERISTIEKEN NIET LAGER DAN STREEFWAARDEN NIEUW

In deze stap zijn de locaties waarvoor in stap 1 een toename van trillingsniveaus in de plansituatie is vastgesteld een toetsing uitgevoerd aan de streefwaarden voor een nieuwe situatie. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen de dag/avondperiode (Tabel 6-4) en de nachtperiode (Tabel 6-5).

| Locatie                          | $V_{eff,max}$ | $V_{per}$ | $A_1$ | $A_2$ | $A_3$ | Voldoet A? |       |       | Resultaat    |
|----------------------------------|---------------|-----------|-------|-------|-------|------------|-------|-------|--------------|
|                                  |               |           |       |       |       | $A_1$      | $A_2$ | $A_3$ |              |
| Kwekerijweg 6-8                  | 0,40          | 0,15      | 0,15  | 0,6   | 0,07  | nee        | ja    | nee   | Voldoet niet |
| Kwekerijweg 2a-2c                | 0,45          | 0,17      | 0,15  | 0,6   | 0,07  | nee        | ja    | nee   | Voldoet niet |
| Princenhofpark 1-27              | 0,45          | 0,17      | 0,15  | 0,6   | 0,07  | nee        | ja    | nee   | Voldoet niet |
| Stationsweg 11-15                | 1,06          | 0,35      | 0,15  | 0,6   | 0,07  | nee        | nee   | nee   | Voldoet niet |
| Odijkerweg 98                    | 0,62          | 0,20      | 0,1   | 0,4   | 0,05  | nee        | nee   | nee   | Voldoet niet |
| Odijkerweg 100                   | 0,15          | 0,05      | 0,1   | 0,4   | 0,05  | nee        | ja    | ja    | Voldoet      |
| Odijkerweg 102,<br>104, 106, 108 | 0,10          | 0,03      | 0,1   | 0,4   | 0,05  | ja         | ja    | ja    | Voldoet      |
| Odijkerweg 110,112               | 0,05          | 0,02      | 0,1   | 0,4   | 0,05  | ja         | ja    | ja    | Voldoet      |
| Odijkerweg 114/116               | 0,01          | 0,00      | 0,1   | 0,4   | 0,05  | ja         | ja    | ja    | Voldoet      |

Tabel 6-4, Stap 2: toetsing trillingsniveaus plansituatie aan streefwaarden "nieuwe situatie", dag/avondperiode

| Locatie                       | $V_{eff,max}$ | $V_{per}$ | $A_1$ | $A_2$ | $A_3$ | Voldoet A? |       |       | Resultaat    |
|-------------------------------|---------------|-----------|-------|-------|-------|------------|-------|-------|--------------|
|                               |               |           |       |       |       | $A_1$      | $A_2$ | $A_3$ |              |
| Kwekerijweg 6-8               | 0,40          | 0,08      | 0,15  | 0,6   | 0,07  | nee        | ja    | nee   | Voldoet      |
| Kwekerijweg 2a-2c             | 0,45          | 0,09      | 0,15  | 0,6   | 0,07  | nee        | ja    | nee   | Voldoet niet |
| Princenhofpark 1-27           | 0,45          | 0,09      | 0,15  | 0,6   | 0,07  | nee        | ja    | nee   | Voldoet niet |
| Stationsweg 11-15             | 1,06          | 0,11      | 0,15  | 0,6   | 0,07  | nee        | ja    | nee   | Voldoet niet |
| Odijkerweg 98                 | 0,62          | 0,07      | 0,1   | 0,2   | 0,05  | nee        | nee   | nee   | Voldoet niet |
| Odijkerweg 100                | 0,15          | 0,02      | 0,1   | 0,2   | 0,05  | nee        | ja    | ja    | Voldoet      |
| Odijkerweg 102, 104, 106, 108 | 0,10          | 0,01      | 0,1   | 0,2   | 0,05  | ja         | ja    | ja    | Voldoet      |
| Odijkerweg 110,112            | 0,05          | 0,01      | 0,1   | 0,2   | 0,05  | ja         | ja    | ja    | Voldoet      |
| Odijkerweg 114/116            | 0,01          | 0,00      | 0,1   | 0,2   | 0,05  | ja         | ja    | ja    | Voldoet      |

Tabel 6-5, Stap 2: toetsing trillingsniveaus plansituatie aan streefwaarden "nieuwe situatie", nachtperiode

Uit de toetsing blijkt dat op de volgende locaties een toename van de trillingskarakteristieken is berekend, waarbij een overschrijding van de streefwaarden voor een nieuwe situatie optreedt:

- Kwekerijweg 6-8.
- Kwekerijweg 2a-2c.
- Princenhofpark 1-27.
- Stationsweg 11-15.
- Odijkerweg 98.

### 6.2.3 STAP 3: TOETSING AAN STREEFWAARDEN BESTAAND

Op twee locaties is in de huidige situatie sprake van een overschrijding van de streefwaarden bestaand.

Op deze locatie zal in de plansituatie een toename van de trillingskarakteristieken optreden.

In onderstaande tabel worden de karakteristieke waarden voor de plansituatie vergeleken met de streefwaarden bestaande situatie.

| Locatie               | $V_{eff,max}$ | $V_{per}$ | $A_1$ | $A_2$ | $A_3$ | Conclusie    |
|-----------------------|---------------|-----------|-------|-------|-------|--------------|
|                       |               |           |       |       |       |              |
| Tiendweg 38           | 0,58          | 0,23      | 0,2   | 0,8   | 0,1   | Voldoet niet |
| Odijkerweg 92, 94, 96 | 1,05          | 0,35      | 0,2   | 0,8   | 0,1   | Voldoet niet |

Tabel 6-6, Toets trillingen op vloer referentiesituatie, dagperiode

| Locatie               | $V_{eff,max}$ | $V_{per}$ | $A_1$ | $A_2$ | $A_3$ | Conclusie    |
|-----------------------|---------------|-----------|-------|-------|-------|--------------|
|                       |               |           |       |       |       |              |
| Tiendweg 38           | 0,58          | 0,23      | 0,2   | 0,8   | 0,1   | Voldoet niet |
| Odijkerweg 92, 94, 96 | 1,05          | 0,35      | 0,2   | 0,8   | 0,1   | Voldoet niet |

Tabel 6-7, Toets trillingen op vloer referentiesituatie, avondperiode

| Locatie               | $v_{eff,max}$ | $v_{per}$<br>nacht | $A_1$ | $A_2$ | $A_3$ | Conclusie    |
|-----------------------|---------------|--------------------|-------|-------|-------|--------------|
| Tiendweg 38           | 0,58          | 0,070              | 0,2   | 0,4   | 0,1   | Voldoet niet |
| Odijkerweg 92, 94, 96 | 1,05          | 0,11               | 0,2   | 0,4   | 0,1   | Voldoet niet |

Tabel 6-8, Toets trillingen op vloer referentiesituatie, nachtperiode

### 6.3 SAMENVATTING TOETSING PLANSITUATIE

Op basis van de stapsgewijze toetsing van de trillingen in de plansituatie, overeenkomstig de methodiek van SBR-B voor een gewijzigde situatie, wordt op de volgende locaties in de plansituatie niet voldaan aan de streefwaarden:

- Tiendweg 38.
- Kwekerijweg 6-8.
- Kwekerijweg 2a-2c.
- Princenhofpark 1-27.
- Stationsweg 11-15.
- Odijkerweg 92, 94, 96.
- Odijkerweg 98.

Voor de locatie Tiendweg 38 wijzigt de trillingsintensiteit  $v_{max}$  in de plansituatie niet ten opzichte van de referentiesituatie. Dit komt omdat in eerste instantie in de nabijheid van Tiendweg 38 voorziene wissels niet worden aangelegd. De overschrijding van de streefwaarde is dus identiek in beide situaties.

De toename van  $v_{per}$  in de plansituatie is op deze locatie een gevolg van de toename van het aantal reizigerstreinen.

Voor de woningen aan de Odijkerweg en de bedrijfspanden Stationsweg 11-15 is de toename van de trillingsintensiteit  $v_{max}$  een gevolg van de verplaatsing van het zuidelijke spoor in de richting van de bebouwing en neemt  $v_{per}$  ook toe als gevolg van de toename van het aantal reizigerstreinen.

De toename van  $v_{per}$  bij de panden Kwekerijweg en Princenhofpark is een gevolg van de toename van het aantal reizigerstreinen.

In Tabel 6-9 zijn in de kolommen per pand achtereenvolgens weergegeven de gehanteerde streefwaarden, de geprognosticeerde trillingskarakteristieken en de vereiste afname van de trillingskarakteristieken waarmee aan de streefwaarden voor de gewijzigde situatie wordt voldaan.

| Locatie               | Streefwaarden |           |           |           | Prognose      |           |           |           | Benodigde verlaging |           |
|-----------------------|---------------|-----------|-----------|-----------|---------------|-----------|-----------|-----------|---------------------|-----------|
|                       | $V_{eff,max}$ | $V_{per}$ | $V_{per}$ | $V_{per}$ | $V_{eff,max}$ | $V_{per}$ | $V_{per}$ | $V_{per}$ | $V_{eff,max}$       | $V_{per}$ |
|                       |               | dag       | Avond     | nacht     |               | dag       | avond     | nacht     |                     |           |
| Tiendweg 38           | 0,4           | 0,1       | 0,1       | 0,1       | 0,58          | 0,23      | 0,23      | 0,07      | -30%                | -55%      |
| Kwekerijweg 6-8       | 0,40          | 0,11      | 0,10      | 0,06      | 0,40          | 0,15      | 0,15      | 0,08      | -0%                 | -35%      |
| Kwekerijweg 2a-2c     | 0,48          | 0,14      | 0,12      | 0,07      | 0,45          | 0,17      | 0,17      | 0,09      | -0%                 | -30%      |
| Princenhofpark 1-27   | 0,48          | 0,14      | 0,12      | 0,07      | 0,45          | 0,17      | 0,17      | 0,09      | -0%                 | -30%      |
| Stationsweg 11-15     | 0,38          | 0,12      | 0,11      | 0,06      | 1,06          | 0,35      | 0,35      | 0,18      | -65%                | -65%      |
| Odijkerweg 92, 94, 96 | 0,4           | 0,1       | 0,1       | 0,1       | 1,05          | 0,35      | 0,35      | 0,11      | -60%                | -70%      |
| Odijkerweg 98         | 0,30          | 0,09      | 0,08      | 0,05      | 0,72          | 0,24      | 0,24      | 0,08      | -60%                | -65%      |

Tabel 6-9, Toetsing plansituatie aan streefwaarden gewijzigde situatie

De benodigde reductie van de trillingsintensiteit om hinder te voorkomen varieert per pand. In Tabel 6-9 is de benodigde reductie van de geprognosticeerde trillingsintensiteit afgeleid uit de objectspecifieke streefwaarden en de geprognosticeerde trillingsniveaus. In de kolommen onder 'Streefwaarden' is de trillingsintensiteit van de huidige situatie weergegeven voor de locaties die in de huidige situatie geen hinder onder vinden. Voor de twee locaties waar in de huidige situatie hinder optreedt (Tiendweg 38 en Odijkerweg 92) is de maximale streefwaarde (bestaande situatie) aangehouden conform SBR-richtlijn Trillingen deel B Hinder voor personen in gebouwen.

Uit deze tabel blijkt dat voor het realiseren van de streefwaarden voor de gewijzigde situatie de maximale trillingssterkte middels mitigerende maatregelen met 0 tot 65% moet worden teruggebracht. Voor de gemiddelde effectieve waarde geldt dat de benodigde reductie 30 tot 70% dient te bedragen.

Uit de analyse van alle woningen langs de Odijkerweg is af te leiden dat het gebied waarbinnen een overschrijding optreedt (voor woningen) zich uitstrekt tot circa 65 m vanuit het toekomstige zuidelijke spoor. Voor kantoren en ander bedrijfspanden, die alle van recentere datum zijn dan de woningen aan de Odijkerweg, is deze zone kleiner. Dit is enerzijds een gevolg van de hogere streefwaarden voor de functie kantoren en anderzijds een gevolg van de geringere respons voor trillingen in deze objecten, als gevolg van de constructie- en funderingswijze van deze panden.

In het plangebied zijn binnen de zone van 65 m vanuit de toekomstige buitenste sporen geen andere woningen aanwezig buiten de woningen die in de voorliggende analyse zijn betrokken. Dit betekent dat in de voorliggende analyse alle relevante woningen zijn beschouwd.

# 7

## Mitigerende maatregelen

### 7.1 BENODIGDE DEMPING

Zoals in hoofdstuk 6 aangegeven, zal voor zeven locaties en/of woningclusters een maatregelafweging moeten plaatsvinden, omdat conform SBR-B een overschrijding van streefwaarden optreedt bij de beoordeling van een gewijzigde situatie. Hierbij worden die maatregelen beoordeeld die de trillingsintensiteit in de toekomstige situatie terugbrengen naar een vergelijkbaar niveau als in de huidige situatie of tot een lager niveau als in de huidige situatie al conform SBR-B sprake is van overschrijding van streefwaarden voor een bestaande situatie.

In Tabel 6-9 is een overzicht gegeven van de bebouwingclusters in het stationsgebied waar een reductie van de trillingsintensiteit benodigd is. In Figuur 7-1 is met kleuren aangegeven in welke mate reductie plaats moet vinden.



Figuur 7-1, Locaties met benodigde reductie trillingen toekomstige situatie

## 7.2 BESCHRIJVING MOGELIJKE MAATREGELEN

Wanneer trillingen toenemen kunnen er maatregelen worden getroffen teneinde de trillingen te dempen tot een niveau waarbij de streefwaarden niet worden overschreden. Het dempen van de trillingen kan op drie plaatsen in het systeem:

- Ter plaatse van de bron.
- In het gebied tussen de sporen en de bebouwing.
- Aan de bebouwing.

Onderstaand wordt een korte toelichting gegeven op de trillingsdempende maatregelen.

### *Maatregelen aan de bron*

In het voorliggende geval betreft de bron de trein op het spoor. Zowel aan de trein, door de keuze van een ander voertuig, als aan het spoor kunnen dan maatregelen getroffen worden. Hierbij kan aan de volgende maatregelen worden gedacht:

- Aanbrengen trillingsdempende matten onder de spoorconstructie.
- Aanpassen spoorconstructie door aanbrengen betonnen plaat onder het spoor.
- Toepassen van een zettingsvrijeplaat.
- Toepassen van een 'Floating-slab' constructie.

De bovengenoemde maatregelen zijn allen technisch goed toepasbaar in de onderhavige situatie.

### *Maatregelen tussen bron en gebouw*

Een tweede groep maatregelen heeft betrekking op het reduceren van de trillingsniveaus tussen de bron en het object ( het gebouw) waar de trillingen worden ervaren.

In het algemeen zijn de volgende maatregelen hiervoor toepasbaar:

- Trillingsdempend scherm.
- Sloot of andere waterpartij.

De ruimtelijke inpassing van een sloot of een andere waterpartij in het stationsgebied is geen realistische maatregel en is een maatregel die buiten het stedelijk gebied beter inpasbaar is.

In een stedelijke omgeving, met aanwezigheid van kabels en leidingen in de ondergrond, is er langs de sporen van de trein te weinig ruimte beschikbaar om maatregelen in de vorm van een scherm of waterpartij nabij de bron of de ontvanger toe te passen.

### *Maatregelen aan gebouw*

Aan een pand kunnen trillingsdempende maatregelen worden getroffen. De volgende mogelijkheden kunnen hiervoor een oplossing vormen:

- Verstijven van funderingen en/of vloeren (met name houten vloeren).
- Trillingsdempende constructie aanbrengen tussen vloer en fundering.

Door het verstijven van de fundering kan de overdracht van trillingen naar de opstal worden beperkt.

In de onderhavige situatie is deze maatregel met name geschikt voor het verstevigen van de woningen.

Hierbij dient onder de woning een betonnen stijve plaatconstructie te worden aangebracht die verbonden wordt aan de bestaande funderingsstroken van de woning.

Een belangrijke bijdrage aan het optredende trillingsniveau in de woningen is toe te schrijven aan de opslingering van houten vloeren als gevolg van de trillingen die door de hoofdconstructie worden overgedragen naar deze vloeren. Door gewicht en stijfheid van de vloer te vergroten kan dit effect worden beperkt. Het vervangen van houten vloeren door betonnen vloeren is hiervoor een maatregel.

In de onderhavige situatie, waarbij deze maatregel aan de Odijkerweg zou moeten worden toegepast in zeer oude woningen (meer dan 100 jaar oud) waaraan in de loop der jaren verschillende aanpassingen zijn uitgevoerd, is realisatie van een dergelijke ingrijpende maatregel complex en risicovol. Niet uitgesloten moet worden dat hierbij een groot risico op schade aan de woning wordt geïnitieerd zowel tijdens de uitvoering (handhaven totale stabiliteit van de woning) als na uitvoering (andere belastingverdeling in de constructie als gevolg van het aanbrengen van extra belasting met als mogelijk gevolg zettingsverschillen en schade). Deze maatregel wordt voor de woningen dan ook niet als een realistische maatregel gezien, omdat de uitvoeringskosten de kosten van herbouw overstijgen.

De bovenomschreven maatregelen zijn voor de kantoren /bedrijfsgebouwen evenmin geschikt. Dit is een gevolg van het feit dat deze relatief recente panden veelal bestaan uit op palen gefundeerde betonconstructies met betonnen vloeren en daardoor van nature een grote stijfheid hebben. Het verstevigen van de fundering en vloeren van dergelijke constructies heeft dan ook geen wezenlijk effect, en wordt daarom niet als realistische maatregel beschouwd.

Het aanbrengen van een trillingsdempende constructie in en aan de bebouwing is bij bestaande bebouwing eveneens een complexe maatregel. De werking van deze maatregelen berust op het aanbrengen van dempers in de hoofdconstructie, waarmee de overdracht van trillingen naar bovenliggende vloerconstructies wordt voorkomen.

Daarnaast brengt realisatie van een dergelijke constructie overlast voor de bewoners of gebruikers met zich mee. Toepassing van bovengenoemde maatregel vereist een individuele benadering van elk pand op technische haalbaarheid en uitvoeringstechnische mogelijkheden.

Deze maatregel wordt gezien de complexiteit van ontwerp en de hinder bij realisatie niet als een geschikte maatregel beschouwd.

### 7.3 EFFECTIVITEIT EN KOSTEN VAN MAATREGELEN

Op basis van de bovengenoemde kwalitatieve beschrijving van de maatregelen en de daaruit afgeleide praktische toepasbaarheid worden de mitigerende maatregelen toepasbaar geacht die zijn vermeld in Tabel 7-1.

De effectiviteit van de maatregelen zoals aangegeven in de tabel is ontleend aan literatuur<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> MER 1<sup>e</sup> fase Goederenroute Oost-Nederland, Aanvulling Deel C: Aanvullend trillingsonderzoek, 28 oktober 2013- Versie 0.9.

| Methode                               | Omschrijving                                                                                                                    | Werking   | Reductie        |
|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------------|
| Ballastmatten/dwarslig-germatten      | Een mat onder het ballastbed, respectievelijk een elastische mat onder de dwarsligger                                           | Bron      | $\leq 20\%$     |
| Betonplaat met ballastmat onder spoor | Het ballastbed komt op een mat te liggen met daaronder een betonplaat                                                           | Bron      | 20% - 50%       |
| Zettingsvrije plaat                   | Onder het spoor in ballast wordt een zettingsvrije plaat aangebracht, op de plaat komt een ballastmat te liggen                 | Bron      | 20% - 50%       |
| Floating Slab                         | Aanbrengen van een dubbele betonplaat met een afvering (bv. elastische mat) er tussen. Enkel mogelijk met ingegoten spoorstaven | Bron      | > 50% mogelijk  |
| Trillingsdempend scherm               | Diepe betonnen wand in de grond nabij spoor of nabij ontvanger aangebracht                                                      | Medium    | > 50% mogelijk  |
| Verbeteren fundering woning           | Verstijven van fundering door aanbrengen extra beton                                                                            | Ontvanger | > 20 % mogelijk |

Tabel 7-1 Overzicht mitigerende maatregelen en indicatie van reducerend effect op trillingsoverdracht

De daadwerkelijke effectiviteit van de maatregelen hangt sterk af van vele locatiespecifieke factoren zoals de bronkenmerken (treintype, treinbelasting, treinsnelheden), ondergrondsituatie en de gebouwkenmerken.

Dit betekent dat bij toepassing van een standaardoplossing (zoals ballastmatten) de specifieke omstandigheden het effect bepalen, terwijl bij andere oplossingen uitwerking van het concept tot een specifiek ontwerp noodzakelijk is en afgestemd moet worden op de beoogde reducerende werking.

Specifiek voor het onderhavige project zijn verschillende maatregelen om trillingen te dempen nader onderzocht. In rapport L4.13.4-1 rapport trillingsbeperkende maatregelen (ref[2]) is nader ingegaan op mogelijke maatregelen en is op basis van modelberekeningen de effectiviteit van een aantal trillingsbeperkende maatregelen indicatief nader onderzocht.

De resultaten van de beschouwde maatregelen en de verwachte effectiviteit in het reduceren van trillingsniveaus is samengevat in Tabel 7-2.

| Optie | Maatregel             | Breedte [m]  | Diepte [NAP m] | Locatie uit spoor [m] | Reductie van V [%] |
|-------|-----------------------|--------------|----------------|-----------------------|--------------------|
| 1     | Ondiepe wand          | 1            | -1,5           | 5                     | 33                 |
| 2     | Diepe wand            | 1,5          | -9             | 5                     | 48                 |
| 3     | Ondiepe wand en sloot | 1<br>1 bodem | -1,5<br>+3     | 20<br>5               | 26                 |
| 4     | Diepe wand en sloot   | 1,5<br>1,5   | -9<br>+3       | 20<br>5               | 23                 |
| 5     | Zettingsvrije plaat   | 5            | -1,5           | 0                     | 32                 |

Tabel 7-2, Procentuele reductie van mitigerende maatregelen

Door een verlaging van de trillingsintensiteit  $v_{eff,max}$  zal niet alleen de piekwaarde worden gereduceerd, maar ook de gemiddelde trillingsintensiteit  $v_{per}$ . Omdat bij reductie van de trillingsniveaus een deel van de trillingen zover wordt gereduceerd dat deze in de berekening van de  $v_{per}$  buiten beschouwing gelaten wordt, zal het effect van een maatregel op de reductie van de  $v_{per}$ , groter zijn dan op de  $v_{eff,max}$ . Dit betekent dat de keuze van type en omvang van de maatregelen toegespitst wordt op de vereiste verlaging van de  $v_{eff,max}$ .



Voor de directe kosten van de maatregelen wordt op basis van ervaring uitgegaan van de volgende indicatieve kentallen:

- Ballastmatten : € 250,-- per strekkende meter spoor.
- Betonplaat met ballastmat : € 1.000,-- per strekkende meter spoor.
- Zettingsvrije plaat : € 2.200,-- per strekkende meter spoor.
- Floating slab (inclusief ingelijmd spoor): € 3.750,-- per strekkende meter spoor.
- Diepwand : € 700,-- per m<sup>2</sup> wandoppervlak.
- Funderingsversterking woning : € 50.000,-- per woning.

Opgemerkt wordt dat op de bovengenoemde directe kosten de volgende uitgangspunten van toepassing zijn:

- Bij maatregelen in het spoor worden de maatregelen gerealiseerd op een spoorvrij baanlichaam, dat wil zeggen kosten voor het opnemen van spoor, verwijderen ballast etc. zijn niet inbegrepen.
- Bij maatregelen tussen spoor en object wordt er van uitgegaan dat de ruimte waarbinnen de maatregel gerealiseerd moet worden functievrij is. Dat betekent dat er geen bijkomende kosten zijn gerekend voor het verwijderen van bestaande obstakels, omleggen van kabels en leidingen, et cetera.
- De kosten voor maatregelen aan woningen betreffen uitsluitend bouwkosten van de maatregel en omvatten dus geen kosten in verband met eventueel tijdelijk, gedeeltelijk of volledig functie vrijmaken van het object.

Voor de bepaling van de investeringskosten, inclusief btw, is op de directe kosten een multiplier van 2,0 toegepast. Daarnaast is een bandbreedte van plus 30% en min 30% aangehouden ten opzichte van de berekende investeringskosten.

## 7.4 UITWERKING TRILLINGSBEPERKENDE MAATREGELEN

De navolgende beschrijving is een kwalitatieve beschrijving van de vereiste mitigerende maatregelen waarmee de trillingsniveaus tot onder de streefwaarden worden teruggebracht.

Bij een treinpassage op een naast gelegen spoor is de trillingssterkte naast de baan (aan de zijde van het buitenste spoor) circa 35 % lager dan de trillingssterkte die optreedt bij een passage op het buitenste spoor. Dat betekent dat maatregelen waarmee een reductie van de maximale trillingen met 35% of minder moet worden gerealiseerd alleen hoeft te worden toegepast bij het buitenste spoor, immers de bijdrage van treinpassages op het naastgelegen spoor is door de grotere afstand al 35% lager .

Als een hogere reductie op een locatie wordt beoogd, zal ook het effect van het naastgelegen spoor deels gemitigeerd moeten worden. Uitgangspunt is dat in die situatie de maatregel die getroffen wordt voor het buitenste spoor ook op het naastgelegen spoor wordt betrokken.

Op basis van dit uitgangspunt wordt bij de bepaling van maatregelen uitgegaan van toepassing van maatregelen op uitsluitende één ( het buitenste) spoor bij een beoogde reductie van maximaal 35%. Bij hogere reducties wordt de maatregel betrokken op twee sporen.

De exacte afmetingen van de maatregel moeten middels een nadere ontwerpberekening worden vastgesteld.

### 7.4.1 LOCATIE TIENDWEG

Bij de woning Tiendweg 38 voldoet het trillingsniveau in de referentiesituatie niet aan de streefwaarden. In de plansituatie zal de trillingsintensiteit  $v_{eff,max}$  gelijk blijven aan de referentie. In de toekomstige situatie

is een reductie van de trillingsintensiteit  $v_{eff,max}$  met 30% noodzakelijk om de piekwaarden in de trillingsintensiteit terug te brengen tot het niveau van de streefwaarde A<sub>2</sub>.

Bij toepassing van maatregelen aan het spoor dienen de maatregelen aan beide sporen te worden aangebracht. De lengte waarover de maatregelen moeten worden toegepast bedraagt circa 100 m. Bij toepassing van een maatregel tussen spoor en woning dient rekening te worden gehouden met een afschermingslengte van circa 100 m. In Figuur 7-2 is het traject waarover de maatregelen op of langs het spoor dienen te worden gerealiseerd schematisch weergegeven.



Figuur 7-2 Locatiemitigerende maatregelen Tiendweg 38 ( bron: Google Earth)

Op basis van genoemde uitgangspunten zijn in Tabel 7-3 de globale kenmerken weergegeven van de beschouwde maatregelen en de directe kosten van de maatregel. Tevens is een inschatting gegeven van het reducerend effect van de maatregel (op basis van de literatuur en/of de uitgevoerde indicatieve modelberekeningen) en de daarbij behorende gereduceerde waarde van de trillingsintensiteit  $v_{eff,max}$ . Indien hiermee conform SBR-B methodiek wordt voldaan aan het streven, is dit in de laatstgenoemde kolom vermeld.

| Maatregel                             | Omschrijving                                                             | Bandbreedte investeringskosten, incl. BTW | Effectiviteit (verwachte reductie) | Restwaarde v-eff, max     | Restwaarde vper,dag | Restwaarde vper,nacht      |
|---------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------|---------------------------|---------------------|----------------------------|
| Ballastmatten                         | Matten onder één sporen                                                  | € 35.000 – € 65.000                       | 10%                                | 0,5                       | 0,21                | 0,06 (voldoet aan streven) |
| Betonplaat met ballastmat onder spoor | Spoor constructie met ballastbed en matten op betonplaat onder één spoor | € 140.000 – € 260.000                     | 25%                                | 0,4 (voldoet aan streven) | 0,17                | 0,05 (voldoet aan streven) |
| Zettingsvrije plaat                   | Als betonplaat optie, echter op palen gefundeerd                         | € 310.000 – € 575.000                     | 35%                                | 0,4 (voldoet aan streven) | 0,15                | 0,05 (voldoet aan streven) |
| Floating Slab                         | Verende plaat constructie onder beide sporen                             | € 1.050.000 – € 1950.000                  | 50%                                | 0,3 (voldoet aan streven) | 0,11                | 0,04 (voldoet aan streven) |
| Ondiep trillingsdempend scherm        | Scherf tot 5 m diepte langs spoor (één zijde)                            | € 490.000 – € 910.000                     | 30%                                | 0,4 (voldoet aan streven) | 0,16                | 0,05 (voldoet aan streven) |
| Diep trillingsdempend scherm          | Scherf tot 10 m diepte langs spoor (één zijde)                           | € 980.000 – € 1820.000                    | 50%                                | 0,3 (voldoet aan streven) | 0,11                | 0,04 (voldoet aan streven) |
| Verbeteren fundering woning           | Aanbrengen verstijving fundering                                         | € 70.000 – € 130.000                      | 20%                                | 0,5                       | 0,18                | 0,06 (voldoet aan streven) |

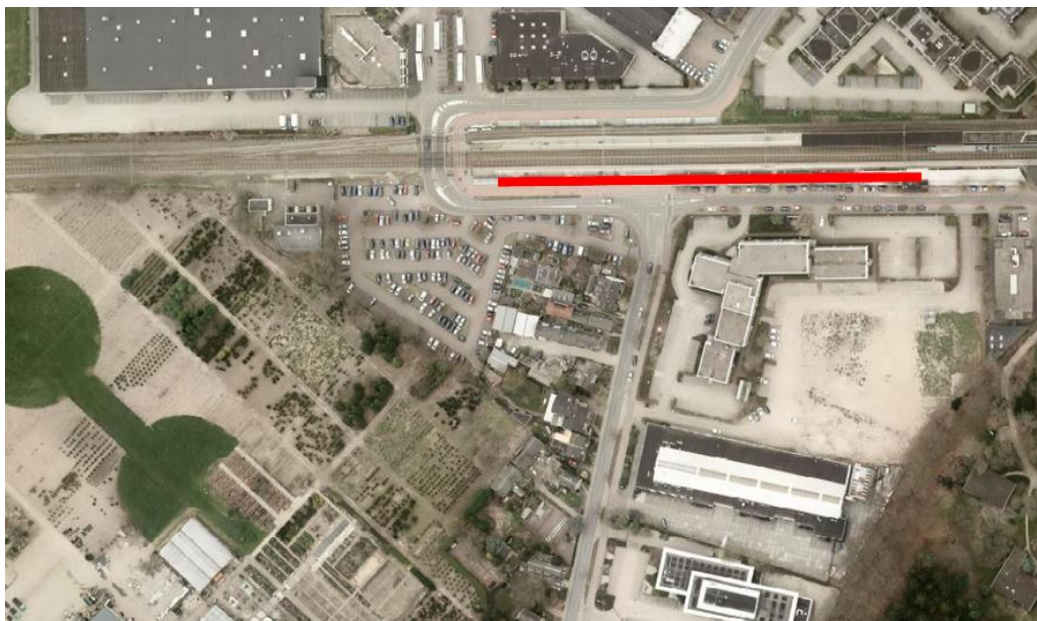
Tabel 7-3 Overzicht kosten en effectverwachting maatregelen Tiendweg 38

## 7.4.2 ODIJKERWEG EN STATIONSWEG

De woningen Odijkerweg 92, 94, 96 en 98 en het kantoorpand Stationsweg 11-15 wordt ten behoeve van de beoordeling van effectiviteit van mitigerende maatregelen in onderlinge samenhang beoordeeld.

De reden hiervoor is dat deze panden dicht bij elkaar liggen en, behoudens bij maatregelen aan het object zelf, in alle andere gevallen een invloed ondervinden van een eventuele specifieke maatregel voor een van beide objectclusters bij maatregelen aan het spoor of tussen het spoor en de panden.

In onderstaande figuur is schematisch weergegeven dat ter beperking van de trillingen aan de genoemde objecten, alle gesitueerd ten zuiden van het spoor, maatregelen over een lengte van circa 200 m in of langs het spoor toegepast moeten worden.



Figuur 7-3, Locatiemitigerende maatregelen stationsgebied Driebergen-Zeist zuidzijde (bron: Google Earth)

Op de wijze zoals beschreven in paragraaf 7.4.1 zijn voor deze locatie de omschrijving en kentallen van de maatregelen weergegeven in Tabel 7-3.

Hierbij is uitgegaan van een groter reducerend vermogen van de floating slab dan op de locatie Tiendweg. Dit betekent dat er strengere eisen aan het ontwerp van de constructie moeten worden gesteld. In de kosten is dit onderscheid in rekening gebracht door de prijs per meter spoor met 10% te verhogen. Hierbij is afzonderlijk de invloed van de maatregel op de trillingsintensiteit bij de woningen Odijkerweg, in het bijzonder bij het gidspand nummer 92, en het kantoorpand Stationsweg 11-15, aangegeven.

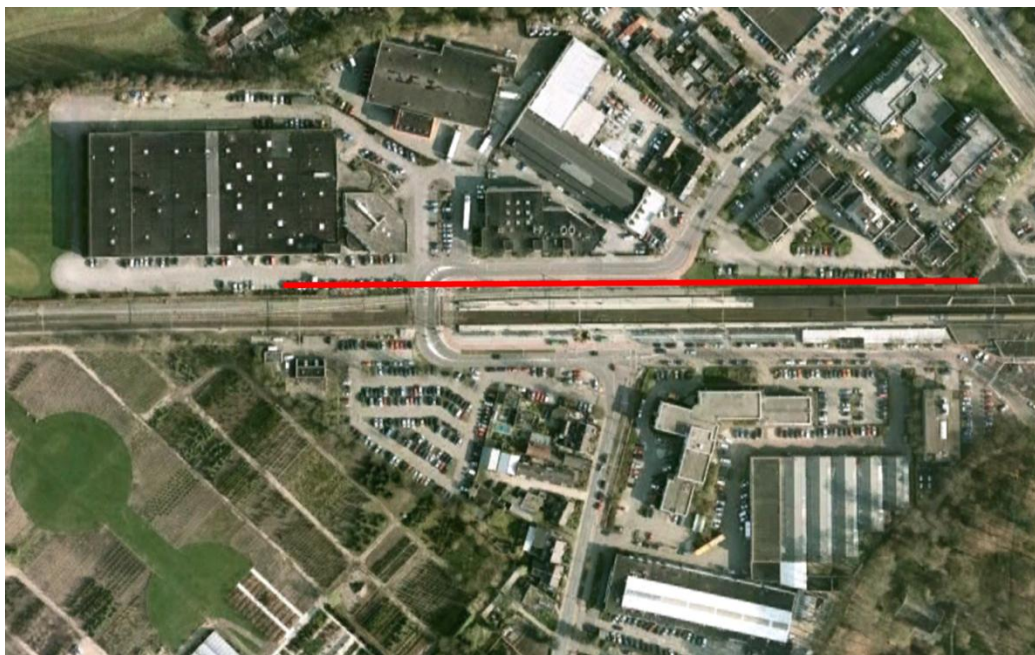
| Maatregel                             | Omschrijving                                                            | Bandbreedte investeringskosten, incl. BTW | Effectiviteit (verwachte reductie) | Restwaarde woning          |                                 | Restwaarde Kantoor         |                                  |
|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------|----------------------------|---------------------------------|----------------------------|----------------------------------|
|                                       |                                                                         |                                           |                                    | V <sub>eff,max</sub>       | V <sub>per</sub> dag/nacht      | V <sub>eff,max</sub>       | V <sub>per,dag</sub> (dag/nacht) |
| Ballastmatten                         | Matten onder één spoor                                                  | € 70.000 – € 130.000                      | 10%                                | 0,95                       | 0,32/0,11                       | 0,95                       | 0,32/0,11                        |
| Betonplaat met ballastmat onder spoor | Spoorconstructie met ballastbed en matten op betonplaat onder één spoor | € 280.000 – € 520.000                     | 25%                                | 0,79                       | 0,29/0,09                       | 0,80                       | 0,29/0,09                        |
| Zettingsvrije plaat                   | Als betonplaatoptie, echter op palen gefundeerd                         | € 615.000 – € 1.145.000                   | 35%                                | 0,68                       | 0,27/0,09                       | 0,69                       | 0,27/0,09                        |
| Floating Slab                         | Verende plaatconstructie onder beide sporen                             | € 2.310.000 – € 4.290.000                 | 70%                                | 0,32 (voldoet aan streven) | 0,10/0,03 (voldoet aan streven) | 0,32 (voldoet aan streven) | 0,10/0,03 (voldoet aan streven)  |
| Ondiep trillingsdempend scherm        | Scherf tot 5 m diepte langs spoor (één zijde)                           | € 980.000 – € 1.820.000                   | 30%                                | 0,74                       | 0,24/0,08                       | 0,74                       | 0,24/0,08                        |
| Diep trillingsdempend scherm          | Scherf tot 10 m diepte langs spoor (één zijde)                          | € 1.960.000 – € 3.640.000                 | 50%                                | 0,53                       | 0,17/0,06                       | 0,53                       | 0,17/0,06                        |
| Verbeteren fundering woning           | Aanbrengen verstijving fundering in 4 woningen                          | € 280.000 – € 520.000                     | 20%                                | 0,84                       | 0,28/0,09                       | 1,06                       | 0,28/0,09                        |

Tabel 7-4 Overzicht kosten en effectverwachting van maatregelen bij Odijkerweg en Stationsweg

### 7.4.3 KWEKERIJ EN PRINCENHOF PARK

De bebouwing aan de Kwekerij 2, 6/8 en aan het Princenhofpark 1-27 bestaat uit kantoorgebouwen en een bedrijfshal. Op deze locaties is een benodigde reductie van de trillingsintensiteit bepaald van 10% tot 20%. Om in de genoemde panden een reductie van de trillingsintensiteit te realiseren dient over een lengte van circa 350 m aan of langs het spoor een maatregel te worden toegepast. Dit gebied is schematisch in onderstaande figuur weergegeven.





Figuur 7-4, Locatiemitigerende maatregelen stationsgebied Driebergen-Zeist noordzijde (bron: Google Earth)

Op de wijze zoals beschreven in paragraaf 7.4.1 zijn voor deze locatie de omschrijving en kentallen van de maatregelen weergegeven in Tabel 7-3. Voor de bepaling van de restwaarde van de trillingsintensiteit bij toepassing van een omschreven maatregel is het pand Kwekerijweg 6-8 als gids pand beschouwd, omdat bij dit pand de hoogste toename optreedt.

| Maatregel                             | Omschrijving                                                             | Bandbreedte<br>investerings kosten,<br>incl. BTW | Effectiviteit<br>(verwachte<br>reductie $v_{eff,max}$ ) | Restwaarde<br>$v_{per}$<br>(dag/nacht) |
|---------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| Ballastmatten                         | Matten onder één spoor                                                   | € 123.000 - € 228.000                            | 10%                                                     | 0,16/0,05                              |
| Betonplaat met ballastmat onder spoor | Spoor constructie met ballastbed en matten op betonplaat onder één spoor | € 490.000 - € 910.000                            | 25%                                                     | 0,14/0,05                              |
| Zettingsvrije plaat                   | Als betonplaatoptie, echter op palen gefundeerd                          | € 1.078.000 –<br>€ 2.002.000                     | 35 %                                                    | 0,13/0,04                              |
| Floating Slab                         | Verende plaat-constructie onder een spoor                                | € 2.030.000 –<br>€ 3.770.000                     | 70%                                                     | 0,05/0,02                              |
| Ondiep trillingsdempend scherm        | Scherf tot 5 m diepte langs spoor (één zijde)                            | € 1.715.000 –<br>€ 3.185.000                     | 30%                                                     | 0,12/0,04                              |

Tabel 7-5 Overzicht kosten en effectverwachting van afzonderlijke maatregelen voor panden Kwekerij en Princenhofpark

# 8

## Conclusie

Het voorliggende rapport is een actualisatie en aanpassing van de rapportages uit 2012, 2013 en 2014 inzake de trillingsproblematiek als gevolg van spoorverkeer ten behoeve van het project 'Stationsgebied Driebergen-Zeist'.

In dit rapport zijn een 12-tal maatgevende locaties nader beoordeeld op trillingshinder ten gevolge van trillingen veroorzaakt door spoorverkeer nabij station Driebergen-Zeist. Op basis van eerder uitgevoerde trillingsmetingen, het in voorgaande fase ontwikkelde predictiemodel en de kortdurende trillingsmetingen in woningen, is een nadere analyse gemaakt van de trillingsintensiteit in de panden in de omgeving van het projectgebied.

In de voorliggende rapportage wordt de beoordeling van de toekomstige trillingsniveaus uitgevoerd conform de methodiek beschreven in de SBR-richtlijn, deel B, "Trillingen, hinder voor personen in gebouwen".

Op basis van de gehanteerde uitgangspunten en de opgestelde prognose wordt verwacht dat in woningen aan de Odijkerweg die op meer dan 65 m vanuit het toekomstige spoor zijn gesitueerd in de toekomstige situatie geen overschrijding van de streefwaarden voor hinder optreden. Dit betekent dat in de woningen Odijkerweg 100 en hoger geen trillingshinder wordt verwacht.

Ter plaatse van woningen dicht bij het spoor en de beschouwde bedrijfspanden weergegeven in Figuur 7-1, is er in de toekomstige situatie een toename van de trillingsintensiteit tot boven de streefwaarden, die voor een gewijzigde situatie in SBR-richtlijn, deel B, "Trillingen, hinder voor personen in gebouwen" is vastgesteld.

Onderzocht is of middels mitigerende maatregelen een verlaging van de trillingsintensiteit te realiseren is waarmee aan het streefbeeld conform SBR-B wordt voldaan.

Hierbij zijn maatregelen aan de bron, tussen bron en object en maatregelen aan het object, beschouwd.

Op basis van de indicatieve uitwerking van de maatregelen, inclusief kostenindicatie en indicatie van het reducerend effect, zal door initiatiefnemer beoordeeld worden of en met welke maatregelen een doelmatige reductie van de trillingsintensiteit tot het streefbeeld is te realiseren.

## Bijlage 1

# SBR-richtlijn Trillingen deel B Hinder voor personen in gebouwen

### Richtlijn Trillingen

Voor de beoordeling van trillingen wordt gebruik gemaakt van SBR-richtlijn deel A, B en C:

1. In de SBR-richtlijn deel A, schade aan gebouwen, worden criteria/grenswaarden van maximaal toelaatbare trillingen weergegeven om schade aan gebouwen te voorkomen.
2. De SBR-richtlijn deel B, hinder voor personen, definieert grenswaarden voor trillingen voor hinder voor personen.
3. In de SBR-richtlijn deel C, storing aan apparatuur, worden grenswaarden voor maximaal toelaatbare trillingen weergegeven om storingen aan apparatuur te voorkomen.

### SBR-Richtlijn Trillingen deel A (schade aan gebouwen)

In de SBR-richtlijn deel A, schade aan gebouwen, worden afhankelijk van het type gebouw, de bouwkundige staat, het type trillingsbron en het type trillingsmeting, grenswaarden voor trillingsniveaus genoemd, om schade aan de bebouwing ten gevolge van trillingen te voorkomen. Gezien de mogelijke trillingsniveaus ten gevolge van de verkeerstrillingen door spoorverkeer en de geconstateerde afstanden, wordt schade aan in goede staat verkerende gebouwen of onderdelen van gebouwen niet verwacht.

Daarom wordt in het kader van dit rapport alleen ingegaan op gebouwen die onder categorie 3 vallen volgens de SBR deel A. Dit zijn in slechte staat verkerende gebouwen(onderdelen) uit metselwerk of monumentale gebouwen.

Voor de beoordeling van de trillingen in gebouwen (een monumentaal of een in slechte staat verkerend gebouw) wordt van de volgende toelaatbare trillingsniveaus (rekenwaarde) uitgegaan:

$v_{max, \text{deel A}} = 1,5 \text{ à } 1,8 \text{ mm/s}$ . Bij de genoemde grenswaarden is rekening gehouden met:

- Een partiële factor voor een indicatieve meting, die in het geval van een predictie gehanteerd kan worden.
- Een partiële factor voor herhaald kortdurende trillingen.
- De dominante frequentie van de trillingen in de grond tussen 10 Hz tot 36 Hz.

### SBR-Richtlijn Trillingen deel B (hinder voor personen in gebouwen)

De SBR-richtlijn deel B geeft streefwaarden voor trillingshinder voor personen in gebouwen.

Deze streefwaarden kunnen in drie categorieën worden opgesplitst, namelijk:

| Categorie            |                                                               |
|----------------------|---------------------------------------------------------------|
| Wonen                | Woonhuizen, gezondheidszorggebouwen.                          |
| Werken               | Kantoor-, onderwijs- en bijeenkomstgebouwen.                  |
| Kritische werkruimte | Bepaalde ruimten in laboratoria, operatiekamers, studiezalen. |

Tabel 8-1, Beoordeling categorieën trillingshinder.

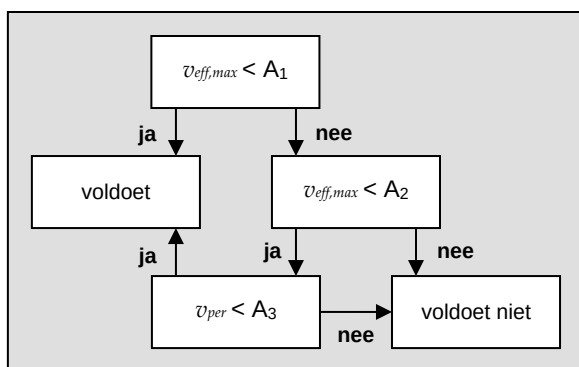


De SBR-Richtlijn deel B (hinder voor personen in gebouwen) geeft drie verschillende streefwaarden,  $A_1$ ,  $A_2$  en  $A_3$ , voor trillingen per categorie op.

Tijdens gebruik moet worden voldaan aan streefwaarde  $A_1$  of een combinatie van  $A_2$  en  $A_3$ , waarbij  $A_1$  de onderste streefwaarde,  $A_2$  de bovenste streefwaarde en  $A_3$  de gemiddelde streefwaarde over een bepaalde periode is.

Het volgende stroomschema geeft een overzicht van de beoordelingsprocedure van de trillingssterkte op basis van streefwaarden.

$A_1$  en  $A_2$  worden op basis van trillingssterkte  $v_{eff,max}$  beoordeeld en  $A_3$  op basis van  $v_{per}$ .  
Hierbij is  $v_{eff,max}$  de 95%-overschrijdingskans van de trillingssterkte in de beoordelingsperiode.  
De  $v_{per}$  is de gemiddelde trillingssterkte over de beoordelingsperiode en als zodanig een functie van de effectieve waarde van de trilling, de tijdsduur dat een trillingsbron in bedrijf is en de totale tijdsduur van de beoordelingsperiode.



In de twee navolgende weergegeven tabellen B1-2 en B1-3 staan de te hanteren streefwaarden in verband met herhaald voorkomende trillingen gedurende lange tijd, zoals railverkeer, voor een aanpassing van een bestaande situatie en de aanleg van een nieuwe situatie voor de gebouwfuncties wonen/gezondheidszorg en onderwijs/kantoor, weergegeven.

Er wordt bij de streefwaarden onderscheid gemaakt tussen de dag-/avondperiode (7.00 tot 23.00 uur) en de nachtperiode (23.00 tot 7.00 uur). De streefwaarden in een nieuwe situatie zijn twee keer zo streng als in een bestaande situatie.

| Gebouwfunctie        | dag en avond |       |       | nacht |       |       |
|----------------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                      | $A_1$        | $A_2$ | $A_3$ | $A_1$ | $A_2$ | $A_3$ |
| Gezondheidszorg      | 0,1          | 0,4   | 0,05  | 0,1   | 0,2   | 0,05  |
| Wonen                | 0,1          | 0,4   | 0,05  | 0,1   | 0,2   | 0,05  |
| Onderwijs en kantoor | 0,15         | 0,6   | 0,07  | 0,15  | 0,6   | 0,07  |

Tabel 8-2, Grens- en streefwaarden voor een nieuwe situatie.

| Gebouwfunctie        | dag en avond |       |       | nacht |       |       |
|----------------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                      | $A_1$        | $A_2$ | $A_3$ | $A_1$ | $A_2$ | $A_3$ |
| Gezondheidszorg      | 0,2          | 0,8   | 0,1   | 0,2   | 0,4   | 0,1   |
| Wonen                | 0,2          | 0,8   | 0,1   | 0,2   | 0,4   | 0,1   |
| Onderwijs en kantoor | 0,3          | 1,2   | 0,15  | 0,3   | 1,2   | 0,15  |

Tabel 8-3, Grens- en streefwaarden voor een bestaande situatie.

Indien niet aan de streefwaarden wordt voldaan, wordt aan de methode uit de bijlage 5 van de SBR getoetst. Daarbij wordt ervan uitgegaan dat mensen die nu een huis langs het spoor of de weg hebben niet meer hinder mogen ondervinden in de toekomstige situatie dan in de huidige situatie, een 'stand still'-principe.

De SBR-richtlijn deel B biedt hiervoor een hinderkwalificatie aan in bijlage 5 van deze richtlijn.

Het 'stand still'-principe werkt als volgt. De trillingen die hinder veroorzaken voor personen in de gebouwen langs het spoor zijn ingedeeld in vijf categorieën. Wanneer deze gebouwen, zowel in de oude als in de toekomstige situatie, in de gelijke categorie blijven, is er geen sprake van (extra) hinder voor personen. Wanneer de trillingen voor de personen in de gebouwen in de nieuwe situatie in een andere categorie vallen dan in de oude, is er wel sprake van trillingshinder.

In onderstaande tabel zijn de categorieën van de hinderkwalificatie weergegeven.

| $v_{eff,max}$ | Hinderkwalificatie |
|---------------|--------------------|
| < 0,1         | Geen hinder        |
| 0,1 – 0,2     | Weinig hinder      |
| 0,2 – 0,8     | Matige hinder      |
| 0,8 – 3,2     | Hinder             |
| > 3,2         | Ernstige hinder    |

Tabel 8-4, Hinderkwalificatie voor railverkeer volgens bijlage 5 SBR-B.

De bovengrenswaarde voor de kwalificatie "geen hinder" komt overeen met de streefwaarde A<sub>1</sub> voor wonen en gezondheidszorg voor een nieuwe situatie, terwijl de bovengrens van de kwalificatie "weinig hinder" overeenkomt met de streefwaarde A<sub>1</sub> voor wonen en gezondheidszorg voor bestaande situaties. Voor de gebouwfunctie "onderwijs en kantoor" liggen de grenswaarden 50% hoger dan voor de gebouwfuncties "wonen" en "gezondheidszorg".

Dit betekent dat voor deze gebouwfuncties de grenswaarde bij toepassing van het "stand still"-principe voor de categorieën "geen hinder" en "weinig hinder" 1,5 keer de in tabel 3.3 vermelde waarde bedragen.

### SBR-richtlijn Trillingen deel C (storing aan apparatuur)

Nabij de spoorlijn staan naast woonhuizen op specifieke locaties ook bedrijfspanden.

Daarmee is de kans aanwezig dat er trillingsgevoelige apparatuur in de omgeving van de spoorbaan aanwezig is.

Daarom dienen de trillingen eveneens op basis van SBR-richtlijn deel C, storing aan apparatuur, te worden beoordeeld. Opgemerkt wordt dat in het kader van dit rapport ervan wordt uitgegaan dat dit in wezen computersystemen zijn.

Specifieke trillingsgevoelige apparatuur kan bestaan uit: optische instrumenten, microscopen, et cetera.

Richtlijn deel C kijkt qua karakter af van de twee andere richtlijnen. Dit omdat voor storingen aan apparatuur geen echte "harde" grenswaarden die in de richtlijn deel C gedefinieerd zijn.

In het kader van dit rapport worden computersystemen in kantoorgebouwen nader beoordeeld. Daarmee is van de volgende grenswaarden uitgegaan die op de SBR-richtlijn is gebaseerd:  $v_{max}$ , deel C = 0,2 mm/s.

## Bijlage 2

## Meetrapportage Movares

## Driebergen - Zeist

Overdrachtsfactoren Odijkerweg en Tiendweg



Trillingsmetingen rondom station Driebergen Zeist

5 december 2014- Versie 0.2

## Autorisatieblad

### Driebergen - Zeist

Overdrachtsfactoren Odijkerweg en Tiendweg

|                | Naam               |
|----------------|--------------------|
| Opgesteld door | Ir. P.R. Bouwma    |
| Controle door  | Dr. ir. H.G. Stuit |
| Vrijgave door  | Dr. ir. H.G. Stuit |



## Samenvatting

Rondom station Driebergen Zeist is gemeten in 8 woningen om de overdracht te bepalen tussen maaiveld en midden vloerveld van de hoogst bewoonbare verdieping. De bron waren passerende passagiers- en goederentreinen op het traject Bunnik-Maarn en omgekeerd. De metingen hebben geleid tot onderstaande overdrachtsfactoren.

| Adres           | Passagierstreinen |       | Goederen |       | Valproef |       | Deel-<br>gebied |
|-----------------|-------------------|-------|----------|-------|----------|-------|-----------------|
|                 | Mediaan           | Sigma | Mediaan  | Sigma | Mediaan  | Sigma |                 |
| Tiendweg 22     | 2.32              | 0.23  | 1.87     | 0.42  | -        | -     | I               |
|                 | 2.50              | 0.32  | 1.83     | 0.35  | -        | -     |                 |
| Odijkerweg 92   | 2.87              | 0.23  | 2.08     | 0.15  | 1.67     | 0.05  | II              |
| Odijkerweg 98   | 2.96              | 0.28  | 3.38     | 0.41  | 1.59     | 0.03  |                 |
| Odijkerweg 100  | 3.19              | 0.26  | 2.21     | 0.38  | 3.25     | 0.12  |                 |
| Odijkerweg 102* | 1.94              | 0.25  | 1.33     | 0.14  | 2.76     | 0.04  |                 |
|                 | 1.26              | 0.13  | 1.09     | 0.12  | 1.43     | 0.03  |                 |
| Odijkerweg 110  | 3.10              | 0.23  | 2.64     | 0.59  | 2.90     | 0.01  |                 |
| Odijkerweg 114  | 1.49              | 0.16  | 1.16     | 0.13  | 2.66     | 0.06  |                 |
| Odijkerweg 120  | 1.75              | 0.14  | 1.14     | 0.20  | 1.11     | 0.08  |                 |

\* Bovenste regel is de vliering, de tweede verdieping is de eerste verdieping.

## Inhoudsopgave

|                                               |           |
|-----------------------------------------------|-----------|
| <b>Samenvatting</b>                           | <b>1</b>  |
| <b>Inleiding</b>                              | <b>3</b>  |
| 1.1 Aanleiding                                | 3         |
| 1.2 Doel                                      | 3         |
| 1.3 Aanpak                                    | 3         |
| 1.4 Leeswijzer                                | 4         |
| <b>2 Situatiebeschrijving</b>                 | <b>5</b>  |
| 2.1 Meetomgeving                              | 5         |
| 2.2 Grondopbouw                               | 6         |
| <b>3 Methode</b>                              | <b>7</b>  |
| 3.1 Materiaal                                 | 7         |
| 3.2 Locaties sensoren                         | 8         |
| <b>4 Resultaten</b>                           | <b>9</b>  |
| 4.1                                           | 9         |
| <b>5 Conclusie</b>                            | <b>11</b> |
| <b>Colofon</b>                                | <b>12</b> |
| <b>Bijlage I - Meetinformatie per locatie</b> |           |

## Inleiding



**Figuur 1** Station Driebergen-Zeist ter hoogte van de Odijkerweg

### 1.1 Aanleiding

Naar aanleiding van het StAB-advies is extra onderzoek naar trillingshinder rondom Station Driebergen Zeist. Het onderzoek betreft het gehele projectgebied met daarbinnen extra aandacht voor twee deelgebieden.

Deelgebied 1 betreft de woning op Tiendweg 22. Oorspronkelijk is gemeten op Tiendweg 1F, waar de oorspronkelijke metingen in een bedrijfshal zijn uitgevoerd. De constructie van de bedrijfshal is niet representatief voor woningen. Voor dit onderzoek is het niet mogelijk geweest om metingen uit te voeren bij Tiendweg 1F en daarom is vervangend bij Tiendweg 22 gemeten.

Deelgebied 2 betreft de woningen van Odijkerweg 92 en hoger. Op deze locatie zijn in het verleden nog geen metingen uitgevoerd. Deze woningen zijn globaal 110 jaar oud en zijn mogelijk gevoelig voor trillingen ten gevolge van het treinverkeer. In het verleden zijn wel metingen uitgevoerd aan een nabijgelegen bedrijfspand, maar deze is niet representatief voor de bovengenoemde panden aan de Odijkerweg.

### 1.2 Doel

Het bepalen van de scalaire overdrachtsfactor van maaiveld naar hoogst bewoonbare verdieping midden vloerveld op een 8-tal locaties rondom station Driebergen Zeist. Het betreft de woningen voor Tiendweg 22 (deelgebied 1), Odijkerweg 92, 98, 100, 102, 110, 114/116 en 120 (deelgebied 2).

### 1.3 Aanpak

De overdracht op maaiveld naar hoogst bewoonbare verdieping midden vloerveld is een scalaire waarde op basis van de trillingssterkte op de verschillende meetpunten. De meetpunten zijn aangebracht op de punten waar volgens de trillingsrichtlijn SBR-B gemeten dient te worden. Dat is een funderingspunt en een punt op de hoogst bewoonbare verdieping midden vloerveld. Aan deze twee meetpunten is voor de gevel op maaiveld een extra meetpunt toegevoegd, zodat elke woning tenminste drie meetpunten heeft.

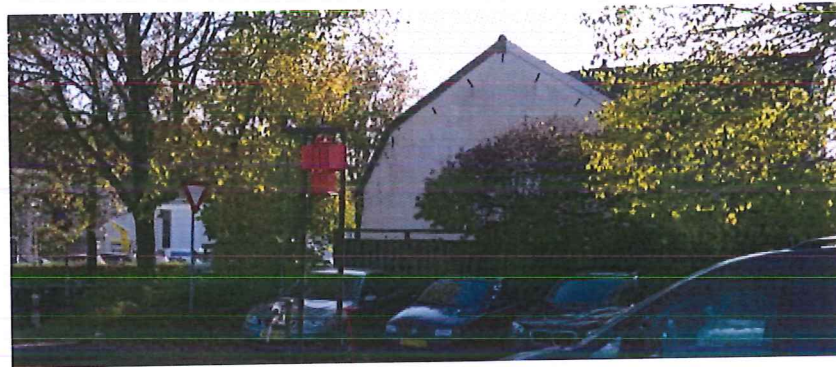
- Maaiveld (dicht bij funderingspunt)
- Fundering (stijf punt op onderste vloerlaag)
- Midden vloerveld hoogst bewoonbare verdieping



De overdracht tussen maaiveld en woning is frequentie afhankelijk. Een gebouw geeft sommige frequenties beter door dan de andere. Dat betekent dat de opbouw van het signaal per frequentie op maaiveld voor de woning van belang is voor de scalaire overdrachtsfactor.

Het spectrum van een passagierstrein wijkt af van een goederentrein. Daarom is afzonderlijk een overdrachtsfactor bepaald voor goederentreinen en passagierstreinen.

Op voorhand is onduidelijk of de treinen voor alle woningen aan de Odijkerweg voldoende signaal geven om de overdracht te bepalen. Dit geldt met name voor de woningen die relatief ver van het spoor afgelegen zijn. Als toevoeging op de trillingsmetingen zal per woning met een kunstmatige bron trillingen in de grond worden opgewekt. De trillingen worden opgewekt door een standaard gewicht met een standaard hoogte op de grond te laten vallen. Dit wordt uitgevoerd met een valgewicht. meerdere kunstmatige klappen worden gemaakt, zoals in figuur 2. Deze trillingen zijn meetbaar op de verschillende meetposities in en voor de woning.



**Figuur 2** Valproef aan spoorzijde van Odijkerweg 92

De valproef is niet uitgevoerd voor de Tiendweg. Deze woning is voldoende dichtbij het spoor waarbij het zeker is dat er voldoende meetbare trillingen door de passerende treinen wordt veroorzaakt.

#### 1.4 Leeswijzer

Dit rapport bestaat uit 5 hoofdstukken. Hoofdstuk 2 bevat de situatiebeschrijving. Hoofdstuk 3 geeft uitleg over de meetmethode. In het vierde hoofdstuk staan de meetresultaten. In het laatste hoofdstuk staan de conclusies en aanbevelingen.

## 2 Situatiebeschrijving



**Figuur 3** De Odijkerweg met op de achtergrond station Driebergen Zeist

### 2.1 Meetomgeving

Voor het onderzoek zijn 8 metingen verricht, waarvan 7 op de Odijkerweg en 1 op de Tiendweg. De Odijkerweg ligt vrijwel haaks op het spoor en de gevels van de onderzochte woningen liggen tussen de 49 en 124 meter van het eerste spoor. In figuur 3 en figuur 4 is de situatie van de Odijkerweg afgebeeld.

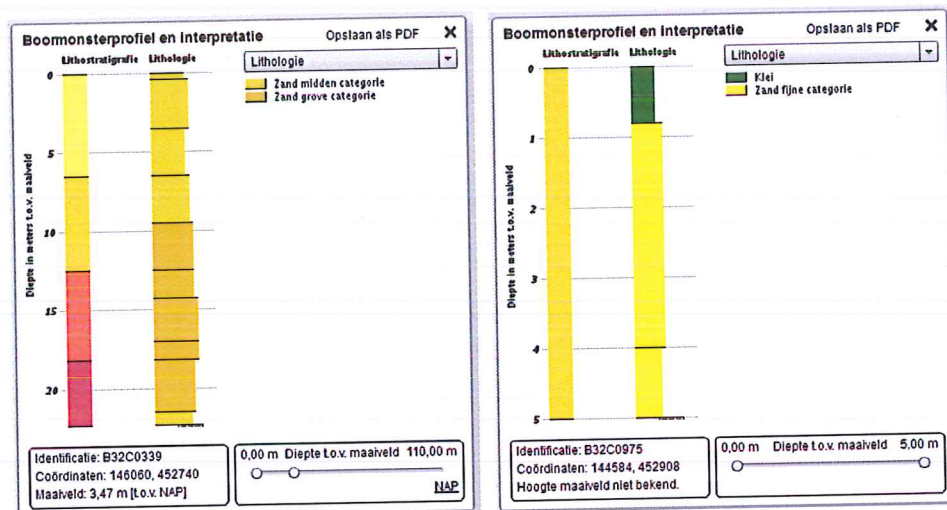
De Tiendweg bevindt zich ten westen van het station Driebergen Zeist in de richting van Utrecht. Ongeveer anderhalve kilometer van het station ligt de woning aan de Tiendweg 22. Dit is een vrijstaande woning, waarbij de gevel op ongeveer 26 meter van het spoor ligt.



**Figuur 4** Situatieschets van meetlocaties op de Odijkerweg

## 2.2 Grondopbouw

De omgeving van Driebergen ligt op een zanderige bodem. In figuur 5 staan twee boormonsters van de twee deelgebieden. Beide boringen bevestigen de zanderige bodem. De Tiendweg heeft nog een kleiïge toplaag.



**Figuur 5** Boormonster Odijkerweg (links) en boormonster Tiendweg (rechts)



### 3 Methode



**Figuur 6** *Zicht vanaf station Driebergen Zeist in de richting van de Tiendweg*

#### 3.1 Materiaal

De overdracht op maaiveld naar hoogst bewoonbare verdieping midden vloerveld is gemeten door gelijktijdig te meten op de verschillende meetpunten. De meetpunten zijn aangebracht op de punten waar volgens de trillingsrichtlijn SBR-B gemeten dient te worden. De trillingsmetingen zijn gedurende 24 uur uitgevoerd. Op deze manier zijn meerdere passages van goederentreinen gemeten.

De computer registreert alle trillingen, dus behalve het treinverkeer ook overige trillingsbronnen als de valproef, wegverkeer en voetstappen nabij de sensoren. De meetapparatuur in dit onderzoek is geplaatst door dhr. P.R. Bouwma of dhr. E. de Jong.

De metingen zijn uitgevoerd met driedimensionale sensoren van de Vibra TDA-serie.

- Sensor 5 (Vibra TDA00734);
- Sensor 6 (Vibra TDA00735);
- Sensor 7 (Vibra TDA00736);
- Sensor 9 (Vibra TDA00942);
- Sensor 10 (Vibra TDA00940);
- Sensor 12 (Vibra TDA00941);
- Sensor 14 (Vibra TDA01343);
- Sensor 15 (Vibra TDA01357);
- Sensor 22 (Vibra TDA01336);
- Sensor 25 (Vibra TDA01338);
- Sensor 26 (Vibra TDA01340).

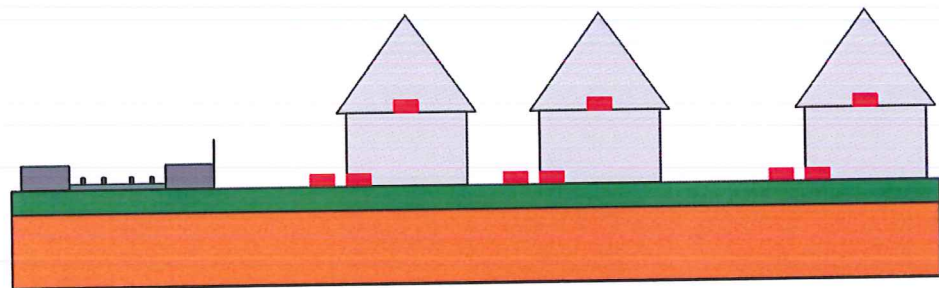
Voor A/D conversie en opslag van de meetdata is gebruik gemaakt van verschillende meetcomputers. De meetcomputers draaien allen met programma DEWESoft X.

- Meetcomputer 1, dit is een DEWE1201 met 16 BNC-kanalen.
- Meetcomputer 2, dit is een DEWE101 met 8 kanalen.
- Meetcomputer 4, dit is een DEWE101 uitgebreid met een DEWE43.
- Meetcomputer 8, dit is een DS-NET met 16 BNC-kanalen.

De meetdata is verwerkt met MATLAB. Movares past het zelfontwikkelde programma Probaton toe binnen MATLAB om al de meetdata te verwerken tot trillingssterktes. Aan de hand van de detailpassagegegevens van ProRail wordt gezocht wat voor een trein op welk tijdstip passeerde. Voor elke goederentrein en reizigerstrein wordt de verhouding bepaald tussen de trillingssterktes die op de verschillende meetpunten gemeten zijn.

### 3.2 Locaties sensoren

De twee sensoren binnen zijn geplaatst op de meetpunten van de trillingsrichtlijn SBR-B. De SBR-B schrijft voor dat één sensor staat op een stijf punt, een funderingspunt. De andere sensor staat op midden vloerveld van de hoogst bewoonbare verdieping. De derde sensor staat op maaiveld voor de woning. Schematisch ziet het eruit als in figuur 7. In deze figuur staat links de positie van de bron (de rails) en rechts de woningen met daarin aangegeven waar de sensoren staan.



**Figuur 7** Schematische weergave voor het plaatsen van de sensoren (rode blokken)

## 4 Resultaten



**Figuur 8** Doorgaande ICE rijdt op spoor 2 langs station Driebergen-Zeist

### 4.1 overdrachtsfactoren

In dit hoofdstuk staan de resultaten van de overdrachtsmeting van deelgebied I en II. De resultaten bevatten een mediaan en een onzekerheidsfactor op basis van een lognormale verdeling. Bij de presentatie van de getallen van de overdrachtsfactor is rekening gehouden met het type trein of een kunstmatige bron met een valproef. Een goederentrein heeft relatief meer laagfrequent signaal dan een passagierstrein. Dit leidt tot een andere verhouding tussen de trillingssterkte op maaiveld en op midden vloerveld op de hoogst bewoonbare verdieping. De overdrachtsfactoren van maaiveld naar hoogst bewoonbare verdieping staan in tabel 1. Bij twee woningen staan 2 overdrachtsfactoren. Bij deze twee adressen hebben meerdere sensoren op midden vloerveld gestaan en zijn alle sensoren gepresenteerd.

**Tabel 1** Overdrachtsfactoren tussen maaiveld en hoogst bewoonbare verdieping midden vloerveld

| Adres           | Passagierstreinen |       | Goederen |       | Valproef |       | Deel-<br>gebied |
|-----------------|-------------------|-------|----------|-------|----------|-------|-----------------|
|                 | Mediaan           | Sigma | Mediaan  | Sigma | Mediaan  | Sigma |                 |
| Tiendweg 22     | 2.32              | 0.23  | 1.87     | 0.42  | -        | -     | I               |
|                 | 2.50              | 0.32  | 1.83     | 0.35  | -        | -     |                 |
| Odijkerweg 92   | 2.87              | 0.23  | 2.08     | 0.15  | 1.67     | 0.05  | II              |
| Odijkerweg 98   | 2.96              | 0.28  | 3.38     | 0.41  | 1.59     | 0.03  |                 |
| Odijkerweg 100  | 3.19              | 0.26  | 2.21     | 0.38  | 3.25     | 0.12  |                 |
| Odijkerweg 102* | 1.94              | 0.25  | 1.33     | 0.14  | 2.76     | 0.04  |                 |
|                 | 1.26              | 0.13  | 1.09     | 0.12  | 1.43     | 0.03  |                 |
| Odijkerweg 110  | 3.10              | 0.23  | 2.64     | 0.59  | 2.90     | 0.01  |                 |
| Odijkerweg 114  | 1.49              | 0.16  | 1.16     | 0.13  | 2.66     | 0.06  |                 |
| Odijkerweg 120  | 1.75              | 0.14  | 1.14     | 0.20  | 1.11     | 0.08  |                 |

\* Bovenste regel is de vliering, de tweede verdieping is de eerste verdieping.

Voor alle woningen is een toename van de trillingsterkte gemeten in de woning ten opzichte van maaiveld. Geen van de gemeten woningen zijn identiek, hetgeen ook in



de gemeten woningoverdrachten is gevonden. In het algemeen zijn de gemeten overdrachtsfactoren gemeten bij goederentreinen lager dan die gemeten zijn bij reizigerstreinen. De woningkarakteristieken voor Odijkerweg 98 zijn het ongunstigst. Deze heeft voor goederentreinen een scalaire overdrachtsfactor van 3.38 bij goederentreinen.



## 5 Conclusie



**Figuur 9** Intercity trein bij station Driebergen Zeist

Voor alle woningen worden de trillingen versterkt in de woning. De resultaten van de overdrachten verschillen per woning. Hieruit volgt dat de overdracht woningafhankelijk is. De medianen van de gemeten overdrachten variëren van 1.14 tot 3.38.

## Colofon

Opdrachtgever Arcadis Nederland BV  
P. Schouten

Uitgave Movares Nederland B.V.

Divisie Ruimte, Mobiliteit en Infra  
Afdeling Infrastructuur: Waterbouw en Geotechniek

Daalseplein 100  
Postbus 2855  
3500 GW Utrecht

Telefoon 030 265 55 55

Ondertekenaar Dr. ir. H.G. Stuit  
Senior adviseur

Projectnummer RM002757RM002757

Opgesteld door Ir. P.R. Bouwma

© 2014, Movares Nederland B.V.

*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 Movares Nederland B.V.*

## Bijlage I - Meetinformatie per locatie

### Odijkerweg 92



|    |                                        |                                                                          |                |
|----|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|----------------|
| 1. | <i>Uitvoerende organisatie</i>         | Movares Nederland B.V.<br>Daalseplein 101<br>3511 SX Utrecht             |                |
|    | <i>Verantwoordelijke persoon</i>       | ir. P.R. Bouwma<br>e-mail: pieter.bouwma@movares.nl<br>tel.: 06-57547765 |                |
| 2. | <i>Meting uitgevoerd door</i>          | ir. P.R. Bouwma                                                          |                |
| 3. | <i>Tijdsperiode meting</i>             | 11 november 2014 - 10:15u; tot<br>14 november 2014 - 08:30u              |                |
| 4. | <i>Type trillingsbron</i>              | Treinen en valproef klappen                                              |                |
| 5. | <i>Gebouwomschrijving</i>              | Tweelaags woonhuis                                                       |                |
| 6. | <i>Locatie metingen</i>                | Zie plattegrond in figuur 4                                              |                |
| 7. | <i>Geotechnische gegevens</i>          | Zie Hoofdstuk 2.2                                                        |                |
| 8. | <i>Meetposities</i>                    | Zie plattegrond in figuur 4                                              |                |
| 9. | <i>Gebruikte meetopnemers</i>          | Maaiveld:     Sensor 9                                                   | Vibra TDA00942 |
|    |                                        | Fundering:     Sensor 5                                                  | Vibra TDA00734 |
|    |                                        | 1e Verdieping:   Sensor 26                                               | Vibra TDA01340 |
|    | <i>Gebruikte verwerkingsapparatuur</i> | MC001 (DEWE-1201 meetcomputer)                                           |                |

## Odijkerweg 98



|    |                                        |                                                                                                                                              |
|----|----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. | <i>Uitvoerende organisatie</i>         | Movares Nederland B.V.<br>Daalseplein 101<br>3511 SX Utrecht                                                                                 |
|    | <i>Verantwoordelijke persoon</i>       | ir. P.R. Bouwma<br>e-mail: pieter.bouwma@movares.nl<br>tel.: 06-57547765                                                                     |
| 2. | <i>Meting uitgevoerd door</i>          | ir. P.R. Bouwma                                                                                                                              |
| 3. | <i>Tijdsperiode meting</i>             | 13 november 2014 - 10:30u; tot<br>14 november 2014 - 10:30u                                                                                  |
| 4. | <i>Type trillingsbron</i>              | Treinen en valproef klappen                                                                                                                  |
| 5. | <i>Gebouwomschrijving</i>              | Tweelaags woonhuis                                                                                                                           |
| 6. | <i>Locatie metingen</i>                | Zie plattegrond in figuur 4                                                                                                                  |
| 7. | <i>Geotechnische gegevens</i>          | Zie Hoofdstuk 2.2                                                                                                                            |
| 8. | <i>Meetposities</i>                    | Zie plattegrond in figuur 4                                                                                                                  |
| 9. | <i>Gebruikte meetopnemers</i>          | Maaiveld:        Sensor 15    Vibra TDA01357<br>Fundering:       Sensor 14    Vibra TDA01343<br>1e Verdieping:   Sensor 26    Vibra TDA01340 |
|    | <i>Gebruikte verwerkingsapparatuur</i> | MC001 (DEWE-1201 meetcomputer)                                                                                                               |



## Odijkerweg 100



|    |                                            |                                                                                                                                             |
|----|--------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. | <i>Uitvoerende organisatie</i>             | Movares Nederland B.V.<br>Daalseplein 101<br>3511 SX Utrecht                                                                                |
|    | <i>Verantwoordelijke persoon</i>           | ir. P.R. Bouwma<br>e-mail: pieter.bouwma@movares.nl<br>tel.: 06-57547765                                                                    |
| 2. | <i>Meting uitgevoerd door</i>              | ir. P.R. Bouwma                                                                                                                             |
| 3. | <i>Tijdsperiode meting</i>                 | 12 november 2014 - 11:00u; tot<br>14 november 2014 - 10:00u                                                                                 |
| 4. | <i>Type trillingsbron</i>                  | Treinen en valproef klappen                                                                                                                 |
| 5. | <i>Gebouwomschrijving</i>                  | Tweelaags woonhuis                                                                                                                          |
| 6. | <i>Locatie metingen</i>                    | Zie plattegrond in figuur 4                                                                                                                 |
| 7. | <i>Geotechnische gegevens</i>              | Zie Hoofdstuk 2.2                                                                                                                           |
| 8. | <i>Meetposities</i>                        | Zie plattegrond in figuur 4                                                                                                                 |
| 9. | <i>Gebruikte meetopnemers</i>              | Maaiveld:      Sensor 6      Vibra TDA00735<br>Fundering:      Sensor 7      Vibra TDA00736<br>1e Verdieping:   Sensor 22    Vibra TDA01336 |
|    | <i>Gebruikte<br/>verwerkingsapparatuur</i> | MC008 (DS-net meetcomputer)                                                                                                                 |

## Odijkerweg 102



|    |                                        |                                                                                                                                                                                                          |
|----|----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. | <i>Uitvoerende organisatie</i>         | Movares Nederland B.V.<br>Daalseplein 101<br>3511 SX Utrecht                                                                                                                                             |
|    | <i>Verantwoordelijke persoon</i>       | ir. P.R. Bouwma<br>e-mail: pieter.bouwma@movares.nl<br>tel.: 06-57547765                                                                                                                                 |
| 2. | <i>Meting uitgevoerd door</i>          | ir. P.R. Bouwma                                                                                                                                                                                          |
| 3. | <i>Tijdsperiode meting</i>             | 11 november 2014 - 11:00u; tot<br>12 november 2014 - 10:15u                                                                                                                                              |
| 4. | <i>Type trillingsbron</i>              | Treinen en valproef klappen                                                                                                                                                                              |
| 5. | <i>Gebouwomschrijving</i>              | Drielaags woonhuis                                                                                                                                                                                       |
| 6. | <i>Locatie metingen</i>                | Zie plattegrond in figuur 4                                                                                                                                                                              |
| 7. | <i>Geotechnische gegevens</i>          | Zie Hoofdstuk 2.2                                                                                                                                                                                        |
| 8. | <i>Meetposities</i>                    | Zie plattegrond in figuur 4                                                                                                                                                                              |
| 9. | <i>Gebruikte meetopnemers</i>          | Maaiveld:        Sensor 7        Vibra TDA00736<br>Fundering:       Sensor 6        Vibra TDA00735<br>1e Verdieping:   Sensor 22       Vibra TDA01336<br>2e verdieping    Sensor 15       Vibra TDA01357 |
|    | <i>Gebruikte verwerkingsapparatuur</i> | MC008 (DS-net meetcomputer)                                                                                                                                                                              |



## Odijkerweg 110



|    |                                        |                                                                                                                                                            |
|----|----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. | <i>Uitvoerende organisatie</i>         | Movares Nederland B.V.<br>Daalseplein 101<br>3511 SX Utrecht                                                                                               |
|    | <i>Verantwoordelijke persoon</i>       | ir. P.R. Bouwma<br>e-mail: pieter.bouwma@movares.nl<br>tel.: 06-57547765                                                                                   |
| 2. | <i>Meting uitgevoerd door</i>          | ir. P.R. Bouwma                                                                                                                                            |
| 3. | <i>Tijdsperiode meting</i>             | 13 november 2014 - 17:00u; tot<br>14 november 2014 - 16:00u                                                                                                |
| 4. | <i>Type trillingsbron</i>              | Treinen en valproef klappen                                                                                                                                |
| 5. | <i>Gebouwomschrijving</i>              | Tweelaags woonhuis                                                                                                                                         |
| 6. | <i>Locatie metingen</i>                | Zie plattegrond in figuur 4                                                                                                                                |
| 7. | <i>Geotechnische gegevens</i>          | Zie Hoofdstuk 2.2                                                                                                                                          |
| 8. | <i>Meetposities</i>                    | Zie plattegrond in figuur 4                                                                                                                                |
| 9. | <i>Gebruikte meetopnemers</i>          | Maaiveld:        Sensor 12        Vibra TDA00941<br>Fundering:        Sensor 10        Vibra TDA00940<br>1e Verdieping:    Sensor 25        Vibra TDA01338 |
|    | <i>Gebruikte verwerkingsapparatuur</i> | MC004 (DEWE 101 meetcomputer)                                                                                                                              |

**Odijkerweg 114/116**



|    |                                        |                                                                                                                                                            |
|----|----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. | <i>Uitvoerende organisatie</i>         | Movares Nederland B.V.<br>Daalseplein 101<br>3511 SX Utrecht                                                                                               |
|    | <i>Verantwoordelijke persoon</i>       | ir. P.R. Bouwma<br>e-mail: pieter.bouwma@movares.nl<br>tel.: 06-57547765                                                                                   |
| 2. | <i>Meting uitgevoerd door</i>          | ir. P.R. Bouwma                                                                                                                                            |
| 3. | <i>Tijdsperiode meting</i>             | 11 november 2014 - 12:30u; tot<br>12 november 2014 - 12:00u                                                                                                |
| 4. | <i>Type trillingsbron</i>              | Treinen en valproef klappen                                                                                                                                |
| 5. | <i>Gebouwomschrijving</i>              | Tweelaags woonhuis                                                                                                                                         |
| 6. | <i>Locatie metingen</i>                | Zie plattegrond in figuur 4                                                                                                                                |
| 7. | <i>Geotechnische gegevens</i>          | Zie Hoofdstuk 2.2                                                                                                                                          |
| 8. | <i>Meetposities</i>                    | Zie plattegrond in figuur 4                                                                                                                                |
| 9. | <i>Gebruikte meetopnemers</i>          | Maaiveld:        Sensor 12        Vibra TDA00941<br>Fundering:        Sensor 10        Vibra TDA00940<br>1e Verdieping:    Sensor 25        Vibra TDA01338 |
|    | <i>Gebruikte verwerkingsapparatuur</i> | MC004 (DEWE 101 meetcomputer)                                                                                                                              |

## Odijkerweg 120



|    |                                        |                                                                                                                                                 |
|----|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. | <i>Uitvoerende organisatie</i>         | Movares Nederland B.V.<br>Daalseplein 101<br>3511 SX Utrecht                                                                                    |
|    | <i>Verantwoordelijke persoon</i>       | ir. P.R. Bouwma<br>e-mail: pieter.bouwma@movares.nl<br>tel.: 06-57547765                                                                        |
| 2. | <i>Meting uitgevoerd door</i>          | ir. P.R. Bouwma                                                                                                                                 |
| 3. | <i>Tijdsperiode meting</i>             | 12 november 2014 - 13:45u; tot<br>13 november 2014 - 16:15u                                                                                     |
| 4. | <i>Type trillingsbron</i>              | Treinen en valproef klappen                                                                                                                     |
| 5. | <i>Gebouwomschrijving</i>              | Tweelaags woonhuis                                                                                                                              |
| 6. | <i>Locatie metingen</i>                | Zie plattegrond in figuur 4                                                                                                                     |
| 7. | <i>Geotechnische gegevens</i>          | Zie Hoofdstuk 2.2                                                                                                                               |
| 8. | <i>Meetposities</i>                    | Zie plattegrond in figuur 4                                                                                                                     |
| 9. | <i>Gebruikte meetopnemers</i>          | Maaiveld:        Sensor 12     Vibra TDA00941<br>Fundering:       Sensor 25     Vibra TDA01338<br>1e Verdieping:   Sensor 10     Vibra TDA00940 |
|    | <i>Gebruikte verwerkingsapparatuur</i> | MC004 (DEWE 101 meetcomputer)                                                                                                                   |



## Tiendweg 22



|    |                                        |                                                                          |           |                |
|----|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-----------|----------------|
| 1. | <i>Uitvoerende organisatie</i>         | Movares Nederland B.V.<br>Daalseplein 101<br>3511 SX Utrecht             |           |                |
|    | <i>Verantwoordelijke persoon</i>       | ir. P.R. Bouwma<br>e-mail: pieter.bouwma@movares.nl<br>tel.: 06-57547765 |           |                |
| 2. | <i>Meting uitgevoerd door</i>          | ir. P.R. Bouwma                                                          |           |                |
| 3. | <i>Tijdsperiode meting</i>             | 14 november 2014 - 12:00u; tot<br>18 november 2014 - 08:30u              |           |                |
| 4. | <i>Type trillingsbron</i>              | Treinen                                                                  |           |                |
| 5. | <i>Gebouwomschrijving</i>              | Drielaags woonhuis                                                       |           |                |
| 6. | <i>Locatie metingen</i>                | Tiendweg 22                                                              |           |                |
| 7. | <i>Geotechnische gegevens</i>          | Zie Hoofdstuk 2.2                                                        |           |                |
| 8. | <i>Meetposities</i>                    | Zie punt 9                                                               |           |                |
| 9. | <i>Gebruikte meetopnemers</i>          | Maaiveld:                                                                | Sensor 26 | Vibra TDA01340 |
|    |                                        | Fundering:                                                               | Sensor 14 | Vibra TDA01343 |
|    |                                        | 1e Verdieping:                                                           | Sensor 22 | Vibra TDA01336 |
|    |                                        | 1e verdieping:                                                           | Sensor 15 | Vibra TDA01357 |
|    | <i>Gebruikte verwerkingsapparatuur</i> | MC001 (DEWE-1201 meetcomputer)                                           |           |                |

## Bijlage 3

## Toelichting factoren prognose model

## Bijlage 3.1 *Algemene model beschrijving*

Zwaar verkeer, heiwerkzaamheden, machines, et cetera zijn trillingsbronnen die trillingen veroorzaken. Wanneer deze trillingen in de ondergrond worden geïntroduceerd gaan de trillingen zich in de vorm van spanningsgolven voortplanten. Hierbij wordt onderscheid gemaakt in verschillende typen golven:

- Compressiegolven (P-golven), in de richting als de voortplantingsrichting van de drukgolven (overwegend horizontaal).
- Schuifgolven (S-golven), die zich in alle richtingen voortplanten haaks op de voortplantingsrichting.
- Rayleighgolven (R-golven), die zich primair over het maaiveld voortplanten.

Daar waar de golven het maaiveld, een laagovergang of een bouwwerk bereiken, vindt reflectie en omzetting van de trillingsgolven plaats, zodat een interferentiepatroon van bodembewegingen ontstaat. Verschillende factoren zijn van invloed op de intensiteit van de trillingen in de grond. Voor treinverkeer betreffen dit de volgende factoren:

- Eigenschappen van de onderscheiden grondlagen.
- Snelheid en gewicht van de passerende treinen.
- Kwaliteit van de treinwielen (in verband met vlakke wielen).
- Kwaliteit van de spoorligging; dat wil zeggen een spoor dat volkomen recht ligt in zowel verticale als horizontale richting wekt minder trillingen op dan een spoor dat niet volledig recht ligt.
- Spoorstaafrouwheid (een ruw hobbelig spoor levert meer trillingen dan een vlak spoor).
- Wijze van funderen van gebouwen.
- Afmetingen, aantal verdiepingen en constructiewijze van de gebouwen.

Gezien de complexiteit van dit interferentiepatroon kan de bodembeweging slechts in benaderende zin beschreven worden, middels de volgende basis relatie:

$$v = v_0 \cdot C_{bodem} \cdot C_{gebouw}$$

Hierin is:

- $v$  = trilsnelheid in de woning, die getoetst wordt aan de SBR richtlijn.
- $v_0$  = trilsnelheid op maaiveld gemeten of berekend op referentie afstand  $x_0$ .
- $C_{bodem}$  = factor voor de geometrische overdracht in de bodem (ruimtelijke en fysische demping).
- $C_{gebouw}$  = overdrachtsfactor voor de trillingen van maaiveld voor de woning naar verdiepingsvloer.

## Bijlage 3.2 *Bronkarakteristiek $v_0$*

De initiële trillingsbron (een passerende trein) is gemeten in de uitgevoerde trillingsonderzoeken. Met behulp van een statistische bewerking zijn de 95% verwachtingswaarden bepaald conform SBR-richtlijn Trillingen deel B. Op basis van deze waarde is conform de SBR-richtlijn Trillingen deel B de  $v_{eff,max}$  bepaald voor elke meetopnemer. Hierin wordt de  $v_{eff,max}$  gezien als de representatieve bronwaarde van de



trillingssnelheid op een bepaalde afstand van het spoor. De representatieve waarde van de  $v_{eff,max}$  die is teruggerekend naar een afstand van 5 m van het spoor. Deze waarde wordt de bronwaarde  $v_0$  genoemd.

## Bijlage 3.3 Bodemdemping $C_{bodem}$

De compressie- (P) en de schuifgolven (S) verspreiden zich bolvormig vanuit de bron (een korte trein). Wanneer de treinen lang zijn (bijvoorbeeld een goederentrein met een lengte van maximaal 700 meter) zal de trillingsbron meer als een lijn bron reageren en zich meer in de vorm van een halve cirkel in de grond verspreiden.

De Raleigh-golven (R) planten zich cirkelvormig over het maaiveld voort.

Als gevolg van de ruimtelijke spreiding is sprake van een geometrische verzwakking van de trillingsamplitude, ook wel geometrische demping genoemd.

Daarnaast is tevens sprake van een demping als gevolg van energieverliezen in het bodemmateriaal, ook wel materiaaldemping genoemd. De geometrische en de materiaaldemping van een trilling kunnen, ten aanzien van de (maatgevende) oppervlaktegolven (R) op een afstand  $x$  van de bron, bepaald worden met de volgende vergelijking van Barkan. Voor  $C_{bodem}$  geldt dan

$$C_{bodem} = \sqrt{\frac{x_0}{x}} \cdot e^{-\alpha(x-x_0)}$$

Waarin:

|          |                                                                                  |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------|
| $x_0$    | referentie-afstand tot de bron [m].                                              |
| $x$      | afstand tot de bron [m].                                                         |
| $\alpha$ | karakteristieke dempingsconstante ten gevolge van materiaaldemping [ $m^{-1}$ ]. |

## Bijlage 3.4 Overdrachtsfactor $C_{gebouw}$

Wanneer de trillingen van de grond worden overgedragen naar de fundering van een gebouw gaat een deel van de trillingsintensiteit verloren in warmte en wordt de trilling verder gedempt. De mate van demping wordt beschreven met de factor  $C_{xf}$ .

Naast de dempende werking van de fundering zal de trilling verder in het gebouw worden overgedragen naar de vloeren. Door een trilling kunnen de vloeren worden op geslingerd. . De opslingerende of dempende werking van de vloeren, veroorzaakt door trillingen, wordt beschreven door de factor  $C_{fc}$ .

Beide factoren samen vormen de overdrachtsfactor van grond naar vloer.

$$C_{gebouw} = C_{xf} \cdot C_{fc}$$

Bij de voorgaande onderzoeken (2012) zijn voor een achttal objecten de onderstaande overdrachtsfactoren vastgesteld.

| Locatie                    | $C_{xf}$<br>[-] | $C_{fc}$<br>[-] | $C_{xf} \cdot C_{fc}$<br>[-] |
|----------------------------|-----------------|-----------------|------------------------------|
| Tiendweg 1F (schuur/loods) | 0,8             | 1,2             | 0,9                          |
| Tiendweg 22                |                 |                 | 2,3                          |
| Kwekerijweg 6 en 8         | 1,0             | 0,5             | 0,5                          |
| Kwekerijweg 2a, 2b, 2c     | 0,8             | 0,9             | 0,7                          |
| Odiijkerweg 82             | 0,4             | 1,4             | 0,6                          |
| Princenhof 1-27            | 0,4             | 1,4             | 0,6                          |
| Stationsweg 11, 13, 15     | 0,9             | 0,9             | 0,8                          |
| Odiijkerweg 82             | 0,4             | 1,4             | 0,6                          |

Tabel 8-5, overdrachtsfactoren grond naar bebouwing (2012)

In het kader van aanvullend onderzoek zijn in november 2014 bij een achttal woningen de overdrachtsfactoren vastgesteld. Deze zijn opgenomen in de meetrapportage van Movares in Bijlage 2.

## Bijlage 4 Referentiedocumenten

In deze bijlage is de informatie die gebruikt is voor deze rapportage weergegeven. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen bindende en informatieve documenten.

### Bijlage 4.1 Bindende documenten

Het overzicht van bindende documenten is weergegeven in Tabel 8-6.

| Titel                                                                                        | Kenmerk            | Datum           | Auteur                      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-----------------|-----------------------------|
| Herinrichting Stationsgebied Driebergen-Zeist. Systeemeisenspecificatie (SRS) bij baseline 3 | 075568908 versie C | 9 november 2011 | ARCADIS                     |
| SBR-richtlijn trillingen deel A Schade aan gebouwen                                          | -                  | Oktober 2003    | SBR                         |
| SBR-richtlijn trillingen deel B Hinder voor personen in gebouwen                             | -                  | Oktober 2003    | SBR                         |
| SBR-richtlijn trillingen deel C Storing aan apparatuur                                       | -                  | Oktober 2003    | SBR                         |
| Trillingsonderzoek railverkeer Baanvak 35 te Driebergen                                      | 1009-0130-002      | 14 april 2011   | Fugro Ingenieursbureau B.V. |

Tabel 8-6: Overzicht van bindende documenten.

### Bijlage 4.2 Informatieve documenten

Het overzicht van documenten die geen formele status hebben, maar waaruit wel informatie gebruikt is staat in Tabel 8-7.

| Titel                                                                                                    | Kenmerk                                   | Datum             | Auteur                                       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------|----------------------------------------------|
| COB-rapport: Betrouwbare Trillingsmaatregel, ontwikkeling Standaard Rekenmethode voor Trillingen (SRM-T) | TNO-034-DTM-2009-01104                    | 15 september 2009 | TNO-Bouw                                     |
| DC-COB-commissie BET, Deelaspect stroom 2, afweging                                                      | 9082926-0030, versie 1.0                  | 19 december 2008  | ARCADIS Nederland BV                         |
| Planstudie te Driebergen-Zeist                                                                           | R066207-RH_7                              | 11 januari 2011   | MOS Grondmechanica BV                        |
| Driebergen-Zeist; planstudie 2B Grens ten behoeve van onderzoeken BASELINE 1                             | D01011.0421.010 0, AR_B1_1002, versie 0.1 | 24 augustus 2010  | ARCADIS Nederland BV                         |
| PLAXIS 2D Version 8 /10                                                                                  | ISBN 905809 508 8                         | 2002              | Plaxis B.V.                                  |
| www.dinoloket.nl                                                                                         | S32C00139                                 | 2 mei 2012        | TNO dinoloket                                |
| Vibrations caused by train traffic and the effect of its migration on the quality of living              | www.kiviniirja.nl                         | -                 | T. Auvinen, Aalto University, Espoo, Finland |
| Trillingsmetingen schermwerking (PS-scherm) van bouwverkeer aan de Zomerweg 1 en 3 te IJsselstein        | 3209-0015-000                             | 10 februari 2012  | Fugro Geoservices BV                         |
| Stationsgebied Driebergen-Zeist-trillingen, representativiteit pand Tiendweg 1F                          | 077964429 versie D                        | 12 augustus 2014  | ARCADIS Nederland BV                         |

Tabel 8-7: Overzicht van informatieve documenten.

# Colofon

## STATIONSGBIED DRIEBERGEN-ZEIST L36.03.01- AANVULLEND ONDERZOEK TRILLINGEN

### **OPDRACHTGEVER:**

ProRail

### **STATUS:**

Definitief

### **AUTEUR:**

ir. A.V. van Uiter

ir. C.P. Schouten

### **GECONTROLEERD DOOR:**

ir. C.P. Schouten

### **VRIJGEGEVEN DOOR:**

ing. P. van de Kragt

17 december 2014

078219593:D

ARCADIS NEDERLAND BV

Piet Mondriaanlaan 26

Postbus 220

3800 AE Amersfoort

Tel 033 4771 000

Fax 033 4772 000

[www.arcadis.nl](http://www.arcadis.nl)

Handelsregister 09036504

©ARCADIS. Alle rechten voorbehouden. Behoudens uitzonderingen door de wet gesteld, mag zonder schriftelijke toestemming van de rechthebbenden niets uit dit document worden veeelvoudigd en/of openbaar worden gemaakt door middel van druk, fotokopie, digitale reproductie of anderszins.