

# PHS METEREN-BOXTTEL

## OTB rapport - Trillingen deel 1 (MB21404-02)

15 DECEMBER 2017

VERSIE: 2.0

DEFINITIEF





# INHOUDSOPGAVE

<b>1</b>	<b>INLEIDING</b>	<b>5</b>
1.1	Projectomschrijving	5
1.2	Rapporten en plaats van dit rapport	5
1.3	Leeswijzer	6
<b>2</b>	<b>WERKWIJZE ONDERZOEK EN BEOORDELINGSKADER</b>	<b>7</b>
2.1	Toetsing volgens de Bts	7
2.2	Werkwijze op hoofdlijnen aspect Trillingen	8
2.3	Werkwijze op hoofdlijnen aspect Laagfrequent geluid (LFG)	11
2.4	Afbakening onderzoeksgebied	12
2.4.1	Studiegebied spoor	12
2.4.2	Plangebied	12
2.4.3	Deelgebied 1: Zuidwestboog Meteren	14
2.4.4	Deelgebied 2: Meteren - 's-Hertogenbosch	14
2.4.5	Deelgebied 3: 's-Hertogenbosch – Vught	15
2.4.6	Deelgebied 4: Vught – Boxtel	16
2.4.7	Studiegebied trillingen	16
2.4.8	Studiegebied laagfrequent geluid	18
2.5	Beoordelingskader laagfrequent geluid (LFG)	19
<b>3</b>	<b>UITGANGSPUNTEN</b>	<b>20</b>
3.1	Uitgangspunten brongegevens treinen/sporen	21
3.1.1	Treinen	21
3.1.2	Sporen	28
3.2	Uitgangspunten Grondopbouw en overdracht	35
3.2.1	Inventarisatie gegevens grondopbouw/ sonderingen	35
3.3	Uitgangspunten trillingsgevoelige objecten (ontvanger)	36
3.3.1	Bestaande bebouwing	36
3.3.2	Nieuwe bebouwing	37
3.3.3	Te amoveren bebouwing	38
3.3.4	Tijdelijke situatie: tijdens bouw onbereikbare bebouwing	38

3.4	Uitgangspunten laagfrequent geluid (LFG)	39
<b>4</b>	<b>TRILLINGSMETINGEN</b>	<b>41</b>
4.1	Selectie gidspannen en meetlocaties	42
4.2	Uitwerking interpretatie maaiveldmetingen 2013	47
4.3	Meetprotocol en data-interpretatie metingen (2014 - 2016)	49
4.4	Meetprotocol en interpretatie bijzondere metingen	56
4.5	Interpretatie metingen SiDB (nul/hermetingen)	58
4.6	Synchronisatie methoden van de diverse metingen	61
<b>5</b>	<b>SCHADE OF STORING DOOR TRILLINGEN IN PLANSITUATIE</b>	<b>62</b>
<b>6</b>	<b>BOUWTRILLINGEN TIJDENS UITVOERINGSFASE</b>	<b>63</b>

## **BIJLAGEN**

<b>BIJLAGE A SCHEMATISCH OVERZICHT INHOUD DEELRAPPORTEN TRILLINGEN</b>	<b>65</b>
<b>BIJLAGE B RESULTATEN TRILLINGSMETINGEN GIDSPANEN PHS METEREN-BOXTEL EN REPARATIE BTS</b>	<b>67</b>
<b>BIJLAGE C RESULTATEN TRILLINGSMETINGEN GIDSPANEN SPOREN IN DE 'S-HERTOGENBOSCH (SIDB) EN HER-BEWERKING MEETRESULTATEN EN ANALYSES</b>	<b>68</b>
<b>BIJLAGE D RAPPORT LAAGFREQUENT GELUID</b>	<b>69</b>

# 1 INLEIDING

## 1.1 Projectomschrijving

Voorliggend document beschrijft de resultaten van het deelonderzoek Trillingen ten behoeve van het Ontwerp tracébesluit (hierna: OTB) Programma Hoogfrequent Spoorvervoer Meteren – Boxtel. Het project PHS Meteren - Boxtel is onderdeel van het Programma Hoogfrequent Spoorvervoer (PHS). Doel van PHS is om op de drukste trajecten van het landelijk spoornetwerk te komen tot hoogfrequent spoorvervoer en een toekomstvaste routing van het goederenvervoer met zo intensief mogelijk gebruik van de Betuweroute. Uitgangspunt van PHS is dat op de drukste trajecten reizigers uiterlijk in 2028 elke 10 minuten moeten kunnen opstappen op een intercity of een sprinter.

In het project PHS Meteren – Boxtel wordt daartoe een 4e spoor tussen 's-Hertogenbosch en Vught aansluiting inclusief een vrije kruising ter plaatse van Vught aansluiting gerealiseerd. Tevens wordt een verbindingsboog tussen de Betuweroute en de spoorlijn Utrecht – 's-Hertogenbosch bij Meteren gerealiseerd. De verbindingsboog veroorzaakt een toename van het aantal goederentreinen tussen Meteren en Boxtel.

Als gevolg van de fysieke ingreep in Vught, waarbij onder meer huidige belemmeringen op doorgaande sporen worden weggenomen, zal er een lokale verhoging van de rijnsnelheid optreden. De toename van het aantal reizigerstreinen is geen gevolg van het project PHS Meteren-Boxtel omdat deze voorafgaand aan het project al is opgetreden in de aanloop naar PHS. Deze toename is wel opgenomen in de trillingenanalyse.

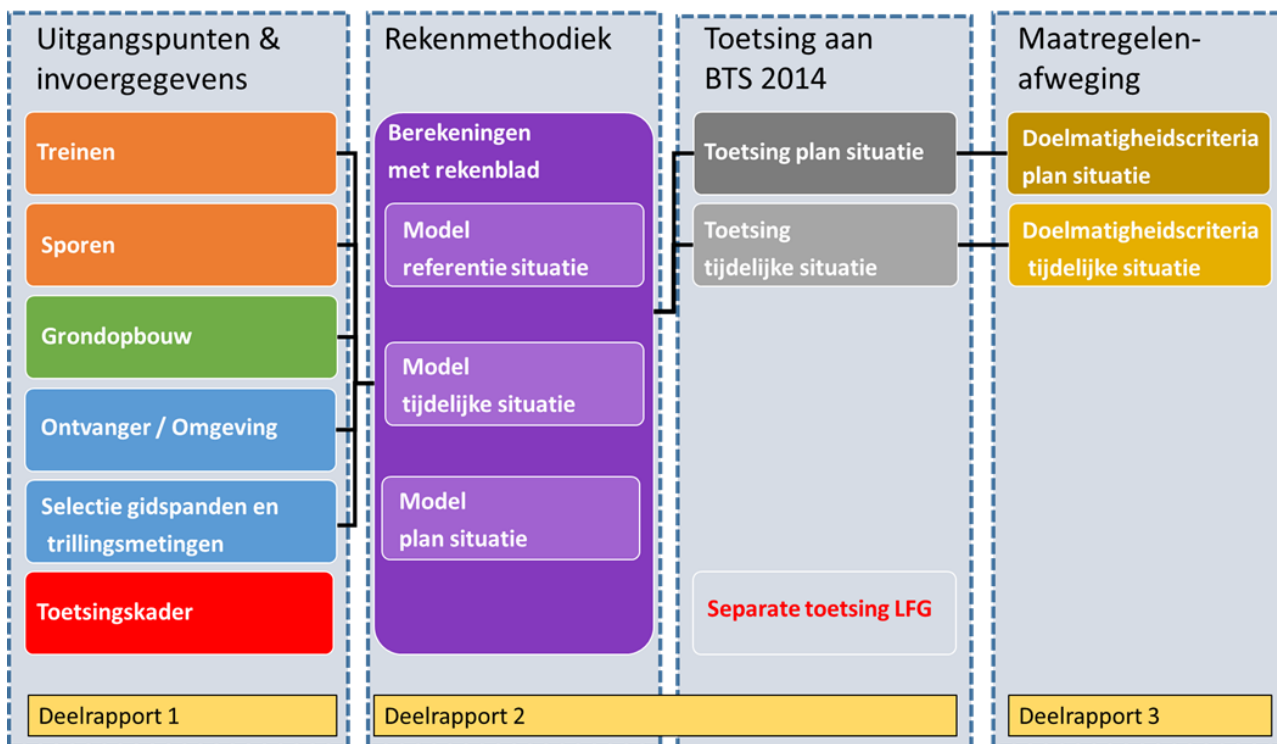
## 1.2 Rapporten en plaats van dit rapport

Onderdeel van het Ontwerp tracébesluit en het MER is een aantal zelfstandig leesbare onderzoeksrapporten voor verschillende milieuaspecten, die als losse achtergrondrapporten beschikbaar zijn. Het voorliggende rapport betreft één van de drie onderzoeksrapporten die voor het aspect Trillingen ten behoeve van het Ontwerp Tracébesluit (OTB) zijn opgesteld. In deze drie onderzoeksrapporten samen, zijn voor het milieuaspect trillingen de effecten van de aanpassing van de spoorinfrastructuur en het veranderde spoorgebruik beschreven. Voor locaties waar een sterke toename in trillingshinder is, is onderzocht in hoeverre trillingsmaatregelen toegepast kunnen worden en zijn de maatregelen afgewogen op doelmatigheid.

Met name vanwege de leesbaarheid van het achtergrondrapport trillingen, is het rapport opgesplitst in een drietal deelrapporten, te weten:

- Deelrapport 1: Rapportage met uitgangspunten inclusief metingen;
- Deelrapport 2: Rapportage modellering referentie-/plansituatie (rekenmethodiek) en toetsing;
- Deelrapport 3: Maatregelenafweging.

In onderstaande schema (Figuur 1) is per deelrapport in hoofdlijnen aangegeven wat er in beschreven is. Ook is schematisch de samenhang tussen de drie rapporten weergegeven (In bijlage A zijn in een totaaloverzicht de onderdelen per deelrapport en de onderlinge samenhang nader weergegeven). Voorliggend rapport betreft deelrapport 1 met uitgangspunten/invoergegevens en wetgeving (linkerzijde van schema).



Figuur 1 Schematisch overzicht inhoud van de drie deelrapporten

In voorliggend rapport deel 1 zijn de basisgegevens van het trillingsonderzoek beschreven zoals de gehanteerde uitgangspunten voor de trillingsberekeningen en de uitgangspunten ten aanzien van de uitgevoerde trillingsmetingen. Tevens is in dit rapport het juridisch kader weergegeven. In deelrapport 2 is de wijze van modellering voor de referentie- en plansituatie weergegeven, en zijn de berekeningsresultaten getoetst aan de normen uit de Beleidsregel trillinghinder spoor (Bts). In deelrapport 3 is nader ingegaan op de afweging van doelmatige trillingsmaatregelen.

### 1.3 Leeswijzer

In het voorliggende rapport zijn de gehanteerde uitgangspunten weergegeven die voor het trillingsonderzoek PHS Meteren-Boxtel zijn gehanteerd. In hoofdstuk 2 wordt in het kort de gehanteerde werkwijze weergegeven en wordt er een beschrijving gegeven van het toetsingskader voor de aspecten trillingen en laagfrequent geluid. Tevens wordt aangegeven wat de afbakening is van het onderzoeksgebied en studiegebied. In hoofdstuk 3 zijn de gehanteerde uitgangspunten weergegeven, die voor de berekeningen zijn gehanteerd. De uitgangspunten en resultaten van de uitgevoerde trillingsmetingen zijn weergegeven in hoofdstuk 4. In de hoofdstukken 5 en 6 wordt ingegaan op het aspect schade aan gebouwen of storing aan apparatuur respectievelijk in de plansituatie en tijdens de bouwperiode.

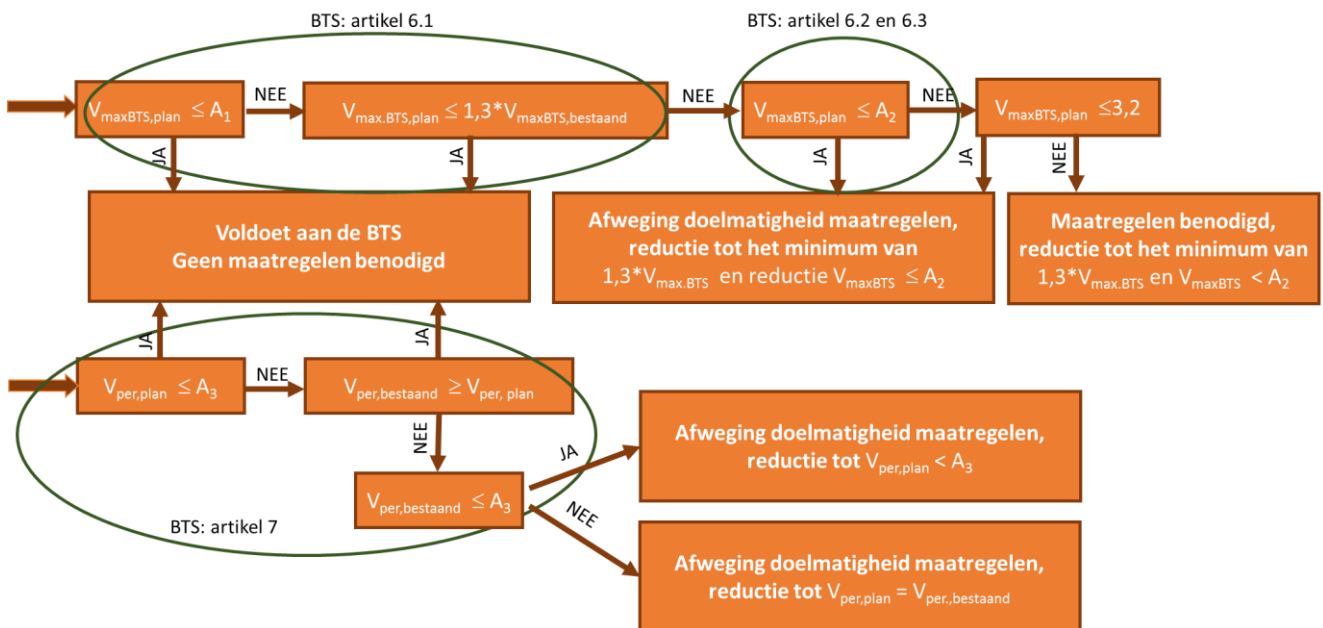
## 2 WERKWIJZE ONDERZOEK EN BEOORDELINGSKADER

### 2.1 Toetsing volgens de Bts

Trein- en wegverkeer kan leiden tot trillingen in gebouwen. Deze trillingen kunnen weer leiden tot hinder voor personen in deze gebouwen of schade<sup>1</sup> aan deze gebouwen. De gehanteerde beoordelingsmethodiek voor hinder en schade is voor de tijdelijke situatie en eindsituatie van het spoor beoordeeld aan de hand van de regels en criteria zoals opgenomen in de Beleidsregel trillinghinder spoor (Bts). Deze Beleidsregel is van toepassing op beoordeling van trillinghinder ten behoeve van de vaststelling van tracébesluiten voor de aanleg, wijziging of het opnieuw in gebruik nemen van een landelijke spoorweg.

In 2012 heeft de staatssecretaris van Infrastructuur en Milieu vooruitlopend op toekomstige wetgeving een Beleidsregel trillinghinder spoor (Bts-versie 2012) voor Tracébesluiten opgesteld, welke in 2014 (Bts versie 2014) is herzien. Voor het beoordelen van hinderbeleving door verkeer wordt gebruik gemaakt van de Stichting Bouw Research (SBR) meet- en beoordelingsrichtlijn deel B "Hinder voor personen in gebouwen". De Bts vult de SBR-B-richtlijn aan en vormt de richtlijn voor de toetsing van het project PHS Meteren-Boxtel.

De Bts geeft een methode voor het toetsen van trillingen veroorzaakt door railverkeer. De toetsing van de trillingen gebeurt op basis van de trillingssterkte ( $V_{max}$ ) en een gemiddelde hiervan over de tijd ( $V_{per}$ ). Deze waarden worden getoetst aan de streef- en grenswaarden  $A_1$ ,  $A_2$  en  $A_3$  uit de Bts. In het onderstaande stroomschema (Figuur 2) is de toetsing weergegeven.



Figuur 2 Stroomschema toetsing Bts

Hierin zijn de volgende grootheden gebruikt:

$V_{max}$ : De maximale trillingssterkte: grootste waarde over de meetduur van de voortschrijdende effectieve gewogen momentane trillingssterkte (maximale waarde voor toetsing trillingssterkte).  $V_{max}$  is daarbij de statistisch bepaalde piekwaarde met een 5% overschrijdingskans.

$V_{per}$ : De gemiddelde trillingssterkte: trillingssterkte over de beoordelingsperiode bepaald op basis van het kwadratisch gemiddelde van de grootste waarden van  $V_{max}$  (gemiddelde waarde voor de trillingssterkte over de tijd, gebaseerd op de opgetreden maxima).

$A_1$ : Streefwaarde Bts, voor de trillingssterkte  $V_{max}$ , zie Tabel 1.

$A_2$  en  $A_3$ : Grenswaarden Bts, voor de trillingssterkte  $V_{max}$  en  $V_{per}$ , zie Tabel 1.

<sup>1</sup> Mogelijke schade aan gebouwen als gevolg van aanlegwerkzaamheden wordt in een latere fase getoetst en komt in dit rapport nog niet aan de orde.

De Bts geeft voor volgende twee situaties grens- en streefwaarden:

- **Nieuwe situatie:** referentiesituatie waarin geen sprake is van trillingen als gevolg van railverkeer.
- **Bestaande situatie:** referentiesituatie waarin reeds sprake is van trillingen als gevolg van railverkeer. Dit is een situatie waarbij in de huidige situatie al een trillingsbron, bijvoorbeeld het spoor, aanwezig is en waarbij een trillingssterkte optreedt.

Tabel 1 Grens- en streefwaarden bestaande situatie:  $V_{max}$  (A1 en A2) en  $V_{per}$  (A3) volgens Bts methodiek

Gebouwfunctie	Dag- en avondperiode			Nachtperiode		
	$V_{max}$		$V_{per}$	$V_{max}$		$V_{per}$
	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, wonen	0,2	0,8	0,1	0,2	0,4	0,1
Kantoor, onderwijs en bijeenkomsten	0,3	1,2	0,15	0,3	1,2	0,15

Indien zowel aan de streefwaarde van  $V_{max}$  als aan de grenswaarde van  $V_{per}$ , wordt voldaan aan de toetsingscriteria voor trillingen en hoeven geen maatregelen te worden overwogen.

Indien de toetsingscriteria worden overschreden dienen trilling-mitigerende maatregelen te worden afgewogen op basis van doelmatigheid van de maatregelen, behoudens in de volgende gevallen:

- Indien  $V_{max}$  met minder dan een factor 1,3 toeneemt hoeven er geen maatregelen te worden afgewogen.
- Als  $V_{max}$  meer dan 3,2 bedraagt dienen maatregelen in alle gevallen toegepast te worden.

In de rapportage wordt in algemene zin gesproken over “overschrijding van de grenswaarden volgens de Bts methodiek” voor die gevallen waarin sprake is van de verplichte afweging of toepassing van maatregelen.

Bij het traject Meteren Bortel is sprake van een bestaand spoor, waarvan de benutting wordt gewijzigd en waaraan op enkele delen een fysieke spooraanpassing plaatsvindt. Dit betekent dat de toetsing conform Bts plaatsvindt voor de situatie “bestaande situatie”. Voor de toetsing van de bestaande situatie worden de grens- en streefwaarden voor A1, A2 en A3 uit Tabel 1 gebruikt.

## 2.2 Werkwijze op hoofdlijnen aspect Trillingen

De gehanteerde werkwijze in het trillingsonderzoek voor het OTB is in deze paragraaf beknopt samengevat. Ten behoeve van het onderzoek zijn twee situaties van belang, namelijk de referentiesituatie en de plansituatie. Door de trillingshinder in de plansituatie te vergelijken met de trillingshinder in de referentiesituatie, is te toetsen welke effecten het project heeft op de trillingen op de omgeving. Binnen het onderzoek naar trillingshinder zijn vijf stappen onderscheiden, waarbij de resultaten van de eerste drie stappen in dit rapport (deelrapport 1) zijn gepresenteerd. Stap 4 en stap 5 zijn respectievelijk in deelrapport 2 en 3 weergegeven. Hieronder zijn de stappen weergegeven:

- Stap 1 – Definiëren referentiesituatie spoor (deelrapport 1);
- Stap 2 – Inventarisatie trillingssituatie en definiëren uitgangspunten (deelrapport 1);
- Stap 3 – Uitvoeren van trillingsmetingen (deelrapport 1);
- Stap 4 – Analyse trillingsmetingen en uitvoeren trillingsberekeningen (deelrapport 2);
- Stap 5 – Uitwerken van trillingsmaatregelen en afweging doelmatigheid (deelrapport 3).

De werkwijze wordt zowel voor de eindsituatie als voor de tijdelijke situatie toegepast. Naast het aspect trillingen wordt ook separaat het aspect laagfrequent geluid beschouwd.



### Stap 1 - Definiëren referentiesituatie spoor

In het trillingsonderzoek is de trillingssituatie in de plansituatie (na realisatie voorliggend project) vergeleken met de referentiesituatie. De referentiesituatie is de situatie voorafgaande aan de uitvoering van het project PHS Meteren-Boxtel. Het onderzoeksgebied voor het trillingsonderzoek is geografisch opgedeeld in subgebieden, Voor de referentiesituatie zijn per deelgebied de situaties aangehouden zoals weergegeven in Tabel 2.

Tabel 2 Definitie referentiesituatie per deelgebied

Deelgebied	Trajectdeel	Referentiesituatie gebaseerd op:
1	Zuidwestboog Meteren	Peiljaar 2013 (spoorbenutting) / Peiljaar 2015 (snelheden)
2A	Waardenburg - Hedel	Peiljaar 2013 (spoorbenutting) / Peiljaar 2015 (snelheden)
2B	's-Hertogenbosch (SiDB)	Peiljaar 2013 (spoorbenutting) / Peiljaar 2009 (snelheden)*
3	Vught	Peiljaar 2013 (spoorbenutting) / Peiljaar 2015 (snelheden)
4	Haaren – Boxtel	Peiljaar 2013 (spoorbenutting) / Peiljaar 2015 (snelheden)

\* Voor deelgebied 2B ('s-Hertogenbosch (SiDB)) geldt een afwijkende uitgangspunt voor de treinsnelheid. Hier geldt dat indien het project wordt uitgevoerd binnen een termijn van 10 jaar na vaststellen van een voorgaand Tracébesluit (in dit geval SiDB), voor trillingen de referentiesituatie gebaseerd moet worden op de uitgangssituatie zoals van toepassing voor het voorgaande Tracébesluit.

### Stap 2 - Inventarisatie trillingssituatie

Om een goede voorspelling te kunnen maken van de effecten van het project op trillingen, is binnen het studiegebied een inventarisatie uitgevoerd van de voor trillingen relevante kenmerken:

- Afstand bebouwing tot spoor.
- Bestemming van de bebouwing.
- Leeftijd van de bebouwing (bouwjaar).
- Ondergrond.
- Wijzigingen in en op het tracé in de plansituatie.

De geïnventariseerde kenmerken zijn gebruikt om het prognosemodel op te stellen, waarmee de effecten van het project op trillingen zijn bepaald.

### Stap 3 - Trillingsmetingen

Op basis van de in stap 2 uitgevoerde inventarisatie worden gidslocaties ter weerszijden van het spoor bepaald. Gidslocaties zijn panden die als representatief worden gezien voor panden met vergelijkbare kenmerken en in een vergelijkbare situatie (die wordt gekenmerkt door de aanwezige spoor-infrastructuur en ondergrond bij een pand).

Vervolgens zijn trillingsmetingen uitgevoerd waarbij het effect van treinpassages op de trillingssterkte is vastgesteld op verschillende afstanden van het spoor. Daarbij is gemeten op het maaiveld en bij panden aan de fundering en op de vloer (zowel begane grond als verdiepingsvloer). Bij meting aan of in gids panden zijn twee meetprocedures uitgevoerd:

- Een meting aan de fundering en vloeren gedurende één of enkele dagen;
- Een meting aan de fundering gedurende 1 tot meerdere weken.

Bij metingen op het maaiveld is het effect van een toenemende afstand tot het spoor op de trillingssterkte bepaald. Beide metingen vormen de input voor het opgestelde prognosemodel. De metingen zijn uitgevoerd in de periode van 2013 tot 2015 en 2016.

Voor het deelgebied 's-Hertogenbosch zijn de meetresultaten gebruikt uit de trillingsanalyse voor het project SiDB ten behoeve van het betreffende Tracébesluit. Dit betreft metingen in de periode 2010 – 2013. Omdat deze meetresultaten nog niet waren afgestemd op de vigerende Bts zijn deze in het kader van de voorliggende studie her-bewerkt conform de methodiek volgens Bts.

#### Stap 4 – Analyse en toetsen aan Bts

Voor het opstellen van een trillingsprognose heeft Arcadis een analytisch model ontwikkeld.

Het model is zodanig geografisch gedifferentieerd dat hiermee de trillingssterkte kan worden bepaald langs het gehele tracé, in een gebied met een breedte van circa 100 meter ter weerszijden van het huidige tracé.

Het gebruikte prognosemodel (zie Figuur 3) neemt het effect van een aantal elementen in beschouwing:

- Bron van trillingen, te onderscheiden in:
  - Treinkarakteristieken (treintype (goederen/reizigers), treinsnelheid en vervoerprognose);
  - Kenmerken van het spoor (inclusief de onderbouw, zie paragraaf 3.1.2.);
- Overdracht: medium van verspreiding van trillingen (de ondergrondsituatie)
  - Damping van trillingen in de grond;
- Ontvanger: object kenmerken (kenmerken van panden waarin trillingen kunnen worden ervaren)
  - Overdracht van de grond naar de funderingen van de panden.
  - Overdracht van de funderingen van de panden naar de vloer.



Figuur 3 Schematisch overzicht prognosemodel en invoervariabelen voor bron-, overdracht- en ontvanger

In Hoofdstuk 3 zijn de verschillende elementen nader toegelicht, inclusief de gehanteerde uitgangspunten.

Voor de gidspannen is de overdracht in de grond en de overdracht in de panden direct afgeleid uit de metingen. Hierdoor zijn zowel de  $V_{max}$  als de  $V_{per}$  voor de referentiesituatie direct uit de meetdata af te leiden. De gidspannen zijn leidend voor de overige panden met eenzelfde typering. Voor panden die behoren tot hetzelfde type als het gidspan is de  $V_{max}$  berekend uit de afgeleide  $V_{max}$  van het gidspan. De  $V_{per}$  wordt voor de overige panden afgeleid uit de berekende  $V_{max}$  per pand. Daarbij wordt de verhouding tussen  $V_{max}$  en  $V_{per}$  van het gidspan gehanteerd, in samenhang met het aantal treinpassages ter plaatse van het gidspan.

Voor panden uit de omgeving van het gidspan die afwijken van het gidspan is op basis van het type vloer en het grondoppervlak van de oorspronkelijke (zonder uitbouw) woning de trillingssterkte aangepast naar rato van deze kentallen. In de plansituatie is met het prognosemodel voor zowel de gidspannen als de overige panden de  $V_{max}$  bepaald. Vervolgens is de  $V_{per}$  berekend op basis van de voor de referentiesituatie afgeleide relatie tussen  $V_{max}$  en  $V_{per}$  en met verrekening van de fysieke verandering aan het spoor en een eventuele verandering van het aantal passerende treinen. In alle gevallen is onderscheid gemaakt tussen de bijdrage van reizigerstreinen en goederentreinen.

Met behulp van het prognosemodel is vervolgens voor alle panden in de plansituatie het trillingsniveau bepaald en is het aantal panden vastgesteld waarvoor maatregelen afgewogen dienen te worden en het aantal panden waarvoor de doelmatigheid van maatregelen dient te worden bepaald. Deze panden worden "afwegingspanden" genoemd. Ter bepaling van deze beide categorieën panden is de toetsingsmethodiek conform de Bts gevolgd. Hierbij is de plansituatie voor zowel de  $V_{max}$  als de  $V_{per}$  getoetst aan de grenswaarden uit de Bts. Deze stap is uitgebreid beschreven in deelrapport 2.

### **Stap 5 - Uitwerken van trillingsmaatregelen**

In deze stap zijn voor locaties waar de grenswaarden uit de Bts worden overschreden, het effect en de doelmatigheid van trilling beperkende maatregelen onderzocht.

Deze stap wordt uitgebreid beschreven in deelrapport 3.

## **2.3 Werkwijze op hoofdlijnen aspect Laagfrequent geluid (LFG)**

De beoordeling van laagfrequent geluid (LFG) is gebaseerd op de in het jaar 2014/2015 door DGMR/Sensornet B.V. gemeten trillingsdata langs het spoor in Vught. Op basis van deze data is een indicatief laagfrequent geluidmodel opgesteld. Met dit model is voor de plansituatie een voorspelling gedaan over de invloed van het project op LFG. In navolgende paragrafen zijn de uitkomsten omschreven.

Voor de toetsing met betrekking tot het effect van laagfrequent geluid in de omgeving zijn de referentie situatie (dit is de huidige situatie) en de plansituatie van belang. Voor het onderzoek naar laagfrequent geluid zijn de volgende vier stappen doorlopen:

- Stap 1 – uitvoeren van trillingsmetingen;
- Stap 2 – analyse huidige situatie;
- Stap 3 – prognose toekomstige situatie;
- Stap 4 – toetsing en beoordeling van effect van toe te passen trillingsmaatregelen op laagfrequent geluid (nog geen onderdeel van deze rapportage).

### **Stap 1 - Trillingsmetingen**

Op basis van de uitgevoerde trillingsmetingen zijn gidspannen gedefinieerd, waar vervolgens trillingsmetingen zijn uitgevoerd. Voor de beschrijving van deze metingen wordt verwezen naar hoofdstuk 4. De voor trillingen gebruikte metingen vormen de input voor de analyse en het prognosemodel voor laagfrequent geluid. In Vught zijn in een aantal van de gidspannen waar trillingsmetingen zijn uitgevoerd (zie paragraaf 4.1) gelijktijdig geluidsdruckmetingen uitgevoerd, waarmee de relatie tussen trillingsniveaus en geluidsdruckniveaus voor laagfrequent geluid in de woning zijn bepaald.

### **Stap 2 – Analyse huidige situatie**

Op basis van de trillingsmetingen die zijn uitgevoerd aan woningen, liggend langs het spoor in Vught, is een rekenmodel opgesteld om de laagfrequent geluid bijdrage in woningen binnen het projectgebied in octaafbanden te kunnen prognosticeren. De gehanteerde aanpak is in hoofdlijnen vergelijkbaar met de methodiek zoals gehanteerd voor de effectanalyse trillingen in hoofdstuk 2.2, met dien verstande dat het LFG-model zich met name richt op de hogere frequenties van 32 tot 125 Hz, terwijl het dominante bereik voor trillingen juist in het lagere frequentie domein ligt. Het ontwikkelde laagfrequent geluid model, waarmee de geluidsdruckniveaus in de woningen wordt bepaald, is gevalideerd aan de hand van geluidmetingen in de woningen in Vught. Het model is gehanteerd om de geluidsniveaus voor de huidige situatie te beschrijven.

### **Stap 3 - Prognose**

Met het model is een prognose opgesteld van de geluidsniveaus in de plansituatie. Hierbij worden de volgende specifieke aspecten in de modelpredictie in beschouwing genomen:

- het effect van spoor in ballast in een verdiepte bak-constructie, zoals in Vught wordt toegepast, ten opzichte van de bestaande situatie met spoor in ballast op een aardebaan.  
Dit is afgeleid uit metingen die zijn uitgevoerd ten behoeve van projecten elders. Een toelichting hierop wordt gegeven in paragraaf 3.1.2. Ten behoeve van deze projecten zijn trillingsmetingen uitgevoerd bij treinpassages in de situatie vóór de bouw van de tunnel en ná in gebruik name van de tunnel. Het effect van een tunnelbak op de trillingen ten opzichte van een vrijebaansituatie is hieraan ontleend
- Het effect van een ballastmat in de tunnelbak.  
Conform de ontwerp voorschriften van ProRail (OVS) wordt in de tunnelbak Vught een ballastmat tussen het ballastbed en de vloer van de tunnelbak toegepast. Dit effect is afzonderlijk beschouwd.

#### **Stap 4 - Toetsing resultaten volgens “Methode de Ruiter”**

De op basis van metingen berekende geluidsdrumniveaus in de plansituatie zijn vergeleken met de grenswaarden volgens de methode De Ruiter (zie paragraaf 2.5). Voor gebieden met een overschrijding van de grenswaarden wordt in een vervolgfase onderzocht welke invloed doelmatige trillingsmaatregelen hebben op laagfrequent geluid als gevolg van het project.

Voor elke locatie die volgens de toetsing “Methode de Ruiter” niet voldoet aan de grenswaarden wordt een eerste inschatting gemaakt of het toepassen van trillingsmaatregelen een mitigerend effect heeft op laagfrequent geluid.

## **2.4 Afbakening onderzoeksgebied**

### **2.4.1 Studiegebied spoor**

Het studiegebied omvat het gebied waar de effecten onderzocht worden als gevolg van de uitbreidingen van de spoorweginfra. Concreet zijn dit de effecten op de Betuweroute nabij Meteren en de effecten op het spoorwegtracé tussen Meteren en Boxtel. In Boxtel wordt het studiegebied bepaald door het gewijzigde spoorgebruik van de goederentreinen.

Het studiegebied omvat de volgende tracéaanduiding:

- Betuweroute: tussen km 44.0 en 47.0
- Spoor Utrecht – Eindhoven: tussen km 28.5 en km 43.5

Het studiegebied is opgedeeld in vier deelgebieden, te weten:

1. Zuidwestboog Meteren (aansluiting Betuweroute tot circa km 32.000, eerste plangebied);
2. Meteren - 's-Hertogenbosch (van circa km 32.000 t/m km 48.500);
3. 's-Hertogenbosch - Vught (van circa km 48.500 t/m km 55.000, tweede plangebied)
4. Vught – Boxtel (van circa km 55.000 t/m km 43.500 (spoor Boxtel-Eindhoven)).

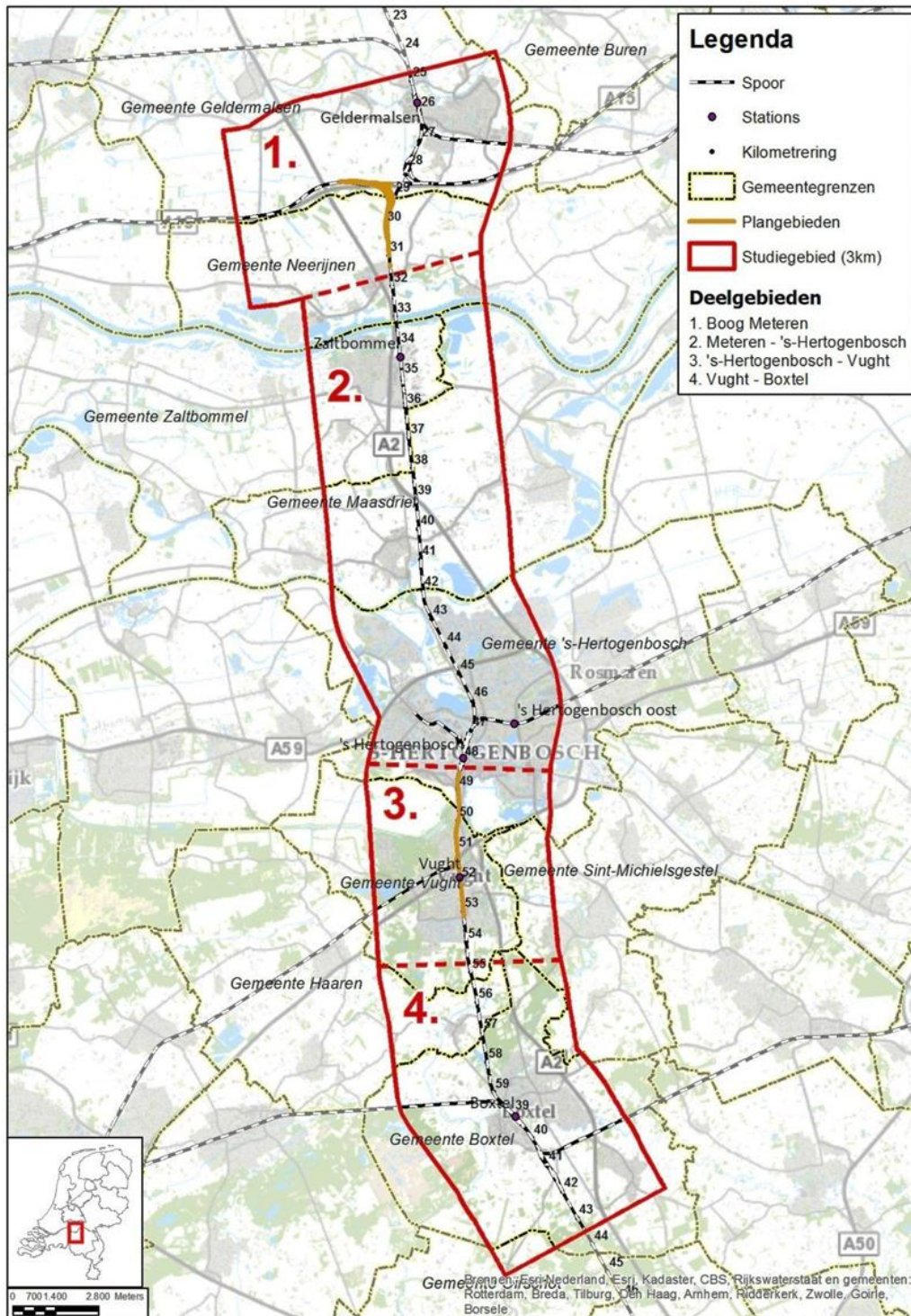
Deze deelgebieden zijn weergegeven in Afbeelding 2.1 (rood omlijnd met onderbroken strepen als begrenzen van de onderlinge deelgebieden).

### **2.4.2 Plangebied**

De plangebieden voor het project PHS Meteren - Boxtel betreffen de twee locaties waar een fysieke ingreep in de spoorweginfrastructuur wordt uitgevoerd, namelijk:

- a. de zuidwestboog bij Meteren; en
- b. de viersporigheid tussen 's-Hertogenbosch en Vught aansluiting, en de vrije kruising bij Vught, inclusief een verdiepte ligging van het spoor door Vught.

De omvang van de plangebieden wordt bepaald door de ruimte die nodig is om de verbindingsboog bij Meteren, de uitbreiding van het spoor tussen 's-Hertogenbosch en Vught en de verdiepte ligging in Vught te realiseren. De plangebieden zijn ook weergegeven in Afbeelding 2.1 (zie volgende pagina) met een oranje lijn.



Afbeelding 2.1: Studiegebied Meteren - Boxtel: Plangebieden en deelgebieden

De omvang van de plangebieden wordt bepaald door de ruimte die nodig is om de verbindingsoog bij Meteren, de uitbreiding van het spoor tussen 's-Hertogenbosch en Vught en de verdiepte ligging in Vught te realiseren. De plangebieden zijn in Figuur 4 globaal met een rode lijn weergegeven.

In de gebieden is gewerkt in de volgende drie stappen:

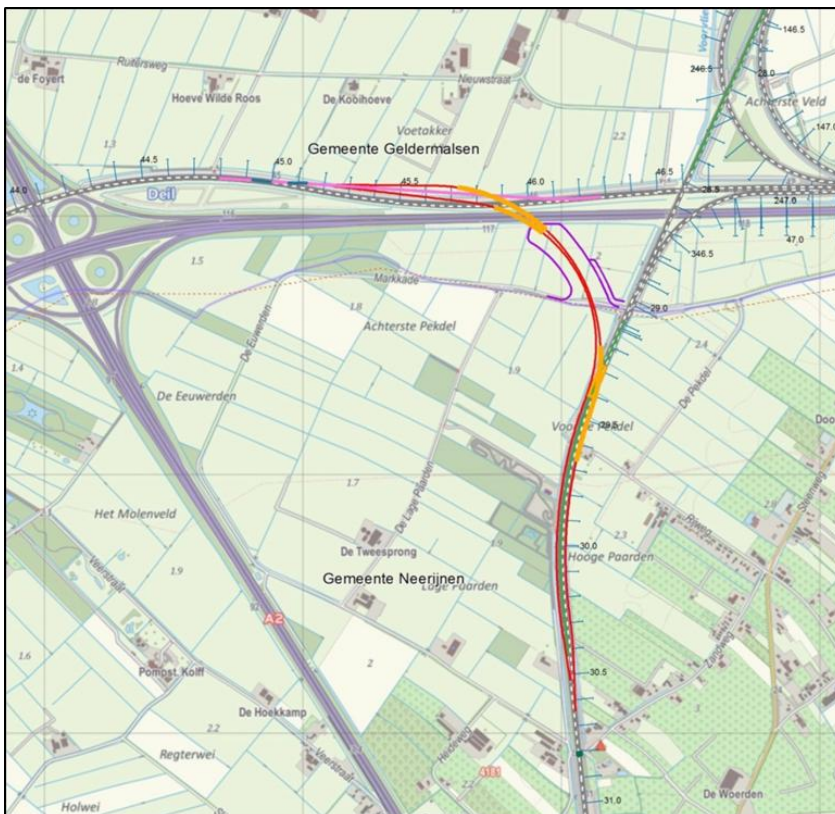
- 1) Inventarisatie afstand van de bebouwing tot aan het bestaande spoor.
- 2) Alle gebieden met bebouwing binnen 100 m uit het spoor zijn opgenomen in het trillingen model en beoordeeld conform Bts.
- 3) In de gebieden waar blijkt dat er tussen de 100 m tot 150 m uit het spoor een overschrijding van de Bts kan optreden is aanvullend een losse toetsing uitgevoerd.

In het kader van het OTB worden niet alleen de genoemde delen van het plangebied onderzocht maar wordt het gehele traject Meteren-Boxtel op het aspect trillingen beschouwd. In de overige gebieden, is uitsluitend het gewijzigd spoorgebruik aan de orde. In de drie delen van het voorliggende achtergrondrapport is het gehele studiegebied (zie onderstaande paragraaf 2.4.7) beschouwd.

### 2.4.3 Deelgebied 1: Zuidwestboog Meteren

De aanleg van deze nieuwe verbindingsboog heeft een toename van het goederenverkeer tussen Meteren en Boxtel tot gevolg.

Op 17 juni 2014 heeft de staatssecretaris van IenM besloten om voor het tracédeel zuidwestboog Meteren variant V2 Hoog nader uit te werken en te onderzoeken in het op te stellen MER en OTB. In dit ontwerp wordt de boog gerealiseerd door middel van fly-overs. Het buitenste spoor van de boog kruist door middel van twee fly-overs de Betuweroute, rijksweg A15 en de spoorlijn Utrecht – 's-Hertogenbosch. Op de plaatsen tussen de fly-overs, waar geen infrastructuur wordt gekruist, wordt de boog op hoogte gehouden door middel van zandlichamen. De binnenboog kruist de rijksweg A15 met behulp van één fly-over. Om de aansluiting mogelijk te maken dient, naast de aanleg van de nieuwe verbindingsbogen, de Betuweroute ter plaatse van de aansluiting over een lengte van circa 1.200 m (ca. km 45.0 - 46.2) in noordelijke richting verlegd te worden. In onderstaande figuur zijn de wijzigingen weergegeven.



Afbeelding 2.2: Situatieschets Zuidwestboog Meteren

### 2.4.4 Deelgebied 2: Meteren - 's-Hertogenbosch

Op het traject binnen deelgebied 2 tussen Meteren en station 's-Hertogenbosch (van circa km 32.000 t/m km 48.500) worden geen fysieke wijzigingen aan de sporen doorgevoerd. Wel zal er als gevolg van de aanleg van de verbindingsboog voorliggend project op dit trajectdeel een intensiteitstoename van het goederenverkeer plaatsvinden. In dit deelgebied worden wel ingrepen verwacht in de omgeving van het spoor in de vorm van mitigerende en/of compenserende maatregelen.

## 2.4.5 Deelgebied 3: 's-Hertogenbosch – Vught

Voor deelgebied 3 is door de staatssecretaris van IenM op 17 juni 2014 besloten om de variant V3 nader uit te werken in een MER en een OTB. Het voornemen bevat de volgende onderdelen:

1. Van drie naar vier sporen tussen 's-Hertogenbosch en aansluiting Vught en het realiseren van een ongelijkvloerse kruising op de aansluiting Vught, zodat treinen niet langer op elkaar hoeven te wachten;
2. Met het oog op een vermindering van de omgevingseffecten wordt sporen van en naar Eindhoven tussen de N65 en de Molenstraat verdiept aangelegd.

De verdiepte ligging heeft een lengte van circa 1.610 meter<sup>2</sup>. Het verdiept gelegen spoor ligt 2 tot 5 meter oostelijker van de huidige spoorbaan. Het verdiept liggende spoor wordt zodanig ontworpen dat het profiel van de wegen op maaiveld blijft, zoals in de huidige situatie ook het geval is. De bovenkant van de verdiepte ligging is hierdoor gelijk aan de huidige hoogte van het spoor. Voor de bouw van de verdiepte ligging worden over een lengte van 3,3 km tijdelijke sporen aangelegd aan de westzijde van de huidige spoorbaan. In Afbeelding 2.3 is dit gevisualiseerd.

De overweg Loonsebaan wordt vervangen door een onderdoorgang voor langzaam verkeer (fietsers, voetgangers). De overweg Wolfskamerweg/Laagstraat wordt een onderdoorgang voor autoverkeer. De overige kruisingen met het spoor blijven gehandhaafd, maar veranderen van overwegen naar ongelijkvloerse kruisingen (dek over de verdiepte ligging).

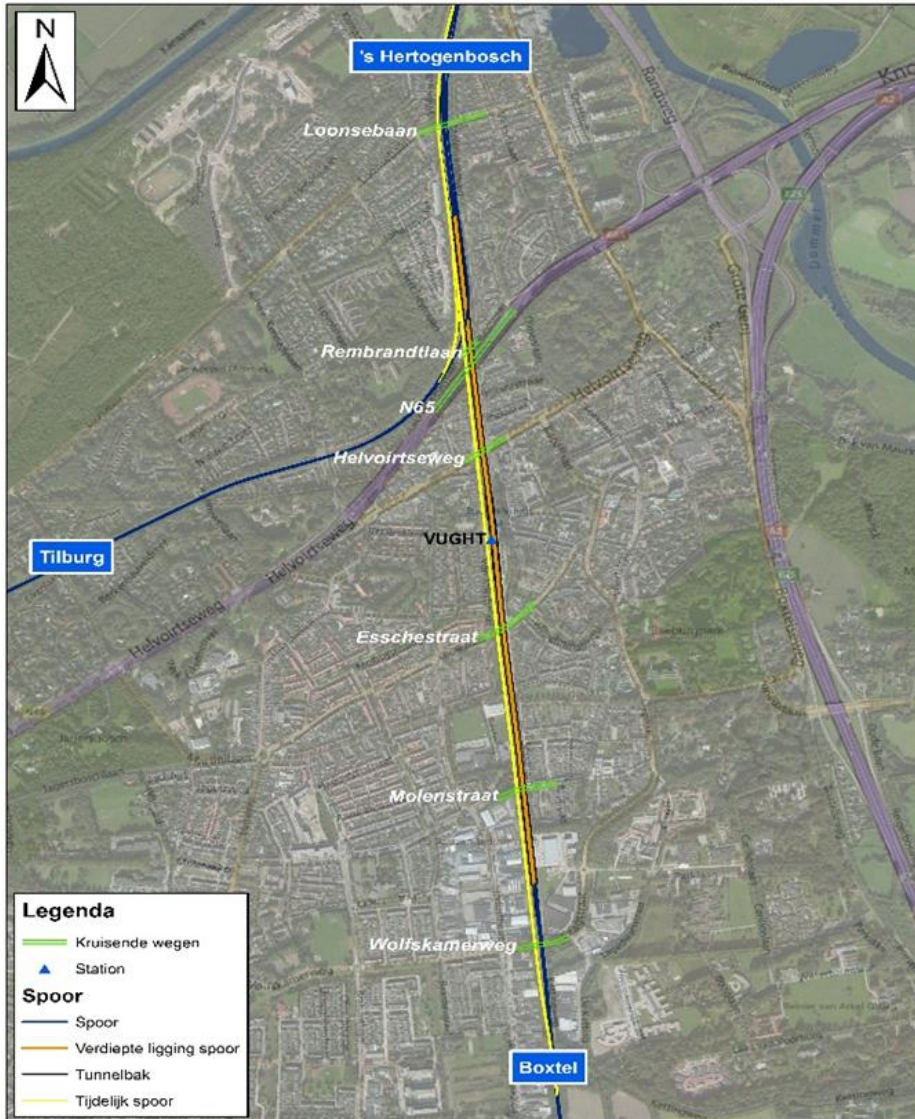
In Vught-Noord neemt het totale ruimtebeslag van het spoor toe. Dit komt door de aanleg van een vierde spoor ten oosten van de bestaande sporenbundel en een vrije spoorkruising. Ten noorden van de N65 is de verbreding van de sporenbundel het grootst en bedraagt circa 14 meter. Over de lengte van de verdiepte ligging blijft het spoor op vrijwel dezelfde locatie als het bestaande spoor, met een verschuiving van 3 meter in oostelijke richting.

### **N65**

In de huidige situatie kruist de N65 door middel van een onderdoorgang het op maaiveld liggende spoor. Binnen PHS Meteren-Boxtel worden de sporen 's-Hertogenbosch – Eindhoven verdiept aangelegd in Vught en de N65 juist op maaiveld: de ongelijkvloerse kruising wordt 'omgekeerd'. Omdat deze omkering een direct gevolg is van PHS Meteren-Boxtel, behoren de wijzigingen aan de N65 ook tot de scope van PHS Meteren-Boxtel. Het plangebied voor de N65 loopt grofweg vanaf de kruising met de Randweg (km 3.0) nabij tot de kruising van de N65 met de Helvoirtseweg en J.F. Kennedylaan (km 4.18).

---

<sup>2</sup> Dit is de lengte van het diepliggende deel van de verdiepte ligging tussen de kruising met het spoor vanuit Tilburg en de kruising met de Molenstraat (dus exclusief toeritten).



Afbeelding 2.3: verdiepte ligging in Vught

## 2.4.6 Deelgebied 4: Vught – Boxtel

Op het traject binnen deelgebied 4 tussen Vught en Boxtel (van circa km 55.000 t/m km 43.500 (spoor Boxtel - Eindhoven)) worden geen fysieke wijzigingen aan de sporen doorgevoerd. Wel zal er als gevolg van voorliggend project op dit trajectdeel een intensiteitstoename van het goederenverkeer plaatsvinden en een verandering in het sporengebruik tussen aansluiting in Boxtel richting Tilburg/'s-Hertogenbosch en de vrije kruising Liempde.

## 2.4.7 Studiegebied trillingen

Het te beoordelen traject in de verschillende milieuonderzoeken omvat maximaal het studiegebied rond het spoortracé zoals aangegeven in Figuur 4 en is onderverdeeld in vier deelgebieden:

1. Zuidwestboog Meteren
2. Waardenburg – 's-Hertogenbosch
3. Vught
4. Haaren-Boxtel.

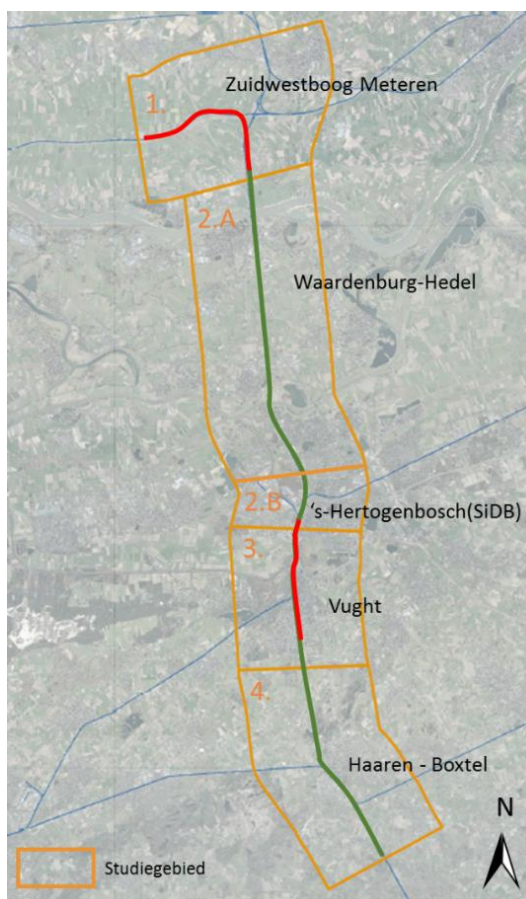


De omvang van het studiegebied is afhankelijk van de te verwachten effecten en kan derhalve per milieuaspect verschillen. Het studiegebied voor trillingen betreft het gebied waar ten gevolge van het project PHS Meteren-Boxtel wijzigingen plaatsvinden die de trillingssituatie beïnvloeden. Het gaat hierbij om de fysieke wijzigingen uit het plangebied en de hierdoor veranderende treinaantallen in de omliggende gebieden. Het studiegebied betreft daarmee grofweg het gehele spoor tussen Meteren en Boxtel. Hierbij zijn alle panden die zich in een zone van 100 meter rond het spoor bevinden beoordeeld. Deze afstand is gehanteerd op basis van de ervaringen bij vergelijkbare projecten. Op grotere afstanden van het spoor wordt de streefwaarde met zekerheid niet overschreden. Gedurende het onderzoek wordt getoetst of de aangenomen studiezone voldoende breed is aangenomen. Zo nodig wordt de zone lopende het onderzoek uitgebreid.

Het studiegebied is opgedeeld in deelgebieden zoals weergegeven in Tabel 3 en Figuur 4. Specifiek voor trillingen is deelgebied 2 opgesplitst in twee subgebieden: Waardenburg - Hedel (2A) en 's-Hertogenbosch (2B). Dit omdat in 's-Hertogenbosch in de periode 2013-2015 een project is uitgevoerd (Tracébesluit Sporen in 's-Hertogenbosch, kortweg TB SiDB) waardoor hier - conform de methodiek van de Bts - een afwijkende referentiesituatie is gehanteerd, namelijk de situatie voorafgaand aan de realisatie van het project TB SiDB. Voor alle andere deelgebieden is de huidige situatie als referentie gehanteerd.

Tabel 3 Indeling en gehanteerde afbakening per deelgebied

Deelgebied	Trajectdeel	Afbakening deelgebied [km van- km tot]
1	Zuidwestboog Meteren	29,0 – 32,0
2A	Waardenburg - Hedel	32,0 – 45,5
2B	's-Hertogenbosch (SiDB)	45,5 – 48,9
3	Vught	48,9 – 55,0
4	Haaren – Boxtel	55,0 – 43,5



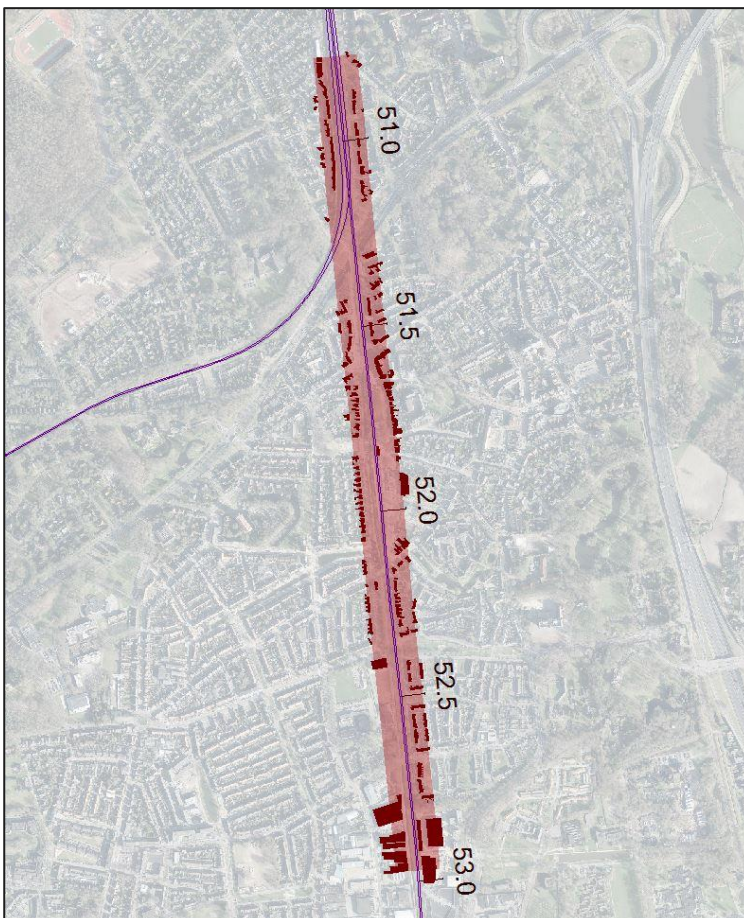
Figuur 4 Studiegebied Meteren – Boxtel: plangebied (rode lijn) en deelgebieden studiegebied

### Studiegebied trillingen tijdelijke situatie

Het studiegebied voor trillingen voor de tijdelijke situatie betreft het gebied waar als gevolg van de bouw van de bakconstructie/verdiepte ligging in Vught een tijdelijk spoor wordt aangelegd. Volgens het ontwerp wordt het spoor in een verdiepte bakconstructie aangelegd van kilometer 50,77 tot 52,97 (circa 2,2 km lengte). De tijdelijke sporen worden aangelegd ten westen van het huidige spoor in Vught tussen km 50.0 en km 53.3. Naar verwachting is het tijdelijk spoor ongeveer 3 tot 3,5 jaar in gebruik, tussen 2020 en 2025. Voor de wijziging/aanleg van de nieuwe sporen in Meteren is het niet nodig tijdelijke sporen aan te leggen. Als studiegebied voor de tijdelijke situatie wordt het gebied gehanteerd ter plaatse van het tijdelijke spoor in Vught met een zone van 100 meter aan weerszijden van het tijdelijke spoortracé.

## 2.4.8 Studiegebied laagfrequent geluid

Het studiegebied voor laagfrequent geluid is alleen toegepast op het deelgebied waar het spoor beneden maaiveldniveau in een bakconstructie wordt aangelegd (in deelgebied 3 – Vught). Bij het verdiept aanleggen van het spoor in een betonnen bakconstructie, is de kans aanwezig dat er laag frequent geluid ontstaat en tot overlast kan gaan leiden bij dicht bij het spoor aanwezige (woon)bebouwing. Het spoor wordt in een verdiepte bakconstructie aangelegd van kilometer 50,77 tot 52,97 (circa 2,2 km lengte). Voor de overige deelgebieden is de spoorligging op maaiveld en is laagfrequent geluid niet relevant aanwezig. Over de hele lengte (ca. 2,2 km) van de verdiepte ligging/bakconstructie van het spoor wordt een strook van circa 60 m aan weerszijden van het spoor beschouwd waarbinnen zich mogelijk laagfrequent geluid-problemen voor kunnen doen. Op basis van een studie aan een vergelijkbare situatie aan de Combitunnel in Nijverdal (zie paragrafen 3.1.2 en 3.4) is de afstand van 60 m gehanteerd. Binnen het gedefinieerde gebied zijn circa 400 panden aanwezig. Een overzicht van het studiegebied en van de aanwezige panden in dit gebied is weergegeven in Figuur 5.



Figuur 5 panden aanwezig binnen de voor laagfrequent geluid gevoelige zone (langs de verdiepte ligging Vught)

## 2.5 Beoordelingskader laagfrequent geluid (LFG)

De passage van (zwaar) spoorverkeer op korte afstand van bebouwing kan leiden tot trillingshinder. Daarnaast kunnen deze passages leiden tot hinder door laagfrequent geluid. Laagfrequent geluid is een milieuprobleem dat nog weinig erkend en herkend wordt. Laagfrequent geluid kan in panden langs het spoor optreden als gevolg van trillingen die via de grond de bebouwing (fundering) bereiken, waarna de trillingen het pand (constructie en vloeren) in trillingen kunnen brengen en laagfrequent geluid gaan afstalen in de bebouwing.

Voor het toetsen van laagfrequent geluid is er in Nederland tot op heden nog geen standaard beleidskader opgesteld en zijn ook nog geen standaard meetmethoden of richtlijnen beschikbaar. Bij de onderliggende analyse en toetsing is gebruik gemaakt van de door B. de Ruiter (Gemeentewerken Rotterdam) ontwikkelde methode voor laagfrequent geluid, de "Beoordelingsmethode de Ruiter".

In deze methode zijn grenswaarden voor octaafbandspectra en A-gewogen geluidsdruk niveaus voor kantoren en woningen aangegeven die bij geen enkele band mogen worden overschreden. De waarden uit dit beoordelingskader, die specifiek bedoeld zijn voor geluidshinder van (ondergrondse) railinfrastructuur, zijn weergegeven in Tabel 4.

Tabel 4 (boven)grenswaarden laagfrequent geluid volgens de "Methodiek de Ruiter"; [bron: Handboek tunnelbouw, COB]

Frequentiegebied Octaafband	Geluidsdruk niveau	
	Woningen	Kantoren
Frequentieband 10 -250 Hz	35 dB (A)	40 dB (A)
Octaafband 16 Hz	80 dB	85 dB
Octaafband 31,5 Hz	68 dB	73 dB
Octaafband 63 Hz	55 dB	60 dB
Octaafband 125 Hz	45 dB	50 dB

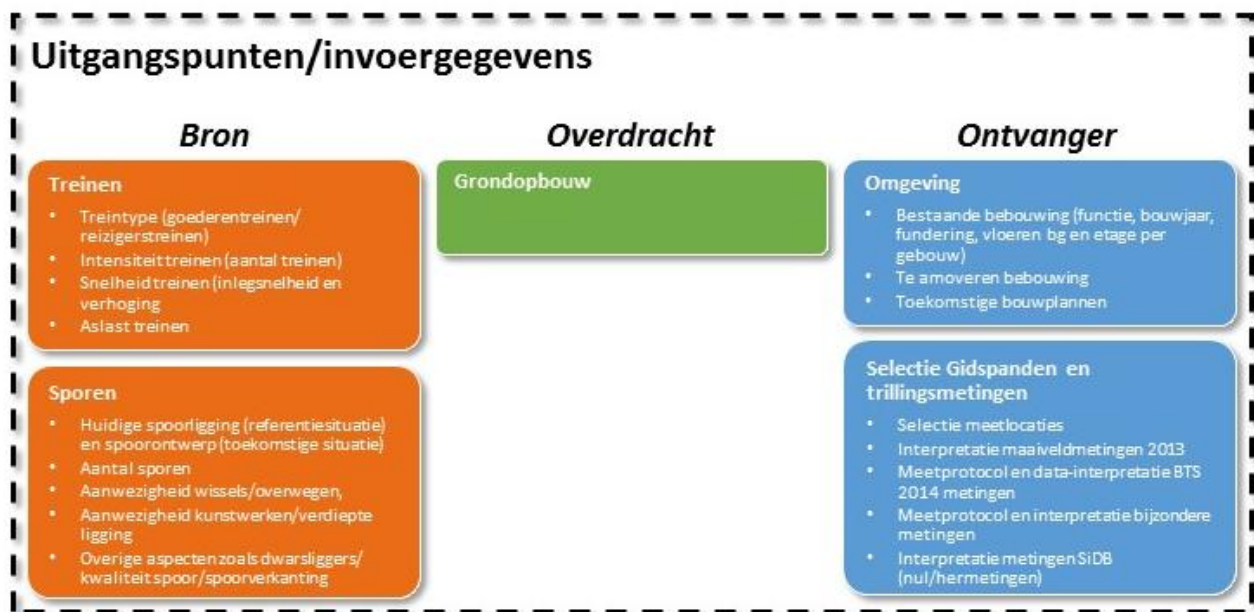
### 3 UITGANGSPUNTEN

In onderstaande paragrafen zijn de project-gerelateerde uitgangspunten nader toegelicht die voor de trillingsanalyse van belang zijn. Dit betreft enerzijds de spoor gerelateerde uitgangspunten ter bepaling van de brongegevens (de treinintensiteiten, inzet materieel, rijnsnelheden en spoorgebruik). Anderzijds wordt onder omgevingsfactoren ingegaan op de uitgangspunten voor de ondergrond en de gehanteerde uitgangspunten ten aanzien van de bebouwing in het invloedsgebied van de spoortrillingen. De navolgende beschrijving belicht de project-gerelateerde uitgangspunten.

Voor een nadere beschrijving van de uitgangspunten is onderscheid gemaakt in een drietal categorieën:

- Bron gerelateerde uitgangspunten, zoals uitgangspunten ten aanzien van treinen (treinmaterieel, intensiteiten, rijnsnelheid en aslast) en sporen (spoorligging, spoorgebruik, aanwezigheid kunstwerken of voegen) voor zowel de huidige- als plansituatie.
- Uitgangspunten ten aanzien van de overdracht van trillingen door de bodem, zoals de grondopbouw/bodemgesteldheid ter plaatse van de sporen en de te toetsen gebouwen, maar ook van het tussenliggende gebied.
- Uitgangspunten ten aanzien van de omgeving (woningen of andere trillingsgevoelige gebouwen), zoals soort fundering en vloeren en de stijfheid van een gebouw. Ook is hierbij de selectie van de gidspannen behandeld en zijn uitgangspunten ten aanzien van de uitgevoerde metingen weergegeven.

In onderstaande figuur zijn de benodigde invoergegevens en de gehanteerde uitgangspunten schematisch weergegeven.



Figuur 6 Schematisch overzicht bron-, overdracht- en ontvanger gerelateerde uitgangspunten/invoergegevens

### 3.1 **Uitgangspunten brongegevens treinen/sporen**

In de volgende paragrafen zijn de bron gerelateerde uitgangspunten weergegeven, zoals deze zijn gehanteerd voor het prognosemodel. Het betreffen de uitgangspunten die zijn gehanteerd ten aanzien van de treinen (het in te zetten treinmaterieel, intensiteiten, rijnsnelheid en aslast) en sporen (spoorligging, spoorgebruik, aanwezigheid kunstwerken of voegen) voor zowel de huidige- als plansituatie.

#### 3.1.1 **Treinen**

##### *Treintype*

Voor de bepaling van de trillingseffecten zijn de treinaantallen van de referentiesituatie en de plansituatie door ProRail aangeleverd. Deze aangeleverde hoeveelheden betreffen het gemiddelde aantal treinen per weekdag over een jaar. De treinaantallen zijn uitgesplitst in twee treintypen, goederentreinen en reizigerstreinen.

##### *Reizigersmaterieel*

Het ingezette reizigersmaterieel heeft een levensduur van enkele decennia en zal geleidelijk worden vervangen door modern reizigersmaterieel. Modern reizigersmaterieel is veelal lichter dan het huidige reizigersmaterieel, waardoor verwacht mag worden dat dit modernere materieel ook minder trillingen veroorzaakt. Omdat ProRail noch het Ministerie I en M spoorvervoermaatschappijen bindend eisen kunnen opleggen over de inzet van modern of juist het huidige oudere reizigersmaterieel, is als uitgangspunt gehanteerd dat het reizigersmaterieel in de toekomst dezelfde trillingskarakteristieken heeft als het huidige materieel. Omdat het modernere reizigersmaterieel naar verwachting minder trillingen zal veroorzaken, betreft het hier een “worstcase” benadering.

##### *Goederentreinen*

Ook het ingezette goederenmaterieel heeft een levensduur van enkele decennia en zal ook net als het reizigersmaterieel geleidelijk worden vervangen door modern goederenmaterieel. Verwacht mag worden dat het nieuwe goederenmaterieel minder trillingen veroorzaakt dan het oudere materieel. Omdat ProRail noch het Ministerie I en M goederenvervoermaatschappijen bindend eisen kunnen opleggen over de inzet van modern of juist het huidige oudere goederenmaterieel, is als uitgangspunt gehanteerd dat het goederenmaterieel in de toekomst minimaal dezelfde trillingskarakteristieken heeft als het huidige materieel. Omdat het modernere goederenmaterieel naar verwachting minder trillingen zal veroorzaken, betreft het hier een “worstcase” benadering.

### Intensiteit treinen (aantal treinen)

Referentiesituatie, peiljaar 2015

Onderstaand zijn per trajectdeel de werkelijke trein aantallen verdeeld over de verschillende sporen weergegeven voor de situatie in 2015. Deze referentiesituatie is gebaseerd op de data verkregen in het bestand: '170608 Treinaantallen 2015 Met-Btl.xlsx'. In Tabel 5 zijn de aantallen treinen per etmaal (weekdaggemiddelden) voor beide richtingen samen voor de referentiesituatie weergegeven. Opgemerkt wordt dat de trein intensiteiten van de Betuweroute niet zijn opgenomen aangezien langs de sporen van de Betuweroute geen bebouwing is aangetroffen binnen het studiegebied (100 m tot 150 m uit het spoor).

Tabel 5 Aantallen treinen in referentiesituatie 2015 - traject Meteren – Boxtel (weekdaggemiddelden)

Traject	Trein soort	Uur intensiteit heen*	Uur intensiteit terug*	Intensiteit etmaal heen	Intensiteit etmaal terug	Intensiteit etmaal totaal
Meteren-Noord naar Meteren Zuid (Mbtwan – Mbtwaz)	Goederen	0,16 / 0,43 / 0,20	0,22 / 0,24 / 0,26	5	6	11
	Reizigers	5,66 / 4,67 / 1,11	5,68 / 4,43 / 1,33	95	97	192
Zuidoostboog Betuweroute	Goederen	0,00 / 0,00 / 0,00	0,00 / 0,00 / 0,00	0	0	0
	Reizigers	-- / -- / --	-- / -- / --	--	--	--
Meteren zuid – Den Bosch Dieze Ansl. (Mbtwaz – Htda)	Goederen	0,16 / 0,43 / 0,20	0,22 / 0,24 / 0,26	5	6	11
	Reizigers	5,61 / 4,63 / 1,13	5,65 / 4,40 / 1,33	95	96	191
's-Hertogenbosch Dieze Ansl. – 's- Hertogenbosch (Htda – Ht)	Goederen	0,21 / 0,48 / 0,31	0,26 / 0,33 / 0,35	7	7	14
	Reizigers	9,36 / 8,32 / 2,14	9,44 / 8,05 / 2,26	163	164	326
's-Hertogenbosch – Vught ansl. (Ht – Vga)	Goederen	0,21 / 0,46 / 0,32	0,27 / 0,30 / 0,34	7	7	14
	Reizigers	9,49 / 9,04 / 2,48	9,66 / 8,59 / 2,76	170	172	342
Vught ansl. – Boxtel (Vga – Btl)	Goederen	0,09 / 0,23 / 0,18	0,11 / 0,06 / 0,22	3	3	7
	Reizigers	5,72 / 5,22 / 1,41	5,88 / 4,75 / 1,50	101	102	202
Boxtel – Liempde van/naar 's- Hertogenbosch (Btl – Lpe)	Goederen	0,09 / 0,23 / 0,18	0,11 / 0,06 / 0,22	3	3	7
	Reizigers	5,72 / 5,22 / 1,41	5,88 / 4,75 / 1,50	101	102	202
Boxtel – Liempde van/naar Tilburg (Btl – Lpe)	Goederen	0,88 / 0,62 / 0,75	0,82 / 0,77 / 0,66	19	18	37
	Reizigers	3,87 / 3,69 / 1,04	3,92 / 3,45 / 1,06	70	69	139

\* 00/00/00 = dagperiode 7.00-19.00 uur / avondperiode 19.00-23.00 uur / nachtperiode 23.00-7.00 uur

### Plansituatie

In de volgende tabel zijn per trajectdeel de treinaantallen, verdeeld over de verschillende sporen, weergegeven voor de plansituatie (2040). De treinaantallen zijn gebaseerd op het document: '170601 inputdata WLO2 tbv Projectsituatie mer Met-Btl.xlsx'. In Tabel 6 zijn de aantallen treinen per etmaal voor beide richtingen samen voor de plansituatie weergegeven.

Tabel 6 Aantallen treinen in plansituatie 2040 - traject Meteren – Boxtel (weekdaggemiddeld)

Traject	Trein soort	Uur intensiteit heen*	Uur intensiteit terug*	Intensiteit etmaal heen	Intensiteit etmaal terug	Intensiteit etmaal totaal
Meteren-Noord naar Meteren Zuid (Mbtwan – Mbtwaz)	Goederen	0,20 / 0,22 / 0,14	0,20 / 0,22 / 0,14	4	4	9
	Reizigers	8,00 / 8,00 / 2,50	8,00 / 8,00 / 2,50	148	148	296
Zuidoostboog Betuweroute	Goederen	0,08 / 0,08 / 0,05	0,08 / 0,08 / 0,05	2	2	3
	Reizigers	-- / -- / --	-- / -- / --	--	--	--
Zuidwestboog Betuweroute (nieuwe boog)	Goederen	0,80 / 0,88 / 0,55	0,80 / 0,88 / 0,55	18	18	35
	Reizigers	-- / -- / --	-- / -- / --	--	--	--
Meteren zuid – 's- Hertogenbosch Dieze Aansl. (Mbtwaz – Htda)	Goederen	1,08 / 1,18 / 0,74	1,08 / 1,18 / 0,74	24	24	47
	Reizigers	8,00 / 8,00 / 2,50	8,00 / 8,00 / 2,50	148	148	296
's-Hertogenbosch Dieze Aansl. – 's- Hertogenbosch (Htda – Ht)	Goederen	1,22 / 1,33 / 0,83	1,22 / 1,33 / 0,83	27	27	53
	Reizigers	12,00/12,00/3,70	12,00/12,00/ 3,70	222	222	443
's-Hertogenbosch – Vught aansl. (Ht – Vga)	Goederen	1,22 / 1,33 / 0,83	1,22 / 1,33 / 0,83	27	27	53
	Reizigers	12,00/12,00/ 3,70	12,00/12,00/ 3,70	222	222	443
Vught aansl. – Boxtel (Vga – Btl)	Goederen	0,92 / 1,00 / 0,63	0,92 / 1,00 / 0,63	20	20	40
	Reizigers	8,00 / 8,00 / 2,50	8,00 / 8,00 / 2,50	148	148	296
Boxtel – Liempde van/naar 's- Hertogenbosch (Btl – Lpe)	Goederen	0,92 / 1,00 / 0,63	0,92 / 1,00 / 0,63	20	20	40
	Reizigers	8,00 / 8,00 / 2,50	8,00 / 8,00 / 2,50	148	148	296
Boxtel – Liempde van/naar Tilburg (Btl – Lpe)	Goederen	0,50 / 0,54 / 0,34	0,50 / 0,54 / 0,34	11	11	22
	Reizigers	6,00 / 6,00 / 1,80	6,00 / 6,00 / 1,80	110	110	221

\* 00/00/00 = dagperiode 7.00-19.00 uur / avondperiode 19.00-23.00 uur / nachtperiode 23.00-7.00 uur

### Tijdelijke situatie

Voor de tijdelijke situatie van het spoor in Vught is uitgegaan van de treinaantallen voor de referentiesituatie (peiljaar 2015) op het tracédeel 's-Hertogenbosch (Ht) – Boxtel (Btl). De intensiteiten zijn in onderstaande tabel weergegeven. In de tabel zijn de aantallen treinen per etmaal voor beide richtingen weergegeven.

Tabel 7 Aantallen treinen in tijdelijke situatie Traject 's-Hertogenbosch (Ht) – Boxtel (Btl) (weekdaggemiddeld)

Traject	Trein soort	Uur intensiteit heen*	Uur intensiteit terug*	Intensiteit etmaal heen	Intensiteit etmaal terug	Intensiteit etmaal totaal
's-Hertogenbosch – Vught aansl. (Ht – Vga)	Goederen	0,36 / 0,39 / 0,25	0,36 / 0,39 / 0,25	8	8	16
	Reizigers	12,00/12,00/3,70	12,00/12,00/ 3,70	222	222	443
Vught aansl. – Boxtel (Vga – Btl)	Goederen	0,10 / 0,11 / 0,07	0,10 / 0,11 / 0,07	2	2	4
	Reizigers	8,00 / 8,00 / 2,50	8,00 / 8,00 / 2,50	148	148	296

### Snelheid treinen (inlegsnelheid en verhoging)

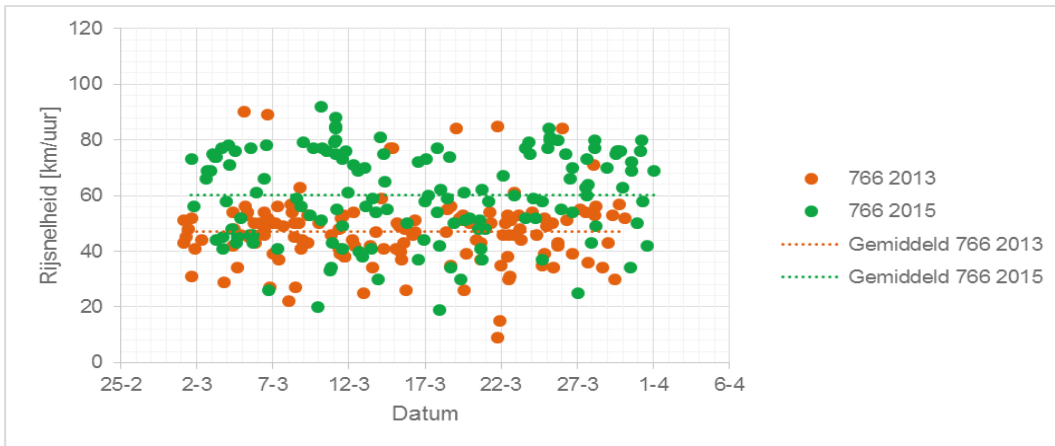
Op het traject tussen Meteren en Boxtel is de netverklaring voor het gemengde net van toepassing. ProRail maakt jaarlijks een netverklaring. Voor het traject tussen Meteren en Boxtel is volgens de netverklaring voor goederentreinen een maximale rijsnelheid van 100 km/uur toegestaan bij een beladingsklasse D4. Uitzondering hierop zijn station 's-Hertogenbosch (snelheid voor SiDB afhankelijk van het spoor 40 km/uur of 60 km/uur, snelheid na SiDB 80 km/uur), station Boxtel (verschilt per spoor tussen, 80 km/uur en 100 km/uur) en de locaties waar wissels worden doorreden zoals bij de aansluiting van de zuidwestboog bij Meteren (80 km/uur). Voor reizigerstreinen blijft de baanvaknsnelheid ongewijzigd.

ProRail zorgt ervoor dat er binnen de dienstregeling van de passagierstreinen ruimte voor goederentreinen wordt gereserveerd. Dit worden "goederenpaden" genoemd. Binnen deze goederenpaden wordt voor de goederentreinen uitgegaan van een gemiddelde rijsnelheid, de zogenaamde inlegsnelheid. Deze inlegsnelheid is 95 km/uur voor goederentreinen.

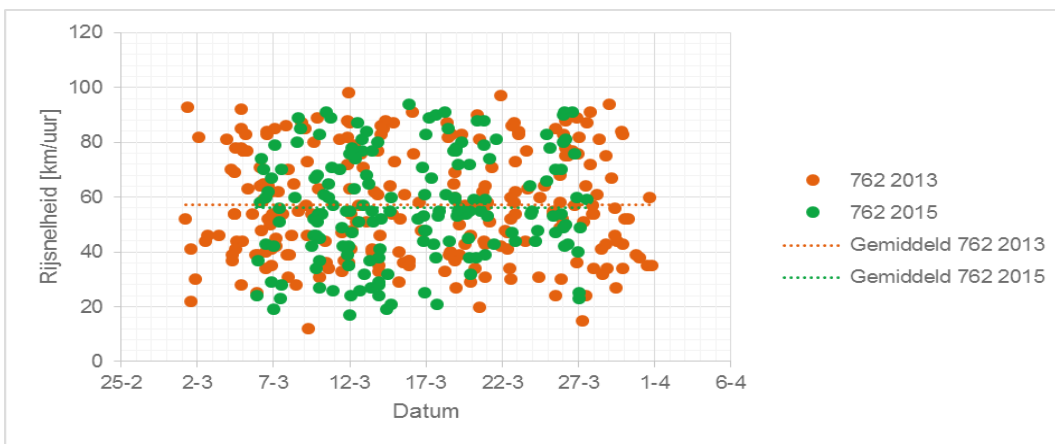
### Correctie wijziging inlegsnelheid voor goederentreinen per 1 januari 2015

Om te bepalen of de voorziene verhoging van de inlegsnelheid per 1 januari 2015 daadwerkelijk is doorgevoerd op het traject Meteren-Boxtel, is voor de situatie ten aanzien van de werkelijk gereden rijsnelheden van goederentreinen in Vught ter plaatse van de aansluiting van/naar Tilburg (3 sporigheid ter hoogte Vught aansluiting) aanvullend onderzocht. Hier is op de drie aanwezige sporen beschouwd of en in welke mate de rijsnelheid van de goederentreinen is verhoogd na invoering van de verhoging van de inlegsnelheid voor het traject per 1 januari 2015. Door ProRail zijn van de goederentreinen die in de maanden maart 2013 en maart 2015 passeerden (voor- en na invoering verhoging inlegsnelheid) de passagetijd, het spoor (westelijke-, middelste- en oostelijke spoor met respectievelijk de spoornummers 766, 762 en 763) en de rijsnelheid aangeleverd. Vervolgens is per spoor geanalyseerd of en in welke mate de gemiddelde rijsnelheid over een representatieve maand is verhoogd. In de onderstaande figuren zijn naast de meetgegevens ook de gemiddelde rijsnelheid weergegeven van alle passages in de meetperiode gezamenlijk.

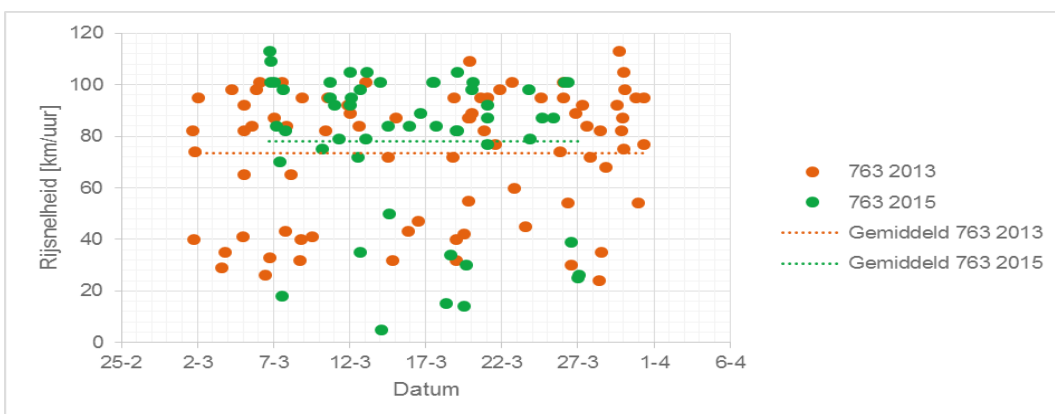




Figuur 7 Rijsnelheid goederentreinen westelijk spoor 766, gedurende maart 2013 en maart 2015



Figuur 8 Rijsnelheid goederentreinen middelste spoor 762, gedurende maart 2013 en maart 2015



Figuur 9 Rijsnelheid goederentreinen oostelijk spoor 763, gedurende maart 2013 en maart 2015

Uit de meetdata in de hiervoor aangegeven grafieken is de gemiddelde rijsnelheid ( $V_{\text{gem}}$ ) van de goederentreinen over alle metingen en de gemiddelde rijsnelheid ( $V_{95\%}$ ), rekening houdend met een 95% betrouwbaarheidsinterval (gemiddelde over 95% van de data, de uitschieters, 5% van de data wordt niet meegenomen bij het bepalen van het gemiddelde) bepaald. In Tabel 8 zijn de gemiddelde snelheden voor de situatie in maart 2013 (van voor de snelheidsverhoging) en voor maart 2015 (na de snelheidsverhoging) bepaald hiervan het resultaat weergegeven.

Tabel 8 Vergelijking gemiddelde en rijnsnelheid goederentreinen maart 2013 en maart 2015

Spoor	V <sub>gem</sub> 2013	V <sub>gem</sub> 2015	V <sub>gem</sub> toename	V <sub>95%</sub> 2013	V <sub>95%</sub> 2015	V <sub>95%</sub> Toename
766	47	60	+13	72	92	+20
762	74	78	+4	76	80	+4
763	57	56	-1	97	95	-2

Op basis van de snelheidsmetingen kan worden geconcludeerd dat de goederentreinen op het westelijk spoor harder zijn gaan rijden. De toename bedraagt circa 20 km/uur tot een gemiddelde snelheid (V<sub>95%</sub>) van 92 km/uur. Voor het middelste- en oostelijke spoor is er op basis van de bepaalde gemiddelde snelheden nagenoeg geen snelheidsverschil aanwezig.

Ter plaatse van het westelijke spoor (766) kunnen de treinen zonder belemmering doorrijden naar Tilburg. Op dit spoor is de snelheidsverhoging volledig doorgevoerd in de referentiesituatie (en is meegenomen in de trillingsmetingen 2015-2016). Op het middelste spoor (762) en het oostelijke spoor (763) is de snelheidsverhoging nog niet (volledig) ingevoerd. Voor deze sporen geldt dat het treinverkeer uit Tilburg in moet voegen tussen het spoorverkeer uit Boxtel. Geconcludeerd wordt dat de verhoging van de inlegsnelheid nu alleen wordt gehaald op locaties waar geen belemmeringen zijn als invoegend spoorverkeer of wissels.

De trillingsmetingen zijn uitgevoerd in 2015, dus na de invoering van de verhoogde rijnsnelheid. De verhoging van de inlegsnelheid is dus al van toepassing gedurende de metingen die langs het spoor zijn uitgevoerd. Hierdoor hoeft op de delen waar reeds de verhoging van de inlegsnelheid is doorgevoerd niet gecorrigeerd te worden voor een verhoging van de rijnsnelheid voor goederentreinen in de plansituatie. Voor de delen waarop de verhoging van de inlegsnelheid nog niet kon worden geëffectueerd, is de snelheid-verhoging als een toename tussen referentiesituatie en plansituatie in het model meegenomen.

Voor de uitgevoerde berekeningen wordt het totale onderzoeksgebied opgedeeld in een zestal deelgebieden. Voor de verschillende deelgebieden is de verhoging in rijnsnelheid tussen de referentiesituatie (SiDB 2001, overig 2015) en de plansituatie (2030) weergegeven in Tabel 9. Met deze snelheidsverhogingen is rekening gehouden in de modellering en de berekeningen. De snelheidsverhogingen zijn door ProRail aangeleverd voor voorliggend project gecombineerd met gegevens uit het Tracébesluit SiDB.

Tabel 9 Verhoging rijnsnelheid goederentreinen per spoor

Deelgebied	Correctie snelheid plansituatie t.o.v. snelheid metingen	Toelichting
Meteren (km 29.3 t/m km 30.7)	Spoor 1 t/m 5: +0 km/uur	Geen wijziging t.o.v. meting in 2015
Waardenburg t/m 's-Hertogenbosch noord (km 30.7 t/m km 47.4)	Spoor 1 en 2: +0 km/uur	Geen wijziging t.o.v. meting in 2015
Station 's-Hertogenbosch (km 47.4 t/m km 49.2)	Spoor 1, 4 en 5: +0 km/uur Spoor 2: +20 km/uur Spoor 3, 6, 7 en 8: +40 km/uur	Wijziging maximumsnelheid uit TB Sporen in 's-Hertogenbosch (2011) van 40 km/uur tot 60 naar (40 km/uur tot) 80 km/uur. Uit de nameting van Tracébesluit SiDB is gebleken dat daadwerkelijk een verhoging van de rijnsnelheid is opgetreden.
's-Hertogenbosch zuid t/m Vught aansluiting (km 49.2 t/m km 51.2)	Spoor 1 en 2: +0 km/uur Spoor 3 en 4: +15 km/uur	Wijziging op spoor 3 en 4 als gevolg van wegnemen belemmeringen t.o.v. meting in 2015
Vught aansluiting t/m Boxtel (noordwest) (km 51.2 t/m km 59.5)	Spoor 1: +0 km/uur Spoor 2: +15 km/uur <sup>a</sup>	Wijziging op spoor 2 als gevolg van wegnemen belemmeringen t.o.v. meting in 2015
Station Boxtel (km 59.5 t/m km 63.0)	Spoor 1, 4, 5, 7, 8 : +0 km/uur	Geen wijziging t.o.v. meting in 2015
Boxtel (zuidoost) t/m Liempde (km 63.0 t/m km 64.0)	Spoor 1 t/m 4: +0 km/uur	Geen wijziging t.o.v. meting in 2015

Spoor 1 is het meest oostelijke spoor en spoor 2, 3, 4 of 8 het meest westelijke spoor, sporen waar geen goederentreinen rijden zijn uit de tabel weggelaten

<sup>a</sup> Verloopt van 51.4 naar 51.9 van 15 km/uur naar 0 km/uur

## Aslast treinen

### Referentiesituatie

#### Goederentreinen

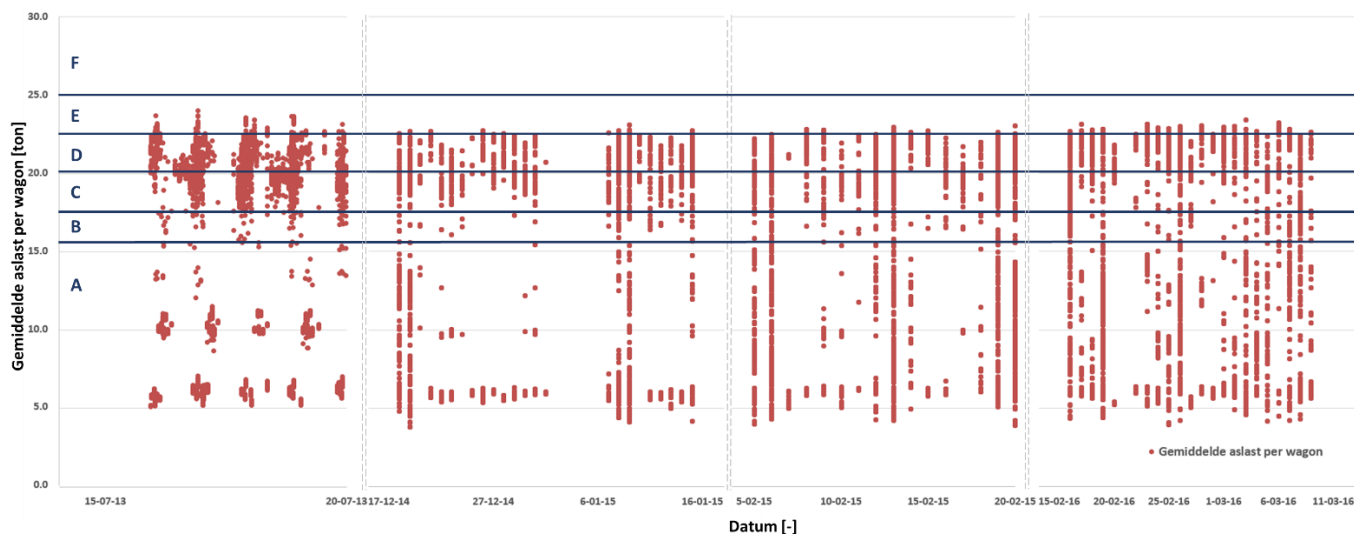
Om inzicht te verkrijgen of het type en gewicht van de goederentreinen tijdens de meetperiodes overeenkomen met die welke als uitgangspunt gelden voor referentie- en plansituatie is een analyse uitgevoerd van de aslastenverdeling van de treinpassages in Vught in de periode 15 juli 2013 tot en met 19 juli 2013 en in de periode tussen 18 december 2014 en 9 maart 2016. De analyse is gebaseerd op de volgende gegevens<sup>3</sup>:

- 20140127 deelselectie Detailtreinact 15 tot en met 19 juli 2013 rijkar Goederen selectie Vga Vg;
- 20140304 aslasten en dynamische krachten 15 tot en met 19 juli 2013 Goederen selectie Verwerkt.
- Goederenpassages Boxtel

In de bestanden zijn de datum en passagetijden van de treinen, type treinen (goederen, reizigers), vervoerder, het treinnummer, de rijnsnelheid van de goederentreinen en de aslasten van de goederentreinen opgenomen.

Op basis van deze gegevens is een samenvatting van de gemiddelde aslasten per wagon gemaakt van de goederentreinen op het traject Vught aansluiting (Vga) en Vught (Vg). De resultaten zijn samengevat weergegeven in Figuur 10. Naast de gemeten aslasten van de treinen op het traject Vught aansluiting (Vga) en Vught (Vg), zijn in Tabel 10 de Europese beladingsklassen A t/m F inclusief een specificatie van deze beladingsklassen (maximale aslast per wagon) weergegeven.

<sup>3</sup> Gegevens verstrekt door ProRail d.d. 5 maart 2014



Figuur 10 Aslasten goederentreinen traject Vught - Aansluiting Vught

Tabel 10 Europese beladingsklassen wagons goederentreinen

Beladingsklasse	Maximum aslast [ton]	Opmerking
A	16,0	
B	18,0	
C	20,0	
D	22,5	Veelal Europees gebruikte maximale aslast (zonder beperking)
E	25,0	Zwaarste categorie in Nederland toegestaan (met beperking)
F	27,5	Categorie op de meeste spoorwegen in Nederland niet toegestaan

Op het spoorgedeelte tussen Meteren en Boxtel is de maximale beladingsklasse D4 met een rijnsnelheid van 100 km/uur (Netverklaring ProRail 2014) van toepassing. Uit Figuur 10 blijkt duidelijk dat er in de huidige situatie gedurende de meetperiode in 2013 en 2015 meerdere goederentreinen zijn gepasseerd uit de beladingsklasse D. Op het traject rijden dus goederentreinen uit de zwaarste toegelaten klasse. Van dit type trein passeren in een week (minimale meetduur meting) voldoende treinen om een representatief beeld te verkrijgen van het effect van de goederentreinen op de trillingen langs het spoor.

### 3.1.2 Sporen

In de onderstaande paragraaf zijn de voor het onderzoek gehanteerde uitgangspunten voor de sporen weergegeven. Onderscheid is gemaakt in gehanteerde uitgangspunten voor het spoor in de referentiesituatie en in de plansituatie.

#### **Huidige spoorligging (referentiesituatie) en spoorontwerp (toekomstige situatie)**

##### *Referentiesituatie*

Voor de referentie situatie wordt uitgegaan van de spoor situatie 2015, met dien verstande dat voor de OTB-analyse voor trillingen conform Bts wordt uitgegaan van de spoorligging voor uitvoering van het project sporen in 's-Hertogenbosch (SiDB). Voor dit gedeelte is de spoorse situatie gebaseerd op de Basisbeheerkaart (BBK) van ProRail uit 2011. De referentiesituatie voor de andere trajectdelen (buiten het gedeelte SiDB) is voor de referentiesituatie ook gebaseerd op de Basisbeheerkaart van ProRail. De gehanteerde BBK zijn voor het project PHS Meteren-Boxtel ter beschikking gesteld door ProRail.

### *Plansituatie*

In de plansituatie worden er een aantal fysieke wijzigingen aan het spoor doorgevoerd op/aan het traject tussen Meteren en Boxtel. Deze wijzigingen zijn globaal op twee locaties langs het traject aanwezig, namelijk:

- Zuidwestboog Meteren, het realiseren van een aansluiting van het westelijke deel van de Betuweroute op de lijn Utrecht- 's-Hertogenbosch (tussen Betuweroute km 44 en Waardenburg km 31). De volgende tekeningen set is gebruikt: Situatie Zuidwestboog Meteren, Variant V2 Hoog, Betuweroute bij knooppunt Deil, D012021.000175, MB2131-505-01 t/m MB2131-505-06.
- Aanpassing sporen tussen station 's-Hertogenbosch km 48.5 en Vught km 53, Aanleg vierde spoor zuidzijde 's-Hertogenbosch-noordzijde Vught, Spooraanpassing Vught, met uitgangspunt verdiepte ligging van de sporen, variant V3 in combinatie met de V3 tijdelijk ten behoeve van de bouwperiode. De volgende tekeningen set is gebruikt:
  - Situatie, Variant V3, D01021.000175, MB2131.105.29 t/m MB2131.105.38 en MB3131.105.52
  - Situatie, Variant V3 tijdelijke situatie, tekeningnummers MB2131.106.29 t/m MB 2131.106.38 en MB2131.106.50.

Aan deze tekeningen zijn de spoorligging en het aantal bestaande en nieuwe sporen ontleend op de locaties waar de sporen fysiek worden gewijzigd in Meteren en Vught.

Op de overige trajectdelen tussen grofweg Waardenburg (km 31.0) en station 's-Hertogenbosch (km 48.5) en Vught (km 53.0) en Boxtel (km 40.5) worden de sporen (fysiek) niet aangepast. Voor deze gebieden en voor de referentie situatie zijn net als in de referentiesituatie de Basisbeheerkaart (BBK) uit 2011 gehanteerd. Aan deze kaart is ook de spoorligging en het aantal sporen ontleend.

### ***Aantal sporen en spoorgebruik***

Ter hoogte van station 's-Hertogenbosch is de treinenloop voor de referentiesituatie en plansituatie gebaseerd op het spoorgebruik zoals aangeleverd door ProRail (referentie- en plansituatie Meteren Boxtel, t.b.v. MER Goederen Zuid). Op basis van het aangeleverde sporengebruik is per spoor het aantal goederentreinen en reizigerstreinen bepaald zoals weergegeven in Tabel 11 en Tabel 12. Voor de viersporigheid tussen 's-Hertogenbosch en Vught in de plansituatie is volledige ontvlechting van de treinenloop het uitgangspunt. Hierbij rijden de treinen van 's-Hertogenbosch naar Tilburg (v.v.) over de buitenste sporen, terwijl de treinen van en naar Boxtel over de binnenste sporen rijden.

Ter plaatse van Boxtel worden de sporen niet aangepast. Echter zal door de intensivering van het aantal goederentreinen vanaf de Betuweroute een verandering optreden. Het merendeel van de goederentreinen komen op de noordoostelijke sporen te rijden, waar deze in de huidige situatie op de zuidwestelijke sporen rijden.

Tabel 11 Spoorgebruik 2015 - Aantallen treinen per spoor

Trajectdeel	Treinsoort	Spoor								Intensiteit etmaal totaal	
		8	7	6	5	4	3	2	1		
Meteren BR aansl. noord Mbtwan) - Meteren BR aansl. zuid (Mbtwaz)	Goederentreinen	X	X	X	X	X	X	X	5	6	11
	Reizigerstreinen	X	X	X	X	X	X	X	95	97	192
Zuidoostboog Meteren	Goederentreinen	X	X	X	X	X	X	X	--	--	0
	Reizigerstreinen	X	X	X	X	X	X	X	--	--	--
Zuidoostboog Meteren - Meteren- Betuweroute aansluiting zuid (Mbtwaz)	Goederentreinen	X	X	X	X	X	X	5	--	6	11
	Reizigerstreinen	X	X	X	X	X	X	95	--	96	191
Meteren-BR aansl. zuid (Mbtwaz) - 's-Hertogenbosch Diezebrug aansl. (Htda)	Goederentreinen	X	X	X	X	X	X	X	5	6	11
	Reizigerstreinen	X	X	X	X	X	X	X	95	96	191
's-Hertogenbosch Diezebrug aansl. (Htda) - 's-Hertogenbosch station (Ht)	Goederentreinen	X	X	X	X	2	5	6	2	2	14
	Reizigerstreinen	X	X	X	X	68	95	96	68	68	326
's-Hertogenbosch station (Ht)	Goederentreinen	2	1	2	2	6	1*	1*	0	0	14
	Reizigerstreinen	0	69	101	0	102	71	0	0	0	342
's-Hertogenbosch station (Ht) - Vught (Vga)	Goederentreinen	X	X	X	X	X	3	7	3	3	14
	Reizigerstreinen	X	X	X	X	X	170	71	102	102	342
Vught (Vga) - Boxtel (Btl)	Goederentreinen	X	X	X	X	X	X	3	3	3	7
	Reizigerstreinen	X	X	X	X	X	X	101	102	102	202
Boxtel station (Btl)	Goederentreinen	10**	9**	--	18	3	--	--	3	3	7+37
	Reizigerstreinen	--	70	32	37	64	37	37	65	65	202+139
Boxtel (Btl) - Liempde (Lpe)	Goederentreinen	X	X	X	X	19	18	3	3	3	7+37
	Reizigerstreinen	X	X	X	X	70	69	101	102	102	202+139

X = sporen zijn niet aanwezig t.p.v. aangegeven trajectdeel

Door afrondingsverschillen kan in de kolom Intensiteit etmaal totaal een waarde van + of – een trein optreden ten opzichte van de treinen verdeeld over de sporen

\* 2 treinen verdeeld over twee sporen, spoor 2 en 3.

\*\* 19 treinen verdeeld over twee sporen, spoor 7 en 8.

Tabel 12 Spoorgebruik Plansituatie 2040 - Aantallen treinen per spoor

Trajectdeel	Treinsoort	Spoor 8	Spoor 7	Spoor 6	Spoor 5	Spoor 4	Spoor 3	Spoor 2	Spoor 1	Intensiteit etmaal totaal
Meteren BR aansl. noord Mbtwan) - Meteren BR aansl. zuid (Mbtwaz)	Goederentreinen	X	X	X	X	X	X	4	4	9
	Reizigerstreinen	X	X	X	X	X	X	148	148	296
Zuidwestboog Meteren (nieuwe boog)	Goederentreinen	X	X	X	X	X	X	18	18	35
	Reizigerstreinen	X	X	X	X	X	X	--	--	--
Zuidoostboog Meteren	Goederentreinen	X	X	X	X	X	X	2	2	3
	Reizigerstreinen	X	X	X	X	X	X	--	--	--
Zuidoostboog Meteren - Meteren-Betuweroute aansluiting zuid (Mbtwaz)	Goederentreinen	X	X	X	18	4	6*	2*	18	47
	Reizigerstreinen	X	X	X	--	148	--	148	--	296
Meteren-BR aansl. zuid (Mbtwaz) - 's-Hertogenbosch Diezebrug aansl. (Htda)	Goederentreinen	X	X	X	X	X	X	24	24	47
	Reizigerstreinen	X	X	X	X	X	X	148	148	296
's-Hertogenbosch Diezebrug aansl. (Htda) - 's-Hertogenbosch station (Ht)	Goederentreinen	X	X	X	X	3	24	24	3	53
	Reizigerstreinen	X	X	X	X	74	148	148	74	443
's-Hertogenbosch station (Ht)	Goederentreinen	3	8**	8**	20**	12**	1****	2****	--	53
	Reizigerstreinen	--	74	148	--	148	74	--	--	443
's-Hertogenbosch station (Ht) - Vught (Vga)	Goederentreinen	X	X	X	X	7	20	20	7	53
	Reizigerstreinen	X	X	X	X	74	148	148	74	443
Vught (Vga) - Boxtel (Btl)	Goederentreinen	X	X	X	X	X	X	20	20	40
	Reizigerstreinen	X	X	X	X	X	X	148	148	296
Boxtel station (Btl)	Goederentreinen	6***	5***	--	11	20	--	--	20	40+22
	Reizigerstreinen	--	110	37	74	111	37	37	111	296+221
Boxtel (Btl) - Liempde (Lpe)	Goederentreinen	X	X	X	X	11	11	20	20	40+22
	Reizigerstreinen	X	X	X	X	110	110	148	148	296+221

X = sporen zijn niet aanwezig t.p.v. aangegeven trajectdeel

Door afrondingsverschillen kan in de kolom Intensiteit etmaal totaal een waarde van + of – een trein optreden ten opzichte van de treinen verdeeld over de sporen

\* 4 +4 treinen verdeeld over twee sporen

\*\* 2 x 24 treinen verdeeld over vier sporen, spoor 4, 5, 6 en 7.

\*\*\* 11 treinen verdeeld over twee sporen, spoor 7 en 8.

\*\*\*\* 3 treinen over twee sporen

### **Vrije baan**

Een spoorgedeelte dat is gelegen op een aardebaan zonder objecten als wissels in of kunstwerken onder zijn gelegen wordt een vrije baan genoemd. Voor een vrije baan wordt er in alle gevallen uitgegaan van een spoorconstructie die bestaat uit spoorstaven, bevestigd op dwarsliggers in een ballastbed op een aardebaan.

Bij een verschuiving van de spooras van een vrij baangedeelte is aangenomen dat de spoorconstructie en eventuele aanpassing van het baanlichaam in de gewijzigde situatie in termen van trillingsoverdracht karakteristieken niet afwijkt van die in de referentiesituatie. Dat betekent dat het effect van een verschuiving van de spooras kan worden bepaald op basis van de gewijzigde afstand tussen spoor en trillingsgevoelig object.

### **Kunstwerk zuidwestboog Meteren**

Het grote kunstwerk om de A15 te kruisen dient voldoende stijf en sterk te zijn om de goederentreinen van de Betuweroute te kunnen dragen. Een dergelijk kunstwerk zal de trillingen niet opslingeren, maar eerder dempen.

Bij het oprijden van een kunstwerk kan door stijfheidsverschillen een verhoging van de trillingssterkte ontstaan. Door een geleidelijke overgangsconstructie te creëren waarbij geen grote verschillen in stijfheid optreden kan dit effect zo veel mogelijk worden voorkomen.

Voor beide effecten is voor kunstwerk van de zuidwestboog Meteren een factor 1,0 ten opzichte van de vrije baan situatie aangehouden. Overigens is het kunstwerk gesitueerd in een gebied zonder woonbebouwing (afstand tot bebouwing circa 300 m), waardoor er geen effect van trillingen op mensen in gebouwen verwacht hoeft te worden.

### **Verdiepte ligging Vught**

In Vught wordt het doorgaande spoor van en naar Boxtel verdiept in een tunnelbak gelegd. Dit wijkt af van de bovenomschreven "vrije baan". Een verdiepte ligging in een tunnelbak zal de trillingssterkte beïnvloeden als gevolg van de volgende afwijkende factoren:

- De bovenbouwconstructie (spoor en ballastbed) rust op een betonnen constructie in plaats van op een aardebaan
- In verband met eisen samenhangend met het constructief ontwerp wordt een ballastmat toegepast tussen ballastbed en de betonconstructie

Om een inschatting te maken van de invloed van de beide factoren op de trillingssterkte bij de woningen langs de tunnelbak is een literatuuronderzoek<sup>4</sup> uitgevoerd.

Het literatuur onderzoek heeft zich toegespitst op twee vergelijkbare projecten, de vrije spoorkruising Amersfoort –West (gebaseerd op metingen aan de spoortunnel Best) en spoortunnel Nijverdal. De volgende rapportages zijn voor het onderzoek bestudeerd:

- Combinatie TCE/Haskoning/Verebus, OTB Vrije spoorkruising Amersfoort –West, Prognoseonderzoek trillingen, TCE596-1, 25 februari 2010.
- TNO Bouw, Trillingen en laagfrequent geluid van rail- en wegverkeer rond nieuw tracé RW335 in Nijverdal, 2002-CI-R2174, 16 juli 2003.
- DGMR, Rapport T.2013.0907.00.R001, ProRail/Combitunnel Nijverdal, Onderzoek geluid- en trillingsklachten omwonenden, definitief, opdrachtnummer SOI-3061986, 16 januari 2014.

De situaties te Nijverdal en Best hebben de volgende randvoorwaarden en uitgangspunten:

Uitgangspunten Best:

- Spoor in ballast op ballastmatten.
- Zandige grondopbouw vergelijkbaar met situatie Vught.
- Situatie vrije baan vergeleken met tunnel, op afstand van sporen en tunnel.

---

<sup>4</sup> Literatuuronderzoek gericht op trillingen in algemene zin. Op de relatie van een verdiepte ligging t.o.v. het ontstaan van laag frequent geluid wordt elders in dit rapport ingegaan.



- Viersporige spoortunnel.
- Er zijn beperkte trillingsmetingen uitgevoerd bij 12 treinpassages, waarvan twee passages van goederentreinen.

Uitgangspunten Nijverdal:

- Spoor in ballast (zonder ballastmatten).
- Overdekte tunnel met dak op maaiveld.
- Twee sporen breed.
- Er zijn uitgebreide trillingsmetingen uitgevoerd bij 40 tot 70 trein passages.

Op basis van het onderzoek dat is uitgevoerd aan de spoortunnel Best worden door TCE, Haskoning en Verebus de volgende conclusies getrokken:

- Uit de meetwaarden blijkt dat de trillingen buiten de tunnelbak zowel groter (opslingerend effect) als kleiner (dempend effect) zijn dan die langs de vrije baan.
- Er is sprake van een dempende werking bij de twee goederentreinen en een opslingerende werking bij een aantal passagierstreinen. Omdat de rapportage geen informatie bevat over het frequentiespectrum bij de passages is een frequentie-analyse niet mogelijk om vast te stellen in welke mate de response frequentie afhankelijk is.
- Gemiddeld over de meetreeks van de twaalf bemeten treinen genomen heeft de tunnelbak een gelijk of een licht dempend effect op de trillingen ten opzichte van de vrije baansituatie.
- De spreiding in dempende werking/opslingerende werking varieert van een factor 0,52 tot 1,47 (horizontale richting is in beide gevallen maatgevend).

Op basis van het onderzoek dat is uitgevoerd aan de spoorbak in Nijverdal zijn destijds door TNO en DGMR de volgende conclusies getrokken:

- Sporen verschuiven 12,5 m in de richting van de bebouwing. Een verbetering van de huidige situatie werd verwacht op basis van de prognosemodellen, uit de metingen na ingebruikname van de tunnel lijkt dit gemiddeld genomen ook te kloppen, een afname van 10% tot 20% treedt bij de meeste treinpassages op.
- Een aantal treinen veroorzaakt bij enkele woningen trillingshinder bij het passeren van de tunnelbak, deze hinder is dermate groot dat de SBR en waarschijnlijk ook de Bts (toename 30%) richtlijnen worden overschreden.
- Waar op maaiveld geen verschil in trillingsintensiteit werd gemeten bij een verschil in snelheid wordt dit wel terug gevonden bij het doorrijden van de tunnel. Er is een verhoging van trillingsintensiteit met een factor 2 tot 3 bij een verhoging van de snelheid met een factor 2.

Uit het onderzoek bij Best en de onderzoeken bij Nijverdal zijn de volgende conclusies getrokken in relatie tot het trillingsonderzoek voor Meteren - Boxtel:

- Tussen de verschillende treinen treedt een grote variatie op in de mate van de trillingsintensiteit zowel bij de meting in de tunnel als bij de meting buiten de tunnelbak.
- Uit het onderzoek te Nijverdal is tevens uit de trillingsmetingen in de woning gebleken dat er tussen de verschillende woningen grote variaties in trillingshinder kunnen optreden.
- Er dient terughoudendheid te worden betracht in het trekken van conclusies betreffende de dempende werking van een tunnel of verdiepte ligging.

Om deze redenen wordt vooralsnog in de modelberekening “worst case” aangehouden dat bronsterkte en de overdracht vanuit de bakconstructie gelijkwaardig is aan die van het huidige spoor en dat geen sprake is van een afname. In de tunnelbak treden geen wijzigingen op van de snelheid tussen de referentiesituatie en de plansituatie.

### ***Kleine objecten (wissels, overwegen, kunstwerken) en overige effecten***

Trillingsmetingen worden veelal langs een gedeelte van het spoor uitgevoerd waar de bovenbouwconstructie van het spoor bestaat uit spoorstaven op dwarsliggers in ballast op een zandbaan. Oneffenheden in het spoor of stijfheidsverschillen in de baan kunnen leiden tot een verschil in de gemeten trillingsintensiteit. Voorbeelden hiervan zijn:

- Kunstwerken
- Wissels
- Overwegen
- ES-lassen
- Overige effecten

#### *Kunstwerken*

Kunstwerken voor kruisende infrastructuur in een spoorbaan (onderdoorgangen of duikers) kunnen in specifieke situaties, met name wanneer er sprake is van een spoorbaan op een weinig draagkrachtige en/of zettingsgevoelige ondergrond als zogenaamde “harde punten” in het spoor tot een lokale toename van de trillingsniveaus bij treinpassages leiden (ten opzichte van de vrije baan).

Standaard wordt conform de voorschriften bij deze kunstwerken een zogenaamde “overgangsconstructie” toegepast die tot doel heeft om te voorkomen dat er een merkbare overgang is als een trein het kunstwerk op- of inrijdt. Deze overgangsconstructie is in het project toegepast bij de bestaande kunstwerken en zal ook voor nieuwe kunstwerken ( inclusief de tunnelbak Vught) worden toegepast.

De toepassing van deze voorzieningen in het spoor, gecombineerd met de ondergrondsituatie, betekent dat er geen rekening gehouden behoeft te worden met hogere trillingsniveaus ter plaatse van kunstwerken onder het spoor.

#### *Wissels*

Bij een treinpassage van een wissel kan een verhoging van de trillingssterkte optreden als gevolg van de discontinuïteit in de spoorstaven. In het kader van andere spoorprojecten (project SAAL Cluster A, stationsgebied Driebergen Zeist) heeft Arcadis in het verleden het effect van een wissel onderzocht. Hierbij is per treinpassage gelijktijdig op een ‘vrije baan’-gedeelte en ter plaatse van een wissel gemeten in twee meettraaien op maaiveld. Op basis van deze onderzoeken is geconcludeerd dat voor een wissel een vergrotingsfactor op de bronwaarde van de trilling van 1,5 kan worden aangehouden. Deze factor is aangehouden voor de bebouwing tot 50 m uit de wissel of de wisselstraat.

#### *Overwegen*

In sommige gevallen kunnen overwegen tot hogere trillingsniveaus leiden, met name op locaties waarin het spoor op een weinig draagkrachtige en/of zettingsgevoelige ondergrond is aangelegd. In het studiegebied is er overwegend sprake van een goede draagkrachtige ondergrond dan wel is de dikte van de samendrukbare laag beperkt en ligt het spoor op een aardenbaan met een dikte van minimaal 1 meter. In die situatie is het niet te verwachten dat er sprake is van oneffenheden in de spoorligging bij overwegen. Om die reden is aangenomen dat het trillingsniveau ter plaatse van een overweg vergelijkbaar is met een vrije baan. De uitgevoerde metingen aan panden in Vught in de nabijheid van een overweg bevestigen dit beeld.

Bij de overweg Orthen (in 's-Hertogenbosch) zijn aanvullende metingen uitgevoerd, waarbij het effect van de specifieke situatie op de trillingsniveaus in de belendingen is bepaald (zie hoofdstuk 4) en in de modellering voor dit deelgebied verwerkt.

#### *Aanwezigheid voegen bij ES-lassen*

ES lassen, die goed zijn aangebracht en die in goede staat verkeren, zorgen onder normale omstandigheden niet voor extra trillingen ten opzichte van het reguliere (naastliggende) spoor. In de berekeningen vormen de ES-lassen dan ook geen separate invoerparameter voor de berekeningen. Indien de ES-lassen wel zorgen voor extra trillingen, dan vindt onderhoud plaats, zodat er geen sprake meer is van een relevante toeslag ten opzichte van het reguliere spoor.

### Overige effecten

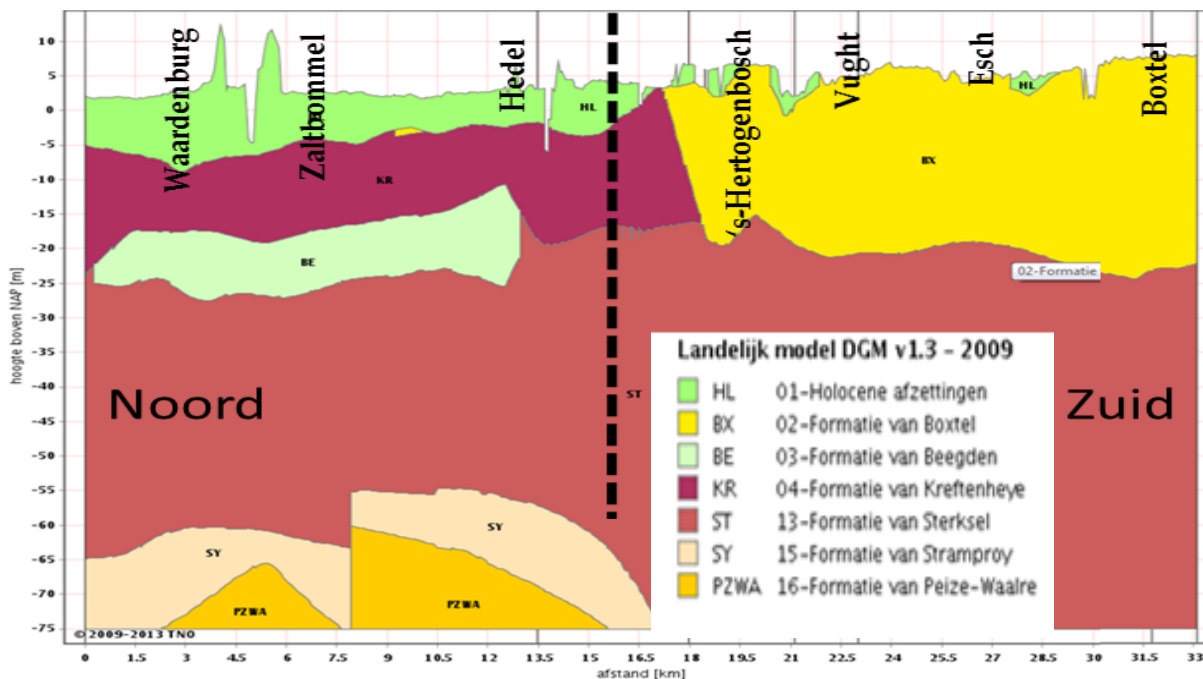
Naast de bovengenoemde aspecten is aangehouden dat de volgende aspecten geen (voor de analyse) maatgevende verschillen tussen de huidige en toekomstige situaties geven in het milieueffect:

- Verschil in type dwarsligger. In de huidige situatie zijn overwegend betonnen dwarsliggers aanwezig, met op enkele locaties nog houten dwarsliggers. Als gevolg van het treffen van geluidmaatregelen dienen er over een geringe afstand ter hoogte van het emplacement in 's-Hertogenbosch (zuidzijde) sporen met houten dwarsliggers vervangen te worden door sporen met betonnen dwarsliggers. De hogere stijfheid van betonnen dwarsliggers kan mogelijk een gunstig effect hebben en resulteren in lagere trillingsniveaus.
- Kwaliteit van het spoor (vlakheid van het spoor en verkanting). Uitgegaan wordt dat de huidige kwaliteit van de spoorligging vergelijkbaar is met de toekomstige situatie.
- Plaatsen van raildempers (geluidmaatregel) levert geen relevant effect op trillingen in de ondergrond.
- Het toepassen van ballastmatten onder het ballast ter plaatse van kunstwerken is onderdeel van de constructieve eisen van een kunstwerk. Dit betekent dat de aanwezigheid van ballastmatten onder het spoor op de betreffende locaties als uitgangspunt in de trillings-analyse wordt gehanteerd.
- Daar waar het spoor niet in rechtstand ligt maar met een bochtstraal zal er sprake zijn van een spoorverkanting. Deze spoorverkanting levert geen relevant effect op trillingen in de ondergrond.

## 3.2 Uitgangspunten Grondopbouw en overdracht

### 3.2.1 Inventarisatie gegevens grondopbouw/ sonderingen

In het projectgebied is de opbouw van de ondergrond geïnventariseerd en zijn er sonderingen<sup>5</sup> uitgevoerd binnen het invloedsgebied van de sporen. Gedeelten met een vergelijkbare grondopbouw zullen qua materiaal demping buiten de spoorbaan vergelijkbaar reageren. Om voor het gehele tracé inzicht in de grondopbouw te verkrijgen, is op basis van informatie van het Dinoloket de geologische grondopbouw bepaald. Deze is weergegeven in Figuur 11. Op basis van deze informatie is het gebied in twee deelgebieden op te delen. Voor deze beide gebieden is een overwegend vergelijkbare materiaaldemping van de grond te verwachten.



Figuur 11 Geologisch lengteprofiel ondergrond

<sup>5</sup> Geotechnisch onderzoek langs spoorbaan Meteren – Boxtel - Resultaten geotechnisch onderzoek, documentnummer 02P005371-RG-01, status Definitief, 4-12-2014, Inpijn-Blokpoel Ingenieursbureau

In het kader van voorliggend onderzoek is een verkennend geotechnisch onderzoek Geotechnisch onderzoek langs spoorbaan Meteren – Boxtel<sup>5</sup>, langs het tracé uitgevoerd. De resultaten van dit onderzoek bevestigen het beeld zoals weergegeven in Figuur 11. Voor de gemeente Vught is sondering 531 gebruikt voor de maatregelinschatting. Deze sondering is ook voor de gemeente Boxtel maatgevend. Sondering DKM 1 is maatgevend voor het gebied bij Waardenburg. Voor het gedeelte Zaltbommel - 's-Hertogenbosch is het volgende onderzoek van het DINO-loket (TNO) gehanteerd:

- Zaltbommel Hedel: sonderingsprofiel S45A00271
- 's-Hertogenbosch noordzijde (Orthen): sonderingsprofiel S45A0006;
- 's-Hertogenbosch middenzijde (bv Boschveldweg/parallelweg): sonderingsprofiel S45A00029;
- 's-Hertogenbosch zuidzijde (Willem van Oranjelaan) sonderingsprofiel S45C00001.

### 3.3 Uitgangspunten trillingsgevoelige objecten (ontvanger)

#### 3.3.1 Bestaande bebouwing

Langs het tracé zijn verschillende stedelijke gebieden aanwezig. De bestaande bebouwing en de functie van de bestaande bebouwing is overgenomen uit de meest recente BAG-gegevens van het Kadaster. In Tabel 13 zijn de gemeenten en de langs het tracé gelegen woon/bebouwingskernen weergegeven.

Tabel 13 Gemeenten en woonkernen langs het tracé Meteren-Boxtel

Gemeente	Woonkernen binnen invloedsgebied spoor
Geldermalsen	Meteren, Deil
Neerijnen	Waardenburg, Tuil
Zaltbommel	Zaltbommel, Bruchem
Maasdriel	Velddriel, Hedel
's-Hertogenbosch	's-Hertogenbosch
Vught	Vught
Haaren	Esch
Boxtel	Boxtel

Op basis van kennis en ervaring is aangehouden dat buiten een zone van 100 m uit het hart van het buitenste spoor geen trillingshinder op zal treden. In het gebied van 50 tot 100 m kan hinder niet worden uitgesloten, maar is de kans dat de Bts overschreden wordt gering. In een gebied tot circa 50 m uit het spoor is de kans op trillingshinder groter. Langs het spoortraject tussen Meteren en Boxtel is de bebouwing geïnventariseerd binnen een afstand van 150 m vanuit het hart van het buitenste spoor.

In het kader van de toetsing van trillingsniveaus onderkent Bts drie groepen bouwfuncties:

- Gezondheidszorg en wonen;
- Onderwijs, kantoor en bijeenkomst;
- Kritische werkruimte.

De bouwfunctie van de bebouwing langs de trajectdelen is geanalyseerd aan de hand van Google Maps, BAG-gegevens en een veldverkenning. De volgende in de BAG benoemde functies behoeven conform Bts niet te worden getoetst op het criterium trillingen:

- Industrie, omdat industrie veelal ook trillingen met zich mee brengt en hierdoor de trillingen van het spoor niet maatgevend zijn.

- Sport, sportvelden of sporthallen; sportvelden zijn geen bebouwing en in sporthallen zijn enige trillingen veroorzaakt door het sporten niet ongewoon
- Cel en overig, geen woon of verblijfsobjecten, maar met name relaishuisjes, loodsen e.d.

Bij de uitgevoerde verkenningen is de functie “kritische werkruimte” niet vastgesteld in het invloedsgebied. De overige functiegroepen worden kortheidshalve aangemerkt als functie “wonen” en “kantoor”. De mate van overdracht van trillingen vanuit de ondergrond naar het maatgevende onderdeel in het pand (veelal de verdiepingvloer) is afhankelijk van de gebouwkenmerken. De aanwezige bebouwing is primair gecategoriseerd op basis van de onderstaande kenmerken:

- Het type pand en de gebruiksfunctie.
- De constructieve kenmerken van de panden en met name de vloeren. Hierbij is het bouwjaar 1970 als een primaire onderscheidene factor gehanteerd, waarbij wordt aangenomen dat panden van voor deze datum met houten vloeren zijn uitgevoerd, terwijl voor panden van latere datum betonvloeren gangbaar zijn.

Een verdere verfijning van de categorisering is vervolgens uitgevoerd op basis van de resultaten van trillingsmetingen, waarbij op basis van de responskarakteristiek en de gebouwafmeting een verdere onderverdeling in gebouwklassen is gemaakt. Voor een nadere toelichting van de gehanteerde classificatie methode van panden en de wijze van selectie van zogenaamde “gidspannen” wordt verwezen naar Hoofdstuk 0.

### 3.3.2 Nieuwe bebouwing

Door Arcadis is medio april/mei 2015 een inventarisatie uitgevoerd van ruimtelijke ontwikkelingen rond het spoortraject Meteren-Boxtel bij de langs het tracé gelegen gemeenten. Deze inventarisatie is medio mei/juni 2017 geactualiseerd.

Voor het aspect trillingen zijn alle concrete ontwikkelingen met nieuwe trillingsgevoelige bestemmingen (zoals woningen/appartementen, scholen, ziekenhuizen etc.) binnen een afstand van 100 m uit het spoor geïnventariseerd en meegenomen in het onderzoek. Het betreffen ruimtelijke ontwikkelingen die zijn opgenomen in een vastgesteld bestemmingsplan of die zijn opgenomen in een concept bestemmingsplan, waarvan het plan dusdanig concreet is dat wordt verwacht dat het concept bestemmingsplan voorafgaand aan de vaststelling van het Tracébesluit Meteren – Boxtel is/wordt vastgesteld. De volgende bouwplannen zijn opgenomen in de toetsing.

- Adelheidsplein Den Bosch, 50 appartementen op 56 m uit het spoor
- CPO Boschveld, Hoek Edisonstraat/Paardskerkhofweg Den Bosch, 25 woningen op 70 m uit het spoor
- Paleiskwartier, Vlek O, Vijverlaan Den Bosch, 47 woningen op 65 m uit het spoor
- Paleiskwartier, Studentenhof, Vijverlaan Den Bosch, 200 studentenkamers op 65 m uit het spoor
- Paleiskwartier, Deelplan K kantoren/woningen, eerste lijn langs het spoor

De planvorming wordt, mits voldoende uitgewerkt, betrokken in de definitieve effectbeoordeling ten behoeve van OTB en MER. Gezien het uitwerkingsniveau van de plannen worden de trillingseffecten kwalitatief ingeschat op basis van de prognoses voor de nabij liggende bestaande bebouwing.

### 3.3.3 Te amoveren bebouwing

In Vught is de ruimte tussen de bestaande bebouwing en de sporen beperkt. Als gevolg van de aanleg van de verdiepte ligging van het spoor in Vught zijn er enkele panden die geamoveerd<sup>6</sup> dienen te worden. In Tabel 14 zijn de te amoveren panden weergegeven.

Tabel 14 Te amoveren panden in de gemeente Vught als gevolg van de uitvoeringsfase verdiepte ligging

Adres	Functie	Aantal	Ter hoogte km	Spoorzijde
De Ring 11-37	Kantoor	14	52,83-52,92	Oost
Kempenlandstraat 1	Kantoor/kinderdagverblijf	1	53,20	West

De te amoveren panden worden in de afweging voor trilling dempende maatregelen buiten beschouwing gelaten.

### 3.3.4 Tijdelijke situatie: tijdens bouw onbereikbare bebouwing

Naast te amoveren panden zijn er een aantal panden, die tijdens de bouw van de tunnelbak in Vught om verschillende redenen tijdelijk niet gebruikt kunnen worden. De panden liggen veelal dicht op de tunnelbak en het in te richten bouwterrein naast de tunnelbak (oostzijde bestaande spoor) of zijn zeer dicht bij het tijdelijke spoor (westzijde bestaande spoor) gesitueerd. Hierdoor zal in de uitvoeringsfase van het project te Vught toegang tot deze woningen niet meer via de openbare weg mogelijk zijn. De woningen worden tijdens de bouw niet bewoond. De tijdelijk buiten gebruik<sup>7</sup> te stellen gebouwen/adressen zijn weergegeven zijn weergegeven in Tabel 15.

Tabel 15 Tijdens de bouw buiten gebruik te stellen panden in de gemeente Vught gedurende de aanleg

Adres	Functie	Aantal	Ter hoogte van km	Spoorzijde
Aert Heymlaan 12, 14,16,18,20,22,24	Woning	7	51,48-51,57	West
Aert Heymlaan 26	Woning	1	51,42	Oost
Spoorlaan 8,9,10, 11,12,13,14,15,16,17,18,19,	Woning	12	52,17-52,64	Oost
Stationsstraat 1a	Overig/Trafohuis	1	51,62	Oost
Stationsstraat 30	Kantoor/stationsgebouw	1	51,84	Oost
Van Miertstraat 1,2,3,4	Woning	10	51,65-51,80	West
Van Miertstraat 2a	Kantoor/ verenigingsgebouw	1	51,68	West

Deze panden worden in de beoordeling van maatregelen voor de tijdelijke situatie buiten beschouwing gelaten, omdat deze tijdens de bouw niet bewoond worden.

<sup>6</sup> De te amoveren bebouwing is overgenomen uit het document 'MB2131-199-01\_vE-Door aanpassing geraakte bebouwing V3 & V3oost Verkort' (excelbestand).

<sup>7</sup> De tijdelijk buiten gebruik te stellen bebouwing is overgenomen uit het document 'MB2131-199-01\_vE-Door aanpassing geraakte bebouwing V3 & V3oost Verkort' (excelbestand).

### 3.4 Uitgangspunten laagfrequent geluid (LFG)

Voor de prognose van laagfrequent geluid (LFG) zijn door DGMR Industrie, Verkeer en Milieu B.V. met behulp van een opgesteld prognosemodel voor laagfrequent geluid berekeningen uitgevoerd. De meetgegevens van de trillingsmetingen die zijn uitgevoerd bij de geselecteerde gidspannen vormt de basis voor het door DGMR gehanteerde prognosemodel. Verdere uitgangspunten zijn uitgebreid beschreven in het rapport "PHS Meteren – Boxtel, Model laagfrequent geluid o.b.v. van meetdata Vught", Rapport M.2014.0811.08.R001, status concept, 29-09-2015, DGMR Industrie, Verkeer en milieu B.V. Dit rapport is als bijlage bijgevoegd. Hierna volgen de belangrijkste uitgangspunten die zijn gehanteerd voor de LFG-berekeningen.

#### **Ondergrond**

Voor het gedeelte Vught is geen zodanige variatie in de ondergrond dat die tot relevante lokale verschillen in de waarde van de dempingen van de ondergrond leidt.

#### **Goederen- en reizigerstreinen**

Er worden voor goederen- en reizigerstreinen geen verschillen gevonden in het verloop van de trillingssterkte als functie van de afstand tot het spoor. Het verschil tussen beide treintypen zit in het te hanteren bronnspectrum. Voor laagfrequent geluid zijn de frequenties vanaf globaal 25 Hz van belang. Daarin is te zien dat goederentreinen vanaf 25 Hz ongeveer 5 dB meer geluid emitteren dan reizigerstreinen m.u.v. de 63 Hz octaafband (specifiek de tertsbanden), die voor zowel goederen- als reizigerstreinen gelijk zijn.

#### **Verdiepte ligging spoor**

Het spoor in Vught wordt verdiept aangelegd in een open bakconstructie. Voor een analyse en afweging van de gevolgen van de verdiepte bakconstructie zijn vooralsnog alleen enkele meetresultaten bekeken van de recent opgeleverde Combitunnel Nijverdal. Deze tunnel lijkt op die in Vught aangezien deze een vergelijkbare diepte heeft en tevens in een zandige grondopbouw is gefundeerd. Echter is de tunnelbak in Nijverdal gesloten, is deze breder (voor zowel trein als wegverkeer) en verschilt de verwachte bouwwijze.

In Nijverdal zijn voorafgaand aan de ontwikkeling en na oplevering trillingsmetingen in de bodem verricht op respectievelijk 25 m, 30 m, 40 m en 50 m uit het hart van de toenmalige spoorligging. Behalve de realisatie van de tunnel is op deze locatie ook het spoor 12 m dichtbij de woningen komen te liggen, hetgeen ook in Vught aan de orde zal zijn.

Uit de trillingsmetingen bij treinpassages in de situatie voor de bouw van de tunnel te Nijverdal en na in gebruik name van deze tunnel blijkt dat er tot 30 Hz geen onderscheid in trillingssterktes is af te leiden. In de octaafbanden boven de 30 Hz is een duidelijke toename van het geluidsdrumniveau zichtbaar ten opzichte van de situatie met een vrije baan.

Op basis van de analyse van de praktijkmetingen in Nijverdal is de toeslag van de verdiepte bak per octaafband bepaald. Dezelfde waarden zijn als aanname van het effect van de verdiepte ligging te Vught gehanteerd, zie Tabel 16.

Tabel 16 Gehanteerde toename bronterm trillingssterkte laagfrequent geluid bij verdiepte ligging Vught

Octaafband	16 Hz	31,5 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz
Effect tunnelbak op bronterm (dB)	0	2	8	10	7

#### **Invloed van wissels**

Stoten van de treinwielen op onderdelen van een wissel (wisseltong, puntstuk of strijkregel) geeft een pulsvormige belasting die te beschouwen is als puntbron. Behalve het stoten van de wielen geeft een trein die afbuigt door de wissel nog een extra belasting op de bodem in zowel horizontale richting alsook de verticale richting. Omdat laagfrequent geluid alleen over het verdiept aangelegde gedeelte (deelgebied 3, Vught) in beschouwing wordt genomen, is er echter geen situatie met wisselinvloeden.

### **Invloed gebouwkenmerken**

Een belangrijke invloedsfactor op laagfrequent geluid afstraling en trillingen in een woning ligt besloten in de gebouwkenmerken en bepalen de trillingsgevoeligheid.

De aanwezige bebouwing is voor trillingen (zie hoofdstuk 2) primair gecategoriseerd op basis van de onderstaande kenmerken:

- Het type pand en de gebruiksfunctie
- Het funderingssysteem
- De kenmerken van vloer- en wandconstructies

De inventarisatie van de kenmerken van de panden is gebaseerd op BAG en Google Earth.

Op basis van de beschikbare datasets van de metingen in Vught, alle uitgevoerd in woningen, is er geen aanleiding om in deze woningen voor het laagfrequent geluid bereik een verdere differentiatie in woningtypen aan te brengen.

### **Modelparameters**

De gehanteerde modelparameters, bronsterkte en spreiding worden in navolgende tabel weergegeven en vormen samen met de bodemdemping ( $\alpha$ ) de basis voor het rekenmodel (zie bijlage D).

Tabel 17 Bronspectrum  $V_0$  (5m) op fundatieniveau en spreiding (95%) – alle treinpassages

Octaafband	8 Hz	16 Hz	31,5 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz
<b>Goederentreinen</b>						
$V_0$ [mm/s]	0,248	0,101	0,049	0,016	0,006	0,004
$V_0$ [dB]	108	100	94	84	76	72
Spreiding (95%) [dB]	9	7	8	9	8	8
$V_{95}$ [dB]	117	107	102	93	84	80
<b>Reizigerstreinen</b>						
$V_0$ [mm/s]	0,119	0,93	0,36	0,20	0,004	0,003
$V_0$ [dB]	102	99	91	86	72	68
Spreiding (95%) [dB]	5	6	7	7	8	8
<b>Goederen- en reizigerstreinen</b>						
Bodemdemping $\alpha$	0,030	0,031	0,033	0,034	0,036	0,038
Uitbreidingsexponent $\gamma$	0,1					



## 4 TRILLINGSMETINGEN

Er is een prognosemodel opgesteld om de trillingen voor de toekomstige situatie te berekenen. Dit prognosemodel om trillingen te modeleren kan enkel betrouwbaar werken indien het model op trillingsmetingen wordt “gefit”. Hierbij is het van belang dat de volgende gegevens in kaart worden gebracht om uiteindelijk per pand een unieke trillingssterkte te kunnen bepalen:

1. Trillingsbron karakteristiek in relatie tot bovenbouwconstructie, baanconfiguratie en ondergrond
2. Dempende werking van de grond op de trilling
3. Overdracht van de trilling van grond voor de bebouwing naar de vloer in de bebouwing.

In drie meetsessies is meetinformatie verzameld om de bovengenoemde parameters (onder punt 1 en 2) nader te kwalificeren:

- In 2013 zijn maaiveldmetingen in een meetraai uitgevoerd waarmee de overdracht in de ondergrond zijn bepaald op een meetraai direct naast de baan;
- In 2014-2015 zijn metingen in, aan en bij panden uitgevoerd gedurende minimaal 1 week, ter vaststelling van de overdracht karakteristieken en ter bepaling van de actuele trillingsniveaus in de panden volgens de Bts.
- Aanvullende metingen uitgevoerd in voorjaar 2016 zijn aan de totale project dataset toegevoegd. Dit betreft deels aanvullende metingen op de metingen uit 2014-2015 in verband met de vergroting van de reproduceerbaarheid van deze metingen en deels nieuwe metingen aan en bij aanvullende panden,.

Voor het gebied in ‘s-Hertogenbosch zijn ten behoeve van het Tracébesluit SiDB in september en oktober 2009 trillingsmetingen uitgevoerd. De opzet van deze metingen voldoet echter niet volledig aan de specificaties van trillingsmetingen conform de huidige Bts. Deze meetgegevens zijn zodanig nabewerkt dat deze wel voldoen aan Bts en gebruikt kunnen worden voor het onderzoek (zie bijlage B).

### **Gidspanden**

Door de omvang van het studiegebied voor trillingen is het niet haalbaar om voor elk langs het tracé gelegen pand individueel de kenmerken te inventariseren en metingen uit te voeren. De constructieve eigenschappen van gebouwen, zoals onder meer het gewicht en stijfheid van de woning, kunnen per woning variëren. Ook kan per woning de vloersoort (houten vloeren/betonnen vloeren) per woning en zelfs per etage verschillen. Door deze verschillen kan de trillings-response van een gebouw (hoe reageert het gebouw op trillingen) op trillingen in de ondergrond (in dit geval) door een treinpassage ook verschillend zijn.

Gekozen is voor een aanpak waarbij de binnen het onderzoeksgebied aanwezige relevante trillingsgevoelige woningen/panden in clusters zijn ingedeeld, waarbij onderscheid is gemaakt naar de constructieve eigenschappen van de panden met naar verwachting vergelijkbare trillings-response karakteristieken. Vervolgens is voor elk cluster een representatief pand geselecteerd dat relatief dicht langs het bestaande spoor aanwezig is. Deze panden worden als ‘gidspanden’ aangemerkt en een gidspan is kenmerkend voor alle panden in het cluster. Bij deze gidspanden zijn vervolgens trillingsmetingen uitgevoerd. De keuze voor gidspanden dicht op het bestaande spoor heeft te maken met het te meten trillingsniveau van een treinpassage ten opzichte van aanwezige stoortrillingen (trillingen die aanwezig zijn vanwege andere activiteiten dan een treinpassage). In de volgende paragraaf wordt aangegeven welke gidspanden er zijn geselecteerd voor het trillingsonderzoek.

## 4.1 Selectie gidspanden en meetlocaties

### **Geselecteerde Gidspanden langs traject PHS Meteren-Boxtel 2014 - 2016**

Op basis van de uitgevoerde inventarisatie zijn gidslocaties (zogenaamde gidspanden) aan weerszijden van het spoor bepaald voor het uitvoeren van trillingsmetingen. Ten behoeve van de selectie van de 'gidspanden' is de bebouwing langs de OTB-trajectdelen geanalyseerd binnen een onderzoekszone<sup>8</sup> van 100 m. Hierbij zijn de volgende stappen doorlopen:

- Inventarisatie geologie omgeving en hoogte spoorbaan en wijzigingen aan het spoor
- Inventarisatie met behulp van Google Maps en BAG. Hierbij zijn de uiterlijke kenmerken en de leeftijd van de verschillende panden vergeleken;
- Keuze gidspand op basis van leeftijd, kenmerken en aantal gelijke panden;
- Veldbezoek aan de gidspand-locaties.

Op deze wijze wordt een dataset, bestaande uit trillingsmetingen aan verschillende gidspanden, verzameld. Deze dataset bestaat uit de overdrachtsfactoren voor een trilling van:

- Grond naar fundering
- Fundering naar vloer

Voor panden gelijk aan het gidspand (of zeer vergelijkbare panden) zijn gelijke overdrachtsfactoren aangehouden als voor het gidspand. Voor afwijkende panden is een interpolatie gemaakt op basis van de dataset.

Voor de overdracht van grond naar fundering is voor het traject tussen Meteren en Hedel dat wordt gekenmerkt door een grondopbouw met een cohesieve toplaag steeds een gelijke waarde aangehouden als gemeten ter plaatse van het gidspand uit de nabijheid.

Voor het gedeelte 's-Hertogenbosch, Vught en Boxtel is voor de overdrachtsfactor van grond naar fundering wanneer het type bebouwing vergelijkbaar was met het maatgevende gidspand is een gelijke waarde als voor het gidspand aangehouden. Ten behoeve van de panden waarbij een verschil in stijfheid tussen het pand en het nabijgelegen gidspand is, is een interpolatie gemaakt voor een overdrachtsfactor voor stijve bebouwing (panden met een bouwjaar na 1990) en voor niet-stijve bebouwing (panden met een bouwjaar voor 1980).

Omdat panden aan de binnenzijde sterk kunnen verschillen in constructieve eigenschappen is hiervoor een andere aanpak gehanteerd. Per type vloer (beton of hout) is een vijftal maatgevende grondoppervlakken bepaald. Per maatgevend grondvlak zijn op basis van de metingen aan de gidspanden gemiddelde waarden voor de overdracht van fundering naar vloer bepaald. Wanneer een pand gelijk (of sterk vergelijkbaar) is met het gidspand zijn de overdrachtsfactoren aangehouden van het gidspand. In alle andere gevallen is op basis van het type vloer en het grondoppervlak een gemiddelde overdrachtsfactor toegekend aan een pand.

Middels deze aanpak zijn voor het trillingsonderzoek 24 gidspanden geselecteerd. De adressen van deze panden zijn weergegeven in Tabel 18. Tussen 2014-2016 zijn aan de gidspanden trillingsmetingen uitgevoerd. De locaties van de panden zijn weergegeven in Figuur 12.

Bij de metingen aan- en in de gidspanden zijn de volgende meetprocedures uitgevoerd:

- Een meting aan fundering en vloeren gedurende één of enkele dagen.
- Een meting aan een fundering gedurende 1 tot meerdere weken.
- Een meting voor de woning aan maaiveld gedurende 1 of meerdere weken.

Bij metingen op *het maaiveld* is mede het effect van een toenemende afstand tot het spoor op de trillingssterkte bepaald. Deze drie metingen vormen de input voor het opgestelde prognosemodel (zie deelrapport 2). De resultaten van de metingen zijn weergegeven in bijlage B.

---

<sup>8</sup> De zone van 100 meter is een ervaringsgetal dat gebaseerd is op het feit dat op grotere afstanden van het spoor de streefwaarde met zekerheid niet wordt overschreden.

Tabel 18 Overzicht geselecteerde gidspanden trillingsmetingen

ID	Adres en plaats	Plaats	Functie	Bouwjaar	Spoorzijde en afstand tot spoor
01	Pompstraat 6	Waardenburg	Woning	1910	37m / oostzijde
02	Zandweg 13	Waardenburg	Woning	1884	81m / oostzijde
03	Vlierdseweg 4	Bruchem	Woning	1868	6,5m / oostzijde
04	Stationsweg 11	Hedel	Woning	1948	10m / westzijde
50	Orthen 156	's-Hertogenbosch	Woning	1956	32m / oostzijde
51	Orthen 162	's-Hertogenbosch	Woning	1979	21m / westzijde
05	Magistratenlaan 138	's-Hertogenbosch	Kantoor	2005	38m / westzijde
06	Willem van Oranjelaan 67	's-Hertogenbosch	Woning	1933	35m / oostzijde
11	Isabellastraat 10	Vught	Woning	1964	40m / oostzijde
09	Johan Frisolaan 33	Vught	Woning	2006	24m / westzijde
18	Margrietlaan 59	Vught	Woning	2010	17m / westzijde
08	Molenvenseweg 87	Vught	Woning	1974	26m / oostzijde
16	Spoorlaan 3	Vught	Woning	1977	17m / oostzijde
17	Spoorlaan 8	Vught	Woning	1920	15m / oostzijde
13	Spoorlaan 43	Vught	Woning	1959	30m / oostzijde
12	Pieter Bruegellaan 29	Vught	Woning	1954	35m / oostzijde
07	Rembrandtlaan 47	Vught	Woning	1964	21m / oostzijde
14	Repelweg 195	Vught	Woning	1977	28m / oostzijde
10	Van Miertstraat 10	Vught	Woning	1936	28m / westzijde
15	Willem III-laan 13	Vught	Woning	1959	30m / westzijde
35	Ridder van Cuickstraat 33	Boxtel	Woning	2000	15m / oostzijde
36	Spoorstraat 7	Boxtel	Woning	1976	39m / oostzijde
37	Spoorstraat 32	Boxtel	Woning	1890	18m / oostzijde
34	Heikant 2	Esch	Woning	1850	23m / oostzijde

**Gidspannen overgenomen uit eerder onderzoek Tracébesluit Sporen in 's-Hertogenbosch, 2009 - 2012**

Binnen het projectgebied van PHS Meteren Boxtel is in het kader van Tracébesluit Sporen in 's-Hertogenbosch in 2009 onderzoek gedaan naar Trillingen<sup>9</sup> veroorzaakt door railverkeer. Destijds zijn in dit onderzoek ook gidspannen bepaald en zijn er ter plaatse van deze gidspannen metingen uitgevoerd en uitgewerkt aan de hand van de SBR-richtlijn Trillingen Deel B Hinder voor personen in gebouwen.

Omdat het projectgebied van voorliggend onderzoek ter hoogte van 's-Hertogenbosch (deels) overlapt met het project SiDB, zijn de gidspannen en de bijbehorende gegevens uit de trillingsmetingen voor het gebied in 's-Hertogenbosch (in totaal 11 panden) overgenomen in voorliggend onderzoek.

In overeenstemming met het Tracébesluit Sporen in 's-Hertogenbosch zijn in 2012 op twee adressen aan de oostzijde van de sporen trillingsmetingen uitgevoerd, voorafgaand aan de realisatie van het project. Dit betreffen de volgende panden:

- Boschveldweg 59-83
- Maijweg 23

Bij deze metingen is gedurende 1 week aan de fundering van deze panden gemeten. De metingen zijn vervolgens uitgewerkt aan de hand van de toenmalige Bts. De metingen die destijds bij de panden in 's-Hertogenbosch zijn uitgevoerd, zijn echter niet uitgevoerd volgens de regels zoals gesteld in de huidige Bts. In het kader van voorliggend onderzoek zijn de meetresultaten en analyses herbewerkt conform de methodiek zoals beschreven in de Bts. De resultaten van de trillingsmetingen en de herbewerking van de gegevens is opgenomen in bijlage C. De herbewerking betreft:

- Metingen in het kader van de voorbereiding van het TB SiDB in 2009
- Voormeting in het kader van het TB SiDB in 2012

Na realisatie van het project Sporen in 's-Hertogenbosch is in 2015 op de locatie van de metingen uit 2012 een nameting uitgevoerd aan de fundering. Op een van deze locaties was het mogelijk de meting uit te breiden naar een meting conform Bts.

De 13 gidspannen die zijn overgenomen uit het trillingsonderzoek TB SiDB zijn in navolgende tabel weergegeven. De locaties van de panden zijn weergegeven in Figuur 12.

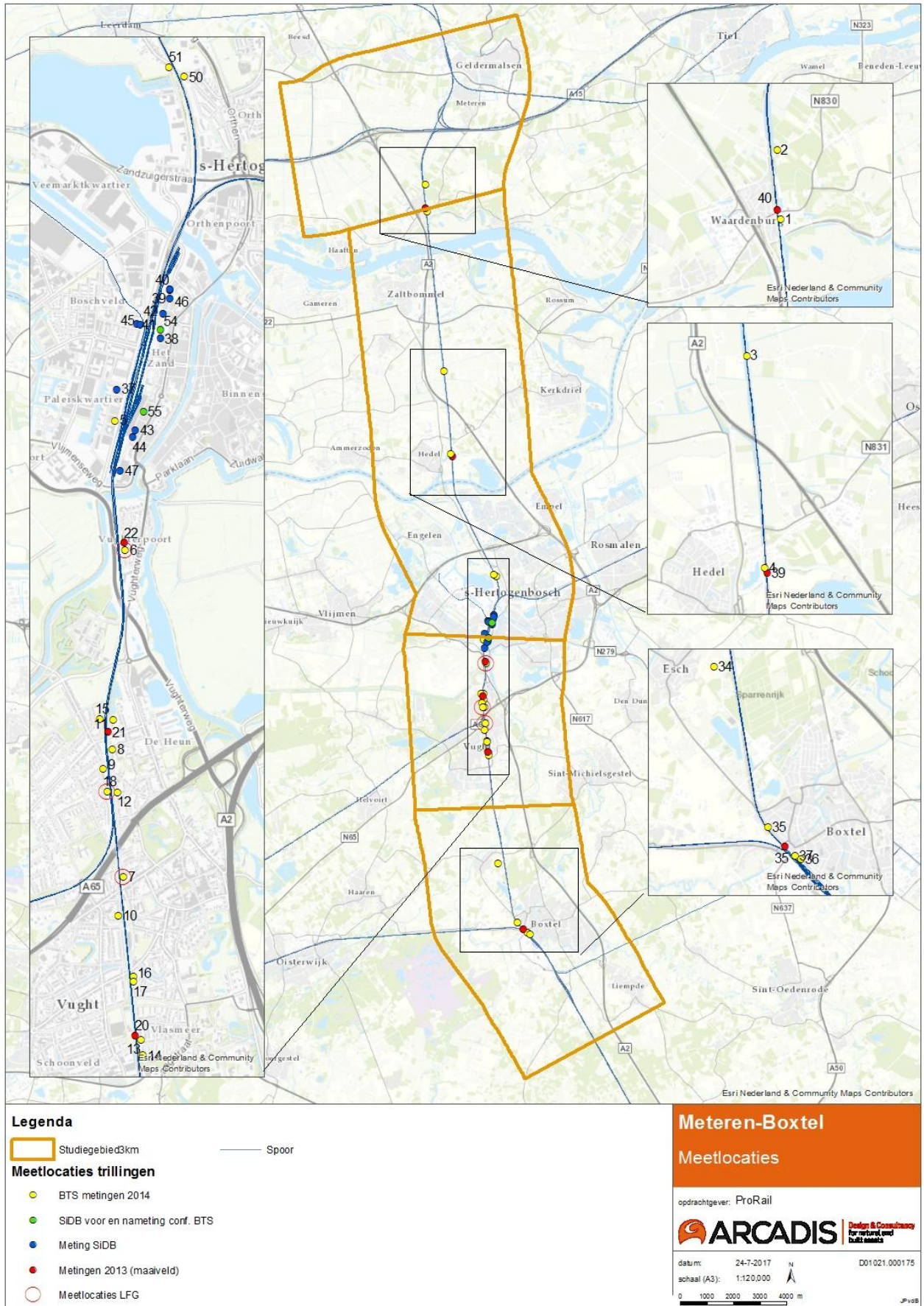
---

<sup>9</sup> Rapport "Sporen in Den Bosch, Trillingsonderzoek, projectnummer 034.21251, 11 maart 2010, TNO Bouw en Ondergrond

Tabel 19 Overzicht gidspanden uit TB SiDB

ID	Adres en plaats	Plaats	Functie	Bouwjaar	Spoorzijde en afstand tot spoor
37	Bordeslaan 28	's-Hertogenbosch	Woning	2002	28m / westzijde
38	Boschveldweg 35	's-Hertogenbosch	Woning	1954	48m / oostzijde
54	Boschveldweg 39-83 1	's-Hertogenbosch	Woning	1985	37m / oostzijde
39	Boschveldweg 435	's-Hertogenbosch	Woning	1988	53m / oostzijde
40	Boschveldweg 455	's-Hertogenbosch	Woning	1988	53m / oostzijde
41	Fahrenheitstraat 18	's-Hertogenbosch	Woning	1952	62m / westzijde
42	Kemperlandstraat 133	's-Hertogenbosch	Woning	1991	39m / oostzijde
55	Maijweg 23 2	's-Hertogenbosch	Woning	1901	70m / oostzijde
43	Maijweg 57	's-Hertogenbosch	Woning	1911	76m / oostzijde
44	Maijweg 75	's-Hertogenbosch	Woning	1911	72m / oostzijde
45	Parallelweg 72	's-Hertogenbosch	Woning	1954	33m / westzijde
46	Sint Lucasstraat 30	's-Hertogenbosch	Woning	1911	70m / oostzijde
47	Willemsplein 4 (Essent)	's-Hertogenbosch	Kantoor	1951	34m / oostzijde

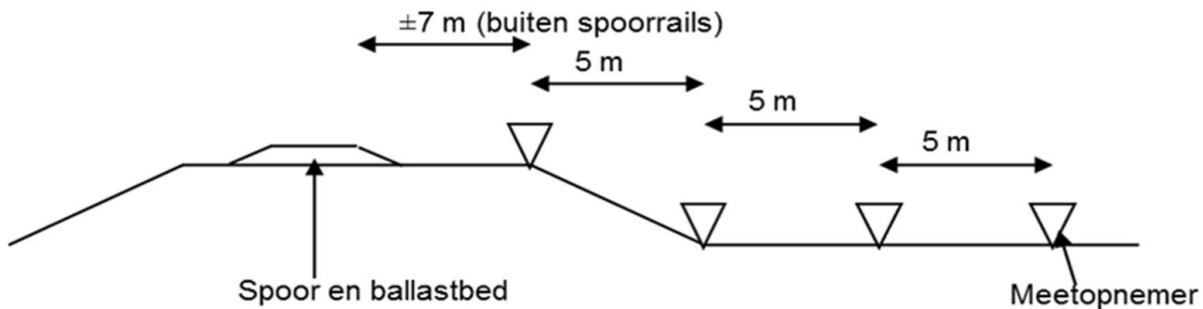
<sup>1</sup> voor- en nameting aan fundering<sup>2</sup> voormeting aan fundering, nameting conform Bts



Figuur 12 Overzicht meetlocaties trillingen

## 4.2 Uitwerking interpretatie maaiveldmetingen 2013

In het kader van project PHS Meteren-Boxtel zijn er voor fase 1 van het onderzoek in 2013 trillingsmetingen uitgevoerd. Doel van deze metingen was om de dempende werking van de grond langs het spoor te bepalen. Bij de metingen is gebruik gemaakt van meetraaien haaks op het spoor met trillingsopnemers op verschillende afstanden van het spoor. In de onderstaande figuur is de opstelling schematisch weergegeven.



Figuur 13 Meetopstelling ten behoeve van demping grond (meetraai)

Door de meetopstelling gedurende meerdere dagen langs het spoor te handhaven is een beeld verkregen van de dempingskarakteristiek bij de in een meerdaagse periode passerende treinen. Voor de bepaling van de locaties zijn de volgende criteria aangehouden:

- De locaties dienen verspreid te liggen over het tracé tussen Meteren en Boxtel (waarvan minimaal twee in het rivierengebied tussen Meteren en Hedel);
- De locaties moeten in bebouwd gebied/nabij bebouwing zijn gelegen;
- Meetraai dient 'verscholen' te liggen (in verband met diefstal of vandalisme).

Op basis van bovenstaande criteria zijn geschikte locaties bepaald voor de metingen. Het betreft de volgende zes locaties langs het tracé Meteren-Boxtel:

- Waardenburg, km 31.6
- Hedel, km 41.0
- 's-Hertogenbosch (zuid), km 49.2
- Vught (noord), km 50.5
- Vught (midden), km 52.6
- Boxtel, km 59.5

De meetwaarden die verkregen zijn op de zes locaties zijn als volgt uitgewerkt tot een trein gerelateerde afname van de piekwaarde:

- De meetwaarden die dicht rond de eigenfrequentie van de meetapparatuur zijn gelegen zijn uit de dataset gefilterd (frequentie 0,5 Hz tot 1 Hz)
- De piekwaarden van de trillingssterkte en de bijbehorende passagetijden zijn uit de meting van de meetopnemer die het dichtst bij het spoor geselecteerd.
- De piekwaarden uit de meting het dichtst bij het spoor zijn vervolgens gekoppeld aan de piekwaarden van de overige meters uit de meetraai.
- Wanneer de trend tussen de gekoppelde pieken aflopend is met toenemende afstand tot het spoor, is aangenomen dat het een trilling veroorzaakt door de passage van spoorverkeer betrof.
- Als laatste stap zijn de door ProRail geleverde treinpassage tijden gekoppeld aan de uit de metingen gefilterde passages van spoorverkeer. Op deze wijze is er onderscheid gemaakt tussen de trillingen bij passages van goederentreinen en bij passages van reizigerstreinen.

De trillingsmetingen zijn onbemand uitgevoerd. Hierdoor zijn eventuele opgetreden verstoringen in de data niet bekend. Om de kans op verstoringen in met name de meetpunten die verder van het spoor zijn gesitueerd te verlagen, zijn enkel de meetwaarden van de nachten (23.00 uur tot 7.00 uur) geselecteerd voor verdere analyse.

Deze verdere analyse bestaat uit de bepaling van de dempende werking van de grond. Hiervoor is de data verdeeld naar treintype (goederentrein of reizigerstrein) en is vervolgens voor beide treintypen de trillingssterkte geselecteerd naar dominante frequentie. Hierbij is de indeling aangehouden zoals weergegeven in Tabel 20.

Tabel 20 Gehanteerde onder- en bovengrens dominante frequentie

Octaafband	2 Hz	4 Hz	8 Hz	16 Hz	31 Hz	63 Hz
Ondergrens	1,4 Hz	2,8 Hz	5,5 Hz	11 Hz	22 Hz	44 Hz
Bovengrens	2,8 Hz	5,5 Hz	11 Hz	22 Hz	44 Hz	89 Hz

Alleen treinen (van een type) die op alle meetpunten in een meetraai een dominante frequentie hebben binnen eenzelfde octaafband zijn verder in de analyse beschouwd. Per octaafband zijn vervolgens de volgende twee aspecten beschouwd:

- De demping van de trillingssterkte kijkend naar de gemiddelde trend uit de data;
- Een vergelijking van de demping in de ondergrond per trein en tussen de verschillende meetpunten uit de meetraai.

Gekozen is om het eerste aspect verder toe te passen aangezien deze methode de resultaten opleverde die het best bij de verwachtingen pasten, namelijk een lagere dempende werking van de grond voor frequenties die vallen binnen de frequentieband van 8 Hz en een hogere dempende werking voor de frequenties rond de 31 Hz en 63 Hz octaafband.

Op deze wijze is indirect voor de verschillende octaafbanden de dempende werking op afstand van de sporen per octaafband bepaald. Voor de 2 Hz- en de 4 Hz-octaafband is onvoldoende data beschikbaar om een betrouwbare analyse volgens bovenomschreven aanpak uit te voeren. Daarom is voor deze octaafbanden een gelijke of lagere demping aangehouden als voor de 8 Hz octaafband. Dit geeft ook aan dat de banden binnen het frequentiespectrum niet dominant zijn, wat ook volgt uit de metingen uit 2015/2016. Onderstaand is een samenvatting gegeven van de in het prognosemodel aangehouden dempingsfactoren ( $\alpha$  en  $n$ ) voor respectievelijk passagierstreinen en goederentreinen, zie Tabel 21 en Tabel 22. In deelrapport 2 wordt de in het prognosemodel gehanteerde vergelijking voor de relatie tussen afstand en trillingssterkte nader toegelicht.

Tabel 21 Dempingsfactoren  $\alpha$  en  $n$  per locatie voor reizigerstreinen

Locatie	2 Hz		4 Hz		8 Hz		16 Hz		31 Hz		63 Hz	
	$\alpha$	$n$	$\alpha$	$n$	$\alpha$	$n$	$\alpha$	$n$	$\alpha$	$n$	$\alpha$	$n$
Waardenburg	0,02	0,1	0,02	0,1	0,03	0,1	0,02	0,1	0,03	0,1	0,07	0,1
Hedel	0,02	0,1	0,02	0,1	0,04	0,1	0,06	0,1	0,08	0,2	0,02	0,2
's-Hertogenbosch zuid	0,00	0,1	0,00	0,1	0,00	0,1	0,01	0,1	0,05	0,1	0,03	0,1
Vught noord	0,01	0,1	0,01	0,1	0,01	0,1	0,03	0,1	0,05	0,1	0,04	0,1
Vught zuid	0,01	0,1	0,01	0,1	0,01	0,1	0,03	0,1	0,05	0,1	0,04	0,1
Boxtel	0,02	0,1	0,02	0,1	0,03	0,1	0,03	0,1	0,05	0,1	0,03	0,1



Tabel 22 Dempingsfactoren  $\alpha$  en  $n$  per locatie voor goederentreinen

Locatie	2 Hz		4 Hz		8 Hz		16 Hz		31 Hz		63 Hz	
	$\alpha$	$n$	$\alpha$	$n$	$\alpha$	$n$	$\alpha$	$n$	$\alpha$	$n$	$\alpha$	$n$
Waardenburg	0,02	0,1	0,02	0,1	0,02	0,1	0,02	0,1	0,01	0,1	0,01	0,5
Hedel	0,02	0,1	0,02	0,1	0,04	0,1	0,04	0,1	0,05	0,1	0,05	0,3
's-Hertogenbosch zuid	0,04	0,1	0,04	0,1	0,04	0,1	0,04	0,1	0,04	0,1	0,04	0,5
Vught noord	0,01	0,1	0,01	0,1	0,01	0,1	0,04	0,1	0,04	0,2	0,05	0,1
Vught zuid	0,01	0,1	0,01	0,1	0,01	0,1	0,04	0,1	0,04	0,2	0,05	0,1
Boxtel	0,02	0,1	0,02	0,1	0,03	0,1	0,03	0,1	0,03	0,1	0,03	0,1

### 4.3 Meetprotocol en data-interpretatie metingen (2014 - 2016)

De data-analyse van de maaiveldmetingen uit 2013 geeft inzicht in de gemeten waarden van de trillingssterkte op maaiveld niveau en de demping van de trillingen op afstand van het spoor. Bij deze metingen is geen overdracht van de trillingen uit de grond naar de vloeren van de bebouwing in de omgeving van het spoor bepaald. Deze is van belang omdat uiteindelijk de trillingsniveaus in de panden op vloervelden beoordeeld dienen te worden.

Om dit aspect langs het tracé in de uitgangssituatie nader vast te leggen zijn trillingsmetingen uitgevoerd tussen eind 2014 en medio 2016, waarbij aan en in panden is gemeten. De metingen zijn uitgevoerd conform huidige Bts en de bijbehorende memo "Reparatie Bts" van Level Acoustics (zie bijlage A).

Voor de uitvoering van de metingen is 'optie 2' uit de aangegeven memo gekozen als uitvoeringsmethodiek. Deze optie bestaat uit het meten van trillingen gedurende minimaal een week op de fundering van het pand en 24 uur op de maatgevende vloer van een pand. Aan deze optie is de voorkeur gegeven boven optie 1 (minimaal 1 week meten op de vloer van een pand) om de volgende redenen:

- Er hoeft korter op de vloer te worden gemeten waardoor de belasting van bewoners lager is;
- Door metingen op de fundering uit te voeren, is een verstoring op de vloer niet maatgevend en wordt een minder verstoord beeld verkregen.

#### **Uitleg selectie meetlocaties (gidspannen, zie paragraaf 4.1 voor selectie en locatie)**

De locaties waar de trillingsmetingen worden uitgevoerd zijn gekozen langs de trajectdelen waar een (fysieke) wijziging aan de sporen plaatsvindt als gevolg van het project. Grofstoffelijk wordt op een tweetal locaties het spoor gewijzigd, ter hoogte van de nieuw aan te leggen zuidwestboog bij Meteren en in Vught (vierde spoor en verdiepte ligging).

#### *Zuidwestboog Meteren*

De zuidwestboog Meteren is gelegen in een landelijk gebied. In deze omgeving zijn vier panden gelegen, waarvan drie woningen. Op basis van gebruiksfunctie en ligging is gekozen voor een trillingsonderzoek aan de woning Zandweg 13 te Waardenburg.

#### *Waardenburg – 's-Hertogenbosch*

In het gebied tussen Meteren en 's-Hertogenbosch is op verschillende locaties woonbebouwing langs het spoor gelegen. Op dit tracé-deel is geen fysieke wijziging gepland aan de sporen, maar zal wel een stijging van het aantal goederentreinen optreden. Om deze reden zijn er in dit gebied 3 locaties gekozen: Pompstraat 6 in Waardenburg, Vlierdseweg 4 in Bruchem en Stationsweg 11 in Hedel.

Daarnaast was op basis van het tracébesluit Sporen in Den Bosch een hoge waarde voor de trillingssterkte  $v_{max}$  geprognoseerd voor de bebouwing nabij de overweg Orthen in 's-Hertogenbosch. Om deze reden is op deze locatie een aanvullende trillingsonderzoek uitgevoerd aan de panden Orthen 156 en Orthen 162 te 's-Hertogenbosch.

### *'s-Hertogenbosch, vierde spoor*

Voor het spoor tussen 's-Hertogenbosch en Vught aansluiting worden de huidige drie sporen aan de westzijde uitgebreid met een vierde spoor. In 2011 is een Tracébesluit (SiDB) vastgesteld, waar onder andere het emplacement van station 's-Hertogenbosch in is opgenomen. Omdat er ten behoeve van het TB SiDB trillingsmetingen zijn uitgevoerd moeten deze (conform Bts) ook opgenomen worden als referentie situatie (2009) voor het OTB PHS Meteren Boxtel. In 2009 zijn er trillingsmetingen uitgevoerd ter hoogte van het emplacement in 's-Hertogenbosch:

- Overdrachtsmeting gedurende 30 minuten ten behoeve van  $H_{\text{gebouw}}$  aan de woningen Maijweg 57, Maijweg 75 en Bordeslaan 28;
- Referentiemeting gedurende 9 dagen aan fundering: Essent gebouw, Willemsplein 4;
- Raaimeting gedurende een halve dag: Sint Lucasstraat.

De gedeelten die ten behoeve van het vierde spoor onvoldoende in kaart zijn gebracht zijn de kantoren aan de westzijde van het emplacement 's-Hertogenbosch (Paleiskwartier zuid) en de bebouwing in de wijk Vughterpoort aan de oostzijde van het spoor. Deze laatste bebouwing is ten zuiden van het plangebied van het Tracébesluit Sporen in 's-Hertogenbosch gelegen. Aanvullende metingen voor de kantoren ter hoogte van het Paleiskwartier zuid en Vughterpoort zijn uitgevoerd bij de kantoren Magistratenlaan 138 en Willem van Oranjelaan 67.

### *Vught, vierde spoor en verdiepte ligging*

In Vught is veel verschillende woonbebouwing dicht op het spoor gelegen. Om van de verschillende typen bebouwing inzicht te verkrijgen in de trillingssterkte dienen er trillingsmetingen conform de Bts te worden uitgevoerd. Om een eerste onderscheid te maken is de bebouwing ingedeeld op leeftijd en op type gebouw in clusters, namelijk:

- Bebouwing van voor 1945, bestaand uit metselwerk
- Bebouwing tussen 1945 en 1974, bestaande uit metselwerk/hout
- Bebouwing tussen 1975 en 1999, bestaande uit metselwerk en betonbouw
- Bebouwing van >2000, bestaande uit metselwerk en betonbouw

In de gebieden die als industrieterrein zijn ingericht zijn ook woningen aanwezig. Omdat voor deze gebieden verwacht mag worden dat deze woningen mogelijk ook door andere (niet-spoor gerelateerde) trillingen worden aangeslagen zijn deze niet als maatgevende woning in de clustering van de woningen opgenomen. In deze woningen is de kans groot dat naast trillingen veroorzaakt door railverkeer ook trillingen veroorzaakt door industriële werkzaamheden worden gemeten waardoor de trillingsmetingen beïnvloed kunnen worden en mogelijk niet goed bruikbaar zijn voor het prognosemodel. Uiteraard worden deze panden wel in de toetsing en trillingsprognose opgenomen. Op de volgende locaties zijn in 2014-2016 trillingsmetingen aan de bebouwing uitgevoerd:

- Bouwjaar < 1945: Spoorlaan 8, Molevenseweg 87 en van Miertstraat 10;
- Bouwjaar 1945-1974: Willem III-laan 13, Rembrandtlaan 47, Pieter Bruegellaan 29, Isabellastraat 10, Spoorlaan 43;
- Bouwjaar 1975-1999: Spoorlaan 3 en Repelweg 195;
- Bouwjaar >2000: Margrietlaan 59 en Johan Frisolaan 33.

### *Esch*

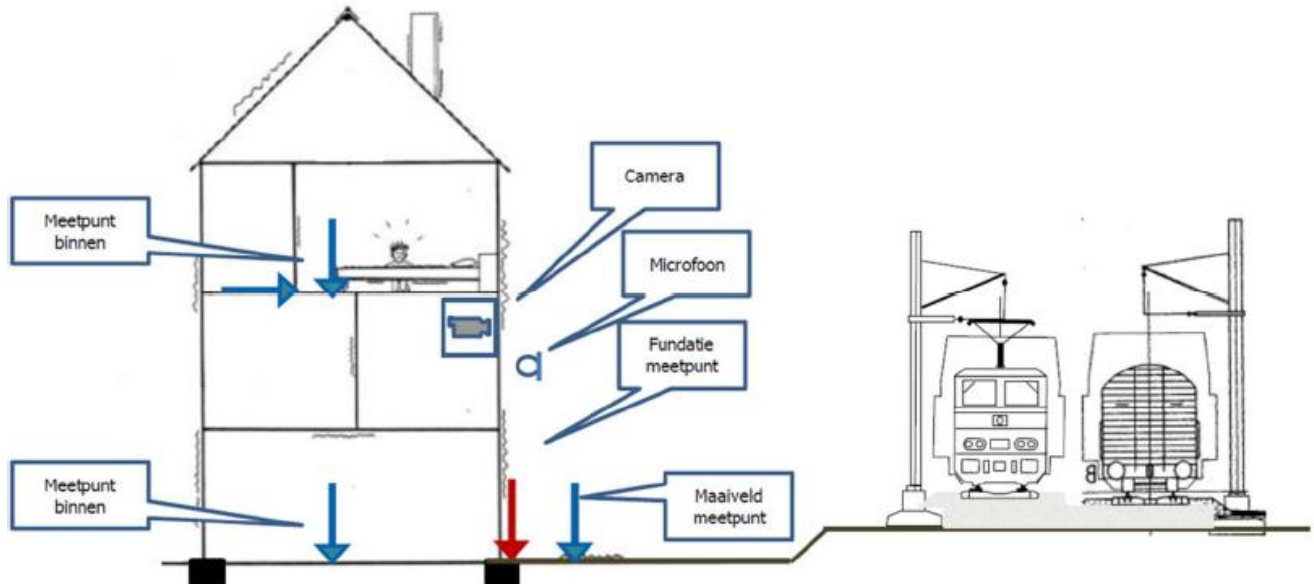
In het gebied tussen Vught en Boxtel is op enkele locaties woonbebouwing langs het spoor aanwezig. Op dit tracé is geen fysieke wijziging gepland aan de sporen, maar zal een stijging van het aantal goederentreinen optreden. Om deze reden is er in dit gebied een locatie gekozen, Heikant 2 in Esch.

### *Boxtel*

Bij Boxtel zijn geen fysieke wijzigingen gepland. Wel zal er door fysieke wijzigingen elders in Boxtel een ander spoorgebruik van goederentreinen optreden. Momenteel rijdt het merendeel van de goederentreinen over de westelijk gelegen sporen. In de toekomstige situatie zal dit grotendeels op de oostelijke sporen plaats hebben. Om dat dit mogelijk leidt tot een toename van trillingsniveaus zijn zekerheidshalve drie trillingsmetingen in Boxtel uitgevoerd. Hiervoor is gemeten aan de volgende panden, Spoorstraat 7, Spoorstraat 32 en Ridder van Cuijkstraat 33 te Boxtel. Het betreffen panden van verschillende bouwjaren om tevens het effect van het type woning op te kunnen nemen in het prognose model.

### Meetopstelling

Voor de overdracht van de trillingen van de bodem voor de bebouwing naar de vloer van de bebouwing en het bepalen van de actuele trillingsniveaus in de panden, zijn op een 17-tal locaties langs het traject Meteren Boxtel trillingsmetingen uitgevoerd. Hierbij is de volgende meetopstelling gehanteerd, zie Figuur 14.



Figuur 14 Meetopstelling meting aan bebouwing

Bij de bebouwing wordt er op vier locaties metingen uitgevoerd, gedurende een periode, namelijk:

- Voor het pand in de grond, gedurende minimaal 7 dagen (mits ruimte voor pand beschikbaar was);
- Aan de fundering (of aan de gevel), gedurende minimaal 7 dagen;
- Op de vloer van de benedenverdieping, gedurende minimaal 24 uur;
- Op de verdiepingsvloer, gedurende minimaal 24 uur.

Buiten de woning zijn er aan de spoorzijde tijdens de metingen geluid- en camera-opnames van

De treinpassages gemaakt. Deze geluid- en camera-opnames worden synchroon met de meetdata opgeslagen, zodat bij de analyse achteraf gecontroleerd kan worden of trillingen worden veroorzaakt door een treinpassage of door verstoringen.

### Resultaten trillingsmetingen

Door de gekozen meetopstelling is van iedere treinpassage zowel een geluidopname en een beeldopname beschikbaar, behalve enkele uitzonderingen waarbij de beeldopname geen informatie levert zoals bv in de nachtperiode. Met deze informatie zijn verstoringen van het meetsignaal door andere trillingsbronnen dan treinpassages bepaald en zijn vervolgens de verstoringen uit de data gefilterd. Voor de meting op de vloer zijn de meetwaarden ook gefilterd, op basis van een inspectie van de data en een logboekje dat de bewoners gedurende de meetperiode hebben bijgehouden.

Na het opschonen van de data is de  $H_{\text{bodem}}$  en de  $H_{\text{gebouw}}$  bepaald per octaafband. Hierin is:

- $H_{\text{bodem}}$  de overdrachtsfactor voor bodem naar fundering;
- $H_{\text{gebouw}}$  de overdrachtsfactor van fundering naar vloer.

In Tabel 23 zijn de waarden van  $H_{\text{bodem}}$  weergegeven voor de betreffende octaafband per Gidspand.

Tabel 23  $H_{bodem}$  per pand bepaald uit de trillingsmetingen

Octaafband	Gemeente	2 Hz	4 Hz	8 Hz	16 Hz	31 Hz	63 Hz
Zandweg 13	Waardenburg	1,27	1,08	1,11	0,77	0,58	0,54
Pompstraat 6	Waardenburg	1,04	1,09	1,11	0,64	0,71	0,54
Vlierdseweg 4	Bruchem	0,97	0,83	0,74	0,58	0,24	0,21
Stationsweg 11	Hedel	1,09	1,00	1,20	0,72	0,28	0,24
Orthen 156	's-Hertogenbosch	0,88	2,13	1,19	0,69	0,23	0,21
Orthen 162	's-Hertogenbosch	0,68	0,88	0,95	0,61	0,20	0,43
Willem van Oranjelaan 67	's-Hertogenbosch	0,53	1,09	1,03	0,44	0,16	0,22
Isabellastraat 10	Vught	0,25	0,82	1,72	0,58	0,21	0,21
Johan Frisolaan 33	Vught	0,50	0,84	1,28	0,72	0,41	1,12
Margrietlaan 59	Vught	0,56	1,00	0,83	0,32	0,56	0,43
Molenvenseweg 87	Vught	0,65	1,15	1,14	0,89	1,20	1,35
Spoorlaan 3	Vught	0,45	1,08	1,04	0,69	0,19	0,19
Spoorlaan 43	Vught	1,00	1,27	1,49	0,98	0,35	0,22
Pieter Bruegellaan 29	Vught	0,46	0,92	1,19	1,20	0,19	0,16
Rembrandtlaan 47	Vught	0,48	0,84	1,23	0,52	0,24	0,45
Repelweg 195	Vught	0,65	0,92	1,08	0,43	0,18	0,24
Van Miertstraat 10	Vught	0,63	1,04	1,22	0,97	0,17	0,17
Willem III-laan 13	Vught	0,45	0,63	0,85	0,52	0,14	0,28
Heikant 2	Esch	0,45	1,00	1,39	0,82	0,87	0,37
Ridder van Cuijkstraat 33	Boxtel	0,95	1,06	0,99	0,85	0,29	0,45
Spoorstraat 7	Boxtel	1,56	1,89	1,47	1,33	0,74	0,69
Spoorstraat 32	Boxtel	0,42	0,70	1,04	0,82	0,25	0,18

De overdrachtsfactor  $H_{gebouw}$  is zowel voor de begane grondvloer als voor een verdiepingvloer bepaald conform de memo "reparatie Bts" van Level Acoustics, deze zijn respectievelijk weergegeven in Tabel 24 en Tabel 25.

Tabel 24  $H_{\text{gebouw}}$  voor de begane grondvloer per pand bepaald uit de trillingsmetingen

Adres	Gemeente	2 Hz	4 Hz	8 Hz	16 Hz	31 Hz	63 Hz
Zandweg 13	Waardenburg	1,39	0,83	0,91	3,10	11,47	8,44
Pompstraat 6	Waardenburg	1,03	1,00	0,72	0,89	1,32	2,30
Vliedseweg 4	Bruchem	0,75	0,61	0,82	1,34	4,55	11,73
Stationsweg 11	Hedel	1,06	0,71	0,55	0,69	0,70	0,55
Orthen 156	's-Hertogenbosch	0,30	0,60	0,68	0,54	1,42	1,53
Orthen 162	's-Hertogenbosch	2,58	0,96	1,79	4,70	1,99	0,59
Magistratenlaan 138 *	's-Hertogenbosch	--	--	--	--	--	--
Maijweg 23	's-Hertogenbosch	1,22	1,02	1,07	1,47	2,78	9,89
Willem van Oranjelaan 67	's-Hertogenbosch	2,38	1,34	0,63	1,22	7,05	8,03
Isabellastraat 10	Vught	4,42	2,62	0,69	1,61	4,08	5,53
Johan Frisoiaan 33	Vught	1,98	1,00	0,78	0,85	1,08	0,83
Margrietlaan 59	Vught	1,54	1,16	0,92	0,72	0,69	1,24
Molenvenseweg 87	Vught	3,24	1,31	0,73	0,78	0,40	0,85
Spoorlaan 3	Vught	2,28	0,94	0,72	0,97	2,61	3,02
Spoorlaan 8	Vught	1,12	0,90	0,53	0,57	0,93	1,45
Spoorlaan 43	Vught	2,59	0,97	0,81	1,64	1,98	1,48
Pieter Bruegellaan 29	Vught	2,23	0,99	0,74	0,87	2,47	6,43
Rembrandtlaan 47	Vught	2,81	1,37	1,13	1,87	4,85	1,51
Repelweg 195	Vught	1,57	0,98	0,80	1,37	2,31	1,20
Van Miertstraat 10	Vught	1,63	1,05	0,73	0,80	3,71	6,92
Willem III-laan 13	Vught	2,44	1,84	0,90	0,90	0,72	0,68
Heikant 2	Esch	3,50	1,01	0,66	0,93	1,28	2,59
Ridder van Cuijkstraat 33	Boxtel	0,95	0,68	0,89	1,23	1,41	1,22
Spoorstraat 7	Boxtel	1,14	1,69	1,16	1,15	1,20	0,43
Spoorstraat 32	Boxtel	2,18	1,47	0,78	0,80	1,74	3,96

\* Op basis van een te laag meetsignaal kon niet conform de Bts een overdrachtsfactor worden bepaald

Tabel 25  $H_{\text{gebouw}}$  voor de verdiepingvloer per pand bepaald uit de trillingsmetingen

Octaafband	Gemeente	2 Hz	4 Hz	8 Hz	16 Hz	31 Hz	63 Hz
Zandweg 13	Waardenburg	1,23	1,01	1,13	3,35	15,69	8,93
Pompstraat 6	Waardenburg	1,21	1,24	1,78	4,38	3,36	0,88
Vliedseweg 4	Bruchem	0,83	0,8	1,02	1,32	5,98	6,54
Stationsweg 11	Hedel	1,39	0,87	0,75	1,56	2,17	3,48
Orthen 156	's-Hertogenbosch	1,19	1,51	1,32	1,81	3,62	1,65
Orthen 162	's-Hertogenbosch	3,17	18,7	1,5	5,51	10,47	1,57
Magistratenlaan 138 *	's-Hertogenbosch	--	--	--	--	--	--
Maijweg 23	's-Hertogenbosch	1,14	1,62	1,65	1,95	2,18	4,86
Willem van Oranjelaan 67	's-Hertogenbosch	6,65	2,88	2,60	3,41	7,64	2,93
Isabellastraat 10	Vught	2,97	5,28	1,96	1,67	1,55	1,01
Johan Frisolaan 33	Vught	2,77	1,42	0,80	0,67	1,32	0,40
Margrietlaan 59	Vught	1,54	1,16	0,92	0,72	0,69	1,24
Molenvenseweg 87	Vught	1,26	1,13	1,04	1,28	0,79	0,27
Spoorlaan 3	Vught	2,74	2,03	1,05	0,97	1,39	1,22
Spoorlaan 8	Vught	1,62	1,20	1,08	1,28	3,37	3,51
Spoorlaan 43	Vught	0,59	0,91	0,93	1,00	2,98	1,11
Pieter Bruegellaan 29	Vught	2,39	1,18	1,06	1,23	5,51	2,79
Rembrandtlaan 47	Vught	2,76	1,20	0,75	1,55	5,04	2,73
Repelweg 195	Vught	1,51	1,85	0,97	1,17	2,04	2,25
Van Miertstraat 10	Vught	1,77	1,27	1,54	4,58	7,39	3,54
Willem III-laan 13	Vught	1,84	1,62	1,71	2,63	1,95	1,47
Heikant 2	Esch	3,35	1,07	1,25	1,01	0,816	0,61
Ridder van Cuijkstraat 33	Boxtel	1,21	0,89	2,07	2,14	1,51	0,99
Spoorstraat 7	Boxtel	1,77	1,52	1,24	1,1	0,96	0,54
Spoorstraat 32	Boxtel	2,65	1,73	1,82	3,05	3,02	1,82

\* Op basis van de meetresultaten kon niet conform de Bts een overdrachtsfactor worden bepaald

Na de bepaling van de  $H_{\text{gebouw}}$  wordt de toetswaarde van de trillingssterkte op de vloer  $V_{\text{max}}B_{\text{ts}}$  en de reproduceerbaarheid R per gidspand bepaald. In Tabel 26 is hiervan een samenvatting weergegeven.

Tabel 26 VmaxBts en R zijn voor de beide vloeren per pand bepaald o.b.v. de trillingsmetingen

Octaafband	Gemeente	VmaxBts Beg. grond	R [%] BG	VmaxBts Verdieping	R [%] Verd.	Vper
Zandweg 13	Waardenburg	0,20	9	<b>0,24</b>	<b>9</b>	0,01
Pompstraat 6	Waardenburg	0,34	12	<b>0,69</b>	<b>7</b>	0,04
Vlierdseweg 4	Bruchem	1,94	9	<b>2,16</b>	<b>8</b>	0,16
Stationsweg 11	Hedel	0,36	9	<b>0,67</b>	<b>9</b>	0,07
Orthen 156	's-Hertogenbosch	0,17	15	<b>0,28</b>	<b>3</b>	0,02
Orthen 162	's-Hertogenbosch	1,75	10	<b>2,86</b>	<b>9</b>	0,33
Magistratenlaan 138	's-Hertogenbosch	0,06	6	<b>0,06</b>	<b>6</b>	0,00
Willem van Oranjelaan 67	's-Hertogenbosch	0,82	8	<b>0,88</b>	<b>6</b>	0,02
Isabellastraat 10	Vught	<b>0,39</b>	<b>8</b>	0,37	4	0,04
Johan Frisolaan 33	Vught	0,20	5	<b>0,20</b>	<b>5</b>	0,01
Margrietlaan 59	Vught	0,24	8	<b>0,36</b>	<b>12</b>	0,04
Molenvenseweg 87	Vught	0,21	4	<b>0,33</b>	<b>11</b>	0,02
Spoorlaan 3	Vught	<b>0,62</b>	<b>9</b>	0,43	5	0,05
Spoorlaan 8	Vught	0,40	12	<b>0,87</b>	<b>9</b>	0,04
Spoorlaan 43	Vught	<b>0,42</b>	<b>5</b>	0,38	8	0,06
Pieter Bruegellaan 29	Vught	0,24	8	<b>0,33</b>	<b>8</b>	0,04
Rembrandtlaan 47	Vught	0,69	9	<b>0,69</b>	<b>9</b>	0,04
Repelweg 195	Vught	0,22	8	<b>0,27</b>	<b>11</b>	0,01
Van Miertstraat 10	Vught	0,28	11	<b>1,09</b>	<b>6</b>	0,08
Willem III-laan 13	Vught	0,19	4	<b>0,49</b>	<b>5</b>	0,03
Heikant 2	Esch	0,46	4	<b>0,65</b>	<b>5</b>	0,04
Ridder van Cuijkstraat 33	Boxtel	<b>0,44</b>	<b>8</b>	0,23	6	0,01
Spoorstraat 7	Boxtel	0,18	8	<b>0,21</b>	<b>10</b>	0,01
Spoorstraat 32	Boxtel	0,85	7	<b>1,18</b>	<b>5</b>	0,16

De gegevens uit Tabel 26 zijn gebruikt als invoerparameter voor de gidspannen, waarmee in het prognosemodel de trillingsniveaus zijn berekend voor de toekomstige situatie.

Het meetprotocol en de data interpretatie is afgestemd op de Bts methodiek. De toegepaste data-analyse is in het kader van de nadere analyse na afronding van de hermetingen uitgewerkt. De resultaten zijn toegevoegd in Bijlage B.

#### 4.4 Meetprotocol en interpretatie bijzondere metingen

Ter plaatse van spoorovergang Orthen (in 's-Hertogenbosch) is een trillingsmeting uitgevoerd om de invloed van de overweg op de trillingen veroorzaakt door de passage van spoorverkeer te bepalen. Het doel van het onderzoek is om na te gaan in hoeverre een spoorovergang een bepalende invloed heeft op de trillingen. Ten behoeve van dit onderzoek is er een trillingsmeting uitgevoerd door DGMR/Sensornet.

*De invloed van de overweg is bepaald door over een lengte van 50 m uit de overweg om de 10 m een meetopnemer (donkere oranje driehoekjes in*

Figuur 15) te plaatsen om de trillingen van het passerende spoorverkeer te monitoren en het verloop van de trillingen over de afstand vanaf de overweg en parallel aan het spoor in kaart te brengen. De meetraai is parallel aan het spoor en op 10 m uit het westelijke spoor op het maaiveld geïnstalleerd. Vervolgens heeft de meetopstelling ruim 24 uur in het veld gestaan om op deze wijze voldoende gegevens van passages van zowel reizigers- als goederentreinen te verzamelen.

Daarnaast zijn tevens metingen uitgevoerd aan twee panden nabij de overweg (Orthen 162 en Orthen 156). De beschrijving van deze metingen zijn opgenomen paragraaf 4.3. De metingen in de meetraai zijn op vergelijkbare wijze uitgevoerd als de BTS metingen in de nabijgelegen woningen om zo de data te kunnen correleren.



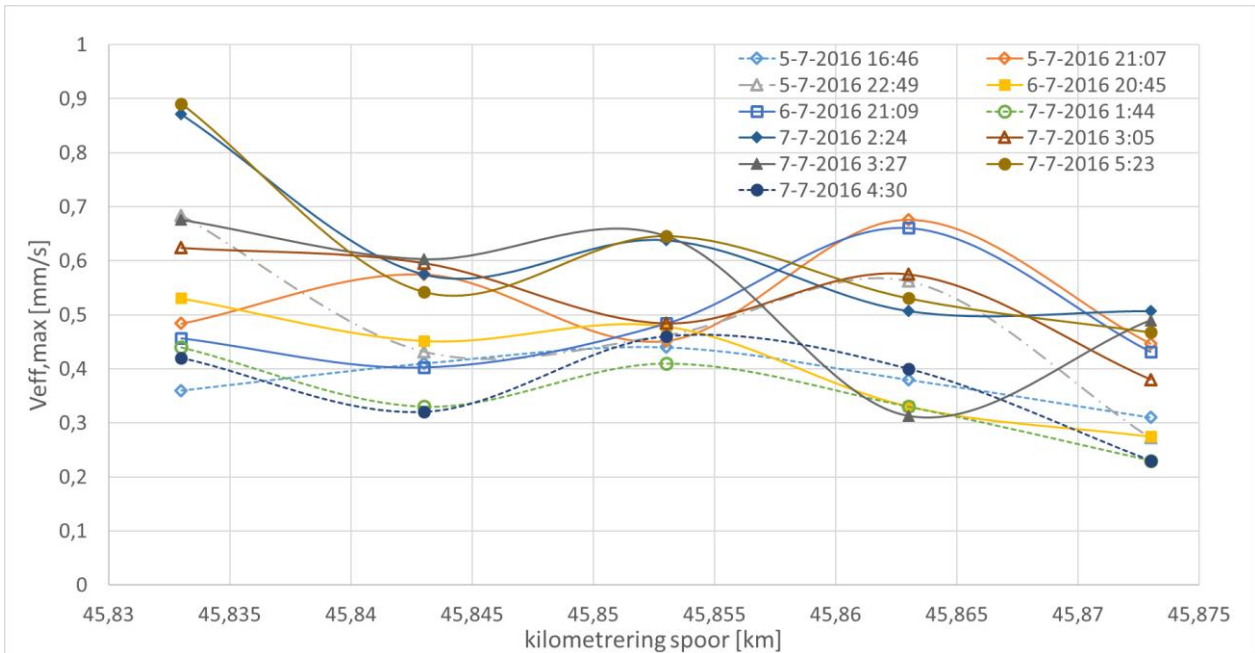
Figuur 15 Opzet trillingsmeting overweg Orthen

Bij de uitwerking van de meetdata zijn de volgende treinen uit de data geselecteerd ten behoeve van verdere analyse:

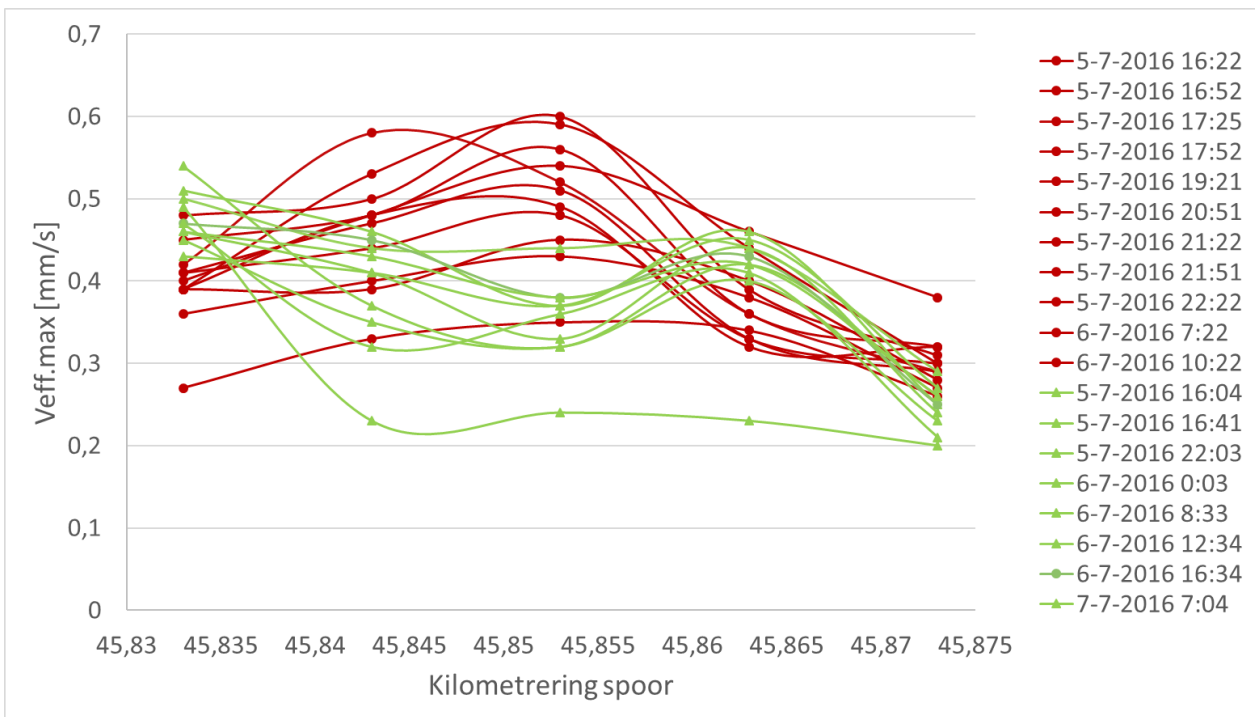
- 7 goederentreinen rijdend van Meteren naar Den Bosch
- 4 goederentreinen (waarvan 1 ingeschat op enkel audio-materiaal) rijdend van Den Bosch naar Meteren
- Per spoor 10 tot 11 intercity's, type ICM (eerste 10 tot 11 treinen uit de meetsessie)
- Per spoor 10 tot 11 sprinters (eerste 10 tot 11 treinen uit de meetsessie)

De signalen van de passages van het overige reizigersmaterieel zijn buiten beschouwing gelaten. Per typetrein is in grafiekvorm een overzicht gemaakt. Hierbij is in deze grafieken de kilometrerij uitgezet tegen de  $v_{eff,max}$  van de trein passages bepaald in de bodem, zie Figuur 16, Figuur 17, Figuur 18 voor de meetresultaten van de geselecteerde treinen.

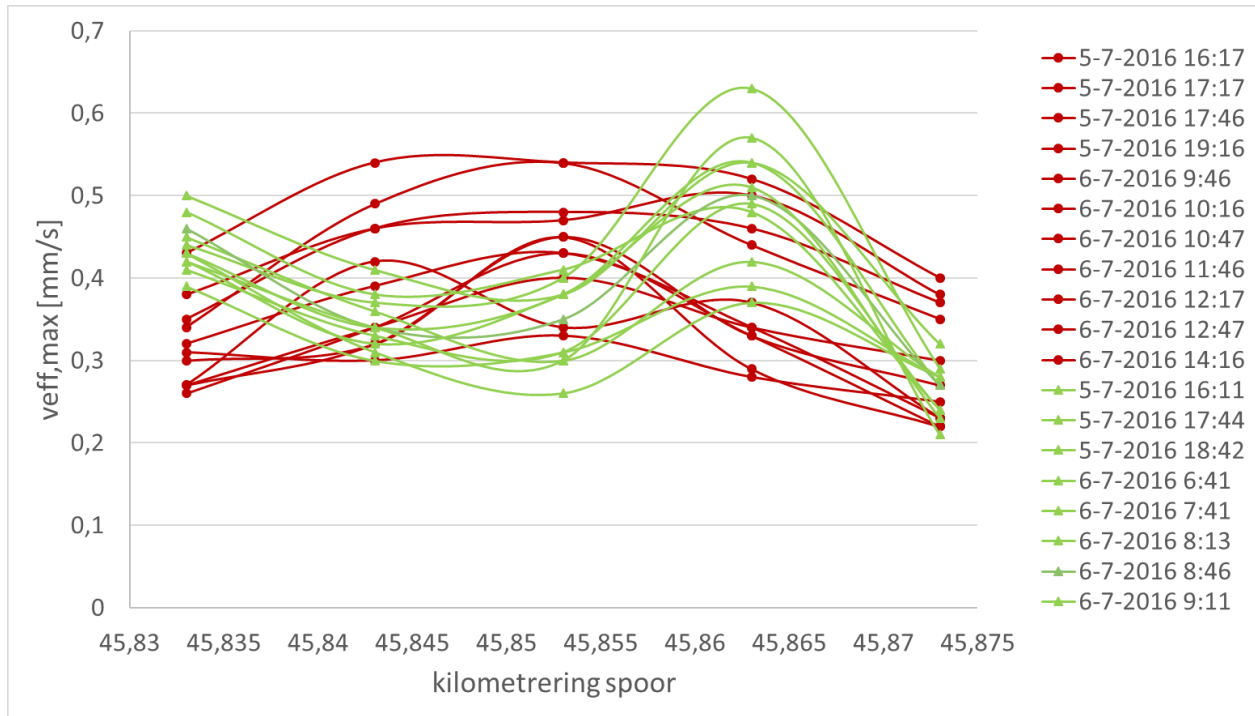




Figuur 16 Goederentreinen uit overweg meting Orthen (doorgetrokken streep treinen westelijk spoor, stippellijn oostelijk spoor)



Figuur 17 Spinters uit overweg meting Orthen (rode lijnen sprinters westelijk spoor, groene lijnen sprinters oostelijk spoor)



Figuur 18 Intercity materieel uit overweg meting Orthen (rode lijnen intercitys westelijk spoor, groene lijnen intercitys oostelijk spoor)

De bronsterkte van de trillingen die door de passage van een trein worden veroorzaakt is sterk afhankelijk van de omstandigheden in de ondergrond, van de bovenbouw van de baan en van het type treinen. Op basis van de uitgevoerde analyse op trillingsmetingen bij de overweg te Orthen wordt geconcludeerd dat de overwegconstructie op deze locatie geen significante invloed heeft op de bronsterkte van trillingen bij treinpassages.

#### 4.5 Interpretatie metingen SiDB (nul/hermetingen)

Ten behoeve van het Tracé Besluit SiDB zijn trillingsmetingen uitgevoerd in het gebied rondom het emplacement van station 's-Hertogenbosch. Hierbij is een op onderdelen van de Bts afwijkende methodiek toegepast. De gehanteerde methodiek is echter net als de Bts-methodiek gebaseerd op de toetswijze van de trillingen conform de SBR richtlijn Trillingen deel B "Hinder voor personen in gebouwen". De volgende metingen zijn uitgevoerd:

- Trillingsmetingen gedurende 9 dagen aan de fundering van de volgende panden:
  - Essent gebouw (Willemsplein 4)
  - Boschveldweg 455 (appartementencomplex)
- Trillingsmetingen gedurende 30 minuten ter bepaling van overdrachtsfactoren:
  - Bordeslaan 28
  - Boschveldweg 35
  - Boschveldweg 435
  - Boschveldweg 455
  - Fahrenheitstraat 18
  - Kemperlandstraat 133
  - Maijweg 57
  - Maijweg 75
  - Parallelstraat 72
  - Sint Lucasstraat 30

- Raaimeting gedurende een halve dag, ter bepaling dempende werking van de grond ter hoogte van de Sint Lucasstraat.
- Nulmeting gedurende 1 week ter hoogte van de woningen Maijweg 23 en Boschveldweg 37 – 83

De metingen ten behoeve van het Tracébesluit SiDB zijn uitgevoerd door TNO tussen 2009 en 2012. Tevens heeft TNO de interpretatie van de data uitgevoerd en een prognose opgesteld voor de toekomstige situatie. De meetgegevens van TNO zijn door Level Acoustics uitgewerkt conform de Bts. Een verslag van deze uitwerking is weergegeven in het rapport "Bts analyse trillingen SiDB", LA 150105.R01.0, 17 augustus 2015, Level Acoustics, De uitwerking levert de volgende resultaten op voor Hgebouw, zie Tabel 27.

Tabel 27  $H_{\text{gebouw}}$  voor de maatgevende vloer per pand bepaald uit de metingen

Octaafband	Gemeente	2 Hz	4 Hz	8 Hz	16 Hz	31 Hz	63 Hz
Bordeslaan 28	's-Hertogenbosch	1,40	1,20	1,60	2,30	4,20	1,20
Boschveldweg 35	's-Hertogenbosch	1,12	1,90	2,00	1,90	--	--
Boschveldweg 435	's-Hertogenbosch	0,98	1,00	0,87	0,95	--	--
Boschveldweg 455	's-Hertogenbosch	1,60	2,00	0,86	1,50	--	--
Fahrenheitstraat 18	's-Hertogenbosch	0,98	1,03	1,50	1,80	3,40	2,20
Kemperlandstraat 133	's-Hertogenbosch	4,00	4,00	1,60	2,90	--	--
Maijweg 57	's-Hertogenbosch	2,40	1,60	2,30	4,20	3,70	2,90
Maijweg 75	's-Hertogenbosch	0,99	0,96	1,50	2,10	1,80	4,10
Parallelweg 72	's-Hertogenbosch	0,97	1,05	1,30	2,40	2,60	3,80
Sint Lucasstraat 30	's-Hertogenbosch	1,02	0,97	1,07	1,30	--	--
Willemsplein 4 (Essent)	's-Hertogenbosch	--	--	--	--	--	--

Tevens is per meetlocatie voor de maatgevende vloer de  $V_{\text{max}}$ Bts en de reproduceerbaarheid R bepaald en weergegeven in Tabel 28.

Tabel 28 VmaxBts en R voor de maatgevende vloer per pand bepaald uit de metingen

Octaafband	Gemeente	V <sub>maxBts</sub>	R [%]	Opmerking
Bordeslaan 28	's-Hertogenbosch	0,15	6	--
Boschveldweg 35	's-Hertogenbosch	0,76	9	--
Boschveldweg 37-83	's-Hertogenbosch	0,15	15	Bepaald op fundering
Boschveldweg 435	's-Hertogenbosch	0,15	6	
Boschveldweg 455	's-Hertogenbosch	0,20 0,15	6 7	Referentiemeting
Fahrenheitstraat 18	's-Hertogenbosch	0,43	6	
Kemperlandstraat 133	's-Hertogenbosch	0,27	6	
Maijweg 23	's-Hertogenbosch	0,20	13	Bepaald op fundering
Maijweg 57	's-Hertogenbosch	1,20	6	
Maijweg 75	's-Hertogenbosch	0,45	6	
Parallelweg 72	's-Hertogenbosch	0,36	5	
Sint Lucasstraat 30	's-Hertogenbosch	0,14	7	
Willemsplein 4 (Essent)	's-Hertogenbosch	0,114	7	Referentiemeting Essent

Naast de metingen aan de bovengenoemde panden is er in 2009 een raaimeting op het maaiveld uitgevoerd. Hierbij zijn op verschillende afstanden trillingsopnemers opgesteld. Op basis van deze raaimeting is de demping van de ondergrond voor het emplacementsgebied bepaald, zie Tabel 29.

Tabel 29 Dempingsfactoren  $\alpha$  en  $n$  per locatie voor goederentreinen en passagierstreinen

Locatie	2 Hz		4 Hz		8 Hz		16 Hz		31 Hz		63 Hz	
	$\alpha$	$n$	$\alpha$	$n$	$\alpha$	$n$	$\alpha$	$n$	$\alpha$	$n$	$\alpha$	$n$
's-Hertogenbosch	0,00	0,1	0,00	0,1	0,00	0,1	0,01	0,1	0,01	0,1	0,01	0,1

Ten behoeve van het project sporen in 's-Hertogenbosch is in oktober-november 2015 een nameting uitgevoerd aan de panden waar in 2012 een nulmeting heeft plaatsgevonden. Dit leverde de volgende resultaten op voor Hgebouw voor de locatie Maijweg 23, zie Tabel 30.

Tabel 30 H<sub>gebouw</sub> voor de vloeren van de Maijweg 23 bepaald uit de metingen

Vloer	2 Hz	4 Hz	8 Hz	16 Hz	31 Hz	63 Hz
Begane grond	1,22	1,02	1,07	1,47	2,78	9,89
Verdiepingsvloer	1,14	1,62	1,65	1,95	2,18	4,86

In navolgende Tabel 31 zijn de resultaten voor VmaxBts en de bijbehorende reproduceerbaarheid R weergegeven voor de locaties van de nameting.

Tabel 31 VmaxBts en R voor de maatgevende vloer per pand bepaald uit de metingen

Octaafband	Gemeente	VmaxBts	R [%]	Opmerking
Maijweg 23	's-Hertogenbosch	0,18	9	
Boschveldweg 37-83	's-Hertogenbosch	0,23	7	Fundatiemeting

In het plangebied SiDB zijn op verschillende momenten trillingsonderzoeken uitgevoerd (2010, 2012, 2015). Hierdoor zijn de metingen niet een op een aan elkaar te koppelen.

Als volgt is omgegaan met de meetdata:

- Tracébesluit Sporen in 's-Hertogenbosch is voor dat gebied toegepast waar het besluit betrekking op had, zowel voor de demping als voor de bepaalde waarden van VmaxBts.
- De trillingsmetingen uit 2015 die aan de bebouwing zijn uitgevoerd dienen als bronwaarde voor de prognose.

## 4.6 Synchronisatie methoden van de diverse metingen

De verschillende trillingsonderzoeken zijn op verschillende momenten en niet alle volgens dezelfde methodiek uitgevoerd. Hierdoor zijn de metingen niet zondermeer vergelijkbaar en de uitkomsten onderling volledig uitwisselbaar en vergelijkbaar. Daarnaast is de data van de metingen uit 2013 niet uitgewerkt tot octaafbanden in tegenstelling tot de data van het Tracébesluit SiDB en de meetdata van de metingen uit 2015 en 2016. Als volgt is omgegaan met de meetdata:

- Metingen uit 2013 zijn uitsluitend gebruikt voor de bepaling van de dempende werking van de grond op de trillingssterkte voor die delen die niet tot Tracébesluit SiDB behoren.
- Tracé Besluit Sporen in 's-Hertogenbosch is voor dat gebied toegepast waar het besluit betrekking op had, zowel voor de demping als voor de bepaalde waarden van v<sub>max</sub>Bts.
- De trillingsmetingen uit 2015 en 2016 die aan de bebouwing zijn uitgevoerd dienen als bronwaarde voor de prognose.
- De bijzondere metingen dienen ter onderbouwing van gehanteerde modelfactoren.

## 5 SCHADE OF STORING DOOR TRILLINGEN IN PLANSITUATIE

De in het voorgaande omschreven werkwijze en uitgevoerde metingen zijn er op gericht om het aspect hinder door trillingen voor het project te kunnen beoordelen.

Naast hinderbeleving voor personen in de omgeving van het spoor is het risico van schade aan gebouwen en storing aan trillingsgevoelige apparatuur in algemene zin een aandachtspunt.

Ter beoordeling van dit risico wordt veelal gebruik gemaakt van de volgende richtlijnen:

- Trillingen, Schade aan gebouwen, meet- en beoordelingsrichtlijn, deel A, SBR augustus 2002
- Trillingen, Storing aan apparatuur, meet- en beoordelingsrichtlijn, deel C, SBR, augustus 2002

Voor gebouwen is er kans op schade indien karakteristieke grenswaarden voor de topwaarde van de trillingssnelheid, gemeten aan een gevel wordt overschreden. Deze karakteristieke grenswaarde is afhankelijk van het bouwtype en de maatgevende frequentie van de trillingen. In het frequentiedomein tot 50 Hz, hetgeen in de voorliggende situatie maatgevend is, is de laagste grenswaarde op begane grond niveau volgens de richtlijn 3,18 mm/s (voor een fundering op staal bij  $f = 50$  Hz). Bij lagere frequenties neemt de karakteristieke grenswaarde toe.

Hoewel de meet- en interpretatiemethodiek voor trillingen ten behoeve van schadebeoordeling afwijkt van de methodiek die voor hinder wordt gehanteerd, kan op basis van een vergelijking van de bovengenoemde grenswaarde voor schade aan gebouwen met de grens- en streefwaarden voor hinder (zie Tabel 1) worden geconcludeerd dat schade optreedt bij aanzienlijk hogere trillingsniveaus dan de grens- en streefwaarden voor hinder en daardoor niet maatgevend zijn.

Voor storing aan trillingsgevoelige apparatuur dient conform deel C van de SBR trillingsrichtlijn getoetst te worden aan de grenswaarden die in de vorm van een toelaatbare trillingssterkte voor afzonderlijke frequenties, dan wel als een toelaatbare trillingssterkte voor meerdere frequenties voor de specifieke apparatuur bekend is.

Er zijn langs het tracé geen trillingsgevoelige bedrijfsactiviteiten geïnterpreteerd, waarbij gebruik wordt gemaakt van trillingsgevoelige apparatuur zoals microscopen of andere optische onderzoekssystemen. Om die reden wordt storing aan apparatuur verder niet in de beoordeling betrokken.

## 6 BOUWTRILLINGEN TIJDENS UITVOERINGSFASE

De in de voorgaande hoofdstukken beschreven uitgangspunten en beoordelingsmethode hebben betrekking op trillingen veroorzaakt door railverkeer.

In de uitvoeringsfase van het project worden er fysieke aanpassingen aan de spoorinfra gerealiseerd, waarbij tevens civiel-technische bouwwerkzaamheden plaatsvinden, zoals de bouw van de verdiepte ligging te Vught.

Bij dergelijke bouwwerkzaamheden kunnen kortdurend trillingen ontstaan, bijvoorbeeld door het intrillen van damwanden of het heien van palen en passage van werkverkeer.

De SBR richtlijnen deel A t/m C geven een beoordelingskader aan waarbinnen het risico op schade en/of hinder klein is, middels grens- en streefwaarden voor dergelijke werkzaamheden.

Uitgangspunt is dat deze richtlijnen van toepassing zullen worden verklaard voor de uitvoerende partij(en) van genoemde werkzaamheden. Dat betekent dat de uitvoerende partijen zorg dienen te dragen voor een uitvoeringsmethodiek waarbij de trillingsniveaus in de omgeving zodanig worden beperkt dat de grens- en streefwaarden in genoemde richtlijnen niet worden overschreden. Deze partijen zullen de toe te passen werkmethode en uitvoeringstechnieken hierop moeten afstemmen.

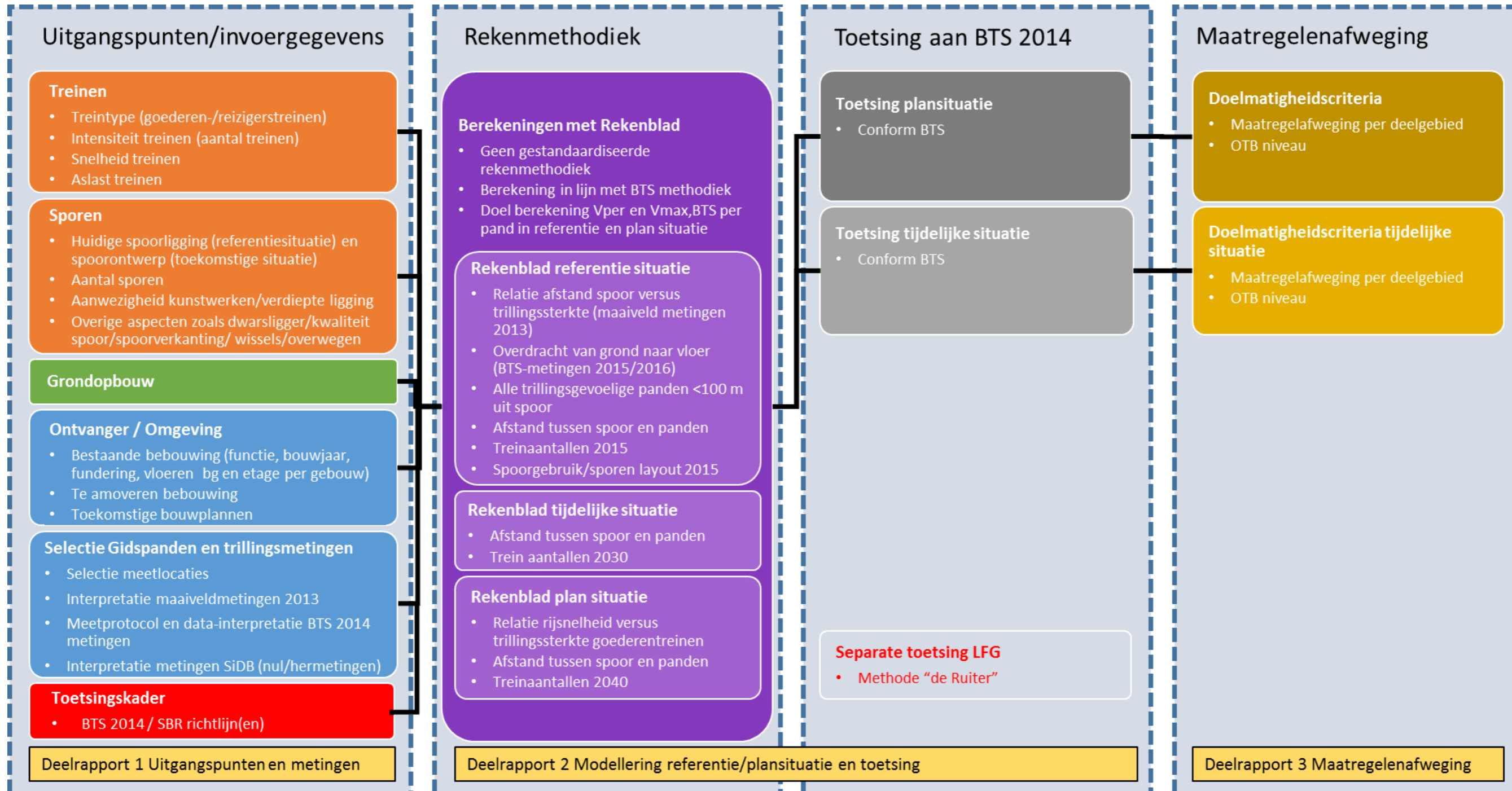
Een beoordeling van de trillingen door deze activiteiten gedurende de uitvoering maakt om die reden geen onderdeel uit van de trillingsanalyse ten behoeve van het OTB.





## BIJLAGE A SCHEMATISCH OVERZICHT INHOUD DEELRAPPORTEN

## TRILLINGEN

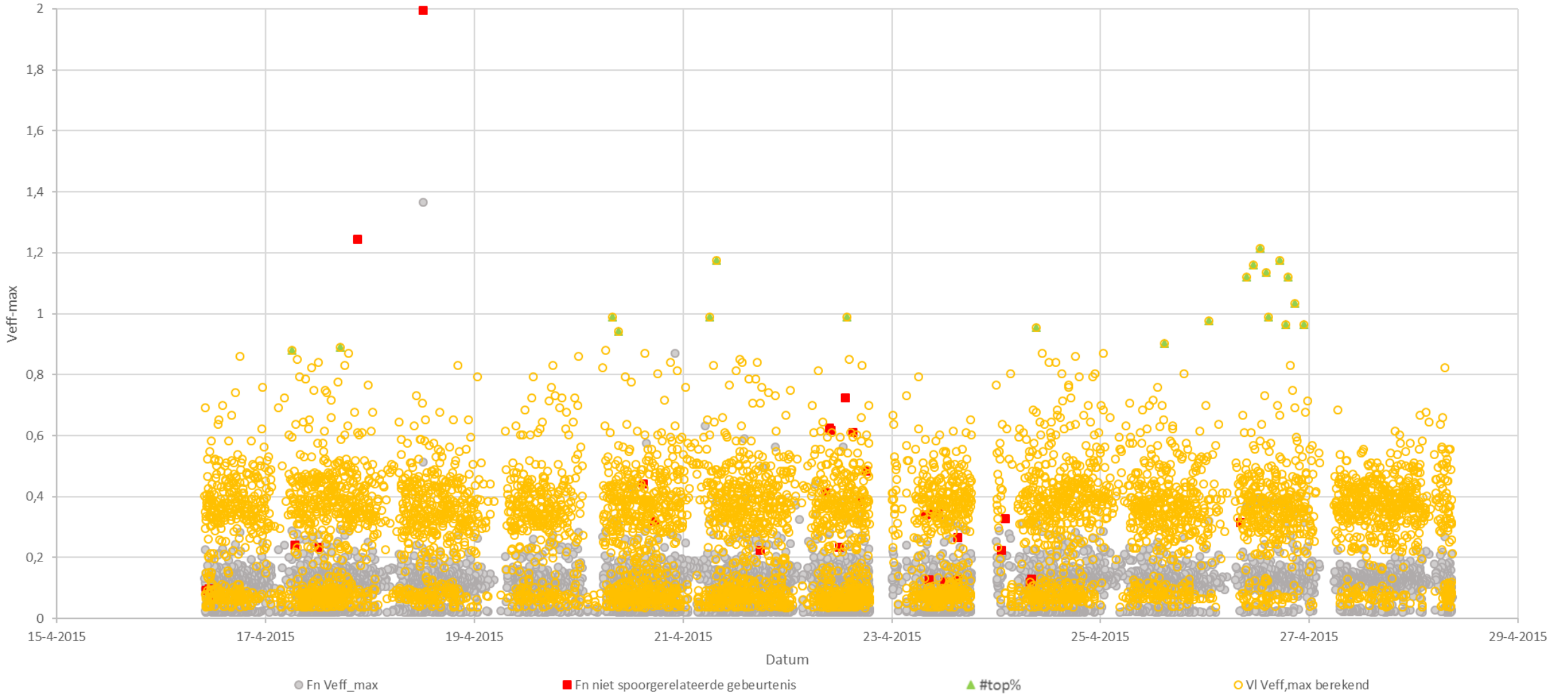




## BIJLAGE B RESULTATEN TRILLINGSMETINGEN GIDSPANDEN PHS METEREN-BOXTEL EN REPARATIE BTS

- 1) Grafieken met resultaten trillingsmetingen per gidspand metingen Bts metingen
  
- 2) Memo "Reparatie Bts", projectnummer LA.131001a.M04, 26 februari 2014, Level Acoustics

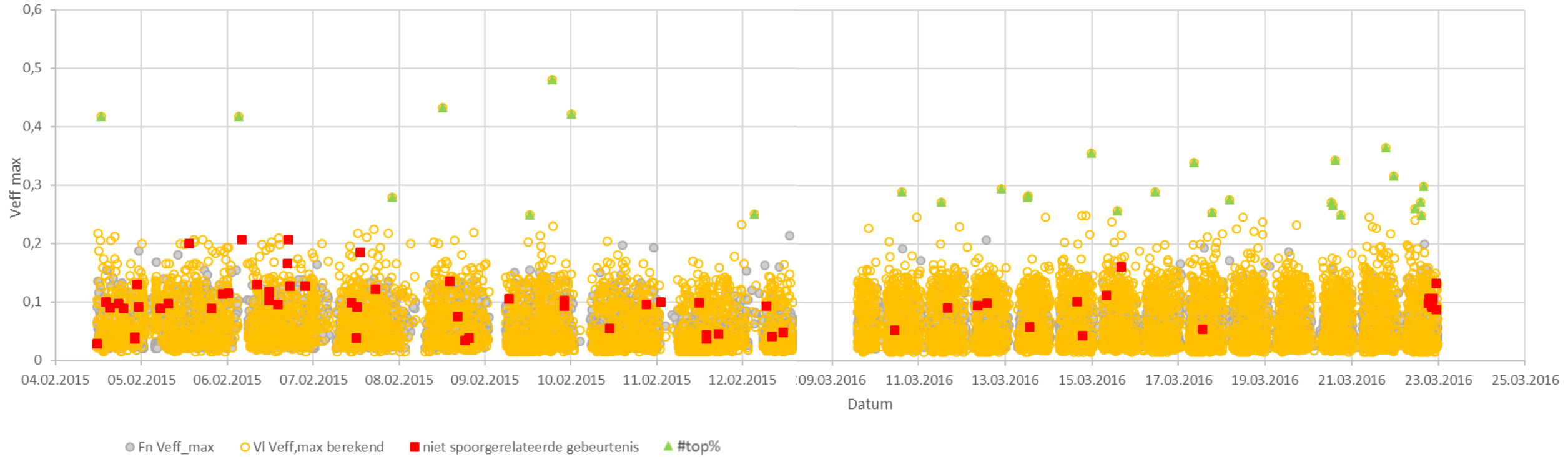
### Spoorstraat 32 Boxtel, Slaapkamer



## Spoorstraat 32, Boxtel

Maatgevende vloer	Slaapkamer
Vmax BTS	1,18
X(%)	20
Top%	3,2%
$\mu$	0,023
$\sigma$	0,098
$\beta$	1,42
R	5 %
Vper	0,16

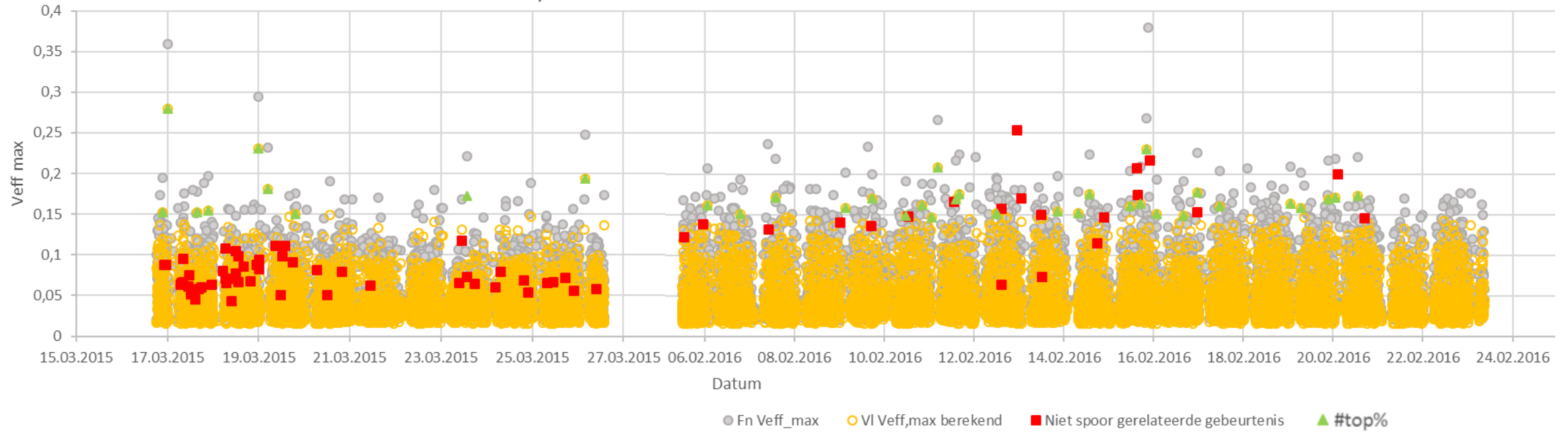
Isabellastraat 10 Woonkamer  
2015/2016



## Isabellastraat 10 Vught

Maatgevende vloer	Woonkamer
Vmax BTS	0,39
X(%)	24
Top%	3,2%
$\mu$	-1,154
$\sigma$	0,190
$\beta$	1,164
R	8 %
Vper	0,04

Johan Frisolaan 33  
2015/2016

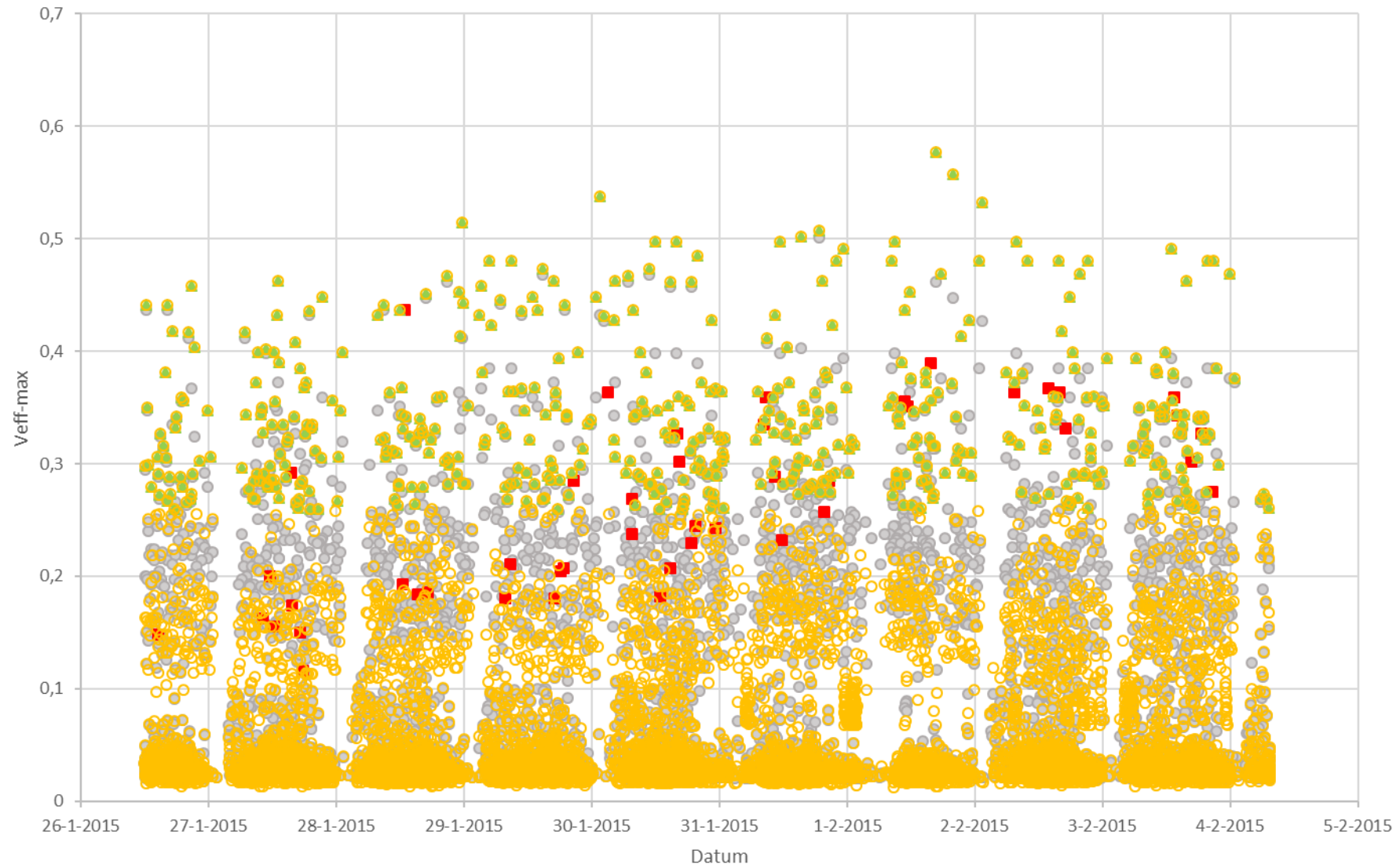




## Johan Frisolaan 33 Vught

Maatgevende vloer	Slaapkamer
Vmax BTS	0,20
X(%)	36
Top%	3,2%
$\mu$	-1,782
$\sigma$	0,140
$\beta$	1,250
R	5 %
Vper	0,01

# Heikant 2 Esch Voorkamer 1e verdieping



● Fn Veff\_max

■ Fn niet spoogerelateerde gebeurtenis

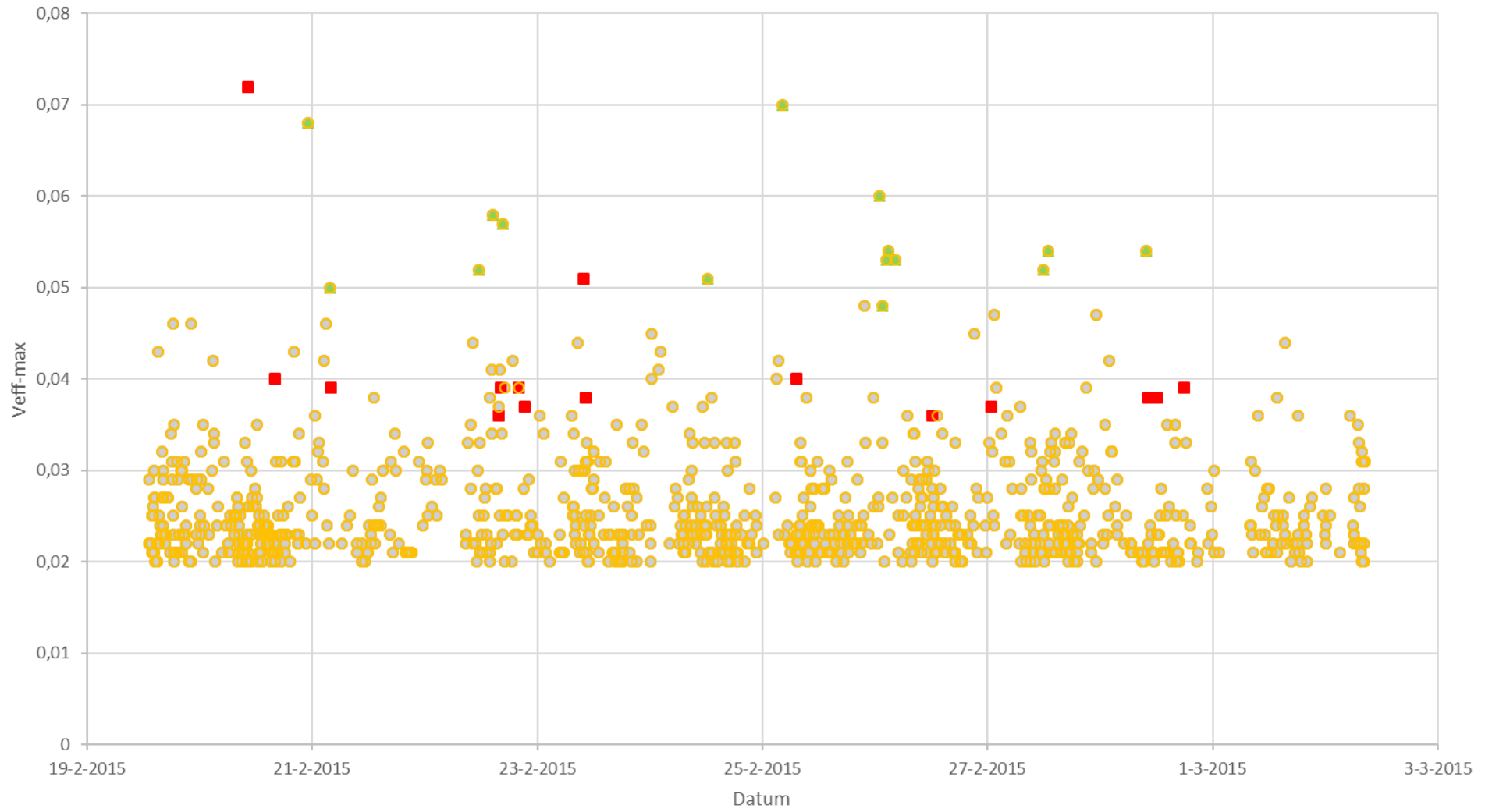
▲ #top%

○ VI Veff,max berekend

## Heikant 2 Esch

Maatgevende vloer	Slaapkamer
Vmax BTS	0,65
X(%)	490
Top%	50 %
$\mu$	-1,184
$\sigma$	0,268
$\beta$	2,81
R	5 %
Vper	0,04

# Magistratenlaan 138 Den Bosch, Woonlaag 8



● Fn Veff\_max

■ Fn niet spoorgerelateerde gebeurtenis

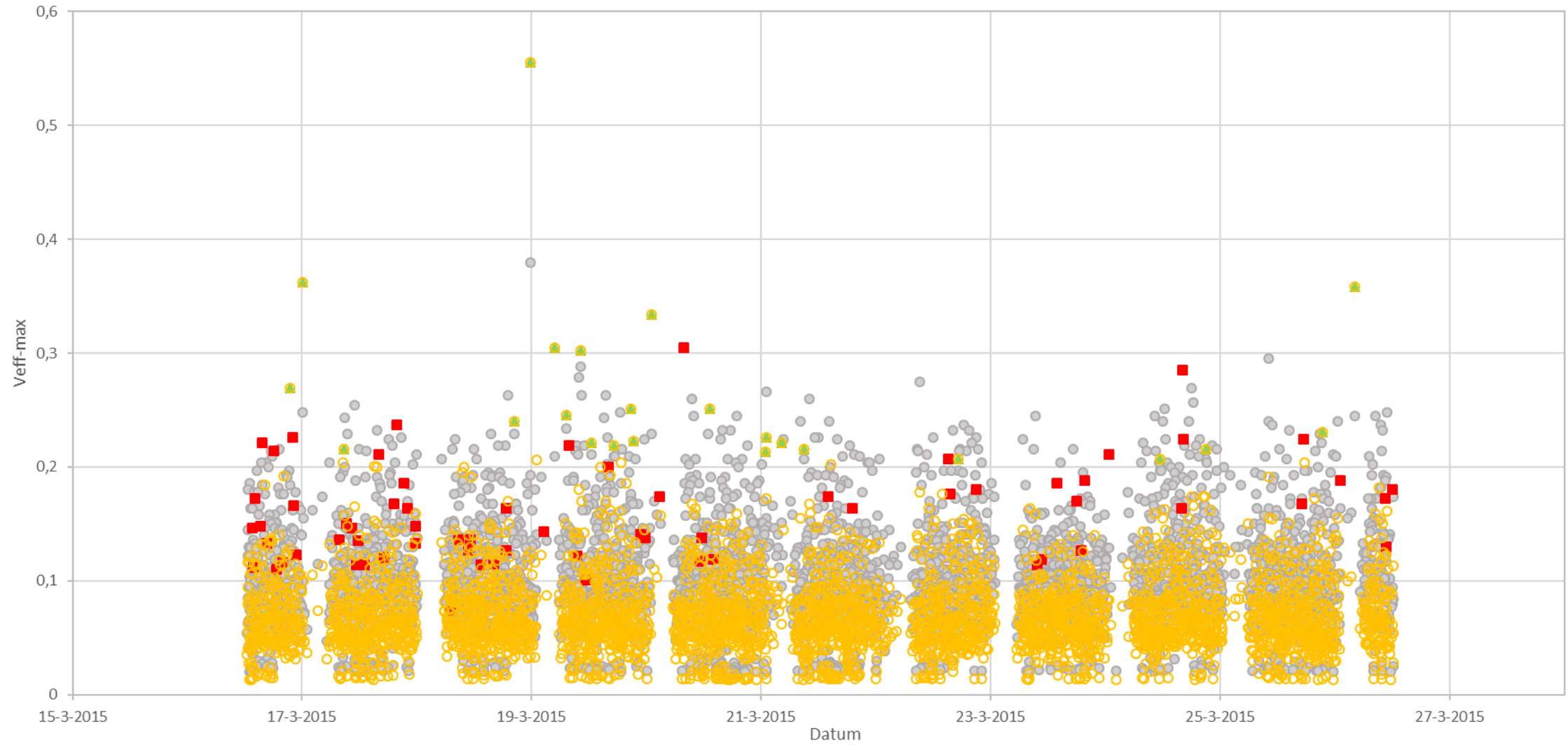
▲ #top%

○ VI Veff,max berekend

**Magistratenlaan 138 Verdieping 8 (Hgebouw =1)  
Den Bosch**

Maatgevende vloer	Woonkamer
Vmax BTS	0,06
X(%)	15
Top%	25 %
$\mu$	-2,9
$\sigma$	0,1
$\beta$	1,32
R	6 %
Vper	0,00

# Magrietlaan 59 Vught, Slaapkamer



●  $F_n$   $V_{eff,max}$

■  $F_n$  niet spoorgerelateerde gebeurtenis

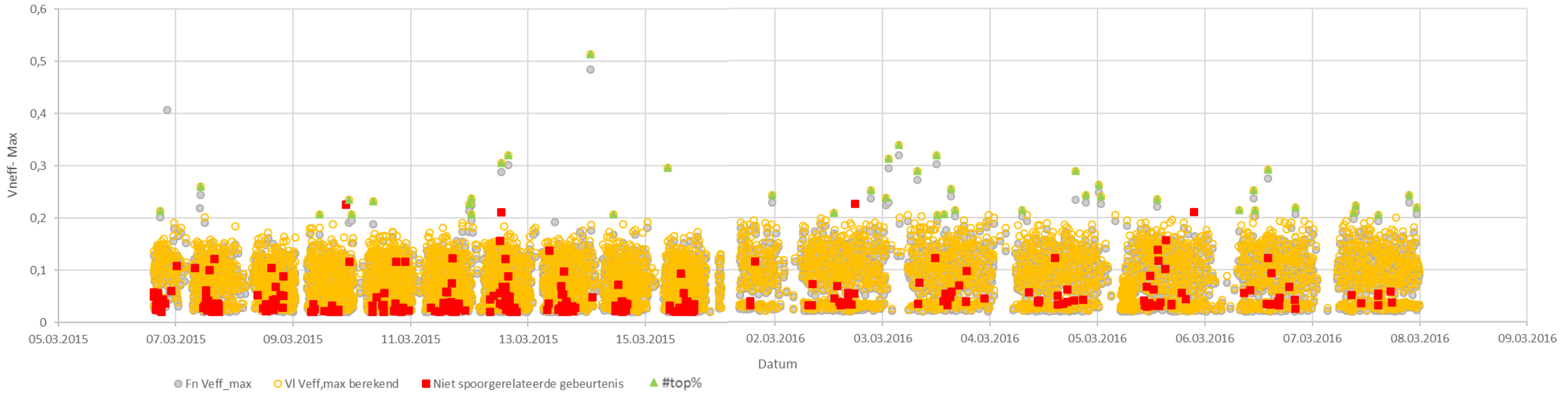
▲  $\#top\%$

○  $V_{eff,max}$  berekend

## Margietlaan 59 Vught

Maatgevende vloer	Slaapkamer
Vmax BTS	0,36
X(%)	28
Top%	3,2%
$\mu$	-1,4
$\sigma$	0,232
$\beta$	1,7
R	12 %
Vper	0,04

# Pieter Bruegellaan 29 Slaapkamer

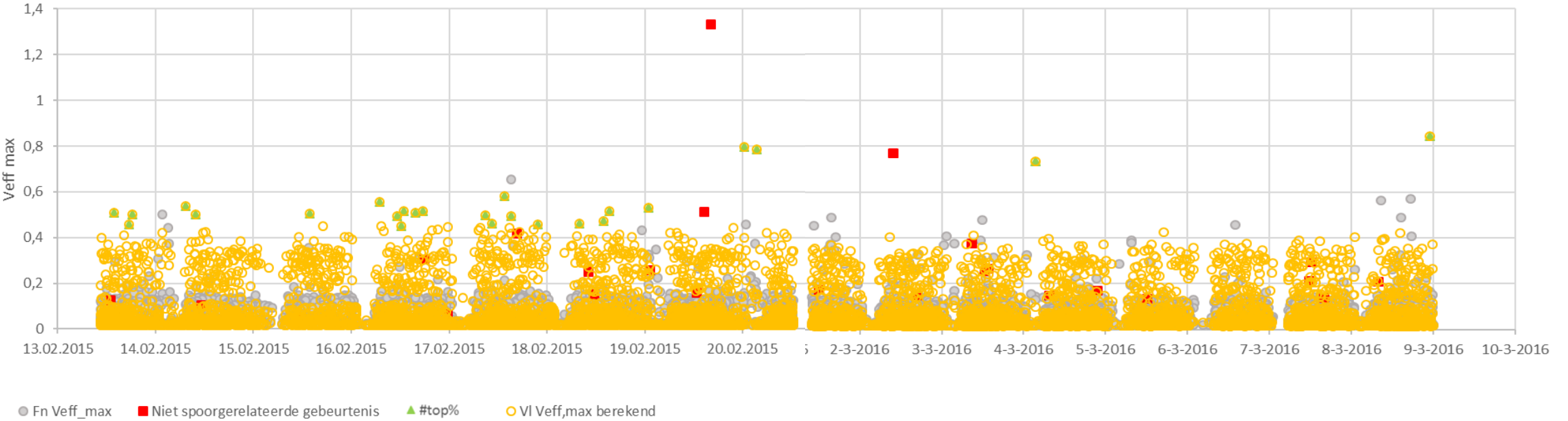




## Pieter Bruegellaan 29 Vught

Maatgevende vloer	Slaapkamer
Vmax BTS	0,33
X(%)	40
Top%	3,2%
$\mu$	-1,4
$\sigma$	0,184
$\beta$	1,615
R	8 %
Vper	0,04

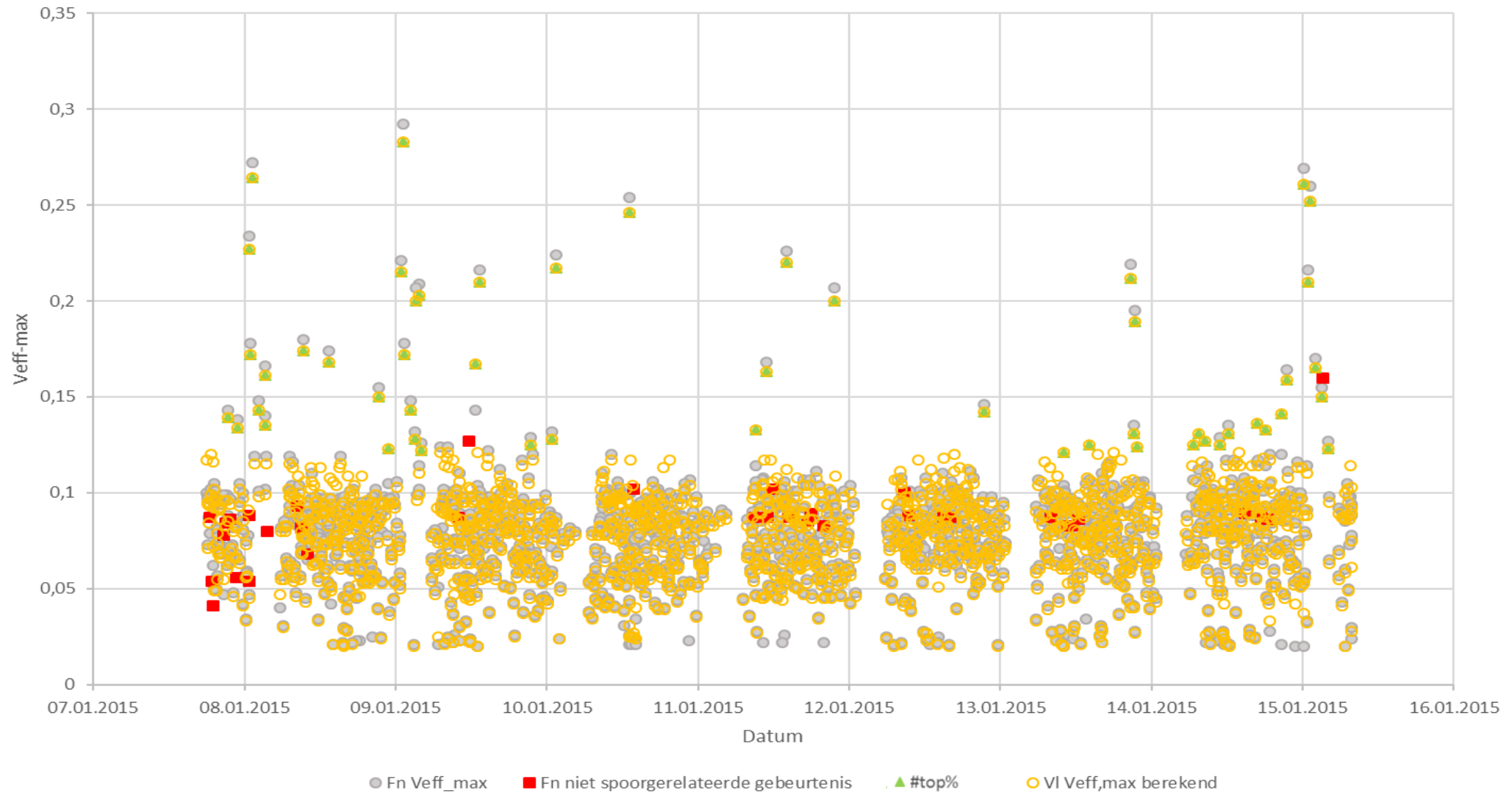
### Rembrandtlaan 47 Wachtkamer 2015/2016



## Rembrandtlaan 47 Vught

Maatgevende vloer	Wachtkamer
Vmax BTS	0,69
X(%)	25
Top%	3,2%
$\mu$	-0,621
$\sigma$	0,179
$\beta$	1,423
R	9 %
Vper	0,04

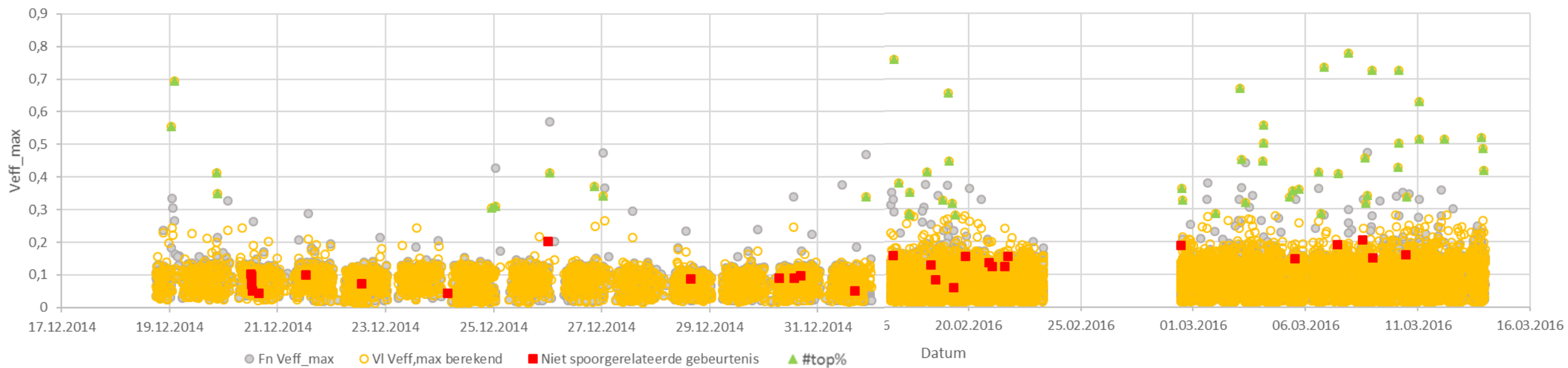
# Repelweg 195



## Repelweg 195 Vught

Maatgevende vloer	Slaapkamer
Vmax BTS	0,27
X(%)	51
Top%	12,5%
$\mu$	-1,816
$\sigma$	0,245
$\beta$	2,08
R	11 %
Vper	0,01

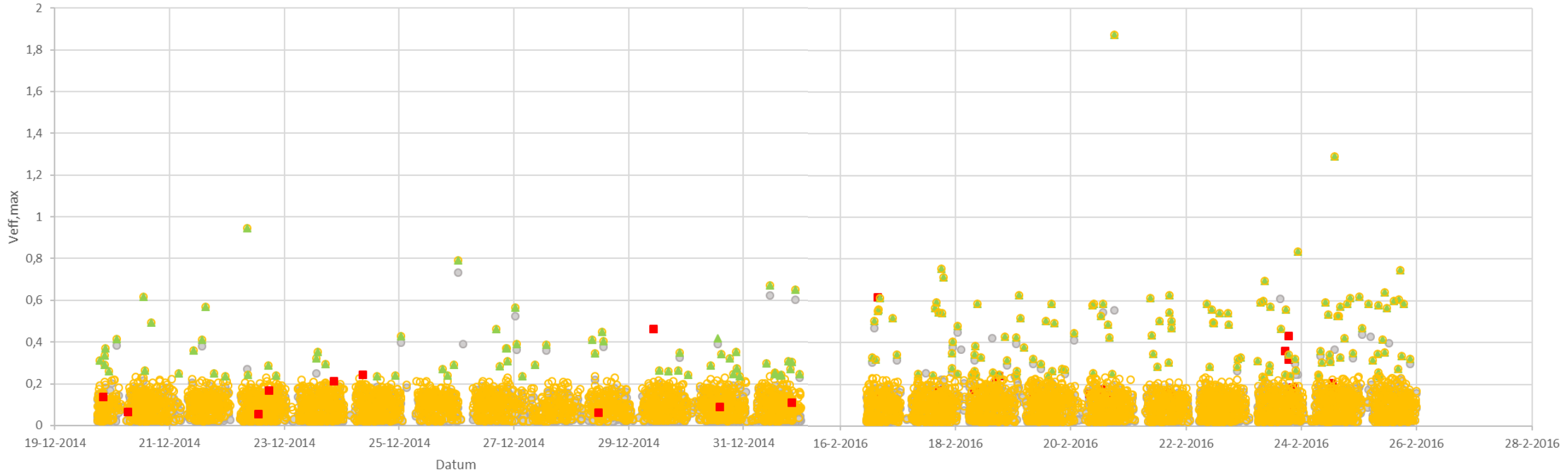
### Spoorlaan 3 Woonkamer 2014/2016



## Spoorlaan 3 Vught

Maatgevende vloer	Slaapkamer
Vmax BTS	0,62
X(%)	49
Top%	1,6%
$\mu$	-0,832
$\sigma$	0,287
$\beta$	1,212
R	9 %
Vper	0,05

# Spoorlaan 8 Vught, Slaapkamer



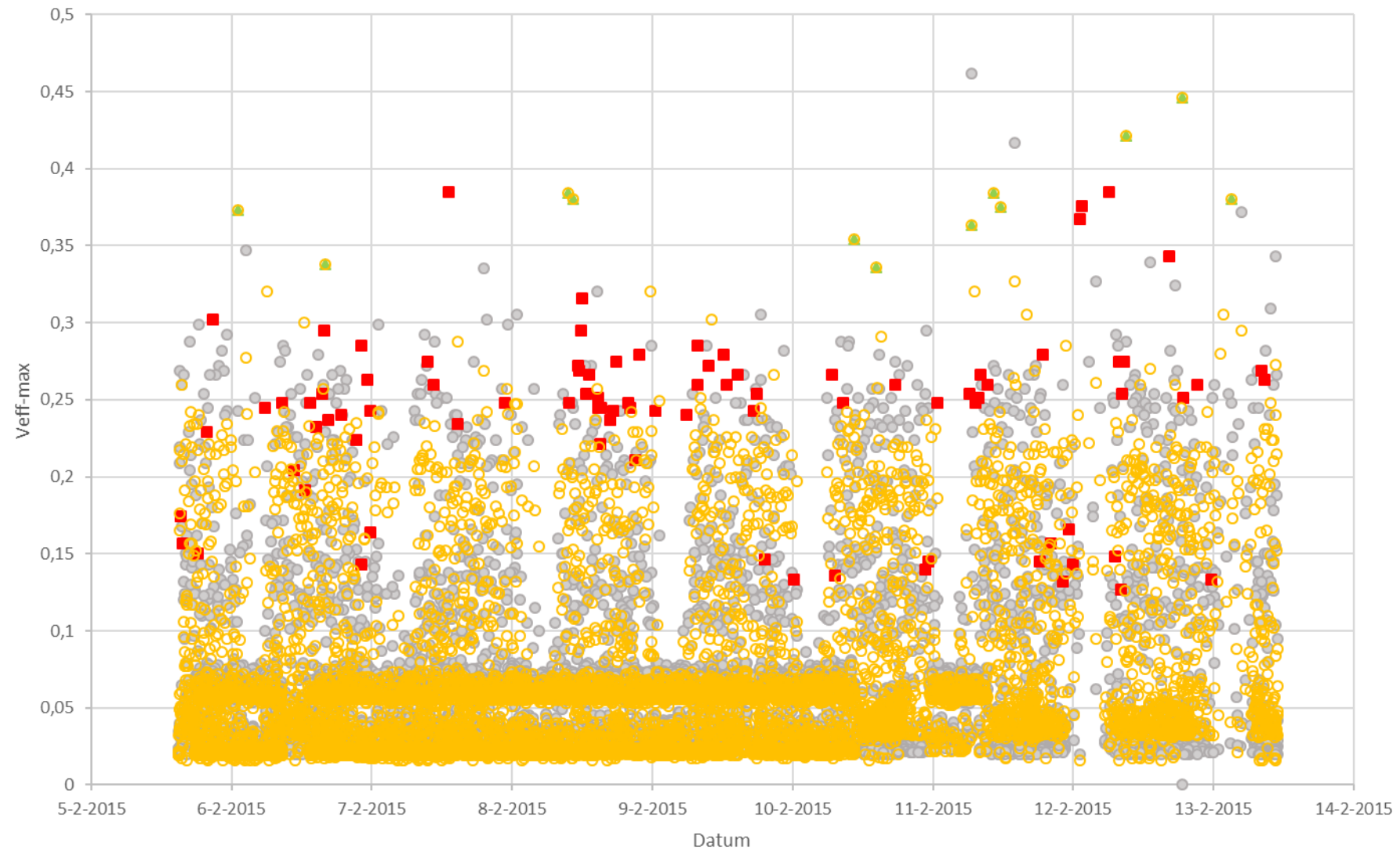
●  $F_n V_{eff,max}$     ●  $V_I V_{eff,max}$  berekend    ■ niet spoogerelateerde gebeurtenissen    ▲ #top%



## Spoorlaan 8 Vught

Maatgevende vloer	Slaapkamer
Vmax BTS	0,87
X(%)	211
Top%	12,5%
$\mu$	-0,986
$\sigma$	0,384
$\beta$	2,2
R	9 %
Vper	0,04

# Spoorlaan 43, Vught Woonkamer



●  $F_n V_{eff\_max}$

■  $F_n$  niet spoogerelateerde gebeurtenis

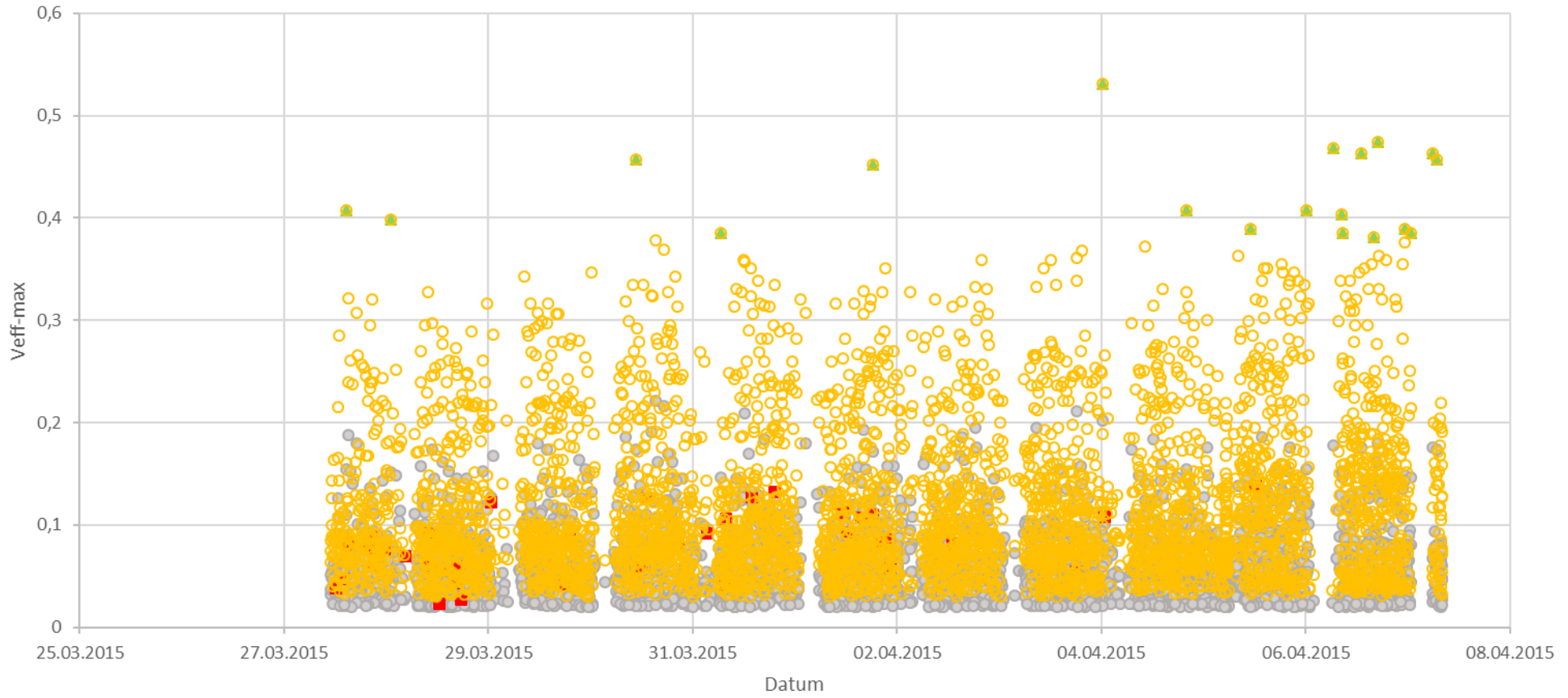
▲  $\#top\%$

○  $VI V_{eff,max}$  berekend

## Spoorlaan 43 Vught

Maatgevende vloer	Woonkamer
Vmax BTS	0,42
X(%)	12
Top%	6,3%
$\mu$	-0,975
$\sigma$	0,077
$\beta$	1,4
R	5 %
Vper	0,06

# Willem III-Laan 13

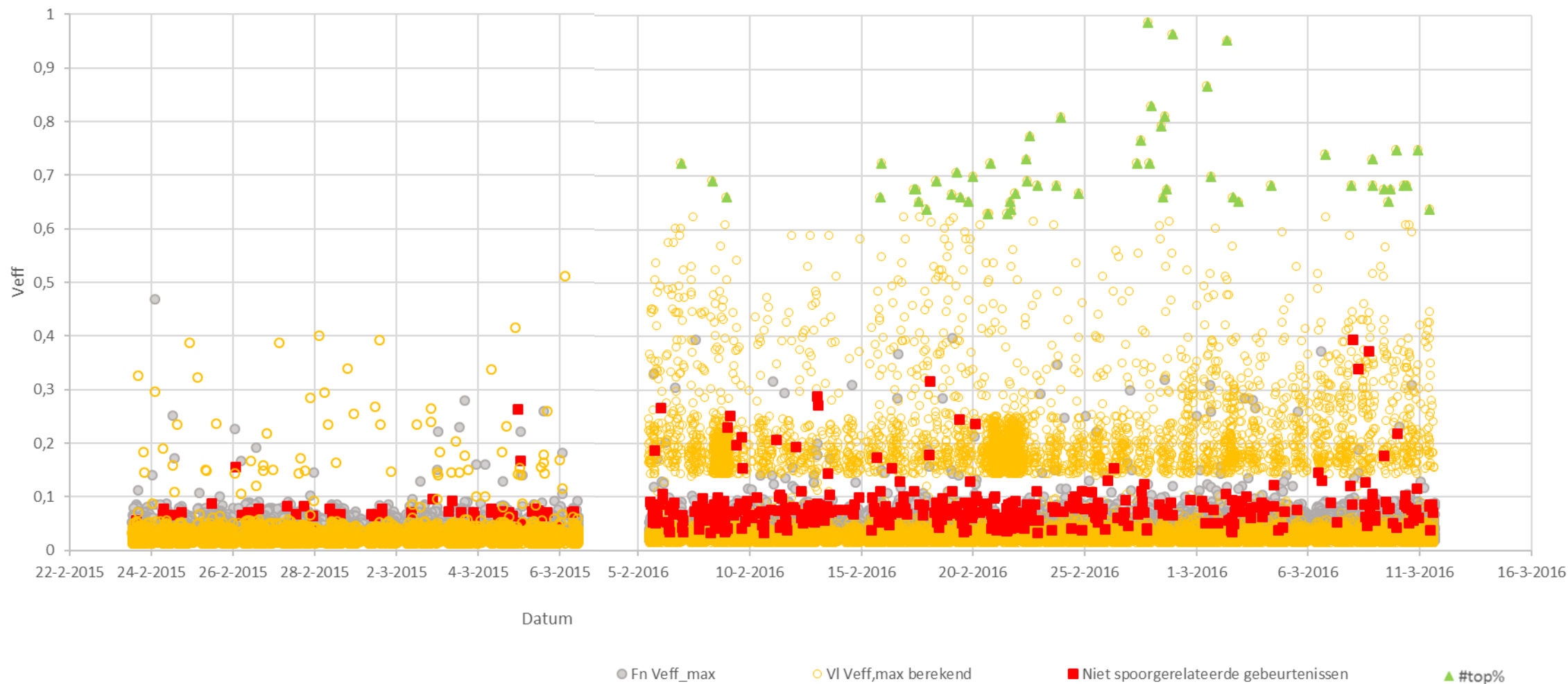


● Fn Veff\_max    ■ Fn niet spoogerelateerde gebeurtenis    ▲ #top%    ○ VI Veff,max berekend

## Willem III –Laan 13 Vught

Maatgevende vloer	Slaapkamer
Vmax BTS	0,49
X(%)	19
Top%	3,2%
$\mu$	-0,856
$\sigma$	0,094
$\beta$	1,45
R	5 %
Vper	0,03

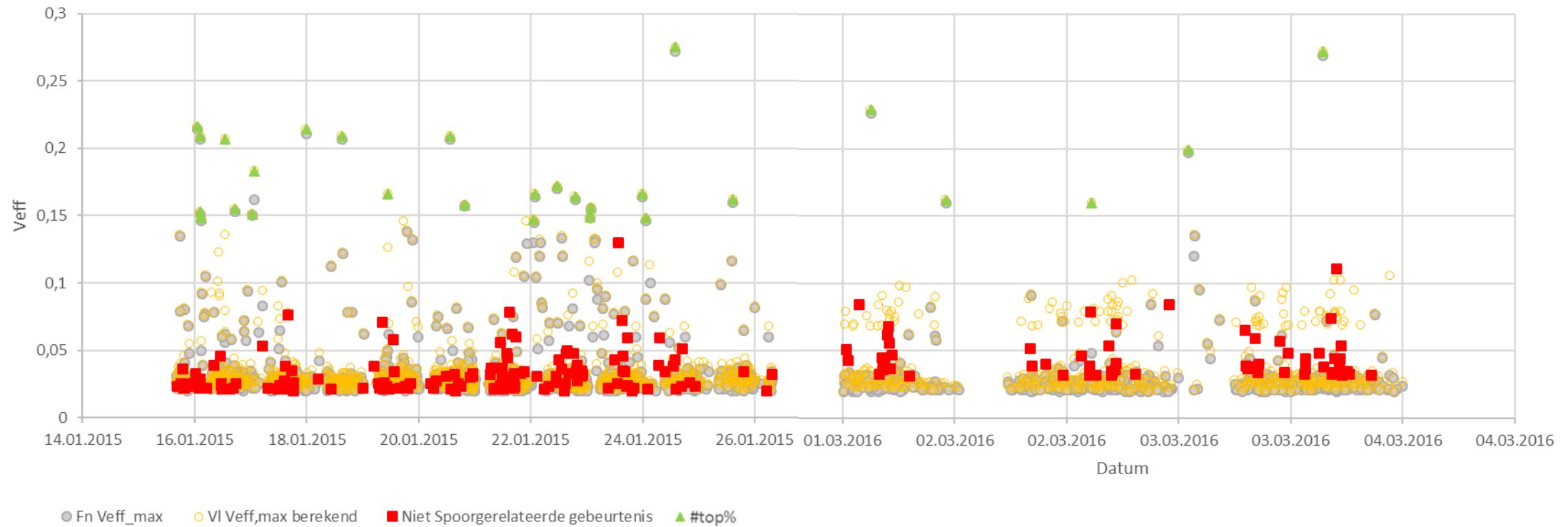
# Willem van Oranjelaan 67 Den Bosch, Slaapkamer



## Willem van Oranjelaan 67 Den Bosch

Maatgevende vloer	Slaapkamer
Vmax BTS	0,88
X(%)	56
Top%	3,2 %
$\mu$	-0,38
$\sigma$	0,214
$\beta$	1,200
R	6 %
Vper	0,02

Zandweg 13  
2015/2016





## Zandweg 13 Waardenburg

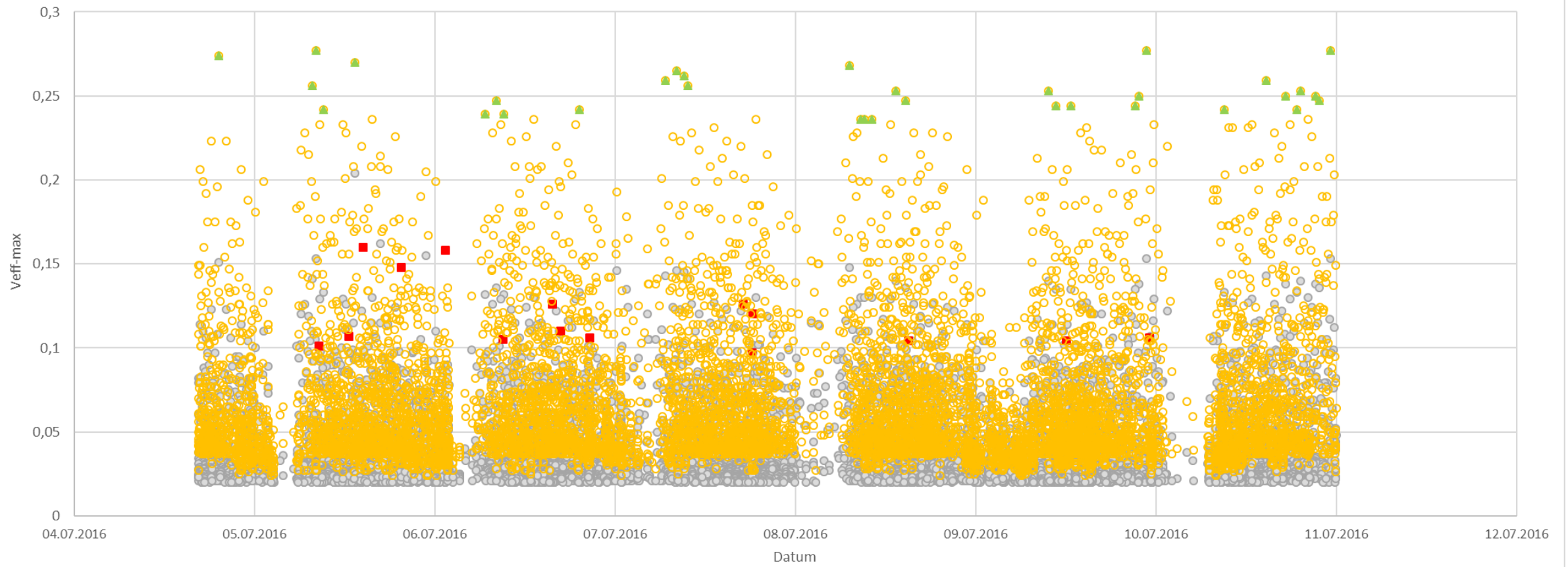
Maatgevende vloer	Slaapkamer
Vmax BTS	0,24
X(%)	28
Top%	3,2%
$\mu$	-1,72
$\sigma$	0,18
$\beta$	1,544
R	9 %
Vper	0,01



## Molenvenseweg 87 Vught

Maatgevende vloer	Slaapkamer
Vmax BTS	0,33
X(%)	243
Top%	50 %
$\mu$	-2,379
$\sigma$	0,462
$\beta$	2,537
R	11 %
Vper	0,02

### Orthen 156 's-Hertogenbosch

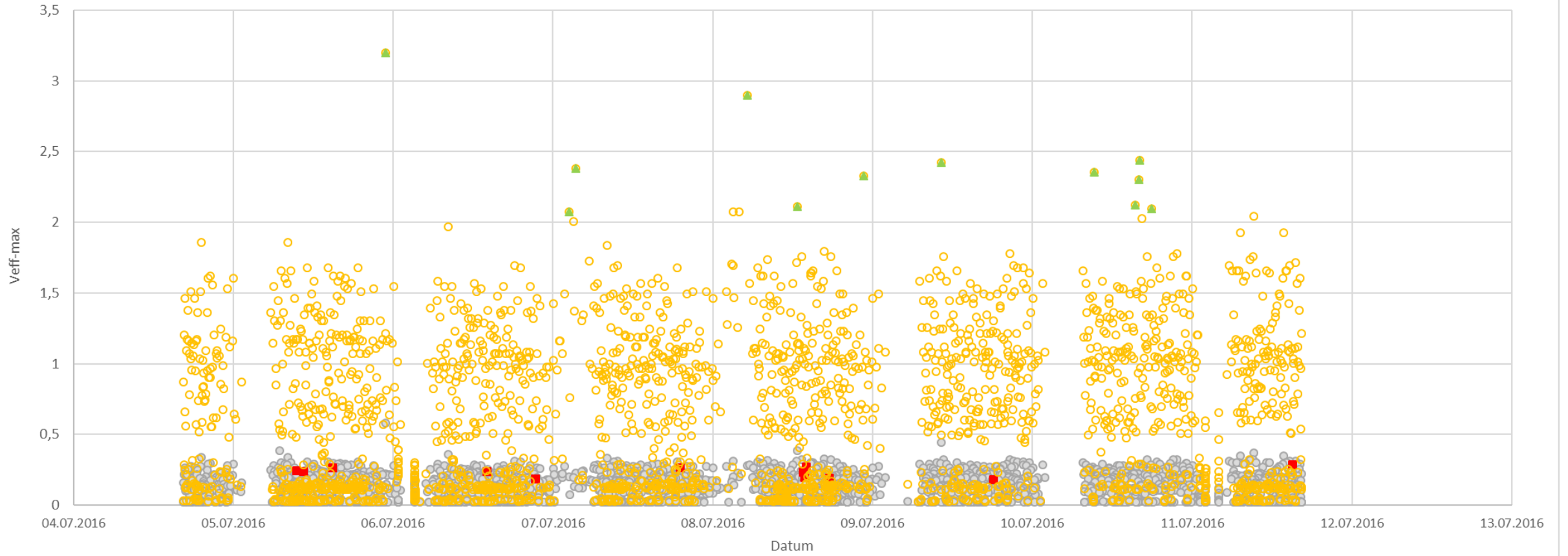


● Fn Veff\_max   ■ Fn niet spoogerelateerde gebeurtenis   ● VI Veff,max berekend   ▲ #top%

## Orthen 156 's-Hertogenbosch

Maatgevende vloer	Slaapkamer
Vmax BTS	0,28
X(%)	33
Top%	12,5%
$\mu$	-1,377
$\sigma$	0,049
$\beta$	1,945
R	3 %
Vper	0,02

# Orthen 162 's-Hertogenbosch

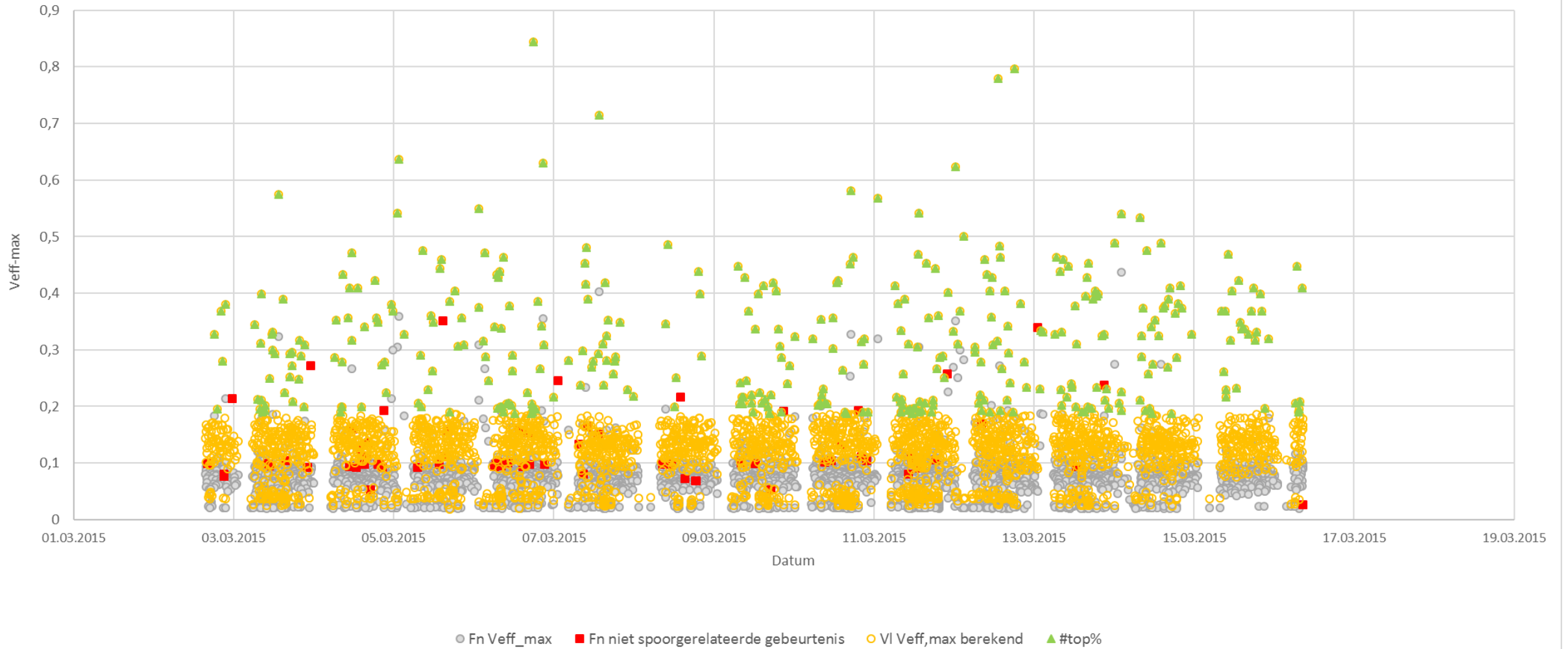


○ Fn Veff\_max    ■ Fn niet spoorgerelateerde gebeurtenis    ○ VI Veff,max berekend    ▲ #top%

## Orthen 162 's-Hertogenbosch

Maatgevende vloer	Slaapkamer
Vmax BTS	2,86
X(%)	12
Top%	1,6 %
$\mu$	0,864
$\sigma$	0,126
$\beta$	1,481
R	9 %
Vper	0,33

# Pompstraat 6 Meting 2 Waardenburg

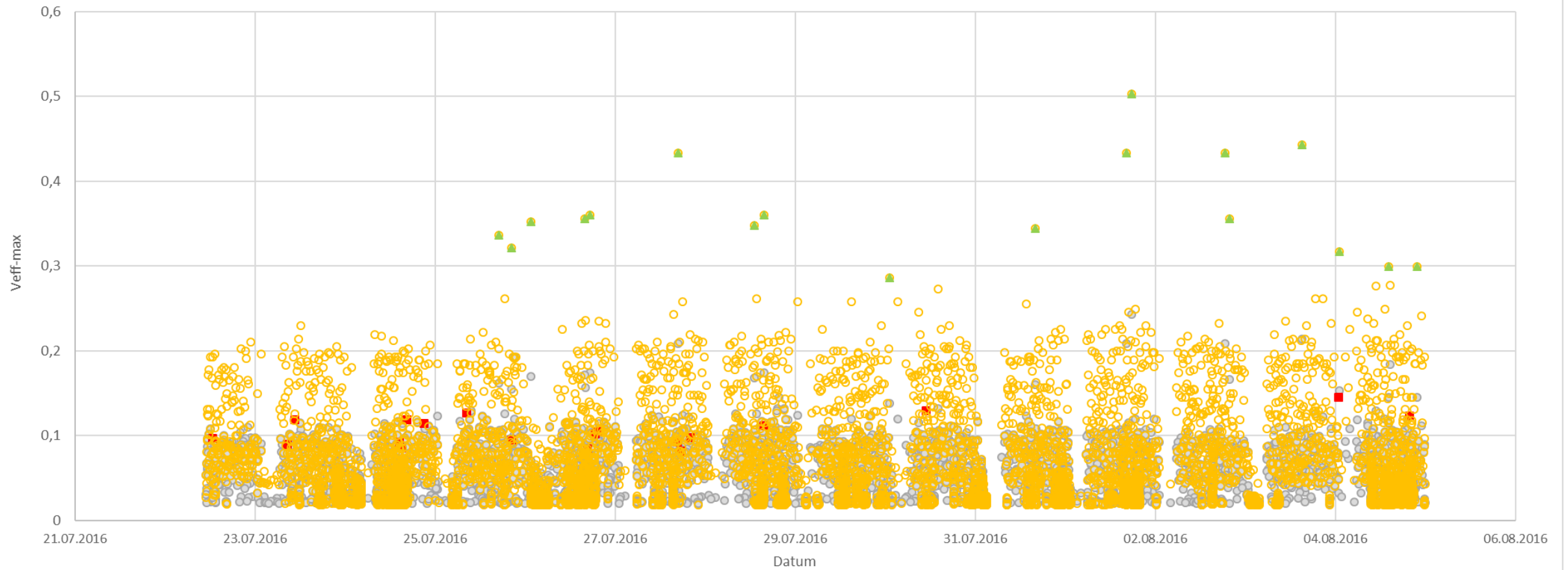




## Pompstraat 6 (Meting 2) Vught

Maatgevende vloer	Slaapkamer
Vmax BTS	0,69
X(%)	359
Top%	50 %
$\mu$	-1,212
$\sigma$	0,331
$\beta$	2,559
R	7 %
Vper	0,04

# Ridder van Cuijkstraat 33 Boxtel



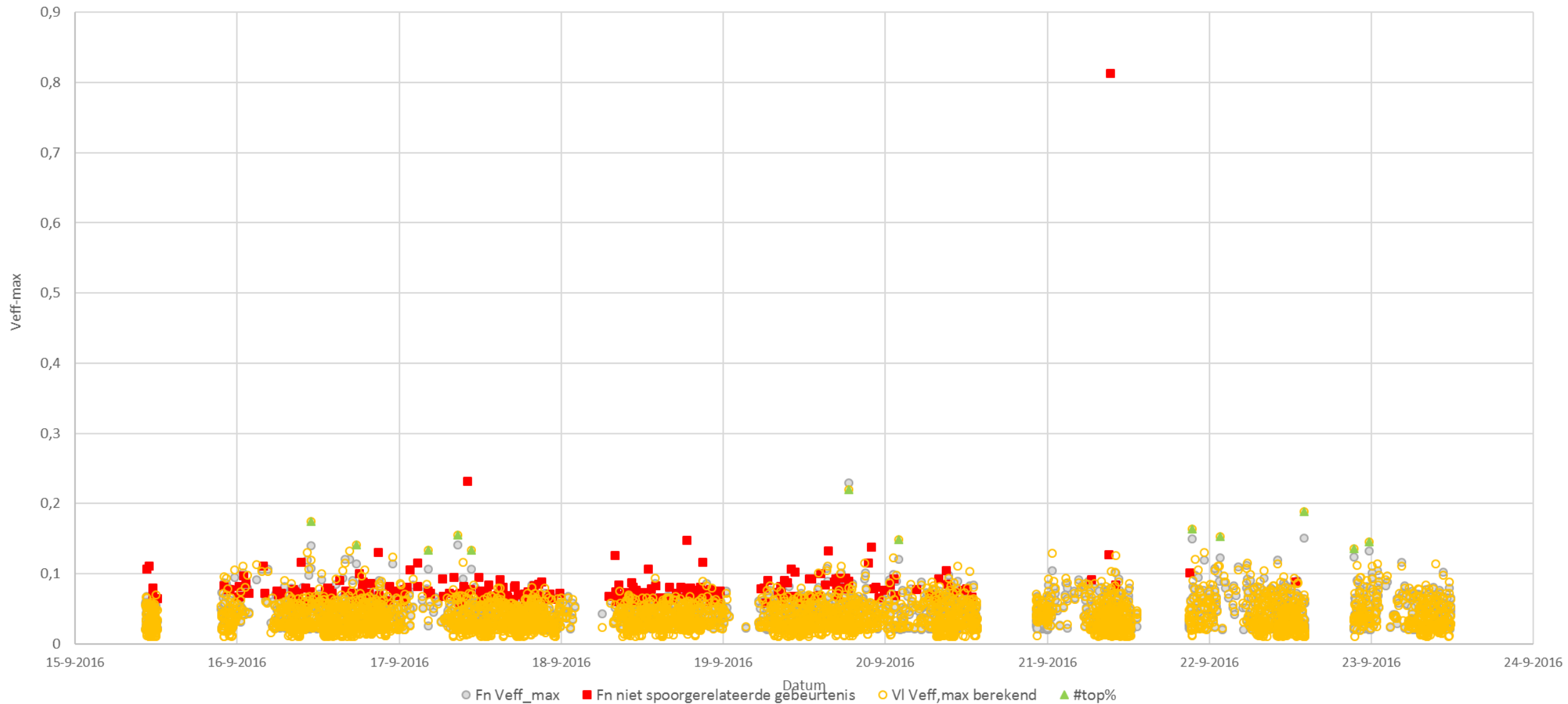
● Fn Veff\_max    ■ Fn niet spoorgerelateerde gebeurtenis    ○ VI Veff,max berekend    ▲ #top%

### Ridder van Cuijckstraar 33 Boxtel

Maatgevende vloer	Slaapkamer
Vmax BTS	0,44
X(%)	18
Top%	3,2 %
$\mu$	-1,018
$\sigma$	0,152
$\beta$	1,288
R	8 %
Vper	0,01



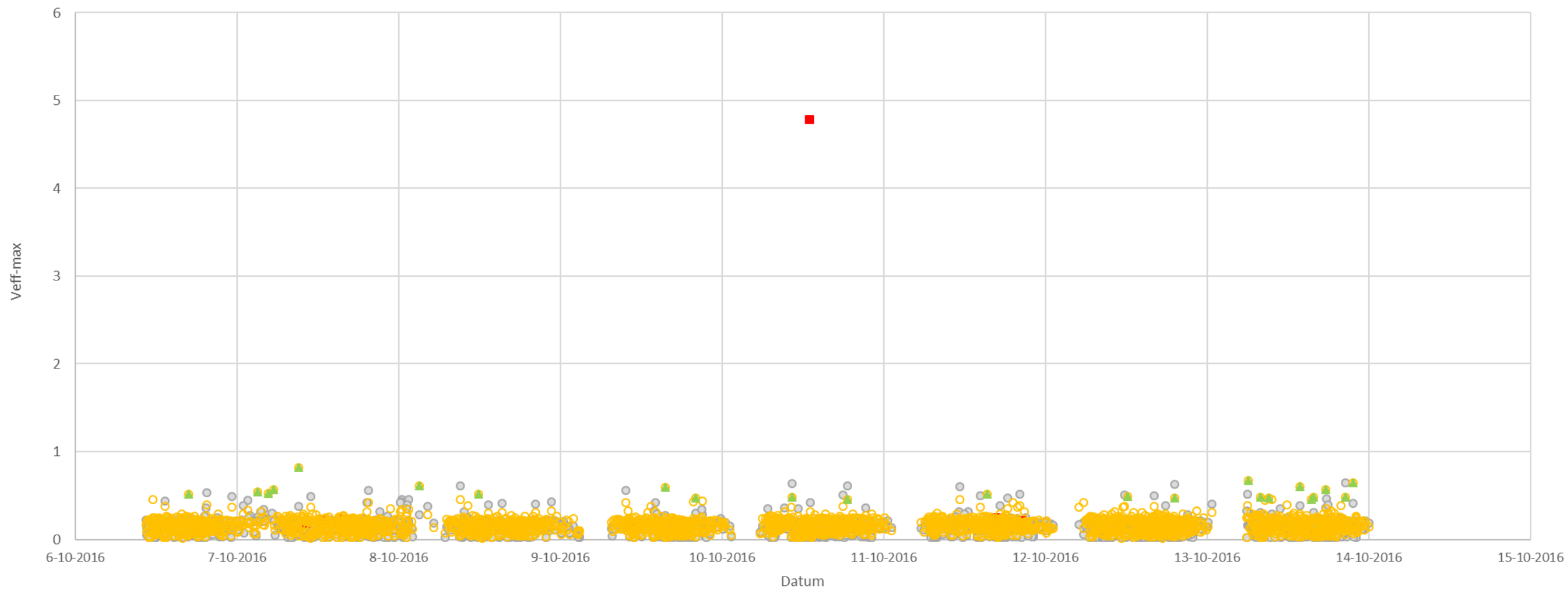
# Spoorstraat 7 Boxtel



## Spoorstraat 7 Boxtel

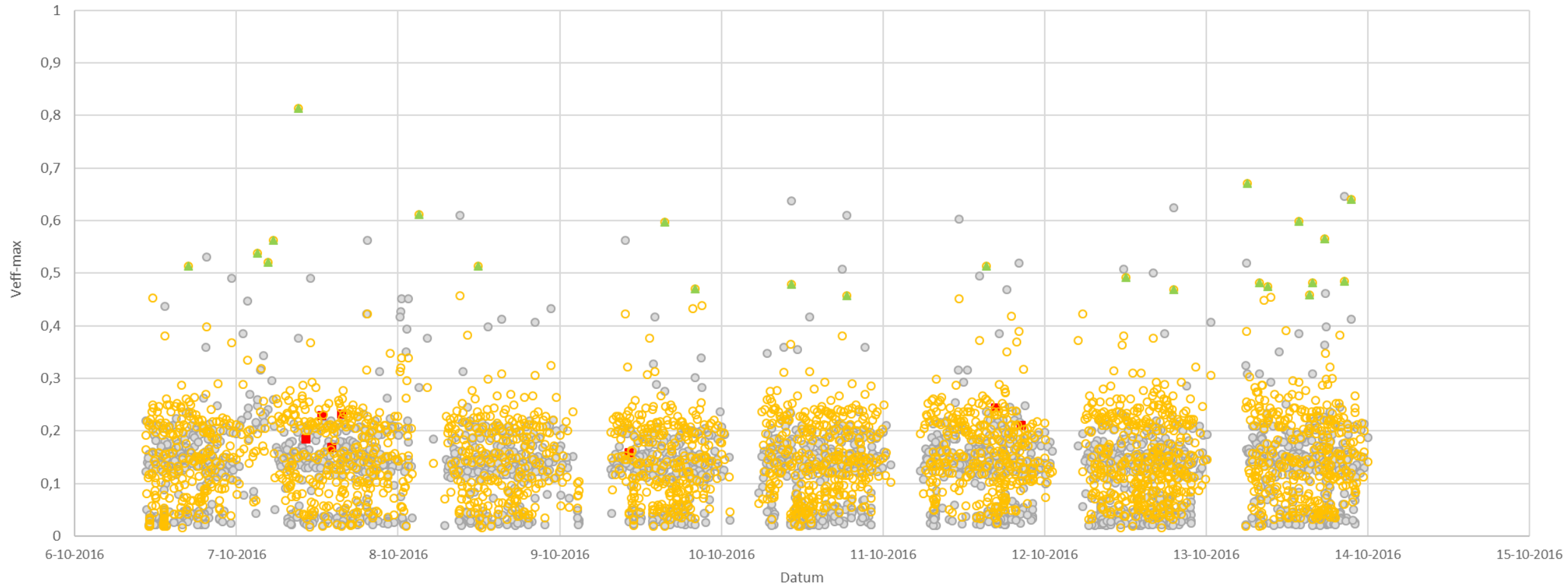
Maatgevende vloer	Slaapkamer
Vmax BTS	0,21
X(%)	12
Top%	6,3 %
$\mu$	-1,859
$\sigma$	0,145
$\beta$	1,389
R	10 %
Vper	0,01

# Stationsweg 11 Hedel



● Fn Veff\_max    ■ Fn niet spoongerelateerde gebeurtenis    ○ VI Veff,max berekend    ▲ #top%

# Stationsweg 11 Hedel



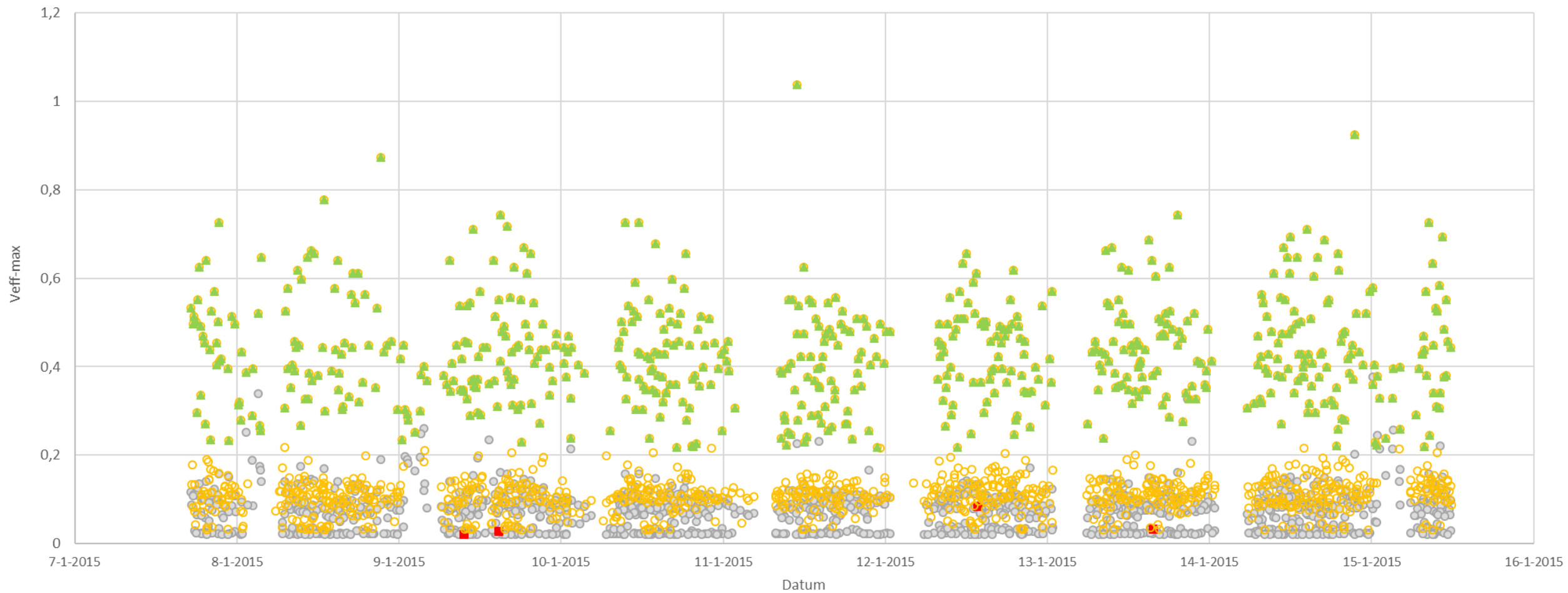
● Fn Veff\_max   ■ Fn niet spoogerelateerde gebeurtenis   ● VI Veff,max berekend   ▲ #top%



## Stationsweg 11, Hedel

Maatgevende vloer	Slaapkamer
Vmax BTS	0,67
X(%)	23
Top%	12,5%
$\mu$	-0,628
$\sigma$	0,142
$\beta$	1,75
R	9 %
Vper	0,07

# van Miertstraat 10

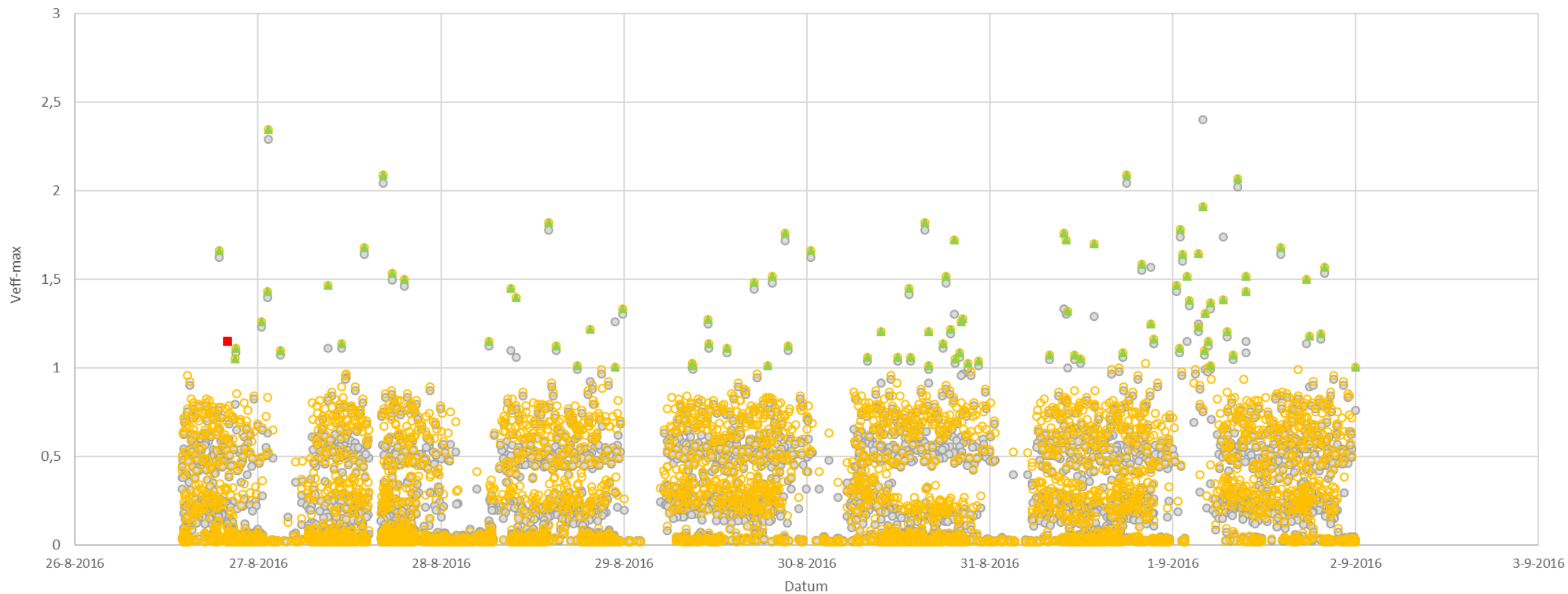


● Fn Veff\_max   ■ Fn niet spoogerelateerde gebeurtenis   ○ VI Veff,max berekend   ▲ #top%

## van Miertstraat 10 Vught

Maatgevende vloer	Slaapkamer
Vmax BTS	1,09
X(%)	622
Top%	50 %
$\mu$	-0,915
$\sigma$	0,343
$\beta$	2,924
R	6 %
Vper	0,08

# Vlierdseweg 4 Bruchum



●  $F_n$   $V_{eff\_max}$  ■  $F_n$  niet spoogerelateerde gebeurtenis ○ VI  $V_{eff,max}$  berekend ▲ #top%

## Vlierdseweg 4 Vught

Maatgevende vloer	Slaapkamer
Vmax BTS	2,16
X(%)	89
Top%	12,5%
$\mu$	0,279
$\sigma$	0,211
$\beta$	2,323
R	8 %
Vper	0,16

# Memo

**Aan:** Ministerie van Infrastructuur en Milieu  
**Van:** Koopman, A.  
**Kopie:**

**Datum:** 26 februari 2014

**Project:** Reparatie BTS  
**Kenmerk:** LA.131001a.M04

## Doelstelling

Voorstel voor bepaling  $V_{max}$ , als bijlage bij de BTS:  $V_{max,BTS}$ .  
Het gaat hier om een bepalingsmethode, welke bestaat uit een meetmethode en een naverwerkingsmethode.

De meetmethode beschrijft hoe bij treinverkeer per pand van elke gebeurtenis een trillingsniveau ( $V_{eff,max}$ ) wordt gemeten en hoe lang moet worden gemeten.  
De meetmethode schrijft NIET voor hoe panden worden geselecteerd, e.d.  
De naverwerkingsmethode beschrijft hoe uit de vergaarde data ( $V_{eff,max}$ ) de beoordelingsgrootte  $V_{max,BTS}$  alsmede de reproduceerbaarheid ( $R$ ) van  $V_{max,BTS}$  moet worden bepaald en hoe de toetswaarden worden bepaald.

## Uitgangspunten

- Beoordeeld wordt het maximale niveau in een week, conform de grootte  $V_{max}$  van de SBR ( $V_{max,stat}$ ).
- De meetmethode en de naverwerkingsmethode is gebaseerd op die van de SBR maar verder uitgebreid en verfijnd met het doel de reproduceerbaarheid te vergroten.
- Er worden geen treinpassages als "outliers" weggegooid.
- Wel zal het regelmatig voorkomen dat een gemeten gebeurtenis hoger uitvalt dan de  $V_{max,BTS}$ . N.B.: dit was ook al het geval bij de  $V_{max,stat}$ .
- Om zeker te stellen dat ook van de enkele procenten sterke gebeurtenissen (vaak door goederentreinen) voldoende wordt gemeten dient, conform de SBR, ten minste een week te worden gemeten.
- De bepalingsmethode geeft aan wat de reproduceerbaarheid van de meting is, uitgedrukt als onzekerheidspercentage in het resultaat. Een binnen enkele maanden uitgevoerde tweede meting onder verder gelijkblijvende omstandigheden zal met een kans van 95% een resultaat opleveren dat minder dan het onzekerheidspercentage afwijkt van de eerste meting.
- Gestreefd wordt naar een onzekerheid van 10%. Bij de belangrijke grenswaarde 0,4 is de onzekerheid dan in de orde van de afrondingsfout. Voor het, door middel van een voor-en nameting, toetsen of er sprake is van een toename van meer dan 30% is het ook van belang dat de onzekerheid in elk van die metingen niet te groot is.

- Als de onzekerheid na een week meten nog steeds groter is dan 10% kan er voor worden gekozen de meetduur te verlengen, waardoor de onzekerheid kleiner wordt (en het resultaat nog wat zal veranderen).
- Wanneer de onzekerheid groter is dan 10% maar de meting niet wordt voortgezet wordt de onzekerheid verrekend in de toetswaarden.

## Begrippen

Grootheid	Eenheid	betekenis
V <sub>max</sub>	[-]	Hoogste gemeten waarde conform SBR B
V <sub>max,stat</sub>	[-]	Hoogste waarde, bepaald conform de statistische methode van de SBR B
V <sub>max,BTS</sub>	[-]	Hoogste waarde, bepaald conform de hier beschreven naverwerkingsmethode
V <sub>eff,max</sub>	[-]	Hoogste waarde van een gebeurtenis, over alle meetrichtingen van een meetpunt, conform SBR B
V <sub>eff,max,j</sub>	[-]	Hoogste waarde van een gebeurtenis, van een meetrichting j van een meetpunt, conform SBR B
V <sub>eff,max,j,band</sub>	[-]	Hoogste waarde van een gebeurtenis, van een meetrichting j van een meetpunt, per octaafband
V <sub>eff,max,band</sub>	[-]	Hoogste waarde van een gebeurtenis, over alle meetrichtingen van een meetpunt, per octaafband
Q	[-]	Verhouding van het trillingsniveau bij de nameting ten opzichte van dat bij de voormeting ("de toename")
F <sub>dom</sub>	[Hz]	Dominante frequentie van een meetpunt, zijnde de dominante frequentie van de dominante richting, conform SBR A
H <sub>gebouw,band</sub>	[-]	Overdrachtsfactor tussen fundering en vloerpunten, per band
top50%		De verzameling met de 50% hoogste waarden van een verzameling
#top50%	[-]	Aantal waarden in de top50%
#topX%	[-]	Aantal waarden in de top X%
#meetdagen	[-]	Totaal aantal dagen dat op het funderingspunt gemeten is
$\mu$	[-]	Gemiddelde van log(V <sub>eff,max</sub> )
$\sigma$	[-]	Standaard deviatie van log(V <sub>eff,max</sub> )
$\beta$	[-]	Betrouwbaarheidscoëfficiënt
R	[%]	De reproduceerbaarheid, uitgedrukt als de onzekerheid in V <sub>max,BTS</sub>
t <sup>-1</sup>		De inverse van Student's cumulatieve verdelingsfunctie

## Meetmethode

- De metingen worden verricht conform SBR B.
- In uitbreiding op de SBR B wordt de volgende aanpak gehanteerd.
- Naast de gekozen meetpunten conform SBR B kan ook een triaxiaal meetpunt op de fundering van het pand worden aangebracht, conform de "indicatieve methode" van SBR A. Dit meetpunt kan worden gebruikt als referentiepunt voor de toekomst en als controlepunt ter identificatie van stoortrillingen. Dit meetpunt kan ook worden gebruikt als fundatiepunt tijdens de meting (zie optie 2 hieronder).
- Een van de twee volgende opties wordt gekozen:
- Optie 1: lang meten op de vloer
  - o Gedurende ten minste 7x24 uur wordt op alle meetpunten gemeten.
  - o Van alle gebeurtenissen met een  $V_{eff,max} > 0,1$  worden de  $V_{eff,max,j}$  en  $V_{eff,max}$  vastgelegd.
  - o Niet spoorgerelateerde gebeurtenissen, zoals lopen in woningen en wegverkeer, worden uit de dataset verwijderd.
  - o Verwijderde gebeurtenissen met een  $V_{eff,max}$  van 25% of meer van  $V_{max}$  van deze 7x24 uur worden apart vastgelegd en gerapporteerd, met aanduiding van mogelijke bron.
- Optie 2: lang meten op de fundering
  - o Er wordt een triaxiaal meetpunt op de fundering van het pand worden aangebracht, conform de "indicatieve methode" van SBR A.
  - o Gedurende 24 uur wordt op alle meetpunten gemeten.
  - o Van alle gebeurtenissen met een  $V_{eff,max} > 0,1$  worden de  $V_{eff,max,j}$  en de bijbehorende tijdsignalen vastgelegd.
  - o Niet spoorgerelateerde gebeurtenissen, zoals lopen in woningen en wegverkeer, worden uit de dataset verwijderd.
  - o Verwijderde gebeurtenissen met een  $V_{eff,max}$  van 25% of meer van  $V_{max}$  van deze 24 uur worden apart vastgelegd en gerapporteerd, met aanduiding van mogelijke bron.
  - o Van de resterende gebeurtenissen worden de hoogste 50% geselecteerd, waarvan de signalen door een octaafbank worden gehaald met middenfrequenties 2 t/m 63 Hz, waarna daarna de  $V_{eff,max,j,band}$  worden bepaald.
  - o Per octaafband wordt van elk meetpunt dat meer dan één meetrichting heeft de dominante richting bepaald als die welke geldt voor de meeste top50%-gebeurtenissen.
  - o Per gebeurtenis en per octaaf wordt de verhouding bepaald tussen enerzijds  $V_{eff,max,j}$  voor de dominante richting van een vloerpunt (of  $V_{eff,max}$  van een uniaxiaal meetpunt) bij die octaafband en anderzijds  $V_{eff,max,j}$  voor de dominante richting van het fundatiepunt bij die octaafband. Per vloerpunt wordt het gemiddelde over de gebeurtenissen bepaald en vastgelegd als overdrachtsfactoren  $H_{gebouw,band}$ .
  - o Gedurende ten minste 7x24 uur wordt aan het funderingspunt gemeten.
  - o Van alle gebeurtenissen met een  $V_{eff,max} > 0,02$  worden de  $V_{eff,max,j}$ , de  $V_{eff,max}$  en de dominante frequentie  $f_{dom}$  vastgelegd.



- o Niet spoorgerelateerde gebeurtenissen, zoals wegverkeer, worden uit de dataset verwijderd.
- o Per gebeurtenis wordt  $V_{eff,max}$  van een vloerpunt bepaald door  $V_{eff,max}$  van de fundering te vermenigvuldigen met  $H_{gebouw,band}$  waarbij die octaafband wordt gekozen waarin  $f_{dom}$  valt.
- o De gebruikte overdrachtsfactoren, met frequentie van voorkomen in de gebeurtenissen, worden gerapporteerd.
- Conform de naverwerkingsmethode van deze bepalingmethode wordt de reproduceerbaarheid  $R$  van elk van de meetpunten bepaald. In geval optie 1 is gehanteerd wordt  $R$  ook per meetrichting bepaald.
- Indien  $R \leq 10\%$  dan is er voldoende gemeten. Indien  $R > 10\%$  dan wordt besloten of de meting wordt verlengd of dat toetswaarden worden verzwaard conform de naverwerkingsmethode van deze bepalingmethode. Aangezien  $R$  per meetpunt of meetrichting wordt bepaald en de naverwerkingsmethode tevens de te toetsen  $V_{max,BTS}$  oplevert per meetpunt of –richting ligt het in de rede verlening alleen te overwegen indien meetpunten of –richtingen met een hoge  $V_{max,BTS}$  een  $R > 10\%$  hebben.

### Naverwerkingsmethode

De dataset bestaat uit waarden voor  $V_{eff,max,j}$  (dus per meetpunt en per richting een waarde) voor een reeks aan gebeurtenissen. Bij keuze voor optie 2 is voor de meetpunten anders dan het referentiepunt op een fundatie geen waarde per richting beschikbaar maar een waarde voor het meetpunt. Dit is tevens het geval bij uniaxiale meetpunten bij optie 1. In de volgende stappen moet voor dergelijke meetpunten  $V_{eff,max,j}$  gelezen worden als  $V_{eff,max}$ .

- Er wordt vastgesteld op grond van hoeveel meetdagen de verzameling  $V_{eff,max,j}$  waarden tot stand is gekomen: #meetdagen
  - De gebeurtenissen met een  $V_{eff,max} > 0,02$  op het funderingspunt worden geselecteerd. Indien er niet voor gekozen is een funderingspunt te hanteren wordt de selectie bepaald op grond van een meetpunt op de laagst beschikbare verdieping met als criterium  $V_{eff,max} > 0,05$ .
  - Een willekeurig minder streng criterium (hoger dan 0,02 c.q. 0,05) is toegestaan maar kan leiden tot een langere benodigde meetduur.
- BEGIN
- Per meetpunt wordt een top50% bepaald.
  - De grootte van de top50% wordt vastgesteld: #top50%.
  - Van de top50% wordt de natuurlijke logaritme genomen:  $\log(V_{eff,max,j})$ .
  - Van de  $\log(V_{eff,max,j})$  worden het gemiddelde  $\mu$  en de standaard deviatie  $\sigma$  bepaald:

$$\mu = \text{gemiddelde} \{ \log(V_{eff,max,j}) \}$$

$$\sigma = \text{standaardafwijking} \{ \log(V_{eff,max,j}) \}$$

- De betrouwbaarheidscoëfficiënt  $\beta$  wordt vastgesteld volgens de formule:

$$\beta = t^{-1} [ 1 - (\#meetdagen/7)/\#top50 ; \#top50\%-1 ]$$

- Hieruit wordt  $V_{max,BTS}$  per meetpunt en, indien van toepassing, per meetrichting bepaald volgens de formule:

$$V_{max,BTS} = \exp(\mu + \beta \sigma);$$

EIND

- Getoetst wordt of een iteratie slag nodig is: herhaling van de procedure met een kleinere selectie van meetwaarden, hetgeen gebeurt volgens de formule:

$$\text{Iteratie indien } (\#\{V_{eff,max,j} > V_{max,BTS}\} > \#meetdagen/7) \ \& \ (\#top50\% > 15 \cdot \#meetdagen/7)$$

waarbij  $\#\{V_{eff,max,j} > V_{max,BTS}\}$  het aantal gebeurtenissen is waarvan  $V_{eff,max,j}$  groter is dan  $V_{max,BTS}$  van dat meetpunt en die meetrichting.

- De iteratie wordt uitgevoerd door het hele proces tussen BEGIN en EIND te herhalen waarbij de huidige top50 de basis vormt om een nieuwe top50 te bepalen.
- De iteratieslagen worden herhaald totdat niet langer aan het iteratiecriterium wordt voldaan (top25%, top12,5% etc.).
- Van de laatste iteratieslag worden de resultaten vastgelegd:  $V_{max,BTS}$ ,  $\mu$ ,  $\sigma$ ,  $\beta$  en  $\#top50\%$ , welke nu  $\#topX\%$  wordt genoemd.
- Per iteratieslag wordt getoetst of  $\#\{V_{eff,max} > V_{max,BTS}\}$  niet weer toeneemt, in welk geval de iteratie stop wordt gezet en de resultaten van de voorlaatste iteratie wordt gebruikt.
- Reproduceerbaarheid R wordt per meetpunt en, indien van toepassing, per meetrichting bepaald volgens de formule

$$R = 100\% \cdot \sqrt{(2(1+\beta^2)\sigma^2 / \#topX\%)}$$

- De toetswaarde voor  $V_{max,BTS}$  bedraagt:

$$\begin{array}{ll} V_{max,BTS} & \text{indien } R \leq 10\% \\ (1+R/100\%) \cdot V_{max,BTS} & \text{indien } R > 10\% \end{array}$$

- De toename van  $V_{max,BTS}$  is een verhouding tussen de meetwaarde van een nameting ten opzichte van die van een voormeting. Voor die toename hanteert de BTS een criterium van 1,3. De verhouding wordt in deze bepalingmethode aangeduid met Q. Indien Q kleiner is dan 1 dan is er sprake van een afname. Q wordt bepaald aan de hand van de volgende formule:

$$Q = V_{max,BTS_{na}} / V_{max,BTS_{voor}}$$

$V_{max,BTS_{voor}}$  en  $V_{max,BTS_{na}}$  zijn hierbij de uit respectievelijk de voor- en de nameting bepaalde  $V_{max,BTS}$ -en (dus *zonder* de voor de toetswaarde te gebruiken correctiefactor  $(1+R/100\%)$ ).

- Voor de toetsing van Q dient de onzekerheid  $R_Q$  over die toename te worden bepaald volgens de formule:

$$R_Q = \sqrt{(R_{\text{voor}}^2 + R_{\text{na}}^2)}$$

- De toetswaarde voor Q bedraagt:

Q	indien $R_Q \leq 14\%$
$(1 + R_Q / 100\%) \cdot Q$	indien $R_Q > 14\%$

Toetsing geschiedt met de nauwkeurigheid waarmee de criteria zijn geformuleerd, maar daarbij dienen fouten door dubbele afronding te worden voorkomen.

- Tussenresultaten (meetwaardes, percentages, etc.) worden afgerond en opgeslagen met tenminste 3 significante cijfers.
- Bij toetsing wordt een toetswaarde eerst afgerond naar de meest significante decimaal van het toetsingscriterium.

## Toelichting

De Beleidsregel Trillinghinder Spoor (BTS) definieert in artikel 1 de beoordelingsgrootheid  $V_{\text{max}}$ . In de bijlage bij artikel 1 wordt beschreven hoe in een situatie de waarde van deze grootheid dient te worden bepaald. Daarbij worden gedeeltes van de SBR Richtlijn B van toepassing verklaard. Voor het bepalen van  $V_{\text{max}}$  wordt verwezen naar onderhavige memo. De bepalingsmethode in deze memo wijkt op een aantal punten af van SBR Richtlijn B. Het resultaat van de bepalingsmethode wordt om die reden, voor de duidelijkheid, als  $V_{\text{max},\text{BTS}}$  aangeduid. Belangrijke afwijkingen t.o.v. de SBR zijn de volgende.

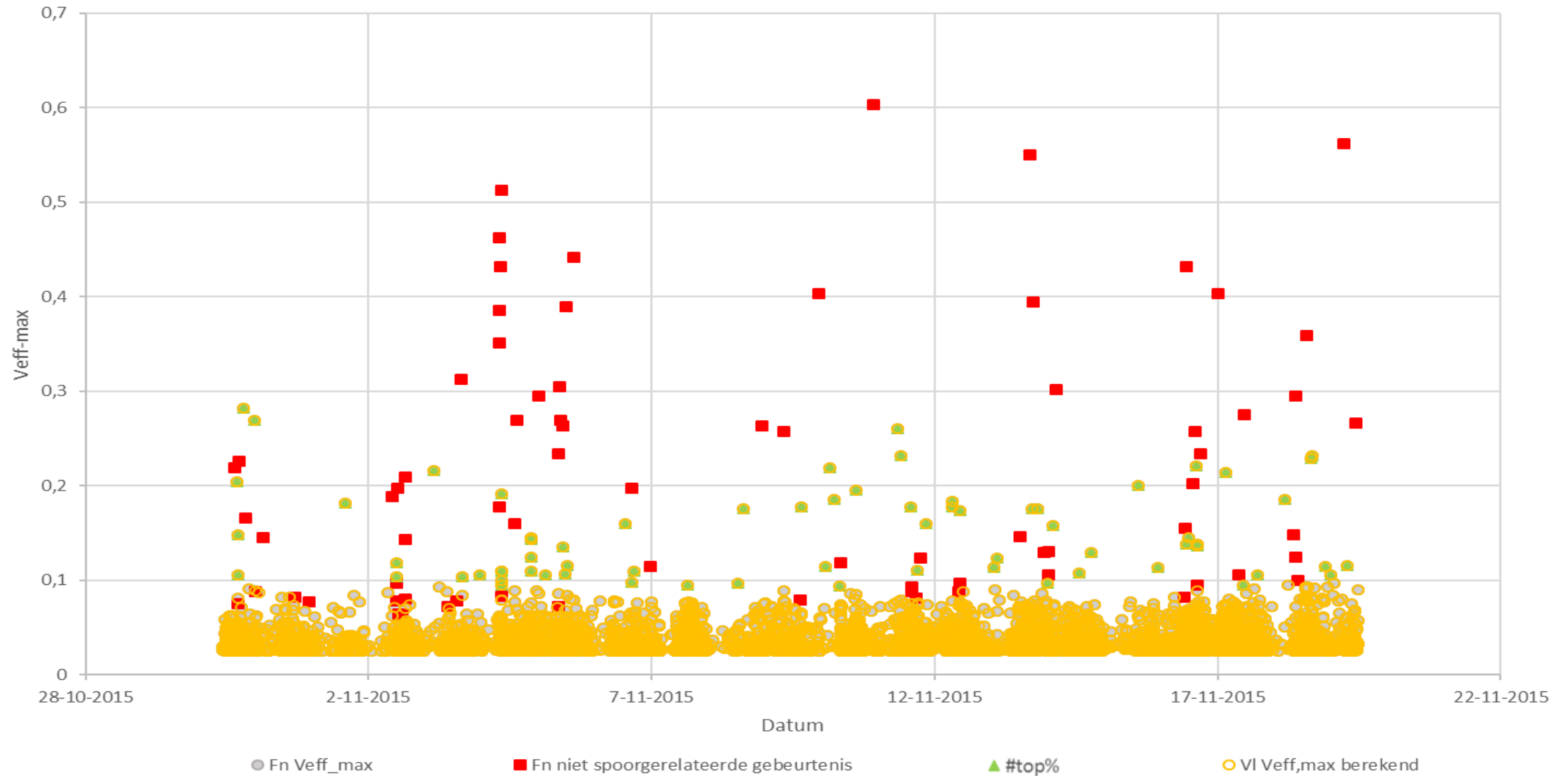
- Er wordt de mogelijkheid geboden om een groot deel van de meting te laten uitvoeren op een "funderingspunt" (bijvoorbeeld buiten aan de gevel), in plaats van midden op vloeren in woonkamers en slaapkamers. Er wordt beschreven hoe de meetprocedere en de naverwerking dan moet plaatsvinden. Dit is toegevoegd om een langere meetduur te faciliteren. De aanpak is eerder toegepast in o.a. het trillingsonderzoek ten behoeve van het Tracébesluit voor Sporen in Den Bosch.
- De reproduceerbaarheid "R" dient te worden bepaald. Dit is de bandbreedte (als percentage van  $V_{\text{max},\text{BTS}}$ ) waarin een nieuwe meting, binnen enkele maanden uitgevoerd onder verder gelijkblijvende omstandigheden, met grote waarschijnlijkheid zal vallen. Deze kwantificering is met name van nut bij latere beoordelingen wanneer moet worden vastgesteld in welke mate er sprake is van een toename.
- De SBR richtlijn biedt een procedure om de toetsingswaarde statistisch te bepalen, welke in de praktijk ook veel wordt gebruikt. Deze statistische methode is in de nieuwe bepalingsmethode verder uitgewerkt. De methode bepaalt, conform de SBR, de "hoogste waarde in een week" en levert bovendien een kwantificering van de reproduceerbaarheid.

- De toetsingswaarde wordt niet per dagdeel vastgesteld, en wel om de volgende redenen. Ten eerste is het zo dat treinen zeer zelden kunnen worden vastgepind op een dagdeel: een maatgevende, sterke trillingen veroorzakende trein die tijdens de meting overdag passeert kan een dag, een maand of een jaar later 's nachts (of, voor reizigerstreinen: in de randen van de nacht) passeren. Ten tweede is voor een aparte toetsingswaarde in de nacht een zeer langdurige meting nodig, gesteld een gewenste reproduceerbaarheid van 10%. Het niet bepalen, maar wel beoordelen, per dagdeel was bij toepassing van de SBR bij railinfraprojecten overigens ook al vrij gebruikelijk. Overigens sluit de aangepaste BTS een aparte bepaling per dagdeel niet geheel uit. Als kan worden aangetoond dat bepaalde specifieke, maatgevende, treinen nu en in de toekomst nooit in de nacht, het maatgevende dagdeel, zullen rijden kan er alsnog voor worden gekozen om een aparte toetsingwaarde voor de nacht te bepalen met uitsluiting van deze treinen. Daarvoor hoeven slechts deze treinen uit de dataset te worden gehaald, waarna wederom de statistische verwerking wordt gedaan en reproduceerbaarheid wordt gecontroleerd (en de meetduur misschien nog wordt verlengd).

## BIJLAGE C RESULTATEN TRILLINGSMETINGEN GIDSPANDEN SPOREN IN DE 'S-HERTOGENBOSCH (SIDB) EN HER-BEWERKING MEETRESULTATEN EN ANALYSES

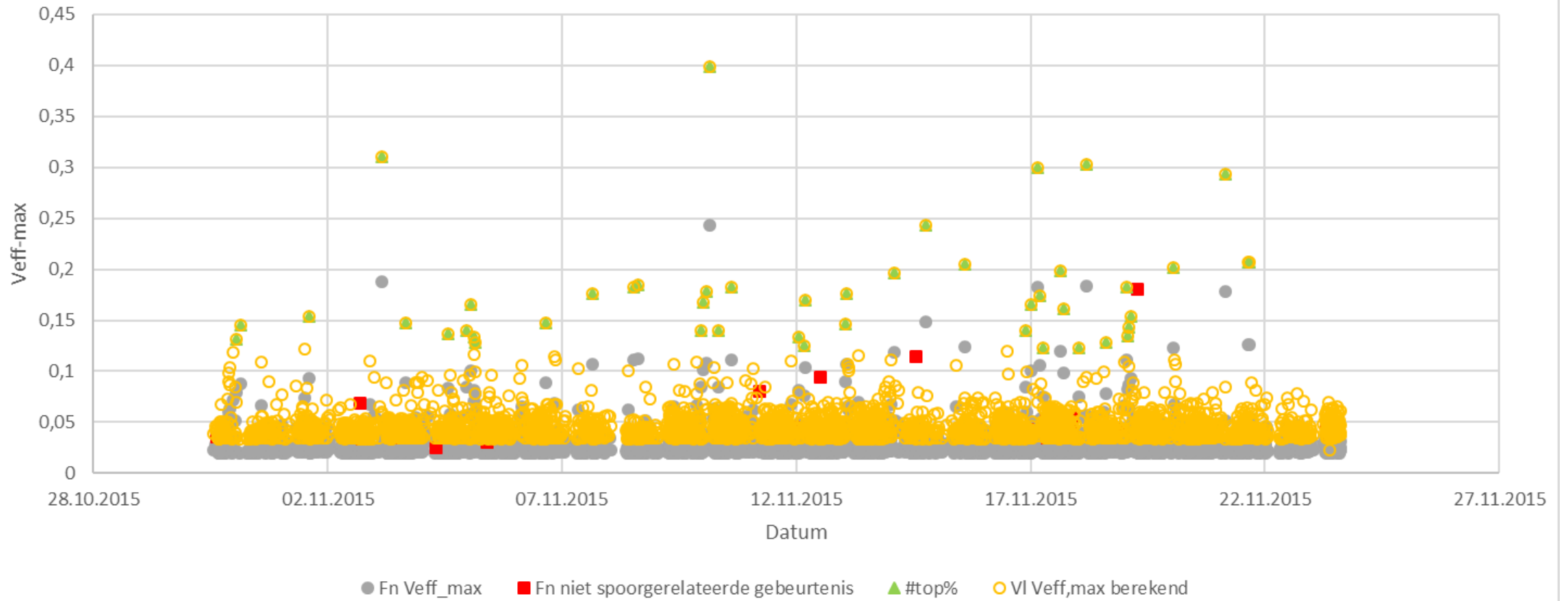
- 1) Grafieken met resultaten trillingsmetingen per gidspand (nameting) TB SiDB
- 2) Rapport "Bts analyse trillingen SiDB", LA 150105.R01.0, 17 augustus 2015, Level Acoustics
- 3) Rapport "Rapportage spoorwegtrillingen sporen Den Bosch in het kader van het Tracébesluit SiDB, kenmerk M.2015.0420.00.R002, 4 augustus 2016, DGMR.
- 4) Notitie "Bepaling Vper bij de nametingen SIDB", Addendum bij rapport M.2015-0420.00.R002, kenmerk M.2015.0420.00.N001, 11 augustus 2016, DGMR

Boschveldweg 59\_63  
Den Bosch, fundering



Boschveldweg 59/83 Den Bosch	
Maatgevende vloer	Fundering (geen vloermeting uitgevoerd)
Vmax BTS	0,23
X(%)	68
Top%	50 %
$\mu$	-1,946
$\sigma$	0,3
$\beta$	0,785
R	7 %
Vper	-

# Maijweg 23 Den Bosch





## Maijweg 23 Den Bosch

Maatgevende vloer	Slaapkamer
Vmax BTS	0,25
X(%)	46
Top%	12,5%
$\mu$	-1,763
$\sigma$	0,273
$\beta$	1,435
R	10 %
Vper	0,02

# Rapport

## BTS analyse trillingen

### SiDB

*Opdrachtgever: Arcadis*

Rapportnummer: LA.150105.R01.3

*15 juli 2016*

De Rondon 10  
5612 AP Eindhoven  
Nederland  
tel. (+31) 040 247 27 00  
fax. (+31) 040 246 36 14

**level**  
acoustics

www.levelacoustics.nl  
info@levelacoustics.nl  
KVKnr. 17196196  
BTWnr. NL817010476B01  
Rek.nr. NL54ABNA0522640923

# Colofon

**Blad:** 2 van 18  
**Rapportnummer:** LA.150105.R01.3

**Datum:** 15 juli 2016

Rapportnummer: LA.150105.R01.3

Plaats & Datum: Eindhoven, 15 juli 2016

Versie: 4

*Opdrachtgever: Arcadis*

Uitgevoerd door: Level Acoustics

Auteur(s): Koopman, A.

E-mail: a.koopman@levelav.nl

Telefoon: (+31) 040 247 27 00

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag openbaar gemaakt worden of aan derden beschikbaar gesteld worden zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Level Acoustics.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden van Level Acoustics, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage tonen van het Level Acoustics rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

## 1 Inleiding

Voor het ProRail project Meteren-Boxtel wordt door Arcadis het Ontwerp Tracébesluit (OTB) voorbereid. In dit besluit dient voor het onderwerp trillingen de Beleidsregel Trillingshinder Spoor te worden gehanteerd. Hierin is sprake van een nulmeting en een nameting. Voor het trajectdeel Den Bosch wordt voor de nulmeting uitgegaan van de eerder uitgevoerde nulmeting in het kader van het ProRail project Sporen in Den Bosch (SiDB). Die nulmeting is echter uitgewerkt conform de SBR-richtlijn Trillingen Deel B Hinder voor personen in gebouwen. De verwerking van de meetdata tot een toetswaarde conform de SBR-richtlijn Trillingen wijkt af van methode beschreven in de BTS 2014. Voor de BTS 2014 is een hoger uitwerkingsniveau van de gemeten trillingen benodigd. Hier dient nog een slag in te worden gemaakt.

De metingen zijn toendertijd uitgevoerd door TNO in opdracht van DHV, welke voor ProRail het TB voor SiDB voorbereidde.

Met TNO en DHV is ProRail overeengekomen dat TNO de data levert aan Level Acoustics & Vibration voor verwerking conform de BTS.

Bij de totstandkoming van het TB voor SiDB zijn ook analyses/prognoses gemaakt van de impact van de aan het project gerelateerde veranderingen die invloed hebben op trillingen in de omgeving. Dit ging met name om de invloed van het verkleinen van de afstand tussen spoor en bebouwing, de invloed van de toename van treinsnelheid en de invloed van verandering van het spoorgebruik (welk type trein rijdt waar). De impact werd met name gebaseerd op metingen, welke naast de nulmeting ook zogenaamde "raaimetingen" betroffen.

Dergelijke analyses zijn wederom nodig voor het project Meteren-Boxtel maar dan met iets andere uitgangspunten wat betreft te analyseren veranderingen en de reken- en toetsingsmethode (nl. nu: conform BTS).

Level Acoustics & Vibration is gevraagd op grond van de oude meetgegevens afstandsrelaties en snelheidsrelaties te bepalen conform BTS.

Dit rapport bevat de resultaten van de verwerking van de oude meetdata van SiDB conform de BTS tot

- een nulmeting (vóór SiDB), bestaande uit  $V_{max,BTS}$ , R en  $V_{per}$
- gebouwfactoren, in octaafbanden
- een afstandsdemping, in octaafbanden
- een snelheidsrelatie, in octaafbanden

voor het gebied tussen Dommel en Dieze.

Tevens is vastgelegd in welke onderzoeken deze meetdata is verzameld en welke uitgangspunten daarbij gehanteerd zijn.

## 2 Uitgangspunten en werkwijze

### 2.1 Overzicht oude onderzoeken

Bij het tot stand komen van het TB voor SiDB zijn een aantal trillingsonderzoeken uitgevoerd. Deze waren meestal empirisch van aard: er werd een meting uitgevoerd en de resultaten ervan werden gebruikt om bijvoorbeeld een nulsituatie vast te leggen en/of empirische relaties te leggen om die vervolgens te gebruiken om voorspellingen te doen over de impact van SiDB. De onderzoeken zijn steeds uitgevoerd door TNO, als onderaannemer van DHV, welke in opdracht van ProRail het TB voorbereidde. Elk onderzoek leidde tot een onderzoeksrapport.

De volgende TNO-onderzoeken zijn uitgevoerd (hier opgesomd met behulp van de naam van het resulterende rapport).

- **Sporen in Den Bosch - Trillingsonderzoek, TNO-rapport TNO-034-DTM-2010-00405, M. Vermeer en A. Koopman, 11 maart 2010**  
Dit onderzoek, welke is uitgevoerd voor het OTB, vormt de basis van de vervolgonderzoeken. Hierin is het meeste werk verricht en zijn de lijnen uitgezet. Het onderzoek bevat o.a.:
  - de algemene onderzoeksaanpak, welke empirisch van aard is,
  - de beoordelingswijze, waarbij de "merkbare toename" als novum wordt geïntroduceerd
  - de prognose wijze, waarbij kansen op overschrijdingen en aantallen woningen worden gebruikt
  - een nulmeting
  - een empirische relatie voor de invloed van treinsnelheid
  - een empirische relatie voor de invloed van afstand tot het spoor
  - een overzicht van technische maatregelen specifiek voor dit project
  - overwegingen voor een doelmatigheidsafweging, waaronder de kansen op overschrijdingen, de kosten van de voorgestelde maatregelen en de mogelijkheden om maatregelen niet vooraf maar achteraf te nemen
- **Sporen in Den Bosch – Trillingsonderzoek – Update: vergroot onderzoeksgebied, TNO-rapport TNO-034-DTM-2011-00463, A. Koopman en M Vermeer, 4 maart 2011**  
Het eerste onderzoek, voor het OTB, beperkte zich tot het gebied tussen Dommel en Dieze (dus de directe omgeving van het station). Voor het TB werd het onderzoeksgebied uitgebreid en werd het spoorontwerp aangepast. Dit maakte een uitbreiding en aanpassing van het trillingsonderzoek noodzakelijk, leidend tot een update van de rapportage. De uitbreiding van het onderzoeksgebied betreft het projectgebied ten noorden van de Dieze.
- **Fall test – Den Bosch, TNO memo, B.E. Zuada Coelho, 20 oktober 2011**  
Het tweede onderzoek leverde enkele kritische locaties op. Nader onderzoek naar de afstandsrelatie, in het eerste onderzoek al wel uitgevoerd voor het gebied rond het station maar nog niet uitgevoerd voor het gebied boven de Dieze, moest onzekerheden verminderen.

Datum: 15 juli 2016

- **Onderzoek naar trillingsmaatregelen voor Sporen in Den Bosch, TNO-rapport TNO-060-DTM-2011-03810, A. Koopman, 10 november 2011**  
Bijlage: **Numerical analysis of mitigation techniques at Den Bosch railway track, TNO memo TNO-060-DTM-2011-03809, B.E. Zuada Coelho, 11 november 2011**  
Omdat de onderzoeken kritische locaties opleverden waarvoor maatregelen nodig zouden zijn, is ten behoeve van een doelmatige afweging daarvan een onderzoek gestart naar de kosten en baten van de voorgestelde maatregelen. Terwijl hoofdaannemer DHV onderzoek deed naar de kosten, berekende TNO op basis van numerieke modellen de baten, zijnde de mate waarin trillingsniveaus erdoor worden verlaagd.
  
- **Sporen in Den Bosch: nulmeting trillingen, TNO-rapport, B.E. Zuada Coelho en Arnold Koopman, 1 oktober 2012**  
Op grond van de trillingsonderzoeken en de doelmatigheidsafwegingen over te nemen maatregelen wordt in het TB gesteld dat voor de kritische locaties maatregelen opnieuw worden overwogen na uitvoering van het project en dan op basis van een nameting welke wordt vergeleken met een nulmeting. De tot dan uitgevoerde nulmetingen worden daarvoor onvoldoende geschikt geacht want onvoldoende representatief voor die kritische locaties. In dit laatste onderzoek wordt dat goed gemaakt.  
In 2012 was intussen de eerste versie van de BTS verschenen (welke in 2013 zou sneuvelen bij de RvS). De nulmeting is daarom niet alleen conform de in het TB gehanteerde richtlijn van de SBR bepaald, maar ook conform die eerste versie van de BTS. Die eerste versie van de BTS leidt tot aanzienlijk lagere waarden voor  $V_{max}$  dan de SBR en de tweede versie van de BTS.

DHV heeft ook onderzoeken uitgevoerd. Deze betreffen in ieder geval:

- De haalbaarheid en kosten van technische maatregelen
- Nadere impactstudies, op grond van de TNO-resultaten
- Een overzichtsrapport (*Sporen in Den Bosch – Overzichtsrapport trillingen tracébesluit, november 2011*)

## 2.2 Gebruikte onderzoeksresultaten

Dit rapport bevat de resultaten van het opnieuw verwerken van de meetdata van twee van de in paragraaf 2.1 genoemde onderzoeken : de eerste en de laatste.

In het eerste onderzoek zijn de volgende meetdata gegenereerd:

- Langdurige meting op twee referentiepunten tussen Dommel en Dieze, één ten noorden van het station (Boschveldweg), één ten zuiden (Van der Maijweg), beiden aan de oostkant van het spoor.
- Overdrachtsmetingen tussen die referentiepunten en de fundatie van een reeks panden tussen Dommel en Dieze, aan beide kanten van het spoor.
- Overdrachtsmetingen tussen fundatie en vloervelden voor diezelfde panden.
- Afstandsrelatie (mate van verzwakking als functie van afstand), bepaald ten noorden van het station aan de oostkant van het spoor.

**Datum:** 15 juli 2016

- Snelheidsrelatie (mate van verzwakking als functie van de treinsnelheid), bepaald op dezelfde plek als waar de afstandsrelatie is bepaald.
- Langdurige meting op twee referentiepunten op de volgens de onderzoeken resterende kritische locaties. Deze zijn, net als de eerste twee referentiepunten, aan de Boschveldweg en de Van der Maijweg maar dan veel dichterbij het station.

Op verzoek van Arcadis en ProRail en in overleg met RoyalhaskoningDHV (RHDHV, juridisch opvolger van DHV) heeft TNO de oorspronkelijke meetdata en uitwerkscripts ter beschikking gesteld aan Level Acoustics & Vibration exclusief voor dit onderzoek.

Van de twee onderzoeken zijn de ruwe (onbewerkte) meetfiles opnieuw geanalyseerd, maar nu conform BTS. Dit betekent op 2 punten een andere aanpak dan de oorspronkelijke:

- Overdrachten en relaties zijn nu bepaald en gepresenteerd in octaafbanden. Oorspronkelijk zijn deze begrippen ook spectraal geanalyseerd maar in de verwerking en rapportage vereenvoudigd tot eengetalswaarden, eventueel met dominante frequenties of frequentie-“gebieden”. De octaafbandaanpak heeft niet alleen effect op hoe de begrippen worden gepresenteerd (en gebruikt kunnen worden voor voorspellingen) maar ook op de bepaling van  $V_{max}$  en  $V_{per}$  in de nulsituatie, zoals de door de BTS aangewezen “Level-memo” dat voorschrijft.
- $V_{max}$  wordt volgens BTS bepaald, waarbij tevens de bijbehorende betrouwbaarheidsgraad  $R$  wordt berekend.

Voor het overige is er niets veranderd. Behalve de oorspronkelijke meetdata zijn ook de oorspronkelijke uitwerkscripts gebruikt, die alleen zijn aangepast cq uitgebreid waar het de bepaling van octaafbanden en van  $V_{max}$  betreft. Er is één uitzondering: de uitwerkscripts van het tweede onderzoek (nieuwe referentiemeting) zijn niet meer beschikbaar en zijn daarom opnieuw geschreven.

Dit betekent dat:

- alle toen gebruikte data ook nu zijn gebruikt
- alle overige verwerkings- en analyse stappen die toen zijn genomen ook nu zijn genomen

Door het opnieuw uitwerken van het tweede onderzoek is gebleken dat in de oorspronkelijke uitwerking van dat onderzoek een fout is gemaakt waardoor de resultaten van 1 locatie in de rapportage van 2012 onjuist zijn. Het betreft de locatie Boschveldweg (in dat rapport “REF1” genoemd), waarvan de trillingsniveaus in dat rapport een factor 5 te hoog zijn. De gemaakte fout heeft geen invloed op nieuwe uitwerkingen, zoals de voor onderhavig rapport uitgevoerde verwerking conform BTS 2014.

## 2.3 Uitgangspunten, ten grondslag liggende aan de resultaten in dit rapport

### 2.3.1 Gebouwkeuze

In het eerste onderzoek, in 2009, is een reeks woningen geselecteerd in het gebied op basis van ligging en bouwwijze. Van de vier "kwadranten" (noordoost, zuidoost, noordwest, zuidwest t.o.v. het station) kent de noordoostelijke de meeste variatie in bouwwijze. Daar zijn de meeste woningen gekozen. In de overige kwadranten is er in ten hoogste 2 woningen gemeten. Qua ligging is gekeken naar afstand tot het spoor. Qua bouwwijze is gekeken naar ouderdom van het pand, hoogte van het pand en type vloer.

### 2.3.2 Bepaling $V_{max}$ en $V_{per}$

$V_{max}$  is bepaald voor woningen en voor referentiepunten. Dit gebeurde volgens een procedure die vergelijkbaar is met "optie 2" van de memo "Reparatie BTS"<sup>1</sup>: het combineren van langdurige metingen op referentiepunten met overdrachten naar woningvloeren op grond van kortdurende metingen. Het onderzoek in 2009 week op een aantal punten af:

- Een referentiepunt betrof niet een funderingspunt van het gebouw waarin de woning zich bevond maar een funderingspunt van een gebouw in de buurt. Dit betekent dat er sprake is van een extra overdracht: van referentiepunt naar funderingspunt van de woning. Dit is een extra stap, weliswaar analoog aan optie 2, maar wel een die een beperking oplevert: de invloed van veranderende omstandigheden (zoals treinsnelheid of spoorafstand) kan op het referentiepunt anders zijn dan op de te beoordelen woningen. Optie 2 van de memo "Reparatie BTS" is mede met behulp van dit onderzoek uit 2009 tot stand gekomen, waarbij de lering is getrokken zo'n tweede stap niet automatisch te hanteren. Zowel de BTS als het memo geven echter de ruimte af te wijken van optie 2 (en 1) en dat betekent dat het onderzoek van 2009 ondanks bovengenoemde afwijkingen voor het overige wel verder kan worden verwerkt conform de BTS.
- De overdrachtsmetingen vonden gedurende slechts een half uur plaats (in plaats van de 24 uur conform de memo "Reparatie BTS").
- De verwerking vond weliswaar spectraal plaats, maar niet consequent in octaven (wederom is er sprake van een leerproces, leidend tot de memo "Reparatie BTS".) Dit is in dit rapport aangepast conform de BTS.
- $V_{max}$  werd bepaald volgens de SBR richtlijn (deel B). Dit is in dit rapport aangepast naar de BTS.

De memo "Reparatie BTS" hanteert, bij het bepalen van  $V_{max}$ , het begrip "gebeurtenis". Daarbij wordt in het midden gelaten hoe dat is gedefinieerd. Er zijn tenminste twee mogelijke definities: die van een treinpassage en die van de 30-seconde periode die wordt gebruikt voor de berekening van  $V_{per}$ . Zowel in 2009 en 2012 als nu wordt voor het begrip gebeurtenis treinpassage gebruikt. Dat betekent dat zowel toen als nu voor de bepaling van  $V_{max}$  uit de data de treinpassages zijn geselecteerd, elk met hun eigen duur. Daarnaast is voor de bepaling van  $V_{per}$  de data opgedeeld in stukken van 30 seconden.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> memo LA.131001a.M04 van Level, aangewezen door de toelichting bij de aanpassing van de BTS voor de bepaling van  $V_{max}$



Vper is alleen bepaald met de data van 2012, en betreft dus alleen twee referentiepunten. Vper is direct uit de meetdata gehaald en is dus representatief voor de treinfrequenties van die week, in 2012.

### **2.3.3 Referentiepunten**

In 2009 zijn twee referentiepunten gebruikt voor het hele gebied tussen Dommel en Dieze. Beide punten zijn gelegen aan de oostkant van het spoor maar zijn tevens gebruikt als referentie voor de woningen aan de westzijde. Eén punt lag ten noorden van het station en diende als referentie voor alle woningen ten noorden van het station, en evenzo was er een referentiepunt aan de zuidzijde. De locatie van de referentiepunten werd gekozen op "robuustheid": het gaat om relatief nieuwe, grote panden, met weinig bronnen van stoortrillingen in de buurt.

Uit het onderzoek bleek dat er twee buurten zijn waar mogelijk maatregelen moeten worden overwogen op grond van een nameting. Dat betekent dat er in elk van de buurten een referentiepunt nodig is waar de invloed van het project representatief is voor die buurt. De referentiepunten van 2009 liggen echter net buiten die buurten en daarom zijn in 2012 twee nieuwe referentiepunten gekozen en is daar een voormeting verricht. De precieze locatie van de sensoren is vastgelegd om een zo vergelijkbaar mogelijke nameting mogelijk te maken.

### **2.3.4 Gebouwoverdracht**

De gebouwoverdracht betreft steeds een verhouding tussen fundering en woningvloer, conform de memo "Reparatie BTS". In de meeste gevallen betreffen de onderzochte woningen enkellaagse appartementen. De locatie van een appartement in een woongebouw kan echter invloed hebben: in een hoog pand zullen de bovenste appartementen bijvoorbeeld sterkere horizontale trillingen kennen (door het zwaaien van het gebouw). In 2009 zijn de woningen mede op grond van deze overwegingen geselecteerd.

### **2.3.5 Afstandsrelatie**

In 2009 is een afstandsrelatie bepaald op grond van 2 meettraaien (twee parallelle rijen sensoren die zich over een meter of 100 van het spoor de buurt in gaan, via een zijstraat haaks op het spoor). Over de meettraaien wordt gemiddeld. Als bron werd niet een valgewicht gebruikt (wat vaak voorkomt in andere projecten) maar treinpassages. Dit heeft om een aantal redenen de voorkeur: zo hoeft er geen correctie te worden uitgevoerd in verband met de geometrische afstandsdeemping van een valgewicht, en is er geen onzekerheid over de invloed die de verschillende door de trein veroorzaakte golftypes en voortplantingspaden op de afstandsdeemping hebben.

De afstandsrelatie is op 1 plek bepaald (in het noordoostelijke kwadrant) en toegepast op het hele gebied. Dit is een eerste-orde benadering met een grote mate van onzekerheid, die bij toepassing op het hele gebied ook in rekening is gebracht. Maar omdat bleek dat de afstandsrelatie geen bepalende invloed op de beoordeling heeft zijn er later geen nieuwe metingen elders uitgevoerd (met uitzondering van het gebied boven de Dieze, welke in eerste instantie ook gebruik maakte van de afstandsrelatie van beneden de Dieze, maar waar later een nieuwe raaimeting opportuun bleek en uitgevoerd is).

### **2.3.6 Snelheidrelatie**

De meetraaimetingen in 2009 zijn ook gebruikt om snelheidsrelaties te bepalen. Daartoe zijn tijdens de trillingsmetingen ook metingen aan de snelheid van de treinen uitgevoerd. De passages van het materieel MAT64 zijn vervolgens in de analyse gebruikt om snelheidsrelaties af te leiden. In 2009 gebeurde dit al spectraal en per afstand maar werden de resultaten samengevat tot een eengetalswaarde onafhankelijk van de afstand. In dit rapport worden dezelfde passages verwerkt tot een snelheidsrelatie per octaafband en per afstand.

De vraag is in hoeverre de afstandsrelatie gebruikt kan worden voor andere materieeltypes, zoals VIRM en goederen. Bovendien beperkte de snelheidsvariatie tijdens de metingen zich tot het interval 40 km/uur tot 60 km/uur en de vraag is in hoeverre dat te extrapoleren valt naar hogere snelheden.

De afgelopen jaren is er veel onderzoek gedaan naar snelheidsrelaties maar dat heeft nog niet geleid tot duidelijke antwoorden op deze vragen. In het onderzoek van 2009 zijn deze vragen vertaald naar onzekerheden in de prognose.

In dit rapport wordt de snelheidsrelatie als functie van octaafband en afstand tot het spoor gegeven, wat de spectrale invloed van materieeltype, bodemverzwakking en treinsnelheid in rekening brengt. Daarmee zijn echter lang niet alle invloedsfactoren op de snelheidsrelatie afgedekt. Zo treedt bij hoge aslasten (goederentreinen) dicht bij het spoor een bron van trillingen in werking die een hele eigen snelheidsrelatie kent. Hoe dichtbij "dichtbij het spoor" is hangt sterk af van de bodem maar zal bij Den Bosch in de orde van enkele tientallen meters liggen.

## 3 Resultaten

### 3.1 Vmax vóór SiDB, 2009, conform BTS

De meetcampagne van 2009, verwerkt volgens BTS, levert de volgende resultaten op :

*Tabel 1: Vmax,bts en R voor de woningen en referentiepunten van 2009*

	Vmax,bts [-]	R [%]
'bordeslaan28'	0,15	6,11
'bosveldweg 35'	0,76	9,19
'bosveldweg 435'	0,15	6,43
'bosveldweg 455'	0,20	5,87
'fahrenheitstr18'	0,43	5,79
'kemperlandstr 133'	0,27	6,09
'mijweg57'	1,20	5,56
'mijweg75'	0,45	6,07
'parallelstr72'	0,36	4,64
'referentie boschveldweg 455'	0,150	7,39
'referentie essent'	0,114	7,03
'st_lucasstraat 30'	0,14	6,75

De metingen zijn uitgevoerd op een manier die overeenkomt met "optie 2" van de memo "Reparatie BTS" hetgeen betekent dat langdurige metingen op referentiepunten ('referentie essent' en 'referentie boschveldweg 455') worden gecombineerd met kortdurende metingen in woningen (de overige adressen). De duur van de langdurige metingen bedroeg ongeveer 12 dagen. In deze methode worden overdrachten bepaald, in octaafbanden. Deze factoren staan gepresenteerd in de volgende tabel. NB: dit is dus níet Hgebouw, omdat de fundering dat van een *ander* pand is en bodem e.d. dus ook een rol speelt.

Datum: 15 juli 2016

Tabel 2: overdrachtsspectra, tussen vloerpunt van de woning en funderingspunt van het referentiepand, voor de woningen van 2009

	2 Hz	4 Hz	8 Hz	16 Hz	32 Hz	63 Hz
'bordeslaan28'	1,4	1,2	1,6	2,3	4,2	1,2
'bosveldweg 35'	1,12	1,9	2	1,9		
'bosveldweg 435'	0,98	1	0,87	0,95		
'bosveldweg 455'	1,6	2	0,86	1,5		
'fahrenheitstr18'	0,98	1,03	1,5	1,8	3,4	2,2
'kemperlandstr 133'	4	4	1,6	2,9		
'maijweg57'	2,4	1,6	2,3	4,2	3,7	2,9
'maijweg75'	0,99	0,96	1,5	2,1	1,8	4,1
'parallelstr72'	0,97	1,05	1,3	2,4	2,6	3,8
'st_lucasstraat 30'	1,02	0,97	1,07	1,3		

Rood zijn de overdrachtfactoren die bepalend zijn geweest omdat deze de maatgevende dominante frequenties betreffen. Onderstaande tabel geeft per octaafband weer hoeveel procent van de passages die domineerde. Tevens wordt de dominante trillingsrichting gepresenteerd.

Tabel 3: dominante frequentie, naar treinpercentage, en dominante richting

	2 Hz	4 Hz	8 Hz	16 Hz	32 Hz	63 Hz	richting
'bordeslaan28'	0	0	4	71	24	0	V
'bosveldweg 35'	0	1	94	5	0	0	H
'bosveldweg 435'	0	7	50	42	0	0	V
'bosveldweg 455'	0	1	59	40	0	0	V
'fahrenheitstr18'	0	18	10	0	72	0	V
'kemperlandstr 133'	0	0	63	37	0	0	V
'maijweg57'	0	0	24	64	12	0	V
'maijweg75'	0	0	62	36	2	0	V
'parallelstr72'	0	9	32	55	3	0	V
'st_lucasstraat 30'	0	5	44	51	0	0	V

Rood betreffen de opvallende afwijkingen: de horizontale trillingsrichting bij Bosveldweg 35 en de 32 Hz bijdrage bij Fahrenheitstraat 18.

In de meeste gevallen zijn alleen de 8 Hz en 16 Hz octaafbanden van belang, en de verticale trillingsrichting.

De bijlage bevat deze tabel met absolute treinaantallen i.p.v. percentages.

### 3.2 Vmax en Vper vóór SiDB, 2012, conform BTS

De metingen duurden in 2012 7 dagen, waarbij er 7 volle avondperiodes en 7 volle nachtperiodes is gemeten en ongeveer 6,75 dagperiodes.

Tabel 4: Vmax en R voor de fundering van de twee referentiepanen van 2012

	Majweg			Boschveldweg		
	Z	X	Y	Z	X	Y
Vmax	0,20	0,09	0,14	0,15	0,05	0,06
R [%]	12,6	4,2	15,9	14,9	18,8	9,9
aantal	9	1060	9	10	10	10

Het belangrijkste is de verticale richting Z. Ook nog van belang is de horizontale richting loodrecht op het spoor (Y). De R is in de meeste gevallen groter dan 10. In het licht van de resultaten van 2009, toen bijna twee weken is gemeten en (veel) lagere R's zijn vastgesteld ware het beter geweest als in 2012 een week langer was gemeten.

Er zijn voor het bepalen van Vmax geen passages weggegooid: de top 9 resp 10 gebeurtenissen die de Vmax opleverden hebben allen het profiel van een treinpassage, in duur en verloop. Wel is er een gevoeligheidsstudie gedaan waarbij over de hele duur van 2 weken alle pieken zijn verwijderd die gezien hun profiel (kort en hoog) niet toe te schrijven zijn aan passages maar bijv. aan lopen en ander verkeer. Dat leverde iets lagere resultaten op voor Vmax, o.a. omdat ook hoge pieken uit passages werden verwijderd: 0,20 voor Majweg zakte bijvoorbeeld naar 0,19, en 0,15 bij Boschveldweg naar 0,14. Omdat deze opschoning in dit stadium onvoldoende onderbouwd is, hoewel de data er alle aanleiding toe geeft er van uit te gaan dat er sprake is van veel stoortrillingen, en de piekverwijdering zeer conservatief is ingestoken, zijn nu de resultaten zonder opschoning gepresenteerd.

De top 5 passages, met Veff,max en tijdstip, voor de twee locaties zijn de volgende:

Tabel 5: top 5 passages van referentiepan Majweg

Majweg	
0,2173	16 mei-2012 01:20:08
0,1849	09 mei-2012 17:36:48
0,1830	10 mei-2012 01:55:04
0,1574	11 mei-2012 04:25:19
0,1445	10 mei-2012 13:11:43

Tabel 6: top 5 passages van referentiepand Boschveldweg

Boschveldweg	
0,1768	11 mei-2012 04:26:36
0,1220	15 mei-2012 21:57:52
0,1194	11 mei-2012 22:17:46
0,1152	10 mei-2012 01:57:51
0,1133	10 mei-2012 21:14:09

De topX per kanaal wordt gepresenteerd in de bijlage. Omdat van de x-richting van Maijweg de topX maar liefst 1060 treinen betreft is alleen de top 10 in tabelvorm opgenomen en de rest in de vorm van een histogram.

Tenslotte is een Vper bepaald. Daarbij zij opgemerkt dat die voor een referentiepunt niet voor de hand ligt. Referentiepunten hebben over het algemeen lagere niveaus dan punten in woningen, en dan gaat het selectie criterium voor Vper, zijnde alleen 30-seconde periodes met een  $V_{eff,max}$  hoger dan 0,1, sterk meespelen. Bij 0,1 als criterium ook voor de fundering vallen veel meer treinen, soms zelfs alle, af bij de bepaling van Vper. Vper wordt zeer klein of zelfs nul. Vper wordt kritisch afhankelijk van de hoogte van het criterium als  $V_{max}$  in de buurt ligt van dat criterium. Verlaging van 0,1 naar 0,09 kan al tot een substantiële toename van de waarde van Vper leiden. Dat is in de normale situatie, waar een Vper voor een vloerpunt wordt bepaald, geen probleem omdat als  $V_{max}$  in de buurt van 0,1 ligt Vper sowieso niet belangrijk is. Bij meting aan de fundering zijn de niveaus sowieso lager en dient het criterium dus dienoverkomstig te worden geschaald om zeker te stellen dat de verhouding tussen Vper en  $V_{max}$  blijft kloppen. Met het doel Vper nog een zinnige grootheid te laten zijn voor deze funderingsmeting, is daarom een criterium van 0,02 gehanteerd. Er zijn drie redenen om voor 0,02 te kiezen:

- De verhouding in trillingsniveau tussen fundering en vloer ligt vaak tussen de 2 en de 4. In verband met de gevoeligheid van Vper voor het criterium betekent dat een 2 tot 4 lagere waarde van het criterium. Aangezien juist hoge vloeropslingeringen (factor 4 en hoger) vaak maatgevend zijn dient dat criterium dus vooral daarmee rekening te houden. Dat leidt tot een criterium van 0,025. Conservatief afgerond is dat 0,02.
- Het criterium kan ook niet te laag zijn: stoortrillingen kunnen teveel een rol gaan spelen. Bovendien moeten meetsystemen nog in staat zijn waardes onder het criterium vast te stellen. De SBR richtlijn stelt een grens van 0,01 voor de meetgevoeligheid. Het criterium kan in feite dus niet lager dan 0,02.
- De BTS gebruikt voor de selectie van gebeurtenissen bij meting aan de fundering een criterium van 0,02. Het ligt in de rede om daar op aan te sluiten, met het oog op de naverwerkingsinspanning zowel voor de bepaling van Vper als voor de gebeurtenisselectie.

De waardes van  $V_{per}$ , met selectie criterium 0,02, zijn als volgt.

Tabel 7: :  $V_{per}$  voor de fundering van de twee referentiepanelen van 2012

	Majweg			Boschveldweg		
	Z	X	Y	Z	X	Y
dag	0,0196	0,0127	0,0124	0,0103	0,0008	0,0047
avond	0,0183	0,0112	0,0116	0,0099	0,0007	0,0040
nacht	0,0127	0,0073	0,0079	0,0077	0,0010	0,0039

De bijbehorende aantallen 30 seconde periodes (die aan het selectie criterium voldoen) zijn:

Tabel 8: :  $V_{per}$  voor de fundering van de twee referentiepanelen van 2012

	Majweg			Boschveldweg		
	Z	X	Y	Z	X	Y
dag	2508	1242	1476	1137	22	486
avond	599	330	412	299	7	129
nacht	488	286	327	309	14	161

De aantallen komen op de maatgevende meetrichting (Z) neer op een uurlijks aantal events van:

Overdag: 31 op de Majweg, 14 op de Boschveldweg

's Avonds: 21 op de Majweg, 11 op de Boschveldweg

's Nachts: 9 op de Majweg, 6 op de Boschveldweg

Dit zijn aantallen die in de orde liggen van het aantal treinpassages per uur voor die dagdelen, maar dan wel iets hoger. Daarbij moet in ogenschouw worden genomen dat veel goederentreinen vaak 2 of soms wel 3 keer meer meetellen omdat ze lang zijn en ter plekke relatief langzaam rijden waardoor een passage meerdere tijdvakken van 30 seconden zal bestrijken. Ook zal 10% tot 20% van de reizigerstreinen 2 30-seconde periodes "aanslaan". Toch zal er ook sprake zijn van events anders dan van treinpassages. Weliswaar zijn voor de berekening van  $V_{per}$  alleen events meegenomen die het karakter hebben van een treinpassage, maar deze zijn niet, zoals voor de bepaling van  $V_{max}$ , allemaal ook nog visueel en aan de hand van de gegevens van de Verkeersleiding gecontroleerd. Het is dus mogelijk dat bijv. vrachtwagenpassages zich ook onder de geselecteerde events bevinden.

Concluderend kan worden gesteld dat in ieder geval de meeste treinpassages zijn meegenomen, en mogelijk ook wat storevents zoals vrachtwagenpassages.

### 3.3 Afstandsrelaties

De afstandsrelatie is opnieuw bepaald, nu per octaafband. Voor lage frequenties en voor hoge frequenties is het vaak niet eenvoudig deze nauwkeurig deze relaties te bepalen. Gezien de resultaten in de woningen, waaruit blijkt dat alleen de 8, 16 en 32 Hz octaafbanden dominant zijn, zijn de relaties alleen voor die banden bepaald. Ze zijn bepaald per tertsbands, o.a. om te

beoordelen of de spectrale trends verklaarbaar zijn en de resultaten te vertrouwen, en dat is samengevat tot resultaten per octaaf.  
 De afstandsrelatie wordt gegeven als verzwakking in dB per 10 meter.

Tabel 9: afstandsverzwakking per tertsbands- en octaafband, op grond van meetraaimeting van 2009, in dB per 10 meter

tertsband	6,3	<b>8</b>	10	12,5	<b>16</b>	20	25	<b>31,5</b>	40
gemiddelde	-0,29	-0,54	-0,72	-0,82	-0,99	-1,05	-1,15	-1,33	-1,64
standaardafwijking	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,5	0,5	0,6
octaafband		<b>8</b>			<b>16</b>			<b>31,5</b>	
gemiddelde		-0,5			-1,0			-1,4	
standaardafwijking		0,4			0,3			0,5	

De resultaten komen overeen met empirie en theorie: een gemiddelde verzwakking van 1 dB per 10 meter, en hoe de frequentie hoe meer verzwakking.

Het komt neer op 0,5 dB reductie per 10 meter bij 8 Hz, 1,0 bij 16 en (afgerond) 1,5 bij 32 Hz. Hierbij geldt dat  $dB=20 \cdot \log(v_j/v_i)$ . Dit is om te rekenen naar een reductiefactor, bijvoorbeeld bij 8 Hz:  $10^{(0,5/20)}$  per 10 meter.

Dit is conform de Barkan relatie waarbij we in verband met lijnbron en oppervlaktegolf geen geometrische demping hebben maar wel nog materiaaldemping. Vanaf treinlengte, pakweg 100 meter, kan men ook geometrische demping in rekening gaan brengen. Daar is niet aan gemeten dus dat zal theoretisch moeten.

### 3.4 Snelheidsrelaties

Nu bij deze nieuwe uitwerking van de meetresultaten consequent alles spectraal is uitgewerkt zijn ook de snelheidsrelaties nauwkeuriger bepaald: per tertsbands en bovendien per afstand. Nog steeds wel gebaseerd op alleen materiaaltype MAT64, maar met de octaafaanpak is dat minder bezwaarlijk (zie discussie hierover in hoofdstuk 2). Hoewel er veel spreiding in de metingen zitten, wat niet zo gek is, komt er toch een relatie uit die strookt met andere empirie. De relatie is overigens minder sterk dan in 2010 is vastgelegd.

De snelheidsrelatie, bepaald uit 54 passages, is vastgelegd als een functie van snelheid, afstand en tertsbands en luidt als volgt:

Voor tertsbands met tertsbandsnummers 1 t/m 9 (6,3 Hz t/m 40 Hz):

$$rc = -.04 + .024 \text{ tertsbandsnummer} + .006 \text{ afstand [m]}$$

Voor octaven 8, 16 en 32 Hz, aangeduid met het tertsbandsnummer van de middelste tertsbands (dus 2, 5 en 8):



$rc = -.06 + .07 \text{ octaafstartersbandnummer} + .006 \text{ afstand [1m]}$

De afstand betreft de afstand tot de dichtstbijzijnde spoorstaaf.

De  $rc$  is de richtingscoëfficiënt van de dubbellogaritmische relatie tussen treinsnelheid en maximale trillingssnelheid van een passage:

$^{10}\log(v_{\max}) = rc \ ^{10}\log(v_{\text{trein}})$ . Dus gegeven twee treinen  $i$  en  $j$  die elk met een eigen snelheid passeren, geldt de relatie:

$$(v_{\max\_j} / v_{\max\_i}) = (v_{\text{trein\_j}} / v_{\text{trein\_i}})^{rc}$$

## Bijlage

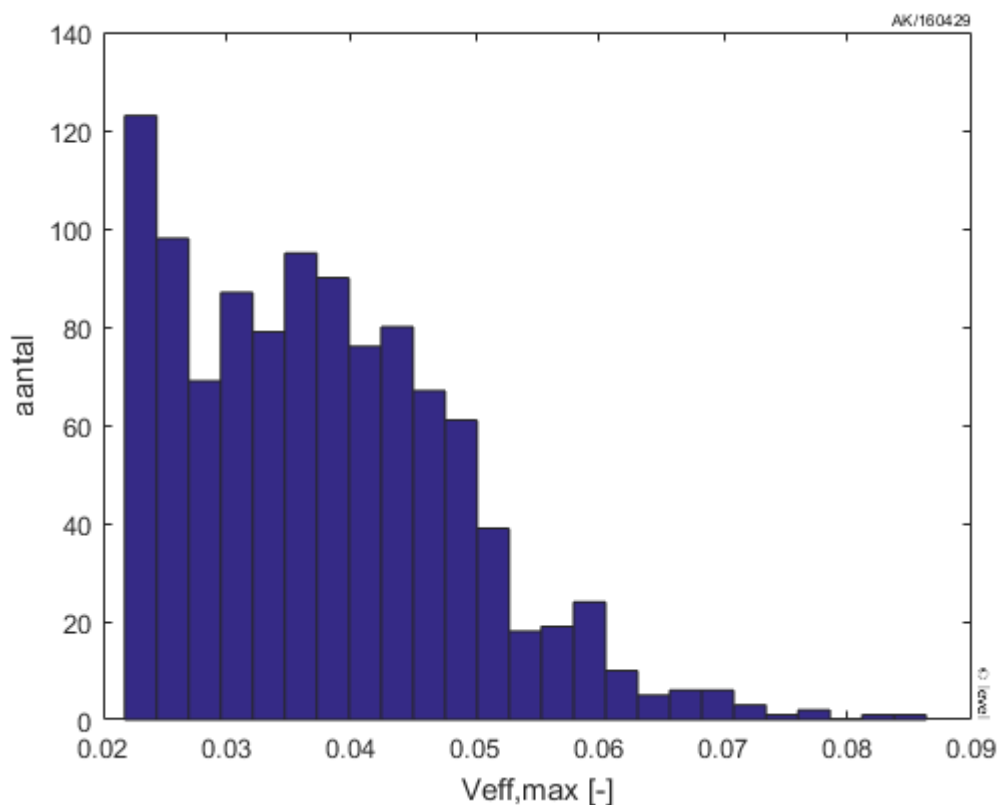
Tabel 10: TopX van referentiepunt Maijweg (2012)

<b>Maijweg, kanaal Z</b>		<b>Maijweg, kanaal X</b>		<b>Maijweg, kanaal Y</b>	
Vmax,bts : 0,198		Vmax,bts : 0,090		Vmax,bts : 0,137	
tijdsstip	Veff,max	tijdsstip	Veff,max	tijdsstip	Veff,max
16 mei 01:20	0,2173	09 mei 17:36	0,0863	10 mei 01:55	0,1529
09 mei 17:36	0,1849	12 mei 13:44	0,0822	11 mei 04:25	0,1337
10 mei 01:55	0,1830	16 mei 01:20	0,0780	09 mei 17:36	0,1077
11 mei 04:25	0,1574	13 mei 15:16	0,0770	12 mei 13:44	0,1062
10 mei 13:11	0,1445	09 mei 21:20	0,0749	15 mei 13:08	0,0989
09 mei 21:20	0,1434	10 mei 01:55	0,0733	13 mei 15:16	0,0973
11 mei 11:25	0,1415	11 mei 04:25	0,0714	16 mei 01:20	0,0895
10 mei 18:51	0,1414	13 mei 18:00	0,0709	15 mei 21:05	0,0881
11 mei 16:30	0,1406	14 mei 13:40	0,0707	15 mei 21:57	0,0832
		14 mei 23:45	0,0701	10 mei 01:55	0,1529

verder: zie figuur 1

Tabel 11: TopX van referentiepunt Boschveldweg (2012)

<b>Boschveldweg, kanaal Z</b>		<b>Boschveldweg, kanaal X</b>		<b>Boschveldweg, kanaal Y</b>	
Vmax,bts : 0,147		Vmax,bts : 0,048		Vmax,bts : 0,064	
tijdsstip	Veff,max	tijdsstip	Veff,max	tijdsstip	Veff,max
11 mei 04:26	0,1768	12 mei 16:49	0,0620	11 mei 04:26	0,0734
15 mei 21:57	0,1220	14 mei 12:09	0,0387	15 mei 21:57	0,0564
11 mei 22:17	0,1194	09 mei 16:02	0,0354	11 mei 22:17	0,0545
10 mei 01:57	0,1152	11 mei 04:26	0,0349	10 mei 01:57	0,0506
10 mei 21:14	0,1133	12 mei 16:04	0,0343	10 mei 21:14	0,0505
14 mei 12:09	0,1033	13 mei 15:15	0,0321	14 mei 12:09	0,0502
09 mei 21:19	0,0969	15 mei 07:19	0,0290	09 mei 21:19	0,0501
10 mei 10:13	0,0945	15 mei 21:57	0,0284	10 mei 10:13	0,0487
10 mei 17:35	0,0940	13 mei 16:32	0,0282	10 mei 17:35	0,0483
13 mei 15:15	0,0939	12 mei 02:11	0,0266	13 mei 15:15	0,0482



Figuur 1: TopX (1060 passages) van kanaal X van referentiepunt Maijweg (2012)

Tabel 12: dominante frequentie, in absolute aantallen, basis van tabel 3

	2 Hz	4 Hz	8 Hz	16 Hz	32 Hz	63 Hz	richting
'bordeslaan28'	0	42	679	<b>225</b>	6	0	V
'bosveldweg 35'	0	43	<b>4213</b>	231	0	0	<b>H</b>
'bosveldweg 435'	0	335	<b>2250</b>	<b>1902</b>	0	0	V
'bosveldweg 455'	0	52	<b>2656</b>	1779	0	0	V
'fahrenheitstr18'	0	815	440	0	<b>3227</b>	0	V
'kemperlandstr 133'	0	23	<b>2814</b>	1650	0	0	V
'maiweg57'	0	1	232	<b>609</b>	110	0	V
'maiweg75'	0	5	<b>589</b>	342	16	0	V
'parallelstr72'	0	417	1453	<b>2480</b>	137	0	V

## Rapportage spoorwegtrillingen sporen Den Bosch (Tb SIDB)

---

### Rapportage spoorwegtrillingen sporen Den Bosch in het kader van het Tracébesluit SiDB

Status	definitief
Versie	001
Rapport	M.2015.0420.00.R002
Datum	4 augustus 2016

## Colofon

<b>Opdrachtgever</b>	Arcadis Nederland bv Postbus 220 3800 AE Amersfoort
<b>Contactpersoon</b>	de heer Ir. P. Schouten / Ir. A van Uitert +31 6 27 06 13 78 / +31 6 46 64 73 88
<b>Project</b> Betreft Uw kenmerk	Arcadis - Trillingen nameting TB sporen in Den Bosch Trillingsmetingen Sporen Den Bosch D01021.000175.0100
<b>Rapport</b> Datum Versie Status	M.2015.0420.00.R002 4 augustus 2016 001 definitief
<b>Uitgevoerd door</b>	DGMR Industrie, Verkeer en Milieu B.V. Casuariestraat 5 2511 VB Den Haag Postbus 370 2501 CJ Den Haag
<b>Informatie</b>	ing. J.J.A. (Hans) van Leeuwen 088 346 75 69 ln@dgmr.nl
<b>Auteur</b>	ing. M.H.C. (Thijs) Ruiter 088 346 78 57 tru@dgmr.nl
<b>Verantwoordelijk</b>	ing. J.J.A. (Hans) van Leeuwen 088 346 75 69 ln@dgmr.nl
<b>Verwerkt door</b>	TRU/BRA/KO/LN

**Inhoud**

<b>1. Inleiding</b>	<b>4</b>
<b>2. Aanleiding</b>	<b>5</b>
<b>3. Toetsingskaders</b>	<b>6</b>
<b>4. Methodologie</b>	<b>7</b>
4.1 Algemeen	7
<b>5. Locaties en gemeten objecten</b>	<b>8</b>
5.1 Appartementen Boschveldweg 59-83	9
5.2 Woningen Maijweg 1-35	10
<b>6. Resultaten van de metingen</b>	<b>11</b>
6.1 Resultaten metingen op de fundatie	11
6.2 Resultaten metingen in de woonkamer/verdieping	12
6.3 De rijsnelheid van passerende treinen	13
<b>7. Vergelijkingen met de nulmetingen van 2012</b>	<b>15</b>
<b>8. Conclusie</b>	<b>16</b>
<b>Bijlagen</b>	
Bijlage 1	Beschrijving meetapparatuur
Bijlage 2	Meetresultaten gebruikt voor BTS

## 1. Inleiding

In het tracébesluit (TB) van Sporen in Den Bosch (SiDB) is aangegeven dat er aan het onderwerp trillingen een onderzoek zal plaatsvinden. Op twee locaties binnen het project bestaat een kans dat in de toekomstige situatie sprake kan zijn van een toename van meer dan 30 % van de trillingssterkte.

Voor deze twee locaties is door Royal Haskoning DHV in combinatie met TNO is een vooronderzoek gedaan van de oplevertoets 'Trillingen' door een nulmeting uit te voeren om het trillingsniveau in de situatie, voor ingebruikname van de nieuwe sporen lay-out en snelheidsverandering, vast te leggen. Deze nulmeting is eerder uitgewerkt en gerapporteerd en later omgewerkt in het kader van de BTS 2014 systematiek. Een en ander is gerapporteerd in drie rapporten van RHDHV, TNO en Level Acoustics literatuur [1], [2] en [3].

Onderhavig onderzoek betreft het uitvoeren van trillingsmetingen conform de BTS 2014 systematiek voor twee locaties in Den Bosch nabij het station. Het betreft locaties aan de Boschveldweg en de Maijweg. Het onderzoek is erop gericht om de resultaten van de metingen te vergelijken en te toetsen aan hetgeen gesteld in het tracébesluit van Sporen in Den Bosch. De toets bestaat uit het vergelijken van de trillingsmetingen.

Alle werkzaamheden in het kader van de data-acquisitie is uitgevoerd door Sensornet B.V. Ook de geautomatiseerde verwerking van de meetdata is door Sensornet uitgevoerd. De begeleiding van de metingen en de analyse ervan en de rapportage zijn door DGMR uitgevoerd.

## 2. Aanleiding

Het tracébesluit 'Sporen in Den Bosch' concludeert dat op twee locaties rondom het station, er 20% kans bestaat, dat in de toekomstige situatie de toename van het trillingsniveau  $V_{\max}$  meer is dan 30%.

Het doel van onderhavig onderzoek is het vaststellen van de trillingsniveaus vanwege treinpassages in de eindsituatie en een toetsing of er sprake is van een toename in de eindsituatie van meer dan 30% ten opzichte van de referentiesituatie van vóór Sporen in Den Bosch (SiDB).

Het bepalen van het trillingsniveau  $V_{\max}$  is voor de voormeting als ook voor de nameting uitgevoerd volgens de systematiek van BTS 2014.



### 3. Toetsingskaders

In het TB is gesteld dat door middel van een nulmeting en een nameting dient te worden vastgesteld of het trillingsniveau op de twee eerder genoemde locaties inderdaad met een factor 1.3 of meer is toegenomen.

Wanneer de toename van het trillingsniveau met een factor 1.3 of meer is toegenomen zal een nieuwe afweging worden gemaakt over het treffen van maatregelen.

Voor de nulmeting waren twee toetsingskaders/meetmethoden van toepassing. Allereerst geldt het toetsingskader van het TB, dat voornamelijk berust op richtlijn B van de SBR. Daarnaast is op 18 april 2012 de Beleidsregel trillinghinder spoor (BTS) gepubliceerd in de Staatscourant (stcrt-2012-7532).

De trillingsmetingen van de in dit rapport beschreven nameting zijn in principe uitgevoerd conform de BTS 2014 en conform de meetmethode zoals beschreven onder optie 2 uit de memo LA.131001a.M04 van Level Acoustics Literatuur [5].

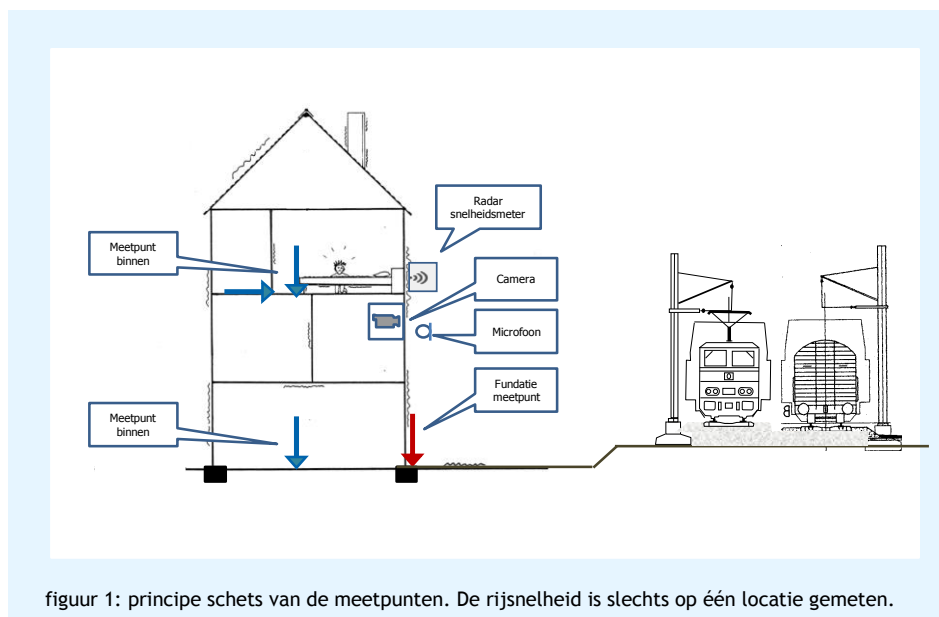
## 4. Methodologie

### 4.1 Algemeen

Er is bij deze metingen gebruikgemaakt van meetmethode nummer 2 beschreven in de memo van Level Acoustics. Literatuur [5].

Er is hierbij gebruikgemaakt van een trillingsopnemer voor drie richtingen aan de fundatie, een trillingsopnemer voor drie richtingen voor metingen in de woning (op twee plaatsen) en observatie met een camera en eenvoudige microfoon. Dit ten behoeve van de detectie van de treinen, die tijdens de metingen automatisch worden geregistreerd.

Er is op het meetpunt dat de beweging van de fundatie representeert, gemeten over een periode van tenminste een week. Naargelang de waarde van de onzekerheid (R) wordt na een week besloten of de meetperiode met een tweede week verlengd wordt. In de woning of in het gebouw is gemeten voor een periode voor tenminste 24 uur waarna het meetpunt in de woning/gebouw wordt verplaatst naar een ander vertrek op de hoogste verdieping, waarna opnieuw voor tenminste 24 uur wordt gemeten. Bij onderhavig onderzoek is de R-waarde bepaald zowel op de fundering als op de verdiepingsvloeren van de Maijweg, echter alleen aan fundering op Boschveldweg. Dit in verband met communicatieproblemen en in overleg met de opdrachtgevers.



figuur 1: principe schets van de meetpunten. De rijsnelheid is slechts op één locatie gemeten.

Het meetsysteem verzendt haar data 'live' via internet, zodat tijdens het meten de eerste verwerkte meetdata kunnen worden vertoond. Op deze wijze kan zo direct beoordeeld worden of de meetdata reproduceerbaar zijn en de metingen daarmee na zeven dagen afgerond kunnen worden.

Er is gekozen voor metingen van twee woningen synchroon. Bovenstaande figuur toont een overzicht van de meetpunten. Een beschrijving van de gebruikte meetapparatuur is gegeven in bijlage 1 van deze rapportage.

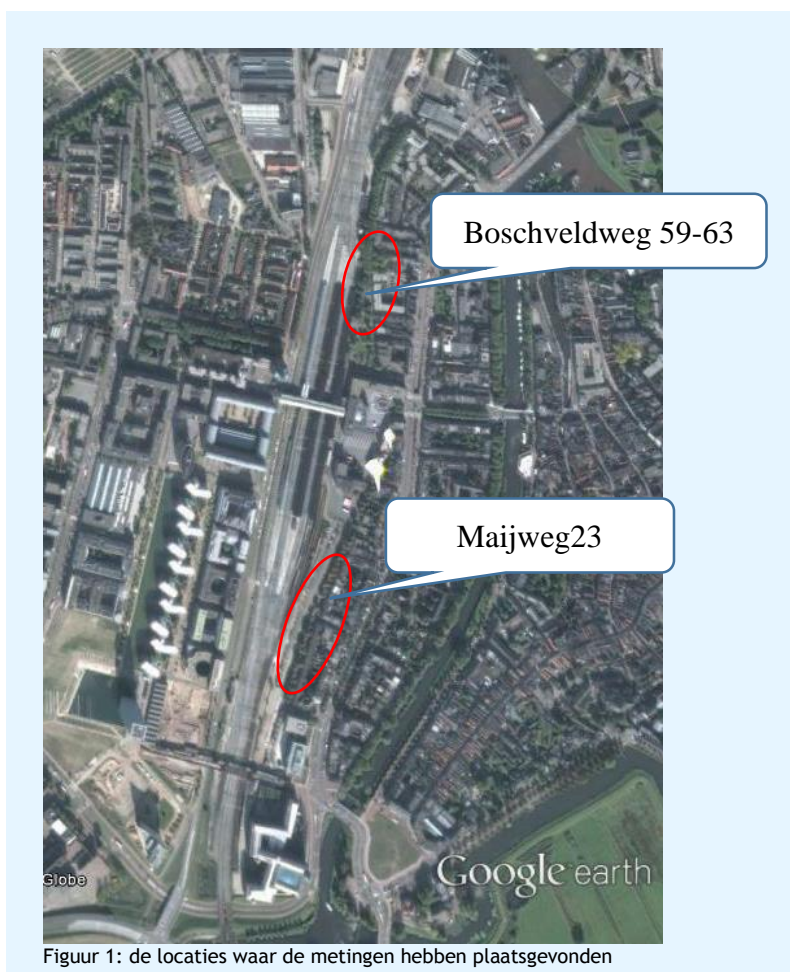
## 5. Locaties en gemeten objecten

De twee locaties waar de metingen zijn uitgevoerd betreffen woningen in de directe nabijheid van Station Den Bosch, ten oosten van dit station. In het TB worden ze aangeduid als het zuidelijk gedeelte van het gebied ten noordoosten van het station en het noordelijk gedeelte ten zuidoosten van het station. In figuur 1 staan met rood omcirkeld de locaties weergegeven waar mogelijk net wordt voldaan aan de uitgangspunten uit het TB. (De kans hiervan is volgens het TB > 80%).

De twee relevante locaties voor dit onderzoek worden met een tekstblok aangeduid. De locaties zijn:

- NO Boschveldweg.  
Als referentiepunt voor het zuidelijk gedeelte van de buurt ten noordoosten van het station geldt Boschveldweg 59-83. Er is gemeten in de flat van de huisnummers 59-63.
- ZO-1 Maijweg.  
Als referentiepunt voor het noordelijk gedeelte van de buurt ten zuidoosten van het station geldt Maijweg 23.

De metingen hebben plaatsgevonden van vrijdag 30 oktober tot en met zondag 22 november 2015. Dit is dus continu over een periode van drie weken. De metingen in de woonkamer en/of op de bovenste verdieping hebben eveneens in deze periode plaatsgevonden, maar conform het meetvoorschrift over tenminste 24 uur.



Figuur 1: de locaties waar de metingen hebben plaatsgevonden

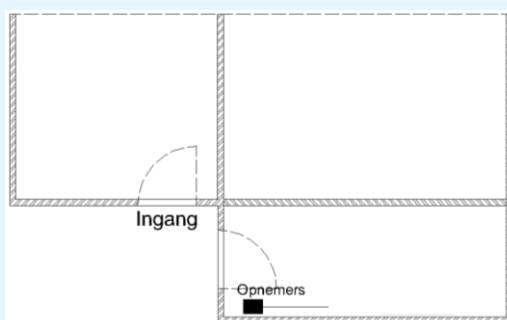
## 5.1 Appartementen Boschveldweg 59-83

Er is hier gemeten in het deel huisnummers 59-63.

Voor het fundatiemeetpunt is de 3D-opnemer geplaatst in de ruimte op de laagste verdieping met de gasmeters voor alle appartementen. De opnemers zijn vastgezet op de kalkzandstenen muur die direct gekoppeld is aan de betonvloer en fundatiebalk. De opnemers zijn niet op het houten paneel geplaatst maar met een stalen ring vast geboord aan de muur.

De meetpositie van de fundatie is vrijwel exact dezelfde als de meetpositie zoals deze in 2012 is gebruikt.

In verband met communicatieproblemen en in overleg met de opdrachtgevers is hier geen opnemer geplaatst in hoger gelegen verdiepingen.



figuur 2: foto's appartementen en portiek Boschveldweg 59-63 Den Bosch

Nabij dit meetpunt is tevens een radarsnelheidsmeter geplaatst. Deze is geplaatst op het dak van het tegenover liggende gebouw 't Kikkertje. Ook zijn hier twee camera's geplaatst.



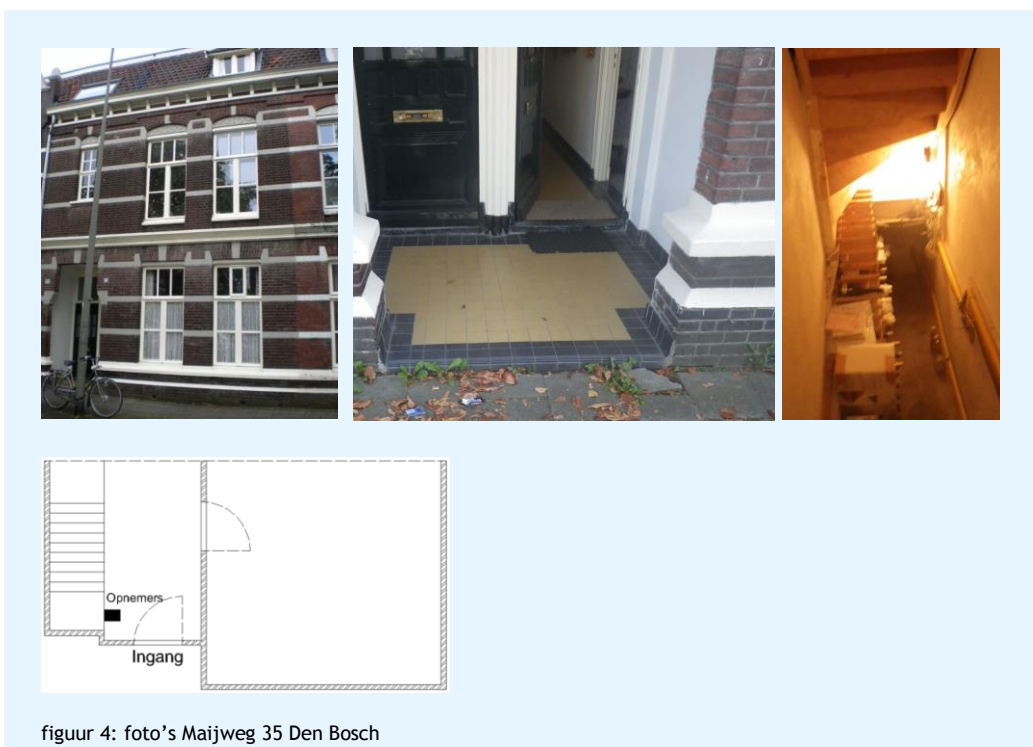
## 5.2 Woningen Maijweg 1-35

Er is gemeten in een huis met het adres Maijweg 23.

Voor het fundatiemeetpunt is de 3D-opnemer geplaatst in de ruimte/kelder onder de trap op de laagste verdieping. De opnemers zijn vastgezet op de metselwerkmuur die direct gekoppeld is aan de fundatiebalk.

De meetpositie van de fundatie is vrijwel exact dezelfde als de meetpositie zoals deze in 2012 is gebruikt.

Daarnaast is er een opnemer geplaatst op twee plaatsen op hoger gelegen verdiepingen (woonkamer en slaapkamer). Met deze opnemer is op twee verdiepingen voor tenminste 24 uur per verdieping gemeten om de overdracht vanuit de fundatie te bepalen.



## 6. Resultaten van de metingen

Zoals aangegeven zijn de volledige meetresultaten van de voelbare trillingen (BTS) gepresenteerd op het internet real time tijdens de metingen. De belangrijkste resultaten zijn te vinden in bijlage 2.

De metingen hebben, aan de hand van de onzekerheidswaarde R, beschreven in het meetvoorschrift, over een periode van in totaal drie weken plaatsgevonden. Dit aangezien na één week is gebleken dat de onzekerheidswaarde nog zeer ruim boven de 10% lag. Ook na een tweede week meten is gebleken dat de onzekerheidswaarde nog niet voldoende was gedaald.

### 6.1 Resultaten metingen op de fundatie

In onderstaande tabel volgt een kort overzicht van de belangrijkste getallen. Tabel 2 geeft de resultaten van de BTS 2014 analyse (het in deze tabel vermelde aantal metingen is het resultaat van het aantal relevante metingen na een aantal iteraties startend met de #top50% conform de meetmethode).

Tabel 3 en 4 geven de resultaten per periode van een etmaal en per week. Dit aangezien ook de voormeting slechts gedurende één week heeft plaatsgevonden.

**tabel 1: resultaten van de metingen uitgewerkt in BTS 2014**

locatie	$V_{\max, \text{BTS}}$	R [%]	aantal metingen	meest dominerende richting	meest dominerende oktaafband
	mm/s				
Boschveldweg 59-63	0.23	10.9	67	Z	8 Hz
Maijweg 23	0.18	9.2	36	Z	8 Hz

**tabel 2:  $V_{\max}$  statistisch voor de Boschveldweg volgens SBR-B.**

	dag	avond	nacht	24H
	mm/s	mm/s	mm/s	mm/s
week 1	0.27	0.17	0.33	0.30
week 2	0.28	--	0.26	0.26
week 3	0.27	0.18	0.25	0.26

**tabel 3:  $V_{\max}$  statistisch voor de Maijweg volgens SBR-B.**

	dag	avond	nacht	24H
	mm/s	mm/s	mm/s	mm/s
week 1	0.10	0.07	0.17	0.16
week 2	0.14	0.08	0.23	0.21
week 3	0.16	0.07	0.19	0.19

## 6.2 Resultaten metingen in de woonkamer/verdieping

Zoals reeds aangegeven is het niet mogelijk geweest om in het appartement aan de Boschveldweg metingen uit te voeren in de woning.

In de woning aan de Maijweg zijn wel metingen uitgevoerd. In deze woning is echter wel een meer technische complicatie ontstaan. Het meetvoorschrift geeft aan dat voor de bepaling van de overdrachtscoëfficiënten van een gebouw er metingen moeten worden uitgevoerd waarbij de trillings-snelheid hoger is dan 0.1 mm/s. Bij de metingen is gebleken dat er een gering aantal treinen meer trillingen produceerde dan deze drempelwaarde.

In onderstaande tabel volgt een kort overzicht van de belangrijkste getallen.

**tabel 4: overzicht van de  $H_{\text{gebouw}}$  waarden voor de Maijweg**

locatie Maijweg	meest dominerende richting	aantal metingen	$H_{\text{gebouw}}$ overdrachtsfactoren in dB					
			2 Hz	4 Hz	8 Hz	16 Hz	32 Hz	63 Hz
woonkamer	Z	5	1.7	0.2	0.6	3.4	8.9	19.9
verdieping	Z	14	1.1	4.2	4.3	5.8	6.8	13.7

**tabel 5: resultaten van de metingen in de woningen Maijweg uitgewerkt in BTS 2014**

locatie Maijweg	$v_{\text{max,BTS}}$	R [%]	meest dominerende richting	meest dominerende oktaafband
	mm/s			
woonkamer	0.17	9.2	Z	8 Hz
verdieping	0.25	9.5	Z	8 Hz

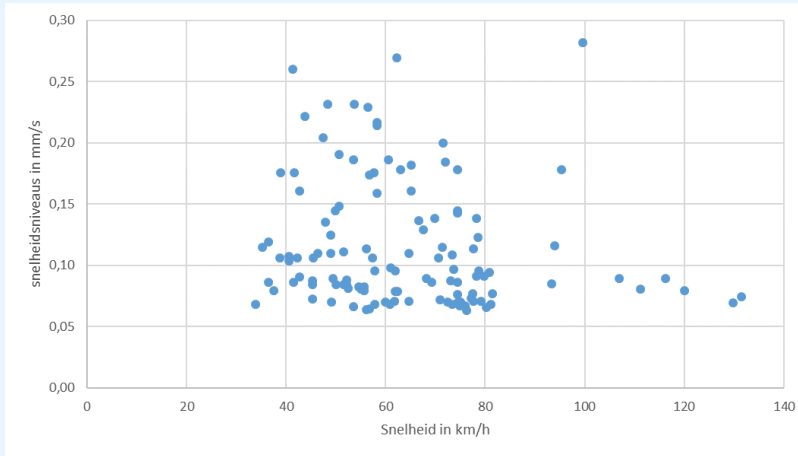
### 6.3 De rijsnelheid van passerende treinen

Bij het meetpunt aan de Boschveldweg is tevens een radarsnelheidsmeter geplaatst. Dit om te kunnen bekijken of er een relatie aanwezig is tussen de passerende treinen en de rijsnelheid. In deze paragraaf worden enige resultaten van de meting gegeven.

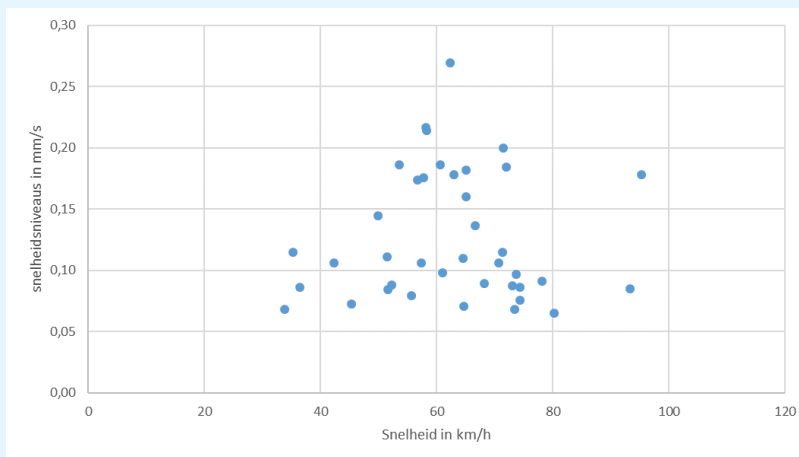
Aan de hand van deze snelheidsgrafieken moet de conclusie worden getrokken dat erin de eindsituatie van Sporen in Den Bosch treinen zijn gemeten die met de volgende rijsnelheden passeren:

- goederentreinen: voornamelijk tussen 40 en 80 km/h maar ook enkele treinen tot een maximum van 96 km/h.
- reizigerstreinen: voornamelijk tussen 40 en 80 km/h maar ook enkele treinen tot een maximum van 131 km/h.

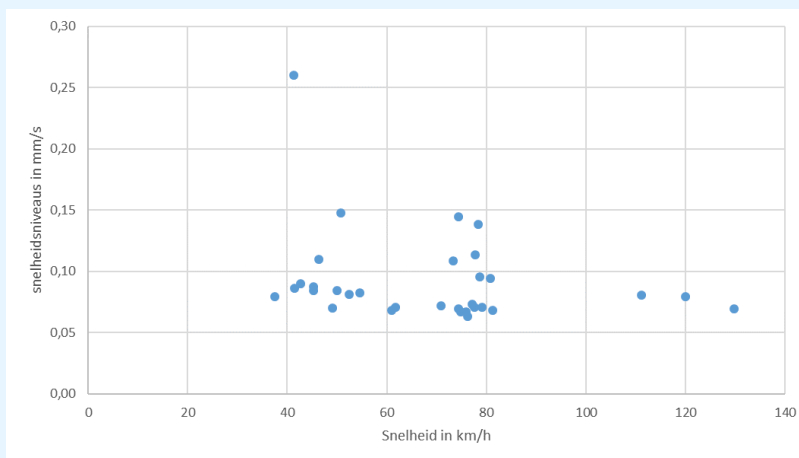




figuur 5: resultaten van de metingen aan de Boschveldweg. Alle type treinen



figuur 6: resultaten van de metingen aan de Boschveldweg. Goederentreinen



figuur 7: resultaten van de metingen aan de Boschveldweg. Reizigerstreinen

## 7. Vergelijkingen met de nulmetingen van 2012

Aan de hand van het Level Acoustics rapport van augustus 2015 is conform de nieuwe Beleidsregel Trillingshinder Spoor een vergelijking gemaakt tussen de voor- en de nameting. Het betreft alleen een vergelijking tussen de metingen van de fundatie van de woningen.

De resultaten van deze vergelijking zijn in onderstaande tabellen gegeven.

**tabel 6: resultaten Boschveldweg**

	$V_{\max,BTS}^*$ mm/s	Onzekerheid R %	$V_{\max,BTS}$ met correctie R mm/s	Aantal events #
Voormeting	0.15	14.9	0.17	10
Nameting*	0.23	10.9	0.26	67
Toename	+58%		+53%	

\* $V_{\max,BTS}$  is berekend zonder toeslag vanwege een R groter dan 10%.

**tabel 7: resultaten Maijweg**

	$V_{\max,BTS}$ mm/s	Onzekerheid R %	$V_{\max,BTS}$ met correctie R mm/s	Aantal events #
Voormeting	0.20	12.6	0.23	9
Nameting*	0.18	9.2	0.18	36
Toename	-9%		-12%	

\* $V_{\max,BTS}$  is berekend zonder toeslag vanwege een R groter dan 10%.

In de tabel is te zien dat er ter hoogte van de Boschveldweg er een toename van  $V_{\max,bts}$  heeft plaatsgevonden van 58%. Ter hoogte van de Maijweg is er sprake van een afname van 9%. Na correctie voor de onzekerheid bedraagt de toename 53% en de afname 12%

## 8. Conclusie

Bij de voormeting aan de Boschveldweg is volgens het rapport van Level Acoustics een  $V_{\max \text{ BTS}}$  vastgesteld van 0.15 mm/s. Bij de nameting is  $V_{\max \text{ BTS}}$  vastgesteld op 0.23 mm/s. Dit betekent dat er een toename is ten opzichte van de vorige meting met 58%. Deze toename is hoger dan het in het Tracébesluit SiDB vermelde criterium van 30%.

Bij de voormeting aan de Maijweg is een  $V_{\max \text{ BTS}}$  vastgesteld van 0.20 mm/s. Bij de nameting is  $V_{\max \text{ BTS}}$  vastgesteld op 0.18 mm/s. Dit betekent dat er een afname is ten opzichte van de vorige meting met 9%. Deze afname voldoet aan het Tracébesluit SiDB vermelde criterium.



ing. J.J.A. (Hans) van Leeuwen  
DGMR Industrie, Verkeer en Milieu B.V.

## Literatuur

- [1] Vooronderzoek van de oplevertoets 'Trillingen' Sporen in Den Bosch RHDHV Oktober 2012
- [2] Sporen in Den Bosch: nulmeting trillingen TNO-rapport TNO 2012 R10703 | 1.4 15 oktober 2012  
Auteur(s) Bruno Zuada Coelho Arnold Koopman
- [3] Rapport BTS analyse trillingen SiDB Level Acoustics Rapportnummer: LA.150105.R01.0 17 augustus 2015 Auteur(s): Koopman, A.
- [4] Stichting bouwresearch, Trillingen deel B, Hinder voor personen in gebouwen meet- en beoordelingsrichtlijn SBR Rotterdam, 2006;
- [5] Level Acoustics (2014) Reparatie BTS, referentie LA.131001a.M04

## Bijlage 1

Titel	Beschrijving meetapparatuur
-------	-----------------------------

Er is in woningen/gebouwen langs het spoor gemeten volgens de BTS Beleidsregel Trillingshinder Spoor. Dit is gedaan synchroon met twee meetsets van drie configuraties van drie losse trillingsopnemers of triaxiale opnemers die trillingen in de X-, Y-, en Z-richting opnamen.

Een set van trillingsopnemers is opgebouwd uit een blok waarop drie trillingsopnemers zijn bevestigd. Zoals hieronder op de foto te zien is, is de triaxiale trillingsopnemer door middel van een schroef op het metalen blok geplaatst. Deze trillingsopnemer is op drie punten X Y en Z gekoppeld aan de dienst van Sensornet.



figuur 1: Triaxiale trillingsopnemer



figuur 2: drie losse trillingsopnemers

Voor het funderingspunt geldt een andere trillingsopnemer zoals op de foto hieronder te zien is. Hier is gebruik gemaakt van drie losse trillingsopnemers, deze zijn gevoeliger die in de X, Y en Z richting op het blok zijn geschroefd. En zo gekoppeld zijn aan de dienst van Sensornet

De metalen blokken zijn voor de diverse punten op verschillende ondergronden bevestigd.

#### **Vloermeetpunt:**

Is gemonteerd zoals voorgeschreven in de beleidsregel/SBR richtlijnen. Dit is een ronde schijf op puntvormige pootjes. Dit meetpunt is binnenskamers ingezet op het midden van de begane grond of een verdiepingsvloer.



figuur 3: Vloermeetpunt

### Funderingsmeetpunt

Voor het fundatiepunt aan de muur geldt dat het blok rechtstreeks op de muur bevestigd wordt. Hierdoor

is het contact van de trillingsopnemer met de muur gewaarborgd. De behuizing en het metalen blok dat op de muur is gemonteerd, zijn met elkaar verbonden door middel van rubber, hierdoor trilt de behuizing niet mee met de trillingsopnemers.

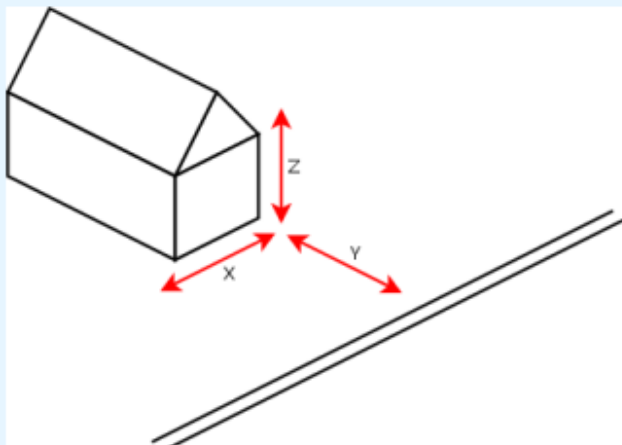


figuur 4: het funderingsmeetpunt



figuur 5: het grondmeetpunt

### Definitie meetrichtingen



figuur 6: Definitie meetrichtingen

## Meetapparatuur

### Meetsset 1

Fundatiepunt bestaat uit een blok met drie losse versnellingsopnemers van het model J17200. De specificatie van deze versnellingsopnemer:

- Parallel and Triangle shear design sensing element, choices of High Precision Imported Piezoelectric
- Ceramic(J series products) or Normal Domestic Piezoelectric Ceramic
- Different sensitivities from 1 mV/ ms-2 to 100 mV/ ms-2
- Frequency range ( $\pm 5\%$ ) from 0.5Hz (extend to 0.04Hz) up to 10kHz

Serienummers van de drie versnellingsopnemers zijn:

- SN-J0400
- SN-J0398
- SN-J0397

Vloerpunt bestaat uit een triaxiale versnellingsopnemer van het Model 16500-T. De specificatie hiervan is:

- Parallel and Triangle shear design sensing element, choices of High Precision Imported Piezoelectric
- Ceramic(J series products)or Normal Domestic Piezoelectric Ceramic Tri- Axis Measurement Model
- Choices of different sensitivities from 2 mV/ ms-2 to 50 mV/ ms-2
- Frequency range ( $\pm 5\%$ ) from 0.5Hz up to 5 kHz
- Low profile design, height of 14-20 mm
- Center through hole with 360° mounting angle

Het serienummer van deze triaxiale versnellingsopnemer voor het vloerpunt is:

- SN-00068-X/Y/Z

### Meetsset 2

Fundatiepunt bestaat uit een blok met drie losse versnellingsopnemers van het model J17200. De specificatie zie set 1

Serienummers van de drie versnellingsopnemers zijn:

- SN-J0401
- SN-J0399
- SN-J0396

Vloerpunt, bestaat uit een triaxiale versnellingsopnemer van het Model 16500-T. De Specificatie staat beschreven onder Set 1.

Het serienummer van deze triaxiale versnellingsopnemer voor het vloerpunt is:

- SN-0067-X/Y/Z



## Bijlage 2

Titel

Meetresultaten gebruikt voor BTS

tabel 8: Meetdata Boschveldweg in mm/s.

N meting	Tijdstip piek	Duur	Fn Veff_max	FnX Veff_max	FnY Veff_max	FnZ Veff_max	Fn DomO event	Fn DomXYZ event	Type	Fn Verstoring
1	30-10-2015 18:53	7	0,282	0,243	0,234	0,282	O4	z	Trein (onbekend type)	--
2	30-10-2015 23:39	52	0,269	0,211	0,207	0,269	O4	z	Goederentrein	--
3	11-11-2015 8:18	18	0,26	0,234	0,26	0,02	O8	y	Reizigerstrein	--
4	18-11-2015 16:09	7	0,232	0,216	0,232	0,017	O4	y	Trein (onbekend type)	--
5	11-11-2015 9:39	11	0,232	0,209	0,232	0,018	O4	y	Trein (onbekend type)	--
6	16-11-2015 14:46	8	0,221	0,081	0,099	0,221	O8	z	Trein (onbekend type)	--
7	10-11-2015 3:22	56	0,219	0,039	0,077	0,219	O8	z	Goederentrein	--
8	3-11-2015 3:35	63	0,216	0,079	0,126	0,216	O8	z	Goederentrein	--
9	17-11-2015 3:23	67	0,214	0,052	0,129	0,214	O8	z	Goederentrein	--
10	30-10-2015 16:18	6	0,204	0,172	0,164	0,204	O2	z	Trein (onbekend type)	--
11	15-11-2015 14:13	60	0,2	0,033	0,079	0,2	O8	z	Goederentrein	--
12	10-11-2015 14:45	95	0,195	0,035	0,052	0,195	O8	z	Goederentrein	--
13	4-11-2015 8:15	16	0,191	0,191	0,097	0,129	O63	x	Trein (onbekend type)	--
14	10-11-2015 5:29	36	0,186	0,056	0,186	0,095	O31,5	y	Goederentrein	--
15	18-11-2015 4:28	62	0,186	0,06	0,138	0,186	O8	z	Goederentrein	--
16	1-11-2015 14:13	31	0,182	0,044	0,056	0,182	O8	z	Goederentrein	--
17	11-11-2015 13:44	8	0,178	0,178	0,158	0,029	O4	x	Trein (onbekend type)	--
18	13-11-2015 17:12	8	0,176	0,071	0,085	0,176	O4	z	Trein (onbekend type)	--
19	8-11-2015 14:39	31	0,176	0,024	0,044	0,176	O8	z	Goederentrein	--
20	13-11-2015 19:27	5	0,176	0,064	0,079	0,176	O4	z	Trein (onbekend type)	--
21	12-11-2015 10:46	12	0,174	0,075	0,046	0,174	O8	z	Goederentrein	--
22	6-11-2015 12:57	5	0,16	0,151	0,16	0,021	O8	y	Goederentrein	--
23	11-11-2015 20:18	7	0,16	0,16	0,14	0,029	O4	x	Trein (onbekend type)	--
24	14-11-2015 2:06	48	0,158	0,034	0,071	0,158	O8	z	Trein (onbekend type)	--
25	30-10-2015 16:38	7	0,148	0,126	0,122	0,148	O2	z	Reizigerstrein	--
26	16-11-2015 11:50	6	0,145	0,129	0,145	0,014	O8	y	Goederentrein	--
27	4-11-2015 21:07	3	0,143	0,06	0,069	0,143	O4	z	Trein (onbekend type)	--
28	16-11-2015 15:34	9	0,138	0,046	0,058	0,138	O8	z	Trein (onbekend type)	--
29	16-11-2015 15:19	5	0,136	0,052	0,068	0,136	O4	z	Goederentrein	--
30	5-11-2015 10:10	3	0,135	0,052	0,064	0,135	O4	z	Trein (onbekend type)	--
31	14-11-2015 18:09	38	0,129	0,036	0,06	0,129	O8	z	Trein (onbekend type)	--
32	4-11-2015 20:52	2	0,124	0,052	0,06	0,124	O4	z	Trein (onbekend type)	--
33	13-11-2015 2:38	23	0,123	0,03	0,123	0,055	O31,5	y	Trein (onbekend type)	--
34	2-11-2015 11:53	2	0,119	0,06	0,068	0,119	O4	z	Trein (onbekend type)	--
35	5-11-2015 12:24	6	0,116	0,048	0,056	0,116	O2	z	Trein (onbekend type)	--
36	19-11-2015 6:44	66	0,116	0,038	0,045	0,116	O8	z	Goederentrein	--
37	10-11-2015 1:38	25	0,115	0,025	0,039	0,115	O8	z	Goederentrein	--
38	18-11-2015 21:24	33	0,115	0,031	0,029	0,115	O8	z	Goederentrein	--
39	15-11-2015 22:44	7	0,114	0,101	0,041	0,114	O63	z	Reizigerstrein	--
40	13-11-2015 0:58	27	0,114	0,035	0,055	0,114	O8	z	Trein (onbekend type)	--
41	11-11-2015 16:40	12	0,111	0,042	0,05	0,111	O4	z	Goederentrein	--
42	6-11-2015 16:17	10	0,11	0,09	0,11	0,017	O31,5	y	Goederentrein	--
43	4-11-2015 20:52	1	0,11	0,046	0,052	0,11	O4	z	Trein (onbekend type)	--
44	14-11-2015 13:13	34	0,108	0,031	0,104	0,108	O8	z	Reizigerstrein	--
45	5-11-2015 11:10	5	0,107	0,041	0,048	0,107	O4	z	Trein (onbekend type)	--
46	30-10-2015 16:40	2	0,106	0,086	0,085	0,106	O8	z	Trein (onbekend type)	--
47	3-11-2015 23:14	1	0,106	0,106	0,055	0,05	O63	x	Trein (onbekend type)	--
48	19-11-2015 0:10	40	0,106	0,025	0,052	0,106	O8	z	Goederentrein	--
49	5-11-2015 3:01	39	0,106	0,024	0,054	0,106	O8	z	Goederentrein	--
50	17-11-2015 16:45	66	0,106	0,026	0,041	0,106	O8	z	Goederentrein	--
51	2-11-2015 11:38	1	0,104	0,048	0,057	0,104	O4	z	Trein (onbekend type)	--
52	3-11-2015 15:50	8	0,104	0,104	0,085	0,016	O4	x	Trein (onbekend type)	--
53	4-11-2015 8:27	8	0,1	0,1	0,056	0,092	O63	x	Trein (onbekend type)	--
54	6-11-2015 15:34	41	0,098	0,065	0,062	0,098	O8	z	Goederentrein	--
55	13-11-2015 23:57	36	0,097	0,016	0,033	0,097	O8	z	Goederentrein	--
56	19-11-2015 1:25	46	0,097	0,024	0,039	0,097	O8	z	Trein (onbekend type)	--
57	8-11-2015 12:44	35	0,097	0,021	0,035	0,097	O8	z	Goederentrein	--
58	17-11-2015 11:02	15	0,095	0,089	0,095	0,027	O4	y	Trein (onbekend type)	--
59	4-11-2015 8:24	12	0,095	0,095	0,079	0,047	O63	x	Trein (onbekend type)	--

## Rapportage spoorwegtrillingen sporen Den Bosch (Tb SIDB)

60	7-11-2015 15:16	41	0,095	0,03	0,052	0,095	08	z	Reizigerstrein	--
61	10-11-2015 7:55	32	0,094	0,021	0,061	0,094	08	z	Reizigerstrein	--
62	3-11-2015 5:50	32	0,093	0,016	0,034	0,093	08	z	Goederentrein	--
63	18-11-2015 14:26	76	0,093	0,062	0,068	0,093	08	z	Reizigerstrein	
64	17-11-2015 15:18	38	0,091	0,038	0,058	0,091	08	z	Goederentrein	
65	30-10-2015 21:24	21	0,091	0,028	0,033	0,091	08	z	Trein (onbekend type)	
66	13-11-2015 1:30	50	0,09	0,024	0,043	0,09	08	z	Reizigerstrein	
67	4-11-2015 14:05	12	0,089	0,035	0,041	0,089	04	z	Trein (onbekend type)	

tabel 9: Meetdata Maijweg in mm/s.

N meting	Tijdstip piek	Duur	Fn Veff_max	FnX Veff_max	FnY Veff_max	FnZ Veff_max	Fn DomO event	Fn DomXYZ event	Type	Fn Verstoring
1	10-11-15 3:21	71	0,243	0,066	0,124	0,243	O8	z	Goederentrein	--
2	3-11-15 3:34	95	0,188	0,072	0,132	0,188	O8	z	Goederentrein	--
3	18-11-15 4:28	84	0,184	0,065	0,153	0,184	O8	z	Goederentrein	--
4	17-11-15 3:23	102	0,182	0,064	0,120	0,182	O8	z	Goederentrein	--
5	21-11-15 3:48	80	0,178	0,076	0,135	0,178	O8	z	Goederentrein	--
6	14-11-15 18:10	50	0,148	0,065	0,065	0,148	O8	z	Goederentrein	--
7	21-11-15 15:24	48	0,126	0,057	0,126	0,119	O8	y	Goederentrein	--
8	21-11-15 16:03	83	0,126	0,074	0,120	0,126	O8	z	Goederentrein	--
9	15-11-15 14:13	62	0,124	0,063	0,075	0,124	O8	z	Trein (onbekend type)	--
10	20-11-15 0:54	27	0,123	0,051	0,086	0,123	O8	z	Trein (onbekend type)	--
11	17-11-15 15:18	39	0,120	0,063	0,088	0,120	O8	z	Trein (onbekend type)	--
12	14-11-15 2:06	61	0,119	0,052	0,082	0,119	O8	z	Goederentrein	--
13	8-11-15 14:39	52	0,112	0,054	0,046	0,112	O8	z	Goederentrein	--
14	8-11-15 12:45	42	0,111	0,052	0,083	0,111	O8	z	Goederentrein	--
15	10-11-15 14:38	95	0,111	0,056	0,095	0,111	O8	z	Goederentrein	--
16	19-11-15 0:56	38	0,111	0,065	0,050	0,111	O8	z	Goederentrein	--
17	10-11-15 1:39	43	0,108	0,042	0,061	0,108	O8	z	Goederentrein	--
18	7-11-15 15:16	46	0,107	0,051	0,077	0,107	O8	z	Goederentrein	--
19	13-11-15 1:29	86	0,107	0,039	0,058	0,107	O8	z	Trein (onbekend type)	--
20	17-11-15 4:42	48	0,106	0,042	0,072	0,106	O8	z	Goederentrein	--
21	12-11-15 4:38	63	0,104	0,035	0,068	0,104	O8	z	Trein (onbekend type)	--
22	10-11-15 0:01	84	0,102	0,040	0,079	0,102	O8	z	Goederentrein	--
23	5-11-15 1:12	75	0,100	0,034	0,067	0,100	O8	z	Goederentrein	--
24	17-11-15 0:24	59	0,100	0,049	0,064	0,100	O8	z	Goederentrein	--
25	17-11-15 16:44	101	0,098	0,033	0,051	0,098	O8	z	Goederentrein	--
26	1-11-15 14:12	55	0,093	0,036	0,064	0,093	O8	z	Trein (onbekend type)	--
27	19-11-15 3:15	72	0,093	0,044	0,058	0,093	O8	z	Goederentrein	--
28	13-11-15 0:57	43	0,090	0,039	0,090	0,078	O4	y	Reizigerstrein	--
29	3-11-15 15:43	98	0,089	0,041	0,076	0,089	O8	z	Trein (onbekend type)	--
30	6-11-15 15:33	51	0,089	0,031	0,057	0,089	O8	z	Goederentrein	--
31	31-10-15 3:14	30	0,088	0,020	0,035	0,088	O8	z	Trein (onbekend type)	--
32	19-11-15 2:22	88	0,087	0,034	0,055	0,087	O8	z	Goederentrein	--
33	4-11-15 23:13	78	0,085	0,031	0,056	0,085	O8	z	Goederentrein	--
34	9-11-15 23:22	60	0,085	0,022	0,044	0,085	O8	z	Goederentrein	--
35	10-11-15 7:55	42	0,085	0,038	0,048	0,085	O8	z	Reizigerstrein	--
36	16-11-15 21:24	52	0,085	0,035	0,058	0,085	O8	z	Goederentrein	--

## Bepaling $V_{per}$ bij de nametingen SIDB

*datum* 11 augustus 2016  
*vestiging* Den Haag  
*uw kenmerk* -  
*ons kenmerk* M.2015.0420.00.N001  
*verwerkt door* TRU/BRA

*project* Arcadis - Trillingen nameting TB Sporen in Den Bosch  
*betreft* Bepaling  $V_{per}$  bij de nametingen SIDB  
*versie* 002  
*contactpersoon* ing. J.J.A. (Hans) van Leeuwen  
*e-mail/telefoon* ln@dgm.nl/088 346 75 69

### Addendum bij rapport M.2015.0420.00.R002

In het Tracébesluit (TB) van Sporen in Den Bosch (SiDB) wordt aandacht gegeven aan het onderwerp trillingen als omgevingsaspect bij realisatie en exploitatie. Op twee referentielocaties binnen het project bestaat een kans dat in de toekomstige situatie niet kan worden voldaan aan het toetsingskader zoals vastgelegd in het Tracébesluit (TB). In dit kader zijn trillingsmetingen uitgevoerd op twee locaties in Den Bosch nabij het station aan de Boschveldweg en de Maijweg. Deze metingen zijn gerapporteerd in DGMR-rapport M.2015.0420.00.R002 van 4 augustus 2016.

In het kader van de vergelijking met de nulsituatie is het ook noodzakelijk om de resultaten uit de metingen van de  $V_{per}$ -waarden zoals in de SBR-richtlijn B is gedefinieerd, te presenteren.

Een directe meting van een  $V_{per}$  is niet mogelijk. De verstoring van de trillingsniveaus van zowel buiten het gebouw, door wegverkeer en vanuit menselijke activiteiten binnen het gebouw, belemmeren het om een geheel equivalent trillingsniveau over een dag-, avond-, of nachtperiode te meten. De  $V_{per}$ -waarden dienen hierdoor uit de gebeurtenissen bepaald te worden. Noodzakelijk hierbij is dan ook nog, dat al deze gebeurtenissen, dus alle treinpassages moeten worden gemeten. Dit is in de praktijk, door verstoringen, niet het geval, en zeker niet van de minder dominant trillende treinen. Echter de meest overheersende treinen worden veelal wel in de metingen vastgelegd, hetgeen wel bijdraagt aan een meer betrouwbaar eindresultaat.

Vervolgens is er nog een aantal aandachtspunten. De  $V_{per}$  moet worden bepaald aan de hand van de 30-seconden-perioden geboren uit oude meetapparatuur. Hier komt bij dat de 30-seconden-perioden willekeurig zijn gedefinieerd ten opzichte van een treinpassage. Moderne meetapparatuur heeft geen beperkingen meer. De definitie van de  $V_{per}$  is nog gebaseerd op deze 30-seconden-perioden waardoor er een flinke afwijking kan ontstaan.

De  $V_{per}$  moet worden bepaald voor trillingen boven 0.1. Uit de rapportage van de nulmetingen is gebleken dat hiervan afgeweken is. Er is uitgaan van een drempelwaarde van 0.02. Mogelijke verstoring heeft nog meer invloed.

Aan de hand van de meetdata van Sensornet is een benadering gemaakt van de  $V_{per}$  voor de beide meetlocaties. Er kan hier een niet te verwaarlozen onnauwkeurigheid in zitten. Naast de resultaten en de gemiddelde resultaten, is deze spreiding dan ook in onderstaande tabellen gepresenteerd.

Bij de benadering van de  $V_{per}$  is uitgegaan van de energetisch gemiddelde maximale waarden ( $V_{max,eff}$  van een passage, de gemiddelde tijdsduur van een passage en het aantal treinen per periode van de dag. Met name de tijdsduur van een treinpassage is een zeer conservatieve benadering en zal tot een hoger eindresultaat leiden. Gedurende een passage zal geen enkele trein gedurende deze tijd zolang zoveel trillingen produceren. Daarentegen is het aantal treinen een onderschatting aangezien treinen met een verstoring niet worden meegenomen. Dit laatste zal tot een lager eindresultaat leiden.

**tabel 1: aantal treinen per periode van de dag, avond en nacht boven de drempelwaarde van 0.02 mm/s voor de Boschveldweg**

	Dag (12 uur)	Avond (8 uur)	Nacht (8 uur)
week 1	54	12	10
week 2	22	1	3
week 3	18	4	12

**tabel 2: aantal treinen per periode van de dag, avond en nacht boven de drempelwaarde van 0.02 mm/s voor de Mayweg**

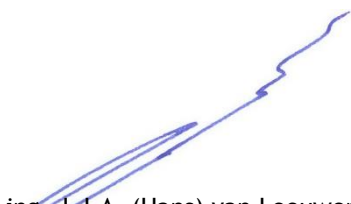
	Dag (12 uur)	Avond (8 uur)	Nacht (8 uur)
week 1	73	26	43
week 2	23	14	27
week 3	17	10	40

**tabel 3: Boschveldweg  $V_{per}$  [-]**

	Dag	Avond	Nacht
week 1	0.016	0.012	0.012
week 2	0.016	0.006	0.008
week 3	0.014	0.010	0.012
gemiddeld	0.015	0.009	0.010
bovenrange	0.021	0.013	0.015
onderrange	0.009	0.005	0.006

**tabel 4: Mayweg  $V_{per}$  [-]**

	Dag	Avond	Nacht
week 1	0.010	0.012	0.014
week 2	0.010	0.010	0.015
week 3	0.010	0.009	0.019
gemiddeld	0.010	0.010	0.016
bovenrange	0.014	0.015	0.022
onderrange	0.006	0.006	0.009



ing. J.J.A. (Hans) van Leeuwen  
DGMR Industrie, Verkeer en Milieu B.V.

## BIJLAGE D RAPPORT LAAGFREQUENT GELUID

Rapport “PHS Meteren – Boxtel, Model laagfrequent geluid o.b.v. van meetdata Vught”,  
Rapport M.2014.0811.08.R001, status concept, 29-09-2015, DGMR Industrie, Verkeer en  
milieu B.V.

PHS Meteren - Boxtel  
Model laagfrequent geluid o.b.v. van  
meetdata Vught

Status	concept
Versie	001
Rapport	M.2014.0811.08.R001
Datum	29 september 2015



## Colofon

Opdrachtgever	Arcadis Nederland bv Postbus 220 3800 AE Amersfoort
Contactpersoon	de heer ir. P. Schouten
Project Betreft Uw kenmerk	Arcadis / trillingsmetingen spoorwegtrillingen spoorwegtrillingen PHS Meteren - Boxtel -
Rapport Datum Versie Status	M.2014.0811.08.R001 29 september 2015 001 concept
Uitgevoerd door	DGMR Industrie, Verkeer en Milieu B.V. Casuariestraat 5 2511 VB Den Haag Postbus 370 2501 CJ Den Haag
Informatie	ing. R.G. (Reinoud) Fennema 088 346 76 33 rfe@dgmr.nl
Auteur	ing. R.G. (Reinoud) Fennema 088 346 76 33 rfe@dgmr.nl
Verantwoordelijk	ing. J.J.A. (Hans) van Leeuwen 088 346 75 69 ln@dgmr.nl
Verwerkt door	GF/

## Inhoud

1. Inleiding	4
2. Modelvorming	5
2.1 Fysische relaties	5
2.2 Dataset	6
2.3 Methode	6
3. Resultaten	8
3.1 Datafit trendvlak gemiddelde trillingssterkten	8
3.2 Datafit maximale trillingssterkten	9
3.3 Modelparameters	10
4. Nadere analyse	11
4.1 Gevoeligheidsanalyse modelparameters	11
4.2 Goederentreinen versus reizigerstreinen	12
4.3 Invloed wissels	12
4.4 Invloed gebouwkenmerken	13
5. Laagfrequent geluidafstraling	14
5.1 Relatie trillingssterkte fundatie en geluidniveau in woning	14
5.2 Effect verdiepte ligging spoor	14
5.3 Geluidprognose verdiepte ligging spoor	15
6. Conclusies	17
Bijlagen	
Bijlage 1	Bepaling trendvlak goederentreinpassages
Bijlage 2	Bepaling trendvlak reizigerstreinen
Bijlage 3	Geluidprognose - voegloos spoor in ballast op maaiveld
Bijlage 4	Geluidprognose - spoor in verdiepte ligging "open bak"
Bijlage 5	Omrekening Lv fundatie naar Lp vertrek (en validatie)

## 1. Inleiding

In opdracht van Arcadis Nederland heeft DGMR een laagfrequent geluidmodel afgeleid uit de in het jaar 2014/2015 door Sensornet B.V. gemeten trillingsdata op 18 adressen langs het spoor in Vught en omstreken.

De relatie tussen het te verwachten laagfrequent geluid in de woning en het trillingspectrum op de fundatie van de woning is voor vier representatief geachte woningen al eerder afgeleid, zie ref./1/. Deze overdrachtskenmerken worden binnen dit onderzoek als gegeven aangehouden. Dit onderzoek richt zich op het afleiden van een relatie tussen de trillingssterkten op de fundatie van de woningen en de geluidsterkte in verblijfsruimte van die woningen binnen het onderzoeksgebied, in het frequentiegebied gedekt door de octaafbanden 31,5, 63, 125 en 250 Hz, zijnde relevant voor de LF-geluidopwekking in de woningen ten gevolge van railverkeerstrillingen.

Door Arcadis is op basis van dezelfde set meetdata eveneens een prognosemodel afgeleid, echter geldend voor het aspect voelbare trillingen in de vloer van verblijfsruimten in de woningen.

In de toekomstige situatie zal het spoor in Vught verdiept worden aangelegd in een open bak. Deze verdiepte ligging strekt van kilometer 50,77 tot 52,97 (2,2 km lengte). Procedureel wordt alleen voor deze situatie met verdiepte ligging het door de bodem overgedragen laagfrequente geluid aanvullend beschouwd. Voor spoorligging op maaiveld geldt de gangbare geluid regelgeving.

Het opnemen van het spoor in een betonnen constructie verandert de trillingsoverdracht van spoorbovenbouw naar de bodem ingrijpend. In welke mate dit gebeurt, hangt af van de geometrie van het in te brengen kunstwerk (gewapend betonnen constructie), de bodemeigenschappen en de uitvoering van de spoor bovenbouw. Het is daarom aan te bevelen om bij de verdere uitwerking de uiteindelijke 'bak' constructie te laten onderzoeken op de overdracht van spoorstaaftrillingen naar de 'bak' constructie en de te verwachten trilling'bron'sterkte in de bodem. Een dergelijk onderzoek betreft ook het vergaren van resultaten bij bestaande voorbeeld situatie(s), gelet op het relevante frequentiegebied. Het resultaat dient vergeleken te worden met die van een conventionele spoorbovenbouw op maaiveld, zijnde de huidige situatie. Bij aanmerkelijk hogere bronsterkte kan er een trillingisolerende maatregel in de spoorbovenbouw gekozen worden, ter voorkoming van overmatige laagfrequent geluidafstraling in verblijfsruimten van nabij gelegen woningen.

Voor een eerste indruk van het effect van een verdiepte spoorligging in een betonconstructie, toereikend voor de variantenstudie, is gekeken naar een recent opgeleverde tunnelconstructie in de spoorlijn Zwolle - Almelo door de kern van Nijverdal. Het laagfrequente akoestisch effect van deze tunnel is als referentie gehanteerd voor de prognose van het in Vught aan te leggen kunstwerk, het betreft weliswaar een eerste conservatieve benadering. Er zijn evenwel meer locaties in het Nederlandse spoornet waar dergelijke kunstwerken zijn opgenomen. Door het aanwenden van een analyse van een of meer van die situaties kan een grotere nauwkeurigheid bereikt kan worden.

## 2. Modelvorming

### 2.1 Fysische relaties

In ref./1/ zijn alle meetpunten waarvoor trillingsmeetdata beschikbaar is beschreven. Voor het LF-geluid model zijn de ongewogen trillingssterkten tot en met de 315 Hz tertsband (vallend in de 250 Hz octaafband) van belang. Deze data is alleen beschikbaar voor de fundatie meetpunten.

De trillingsoverdracht van het spoor tot aan een woning wordt bepaald door fysische verschijnselen als geometrische uitbreiding, materiaaldemping, reflecties en resonanties. Dit betekent dat een model in beginsel gefit moet worden op basis van de onderliggende fysische relaties. Algemeen wordt voor het beschrijven van de trillingsoverdracht in de bodem de Barkan-formule [1] gehanteerd, die onderstaand wordt weergegeven.

$$V(r, f) = V_0 \left( \frac{r_0}{r} \right)^\gamma \times e^{-\alpha(r-r_0)} \quad (1)$$

In de Barkan-formule, die de relatie tussen de trillingssterkte  $V(r, f)$  op afstand  $r$  en de bronsterkte  $V_0$  beschrijft, worden de geometrische uitbreiding  $(r_0/r)^\gamma$  en de bodemdemping  $\alpha$  meegenomen, maar reflecties en resonanties niet. Hoewel deze twee fenomenen zich feitelijk niet laten vatten in deze eenvoudige fysische relatie wordt het effect ervan veelal meegenomen in de geometrische uitbreiding door de exponent van deze uitbreiding aan te passen. Deze benadering zal ook in dit onderzoek worden gehanteerd.

De bodemdemping  $\alpha$  wordt in deze formule (1) uitgedrukt in een percentage energieverlies per strekkende meter en wordt soms als constante aangehouden. Vanuit de fysica is materiaaldemping echter een bepaald percentage energieverlies per golfperiode en aangezien de golflengte omgekeerd evenredig aan de frequentie is, is hiervoor dus een met de frequentie oplopende relatie aan te houden. In (2) wordt daarom een dempingsconstante  $\eta$  voorgesteld, die zich als volgt verhoudt tot de bodemdemping  $\alpha$ .

$$\alpha = \frac{\eta * \pi * f}{c} \quad (2)$$

Uit een eerste analyse van de meetdata is gebleken dat door deze expressie de trillingssterkte in het model bij hogere frequenties en op grotere afstand waarden gaat aannemen die onder de meetwaarden liggen. In de praktijk komen hogere frequenties op grotere afstand dus beter door dan op grond van het model, mogelijk veroorzaakt door reflecties op laagscheidingen in de bodem. Om toch zoveel mogelijk aan te sluiten bij de meetdata wordt daarom een exponent  $\beta$  geïntroduceerd over de frequentie. Deze exponent zorgt ervoor dat frequentieafhankelijkheid van de bodemdemping kan variëren tussen geheel onafhankelijk (constant) en lineair. De relatie voor  $\alpha$  ziet er dan als volgt uit:

$$\alpha = \frac{\eta * \pi * f^\beta}{c} \quad (3)$$

De variabelen  $\alpha$ ,  $\beta$  en  $\gamma$  worden middels een lineaire regressie techniek (kleinste kwadratenmethode) gefit.

## 2.2 Dataset

Een model voor een onderzoeksgebied is in beginsel te baseren op alle meetdata uit het onderzoeksgebied. Daarbij zal echter onderscheid gemaakt moeten worden naar verschijnselen die de verwachte trillingssterkten in positieve dan wel negatieve richting kunnen beïnvloeden. In eerste instantie zal alleen de meetdata van onderling vergelijkbare woningen in de modelvorming worden meegenomen. Voor afwijkende woningen zullen correctietermen worden gedefinieerd.

Van de 18 woningen in het projectgebied zijn er 12 direct bruikbaar voor de modelvorming geldend voor een doorsnee woning, van één of twee bouwlagen met kap en op staal gefundeerd. Voor vier woningen geldt dat er in een afwijkende meetrichting van de sensor tertsband data (tot 800 Hz) is vergaard. Voor deze woning is na analyse van de meetdata tot 100 Hz, die wel in alle meetrichtingen beschikbaar is, een omrekenfactor vastgesteld waarna deze meetsets zijn toegevoegd aan de analyse.

De woningen (met afstand tot het spoor) waarop het model wordt gebaseerd zijn onderstaand weergegeven. De woningen liggend tussen km 50,77 en 52,97, waar het spoor verdiept wordt aangelegd, zijn met een \* gemarkeerd:

1	Spoorlaan 8, Vught*	14m
2	Spoorlaan 3, Vught*	17m
3	Spoorlaan 43, Vught*	27m
4	Heikant 2 Esch	23m
5	Isabellastraat 10, Vught	40m
6	Magistratenlaan 138, Den Bosch	45m
7	Molenvenseweg 87, Vught*	30m
8	Pieter Bruegellaan 29, Vught*	35m
9	Pompstraat 6, Waardenburg	35m
10	Rembrandtlaan 47, Vught*	19m
11	Repelweg 195, Vught*	26m
12	van Mierstraat 10, Vught*	25m
13	Willen van Oranjelaan 67, den Bosch	35m
14	Zandweg 13 Waardenburg	85m
15	Johan Frisolaan 33, Vught*	25m
16	Margrietlaan 59, Vught*	30m
17	Willem III-Laan 13, Vught	27m

## 2.3 Methode

Het rekenmodel bestaat uit een op de meetdata gefit trendvlak volgens de in paragraaf 2.1 aangegeven fysische relaties, en het daarin in te voeren bronsterkte spectrum inclusiefde daarop mogelijke spreiding. Het trendvlak beschrijft het gemiddelde verloop van de trillingssterkte als functie van de afstand tot het spoor en de frequentie. Dit trendvlak leidt dus tot de gemiddelde respons van een woning op een treinpassage bij gegeven afstand en frequentie. Ten opzichte van het trendvlak zijn er woningen waar de trillingsrespons juist veel hoger of veel lager is. Dit wordt tot uitdrukking gebracht in de daarop aan te houden spreiding.

De spreiding wordt statistisch bepaald uit de ligging van alle meetdata ten opzichte van het bepaalde trendvlak. Met behoud van de modelparameters ( $\gamma, \eta, \beta$ ) voor de trendlijn (vlak) wordt een tweede vlak gefit dat zo goed mogelijk aansluit bij alle 95% percentiel waarden uit de individuele datasets. De fit ontstaat door slechts de spreiding op de bronsterkte  $V_0$  te variëren tot dat vlak en meetpunten zo goed mogelijk overeenkomen.

Een fit op de 95% percentiel waarden betekent dat er een 5% overschrijdingskans van de prognose geldt. In een "gemiddelde" woning zal dan 5% van de treinen tot een hogere trillingssterkte kunnen leiden. Voor een gebleken hoog gevoelige woning kan dit percentage echter veel hoger liggen. Daar tegenover staan dan weer woningen waarvoor deze kans aanmerkelijk kleiner is, maar gemiddeld is de kans 5%. Dit lijkt vreemd, maar bedacht moet worden dat een model nooit de extremen in trillingsgevoeligheid kan beschrijven. Dit zullen de uitzonderingen op de regel blijven, die modelmatig niet te vatten zijn.

De fysische relaties uit paragraaf 2.1 worden op navolgende wijze gefit op de meetdata:

1. De datasets worden geordend naar afstand tot het spoor.
2. Alleen ongestoorde treinpassages worden meegenomen in de verwerking.
3. Per meetpunt worden de 50% en 95% percentiel waarde bepaald.
4. Middels de kleinste kwadratenmethode wordt een vlak volgens het functievoorschrift van de Barkan-formule gefit aan de meetdata (50% percentiel).  
Hierbij worden de afwijkingen t.o.v. de trendlijn genormeerd naar de trillingsamplitude om te bewerkstelligen dat de fit evenwichtig is, voor zowel hoge als lage amplitudes alsook hoge en lage frequenties. Als dit niet gedaan wordt zal de fit beter zijn voor lage frequenties en meetpunten dicht bij het spoor, maar juist meer afwijken in het bereik van laagfrequent geluid en op grotere afstand.
5. Met behoud van de in stap 4 bepaalde modelparameters  $(\gamma, \eta, \beta)$  voor de trendlijn (vlak) wordt een tweede vlak door de 95% percentiel waarden gefit, door het ingeven van een spreiding op de bronsterkte  $V_0(5m)$ . Het verkregen model wordt daardoor bepaald door de bronsterkte  $V_0$ , de spreiding op de bronsterkte en de empirische relatie volgens de Barkan-formule (1).

Doel van het model is om de LF-geluid bijdrage in woningen binnen het projectgebied in octaafbanden te kunnen prognosticeren. Voor de toetsing van LF-geluid wordt immers het in octaafbanden gedefinieerde toetsingscriterium volgens 'Methode De Ruiter' aan gehouden. Omdat een reductie van de dataset van tertsbanden naar octaafbanden de kwaliteit van de datafit (bepaling van de modelparameters) niet ten goede komt wordt deze fit uitgevoerd op tertsbandniveau. Invoergegevens voor of resultaten uit het model worden evenwel weergegeven in octaafbanden.

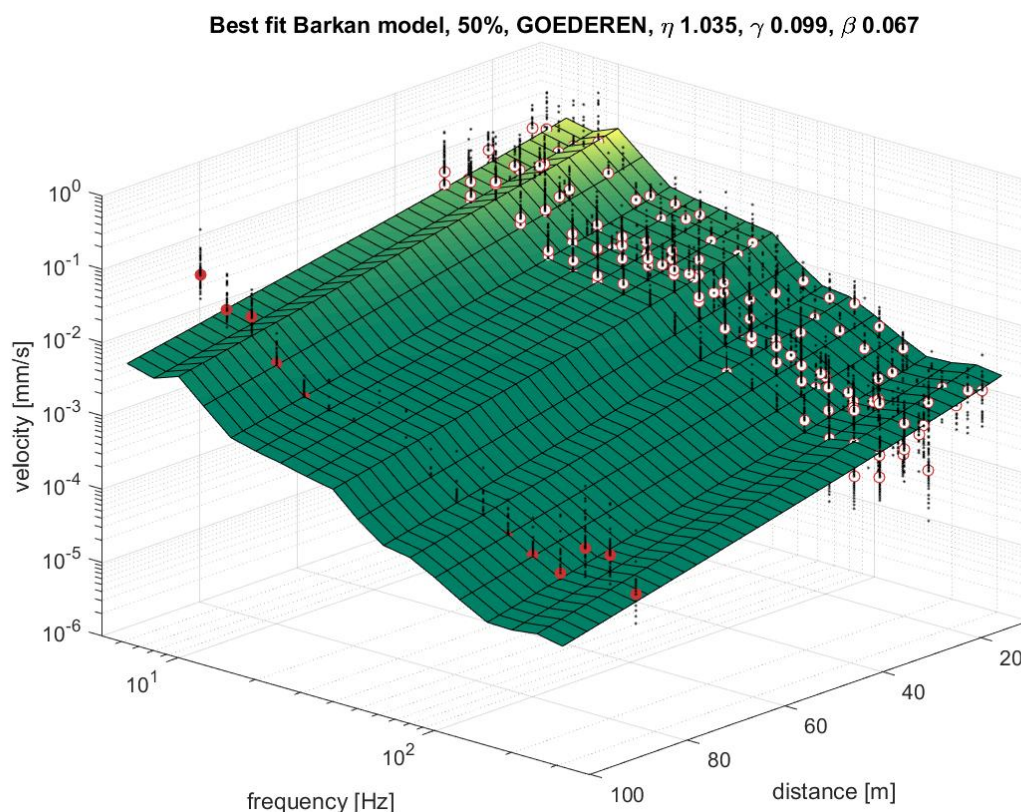
### 3. Resultaten

#### 3.1 Datafit trendvlak gemiddelde trillingssterkten

In de datasets komen zowel goederen- als reizigerstreinen voor. De trillingsimmissie van goederen- en reizigerstreinen zal in de regel verschillen, maar de overdrachtskenmerken van spoor naar woning zouden gelijk moeten zijn.

Op basis van de gemeten duur van treinpassages is de totale set van meetdata gesplitst in een populatie goederentreinen en een populatie reizigerstreinen. Alle passages met een passageduur groter dan 35 seconden zijn aangemerkt als goederentreinen en passages met een duur kleiner dan 25 sec als reizigerstreinen. Relatief snelle en korte goederentreinen kunnen evenwel in de populatie reizigerstreinen terechtkomen en zeer langzame reizigerstreinen in de populatie goederentreinen. Verwacht wordt dat dit statistisch van weinig betekenis is tegenover het totaal aantal passages.

Figuur 1 toont een grafisch overzicht van de meetdata betreffende goederentreinen. Per meetset zijn alle trillingspectra afkomstig van valide treinpassages als datapunten geplot. De 50% percentiel waarden per meetset en frequentie zijn in figuur 1 als bolletjes aangegeven. Op deze 50% percentiel waarden is een vlak dat voldoet aan de formules uit paragraaf 2.1 gefit, volgens de in paragraaf 2.3 beschreven methode.



figuur 1: Barkan-fit meetdata (50%)

In figuur 1 is te zien dat het vlak redelijk goed aansluit bij de 50% percentiel waarden, maar bij een aantal van de meetsets rond 30 tot 40m afstand te laag ligt. Ook bij frequenties tot 10 Hz ligt het vlak op grotere afstand onder de datapunten. Feitelijk is er maar één dataset op een afstand van meer dan 50m (Zandweg 13, Waardenburg op 85m) waardoor deze meetset onvoldoende tegenwicht biedt aan de

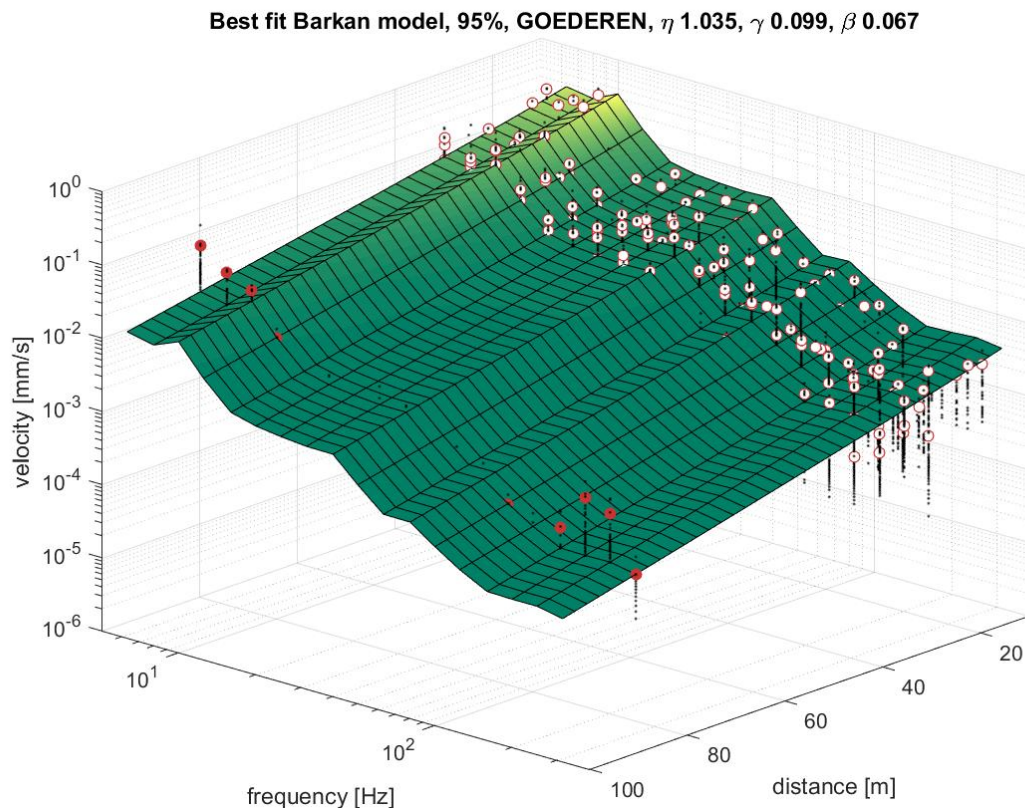
vele datasets tussen 14 m en 45 m afstand tot het spoor. Figuur 1 toont duidelijk de ongunstige verdeling van meetdata die het maken van een goede modelfit lastiger maakt. Voor afstanden tot 45 m sluit het model echter goed aan bij de meetdata. Dat het model bij frequenties onder circa 10 Hz minder goed aansluit komt omdat de overdracht in de bodem bij deze frequenties duidelijk afwijkend is, mogelijk door resonantie van de bodem. Dit verschijnsel is feitelijk niet in de Barkan-relatie te vangen. Omdat het hier om een model voor laagfrequent geluid gaat is dit echter geen probleem.

De figuren voor reizigerstreinen zien er in grote lijnen hetzelfde uit, maar de bronsterkten en spreiding zullen iets afwijken. Deze figuren zijn opgenomen in bijlage 1.

### 3.2 Datafit maximale trillingssterkten

Kenmerk van een lineair model is dat de input-output relatie constant is. Er geldt dus slechts één overdrachtsrelatie waarvan de parameters zijn gefit op het gemiddelde verloop (50% percentiel waarden) van de frequentieafhankelijke afstandsverzwakking. Deze relatie ligt daarmee vast. Voor de beschrijving van de maximale trillingssterkten die modelmatig kunnen optreden is er slechts één vrij te kiezen variabele over, zijnde de bronsterkte ofwel referentie trillingssterkte  $V_0$ . Op het gemiddelde bronspectrum  $V_0$  wordt een spreiding bepaald, zodanig dat het model zo goed mogelijk aansluit bij de 95% percentiel waarden.

Figuur 2 toont, bij gelijkblijvende parameters  $\gamma$ ,  $\eta$  en  $\beta$  als in figuur 1, de fit van het model op de 95% percentiel-waarden bij een bepaalde spreiding op de bronsterkte  $V_0$ .



figuur 2: fit meetdata maximale trillingssterkten (95%)



Figuur 2 toont dat er bij lage frequenties nog diverse goederentreinpassages zijn die hogere trillingssterkten hebben opgewekt in de fundatie van sommige woningen, met name rond een frequentie van 10 Hz.

In de modelfit (kleinste kwadratenmethode) is een normalisatie toegepast naar de mate van spreiding van de datapunten t.o.v. het trendvlak. Dit is gedaan om te voorkomen dat het trendvlak alleen in gebieden met grote spreiding zo goed mogelijk aansluit en daarbij een mindere fit in gebieden met kleinere spreiding voor lief neemt. Dit zou tot grotere onnauwkeurigheid leiden in het frequentiegebied waarvoor dit model juist is opgezet, namelijk het LF-geluid bereik. Een betere fit over het gehele frequentiebereik is wel mogelijk, maar dan moet iedere samenhang tussen de frequenties worden losgelaten en wordt er per frequentieband een optimum gezocht. De relatie met de fysica wordt dan verbroken en er ontstaat slechts een mathematische fit.

### 3.3 Modelparameters

De bij figuur 1 en 2 en de figuren in bijlage 1 horende modelparameters, bronsterkten en spreidingen worden weergegeven in tabel 1. Gecombineerd met de formules (1) en (3) uit paragraaf 2.1 ligt daarmee het rekenmodel vast.

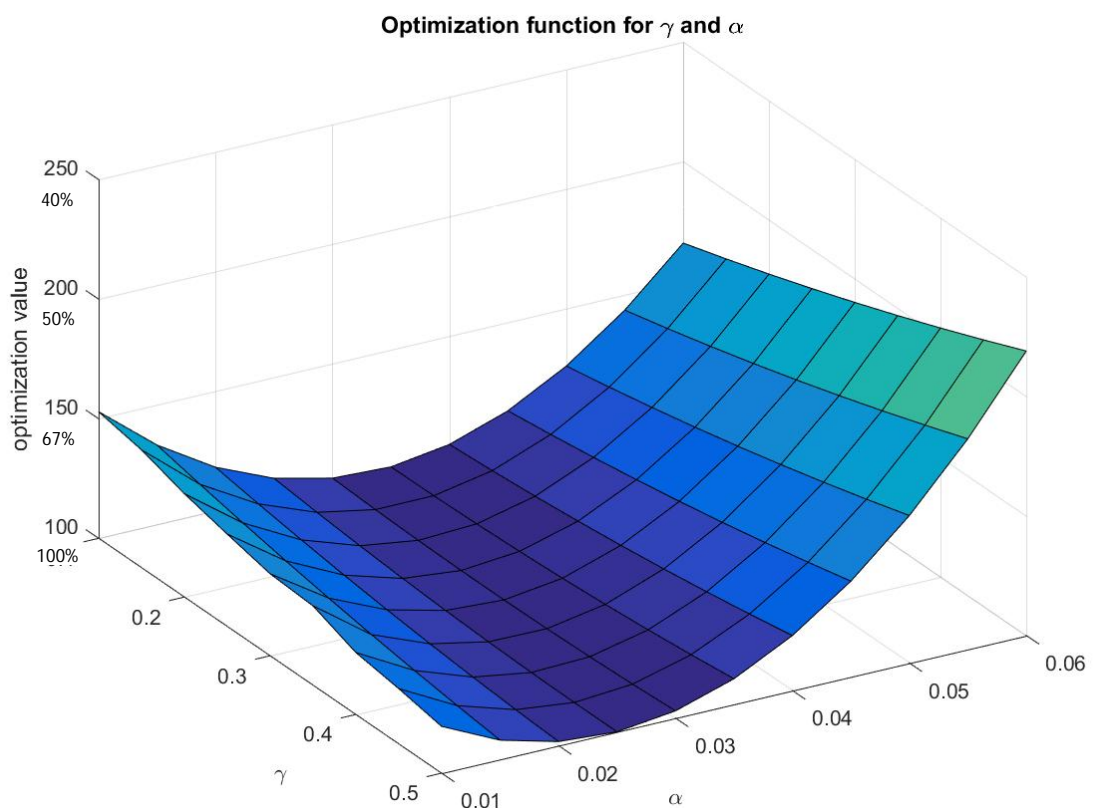
tabel 1: Bronspectrum  $V_0$  (5m) op fundatieniveau en spreiding (95%) - alle treinpassages

	8 Hz	16 Hz	32 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz
Goederentreinen						
$V_0$ [mm/s]	0,248	0,101	0,049	0,016	0,006	0,004
$V_0$ [dB]	108	100	94	84	76	72
Spreiding (95%) [dB]	9	7	8	9	8	8
$V_{95}$ [dB]	117	107	102	93	84	80
Reizigerstreinen						
$V_0$ [mm/s]	0,119	0,093	0,036	0,020	0,004	0,003
$V_0$ [dB]	102	99	91	86	72	68
Spreiding (95%) [dB]	5	6	7	7	8	8
$V_{95}$ [dB]	107	105	98	93	80	76
Goederen & Reizigerstreinen						
Bodemdemping $\alpha$	0,030	0,031	0,033	0,034	0,036	0,038
Uitbreidingsexponent $\gamma$	0,1					

## 4. Nadere analyse

### 4.1 Gevoeligheidsanalyse modelparameters

Tijdens het fitten van het prognosemodel op de meetdata is opgevallen dat er meerdere oplossingen qua modelparameters zijn die tot een vergelijkbare kwaliteit van de fit leiden. Dit is deels omdat er diverse parameters van invloed op de bronsterkte (rijnsnelheid, aslast en conditie spoor), overdracht (variatie in bodem) en respons van de bouwkundige constructie (variatie in funderingsdetails en constructie massa en stijfheid van het gebouw) buiten beschouwing gelaten zijn, maar ook vanwege een clustering van meetpunten in tamelijk klein afstandsgebied. Figuur 3 toont de afhankelijkheid van de kwaliteit van de fit voor de parameters  $\gamma$  en  $\alpha$ .



figuur 3: Afhankelijk data-fit voor  $\gamma$  en  $\alpha$ .

Figuur 3 laat zien dat het model de beste fit geeft op de meetdata bij bodemdempingswaarden  $\alpha$  tussen 0,02 en 0,04, maar dat de kwaliteit van de fit tamelijk ongevoelig is voor de geometrische uitbreidings-exponent  $\gamma$ . Het verschil tussen een  $\gamma$  van 0,1 en 0,5 wordt grotendeels opgeheven door de  $\alpha$  te verlagen van 0,035 naar 0,025. Het uiteindelijke verschil in de kwaliteit van de fit (mate waarin meetdata aansluit bij het model) is dan niet groter dan 5%.

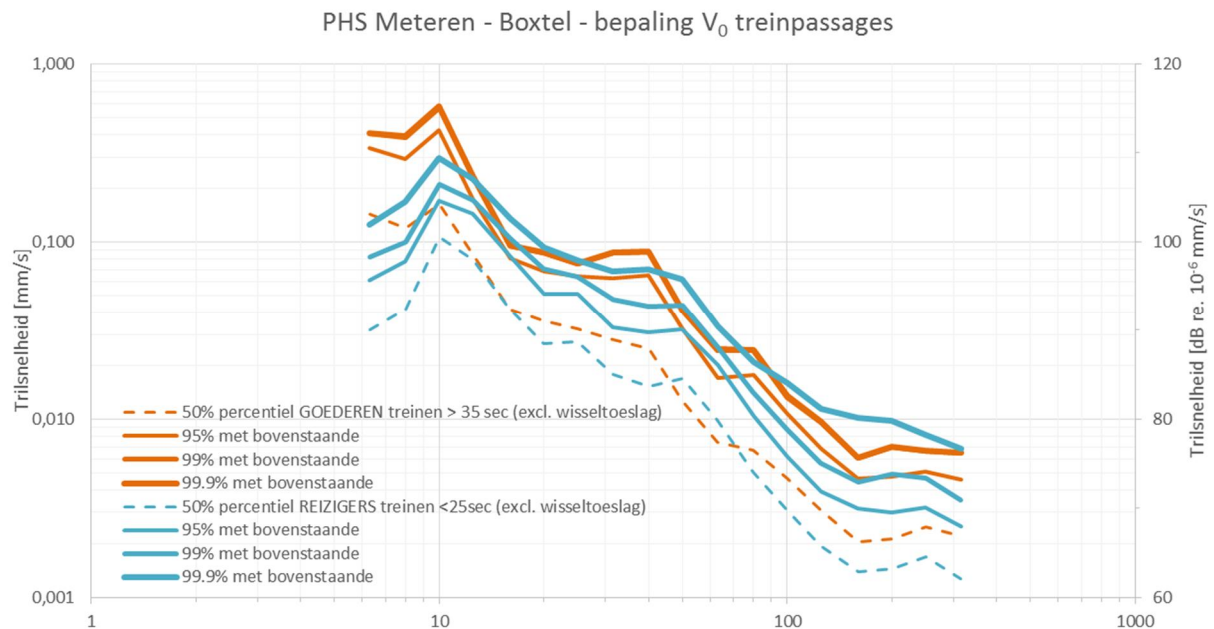
Dit suggereert dat de geometrische afname van de trillingsterkte nihil is, wat op zich juist is voor een lijnbron aanstoting en volledig ontwikkelde oppervlaktegolven in het verre veld. Een nadere analyse van de gevoeligheid van de 'beste fit' voor deze parameters laat zien dat redelijk grote variaties in  $\gamma$  en  $\alpha$  (opgebouwd uit  $\eta$  en  $\beta$ ) maar een betrekkelijk kleine invloed heeft op de kwaliteit van de fit. Een grotere  $\gamma$  (geometrische afname) kan gecompenseerd worden door een lagere  $\alpha$  (bodemdemping) te kiezen, althans voor het gebied tussen 14 en 45 m afstand tot het spoor. Dichter bij het spoor zal  $\gamma$

bepalend zijn en verder af  $\alpha$ . In het tussengebied zijn echter vele combinaties van  $\gamma$  en  $\alpha$  mogelijk die tot een nagenoeg gelijkwaardige fit leiden.

Hoewel er rekenkundig dus een optimum met bijbehorende  $\gamma$  en  $\alpha$  zal zijn is het in zo'n geval raadzaam om ook aansluiting te zoeken bij de in theorie en uit literatuurstudie volgende waarden voor deze parameters. Dit is gedaan (figuur 1) door de geometrische uitbreidingsfactor  $\gamma$  te minimaliseren op 0,1 en de parameters  $\eta$  en  $\beta$  zodanig te kiezen dat dit leidt tot een bodemdemping  $\alpha$  van 0,03 bij 8 Hz en licht oplopend tot 0,04 bij 250 Hz.

#### 4.2 Goederentreinen versus reizigerstreinen

Er worden voor goederen- en reizigerstreinen geen andere modelparameters gevonden voor het verloop van de trillingssterkte als functie van de afstand tot het spoor. Dit is geheel naar verwachting. Het verschil tussen beide zit in het te hanteren bronnspectrum. Figuur 4 toont de bronnspectra voor goederentreinen en reizigerstreinen met verschillende betrouwbaarheidspercentages (overschrijdingskansen). Te zien valt dat de signatuur voor de reizigerstreinen (blauw) licht opgeschoven is naar hogere frequentie, mogelijk vanwege de gemiddeld hogere rijnsnelheid van deze treinen. Een ander duidelijk verschil zijn de veel hogere trillingssterkten voor goederentreinen bij frequenties tot 12,5 Hz. Behalve de hogere aslasten voor goederentreinen heeft dit mogelijk ook te maken met de langere passageduur en het meer in resonantie brengen (opslingering) van woningen. Voor het LF-geluidmodel is dit frequentiegebied echter niet van belang. Voor LF-geluid zijn de frequenties vanaf globaal 25 Hz van belang en daarin is te zien dat goederentreinen vanaf 25 Hz ongeveer 5 dB slechter scoren dan reizigerstreinen, m.u.v. de tertsbanden die gezamenlijk de 63 Hz octaafband vormen.



figuur 4: Bronsterktebepaling  $V_0$

#### 4.3 Invloed wissels

Stoten van de treinwielen op een wisseltong, puntstuk of strijkregel geeft een pulsformige belasting die te beschouwen is als puntbron. Behalve het stoten van de wielen geeft een trein die afbuigt door de wissel nog een extra belasting op de bodem in zowel horizontale richting alsook de verticale richting.

Omdat door ProRail slechts een beschouwing van het laagfrequent geluid over het gedeelte met verdiepte ligging (van km 50,77 tot 52,97) wordt verlangd, is er echter geen situatie met wisselinvloeden te beschouwen.

Het rekenmodel voorziet hierin al wel, maar omdat deze invloed slechts gebaseerd is op één woning, namelijk Spoorstraat 32 in Boxtel (28m afstand tot spoor) en op circa 50 m afstand tot twee wissels, is de bepaalde toeslag met voorzichtigheid te hanteren.

De wisselinvloed is gedefinieerd als de toeslag op het standaard rekenmodel om te komen naar de gemeten waarden. Toegepast op slechts één meetset bestaat het gevaar dat ook afwijkingen van het rekenmodel als gevolg van bijvoorbeeld een hogere trillingsgevoeligheid van de woning aan het wisseleffect worden toegeschreven. Tabel 3 toont voor deze woning de toeslagen op het model, waarin begrepen het wisseleffect.

tabel 2: Wisseltoeslag op bronspectrum  $V_0$  in [dB]

	8 Hz	16 Hz	32 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz
Wisseltoeslag GOEDERENTREINEN	-	8	11	8	-	-
Wisseltoeslag REIZIGERSTREINEN	-	10	14	9	-	-

Omdat tabel 3 bepaald is op slechts één meetset is deze met voorzichtigheid te hanteren. Voor meer betrouwbare getallen zijn aanmerkelijk meer metingen benodigd.

#### 4.4 Invloed gebouwenkenmerken

De belangrijkste invloedsfactor op LF-geluid afstraling en trillingen in een woning ligt besloten in de gebouwenkenmerken. Het funderingssysteem en de kenmerken van vloer- en wandconstructies bepalen de trillingsgevoeligheid.

In de datasets is tenminste één woning aanwezig met een palenfundering, de woning Johan Frisolaan 33 Vught. De gemeten trillingspectra aan deze woning, die op 25 m afstand tot het spoor ligt, geven echter geen significant ander beeld dan bijvoorbeeld de op dezelfde afstand gemeten spectra in de woning Van Miertstraat 10, die op staal is gefundeerd. Bij een relatief kort paalsysteem zijn doorgaans ook geen grote verschillen te verwachten. Er is dus geen aanleiding om deze woning op voorhand uit de dataset te verwijderen. Inherent betekent dit dat het prognosemodel zal gelden voor zowel op staal gefundeerde alsook op (relatief korte) palen gefundeerde woningen in het projectgebied.

Magistratenlaan 138 betreft een kantoor in een gebouw van 8 bouwlagen. De massa van dit complex brengt mee dat op het fundatiemeetpunt veel lagere trillingssterkten worden gemeten. De invloed van de gebouwmassa varieert over het frequentie gebied, maar een verlaging van de trillingssterkte van 6 dB over het frequentiegebied van 6,3 tot 100 Hz is een conservatieve aanname. Evenals voor de wisseltoeslag geldt dat het bepalen van de invloed op slechts één meetset niet tot een grote nauwkeurigheid leidt.

## 5. Laagfrequent geluidafstraling

### 5.1 Relatie trillingssterkte fundatie en geluidniveau in woning

In vier woningen zijn bij de opstart van het meetprogramma geluidmetingen verricht, zie ref./1/. Afgestemd op deze geluiddata is een model opgezet om de relatie tussen het trillingspectrum op de fundatie en het gemeten geluid in de woningen te bepalen. Bijlage 5 toont de omrekening van het trillingspectrum  $L_v$  op fundatieniveau (verticaal) naar het geluidniveau  $L_p$  in een woning. Tabel 3 geeft de op het trillingspectrum toe te passen omrekenwaarden .

tabel 3: Omrekening  $L_v$  fundatie naar  $L_p$  woning in [dB]

	8 Hz	16 Hz	32 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz
Omrekening $L_v \rightarrow L_p$	-35	-29	-24	-25	-30	-35

De in tabel 3 aangegeven omrekenwaarden gekoppeld aan het prognose model voor trillingen op de fundatie levert een prognosemodel voor het laagfrequent geluid als gevolg van treinpassages bij een spoorligging op maaiveld. Voor een geluidprognose in het geval van een verdiepte ligging is hierop nog het verwachte invoegverlies of opslag van de betonconstructie in rekening te brengen.

### 5.2 Effect verdiepte ligging spoor

Het spoor in Vught wordt van km 50,77 tot 52,97 verdiept aangelegd in een open bakconstructie. Bij spoor opgenomen in een kunstwerk of betonnen 'bak' constructie bestaan er de risico's van het 'langer' worden van de lijnbron, door beperkte inwendige demping in de constructie en dat de betonvlakken als afstralend vlak een 'optimalere' koppeling met de bodem vormen. Algemeen gesproken zal een betonconstructie echter ook een grotere stijfheid toevoegen aan de spoorbovenbouw (zijnde een hoge impedantie = weerstand tegen trillingen) en voortrillingen bij lage frequenties tot minder trillingsoverdracht naar de bodem kunnen leiden. Bij frequenties vanaf circa 30 Hz zullen in de vlakken van de open bak naar verwachting eigen trilvormen van de constructie aangestoten worden en zo resonanties ontstaan, die daarmee tot een hogere bronsterkte in de bodem en een laagfrequent geluidprobleem in de woningen kunnen leiden. Het vergt dan ook een goede analyse waarin het effect van de beoogde constructie op trillingen en laagfrequent geluid wordt doorgerekend. Dergelijke berekeningen kunnen worden ondersteund door EEM modelberekeningen (tot circa 70 Hz) maar dienen, gelet op het relevante frequentiegebied, vooral gebaseerd te worden op gedetailleerde meetonderzoeken aan bestaande constructies. Er zijn meerdere locaties in het Nederlandse spoornet waar dergelijke kunstwerken zijn opgenomen. Door het aanwenden van analyseresultaten van een of meer van die situaties kan een grotere nauwkeurigheid bereikt worden.

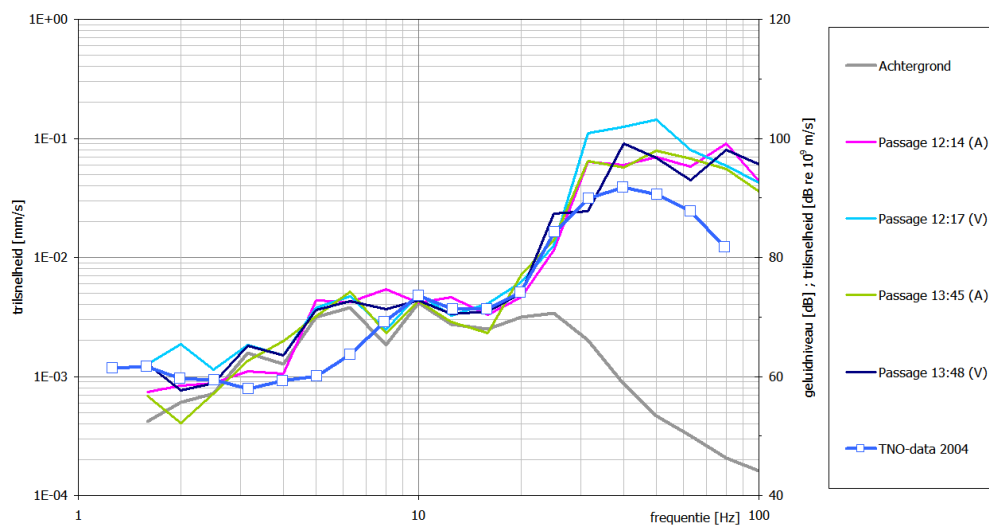
Voor een eerste analyse en afweging van de gevolgen van een dergelijke verdiepte bakconstructie zijn voornamelijk alleen enkele meetresultaten bekeken van de recent opgeleverde Combitunnel Nijverdal. Hier zijn voorafgaand aan de ontwikkeling en na oplevering trillingsmetingen in de bodem verricht op exact dezelfde meetposities in de Mauritsstraat op respectievelijk 25m, 30, 40m en 50m uit het hart van de toenmalige spoorligging. Behalve de realisatie van de tunnel is op deze locatie ook het spoor 12 m dicht bij de woningen komen te liggen, hetgeen ook in Vught aan de orde zal zijn. Voor dit effect is gecorrigeerd.

Omdat de voor- en de nameting door verschillende instanties, met verschillende apparatuur (niet primair gericht op het nu te bestuderen LF geluid frequentiegebied) en niet in de woningen zijn verricht, zijn de analyseresultaten slechts als indicatie te kwalificeren.

Figuur 5 laat het verschil zien tussen de metingen uit 2004 en die na oplevering van de tunnel in 2013. Bij frequenties onder 10 Hz is er geen bijdrage van treinen boven het achtergrondniveau waar te nemen

en zijn de verschillen in dit frequentiebereik tussen de metingen uit 2004 en 2013 wellicht ook aan andere omgevingsinvloeden toe te schrijven.

Boven 10 Hz ontstaat er een bijdrage van treinpassages in de tunnel, maar tot circa 30 Hz volgt deze het verloop van de meetdata uit 2004. Boven 30 Hz ontstaat er een duidelijk verschil tussen spoor in ballast op maaiveld en het spoor opgenomen in een tunnel. Tot 80 Hz loopt de toename op tot circa 10 dB en de tendens richting 100 Hz is dat het verschil licht 'groeit' tot circa 15 dB. Verwacht wordt dat tussen 125 Hz en 250 Hz de tunnel weer geleidelijk iets minder zal afstralen en het verschil kleiner wordt. Omdat er na aanleg van de tunnel tot 10 Hz geen trillingen boven het achtergrondniveau werden gemeten, is er op basis van deze datasets geen harde uitspraak te doen over het effect van de tunnel in dat frequentiegebied. In tabel 4 is het geschatte effect van een tunnel of open bak weergegeven.



figuur 5: Effect tunnel op trillingssterkte bodemmeetpunt op 13 m uit hart spoor

tabel 4: Geschat effect verdiepte open bak of tunnel op bronnspectrum  $V_0$  in [dB]

	1 Hz	2 Hz	4 Hz	8 Hz	16 Hz	32 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz
Open bak of tunnel	?	?	?	?	0	2	8	10	7

+ = toename van de trillingssterkte

### 5.3 Geluidprognose verdiepte ligging spoor

Met de in tabel 1 aangegeven modelparameters en bronsterkten is een prognose opgesteld van de te verwachten laagfrequente geluidniveaus in op staal dan wel op palen gefundeerde woningen met een bouwhoogte van ten hoogste twee bouwlagen met kap. Voor de geluidprognose wordt uitgegaan van 5% overschrijdskans.

De tabellen 5 en 6 geven de verwachte geluidniveaus in deze woningen als functie van de afstand tot het spoor, met daarbij aangegeven de verwachte overschrijdingen van het toetsingscriterium 'De Ruiter'. Voor appartementengebouwen van tenminste 4 bouwlagen kunnen de waarden uit deze tabellen volgens een conservatieve schatting met tenminste 6 dB verlaagd worden.

Tabel 5 - verwachte geluidniveaus GOEDEREN treinen - verdiepte ligging spoor

Frequentie		16 Hz	31,5 Hz	63 Hz	125 Hz	dB(A)
De Ruiter		80	68	55	45	35
Afstand	15	75	76 <sup>+8</sup>	71 <sup>+16</sup>	59 <sup>+16</sup>	48 <sup>+13</sup>
	20	73	75 <sup>+6</sup>	70 <sup>+15</sup>	58 <sup>+15</sup>	47 <sup>+12</sup>
	25	72	73 <sup>+5</sup>	68 <sup>+13</sup>	56 <sup>+11</sup>	45 <sup>+10</sup>
	30	70	71 <sup>+3</sup>	66 <sup>+11</sup>	54 <sup>+9</sup>	43 <sup>+8</sup>
	35	69	70 <sup>+2</sup>	65 <sup>+10</sup>	52 <sup>+7</sup>	42 <sup>+7</sup>

	40	67	68	63 <sup>+8</sup>	51 <sup>+6</sup>	40 <sup>+5</sup>
	45	66	67	61 <sup>+6</sup>	49 <sup>+4</sup>	38 <sup>+3</sup>

Tabel 6 - verwachte geluidniveaus REIZIGERS treinen - verdiepte ligging spoor

Frequentie		16 Hz	31,5 Hz	63 Hz	125 Hz	dB(A)
De Ruiter		80	68	55	45	35
Afstand	15	73	72 <sup>+4</sup>	71 <sup>+16</sup>	56 <sup>+11</sup>	47 <sup>+12</sup>
	20	71	71 <sup>+3</sup>	70 <sup>+15</sup>	54 <sup>+9</sup>	45 <sup>+10</sup>
	25	70	69 <sup>+1</sup>	68 <sup>+13</sup>	52 <sup>+7</sup>	44 <sup>+9</sup>
	30	68	67	66 <sup>+11</sup>	50 <sup>+5</sup>	42 <sup>+7</sup>
	35	67	66	65 <sup>+10</sup>	49 <sup>+4</sup>	40 <sup>+5</sup>
	40	65	64	63 <sup>+8</sup>	47 <sup>+2</sup>	39 <sup>+4</sup>
	45	64	63	62 <sup>+6</sup>	45	37 <sup>+2</sup>

Tabel 5 en 6 indiceren dat met een verdiepte spoorligging de risico contour op overschrijding van het toetsingscriterium volgens "De Ruiter" op tenminste 50 m komt te liggen. Op deze afstand zal in de 63 Hz octaafband nog een lichte overschrijding tot 5 dB aan de orde zijn, maar voldoen de overige octaafbanden en het gesommeerde LA<sub>max</sub> niveau aan het criterium. Voor zwaardere appartementgebouwen zal op deze afstand ook de 63 Hz octaafband naar verwachting al voldoen.

## 6. Conclusies

Op basis van de trillingsmetingen die zijn uitgevoerd aan in totaal 18 woningen liggend langs het spoor in Vught en omstreken heeft DGMR een rekenmodel opgesteld voor het bepalen van de geluidafstraling in deze woningen. Omdat deze woningen op één na liggend binnen een afstand van 15 m tot 45 m van het spoor, is het model het best te gebruiken in dit afstandsbereik.

Het model gaat uit van een 5% overschrijdingskans (95% betrouwbaarheid), maar voor meer gevoelige gebleken woningen kan dit percentage hoger liggen. Daar tegenover staan dan weer minder gevoelige woningen waarvoor de metingen lager zullen uitvallen dan de prognose. Over het gehele projectgebied bedraagt de kans 5%.

Uit de analyse van de meetdata is gebleken dat er geen grote verschillen bestaan in de trillingsopwekking van goederen- en reizigerstreinen voor wat betreft de voor laagfrequent geluid relevante frequenties van globaal 32 tot 125 Hz (octaafbanden).

Het model geeft aan dat bij spoor op maaiveld op een afstand van ongeveer 30 m al nagenoeg zou worden voldaan aan het toetsingscriterium volgens "De Ruiter", met uitzondering van de 63 Hz octaafband. In de 63 Hz band is dan nog een overschrijding tot 5 dB te verwachten. Op een afstand van circa 40 m wordt naar verwachting ook in deze octaafband geheel voldaan.

Bij spoor in verdiepte ligging is er een hoog risico op meer trillingsoverdracht naar de bodem voor frequentiegebied boven circa 30 Hz en daarmee meer geluidafstraling in woningen in met name de 63 Hz en 125 Hz octaafbanden. Een vergelijk met de recent opgeleverd spoortunnel in Nijverdal laat zien dat er in deze frequentiebanden met verhogingen van respectievelijk circa 8 en 10 dB rekening gehouden moet worden. In de verdere uitwerking van de aan te leggen bakconstructie zal dit aspect nader verkend moeten worden.

De contour waarbij de "geluidhinder" in de 63 Hz band beperkt blijft tot ongeveer 5 dB schuift bij een verdiepte spoorligging op naar circa 45 m. Pas op een afstand van tenminste 60 m wordt dan geheel voldaan aan het toetsingscriterium.

Voor woningen op 15 m afstand tot het spoor is rekening te houden met een overschrijding van ongeveer 16 dB in de 63 Hz band. Voor woningen op 35 m afstand bedraagt deze overschrijding naar verwachting nog minstens 10 dB. Over de hele lengte (2,2 km) van de bakconstructie komen woningen voor binnen deze afstand.

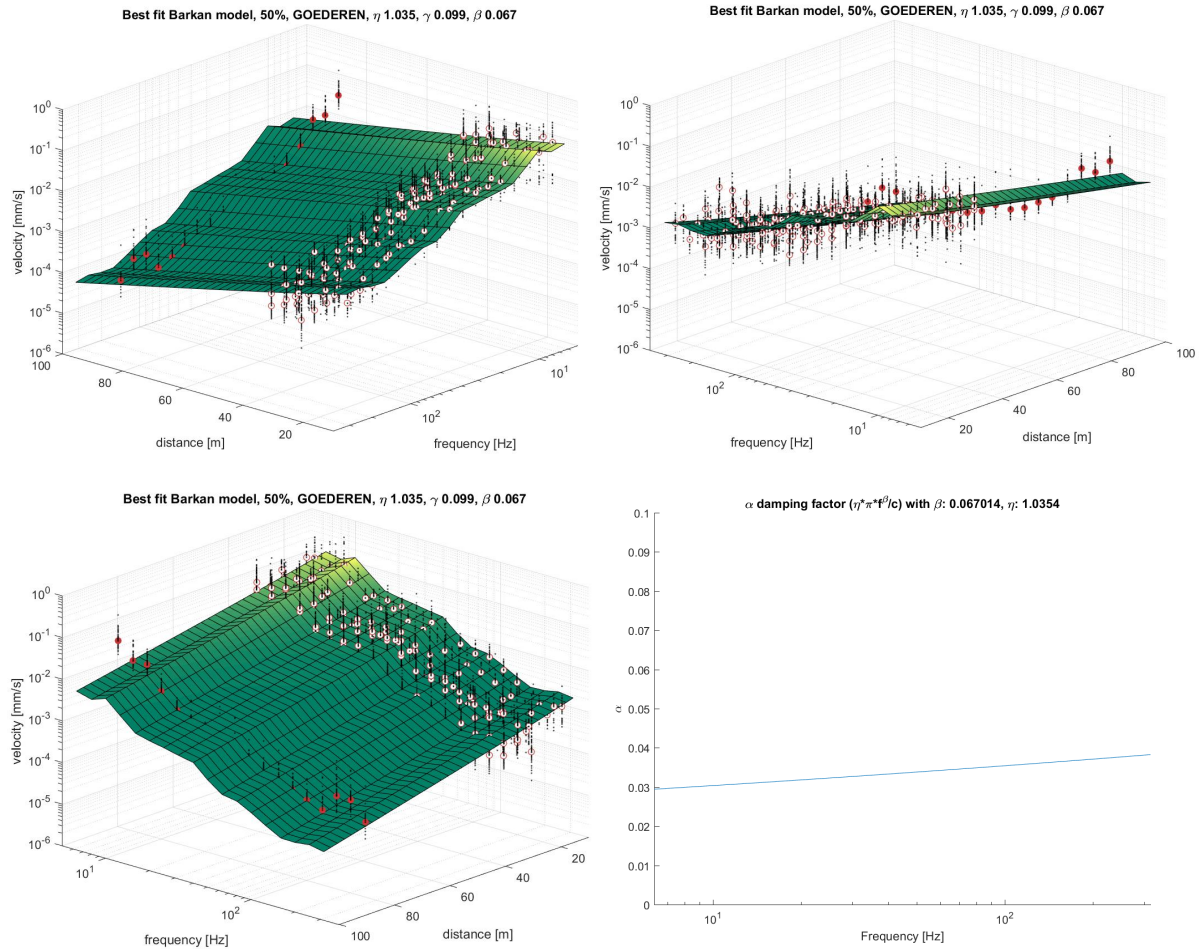
Dit betekent dat over de gehele bakconstructie een maatregel benodigd is die een invoegverlies van tenminste 16 dB levert om aan het geluidcriterium te kunnen voldoen. Het meest geëigend voor een zo hoog invoegverlies is een bronmaatregel in de vorm van een 'floating slab' constructie of een 'high end' ballast mat.

ing. J.J.A. (Hans) van Leeuwen  
DGMR Industrie, Verkeer en Milieu B.V.

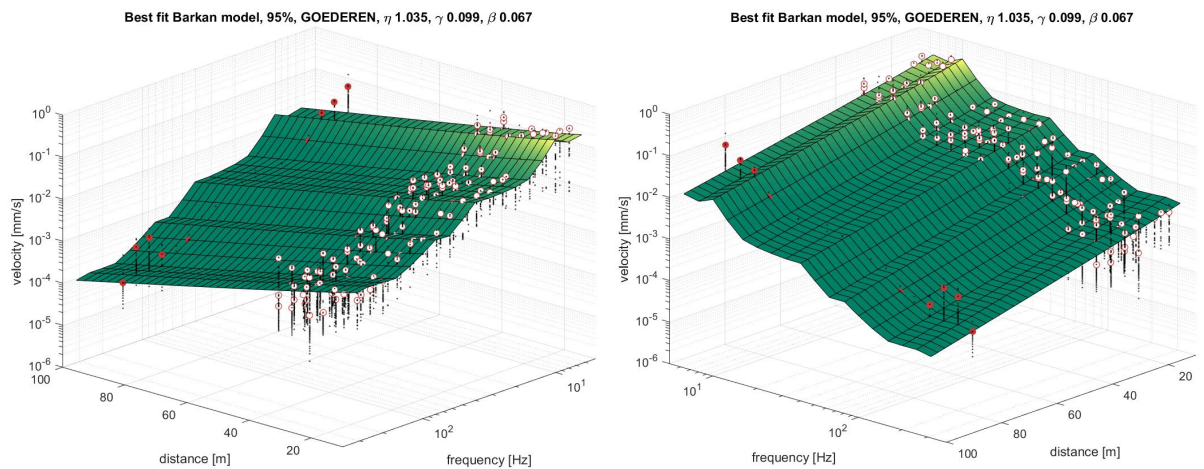




Datafit trendvlak 50% - GOEDEREN



Datafit 95% - GOEDEREN

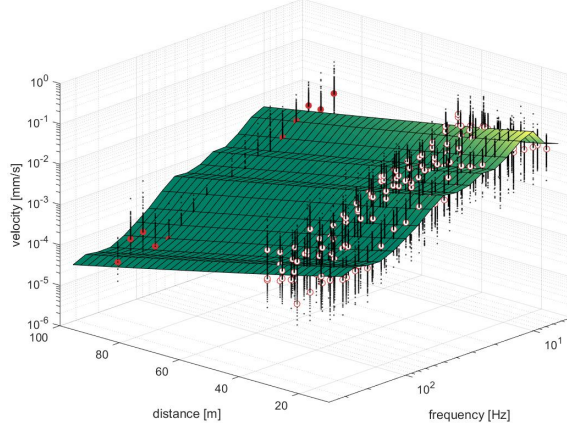


## Bijlage 2

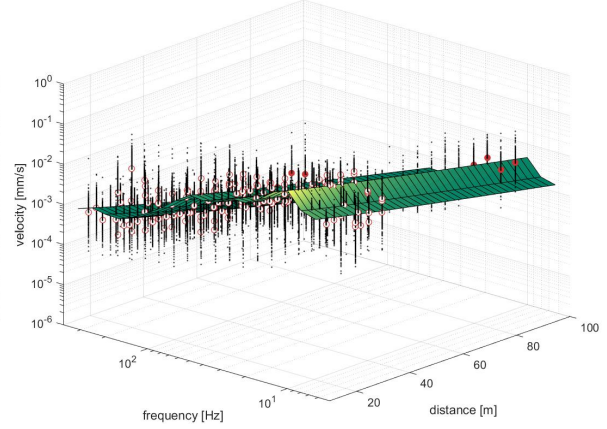
Titel	Bepaling trendvlak reizigerstreinen
Omvang	1

Datafit trendvlak 50% - REIZIGERS (Passagiers)

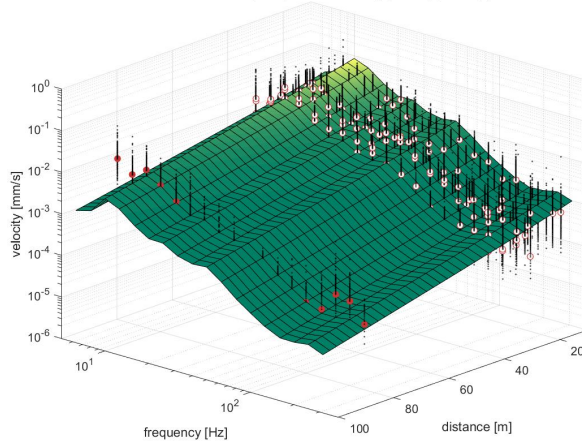
Best fit Barkan model, 50%, PASSAGIERS,  $\eta$  1.017,  $\gamma$  0.099,  $\beta$  0.071



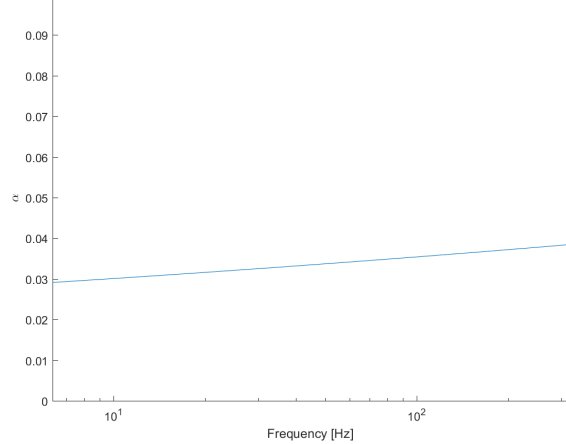
Best fit Barkan model, 50%, PASSAGIERS,  $\eta$  1.017,  $\gamma$  0.099,  $\beta$  0.071



Best fit Barkan model, 50%, PASSAGIERS,  $\eta$  1.017,  $\gamma$  0.099,  $\beta$  0.071

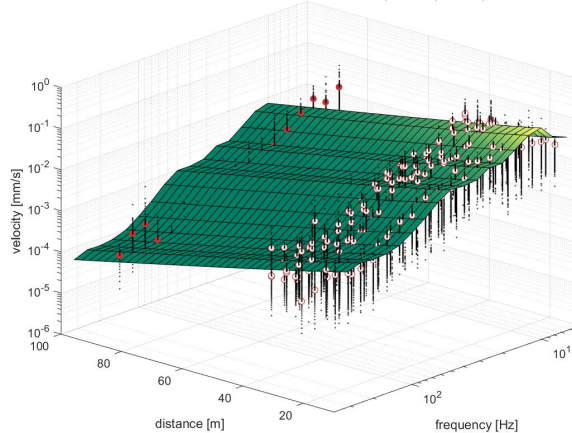


$\alpha$  damping factor ( $\eta^2 \pi^2 f^2 / c$ ) with  $\beta$ : 0.0708,  $\eta$ : 1.0169

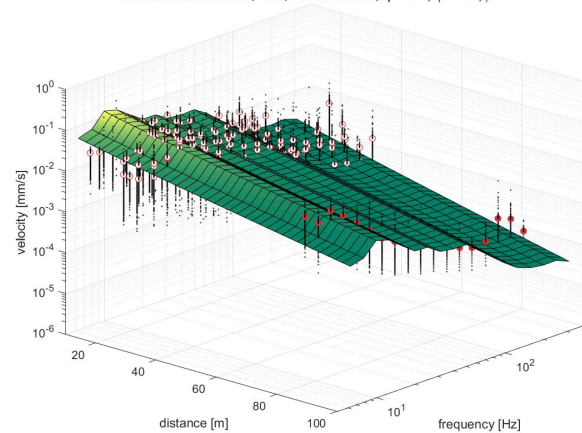


Datafit 95% - REIZIGERS

Best fit Barkan model, 95%, PASSAGIERS,  $\eta$  1.017,  $\gamma$  0.099,  $\beta$  0.071



Best fit Barkan model, 95%, PASSAGIERS,  $\eta$  1.017,  $\gamma$  0.099,  $\beta$  0.071



### Bijlage 3

Titel	Geluidprognose - voegloos spoor in ballast op maaiveld
Omvang	1

### In ballast op maaiveld

GOEDEREN - Geluidniveaus Lp

Afstand	8	16	32	63	125	250	dBA
5	82	79	78	68	54	44	45
6	82	78	78	67	53	44	45
7	81	78	77	67	53	44	44
8	81	77	77	66	52	43	44
9	80	77	77	66	52	43	43
10	80	77	76	66	52	42	43
11	80	76	76	65	51	42	43
12	79	76	75	65	51	41	42
13	79	76	75	64	50	41	42
14	79	75	75	64	50	41	42
15	78	75	74	64	50	40	41
16	78	75	74	63	49	40	41
17	78	74	74	63	49	39	40
18	78	74	73	63	49	39	40
19	77	74	73	62	48	39	40
20	77	73	73	62	48	38	39
21	77	73	72	62	48	38	39
22	76	73	72	61	47	38	39
23	76	72	72	61	47	37	38
24	76	72	71	61	47	37	38
25	75	72	71	60	46	37	38
26	75	71	71	60	46	36	37
27	75	71	70	60	45	36	37
28	75	71	70	59	45	35	37
29	74	70	70	59	45	35	36
30	74	70	69	59	44	35	36
31	74	70	69	58	44	34	36
32	73	70	69	58	44	34	35
33	73	69	69	58	43	34	35
34	73	69	68	57	43	33	35
35	73	69	68	57	43	33	34
36	72	68	68	57	42	33	34
37	72	68	67	56	42	32	34
38	72	68	67	56	42	32	33
39	71	68	67	56	41	32	33
40	71	67	66	55	41	31	33
41	71	67	66	55	41	31	33
42	71	67	66	55	40	31	32
43	70	66	65	54	40	30	32
44	70	66	65	54	40	30	32
45	70	66	65	54	39	29	31

Grenswaarden' Methode De Ruiter'

Oktaaf	16	32	63	125	dBA
dB	80	68	56	45	35

GOEDEREN - Overschrijding 'De Ruiter'

Afstand	16	32	63	125	dBA
5		10	13	9	10
6		10	12	8	10
7		9	12	8	9
8		9	11	7	9
9		9	11	7	8
10		8	11	7	8
11		8	10	6	8
12		7	10	6	7
13		7	9	5	7
14		7	9	5	7
15		6	9	5	6
16		6	8	4	6
17		6	8	4	5
18		5	8	4	5
19		5	7	3	5
20		5	7	3	4
21		4	7	3	4
22		4	6	2	4
23		4	6	2	3
24		3	6	2	3
25		3	5	1	3
26		3	5	1	2
27		2	5		2
28		2	4		2
29		2	4		1
30		1	4		1
31		1	3		1
32		1	3		
33		1	3		
34			2		
35			2		
36			2		
37			1		
38			1		
39			1		
40					
41					
42					
43					
44					
45					

REIZIGERS - Geluidniveaus Lp

Afstand	8	16	32	63	125	250	dBA
5	72	77	74	68	50	41	44
6	72	76	74	67	50	40	43
7	71	76	73	67	49	40	43
8	71	76	73	66	49	40	42
9	71	75	73	66	48	39	42
10	70	75	72	66	48	39	41
11	70	74	72	65	48	38	41
12	70	74	71	65	47	38	41
13	69	74	71	65	47	38	40
14	69	73	71	64	46	37	40
15	69	73	70	64	46	37	40
16	68	73	70	63	46	36	39
17	68	72	70	63	45	36	39
18	68	72	69	63	45	36	39
19	67	72	69	62	45	35	38
20	67	71	69	62	44	35	38
21	67	71	68	62	44	34	37
22	67	71	68	61	43	34	37
23	66	71	68	61	43	34	37
24	66	70	67	61	43	33	36
25	66	70	67	60	42	33	36
26	65	70	67	60	42	33	36
27	65	69	66	60	42	32	35
28	65	69	66	59	41	32	35
29	64	69	66	59	41	32	35
30	64	68	66	59	41	31	34
31	64	68	65	58	40	31	34
32	64	68	65	58	40	30	34
33	63	68	65	58	40	30	34
34	63	67	64	57	39	30	33
35	63	67	64	57	39	29	33
36	63	67	64	57	39	29	33
37	62	66	63	56	38	29	32
38	62	66	63	56	38	28	32
39	62	66	63	56	38	28	32
40	61	65	62	56	37	28	31
41	61	65	62	55	37	27	31
42	61	65	62	55	37	27	31
43	61	65	62	55	36	27	30
44	60	64	61	54	36	26	30
45	60	64	61	54	36	26	30

REIZIGERS - Overschrijding 'De Ruiter'

Afstand	16	32	63	125	dBA
5		6	13	5	9
6		6	12	5	8
7		5	12	4	8
8		5	11	4	7
9		5	11	3	7
10		4	11	3	6
11		4	10	3	6
12		3	10	2	6
13		3	10	2	5
14		3	9	1	5
15		2	9	1	5
16		2	8	1	4
17		2	8		4
18		1	8		4
19		1	7		3
20			7		3
21		1	7		2
22			7		2
23			6		2
24			6		1
25			5		1
26			5		1
27			5		
28			4		
29			4		
30			4		
31			3		
32			3		
33			3		
34			2		
35			2		
36			2		
37			1		
38			1		
39			1		
40					
41					
42					
43					
44					
45					

## Bijlage 4

Titel	Geluidprognose - spoor in verdiepte ligging "open bak"
Omvang	1

### Verdiepte ligging

GOEDEREN - Geluidniveaus Lp

Afstand	8	16	32	63	125	250	dBa
5	82	79	80	75	63	52	52
6	82	78	80	75	63	51	52
7	81	78	79	74	63	51	51
8	81	77	79	74	62	50	51
9	80	77	78	74	62	50	51
10	80	77	78	73	61	49	50
11	80	76	78	73	61	49	50
12	79	76	77	72	61	49	49
13	79	76	77	72	60	48	49
14	79	75	77	72	60	48	49
15	78	75	76	71	59	47	48
16	78	75	76	71	59	47	48
17	78	74	76	71	59	47	48
18	78	74	75	70	58	46	47
19	77	74	75	70	58	46	47
20	77	73	75	70	58	46	47
21	77	73	74	69	57	45	46
22	76	73	74	69	57	45	46
23	76	72	74	69	57	44	46
24	76	72	73	68	56	44	45
25	75	72	73	68	56	44	45
26	75	71	73	68	56	43	45
27	75	71	72	67	55	43	44
28	75	71	72	67	55	43	44
29	74	70	72	67	54	42	44
30	74	70	71	66	54	42	43
31	74	70	71	66	54	42	43
32	73	70	71	66	53	41	43
33	73	69	70	65	53	41	42
34	73	69	70	65	53	41	42
35	73	69	70	65	52	40	42
36	72	68	69	64	52	40	41
37	72	68	69	64	52	40	41
38	72	68	69	64	51	39	41
39	71	68	69	63	51	39	40
40	71	67	68	63	51	38	40
41	71	67	68	63	50	38	40
42	71	67	68	62	50	38	39
43	70	66	67	62	50	37	39
44	70	66	67	62	49	37	39
45	70	66	67	61	49	37	38

Grenswaarden' Methode De Ruiter'

Oktaaf	16	32	63	125	dBa
dB	80	68	55	45	35

GOEDEREN - Overschrijding 'De Ruiter'

Afstand	16	32	63	125	dBa
5		12	20	18	17
6		12	20	18	17
7		11	19	18	16
8		11	19	17	16
9		10	19	17	16
10		10	18	16	15
11		10	18	16	15
12		9	17	16	14
13		9	17	15	14
14		9	17	15	14
15		8	16	14	13
16		8	16	14	13
17		8	16	14	13
18		7	15	13	12
19		7	15	13	12
20		7	15	13	12
21		6	14	12	11
22		6	14	12	11
23		6	14	12	11
24		5	13	11	10
25		5	13	11	10
26		5	13	11	10
27		4	12	10	9
28		4	12	10	9
29		4	12	9	9
30		3	11	9	8
31		3	11	9	8
32		3	11	8	8
33		2	10	8	7
34		2	10	8	7
35		2	10	7	7
36		1	9	7	6
37		1	9	7	6
38		1	9	6	6
39		1	8	6	5
40			8	6	5
41			8	5	5
42			7	5	4
43			7	5	4
44			7	4	4
45			6	4	3

REIZIGERS - Geluidniveaus Lp

Afstand	8	16	32	63	125	250	dBa
5	72	77	76	75	60	48	51
6	72	76	76	75	59	48	50
7	71	76	75	75	59	47	50
8	71	76	75	74	58	47	50
9	71	75	74	74	58	46	49
10	70	75	74	73	58	46	49
11	70	74	74	73	57	46	48
12	70	74	73	73	57	45	48
13	69	74	73	72	56	45	48
14	69	73	73	72	56	44	47
15	69	73	72	71	56	44	47
16	68	73	72	71	55	44	47
17	68	72	72	71	55	43	46
18	68	72	71	70	55	43	46
19	67	72	71	70	54	42	46
20	67	71	71	70	54	42	45
21	67	71	70	69	54	42	45
22	67	71	70	69	53	41	45
23	66	71	70	69	53	41	44
24	66	70	69	68	52	41	44
25	66	70	69	68	52	40	44
26	65	70	69	68	52	40	43
27	65	69	68	67	51	40	43
28	65	69	68	67	51	39	43
29	64	69	68	67	51	39	42
30	64	68	67	66	50	38	42
31	64	68	67	66	50	38	42
32	64	68	67	66	50	38	41
33	63	68	66	65	49	37	41
34	63	67	66	65	49	37	41
35	63	67	66	65	49	37	40
36	63	67	65	64	48	36	40
37	62	66	65	64	48	36	40
38	62	66	65	64	48	36	39
39	62	66	65	63	47	35	39
40	61	65	64	63	47	35	39
41	61	65	64	63	47	35	38
42	61	65	64	63	46	34	38
43	61	65	63	62	46	34	38
44	60	64	63	62	46	34	37
45	60	64	63	62	45	33	37

REIZIGERS - Overschrijding 'De Ruiter'

Afstand	16	32	63	125	dBa
5		8	20	15	16
6		8	20	14	15
7		7	20	14	15
8		7	19	13	15
9		6	19	13	14
10		6	18	13	14
11		6	18	12	13
12		5	18	12	13
13		5	17	11	13
14		5	17	11	12
15		4	16	11	12
16		4	16	10	12
17		4	16	10	11
18		3	15	10	11
19		3	15	9	11
20		3	15	9	10
21		2	14	9	10
22		2	14	8	10
23		2	14	8	9
24		1	13	7	9
25		1	13	7	9
26		1	13	7	8
27			12	6	8
28			12	6	8
29			12	6	7
30			11	5	7
31			11	5	7
32			11	5	6
33			10	4	6
34			10	4	6
35			10	4	5
36			9	3	5
37			9	3	5
38			9	3	4
39			8	2	4
40			8	2	4
41			8	2	3
42			8	1	3
43			7	1	3
44			7	1	2
45			7		2



## Bijlage 5

Titel	Omrekening Lv fundatie naar Lp vertrek (en validatie)
Omvang	1

Omrekening Lv fundatie naar Lp vertrek

Freq Hz		6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315
Hoeksnelheid		40	50	63	79	101	126	157	198	251	314	396	503	628	785	1005	1257	1571	1979
La ref 1 um/s2	25 hoogste	53,1	59,7	70,1	70,1	67,7	67,8	74,0	66,6	64,2	72,2	68,7	65,0	65,1	60,9	54,4	57,4	57,0	62,1
a		4,5E-4	9,7E-4	3,2E-3	3,2E-3	2,4E-3	2,5E-3	5,0E-3	2,1E-3	1,6E-3	4,1E-3	2,7E-3	1,8E-3	1,8E-3	1,1E-3	5,2E-4	7,4E-4	7,0E-4	1,3E-3
v		1,1E-5	1,9E-5	5,1E-5	4,1E-5	2,4E-5	2,0E-5	3,2E-5	1,1E-5	6,4E-6	1,3E-5	6,9E-6	3,5E-6	2,9E-6	1,4E-6	5,2E-7	5,9E-7	4,5E-7	6,5E-7
Lv ref 1 nm/s		81,2	85,7	94,2	92,2	87,7	85,8	90,1	80,6	76,1	82,3	76,8	70,9	69,2	63,0	54,3	55,4	53,0	56,2
Lv ref 50 nm/s		47,2	51,7	60,2	58,2	53,7	51,8	56,1	46,7	42,2	48,3	42,8	37,0	35,2	29,0	20,4	21,5	19,1	22,2
Gemiddelde Hgebouw		0,0	0,5	2,0	3,5	5,2	6,7	8,3	9,2	9,0	7,8	5,7	3,1	0,0	-3,0	-7,0	-10,0	-12,0	-14,0
Lv ref 50 nm/s		47,2	52,2	62,2	61,7	58,9	58,5	64,4	55,9	51,2	56,1	48,5	40,1	35,2	26,0	13,4	11,5	7,1	8,2
<b>Overdracht naar vloer</b>	0 dB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
+10*log(s) - oppervlak m2	25 m2	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0
=10*log(sigma)	1,00 [-]	-12,6	-12,1	-11,6	-11,1	-10,6	-10,1	-9,6	-9,1	-8,6	-8,1	-7,6	-7,1	-6,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Overdracht naar wanden</b>	-3 dB	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3
+10*log(s) - oppervlak m2	50 m2	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0
=10*log(sigma)	1,00 [-]	-12,3	-11,8	-11,3	-10,8	-10,3	-9,8	-9,3	-8,8	-8,3	-7,8	-7,3	-6,8	-6,3	-5,8	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Overdracht naar plafond</b>	-6 dB	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6
+10*log(s) - oppervlak m2	25 m2	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0
=10*log(sigma)	1,00 [-]	-12,6	-12,1	-11,6	-11,1	-10,6	-10,1	-9,6	-9,1	-8,6	-8,1	-7,6	-7,1	-6,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Lw vloer		48,5	54,1	64,6	64,5	62,3	62,4	68,7	60,7	56,5	62,0	54,8	46,9	42,5	40,0	27,3	25,4	21,0	22,2
Lw wanden		48,9	54,4	64,9	64,9	62,6	62,7	69,1	61,0	56,8	62,3	55,1	47,2	42,8	34,1	27,4	25,4	21,0	22,2
Lw plafond		42,5	48,1	58,6	58,5	56,3	56,4	62,7	54,7	50,5	56,0	48,8	40,9	36,5	34,0	21,3	19,4	15,0	16,2
Totaal Lw		52,2	57,7	68,2	68,2	65,9	66,1	72,4	64,4	60,2	65,6	58,5	50,6	46,2	41,8	30,9	29,0	24,6	25,7
<b>S10*log(Q/4piR2 + 4/A)</b>																			
Volume	63 m3																		
Nagalmtijd	0,5 s																		
Absorptie m2 OR	20,8 m2 OR																		
Q																			
straal R	2,0 m																		
woonkamer		-7,2	-7,2	-7,2	-7,2	-7,2	-7,2	-7,2	-7,2	-7,2	-7,2	-7,2	-7,2	-7,2	-7,2	-7,2	-7,2	-7,2	-7,2
Lp Lin		45,0	50,6	61,1	61,0	58,8	58,9	65,2	57,2	53,0	58,5	51,3	43,4	39,0	34,6	23,7	21,8	17,4	18,6
Lp Lin octaaf			61,5			64,5			66,1			59,3			40,5			24,4	
correctie van La naar Lp Lin		8,1	9,1	9,1	9,0	8,9	8,9	8,8	9,4	11,1	13,8	17,4	21,5	26,1	26,3	30,7	35,6	39,6	43,6
Aweging		-85,4	-77,6	-70,4	-63,6	-56,7	-50,5	-44,7	-39,4	-34,6	-30,2	-26,2	-22,5	-19,1	-16,1	-13,4	-10,9	-8,6	-6,6
Lp A		-40,4	-27,0	-9,3	-2,6	2,1	8,4	20,5	17,8	18,4	28,3	25,1	20,9	19,9	18,5	10,3	10,9	8,8	12,0
correctie van La naar Lp Agewogen		93,5	86,7	79,5	72,6	65,6	59,4	53,5	48,8	45,7	44,0	43,6	44,0	45,2	42,4	44,1	46,5	48,2	50,2
correctie van Lv naar Lp Lin		-36	-35	-33	-31	-29	-27	-25	-23	-23	-24	-25	-28	-30	-28	-31	-34	-36	-38

Verskil model met actuele metingen (validatie)

Willem van Oranjelaan	16	32	63	125	250	dBA	LIN
Meting	57	60	50	32	26	25	62
Model	62	60	48	35	25	26	67
Verskil is	-5	0	2	-3	1	-1	-5

Pompstraat 6 (35m)	16	32	63	125	250	dBA	LIN
Meting	58	56	51	35	33	27	61
Model	62	60	48	35	25	26	67
Verskil is	-4	-4	3	0	8	1	-6

Margrietlaan 59 (30m)	16	32	63	125	250	dBA	LIN
Meting	60	64	57	35	29	30	66
Model	63	61	50	37	27	28	68
Verskil is	-3	3	7	-2	2	2	-2

**Arcadis Nederland B.V.**

Postbus 264

6800 AG Arnhem

Nederland

+31 (0)88 4261 261

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

Projectnummer: D01021.000175

Onze referentie: 079204264 F