

Planuitwerking A4 Haaglanden – N14

Trillingsonderzoek spookruisingen Rijswijk en Leidschendam



Zaaknummer 31137311

Opdrachtgever:
Rijkswaterstaat West-Nederland Zuid

Datum vrijgave	Beschrijving revisie	1 ^e lijns goedkeuring	2 ^e lijns goedkeuring	Vrijgave
26-03-2020	2.0 definitief t.b.v. OTB	Elian Vlijm	Fons van Reisen 	Jorine Knüppe 

Inhoud

1	Inleiding.....	4
1.1	Aanleiding.....	4
1.2	Doel.....	4
1.3	Leeswijzer	4
2	Projectomschrijving.....	6
2.1	Onderzoeksgebieden spoorse kruisingen.....	6
2.1.1	Huidige spoorviaduct en toekomstige spoorbruggen Rijswijk	6
2.1.2	Huidige en toekomstige spoorviaduct Leidschendam	8
2.2	Treinaantallen en spoorgebruik	11
2.2.1	Spoorbruggen Rijswijk.....	11
2.2.2	Spoorviaduct Leidschendam	13
3	Aanpak trillingsonderzoek.....	16
3.1	Te toetsen aspecten	16
3.2	Aanpak onderzoek.....	16
3.2.1	Gebouwinventarisatie	16
3.2.2	Uitvoeren trillingsmetingen	17
3.2.3	Uitvoeren prognoseberekningen met VibraDyna rekenmodel	17
3.3	Uitgangspunten	18
4	Beoordelingskader	20
4.1	SBR-richtlijn trillingen deel A: Schade aan gebouwen	20
4.2	Beleidsregel trillinghinder spoor (Bts)	20
4.2.1	Toetsing aan de Bts	21
4.2.1.1	Toetsing maximale trillingsniveau V_{max} (artikel 6 Bts).....	21
4.2.1.2	Toetsing periodieke trillingsniveau V_{per} (artikel 7 Bts).....	23
4.2.1.3	Bovenste grenswaarde V_{max}	24
4.2.1.4	Eisen aan metingen	24
4.2.1.5	Bepaling V_{max} ,BTS	24
4.2.2	Voorgaande Tracébesluiten	25
4.3	SBR-richtlijn trillingen deel C: Schade aan trillingsgevoelige apparatuur	25

5	Gebouwinventarisatie.....	27
5.1	Gebouwen rondom spoorviaduct Rijswijk.....	27
5.2	Gebouwen rondom spoorviaduct Leidschendam.....	29
6	Resultaten trillingmetingen.....	32
6.1	Meetlocaties.....	32
6.2	Apparatuur.....	34
6.3	Meetduur.....	35
6.4	Resultaten trillingsmetingen.....	35
6.4.1	Maximale trillingsniveaus $V_{max,BTS}$ en V_{top}	35
6.4.2	Periodieke trillingsniveau V_{per}	37
7	Prognose en toetsing trillingsniveaus door treinverkeer.....	40
7.1	Hindertoeets.....	40
7.1.1	Prognose en toetsing $V_{max,BTS}$	40
7.1.2	Prognose en toetsing V_{per}	42
7.2	Schadetoets.....	44
7.2.1	Prognose en toetsing V_{top}	44
8	Afweging maatregelen.....	45
9	Conclusies.....	46
10	Referenties.....	48

Foto voorpagina: Kees Hummel

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

De Rijksweg A4 is één van de belangrijkste landelijke noord-zuidroutes door de Randstad en vormt de verbindingsschakel tussen de stedelijke regio's Amsterdam, Den Haag en Rotterdam en de luchthavens Schiphol en Rotterdam. Een goede verkeersdoorstroming op deze Rijksweg is van (inter)nationaal belang. Daarnaast zijn er uit oogpunt van economische vitaliteit c.q. de bereikbaarheid van de economische kerngebieden in de Haagse agglomeratie diverse 'poorten en inprickers' van belang. Denk daarbij aan de N211, de Utrechtsebaan en de N14. Gedurende een aanzienlijk aantal jaren wordt het functioneren van de A4 en genoemde inprickers beperkt vanwege congestie. De komende jaren zal deze problematiek vanwege toename van het verkeer gaan toenemen.

In 2011 is het voorgaande door zowel het toenmalige Ministerie van Infrastructuur en Milieu (I&M) als de regionale partners onderkend. Om die reden is in 2011/2012 een verkenning uitgevoerd met als resultaat een Rijksstructuurvisie met PlanMER waarin een samenhangend pakket aan maatregelen is opgenomen om de bereikbaarheid van de regio Haaglanden te verbeteren. Dit programma is nog niet eerder tot uitwerking en uitvoering gekomen. Partijen hebben in 2012 een bestuursovereenkomst gesloten, waarbij onder andere is vastgelegd welke partij de verantwoordelijkheid draagt voor de verdere uitwerking en implementatie van de verschillende maatregelen uit het pakket. Voor de A4 en de N14 is vastgelegd dat de Minister van Infrastructuur en Waterstaat de verdere uitwerking op zich zal nemen.

Op 19 juni 2017 heeft de Minister opdracht versterkt aan Rijkswaterstaat voor de Planuitwerking van de A4 Haaglanden – N14. In mei 2018 is de opdracht voor deze Planuitwerking aan het consortium Flow4 gegund.

Tijdens de planuitwerking is vastgesteld dat enkele spoorviaducten vervangen of aangepast moeten worden om de verbreding van de A4 Haaglanden te realiseren. Samen met RWS en ProRail is het ontwerp van deze aanpassingen opgepakt. De spoorviaducten die uiteindelijk worden aangepast zijn het spoorviaduct Rijswijk en het spoorviaduct Leidschendam.

1.2 Doel

De aanpassingen aan de spoorviaducten hebben mogelijk invloed op het optredende trillingsniveau in de omgeving. Er is daarom door Flow4 een trillingsonderzoek uitgevoerd waarin de trillingsbelasting op de omgeving is onderzocht en getoetst aan vigerende richtlijnen en beleidsregels. In de voorliggende rapportage worden de resultaten van het trillingsonderzoek beschreven.

1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt een beschrijving gegeven van het project met het oog op de spoorse kruisingen. Hoofdstuk 3 bespreekt vervolgens welke aanpak is gehanteerd in het trillingsonderzoek. Hoofdstuk 4 bespreekt het gehanteerde beoordelingskader, waarna in hoofdstuk 5 ingegaan wordt op de uitgevoerde gebouwinventarisatie nabij de spoorse kruisingen. In hoofdstuk 6 worden de resultaten van trillingsmetingen besproken, welke zijn



uitgevoerd ten behoeve van de voorliggende studie. Vervolgens bespreekt hoofdstuk 7 de resultaten van prognoseberekningen voor de huidige en de plansituatie. In hoofdstuk 8 wordt ingegaan op de afweging van maatregelen waarna de rapportage afsluit in hoofdstuk 9 met conclusies welke volgen uit het onderzoek.

2 Projectomschrijving

In het projectgebied kruist de Rijksweg A4 driemaal een spoorlijn. De drie kruisingen betreffen:

- 1) kruising spoorlijn Den Haag – Rotterdam (Rijswijk);
- 2) kruising spoorlijn Den Haag – Utrecht (Prins Clausplein);
- 3) kruising met de tram- en RandstadRail spoorlijn Leidschendam – Voorburg, gezamenlijk met de spoorlijn naar de NS werkplaats Leidschendam en het opstelterrein van ProRail (Leidschendam).

Voor de kruising met de spoorlijn Den Haag – Utrecht geldt dat er geen wijziging in het spoor wordt verwacht en daarmee ook geen wijziging in het optredende trillingsniveau. Daarbij geldt dat er ook geen gebouwen binnen het verwachte invloedsgebied liggen met het oog op trillingshinder. In dit hoofdstuk worden daarom alleen de twee spoorse kruisingen (1 en 3) besproken waarvoor mogelijk wel een wijziging in trillingsniveau wordt verwacht en er bovendien gebouwen in de nabijheid (< 250m) van de kunstwerken liggen.

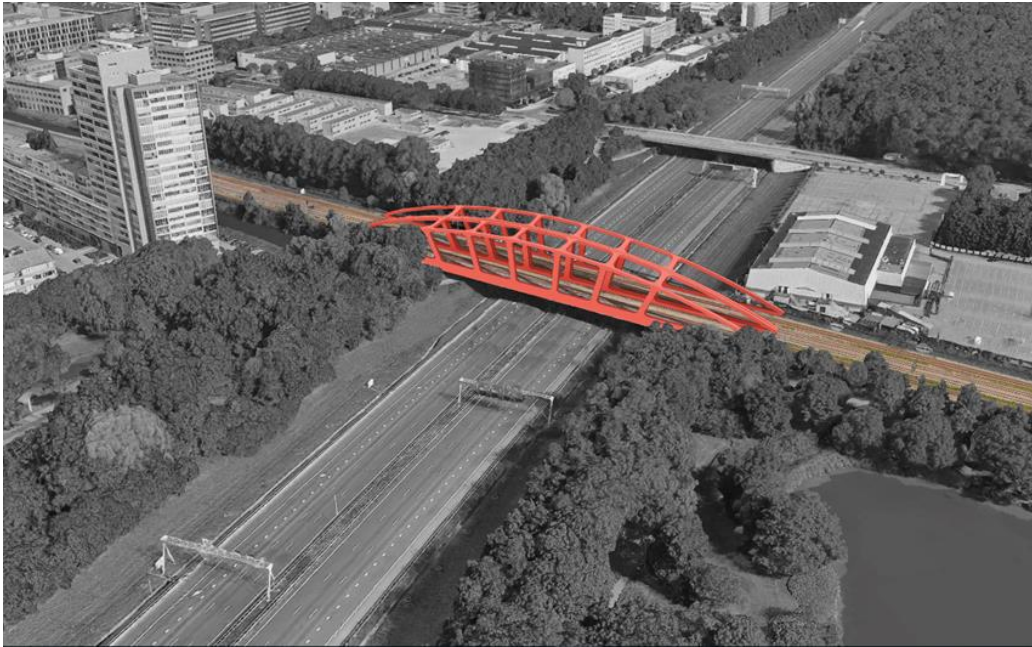
2.1 Onderzoeksgebieden spoorse kruisingen

2.1.1 Huidige spoorviaduct en toekomstige spoorbruggen Rijswijk

De huidige spoorkruising van de spoorlijn Den Haag – Rotterdam met de A4 bestaat uit een betonnen viaduct. De sporen zijn direct aan het beton bevestigd, maar er zijn wel railpads¹ toegepast. Er ligt dus geen ballast op het viaduct. Er is voorzien dat dit viaduct wordt vervangen door twee nieuwe stalen bruggen, met op iedere brug twee sporen. Figuur 1 geeft een impressie van de toekomstige bruggen.

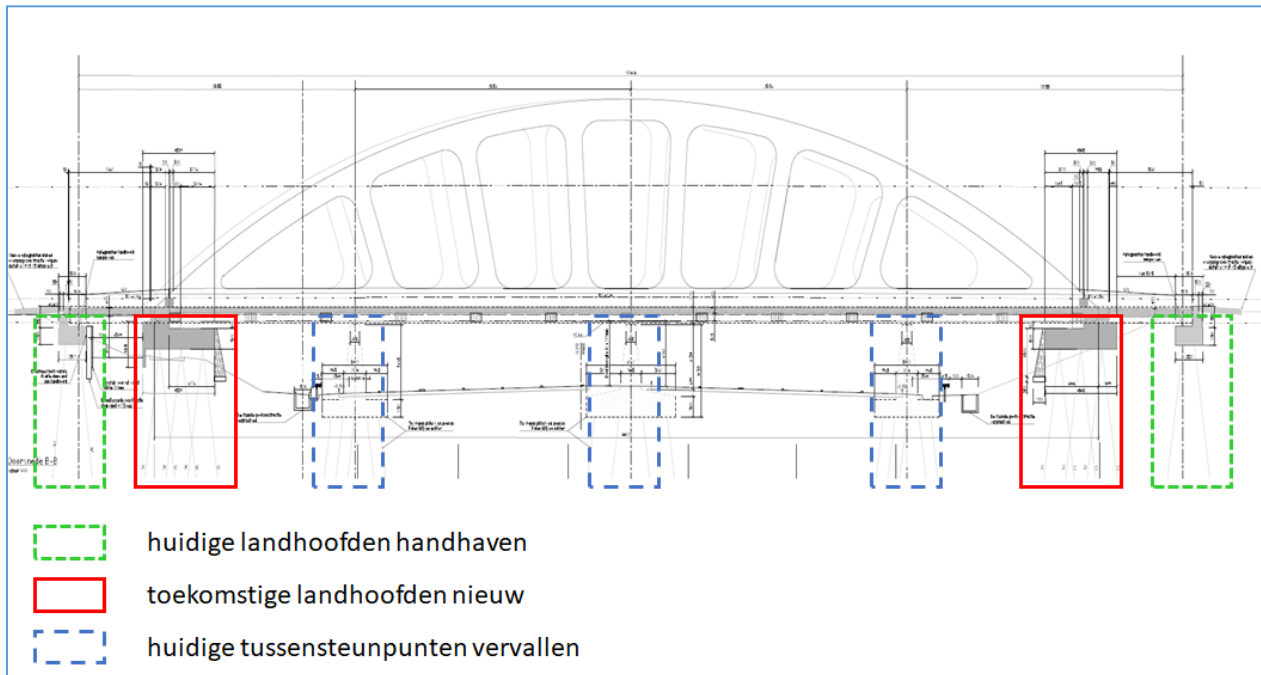
¹ Railpads zijn kunststof matjes tussen spoorstaaf en dwarsligger of betonnen oplegpunten wanneer er geen sprake is van dwarsliggers. De pads hebben meestal als hoofdoel slijtage tegen te gaan, maar werken vaak ook trillingreducerend.

Figuur 1 Impressie nieuwe stalen spoorbruggen Rijswijk



De nieuwe stalen spoorbruggen geven extra ruimte voor de middenrijbanen omdat de middensteunpunten in de huidige viaducten niet meer nodig zijn. De spoorbruggen zullen aan beide zijden rusten op landhoofden die tussen de huidige landhoofden en buitenste tussensteunpunten worden gerealiseerd. De huidige landhoofden blijven op hun plek aanwezig en tussen de huidige landhoofden en toekomstige landhoofden wordt een dek geplaatst. In Figuur 2 wordt dit weergegeven.

Figuur 2 Doorsnedetekening spoorbruggen Rijswijk uit Integraal Inpassings Ontwerp



Ter plaatse van de aansluitingen met de aardebaan worden aan beide zijden ter plaatse van de huidige reeds aanwezige landhoofden nieuwe stootplaten voorzien. De locatie waar treinen van aardebaan overgaan op een viaduct verandert in de toekomstige situatie dus niet ten op zichte van de huidige situatie.

2.1.2 Huidige en toekomstige spoorviaduct Leidschendam

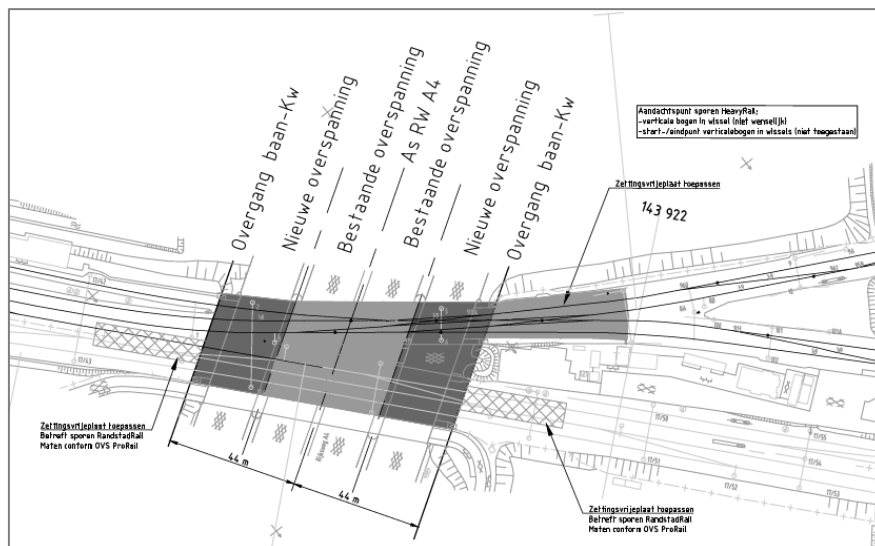
Ter plaatse van het spoorviaduct Leidschendam zijn in de huidige situatie meerdere betonnen viaducten aanwezig. Figuur 3 geeft een bovenaanzicht van de huidige situatie. Meerdere sporen zijn aanwezig op de viaducten, namelijk de doorgaande tram en lightrail sporen (oostelijke sporen) en ook sporen richting het opstel terrein van ProRail en de werkplaats van NS (westelijke afbuigende sporen).

Figuur 3 Bestaande viaducten Leidschendam



Uit Figuur 3 blijkt dat de sporen op twee aparte viaducten liggen (en een fietsviaduct als 3^e kunstwerk). Ieder viaduct bestaat uit drie velden, met tussensteunpunten. De huidige viaducten zijn uitgevoerd in beton. Het spoor ligt in ballast bovenop de betonnen dekken. Naar verwachting zijn er geen ballastmatten toegepast. Als gevolg van de wegverbreding moeten de buitenste velden op beide rijbanen worden verlengd. Deze velden zijn weergegeven in Figuren 4 (nieuwe overspanning) en 5 (rode lijnen).

Figuur 4 Tekening bestaande en nieuwe overspanningen (bovenaanzicht gedraaid t.o.v. Figuur 3)

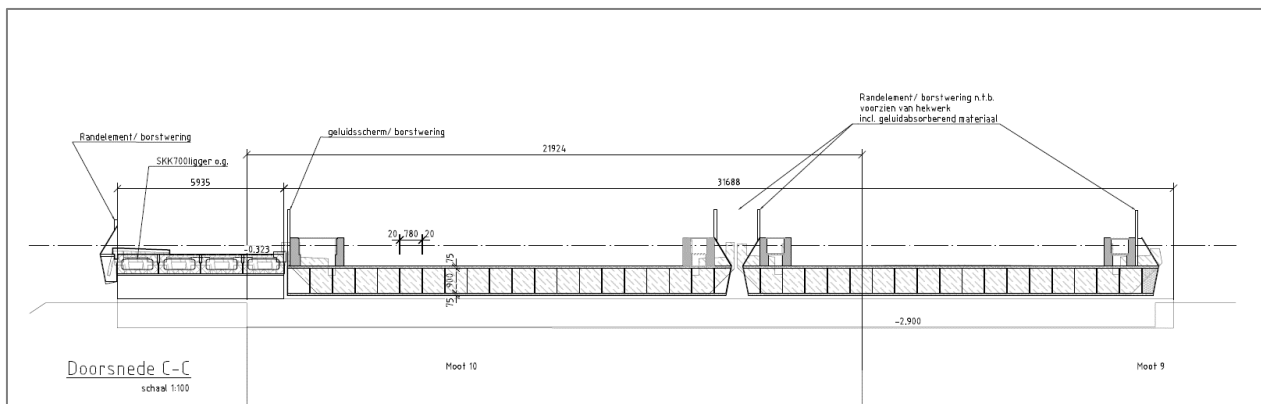


Figuur 5 Impressie locaties te verbreden viaducten weergegeven in rood



Een vergrootte overspanning in combinatie met het behoud van voldoende doorrijhoogte onder het viaduct zonder ingrijpende spoorwijziging maakt dat de nieuwe spoordekken worden uitgevoerd als stalen brug. In onderstaande figuur is een doorsnedetekening gegeven van de voorziene staalconstructie. Een dergelijke brug is lichter dan een betonnen variant, waarmee het aannemelijk wordt dat de bestaande te handhaven steunpunten tussen parallelrijbaan en hoofdrijbaan niet verzwaaard hoeven te worden.

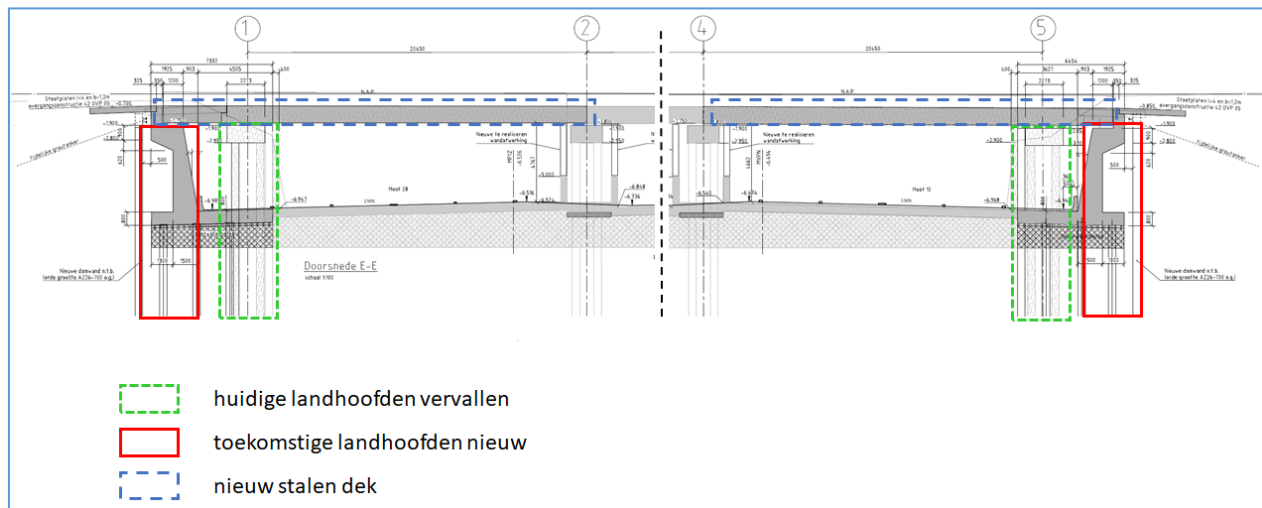
Figuur 6 Doorsnedetekening stalen dek spoorviaduct Leidschendam uit Integraal Inpassings Ontwerp



Doordat de overspanningslengte van de dekken zijn toegenomen, worden de landhoofden verplaatst. Dit is te zien in Figuur 7 waarin de huidige en nieuwe toekomstige landhoofden zijn weergegeven. De locatie van de overgang van

aardebaan naar viaduct verandert ter plaatse van het viaduct Leidschendam en schuift enkele meters verder naar buiten. Uit de tekening is afgeleid dat dit circa 6 meter is.

Figuur 7 Doorsnedetekening nieuwe deel spoorviaduct Leidschendam



2.2 Treinaantallen en sporgebruik

2.2.1 Spoorbruggen Rijswijk

De spoorkruising Rijswijk kent in de huidige en plansituatie vier sporen. Voor het basisgebruik spoor geldt dat Sprinters richting Delft/Rotterdam over het meest buitenste spoor rijden. De Intercity richting Delft/Rotterdam rijdt over het westelijke binnenspoor. De Sprinter richting Den Haag rijdt over het oostelijke binnenspoor en de Intercities richting Den Haag rijden over het oostelijke buitenspoor². Voor wat betreft goederenvervoer worden het oostelijke buitenspoor (richting Den Haag) en het westelijke binnenspoor (richting Rotterdam) gebruikt. Het valt echter niet uit te sluiten dat het goederenvervoer ook over het westelijke buitenspoor rijdt. In de trillingsprognoses is daarom uitgegaan van goederenvervoer over de twee buitenste sporen. Dit geeft een bovengrenzenbenadering voor de verwachte trillingsniveaus. Figuur 8 geeft het sporgebruik schematisch weer.

² In het rekenmodel is uiteindelijk uitgegaan van Intercity treinen over de buitenste sporen en Sprinters over de binnenste sporen. Dit resulteert in een enigszins maatgevender scenario als het gaat om gemiddeld trillingsniveau Vper en is daarom conservatief.

Figuur 8 Spoorgebruik (basis in grijs (links), gehanteerd in trillingspredictie zwart (rechts))



De gehanteerde treinaantallen voor de plansituatie worden weergegeven in Tabel 1. De aantallen voor de plansituatie betreffen de treinaantallen voor het planscenario PHS 2030 en zijn overgenomen uit (Railinfra Solutions / Benthem en Crouwel, 2016). Naast het programma hoogfrequent spoor (PHS) loopt er een studie naar een ander groeiscenario onder de naam Toekomstbeeld OV2030. Dit groeiscenario bleek tot lagere treinaantallen te leiden. Door de PHS treinaantallen te nemen wordt het meest conservatieve scenario aangenomen vanuit het oogpunt van trillingsbelasting op de omgeving omdat het gemiddelde trillingsniveau toeneemt wanneer treinaantallen toenemen. Het maximale trillingsniveau hangt af van goederentreinpassages welke in beide scenario's gelijk is.

Uit het onderzoek (Railinfra Solutions / Benthem en Crouwel, 2016) blijkt dat voor de situatie PHS 2030³ er geen overschrijdingen rondom spoorviaduct Rijswijk worden gevonden. Voor de referentiesituatie is wat betreft treinaantallen daarom ook het PHS 2030 scenario aangehouden om zo de invloed van enkel voorliggend project in kaart te brengen⁴.

Tabel 1 Prognose treinaantallen aangehouden voor plan- en referentiesituatie spoorviaduct Rijswijk: scenario PHS 2030 (Railinfra Solutions / Benthem en Crouwel, 2016)

richting	treintype **	Aantal treinen per uur per richting		
		Dag	Avond	Nacht
Amsterdam – Leiden - Dordrecht	IC	2	2	0.5
Amsterdam – Leiden - Vlissingen	IC	2	2	0.5
Den Haag Centraal - Eindhoven	IC	4	4	1
Den Haag Centraal - Dordrecht	SPR	6	6	1.5

³ In de PHS studie 2030 is uiteraard de situatie zonder aanpassingen viaduct beschouwd.

⁴ Volgens de toetsing geldt voor de periodieke waarde V_{per} dat bij enkel een overschrijding in de plansituatie (en dus niet in de referentiesituatie) een maatregel moet worden afgewogen die het niveau terugbrengt tot de grenswaarde, zie paragraaf 4.2.1.2.

Goederentrein Schiedam Delft – Rijswijk*	GO	0.02	0.50	0.50
--	----	------	------	------

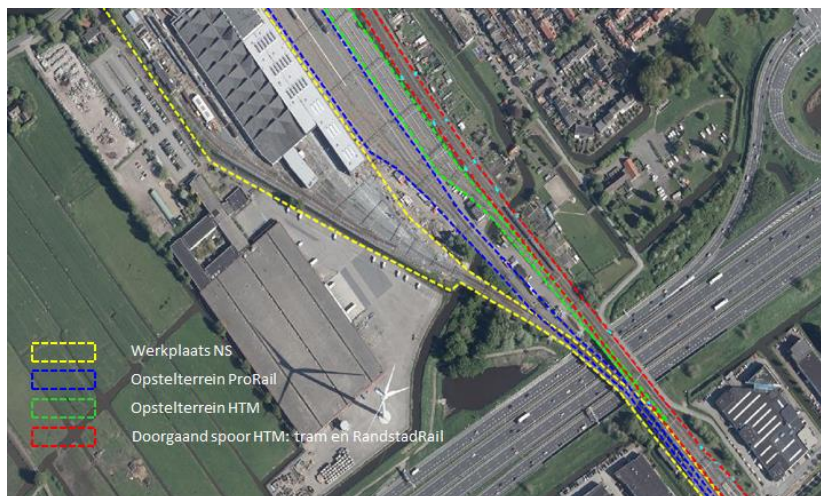
*Volgt uit 5,5 goederentreinen per dag beide richtingen samen conform PHS prognose, zie (Railinfra Solutions / Benthem en Crowel, 2016). ** IC staat voor Intercity, SPR staat voor Sprinter en GO staat voor goederentrein

In het gehanteerde spoorgebruik is een conservatieve benadering gehanteerd in de zin dat eerder te hoge dan te lage trillingsniveaus worden berekend. Dit geldt voor zowel de referentie- als de plansituatie doordat gerekend is met goederentreinen en intercity's op de buitenste sporen. Voor de berekende procentuele toename tussen referentie- en plansituatie door spoorverschuiving of verschuiving van landhoofden geldt dat hoe dichter de maatgevende goederentreinen op de omringende bebouwing rijden, hoe groter de invloed van een verschuiving. Dit omdat trillingsniveaus exponentieel afnemen met afstand tot het spoor. Het gehanteerde spoorgebruik is daarom ook conservatief vanuit toetsingsperspectief waarin niet alleen naar niveaus maar ook naar de toename wordt gekeken.

2.2.2 Spoorviaduct Leidschendam

Het spoorviaduct Leidschendam kent wat betreft spoorgebruik een opdeling in verschillende gebruikers. Het spoorgebruik is inzichtelijk gemaakt in Figuur 9.

Figuur 9 Visualisatie spoorgebruik per vervoerder/bedrijf



Spoorgebruik ProRail terrein en NS werkplaats

Om tot te hanteren treinaantallen te komen is door ProRail onderzocht welke treinbewegingen er over het viaduct hebben plaatsgehad over de maand september 2019. Dit betroffen in totaal 708 treinbewegingen over 30 dagen. Deze bewegingen betreffen de gezamenlijke bewegingen naar het ProRail opstel terrein en de NS werkplaats. Worden deze treinbewegingen verder uitgewerkt naar gemiddelde bewegingen per uur per periode (dag, avond of nacht) dan volgen de aantallen zoals weergegeven in Tabel 2.

Tabel 2 Gemiddelde treinaantallen spoorviaduct Leidschendam september 2019 (referentiesituatie)

richting	treintype	Aantal treinen per uur per richting		
		Dag	Avond	Nacht
km 17.740-Ldd	Sprinter	0.24	0.88	0.67
Ldd-km 17.740	Sprinter	0.24	0.88	0.67

Door ProRail is ook een bovengrensprognose afgegeven van te verwachten treinaantallen in de plansituatie 2030. De verwachte treinbewegingen over het viaduct voor 2030 worden weergegeven in Tabel 3.

Tabel 3 Prognose treinaantallen spoorviaduct Leidschendam 2030 (plansituatie)

richting	treintype	Aantal treinen per uur		
		Dag	Avond	Nacht
km 17.740-Ldd	Sprinter	0.75	2.00	1.13
Ldd-km 17.740	Sprinter	0.75	1.75	1.25

Spoorgebruik Tram en RandstadRail doorgaand spoor en opstelterrein

Voor trambewegingen en bewegingen van de RandstadRail is gekeken naar de huidige dienstregeling. Vervolgens zijn aantallen voor de plansituatie bepaald op basis van een bovengrens van bewegingen per richting volgens de huidige dienstregeling van de twee tramlijnen en de RandstadRail⁵. Voor de RandstadRail is uitgegaan van 1 maal per 10 minuten, voor beide tramlijnen gezamenlijk 1 maal per 5 minuten. In totaal volgt 18 passages per uur per richting. In Tabel 4 worden de gehanteerde aantallen weergegeven. Deze aantallen zijn zowel voor de referentie- als de plansituatie aangehouden.

⁵ In het geluidsonderzoek (Flow4, 2019) is uitgegaan van dezelfde aantallen, namelijk 6 ritten per uur per tramlijn en RandstadRail.

Tabel 4 Prognose aantallen tram/RandstadRail spoorviaduct Leidschendam (referentie- en plansituatie)

richting	treintype	Aantal treinen per uur		
		Dag	Avond	Nacht
Ri opstel terrein	Tram/RandstadRail	5.00	2.00	5.00
DH-Nootdrop	Tram/RandstadRail	18.00	18.00	0.00
Nootdorp - DH	Tram/RandstadRail	18.00	18.00	0.00

3 Aanpak trillingsonderzoek

3.1 Te toetsen aspecten

Doordat de trillingsbelasting in de omgeving als gevolg van verkeer mogelijk wijzigt nabij de spoorviaducten is in voorliggend onderzoek, onderzoek gedaan naar de optredende trillingsbelasting waarbij is getoetst op:

- Schade aan gebouwen als gevolg van trillingen (zie par. 4.1)
- Hinder als gevolg van trillingen (zie par.4.2)
- Schade aan trillingsgevoelige apparatuur als gevolg van trillingen (zie par. 4.3)

3.2 Aanpak onderzoek

3.2.1 *Inventarisatie mogelijke effecten wijziging spoorviaducten*

Enkel het vervangen van bruggedelen van de huidige viaducten heeft naar verwachting geen invloed op de optredende trillingsbelasting in de omgeving als gevolg van treinverkeer omdat dit niet tot een hogere dynamische belasting leidt in de omringende bodem. Wanneer echter de locatie van de landhoofden wijzigingen en/of de locatie waar de aardebaan overgaat in het kunstwerk, dan is er mogelijk wel een wijziging te verwachten. De ervaring leert namelijk dat ter plaatse van overgangen van aardebaan naar kunstwerken er een lokale verhoging van het trillingsniveau optreedt. De aslasten van de passerende treinen ondervinden een discrete overgang in de stijfheid van de onderliggende baan wat tot een pulsbelasting leidt en als gevolg een lokale verhoging van de trillingsbelasting rondom de overgang. Wanneer de locatie van deze overgang wijzigt, kan dit dus rondom de locatie waar de overgang verschuift een verhoging of verlaging van trillingsniveau tot gevolg hebben in omringende bebouwing. Daarnaast geldt dat een toename in treinaantallen mogelijk tot een toename in trillingshinder kan leiden.

3.2.2 *Gebouwinventarisatie*

Als eerste stap in het onderzoek is geïnventariseerd welke gebouwen in de nabijheid van de spoorviaducten aanwezig zijn. De aanwezige gebouwen zijn bepaald op basis van gegevens aanwezig in de Basisregistratie Adressen en Gebouwen (BAG). Per gebouw is daarbij de functie geïnventariseerd. Aanvullend is onderzoek gedaan naar openbare kadastergegevens. Deze kadastergegevens zijn onderzocht om te bepalen of er gebouwen zijn waar

mogelijk trillingsgevoelige apparatuur aanwezig is. Er is een invloedsgebied van ongeveer 250 meter rondom de viaducten gehanteerd⁶.

3.2.3 Uitvoeren trillingsmetingen

Als tweede stap zijn trillingsmetingen uitgevoerd op drie locaties. Deze drie locaties zijn bepaald op basis van de resultaten van de gebouwinventarisatie alsmede een indicatieve berekening met het VibraDyna rekenmodel (zie toelichting par. 3.2.4). De metingen zijn uitgevoerd conform de Bts en SBR-richtlijnen (zie hoofdstuk 4). De trillingsmetingen zijn over een periode van 2 weken uitgevoerd, dit zodat aan de eis van minimaal een week meten in ieder geval is voldaan.

3.2.4 Uitvoeren prognoseberekeningen met VibraDyna rekenmodel

Als derde stap zijn prognoseberekeningen uitgevoerd waarmee het trillingsniveau in alle geïnventariseerde gebouwen is berekend. Hiervoor is opnieuw het VibraDyna rekenmodel gehanteerd waarin correcties zijn doorgevoerd op basis van de resultaten van de uitgevoerde trillingsmetingen. De uitgevoerde trillingsmetingen zijn zodoende gebruikt om de nauwkeurigheid van het rekenmodel voor de specifieke situatie van de twee spoorviaducten te vergroten.

VibraDyna is een door Movares ontwikkeld rekenmodel om de trillingshinder ten gevolge van spoortrillingen in gebouwen te bepalen. VibraDyna berekent vanuit een GIS-input, via een rekenmodel, de trillingsterktes als GIS-output. Het rekenhart van VibraDyna gebruikt een semi-empirisch model om trillingssterktes en voortplanting van trillingen door treinverkeer te berekenen. Het model is gebaseerd op ca. 250 trillingsmetingen, uitgevoerd door heel Nederland. De informatie uit deze trillingsmetingen is aangevuld met 3D eindige-elementen berekeningen. Het VibraDyna rekenmodel is uitgebreid geverifieerd:

1. Modelparameters zijn bepaald op basis van een groot aantal metingen in een groot aantal gebouwen door het gehele land, over langere tijd. De beoordeling van de trillingssterkte vindt plaats op basis van een bovengrens die statistisch wordt bepaald. Hierdoor is het percentage gebouwen waar in werkelijkheid een hogere trillingssterkte wordt gemeten, zeer klein. Bij het nauwkeurige model is het mogelijk om gebouweigenschappen toe te voegen, zodat de invloed van sterk afwijkende bebouwing sterk wordt gereduceerd.
2. Het model is geverifieerd in eerdere onderzoeken met behulp van metingen in gebouwen. Uit deze verificatiemetingen volgt dat het gebruikte model een hoge betrouwbaarheid heeft, zie onder meer de

⁶ De ervaring leert dat 250 meter de uiterste grens is waarbinnen mogelijk hinder van spoortrillingen wordt ervaren. Zo wordt 250 meter tot aan het spoor ook als uiterste grens gehanteerd in de handreiking Nieuwbouw en Spoortrillingen (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2019).

trillingsonderzoeken ten behoeve van de Tracébesluiten *Sporen in Arnhem*⁷, *Sporen in Utrecht*⁸ en *Doorstroomstation Utrecht*⁹ met de bijbehorende Opleveringstoetsen.

3.3 Uitgangspunten

In de aanpak van het onderzoek, die is gestoeld op trillingsmetingen en het VibraDyna rekenmodel, zijn de volgende belangrijke uitgangspunten gehanteerd:

- Invloed wissels, ES-lassen en overgangsconstructies zijn in het rekenmodel meegenomen als lokale puntbelastingen. De invloed is bepaald op basis van door Movares eerder uitgevoerde metingen nabij vergelijkbare constructies;
- De mate van demping van trillingsniveaus met afstand tot het spoor is bepaald aan de hand van een eerder uitgevoerde dwarsraaimeting nabij Delft Noord. Op basis van vergelijking van grondprofielen ter plaatse van Delft Noord en het spoorviaduct Rijswijk volgt de verwachting dat de gemeten afstandsdeмпing representatief is. Deze afstandsdeмпing is frequentieafhankelijk¹⁰. Dezelfde karakteristiek is gehanteerd voor het viaduct Leidschendam. Zie ook bijlage III.
- Het rekenmodel kent een bronmodule waarin per treintype het verwachte bronniveau is bepaald op basis van een grote database van trillingsmetingen. De bronmodule kent onderscheid in een groot aantal treintypen waarvoor meetdata aanwezig is, waaronder verschillende typen goederentreinen, SRMT, VIRM, TRAXX getrokken reizigersmaterieel, maar ook tram en lightrail. In het rekenmodel is per treintype vervolgens het spoorgebruik ingevoerd.
- De berekende trillingsniveaus in gebouwen nabij het spoor zijn gecorrigeerd op basis van de gemeten trillingsniveaus op drie meetlocaties. Hierbij is gekeken wat het gemeten en met VibraDyna berekende niveau is op fundering dan wel vloerniveau (afhankelijk van welke meetresultaten beschikbaar zijn) en is een correctie toegepast.¹¹

⁷ Boon, ir. P.M., *Sporen in Arnhem, Trillingsonderzoek t.b.v. Tracébesluit*, Movares Nederland B.V., D79-PBO-KA1400006, 31 maart 2014, versie 1.0

⁸ Boon, ir. P.M., *Sporen in Utrecht, Trillingsonderzoek t.b.v. Tracébesluit*, Movares Nederland B.V., D79-PBO-KA1400005, 31 maart 2014, versie 1.0

⁹ Boon, ir. P.M., *Doorstroomstation Utrecht (DSSU), Trillingsonderzoek*, Movares Nederland B.V., OND-ET-CON-TR-RAP-100, 4 juni 2015, versie 3.0

¹⁰ In het trillingsonderzoek PHS Viersporigheid Rijswijk Delft Zuid is in 2016 eveneens een afstandsdeмпing bepaald voor de locatie Rijswijk, zie (Railinfra Solutions / Benthem en Crouwel, 2016). Ter vergelijking is de in voorliggend onderzoek gehanteerde afstandsdeмпing voor de maatgevende frequenties vergeleken met de gehanteerde afstandsdeмпing in het PHS-onderzoek. Hieruit bleken vergelijkbare resultaten.

¹¹ Voor alle drie de meetlocaties bleek, zoals verwacht, het oorspronkelijke VibraDyna model het trillingsniveau te overschatten. Het rekenmodel is vervolgens op basis van berekende en gemeten Veffmax niveaus voor individuele treinpassages gecorrigeerd.

- Voor de rijksnelheden van verschillend materieel is het geluidsregister geraadpleegd en waar gegevens ontbreken een bovengrensschatting aangehouden. Dit resulteert voor het spoorviaduct Rijswijk in de volgende rijksnelheden: IC's 140km/u, Sprinters 80km/u en Goederentreinen 90km/u. Voor het spoorviaduct Leidschendam: Sprinters van en naar opstel terrein en werkplaats 50 km/h en trams/RandstadRail ook 50 km/h.

4 Beoordelingskader

Dit hoofdstuk bespreekt het beoordelingskader waaraan wordt getoetst. Voor het beoordelen van trillinghinder wordt getoetst aan de Beleidsregel trillinghinder spoor (Bts, 2014). De Bts is namelijk opgesteld om spoorse Tracébesluiten te kunnen toetsen op rechtmatigheid ten aanzien van het al dan niet treffen van maatregelen en de aanvaardbaarheid van trillingen. Voor de aspecten schade aan gebouwen en eventueel aanwezige trillingsgevoelige apparatuur wordt de SBR-richtlijn trillingen gehanteerd (SBR, 2017) en (SBR, 2002). De SBR-richtlijn is het gebruikelijke toetsingkader voor deze onderwerpen.

4.1 SBR-richtlijn trillingen deel A: Schade aan gebouwen

Ter voorkoming van schade aan gebouwen als gevolg van trillingen is door de SBR een richtlijn opgesteld waarin grenswaarden worden gepresenteerd voor toelaatbare trillingsniveaus. De SBR richtlijn deel A (SBR, 2017). De schadetoetsing volgens de SBR-richtlijn deel A kijkt naar twee aspecten: (1) schade als gevolg van het trillen van de draagconstructie en (2) schade als gevolg van het trillen van een trillingsgevoelige fundering. De toetsing van de draagconstructie is meestal maatgevend, maar afhankelijk van de dominante frequentie kan een trillingsgevoelige fundering maatgevend worden.

De SBR richtlijn deel A verdeelt gebouwen onder in categorie 1 en categorie 2 gebouwen. Categorie 1 betreft onderdelen van de draagconstructie bestaande uit gewapend beton of hout, of andere onderdelen van bouwwerken waar de hoogste grenswaarden voor gehanteerd mogen worden. Categorie 2 betreft onderdelen van de draagconstructie bestaande uit metselwerk of onderdelen die niet tot de draagconstructie behoren die uit brosse materialen of niet gewapend beton bestaan en daardoor gevoeliger voor trillingen zijn dan bijvoorbeeld gewapend beton. Categorie 2 kent een onderverdeling in bouwkundige staat: (a) gevoelig voor trillingen of (b) niet-gevoelig voor trillingen. Of een gebouw al dan niet in een trillingsgevoelige staat verkeerd kan worden bepaald door een checklist te doorlopen (een gebouw met monumentale status is per definitie trillingsgevoelig).

Voor de schadetoetsing van de draagconstructie geldt uiteindelijk dat de rekenwaarde van de trillingsbelasting V_d kleiner moet zijn dan de rekenwaarde van de grenswaarde V_r , oftewel $V_d < V_r$. Waarbij geldt dat:

- $V_d = V_{top} \cdot \gamma_v$, waarbij $\gamma_v = 1,6$ geldt (veiligheidsfactor type meting) voor een indicatieve meting waar sprake van is wanneer een enkel punt aan de fundering wordt gehanteerd, wat in voorliggend onderzoek het geval is.
- $V_r = V_{kar} / (\gamma_s \cdot \gamma_t)$, waarbij geldt dat γ_s de veiligheidsfactor betreft voor bouwkundige staat en/of monumentale status en γ_t de veiligheidsfactor voor het type trillingsbron.

In bijlage II wordt een stroomdiagram gegeven van de schadetoets zoals gegeven in de de SBR richtlijn deel A.

4.2 Beleidsregel trillinghinder spoor (Bts)

De Beleidsregel trillinghinder spoor (Bts) is opgesteld om spoorse Tracébesluiten te kunnen toetsen op rechtmatigheid ten aanzien van het al dan niet treffen van maatregelen en de aanvaardbaarheid van trillingen. Daartoe vult de Beleidsregel op een aantal onderdelen de SBR-richtlijn B aan en bevat op een aantal onderdelen een nadere uitwerking van beleid.

4.2.1 Toetsing aan de Bts

De Bts verwijst voor de meetprocedure ter bepaling van trillingsniveaus naar de SBR-richtlijn deel B. Deze richtlijn is een meet- en beoordelingsrichtlijn opgesteld ter toetsing van hinder van personen in gebouwen door trillingen (SBR, 2002). In de richtlijn wordt beschreven hoe op basis van een optredend trillings signaal in een woning het maximum van een gewogen voortschrijdende effectieve waarde (V_{max}) kan worden berekend. Als tweede toetsingsparameter wordt een periodiek trillingsniveau (V_{per}) bepaald. Het periodieke trillingsniveau is afhankelijk van het aantal passages. Een toename van het vervoersaanbod resulteert in een hogere waarde van V_{per} .

De Bts presenteert streef- en grenswaarden die afhankelijk zijn van de gebouwfunctie (onder andere gezondheidszorg, wonen, kantoor). Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen een bestaande, gewijzigde en nieuwe situatie. Er geldt een dagperiode van 07.00 - 19.00, een avondperiode van 19.00 - 23.00 en een nachtperiode van 23.00 - 07.00. Voor de toetsing van V_{max} is een onderste streefwaarde A_1 gedefinieerd en een grenswaarde A_2 . Voor de toetsing van V_{per} is enkel een grenswaarde A_3 gedefinieerd.

De Bts geeft in artikel 4 aan dat ingeval er een nieuwe situatie wordt onderzocht er een beschrijving van de optredende V_{max} in de plansituatie bij het Tracébesluit dient te worden toegelicht. Ingeval er een bestaande situatie wordt onderzocht bevat het Tracébesluit volgens de Bts de toelichting:

- de V_{max} en de V_{per} in bestaande situatie;
- de V_{max} en de V_{per} in de plansituatie;
- de toename van V_{max} in de plansituatie ten opzichte van de bestaande situatie.

Voor de nieuwe situatie (artikel 5) en bestaande situatie (artikel 6) worden toetsingswaarden voor V_{max} gegeven. De te hanteren grenswaarde voor V_{per} is gelijk voor een bestaande en nieuwe situatie en wordt in artikel 7 besproken. Aangezien in dit trillingsonderzoek een gebied wordt onderzocht waar reeds een spoorlijn aanwezig is die tot trillingen in de omgeving leidt, is er sprake van een bestaande situatie. Om deze reden wordt nader ingegaan op artikel 6 en artikel 7.

4.2.1.1 Toetsing maximale trillingsniveau V_{max} (artikel 6 Bts)

Volgens artikel 6 mogen maatregelen ter beperking van trillingshinder achterwege blijven indien:

- de V_{max} in de plansituatie voldoet aan de streefwaarden zoals opgenomen in Tabel 5;
- de toename van de trillingssterkte in de plansituatie ten opzichte van de bestaande situatie 30 % of minder bedraagt.

De door de Bts gestelde streef- en grenswaarden voor een bestaande situatie worden in Tabel 5 weergegeven.

Tabel 5 Grens- en streefwaarden Vmax bestaande situatie¹²

gebouwfunctie	dag en avond		nacht	
	A ₁	A ₂	A ₁	A ₂
gezondheidszorg en woonruimte	0,2	0,8	0,2	0,4
onderwijs, kantoor en bijeenkomst	0,3	1,2	0,3	1,2
kritische werkruimte	0,1	0,1	0,1	0,1

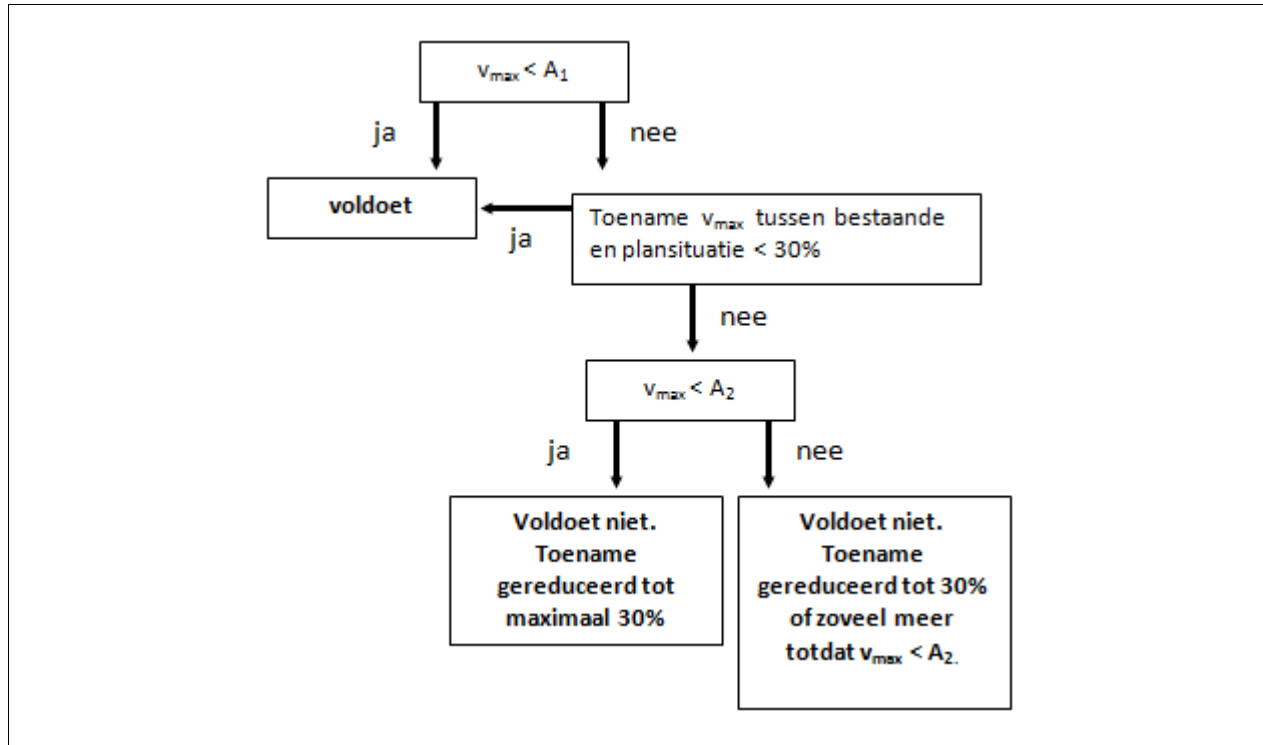
Indien Vmax in de plansituatie groter is dan de streefwaarde A₁, kleiner is dan grenswaarde A₂ maar meer dan 30 % toeneemt ten opzichte van de bestaande situatie, bevat het Tracébesluit maatregelen waarmee de toename wordt gereduceerd tot maximaal 30 %.

Indien Vmax in de plansituatie groter is dan A₁, groter is dan A₂ en meer dan 30 % toeneemt ten opzichte van de bestaande situatie bevat het Tracébesluit maatregelen waarmee de toename wordt gereduceerd tot maximaal 30 % of zoveel meer als nodig om overschrijding van A₂ te voorkomen. Figuur 10 geeft bovengenoemde toetsing in een stroomschema weer.

De Bts kent een toetsing van de toename van Vmax wanneer boven de streefwaarde A₁ wordt uitgekomen. Dit is een toename tussen referentie- en plansituatie. Een mogelijk verschil in spoorgebruik, rijnsnelheid, type spoorbaan etc. kan als gevolg een toename in Vmax hebben. Voor het huidige project geldt dat er geen verschil in spoorgebruik of rijnsnelheid te verwachten is voor de maatgevende goederentreinen. Enkel de verschuiving van de landhoofden hebben invloed op Vmax rondom de landhoofden.

¹² De grens- en streefwaarden komen overeen met de grens- en streefwaarden voor de bestaande situatie volgens SBR-deel B.

Figuur 10 Toetsingschema V_{max} trillingshinder volgens Bts bestaande situatie



4.2.1.2 Toetsing periodieke trillingsniveau V_{per} (artikel 7 Bts)

Volgens artikel 7 mogen maatregelen ter beperking van trillingshinder achterwege blijven indien V_{per} in de plansituatie voldoet aan de grenswaarden opgenomen in Tabel 6.

Tabel 6 Grenswaarden V_{per} bestaande situatie

gebouwfunctie	dag en avond	nacht
	A_3	A_3
gezondheidszorg en woonruimte	0,1	0,1
onderwijs, kantoor en bijeenkomst	0,15	0,15

Indien in de bestaande situatie de optredende waarde van V_{per} voldoet aan de grenswaarden opgenomen in Tabel 6, maar in de plansituatie niet, bevat het Tracébesluit maatregelen waarmee de toename van de trillingssterkte tot die grens wordt teruggebracht.

Indien in de bestaande situatie en in de plansituatie de optredende waarde van V_{per} niet voldoet aan de grenswaarden opgenomen in Tabel 6, bevat het Tracébesluit maatregelen waarmee de toename van trillingssterkte wordt voorkomen.

De bepaling van V_{per} dient volgens de Bts conform de SBR-richtlijn deel B (SBR, 2002) te geschieden.

De Bts kent voor V_{per} enkel een toetsing aan een grenswaarde. Een toename tussen referentie- en plansituatie is enkel van belang voor de bepaling van de mate van benodigde reductie wanneer in de plansituatie én in de referentiesituatie sprake is van een overschrijding. Maatregelen om de toename weg te nemen moeten dan namelijk worden afgewogen.

4.2.1.3 Bovenste grenswaarde V_{max}

In de Bts wordt een bovenste grenswaarde van V_{max} beschreven waarboven het treffen van maatregelen niet achterwege dient te blijven. Deze grenswaarde bedraagt 3,2.

4.2.1.4 Eisen aan metingen

De Bts (2014) en achterliggend Bts herzieningsdocument (Level Acoustics, 2018) stellen de volgende eisen aan trillingsmetingen:

- meetduur dient minimaal een week te bedragen;
- er dient een statistisch maximum te worden bepaald;
- ook dient er een onzekerheid van het gevonden resultaat te worden bepaald. Deze onzekerheid dient 10 % of minder te bedragen.

De bepaling van het maximum vindt met een statistische verwerking plaats. Middels deze statistische verwerking volgt eveneens een onzekerheidspercentage. De statistische verwerking wordt niet in de gewijzigde Bts zelf beschreven. Hiervoor is door Level Acoustics een achtergronddocument opgesteld (Level Acoustics, 2018). De procedure tot bepaling van het maximum trillingsniveau $V_{max,BTS}$ en de reproduceerbaarheid is toegepast in dit onderzoek. In de volgende paragraaf wordt hier nader op ingegaan.

4.2.1.5 Bepaling $V_{max,BTS}$

De procedure tot bepaling van $V_{max,BTS}$ volgens (Level Acoustics, 2018) die in dit onderzoek is toegepast kent een aantal stappen om tot de set aan gemeten trillingsniveaus te komen op basis waarvan een statistisch maximum wordt bepaald. Hierbij wordt onderscheid gemaakt in meetrichting.

Per gebeurtenis wordt een V_{effmax} bepaald aan de hand van het gemeten signaal; uit het signaal wordt de $V_{eff}(t)$ bepaald en vervolgens rondom het maximum daarvan (V_{effmax}) een vijf-seconden V_{rms} waarde. Volgens (Level Acoustics, 2018) geldt vervolgens dat voor V_{effmax} van de passage een waarde van 1,95 maal $V_{rms,5sec}$ moet worden gehanteerd. Dit wordt voor alle gemeten treinpassages bepaald, waardoor een set aan gemeten V_{effmax} waarden per meetrichting per meetpunt wordt verkregen. Vervolgens wordt de naverwerkingsmethode toegepast.

Conform de naverwerkingsmethode uit Level Acoustics (2018) worden voor alle passages waarvoor geldt dat $V_{effmax} > 0,05$, het natuurlijk logaritme van V_{effmax} bepaald. Vervolgens worden verschillende parameters bepaald van de dataset van de natuurlijk logaritmische waarden, waaronder het gemiddelde μ , de betrouwbaarheidscoëfficiënt β , de reproduceerbaarheid R en vervolgens het statistisch maximum $V_{max,BTS}$. Hierbij geldt dat hoe lager de waarde van R , hoe beter de reproduceerbaarheid van $V_{max,BTS}$. Gestreefd dient te worden naar een waarde van R onder de 10 %. Is de waarde van R hoger dan 10 % dan kan worden besloten de meetduur te verlengen of de toetswaarde te verzwaren middels een verrekening van R .

Verrekening van de reproduceerbaarheid in de toetswaarde van $V_{max,BTS}$ vindt als volgt plaats:

- $V_{max,BTS}$ indien $R \leq 10 \%$;
- $(1+R/100 \%) \cdot V_{max,BTS}$ indien $R > 10 \%$.

4.2.2 Voorgaande Tracébesluiten

Volgens de Bts dienen voorgaande Tracébesluiten die op hetzelfde spoorgedeelte van toepassing zijn en binnen een termijn van tien jaar voorafgaand zijn afgesloten te worden meegenomen door in de referentiesituatie uit te gaan van de referentiesituatie uit het vorige besluit. Voor de locatie Rijswijk betreft dit het Tracébesluit PHS viersporigheid Rijswijk Delft Zuid met achterliggend trillingsonderzoek van 7 december 2016 (Railinfra Solutions / Benthem Crouwel, 2016). Voor het spoorviaduct Rijswijk geldt dat het project PHS viersporigheid Rijswijk Delft Zuid geen toename in V_{max} tot gevolg had maar wel in V_{per} door toegenomen reizigersaantallen voor de scenario's 2020 en 2030. Voor V_{per} kent de Bts enkel een grenswaarde. Uit de PHS studie (Railinfra Solutions / Benthem Crouwel, 2016) volgde voor zowel de referentie- als de plansituatie geen overschrijdingen voor V_{per} rondom het spoorviaduct Rijswijk.

In Railinfra Solutions / Benthem Crouwel (2016) is op basis van trillingsmetingen en geregistreerde treinpassageaantallen een toename van V_{per} bepaald. Voor de locatie Rijswijk is gerekend met een toename van 10% in V_{per} wanneer de plansituatie vergeleken wordt met de huidige situatie. De plansituatie betreft de PHS 2030 prognose situatie. In voorliggend onderzoek is rekening gehouden met treinaantallen conform de PHS 2030 prognose (zie paragraaf 2.2)¹³.

4.3 SBR-richtlijn trillingen deel C: Schade aan trillingsgevoelige apparatuur

De SBR-richtlijn deel C (SBR, 2002-2) gaat in op trillingsgevoelige apparatuur. De richtlijn kent geen eenduidige grenswaarden en geeft aan dat per situatie de te hanteren grenswaarden variëren, afhankelijk van de eigenschappen van de aanwezige apparatuur. Per situatie dient daarom de te hanteren grenswaarde te worden bepaald.

¹³ De nadruk ligt bij V_{per} toetsing op de plansituatie. Een toename ten op zichte van een referentiesituatie is in geval van V_{per} enkel belangrijk wanneer er al sprake is van een overschrijding in de referentiesituatie. Uit Railinfra Solutions / Benthem Crouwel (2016) blijkt dat dit niet het geval is.

5 Gebouwinventarisatie

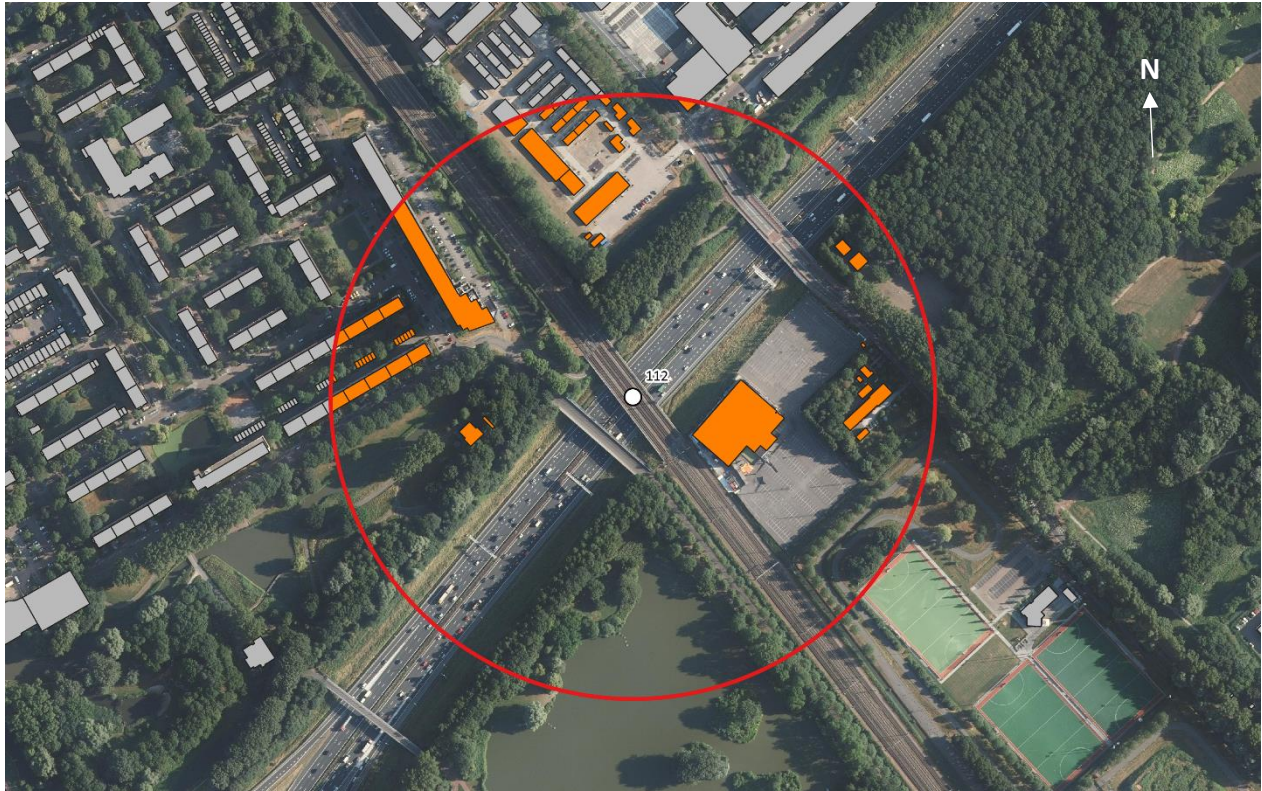
Als eerste stap is in het trillingsonderzoek een inventarisatie gemaakt van alle gebouwen in de nabijheid van de spoorse viaducten (binnen een straal van 250 meter¹⁴). Dit hoofdstuk bespreekt de resultaten van de inventarisatie. Eerst wordt ingegaan op de gebouwen rondom het spoorviaduct Rijswijk waarna de gebouwen rondom het spoorviaduct Leidschendam worden besproken. Het doel van deze inventarisatie is om de functie van de nabijgelegen gebouwen, gebouwkenmerken en afstand tot het spoor te bepalen. Daarnaast is gekeken of er sprake is van gebouwen met mogelijk trillingsgevoelige apparatuur. Deze inventarisatie is gemaakt op basis van type bedrijfsactiviteiten. Zo kan bij laboratoria, ziekenhuizen of specifieke productieactiviteiten er sprake zijn van trillingsgevoelige apparatuur/opstellingen.

5.1 Gebouwen rondom spoorviaduct Rijswijk

In Figuur 11 worden gebouwen weergegeven welke in het BAG (Basisregistratie Adressen en Gebouwen) aanwezig zijn rondom het spoorviaduct Rijswijk anno december 2019. De oranje gekleurde gebouwen bevinden zich binnen een straal van 250 meter tot het kunstwerk.

¹⁴ De ervaring leert dat 250 meter de uiterste grens is waarbinnen mogelijk hinder van spoortrillingen wordt ervaren. Zo wordt 250 meter tot aan het spoor ook als uiterste grens gehanteerd in de handreiking Nieuwbouw en Spoortrillingen (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2019).

Figuur 11 Gebouwinventarisatie rondom spoorviaduct Rijswijk (straal van 250 meter)



Van de oranje gekleurde gebouwen is per adres bepaald wat de afstand is tot het spoor en wat de functie is. Tabel 7 geeft hiervan een overzicht waarbij de gebouwen zijn gerangschikt op afstand tot het spoor. Uit de tabel volgt dat één adres het dichtst op het spoor gelegen is, namelijk Event Plaza met een afstand van circa 10 meter. Dit betreft het gebouw aan de zuidoostelijke kant van het spoorviaduct. Het betreft een massief¹⁵ evenementen gebouw met een groot vloeroppervlak. De overige gebouwen liggen op een afstand groter dan 80 meter van het spoor waarbij de woontoren aan de Klaroenstraat het eerstvolgende gebouw is wat betreft dichtste afstand tot het spoor.

Tabel 7 Gebouwen meest nabijgelegen kruising A4 met spoor Rotterdam – Den Haag

Gebouw/Adres	Afstand tot het spoor	Functie
Event Plaza Lange Kleiweg 86	ca. 10 meter	Bijeenkomst/kantoor
Woontoren Klaroenstraat	ca. 80 meter	Woonfunctie
AZC Lange Kleiweg 70	ca. 90 meter	Woonfunctie
Flatgebouw Clavesimbellaan 9 - 63	Ca. 95 meter	Woonfunctie

¹⁵ Met massief gebouw wordt in dit geval een groot en stijf gebouw bedoeld.

Flatgebouw Tubasingel	Ca. 100 meter	Woonfunctie
Clubhuis schaakclub Bosgang 2	Ca. 110 meter	Bijeenkomst
Woonhuis Lange Kleiweg 100	Ca. 115 meter	Woonfunctie
Woonhuis Lange Kleiweg 98	Ca. 150 meter	Woonfunctie

Trillingsgevoelige apparatuur

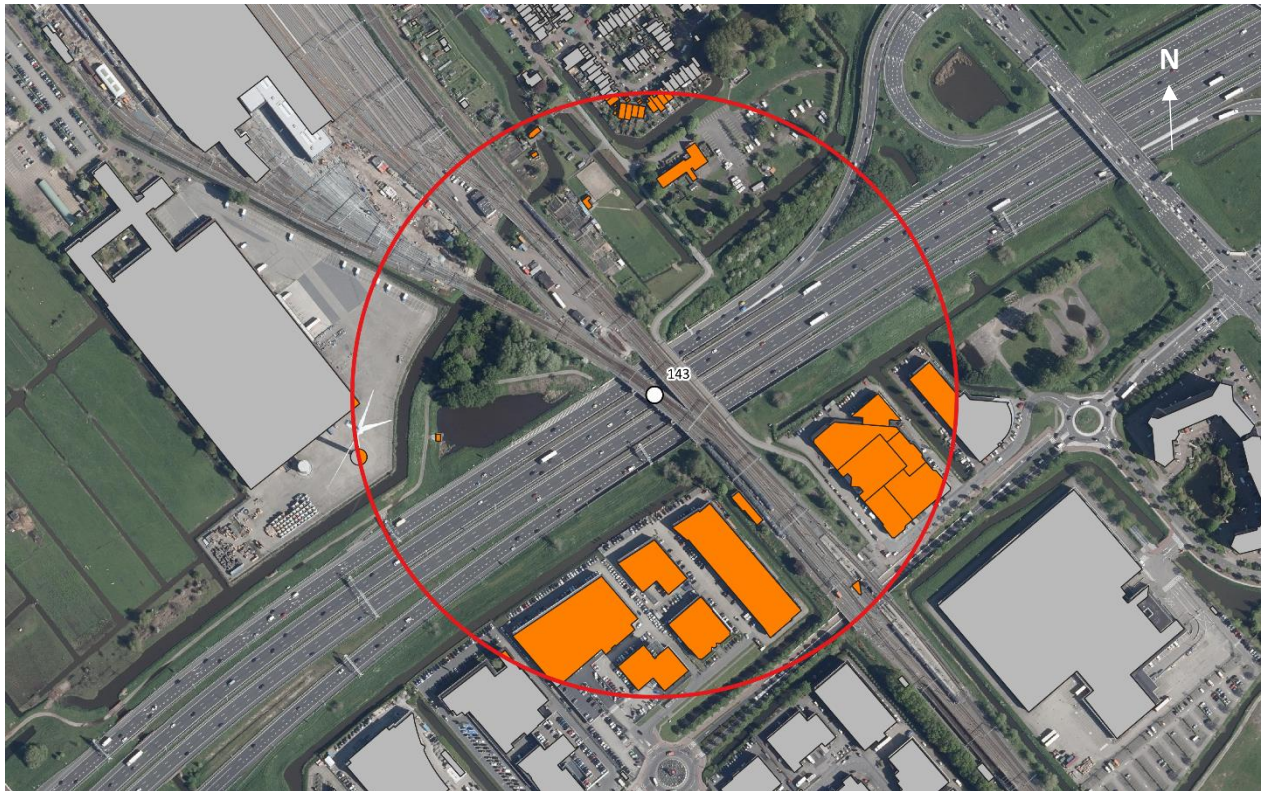
Nabij het spoorviaduct Rijswijk zijn aan de noordzijde enkel gebouwen met woonfuncties aangetroffen. Aan de zuidzijde is Event Plaza gelegen met een bijeenkomstfunctie en enkele panden met kantoor/woonfunctie waarvoor (gezien de activiteiten) geen trillingsgevoelige apparatuur aanwezig wordt geacht.

5.2 Gebouwen rondom spoorviaduct Leidschendam

Figuur 12 geeft in oranje de gebouwen weer welke in de BAG aanwezig zijn rondom het spoorviaduct Leidschendam. Uit de figuur volgt dat ten zuiden van het viaduct enkel grote industriële panden aanwezig zijn. Het langwerpige gebouw vlak langs het spoor ten zuiden van het viaduct betreft een onderhoudsgebouw voor het spoor en wordt niet verder meegenomen in de toetsing¹⁶. Ten noorden van het viaduct zijn enkele woningen aanwezig binnen de zone van 250 meter tot het viaduct. Dit betreffen woningen aan de Evertsenstraat.

¹⁶ Van dit gebouw wordt verwacht dat het gebouw en eventueel aanwezige apparatuur een functie kennen waarvoor trillingen als gevolg treinen op enkele meters van het spoor acceptabel zijn.

Figuur 12 Gebouwinventarisatie rondom spoorviaduct Leidschendam (straal van 250 meter)



Tabel 8 geeft de resultaten van de gebouwinventarisatie weer voor het spoorviaduct Leidschendam. De gebouwen zijn gerangschikt op afstand tot het spoor. Uit de tabel blijkt dat het bedrijvenpand aan de Neckar 2 – 24 het dichtst op het spoor ligt met een afstand van ca. 50 meter. Dit betreft een massief bedrijvenpand met verschillende gevestigde bedrijven. Aan de oostzijde ligt het bedrijvenpand met adressen Rhone 36 – 40. Dit gebouw kent eveneens meerdere gevestigde bedrijven en ligt op een afstand van circa 75 meter tot het dichtstbijzijnde spoor, wat aan deze zijde het tramspoor betreft. Aan de noordzijde ligt de dichtstbijzijnde woning op circa 90 m van het spoor. Wordt echter gekeken naar de afstand van het gebouw tot aan het landhoofd van het viaduct dan bedraagt deze afstand ca. 120 meter.

Tabel 8 Gebouwen meest nabijgelegen kruising A4 met spoor Rotterdam – Den Haag

Gebouw/Adres	Afstand tot het spoor	Functie
Bedrijvenpand Neckar 2 -24.	ca. 50 meter	Bijeenkomst/kantoor
Bedrijvenpand Rhone 36 – 40	ca. 75 meter tot trambaan	Bijeenkomst/kantoor
Bedrijvenpand Neckar 1- 3	Ca. 80 meter	Industriefunctie
Bedrijvenpand Neckar 5 - 9	Ca. 80 meter	Industriefunctie

Partyboerderij Hydra + woonhuis Broekweg 125	ca. 90 meter tot trambaan	Woonfunctie
Woonhuis Evertsenstraat 27	Ca. 105 meter tot trambaan	Woonfunctie
Rhone	Ca. 135 meter tot trambaan	Industriefunctie
Bedrijfspannd Donau 34-36	Ca. 140 meter	kantoorfunctie

Trillingsgevoelige apparatuur

Nabij het spoorviaduct Leidschendam wordt aan de Noordzijde enkel een gebouw met bijeenkomst/woonfunctie gevonden (partyboerderij). Aan de zuidzijde zijn gebouwen met industriële functie aanwezig. Hierbij blijkt het veelal te gaan om autobedrijven (aan de westzijde) en groothandels aan de oostzijde. Van geen van de gevonden bedrijven wordt verwacht dat er trillingsgevoelige apparatuur aanwezig is.

6 Resultaten trillingmetingen

6.1 Meetlocaties

Op basis van de gebouwinventarisatie uit het vorige hoofdstuk en aanvullend indicatieve prognoseberekningen met VibraDyna¹⁷ zijn drie locaties bepaald waar trillingsmetingen zijn uitgevoerd. Twee van deze locaties liggen nabij het spoorviaduct Rijswijk en de derde locatie ligt nabij het spoorviaduct Leidschendam. Per locatie zijn één of meerdere sensoren geplaatst. Figuren 13 en 14 geven de meetlocaties weer. Een overzicht van de meetlocaties is weergegeven in Tabel 9.

Figuur 13 Meetlocaties spoorbrug Rijswijk



¹⁷ Berekeningen zijn zonder correcties op basis van metingen, omdat de metingen nog moesten worden uitgevoerd.

Figuur 14 Meetlocatie trillingsmetingen spoorviaduct Leidschendam



Tabel 9 Adressen meetlocaties

Gemeten adres	Reden keuze meetlocatie
<i>Spoorviaduct Rijswijk</i>	
Event Plaza: - Fundering	Gebouw dichtst op het spoor in omgeving viaduct Rijswijk. Vper toetsing: er is toename te verwachten door treinaantallen PHS 2030, Vmax toetsing: uiterste grenswaarde Vmax van 3,2 en schadetoets Vtop.
Woontoren Klaroenstraat: - Maaiveld - Fundering - Bovenste etage	Vper toetsing: er is toename te verwachten door treinaantallen PHS 2030, Vmax toetsing: uiterste grenswaarde Vmax van 3,2 en schadetoets Vtop. Maaiveld punt is om te extrapoleren naar overige gebouwen.
<i>Spoorviaduct Leidschendam</i>	
Neckar 16 (Tesla Service Centre): - Maaiveld - Fundering	Gebouw dichtst op het spoor in omgeving viaduct Leidschendam en aan de zijde van treinspoor. Afstand tot RandstadRail is ca. 75 meter gelijk aan Neckar 2-24 aan andere zijde spoor. Vper, Vmax en Vtop toetsing: er is toename te verwachten door verschuiving landhoofd. Maaiveld punt is om te extrapoleren naar overige gebouwen.

6.2 Apparatuur

Bij de metingen is gebruik gemaakt van trillingsmeters welke voldoen aan de eisen van de SBR-richtlijnen. Specificaties van de ingezette apparatuur worden gegeven in Tabel 10. Zie bijlage IV voor verdere gegevens over de metingen. Op de locatie Woontoren Klaroenstraat is eveneens een camera ingezet welke gebruikt is om de verschillende treinbewegingen op het spoor van Rotterdam naar Den Haag te registreren, zie Figuur 15.

Tabel 10 Gegevens gebruikte meetapparatuur

Item	type
Gebruikte meetopnemers	3D-geofoons
Gebruikte verwerkingsapparatuur	Raspberry Pi met USB-DUX Meetcomputers leggen het tijdssignaal vast
Samplingfrequentie	1000 Hz

Figuur 15 Zicht van camera op het spoor



Voor de verschillende meetrichtingen is telkens de volgende definitie aangehouden:

- X-richting: trillingsrichting loodrecht op het spoor;
- Y-richting: trillingsrichting parallel aan het spoor;
- Z-richting: verticale trillingsrichting.

6.3 Meetduur

Om aan de eisen van de Bts te voldoen is minimaal een week gemeten op alle drie de locaties. Uiteindelijk hebben alle sensoren circa twee weken gemeten. In Tabel 11 wordt de meetduur per meetlocatie weergegeven.

Tabel 11 Meetperiode 3 meetlocaties

Gemeten adres	Meetperiode 2019
Event Plaza	6 november 15:50 – 19 november 23:35
Woontoren Klaroenstraat*	6 november 12:35 – 22 november 13:25
Tesla Service Centre, Neckar 16	14 november 13:55 – 29 november 14:30

*Ter plaatse van de Klaroenstraat is de opgestelde camera vernield gedurende de meting. Ook zijn de sensoren tijdelijk uitgevallen. In totaal is er alsnog meer dan een week gemeten. Zie ook bijlage I.

6.4 Resultaten trillingsmetingen

Per meetsensor is over de gehele meetduur een dataset aan gemeten trillingssignalen opgeslagen. Deze datasets zijn na afronding van de metingen verwerkt. Hierbij zijn een aantal filteringen toegepast om trillingssignalen als gevolg van treinpassages te identificeren. Hiertoe zijn meerdere koppelingen en/of filteringen toegepast:

- Koppeling met beschikbare camerabeelden van treinbewegingen;
- Koppeling tussen sensoren maaiveld en ander sensoren;
- Filtering op karakteristieken van het gemeten signaal.

Als resultaat volgt per meetlocatie per sensor een dataset aan gemeten treinpassages. Deze signalen (beschikbaar met een sampledichtheid van 1000 Hz) zijn vervolgens verwerkt conform de Bts en achterliggende memo van Level Acoustics (zie hoofdstuk 4) om tot hinderniveaus $V_{max,Bts}$ te komen¹⁸. De gemeten V_{per} niveaus zijn bepaald conform de SBR-richtlijn deel B. Ook zijn gemeten V_{top} niveaus van de beschikbare treinsignalen bepaald met bijbehorende dominante frequentie volgens de SBR richtlijn deel A. Op de resultaten wordt in de volgende paragrafen ingegaan.

6.4.1 Maximale trillingsniveaus $V_{max,BTS}$ en V_{top}

Per meetlocatie worden de resultaten van de maximale trillingsniveaus $V_{max,BTS}$ (t.b.v. hindertoets) en V_{top} (t.b.v. schadetoets) weergegeven in navolgende tabellen. Onderscheid wordt gemaakt in meetrichting.

¹⁸ De R-waarde bleek voor alle meetdatasets onder de 10% te liggen waardoor geen verdiscontering in de waarde van $V_{max,BTS}$ hoeft te worden toegepast, zie subparagraaf 4.2.1.5.

Tabel 12 Meetresultaten Vtop en Vmax,BTS Woontoren Klaroenstraat

Meetpunt en Beoordelingsperiode	Meetrichting X	Meetrichting Y	Meetrichting Z
<i>Meetpunt Maaiveld</i>			
Vtop	0.70	0.54	0.85
Vmax,BTS	0.43	0.33	0.51
<i>Meetpunt Fundering</i>			
Vtop	0.25	0.23	0.28
Vmax,BTS	0.09	0.08	0.08
<i>Meetpunt vloer hoogste verdieping</i>			
Vtop	0.32	0.24	0.40
Vmax,BTS	0.11	0.07	0.09

Tabel 13 Meetresultaten Vtop en Vmax,BTS Event Plaza

Meetpunt en Beoordelingsperiode	Meetrichting X	Meetrichting Y	Meetrichting Z
<i>Meetpunt Fundering</i>			
Vtop	1.94	0.42	1.02
Vmax,BTS	0.50	0.16	0.35

Tabel 14 Meetresultaten Vtop en Vmax,BTS Neckar 16, Tesla Service Centre

Meetpunt en Beoordelingsperiode	Meetrichting X	Meetrichting Y	Meetrichting Z
<i>Meetpunt Maaiveld</i>			
Vtop	0.23	0.37	0.33
Vmax,BTS	0.14	0.1	0.18
<i>Meetpunt Fundering</i>			
Vtop	0.10	0.09	0.13
Vmax,BTS	0.02	0.02	0.08

Uit Tabel 12 blijkt dat het maximaal gemeten trillingsniveau als gevolg van treinpassages binnenin de woontoren Klaroenstraat relatief laag is t.o.v. maaiveld. Daarbij blijkt dat het verschil tussen fundering en bovenste etage niet groot is. Dit duidt erop dat er geen sprake is van opslinging. Het hoogste niveau op de hoogste verdieping bedraagt Vmax,BTS = 0.11. De gemeten maaiveldniveaus liggen zoals verwacht hoger. De massieve fundering van de woontoren resulteert in een sterke mate van reductie in trillingsniveaus ten opzichte van de bodem.

Uit Tabel 13 volgt dat de gemeten niveaus aan de fundering van Event Plaza hoger liggen dan de gemeten waarden aan de woontoren aan de Klaroenstraat. De reden hiervoor is dat Event Plaza verreweg het dichtst op het spoor ligt en vlakbij het aanstootpunt van het spoorviaduct. De fundering laat daarbij in de meetrichting loodrecht op het spoor (X-richting) de hoogste uitwijking zien.

De gemeten niveaus aan de fundering van het gebouw wat het dichtst op het spoorviaduct Leidschendam is gesitueerd (Tesla Service Centre) blijken dermate laag te liggen dat onder de Vmax,BTS = 0.1 wordt gebleven. Dit

blijkt uit Tabel 14. De gemeten maaiveldniveaus liggen hoger wat erop duidt dat trillingen zich vanuit de bodem maar beperkt voorplanten de fundering van het gebouw in.

6.4.2 Periodieke trillingsniveau V_{per}

In Tabellen 15 t/m 17 worden de resultaten van de gemeten V_{per} niveaus gegeven. Uit Tabel 15 blijkt dat ter plaatse van de woontoren Klaroenstraat enkel op maaiveld V_{per} niveaus groter dan 0 zijn gemeten. De meetpunten op fundering en hoogste verdieping tonen voor alle meetrichtingen een V_{per} van 0. Dit is het gevolg van het feit dat voor V_{per} enkel treinpassages met een $V_{effmax} > 0,1$ dienen te worden meegenomen conform de SBR-richtlijn deel B¹⁹. Uit Tabel 12 blijkt al dat de gemeten $V_{max,BTS}$ vrijwel alle onder de 0.1 liggen. Enkel de meetrichting X hoogste verdieping toont een $V_{max,BTS}$ van 0.11. Dit is een statistisch bepaalde waarde; de V_{effmax} waarden van de individuele treinpassages liggen wel onder de 0.1.

Ook voor V_{per} toont de fundering aan Event Plaza de hoogste niveaus van alle meetlocaties (Tabel 16). De X-richting voor de avondperiode blijkt maatgevend met een maximaal V_{per} niveau van 0.11. De gemeten V_{per} niveaus ter plaatse van de Tesla Service Centre blijken allemaal 0 te zijn (Tabel 17). Er zijn in het geheel geen treinpassages gemeten met een $V_{effmax} > 0,1$, zowel op maaiveld als fundering niet.

Tabel 15 Meetresultaten V_{per} Woontoren Klaroenstraat

Meetpunt en Beoordelingsperiode	Meetrichting X	Meetrichting Y	Meetrichting Z
<i>Meetpunt Maaiveld</i>			
Dag	0.04	0.03	0.06
Avond	0.04	0.03	0.05
Nacht	0.01	0.01	0.02
<i>Meetpunt Fundering*</i>			
Dag	0	0	0
Avond	0	0	0
Nacht	0	0	0
<i>Meetpunt vloer hoogste verdieping*</i>			
Dag	0	0	0
Avond	0	0	0
Nacht	0	0	0

*Volgens de SBR-richtlijn deel B dienen bij de bepaling van V_{per} enkel $V_{effmax} > 0,1$ te worden meegenomen. Voor deze meetpunten zijn geen $V_{effmax} > 0,1$ gemeten waardoor V_{per} de waarde 0 krijgt.

¹⁹ De Bts verwijst voor de bepaling van V_{per} naar de SBR-richtlijn deel B.

Tabel 16 Meetresultaten Vper Event Plaza

Meetpunt en Beoordelingsperiode	Meetrichting X	Meetrichting Y	Meetrichting Z
<i>Meetpunt Fundering</i>			
Dag	0.1	0.01	0.06
Avond	0.11	0.02	0.06
Nacht	0.03	0	0.02

Tabel 17 Meetresultaten Vper Neckar 16, Tesla Service Centre

Meetpunt en Beoordelingsperiode	Meetrichting X	Meetrichting Y	Meetrichting Z
<i>Meetpunt Maaiveld*</i>			
Dag	0	0	0
Avond	0	0	0
Nacht	0	0	0
<i>Meetpunt Fundering*</i>			
Dag	0	0	0
Avond	0	0	0
Nacht	0	0	0

*Volgens de SBR richtlijn deel B dienen bij de bepaling van Vper enkel $V_{effmax} > 0.1$ te worden meegenomen. Voor deze meetpunten zijn geen $V_{effmax} > 0.1$ gemeten waardoor Vper de waarde 0 krijgt.

6.4.3 Samenvatting meetresultaten

Tabel 18 geeft een samenvatting van de meetresultaten die direct getoetst kunnen worden omdat dit meetpunten zijn volgens de toetsingsmethodiek. Voor hinder is dit midden op een vloerveld, voor schade is dit een stijf punt aan de fundering. De andere meetpunten kunnen niet direct worden getoetst maar zijn wel meegenomen ter finetuning van het rekenmodel.

Tabel 18 Samenvatting te toetsen meetresultaten aan streef- of grenswaarde (huidige situatie)²⁰

Gebouw	Maatgevende richting	Maximaal gemeten niveau	Streef- of grenswaarde
<i>Hindertoets Vmax opvloer</i>			
Woontoren Klaroenstraat	X-richting	0.11	0.2 (A1)
<i>Hindertoets Vper op vloer</i>			
Woontoren Klaroenstraat	-	0	0.1

²⁰ De meetresultaten die niet direct te toetsen zijn (bijvoorbeeld op maaiveld) zijn wel gebruikt in het finetunen van het prognose model.

Schadetoets Vtop aan fundering			
Woontoren Klaroenstraat	Z-richting	0.28	2.08**
Event Plaza	X-richting	1.94	2.34*
Neckar 16, Tesla Service Centre	Z-richting	0.13	2.08**

*Hierin is de veiligheidsfactor voor het type meting $\gamma_v=1.6$, gemakshalve verdisconteerd in de grenswaarde bij een dominante frequentie van 14 Hz. Zie paragraaf 7.2 voor nadere toetsing. ** Uitgegaan is van dom frequentie van 10 Hz, $\gamma_v=1.6$, $\gamma_t=1.5$ en $\gamma_s=1.0$.

Uit tabel 18 blijkt dat alle gemeten niveaus onder de te hanteren grenswaarden blijven. Het volgende hoofdstuk gaat nader in op de toetsing van alle gebouwen voor de referentie- en de plansituatie.

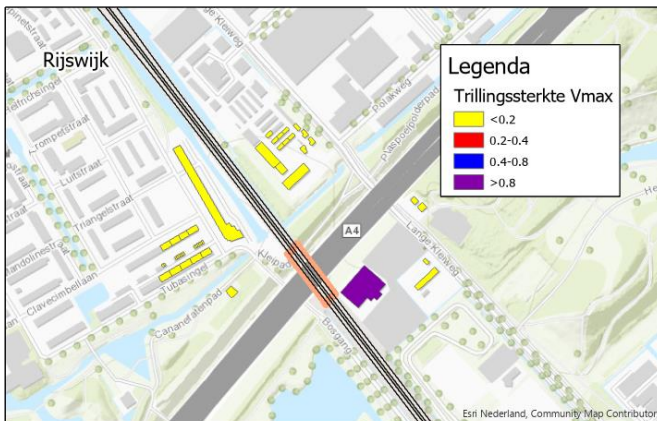
7 Prognose en toetsing trillingsniveaus door treinverkeer

7.1 Hindertoets

7.1.1 Prognose en toetsing $V_{max,BTS}$

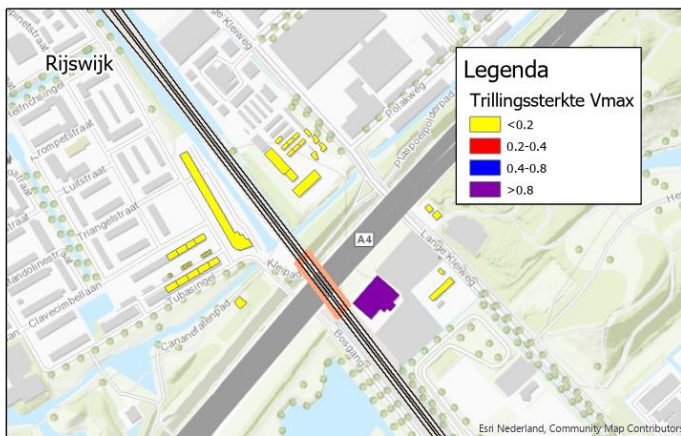
Met behulp van het VibraDyna rekenmodel en de uitgevoerde trillingsmetingen is een prognose van verwachte maximale trillingsniveaus V_{max} gemaakt voor zowel de huidige als de toekomstige plansituatie. Figuur 16 geeft de resultaten weer voor de huidige situatie rondom beide spoorviaducten.

Figuur 16 Resultaten Prognoseberekening $V_{max,BTS}$ rondom spoorviaducten huidige situatie



Uit Figuur 16 volgt dat voor alle gebouwen een V_{maxBts} wordt gevonden die onder de 0,2 ligt, behalve voor Event Plaza. Voor dit gebouw volgt een niveau van $V_{max,BTS} = 1,28$. Voor de plansituatie wordt precies hetzelfde beeld gevonden, zie Figuur 17. Voor Event Plaza wordt voor de plansituatie eveneens een $V_{max,BTS}$ gevonden van 1,28. De niveaus nemen niet toe rondom het spoorviaduct Rijswijk. Rondom het spoorviaduct Leidschendam liggen de $V_{max,BTS}$ niveaus in zowel de huidige als de plansituatie overal onder de 0,2. Wel blijkt uit de berekening voor de gebouwen rondom het spoorviaduct Leidschendam de waarde in de plansituatie iets toe te nemen ten opzichte van de huidige situatie. De toename blijkt minder dan 10% te zijn. De toename komt door de verschuiving van de landhoofden van circa 6 meter waardoor de afstand tot bebouwing afneemt. Een wijziging van treinaantallen heeft geen invloed op het maximale trillingsniveau V_{max} .

Figuur 17 Resultaten Prognoseberekening $V_{max,BTS}$ rondom spoorviaducten plansituatie

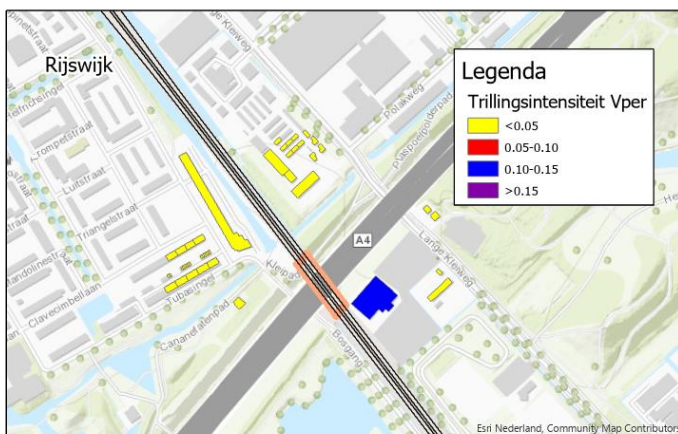


Volgens de toetsing van Vmax aan de Bts (zie paragraaf 4.2) geldt dat wanneer voor een bestaande situatie onder de grenswaarde $A1=0,2$ gebleven wordt aan de Bts wordt voldaan. Dit geldt voor alle gebouwen behalve Event Plaza. Aanvullend geldt echter, dat wanneer de toename niet meer dan 30% bedraagt het afwegen van maatregelen achterwege mag blijven. Er dient wel onder de uiterste grenswaarde van 3,2 gebleven te worden. Aangezien er geen toename voor Event Plaza wordt verwacht en onder deze uiterste grenswaarde wordt gebleven, voldoet ook Event Plaza aan de Bts toetsing voor Vmax.

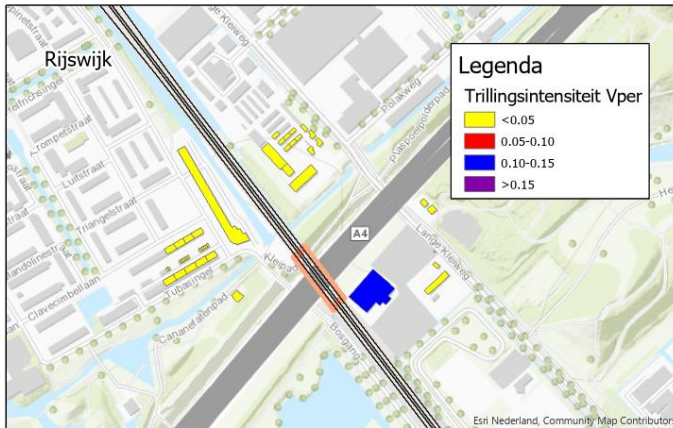
7.1.2 Prognose en toetsing Vper

Onvereenkomstig Vmax zijn ook prognoseberekningen voor Vper gemaakt voor alle gebouwen rondom de twee spoorviaducten. Hierbij is rekening gehouden met treinaantallen en treintypes zoals beschreven in paragraaf 2.2. Figuur 18 toont de resultaten voor de huidige situatie. Figuur 18 toont de resultaten voor de plansituatie.

Figuur 18 Resultaten Prognoseberekening Vper rondom spoorviaducten huidige situatie



Figuur 19 Resultaten Prognoseberekening Vper rondom spoorviaducten plansituatie



Figuren 18 en 19 tonen eenzelfde beeld als gevonden werd voor Vmax: het hoogste niveau wordt gevonden voor Event Plaza. De waarde voor Vper ligt voor Event Plaza zowel in de huidige als in de plansituatie tussen de 0,1 en 0,15. De grenswaarde die de Bts aan Vper stelt bedraagt 0,1 voor gebouwen met woonfunctie en 0,15 voor gebouwen met kantoor en/of bijeenkomst functie (zie paragraaf 4.2). Omdat Event Plaza een bijeenkomstfunctie bezit geldt een grenswaarde voor Vper van 0,15 en wordt voldaan aan de Bts. Voor alle andere gebouwen wordt ook voor Vper voldaan aan de toetsing van de Bts.

7.2 Schadetoets

7.2.1 Prognose en toetsing Vtop

Uit voorgaande paragraaf en ook de meetresultaten blijkt dat ter plaatse van Event Plaza de hoogste trillingsniveaus worden gevonden. Het meetpunt aan de fundering was daarom ook zo gekozen dat een schadetoets volgens de SBR-deel A kan worden uitgevoerd.

Event Plaza

Het maximale gemeten Vtopniveau aan de fundering van Event Plaza bedraagt 1,95 mm/s. De dominante frequentie die bij dit signaal hoort betreft 14 Hz. Op basis van gebouwkenmerken is het gebouw ingedeeld in gebouwcategorie 2 en is het gebouw als trillingsongevoelig ingedeeld. Er geldt dan een grenswaarde V_{kar} van 6 mm/s. De rekenwaarde van de grenswaarde hangt vervolgens af van het type bron. De SBR-richtlijn deel A geeft aan dat bij spoortrillingen zowel sprake kan zijn van herhaald kortdurende trillingen als continue trillingen. Dit hangt af van het feit of er sprake kan zijn van resonantie. Resonantie treedt op wanneer een constructief onderdeel van het gebouw een eigenfrequentie kent die dicht tegen de dominante frequentie van het trillingssignaal ligt. Gezien de eigenschappen van het gebouw, het betreft een massief gebouw (waar veelal evenementen en trouwerijen worden gehouden) met veel betonnen elementen wordt niet verwacht dat er bij constructieve onderdelen resonantie optreedt. Er wordt daarom uitgegaan van een herhaald kortdurende trillingsbron. In dat geval bedraagt de rekenwaarde van de grenswaarde $V_r = 6/1.6 = 3.75$ mm/s. De rekenwaarde van de trillingsbelasting bedraagt voor de uitgevoerde indicatieve meting $1.95 * 1.6 = 3.12$ mm/s²¹.

Uit de toetsing volgens de SBR-deel A volgt dat wordt voldaan aan de eis $V_d < V_r$, namelijk $3.12 < 3.75$ mm/s. Daarmee volgt dat aan de SBR-deel A wordt voldaan en de kans op schade kleiner is dan 1%. Omdat het huidige landhoofd van het spoorviaduct blijft zitten en deze het dichtst op het gebouw is gesitueerd, bestaat niet de verwachting dat het trillingsniveau in de plansituatie toeneemt wat ook volgt uit de berekeningsresultaten in paragraaf 7.1.

Overige gebouwen

Zoals ook al uit de meetresultaten blijkt zijn de overige gebouwen rondom zowel de toekomstige spoorbruggen Rijswijk als het spoorviaduct Leidschendam veel minder maatgevend als het gaat om optredende trillingsniveaus door treinverkeer. Alle gebouwen voldoen daarom ruimschoots aan de SBR-richtlijn deel A.

²¹ Er is sprake van een indicatieve meting omdat aan een enkel punt van de draagconstructie een meting is uitgevoerd.

8 Afweging maatregelen

Uit het trillingsonderzoek volgt dat met het oog op trillingshinder er geen overschrijdingen van de Bts te verwachten zijn in zowel de huidige als de plansituatie waarin de spoorse viaducten zijn vervangen. Als gevolg kan het afwegen van maatregelen achterwege blijven.

Wordt gekeken naar het vermijden van schade als gevolg van trillingen door passerende treinen dan geldt dat aan de SBR-richtlijn deel A wordt voldaan. Ook hiervoor kunnen eventuele maatregelen achterwege blijven.

9 Conclusies

In voorliggend trillingsonderzoek is onderzocht wat de verwachte invloed van de toekomstige spoorbruggen Rijswijk en het gewijzigde spoorviaduct Leidschendam is op de trillingsbelasting in de omgeving. Hierbij is rekening gehouden met prognoses van toekomstige treinaantallen in 2030. In het onderzoek is op basis van trillingsmetingen en berekeningen met het VibraDyna rekenmodel bepaald wat de optredende trillingsniveaus in de huidige en toekomstige situatie zijn. Uit het onderzoek volgen onderstaande conclusies:

Schadetoets

- Uit de schadetoets aan de SBR-richtlijn deel A blijkt dat de optredende trillingsniveaus als gevolg van treinverkeer in zowel de huidige als de plansituatie in alle gebouwen voldoen aan de te hanteren grenswaarde.
- Het gebouw wat het meest maatgevend is, is Event Plaza vanwege de korte afstand tot het spoor. De afstand is namelijk circa 10 meter, terwijl alle andere gebouwen minimaal 50 meter van het spoor staan. De gemeten trillingsniveaus V_{top} voldoen aan de grenswaarde van de SBR richtlijn deel A. Een toename is niet te verwachten omdat de locatie van het huidige landhoofd gehandhaafd blijft.

Hindertoets

- Uit hindertoetsing aan de Beleidsregel trillinghinder spoor (Bts) blijkt dat in geen van de gebouwen een overschrijding wordt verwacht in de referentiesituatie alsook in de toekomstige plansituatie;
- Zowel de verwachte V_{max} als V_{per} niveaus liggen onder de te hanteren grenswaarden;
- Doordat de huidige landhoofden van het spoorviaduct Rijswijk blijven zitten en de toekomstige landhoofden van de spoorbruggen tussen de huidige landhoofden en de huidige tussensteunpunten in worden geplaatst, is er geen toename in V_{max} te verwachten in gebouwen nabij het huidige spoorviaduct Rijswijk. De locatie waar de aardebaan overgaat naar kunstwerk verandert namelijk niet;
- De toegenomen treinaantallen als gevolg van het PHS 2030 scenario resulteren rondom het spoorviaduct Rijswijk niet in V_{per} niveaus boven de grenswaarde²².
- Voor de verbreding van het spoorviaduct Leidschendam geldt wel dat de toekomstige landhoofden opschuiven richting bestaande bebouwing. De landhoofden verschuiven circa 6 meter wat ten op zichte van de afstand tot de gebouwen (ca. 50 meter) gering is. Dit heeft op basis van berekeningen een toename in V_{max} in gebouwen tot gevolg van minder dan 10% wat onder de maximale toelaatbare 30% ligt. De waarde van V_{max} in de plansituatie ligt onder de streefwaarde A1 waardoor sowieso aan de Bts wordt voldaan.
- De V_{max} niveaus als gevolg van treinverkeer liggen rondom het spoorviaduct Leidschendam dermate laag, dat zowel in de (huidige) referentiesituatie als in de toekomstige plansituatie wordt voldaan aan de Bts.

²² Dit komt overeen met de resultaten uit de PHS studie (Railinfra Solutions / Benthien Crouwel, 2016).

Toetsing trillingsgevoelige apparatuur

- Uit de inventarisatie van gebouwen blijkt dat naar verwachting geen sprake is van trillingsgevoelige apparatuur in één van de gebouwen in de omgeving van de kunstwerken en het spoor. Er is daarom niet verder getoetst aan de SBR-richtlijn deel C: trillingsgevoelige apparatuur (SBR, 2002-2).

Doordat er geen overschrijdingen zijn gevonden kan het afwegen van maatregelen achterwege blijven. Daarbij geldt dat de huidige overgang van aardebaan naar kunstwerk voor beide locaties mogelijk verbeterd. Dit komt omdat in de huidige situatie er in geen van beide gevallen een ballastmat is toegepast, terwijl dit in beide toekomstige ontwerpen wel het geval is. Bovendien is voorzien dat de stootplaten worden vervangen, wat ook een verbetering oplevert.

Voor beide locatie is bij de hindertoets de Bts gehanteerd. De Bts wordt namelijk gehanteerd bij spoorse Tracébesluiten. Ingeval van het spoorviaduct Leidschendam is er echter ook sprake van tramverkeer. Hiervoor zou eventueel aan de SBR-richtlijn deel B kunnen worden getoetst. In dat geval zou een opdeling in trillingsniveaus als gevolg van het treinspoor en als gevolg van het tramspoor moeten worden gemaakt. De gemeten en berekende trillingsniveaus rondom het spoorviaduct Leidschendam zijn echter dermate laag dat ook aan de SBR-richtlijn deel B wordt voldaan. Enkel de Bts toets is daarom in dit onderzoek uitgewerkt.

10 Referenties

Bts (2014). Beleidsregel trillinghinder spoor, Staatscourant d.d. 16 maart 2014. Nr. 8251.

Level Acoustics (2018). Herziening BTS, Nieuwe naverwerkingsmethode. Referentie LA.131001a.M04, 13 april 2018.

Railinfra Solutions / Benthien Crouwel (2016). Programma Hoogfrequent Spoorvervoer Viersporigheid Rijswijk – Delft Zuid, Deelonderzoek Trillingen en Laagfrequent geluid. Referentie: RIS432-26.

SBR (2017). SBR Trillingsrichtlijn A: Schade aan bouwwerken:2017. ISBN 978 90 5367 652 3

Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (2019). Handreiking Nieuwbouw en spoortrillingen. Mei 2019.
Referentie:111016/19-007.368

Flow4 (2019). Planuitwerking A4 Haaglanden – N14. Spoorkruising Leidschendam geluidsonderzoek RandstadRail.
Zaaknummer 31137311.

11 Afkortingen

<i>M.b.t. schadetoets</i>	
Vd	Rekenwaarde van de topwaarde van de trillingssnelheid
Vtop	Grootste gemeten topwaarde van de trillingssnelheid
Vkar	Karakteristieke waarde van de grenswaarde
Vr	Rekenwaarde van de grenswaarde
γ_v	Partiële veiligheidsfactor type meting
γ_t	Partiële veiligheidsfactor type trilling
γ_s	Partiële veiligheidsfactor bouwkundige staat
<i>M.b.t. hindertoets</i>	
Veff,max	Maximum van voortschrijdende effectieve trillingsniveau
Vmax	Maximaal trillingshinderniveau
Vper	Periodieke trillingshinderniveau
Veff(t)	Voortschrijden effectieve trillingssnelheid
Vmax,BTS	Maximaal trillingshinderniveau volgens Bts
<i>Overig</i>	
MER	MilieuEffectRapportage
PHS	Programma Hoogfrequent Spoor
Bts	Beleidsregel trillinghinder spoor
SBR	Stichting Bouw Research
BAG	Basisregistratie Adressen en Gebouwen
IC	Intercity
SPR	Sprinter
GO	Goederentrein
SRMT	Bepaald type reizigerstreinen
VIRM	Verlengd InterRegio Materieel (dubbeldeks intercity)
TRAXX	Type locomotief
VibraDyna	Movares inhouse ontwikkeld rekenmodel trillingen

Bijlage I: Trillingsmetingen

Resultaten woontoren Klaroenstraat

Tabel 19 Foto's trillingsmetingen woontoren Klaroenstraat

Foto gebouw



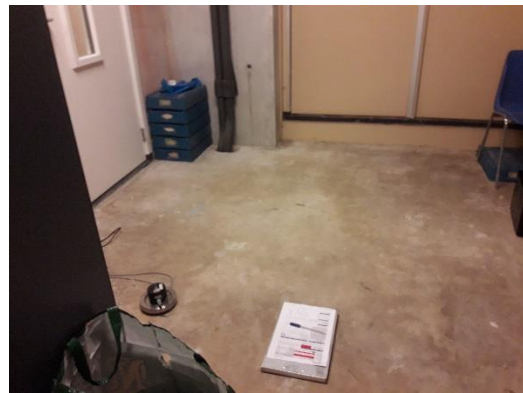
Foto sensor maaiveld



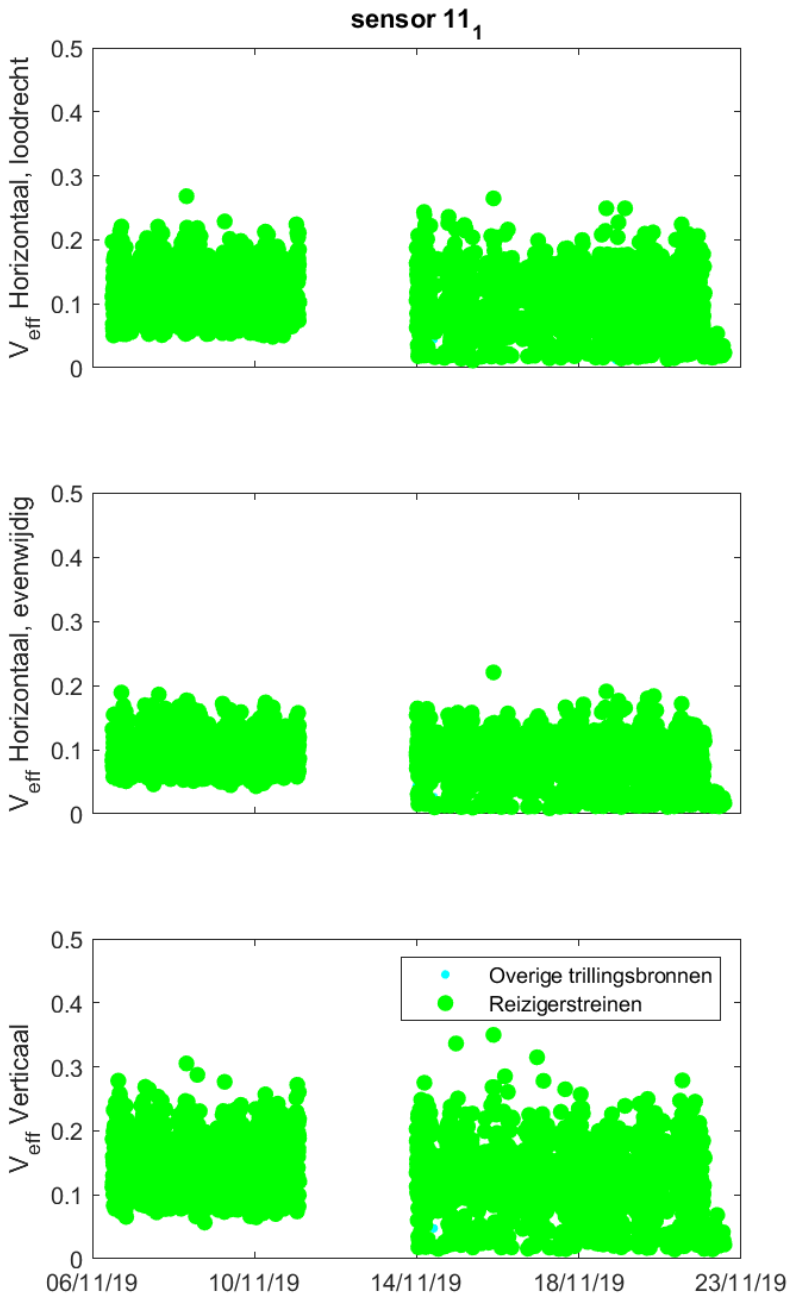
Foto sensor fundering



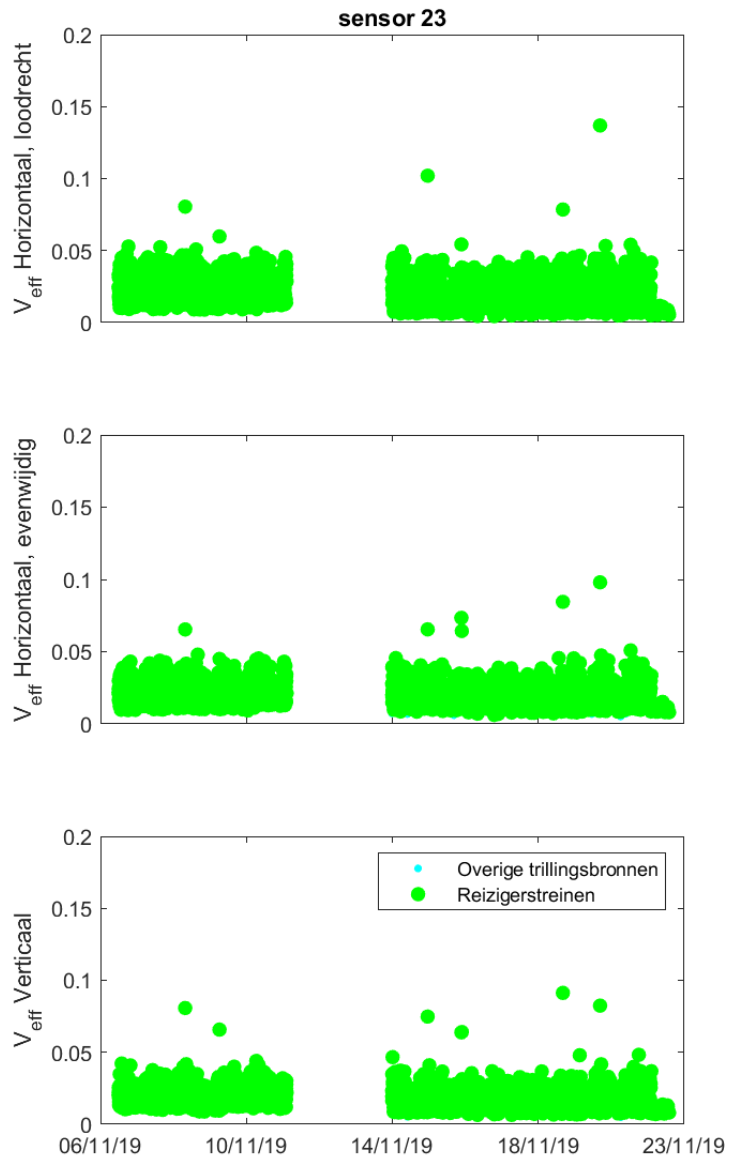
Foto sensor hoogste verdieping



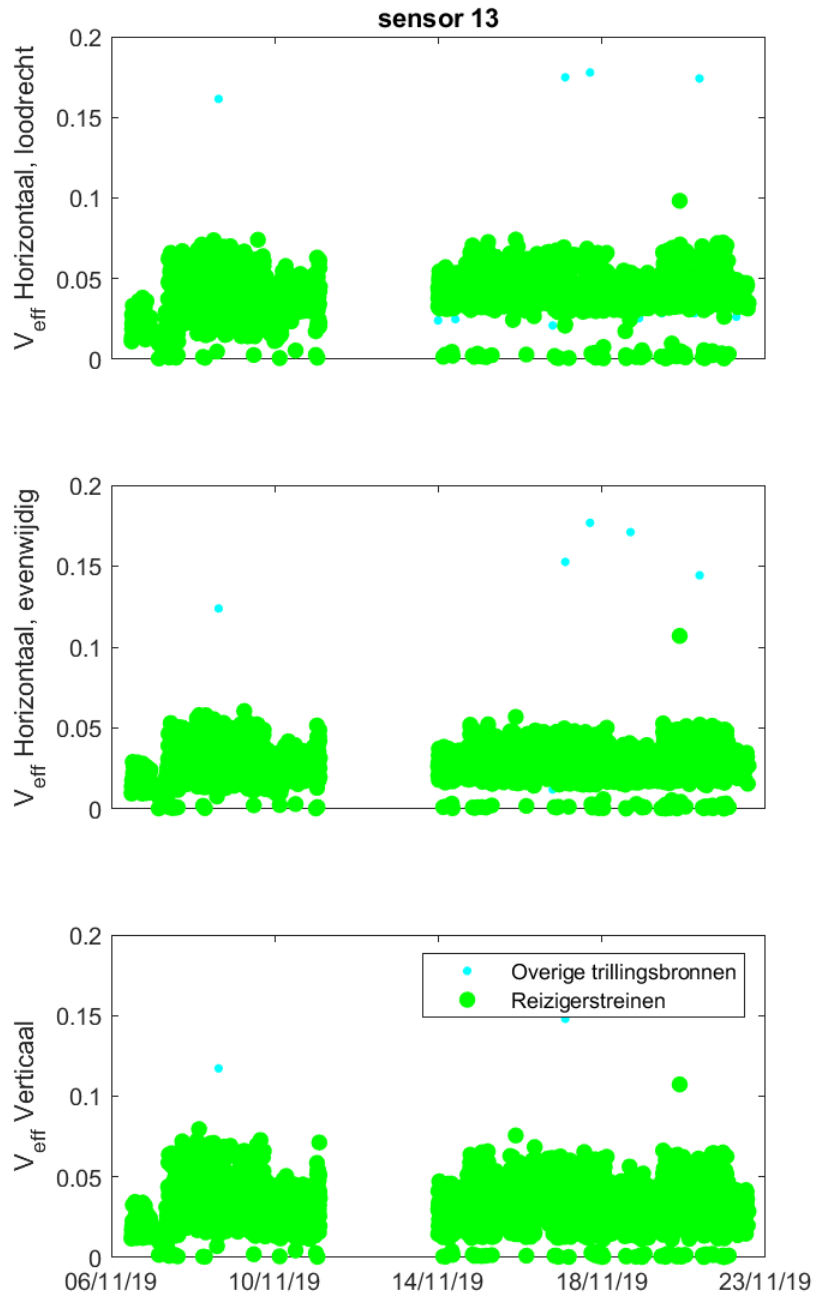
Figuur 20 Meetresultaten maaiveld



Figuur 21 Meetresultaten fundering



Figuur 22 Meetresultaten vloerniveau



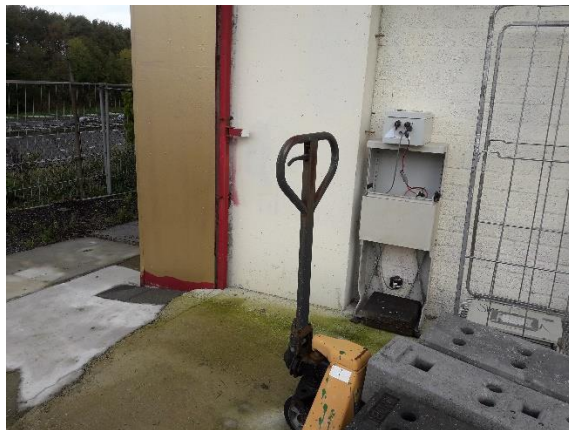
Resultaten Event Plaza

Tabel 20 Foto's trillingsmetingen woontoren Klaroenstraat

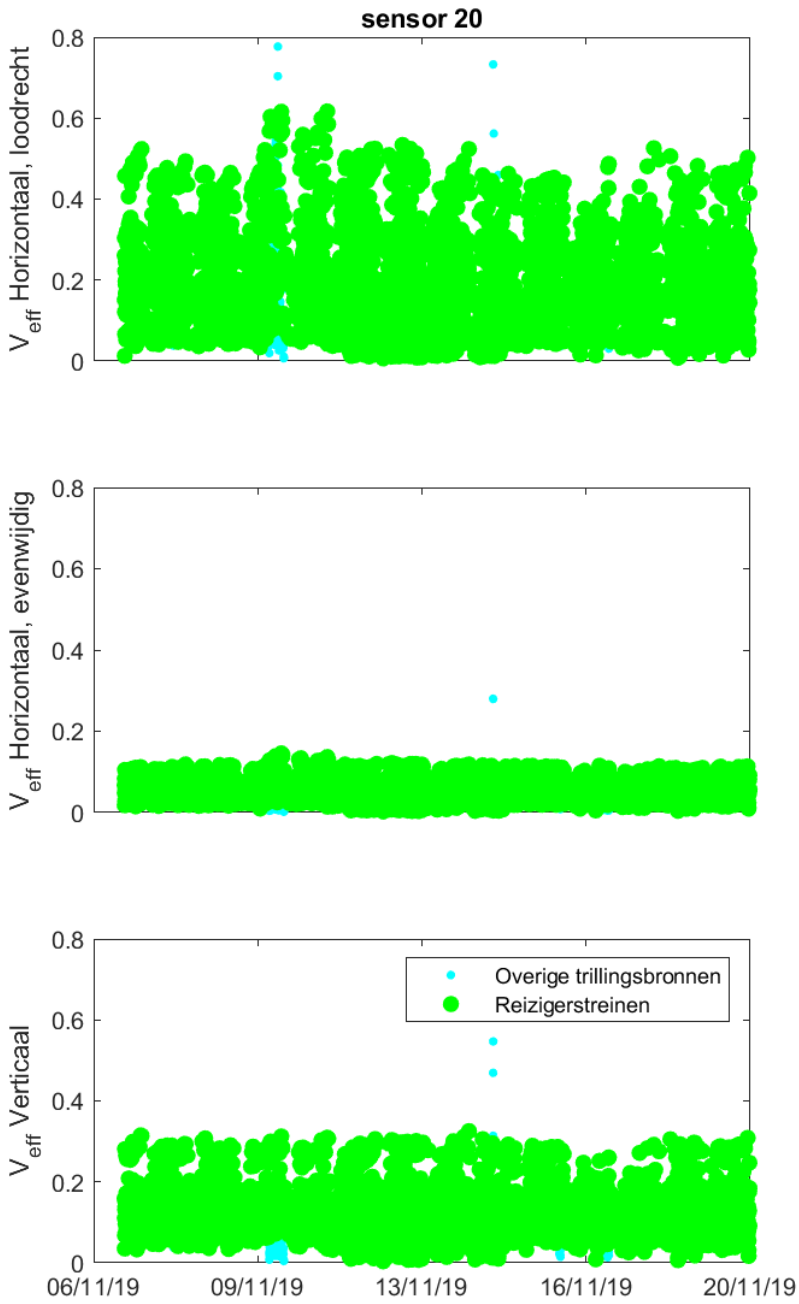
Foto gebouw



Foto sensor fundering



Figuur 23 Meetresultaten fundering



Resultaten Neckar (Tesla Service Centre)

Tabel 21 Foto's trillingsmetingen Tesla Service Centre

Foto gebouw



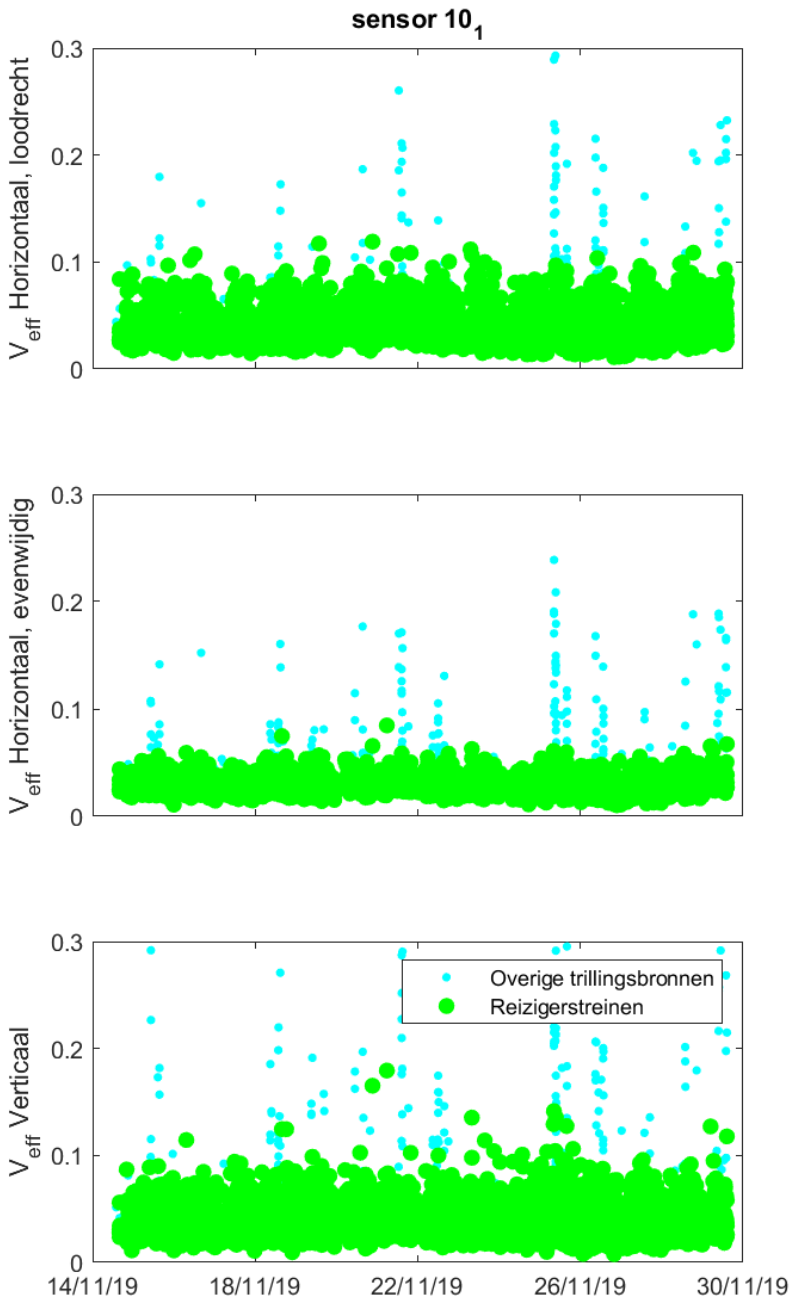
Foto sensor maaiveld



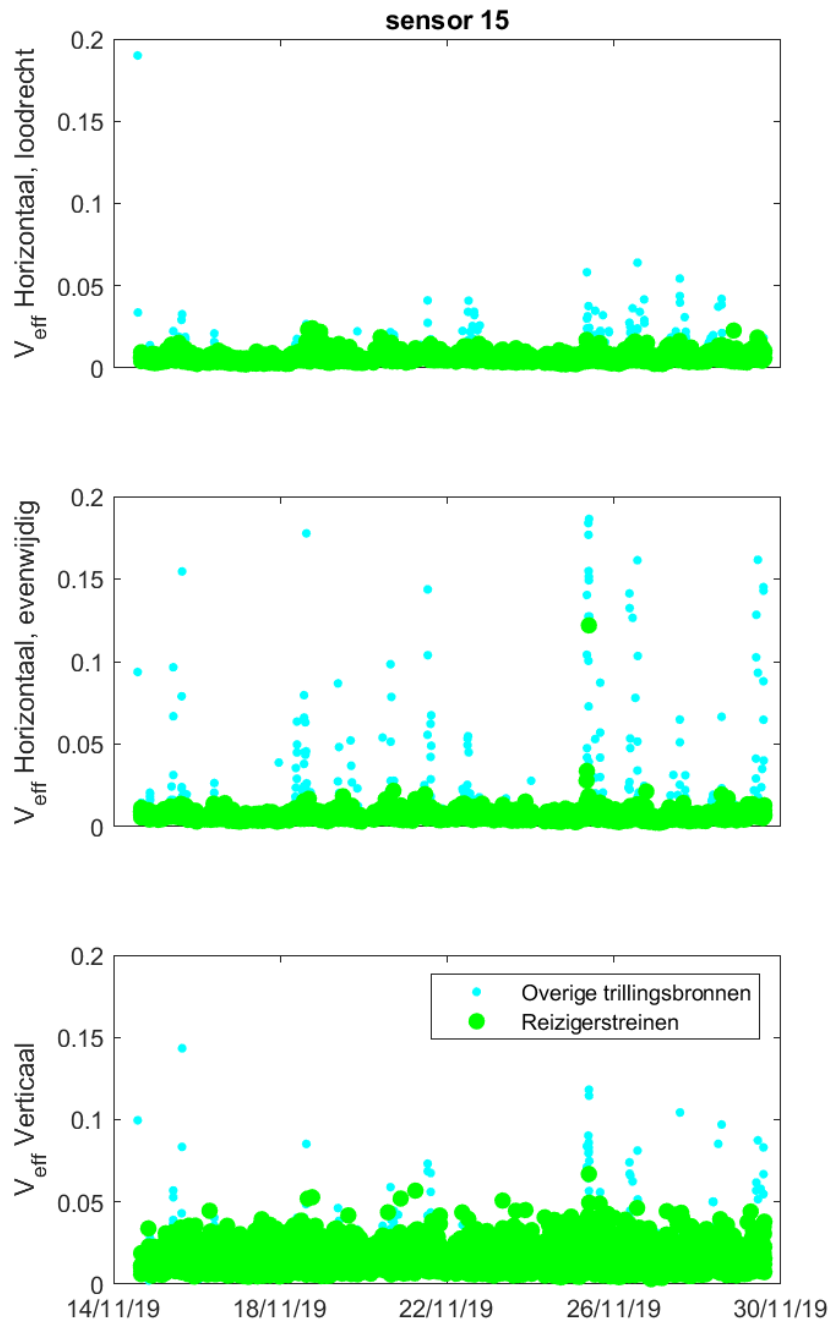
Foto sensor fundering

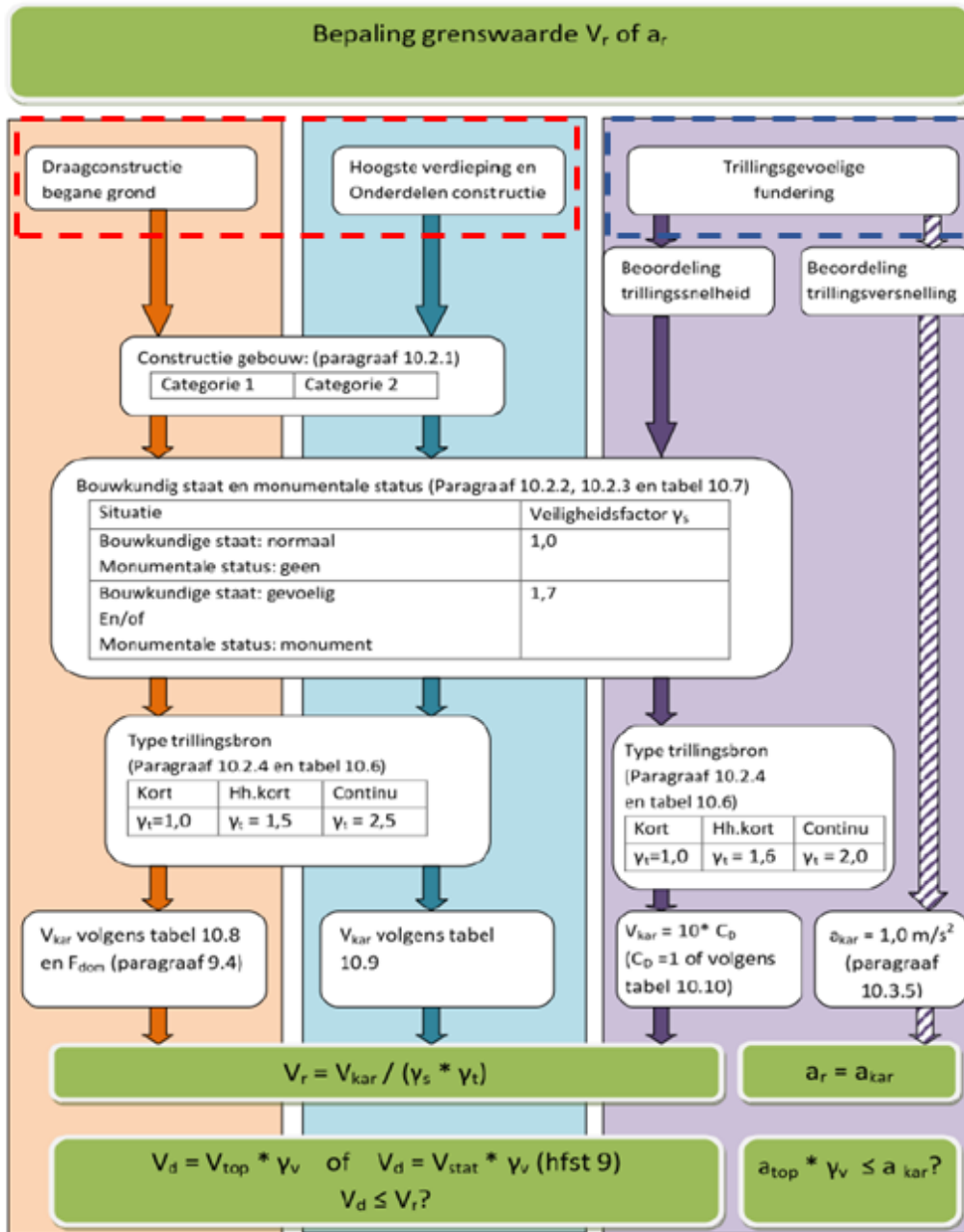


Figuur 24 Meetresultaten sensor maaiveld



Figuur 25 Meetresultaten fundering

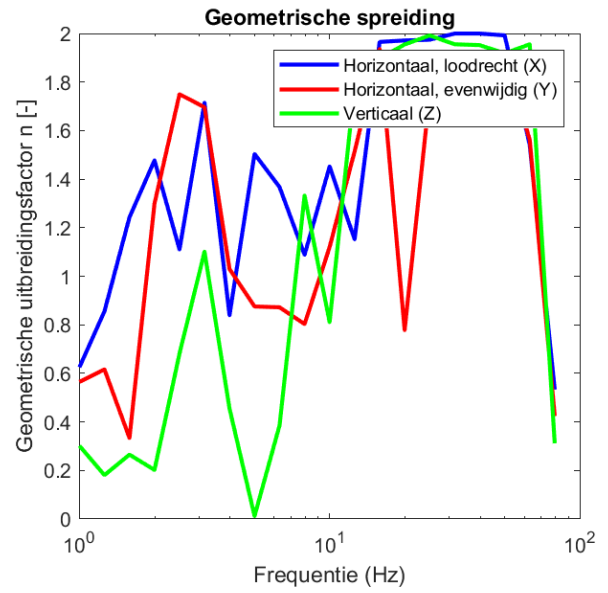
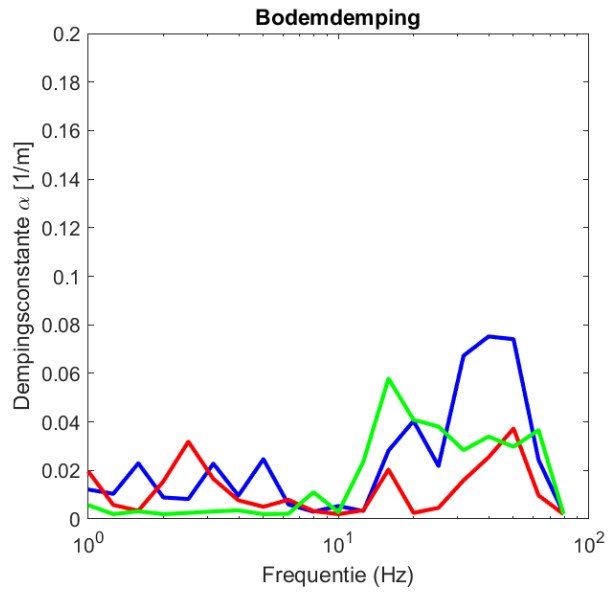




SBR Richtlijn | Trillingsrichtlijn deel A: Schade aan bouwwerken 2009

Figuur 10.1 Schema bepaling V_r en a_r .

Bijlage III: Gehanteerde bodemdempingeigenschappen VibraDyna



Bijlage IV: Gegevens metingen

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

1	Uitvoerende organisatie Verantwoordelijke persoon	Movares Nederland B.V. Daalseplein 101 3511 SX Utrecht Ir. A.A. van der Burg Email: sander.vd.burg@movares.nl Tel.: 06-51665218
2	Metingen uitgevoerd door	Ir. W. Geerlof
3	Tijdperiode meting	14-11-2019 13:55 tot 29-11-2019 14:30 (Tesla garage) 06-11-2019 12:35 tot 22-11-2019 13:25 (Klaroenstraat) 06-11-2019 15:50 tot 19-11-2019 23:35 (Eventplaza)
4	Type trillingsbron	Treinen
5	Gebouwomschrijving	Bedrijfshal, Woontoren en Evenementenhal
6	Locatie metingen	Rondom Spoorviaduct Rijswijk en Spoorviaduct Leidschendam
7	Geotechnische gegevens	Grondprofiel zandig met mogelijk hier en daar dunne slappe lagen bovenste meters
8	Meetposities	Maaiveld, fundering en bovenste verdieping
9	Gebuurde meetopnemers Gebuurde verwerkingsapparatuur	3D-geofoons Raspberry Pi met USB-DUX Meetcomputers leggen het tijdssignaal vast met een samplingfrequentie van 1000Hz.