

STATIONSGBIED DRIEBERGEN-ZEIST
L4.13.4-1: RAPPORT TRILLINGSBEPERKENDE
MAATREGELEN

PRORAIL, AFDELING PROJECTEN
DE HEER R.G. JANSEN

13 december 2013
077305136:D - Definitief
D01011.000421.0900



Inhoud

1	Inleiding	3
1.1	Aanleiding	3
1.2	Besluitvorming	3
1.3	Proces deelopdracht 4	5
1.4	Doel en positie voorliggende rapportage	5
1.5	Leeswijzer	5
2	Informatie	6
2.1	Bindende documenten	6
2.2	Informatieve documenten	7
3	Omschrijving situatie	8
3.1	Algemeen	8
3.2	Effect wijzigingen	9
3.3	Betrouwbaarheid predictie	11
4	Trillingsdempende maatregelen	12
4.1	Mogelijke maatregelen	12
4.2	Beoordeling effect maatregelen	13
4.2.1	Algemeen	13
4.2.2	Uitgangspunten modelering	13
4.2.3	Resultaten modelering	17
5	Kosten en doelmatigheid	19
5.1	Kosten trillingsdempende wand	19
5.2	Doelmatigheid	19
6	Conclusie	20
Bijlage 1	Berekeningsresultaten	21
Bijlage 1.1	Betonnen wand	21
Bijlage 1.2	Betonnen wand in combinatie met een sloot	23
Bijlage 1.3	Zettingsvrije plaat	25
Colofon		26

1 Inleiding

1.1 AANLEIDING

In 2020 gaat er op het baanvak, waaraan station Driebergen-Zeist is gelegen, volgens een andere dienstregeling gereden worden. Om de toekomstbestendigheid van deze dienstregeling te garanderen, moet in beide richtingen een inhaalvoorziening worden gerealiseerd. Deze inhaalvoorziening maakt het mogelijk om de flexibiliteit op het baanvak te vergroten en verstoringen in de dienstregeling eenvoudiger op te vangen.

De aanpassing van station Driebergen-Zeist wordt gecombineerd met de plannen die de regionale partijen hebben rond dit station. Zij willen de regionale wegenstructuur verbeteren, een nieuw busstation aanleggen en het gebied verder ontwikkelen. Ook moeten de twee naastgelegen overwegen conform het standpunt van de minister ten aanzien van de HSL-oost opgeheven worden.

Dit biedt kansen voor de betrokken partijen (Bestuur Regio Utrecht, gemeente Utrechtse Heuvelrug, gemeente Zeist, ProRail en provincie Utrecht) om samen alle plannen in een integraal project uit te voeren.

1.2 BESLUITVORMING

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

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

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

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

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

Naar aanleiding van de zienswijzen, enkele ambtshalve wijzigingen en een aanpassing in het ontwerp ten aanzien van de P&R, wordt het bestemmingsplan voor Stationsgebied Driebergen-Zeist aangepast tot een gewijzigd vast te stellen bestemmingsplan.

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



Afbeelding 1: Ontwerp Stationsgebied Driebergen-Zeist.

Door het wijzigen van het bestemmingsplan zijn een aantal panden die aan de Stationsweg staan en geamoveerd zouden worden weer in hun huidige vorm terug gekomen in het bestemmingsplan. In een eerdere fase is bepaald dat de spooruitbreidingen, ten opzichte van de huidige situatie, mogelijk trillingshinder voor personen in deze gebouwen oplevert.

Een eventuele trillingshinder in de omliggende panden rond station Driebergen-Zeist is niet wenselijk. Daarom wordt ernaar gestreefd geen trillingshinder door railverkeer te veroorzaken in het stationsgebied. Voor het thema trillingen is geen wetgeving beschikbaar. Wel is er de 'SBR richtlijn Trillingen' waarvan 'Deel B Hinder voor personen in gebouwen' als uitgangspunt veelal wordt gebruikt.

1.3 PROCES DEELOPDRACHT 4

In het ontwerp is de invulling op de P&R-locatie gewijzigd. De effectbepalende en inventariserende onderzoeken zijn ten behoeve van het vast te stellen bestemmingsplan aangepast, zodat deze een sluitende onderbouwing voor het bestemmingsplan vormen. Daarnaast zullen de zienswijzen op het ontwerp bestemmingsplan behandeld worden op basis van de nieuwe situatie voor P&R. De aangevulde onderzoeken, zienswijzen en ambtshalve wijzigingen resulteren in het najaar van 2013 tot een vast te stellen bestemmingsplan. Het bestemmingsplan wordt in het voorjaar van 2014 door de twee gemeenteraden behandeld.

De wijze van aanbesteding van de realisatie van het project wordt daarna bepaald. Daarmee wordt duidelijk op welke punten van het ontwerp detaillering nodig is voordat de aanbesteding kan starten.

1.4 DOEL EN POSITIE VOORLIGGENDE RAPPORTAGE

In het voorliggende rapport wordt, als verdieping op de eerder geleverde trillingenpredictie uit het onderzoeksrapport 'Stationsgebied Driebergen Zeist, L4.2.7-1 Rapportage Trillingenpredictie, 076446164:D-Definitief, D01011.000421.0700, 3 augustus 2012', een nader advies verstrekt betreffende de haalbaarheid van een mogelijke trillingsdempende maatregel ten behoeve van de bebouwing aan de Stationsweg waarin personen mogelijk trillingshinder kunnen ondervinden veroorzaakt door railverkeer.

Uiteindelijk wordt het effect van de trillingsdempende maatregelen beschouwd op basis van een model dat is gefit op de meetresultaten van de trillingsmetingen uitgevoerd langs het spoor nabij station Driebergen-Zeist op 30 maart 2012 en 3 april 2012. De gehanteerde beoordeling van de trillingsintensiteit voor en na het toepassen van een trillingsdempende maatregel zijn overeenkomstig de SBR-richtlijn voor Trillingen deel B 'Hinder voor personen in gebouwen' uitgevoerd.

1.5 LEESWIJZER

De opbouw van dit rapport is als volgt:

- In hoofdstuk 2 worden de onderliggende documenten en informatie die gebruikt zijn voor deze studie weergegeven. Dit zijn de zogenoemde bindende documenten.
- Hoofdstuk 3 schetst de achterliggende situatie, op basis van de voorgaande rapportage.
- De beoordeling van de trillingsdempende maatregelen worden beschreven in hoofdstuk 4.
- In hoofdstuk 5 volgt de conclusie.

Dit rapport bevat de volgende bijlagen:

- Bijlage 1: Berekeningsresultaten.

2 Informatie

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

2.1 BINDENDE DOCUMENTEN

Het overzicht van bindende documenten is weergegeven in [Tabel 1](#).

Titel	Kenmerk	Datum	Auteur
Stationsgebied Driebergen-Zeist, L.4.2.7-1 Trillingenpredictie	076446164:D-definitief	3 augustus 2012	ARCADIS
Herinrichting Stationsgebied Driebergen-Zeist. Systeemeisenspecificatie (SRS) bij baseline 3	075568908 versie C	9 november 2011	ARCADIS
SBR-richtlijn trillingen deel A Schade aan gebouwen	-	oktober 2003	SBR
SBR-richtlijn trillingen deel B Hinder voor personen in gebouwen	-	Oktober 2003	SBR
SBR-richtlijn trillingen deel C Storing aan apparatuur	-	oktober 2003	SBR
Trillingsonderzoek railverkeer baanvak 35 te Driebergen	1009-0130-002	14 april 2011	Fugro Ingenieursbureau B.V.
Trillingsonderzoek railverkeer baanvak 35 te Driebergen	1009-0130-004	10 mei 2012	Fugro Geoservices B.V.

Tabel 1: Overzicht van bindende documenten.

2.2 INFORMATIEVE DOCUMENTEN

Het overzicht van documenten die geen formele status hebben, maar waaruit informatie gebruikt is staat in Tabel 2.

Titel	Kenmerk	Datum	Auteur
COB-rapport: Betrouwbare Trillingsmaatregel, ontwikkeling Standaard Rekenmethode voor Trillingen (SRM-T)	TNO-034-DTM-2009-01104	15 september 2009	TNO-Bouw
DC-COB-commissie BET, Deelaspect stroom 2, afweging	9082926-0030, versie 1.0	19 december 2008	ARCADIS Nederland BV
Planstudie te Driebergen-Zeist	R066207-RH_7	11 januari 2011	MOS Grondmechanica BV
Driebergen-Zeist; planstudie 2B Grens ten behoeve van onderzoeken BASELINE 1	D01011.0421.0100, AR_B1_1002, versie 0.1	24 augustus 2010	ARCADIS Nederland BV
PLAXIS 2D Version 8 /10	ISBN 905809 508 8	2002	Plaxis B.V.
www.dinoloket.nl	S32C00139	2 mei 2012	TNO dinoloket
1 Vibrations caused by train traffic and the effect of its migration on the quality of living	www.kiviniira.nl	-	2 T. Auvinen, Aalto University, Espoo, Finland
Trillingsmetingen schermwerking (PS-scherm) van bouwverkeer aan de Zomerweg 1 en 3 te IJsselstein	3209-0015-000	10 februari 2012	Fugro Geoservices BV
VleuGel/RSS Utrecht-Houten, Trillingenonderzoek nabij de Engelsmanplaat	GEO-WO-090008784-versie 1.0	22 mei 2009	Movares Nederland BV

Tabel 2: Overzicht van informatieve documenten.

3

Omschrijving situatie

3.1 ALGEMEEN

Ten behoeve van de herontwikkeling van het stationsgebied Driebergen-Zeist zijn de trillingen, veroorzaakt door railverkeer, nader onderzocht in het plangebied. De resultaten van dit onderzoek, inclusief de uitgevoerde metingen en de daarop gebaseerde prognose, zijn gepresenteerd in de rapportage 'Stationsgebied Driebergen-Zeist, L4.2.7-1 Trillingenpredictie, 3 augustus 2012, Definitief'.

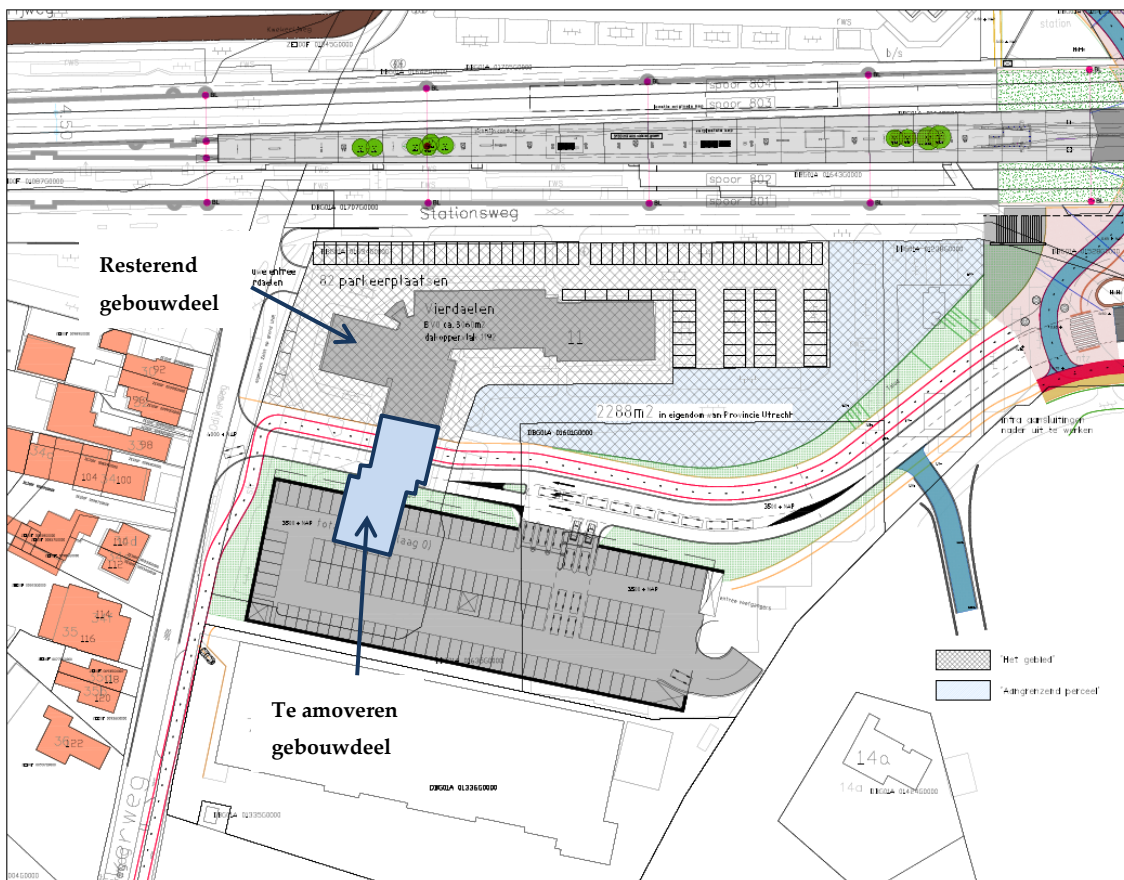
In dit onderzoek is als uitgangspunt aangehouden dat de panden aan de Stationsweg 11, 13 en 15 (zie afbeelding 1) geamoveerd zullen worden. Echter is er een wijziging opgetreden in de plannen en als gevolg waarvan een klein gedeelte van deze panden worden geamoveerd. In onderstaande paragraaf wordt hier nader op in gegaan.



Afbeelding 2 Panden aan de stationsweg 11, 13 en 15.

Ter verduidelijking van de situatie is in afbeelding 3 aangegeven waar het te amoveren gedeelte van de panden stationsweg 11, 13 en 15 is. Het gedeelte dat het dichtst bij de toekomstige sporen is gelegen zal blijven bestaan.

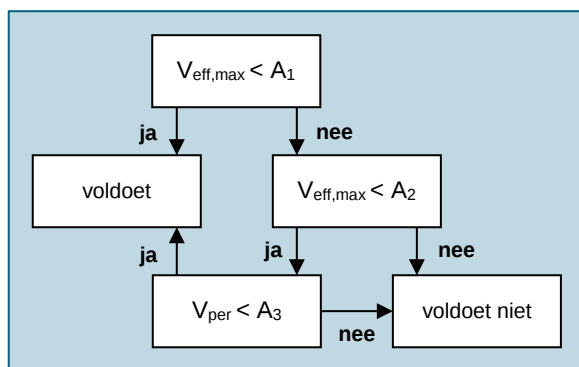
Het kantoor bestaat uit een betonbouwconstructie gefundeerd op palen (categorie 1, SBR-richtlijn Trillingen deel A Schade aan gebouwen). De dempende of opslingerende werking van het gebouw is bepaald op basis van de meetresultaten in de huidige situatie.



Afbeelding 3 Situatie tekening toekomstige situatie en te amoveren bebouwing.

3.2 EFFECT WIJZIGINGEN

In de rapportage 'Stationsgebied Driebergen-Zeist, L4.2.7-1 Trillingenpredictie, 3 augustus 2012, Definitief', is een toetsing van de trillingsintensiteit in de huidige situatie uitgevoerd conform de 'SBR-richtlijn Trillingen deel B Hinder voor personen in gebouwen', zie afbeelding 4. Tevens zijn de geprognoseerde trillingsintensiteiten voor de toekomstige situatie getoetst. In tabel 3 is een samenvatting van deze toetsing weergegeven.



Afbeelding 4, Toetsing op basis van grens- en streefwaarden.

Situatie	$V_{eff,max}$	A_1	A_2	$V_{per,dag}$	$V_{per,nacht}$	A_3	Toetsing
Huidige	0,38	0,3	1,2	0,14	0,04	0,15	Voldoet
Toekomstige	0,85	0,3	1,2	0,32	0,11	0,15	Voldoet niet, overschrijding $V_{per,dag}$

Tabel 3, Toetsing huidige situatie en toekomstige situatie panden Stationsweg 11,13 en 15.

In zowel de huidige als de toekomstige situatie wordt de grenswaarde A_1 overschreden. Dan moet, conform de SBR-richtlijn B Hinder voor personen in gebouwen, aan de grenswaarden, A_2 en A_3 worden voldaan. In de huidige situatie is dit het geval, in de toekomstige situatie niet, daar wordt niet voldaan aan A_3 in de dag situatie. Dit betekent dat gedurende de dag en avond (7.00 uur tot 23.00 uur) de piekwaarde van de trillingsintensiteit ($v_{eff,max}$) voldoet aan A_2 , en dat de gemiddelde trillingsintensiteit (afhankelijk van het aantal treinen) v_{per} de grenswaarde A_3 overschrijdt, waardoor hinder kan ontstaan.

Daarnaast blijkt uit deze toetsing dat de trillingintensiteit van de trillingen afgegeven door spoorverkeer in de toekomstige situatie zal stijgen nabij het pand aan de stationsstraat 11, 13 en 15. Deze stijging wordt veroorzaakt doordat de sporen 12 m dichter bij de bebouwing komen te liggen. Voor een nadere toelichting op de gehanteerde begrippen en parameters wordt naar het bovengenoemde rapport verwezen.

Uit de bovenstaande toetsing blijkt dat er in de panden stationsweg 11, 13 en 15 in de toekomstige situatie trillingshinder kan gaan optreden. In de dagperiode is de geprognosticeerde $v_{per} = 0,32$ en overschrijdt de toetsingswaarde $A_3 = 0,15$. Om dit te voorkomen dient de v_{per} met 55% te worden verlaagd.

De v_{per} is als volgt opgebouwd:

$$v_{per} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_{eff,max,30,1}^2 \cdot \sqrt{\frac{T_b}{T_0}}}$$

Waarin:

v_{per}	Berekening van de kwadratisch gemiddelde effectieve waarde van de maxima over de meetperiode.
$v_{eff,max,30,1}$	De grootste waarde van de voortschrijdende effectieve waarde, in een tijdsinterval van 30 s, waarbij waarden van 0,1 en kleiner als 0 worden meegenomen in de berekening.
T_b	Aantal treinpassages maal een duur van 30 s.
T_0	de duur van de beoordelingsperiode.
n	Aantal periode van 30 s in de meetperiode.

Een noodzakelijke verlaging van de v_{per} houdt in dat de waarde van de $v_{eff,max}$ op locatie van het pand moet worden verlaagd. Omdat de trillingen die gedempt worden tot een trillingsniveau van $v_{eff,max} = 0,1$, niet meer in de v_{per} worden opgenomen, is de noodzakelijke reductie van de $v_{eff,max}$ kleiner dan voor de v_{per} . In dit geval is voor een verlaging van de v_{per} met 55% een verlaging van de $v_{eff,max}$ met 45% tot 50% gewenst.

3.3 BETROUWBAARHEID PREDICTIE

De betrouwbaarheid van een trillingspredictie is van meerdere factoren afhankelijk. Om een zo groot mogelijk betrouwbaarheid te verkrijgen zijn trillingsmetingen op locatie uitgevoerd. De trillingsmetingen zijn uitgevoerd op het maaiveld tussen de bebouwing en de sporen. Daarnaast is er ook aan de fundering van de bebouwing gemeten en op de vloeren in de gebouwen. Op basis van deze metingen is de huidige situatie getoetst.

Vervolgens is een prognose van de toekomstige situatie gemaakt. De prognose is gekalibreerd op de meetresultaten van de trillingsmetingen om een zo betrouwbaar mogelijke prognose te verkrijgen. Echter blijven er aannamen die onzekerheid in de prognose met zich mee nemen zoals:

- Met het tweedimensionale model is een quasi drie dimensionaal systeem gemodelleerd, ondanks de kalibratie van het model is het ruimtelijke driedimensionale effect niet volledig opgenomen.
- De, overigens zeer beperkte, ruimtelijke variatie van de dichtheid in de ondergrond is niet in het model verdisconteerd.

4

Trillingsdempende maatregelen

4.1 MOGELIJKE MAATREGELEN

Om de intensiteit van de trillingen met 50% te verlagen zijn aanvullende maatregelen benodigd.

Maatregelen kunnen op verschillende locaties worden getroffen, namelijk:

- Aan/bij de bron, of wel aan de treinen of aan het spoor:
 - Wijziging treintype;
 - Toepassen zettingsvrije plaat;
 - Verstijven spoorstaafconstructie;
 - Ballastmatten en dwarsliggermatten.
- In het gebied tussen de sporen en de bebouwing:
 - Betonnen wand (eventueel bekleed met een trillingsdempend materiaal);
 - Greppel of sloot.
- Aan de bebouwing:
 - Bebouwing weghalen of verplaatsen;
 - Verstijven van de bebouwing.

De bovengenoemde maatregelen zijn verschillend in de mate van demping, de kosten en de toepasbaarheid. De maatregelen wijziging in trein type en bebouwing amoveren of verplaatsen vallen buiten de scope van de te beoordelen maatregelen. Ook is het verstijven van de bebouwing niet altijd mogelijk en wordt niet nader beschouwd.

Tevens is het verstijven van de spoorconstructie, de ballastmatten en de dwarsliggermatten niet beschouwd, aangezien deze maatregelen maar een beperkte invloed op de demping van de trillingen hebben en niet afdoende zijn.

De volgende maatregelen of een combinatie hiervan zijn onderzocht in paragraaf 4.2. Een toelichting op de maatregelen volgt hieronder.

- Betonnen wand.
- Greppel of sloot.
- Zettingsvrije plaat.

Betonnen wand

Door een betonnen wand, zoals bijvoorbeeld een diepwandconstructie, aan te brengen in de grond worden de trillingen gedempt. De dempende werking van de wand wordt verkregen door de massa van de wand en het verschil in stijfheid tussen de wand en de grond.

Greppel of sloot

Door in een vlak maaiveld een greppel of sloot aan te leggen wordt de afstand die een Rayleigh golf van de bron naar de bebouwing aflegt verlengd, een langer af te leggen weg geeft meer demping van de trillingen. Daarnaast treedt er achter de sloot schermwerking op. Hiermee wordt bedoeld dat er achter de sloot een gebied is waar de trillingsintensiteit lager is dan op basis van enkel afstand verwacht mag worden.

Zettingsvrije plaat

De zettingsvrije plaat bestaat uit een betonnen plaat onder het ballastbed. De plaat is zo gefundeerd dat er geen zettingen (verticale vervormingen uit de ondergrond) optreden. Doordat de plaat zwaarder en stijver is dan het zand, dat zich normaalgesproken onder het ballastbed bevindt, zal de plaat een dempend effect op de trillingen hebben.

4.2 BEOORDELING EFFECT MAATREGELEN

4.2.1 ALGEMEEN

Voor de berekening van de verschillende trillingsdempende maatregelen is gebruik gemaakt van de dynamische module van het eindige elementen programma Plaxis. Ten behoeve van de voorgaande rapportage 'Stationsgebied Driebergen-Zeist, L4.2.7-1 Trillingenpredictie' is een model in Plaxis opgezet.

Dit model betreft een twee dimensionaal model wat is gefit op de metingen die uitgevoerd zijn nabij station Driebergen-Zeist. In paragraaf 4.2.2 worden de modeluitgangspunten beschreven. Voor een uitgebreide omschrijving wordt verwezen naar de rapportage 'Stationsgebied Driebergen-Zeist, L4.2.7-1 Trillingenpredictie' bijlage 1.3.

Het model zal worden gebruikt om een relatieve demping van de trillingen te bepalen. Dit gebeurt door de toekomstige situatie zonder trillingsdempende maatregelen te vergelijken met de toekomstige situatie waar wel trillingsdempende maatregelen zijn opgenomen.

Omdat er in werkelijkheid (drie dimensionaal) drie richtingen zijn waarin de trillingen worden gedempt, en in het model slechts twee, wordt aangenomen dat hiermee een conservatieve benadering wordt gevolgd.

4.2.2 UITGANGSPUNTEN MODELERING

Validatie eindige elementen model

Het programma Plaxis 2D betreft een eindige elementen methode (EEM). In deze eindige elementen methode wordt de ondergrond in een twee dimensionaal vlak gemodelleerd. Het programma wordt vooral gebruikt voor complexe projecten waarin de simulatie van niet-lineaire, tijdsafhankelijke, anisotrope simulatie van de grond in samenhang met de bebouwing.

Aanvullend op Plaxis 2D is er een dynamische module. Deze module biedt de mogelijkheid de voortplanting van trillingen door de grond te modelleren en de invloed van de grond op de bebouwing te simuleren. Het model kan zowel worden gebruikt voor de simulatie van aardbevingen als voor trillingen. Daarmee is een Plaxis model ook bruikbaar om trillingen veroorzaakt door railverkeer te benaderen.

Voor een nadere toelichting op de dynamische berekeningsmethoden die in Plaxis worden gebruikt wordt verwezen naar de Plaxis handleiding.

Aanpak modellering

Voor de Plaxis-modellering van de trillingsintensiteit in de situatie rond station Driebergen-Zeist zijn de volgende stappen ondernomen:

- Schematisatie bestaande situatie, met vastlegging van:
 - Grondopbouw en grondparameters;
 - Profiel van de baan en omliggende maaiveld;
 - Modelrandvoorwaarden.
- Bepalen van de dynamische trein belasting.
- Fitten van het model op de metingen .
- Berekening situatie exclusief maatregelen.
- Schematisatie trillingsdempende maatregelen:
 - Betonnen wand;
 - Zettingsvrije plaat;
 - Sloot.
- Bepaling relatieve verlaging van de trillingsintensiteit per variant ten opzichte van de berekende toekomstige trillingsintensiteit zonder maatregelen.

Uitgangspunten

Grondmodel

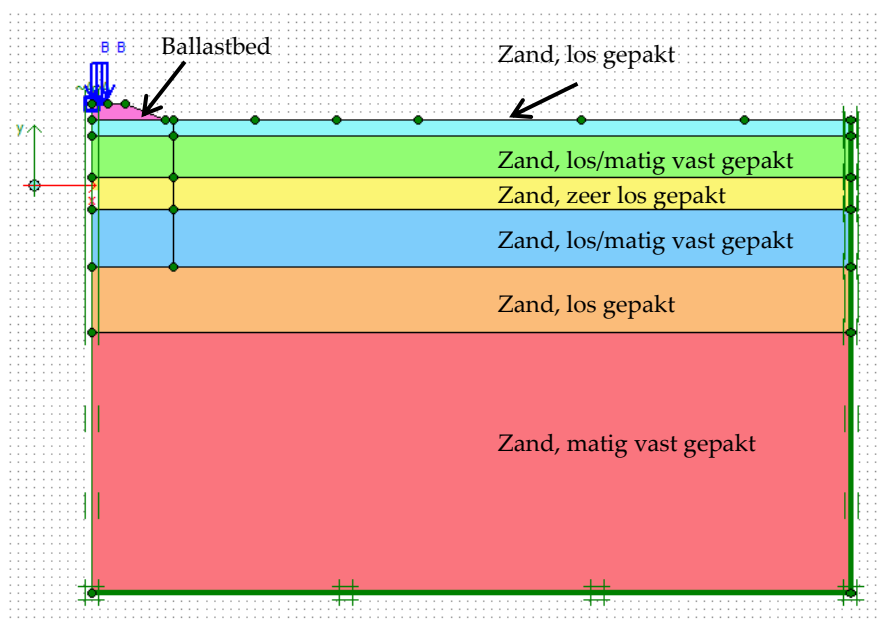
In de omgeving van Station Driebergen-Zeist is grondonderzoek uitgevoerd door MOS Grondmechanica BV, zie Planstudie te Driebergen-Zeist (R066207-RH_7, 11 januari 2011). Op basis van dit onderzoek is in de omgeving de grondopbouw geschematiseerd. Tevens zijn op basis van dit onderzoek de grondparameters bepaald voor het gebruikte fysische grondmodel: 'Hardening Soil, small strain model'. De grondopbouw en de parameters zijn weergegeven in tabel 4.

Diepte b.k. laag [m NAP]	Grondsoort	$\gamma / \gamma_{\text{sat}}$ [kN/m ³]	ϕ [°]	ψ [°]	c [kPa]	E _{oed} [MPa]	D _r [%]	$\gamma_{0,7}$ [-]	G _{0ref} [MPa]
+5	Ballastbed	18 / 20	40	10	0,01	176	99	1*10 ⁻⁴	294
+ 4	Zand, los gepakt	17 / 19	30	0	0,01	15	17	2*10 ⁻⁴	71
+3	Zand, los tot matig vast gepakt	18 / 20	32 ,5	2, 5	0,01	81	74	1*10 ⁻⁴	350
+0,5	Zand, zeer los gepakt, zwak tot uiterst siltig	17 / 19	27 ,5	0	0,01	11	9	2*10 ⁻⁴	66
-1,5	Zand, los tot matig vast gepakt	18 / 20	32 ,5	2, 5	0,01	50	57	1*10 ⁻⁴	99
-5	Zand, los gepakt	17 / 19	30	0	0,01	24	33	2*10 ⁻⁴	120
-9	Zand, matig vast gepakt	18 / 20	32 ,5	2, 5	0,01	36	46	2*10 ⁻⁴	182
- 25	Verkennde diepte								

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

Op basis van peilbuismetingen in het bovengenoemde rapport is een representatieve freatische grondwaterstand bepaald op NAP +3 m.

Samen met de grondopbouw is het huidige profiel van de spoorbaan ingevoerd in het model. In afbeelding 4 is het gebruikte model schematisch weergegeven. Het model heeft een diepte van 25 m en een breedte van 70 m.



Afbeelding 5 Schematisatie grondopbouw in Plaxis-model.

Naast de grondeigenschappen en het baanprofiel, is in de modelinvoer te zien dat aan de linkerkant een halve dwarsligger met daarop een trein is gemodelleerd. Door de linker as van het model als symmetrische-as in te voeren wordt een de hele trein op de dwarsligger gemodelleerd. De as aan de onderzijde van het model en de as aan de rechterzijde zijn zodanig gemodelleerd dat deze alle trillingen absorberen.

Vervolgens is het model met een statische belasting van de trein belast en ontlast om de mogelijke zettingen die hierdoor kunnen optreden, uit het dynamische model te elimineren. Dit is een logische stap aangezien de spoorlijn al decennia lang wordt gebruikt en in vroegere tijden breder was dan nu. De baan is belast geweest met dezelfde of grotere treinlasten dan in de toekomstige situatie.

Bij het fitten van het Plaxis-model op de meetdata is gebleken dat het model goed voldoet als aangenomen wordt dat de grond direct onder het spoor, onder invloed van de spoorbelasting enigszins verdicht is. Om dit effect te verdisconteren wordt voor de lagen direct onder het ballastbed een overconsolidatieratio (OCR) van 3 aangehouden. In de omgeving is op basis van de geologische kennis van het gebied uitgegaan van een OCR van 1. Dit wil zeggen dat de grond niet eerder voorbelast is geweest.

Dynamische belasting trein (bron)

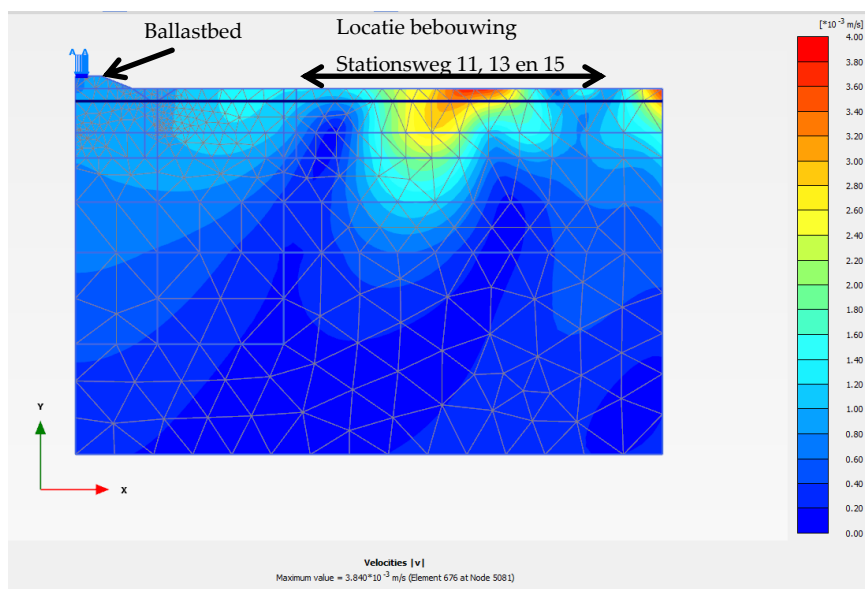
Om de trillingen van de trein in de dynamische module van Plaxis te kunnen modelleren, wordt de trilling, die door de trein wordt veroorzaakt, sterk geschematiseerd ingevoerd in het model.

Aangezien er in de toekomstige situatie geen goederentreinen meer zullen rijden op het traject bij station Driebergen-Zeist zijn deze niet opgenomen in de modellering en is uitgegaan van een intercitytrein met een aslast van 150 kN.

Ter generering van een representatief dynamisch belastingspatroon, dat als invoer voor Plaxis dient, is een trilling berekend waarmee het belastingspatroon van de wielstellen van een intercity trein is gesimuleerd. Dit betreft een verschoven sinus functie, in combinatie met een onderbroken belasting op de stukken waar de trein geen wielstellen heeft. De volgende uitgangspunten aan de functie ten grondslag:

- Gemiddelde trein snelheid: 120 km/uur.
- Wielafstand: 2 m.
- Wagonlengte: 25 m.
- Aslast: 150 kN.
- Onderbouw spoor: ballast bed op maaiveld.

Voor de bepaling van de relatieve verlaging van de trillingsintensiteit is de trillingsintensiteit berekend in de toekomstige situatie zonder trillingsdempende maatregelen. In afbeelding 5 is hiervan het resultaat weergegeven, waarbij in de afbeelding de maximale berekende trillingsintensiteit (vectoriele snelheid $|v|$ in mm/s). In de donkerblauwe gebieden is de snelheid 0 mm/s en zijn er geen trillingen in de grond aanwezig. Naarmate de kleur van de 'grond' verandert naar groen, geel en rood neemt de trillingsintensiteit toe.



Afbeelding 6

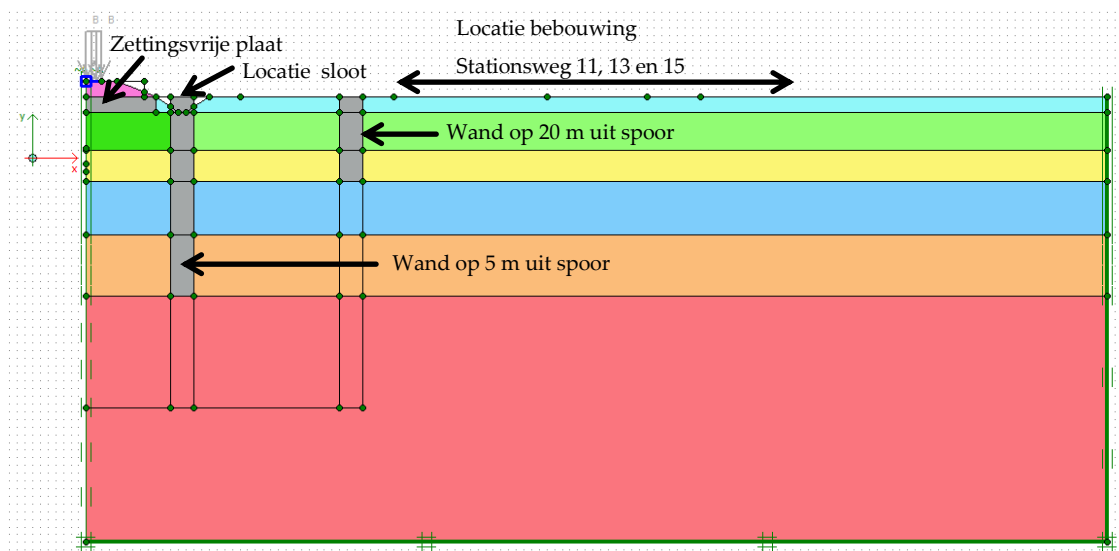
Ter plaatse van de panden aan de stationsweg is een maximale trillingsintensiteit bepaald van 3,8 mm/s à 3,9 mm/s. Deze waarde zal worden aangehouden om de relatieve demping van de maatregelen te bepalen.

Bebouwing

De bebouwing die aan de Stationsweg 11, 13 en 15 is gelegen, bestaat uit betonbouw. De panden zijn op palen gefundeerd. De overdrachtsfactor van de trilling in de grond naar de fundering betreft 0,9. Ook de overdrachtsfactor van de trilling van de fundering naar de vloer van de gebouwen bedraagt 0,9. De gezamenlijke overdrachtsfactor van grond naar vloer is dan op basis van de meetresultaten op locatie $0,9 * 0,9 = 0,8$. Dit houdt in dat de trillingsintensiteit op de vloer van het gebouw 80% bedraagt van de trillingsintensiteit in de grond buiten het gebouw.

4.2.3 RESULTATEN MODELERING

In het opgezette model zijn naast de grond ook de trillingsdempende maatregelen ingevoerd. Dit betreft een zettingsvrije plaat (zvp) onder het spoor, een sloot of een trillingsdempende wand op 5 m uit het spoor en een trillingsdempende wand op 20 m uit het spoor. In afbeelding 6 zijn alle trillingsdempende maatregelen bij elkaar in een plaatje weergegeven.



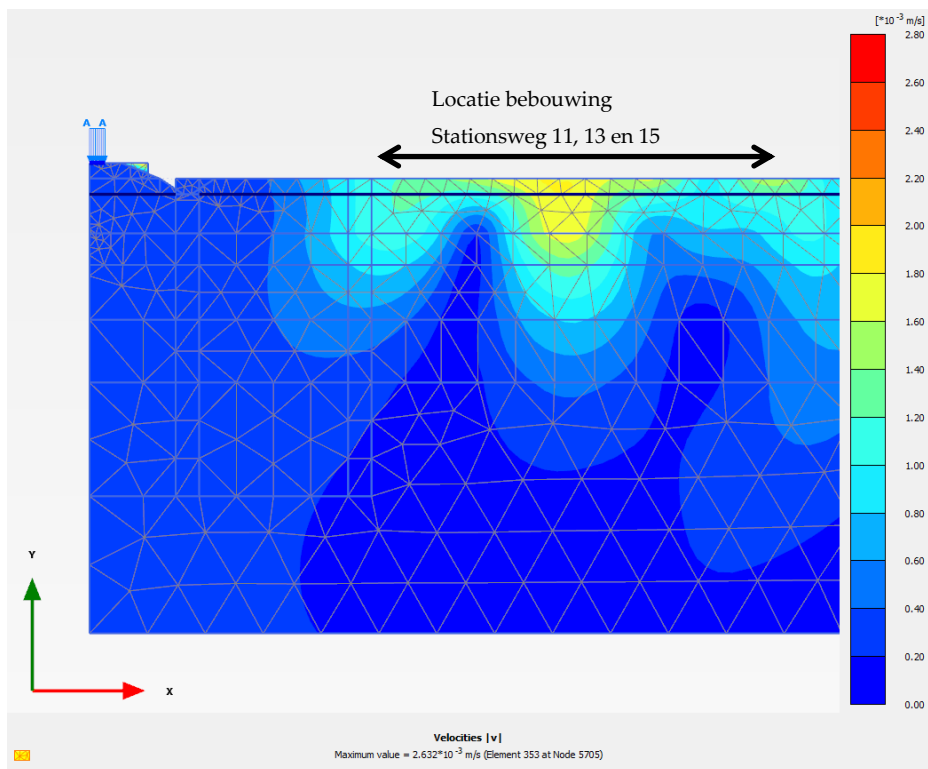
Afbeelding 7 Schematisatie trillingsdempende maatregelen in het model.

Verschillende trillingsdempende maatregelen en combinaties daarvan zijn beschouwd. De resultaten van de maatregelen zijn weergegeven in bijlage 1. In tabel 5 is een samenvatting van de berekeningsresultaten weergegeven.

maatregel	breedte [m]	diepte [NAP m]	locatie uit spoor [m]	$ v _{\text{toekomstig}}$ [mm/s]	$ v _{\text{toekomstig,gedempt}}$ [mm/s]	reductie $ v $ [%]
wand	1	-1,5	5	3,81	2,57	33
wand	1,5	-9	5	3,95	2,054	48
Wand en sloot	1 1bodem	-1,5 +3	20 5	3,84	2,833	26
Wand en sloot	1,5 1,5	-9 +3	20 5	3,93	3,03	23
zvp	5	-1,5	0	3,94	2,67	32

Tabel 5, Effect trillingsdempende maatregelen.

Op basis van de berekende relatieve demping van de trillingen wordt gesteld dat een wand met een breedte van 1,5 m op een afstand van het toekomstige spoor van 5 m een (nagenoeg) voldoende trillingsdempende werking heeft om aan de SBR-richtlijn 'Trillingen Deel B Hinder voor personen in gebouwen' te voldoen. In onderstaande afbeelding zijn de resultaten van de berekening weergegeven.



Afbeelding 8 Effect trillingsdempende wand op de trillingsintensiteit, wanddikte 1,5 m en wandlengte 9 m.

De gemaakte berekeningen zijn twee dimensionaal. Hiermee wordt de lengte van de wand niet mee genomen. Grofweg kan worden gesteld dat een wand 10% langer dient te zijn dan de panden die tegen trillen beschermd dienen te worden. De panden aan de stationsweg 11, 13 en 15 hebben een gezamenlijke lengte van circa 72 m. De trillingsdempende wand langs het spoor zal dan een lengte van 80 m betreffen. Om een precieze lengte en dimensies van de wand te beschouwen zal een 3D model benodigd zijn.

5

Kosten en doelmatigheid

5.1 KOSTEN TRILLINGSDEMPENDE WAND

Voor het dempen van de trillingen ten behoeve van het gebouw aan de Stationsweg 11, 13 en 15 is een trillingsdempende wand geadviseerd om de trillingen voldoende te kunnen reduceren in de toekomstige situatie. De wand dient een lengte te hebben van circa 80 m, een breedte van 1,5 m en een diepte tot NAP -9 m. De kosten die met een dergelijke wand gemoeid zijn betreffen circa € 870.000,-- aan directe kosten. Voor de wand is dan een investeringsreservering benodigd van € 1.730.000,--.

5.2 DOELMATIGHEID

In paragraaf 3.2 is onderstaande tabel opgenomen voor toetsing van de toekomstige situatie aan de SBR-richtlijn Trillingen deel B Hinder voor personen in gebouwen.

Situatie	$v_{eff,max}$	A_1	A_2	$v_{per,dag}$	$v_{per,nacht}$	A_3	Toetsing
Huidige	0,38	0,3	1,2	0,14	0,04	0,15	Voldoet
Toekomstige	0,85	0,3	1,2	0,32	0,11	0,15	Voldoet niet, overschrijding $v_{per,dag}$

Uit de tabel blijkt dat de $v_{eff,max}$ niet voldoet aan de onderste grenswaarde A_1 in de toekomstige situatie maar ruimschoots aan de grenswaarde A_2 voor de toekomstige situatie. Bij toetsing aan A_2 moet v_{per} voldoen aan A_3 . Gezien de overschrijding van v_{per} in de toekomstige situatie heeft een maatregelenonderzoek plaatsgevonden. Uit dit onderzoek blijkt dat aan de streefwaarden uit de SBR-richtlijn Trillingen deel B Hinder voor personen in gebouwen kan worden voldaan als een trillingsdempende wand van 1,5 m breed met een lengte van 80 m en diepte tot NAP -9 m wordt geplaatst. De kosten voor een dergelijke wand bedragen naar schatting € 1.730.000,-.

Gezien de beperkte overschrijding van de normen uit de SBR-richtlijn Trillingen deel B Hinder voor personen in gebouwen en omdat de maatregel ten behoeve van slechts één kantoorpand wordt getroffen wordt de maatregel niet doelmatig geacht.

6

Conclusie

Op basis van het rapport 'Stationsgebied Driebergen-Zeist L4.2.7-1 Trillingenpredictie', is geconcludeerd dat in de bebouwing aan de Stationsweg 11, 13 en 15 in de toekomstige situatie mogelijk hinder voor personen kan optreden. Om dit te voorkomen dient de $v_{eff,max}$ met 45% à 50% te worden verlaagd. Verschillende trillingsdempende maatregelen zijn vervolgens beschouwd en getoetst op hun toepasbaarheid. De volgende maatregelen zijn nader onderzocht:

- Betonnen wand.
- Sloot of greppel.
- Zettingsvrije plaat.

In het eindige elementen model (Plaxis) is met behulp van een Plane strain model een berekening van de trillingen in de ondergrond gemaakt. Het model is in de voorgaande fase gefit op de resultaten van de trillingsmetingen die nabij station Driebergen-Zeist zijn uitgevoerd.

Op basis van de uitgevoerde EEM-modellen kan worden geconcludeerd dat er ter plaatse van de bebouwing aan de stationsweg 11, 13 en 15 een reductie of versterking van de trillingen optreedt. Onderstaand zijn de resultaten weergegeven per maatregel.

- | | |
|---|---------------------------|
| ▪ Betonnen wand: | reductie/versterking 48%. |
| ▪ Sloot of greppel in combinatie met een betonnen wand: | reductie/versterking 23%. |
| ▪ Zettingsvrije plaat: | reductie/versterking 32%. |

Geconcludeerd wordt dat met de toepassing van een betonnen wand met een diepte van NAP -9 m, een dikte van 1,5 m en een lengte van 80 m de trillingsintensiteit voldoende worden gedempt om geen trillingshinder in de toekomstige situatie te verwachten in de te handhaven delen van de panden aan de Stationsweg 11,13 en 15. Deze maatregel wordt, gezien de investeringskosten in relatie tot het beoogde effect, als niet doelmatig beoordeeld

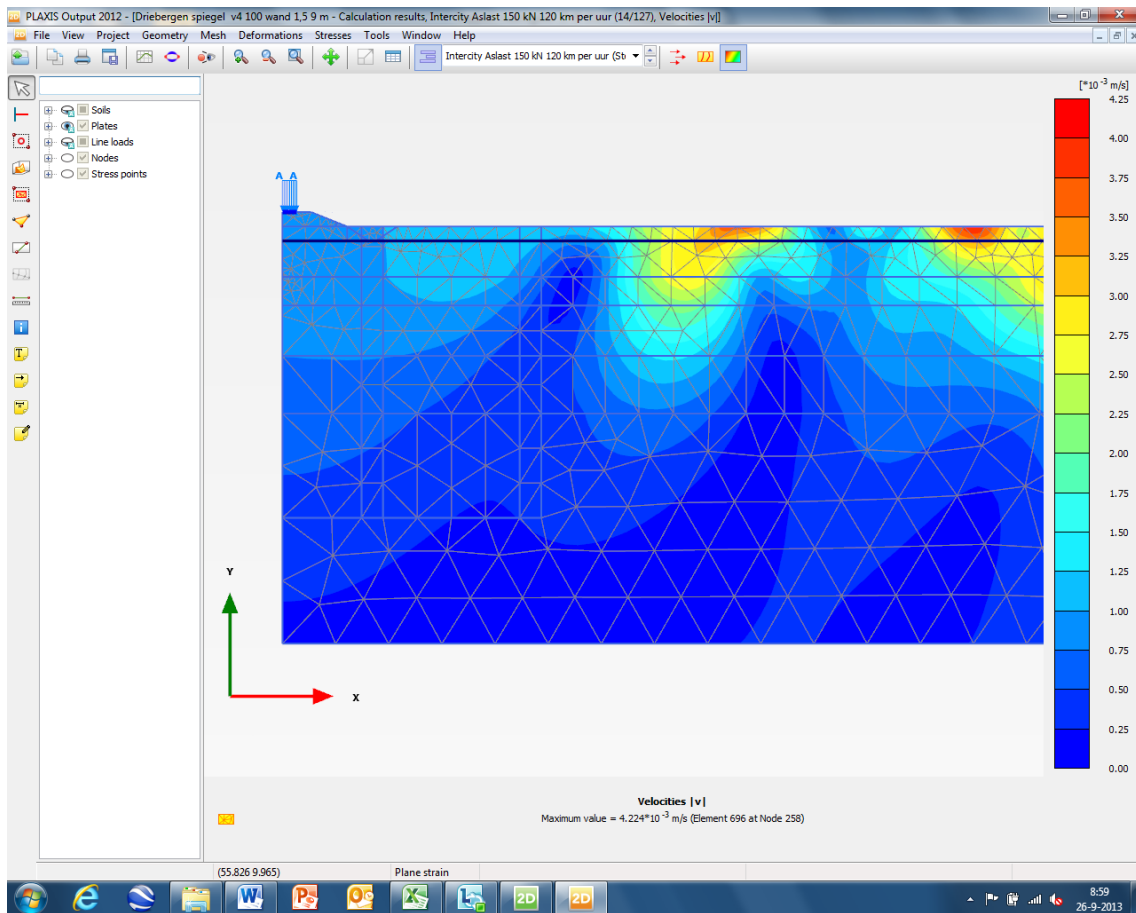
Bijlage 1 Berekeningsresultaten

Bijlage 1.1 Betonnen wand

Al eerste is er beschouwd welke invloed een betonnen wand heeft op de demping van de trillingen.

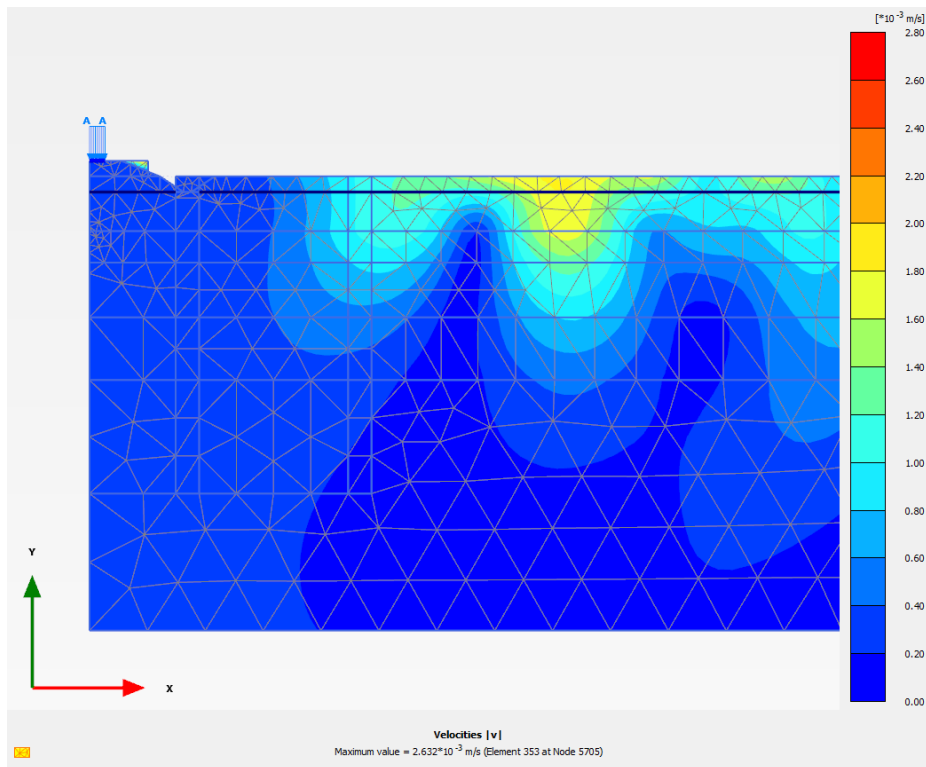
De volgende uitgangspunten worden gehanteerd voor de eerste berekening:

- Locatie wand: x m uit het buitenste spoor.
- Dikte: 1 m.
- Diepte: NAP -1,5 m.
- $E_{\text{oed, beton}}$: 30.000.000 kN/m²
- γ 24 kN/m³



De volgende uitgangspunten worden gehanteerd voor de tweede berekening:

- Locatie wand: x m uit het buitenste spoor.
- Dikte: 1,5 m.
- Diepte: NAP -9 m.
- $E_{\text{oed, beton}}$: 30.000.000 kN/m²
- γ 24 kN/m³

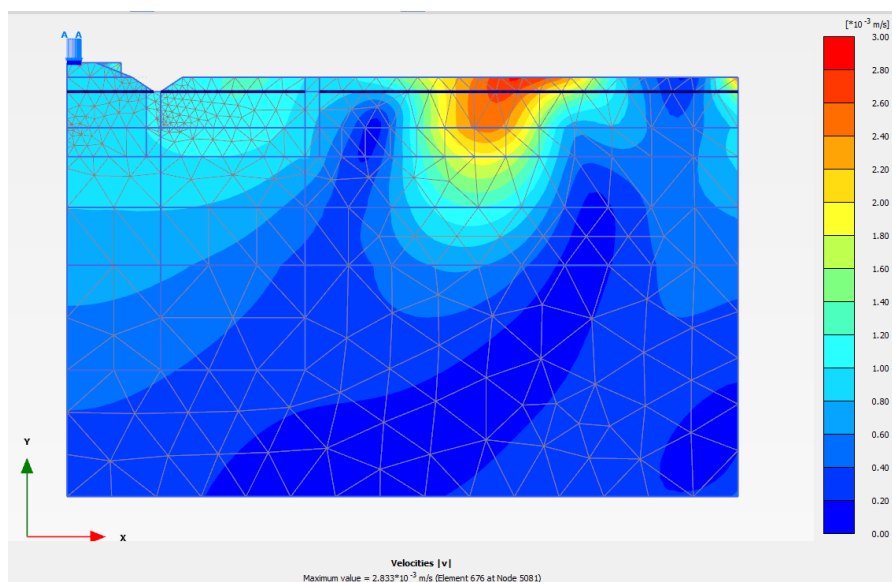


Bijlage 1.2 Betonnen wand in combinatie met een sloot

Vervolgens is er beschouwd, welke invloed een betonnen wand op korte afstand van het pand (circa 2 m) heeft, in combinatie met een spoorloot op de demping van de trillingen.

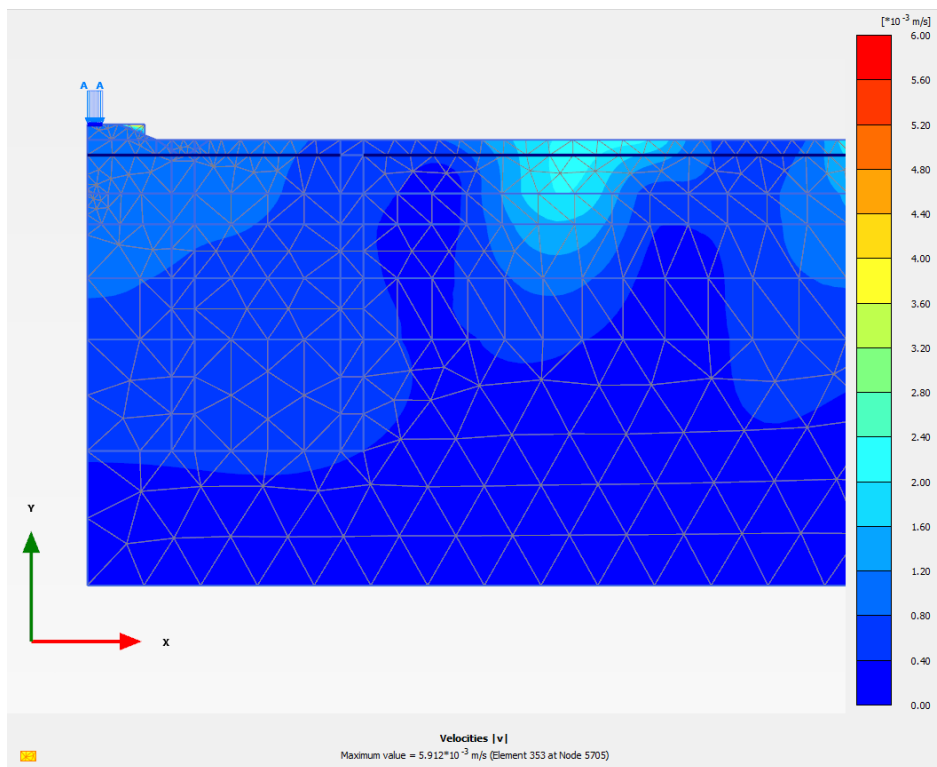
De volgende uitgangspunten worden gehanteerd voor een eerste berekening:

- Locatie wand: 20 m uit het buitenste spoor.
- Locatie sloot: 5 m uit spoor.
- Dikte: 1 m.
- Diepte: NAP -1,5 m.
- $E_{\text{oed, beton}}$: 30.000.000 kN/m²
- γ : 24 kN/m³



De volgende uitgangspunten worden gehanteerd voor een tweede berekening:

- Locatie wand: 20 m uit het buitenste spoor.
- Locatie sloot: 5 m uit spoor.
- Dikte: 1 m.
- Diepte: NAP -1,5 m.
- $E_{\text{oed, beton}}$: 30.000.000 kN/m²
- γ : 24 kN/m³

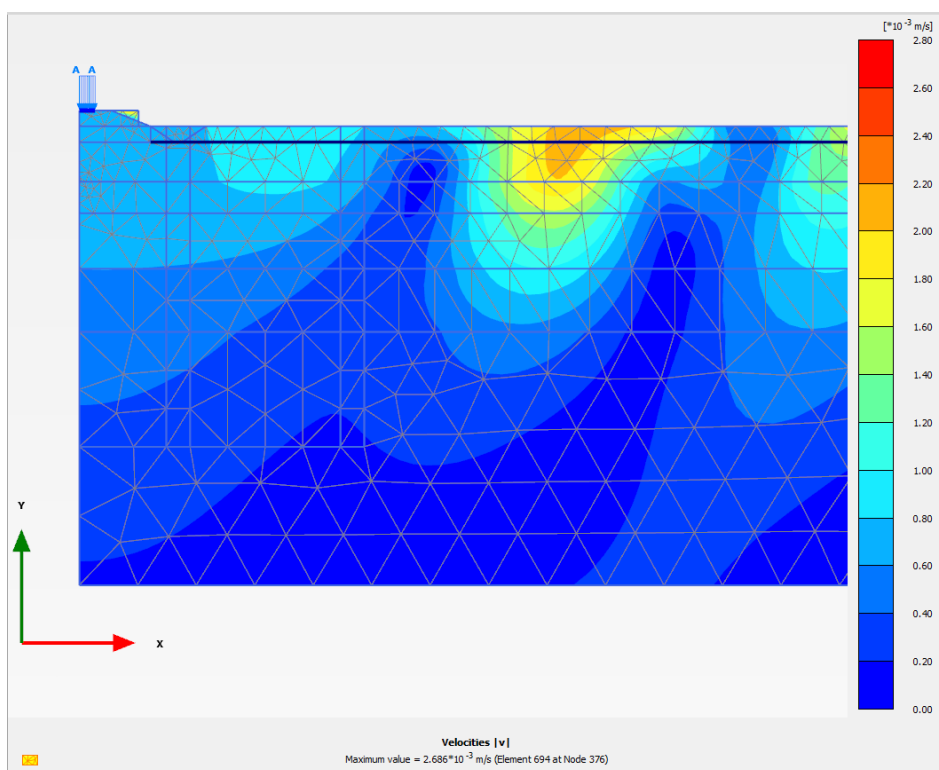


Bijlage 1.3 Zettingsvrije plaat

Laatste is beschouwd welke invloed zettingsvrije plaat onder het ballastbed heeft op de demping van de trillingen.

De volgende uitgangspunten worden gehanteerd voor de berekening:

- Locatie wand: 20 m uit het buitenste spoor
- Locatie sloot: 5 m uit spoor.
- Dikte: 1 m.
- Diepte: NAP -1,5 m.
- $E_{\text{oed, beton}}$: 30.000.000 kN/m²
- γ : 24 kN/m³



Colofon

STATIONSGBIED DRIEBERGEN-ZEIST L4.13.4-1: RAPPORT TRILLINGSBEPERKENDE MAATREGELEN

OPDRACHTGEVER:

ProRail, Afdeling projecten
De heer R.G. Jansen

STATUS:

Definitief

AUTEUR:

ir. A.V. van Uiter

GECONTROLEERD DOOR:

ir. C.P. Schouten

VRIJGEGEVEN DOOR:

ing. P. van de Kragt

13 december 2013
077305136:D

ARCADIS NEDERLAND BV
Piet Mondriaanlaan 26
Postbus 220
3800 AE Amersfoort
Tel 033 4771 000
Fax 033 4772 000
www.arcadis.nl
Handelsregister 09036504