

STATIONSGBIED DRIEBERGEN-ZEIST
L.4.2.7-1 TRILLINGENPREDICTIE

PRORAIL, AFDELING PROJECTEN
DE HEER R.G. JANSEN

3 augustus 2012
076446164:D - Definitief
D01011.000421.0700



Inhoud

Wijzigingen nota	3
Samenvatting.....	4
1 Inleiding.....	5
1.1 Aanleiding.....	5
1.2 Besluitvorming	5
1.3 Proces tussen voorontwerp en ontwerp bestemmingsplan (deelopdracht 4).....	7
1.4 Doel en positie voorliggende rapportage.....	7
1.5 Leeswijzer.....	7
2 Informatie	9
2.1 Bindende documenten.....	9
2.2 Informatieve documenten.....	9
3 Kader	11
3.1 Afbakening.....	11
3.2 Relatie andere werkpakketten.....	11
3.3 Algemene Uitgangspunten.....	12
4 Aanpak trillingenonderzoek.....	13
4.1 Algemeen	13
4.2 Uitgangspunten Onderzoek en predictie.....	13
4.2.1 Algemeen	13
4.2.2 Bodemopbouw	14
4.2.3 Treintypen.....	14
4.2.4 Dienstregeling.....	15
4.2.5 Bebouwing	15
4.2.6 Veldonderzoek	18
5 Interpretatie Trillingenonderzoek huidige situatie.....	21
5.1 Algemeen	21
5.2 Bronbelasting.....	25
5.3 Materiaaldempingsconstante	27
5.4 Overdrachtsfuncties grond naar vloer	28
6 Trillingenpredictie.....	30
6.1 Toelichting predictie	30
6.2 Aanpak predictie.....	31
6.3 Empirisch model voor de grond	31
6.3.1 Toekomstige bronbelasting.....	31
6.3.2 Inschatting materiaaldempingsconstante toekomstige situatie	32
6.4 EEM model.....	32
6.5 Overdrachtsfuncties grond naar vloer	34

7	Beoordeling Trillingen.....	35
7.1	Toetsing conform SBR-Richtlijn Trillingen deel B	35
7.2	Huidige situatie	36
7.3	Toekomstige situatie	36
8	Conclusie en Advies	38
8.1	Conclusie.....	38
Bijlage 1	Theorie trillingen.....	39
Bijlage 1.1	Algemeen	40
Bijlage 1.2	Empirische methode.....	41
Bijlage 1.3	Eindige elementen methode.....	42
Bijlage 1.4	Berekening referentie waarden SBR-richtlijn B.....	52
Bijlage 1.5	Trillingen in gebouwen.....	53
Bijlage 2	SBR richtlijn trillingen deel B	55
Bijlage 2.1	Richtlijn Trillingen.....	56
Bijlage 2.2	SBR-richtlijn Trillingen deel B (hinder voor personen in gebouwen).....	57
Bijlage 3	Rapportages Trillingsmetingen Fugro.....	60
Bijlage 4	Uitwerking data	61

Wijzigingen nota

Dit rapport is geschreven om het onderzoek Trillingen op niveau te brengen van een ontwerp bestemmingsplan. In het kader van de voorontwerp bestemmingsplannen is het onderzoeksrapport Stationsgebied Driebergen Zeist, planstudiefase 2B, L2.4.3-1 Rapportage Trillingen, 75546469:D1 Definitief, D01011.000421.0100, 26 oktober 2011 opgesteld.

In het aanvullende onderzoek waarvan de resultaten in het voorliggende rapport worden gepresenteerd, zijn wijzigingen aangebracht ten opzichte van het eerdere onderzoeksrapport dat is opgesteld in het kader van de voorontwerp bestemmingsplannen. De wijzigingen hebben betrekking op structuur en inhoud van het rapport en zijn in hoofdlijnen als volgt samen te vatten:

Locatie in rapportage	Wijzigingen
Hoofdstuk 1 Inleiding	<i>Aanpassing projectbeschrijving op basis van Baseline 3 ontwerp</i>
Hoofdstuk 2 Informatie	<i>Systeemeisenspecificatie Baseline 3 toegevoegd als bindend document</i>
	<i>Tabel met informatieve documenten aangepast</i>
Hoofdstuk 3 Kader	<i>Paragraaf 3.3 algemene uitgangspunten toegevoegd</i>
Hoofdstuk 4 Aanpak trillingenonderzoek	<i>Beschrijft methode van veldonderzoek en analyse en de gehanteerde locatie specifieke uitgangspunten in relatie tot de trillingenproblematiek</i>
Hoofdstuk 5 Interpretatie trillingenonderzoek huidige situatie	<i>Bevat de presentatie van de meetresultaten op hoofdlijnen met analyse van de modelparameters die van belang zijn voor de predictie</i>
Hoofdstuk 6 Trillingenpredictie	<i>Beschrijving methodische aanpak is toegevoegd</i> <i>Beschrijving van gehanteerde modellen en modelparameters is toegevoegd</i>
Hoofdstuk 7 Beoordeling trillingen	<i>Bevat de beoordeling van de huidige situatie (7.2) en toekomstige situatie (7.3)</i>
Hoofdstuk 8 Conclusies en aanbevelingen	<i>Is volledig aangepast op basis van nieuwe resultaten</i>
Bijlagen	<i>Bijlagen zijn volledig aangepast</i>

Samenvatting

Bij station Driebergen-Zeist vindt een uitbreiding van de sporen plaats van drie naar vier sporen en wordt een nieuw station aangelegd. De benutting van de sporen wijkt af van de huidige spoorbenutting. Tevens wordt er een tunnelbak gerealiseerd voor het ongelijkvloers kruisen van het spoor door het wegverkeer van de Hoofdstraat. Door deze veranderingen kan er ook een verandering komen in de trillingsintensiteit die wordt veroorzaakt door treinen. Om te beoordelen of er mogelijk trillingshinder optreedt, is er een trillingenonderzoek samen met een trillingenpredictie uitgevoerd en verslagen in de onderzoeksrapportage Stationsgebied Driebergen Zeist, planstudiefase 2B, L2.4.3-1 Rapportage Trillingen, 75546469:D1 Definitief, D01011.000421.0100, 26 oktober 2011. Uit deze rapportage blijkt dat er een achttal locaties zijn waar mogelijk trillingshinder verwacht kan worden.

In vervolg op de voorgaande onderzoek is een nader onderzoek uitgevoerd waarbij nadere trillingsmetingen zijn uitgevoerd en een predictiemodel is ontwikkeld om het effect van de gewijzigde spoorconfiguratie bevestigd op de ondergrondse betonconstructies van station en wegkruising vast te stellen.

Bij de metingen zijn de mogelijk trillingsgevoelige locaties uit de eerdere rapportage nader onderzocht.

Hiervoor zijn bij een zestal panden aanvullende trillingsmetingen uitgevoerd, namelijk:

- Tiendweg 1F (gemeente Zeist).
- Kwekerijweg nummer 6 en 8 (gemeente Zeist).
- Kwekerijweg 2a, 2b en 2c (gemeente Zeist).
- Princenhofpark 1-27 bouwdeel C (gemeente Utrechtse Heuvelrug).
- Odijkerweg 82 (gemeente Zeist).
- Stationsweg 11, 13 en 15 (gemeente Utrechtse Heuvelrug).

Het predictiemodel is ontwikkeld om het effect van een spoorconstructie op een ondergrondse (betonnen) constructie op de trillingshinder nader te kwantificeren.

Toename van de trillingsintensiteit kan rond station Driebergen-Zeist door verschillende oorzaken ontstaan:

1. Verleggen van bestaande sporen en aanleggen van een nieuw spoor.
2. Verandering in de ligging van de wissels.
3. Verandering van de dienstregeling.
4. Aanleg van betonconstructies onder het spoor.

Op basis van de SBR-richtlijn Trillingen deel B, is er een inschatting gemaakt van de trillingsintensiteit in de bovengenoemde bebouwing. Een overschrijding van de SBR-richtlijn Trillingen deel B kan op basis van dit onderzoek worden verwacht op de locatie Stationsweg 11-15 in de toekomstige situatie. Dit pand wordt echter geamoveerd ten behoeve van de bouw van een parkeergarage. De uitgevoerde analyse geeft echter wel aan dat bij toepassing van bebouwing op de parkeergarage, trillingshinder voor deze bebouwing op voorhand niet is uit te sluiten en in het constructieve ontwerp een aandachtspunt dient te zijn.

Voor de overige panden zullen de beoogde wijzigingen bij het station niet leiden tot trillingshinder.

1 Inleiding

1.1 AANLEIDING

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

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

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

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

1.2 BESLUITVORMING

Vanaf 2007 zijn er verschillende varianten voor de ontwikkeling van het stationsgebied Driebergen-Zeist onderzocht. In 2010 en 2011 zijn een drietal baselines¹ uitgewerkt, waarvan bestuurlijk is kennis genomen. De laatste Baseline, waarin gekozen is voor het ontwerp voor stationsgebied Driebergen-Zeist, is de basis voor de projectnota en daarmee voor besluitvorming tot de realisatiefase.

¹ Baseline: mijlpaal in het project, een resultaat van een stap in het proces waarover een besluit is genomen en wat de basis vormt voor het vervolg van het project.

De planstudiefase is afgerond met de oplevering van een projectnota, publiekssamenvatting en voorontwerp bestemmingsplan.

De projectnota is het document, gebaseerd op baseline 3, op basis waarvan het projectbesluit genomen wordt. In de projectnota zijn het ontwerp op hoofdlijnen en de effectenstudies samengevat. In het projectbesluit wordt de financiering van het project definitief vastgelegd. Daarmee wordt 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. Dit is normaliter onderdeel van de realisatiefase, maar is in het kader van gewenste versnellingen vervroegd ingepland. 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 is het voorontwerp bestemmingsplan. Het voorontwerp bestemmingsplan wordt in maart 2012 in de gemeenteraden van de gemeente Utrechtse Heuvelrug en Zeist behandeld en vervolgens door de gemeenten voor 6 weken ter inzage gelegd. De inspraakreacties, die in deze periode ingediend worden bij de gemeenten, worden beantwoord in gemeentelijke inspraaknota's. Vervolgens wordt het ontwerp bestemmingsplan opgesteld.

Een schets van de stand van het ontwerp zoals deze in Baseline 3 is goedgekeurd is weergegeven in Afbeelding 1.



Afbeelding 1: Ontwerp Baseline 3

1.3 PROCES TUSSEN VOORONTWERP EN ONTWERP BESTEMMINGSPLAN (DEELOPDRACHT 4)

In het ontwerp is in de aanloop naar baseline 3 nog geen besluit genomen over de P&R locatie. De effectbepalende en inventariserende onderzoeken zijn gebaseerd op de locatie van het P&R in Baseline 2. In deze deelopdracht worden de onderzoeken bijgewerkt zodat ze een sluitende onderbouwing voor het ontwerp bestemmingsplan vormen. Daarnaast zullen de inspraakreacties op het voorontwerp bestemmingsplan behandeld worden. De aangevulde onderzoeken en inspraakreacties resulteren in de zomer van 2012 in een ontwerp bestemmingsplan. Het ontwerp bestemmingsplan wordt in het najaar van 2012 door de twee gemeenteraden behandeld.

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, planstudiefase 2B, L2.4.3-1 Rapportage Trillingen, 75546469:D1 Definitief, D01011.000421.0100, 26 oktober', een nader advies verstrekt betreffende de trillingseffecten die ontstaan door de toekomstige aanpassingen om en aan het spoor te station Driebergen Zeist en veranderende dienstregeling op dit spoortracé.

Op basis van de resultaten van de aanvullende metingen is de trillingsprognose in de rapportage 'Stationsgebied Driebergen Zeist, planstudiefase 2B, L2.4.3-1 Rapportage Trillingen, 75546469:D1 Definitief, D01011.000421.0100, 26 oktober' nader onderbouwd en op onderdelen aangepast.

Uiteindelijk worden de effecten van de bovengenoemde punten op de omgeving, ten gevolge van verkeerstrillingen veroorzaakt door railverkeer in samenhang met elkaar, op basis van aanvullende metingen en een verfijnde prognose bepaald voor de toekomstige situatie rondom station Driebergen Zeist. De gehanteerde meetmethodiek en de beoordeling zijn overeenkomstig de SBR-richtlijn voor Trillingen deel B 'Hinder voor personen in gebouwen' uitgevoerd.

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 ook de zogenoemde bindende documenten.
- Hoofdstuk 3 schetst het kader van deze rapportage. De afbakening, relaties met andere werkpakketten en uitgangspunten komen hierbij aan bod.
- Een toelichting op de uitvoering en aanpak van de trillingsmetingen wordt gegeven in hoofdstuk 4
- In hoofdstuk 5 worden de resultaten van de trillingsmetingen gepresenteerd
- Hoofdstuk 6 geeft een beschrijving van de uitgevoerde trillingenpredictie
- De beoordeling van de trillingen in de huidige en de toekomstige situatie vindt plaats in hoofdstuk 7. Dit gebeurt conform SBR-richtlijn Trillingen deel B Hinder voor personen in gebouwen.
- De conclusies zijn vermeld in hoofdstuk 8.

Dit rapport bevat de volgende bijlagen:

- Bijlage 1: Theorie trillingen
- Bijlage 2: Toelichting op SBR-richtlijn Trillingen deel B Hinder voor personen in gebouwen
- Bijlage 3: Rapportages trillingsmetingen Fugro
- Bijlage 4: Uitwerking meetresultaten

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

Tabel 1: Overzicht van bindende documenten.

2.2 INFORMATIEVE DOCUMENTEN

Het overzicht van documenten die geen formele status hebben, maar waaruit wel 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
Vibrations caused by train traffic and the effect of its migration on the quality of living	www.kiviniria.nl	-	T. Auvinen, Aalto University, Espoo, Finland
Trillingsmetingen schermwerking (PS-scherm) van bouwverkeer aan de Zomerweg 1 en 3 te IJsselstein	3209-0015-000	10 februari 2012	Fugro Geoservices BV

Tabel 2: Overzicht van informatieve documenten.

3

Kader

3.1 AFBAKENING

In de trillingspredictie in deze voorliggende rapportage worden uitsluitend trillingen als gevolg van het treinverkeer beschouwd. Daarbij worden de volgende wijzigingen, die invloed hebben op de trillingen in de omgeving van station Driebergen-Zeist, beschouwd:

- Verbreding van de spoorbaan en verdubbeling van het aantal sporen te Driebergen-Zeist.
- Aanpassingen aan de stationssituatie.
- Verandering van de situatie van de kruising van het spoor met de Hoofdstraat.
- Aanpassing van de dienstregeling op het spoor Utrecht-Arnhem.
- Aanpassing van de sporen lay-out

Trillingen door wegverkeer worden buiten beschouwing gelaten. Hinder als gevolg van dit type verkeerstrillingen is nagenoeg altijd een gevolg van onregelmatigheden in het wegoppervlak, zoals drempels. Dergelijke onvolkomenheden kunnen in het detailontwerp van de weginfrastructuur met eenvoudige maatregelen worden voorkomen.

Trillingshinder door bouwwerkzaamheden is evenmin in beschouwing genomen. Hiervoor zijn in de SBR richtlijn deel B "Hinder voor personen" streefwaarden vermeld. Uitgangspunt is dat de methode van uitvoering zodanig door de uitvoerende partij wordt ingericht dat hierdoor geen tijdelijke hinder wordt ondervonden.

In deze rapportage zijn de volgende punten op basis van het onderzoeksrapport Stationsgebied Driebergen Zeist, planstudiefase 2B, L2.4.3-1 Rapportage Trillingen, 75546469:D1 Definitief, D01011.000421.0100, 26 oktober 2011 buiten beschouwing gelaten:

- Trillingen veroorzaakt door bouwwerkzaamheden.
- Verkeerstrillingen veroorzaakt door wegverkeer

Voor de toetsing van de trillingen is op basis van het onderzoeksrapport Stationsgebied Driebergen Zeist, planstudiefase 2B, L2.4.3-1 Rapportage Trillingen, 75546469:D1 Definitief, D01011.000421.0100, 26 oktober 2011 de volgende richtlijnen gehanteerd:

- SBR-richtlijn Trillingen deel B, Hinder voor personen in gebouwen.

3.2 RELATIE ANDERE WERKPAKKETTEN

Voor het maken van een inschatting met betrekking tot trillingshinder is inzicht in het ontwerp van belang. Hierbij zijn de volgende punten bepalend:

1. Ligging van de sporen in de toekomstige situatie ten opzichte van de huidige situatie.
2. Huidige en toekomstige spoorgebruik (intensiteit, trein type, dag/nacht).
3. Locatie tunnelbak en stationshal.

4. Ontwerp van de spoorconstructie: spoor in ballast of ingelijmd spoor.
5. Grondopbouw.

3.3 ALGEMENE UITGANGSPUNTEN

Op het spoortraject voor en na station Driebergen-Zeist ligt in de huidige situatie een dubbel spoor. Ter plaatse van station Driebergen-Zeist liggen drie sporen. In de toekomstige situatie zal de tweesporigheid voor en na station Driebergen-Zeist blijven, ter plaatse van het station wordt echter een viersporige situatie aangelegd. Naast de aanleg van een extra spoor wordt er ter plaatse van het huidige station Driebergen-Zeist een nieuw station aangelegd. De stationshal, behorend bij dit station, komt onder de sporen te liggen samen met de fietsenstallingen. In aanvulling op de veranderingen aan het spoor en aan het station wordt tevens een onderdoorgang gemaakt voor het verkeer van de Hoofdstraat. Bij het station en de onderdoorgang komen de sporen over een lengte van ongeveer 160 m op een betonconstructie (onderdoorgang stationshal en fietsenstalling) te liggen.

4

Aanpak trillingenonderzoek

4.1 ALGEMEEN

Door de wijzigingen aan het station Driebergen Zeist en door de wijzigingen aan de sporen rondom dit station zijn, op basis van het voorgaande onderzoeksrapport (Stationsgebied Driebergen Zeist, planstudiefase 2B, L2.4.3-1 Rapportage Trillingen, 75546469:D1 Definitief, D01011.000421.0100, 26 oktober 2011) een 8-tal gebouwen beoordeeld voor mogelijke trillingshinder door spoorverkeer in de toekomstige situatie.

In voorliggende rapportage wordt een verdiepingsslag gemaakt met betrekking tot de trillingshinder voor de personen in deze 8 gebouwen. Om deze slag te kunnen maken is een aanvullend trillingenonderzoek uit gevoerd en zijn de verschillende benodigde uitgangspunten verzameld. Hierbij zijn de volgende stappen gemaakt:

- Het uitvoeren van een trillingsonderzoek aan de panden die mogelijk gevoelig zijn voor trillinghinder voor personen in de gebouwen, om een beter inzicht te verkrijgen in de trillingen nabij deze gebouwen.
- Het verzamelen van de uitgangspunten in de bestaande en toekomstige situatie
- Het uitwerken van de meetdata naar de huidige situatie
- Het uitwerken van de meetdata en het modelleren van de toekomstige situatie
- De beoordeling van de trillingen in de bestaande en toekomstige situatie

4.2 UITGANGSPUNTEN ONDERZOEK EN PREDICTIE

4.2.1 ALGEMEEN

Voor het aanvullende trillingen onderzoek en de daaropvolgende trillingen predictie zijn de volgende uitgangspunten benodigd:

- Bodemopbouw van de trillingsgevoelige locaties
- Type van de treinen die op een locatie passeren in de huidige en in de toekomstige situatie
- De dienstregeling die door de treinen wordt gereden in de huidige en in de toekomstige situatie
- De locaties van de mogelijk trillingsgevoelige bebouwing
- Kenmerken van de trillingsgevoelige bebouwing
- Veld onderzoek

In de onderstaande paragrafen worden de verschillende uitgangspunten nader uitgewerkt.

4.2.2 BODEMOPBOUW

De bodemopbouw, die als uitgangspunt voor de beschouwingen in deze rapportage is aangehouden, is gebaseerd op informatie die is verkregen uit de rapportage 'Planstudie Driebergen-Zeist' van MOS en de verkregen gegevens van het TNO Dinoloket. Op basis van deze rapportage is de grondopbouw geschematiseerd. Er zijn twee maatgevende profielen te onderscheiden. Een schematisatie is gemaakt voor de bebouwing aan de Tiendweg in tabel 3. Een tweede schematisatie is gemaakt voor het gebied rondom station Driebergen Zeist. Bij deze laatste schematisatie van de grond zijn ook de grondparameters weergegeven die zijn bepaald ten behoeve van het Plaxis-model dat voor dit gebied is opgesteld, zie tabel 4.

Diepte b.k. laag [m NAP]	Grondsoort
+ 3	Toplaag Zand / Klei
+ 2	Zand, matig vast gepakt
-2	Zand, los gepakt
-3,5	Zand, matig vast gepakt
-4,5	Zand, los gepakt
-7,5	Zand, matig vast gepakt
- 13	Verkende diepte

Tabel 3: Schematisatie grond opbouw nabij de Tiendweg te Zeist

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

Tabel 4: Schematisatie grondopbouw en grondparameters nabij station Driebergen Zeist.

4.2.3 TREINTYPEN

De trillingsintensiteit is onder andere afhankelijk van het treintype. Een lange zwaardere trein veroorzaakt, bij een normale spoorligging, meer trillingen dan een kortere lichte trein.

In de toekomstige situatie zal op het spoortraject Utrecht-Arnhem, waaraan station Driebergen-Zeist is gelegen, geen wezenlijke wijziging optreden in het treinmaterieel.

Op het traject rijden in de huidige situatie zowel goederentreinen als 'heavy rail' personentreinen. In de toekomstige situatie zullen enkel treinen rijden die nu ook al op het traject rijden of er zullen lichtere treinen gaan rijden die minder trillingen veroorzaken. Daarnaast zal dit spoortraject niet structureel meer worden gebruikt voor goederentreinen. Deze zullen allen over de Betuweroute worden geleid.

4.2.4 DIENSTREGELING

De beoordeling van de hinder door trillingen hangt mede af van het aantal herhalingen van de trillingen. Daarom is het voor de beoordeling van de huidige en de toekomstige situatie van belang de dienstregeling te vergelijken. In de huidige situatie rijden over het spoor bij station Driebergen Zeist 24 treinen per uur gedurende de dag-periode. In de toekomstige situatie is het mogelijk 26 treinen per uur te laten rijden, zie ook tabel 5. Aangenomen is dat in de toekomstige situatie het aantal treinen gedurende de nacht situatie (tussen 23.00 uur en 7.00 uur) niet zal worden aangepast in de toekomstige situatie.

Op station Driebergen-Zeist stopt ongeveer de helft van het aantal treinen in de huidige en toekomstige situatie. In de huidige situatie halteert de andere helft van de treinen, namelijk de intercity's niet. Van deze treinen rijdt ongeveer de helft (dus ongeveer een kwart van alle treinen) rond de maximum snelheid van 130 km/uur, de andere intercity's rijden stapvoets door het station. In de toekomstige situatie, wanneer er vier sporen liggen ter plaatse van station Driebergen-Zeist, zullen alle intercity's met een snelheid van circa 130 km/uur door het station kunnen rijden.

Type trein	Huidig aantal/uur overdag	Toekomstig aantal /uur overdag	Huidig aantal/uur nacht	Toekomstig aantal /uur nacht
Internationale treinen	2	2	0	0
Intercity	8	12	0 tot 4	0 tot 4
Stoptrein	12	12	0 tot 4	0 tot 4
Goederentrein	2	0	0	0
Totaal	24	26	2 (gemiddeld)	2 (gemiddeld)

Tabel 5: Aantal treinpaden per uur, Station Driebergen Zeist

4.2.5 BEBOUWING

Langs het spoor nabij station Driebergen-Zeist zijn verschillende gebouwen aanwezig. In het voorgaande trillingsonderzoek zijn 8 gebouwen beoordeeld als mogelijk gevoelig voor hinder voor personen in gebouwen. Dit betreffen de volgende gebouwen:

- Km 45.0 noordzijde:
 - Tiendweg 1F (gemeente Zeist, object 1).
- Km 46.05 – km 46.5 noordzijde:
 - Kwekerijweg nummer 6 en 8 (gemeente Zeist, object 2).
 - Kwekerijweg 2a, 2b en 2c (gemeente Zeist, object 3).
 - Princenhofpark 1-27 bouwdeel C (gemeente Utrechtse Heuvelrug, object 4).
- Km 46.1 – km 46.5 zuidzijde:
 - Odijkerweg 30 (gemeente Zeist, object 5)
 - Odijkerweg 82 (gemeente Zeist, object 6).
 - Stationsweg 3 (gemeente Utrechtse Heuvelrug, object 7)
 - Stationsweg 11, 13 en 15 (gemeente Utrechtse Heuvelrug, object 8).

In de afbeeldingen 2 en 3 zijn de bovengenoemde locaties van de bebouwing weergegeven.



Afbeelding 2: Locatie Tiendweg 1F (Bron Google Earth)



Afbeelding 3: Locatie station Driebergen-Zeist (Bron: Google Earth)

In de onderstaande afbeeldingen 4 t/m 11 zijn foto's van de beschouwde panden weergegeven.



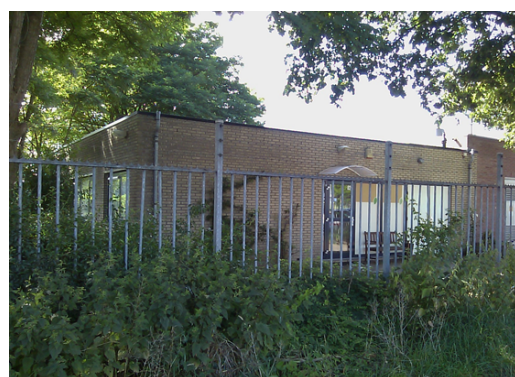
Afbeelding 4: Pand Tiendweg 1F (objectnr. 1)



Afbeelding 8: Pand Odijkerweg 20 (object nr. 5)



Afbeelding 5: Panden Kwekerijweg 6 en 8 (objectnr. 2)



Afbeelding 9: Pand Odijkerweg 82 (object nr.6)



Afbeelding 6: Pand Kwekerijweg 2a,2b,2c (objectnr. 3)



Afbeelding 10: Pand Stationsweg 3 (objectnr. 7)



Afbeelding 7: Panden Princenhofpark 1-27 (objectnr. 4)



Afbeelding 11: Panden Stationsweg 11,13,15
(objectnr. 8)

De bouwkundige kenmerken van de bebouwing, meer specifiek gebruiksfunctie, type bouw, type fundatie en bouwjaar van de bebouwing zijn geïnventariseerd (bron BAG). Op basis van deze gegevens en een locatiebezoek is het vloertype in de gebouwen bepaald. Dit is van belang omdat van een houten vloer meer opslingering verwacht kan worden dan van een betonnen vloer. Door meer opslingering zal ook eerder trillingshinder voor personen in gebouwen ontstaan.

Voor de bovengenoemde panden is een samenvatting van de inventarisatie gegeven in tabel 6.

Objectnr	Adres	Gebruiks- functie	Categorie	Fundatie	Bouwjaar ca.	vloer
1	Tiendweg 1F	Wonen	2 metselwerk	staalfundering	1973	hout
2	Kwekerijweg 6 en 8	Industrie	1 betonbouw	staalfundering	1988	beton
3	Kwekerijweg 2a, 2b, 2c	Kantoor	1 betonbouw	staalfundering	1996	beton
4	Princenhofpark 1-27	Kantoor	1 betonbouw	staal- en paalfundering	1988	beton
5	Odijkerweg 30	Wonen	2 metselwerk	staalfundering	1933	hout
6	Odijkerweg 82	¹⁾	1 betonbouw	staalfundering	1920 ²⁾	beton
7	Stationsweg 3	Kantoor	1 betonbouw	staalfundering	2003	beton
8	Stationsweg 11, 13, 15	Kantoor	1 betonbouw	paalfundering	1986	beton

Tabel 6: Samenvatting inventarisatie bebouwing (alleen mogelijk trillingsgevoelige bebouwing)

- 1) Volgens opgave van de Gemeente Zeist is de bestemming spoorwegdoeleinden.
- 2) Volgens de inventarisatie dateert het pand uit 1920. De huidige bebouwing is echter duidelijk van latere datum, en is naar verwachting omstreeks 1990 gebouwd.

Doelstelling van het meetprogramma was om aan en in de genoemde panden trillingsmetingen uit te voeren. Enerzijds als een nulmeting ter vastlegging van de huidige situatie en anderzijds om de respons in de bebouwing op verkeerstrillingen te kunnen bepalen ten behoeve van een betere predictie van de toekomstige trillingsniveaus.

Uiteindelijk zijn de metingen uitgevoerd aan 6 panden.

Voor het pand Odijkerweg 30 (object 5) kon de betredingstoestemming niet geregeld worden, aangezien de eigenaren/bewoners niet binnen de daarvoor beschikbare tijd bereikt konden worden. Daarom is aan dit pand geen meting uitgevoerd. Het ontbreken van meetdata voor dit pand is in de verdere analyse ondervangen door de meetkarakteristieken van een vergelijkbaar pand (object 1, Tiendweg 1F) ook voor dit niet bemeten pand te hanteren. De beide panden zijn vergelijkbaar omdat beide op staal zijn gefundeerd, uit metselwerk zijn opgetrokken en van houten vloeren zijn voorzien. Hierdoor is de respons op trillingen vergelijkbaar.

Aan het pand aan de Stationsweg 3 (object 7) was het niet mogelijk een representatieve trillingsmeting uit te voeren aan de fundatie. Op basis hiervan is in het veld besloten om aan dit pand geen trillingsmetingen uit te voeren. Overigens is het uitgangspunt thans dat dit object in het kader van het voorliggende plan wordt geamoveerd, waardoor de noodzaak van prognoses voor dit pand is komen te vervallen.

4.2.6 VELDONDERZOEK

Algemeen

De trillingsmetingen in het veld en de primaire dataverwerking van de onderzoeksgegevens zijn zowel voor het voorgaande als voor het aanvullende trillingenonderzoek uitgevoerd door Fugro Geo Services B.V. De aanvullende veldmetingen zijn uitgevoerd op 29 maart 2012 en 3 april 2012. De verwerkte

onderzoeksresultaten van het aanvullende onderzoek zijn in bijlage 3 van deze rapportage weergegeven. Om de trillingen die de treinen in de grond veroorzaken, te kunnen meten, is gebruik gemaakt van versnellingsopnemers en van geofoons. Met de versnellingsopnemers wordt de versnelling en de frequentie van de trilling continu en gedurende 30 seconde hoogfrequent gemeten en opgeslagen. Op basis van deze beide parameters kan de trillingssnelheid worden bepaald. De geofoons meten direct een snelheid en een frequentie echter enkel de piekwaarde wordt steeds opgeslagen.

Gekozen is om metingen waar mogelijk uit te voeren met versnellingsopnemers.

Opzet onderzoek maart 2011

Op 24 maart 2011 zijn er op twee locaties te Driebergen Rijssenburg trillingsmetingen op maaiveld uitgevoerd. Voor toelichting op de opzet van het onderzoek wordt verwezen naar de voorgaande rapportage.

Opzet aanvullend onderzoek maart/april 2012

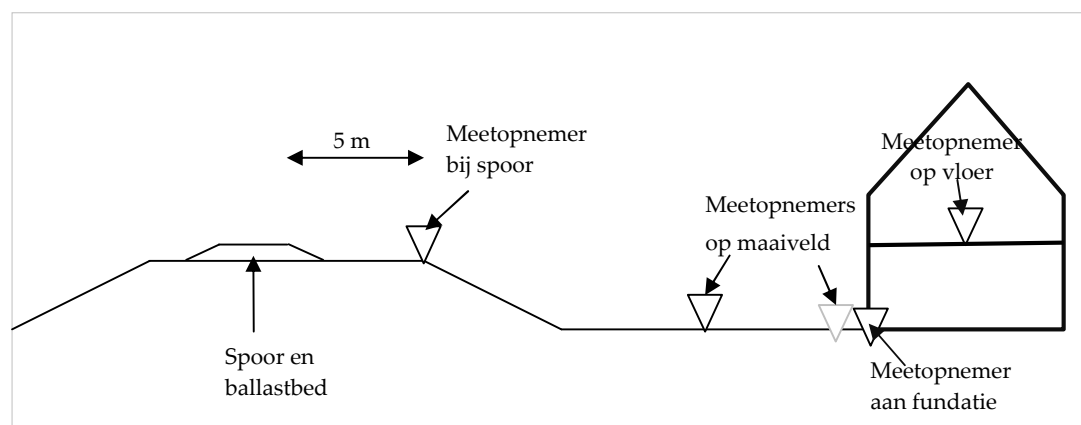
Het doel van de aanvullende metingen is een beter inzicht te verkrijgen in:

- De mate van geometrische demping van de trillingen (veroorzaakt door de treinen) buiten het spoor.
- Het verkrijgen van inzicht in de overdracht van de trilling van de bodem naar de bebouwing en de trillingsoverdracht in de bebouwing, in de omgeving van de sporen.

Voor elk doel is de correlatie bepaald, namelijk:

1. De geometrische demping van de grond door te meten op enige afstand van de trillingsbron.
2. De overdracht van de trillingen van de grond naar het gebouw en in het gebouw.

Om dit doel te bereiken is per pand een meetraai ingericht haaks op het spoor. In elke meetraai is een aantal meetopnemers op maaiveld geplaatst, tussen de trillingsbron (trein) en de bebouwing, met één opnemer dicht bij de woning. Bovendien is een meetopnemer aan of direct boven de fundering bevestigd om zo de overdracht van de trilling naar de fundering te registreren. Tenslotte is een opnemer midden op de verdiepingvloer binnen in de bebouwing geplaatst. Door een meetopnemer midden op de vloer te plaatsen kan beoordeeld worden voor 'Hinder voor personen in gebouwen'. In onderstaande figuur 1 is een schematisatie van de meetopstelling weergegeven.



Figuur 1: Schematisatie meetopstelling

Op basis van de bovengenoemde wijze wordt zowel inzicht verkregen in de demping van de trilling in de grond als van de overdracht van de trilling naar de fundatie en de vloer van de bebouwing. Voor deze meetopstelling geldt dat er voldoende vrije ruimte beschikbaar dient te zijn om de meetopstelling te plaatsen. Op vier locaties is de gehele meetopstelling ingericht, namelijk de volgende:

- Km 45.0 noordzijde:
 - Tiendweg 1F (gemeente Zeist).
- Km 46.05 – km 46.5 noordzijde:
 - Kwekerijweg nummer 6 en 8 (gemeente Zeist).
 - Princenhofpark 1-27 bouwdeel C (gemeente Utrechtse Heuvelrug).
- Km 46.1 – km 46.5 zuidzijde:
 - Odijkerweg 82 (gemeente Zeist).

Op deze locaties zijn voldoende data verzameld om een betrouwbare inschatting te maken van de voortplanting van de trillingen in de grond. Op de locaties waar door ruimte gebrek een uitgebreide meting met een aantal opnemers op maaiveld op verschillende afstanden tot het spoor niet kon plaatsvinden, zijn losse meetopnemers geplaatst in en aan de bebouwing. Op deze wijze is voor die gebouwen een goede inschatting van de overdracht van de trilling in de grond naar de fundering en van de fundering naar de vloer gemaakt. Het betreft hier de volgende gebouwen:

- Km 46.05 – km 46.5 noordzijde:
 - Kwekerijweg 2a, 2b en 2c (gemeente Zeist).
- Km 46.1 – km 46.5 zuidzijde:
 - Stationsweg 11, 13 en 15 (gemeente Utrechtse Heuvelrug).

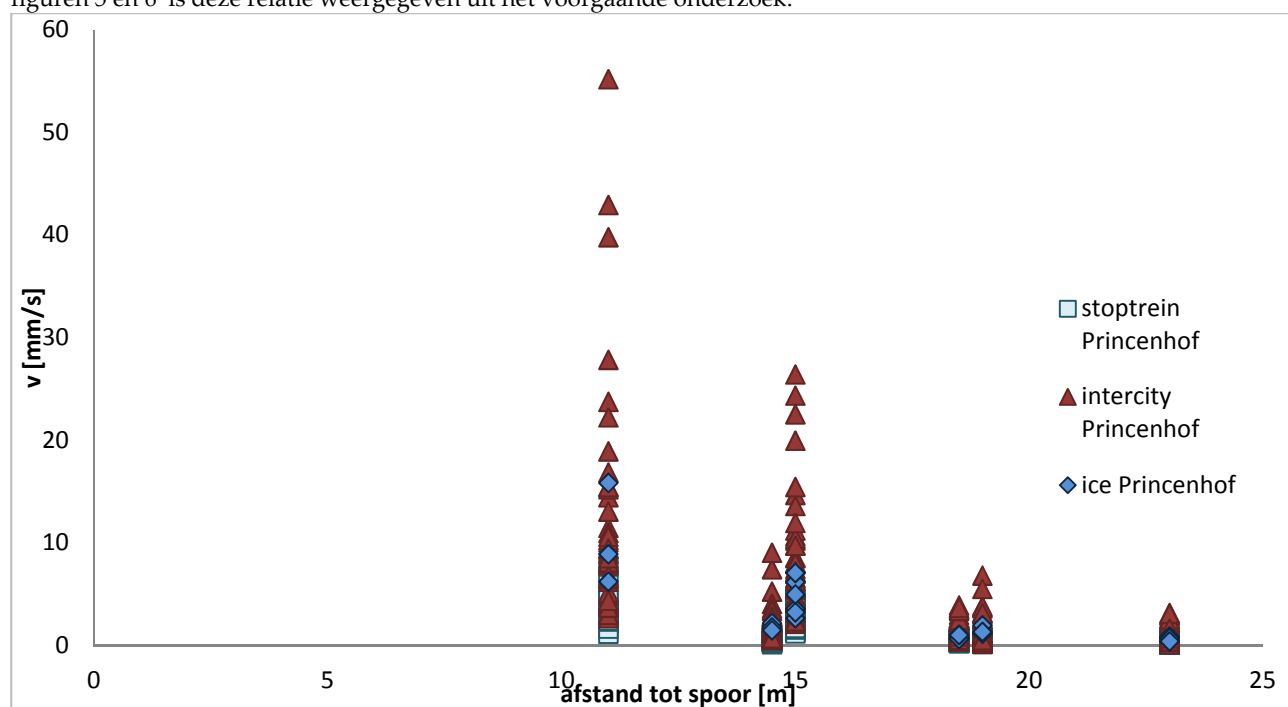
5

Interpretatie Trillingenonderzoek huidige situatie

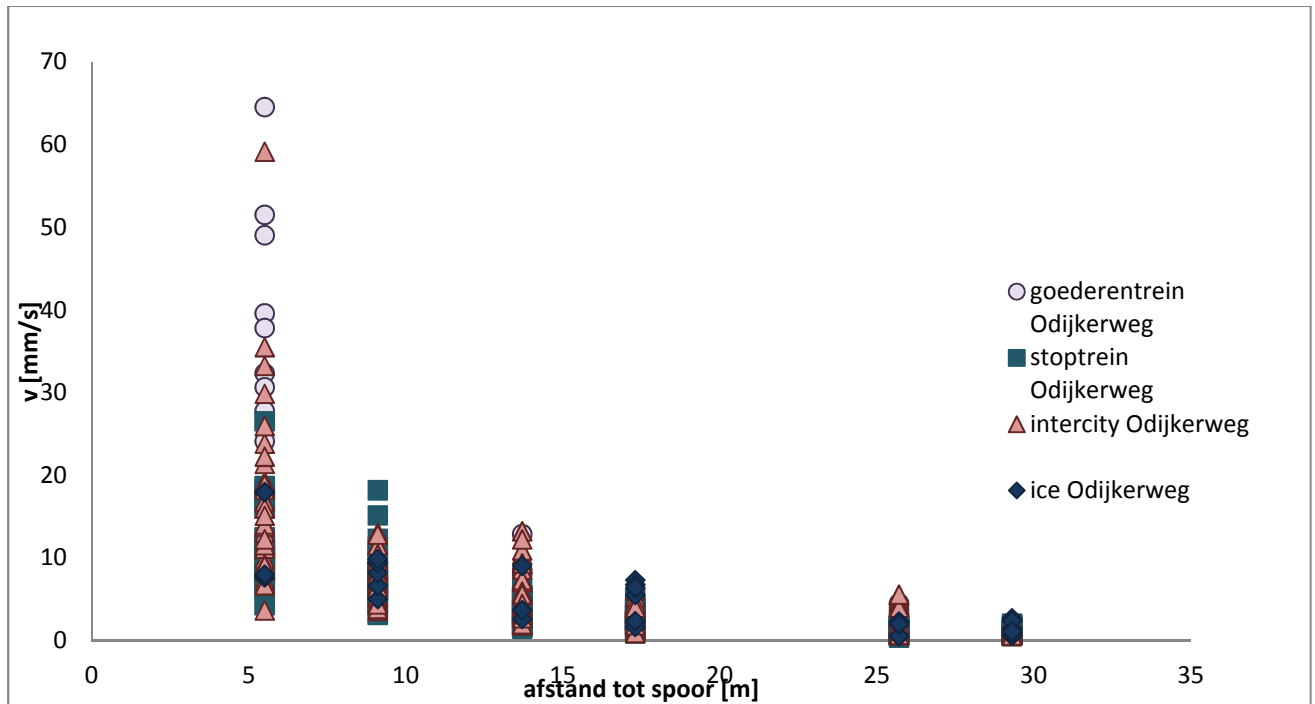
5.1 ALGEMEEN

In het voorgaande hoofdstuk is de aanpak en opzet van het veldonderzoek beschreven. Door middel van dit onderzoek zijn meetdata verkregen. Hiermee worden de uitgangspunten zoals de trein (of wel de trillingsbron), het effect van de bodemopbouw op de geometrische demping en de overgang van de trilling naar de bebouwing vastgesteld.

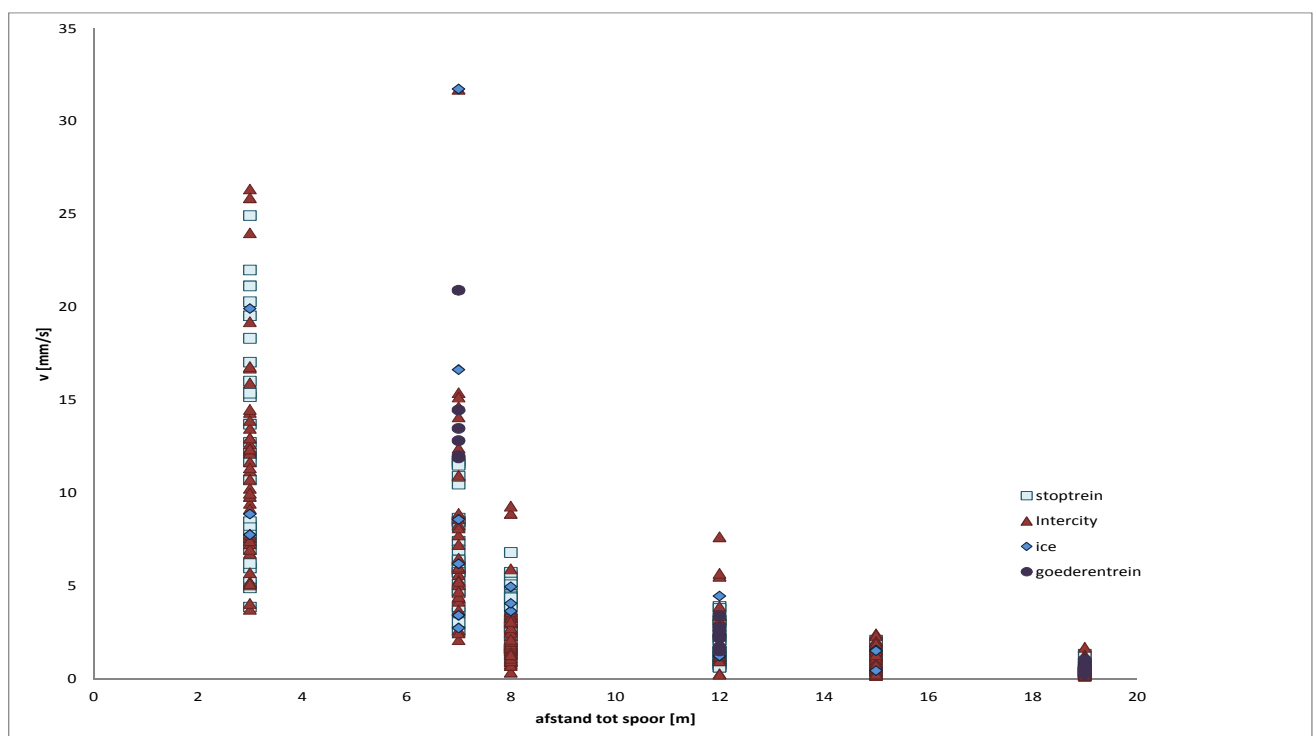
Op iedere meetlocatie zijn meerdere meetopnemers geplaatst. Afhankelijk van de situatie zijn er drie tot vijf meetopnemers geplaatst. Per meetopnemer is er in drie richtingen gemeten, (X, Y en Z). Op basis van deze resultaten is er per meetopnemer een gemiddelde waarde bepaald voor de trillingssnelheid en een maximale trillingssnelheid. De maximale trillingssnelheid is gebaseerd op een 95% verwachtingswaarde (conform SBR-richtlijn trillingen deel B, Hinder voor personen in gebouwen) die is bepaald op basis van de gemiddelde trillingssnelheid. Dit houdt in dat er per passerende trein een kans van 95% is dat de aangehouden hindergrens niet wordt overschreden. De meetgegevens en een toelichting hierop zijn opgenomen in bijlage 3 van deze rapportage. Een samenvatting van de verkregen meetdata is weergegeven in de figuren 2 t/m 4 voor het verloop van de trillingsintensiteit tegen de afstand in de ondergrond. In de figuren 5 en 6 is deze relatie weergegeven uit het voorgaande onderzoek.



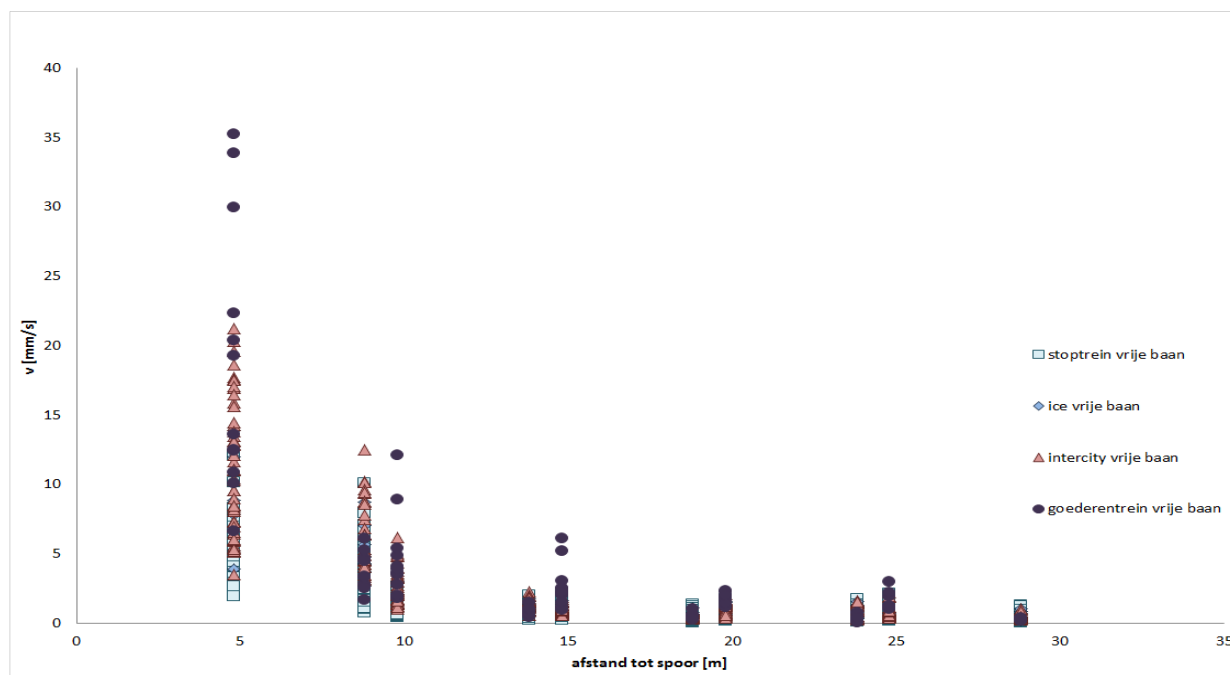
Figuur 2: Meetdata rond station Driebergen- locatie Princenhof



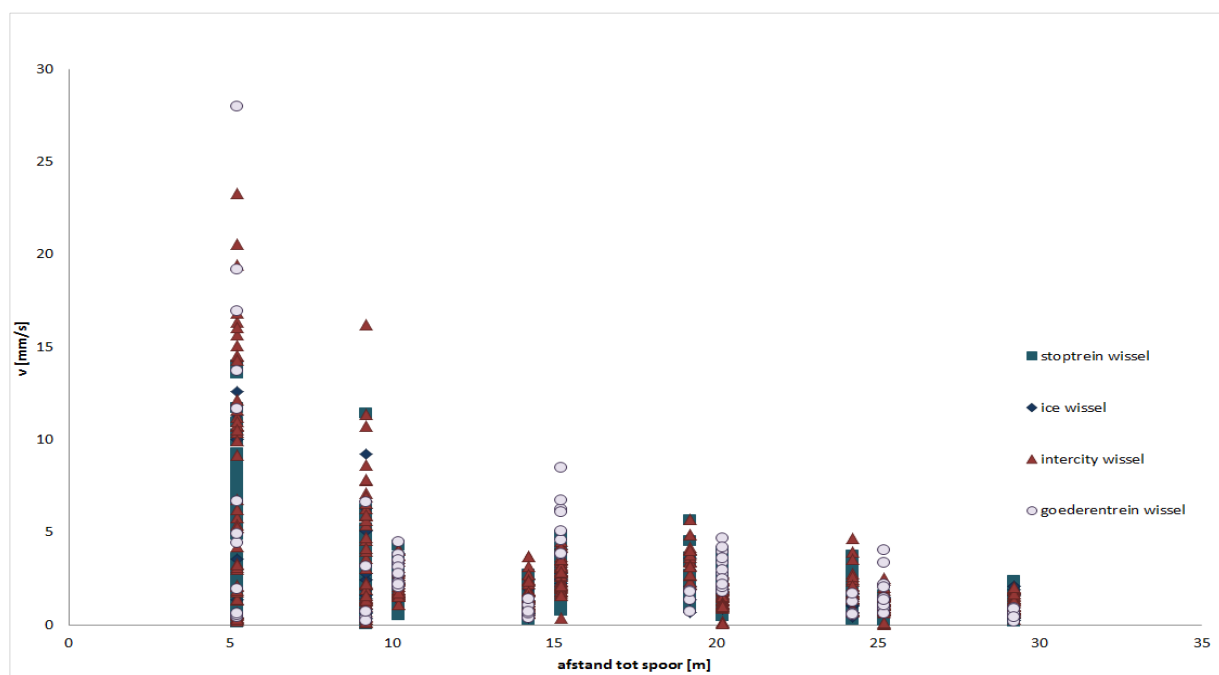
Figuur 3: Meetdata rond station Driebergen- locatie Odijkerweg



Figuur 4: Meetdata locatie Tiendweg



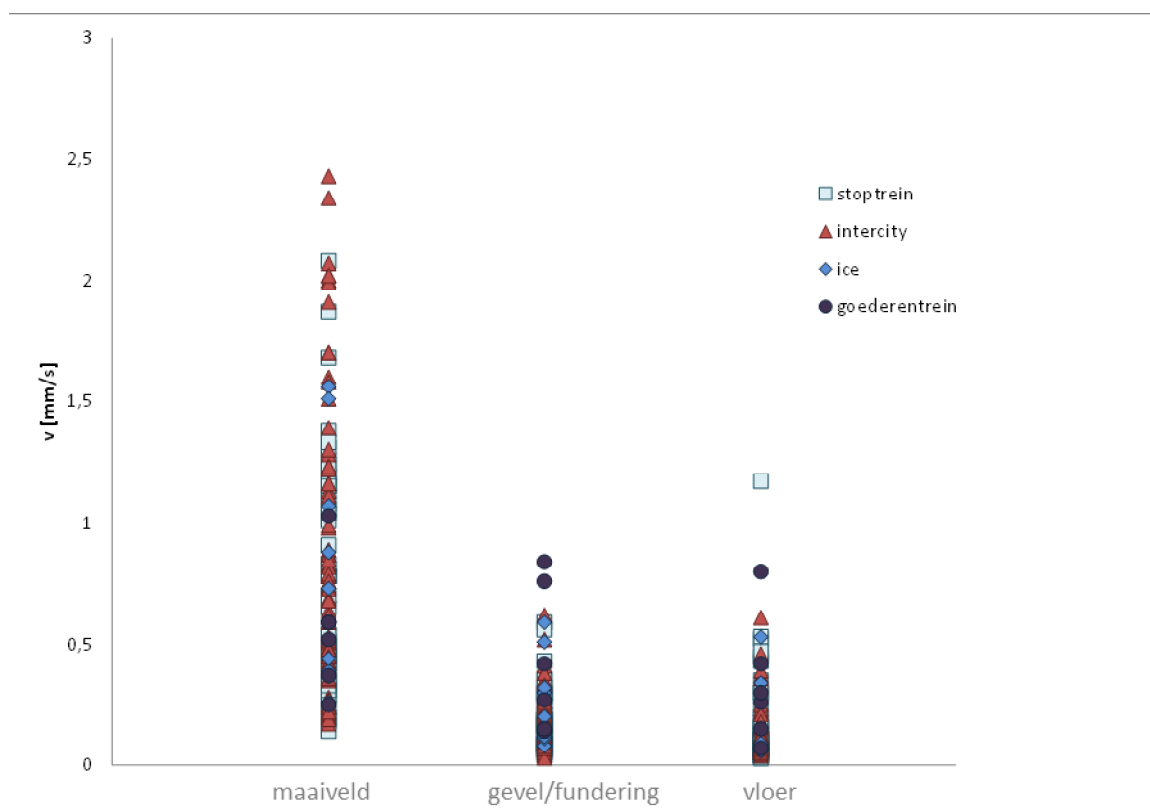
Figuur 5: Meetdata voorgaande onderzoek nabij station Driebergen Zeist vrije baan



Figuur 6: Meetdata voorgaande onderzoek nabij station Driebergen Zeist wissel

Uit de relaties tussen de trillingsintensiteit en de afstand tot het spoor blijkt duidelijk de dempende werking van de grond. Ook is te zien dat de trillingen van een trein rijdend door een wissel minder sterk uitdempjen dan de trillingen veroorzaakt door een trein rijdend op een vrije baan (figuren 5 en 6).

In de figuren 7 en 8 wordt het effect weergegeven van de overgang van trillingen vanuit de ondergrond naar en in bebouwing. Hiertoef zijn voor alle meetlocaties, per gebouw en treinpassage, de gelijktijdig gemeten



Figuur 8: Damping en opslingering van de trilling in de bebouwing aan de Tiendweg

Op basis van de bovenstaande meetgegevens zijn met behulp van de vergelijking van Barkan (voor een toelichting, zie bijlage 1) de dempingsconstanten en de bronwaarden bepaald van de trillingen in de grond. Een toelichting hierop volgt in paragraaf 5.2 en 5.3.

Om het type bebouwing en fundering in rekening te brengen zijn overdrachtsfuncties tussen grond-fundering en fundering-gebouw op basis van de methodiek in CUR 166 bepaald. In paragraaf 5.4 wordt hier nader op in gegaan.

5.2 BRONBELASTING

Door het passeren van de trein ontstaan trillingen in de grond. Wanneer de trein wordt geschematiseerd als een stilstaande trillingsbron buiten het spoor kan de Barkan curve (zie bijlage 1) worden toegepast voor het schatten van de relatie tussen de trillingsintensiteit in de grond en de afstand tot het spoor.

De initiële trillingsbron (een passerende trein) is gemeten met het uitgevoerde trillingsonderzoek zie bijlage 3. Met behulp van een statistische bewerking zijn de 95% verwachtingswaarden bepaald conform SBR-richtlijn Trillingen deel B. Op basis van deze waarde is conform de SBR-richtlijn Trillingen deel B de $v_{eff,max}$ bepaald voor elke meetopnemer. Hierin wordt de $v_{eff,max}$ gezien als de representatieve bronwaarde van de trillingsnelheid op een bepaalde afstand van het spoor. De representatieve waarde van de $v_{eff,max}$ die is terug gerekend naar een afstand van 5 m van het spoor. Deze waarde wordt de bronwaarde genoemd.

Op basis van het trillingsonderzoek uit maart 2011 zijn de volgende bronwaarden bepaald, zie tabel 7.

Locatie	$V_{eff,max}$ [-]
Km 46.7 Wissel	14,2
Km 46.8 Vrije baan	12,4

Tabel 7: Representatieve bronwaarden van de trillingssnelheid uit trillingsmetingen van maart 2011

Uit de resultaten die in tabel 7 zijn gepresenteerd, blijkt duidelijk dat het rijden van een trein door een wissel de trillingsintensiteit in deze situatie circa 15% vergroot.

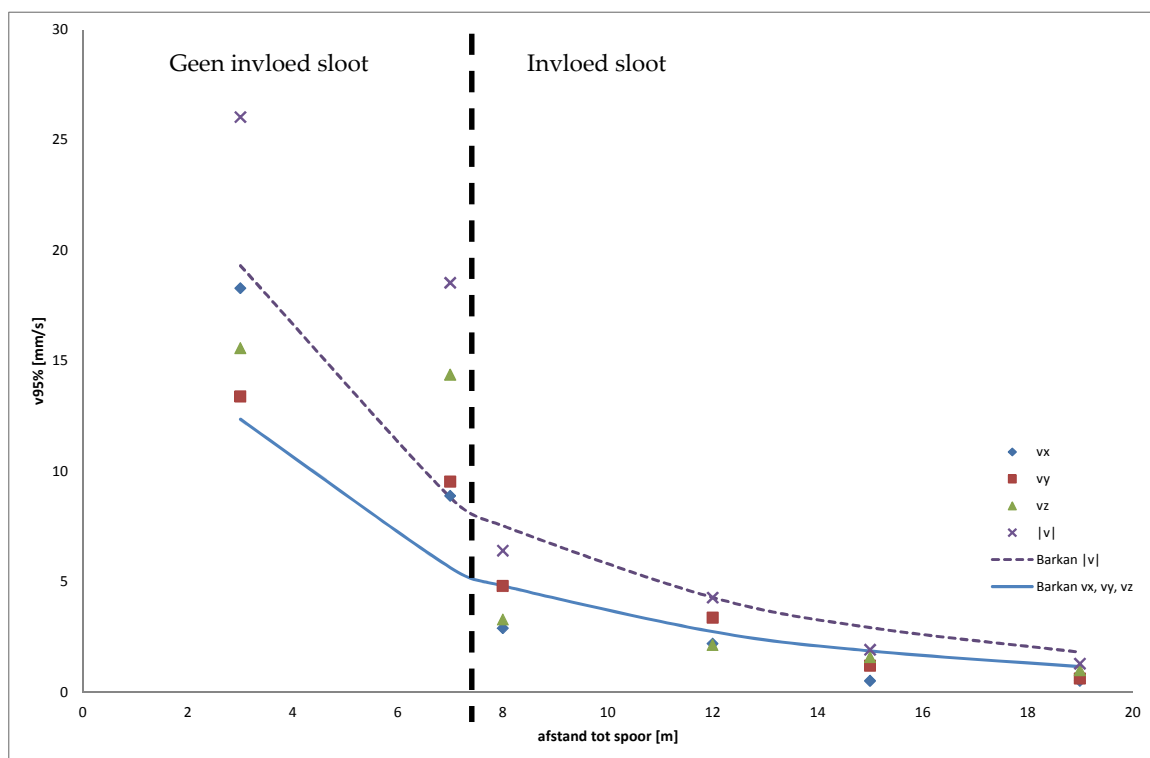
Op basis van het trillingen onderzoek van maart 2011 en maart/april 2012 tezamen kunnen de volgende bronwaarden worden bepaald, zie tabel 8 voor de bronwaarde rond station Driebergen Zeist en voor de meetlocatie aan de Tiendweg.

Locatie	$V_{eff,max}$ [-]
Tiendweg	3,4
Station Driebergen Zeist	12,6

Tabel 8: Representatieve bronwaarden van de trillingssnelheid uit trillingsmetingen maart /april 2012

De bronwaarden uit de metingen rond station Driebergen Zeist komen overeen met de eerder gevonden waarden voor de vrije baan in dit gebied. Daarentegen zijn de bronwaarden voor de locatie aan de Tiendweg een factor 3,5 lager dan die rond station Driebergen Zeist.

De oorzaak van dit grote verschil zit voornamelijk in de fit van de Barkan curve. Op de locatie aan de Tiendweg is langs het spoor een sloot gelegen op circa 8 m vanuit het spoor. Uit de metingen blijkt duidelijk het sterk dempende effect van de trillingen bij het passeren van de sloot. Samen met de verschillen in de grondopbouw en eventuele andere invloedsfactoren uit de omgeving maakt dit dat de Barkan curve moeilijk te fitten is op de gehele data set. Daarom is er voor gekozen de Barkan curve alleen te fitten op de data die verder dan 8 m van het spoor is gelegen, dus alleen op basis van de metingen in het gebied tussen de sloot en de bebouwing. Het resultaat hiervan is dat de bronwaarde lager is komen te liggen dan in eerste instantie verwacht zou worden, zie figuur 9.



Figuur 9, Fit Barkan curve op 95%-waarden van de meetresultaten aan de Tiendweg

5.3 MATERIAALDEMPINGSCONSTANTE

Door het verspreiden van de trillingen (zie bijlage 1) in de ondergrond en door de reflectie van de golven op de verschillende grondlagen ontstaat een demping van trilling naast de geometrische demping. Deze demping wordt gerepresenteerd in de materiaaldempingsconstante.

De materiaaldempingsconstanten van de grond zijn, op basis van het uitgevoerde trillingsonderzoek, per locatie bepaald. De dempingsconstante kan variëren tussen de 0,00 en de 0,14. Uit ervaring blijkt dat dit laatste een relatief grote waarde is voor de demping van verkeerstrillingen in de grond.

Er is een representatieve dempingconstante bepaald op basis van het trillingen onderzoek uit maart 2011 voor alle passerende treinen in de huidige situatie. Deze representatieve dempingsconstanten zijn weergegeven in tabel 9.

locatie	Demping [-]
Km 46.75 Wissel	0,04
Km 46.95 Vrije baan	0,07

Tabel 9: Dempingsconstanten op basis van onderzoek maart 2011

Uit de berekenende dempingsconstanten blijkt, dat de trillingen die veroorzaakt worden door het doorrijden van een wissel minder sterk door de ondergrond worden gedempt dan de trillingen die veroorzaakt worden door een trein op een vrije baan.

Een oorzaak hiervan kan zijn dat de trillingen veroorzaakt bij het doorrijden van het wissel gemiddeld genomen een 10% lagere frequentie hebben dan de trillingen veroorzaakt door het rijden van een trein op de vrije baan.

Op basis van de meetdata verkregen bij de metingen van maart/april 2012 zijn de volgende dempingsconstanten bepaald voor de situatie aan de Tiendweg en voor de situatie rondom station Driebergen Zeist. In tabel 10 is hiervan voor de huidige situatie een samenvatting gegeven.

locatie	Demping [-]
Tiendweg	0,09
Station Driebergen Zeist	0,07

Tabel 10: Dempingsconstanten op basis van onderzoek van maart/april 2012

De meetlocaties rond station Driebergen Zeist geven een vergelijkbare dempingsconstante als de bestaande metingen. Echter valt op dat aan de Tiendweg de demping van de trilling iets groter is. Aan de Tiendweg is de grondopbouw enigszins afwijkend van het gebied rond station Driebergen Zeist en wordt tevens door de invloed van de sloot een grotere demping van de trilling gevonden die grotendeels al is verdisconteerd in de bronwaarde van de trilling, zie §5.2. Deze beide effecten hebben samen tot gevolg dat de demping van de trilling op de locatie aan de Tiendweg groter is dan die rond om station Driebergen Zeist.

5.4 OVERDRACHTSFUNCTIES GROND NAAR VLOER

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

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

Aan de hand van de trillingsmetingen van maart/april 2012 is een bepaling gemaakt van de beide bovengenoemde factoren voor de meetobjecten. In tabel 11 is een samenvatting hiervan gegeven.

Locatie	C_{xf} [-]	C_{fc} [-]	$C_{xf} * C_{fc}$ [-]
Tiendweg 1F	0,8	1,2	0,9
Kwekerijweg 6 en 8	1,0	0,5	0,5
Kwekerijweg 2a, 2b, 2c	0,8	0,9	0,7
Odijkerweg 82	0,4	1,4	0,6
Princenhof 1-27	0,4	1,4	0,6
Stationsweg 1, 13, 15	0,9	0,9	0,8

Tabel 11: Overdrachtsfactoren van bodem naar bebouwing

Uit de metingen blijkt dat de overdrachtsfactoren voor de kantoren rond station Driebergen Zeist over het algemeen lager zijn dan voor de bebouwing aan de Tiendweg. Een verklaring hiervoor is dat de bebouwing aan de Tiendweg bestaat uit een metselwerk constructie met een houten vloer. De kantoorpanden daarentegen zijn betonconstructies met betonnen vloeren. Deze zijn over het algemeen minder gevoelig voor trillingen dan een constructie van metselwerk.

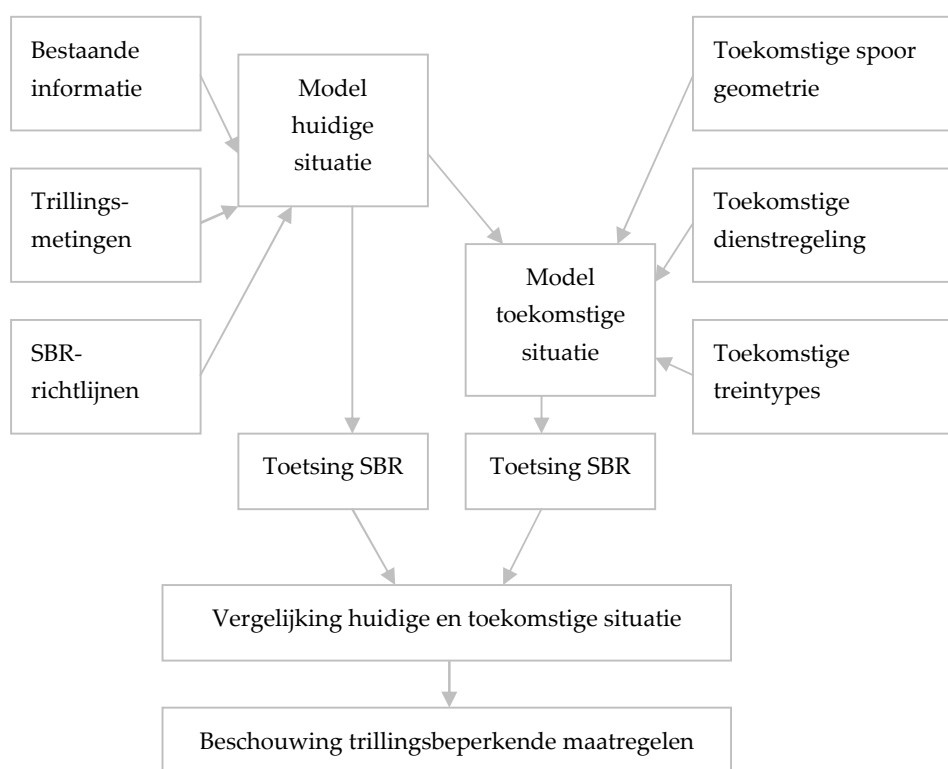
6

Trillingenpredictie

6.1 TOELICHTING PREDICTIE

Een trillingspredictie bestaat uit verschillende onderdelen. Als eerste is het van belang de uitgangspunten in de huidige en toekomstige situatie te verzamelen. Dit betreft in de dienstregeling, de ligging van de sporen en de type treinen.

Daarna worden modellen van de huidige en toekomstige situatie worden gemaakt. De modeluitkomsten worden getoetst aan de 'SBR-richtlijnen Trillingen' en met elkaar worden vergeleken (huidige situatie versus de toekomstige). Uiteindelijk wordt bepaald of en waar er eventuele trillingsbeperkende maatregelen benodigd zijn. Een samenvatting van het bovengenoemde is schematisch toegelicht in figuur 10.



Figuur 10: Schematisatie trillingsprognose

In de onderstaande paragrafen wordt nader in gegaan op het modelleren van de trillingenpredictie.

6.2 AANPAK PREDICTIE

Voor de trillingenpredictie is in beginsel gekozen voor de toepassing van de Barkancurve. Een trillingenpredictie op basis van de Barkan curve is goed toepasbaar voor situaties die weinig veranderen, zoals bij de aanleg van een wissel, het verplaatsen van de sporen, het veranderen van de dienstregeling of het verwijderen van de goederentreinen op een spoor gedeelte.

Een dergelijke trillingenpredictie is goed toepasbaar bij de locatie aan Tiendweg en aan de westzijde van station Driebergen Zeist, waar geen betonconstructie wordt aangelegd. Voor de predictie op deze locaties met de Barkan curve zijn de volgende stappen ondernomen:

- De bronwaarde van de trilling v_0 is bepaald zonder de goederentreinen voor zes situaties:
 - Vrije baan aan de zuidzijde van de baan nabij station Driebergen Zeist
 - Vrije baan aan de noordzijde van de baan nabij station Driebergen Zeist
 - Vrije baan bij de locatie Tiendweg
 - Wissel aan de westzijde van station Driebergen Zeist
 - Wissel aan de oostzijde van station Driebergen Zeist
 - Wissel nabij de Tiendweg
- De demping van de trilling α is bepaald zonder de goederentreinen voor de bovenstaande zes locaties. De reden hiervoor is dat in de predictie geen goederentreinen meer worden beschouwd en uit data-analyse blijkt dat voor goederentreinen een andere demping α wordt bepaald dan voor reizigerstreinen.
- Op de locaties waar wissels in de toekomstige situatie worden aangelegd is een lineaire extrapolatie gemaakt voor de bronwaarde v_0 en de demping α .

Voor de situatie aan de oostzijde van station Driebergen Zeist is gekozen voor de toepassing van een Plaxis 2D-model omdat de Barkan curve niet toepasbaar is. In de situatie rondom het station zal namelijk naast het aanleggen van een extra spoor met de daarvoor benodigde wissels ook een betonnen constructie worden aangelegd onder de sporen in de grond. Deze constructie zal een lengte krijgen van om en nabij 160 m. In de constructie zal een fietsenstalling, de faciliteiten van een stationsgebouw en een onderdoorgang van de weg worden aangelegd. Hierdoor zal er niet alleen bij de bron een verandering optreden, ook een gedeelte van de grond zal worden verwijderd en door een betonconstructie worden vervangen. Hiervoor is de Barkan curve niet toepasbaar en is voor het Plaxis-model gekozen dat de mogelijkheid biedt ook de opbouw van de grond op te nemen in de predictie.

6.3 EMPIRISCH MODEL VOOR DE GROND

6.3.1 TOEKOMSTIGE BRONBELASTING

Voor het bepalen van de toekomstige bronwaarden is de meetdata nogmaals verwerkt tot een 95%-waarde zoals is aangegeven in hoofdstuk 5, echter nu zijn de goederentreinen verwijderd uit de meetdata, omdat deze niet meer zullen rijden in de toekomstige situatie. Voor de bronwaarde van de wissels nabij de locatie aan de Tiendweg is gebruik gemaakt van een lineaire extrapolatie van de bronwaarden voor de vrije baan. Een samenvatting van de resultaten is weergegeven in tabellen 12 en 13.

Locatie	$V_{eff,max}$ [-]
Wissel oostzijde	16,1
Wissel westzijde	14,3
Vrijebaan noordzijde	8,7
Vrije baan zuidzijde	10,8

Tabel 12: Inschatting representatieve bronwaarde van de trillingssnelheid nabij station Driebergen Zeist

Locatie	$V_{eff,max}$ [-]
Wissel	5,1
Vrije baan	3,4

Tabel 13: Inschatting representatieve bronwaarde van de trillingssnelheid Tiendweg

6.3.2 INSCHATTING MATERIAALDEMPINGSCONSTANTE TOEKOMSTIGE SITUATIE

Bij het bepalen van de nieuwe bronwaarden voor de toekomstige situatie blijkt dat, bij het verwijderen van de goederentreinen uit de meetdata de dempingsconstante hoger wordt. Een verklaring hiervoor wordt gezocht in de volgende redenen:

- De personen treinen zijn lichter en minder lang dan de goederen treinen
- De personen treinen hebben gemiddeld genomen een hogere trillingsfrequentie dan de goederen treinen

De dempingsconstanten voor de toekomstige situatie zijn weergegeven in tabel 14 voor de situatie rondom station Driebergen Zeist en in tabel 15 voor de situatie aan de Tiendweg.

Locatie	Demping [-]
Wissel oostzijde	0,06
Wissel westzijde	0,075
Vrije baan noordzijde	0,09
Vrije baan zuidzijde	0,075

Tabel 14: Inschatting van de demping van de trillingen ter plaatse van een wissel (station Driebergen Zeist)

Locatie	Demping [-]
Wissel	0,065
Vrije baan	0,08

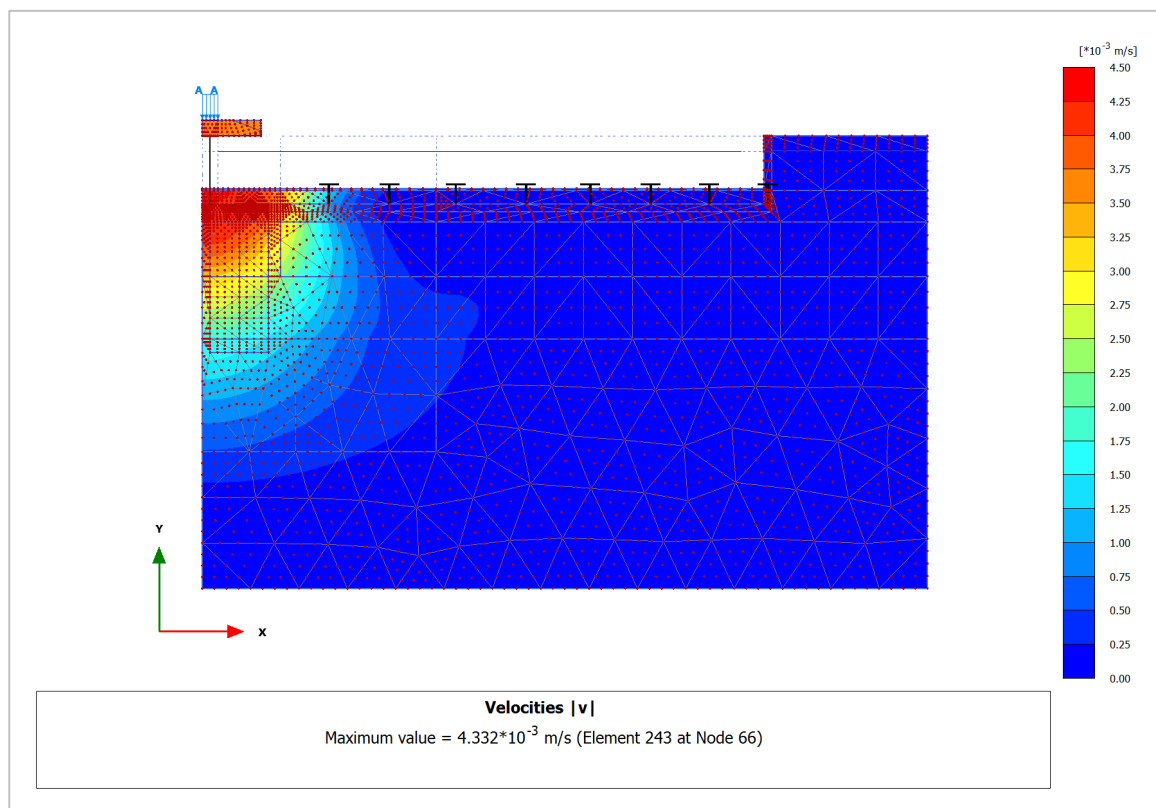
Tabel 15: Inschatting van de demping van de trillingen ter plaatse van een wissel (Tiendweg)

6.4 EEM MODEL

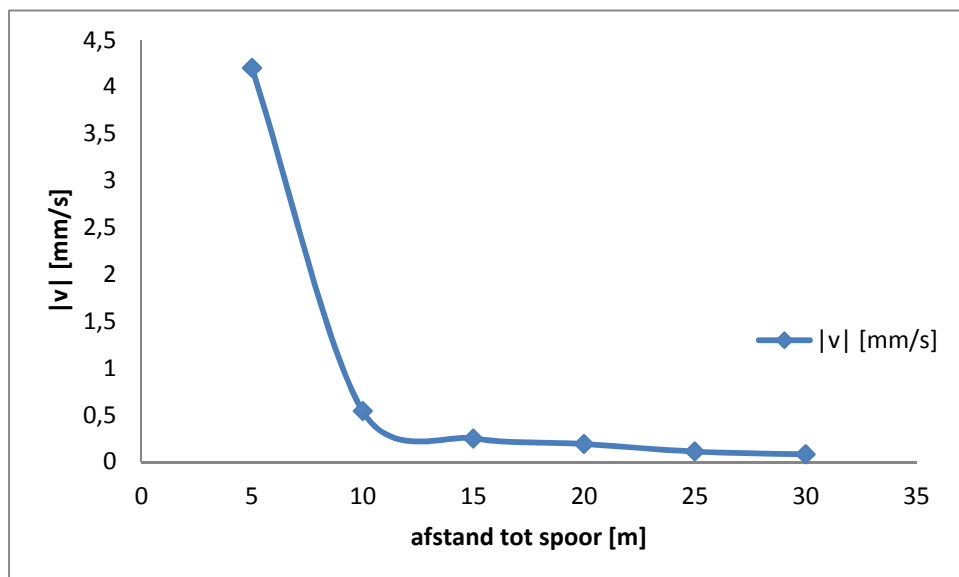
Het eindige elementenprogramma Plaxis 2D wordt in de geotechniek veel gebruikt voor het berekenen van geotechnische constructies. Met behulp van de dynamische module van Plaxis kan ook het effect van een trilling worden gemodelleerd.

Voor de modelering van de trillingen rond het toekomstige kunstwerk ten behoeve van station Driebergen Zeist is gebruik gemaakt van Plaxis 2D. Hierbij zijn twee modellen gebouwd. In het eerste model is een intercity trein in de huidige situatie gemodelleerd. Dit model is gefit op de verkregen meetgegevens (exclusies de goederentreinen) om zo de betrouwbaarheid van het model te vergroten.

Vervolgens is een tweede model gebouwd. In dit model zijn de uitgangspunten van de grond gelijk gebleven alleen is de toekomstige constructie van station Driebergen Zeist er aan toegevoegd. Met dit model is vervolgens het verloop van de trillingsintensiteit over de afstand in de toekomstige situatie geschat. In de figuren 11 en 12 is het resultaat van de modelering weergegeven.



Figuur 11: Trillingsintensiteit $|v|$ bepaald ten opzichte van de afstand in de toekomstige situatie



Figuur 12: Verloop maximale trillingsintensiteit $|v|$ tegen de afstand (Axisymetrische Plaxis berekening)

Op basis van figuren 11 en 12 is de trillingsintensiteit ter plaatse van de gebouwen rond het station Driebergen Zeist geschat en weergegeven in tabel 16.

Locatie	Afstand tot spoor [m]	$V_{eff,max}$ [-]
Princenhofpark 1-27	15	0,25
Stationsweg 3	20	0,18

Tabel 16: Inschatting trillingsintensiteit rondstadion Driebergen Zeist

Voor een technische onderbouwing van de modellen wordt verwezen naar bijlage 1.

6.5 OVERDRACHTSFUNCTIES GROND NAAR VLOER

Om de overdrachtsfactoren van de trilling in de grond naar de fundering van de gebouwen en de vloeren te bepalen is de meetdata opnieuw uitgewerkt als in hoofdstuk 5, echter nu zonder de goederentreinen. De trillingen van de goederentreinen hebben over het algemeen een lagere frequentie dan de personen treinen waardoor de dempende werking van de gebouwen op de trillingen minder kan zijn. In de toekomstige situatie waar geen goederentreinen meer zullen rijden, kunnen dus gelijke of lagere overdrachtsfactoren worden mee genomen in de predictie.

In tabel 17 zijn de overdrachtsfactoren voor de toekomstige situatie weergegeven.

Locatie	C_{xf} [-]	C_{fc} [-]	$C_{xf} * C_{fc}$ [-]
Tiendweg 1F	0,5	1,2	0,6
Kwekerij 6-8	1,0	0,5	0,5
Kwekerij 2a-2c	0,8	0,9	0,7
Odijkerweg 82	0,3	1,4	0,5
Princenhof 1-27	0,4	1,4	0,6
Stationsweg 11-15	0,9	0,9	0,8

Tabel 17: Overdrachtsfactoren van bodem naar bebouwing (toekomstige situatie)

7

Beoordeling Trillingen

7.1 TOETSING CONFORM SBR-RICHTLIJN TRILLINGEN DEEL B

Bij de beoordeling van de trillingen gaat de SBR-richtlijn Trillingen deel B Hinder voor personen in gebouwen er van uit dat eerst de huidige situatie wordt getoetst aan de richtlijn en op basis van het resultaat hiervan kan de toekomstige situatie worden getoetst. Hierbij wordt het volgende schema gevolgd, zie figuur 13. Voor meer informatie betreffende de toetsing conform SBR-richtlijn trillingen deel B Hinder voor personen in gebouwen wordt verwezen naar bijlage 2.



Figuur 13: Schematisatie toetsing trillingen conform SBR-richtlijn Trillingen deel B

7.2 HUIDIGE SITUATIE

Op basis van de uitgevoerde trillingsmetingen kunnen de 8 aangewezen panden in de huidige situatie worden getoetst aan de SBR-richtlijn trillingen deel B Hinder voor personen in gebouwen. In de huidige situatie wordt er getoetst aan de streefwaarden voor een bestaande situatie, zie tabel 18. Voor een nadere toelichting op de toetsing wordt verwezen naar bijlage 2.

Gebouwfunctie	dag en avond			nacht		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
gezondheidszorg	0,2	0,8	0,1	0,2	0,4	0,1
Wonen	0,2	0,8	0,1	0,2	0,4	0,1
Onderwijs en kantoor	0,3	1,2	0,15	0,3	1,2	0,15

Tabel 18: Streefwaarden voor herhaald voorkomende trillingen in bestaande situaties

Het pand Kwekerijweg 6-8 heeft de bestemming industrie. Voor deze gebruiksfunctie voorziet de SBR niet in streefwaarden. Omdat in het pand ook kantoorruimten aanwezig zijn, wordt voor dit pand de streefwaarden behorende bij de functie kantoor als toetsingskader gehanteerd.

Het pand Odijkerweg 82 is een onderstation van ProRail met de bestemming "spoorwegdoeleinden". Gezien de functie van het gebouw wordt dit voor de hinderbeleving verder buiten beschouwing gelaten.

Voor de beoordeling van de trillingen in de huidige situatie is waar mogelijk gebruik gemaakt van de verkregen meetdata. Voor de objecten Stationsweg 3 en Odijkerweg 30, waaraan geen metingen zijn verricht, is gebruik gemaakt van de responskarakteristieken van vergelijkbare bebouwing waaraan wel metingen zijn uitgevoerd.

In tabel 19 is een samenvatting van de toetsing weergegeven.

locatie	functie	$V_{eff,max}$	A_1	A_2		$V_{per,dag}$	$V_{per,nacht}$	A_3	
Tiendweg 1F	Wonen	0,21	0,2	0,4	A1 voldoet	0,08	0,03	0,1	Voldoet
Kwekerij 6-8	Industrie	0,33	0,3	1,2	A2 Voldoet	0,13	0,04	0,15	Voldoet
Kwekerij 2a-2c	Kantoor	0,41	0,3	1,2	A2 voldoet	0,15	0,05	0,15	Voldoet
Princenhofpark 1-27	Kantoor	0,40	0,3	1,2	A2 voldoet	0,15	0,05	0,15	Voldoet
Odijkerweg 30	Wonen	0,15	0,2	0,4	A1 voldoet	-	-	0,1	Nvt
Stationsweg 3	Kantoor	0,42	0,3	1,2	A2 voldoet	0,15	0,06	0,15	Voldoet
Stationsweg 11-15	Kantoor	0,38	0,3	1,2	A2 voldoet	0,14	0,04	0,15	Voldoet

Tabel 19: Toetsing trillingsintensiteit huidige situatie aan de SBR richtlijn deel B, bestaande situatie

7.3 TOEKOMSTIGE SITUATIE

Wanneer de huidige situatie is getoetst aan de SBR-richtlijn Trillingen deel B Hinder voor personen in gebouwen kunnen de streefwaarden worden bepaald voor de toekomstige situatie. Dit gebeurt via het schema uit figuur 13 (paragraaf 7.1).

Uit de toetsing van de huidige situatie is gebleken dat op de Odijkerweg 30 na de waarde voor A1 in de bestaande situatie wordt overschreden. Voor deze locaties zal in de toekomstige situatie voldaan moeten worden aan de toetsing voor de 'bestaande situatie' zoals deze is weergegeven in tabel 18. Voor de locatie Odijkerweg 30 wordt de huidige trillingsintensiteit aangehouden als streefwaarde. In tabel 20 is een samenvatting gegeven van de streefwaarden van de toekomstige situatie.

locatie	A ₁	A ₂	A ₃
Tiendweg 1F	0,2	0,4	0,1
Kwekerij 6-8	0,3	1,2	0,15
Kwekerij 2a-2c	0,3	1,2	0,15
Princenhofpark 1-27	0,3	1,2	0,15
Odijkerweg 30	0,15	0,3	0,08
Stationsweg 3	0,3	1,2	0,15
Stationsweg 11-15	0,3	1,2	0,15

Tabel 20: Streefwaarden trillingsintensiteit toekomstige situatie conform SBR richtlijn deel B

Op basis van de trillingspredictie uit hoofdstuk 6 zijn voor de toekomstige situatie de waarden voor $v_{eff,max}$ en de 'gemiddelde' waarde over de tijd v_{per} (zie bijlage 2) bepaald op de locatie van de bebouwing, ter beoordeling van de toekomstige trillingsintensiteit. Op basis van de spreiding in de metingen en de afstand van de verschillende sporen tot de bebouwing is voor de toekomstige situatie ingeschat dat voor de v_{per} minimaal een derde van de treinen een $v_{eff,max,30,i} \leq 0,1$ heeft ter plaatse van de bebouwing. Voor de overige treinen op basis waarvan v_{per} wordt bepaald is de $v_{eff,max}$ aangehouden in de trillingen predictie.

Onderstaand is een samenvatting gegeven van de beoordeling van de trillingen.

locatie	$v_{eff,max}$	A ₁	A ₂		$v_{per,dag}$		A ₃	
Tiendweg 1F	0,25	0,2	0,8	A2 voldoet	0,10	0,03	0,10	Voldoet
Kwekerij 6-8	0,37	0,3	1,2	A2 Voldoet	0,14	0,05	0,15	Voldoet
Kwekerij 2a-2c	0,42	0,3	1,2	A2 voldoet	0,15	0,05	0,15	Voldoet
Princenhofpark 1-27	0,42	0,3	1,2	A2 voldoet	0,15	0,05	0,15	Voldoet
Odijkerweg 30	0,23	0,15	0,3	A2 voldoet	0,08	0,03	0,08	Voldoet
Stationsweg 3	0,18	0,3	1,2	A2 voldoet	-	-	0,15	nvt
Stationsweg 11-15	0,85	0,3	1,2	A2 voldoet	0,32	0,11	0,15	Voldoet overdag niet

Tabel 21: Toetsing trillingsintensiteit huidige situatie aan de SBR richtlijn deel B, bestaande situatie

Geconcludeerd wordt dat er, ondanks dat de goederentreinen in de toekomstige situatie niet meer zullen rijden op het traject bij station Driebergen Zeist, er door het verplaatsen van de sporen en het aanleggen van wissels geen verlaging van de trillingsintensiteit optreedt.

Op één locatie wordt een overschrijding van de trillingsintensiteit in de toekomstige situatie bepaald. Dit betreft locatie Stationsweg 11-15. Hierbij wordt een toename van de $v_{eff,max}$ van circa 100% bepaald.

Aan de zuidzijde van het station zal een parkeergarage op de locatie Trooster worden gerealiseerd. Dit betekent dat de volgende objecten zullen worden geamoveerd:

- kantoorpand Stationsweg 3;
- kantoorpand Stationsweg 11-15

In de trillingspredicties is hiermee vooralsnog geen rekening gehouden. De huidige planvorming betekent dat de gepresenteerde predicties voor de beide panden thans niet meer aan de relevant zijn.

8

Conclusie en Advies

8.1 CONCLUSIE

Het voorliggende rapport is een verdiepingsslag op het onderzoeksrapport 'Stationsgebied Driebergen Zeist, planstudiefase 2B, L2.4.3-1 Rapportage Trillingen, 75546469:D1 Definitief, D01011.000421.0100, 26 oktober'. In dit rapport zijn een 8-tal locaties nader beschouwd om zo beter inzicht te geven in de trillingshinder ten gevolge van trillingen veroorzaakt door spoorverkeer nabij station Driebergen Zeist. Op basis van aanvullende trillingsmetingen en een meer verfijnd predictiemodel is een nadere analyse gemaakt van de trillingsintensiteit in de huidige en toekomstige situatie voor een 6-tal locaties. Op basis hiervan kan geconcludeerd worden dat er geen trillingshinder verwacht wordt in de volgende 5 panden na realisatie van de spoorverdubbeling en het nieuwe stationsgebouw te Driebergen Zeist:

- Tiendweg 1F (gemeente Zeist, object 1).
- Kwekerijweg nummer 6 en 8 (gemeente Zeist, object 2).
- Kwekerijweg 2a, 2b en 2c (gemeente Zeist, object 3).
- Princenhofpark 1-27 bouwdeel C (gemeente Utrechtse Heuvelrug, object 4).
- Odijkerweg 30 (gemeente Zeist, object 5)

De overige panden die in de hinder-beschouwing zijn betrokken zijn gelegen op de locatie van de geplande parkeergarage (locatie Trooster) en zullen worden geamoveerd.

Mogelijk wordt op deze parkeergarage bebouwing gerealiseerd. De trillingsanalyse voor het te amoveren pand Stationsweg 11-15, waarbij is vastgesteld dat bij handhaven van dit pand de grenswaarden voor trillingshinder zouden worden overschreden, geeft indicatief aan dat trillingen voor bebouwing op deze locatie, en dus ook voor nieuwbouw een aandachtspunt dient te zijn.

Bijlage 1

Theorie trillingen

Bijlage 1.1 Algemeen

Beschrijving trillingsmechanisme

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

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

Daar waar de golven het maaiveld, een laagovergang of een bouwwerk bereiken, vindt reflectie en omzetting van de trillingsgolven plaats, zodat een interferentiepatroon van bodembewegingen ontstaat. Gezien de complexiteit van dit interferentiepatroon kan de bodembeweging slechts in benaderende zin beschreven worden.

Er zijn verschillende factoren die van invloed zijn op de intensiteit van een trilling in de grond. Voor de intensiteit van door treinverkeer opgewekte trillingen in woningen zijn de volgende factoren van belang:

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

Trillingen in de omgeving

Voor de predictie van de trillingsintensiteit in de woningen en kantoren langs de spoorbaan wordt gebruik gemaakt van de rekenmethoden uit de SBR-richtlijnen Trillingen, de CUR-publicatie 166 'Damwandconstructies' en op basis van opgedane ervaringen bij vergelijkbare projecten.

De compressie- (P) en de schuifgolven (S) verspreiden zich bolvormig vanuit de bron (de trein), terwijl de Raleigh-golven (R) zich cirkelvormig over het maaiveld voortplanten. Als gevolg van de ruimtelijke spreiding is sprake van een geometrische verzwakking van de trillingsamplitude, ook wel geometrische demping genoemd.

Bijlage 1.2 Empirische methode

Daarnaast is nog sprake van een demping als gevolg van energieverliezen in het bodemmateriaal, ook materiaaldemping genoemd. De geometrische en de materiaaldemping van een trilling kan, ten aanzien van de (maatgevende) oppervlaktegolven (R) op een afstand x van de bron, bepaald worden met de volgende vergelijking van Barkan:

$$v(x) = v_0 \sqrt{\frac{x_0}{x}} \cdot e^{-\alpha(x-x_0)}$$

Waarin:

$v(x)$ trillingssnelheid op afstand x van de bron [mm/s].

v_0 bronsterkte van de trillingsintensiteit op een referentie-afstand x_0 van de bron [mm/s].

x_0 referentie-afstand tot de bron [m].

x afstand tot de bron [m].

α karakteristieke dempingsconstante ten gevolge van materiaaldemping [m^{-1}].

Bijlage 1.3 Eindige elementen methode

Eindige elementen model

Het programma Plaxis 2D betreft een eindige elementen methode speciaal geschikt voor geotechnische en funderingstechniek te berekenen. In deze eindige elementen methode wordt de ondergrond in het twee dimensionale 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 bouwtrillingen. Bouwtrillingen zijn een vergelijkbaar type trilling als verkeerstrillingen. 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.

Modelleren Huidige situatie

Aanpak

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

- Invoer bestaande situatie
 - Grondopbouw
 - Profiel van de baan
 - Randvoorwaarden model
- Bepalen en invoeren dynamische belasting
- Fitten model op meetwaarden
- Aanpassen model voor toekomstige situatie
 - Van een spoor in ballast naar een ingelijmde spoorconstructie
- Bepalen trillingsintensiteit in de toekomstige situatie

Grondmodel

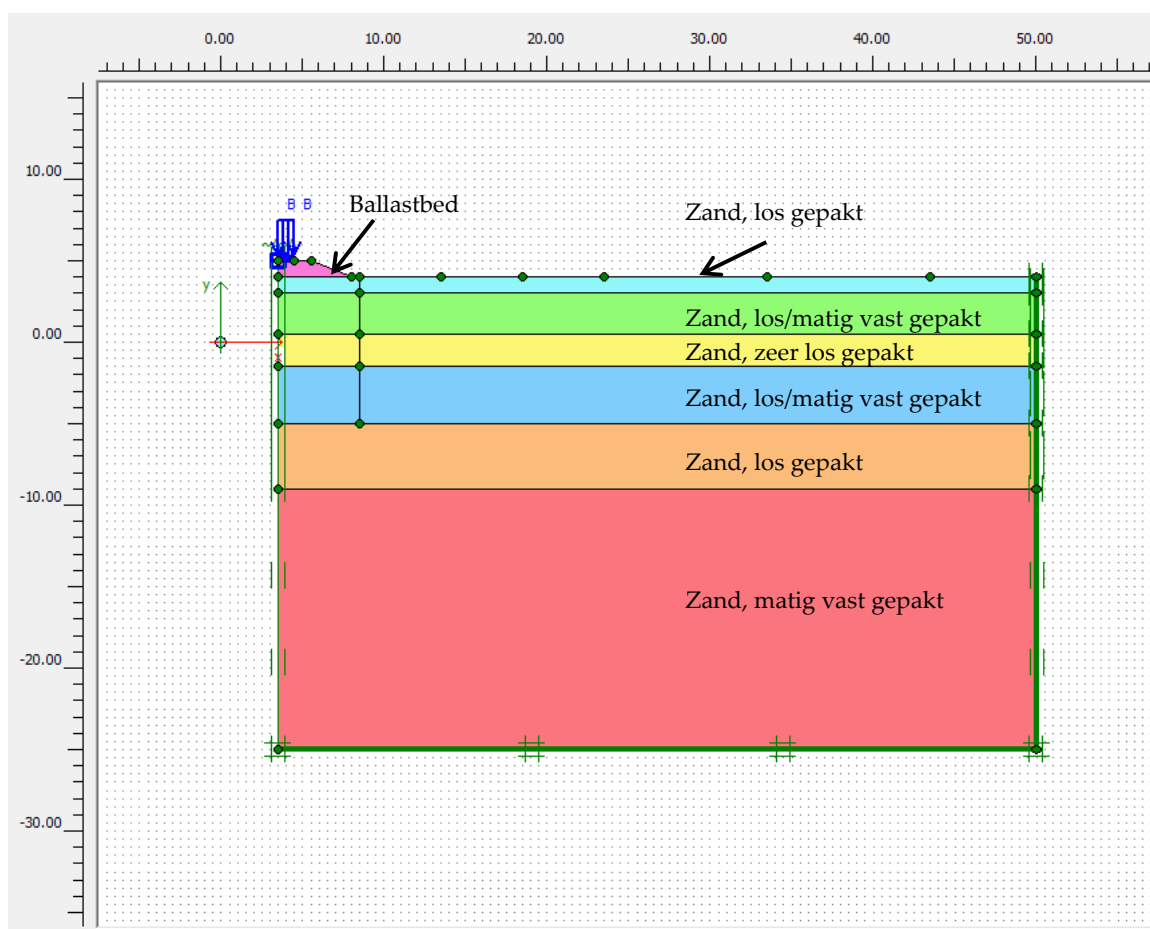
In de omgeving van Station Driebergen Zeist is grondonderzoek uitgevoerd door MOS Grondmechanica BV, zie Planstudie te Driebergen-Zeist (R066207-RH_7, 11 januari 2011). Op basis van dit onderzoek is in de omgeving een grondopbouw geschematiseerd (zie paragraaf 4.2.2 Bodemopbouw). Tevens zijn op basis van dit onderzoek en de Plaxis handleiding de grondparameters bepaald voor het gebruikte 'Hardening Soil, small strain model'. Deze parameters zijn weergegeven in tabel 22.

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	Verkende diepte								

Tabel 22: Schematisatie grondopbouw en grondparameters nabij station Driebergen Zeist.

Op basis van peilbuismetingen behorend bij het bovengenoemde rapport is ook 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 figuur 14 is het gebruikte model weergegeven.



Figuur 14: 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 zo gemodelleerd dat deze alle trillingen absorberen.

Vervolgens is het model eerst met een statische belasting van de trein belast en ontlast om de mogelijke zettingen die hierdoor kunnen optreden niet in het dynamische model van invloed te laten zijn. Dit is een logische stap aangezien de spoorlijn al decennia lang wordt gebruikt.

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 is verdicht. Om dit effect te verdisconteren wordt voor de lagen direct onder het ballastbed een overconsolidatieratio (OCR) in de orde grootte van 3 aangehouden. In de omgeving is op basis van de geologische kennis van het gebied uitgegaan van een OCR van 1. Wat wil zeggen dat de grond niet eerder voorbelast is geweest.

Dynamische belasting trein spoor in ballast

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

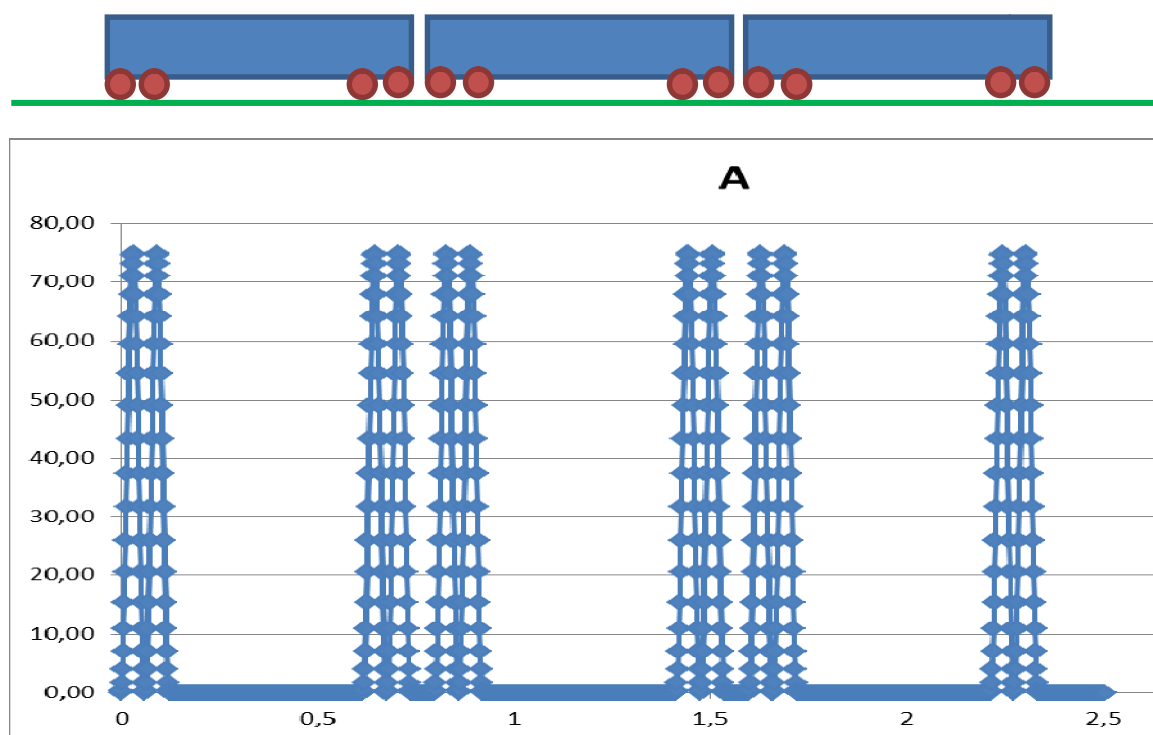
Ter generering van een representatief dynamische belastingspatroon dat als invoer voor Plaxis dient, is een trilling berekend waarmee het belasting patroon van de wielstellen van een Intercity trein is gesimuleerd. Dit betreft een verschoven sinus functie, in combinatie met een onderbroken belasting op de stukken waar de trein geen wielstellen heeft.

De volgende uitgangspunten lagen hieraan ten grondslag:

- Gemiddelde trein snelheid: 120 km/uur
- Wielafstand: 2 m
- Wagonlengte: 25 m
- Aslast: 150 kN

Aangezien in de toekomstige situatie er 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.

In figuur 15 is de verschoven sinusfunctie weergegeven. Hierin is duidelijk de passage van de verschillende assen te herleiden.



Figuur 15: Belasting spectrum intercity trein op ballastbed

Om nu op basis van de grondopbouw en het dynamische model een postdictie te kunnen maken van de trillingssnelheid, zijn de volgende stappen uitgevoerd:

- Op basis van een veronderstelde treinbelasting van een voertuig met representatieve asbelasting van 150 kN is een simulatie uitgevoerd in een symmetrisch model. De belasting is ter plaatse van de invoer gemodelleerd als een lijnlast met een lengte van 1,0 m. Daarmede wordt de wielbelasting van 75 kN vertaald naar een oppervlakte belasting met numeriek dezelfde waarde.
- Om voor de dynamische berekening direct een stijfheid bij herbelasting te activeren, er rijden immer als decennia lang treinen op het traject, is eerst een statische belasting van dezelfde orde ingevoerd en ontlast. Waarop aansluitend de dynamische belasting is ingevoerd.
- Voor wat betreft de dynamische modellering is gerekend met 3 % demping, die doormiddel van de relaties in de Plaxis manual, zijn door vertaald naar een Rayleigh $\alpha = 0,44$ en een Rayleigh $\beta = 5 \cdot 10^{-3}$.

In het programma Plaxis kan volgens de twee volgende berekeningsmethoden worden gerekend, beide zijn gebruikt voor het fitten van het model:

- 'Plane strain', waarbij het model uitgaat van een 2D situatie met een dikte van 1 m
- 'Axi-symetrisch', waarbij de berekening wordt uitgevoerd alsof zich om de symmetrieas een grote cilinder bevindt.

Op basis van bovenstaande uitgangspunten zijn de volgende resultaten gevonden. Bij benadering leveren deze de volgende verdeling van de maximaal bepaalde amplitude op. In tabel 23 zijn zowel de berekeningsresultaten van Plaxis als de amplitude van de meetwaarden weergegeven.

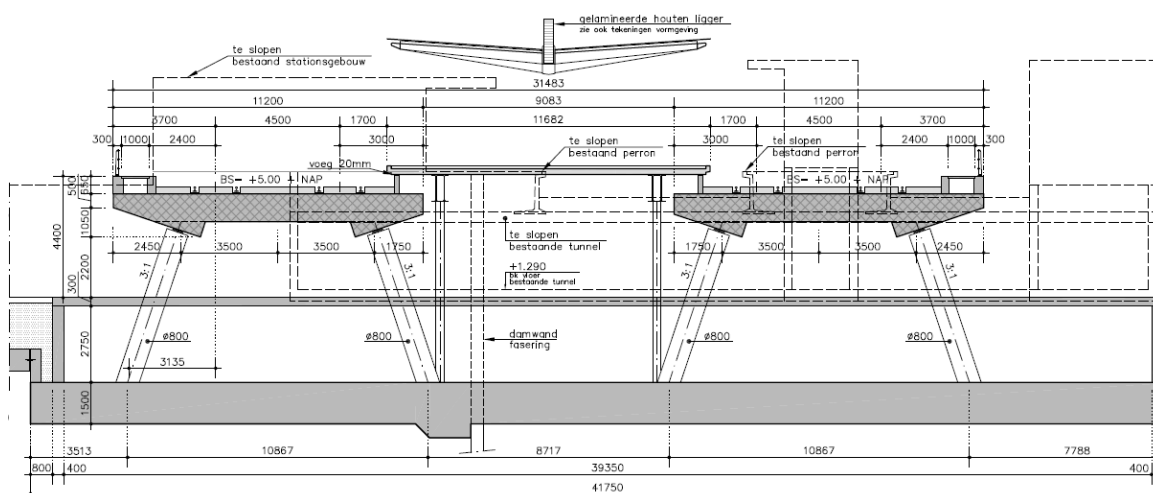
Amplitude trilling op x m afstand van het spoor	0 m	5 m	10 m	20 m	30 m
	[mm/sec]	[mm/sec]	[mm/sec]	[mm/sec]	[mm/sec]
95%-waarde uit metingen	-	43	25	8	3
Plane Strain	44	37	28	16	15
Axi symetrisch	44	28	17	8	6

Tabel 23: Vergelijking uitkomsten Plaxis-berekening met de meetwaarden

Zoals uit tabel 23 blijkt, komen dicht bij de bron de uitkomsten van de 'Plane strain' berekeningen beter overeen, terwijl op grotere afstand er een betere overeenstemming is met de 'Axi-symmetrische' berekeningen. In dat licht kunnen de uitkomsten van een 'Plane strain' berekening voor een afstand van de sporen groter dan 10 m als overschatting worden opgevat.

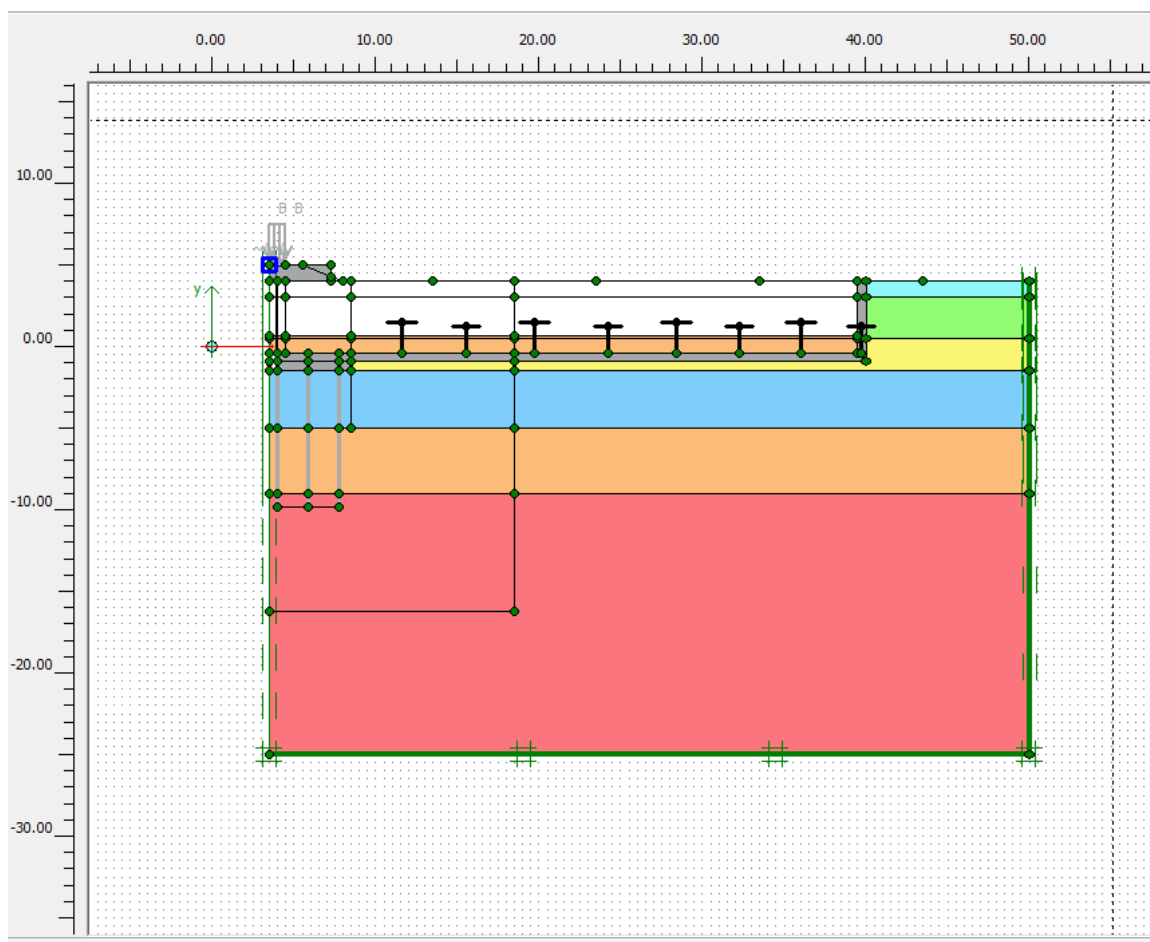
Modellerings toekomstige situatie

In de toekomstige situatie zal ongeveer een 160 m lange betonnen constructie onder de sporen ter plaatse van station Driebergen Zeist worden aangelegd. De spoorconstructie zal bestaan uit een ingegoten spoorstaafconstructie op een betonnen plaat. De betonnen plaat komt op een aantal (2 per doorsnede) kolommen te rusten en op de wanden aan het begin en het einde van de constructie. De poeren worden of op staal gefundeerd of op palen afhankelijk van de op te nemen belastingen, zie figuur 16.



Figuur 16: Schetsmatige doorsnede toekomstige constructie ter plaatse van de kolommen.

De vloeren tussen de poeren worden door middel van een verankering op zijn plaats gehouden. De palen en de verankering zijn niet meegenomen in de dynamische modellering, aangezien wordt verwacht dat deze een gunstig effect op de demping van de trillingen zullen hebben. In figuur 17 is de beschreven constructie weergegeven zoals in het Plaxis-model.



Figuur 17: Schematisatie toekomstige situatie in Plaxis

Dynamische belasting trein ingegoten spoorconstructie

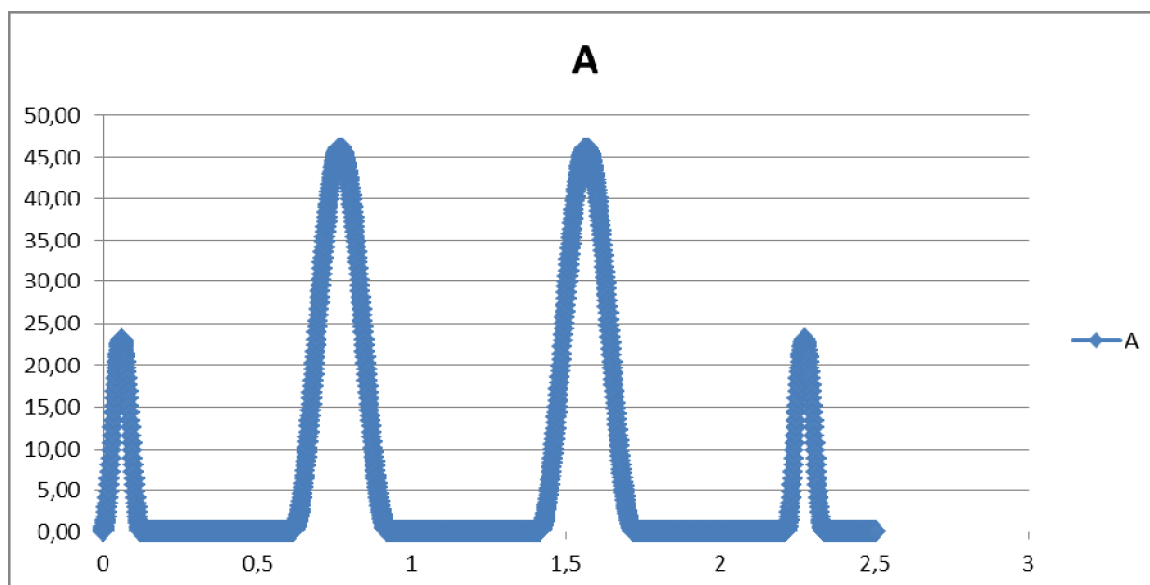
Wanneer de trein over het kunstwerk gaat rijden zal de belasting van de wielen niet meer per wielas maatgevend zijn. De twee tot vier bij elkaar gelegen assen zullen samen een gespreide belasting geven aan de onderzijde van de kolommen. Hierdoor zal de maatgevende trilling ook een samengestelde trilling worden. De in het model gehanteerde samengestelde trilling is als volgt bepaald.

De trein belasting in de situatie met het toekomstige station en de onderdoorgang onder de sporen bestaat uit een last van een geheel treinstel, van 600 kN, die wordt gespreid over de fundering. Vanwege de symmetrie in het model wordt de belasting gedeeld door 2. Vervolgens is de halve trein belasting gespreid over de lengte van de poer, namelijk 6,5 m. Dit geeft een karakteristieke belasting van $300/6,5 = 46,25$ kN/m. Deze belasting heeft een frequentie die kan worden berekend volgens;

- Snelheid = $120 \text{ kN/uur} = 120/3,6 = 33 \text{ m/s}$.
- Rijtuiglengte = 25 m;

Dit geeft een passage tijd van $26/33 = 0,73 \text{ s}$ met een frequentie van $1/0,73 = 1,35 \text{ Hz}$; wat overeenkomt met een hoekfrequentie $\omega = 2 \pi f = 8,5$

Deze belasting is door vertaald naar een 'semi'-harmonische belasting; waarbij de op en afbouw van het belasting deel harmonisch is verondersteld, terwijl daartussen een nul-belasting is aangenomen. Het belasting spectrum heeft dan de vorm van Figuur 18.



Figuur 18: Belasting spectrum Intercity trein op viaduct

De karakteristieke belasting situatie met viaduct is als volgt opgebouwd:

- De belasting geldt nu voor de gehele pijler; dus een totale belasting voor 4 assen
 - Belasting is; 2 assen; 4 assen, 4 assen 2 assen
- Representatief voor de belasting op de ondergrond is een representatieve funderingsdruk.

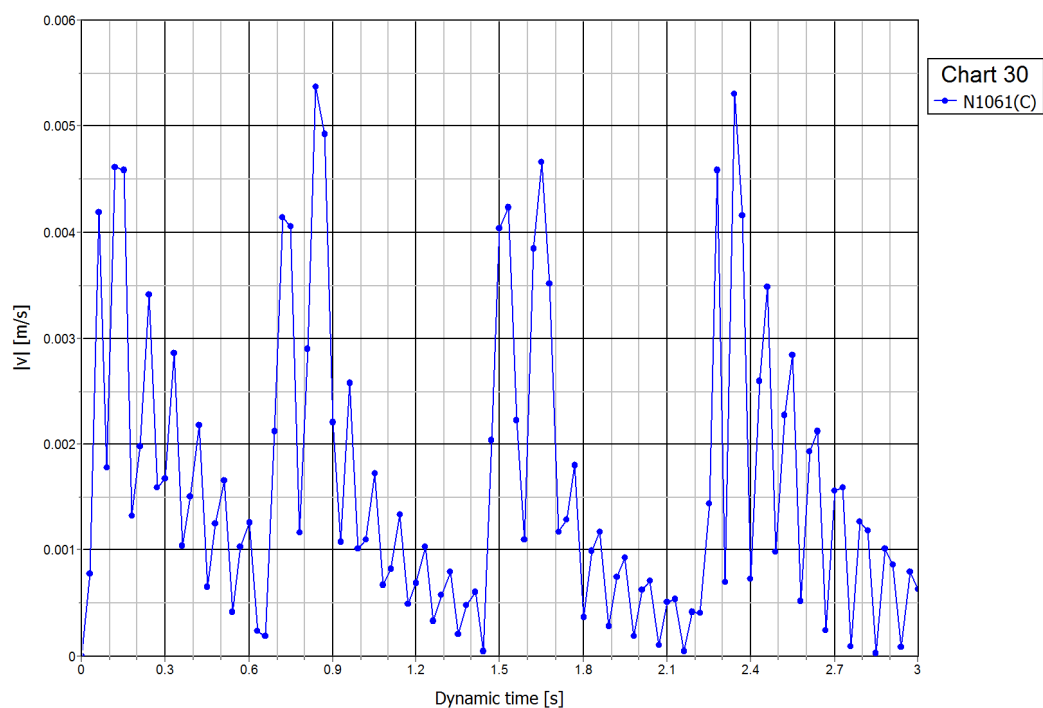
Het signaal in figuur 18 wordt gebruikt als multiplier in de Plaxis berekening en vermenigvuldigd met de neerwaarts gerichte eenheid belasting van 1 kN/m over een lengte van 1,0 m.

De verwachtingswaarde voor de trilling ter plaatse van het viaduct is een vering van circa 1,0 mm

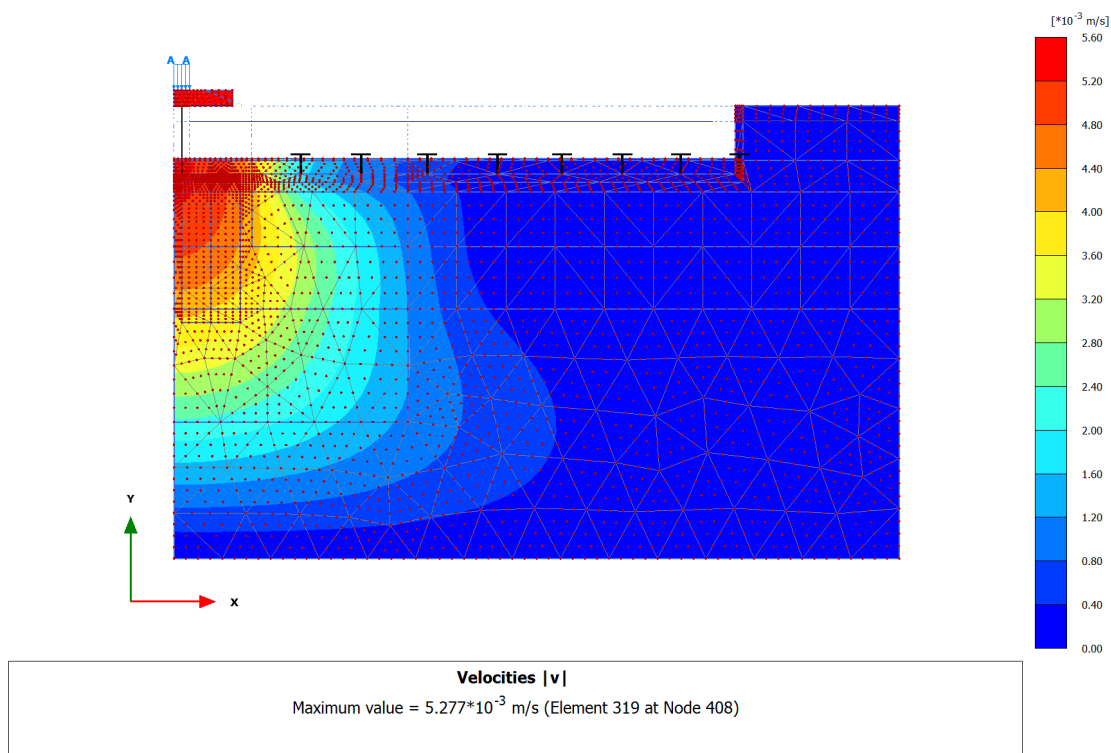
Dat wil zeggen op basis van een harmonische trilling een amplitude van orde $A = 0,5$ mm

Bij een harmonische trilling zou dit overeenkomen met een maximale trillingssnelheid van $A \cdot \omega$; gaan we hierbij uit van een trillingssnelheid op basis van de frequentie van passage van de wielstellen dan geeft dit bij een hoekfrequentie van 8,5 een trillingssnelheid van $V_0 = 8,5 \times 0,5 = 4,25$ mm/s ter plaatse van het spoor. In de Plaxis berekening wordt een snelheid gevonden van ongeveer 3,5 mm/s (verticaal). Wat in de zelfde orde grootte ligt en daarmee als aannemelijk wordt beschouwd.

Op 5 m afstand berekent Plaxis met behulp van 'plane strain' voor deze belasting een trillingssnelheid (amplitude) $|u| = 5,3$ mm/s (zie figuren 19 en 20) en op 20 m afstand $|u| = 0,60$ mm/s.



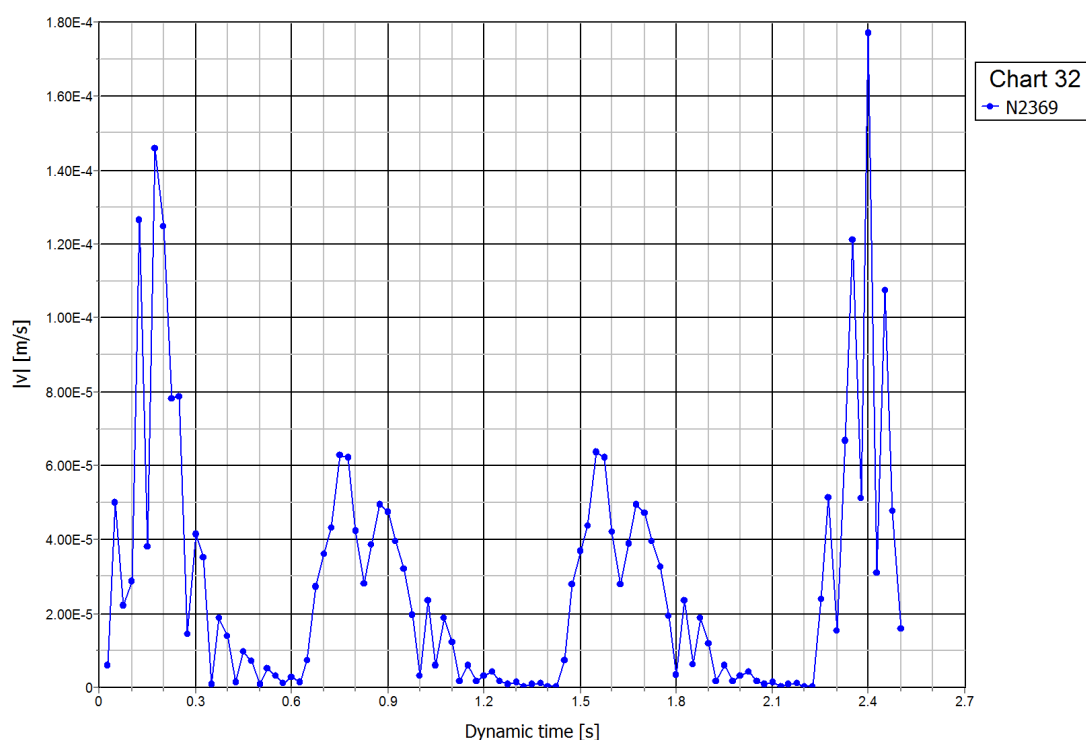
Figuur 19: Trillingssnelheid op 5 m bepaald met behulp van het Plaxis model



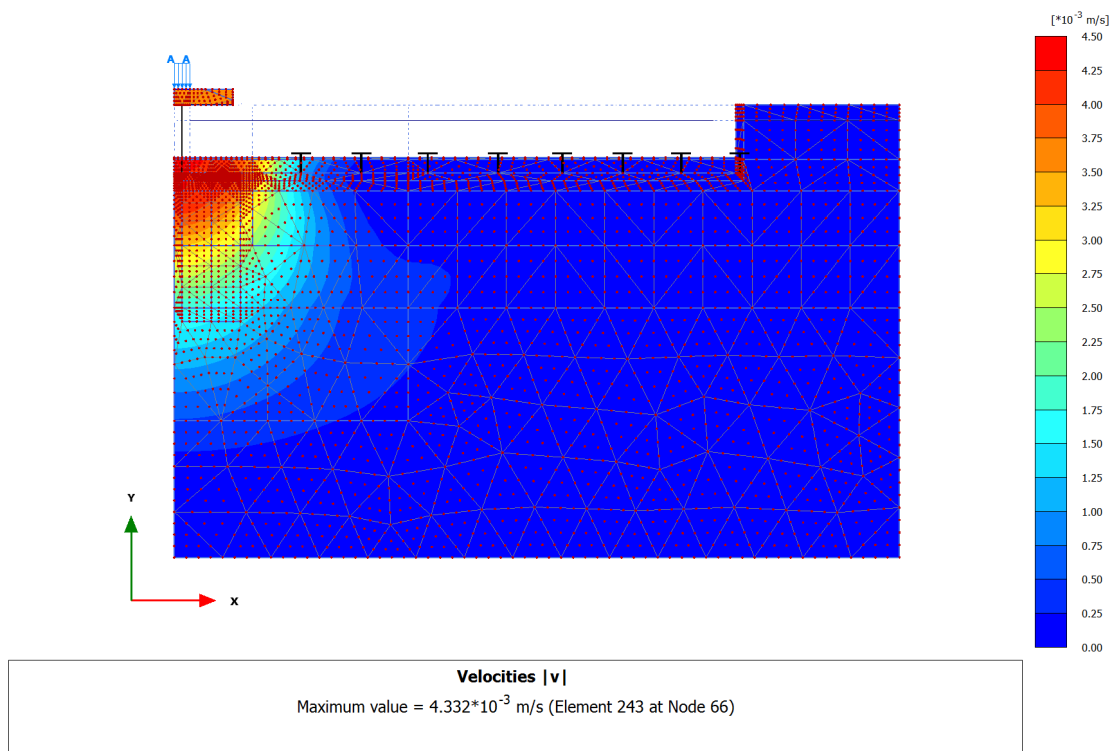
Figuur 20: Verspreiding trillingen 'Plane strain' berekening

Eerder in deze rapportage werd geconstateerd dat voor de trillingssnelheid op grotere afstand van de sporen een betere overeenstemming werd gevonden bij modellering in Axi-symmetrie. Juist in de situatie van de in trilling gebrachte kolom is het logisch het Axi-symmetrie model te gebruiken, aangezien dit model goed vergelijkbaar is met de werkelijkheid.

Een pijler zal, in vergelijking met een aardebaan qua geometrische damping beter te vergelijken zijn met een model in axi-symmetrie, is de berekening herhaald met axi-symmetrische randvoorwaarde. In dat geval wordt op een afstand van 5.0 m, een trillingssnelheid berekend van $|u| = 3,8$ mm/sec. Op een afstand van 20 m is dit uitgedempt tot $|u| = 0,18$ mm/sec, zie figuren 21 en 22.

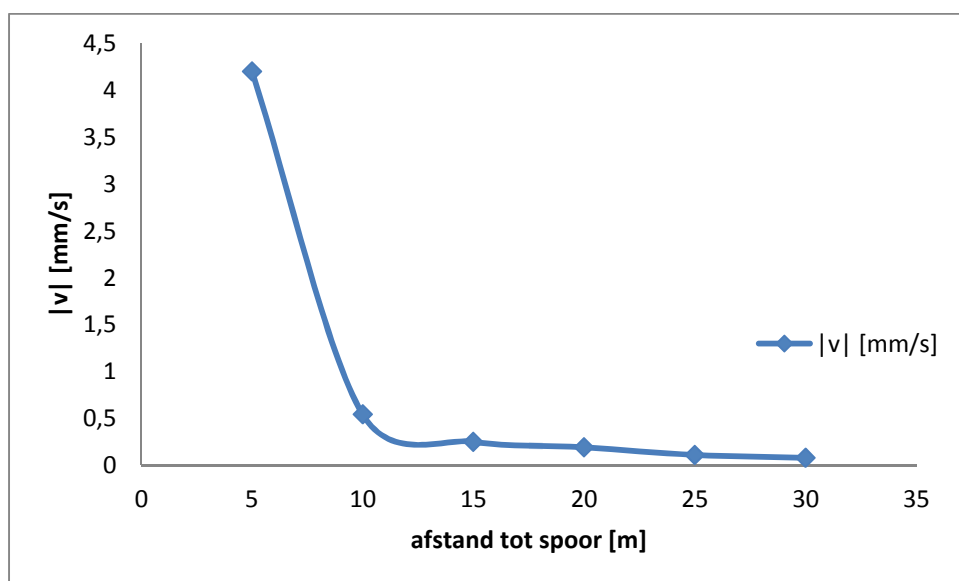


Figuur 21: Uitdemping van de trillingssnelheid in de 'Axi-symmetrie' berekening (20 m)



Figuur 22: Verspreiding trillingen 'Axi-symetrie' berekening

De gebouwen die vlak bij het toekomstige kunstwerk zullen liggen, komen in de toekomstige situatie op een afstand van 15 tot 20 m. Uit het fitten van de data op de werkelijke metingen is gebleken dat op deze afstand hebt beste gerekend kan worden met 'Axi-symmetrische' model, aangezien deze de werkelijke trilling het beste benaderd. Om deze rede is aangenomen dat dit model van toepassing zal zijn in de toekomstige situatie. Om tussen de berekende punten te kunnen interpoleren is op basis van het 'Axi-symetrie' model in figuur 23 de relatie weergegeven tussen de maximale amplitude en de afstand tot het spoor.



Figuur 23: Relatie tussen de maximaal berekende amplitude en de afstand tot het spoor

Bijlage 1.4 Berekening referentie waarden SBR-richtlijn B

De effectieve waarde van de trillingen in een beschouwde meetperiode $v_{eff,max}$ kan volgens CUR 166 worden benaderd met:

$$v_{eff,max} = 0,42 \times v_{max}$$

De trillingssterkte over de beoordelingsperiode v_{per} kan worden berekend volgens:

$$v_{per} = v_{per,meet} \sqrt{\frac{T_b}{T_0}}$$

Waarin:

v_{per}	berekening van de kwadratisch gemiddelde effectieve waarde van de maxima over de meetperiode.
T_b	aantal treinpassages maal een duur van 30 s.
T_0	de duur van de beoordelingsperiode.

Bijlage 1.5 Trillingen in gebouwen

Golven in de bodem worden overgedragen op gebouwen die op of in deze bodem zijn gefundeerd. Door deze trillingsgolven krijgen gebouwen een bepaalde verplaatsing opgelegd. Het verplaatsingspatroon in de bodem is in de tijd wisselend, de golven planten zich voort en stoten daarbij een gebouw met een bepaalde frequentie aan. De mate waarin een bouwwerk de opgelegde verplaatsing volgt, hangt af van de stijfheid van het gebouw en de afmetingen van het gebouw ten opzichte van de golflengte van de trilling.

Grote en stijve gebouwen volgen deze verplaatsing maar in zeer beperkte mate. Daarentegen volgen kleine gebouwen of gebouwen die een beperkte samenhang vertonen, de opgelegde verplaatsing grotendeels, waarbij er in deze gebouwen naast een opgelegde verplaatsing ook vervormingen voordoen.

Doordat de golven in de bodem gebouwen met een bepaalde frequentie aanstoten is het mogelijk dat gebouwen of bepaalde onderdelen van gebouwen in hun eigen frequentie worden aangestoten, wat kan leiden tot een sterk vergrote respons (resonantie).

De mate van de vergrote respons hangt af van de damping en de frequentie.

Lage gebouwen zijn over het algemeen vrij sterk gedempt, wat resulteert in een beperkte opslingering. Onderdelen van gebouwen zijn vaak minder sterk gedempt. De damping wordt veroorzaakt door materiaaldamping en geometrische damping. In het laatste geval stroomt de trillingsenergie via oplettingen of gedeeltelijke inklemmingen weg naar andere gebouwdelen. Daarnaast hangt de damping van gebouwonderdelen sterk af van de aanwezige inventaris.

In CUR-publicatie 166 'Damwandconstructies' wordt een methode gegeven voor de predictie van trillingen in gebouwen en onderdelen van gebouwen. In deze methode wordt een aantal reductiefactoren geïntroduceerd om damping van verschillende onderdelen te modelleren.

Ten eerste wordt de damping als gevolg van de overdracht van bodem naar fundatie bepaald welke afhankelijk is van:

- Type fundering (fundering op palen of op staal).
- Stijfheid en afmetingen van het gebouw, zowel verticaal als horizontaal.

Vervolgens wordt de damping, als gevolg van overdracht naar een onderdeel van het gebouw, bepaald, welke afhankelijk is van toegepast materiaal in de onderdelen.

De rekenmethode voor de bepaling van de trillingen in gebouwen, zoals gepresenteerd in CUR 166, wordt in deze rapportage gebruikt om een predictie te geven van de trillingen in de woningen en kantoren.

Deze prognoseberekening bestaat op basis van de bovengenoemde aspecten uit een zogenoemde overdrachtsberekening. Deze berekening is opgebouwd uit een serie schakelingen van overdrachtsverhoudingen in de grond (damping), grond-fundering, fundering-gebouw en gebouw-gebouwonderdelen. Vereenvoudigd kan deze functie als volgt worden weergegeven:

$$v_{\text{prognose}} = v_{\text{op5m}} \times H_{\text{dampingbodem}} \times H_{\text{overdrachtbodem-gebouw}}$$

Waarin:

U_{op 5 m}: Initiële bronbelasting (trillingsintensiteit) in de grond op 5 m afstand vanuit de trillingsbron gemeten.

H_{demping bodem}: Demping in de grond.

H_{overdracht bodem-gebouw}: Overdrachtsfactoren bodem-gebouw (onderdelen) bestaande uit een aantal deelfactoren.

Voor een meer uitgebreide toelichting van de gevolgde methodiek wordt verwezen naar CUR 166.

Wanneer een trillingenonderzoek alleen op maaiveld plaatsvindt, is er geen overdrachtsfactor te bepalen voor de overgang van een trilling uit de bodem naar een gebouw. Hierdoor is het nodig een aanname te doen voor de overdrachtscoëfficiënt voor de trilling als deze van de grond overgaat naar het gebouw. Uit de CUR 166 is af te leiden dat er twee factoren een rol spelen, namelijk de trillingsoverdracht van de bodem naar gebouwen.

Een conservatieve aanname voor deze factor is een waarde van 0,7.

Naast de overdracht van de bodem naar de fundatie wordt de trilling vervolgens van de fundatie overgedragen naar andere onderdelen van een gebouw. Hiervoor kan op basis van de CUR 166 een waarde worden aangenomen van een factor 1,4.

In totaal zullen deze overdrachtscoëfficiënten samen een factor vormen van $0,7 * 1,4 = 1,0$.

Omdat dit een relatief ongunstige aanname is, is in de trillingenpredictie uitgegaan van de factor 1,0.

Bijlage 2

SBR richtlijn trillingen deel B

Bijlage 2.1 Richtlijn Trillingen

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

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

Bijlage 2.2 SBR-richtlijn Trillingen deel B (hinder voor personen in gebouwen)

De SBR-richtlijn deel B geeft streefwaarden voor trillingshinder voor personen in gebouwen. Deze streefwaarden kunnen in drie categorieën worden opgesplitst, namelijk:

Categorie	
Wonen	Woonhuizen, gezondheidszorg-gebouwen
Werken	Kantoor-, onderwijs- en bijeenkomstgebouwen
Kritische werkruimte	Bepaalde ruimten in laboratoria, operatiekamers, studiezalen

Tabel 24, Indeling hinder categorieën

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

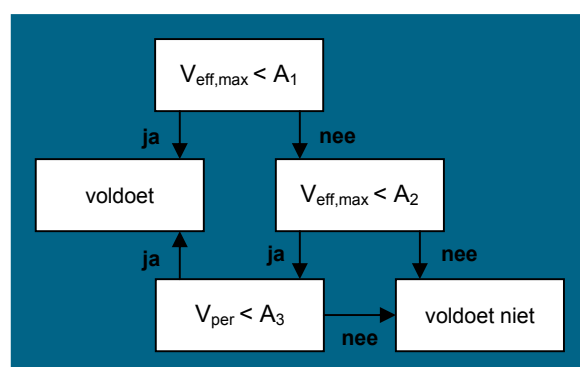
Tijdens gebruik moet worden voldaan aan streefwaarde A_1 of een combinatie van A_2 en A_3 , waarbij A_1 de onderste streefwaarde, A_2 de bovenste streefwaarde en A_3 de gemiddelde streefwaarde over een bepaalde periode is.

Het volgende stroomschema (zie figuur 20) geeft een overzicht van de beoordelingsprocedure van de trillingssterkte op basis van streefwaarden.

A_1 en A_2 wordt op basis van trillingssterkte $v_{eff,max}$ beoordeeld en A_3 op basis van v_{per} .

Hierbij is $v_{eff,max}$ de 95%-overschrijdingskans van de trillingssterkte in de beoordelingsperiode.

De v_{per} is de gemiddelde trillingssterkte over de beoordelingsperiode en als zodanig een functie van de effectieve waarde van de trilling, de tijdsduur dat een trillingsbron in bedrijf is en de totale tijdsduur van de beoordelingsperiode.



Figuur 24, Schematisatie beoordeling trillingen SBR-richtlijn Trillingen deel B

In de twee navoegende weergegeven tabellen staan de te nanteren streefwaarden in verband met herhaald voorkomende trillingen gedurende lange tijd, zoals railverkeer, voor een aanpassing van een bestaande situatie (Tabel 25) en de aanleg van een nieuwe (Tabel 26) situatie voor de gebouwfuncties wonen/gezondheidszorg en onderwijs/kantoor, weergegeven.

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

Gebouwfunctie	dag en avond			nacht		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
gezondheidszorg	0,1	0,4	0,05	0,1	0,2	0,05
Wonen	0,1	0,4	0,05	0,1	0,2	0,05
onderwijs en kantoor	0,15	0,6	0,07	0,15	0,6	0,07

Tabel 25: Streefwaarden voor continue trillingen voor zowel een nieuwe als bestaande situatie, SBR, deel B §10.5.2, Tabel 2

Gebouwfunctie	dag en avond			nacht		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
gezondheidszorg	0,2	0,8	0,1	0,2	0,4	0,1
Wonen	0,2	0,8	0,1	0,2	0,4	0,1
onderwijs en kantoor	0,3	1,2	0,15	0,3	1,2	0,15

Tabel 26: Streefwaarden voor herhaald voorkomende trillingen voor bestaande situaties, SBR, deel B §10.5.3, Tabel 3

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

Het 'stand still'-principe werkt als volgt. De trillingen die hinder veroorzaken voor personen in de gebouwen langs het spoor zijn ingedeeld in vijf categorieën. Wanneer deze gebouwen, zowel in de oude als in de toekomstige situatie in de gelijke categorie blijven, is er geen sprake van (extra) hinder voor personen. Wanneer de trillingen voor de personen in de gebouwen in de nieuwe situatie, in een andere categorie vallen dan in de oude, is er wel sprake van trillingshinder. In Tabel 27 zijn de categorieën van de hinderkwalificatie weergegeven.

$V_{eff,max}$	Hinderkwalificatie
< 0,1	geen hinder
0,1 – 0,2	weinig hinder
0,2 – 0,8	matige hinder
0,8 – 3,2	hinder
> 3,2	ernstige hinder

Tabel 27: Hinderkwalificatie behorend bij het 'stand still' principe

De bovengrenswaarde voor de kwalificatie "geen hinder" komt overeen met de streefwaarde A_1 voor wonen en gezondheidszorg voor een nieuwe situatie, terwijl de bovengrens van de kwalificatie "weinig hinder" overeenkomt met de streefwaarde A_1 voor wonen en gezondheidszorg voor bestaande situaties. Voor de gebouwfunctie "onderwijs en kantoor" liggen de grenswaarden 50% hoger dan voor de gebouwfuncties "wonen" en "gezondheidszorg".

Dit betekent dat voor deze gebouwfuncties de grenswaarde bij toepassing van het “stand still”-principe voor de categorieën “geen hinder” en “weinig hinder” 1,5 keer de in tabel 27 vermelde waarde bedragen.

Bijlage 3

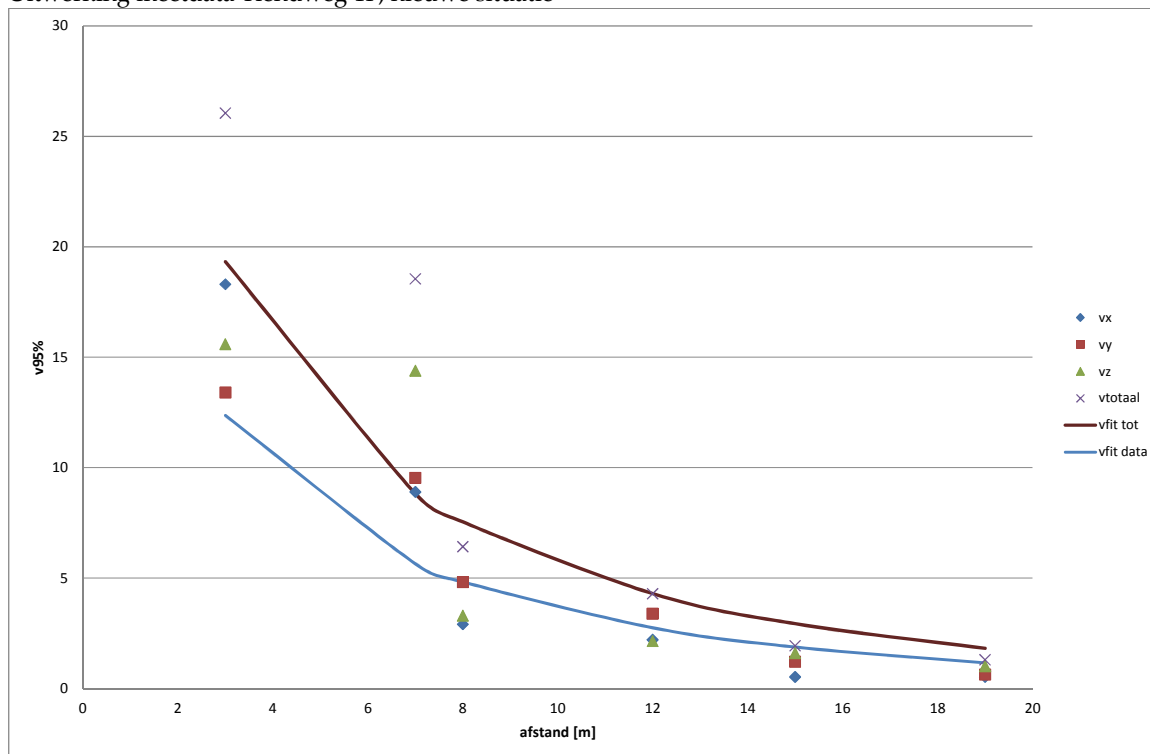
Rapportages Trillingsmetingen Fugro

Opmerking:

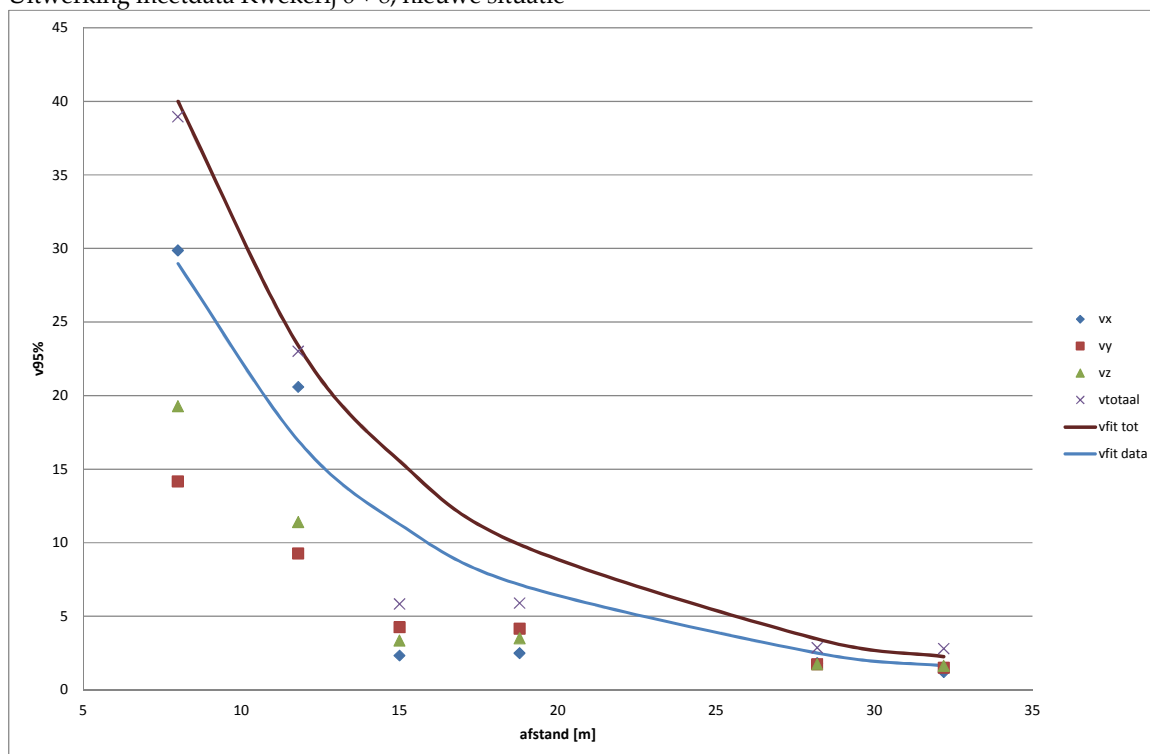
Bij de rapportage van Fugro wordt opgemerkt dat de door Fugro aangegeven afstanden tussen bebouwing en spoor niet geheel overeen komen met de aangehouden waarden in de voorliggende trillingspredictie. De afstanden tussen het spoor en de bebouwing zijn veel al groter dan de door Fugro aangegeven waarden. De oorzaak hiervan is dat Fugro de afstand tussen de eerste trillingsmeter en het maatgevende spoor heeft ingeschat op 3 m, terwijl de afstand in werkelijkheid groter is. In de uitwerking van de meetdata zijn de werkelijke maatgevende afstanden aangehouden.

Bijlage 4 Uitwerking data

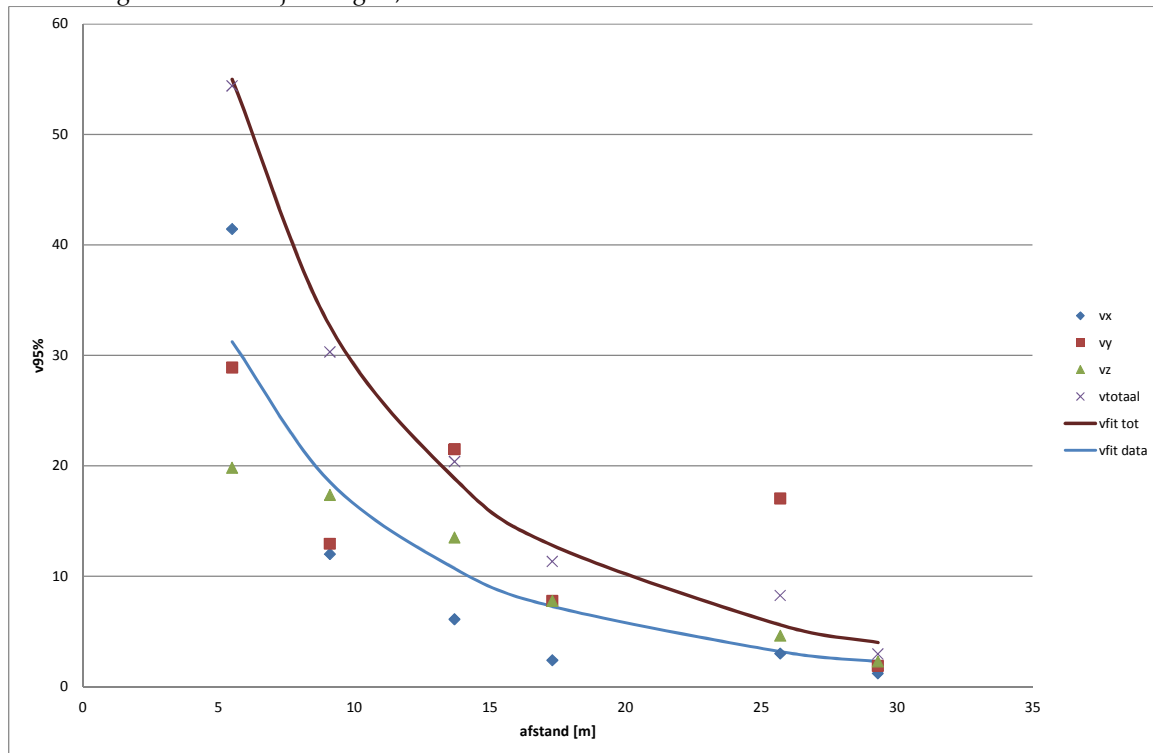
Uitwerking meetdata Tiendweg 1F, nieuwe situatie



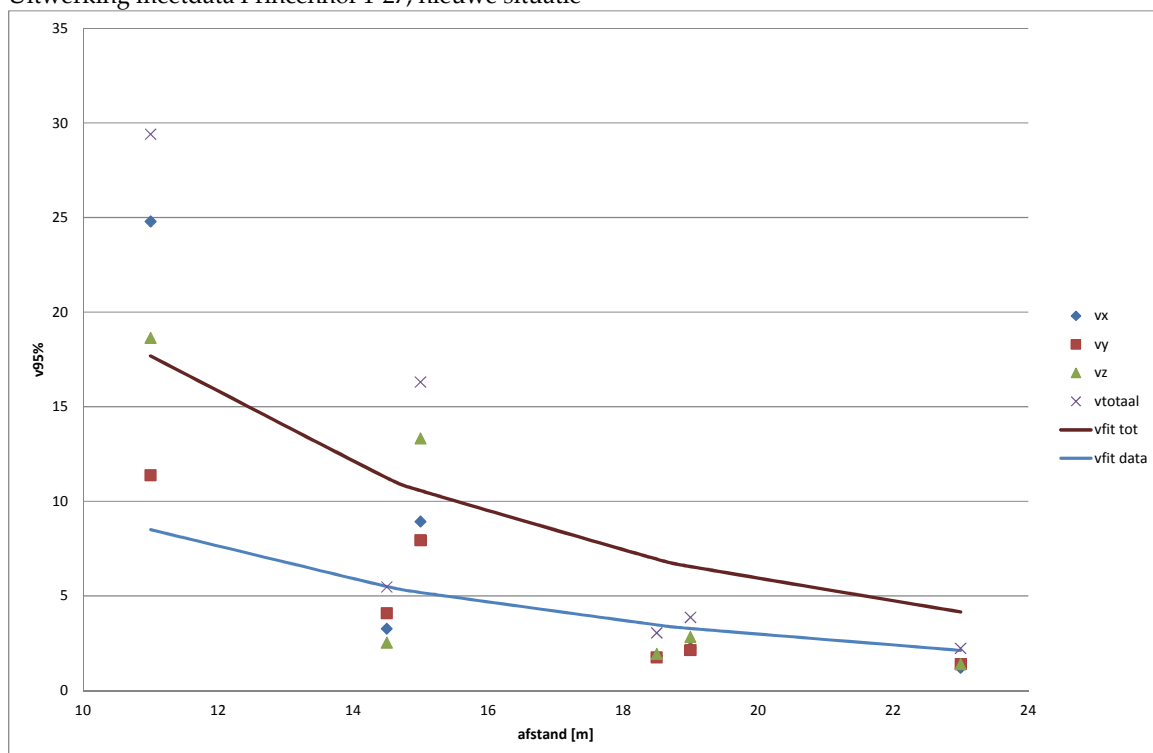
Uitwerking meetdata Kwekerij 6 + 8, nieuwe situatie



Uitwerking meetdata Odijkerweg 82, nieuwe situatie



Uitwerking meetdata Princenhof 1-27, nieuwe situatie



Colofon

STATIONSGBIED DRIEBERGEN-ZEIST L.4.2.7-1 TRILLINGENPREDICTIE

OPDRACHTGEVER:

ProRail, Afdeling Projecten
De heer R.G. Jansen

STATUS:

Definitief

AUTEUR:

ir. A.V. van Uiter
dr. ir. K.J. Bakker

GECONTROLEERD DOOR:

ir. C.P. Schouten

VRIJGEGEVEN DOOR:

ing. P. van de Kragt

3 augustus 2012
076446164:D

ARCADIS NEDERLAND BV
Piet Mondriaanlaan 26
Postbus 220
3800 AE Amersfoort
Tel 033 4771 000
Fax 033 4772 000
www.arcadis.nl
Handelsregister 9036504