

# **Niet-dynamische nadelige effecten van trillingsreducerende maatregelen**

**Aanvulling Maatregelcatalogus spoortrillingen**



# **Niet-dynamische nadelige effecten van trillingsreducerende maatregelen**

**Aanvulling Maatregelcatalogus spoortrillingen**

ir. J.C. Landwehr

11200206-000

**Titel**

Niet-dynamische nadelige effecten van trillingsreducerende maatregelen

**Opdrachtgever**

ProRail

**Project**

11200206-000

**Kenmerk**

11200206-000-GEO-0004-

jvm

**Pagina's**

31

**Trefwoorden**




Trillingshinder, spoorwegen, reducerende maatregelen, literatuur

**Samenvatting**

Als omwonenden hinder ervaren van trillingen die door treinverkeer veroorzaakt worden, kunnen trillingsreducerende maatregelen wenselijk zijn. Om het ontwerpen van trillingsreducerende maatregelen te faciliteren heeft ProRail een Maatregelcatalogus spoortrillingen opgesteld, waarin de ontwerper verschillende basisinformatie voor het ontwerp van een maatregel kan vinden.

Rekening houdend met ontwerpvoorschriften voor de baan en veel voorkomende risico's, behorende bij bouwwerkzaamheden benodigd voor het uitvoeren van de trillingsreducerende maatregelen, is een lijst met ongewenste negatieve effecten van deze trillingsreducerende maatregelen uit de Maatregelcatalogus samengesteld. Door experts van Deltares en ProRail is daarna vastgesteld welke ongewenste negatieve effecten een hoge, lage of nihil kans van optreden hebben bij een maatregel.

Per maatregel is aanvullende informatie gegeven over de ongewenste negatieve effecten en de kans erop.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
1	april 2017	ir. J.C. Landwehr		ir. R. Stoevelaar		ir. drs. J. van Ruijven	
2	mei 2017	ir. J.C. Landwehr		ir.drs. J. van Ruijven		ir.drs. J. van Ruijven	

**Status**

definitief

## Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>1</b>
1.1	Aanleiding	1
1.2	Doelstelling	1
1.3	Aanpak	2
1.4	Leeswijzer	3
<b>2</b>	<b>Niet-dynamische ongewenste negatieve effecten van trillingsreducerende maatregelen</b>	<b>4</b>
2.1	Bronnen	4
2.2	Overzicht van ongewenste negatieve effecten en bepalende parameters	5
2.2.1	1 Stabiliteitverlies onderbouw spoor	5
2.2.2	2 Zetting door gewichtsverandering	5
2.2.3	3 Vermindering drooglegging/verhindering afvoer grondwater	6
2.2.4	4 Vermindering capaciteit infiltratie/vergroting oppervlakte afstroming	7
2.2.5	5 Maaiveldzakking door ontspanning ondergrond	7
2.2.6	6 Maaiveldzakking door bouwtrillingen	8
2.2.7	7 Schade door bouwtrillingen	8
2.2.8	8 Onvoldoende stabiliteit van de te maken constructie	8
2.2.9	9 Effect lagere of hogere grondwaterstand op omgeving (zetting, paalrot, wateroverlast)	9
2.2.10	10 Blokkade gebiedsgrondwaterstroming (bijv. in relatie tot verontreiniging compartimentering)	9
2.2.11	11 Schade of blokkade van kabels en leidingen	9
2.2.12	12 Beperkte beschikbaarheid spoor (buitendienststelling)	10
2.2.13	13 Overlast omgeving (schade wegdek, geluids/trillingshinder, economische schade winkels/bedrijven)	10
2.2.14	14 Vertraging in planning door obstakels (oude constructies, NGE, archeologie)	11
2.2.15	15 Beperking van ruimtegebruik, beleving	11
2.2.16	16 Niet voldoen aan technische eisen (bijv. elektrische geleidbaarheid)	11
2.2.17	17 Verandering van kritische snelheid	12
2.2.18	18 Schade van belangen van andere stakeholders dan ProRail (particulieren, gemeenten)	12
<b>3</b>	<b>Kans op ongewenste negatieve effecten per maatregel</b>	<b>13</b>
3.1	Doel en scoresysteem	13
3.2	Eindscore	13
3.3	Resultaat score en prioriteit	14
3.4	Conclusies met betrekking tot de scores	16
<b>4</b>	<b>Conclusies</b>	<b>18</b>
4.1	Algemeen	18
4.2	Ten behoeve van maatregel catalogus	18
4.3	Maatregelen aan materieel (bron)	20
4.3.1	In profiel houden van de wielen	20
4.4	Maatregelen aan de baan (bron)	20
4.4.1	Ballastmatten	20

4.4.2	Afveren rails met railklemmen op betonplaat	20
4.4.3	Slab track	20
4.4.4	Floating slab track	21
4.4.5	Betonplaat onder ballastbed met ballastmat	21
4.4.6	Betonplaat onder ballastbed met isolatiemateriaal onder dwarsliggers	22
4.4.7	Zettingsvrije plaat	22
4.4.8	Ladder track	23
4.4.9	Under sleeper pads	23
4.4.10	Wide sleeper track	23
4.4.11	Geogrid	24
4.4.12	Wissel verplaatsen	24
4.4.13	Verbetering aansluiting kunstwerk in het kader van vermindering trillingshinder	24
4.4.14	Onderhoud rails	25
4.4.15	Voegloos spoor	25
4.4.16	Aanvullend onderhoud ballastbed (tamping)	25
4.5	Maatregelen in de overdracht	26
4.5.1	OTC (ondergrondse trillingwerende constructie) beklede wand	26
4.5.2	OTC (ondergrondse trillingwerende constructie) betonscherm in bodem	26
4.5.3	OTC (ondergrondse trillingwerende constructie) polystyreen scherm in bodem bij woning	27
4.5.4	Trillingscherm L-wand in talud	27
4.5.5	OTC (ondergrondse trillingwerende constructie) open sleuf in bodem	28
4.5.6	OTC (ondergrondse trillingwerende constructie) open sleuf met keerwanden	28
4.5.7	Steiler maken spoortalud	29
4.5.8	Spoorsloot / waterpartij	29
4.6	Maatregelen bij ontvanger	30
4.6.1	Verstijven vloeren en wanden (bestaande woningen)	30
4.6.2	Fundering op trillingsisolatie	30
<b>5</b>	<b>Referenties</b>	<b>31</b>
	<b>Bijlage(n)</b>	
<b>A</b>	<b>Score ongewenste negatieve effecten per maatregel</b>	<b>A-1</b>

# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding

Als gevolg van de maatschappelijke aandacht voor trillingen door treinverkeer hebben het Ministerie van Infrastructuur en Milieu (IenM) en ProRail het initiatief genomen om maatregelen ter beperking van trillinghinder van het spoor en de mogelijkheden voor toepassing daarvan in de praktijk in beeld te brengen. Deze maatregelen catalogus [1] is in 2015 aan het ministerie van IenM aangeboden met daarbij een aanbeveling voor vervolgonderzoek [2]. De aanbevelingen zijn onderverdeeld in de rubrieken “Instrumenten” en “Onderzoek en ontwikkeling”. Voor twee van de aanbevelingen binnen de rubriek “Onderzoek en ontwikkeling, nl. voorstel 7 “Neveneffecten van trillingsmaatregelen” en voorstel 8 “(On-)bekende nadelen van de inzet van trillingsreducerende maatregelen”, is aan Deltares gevraagd invulling te geven middels opdracht 3143938 d.d. 06-02-2017 gebaseerd op de Deltares offerte met kenmerk 11200206-000-GEO-0001 d.d. 28 oktober 2016.

Door Deltares zijn 2 rapportages opgeleverd die aansluiten bij de eerder genoemde aanbevelingen:

- Dynamische neveneffecten van trillingsreducerende maatregelen (gerapporteerd in Deltares document 11200206-000-GEO-0003).
- Niet-dynamische nadelige effecten van trillingsreducerende maatregelen (onderhavig rapport).

Dit rapport zal verder alleen ingaan op de niet-dynamische nadelige effecten. De term “nadelig effect” moet in dit kader gelezen worden als “ongewenste negatieve effecten” welke de lading beter dekt. In het vervolg zal deze benaming dan ook worden gebruikt.

## 1.2 Doelstelling

Verschillende maatregelen in de Maatregelcatalogus zijn ingrijpend voor de omgeving. Het overgrote deel van de maatregelen zal uitgevoerd moeten worden in (dicht)bebouwde omgeving. Het is bekend dat ingrijpende maatregelen vaak nadelen hebben. Voor deze ongewenste negatieve effecten zijn mitigerende maatregelen wenselijk of zelfs noodzakelijk. Omdat deze mitigerende maatregelen meestal kostenverhogend werken, of zelfs een oplossing onmogelijk maken, moeten deze bij voorkeur in de ontwerpfase zo vroeg mogelijk bekend zijn.

Er is daarom behoefte deze ongewenste negatieve effecten van trillingsreducerende maatregelen inzichtelijk te maken in de Maatregelcatalogus om de keuze voor een bepaalde maatregel beter te onderbouwen. De hier bedoelde effecten zijn dus van niet dynamische aard in tegenstelling tot de dynamische neveneffecten. Het betreft effecten op of in de omgeving die het gevolg zijn van de toepassing van een maatregel (bouwwerkzaamheden, proces gevolgen, aangebrachte veranderingen in onder- of bovengrond).

De doelstelling van het voorgestelde onderzoek op het onderwerp “ongewenste negatieve effecten” is:

- Het opstellen van overzichtlijsten met te beschouwen nadelen voor de maatregelen uit de catalogus.
- Een beoordeling van het relatieve belang van elk risico in het algemeen en een indicatie van de parameters die van belang zijn voor het betreffende risico (dit betreft een kwalitatieve invulling daarvan t.b.v. een aanvulling op de Maatregelcatalogus en zegt iets over de kans van optreden van een ongewenst negatief effect).

Met deze informatie kan bij de afweging en keuze van trillingsreducerende maatregelen voor specifieke effecten door de gebruiker de gevolgen worden vastgesteld. Deze gevolgen en eventuele mitigerende maatregelen hebben consequenties voor tijd, geld, kwaliteit, imago.

### 1.3 Aanpak

De werkzaamheden in dit onderdeel beperken zich specifiek tot nadelen van de trillingsreducerende maatregelen uit de Maatregelcatalogus. De term “nadelen” moet in het kader hiervan gelezen worden als “ongewenste negatieve effecten” welke de lading beter dekt. In het vervolg zal deze benaming dan ook worden gebruikt.

Omdat het aantal mogelijke ongewenste negatieve effecten zeer groot kan worden, is risico gestuurd gezocht naar de meest relevante.

De volgende aanpak is gehanteerd:

1. Analyse van bekende risicolijsten voor soortgelijke constructies als de maatregelen genoemd in de Maatregelcatalogus op mogelijke ongewenste negatieve effecten en waar deze van afhankelijk zijn. Daarbij wordt geput uit risicolijsten Geolimpuls, document ‘Aanbevelingen voor het ontwerp van bouwkuipen in stedelijke omgeving’ (i.v.m. gelijkwaardige wandconstructies) en document ‘Ontwerpvoorschrift Baanlichaam en Geotechniek’.
2. Compleet maken van de lijst in samenwerking met ProRail experts.
3. Voor de meest van belang zijnde ongewenste negatieve effecten zal worden nagegaan van welke parameters deze afhankelijk zijn. Daarna zullen deze gelegd worden naast de maatregelen in de Maatregelcatalogus om te zien welke maatregelen welke ongewenste gebeurtenissen kunnen beïnvloeden.
4. In samenwerking met ProRail vaststellen welke ongewenste negatieve effecten het belangrijkste zijn door het scoren ervan voor elke maatregelen uit de catalogus. Dit zal uiteindelijk leiden tot een lijst met potentiële niet dynamische nadelen met een prioriteitsstelling.
5. Tot slot volgt een overzicht met voor elke maatregel de ongewenste negatieve effecten die kunnen optreden en wat de kans daarop kan zijn. Bij deze uitwerking zijn geen berekeningen uitgevoerd, het betreft uitsluitend een kwalitatieve benadering.

#### **1.4 Leeswijzer**

Hoofdstuk 2 bevat de inventarisatie van de mogelijke ongewenste negatieve effecten. De effecten worden toegelicht en vastgesteld wordt welke factoren daarin bepalend zijn voor het optreden ervan.

In hoofdstuk 3 wordt per maatregel de omvang een potentieel negatief effect vastgesteld door middel van een scoresysteem die ingevuld is door experts.

In hoofdstuk 4 worden de conclusies samengevat zodat de Maatregelcatalogus kan worden uitgebreid met aanvullende informatie over mogelijk optredende ongewenste negatieve effecten.



## 2 Niet-dynamische ongewenste negatieve effecten van trillingsreducerende maatregelen

### 2.1 Bronnen

Om tot een complete lijst van ongewenste negatieve effecten te komen is een aantal bronnen geraadpleegd. Deze bronnen worden gezien als meest relevant en geven negatieve effecten die voorkomen moeten worden of laten zien welke negatieve effecten te verwachten zijn. De volgende bronnen zijn geraadpleegd:

#### 1. OntwerpVoorSchrift Baanlichaam en Geotechniek

Dit ontwerpvoorschrift is bedoeld voor de ontwerper van railinfrastructuur. Opgenomen zijn eisen en toetsingscriteria voor het ontwerp en beoordeling van baanlichamen van nieuw aan te leggen maar ook van bestaande sporen.

De eisen en toetsingscriteria zijn zo geformuleerd dat voldaan kan worden aan constructieve veiligheid en bruikbaarheid en ongewenste negatieve effecten daarmee worden voorkomen. Deze ongewenste negatieve effecten zijn omschreven en kunnen gebruikt worden als inspiratie. Externe maatregelen zoals uit de Maatregelcatalogus kunnen namelijk onbedoeld ongewenste negatieve effecten zoals omschreven weer relevant maken.

#### 2. Risicolijst Geo-impuls (bouwputten, waterkeringen, wegconstructie)

Geo-Impuls ([www.geoimpuls.org](http://www.geoimpuls.org)) is een nationaal programma (2009-2014) waarin meer dan dertig partijen uit de grond-, weg- en waterbouw hebben samengewerkt aan het reduceren van geotechnisch falen bij bouwprojecten. Het doel is dat technische werkzaamheden in de ondergrond minder vaak aanleiding geven tot vertragingen, budgetoverschrijdingen of imagoschade. Binnen drie thema's zijn werkgroepen samengesteld om kennis en/of hulpmiddelen te ontwikkelen, nl. Contracten, Mens en omgeving en Techniek.

Eén van de producten is een algemene lijst van ongewenste gebeurtenissen voor bouwwerkzaamheden die ook voor de Maatregelcatalogus relevant kunnen zijn. Het gaat daarbij om de lijst voor bouwputten (in de grond gemaakte keerwanden), waterkeringen (grondlichamen) en wegconstructies.

#### 3. Aanbevelingen voor het ontwerp van bouwkuipen in stedelijke omgeving

In het kader van COB/Delft Cluster onderzoek ([www.cob.nl](http://www.cob.nl)) is kennis en ervaring samengebracht op het gebied van de aanleg van ondergrondse constructies (zoals tunnels, parkeergarages) waar bouwputten zijn benodigd. Onderdeel daarvan is de informatie omtrent vervormingen van het grondmassief buiten de bouwkuip (omgeving) o.a. als gevolg van de aanleg van keerwanden. Daarbij wordt in het document geconcludeerd dat de beïnvloeding van de omgeving veelal wordt veroorzaakt door de volgende aspecten (de mate waarin hangt uiteraard af van de projectomstandigheden):

- Voorbereidende werkzaamheden zoals verleggen kabels en leidingen.
- Beïnvloeding van de grondwaterstand:
  - Het ontstaan van waterstandverschillen over de bouwput(wand).

- Freatische waterstandveranderingen in een groter gebied, bijvoorbeeld door gewijzigde grondwaterstromingen.
- Verandering van stijghoogte in diepere lagen in een groter gebied.
- Lekkage door de bouwputwanden. Meestal tijdelijk van aard, maar veroorzaakt wel zakkingen.
- Aanbrengen, verwijderen van stempels en ankers, danwel wijzigingen in de configuratie hiervan.
- Vervorming van de kerende wand.
- Trillingen, geluid en vervormingen tijdens inbrengen en verwijderen van de wand.

## 2.2 Overzicht van ongewenste negatieve effecten en bepalende parameters

Op basis van het voorgaande is een lijst met niet dynamische nadelen van de maatregelen uit de Maatregelcatalogus afgeleid. De omvang waarin een ongewenst negatief effect optreedt is afhankelijk van bepaalde parameters. Wanneer bij een maatregel ongewenste negatieve effecten optreden kan door iets te doen aan de bepalende parameters de ongewenste negatieve effecten het meest effectief worden gereduceerd.

In de navolgende subparagrafen volgt per ongewenst negatief effect een omschrijving ervan en de parameters waar deze van afhankelijk is.

### 2.2.1 1 Stabiliteitverlies onderbouw spoor

#### **Omschrijving**

De aardenbaan dient stabiel te zijn volgens de geotechnische norm NEN9997 en aanvullende eisen van ProRail. Stabiliteitverlies kan zich uiten in bezwijken van onder- of bovenbouw, hetzij via het optreden van een bezwijkmechanisme (zoals afschuifvlak in ondergrond, constructief bezwijken liggers, rails) danwel via het optreden van grote (schuif)vervormingen.

Aanpassingen aan de geometrie (zoals tijdelijke ontgravingen, wijzigingen in geometrie van de aardenbaan, verandering van de grondwaterstand) kunnen leiden tot verandering van sterktes van de ondergrond. Veranderingen als gevolg van een andere belasting (zoals bij toepassing van ander materieel) is hier buiten beschouwing gelaten.

#### **Van belang zijnde parameters**

De stabiliteit van de onderbouw van het spoor kan veranderen door 2 zaken. Enerzijds kan een verandering van de geometrie, bijvoorbeeld in de vorm van een ontgraving, de stabiliteit van het spoor of naastgelegen sporen nadelig beïnvloeden. Anderzijds kan een belastingverandering, waarbij gedacht kan worden aan het aanbrengen van grond of een verandering van de grondwaterstand zorgen voor een toename van geotechnische belastingen.

Beide oorzaken zijn gekoppeld aan en beïnvloeden de spanningstoestand in de ondergrond, waardoor of de belasting toeneemt of de weerstand afneemt.

#### **Aanwezigheid**

Dit effect speelt vooral tijdens de aanlegfase.

### 2.2.2 2 Zetting door gewichtsverandering

#### **Omschrijving**

Voor het goed functioneren van het spoor gelden zettingsgerelateerde eisen. Er zijn maatregelen waarbij meer constructief materiaal met een hoger volumegewicht worden

aangebracht. Dit kan bijvoorbeeld een betonnen constructie zijn, het kan ook gaan om zwaarder materiaal (zand of stenen) dan oorspronkelijk aanwezig was. Dit zal leiden tot aanvullende (verschil) zettingen.

Een toename van gewicht kan een nadelig 2<sup>e</sup> orde effect hebben voor locaties waar zettingsproblemen al aanwezig zijn zoals bij aansluitingen bij kunstwerken of daar waar afstand tussen overgangen (zoals tussen spoor elementen of tussen spoor en kunstwerk) worden vergroot. Dit kan leiden tot grotere zettingsverschillen en/of grotere dynamische krachten of trillingen.

#### ***Van belang zijnde parameters***

Een zettingsproces wordt in gang gezet door het aanbrengen van zwaarder materiaal dan oorspronkelijk aanwezig was. Het zwaardere materiaal kan een betonnen constructie betreffen maar kan ook veroorzaakt worden door het vervangen van het oorspronkelijke zand door zwaarder granulaat of andere korrelige materialen.

In bijzondere gevallen kan het zo zijn dat slap grondmateriaal wordt vervangen door zand of ander zwaarder granulaat. Dit betreft echter uitzonderingen en vermoedelijk zeer oude sporen, omdat normaal gesproken een spoorlichaam al conform de ontwerpvoorsieningen is van een minimaal opbouw van ballastbed/granulaat/zand.

#### ***Aanwezigheid***

Dit effect kan permanent aanwezig zijn i.v.m. het tijdseffect van zettingen.

### 2.2.3 3 Vermindering drooglegging/verhinderende afvoer grondwater

#### ***Omschrijving***

Wanneer het grondwater of geïnfiltreerde regenwater minder goed door het ballastbed en de ondergrond afgevoerd kan worden kan de drooglegging afnemen (de freatische grondwaterstand gaat omhoog). Dit zal een nadelige invloed hebben op het draagvermogen van de ondergrond, de stabiele ligging van het spoor en de stabiliteit van het baanlichaam doordat:

- 1 Als gevolg van cyclische belastingen ongewenste waterspanningen in het ballastbed en in de ondergrond optreden.
- 2 Vervuiling van het ballastbed vanuit de ondergrond optreedt (door waterstroming).
- 3 Volumeveranderingen ontstaan door zwellen en krimpen van de ondergrond.
- 4 Vorstschade optreedt (vorstgrens).

#### ***Van belang zijnde parameters***

De doorlatendheid van het materiaal onder het ballastbed bepaald hoe snel regenwater kan infiltreren in de ondergrond en kan afstromen. Wanneer de doorlatendheid afneemt, door minder doorlatend materiaal of door een gemaakte constructie zal de grondwaterstand omhoog kunnen komen. Daarmee nemen zowel de korrelspanningen in de ondergrond en de weerstand voor het opnemen van belastingen af.

Maatregelen die ingrepen doen in de doorlatendheid van het materiaal onder het ballastbed of de afvoerlengte van grondwater in het spoorlichaam vergroten kunnen de drooglegging verminderen.

**Aanwezigheid**

Dit effect zal permanent aanwezig zijn.

## 2.2.4 4 Vermindering capaciteit infiltratie/vergroting oppervlakte afstroming

**Omschrijving**

Regenwater dient voldoende snel te kunnen worden afgevoerd, hetzij via oppervlakte afstroming, hetzij via infiltratie in de onderbouw.

Voor oppervlakteafstroming moet water snel kunnen afstromen zonder plasvorming en erosie aan bekleding van o.a. taluds. Dit verloopt normaal gesproken via het ballastbed, eventueel met aanvullende drainage naar het oppervlaktewater.

Om de infiltratie goed te laten verlopen is onder het ballastbed in het algemeen een zandlaag aanwezig die een minimale dikte moet hebben om te voorkomen dat water niet snel genoeg kan infiltreren en dan via het oppervlak moet afstromen. Is de infiltratie onvoldoende dan is een verminderde drooglegging en vergrote oppervlakteafstroming het gevolg.

Voor maatregelen die een verandering van de infiltratie tot gevolg hebben dient bij de beoordeling ervan rekening te worden gehouden met andere intensiteit van maatgevende buien i.v.m. klimaatverandering.

**Van belang zijnde parameters**

Wanneer regenwater onvoldoende kan infiltreren, bijvoorbeeld door meer ondoorlatend materiaal of het maken van constructies moet dit water via het oppervlak afstromen. De doorlatendheid van met name het ballastbed, maar uiteindelijk de gehele onderbouw, is daarvoor verantwoordelijk. Maatregelen die de openheid van de ondersteuning van het spoor verlagen zullen met name meer oppervlakte afstroming creëren.

**Aanwezigheid**

Dit effect zal permanent aanwezig zijn.

## 2.2.5 5 Maaiveldzakking door ontspanning ondergrond

**Omschrijving**

Het ontgraven van een sleuf t.b.v. het maken van een scherm zal leiden tot een ontspanning in de ondergrond. Dit kan aanleiding zijn tot zakkingen nabij de ontgravingslocatie. Dit kan leiden tot instabiliteit van het spoorlichaam mits dichtbij gelegen. Daarnaast kunnen andere objecten invloed ondervinden zoals wegen, gebouwen enz. Een groot deel van deze maaiveldzakking zal optreden tijdens de aanleg. Afhankelijk van de aanwezigheid van kleilagen kan ook in de gebruikperiode nog nazakking optreden.

**Van belang zijnde parameters**

De afmetingen van een te maken sleuf bepaald de mate waarin de ondergrond zal kunnen ontspannen (korrelspanningen nemen af) en de omgeving beïnvloed zal worden.

Afhankelijk van de vulling van de sleuf zal het effect meer of minder zijn. De sleuf kan leeg zijn (eventueel ondersteund met damwanden), of gevuld zijn met steunvloeistof (bijv. bentoniet achtige vloeistof) of uiteindelijk beton.

**Aanwezigheid**

Dit effect speelt vooral tijdens de aanlegfase.

## 2.2.6 6 Maaiveldzakking door bouwtrillingen

### **Omschrijving**

Trillingen t.g.v. bouwwerkzaamheden kunnen aanleiding geven tot verdichting van losgepakte zandlagen. Bij aardenbanen is bekend dat in de taluds zandlichamen losgepakt zijn. Er kan (enige) invloed verwacht worden voor het spoorlichaam mits dichtbijgelegen. Daarnaast kunnen andere objecten invloed ondervinden zoals wegen, gebouwen enz. Deze maaiveldzakking zal optreden tijdens de aanleg.

### **Van belang zijnde parameters**

Schermen kunnen op verschillende manieren in de grond aangebracht worden. Heien of trillen van damwand-achtige schermen veroorzaken trillingen. Deze trillingen kunnen een maaiveldzakking tot gevolg hebben. Groutinjectie kolommen of diepwandachtige constructies zullen minder trillingen veroorzaken.

Naast de inbrengmethode van een scherm kunnen ook overige bouwwerkzaamheden gekoppeld aan het maken van een scherm trillingen veroorzaken. Gedacht kan worden diverse voertuigtypen. Deze trillingen zijn met name verantwoordelijk voor schade aan gebouwen of constructies, direct of via zakkingen veroorzaakt door trillingen.

### **Aanwezigheid**

Dit effect speelt vooral tijdens de aanlegfase.

## 2.2.7 7 Schade door bouwtrillingen

### **Omschrijving**

Trillingen t.g.v. de bouwwerkzaamheden kunnen leiden tot schade aan constructies en gebouwen.

### **Van belang zijnde parameters**

Naast de inbrengmethode van constructie elementen en de benodigde bouwwerkzaamheden, welke de trillingen veroorzaken (zie ook 2.2.6), is ook de weerstand van gebouwen of constructies bepalend voor de hoeveelheid schade. De mate waarin schade kan optreden hangt af van het type constructie en staat waarin het zich bevindt.

### **Aanwezigheid**

Dit effect speelt vooral tijdens de aanlegfase.

## 2.2.8 8 Onvoldoende stabiliteit van de te maken constructie

### **Omschrijving**

De te maken constructie dient te voldoen aan de eisen van constructieve veiligheid. Dit is voor de meeste te maken constructies een triviale constatering. Echter een aantal constructies hebben bijzondere belastingsveranderingen tot gevolg, daarbij wordt bijvoorbeeld gedacht aan constructies met een lage eigen sterkte zoals de met vloeistof gevulde OTC (OTC open sleuf) of de OTC met 'piepschuim' constructieonderdelen.

### **Van belang zijnde parameters**

Wanneer een maatregel een te maken constructie betreft, zoals een scherm in de grond of een keerwand op maaiveld, zal deze constructie stabiel moeten zijn. Dit houdt meestal in dat aan eisen van constructieve veiligheid en toelaatbare vervorming moet zijn voldaan. De grootte van belastingen en eigenschappen van de constructie zijn daarin bepalend.

**Aanwezigheid**

Dit effect zal permanent aanwezig zijn, de aanlegfase kan maatgevend zijn.

## 2.2.9 9 Effect lagere of hogere grondwaterstand op omgeving (zetting, paalrot, wateroverlast)

**Omschrijving**

Wanneer een verandering in de freatische grondwaterstand optreedt, kunnen objecten in de omgeving hiervan invloed ondervinden. Een verlaging van de grondwaterstand kan bijvoorbeeld leiden tot zetting van samendrukbare grondlagen (zakking objecten, negatieve kleefbelasting), houten palen kunnen gedeeltelijk droog komen te staan.

**Van belang zijnde parameters**

Een veroorzaakte grondwaterstandsverandering, bijvoorbeeld door een veranderde doorlatendheid in de ondergrond of het maken van een scherm, zal effecten in de omgeving veroorzaken. Hoe groter de verandering hoe groter het gebied is dat zal worden beïnvloed en hoe groter de effecten. Deze effecten kunnen liggen op het gebied van zettingen, wateroverlast, paalrot enz.). De mate waarin deze schadelijk zijn hangt af van welke veranderingen toelaatbaar zijn vanuit de beschikbare reserve in het ontwerp van de bebouwing of constructies.

**Aanwezigheid**

Dit effect zal permanent aanwezig zijn.

## 2.2.10 10 Blokkade gebiedsgrondwaterstroming (bijv. in relatie tot verontreiniging compartimentering)

**Omschrijving**

Door een verandering in stromingssituatie van het grondwater kunnen verontreinigingen zich (anders) verplaatsen. Ook kan het zoutgehalte van het grondwater gaan veranderen indien zich dichtbij zout (grond)water bevindt.

**Van belang zijnde parameters**

De afmetingen van een wandconstructie (diepte, lengte) bepalen in hoeverre een blokkade van de natuurlijk aanwezige grondwaterstroming kan optreden. Blokkades kunnen een lokale opstuwning of verlaging van grondwaterstand nabij de wand veroorzaken maar zullen ook de grondwaterstromingsrichting (op gebiedsniveau) veranderen.

De diepte en lengte van een wand zullen bepaald worden door de gewenste mate van reductie van spoortrillingen.

**Aanwezigheid**

Dit effect zal permanent aanwezig zijn.

## 2.2.11 11 Schade of blokkade van kabels en leidingen

**Omschrijving**

Door het in de ondergrond aanbrengen van constructies (platen, wanden) kan de ligging van bestaande kabels of leidingen en daardoor de interne krachtswerking worden aangetast. Dat houdt in dat of voorzieningen moeten worden getroffen om de kabels of leidingen te ontzien of de kabels of leidingen moeten worden verlegd.

Bij de aanleg van nieuwe leidingen kan de uitgevoerde maatregel een blokkade opleveren. Dit geldt voor zowel eigen kabels als kabels en leidingen van derden.

***Van belang zijnde parameters***

De afmetingen van een te maken constructie bepaald in hoeverre de bestaande ligging van kabels of leidingen wordt aangetast, en in hoeverre toekomstige kabels of leidingen worden gehinderd.

Daarnaast bepalen de eigenschappen van het leidingmateriaal in hoeverre belastingsverhogingen toelaatbaar kunnen zijn.

De hoeveelheid bestaande of geplande kabels en leidingen bepalen ook de mate waarvoor extra maatregelen benodigd zijn.

***Aanwezigheid***

Dit effect zal permanent aanwezig zijn.

2.2.12 12 Beperkte beschikbaarheid spoor (buitendienststelling)

***Omschrijving***

Voor een deel van de maatregelen die het spoor betreffen of in de nabijheid van het spoor moeten worden uitgevoerd zal een buitendienststelling noodzakelijk zijn. Dat houdt in dat er hinder zal zijn omdat het spoor dan tijdelijk niet beschikbaar zal kunnen zijn.

***Van belang zijnde parameters***

De duur van de benodigde werkzaamheden voor een bepaalde maatregel bepaald in hoge mate de mate van overlast. Voor het spoor zal daarnaast de afstand tot het spoor een belangrijk aspect zijn. Hoe groter de afstand tot het spoor des te groter de kans dat het spoor beschikbaar zal blijven.

Een ander aspect waar in dit onderzoek niet op wordt ingegaan is de invloed van risicovolle uitvoeringswijzen die een onzekerheid introduceren over de lengte van werkzaamheden.

***Aanwezigheid***

Dit effect speelt vooral tijdens de aanlegfase.

2.2.13 13 Overlast omgeving (schade wegdek, geluids/trillingshinder, economische schade winkels/bedrijven)

***Omschrijving***

Naast hinder voor het spoor kan er ook overlast zijn voor de omgeving. Deze overlast kan zich uiten in schade aan wegen of paden, geluidshinder of trillinghinder, maar ook economische schade voor winkels en bedrijven die hetzij tijdelijk minder goed of niet bereikbaar zijn of werkzaamheden moeten onderbreken vanwege geluid of trillingen.

***Van belang zijnde parameters***

Naast de duur van de werkzaamheden zullen ook de werkzaamheden zelf bepalend zijn voor de grootte van hinder of overlast. Logistieke bewegingen, bouwwerkzaamheden, afzettingen bepalen dan allemaal welke schade de omgeving zal ondervinden.

***Aanwezigheid***

Dit effect zal permanent aanwezig zijn. De aanlegfase kan maatgevend zijn.

#### 2.2.14 14 Vertraging in planning door obstakels (oude constructies, NGE, archeologie)

##### **Omschrijving**

Bij bouwwerkzaamheden in de ondergrond kunnen onverwachte obstakels vaak tot lange uitloop in de planning leiden wat veelal hoge extra kosten betekent.

Het is daarom van belang inzicht te hebben in de mogelijke obstakels, in de breedste zin van het woord. Hierbij kan worden gedacht aan:

- Resten van oude constructies (funderingen, kelders, kademuren).
- Niet gesprongen explosieven.
- Milieuverontreinigingen.
- Archeologische objecten.

##### **Van belang zijnde parameters**

Des te groter de afmetingen van de te maken maatregel des te meer kans er is om met obstakels in de ondergrond geconfronteerd te worden. Historisch onderzoek naar deze obstakels (oude funderingen, NGE, archeologie) is steeds noodzakelijker bij grotere afmetingen.

##### **Aanwezigheid**

Dit effect speelt vooral tijdens de aanlegfase.

#### 2.2.15 15 Beperking van ruimtegebruik, beleving

##### **Omschrijving**

Door veranderingen in de open ruimte kan het voor derden een nadeel in de beleving opleveren. Dit kan te maken hebben met een verandering van het gebruik van een terrein. Hierbij kan bijvoorbeeld gedacht worden aan een openbaar groen gebied (plantsoen) waar een constructie als maatregel in de overdracht wordt geplaatst en daardoor niet meer als zodanig te gebruiken is. Het kan ook te maken hebben met een verandering van uitzicht; een voorbeeld is dat een 'groen' talud veranderd in een betonnen keerwand of een woning wordt aangepast met constructieve voorzieningen.

##### **Van belang zijnde parameters**

De omvang van de uit te voeren werkzaamheden bepaald in combinatie met de aanwezige stakeholders in hoeverre dit aspect optreedt.

##### **Aanwezigheid**

Dit effect zal permanent aanwezig zijn.

#### 2.2.16 16 Niet voldoen aan technische eisen (bijv. elektrische geleidbaarheid)

##### **Omschrijving**

Maatregelen kunnen invloed uitoefenen op eigenschappen zoals de elektrische geleidbaarheid waardoor niet aan de technische eisen kan worden voldaan.

##### **Van belang zijnde parameters**

Veranderingen van de hoeveelheid staal in de grond nabij het spoor zullen invloed hebben op de elektrische geleidbaarheid nabij het spoor. De effecten zullen minder worden bij een minder hoeveelheid staal voor de maatregel en bij een toenemende afstand tot het spoor.

##### **Aanwezigheid**

Dit effect zal permanent aanwezig zijn.



#### 2.2.17 17 Verandering van kritische snelheid

##### **Omschrijving**

Als gevolg van andere materialen in de ondergrond nabij het spoor kunnen als gevolg van stijfheidsveranderingen de kritische snelheid veranderen (opslingering). Het kan hierbij gaan om betonnen constructies, maar ook andere aanvulmaterialen in combinatie met geogrid of veranderingen in geometrie van het baanlichaam.

##### **Van belang zijnde parameters**

Een toename van de stijfheid van de ondergrond waar het spoor is gelegen zullen de kritische snelheid beïnvloeden. Hoe minder de stijfheid verandert des te minder effect dit zal hebben.

##### **Aanwezigheid**

Dit effect zal permanent aanwezig zijn.

#### 2.2.18 18 Schade van belangen van andere stakeholders dan ProRail (particulieren, gemeenten)

##### **Omschrijving**

Bij maatregelen die betrekking hebben op het spoor hoeft ProRail geen of nauwelijks rekening te houden met andere stakeholders. Andere maatregelen, buiten de zone van het spoor, hebben direct invloed op andere stakeholders, zoals overheden, kabel en leiding eigenaren, beheerders van wegen, grondwater, andere vervoerbedrijven, particuliere woningeigenaren of bedrijven.

Meer stakeholders leidt tot meer inspanning om plannen te kunnen verwezenlijken.

##### **Van belang zijnde parameters**

De hoeveelheid stakeholders waarmee rekening zal moeten worden gehouden bij een bepaalde maatregel zal vooral afhankelijk zijn van de afstand tot het spoor (dicht bij het spoor alleen ProRail). Verder zal de hoeveelheid stakeholders toenemen als de werkzaamheden (omvang en duur) benodigd om een maatregel uit te voeren toeneemt.

##### **Aanwezigheid**

Dit effect zal permanent aanwezig zijn.

### 3 Kans op ongewenste negatieve effecten per maatregel

#### 3.1 Doel en scoresysteem

De mate waarin de ongewenste negatieve effecten kunnen optreden variëren uiteraard per maatregel. Dat kan enerzijds komen door algemene zaken, zoals of het een maatregel aan de bron of in de overdracht betreft, maar wordt ook veroorzaakt door specifieke uitvoeringswerkzaamheden of type constructiemateriaal. Daardoor kan alleen in het algemeen iets gezegd worden over de kans dat een ongewenst negatief effect kan voorkomen. De gevolgen blijven, conform de scope van het project buiten beschouwing, dat hoort bij de partij die maatregelen gaat afwegen.

Per maatregel uit de Maatregelcatalogus spoortrillingen, zijn de diverse ongewenste negatieve effecten van een score voorzien.

Het scoresysteem is simpel gehouden om een globaal overzicht te kunnen creëren. Per maatregel wordt een ongewenst negatief effect gescoord in 3 klassen conform:

- 1        Kans nihil: er wordt geen of slechts een zeer geringe invloed verwacht.
- 3        Kans klein: er wordt verwacht dat er enige invloed zal zijn.
- 5        Kans groot: er wordt verwacht dat er een grote invloed zal zijn.

Er is gekozen voor 1-3-5 i.p.v. 1-2-3 om vanwege presentatiedoelinden iets meer verschillen in de scores te krijgen.

De scores per maatregel zijn door experts van Deltares (geotechniek, dynamica, algemeen) en experts van ProRail vastgesteld. De individuele maatregelscores zijn eerst samengevoegd tot scores voor de categorieën bron, overdracht en ontvanger. Deze tussenstap-score per categorie wordt gedaan omdat het aantal maatregel per categorie in aantal varieert en daardoor een overall gemiddelde te veel zal kunnen beïnvloeden. Tot slot wordt dan een gemiddelde bepaald van die 3 categorie-scores om tot een totaalscore van het ongewenste negatieve effect te komen.

#### 3.2 Eindscore

Het totale overzicht van de score tabel is gegeven in bijlage A.

Bij een aantal aspecten bleek een nadere overweging benodigd om tot de eindscore te komen. Hierna volgt een toelichting op die overwegingen.

**Stabiliteit onderbouw spoor – aanvullend onderhoud ballastbed**

Door het uitvoeren van aanvullend onderhoud aan het ballastbed waarbij het ballast wordt aangestampt en verdicht kan de stabiliteit van het bestaande en naastgelegen spoor beïnvloed worden. Enige invloed hiervan is te verwachten.

**Zetting door gewichtsverandering geogrid onder ballast en aansluiting KW.**

Bij deze maatregelen wordt een geogrid aangebracht op enige diepte. Gewichtsverandering kan optreden indien het aanvulmateriaal op het geogrid zwaarder is dan het grondmateriaal dat oorspronkelijk aanwezig was. Over het algemeen wordt verwacht dat dit niet dat grote gewichtsverschillen zal leiden maar dat wel degelijk enige invloed verwacht kan worden. Als dat wel zo is kunnen problemen met zettingen of zettingsverschillen groter worden.

#### Zetting door gewichtsverandering - voegloos rail

Door het uitvoeren van aanvullend onderhoud aan het ballastbed waarbij het ballast wordt aangestampt en verdicht kan lokaal extra ballast materiaal nodig blijken om het spoor op hoogte te houden. Daarmee verandert (lokaal) het aanwezige gewicht met extra zettingen tot gevolg. Aangezien het spoor voegloos is kunnen door lokaal verminderde steun van de ondergrond als gevolg van zettingen materiaalspanningen in het spoor worden vergroot.

#### Zetting door gewichtsverandering - aanvullend onderhoud ballastbed

Door het uitvoeren van aanvullend onderhoud aan het ballastbed waarbij het ballast wordt aangestampt en verdicht kan lokaal extra ballast materiaal nodig blijken om het spoor op hoogte te houden. Daarmee verandert (lokaal) het aanwezige gewicht met extra zettingen (zettingsverschillen) tot gevolg. Nabij overgangen (spoorvoegen, wissels, stootplaten, andere systemen) kan dit enige tot grote invloed hebben.

#### Zetting door gewichtsverandering - Steiler maken van talud

Door het steiler maken van een talud zal over het algemeen meer materiaal worden aangebracht. Dit zal leiden tot meer zettingen. De invloed hiervan op het spoor is afhankelijk van de afstand van het talud tot het spoor. De verwachting is dat als de stabiliteit van de onderbouw van het spoor verzekerd is, de zetting van minder belang zal zijn.

#### Effect lagere of hogere grondwaterstand op omgeving – L wand in talud

Bij een L-wand wordt verondersteld dat de vloerplaat niet diep in de ondergrond wordt geplaatst en daardoor slechts een kleine invloed kan hebben op de grondwaterstand. Dit in tegenstelling tot een lange wand (OTC wanden).

#### Kritische snelheidsverandering – geogrid onder ballastbed

Bij deze maatregelen wordt een geogrid aangebracht op enige diepte. Gewichtsverandering kan optreden indien het aanvulmateriaal op het geogrid zwaarder is dan het grondmateriaal dat oorspronkelijk aanwezig was. Dit materiaal kan ook de stijfheid van de onderbouw vergroten t.o.v. de situatie die er was met de oorspronkelijk aanwezige grond. Dit kan een invloed hebben op de kritische snelheid.

#### Kritische snelheidsverandering – L wand in talud en Steiler maken van talud

Bij deze maatregelen zal een aanpassing plaatsvinden in de geometrie in dwarsrichting. Over het algemeen wordt een constructiemateriaal (L wand) in het grondlichaam aangebracht of er wordt meer grond aangebracht (steiler maken). Beide effecten kunnen enige invloed hebben op de kritische snelheid.

### 3.3 Resultaat score en prioriteit

Op basis van de eindscore in bijlage A kunnen lijsten gemaakt worden, waarbij de van de score afgeleide belangrijkheid zichtbaar wordt. In onderstaande tabel 3.1 is de lijst gegeven van de meest belangrijke ongewenste negatieve effecten per maatregel categorie. Met de oranje kleur zijn de belangrijkste ongewenste negatieve effecten weergegeven. Ook is daarbij aangegeven welke scores hoog zijn. De grens is gelegd bij score 2, deze score ligt tussen 1 en 3 en kan betekenen dat bij scores lager dan deze grens de kans op dit negatief effect klein genoeg is.

Nr.	Aanwezigheid	Omschrijving ongewenst negatief effect	Score			
			Categorie bron	Categorie overdracht	Categorie ontvanger	totaal
13	a / p	Overlast omgeving (schade wegdek, (directe en langeduur) zakking wegdek, geluids/trillingshinder, economische schade winkels/bedrijven)	1.3	4.0	5.0	3.4
18	p	Schade aan belangen van andere stakeholders (particulieren, gemeenten, bedrijven, Bouw en Woning Toezicht)	1.0	3.8	5.0	3.3
8	a / p	Onvoldoende stabiliteit (constructieve veiligheid) van de te maken constructie	1.8	4.0	2.0	2.6
12	a	Beperkte beschikbaarheid spoor (buitendienststelling)	4.8	1.5	1.0	2.4
9	p	Effect lagere of hogere grondwaterstand op omgeving (zetting, paalrot, wateroverlast)	2.0	4.0	1.0	2.3
14	a	Vertraging in planning door obstakels (oude constructies, NGE, archeologie)	1.0	3.8	2.0	2.3
1	a	Stabiliteitsverlies onderbouw spoor	3.4	2.3	1.0	2.2
3	p	Vermindering drooglegging/verhinderend afvoer grondwater	1.3	4.0	1.0	2.1
11	p	Schade of blokkade van kabels en leidingen	1.8	3.5	1.0	2.1
2	p	Zetting door gewichtsverandering	2.8	1.5	1.0	1.8
10	p	Blokkade gebiedsgrondwaterstroming (bijv. in relatie tot verontreiniging en verzilting)	1.0	3.3	1.0	1.8
4	p	Vermindering capaciteit infiltratie/vergroting opp afstroming	2.6	1.3	1.0	1.6
5	a	Maaiveld zakking door ontspanning ondergrond	1.0	2.8	1.0	1.6
6	a	Maaiveld zakking door bouwtrillingen	1.3	2.5	1.0	1.6
15	p	Beperking van ruimtegebruik, beleving	1.0	1.8	2.0	1.6
7	a	Schade door bouwtrillingen	1.1	2.3	1.0	1.5
17	p	Verandering van kritische snelheid	1.9	1.5	1.0	1.5
16	p	Niet voldoen aan technische eisen (bijv. elektrische geleidbaarheid)	1.8	1.5	1.0	1.4

nr.: nummering zoals gehanteerd in bijlage A  
a: ongewenst negatief effect bij aanleg  
p: permanent ongewenst negatief effect  
celkleur oranje: score  $\geq$  2

Tabel 3.1 Overzicht en prioritering ongewenste negatieve effecten van maatregelen in op basis van eindscore  
Maatregelcatalogus

Op basis van de scores op ongewenste negatieve effecten kunnen ook de maatregelen uit de Maatregelcatalogus geprioriteerd worden. Dit is gedaan in tabel 3.2.

Maatregel uit catalogus	Categorie	Score alle ongewenste negatieve effecten
OTC open sleuf met keerwanden	overdracht	3.3
OTC beklede keerwand	overdracht	3.2
OTC open sleuf	overdracht	3.2
OTC PS scherm bij woning	overdracht	3.0
OTC betonscherm	overdracht	2.9
ballast mat op betonplaat	baan	2.6
isolatie onder dwarsliggers op betonplaat	baan	2.6
zettingvrije plaat (+palen)	baan	2.6
L wand in talud	overdracht	2.3
steiler maken talud	overdracht	2.2
floating slab track	baan	2.1
slab track/stijve plaat	baan	2.1
ladder track	baan	1.9
ballast mat	baan	1.9
geogrid onder ballastbed	baan	1.9
aansluiting KW	baan	1.8
funderings aanpassing	ontvanger	1.7
wide sleeper track	baan	1.6
aanvullend onderhoud ballastbed	baan	1.6
bovengrondse constructieve aanpassing	ontvanger	1.6
aanleg spoorloot/waterpartij	overdracht	1.4
under sleeper pads	baan	1.3
wissel verplaatsen	baan	1.3
voegloos rail	baan	1.3
afveren rails railklem	baan	1.2
onderhoud rails	baan	1.2

Tabel 3.2 Overzicht en prioritering score maatregelen uit catalogus op alle ongewenste negatieve effecten

### 3.4 Conclusies met betrekking tot de scores

Uit de scores (Tabel 3.1, Tabel 3.2 en bijlage A) kunnen een aantal conclusies worden getrokken:

- De scores voor de ongewenste negatieve effecten varieert bij het scoresysteem 1-3-5 van 1,4 tot 3,4. Het gemiddelde is 2,0. De gemiddelde score ligt dicht bij de ondergrens van scores, ofwel de kans ligt dicht bij 'klein' dan bij 'groot'. Dit betekent dat bij de diverse maatregelen niet louter ongewenste negatieve effecten optreden. In het algemeen geldt dat per maatregel slechts enkele ongewenste negatieve effecten van toepassing zullen zijn. De maatregelen zullen gemiddeld gezien weinig ongewenste negatieve effecten opleveren. Het gevolg van het ongewenst negatieve effect (tijd, geld, kwaliteit of imago) kan nog wel variëren.

- De gemiddelde score voor maatregelen aan de overdracht is veel groter dan die aan de baan en die bij de ontvanger. Dat komt omdat de maatregelen in de overdracht potentieel over een grotere afstand ongewenste negatieve effecten kunnen opleveren voor zowel de baan, de stakeholders in de overdracht zone en bij de ontvanger. Bovendien zijn voor specifieke ongewenste negatieve effecten veel invloed te verwachten omdat de maatregelen ingrepen (soms tot diep) in de grond nodig maken.
- Ongewenste negatieve effecten met een gemiddelde score tussen 1 en 2 kunnen gezien worden als minder belangrijk, terwijl scores boven de 2 aanvullende analyses voor het reduceren van ongewenste negatieve effecten vergen in het keuzeprocess van geschikte maatregelen.
- Het zijn met name de in de grond geplaatste ondergrondse trillingswerende constructies die hoog scoren op ongewenste negatieve effecten. Dit wordt veroorzaakt omdat deze constructies een duidelijk omvang hebben in diepte en lengte. Deze omvang wordt gedictieerd door de benodigde reductie van de trillingen. De diepte zorgt voor een toename van de benodigde bouwmaterieel, maar ook voor een toename in de afstand tot waar mogelijke ongewenste negatieve effecten worden gevoeld. De lengte bepaalt eveneens de grootte van het gebied dat wordt beïnvloed en tevens de duur van deze overlast.
- Na de ondergrondse trillingswerende constructies volgen oplossingen met grote ingrepen aan de baan. Het gaat daarbij om het aanbrengen van betonconstructies (soms i.c.m. palen) en ontgravingen.
- Lage scores (lager dan 2) worden gevonden bij oplossingen met minder grote ingrepen aan de baan (minder diep, minder beton) of aanpassingen aan de geometrie van de aardenbaan.
- De lijst wordt afgesloten met ingrepen die hetzij heel lokaal zijn (zoals bij de te beschermen panden), slechts beperkte ingrepen (zoals ontgravingen) kennen of lijken op onderhoudsachtige oplossingen.
- In specifieke gevallen blijkt de score voor een bepaalde maatregelcategorie (baan, overdracht, ontvanger) sterk af te kunnen wijken van de gemiddelde score. Voor die categorieën geldt dan ook dat aanvullende analyses nodig zijn. Een indeling op basis van de gemiddelde scores is daarom wellicht wel goed voor het globale beeld, voor individuele maatregelen moet gekeken worden naar de inspanningen (kosten, tijd, werkzaamheden) die nodig zijn om een specifiek ongewenst negatief effect te reduceren.
- Sommige ongewenste negatieve effecten behoren heel sterk bij een enkele maatregelen categorie. Zo zal de beschikbaarheid van het spoor vooral van belang zijn bij maatregelen aan de baan. Andersom zijn ongewenste negatieve effecten zoals 'overlast omgeving' en 'hoeveelheid stakeholders' vooral gekoppeld aan maatregelen in de overdracht. Verder zijn er een serie ongewenste negatieve effecten die horen bij het in de grond maken schermen.

## 4 Conclusies

### 4.1 Algemeen

Rekening houdend met ontwerpvoorschriften voor de baan en veel voorkomende risico's behorende bij bouwwerkzaamheden benodigd voor het uitvoeren van de trillingsreducerende maatregelen, is een lijst met ongewenste negatieve effecten voor de trillingsreducerende maatregelen uit de Maatregelcatalogus spoortrillingen samengesteld. Daarna is vastgesteld welke ongewenste negatieve effecten een hoge, lage of nihil kans van optreden hebben bij een maatregel.

Op basis hiervan kunnen de volgende algemene conclusies worden getrokken:

- De scores voor de ongewenste negatieve effecten varieert bij het scoresysteem 1-3-5 van 1,3 tot 3,4. Het gemiddelde is 2,0. In het algemeen geldt dat per maatregel slechts enkele ongewenste negatieve effecten van toepassing zullen zijn. De relatief nuttige maatregelen zullen gemiddeld gezien weinig ongewenste negatieve effecten opleveren. Het gevolg van het ongewenst negatieve effect (tijd, geld, kwaliteit of imago) kan nog wel variëren.
- De gemiddelde score voor maatregelen aan de overdracht zijn veel groter dan die aan de baan en die bij de ontvanger. Dat komt omdat de maatregelen in de overdracht potentieel over een grotere afstand ongewenste negatieve effecten kunnen opleveren voor zowel de baan, de stakeholders in de overdracht zone en bij de ontvanger. Bovendien zijn voor specifieke ongewenste negatieve effecten veel invloed te verwachten omdat de maatregelen ingrepen (soms tot diep) in de grond nodig maken.
- Ongewenste negatieve effecten met een gemiddelde score tussen 1 en 2 kunnen gezien worden als minder belangrijk, terwijl scores boven de 2 aanvullende analyses voor het reduceren van ongewenste negatieve effecten vergen in het keuzeprocess van geschikte maatregelen.
- Het zijn met name de in de grond geplaatste wandconstructie die hoog scores op ongewenste negatieve effecten. Dit wordt veroorzaakt omdat deze constructies een duidelijk omvang hebben in diepte en lengte. Deze omvang wordt gedictieerd door de benodigde reductie van de trillingen. De diepte zorgt voor een toename van de benodigde bouw materieel, maar ook voor een toename in de afstand tot waar mogelijke ongewenste negatieve effecten worden gevoeld. De lengte bepaald eveneens de grootte van het gebied dat wordt beïnvloed en tevens de duur van deze overlast.
- Na de schermoplossingen volgen oplossingen met grote ingrepen aan de baan. Het gaat daarbij om het aanbrengen van betonconstructies (soms i.c.m. palen) en ontgravingen.

### 4.2 Ten behoeve van maatregel catalogus

In de Maatregelcatalogus is een samenvattend overzicht beschikbaar per maatregel. Daarbij is de volgende structuur gehanteerd welke te maken heeft met de informatie die beschikbaar wordt gesteld.

<b>[Naam]</b>	Naam van de maatregel.																				
<b>[type]</b>	Het kan een maatregel betreffen aan materieel, aan de bron, in de overdracht of bij de ontvanger.																				
<b>[TRL Niveau]</b>	Maatregelen zijn, afhankelijk van hun doorontwikkeling (Technology Readiness Level), ingedeeld in een negental categorieën.																				
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>TRL</th> <th>Omschrijving</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Algemene theoretische basis bekend</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>In theorie toepasbaar voor specifieke toepassing</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Analytische onderbouwing voor specifieke toepassing</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Validatie onderdelen in laboratorium proeven</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>Systeem validatie in representatieve omgeving</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>Testen prototype in realistische situatie.</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>Werkend prototype systeem beschikbaar</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>Eindfase ontwikkeling, systeem getest en akkoord</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>Commercieel verkrijgbaar, werking bewezen in praktijk</td> </tr> </tbody> </table>	TRL	Omschrijving	1	Algemene theoretische basis bekend	2	In theorie toepasbaar voor specifieke toepassing	3	Analytische onderbouwing voor specifieke toepassing	4	Validatie onderdelen in laboratorium proeven	5	Systeem validatie in representatieve omgeving	6	Testen prototype in realistische situatie.	7	Werkend prototype systeem beschikbaar	8	Eindfase ontwikkeling, systeem getest en akkoord	9	Commercieel verkrijgbaar, werking bewezen in praktijk
TRL	Omschrijving																				
1	Algemene theoretische basis bekend																				
2	In theorie toepasbaar voor specifieke toepassing																				
3	Analytische onderbouwing voor specifieke toepassing																				
4	Validatie onderdelen in laboratorium proeven																				
5	Systeem validatie in representatieve omgeving																				
6	Testen prototype in realistische situatie.																				
7	Werkend prototype systeem beschikbaar																				
8	Eindfase ontwikkeling, systeem getest en akkoord																				
9	Commercieel verkrijgbaar, werking bewezen in praktijk																				
<b>[Leverancier]</b>	Indien er een specifieke leverancier is, is deze hier opgenomen.																				
<b>[Omschrijving]</b>	Een korte omschrijving van de maatregel.																				
<b>[Reductie]</b>	Geeft aan welke reductie is te halen met de betreffende maatregel. Met betrekking tot de in de database gepresenteerde reductiefactoren wordt nadrukkelijk opgemerkt dat deze uit literatuur zijn overgenomen. De gebruiker dient te allen tijde te beoordelen of de gepresenteerde reducties in zijn projectsituatie eveneens te realiseren zijn. Daarbij wordt wellicht ten overvloede opgemerkt dat het niet mogelijk is om reducties van maatregelen cumulatief te beschouwen. Voor het bepalen van het totale effect, dient altijd het gehele toepaste systeem beschouwd te worden.																				
<b>[Kosten]</b>	Geeft een indicatie van de kosten van de maatregel.																				
<b>[Principe]</b>	Geeft aan op welk fysisch werkingsprincipe de maatregel gestoeld is.																				
<b>[Uitvoering]</b>	Geeft een beschrijving van aandachtspunten bij de uitvoering van de maatregel.																				
<b>[Onderhoud]</b>	Geeft aan of er specifiek onderhoud benodigd is na in gebruik name van de maatregel.																				

Op basis van de huidige analyse kan informatie m.b.t. de volgende aspecten worden toegevoegd:

- Dynamische neveneffecten (met resultaten uit Deltares rapportage 11200206-000-GEO-0003).
- Ongewenste negatieve effecten  
Overzicht van de te analyseren ongewenste negatieve effecten van een maatregel zodat de omvang van additionele maatregelen kan worden vastgesteld (bouwwerkzaamheden, kosten, en tijdsduur) nodig om de ongewenste negatieve effecten tot een acceptabel minimum te reduceren.

In de volgende paragrafen wordt de informatie over de ongewenste negatieve effecten per maatregel gegeven bestaande uit een samenvatting van de huidige analyse (relevante effecten en kans daarop).



### 4.3 Maatregelen aan materieel (bron)

- 4.3.1 In profiel houden van de wielen  
Geen toevoegingen.

### 4.4 Maatregelen aan de baan (bron)

- 4.4.1 Ballastmatten

Aspect	Omschrijving
Ongewenste negatieve effecten	<i>Algemeen kenmerk maatregel:</i> Waarschijnlijk diepe ontgraving tot onder ballastbed nodig ca. 0,5-1 m.
	<i>Kans hoog:</i> - Stabiliteitsverlies onderbouw spoor (H2.2.1) tijdens aanlegfase - Beperkte beschikbaarheid spoor (H2.2.12) tijdens aanlegfase
	<i>Kans klein:</i> - Vermindering capaciteit infiltratie (H2.2.4) - Onvoldoende stabiliteit van de te maken constructie (H2.2.8) - Schade of blokkade van kabels en leidingen (H2.2.11) - Effect lagere of hogere grondwaterstand op omgeving (H2.2.9)

- 4.4.2 Afveren rails met railklemmen op betonplaat

Aspect	Omschrijving
Ongewenste negatieve effecten	<i>Algemeen kenmerk maatregel:</i> Waarschijnlijk zeer beperkte ontgraving tot onder ballastbed nodig max. 0,5.
	<i>Kans hoog:</i> - Beperkte beschikbaarheid spoor (H2.2.12); tijdens aanlegfase en nastellen
	<i>Kans klein:</i> -

- 4.4.3 Slab track

Aspect	Omschrijving
Ongewenste negatieve effecten	<i>Algemeen kenmerk maatregel:</i> Waarschijnlijk zeer beperkte ontgraving tot onder ballastbed nodig max. 0,5.
	<i>Kans hoog:</i> - Zetting door gewichtsverandering (H2.2.2) - Vermindering capaciteit infiltratie (H2.2.4)

	- Beperkte beschikbaarheid spoor (H2.2.12) tijdens aanlegfase
	<i>Kans klein:</i> - Stabiliteitsverlies onderbouw spoor (H2.2.1) tijdens aanlegfase - Effect lagere of hogere grondwaterstand op omgeving (H2.2.9) - Niet voldoen aan technische eisen/verandering van kritische snelheid (H2.2.16/17)

## 4.4.4 Floating slab track

Aspect	Omschrijving
Ongewenste negatieve effecten	<i>Algemeen kenmerk maatregel:</i> Waarschijnlijk zeer beperkte ontgraving tot onder ballastbed nodig max. 0,5.
	<i>Kans hoog:</i> - Zetting door gewichtsverandering (H2.2.2) - Vermindering capaciteit infiltratie (H2.2.4) - Beperkte beschikbaarheid spoor (H2.2.12) tijdens aanlegfase
	<i>Kans klein:</i> - Stabiliteitsverlies onderbouw spoor (H2.2.1) tijdens aanlegfase - Effect lagere of hogere grondwaterstand op omgeving (H2.2.9) - Niet voldoen aan technische eisen/verandering van kritische snelheid (H2.2.16/17)

## 4.4.5 Betonplaat onder ballastbed met ballastmat

Aspect	Omschrijving
Ongewenste negatieve effecten	<i>Algemeen kenmerk maatregel:</i> Waarschijnlijk diepe ontgraving tot onder ballastbed nodig ca. 0,5-1 m.
	<i>Kans hoog:</i> - Stabiliteitsverlies onderbouw spoor (H2.2.1) tijdens aanlegfase - Zetting door gewichtsverandering (H2.2.2) - Vermindering capaciteit infiltratie (H2.2.4) - Beperkte beschikbaarheid spoor (H2.2.12) tijdens aanlegfase
	<i>Kans klein:</i> - Vermindering drooglegging (H2.2.3) - Onvoldoende stabiliteit van de te maken constructie (H2.2.8) - Schade of blokkade van kabels en leidingen (H2.2.11) - Effect lagere of hogere grondwaterstand op omgeving (H2.2.9) - Niet voldoen aan technische eisen/verandering van kritische snelheid (H2.2.16/17)

## 4.4.6 Betonplaat onder ballastbed met isolatiemateriaal onder dwarsliggers

Aspect	Omschrijving
Ongewenste negatieve effecten	<i>Algemeen kenmerk maatregel:</i> Waarschijnlijk diepe ontgraving tot onder ballastbed nodig ca. 0,5-1 m.
	<i>Kans hoog:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Stabiliteitsverlies onderbouw spoor (H2.2.1) tijdens aanlegfase</li> <li>- Zetting door gewichtsverandering (H2.2.2)</li> <li>- Vermindering capaciteit infiltratie (H2.2.4)</li> <li>- Beperkte beschikbaarheid spoor (H2.2.12) tijdens aanlegfase</li> </ul>
	<i>Kans klein:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Vermindering drooglegging (H2.2.3)</li> <li>- Onvoldoende stabiliteit van de te maken constructie (H2.2.8)</li> <li>- Schade of blokkade van kabels en leidingen (H2.2.11)</li> <li>- Effect lagere of hogere grondwaterstand op omgeving (H2.2.9)</li> <li>- Niet voldoen aan technische eisen/verandering van kritische snelheid (H2.2.16/17)</li> </ul>

## 4.4.7 Zettingsvrije plaat

Aspect	Omschrijving
Ongewenste negatieve effecten	<i>Algemeen kenmerk maatregel:</i> Waarschijnlijk diepe ontgraving tot onder ballastbed nodig ca. 0,5-1 m.
	<i>Kans hoog:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Stabiliteitsverlies onderbouw spoor (H2.2.1) tijdens aanlegfase</li> <li>- Vermindering capaciteit infiltratie (H2.2.4)</li> <li>- Maaiveldzakking door bouwtrillingen (H2.2.6)</li> <li>- Beperkte beschikbaarheid spoor (H2.2.12) tijdens aanlegfase</li> </ul>
	<i>Kans klein:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Schade door bouwtrillingen (H2.2.7) tijdens aanlegfase</li> <li>- Effect lagere of hogere grondwaterstand op omgeving (H2.2.9)</li> <li>- Schade of blokkade van kabels en leidingen (H2.2.11)</li> <li>- Niet voldoen aan technische eisen/verandering van kritische snelheid (H2.2.16/17)</li> </ul>

## 4.4.8 Ladder track

Aspect	Omschrijving
Ongewenste negatieve effecten	<i>Algemeen kenmerk maatregel:</i> Waarschijnlijk zeer beperkte ontgraving tot onder ballastbed nodig max. 0,5.
	<i>Kans hoog:</i> - Beperkte beschikbaarheid spoor (H2.2.12) tijdens aanlegfase
	<i>Kans klein:</i> - Stabiliteitsverlies onderbouw bestaand spoor (H2.2.1) tijdens aanlegfase - Zetting door gewichtsverandering (H2.2.2) (evt. zettingsverschillen tussen laddertracks) - Vermindering capaciteit infiltratie (H2.2.4) - Effect lagere of hogere grondwaterstand op omgeving (H2.2.9) - Niet voldoen aan technische eisen/verandering van kritische snelheid (H2.2.16/17)

## 4.4.9 Under sleeper pads

Aspect	Omschrijving
Ongewenste negatieve effecten	<i>Algemeen kenmerk maatregel:</i> Waarschijnlijk zeer beperkte ontgraving tot onder ballastbed nodig max. 0,5.
	<i>Kans hoog:</i> - Beperkte beschikbaarheid spoor (H2.2.12) tijdens aanlegfase
	<i>Kans klein:</i> - Stabiliteitsverlies onderbouw bestaand spoor (H2.2.1) tijdens aanlegfase

## 4.4.10 Wide sleeper track

Aspect	Omschrijving
Ongewenste negatieve effecten	<i>Algemeen kenmerk maatregel:</i> Waarschijnlijk zeer beperkte ontgraving tot onder ballastbed nodig max. 0,5.
	<i>Kans hoog:</i> - Beperkte beschikbaarheid spoor (H2.2.12) tijdens aanlegfase
	<i>Kans klein:</i> - Stabiliteitsverlies onderbouw bestaand spoor (H2.2.1) tijdens aanlegfase - Vermindering capaciteit infiltratie (H2.2.4) - Effect lagere of hogere grondwaterstand op omgeving (H2.2.9)

## 4.4.11 Geogrid

Aspect	Omschrijving
Ongewenste negatieve effecten	<i>Algemeen kenmerk maatregel:</i> Waarschijnlijk diepe ontgraving tot onder ballastbed nodig ca. 0,5-1 m.
	<i>Kans hoog:</i> - Stabiliteitsverlies onderbouw bestaand spoor (H2.2.1) tijdens aanlegfase - Beperkte beschikbaarheid spoor (H2.2.12) tijdens aanlegfase
	<i>Kans klein:</i> - Zetting door gewichtsverandering (H2.2.2) - Onvoldoende stabiliteit van de te maken constructie (H2.2.8) - Schade of blokkade van kabels en leidingen (H2.2.11) - Effect lagere of hogere grondwaterstand op omgeving (H2.2.9) - Verandering van kritische snelheid (H2.2.17)

## 4.4.12 Wissel verplaatsen

Aspect	Omschrijving
Ongewenste negatieve effecten	<i>Algemeen kenmerk maatregel:</i> Waarschijnlijk diepe ontgraving tot onder ballastbed nodig ca. 0,5-1 m.
	<i>Kans hoog:</i> - Beperkte beschikbaarheid spoor (H2.2.12) tijdens aanlegfase
	<i>Kans klein:</i> - Stabiliteitsverlies onderbouw bestaand spoor (H2.2.1) tijdens aanlegfase

## 4.4.13 Verbetering aansluiting kunstwerk in het kader van vermindering trillingshinder

Aspect	Omschrijving
Ongewenste negatieve effecten	<i>Algemeen kenmerk maatregel:</i> Waarschijnlijk diepe ontgraving tot onder ballastbed nodig ca. 0,5-1 m.
	<i>Kans hoog:</i> - Stabiliteitsverlies onderbouw bestaand spoor (H2.2.1) tijdens aanlegfase - Beperkte beschikbaarheid spoor (H2.2.12) tijdens aanlegfase
	<i>Kans klein:</i> - Zetting door gewichtsverandering (H2.2.2) (kritische locatie waar vergroting zettingsverschillen grote invloed kan hebben) - Onvoldoende stabiliteit van de te maken constructie (H2.2.8) - Schade of blokkade van kabels en leidingen (H2.2.11)

## 4.4.14 Onderhoud rails

Aspect	Omschrijving
Ongewenste negatieve effecten	<i>Algemeen kenmerk maatregel:</i> Waarschijnlijk zeer beperkte ontgraving tot onder ballastbed nodig max. 0,5.
	<i>Kans hoog:</i> -
	<i>Kans klein:</i> - Beperkte beschikbaarheid spoor (H2.2.12) gedurende onderhoudsperiode - Overlast omgeving (H2.2.13) gedurende onderhoudsperiode

## 4.4.15 Voegloos spoor

Aspect	Omschrijving
Ongewenste negatieve effecten	<i>Algemeen kenmerk maatregel:</i> Waarschijnlijk zeer beperkte ontgraving tot onder ballastbed nodig max. 0,5.
	<i>Kans hoog:</i> - Beperkte beschikbaarheid spoor (H2.2.12) tijdens aanlegfase
	<i>Kans klein:</i> - Zetting door gewichtsverandering (H2.2.2); ook zetting(-verschillen) onder voegloos spoor en op de overgangen van de spoordelen

## 4.4.16 Aanvullend onderhoud ballastbed (tamping)

Aspect	Omschrijving
Ongewenste negatieve effecten	<i>Algemeen kenmerk maatregel:</i> Waarschijnlijk zeer beperkte ontgraving tot onder ballastbed nodig max. 0,5.
	<i>Kans hoog:</i> - Zetting door gewichtsverandering (H2.2.2); ook zetting(-verschillen)
	<i>Kans klein:</i> - Stabiliteitsverlies onderbouw bestaand spoor (H2.2.1) tijdens aanlegfase - Beperkte beschikbaarheid spoor (H2.2.12) tijdens aanlegfase - Overlast omgeving (H2.2.13)

## 4.5 Maatregelen in de overdracht

### 4.5.1 OTC (ondergrondse trillingwerende constructie) beklede wand

Aspect	Omschrijving
Ongewenste negatieve effecten	<i>Algemeen kenmerk maatregel:</i> Betonscherm met bekleding.
	<i>Kans hoog:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Verminderde drooglegging (H2.2.3).</li> <li>- Maaiveldzakking door ontspanning ondergrond (H2.2.5) tijdens aanlegfase</li> <li>- Effect lagere of hogere grondwaterstand op omgeving (H2.2.9)</li> <li>- Blokkade gebiedsgrondwaterstroming (H2.2.10)</li> <li>- Schade of blokkade van kabels en leidingen (H2.2.11)</li> <li>- Overlast omgeving (H2.2.13)</li> <li>- Vertraging in planning door obstakels (H2.2.14) tijdens aanlegfase</li> <li>- Schade van belangen van andere stakeholders dan ProRail (H2.2.18)</li> </ul>
	<i>Kans klein:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Maaiveldzakking door bouwtrillingen (H2.2.6) tijdens aanlegfase</li> <li>- Schade door bouwtrillingen (H2.2.7) tijdens aanlegfase</li> <li>- Onvoldoende stabiliteit van de te maken constructie (H2.2.8)</li> <li>- Niet voldoen aan technische eisen (elektrische geleidbaarheid) (H2.2.16)</li> </ul>

### 4.5.2 OTC (ondergrondse trillingwerende constructie) betonscherm in bodem

Aspect	Omschrijving
Ongewenste negatieve effecten	<i>Algemeen kenmerk maatregel:</i> Betonscherm (diepwand, injectie enz.).
	<i>Kans hoog:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Verminderde drooglegging (H2.2.3)</li> <li>- Maaiveldzakking door ontspanning ondergrond (H2.2.5) tijdens aanlegfase (ingeval van methodiek met ontgraving)</li> <li>- Effect lagere of hogere grondwaterstand op omgeving (H2.2.9)</li> <li>- Blokkade gebiedsgrondwaterstroming (H2.2.10)</li> <li>- Schade of blokkade van kabels en leidingen (H2.2.11)</li> <li>- Overlast omgeving (H2.2.13)</li> <li>- Vertraging in planning door obstakels (H2.2.14) tijdens aanlegfase</li> <li>- Schade van belangen van andere stakeholders dan ProRail (H2.2.18)</li> </ul>
	<i>Kans klein:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Maaiveldzakking door ontspanning ondergrond (H2.2.5) tijdens aanlegfase (ingeval van methodiek met beperkte of geen ontgraving)</li> <li>- Maaiveldzakking door bouwtrillingen (H2.2.6) tijdens aanlegfase</li> <li>- Schade door bouwtrillingen (H2.2.7) tijdens aanlegfase</li> <li>- Onvoldoende stabiliteit van de te maken constructie (H2.2.8)</li> </ul>

## 4.5.3 OTC (ondergrondse trillingwerende constructie) polystyreen scherm in bodem bij woning

Aspect	Omschrijving
Ongewenste negatieve effecten	<i>Algemeen kenmerk maatregel:</i> PS scherm in sleuf bij woning
	<i>Kans hoog:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Verminderde drooglegging (H2.2.3)</li> <li>- Effect lagere of hogere grondwaterstand op omgeving (H2.2.9)</li> <li>- Blokkade gebiedsgrondwaterstroming (H2.2.10)</li> <li>- Schade of blokkade van kabels en leidingen (H2.2.11)</li> <li>- Onvoldoende stabiliteit van de te maken constructie (H2.2.8)</li> <li>- Overlast omgeving (H2.2.13)</li> <li>- Vertraging in planning door obstakels (H2.2.14) tijdens aanlegfase</li> <li>- Schade van belangen van andere stakeholders dan ProRail (H2.2.18)</li> </ul>
	<i>Kans klein:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Maaiveldzakking door ontspanning ondergrond (H2.2.5) tijdens aanlegfase (invloed is afhankelijk van de grootte van de ontgraving benodigd om PS scherm te plaatsen)</li> <li>- Maaiveldzakking door bouwtrillingen (H2.2.6) tijdens aanlegfase</li> <li>- Schade door bouwtrillingen (H2.2.7) tijdens aanlegfase</li> </ul>

## 4.5.4 Trillingsscherm L-wand in talud

Aspect	Omschrijving
Ongewenste negatieve effecten	<i>Algemeen kenmerk maatregel:</i> Geometrie aanpassing; L-wand beperkte ingraving in ondergrond
	<i>Kans hoog:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Stabiliteitsverlies onderbouw bestaand spoor (H2.2.1).</li> <li>- Maaiveldzakking door ontspanning ondergrond (H2.2.5) tijdens aanlegfase</li> <li>- Onvoldoende stabiliteit van de te maken constructie (H2.2.8)</li> </ul>
	<i>Kans klein:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Zetting door gewichtsverandering (H2.2.2)</li> <li>- Verminderde drooglegging (H2.2.3).</li> <li>- Vermindering capaciteit infiltratie (H2.2.4)</li> <li>- Effect lagere of hogere grondwaterstand op omgeving (H2.2.9)</li> <li>- Beperkte beschikbaarheid spoor (H2.2.12) tijdens aanlegfase</li> <li>- Beperking van ruimtegebruik, beleving (H2.2.15)</li> <li>- Verandering van kritische snelheid (H2.2.17)</li> </ul>



## 4.5.5 OTC (ondergrondse trillingwerende constructie) open sleuf in bodem

Aspect	Omschrijving
Ongewenste negatieve effecten	<i>Algemeen kenmerk maatregel:</i> Open sleuf
	<i>Kans hoog:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Verminderde drooglegging (H2.2.3)</li> <li>- Maaiveldzakking door ontspanning ondergrond (H2.2.5) tijdens aanlegfase</li> <li>- Effect lagere of hogere grondwaterstand op omgeving (H2.2.9)</li> <li>- Blokkade gebiedsgrondwaterstroming (H2.2.10)</li> <li>- Schade of blokkade van kabels en leidingen (H2.2.11)</li> <li>- Onvoldoende stabiliteit van de te maken constructie (H2.2.8)</li> <li>- Overlast omgeving (H2.2.13)</li> <li>- Vertraging in planning door obstakels (H2.2.14) tijdens aanlegfase</li> <li>- Schade van belangen van andere stakeholders dan ProRail (H2.2.18)</li> </ul>
	<i>Kans klein:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Maaiveldzakking door bouwtrillingen (H2.2.6) tijdens aanlegfase</li> <li>- Schade door bouwtrillingen (H2.2.7) tijdens aanlegfase</li> </ul>

## 4.5.6 OTC (ondergrondse trillingwerende constructie) open sleuf met keerwanden

Aspect	Omschrijving
Ongewenste negatieve effecten	<i>Algemeen kenmerk maatregel:</i> Open sleuf en keerwand
	<i>Kans hoog:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Verminderde drooglegging (H2.2.3).</li> <li>- Maaiveldzakking door bouwtrillingen (H2.2.6) tijdens aanlegfase</li> <li>- Effect lagere of hogere grondwaterstand op omgeving (H2.2.9)</li> <li>- Blokkade gebiedsgrondwaterstroming (H2.2.10)</li> <li>- Schade of blokkade van kabels en leidingen (H2.2.11)</li> <li>- Onvoldoende stabiliteit van de te maken constructie (H2.2.8)</li> <li>- Overlast omgeving (H2.2.13)</li> <li>- Vertraging in planning door obstakels (H2.2.14) tijdens aanlegfase</li> <li>- Schade van belangen van andere stakeholders dan ProRail (H2.2.18)</li> </ul>
	<i>Kans klein:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Maaiveldzakking door ontspanning ondergrond (H2.2.5) tijdens aanlegfase</li> <li>- Schade door bouwtrillingen (H2.2.7) tijdens aanlegfase</li> <li>- Niet voldoen aan technische eisen (elektrische geleidbaarheid) (H2.2.16)</li> </ul>

## 4.5.7 Steiler maken spoortalud

Aspect	Omschrijving
Ongewenste negatieve effecten	<i>Algemeen kenmerk maatregel:</i> Geometrie aanpassing; uitgaande van het weghalen van grond teneinde talud steiler te maken
	<i>Kans hoog:</i> - Stabiliteitsverlies onderbouw bestaand spoor (H2.2.1) - Maaiveldzakking door ontspanning ondergrond (H2.2.5) tijdens aanlegfase (opmerking: kans klein als grond wordt toegevoegd om talud steiler te maken) - Onvoldoende stabiliteit van de te maken constructie (H2.2.8)
	<i>Kans klein:</i> - Zetting door gewichtsverandering (H2.2.2) (opmerking: kans hoog als grond wordt toegevoegd om talud steiler te maken) - Verminderde drooglegging (H2.2.3) - Effect lagere of hogere grondwaterstand op omgeving (H2.2.9) - Beperkte beschikbaarheid spoor (H2.2.12) tijdens aanlegfase - Beperking van ruimtegebruik, beleving (H2.2.15) - Verandering van kritische snelheid (H2.2.17)

## 4.5.8 Spoorstoot / waterpartij

Aspect	Omschrijving
Ongewenste negatieve effecten	<i>Algemeen kenmerk maatregel:</i> Geometrie aanpassing
	<i>Kans hoog:</i> -
	<i>Kans klein:</i> - Stabiliteitsverlies onderbouw bestaand spoor (H2.2.1) - Vertraging in planning door obstakels (H2.2.14) - Beperking van ruimtegebruik, beleving (H2.2.15) - Schade van belangen van andere stakeholders dan ProRail (H2.2.18)

## 4.6 Maatregelen bij ontvanger

### 4.6.1 Verstijven vloeren en wanden (bestaande woningen)

Aspect	Omschrijving
Ongewenste negatieve effecten	<i>Algemeen kenmerk maatregel:</i> Verstijven vloeren en wanden
	<i>Kans hoog:</i> - Overlast omgeving (in dit geval gebouwen en directe omgeving) (H2.2.13) - Schade van belangen van andere stakeholders dan ProRail (H2.2.18)
	<i>Kans klein:</i> - Beperking van ruimtegebruik, beleving (H2.2.15); nl. alleen voor gebouwen zelf

### 4.6.2 Fundering op trillingsisolatie

Aspect	Omschrijving
Ongewenste negatieve effecten	<i>Algemeen kenmerk maatregel:</i> Funderingaanpassing (isolatie)
	<i>Kans hoog:</i> - Overlast omgeving (in dit geval gebouwen en directe omgeving) (H2.2.13) - Schade van belangen van andere stakeholders dan ProRail (H2.2.18)
	<i>Kans klein:</i> - Onvoldoende stabiliteit van de te maken constructie (H2.2.8) - Vertraging in planning door obstakels (H2.2.14) tijdens aanlegfase

## 5 Referenties

- [1] Grontmij, ProRail, DPA; Maatregelcatalogus spoortrillingen, projectnummer 327725, referentienummer GM-0175097; 8 januari 2016.
- [2] ProRail; Vervolg-onderzoeksprogramma trillinghinder spoor, kenmerk EDMS #3745060-v1-vervolg\_onderzoeksprogramma\_trillingen; 29 juni 2015.

## **A Score ongewenste negatieve effecten per maatregel**

