

# RAPPORT

## HSL Zuid

Risico analyse verplaatsingen/zettingen

Klant: ProRail

Referentie: BF4341-R001-F0.1

Versie: 0.1/Finale versie

Datum: 3 juli 2018

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Postbus 2202  
3500 GE Utrecht  
Netherlands  
Transport & Planning  
Trade register number: 56515154

+31 88 348 55 00 **T**  
rail.commercie@rhdhv.com **E**  
royalhaskoningdhv.com **W**

Titel document: HSL Zuid

Ondertitel:  
Referentie: BF4341-R001-F0.1  
Versie: 0.1/Finale versie  
Datum: 3 juli 2018  
Projectnaam: Onderzoeksmethode verplaatsingen  
Projectnummer: BF4341  
Auteur(s):

Opgesteld door:

---

Gecontroleerd door:

---

Datum/Initialen: 03-07-2018

---

Goedgekeurd door:

---

Datum/Initialen: 03-07-2018

---

Classificatie

Projectgerelateerd



## Disclaimer

*No part of these specifications/printed matter may be reproduced and/or published by print, photocopy, microfilm or by any other means, without the prior written permission of HaskoningDHV Nederland B.V.; nor may they be used, without such permission, for any purposes other than that for which they were produced. HaskoningDHV Nederland B.V. accepts no responsibility or liability for these specifications/printed matter to any party other than the persons by whom it was commissioned and as concluded under that Appointment. The integrated QHSE management system of HaskoningDHV Nederland B.V. has been certified in accordance with ISO 9001:2015, ISO 14001:2015 and OHSAS 18001:2007.*

## Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Beschikbare informatie</b>	<b>1</b>
2.1	Westrik	1
2.2	Schuilingsvliet	2
2.3	Rijpwetering	2
<b>3</b>	<b>Risico analyse</b>	<b>3</b>
3.1	Methode	3
3.2	Algemeen	3
3.3	Westrik	4
3.4	Schuilingsvliet	4
3.5	Rijpwetering	4
<b>4</b>	<b>Toelichting op invoer en presentatie</b>	<b>4</b>

## Bijlagen

A1	Methode voor risico analyse en kostenraming
A2	Informatie van ProRail voor uitvoering van het project
A3	Invoer risico data base
A4	Berekening kosten conform SSK

## 1 Inleiding

Op 3 locaties langs de HSL zijn in kunstwerken verplaatsingen en zettingen geconstateerd. De vervormingen worden gemonitord en er zijn onderzoeken uitgevoerd naar oorzaak en noodzakelijk herstel. De locaties zijn:

- Westrik
- Schuilingervliet
- Rijpwetering

De opgetreden vervormingen vereisen herstel werk, waarvan de omvang en de effectiviteit maar deels bekend zijn, zodat risico's en kosten daarmee niet eenduidig zijn vast te stellen.

Door RHDHV is een voorstel gedaan om ondanks de onzekerheden toch informatie over de kosten te kunnen verstrekken. (zie bijlage 1).

Dit rapport beschrijft de uitkomsten van de voorgestelde aanpak voor de bepaling van kosten en risico's voor de verplaatsingen/zettingen van de 3 genoemde kunstwerken op basis van de per juni 2018 beschikbare informatie<sup>1</sup>.

## 2 Beschikbare informatie

De informatie voor verplaatsingen en zettingen is gebaseerd op mondelinge informatie over de status van het projecten en (tussen) rapportages van nader onderzoek en herstel werkzaamheden verstrekt door ProRail. In bijlage 2 is aangegeven welke informatie van ProRail is ontvangen voor het uitvoeren van de werkzaamheden. De informatie bestaat uit door externe deskundige opgestelde documenten voor Schuilingervliet en Rijpwetering, een memo waarin de mondeling door ProRail verstrekte informatie over Westrik is vastgelegd en een mail van ProRail over de kosten van herstel werkzaamheden in Schuilingervliet. Voor Schuilingervliet zijn inmiddels aanpassingen uitgevoerd, de (financiële) gegevens vanuit de uitvoering zijn in dit rapport verwerkt evenals de resultaten van verdere waarnemingen van de zettingen op deze locatie.

### 2.1 Westrik

Tijdens de aanleg van een tunnel onder de HSL zijn (horizontale) verplaatsingen van de tunnel ontstaan en is ook de baan van de HSL horizontaal verplaatst. De tunnel is daarom voorzien van ankers die hebben gezorgd voor stabilisering van de tunnel. De verplaatsingen van de HSL zijn zo groot dat het maximum van de tolerantie in de bevestiging van de baan is bereikt en het einde van de stelmogelijkheden van de baan is bereikt. Recentelijke zijn door ProRail geen verplaatsingen van de HSL meer gemeld.

Op basis van de huidige situatie volgt ProRail de volgende werkwijze:

- Naar verwachting zal begin 2018 de verbindingsboog van Breda naar Antwerpen in gebruik worden genomen.
- Hoewel niet verwacht, is niet uit te sluiten dat deze verandering in belastingen vanuit de tunnel, verdere verplaatsingen van de HSL kan veroorzaken.
- Daarom zal de monitoring van de HSL worden geïntensiveerd, zodra de boog Antwerpen Breda in gebruik wordt genomen.

---

<sup>1</sup> Dit rapport is een aanpassing van het rapport BF4341-R001-EO-1 dd 20 oktober 2017. De wijzigingen hebben betrekking op nieuwe informatie die van ProRail is ontvangen voor Schuilingervliet.

- Bij toenemende vervorming zijn nog geen uitgewerkte maatregelen gedefinieerd.
- Indien geen verdere vervorming wordt geconstateerd, zal over een lengte van ca 80m de spoorbevestiging van de HSL op de baan worden verplaatst, zodat er weer tolerantie en stelmogelijkheden in de bevestiging beschikbaar komen. Het principe voor het uitvoeren van de verplaatsing van de bevestiging is volgens opgave van ProRail reeds beproefd op een testlocatie in Vlaardingen.

## 2.2 Schuilingervliet

Op de locatie Schuilingervliet bestaat de baan van de HSL uit een laaggelegen zettingsvrije plaat gefundeerd op korte palen.

Op deze locatie zijn in lengterichting verticale verplaatsingsverschillen ontstaan tussen de platen aan beide zijde van de voeg. Het lijkt erop dat het draagvermogen van palen bij de overgangen tussen zettingsvrije platen onvoldoende is.

In 2016 zijn herstel werkzaamheden uitgevoerd bij een voegconstructie waar de grootste verschilverplaatsingen tussen de zettingsvrije platen zijn vastgesteld. De herstel werkzaamheden bestaan uit het injecteren van de grond juist onder en langs de paalpunt van de palen.

Volgens de informatie van ProRail hebben recente metingen aangetoond dat ter plaatse van de voegconstructies, waar rond de palen de grond is geïnjecteerd, de vervormingen niet zijn toegenomen terwijl bij andere (niet geïnjecteerde) voegen de verschillen wel zijn toegenomen. De toegepaste methode wordt daarom door ProRail succesvol genoemd en wordt in de komende jaren bij 127voegconstructies toegepast. Dit zijn alle voegen waar op dit moment deformaties zijn waargenomen.

De strategie die voor deze locatie door ProRail wordt gevolgd bestaat uit:

- In de komende jaren is voorzien dat ter plaatse van alle voegen waar substantiële verplaatsingsverschillen zijn vastgesteld, de grond rond de palen zal worden geïnjecteerd.
- De verwachting is dat de meest gevoelige locaties daarmee zijn hersteld.
- De monitoring aan de baan zal worden gecontinueerd.
- Hoewel op dit moment geen andere locaties bekend zijn waar problemen zijn geconstateerd, is het niet uit te sluiten dat in de toekomst grouten rond de palen op andere locaties is vereist met een vergelijkbare constructief ontwerp.

## 2.3 Rijpwetering

De HSL baan bij Rijpwetering bestaat uit een hooggelegen betonnen plaat op verticale palen. Vanwege de hoogte van de baan is tijdens de bouw een aardebaan aangebracht van waaraf de palen zijn geplaatst en waarop de betonnen plaat is aangebracht.

De oorspronkelijke grondslag onder de aardebaan bestaat uit sterk samendrukbare grond, die onder de belasting van de aardebaan zowel horizontaal als verticaal verplaatst. Varianties in de ondergrond en de op korte afstand aanwezige baan van RW4 maken dat de vervormingen niet gelijkmatig zijn. Er zijn metingen gedaan aan de al opgetreden verplaatsingen en berekeningen naar de consequenties daarvan voor zowel de baan als de palen van de HSL.

Door een aantal externe deskundigen zijn de resultaten van de beschikbare gegevens samengevat in het rapport "HSL- Zuid Externe Toetsing Baanverplaatsing Rijpwetering Eindrapport 2.2 datum 8 september 2017".

De belangrijkste informatie uit die rapportage is:

- De palen vertonen horizontale vervormingen, die groter zijn dan normaliter acceptabel is voor betonnen constructies. Echter het verticale draagvermogen van de palen blijft voldoende om de HSL baan te ondersteunen zodat er geen constructieve onveiligheid is
- Eventuele scheurvorming in de palen door de horizontale vervormingen is niet schadelijk en heeft geen invloed op de constructieve veiligheid.
- De horizontale vervormingen van de baan zijn nog binnen de normen. De verwachting is dat deze vervorming langzaam zullen stoppen in de tijd. Tussen de betonnen baan van de HSL en de top van de aardebaan is ruimte ontstaan. De horizontale stijfheid van de baan wordt daardoor verlaagd. De ruimte van de opening is thans nog niet zo groot dat opvulling vereist is.
- Om de horizontale vervormingen te beperken wordt overwogen kerende constructies te plaatsen. Omvang en locatie van deze kerende constructie zijn nog niet bekend.
- In ieder geval is minimaal 1 keer per jaar monitoring van de baan nodig om zeker te weten dat de thans verwachte verplaatsing niet worden overschreden.

Op basis van de bevindingen zijn in het rapport de volgende acties voorgesteld, die als basis dienen voor het vaststellen van de risico's en de kosten:

- |      |  |
|------|--|
| I    | Voorzetten monitoring verplaatsingen voor alle baansecties en kunstwerk  |
| II   | Vaststellen van werkelijke kracht in voorspanankers door het trekken van 1 op 3 ankers tot moer lost.                                |
| III  | Controleren werking en waar mogelijk uitbreiden drainage baanlichaam en drainage tussen A4 en HSL.                                   |
| IV   | Bijplaatsen peilbuizen (zodanig dat er minimaal 3 peilbuizen per sectie aanwezig zijn)   |
| V    | Onderzoeken respons ZVP en kunstwerk door middel van versnellingsopnemers tijdens 52-urige TVP                                       |
| VI   | Onderzoeken respons per oplegblok van het kunstwerk en indien nodig invullen minder dragende oplegging.                              |
| VII  | Verkrijgen van informatie over bezwijkgedrag oplegblokken, dan wel deze in laboratorium vervormingsgestuurd beproeven tot bezwijken. |
| VIII | Het herstellen van de taludbekleding onder het zuidelijk landhoofd van het kunstwerk.  |

## 3 Risico analyse

### 3.1 Methode

De methode om de onzekerheden over de status van de kunstwerken en de noodzaak en de omvang van de herstelwerkzaamheden te kwantificeren, is beschreven in bijlage 1.

De verwerking van de gegevens is gepresenteerd in bijlage 3 en 4. De invoer gegevens voor de onzekerheden zijn vastgesteld op basis van de gegevens die door ProRail zijn verstrekt.

### 3.2 Algemeen

De informatie die momenteel verstrekt is over de herstelwerkzaamheden voor de kunstwerken, is verdeeld naar de volgende aspecten:

- Herstel werkzaamheden en toekomstige controles die zeker nodig zijn.
- Werkzaamheden, die met een nader te bepalen kans nodig zijn. Dit kunnen maatregelen zijn voor onderdelen die door de voorziene herstelwerkzaamheden nog niet worden verbeterd en/of werkzaamheden die in omvang groter zijn dan wat thans als afdoende wordt beschouwd.

De specifieke acties die daarvoor per kunstwerk nodig zijn, zijn in hoofdstuk 2 vermeld. Daarnaast is in overleg met ProRail vastgesteld welke belangrijke onzekerheden in de voorgenomen maatregelen bestaan. Deze onzekerheden zijn moeilijk te kwantificeren, omdat de intensiteit van de treinen en ook het type trein dat gebruik maakt van de HSL over de laatste jaren niet gelijk zijn geweest.

Er worden derhalve permanent metingen aan de HSL baan uitgevoerd om de risico's op onverwachte vervormingen te kunnen beheersen.

In bijlage 3 zijn alle invoergegevens vermeld om tot een schatting te kunnen komen van de risico's en kosten.

### **3.3 Westrik**

Voor Westrik is vastgesteld dat er momenteel geen vervormingen meer zijn. De impact van treinen die over de boog vanaf Breda gaan rijden is echter niet bekend zodat er rekening is gehouden met mogelijke aanvullende activiteiten met 10% kans van optreden.

### **3.4 Schuilingervliet**

Voor Schuilingervliet is in hoofdstuk 2 aangegeven, dat er een succesvolle herstelmethode bestaat. Deze methode zal op de 127 voegconstructies met de grootste vervormingen worden toegepast. Echter ook is bekend dat over een groter deel van de HSL vergelijkbare constructies zijn toegepast. Daarom is voor de risico's en kosten benadering rekening gehouden dat in de toekomst meer voegconstructies herstel vereisen. (50 extra voegen met een kans van optreden van 15%).

### **3.5 Rijpwetering**

Voor Rijpwetering is in hoofdstuk 2 aangegeven, dat er de huidige situatie weliswaar niet voldoet aan vigerende ontwerpuitgangspunten, maar dat vooralsnog geen ingrijpende herstelwerkzaamheden nodig lijken. Daarom is er voor Rijpwetering naast de kosten voor de maatregelen vermeld in hoofdstuk 2, rekening met extra kosten voor het plaatsen van beschermende maatregelen met een kans van optreden van 25%.

## **4 Toelichting op invoer en presentatie**

Bijlage 3 geeft de invoer alle gegevens conform de hiervoor beschreven methode. De resultaten van bijlage 3 zijn vervolgens verwerkt volgens de SSK systematiek en gepresenteerd in bijlage 4.

Op basis van de inzichten ten tijde van deze rapportage zijn de totale kosten voor herstel en de risico's geraamd op ca €27.5 miljoen met een variatie tussen ca €20.5 miljoen en ca €34 miljoen.

## A1 Methode voor risico analyse en kostenraming



# De Risicoanalyse HSL Zuid

Onderzoeksaanpak  
Beton degeneratie en zettingen/verplaatsingen HSL zuid

Klant: Ministerie Milieu & Infrastructuur

Referentie: T&PBF4341R001F1.0

Versie: 1.0/Finale versie

Datum: 2 oktober 2017

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Leidseveer 4  
3511 SB Utrecht  
Netherlands  
Transport & Planning  
Trade register number: 56515154

+31 88 348 55 00 **T**  
info@rhdhv.com **E**  
royalhaskoningdhv.com **W**

Titel document: Onderzoeksaanpak Risicoanalyse HSL Zuid

Ondertitel: betondegeneratie en zettingen/verplaatsingen  
Referentie: T&PBF4341R001D0.3  
Versie: 1.0/Finale versie  
Datum: 2 oktober 2017  
Projectnaam: RA HSL Zuid  
Projectnummer: BF4341  
Auteur(s): Ed Antoine, Jack Sip

Opgesteld door: Ed Antoine

---

Gecontroleerd door: Jack Sip

---

Datum/Initialen:

---

Goedgekeurd door: Jack Sip

---

Datum/Initialen:

---

Classificatie

Alleen voor intern gebruik



## Disclaimer

*No part of these specifications/printed matter may be reproduced and/or published by print, photocopy, microfilm or by any other means, without the prior written permission of HaskoningDHV Nederland B.V.; nor may they be used, without such permission, for any purposes other than that for which they were produced. HaskoningDHV Nederland B.V. accepts no responsibility or liability for these specifications/printed matter to any party other than the persons by whom it was commissioned and as concluded under that Appointment. The integrated QHSE management system of HaskoningDHV Nederland B.V. has been certified in accordance with ISO 9001:2015, ISO 14001:2015 and OHSAS 18001:2007.*

## Inhoudsopgave

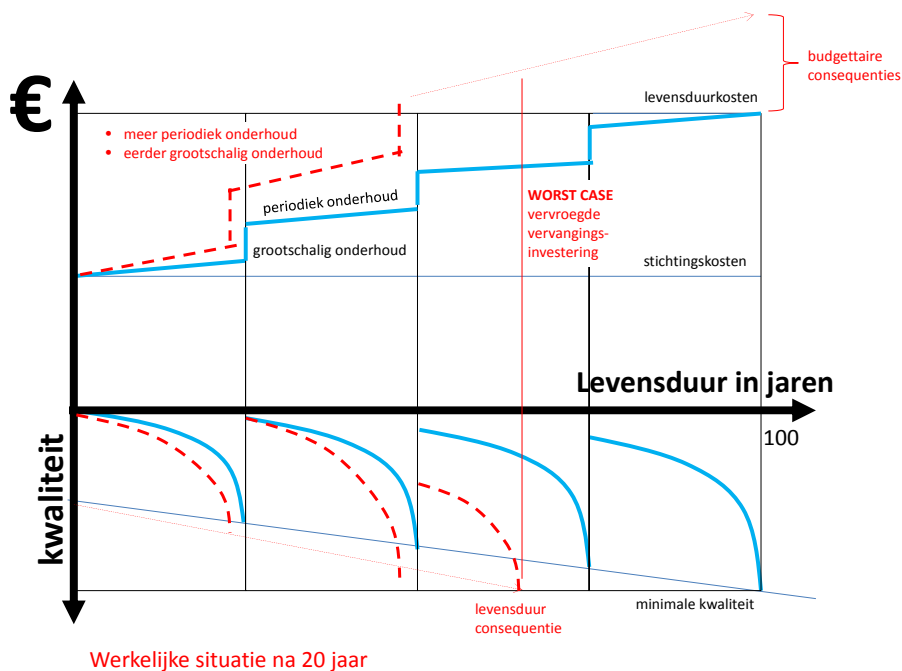
<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Methodebeschrijving risicoanalyse</b>	<b>3</b>
2.1	Inleiding	3
2.2	Uitwerking	3
2.3	Onderzochte informatie	4
2.4	Stappenplan Risico analyse	4
2.4.1	Classificatie kunstwerken	5
2.4.2	Inventarisatie schade	6
2.4.3	Risico classificatie	7
2.4.4	Maatregelen	8
2.4.5	Restrisico's	9
2.4.6	Risico database	9
2.5	Verwerken onderzoeksresultaten	10
2.6	Werksessies	11
2.7	Rapportage	11

## 1 Inleiding

Aan de HSL Zuid baan zijn gebreken geconstateerd, die bestaan uit ongewenste verplaatsingen/zettingen van kunstwerken en uit degeneratie van beton. De oorzaak en de omvang van de gebreken zijn slechts voor een deel bekend, waardoor ook de kosten die voor herstelwerkzaamheden nodig kunnen zijn, niet te bepalen zijn.

RHDHV heeft van het ministerie van I&M opdracht gekregen om op basis van de beschikbare gegevens een risicoanalyse te maken en op basis daarvan een schatting te maken van de kosten. De methode waarop uitvoering wordt gegeven aan de opdracht wordt in dit rapport beschreven.

Het doel van de opdracht is in de volgende figuur schematisch is weergegeven.



figuur 1 Effect van versnelde degeneratie en verplaatsingen op levensduur en kosten van een kunstwerk

## 2 Methodebeschrijving risicoanalyse

### 2.1 Inleiding

De wijze waarop risico's en kosten worden bepaald zonder dat volledig inzicht bestaat over de achterliggende schade en de noodzakelijke maatregelen vereist een bijzondere aanpak. Bij een traditionele opzet van een risico evaluatie is te verwachten dat er geen duidelijke resultaten worden bereikt. Dit kan zich uiten in een (te) grote bandbreedte of zelfs geen resultaat bijvoorbeeld als niet kan worden bepaald hoe een beheersmaatregel of herstelwerk uitgevoerd kan worden terwijl de HSL in gebruik is.

Het voorgaande is ook in de aanvraag onderkend, zodat I&M voorstelt het door RWS gebruikte Issue model toe te passen voor Vervanging & Renovatie (V&R).

Centraal in de Issue Analyse Methode staan de 'hoe' en 'waarom' vragen. Deze methode helpt om een logische ordening aan te brengen tussen de verschillende aspecten, de reeds aanwezige informatie en mogelijke resultaten van de lopende onderzoeken.

- het gebrek aan duidelijkheid over de schade zelf (voorafgaand aan de risicoanalyse en op basis van de beschikbare informatie en kennis) en de oorzaak van de schade.
- de gevolgen van de schade; de verschillende risico's die er zijn door betonschade en verplaatsingen; constructief falen en/of losraken van betondelen tijdens de exploitatie.
- het formuleren van mogelijke beheersmaatregelen en deze te classificeren naar effectiviteit op de reductie van schade, kosten en uitvoerbaarheid.
- de impact van het uitvoeren van de beheersmaatregelen op de bedrijfsvoering van de HSL-Zuid te beoordelen, die te kwantificeren in tijd en kosten en die vervolgens onderdeel te maken van de risico analyse.

Hoewel de "schade" mechanismes verschillend zijn, wordt de methode zowel voor zettingen/verplaatsingen als voor beton degeneratie toegepast.

### 2.2 Uitwerking

RHDHV heeft de methode uitgewerkt en daarbij rekening gehouden met de door I&M aangegeven tranches voor de uitvoering. Voor de verplaatsingen wordt uitgegaan van één tranche (tranche 1), voor de beton degeneratie zijn de volgende tranches van toepassing:

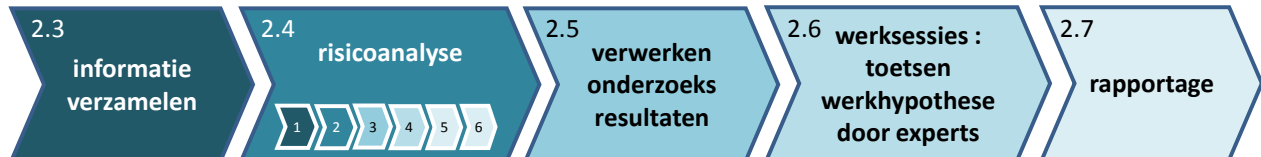
- tranche 1 betreft het voorbereiden van de risicoanalyse, het formuleren van een eerste initiële werkhypothese betreffende TRN<sup>1</sup> en deze toetsen met een expertgroep in een interactieve sessie.
- tranche 2 betreft het aanscherpen van de initiële werkhypothese en het onderzoek en de risicoanalyse verder uitbreiden naar 5 garantieobjecten. Deze tranche wordt afgesloten met een rapportage.
- tranche 3 betreft het verder uitbreiden van de risicoanalyse naar andere objecten van HSL Zuid.

De scope van het huidige onderzoek omvat tranche 1 en 2. De voorgestelde aanpak is er op gericht dat tranche 3 op vergelijkbare wijze kan worden uitgewerkt en wordt toegevoegd aan de resultaten van tranche 1 en 2.

---

<sup>1</sup> TRN = Tunnel Rotterdam Noord

De stappen in het onderzoek zijn voor elke tranche vergelijkbaar, de diepgang en scope kunnen veranderen, afhankelijk van de onderzoeksresultaten. Deze stappen zijn in figuur 2 schematisch weergegeven en zijn in de volgende hoofdstukken nader uitgewerkt. De risicoanalyse is nog weer onderverdeeld in 6 stappen welke nader zijn uitgewerkt in hoofdstuk 2.4.



figuur 2 onderzoek stappen betondegeneratie

## 2.3 Onderzochte informatie

Omdat er zeer veel informatie beschikbaar is en er tal van lopende onderzoeken zijn is besloten geen nieuwe technische onderzoeken te starten. Op basis van bestaande onderzoeken en rapporten is de aanpak in dit hoofdstuk nader uitgewerkt.

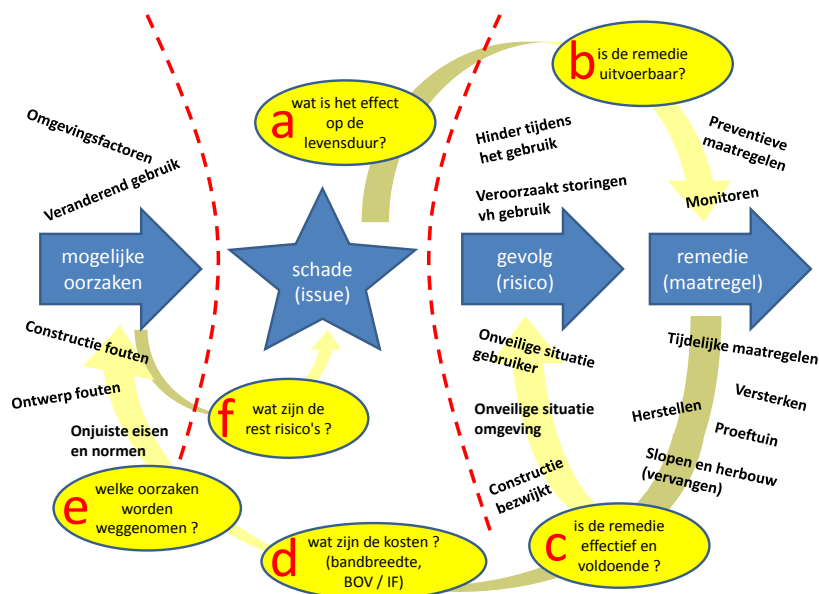
De resultaten van de lopende onderzoeken van ProRail en TNO worden in het najaar van 2017 verwacht. Daarnaast is een vervolg onderzoek voorzien naar de betonkwaliteit van kunstwerken in de HSL. Dit onderzoek is thans in voorbereiding en afronding wordt verwacht medio 2018.

## 2.4 Stappenplan Risico analyse

RHDHV heeft het volgende concept neergelegd voor de risicoanalyse, zie figuur 3. De risicoanalyse gaat uit van de centrale vraag 'welke kosten zijn nodig om de schade te herstellen en indien mogelijk de oorzaken zoveel mogelijk weg te nemen of te reduceren en wat is het effect hiervan op het in de begroting gereserveerde budget?'.

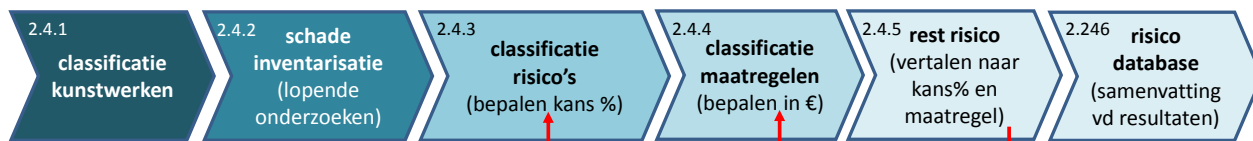
Afhankelijk van de aard, ernst en omvang van de schade worden maatregelen geformuleerd die bij een schadebeeld horen. Elke maatregel wordt beoordeeld op uitvoerbaarheid en effectiviteit. De uitvoerbaarheid wordt in sterke mate bepaald door de bedrijfsvoering en dienstregeling van de HSL waarbij beperkte "tijd slots" beschikbaar zijn voor het uitvoeren van maatregelen. Met de toets op effectiviteit wordt onderzocht of de maatregel daadwerkelijk verdere schade voorkomt of beperkt en welke restrisico's er over blijven.

Als de maatregel uitvoerbaar en effectief is kunnen de kosten in kaart worden gebracht met een inschatting van de bandbreedte en informatie of het periodieke of eenmalige kosten zijn. Tegelijk kan worden gekeken of er mogelijke oorzaken met de maatregel in verband kunnen worden gebracht, of deze mogelijke oorzaken geheel of gedeeltelijk kunnen worden weggenomen en welke restrisico's overblijven. Waarna de cyclus zich weer herhaalt met de vraag 'wat is het effect op het te reserveren budget?'.



figuur 3 concept risicoanalyse

Het voorgaande concept is vertaald in onderstaande stappen, zie figuur 4. Deze stappen zijn in de volgende hoofdstukken nader uitgewerkt.



figuur 4 stappen risicoanalyse

De resultaten van deze analyse worden per stap systematisch verzameld en vastgelegd in een risico database.

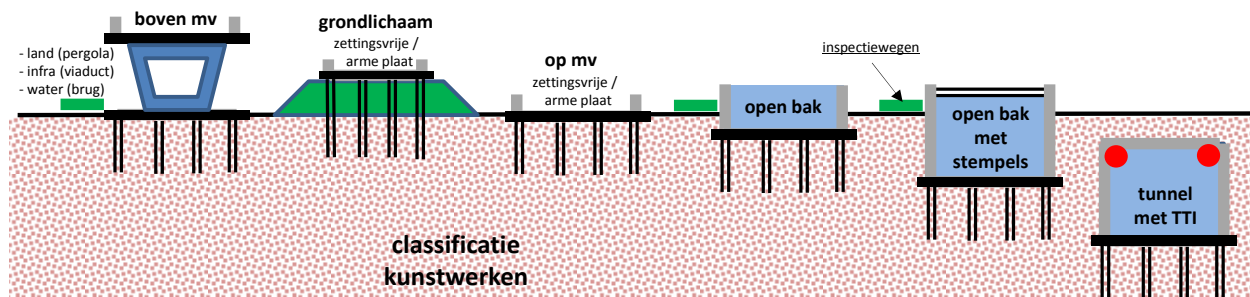
## 2.4.1 Classificatie kunstwerken

Voor het uitwerken van de beton degeneratie wordt in eerste aanleg een beperkt aantal kunstwerken onderzocht<sup>2</sup>, maar het einddoel is om voor de gehele HSL-Zuid een risicoanalyse te maken. Daartoe is het nodig de kunstwerken en onderdelen van kunstwerken te classificeren. Dit vereenvoudigt de risicoanalyse en maakt het statistisch mogelijk te onderzoeken of er correlaties zijn tussen schadebeelden en (onderdelen) van kunstwerken.

De classificatie van de kunstwerken is in figuur 5 schematisch weergegeven.

Voor verplaatsingen/ zettingen zijn zowel de kunstwerken als de schade mechanismes zo verschillend dat de 3 betrokken kunstwerken elk afzonderlijk worden behandeld.

<sup>2</sup> In tranche 1 wordt alleen TRN onderzocht en in tranche 2 worden 5 garantie objecten toegevoegd. In tranche 3 worden meer objecten toegevoegd, maar die vallen buiten de scope van de huidige opdracht. In de opzet van de analyse is rekening gehouden met het uitbreiden van het aantal objecten.



figuur 5 schema kunstwerk classificatie

Als voorbeeld bestaat de tunnel Rotterdam Noord (TRN) samengesteld uit 3 verschillende classificaties, (i) open bak, (ii) open bak met stempels en (iii) het gesloten deel (tunnel) met de tunnel technische installaties (TTI). Er kan schade zijn aan de wanden, de stempels, het dek/dak, de Tunnel Technische Installatie (TTI) of aan de omgeving zoals de inspectiepaden etc.

In de risico database zijn de volgende labels opgenomen:

- naam of identificatie van het kunstwerk
- type kunstwerk
- onderdeel van het kunstwerk

Voor de overige objecten geldt dezelfde aanpak.

## 2.4.2 Inventarisatie schade

Er zijn een aantal lopende onderzoeken van TNO en ProRail naar schadebeelden en eventuele mogelijke oorzaken. Deze onderzoeken zijn nog gaande.

De volgende onderzoeken zijn gaande en waar beschikbaar is aangegeven wat de verwachte datum is waarop de gegevens beschikbaar zullen zijn:

- onderzoek door TNO naar betondegeneratie in opdracht van ProRail
- Onderzoek kwaliteit van de betonnen stempels in de TRN, deels in overleg met de aannemer (2016 en eind 2017). Onderdeel van dit werk is een analyse van mogelijke herstelwerkzaamheden.
- De resultaten van de vorige acties zijn input voor het eventueel opzetten van proeftuintjes. Dat zijn methoden om de herstelwerkzaamheden in de praktijk te testen. In de werksessies wordt onderzocht of proeven nodig zijn.
- In de praktijk te testen kap Barendrecht voor zover het de buizen voor de HSL betreft. Dit onderzoek start begin september 2017 in opdracht van ProRail. Afronding is voorzien voor in 2017.
- Grootschalig onderzoek naar geselecteerde objecten van HSL Zuid. De eerste resultaten worden in de eerste helft van jaar van 2018 verwacht.
- Onderzoek door SBR-CURnet in opdracht van ProRail naar de oorzaken van mosgroei. De afronding is rond december 2017 voorzien. Dit onderzoek heeft geen primaire focus voor de risicoanalyse, maar kan secundair inzicht geven op het effect van de voorgestelde maatregelen op mosgroei.

Uit de lopende onderzoeken moet blijken welke onderdelen van de kunstwerken zijn aangetast en wat de mate van aantasting is. De plaats, ernst en omvang van de aantasting zijn van invloed op het risico van het schadebeeld.



De mate van aantasting zal verder worden gestandaardiseerd bij het bestuderen van de onderzoeken. Te denken valt aan de volgende indeling:

- vervuild, geen/geringe oppervlakte schade
- mosgroei, geen/geringe oppervlakte schade
- matig schade: zichtbare scheuren (geen afbreuk aan functionaliteit)
- serieuze schade: beton is geschilderd (functionaliteit kan in gevaar komen als er geen maatregelen worden genomen)
- ernstige oppervlakte schade, de wapening of roestvorming is zichtbaar (functionaliteit in gevaar)

Ook de omvang van de schade is van belang. In de NEN2767 wordt de volgende indeling aangehouden:

Omvangscore	Percentage	Beschrijving
Omvang 1	<2 %	Het gebrek komt <u>incidenteel</u> voor
Omvang 2	2 % tot 10 %	Het gebrek komt <u>plaatselijk</u> voor
Omvang 3	10 % tot 30 %	Het gebrek komt <u>regelmatig</u> voor
Omvang 4	30 % tot 70 %	Het gebrek komt <u>aanzienlijk</u> voor
Omvang 5	≥ 70 %	Het gebrek komt <u>algemeen</u> voor

figuur 6 classificatie schade omvang

In de risico-database zullen de volgende labels worden opgenomen:

- omschrijving van de schade (vervuild, mosgroei, scheuren, afschilvering, wapening zichtbaar etc)
- ernst van aantasting (variërend van geen tot functionaliteit in gevaar in 5 schaalstappen)
- omvang van de aantasting (variërend tussen < 2% en > 70% van het oppervlak in 5 schaalstappen)

### 2.4.3 Risico classificatie

In de bestaande rapporten voor TRN worden verschillende risico's en maatregelen genoemd. Deze zijn voor de betongeneratie in onderstaande tabel samengevat.

risicogroep	risico	mogelijke gevolg	mogelijke maatregelen
veiligheid	constructieve veiligheid	scheuren	monitoren, schoonmaken, coaten
		aantasting dekking	onderhoud, beton inpakken, reparatie
		betonrot, kans op bezwijken	vervangen, constructief verzwaren
bedrijfsvoering	vergruizen en afbrokkelen beton	losse delen die op trein vallen	inpakken beton
	vergruizen en afbrokkelen beton	Stof in TTI waardoor extra steringen in TTI	inpakken beton betere filters TTI of vaker vervangen
	ARBO veiligheid	gladheid inspectiepaden door gruis	inpakken beton, schoonspuiten paden
imago schade	kortere levensduur	hierdoor meer Buiten Dienst (BD) stellingen a.g.v. extra onderhoud	plannen onderhoud buiten dienstregeling onderdeel eerder vervangen
	State of the art	verlies vertrouwen HSL omzettering	kwaliteit boven geld stellen beperken BD stellingen
	Schoon, geen mos geen graffiti	toename klachten, claims, toename kosten	frequentie onderhoud/schoonmaken vergroten
	Verkeerde interpretatie onderzoeksresultaten	emotie versus ratio	uitvoeren second opinion

figuur 7 risicogroepen

Het is van belang te weten in welke risicogroep een geconstateerde schade zit. Imago schade is hinderlijk en kost geld maar is nog altijd indirect en heeft geen effect op de bedrijfsvoering of veiligheid.

Schade die invloed heeft op de bedrijfsvoering heeft al een hoger risicoprofiel omdat een verstoring op de dienstregeling tot mogelijke claims kan leiden en schade die invloed heeft op veiligheid heeft het grootste risicoprofiel omdat er naast claims ook een grotere kans op ongevallen is.

In de risico-database zullende volgende labels worden opgenomen:

- risicogroep
- omschrijving van het risico

#### 2.4.4 Maatregelen

De aard van de maatregelen is afhankelijk van de ernst en omvang van de schade en het risicoprofiel. Uit de in 2.4.2<sup>3</sup> genoemde onderzoeken komen maatregelen naar voren, die in de risicoanalyse verder geconcretiseerd worden. De kosten van de maatregel kunnen worden bepaald evenals de bandbreedte van de onzekerheid van de kosten.

Dan wordt ook inzicht verkregen in de effectiviteit van een maatregel. Als de effectiviteit beperkt is, dan is het rest risico hoger.

In deze paragraaf wordt de classificatie van de maatregelen uitgewerkt.

maatregel	frequentie	betondegeneratie	effectiviteit	kosten
inspectie	niets doen	periodiek opstellen rapportage	gering	gering
monitoren	periodiek	vergelijkbaar vervolg onderzoek doen	gering	gering
schoonmaken	periodiek	verwijderen vuil en begroeiing	beperkt	matig
coaten	periodiek	schoonmaken en waterdicht maken	matig	matig
inpakken	eenmalig	beton inpakken met kunstroof of epoxy	goed	aanzienlijk
reparatie	eenmalig	beton uithakken en gaten vullen	goed	aanzienlijk
versterken	eenmalig	bestaande onderdelen conserveren en constructieve functie op een alternatieve wijze borgen	maximaal	hoog
vervangen	eenmalig	buiten scope	nvt	nvt
reconstructie	eenmalig	buiten scope	nvt	nvt

figuur 8 overzicht maatregelen

In de risico-database zullen de volgende labels worden opgenomen:

- type maatregel
- frequentie
- effectiviteit
- kosten

<sup>3</sup> Noodzaak voor het uitvoeren van proeftuintjes is nog niet gebleken, zodat daar nog geen informatie over bekend zal zijn voor dit project



Om de bandbreedte van de kosten van de maatregelen (eenmalig en periodiek) en de restrisico's te bepalen wordt gebruik gemaakt van de SSK methodiek<sup>5</sup>. Hierin worden naast de kosten uit de risicoanalyse (gekleurde cellen), ook de opslagen ingevoerd die de opdrachtnemer en opdrachtgever rekenen voor het uitvoeren van de werkzaamheden. Op basis van de ingevoerde onzekerheden van elke maatregel wordt een Monte Carlo simulatie (probabilistische berekening) uitgevoerd om inzicht te krijgen in de bandbreedte van de totale kosten (de variatie coëfficiënt) van de risicoanalyse. De resultaten worden uiteindelijk op de volgende wijze gepresenteerd, waarbij in de tabel fictieve getallen zijn opgenomen.

Samenvatting kostenraming Risico Analyse Verplaatsingen	eenmalige kosten				rest risico's		Totaal
	Directe kosten Benoemd	Directe kosten Nader te detailleren	Indirecte kosten (opdrachtnemer)	Voorziene kosten	Risicoreservering		
<b>Investeringskosten</b>							
Maatregelen (eenmalige kosten)	€ 5.360.000	€ 804.000	€ 1.944.372	€ 8.108.372	€ 1.941.250	€	10.049.622
Engineeringskosten (ON en OG)	€ 324.335	€ -	€ -	€ 324.335	€ 0	€	324.335
Overige bijkomende kosten (verzekeringen etc)	€ 105.409	€ -	€ -	€ 105.409	€ -	€	105.409
<b>Subtotaal investeringskosten</b>	<b>€ 5.789.744</b>	<b>€ 804.000</b>	<b>€ 1.944.372</b>	<b>€ 8.538.116</b>	<b>€ 1.941.250</b>	<b>€</b>	<b>10.479.366</b>
Objectoverstijgende risico's investeringskosten					€ 1.571.905	€	1.571.905
<b>Investeringskosten deterministisch</b>	<b>€ 5.789.744</b>	<b>€ 804.000</b>	<b>€ 1.944.372</b>	<b>€ 8.538.116</b>	<b>€ 3.513.155</b>	<b>€</b>	<b>12.051.271</b>
Scheefte investeringskosten					€ 525.217	€	525.217
<b>Totaal investeringskosten probabilistisch (exclusief BTW)</b>				<b>€ 8.538.116</b>	<b>€ 4.038.372</b>	<b>€</b>	<b>12.576.488</b>
BTW (maar niet over heffingen, leges, e.d.)	Inclusief			€ 1.770.868	€ 843.628	€	2.614.497
<b>Investeringskosten inclusief BTW</b>				<b>€ 10.308.984</b>	<b>€ 4.882.000</b>	<b>€</b>	<b>15.190.985</b>
Investeringskosten inclusief BTW (contante waarde), discontovoet van 5,5% en looptijd van 1 Jaar						€	15.190.985
Bandbreedte: met 70% zekerheid liggen de investeringskosten tussen: (Inclusief BTW )				€ 12.996.903	en	€	17.385.066
Variatiecoëfficiënt					14%		
<b>Periodieke kosten</b>							
<b>Subtotaal periodieke kosten</b>	<b>€ 400.000</b>	<b>€ 40.000</b>	<b>€ 108.856</b>	<b>€ 548.856</b>	<b>€ 27.443</b>	<b>€</b>	<b>576.299</b>
Objectoverstijgende risico's periodieke kosten					€ 57.630	€	57.630
<b>Periodieke kosten deterministisch</b>	<b>€ 400.000</b>	<b>€ 40.000</b>	<b>€ 108.856</b>	<b>€ 548.856</b>	<b>€ 85.073</b>	<b>€</b>	<b>633.929</b>
Scheefte periodieke kosten					€ -	€	-
<b>Periodieke kosten exclusief BTW</b>				<b>€ 548.856</b>	<b>€ 85.073</b>	<b>€</b>	<b>633.929</b>
BTW (maar niet over heffingen, leges, e.d.)				€ 115.260	€ 17.865	€	133.125
<b>Periodieke kosten inclusief BTW</b>				<b>€ 664.116</b>	<b>€ 102.938</b>	<b>€</b>	<b>767.054</b>
Periodieke kosten inclusief BTW (contante waarde), discontovoet van 5,5% en looptijd van 100 Jaar						€	469.796
Bandbreedte: met 70% zekerheid liggen de levensduurkosten tussen: (Inclusief BTW )				€ 627.054	en	€	907.054
Variatiecoëfficiënt					18%		
<b>Projectkosten inclusief BTW</b>				<b>€ 10.973.100</b>	<b>€ 4.984.938</b>	<b>€</b>	<b>15.958.038</b>

figuur 10 samenvatting kostenraming en Monte Carlo simulatie (fictieve getallen voor presentatie Methode)

## 2.5 Verwerken onderzoeksresultaten

Nadat de onderzoeken zijn opgeleverd kan per object (TRN, de 5 garantieobjecten en verplaatsingen) een inventarisatie van de schade worden gemaakt. De schades worden in kaart gebracht en geclassificeerd zoals hierboven omschreven. De maatregelen worden verder geconcretiseerd, zowel technisch als financieel zodat ook een beeld ontstaat van de restrisico's. Deze resultaten worden opgenomen in de risico database, zie figuur 9 (a,b,c). Dit alles resulteert in een eerste initiële inschatting van de kosten (zie figuur 10).

Deze informatie (schade beelden, maatregelen, restrisico en kosten) zijn input voor de expertmeeting. Voor de verplaatsingen zijn geen expertmeetings voorzien.

<sup>5</sup> SSK = Standaard Systematiek Kostenramingen. Deze methode is de gebruikelijke rekenmethode om kosten van Infrastructurale werken te ramen.

## 2.6 Werksessies

Er zijn twee werksessies voorzien met experts.

### 1<sup>e</sup> werksessie, tranche 1

- Toelichten aanpak en methodiek risico analyse
- Resultaten van de TRN onderzoeken afstemmen met deskundigen
- Bespreken maatregelen en bandbreedte (onzekerheid) van de effectiviteit
- Bespreken restrisico's en bandbreedte
- 2<sup>e</sup> inschatting kosten + probabilistische doorrekening

In de eerste werksessie dient TRN als pilot om de werkmethode te toetsen. Mogelijk dat als resultaat de methode nog zal worden verfijnd of aangepast. Inhoudelijk zullen ook de schadebeelden van TRN besproken worden evenals de effectiviteit van de voorgestelde maatregelen en restrisico's.

Deze bevindingen worden meegenomen in de tweede sessie. In de periode tussen sessie 1 en 2 wordt de risicoanalyse van de 5 garantie objecten (tranche 2) uitgevoerd. Dit vormt de input voor de tweede expertsessie.

### 2<sup>e</sup> werksessie, tranche 2

- Terugkoppeling van de 1<sup>e</sup> sessie
- Resultaten onderzoek en risicoanalyse van de 5 garantie objecten afstemmen met deskundigen
- Bespreken mogelijke scenario's van maatregelen
- Voorbereiden eindrapportage, samenvatting en conclusies

## 2.7 Rapportage

De risicoanalyse en de rapportage ontstaan in een dynamisch proces. De rapportage gaat in stappen. De resultaten van TRN hebben een voorlopig karakter. Uitkomsten van nog lopend onderzoek en van de tranches 2 en 3 kunnen nog tot bijstellingen leiden van tranche 1.

## A2 Informatie van ProRail voor uitvoering van het project

# Ex Aequo

Pruijssers Management BV

Middeldijk 32  
2992 SJ Barendrecht

HSL-Zuid  
Externe toetsing Baanverplaatsing Rijkswetering

# HSL-Zuid

## Externe Toetsing

## Baanverplaatsing Rijkswetering

8 september 2017

Eindrapport 2.2

## HSL-Zuid Externe toetsing Baanverplaatsing Rijpwetering

### Inhoudsopgave

0.	Samenvatting.....	3
1.	Inleiding.....	5
2.	Werkwijze en resultaten.....	7
3.	Analyse vervormingen en constructieve impact.....	8
	3.1. Ontvangen documenten	
	3.2. Oorzaak aandrijvende kracht van de horizontale verplaatsingen ZVP	
	3.3. Constructieve aspecten van de horizontale verplaatsingen ZVP	
	3.3.1. Baansecties met damwandscherm en aanpassing model	
	3.3.2. Secties zonder damwandscherm	
	3.3.3. Toelichting op de evaluatie van de maximale belasting in de paalconstructie	
	3.4. Oorzaak van de horizontale verplaatsingen Kunstwerk Zuidweg	
	3.4.1. Laterale verplaatsingen van de baan t.p.v. het kunstwerk	
4.	Mogelijke maatregelen.....	25
	4.1. Baandelen ten zuiden van Kunstwerk Zuidweg	
	4.1.1. Baandelen met verankerde damwand	
	4.1.2. Baandelen zonder verankerde damwand	
	4.1.3. Drainagesysteem	
	4.1.4. Monitoring	
	4.2. Baandelen ten noorden van Kunstwerk Zuidweg	
	4.3. Kunstwerk Zuidweg	
	4.4. Voorgestelde acties	
Bijlage 1.	Documentenlijst	
Bijlage 2.	Uitzwaaien van de HSL-baan	



## HSL-Zuid Externe toetsing Baanverplaatsing Rijpwetering

### 0. Samenvatting

De HSL-baan ter plaatse van Rijpwetering vertoont na de aanleg een voortgaande verticale- en horizontale verplaatsing van het baanlichaam. Deze verplaatsingen zijn door de projectorganisatie HSL-Zuid gemonitord. Tevens zijn er voor drie baansecties verankerde damwanden geplaatst teneinde de toename van de verplaatsingen te beperken en is een zandaanvulling onder de plaat aangebracht waar de paalkoppen door zettingen vrijstaand waren geworden.

ProRail CMT namens lenM beoogt om op basis van de monitoring een beter inzicht te krijgen in de oorzaken van de verplaatsingen en de mate waarin de functionaliteit, beschikbaarheid en veilige berijdbaarheid van de HSL-baan is geborgd. Tevens wordt gezocht naar mogelijke beheersmaatregelen. Voorliggend rapport gaat nader in op deze vraagstelling.

Het baanlichaam direct ten zuiden van kunstwerk Zuidweg verplaatst zich naar het westen. Het belangrijkste mechanisme wat deze verplaatsing veroorzaakt is voortgaande verticale zetting van het baanlichaam, waarbij aan de oostzijde de inmiddels geconsolideerde baanconstructie van de A4 zorgt voor een 'hard punt'. Door dit excentrisch gelegen harde punt gaan de verticale verplaatsingen vergezeld van een horizontale verplaatsing. Voor de secties waar verankerde damwanden zijn geplaatst wordt aanbevolen om de actuele voorspankracht in de ankers door onderzoek vast te leggen. Tevens wordt aanbevolen de monitoring voort te zetten, maar nu geen nadere maatregelen te treffen aangezien de toename van de verplaatsing lijkt uit te dempen. De constructieve sterkte van de palen onder ZVP wordt vooralsnog voldoende geacht. Dit blijkt ook uit de eerdere rapporten van Hollandse Meren en Deltares [3,15,17], die zich op dezelfde orde grootte van verplaatsingen baseren.

Voor de baansecties zonder damwand lijkt er sprake van een nog voortgaande verplaatsing naar het westen. De totale verplaatsing blijft nog onder de waarden ter plaatse van de secties met een verankerde damwand. Deze secties zijn derhalve nog niet kritisch. Aanbevolen wordt om de monitoring voort te zetten en bij een verwachte overschrijding van een verplaatsing van 100 mm ook bij deze secties een verankerde damwand aan te brengen.

Het baanlichaam ten noorden van kunstwerk Zuidweg beweegt zich naar het oosten, maar in mindere mate dan de westwaartse verplaatsingen ten zuiden van het kunstwerk. Er is derhalve geen noodzaak tot het nemen van maatregelen anders dan het voortzetten van de monitoring. Wel geldt voor dit baandeel dat er minder duidelijkheid bestaat over het mechanisme dat de verplaatsing richting het oosten veroorzaakt. Meest waarschijnlijk wordt dit veroorzaakt door het 'drijven' van het baanlichaam op de onvoldoende

## HSL-Zuid Externe toetsing Baanverplaatsing Rijpwetering

geconsolideerde slappe lagen waarop het baanlichaam is aangebracht. Er is daardoor weinig weerstand tegen het uitrijden van de horizontale boog in de spoorbaan. Een eventuele invloed van een liggereffect vanuit de ZVP wordt onwaarschijnlijk geacht gegeven de berekende relatief korte golflengte van de constructie.

Voor wat het betreft de zijdelingse bewegingen van het kunstwerk Zuidweg, beweegt het min of meer mee met de vervormingen van de baanlichamen ten noorden en zuiden van het kunstwerk, waarbij de vervormingen van het baanlichaam ten zuiden de meeste invloed op het kunstwerk uitoefenen. Voor wat betreft het verplaatsen van het zuidelijke landhoofd in noordelijke richting hebben de belangrijkste verplaatsingen zich voorgedaan voordat de trogligger werd geplaatst. De oorzaak wordt gezien in gronddruk vanuit de baan en de geringe stijfheid van de fundering van het landhoofd tegen deze belasting. Deze verplaatsing lijkt nu min of meer gestabiliseerd. Er is geen sprake van constructief falen van onderdelen van het kunstwerk, zodat geen maatregelen nodig worden geacht. Wel wordt aanbevolen om de monitoring voort te zetten. Tevens wordt aanbevolen om tijdens de 52-urige TVP de respons van het kunstwerk te meten met versnellingsmeters aan de zijkant van het dek, zodat een eventueel ongelijkmatig dragen van de rubberoplegblokken kan worden weggenomen.

## HSL-Zuid Externe toetsing Baanverplaatsing Rijpwetering

### 1. Inleiding

Vanaf aanleg is de locatie Rijpwetering als een verdachte locatie bestempeld en is er vanuit ProRail CMT een monitoring opgesteld om verplaatsingen te meten. De verplaatsingen zijn sneller verlopen dan verwacht, om die reden is in 2006 het Rheda spoor over een lengte van ca 800m verwijderd en weer opnieuw opgebouwd. Tevens zijn er op 3 locaties verankerde damwanden aangebracht. Het aanbrengen van de verankerde damwanden heeft het horizontale verplaatsingsproces wel vertraagd maar niet weggenomen en de verplaatsingen hebben zich over een langere baanlengte uitgebreid.

In het verticale vlak zakt het baanlichaam langzaam maar gestaag en heeft inmiddels op sommige locaties de 40cm bereikt. In 2014 is er over ca 800m de ruimte onder de ZVP met droog spuitzand opgevuld ten behoeve van de paalkopmomenten. Uitgangspunt vanuit het ontwerp is dat deze ruimte niet >30cm mag worden voor de paalkopmomenten bij remmen en optrekken van de treinen. Door inklinking van het losse zand en de zetting van het baanlichaam is de open ruimte tussen bovenzijde zandlichaam en onderzijde ZVP inmiddels gemiddeld 15cm (volgens opgave Infraspeed).

Het kunstwerk Zuidweg is aan verplaatsingen onderhevig. Vooral het zuidelijke landhoofd heeft zich in noordelijke richting verplaatst en tordeert enigszins om zijn verticale as.

Om tot een herstelplan voor de problematiek te komen is het noodzakelijk de aandrijvende oorzaak te kennen en inzichtelijk te maken. Het is van groot belang dat de functionaliteit, beschikbaarheid en veilige berijdbaarheid gewaarborgd blijft tot  $V=300\text{km/h}$ .

Dit leidt tot de volgende vraagstelling voor het onderzoek:

#### 1. Impact op constructie:

- Oorzaak aandrijvende kracht van de horizontale verplaatsingen ZVP en kunstwerk Zuid, verticale zettingen baanlichaam omschrijven. Uit eerdere onderzoeken komt naar voren dat er meerdere oorzaken mogelijk zijn, zoals water, invloed spoorstaven, slappe grondlagen, invloed rijksweg A4 enz.
- Is het huidige baanlichaam, inclusief de invloed van de damwanden, bestand tegen langdurige regen, waardoor de zettingen/verplaatsingen negatief worden beïnvloed?
- In eerdere berekeningen van Deltares [1,2,3] is aangegeven dat door de verplaatsingen ZVP en zettingen grondlichaam er op termijn palen kunnen breken maar er kan geen afschuiving plaatsvinden. Nu de verplaatsingen/zettingen groter zijn dan aangenomen tijdens deze berekening, is de vraag of de berekening nog wel geldig is;

## HSL-Zuid

### Externe toetsing Baanverplaatsing Rijpwetering

- Wanneer wordt de kritische grens paalkopmoment bereikt door de horizontale verplaatsing ZVP. De toegelaten “vrijhoogte” is gebaseerd op de rem- en aanzetkrachten van de trein, niet op andere krachten of op een opgelegde verplaatsing door het baanlichaam. Vraag is dus hoeveel capaciteit wordt opgebruikt. (zowel dwars- als in lengte richting)
- Ankers van de damwanden worden na  $\pm 2010$  niet meer op spanning gebracht omdat de ZVP hierdoor ongelijkmatig ging verplaatsen. Is het noodzakelijk de ankers te spannen/ontspannen of zoals nu niets te doen?

## 2. Mogelijke beheersmaatregelen

- Hoe de horizontale verplaatsingen ZVP te minimaliseren of te fixeren;
- Verplaatsingen en torderen landhoofd(en) kunstwerk Zuidweg te minimaliseren en of fixeren;
- Advies voor de te maken herstelplannen voor de genoemde werkzaamheden.
- Welke realistische en doeltreffende maatregel kan er in 2018 tijdens een TVP van 52 uur als praktijksituatie worden uit getest.

## HSL-Zuid Externe toetsing Baanverplaatsing Rijpwetering

### 2. Werkwijze en resultaten

Het rapport is opgesteld op basis van toetsing verricht door een extern team bestaande uit:

- Klaas-Jan Bakker (WAD43 bv)
- Jan Jonker (Movares)
- Arjan Pruijssers (Ex Aequo)

De samenstelling van het deskundigenteam is mede gebaseerd op de inzet van dit team bij vervormingenstudies voor kruisingen met de Betuweroute.

De in het kader van de vervormingsproblematiek eerder opgestelde documenten zijn digitaal aangeleverd door ProRail inclusief de relevante bijlagen. Voor een overzicht van de geleverde documenten, zie bijlage 1.

De review is uitgevoerd in samenspraak met medewerkers van ProRail:

- Rob den Boer
- Ton Padmoes
- Jan Bogaards
- Stephan van Eeten

Na bestudering van de informatie in de beschikbare documenten zijn nadere analyses uitgevoerd ondersteund door berekeningen. Deze zijn met de medewerkers van ProRail besproken in overleggen d.d.: 13 maart, 10 april, en 15 mei. Op 22 mei 2017 is de locatie bezocht.

## HSL-Zuid Externe toetsing Baanverplaatsing Rijpwetering

### **3. Analyse vervormingen en constructieve impact**

#### **3.1. Ontvangen documenten**

De ontvangen documenten zijn weergegeven in Bijlage 1.

#### **3.2. Oorzaak aandrijvende kracht van de horizontale verplaatsingen ZVP**

In de nabijheid van Rijpwetering vertoont de baan van de HSL, welke is uitgevoerd als zettingsvrije plaat op betonnen palen, tussen ongeveer kilometrering 132.4 en 133.8 horizontale verplaatsingen.

Al gedurende een langere periode, het eerste rapport van Deltares [1] dateert van 2006, is er onderzoek gedaan naar de risico's voor de stabiliteit van de baan en de mate waarin deze vervormingen kunnen worden geaccepteerd. In 2006 zijn bij drie secties (132,850-132,930;133.035-133.115;133.140-133.310) verankerde damwanden geplaatst ter beperking van de horizontale vervorming. Tevens wordt ca. 750 m bovenbouw spoor vervangen (132.765-133.560).

De vervormingen van het baanvak onder de Zettingsvrije plaat (ZVP) zijn gedurende een lange periode gemonitord. In de loop der jaren zijn er meerdere herhalingsmetingen uitgevoerd. Hiertoe zijn zowel verticale- (extensometers en zakbakens) als horizontale verplaatsingen (hellingbuis, inverted pendulum, GPS) gemeten. Daarnaast zijn de meetresultaten in 2013 [14,17] vergeleken met satellietmetingen (verticaal).

Ten behoeve van de analyse is het relevant de tijdlijn van de vervormingsproblematiek en de inmiddels genomen maatregelen kort te beschouwen:

Het baanlichaam voor de HSL-Zuid is tussen de pergola (kruising HSL met A4) en HSL-viaduct Zuidweg gelegen direct westelijk naast de bestaande A4. Het baanlichaam voor de naastliggende A4 is in de jaren 60 aangelegd in een uitgegraven cunet. De onderkant van het zandlichaam van de A4 ligt nu op ca 8 m – NAP en loopt over het beschouwde traject voor een deel tot half onder het HSL baanlichaam. Tijdens de aanleg is er lokaal sprake geweest van instabiliteit, waardoor lokaal ter plaatse van de HSL-baan sprake kan zijn van een zanduitstulping vanuit het A4-baanlichaam. De locaties zijn echter niet bekend.

#### *Aanleg baanlichaam HSL-Zuid*

In juli 2002 is gestart met werkzaamheden ten zuiden Rijpwetering: aanbrengen zandlaag van ca 1.5m op maaiveld en Baudrain Systeem tot 2 m boven pleistocene

### HSL-Zuid Externe toetsing Baanverplaatsing Rijpwetering

zand. Daarna verder ophoging baan/terp. Op 8 maart 2003 was er een afschuiving tussen km 133.200 en km 133.350. Als beheersingsmaatregel is toen een vrijstaande damwand in de teen van het talud aangebracht. ( type AZ18, gestaffeld, planklengte 9 en 13 m.) Op 20 januari 2004 afschuiving tussen km 133.030 en km 133.110. Ook hier is een vrijstaande damwand in de teen van het talud aangebracht. ( type AZ36 KM 133.000- KM133.100 en type AZ26 km 133.100- km 133.200). Het baanlichaam is juli 2004 gereed met een berekende restzetting van 0,30 m in 30 jaar. Het viaduct Rijpwetering (Zuidweg) is dan al in aanbouw .

In augustus 2004 start het heiwerk van de palen 400/400 voor de zettingsvrije plaat en in september 2004 vindt eerste betonwerk plaats. De fysieke spoorbouw start in 2005.

In de periode januari 2003 en juli 2004 worden in opdracht van de HSL- opdrachtnemer Hollandse Meren door Deltares Plaxis-analyses gedaan naar het fenomeen van mogelijke horizontale verplaatsingen van de ZVP door kruipgedrag van de grond. Het resultaat van dat onderzoek is dat de horizontale verplaatsingen in de tijd toch groter zal zijn dan de ontwerp eis van 10 mm . De oplossing wordt rekentechnisch gevonden door het aanbrengen van EPS aan de oostkant waarmee de horizontale verplaatsing tot 5mm kan worden terug gebracht. In oktober 2004 wordt de EPS aangebracht tussen km 133.085 en km 133.340. In december 2005 wordt de baan /ZVP formeel civieltechnisch opgeleverd. Opgemerkt wordt dat de bouw van het spoor ook al in 2005 is gestart.

#### *Situatie na oplevering HSL-onderbouw in 2005*

In het voorjaar 2006 wordt geconstateerd dat de horizontale verplaatsingen van de onderbouw over een traject van 600 m ten zuiden van Rijpwetering toch aanzienlijk groter zijn dan de predicties uit de voorgaande genoemde Plaxis-analyses. In het tweede kwartaal 2006 wordt in opdracht van HSL-Zuid een proces opgestart onder aansturing van Deltares met alle direct betrokkenen bij de aanleg van de onderbouw en met Fugro als toetser. De doelstelling van dit onderzoek was *"Op korte termijn in een eerste fase tot een oplossing komen waarbij de veiligheid van de baan gegarandeerd blijft en waarbij de vervormingen van de zettingsvrijeplaat binnen de vooraf gestelde toleranties met betrekking tot comfort moeten zijn gewaarborgd."*

In verband met de tijdsdruk is toen voor de berekeningen in de eerste fase gebruik gemaakt van de monitoringsgegevens van de project organisatie HSL Zuid. Een mitigerende maatregel is gevonden in de toepassing van verankerde, na te spannen, damwanden halfweg het talud aan de west- ofwel polderzijde. Deze zijn in de tweede helft van 2006 ook aangebracht en tevens is het Rheda spoor vernieuwd zodanig dat er een grotere horizontale nastelmogelijkheid beschikbaar is (+/- 28 mm).

## HSL-Zuid Externe toetsing Baanverplaatsing Rijpwetering

De verankerde damwanden zijn aangebracht over de volgende tracé lengten:

- Km 132.850 – km 132.930 type AZ48 en met type AZ36 over de eerste en laatste 10 m.
- Km 133.035 - km 133.115 type AZ48 en met type AZ36 over de eerste en laatste 10 m
- Km 133.140 - km 133.310 type AZ 48 en met type AZ 36 over de eerste en laatste 10 m

De ankers, h.o.h. 2.30 m zijn ontworpen op een gebruiksbelasting van 350 kN per m wand.

Vervolgens heeft er in een tweede fase een optimalisatie plaatsgevonden van de berekeningen voor wat betreft de modellering en parameters. Dit alles om de berekeningsmodellen te verbeteren en te optimaliseren zodat met meer zekerheid voorspeld kon worden wat het effect van de gekozen oplossing is op het verplaatsingsgedrag van de ZVP. De damwand ter plaatse van de twee noordelijke vakken is uiteindelijk afgespannen op 200 kN per m wand, het zuidelijke vak op 150 kN per m wand.

Uit het onderzoek volgden destijds de volgende conclusies en aanbevelingen:

- veiligheid van het spoor is gegarandeerd voor de levensduur van de zettingsvrije plaat
- de verankerde damwand is effectief voor het beperken van de horizontale verplaatsingen
- de combinatie verankerde(na te spannen) damwand en de grotere nastelbaarheid van het spoor is voldoende om aan de gestelde comforteis te kunnen blijven voldoen
- de verwachte horizontale verplaatsing van de zettingsvrije plaat voor de komende 25 jaar is ca 5 á 10 mm . voor de komende 100 jaar wordt een horizontale verplaatsing van 10 á 15 mm verwacht. Deze verwachtingswaarde valt dus ruim binnen de stelmogelijkheid. Gezien de heterogeniteit van de ondergrond en de beperkte nauwkeurigheid van de modellen, de lange voorspellingsperiode is er een onzekerheidsband die niet cijfermatig te onderbouwen is. Bij een factor 2 zullen de grenzen aan de nastelbaarheid worden bereikt hetgeen voor mogelijk wordt gehouden maar niet verwacht wordt.
- een monitoringsprogramma met aanvullend draaiboek met te nemen corrigerende maatregelen wordt aanbevolen.



### HSL-Zuid Externe toetsing Baanverplaatsing Rijpwetering

Gezien de genoemde bandbreedte in de predicties van de verplaatsingen heeft er, en vindt er nog steeds, een uitgebreide monitoring op de betreffende locatie plaats.

#### *De monitoring vanaf 2006*

Onderstaande tabel 1 (opgave ProRail CMT) [20] geeft een beeld van de monitoringsresultaten in het horizontale vlak over het trajectdeel Rijpwetering tot op heden. Ook zijn er monitoringsresultaten beschikbaar ten aanzien van de verticale en horizontale zettingen van het baanlichaam ( en van horizontale verplaatsingen van het viaduct Zuidweg (ca 5 mm) . Opgemerkt wordt dat er geen monitoringsgegevens beschikbaar zijn ten tijde van de bouw van het kunstwerk.

**Tabel 1. Overzicht van de Monitoring**

<b>Totaal verplaatsingen onderbouw vanuit de Landmeetkundige metingen december 2004 tot december 2016</b>					
Puntnr	± km	IFS meting dec 2004 apr-2006	2006 t/m 2009	2009 t/m 2016	Totaal verplaatsing in H-vlak (mm)
GSSS-01	132.585	nvt	0	14	14
GSSS-02	132.705	0	7	24	31
GSSS-03	132.770	0	10	28	38
GSSS-04	132.915	0	15	18	33
GSSS-05	132.970	17	10	22	49
GSSS-06	133.035	9	18	22	49
GSSS-07	133.125	0	15	12	27
GSSS-08	133.190	31	21	7	59
GSSS-09	133.240	0	5	5	10
GSSS-10	134.410	-13	-5	-5	-23
GSSS-11	133.520	8	5	-20	-7
GSSS-12	133.625	0	-5	-2	-7
GSSS-13	133.735	0	-4	0	-4

Uit de eerste beschouwingen komt naar voren dat er meerdere oorzaken voor deze vervormingen mogelijk zijn, zoals water, invloed spoorstaven, slappe grondlagen, invloed rijksweg A4 enz. De diverse mogelijke oorzaken zijn nader beschouwd:

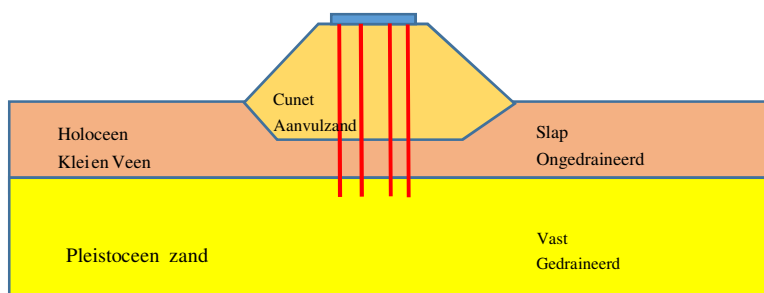
#### Invloed bovenbouwconstructie

Uit de metingen valt op dat het baanlichaam ten zuiden van het kunstwerk Zuidweg naar het westen beweegt en het baanlichaam direct ten noorden van het kunstwerk juist naar het oosten. Hoewel het baanlichaam ten noorden van het kunstwerk verder verwijderd is van het baanlichaam van de A4 en dus minder steunt vindt aan die zijde, is het ook voor dat baanvak aannemelijk dat de steundruk vanuit de laaggelegen polder aan de westzijde overall minder is. Het verplaatsen van dit baanvak naar het oosten is in die zin opmerkelijk.

### HSL-Zuid Externe toetsing Baanverplaatsing Rijpwetering

Een mogelijke oorzaak kan zijn gelegen in de aanwezigheid van de spoorstaven. De spoorconstructie in combinatie met de ZVP vormen een behoorlijke stijve langsligger over de lengte van het baanlichaam. In principe kunnen (temperatuur-)spanningen in de spoorstaven leiden tot het initiëren van horizontale vervormingen. Ter toetsing van deze hypothese is een afschatting gemaakt van de golflengte over welke afstand een opgedrongen kracht of verplaatsing zich over de baan zou verspreiden; zie bijlage 2. Op grond van de berekende golflengte die eerder ligt in de orde van tientallen meters dan honderden meters lijkt het onwaarschijnlijk dat het uitzwaaien wordt veroorzaakt door een opgedrongen rotatie komende vanuit het zuidelijk deel van de baan naar het deel ten noorden van het Kunstwerk Zuidweg.

Een andere mogelijke oorzaak is wellicht wat bekend staat als het “uitrijden van de boog”. Het is bekend ook van andere baandelen in het spoornet dat een spoorbaan in een boogstraal door wellicht een combinatie van centrifugaal krachten en temperatuurspanningen de neiging heeft zich naar de buitenkant van de boog te verplaatsen. Daar komt in dit geval bij dat het baanlichaam zelf hier los ligt van het baanlichaam van de A4. Het baanlichaam van de HSL is gebouwd door het ophogen van zand op de bestaande slappe ondergrond waarbij het grondlichaam stabiel is gehouden door het toepassen van verticale drainage. Na aanleg van het baanlichaam is de drainage uitgezet. Het gerealiseerde baanlichaam “drijft” daarbij min of meer op een onderlaag van klei en veen, zie Fig. 1



**Figuur 1 Het baanlichaam ten Noorden van het kunstwerk Zuidweg; het baanlichaam “drijft” min of meer in de slappe holocene lagen**

Bij een kortdurende belasting zal een variatie van de verticale belasting, die voor een deel ook via schachtwrijving wordt afgedragen aan het baanlichaam leiden tot een toename van verticale spanningen in de slappe lagen daaronder en daar voornamelijk door verhoogde waterspanningen worden gedragen. Verhoogde waterspanning leidt tot een afname van de korrelspanningen en daarmee tot een afname van het kunnen opnemen van laterale schuifspanningen. Het in herhaling

## HSL-Zuid Externe toetsing Baanverplaatsing Rijpwetering

belasten zou daarbij kunnen leiden tot weg “driften” van de baan. Enigerlei onregelmatigheid in de ondergrond bepaald dan welke kant de baan op beweegt.

### Invloed baanlichaam A4 en aanwezigheid slappe lagen

Grondmechanisch mag het aannemelijk worden geacht, zie ook sectie 3.3.2 van dit rapport, dat het baanlichaam HSL bij het consolideren de aanwezigheid van het al geconsolideerde baanlichaam A4 'voelt'. Er ontstaat dan een 'harde schouder' of fictief rotatiepunt aan de oostzijde van het baanlichaam HSL. Als gevolg hiervan gaat een verticale zetting van de baan gepaard met een rotatie om dit harde punt. Hierdoor ontstaan er tevens horizontale vervormingen van de baan richting het westen. Ook kan er sprake zijn van het overschrijden van schuifspanningen in het baanlichaam door het blijven hangen op het harde punt. Het baanlichaam zakt als het ware uit naar het westen. Dit lijkt het belangrijkste mechanisme dat bijdraagt aan de optredende vervormingen van de baan. Ook de constatering dat de baan aan de westkant verder is weggezakt dan de oostkant sterkt deze mening.

De eerder opgetreden lokale instabiliteit tijdens de aanleg van zowel het baanlichaam van de A4 als van de HSL dragen bij aan een verstoord grondprofiel met naar verwachting een iets stijver gedrag dan verwacht mag worden op basis van de sonderingen. Immers, de slappe lagen zijn lokaal weg geperst door het zand. Dit kan mede verklaren waarom de HSL-baan niet op een meer gelijkmatige manier weg kantelt van het baanlichaam van de A4.

Met behulp van het PLAXIS-model is de veiligheid tegen het ontwikkelen van glijvlakken nader beoordeeld. De stabiliteit van het baanlichaam (sectie zonder damwand) is eerst berekend zonder bovenbelasting en zonder palen. Bij gedraineerd grondgedrag levert dit een veiligheid van 1,29. Ongedraineerd is deze vanzelfsprekend lager: 1,22. Het in rekening brengen van de palen levert vervolgens 1,31. De funderingspalen hebben dus wel een (beperkt) stabiliserend effect.

Het toevoegen van 65 kN/m<sup>2</sup> bovenbelasting en een middelpuntvliedende kracht van 7 kN/m<sup>2</sup> op beide sporen levert een veiligheid van 1,22 (ongedraineerd). Volgens de Eurocode dient nog een belastingfactor van 1,5 in rekening te worden gebracht. De veiligheid daalt dan van 1,22 naar 1,21, waaruit blijkt dat de stabiliteit slechts marginaal wordt beïnvloed door de treinbelastingen. De normwaarde voor RC3 (1,3) wordt daarmee niet gehaald, wel blijft men boven RC1. Hierbij geldt dat het gedraineerd of ongedraineerd rekenen de grootste invloed heeft op de berekende veiligheid. Vanwege de geringe invloed van de variabele belastingen is het volledig ongedraineerd rekenen zeker conservatief.

## HSL-Zuid Externe toetsing Baanverplaatsing Rijpwetering

### Invloed water en temperatuur

Uit de monitoring blijkt dat de vervormingen een (kleine) component kennen, die over het jaar varieert, waardoor sommige metingen een afname in de grootte van de vervormingen vertonen. Deze bijdrage is zeer beperkt en vormt mogelijk een meetonnauwkeurigheid. Een andere verklaring kan worden gevonden in seizoensgebonden invloeden. In de eerste plaats kan er invloed zijn van (regen-)water. De aanleg van het baanlichaam van de HSL heeft geleid tot het consolideren van de slappe lagen direct onder het zandlichaam. Door de nabijheid van het zandlichaam van de A4 zullen deze geconsolideerde en weinig waterdoorlatende lagen enigermate een kuipvorm hebben aangenomen. In perioden met veel regen zal onderin het HSL-baanlichaam sprake zijn van een ophoping van dit regenwater. Het extra gewicht hiervan draagt bij aan een extra vervorming. De aanwezigheid van de damwanden (hoewel lokaal voorzien van openingen) beperkt evenzeer de horizontale afstroming van dit water. In meer drogere perioden zakt dit water langzaam richting polder en neemt het extra gewicht weer af. Ter plaatse van de verankerde damwanden is er dan sprake van enige elasticiteit waardoor het baanlichaam enigszins terugkomt.

Een vergelijkbaar effect kan ontstaan door de temperatuur van het baanlichaam. Als gevolg van instraling/uitstraling van warmte zal het boven het grondwater gelegen deel van het baanlichaam een seizoensgebonden toe-/afname van de temperatuur vertonen. Het baanlichaam zet hierdoor iets uit of krimpt juist iets. Omdat deze volumetoename aan de zijde van de A4-baan niet weg kan, zal het leiden tot een effect op de gemeten vervorming aan de westzijde van de HSL-baan.

Mogelijk treden beide effecten samen op, versterken elkaar of dempen elkaar juist uit. Het kwantificeren van dit (gecombineerde) effect is lastig op basis van de aanwezige informatie. Het resulterende effect op de vervormingen is relatief gering. Desondanks wordt aanbevolen om in het kader van de monitoring meer peilbuismetingen te doen in de HSL-baan en ter plaatse van de zone tussen A4 en HSL-baan.

Tevens wordt aanbevolen om ter beperking van het effect van langdurige regenval de drainage ter plaatse van de teen tussen baanlichaam A4 en HSL-baan op werking te controleren en indien realiseerbaar de afvoercapaciteit te vergroten. Het op andere wijze weggeleiden van afstromend regenwater (van zowel A4 als HSL-baan) zodat er geen inzijging in het baanlichaam kan optreden, is evenzeer aan te bevelen.

De analyse van RailInfraSolutions [25] laat zien dat de veiligheid tegen het zich ontwikkelen van glijvlakken beïnvloed wordt door de opbolling van het fratisch vlak

## HSL-Zuid Externe toetsing Baanverplaatsing Rijpwetering

in het baanlichaam. Ook dit resultaat ondersteunt de aanbeveling om de drainage waar mogelijk te verbeteren en meer peilbuismetingen uit te voeren. Het aantal extra peilbuizen dient bij voorkeur zodanig te worden gekozen dat voor de individuele secties (met/zonder damwanden) een representatief beeld van het freatisch vlak bepaald kan worden. Dit betekent minimaal 3 peilbuizen per sectie.

### **3.3. Constructieve effecten van de horizontale verplaatsingen ZVP**

Gezien de afwijkingen van de predicties zijn er gedurende de genoemde periodes in Tabel 1 meerdere beschouwingen uitgevoerd naar de consequenties van de meetresultaten voor het spoor, de baan, de palen onder de zettingsvrije plaat als ook het viaduct Zuidweg op basis van nader veldwerk.

Op basis van de herhalingsmetingen van Arcadis, i.e. de 13e herhalingsmeting d.d. december 2016 [24], zou de indruk kunnen ontstaan dat het in vergelijking met de voorspellingen van Deltares, 1204379-008, d.d. maart 2013 [15], wel meevalt. Deltares voorspelt daar op basis van 2D Plaxis berekeningen, inclusief kruip op termijn (100 jaar) maximale verplaatsingen van ca 120 mm. terwijl de 13e herhalingsmeting in 2016 maximale verplaatsingen toont in de orde van 28 à 29 mm, zie ook kolom 5 in Tabel 1. De laatste meting toont daarbij zelfs iets kleinere verplaatsingen dan eerder geconstateerde maxima. De nul referentie van de Arcadis meting (2006) is echter niet teruggerekend naar de datum van plaatsen van de Palen voor de ZVP. Uit de eerder getoonde Tabel 1 volgt dat in sommige gevallen nog tenminste 30 mm verplaatsing voorafgaande aan de nul referentie van de metingen is opgetreden.

Er zijn geen metingen (XYZ) vanaf de bouw van de onderbouw tot de metingen van Arcadis (2006). Wel zijn er metingen van Infrasppeed vanaf 2004 op de TMG-punten welke om de ca 60m zijn aangebracht. Deze meetopzet heeft een beduidend lagere meetnauwkeurigheid, +/- 3 a 4mm. Op deze bevindingen zijn de locaties van de damwanden bepaald en de lengte van het te vervangen Rhedaspoor.

De secties zonder damwand vertoonden in het verleden geringere verplaatsingen (reden waarom hier geen damwanden zijn bijgezet). Inmiddels vertonen ook deze secties verplaatsingen maar geringer dan de secties, waar inmiddels damwanden zijn geplaatst ter beperking van deze verplaatsing. Een vergelijk over de laatste herhalingsmetingen laat een stabilisatie van de toenames zien voor de damwandsecties. Voor de niet damwandsecties is die stabilisatie minder waarneembaar. Daarmee lijken de damwanden in ieder geval (deels) hun beoogde functie te vervullen.

## HSL-Zuid Externe toetsing Baanverplaatsing Rijkswetering

Om de constructieve impact van de vervormingen op de baanconstructie te analyseren wordt onderscheid gemaakt naar de secties met damwanden resp. zonder damwanden, waarop in de volgende paragraaf meer in detail zal worden ingegaan.

### **3.3.1. Baansecties met damwandscherm en aanpassing van model**

De door Deltares opgestelde en beschikbaar gestelde Plaxis-modellen (2D) waarvan de geometrie overeen stemt met de figuren zoals getoond in de rapportages uit 2012 en 2013, resp. 1204379.000 en 1204379.008 zijn gebruikt voor aanvullende berekeningen, Destijds waren die berekeningen gemaakt met plaalementen en als een soort upgrade zijn die modellen aangepast en de plaalementen voor de palen vervangen door embedded piles. Het voordeel van embedded beams is dat hiermee op meer eenvoudige en eenduidige wijze een uitspraak kan worden gedaan over de te verwachten paalkrachten.

Eerst is met het model met verankerde wand -ter verificatie en kalibratie – onderzocht of vergelijkbare verplaatsingen konden worden gereproduceerd. Het model toonde een redelijk tot goede overeenstemming met de modeluitkomst met plaalementen, die na conversie naar de Plaxis versie 2016 parallel opnieuw waren gedraaid.

Voor wat betreft de uitkomsten van de berekende paalmomenten, in dit geval berekend met de embedded piles modellering kwam het beeld naar voren dat de laterale verplaatsingen voor de locatie met verankerde damwand de laterale verplaatsingen in alle gevallen zodanig beperkt zijn dat deze niet tot een overschrijding van een maximaal moment leiden; zowel kopmoment en veldmoment onderin.

In aansluiting hierop is vervolgens onderzocht wat de bijdrage vanuit rem- en afzetkrachten is aan het kopmoment, waarbij een model is opgezet in de laterale richting van de baan. Daaruit komt het beeld naar voren dat ook voor de situatie van rem- en afzet-krachten, voor het kopmoment, voor de situatie met de verankerde damwand niet tot een overschrijding van capaciteit van de palen komt. Dit geldt overigens ook voor het veldmoment onderin de paal.

Aangezien de verplaatsingen voor de locaties met verankerde damwand zich voor wat betreft de laterale verplaatsingen verder lijken te stabiliseren is de aandacht vervolgens verlegd naar de situatie zonder veranderde damwand.

## HSL-Zuid Externe toetsing Baanverplaatsing Rijpwetering

### **3.3.2. Secties zonder damwandscherm**

Voor de situatie zonder damwand zijn ook aanvullende Plaxis sommen gemaakt. Daarbij blijkt dat de momenten hier veel verder kunnen oplopen. Daar is de situatie op de langere termijn (in relatie tot mogelijke bezwijken van de paal), mogelijk wel maatgevend, zie ook de aanvullende toelichting op de berekening in paragraaf 3.3.3.

Aanbevolen wordt om de kopverplaatsing in ieder geval beperkt te houden tot ca. 100 mm. Het bezwijkmoment voor falen van de gehele rij palen op moment ligt bij benadering bij 167 mm laterale verplaatsing, zie ook Fig. 1.

Voor wat betreft het gedrag van de baan heeft het er alle schijn van dat het baanlichaam aan de oostzijde leunt op het baanlichaam van de A4 terwijl deze steun aan de westzijde ontbreekt. Het scharnierpunt bevindt zich daarbij ergens aan de A4 zijde van het baanlichaam van de HSL, mogelijk op een niveau van 6 meter onder maaiveld. Door kruip van de kleilagen onder het baanlichaam in het bijzonder aan de westzijde, aan de oostzijde heeft de baan steun op het baanlichaam van de A4 zwaait de baan uit richting de polderzijde. Doordat kruip van de onderliggende kleilagen een doorgaand proces is zal deze beweging zonder een stabiliserende maatregel niet zomaar stoppen.

Dit effect wordt mogelijk nog negatief beïnvloed, doordat in dit gebied in het verleden bij de aanleg van de A4 ook doorpersingen zijn geweest waardoor het zandlichaam van de A4, "uitstulpingen" kent waar het HSL baanlichaam mogelijk in mindere of meerdere mate op steunt. Het is ook niet goed bekend hoe de ondergrond er hier in detail uitzet.

Zoals eerder opgemerkt, het lijkt aannemelijk dat deze zettingen worden veroorzaakt door nazakken van de baan, kruip van de kleilagen in de ondergrond, seculier zetting; althans, ten zuidwesten van het KW Zuidweg. Doordat het baanlichaam hier waarschijnlijk aan één zijde steun vindt aan het naastgelegen dieper gefundeerde zandlichaam van de A4, terwijl het aan de andere zijde in mindere mate die steun kan vinden door de lagere ligging van het naastgelegen terrein met een slappere ondergrond zakt het baanlichaam eenzijdig weg waarbij de bovenbouw, door het dieper gelegen draaipunt "uitzwaait"

### **3.3.3. Toelichting op de evaluatie van de maximale belasting in de paalconstructie**

Volgens HSL Hollandse Meren; 10120058-60-00-CA-0001, kan in de palen, vierkant 400 mm, onder de ZVP een maximaal vloeimoment worden verondersteld

## HSL-Zuid Externe toetsing Baanverplaatsing Rijpwetering

van 120 kNm voor de schacht van de paal. Voor de eenvoud wordt deze waarde voor de gehele paal, dus ook voor het kopmoment aangehouden.

Op basis van een verkennende Plaxis berekening, zie ook paragraaf 3.3.1, waarbij een verkenning is gemaakt van het maximale kopmoment bij remmen en accelereren, werd berekend dat het maximale kopmoment daarbij in de orde is van 40 kNm per paal onder de fundering.

Bovengenoemd moment betreft een uitbuiging in de lengte richting van de baan.

Uitgaande van een convexe omhullende voor de combinatie van het moment parallel aan de baan en loodrecht daarop, waarbij de capaciteit in alle richtingen gelijk is, wordt gevonden dat:

$$M_{\text{vloei\_max}} = \sqrt{(M_{\text{vl\_//}})^2 + (M_{\text{vl\_/-}})^2}$$

waaruit volgt dat de maximale capaciteit die voor een laterale verplaatsing kan worden gereserveerd groot is:

$$(M_{\text{vl\_/-}}) = \sqrt{(M_{\text{vloei\_max}})^2 - (M_{\text{vl\_//}})^2}$$

En dus

$$(M_{\text{vl\_/-}}) = \sqrt{120^2 - 40^2} = 113 \text{ kNm}$$

Vervolgens is een Plaxis berekening waarbij de embedded pile is gemodelleerd met een vloeimoment van 113 kNm en is bepaald bij welke opgelegde verplaatsing vanuit het grondmassief in alle palen aan de kop een vloeischarnier ontstaat.

Voor de situatie zonder verankerde damwand is voor de schematisering met Embedded piles opnieuw een kalibratie berekening gemaakt. In het aangepaste model wordt na 100 jaar kruip een maximale horizontale verplaatsing berekend van 92 mm. Deze verplaatsing kan worden vergeleken met de 120 mm verplaatsing zoals die wordt berekend in Deltares 1204379-008-GEO-0001. Ofschoon er een klein verschil is, wordt dit acceptabel geacht omdat de orde van grootte van de verplaatsing overeenkomt. De uitgangssituatie voor de evaluatie van de maximale krachten is de uitkomst van de berekening na 100 jaar kruip



## HSL-Zuid Externe toetsing Baanverplaatsing Rijpwetering

Voor wat betreft de ontwikkeling van de krachten zijn verschillende berekeningen gemaakt met een steeds verdergaande aanspraak van het draagvermogen van de palen. In een eerste stap is berekend wat de verschillende palen dragen bij het bereiken van het 1e vloeischarnier, i.e. dat ontwikkeld zich in paal no 4, die is gelegen aan de meest oostelijk zijde aan de kant van de A4. In die situatie is nog reserve aan lateraal draagvermogen aanwezig in de andere palen. De verdeling van de paalkrachten is weergegeven in Tabel.2. De laterale verplaatsing van de ZVP is dan 93 mm.

In die situatie worden met Plaxis kopmomenten berekend waarbij voor palenrij 4, het plastische moment is bereikt; i.e.  $26,9 \times 4,2 = 112,9$  kNm, De factor 4,2 komt voort uit de paalafstand in lengterichting van de baan.

**Tabel 2. Kopmomenten na 100 jaar kruip op basis van Plaxis model**

Paalrij	Moment kNm/m	Moment kNm (per paal)
1	13,9	58,4
2	19,0	79,8
3	24,3	102,6
4	26,9	112,9

**Tabel 3. Maximaal veldmoment per paal; na 100 jaar kruip**

Paalrij	Moment kNm/m	Moment kNm (per paa)l
1	24,5	102,9
2	19,4	81,5
3	12,5	52,5
4	19,5	81,9

Vervolgens is een aanvullende berekening gemaakt waarbij de ZVP door een additionele kracht in horizontale richting wordt belast, tot dat vier plastische scharnieren worden gevonden in de aansluiting van de palen aan de Zettingsvrije plaat. Ofschoon de uitkomst enigszins arbitrair kan worden gevonden omdat de verplaatsingen niet echt leiden tot een globaal faalmechanisme is enigszins pragmatisch de verplaatsing bepaald waarbij voor het eerst alle kopmomenten kunnen worden aangemerkt als vloeischarnier. Overigens is er dan nog geen sprake van een overall globaal mechanisme. Er bestaat dan nog steeds een reserve ten aanzien van eventuele laterale krachten voordat de baan zou uitbreken. Voor de eenvoud geldt deze situatie als een grens situatie omdat voorbij deze

### HSL-Zuid Externe toetsing Baanverplaatsing Rijpwetering

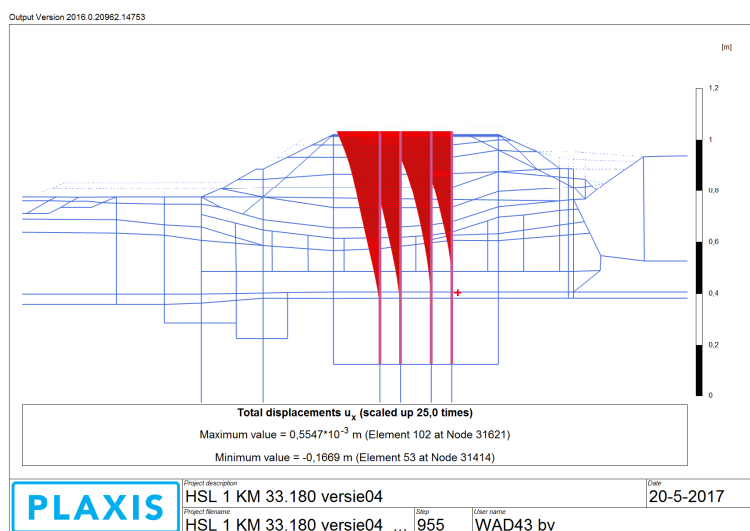
grens de laterale stijfheid van de baan sterk zal afnemen. De grens werd bij benadering bepaald op een verplaatsing van 119 mm, zie tabel 4:

**Tabel 4. Kopmomenten bij een laterale verplaatsing van 119 mm**

Paalrij	Moment kNm/m	Moment kNm (per paal)
1	26,8	112,6
2	27,2	114,2
3	27,1	113,8
4	26,9	112,9

Als afsluiting van deze serie berekeningen is nog bepaald bij welke verplaatsing ook bij de inklemming beneden bij alle palen een vloeimoment is bereikt. Dat blijkt dan pas te zijn bij een verplaatsing van 167 mm, zie Fig. 2.

Waarbij vermeld dient te worden dat ofschoon de palen dan hun maximale capaciteit hebben bereikt de grond nog altijd reserve heeft om de palen zijdelings te steunen dus dat zelfs bij een dergelijk grote vervorming er nog geen aanleiding is te denken dat de baan onder de treinbelasting zijdelings zou kunnen uitbreken.



**Figuur 2** Maximale laterale verplaatsing van de palen bij het bereiken van een mechanisme, i.e. Alle palen vloeien op moment, zowel aan de kop als op het niveau waar de paal beneden zijn ingeklemd.

Overigens wordt nog opgemerkt dat de vervormingen in dezelfde orde van grootte liggen als eerder aangehouden in de analyses van Deltares en de op basis daarvan

## HSL-Zuid Externe toetsing Baanverplaatsing Rijpwetering

door Hollandse Meren getoetste constructieve effecten voor de palen. Deze resultaten worden dan ook door de eigen analyse onderschreven.

### **3.4. Oorzaak van de horizontale verplaatsingen Kunstwerk Zuidweg**

Het kunstwerk Zuidweg bestaat uit twee onderling niet verbonden trogbruggen voor het Westelijke- respectievelijk Oostelijke spoor. Het viaduct zelf is in lengterichting opgebouwd uit een statisch bepaald deel, het meest zuidelijke tussen landhoofd (1) en pijler (2). En een statisch onbepaald deel dat loopt van pijler (2) over pijler (3) naar landhoofd (4). Ter plaatse van de zuidelijke pijler 2 zijn de trogbrugdelen dus constructief gescheiden. Uit de monitoring blijkt dat het zuidelijk landhoofd noordwaarts is verplaatst en daarbij tevens licht is geroteerd. Het zuidelijk landhoofd is constructief gekoppeld aan de aanliggende moot van de ZVP. Ook de zuidelijke trogliggers lijken wat te zijn verplaatst in noordelijke richting.

Ter weerszijden van de ZVP bevindt zich de fundering van het geluidsscherm. Deze staat qua fundering los van de ZVP en van de landhoofden van het kunstwerk Zuidweg. Uit de monitoring kwam naar voren dat de verplaatsing van het zuidelijke landhoofd zo groot was dat deze randelementen tegen het landhoofd aan kwamen. In 2015 is besloten tot het afzagen van de randelementen van de trogbruggen om dit effect te weg te nemen. De randelementen aan de trogbruggen voorkwamen dat de ruimte tussen trogdeel en landhoofd kleiner werd. Tevens zijn tussen zuidelijk landhoofd en naastgelegen trogdeel groutzakken geplaatst om te voorkomen dat het zuidelijke landhoofd tegen de trogbruggen gaat komen. Reden daartoe was en is er de zorg voor een te hoge spanning op de spoorstaafbevestigingsmiddelen, wanneer het landhoofd weer ruimte heeft om naar het noorden te verplaatsen (en de groutzakken niet geplaatst zouden worden).

Bij het werkbezoek van maandag 22 mei 2017 kwam de vraag naar voren, of en in hoeverre het mogelijk zou zijn dat de middenpijler 2 verplaatst of omgeduwd zou kunnen zijn door een laterale kracht vanuit de trogligger.

Om een indruk te krijgen van de aannemelijkheid hiervan is een berekening gemaakt van de maximale kracht die vanuit het dek via het rubberblok zou kunnen inwerken op de pijler en daar door rotatie en doorbuiging zou kunnen leiden tot het verplaatsen van de bovenkant van de pijlers.

Volgens, het ontwerprapport van de rubber-oplegblokken zijn voor de tussenpijler rubberblokken toegepast, zie Tabel 5,

### HSL-Zuid Externe toetsing Baanverplaatsing Rijpwetering

**Tabel 5. Afmetingen van de toegepaste rubber oplegblokken**

Type ligger : statisch onbepaald – 3 overspanningen

Steunpunt	Steunpunt 1=4		Steunpunt 2=3	
	zijde randconstructie	niet zijde randconstructie	zijde randconstructie	niet zijde randconstructie
10.0-23.6-10.0m type blok	300x300x93 6	250x300x80 7	400x500x94 8	350x400x80 9

bij controle oplegblokken Trelleborg :  
randkolom = zijde randconstructie  
middenkolom = niet zijde randconstructie

Aangehouden is voor het tussensteunpunt een gemiddelde blok van 400 x 500 mm bij een hoogte van 94 mm. Ofschoon het rubberblok 94 mm dik is bedraagt de gesommeerde dikte van het rubber tussen de staalplaten slechts een deel van die dikte, volgens opgave ongeveer 36 mm. Bij een maximale scheefstand van het blok van 20 mm , het maximum dat is gemeten, is de afschuifhoek  $\gamma$  groot 0,55 De maximale kracht in het blok is dan:

$$F_h = EA\gamma$$

waarbij  $\gamma$  is de afschuifhoek. Volgens voornoemd rapport is de glijdingsmodulus  $\approx 1300$  kPa, waarmee de maximale horizontale kracht op de pijler (randpijler) kan worden bepaald op:

$$F_h = 1300 \cdot 0,5 \cdot 0,4 \cdot 0,55 = 144 \text{ kN}$$

Door doorbuiging is de maximale uitbuiging onder invloed van die kracht groot:

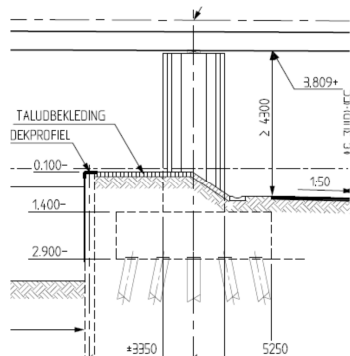
$$\delta = \frac{F \cdot l^3}{3EI}$$

waarbij  $EI$  de buigstijfheid van de randpijler is. De afmeting van de pijler is van tekening geschat op bij benadering 0,6 x 1,2 m bij een effectieve stijfheid van  $20E6$  kPa, bij een uitkragende hoogte van ca. 4 m, wordt dan berekend een doorbuiging van:

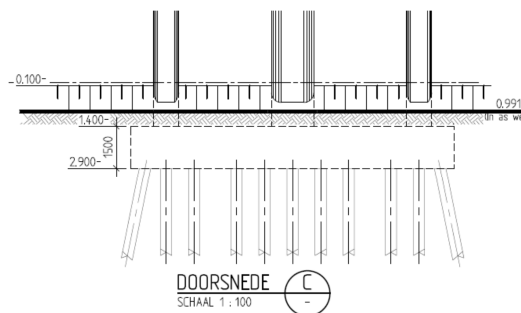
$$\delta = \frac{144 \cdot 4^3}{3 \cdot 20E6 \cdot \frac{1}{12} \cdot 0,6 \cdot 1,2^3} = 0,0018 \text{ m i.e. } < 2 \text{ mm}$$

## HSL-Zuid Externe toetsing Baanverplaatsing Rijwetering

Gezien de hoeveelheid palen onder de fundatie is rotatie onder invloed van deze kracht niet realistisch, tenzij er met het paal draagvermogen iets fundamenteel mis is; Zie Fig. 3 en Fig. 4.



Figuur 3. Zijaanzicht tussenpijler



Figuur 4. Dwarsdoorsnede;  
vooraanzicht fundatie tussenpijler

Een grenswaarde voor het ontwerp van rubberblokken is een maximale rotatie in het blok van 0,7 G, i.e. een maximale afschuifrek van 0,7 (70%).

Gegeven de eerder afleiding zou dit impliceren een maximale horizontale kracht op de randpijler van  $0,7/0,5 \times 55 = 183$  kN, wat zou betekenen een uitbuiging van de pijler van ca 2,3 mm. Ook die verplaatsing valt in het niet bij de verplaatsingen zoals die nu zijn gemeten bij de landhoofden.

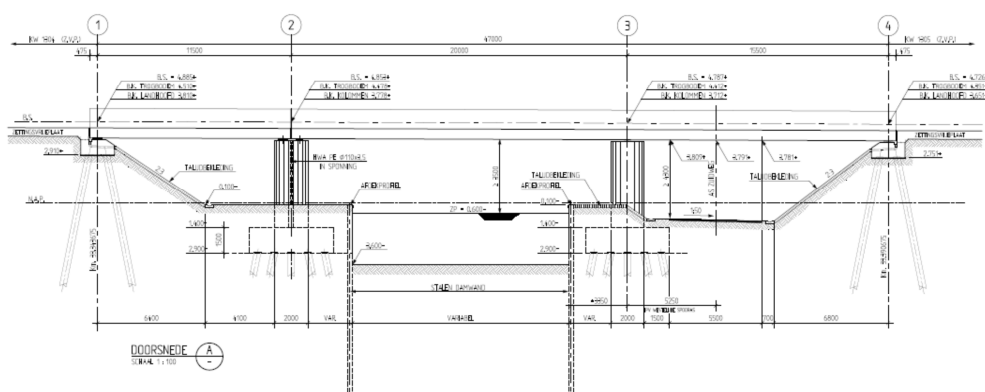
Een nadere evaluatie van de verschillende documenten met meetdata, o.a. notitie RS-UT20130239 d.d. 15 juli 2013 van RailinfraSolutions en de metingen van Dura Vermeer Proj. no 2009398 tekening 9398 d.d. 26 juni 2013, geeft aanwijzingen dat de grootste verplaatsingen zijn opgetreden tijdens en kort na het gereed komen van de bouw van het viaduct, i.e. 45 a 55 mm.

*De som van verschuivingen in de rubberpakketten op landhoofd 1 en pijler 2 bij elkaar bijvoorbeeld voor de oplegblokken aan de NW rand, bij elkaar -18 en + 15 mm, geeft een verschilverplaatsing tussen landhoofd 1 en pijler 2, dat ongeveer overeenkomt met de verplaatsingstoename na 20 Jan 2005. i.e. resp. 33 mm wat vergeleken kan worden met de toename van de verplaatsing van het landhoofd van in de periode 15 mei 2004 en 5 oktober 2011, te weten (76-45 = 31 mm).*

Dit maakt aannemelijk dat het landhoofd na plaatsen van de trogliggers nog in de orde van 31 à 33 mm in noordelijke richting is verplaatst. Dit ondersteunt de conclusie dat het landhoofd onder de brugligger is doorgeschoven.

## HSL-Zuid Externe toetsing Baanverplaatsing Rijkswetering

Het lijkt verder aannemelijk dat de verplaatsing van pijler op as 2 gelijktijdig is opgetreden met de 1<sup>e</sup> verplaatsing van het landhoofd, dus voordat de troglijgger werd geplaatst. Dit wordt ondersteund door de gemeten verschilverplaatsing gezien aan de rubberoplegblokken en de overeenstemming daarvan met de toename van de verplaatsing van het landhoofd.



**Figuur 5. Paalfundering onder de landhoofden in vergelijking tot de fundering van de tussenpijlers.**

Een aanvullende verklaring voor het verplaatsen van pijler 2 is de asymmetrie in de horizontale belasting. Naast de pijler loopt ook nog een vaart waardoor aan de noordzijde van pijler 2 over het bovenste deel een horizontale steun ontbreekt. Gezien de metingen van 2013 t.o.v. 2011 is er weinig reden aan te nemen dat de pijlers van het viaduct nog aan structurele verplaatsingen onderhevig zijn. De metingen (Q1-2015 Q4-2016) van Arcadis tonen aan dat de verplaatsing zuidelijk landhoofd overeen komen met die van de ZVP.

Voor wat betreft de waargenomen verplaatsingen van de randbalken kan opgemerkt worden dat de fundering van de randbalken zich in afwijking van de fundering van het landhoofd beperkt tot loodpalen waardoor de randbalken in de lengterichting van de baan vrijwel geen weerstand in de fundering ondervinden voor horizontale belasting uit de grondverplaatsing. Gezien de overgang in het maaiveld niveau onder het talud is het aannemelijk dat de randbalken de neiging tonen in Noordelijke richting te verplaatsen.

Hoewel dit een ongewenst verschijnsel is voor het geluidsscherm, staat dit los van de integriteit van de spoorbaan of het spoorviaduct.

### 3.4.1. Laterale verplaatsingen van de baan t.p.v. het kunstwerk

## HSL-Zuid Externe toetsing Baanverplaatsing Rijpwetering

Het gehele kunstwerk lijkt mee te gaan in de vervormingslijn over de gehele baan. De horizontale elastische ligger, die ontstaat door de stijfheid van in het bijzonder de spoorstaven dwingt het kunstwerk mee te bewegen met de vervorming van de baandelen. Dit maakt het weinig zinvol om bij mitigerende maatregelen alleen naar het kunstwerk te kijken. Het omgekeerde is overigens wel waar. Als op enig moment besloten wordt om de spoorstaven nabij het kunstwerk door te slijpen vanwege een vervanging dan wordt sterk aanbevolen om daaraan voorafgaand de spoorstaafbevestiging op het kunstwerk geheel los te draaien, zodat de spoorstaafverplaatsing als gevolg van het spanningsloos worden van de spoorstaven niet wordt opgelegd aan het kunstwerk.

Bij de beschouwing van de rapportage monitoring HSL locatie Rijpwetering van 2 maart 2017 en de plot van de GNSS monitoring d.d. 1 maart 2017 wordt een discrepantie gezien in de laterale verplaatsing van het kunstwerk. Enerzijds wordt in het rapport melding van een laterale verplaatsing van het viaduct in westelijke richting terwijl de plot verplaatsingen in de richting van de A4 aangeven. Aanbevolen wordt om de monitoring voort te zetten zodat meer helderheid wordt verkregen over de grootte en de richting van de verplaatsingen.

## Hoofdstuk 4. Mogelijke maatregelen.

### 4.1. Baandelen ten zuiden van kunstwerk Zuidweg

#### 4.1.1. Baandelen met verankerde damwanden

De baandelen met verankerde damwanden vertonen momenteel de grootste horizontale verplaatsingen. De huidige horizontale verplaatsingen naderen de 60% van de eerder door Deltares geformuleerde grens van 100 mm. Uit de aan dit rapport ten grondslag liggende berekeningen bleek dat deze grens mag liggen op 110 mm bij een absolute grenswaarde van ca. 160 mm. De toename van de verplaatsingen lijkt nu enigermate te stabiliseren voor deze baandelen. Het nu nemen van maatregelen anders dan voortgaand monitoren wordt nu niet noodzakelijk geacht. Wel wordt aanbevolen om de huidige ankerkracht vast te stellen door het met een vijzel lossen van het anker. Gedacht wordt aan elke derde anker zodat een goed representatief beeld kan worden ontleend. Op basis hiervan kan worden bepaald hoeveel beschikbare ruimte er nog aanwezig is voor eventueel naspannen.

Tijdens de 52-urige TVP in 2018 wordt aanbevolen te rijden met verschillende rijnsnelheden met een trein voorzien van een responsmeting. Uit de respons per betonmoot van de ZVP kan indirect worden afgeleid of er ergens een kans is op de aanwezigheid van gescheurde palen.

#### 4.1.2. Baandelen zonder verankerde damwanden

De baandelen zonder verankerde damwanden bewegen evenzeer westwaarts. Als deze beweging niet stabiliseert wordt aanbevolen om die baanvakken, die op basis van de metingen binnen enkele jaren een verplaatsing van 100 mm zou bereiken, tijdig te voorzien van een verankerde damwand gelijk aan die, welke al bij andere secties zijn aangebracht.

Gezien het gegeven dat er over het beschouwde traject nog geen correcties in de spoorconstructie zijn doorgevoerd en de totale stelbaarheid nog beschikbaar is, zijn op korte termijn nog geen aanvullende beheersmaatregelen als het aanbrengen van extra verankerde damwanden nodig.



## HSL-Zuid Externe toetsing Baanverplaatsing Rijpwetering

### 4.1.3. Drainagesysteem

Aanbevolen wordt om het drainagesysteem tussen de A4 en de HSL-baan op werking te controleren en indien mogelijk qua afvoer capaciteit te vergroten. Tevens wordt aanbevolen om afstromend regenwater van A4 en HSL-baan via gootconstructies direct af te leiden voordat inzijging op kan treden.

Tevens wordt aanbevolen om de drainage van het baanlichaam zelf te verbeteren en de doorlatendheid van de damwanden te vergroten.

### 4.1.4. Monitoring

Aanbevolen wordt om het huidige monitoringsprogramma voort te zetten en nog uit te breiden met meer peilbuizen in het baanlichaam en tussen A4 en baanlichaam HSL.

## 4.2. Baandelen ten noorden van kunstwerk Zuidweg

Voor deze baandelen wordt alleen het voortzetten van de monitoring aanbevolen.

## 4.3. Kunstwerk Zuidweg

Vooralsnog worden geen ingrijpende maatregelen nodig geacht. Het zuidelijke landhoofd is nu door middel van groutzakken horizontaal gefixeerd ten opzichte van het zuidelijke dek van het kunstwerk. Dit leidt er toe dat de optredende belastingen vanuit het baanlichaam, die de verplaatsing van het zuidelijke landhoofd veroorzaken, nu werken op het samenstel van gekoppelde sectie ZVP, landhoofd en zuidelijke dek kunstwerk. Hoewel dit systeem iets stijver zal reageren dan tot heden, zal de vervorming niet volledig worden verhinderd, overigens zonder de functionaliteit van het spoor kenmerkend te hinderen.

Het verder fixeren van het landhoofd kan door middel van groutankers die door het landhoofd heen worden aangebracht tussen de palen van de zuidelijker gelegen ZVP. Alternatief is het aanbrengen van een palenjuk aan de teen van het talud onder het landhoofd, vanwaar betonpendels worden opgespannen en het landhoofd fixeren. Voor beide varianten geldt dat er sprake is van een extra kracht in de bestaande palen van het landhoofd, welke daartoe op sterkte dienen te worden gecontroleerd. Ingeschat wordt dat dergelijke maatregelen het systeem verstijven maar toekomstige verplaatsing van het landhoofd nooit geheel zullen kunnen voorkomen. Gezien het beperkte effect op de functionaliteit van het spoor wordt een dergelijke ingrijpende maatregel nu niet aanbevolen.

## HSL-Zuid Externe toetsing Baanverplaatsing Rijpwetering

Wel kan de taludbekleding die door de vervorming van het landhoofd deels los lgt, worden hersteld zodat uitspoeling wordt voorkomen.

Vanwege de beperkte mogelijkheden tot verbetering van de situatie en het beperkte gevolg voor het gebruik van het spoor lijkt het verstandig om nu alleen de lopende monitoring voor te zetten.

Gezien dat de laatste meting van de oplegblokken al dateert uit 2013 wordt een herhaling van deze opname sterk aanbevolen.

Tijdens de 52-urige TVP wordt aanbevolen ook de respons van het kunstwerk te meten bij een treinpassage met versnellingsopnemers bevestigd aan de zijkant van het dek. Op basis hiervan kan op indirecte wijze worden afgeleid of alle trogdelen goed dragen op de rubber opleggingen. In het geval dat er sprake is van ongelijkmatig dragen wordt aanbevolen de betreffende rubberpakketten vrij te vijzelen en te voorzien van een stalen oplegplaat om een grotere oplegdruk te verkrijgen.

## HSL-Zuid Externe toetsing Baanverplaatsing Rijpwetering

### 4.4. Voorgestelde acties

- i. Voorzetten monitoring verplaatsingen voor alle baansecties en kunstwerk
- ii. Vaststellen van werkelijke kracht in voorspanankers door het trekken van 1 op 3 ankers tot moer lost.
- iii. Controleren werking en waar mogelijk uitbreiden drainage baanlichaam en drainage tussen A4 en HSL.
- iv. Bijplaatsen peilbuizen (zodanig dat er minimaal 3 peilbuizen per sectie aanwezig zijn)
- v. Onderzoeken respons ZVP en kunstwerk door middel van versnellingsopnemers tijdens 52-urige TVP
- vi. Onderzoeken respons per oplegblok van het kunstwerk en indien nodig uitvullen minder dragende oplegging.
- vii. Verkrijgen van informatie over bezwijkgedrag oplegblokken, dan wel deze in laboratorium vervormingsgestuurd beproeven tot bezwijken.
- viii. Het herstellen van de talusbekleding onder het zuidelijk landhoofd van het kunstwerk.

HSL-Zuid  
Externe toetsing Baanverplaatsing Rijpwetering

## Bijlage 1. Documentenlijst

1. Deltares: Horizontale verplaatsing zettingsvrije plaat te Rijpwetering , oplossingsvarianten en prognose restverplaatsingen. Kenmerk 417080-0133-rap versie 02 definitief dd. november 2006
2. Deltares:Aanvullende maatregelen Rijpwetering. Kenmerk 417083-005 versie 03. okt 2008
3. Deltares: Analyse buigende momenten in de palen onder de zettingsvrijeplaat en landhoofden KW1408, analyse door extra zandophoging. Kenmerk 1204379-000-Geo-0012 dd. 2012.
4. Deltares: onderzoek palen onder betonnen plaat. Kenmerk 1204379-008-Geo-0001 dd2013
5. Tek HSL 11-408-C-T-46-001
6. Tek HSL-11-408-C-T-46-011
7. Tek HSL-11-305-C-T-33-051
8. Tek HSL-11-304-C-T-33-052
9. Tek HSL-11-408-C-T-46-021
10. Tek HSL-11-408-C-&-46-161
11. HSL-Hollandse Meren Oplegblokken trogliggers, HSL1-1-1400-C-B-40040,okt. 2003
12. Arcadis, dertiende herhalingsmeting locatie Rijpwetering, 3 maart 2017
13. Fugro, monitoring Rijpwetering, 28 april 2016
14. Samenvatting bevindingen zettingen aardebaan Rijpwetering, 13/14 november 2011
15. Deltares, Onderzoek palen onder betonnen plaat Rijpwetering, 26 maart 2013
16. Infraspeed, 0-inspectie civiele kunstwerken 2015, K-BR-N130-E
17. Deltares, Monitoring en analyse vervormingen Rijpwetering, 5 februari 2013
18. Infraspeed, Instabiliteit onderbouw Rijpwetering, 29 april 2016
19. Infraspeed, Inspectierapport funderingspalen onder ZVP Rijpwetering, 11-1-2016
20. Overzicht meetactiviteiten HSL-Zuid, mei 2015
21. Verslag uitvullen zettingsvrije platen Rijpwetering, RIS, 22 augustus 2014
22. Vervormingen Bijlage 03<sup>E</sup>-HE01, 2-5-2006
23. Vervormingen Bijlage 03<sup>E</sup>-HE01, 15-12-2015
24. Arcadis, Elfde herhalingsmeting, 3 mei 2016
25. RailInfra Solutions: Rapport deformatie ZVP KW 1304 km 132.900-133.300 Geotechnische herberekening. Kenmerk RS-UT-20170036. dd feb. 2017.

# Ex Aequo

**Pruijssers Management BV**

Middeldijk 32  
2992 SJ Barendrecht

HSL-Zuid

Externe toetsing Baanverplaatsing Rijpwetering

26. Hollandse Meren, KW 1304 km 32.800-33.300-KW 1408; Paalfundering,  
afdracht belastingen, doc. 10120058-60-00-CA-0001,15-2-2013

## BIJLAGE 2. Uitzwaaien van de HSL baan; de baan als stijfelement in een verende bedding

De baan van de HSL; gekoppeld door de stijve ligger van de spoorrails kan worden gemodelleerd als een elastisch ondersteunde ligger met de stijfheid van 2 x een enkele liggende plaat

De stijfheid wordt berekend als

$$EI = 45E6 \cdot 2 \cdot \frac{1}{12} 0,5 \cdot 3^3 = 101E6$$

De stijfheid van de onderbaan; i.e. de verende bedding is teruggerekend uit de Plaxis som waarbij een berekening is gemaakt van de maximale weerstand van de baan bij een zijdelings opgelegde belasting.

De maximale weerstand van de palen geeft een dwarskracht van 4 x 40 kN/m bij een zijdelingse verplaatsing van 0,17 m

Dan wordt berekend een beddingsconstante groot

$$k = \frac{160}{0,177} = 900 \text{ kn / m / m}$$

Volgens de theorie van de ligger op verende bedding, volgens Bouma, wordt dan een differentiaal constante berekend van

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{k}{4EI}} = \sqrt[4]{\frac{900}{4 \cdot 100E6}} = 0,039$$

Daaruit volgt bij benadering een halve golflengte van

$$\lambda = \frac{\pi}{4\beta} = \frac{\pi}{4 \cdot 0,039} \approx 20\text{m}$$

Om te komen tot een grote golflengte is gerekend met een maximale stijfheid van de baan en een minimale stijfheid van de ondergrond.

Daarmee lijkt de hypothese dat de baan wordt meegesleept door de verende kracht in de baan als ligger ontcracht; dan zou de ondergrond toch een substantieel lagere bedding

# Ex Aequo

Pruijssers Management BV

Middeldijk 32  
2992 SJ Barendrecht

HSL-Zuid

Externe toetsing Baanverplaatsing Rijpwetering

moeten geven dan wat wij nu bereken; de halve golflengte die wij waarnemen is meer in de orde van 200 m.

Hypothese 2; stel dat de baan als geheel gaat werken, i.e. de twee ZVP samen; en er geen sprake is van 2 apart buigende liggers, dan wordt de stijfheid berekend als

$$EI = 45E6 \cdot \left( \frac{1}{12} 0,5 \cdot 8^3 - \frac{1}{12} 0,5 \cdot 2^3 \right) = 945E6$$

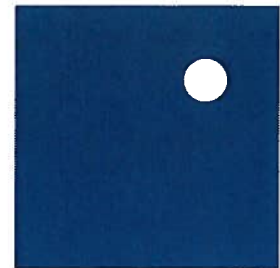
Bij een zelfde beddingsconstante wordt de differentiaal constante groot

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{k}{4EI}} = \sqrt[4]{\frac{900}{4 \cdot 900E6}} = 0,022$$

Met een halve golflengte van

$$\lambda = \frac{\pi}{4\beta} = \frac{\pi}{4 \cdot 0,022} \approx 35\text{m}$$

Ook in dat geval is de golflengte te kort om het waargenomen gedrag toe te schrijven aan liggerwerking.



## CRUX

CRUX Engineering BV  
 Pedro de Medinalaan 3c  
 NL-1086 XK Amsterdam  
 Tel: +31 (0)20 - 494 30 70  
 Fax: +31 (0)20 - 494 30 71  
 info@cruxbv.nl  
 www.cruxbv.nl

OPDRACHTGEVER      ProRail B.V.  
 Dhr. T. Padmoes  
 Postbus 2038  
 3500 GH Utrecht

PROJECTNUMMER      16390

DOCUMENTNUMMER    RAI6390a

VERSIE                7

OPGESTELD            ing. D.G. Goeman

GECONTROLEERD     dr. ir. ing. A.E.C. van der Stoel

VRIJGAVE              dr. ir. ing. A.E.C. van der Stoel

DATUM                 12-09-2017

### Rapport [RAI6390a7]

### Zettingsvrije plaat HSL Zuid

### Injectieproef: geschiktheid typen injectie en proefopzet

#### VERSIEGESCHIEDENIS

REV.	DATUM	OPMERKING
1	07-10-2016	1 <sup>e</sup> concept nadrukkelijk als groeidocument
2	12-10-2016	2 <sup>e</sup> concept, aangevuld en opmerkingen ProRail 1 <sup>e</sup> cpt verwerkt
3	2-11-2016	Keuze materiaal verwerkt – berekeningen en monitoring toegevoegd
4	7-11-2016	Aanpassingen afstemming werkplan VSF / CRUX
5	7-11-2016	Tekstuele aanpassing + toevoeging overzicht sonderlocaties
6	14-11-2016	Aanpassing in monitoring obv overleg HSL EP-track
7	11-09-2017	Resultaat drukproeven

© 2017 CRUX Engineering BV

Niets uit dit drukwerk mag worden veelevoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand en/of openbaar gemaakt, in enige vorm op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, microfilm zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van CRUX Engineering BV, noch mag het zonder een dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd.

Documentlocatie:

\\dserver02\Projecten\16xxx\16390 ProRail Injectie zettingsvrije plaat HSL-Zuid\01 RAP\RAI6390a7 HSL zuid injectieproef.docm  
 Formulier RA-01-v16.0803



# Inhoudsopgave

<b>I</b>	<b>INLEIDING .....</b>	<b>3</b>
1.1	Algemeen .....	3
1.2	Leeswijzer .....	3
<b>2</b>	<b>UITGANGSPUNTEN .....</b>	<b>4</b>
2.1	Documenten .....	4
<b>3</b>	<b>MOGELIJKE OPLOSSINGEN.....</b>	<b>5</b>
3.1	Inleiding.....	5
3.2	Verlengen van palen door bodeminjectie.....	5
3.2.1	Waterglasinjectie.....	5
3.2.2	Microcement.....	6
3.3	Verlengen van de palen middels jet grouting.....	7
3.4	Opspannen van de grond bij de paalpunt middels compaction grouting.....	7
3.5	Keuze uit te werken methode voor vergroten paal draagvermogen .....	8
<b>4</b>	<b>UITGANGSPUNTEN/RANDVOORWAARDEN EN PROEFOPSTELLING.....</b>	<b>10</b>
4.1	Inleiding.....	10
4.2	Uitgangspunten en randvoorwaarden proef.....	10
4.3	Korrelverdeling en keuze injectiemateriaal .....	10
4.4	Proefopstelling .....	11
4.5	Verwachte wijziging paalgedrag .....	12
<b>5</b>	<b>MONITORING PROEFLOCATIE.....</b>	<b>14</b>
5.1	Inleiding.....	14
5.2	Te meten onderdelen .....	14
5.2.1	Meting horizontale en verticale vervorming.....	14
5.2.2	Registratie injectieproces .....	14
5.3	Meetfrequentie .....	15
5.3.1	Meetfrequentie horizontale en verticale vervormingen.....	15
5.3.2	Kernboring verticale lans.....	15
5.4	Toleranties.....	15
5.4.1	Horizontale en verticale vervormingen.....	15
5.5	Interpretatie .....	16
5.5.1	Horizontale en verticale vervormingen.....	16
5.5.2	Gegevens injectieproces.....	16
<b>6</b>	<b>RESULTAAT DRUKPROEVEN .....</b>	<b>17</b>
6.1	Inleiding.....	17
6.2	Eigenschappen microcement en waterglasinjectie .....	17
6.3	Proefresultaten .....	17
6.4	Conclusie en vergelijk met verwachting.....	19
<b>7</b>	<b>LITERATUUR .....</b>	<b>20</b>

Documentnummer: RA16390a7  
Project: Zettingsvrije plaat HSL Zuid  
Injectieproef: geschiktheid typen injectie en  
proefopzet

Projectnummer: 16390  
Afdrukdatum: 12-9-2017

Pagina: 1



## Lijst van Figuren

Figuur 1 Verband injectiemiddel eigenschappen en ongesteunde druksterkte .....	6
Figuur 2 Mogelijke verdichting / verplaatsing van grond ten gevolge van compaction grouting bij een funderingspaal.....	8
Figuur 3 Korrelverdeling met ondergrens toepassingsgebied .....	11
Figuur 4 Doorsnede injectieproef.....	11
Figuur 5 Bovenaanzicht proefopstelling .....	12
Figuur 6 Gewijzigde afmeting paalpunt.....	12
Figuur 7 Meetpunten deformatie.....	14
Figuur 8 Voorbeeld 'geschikt' monster (links) en 'niet geschikt' monster (rechts) .....	18

## Lijst van Tabellen

Tabel 1 Afwegingstabel .....	9
Tabel 2 Vergelijking draagvermogen met en zonder injectie.....	13
Tabel 3 Vergelijking toename veerstijfheid .....	13
Tabel 4 Samenvatting proefresultaten.....	18
Tabel 5 Bepaling karakteristieke waarde .....	19

## Lijst van Bijlagen

Bijlage 1 Sondering 1 t/m 4, boring en korrelverdelingen
Bijlage 2 Voorbeelden registratie (aangeleverd door VSF)

Documentnummer: RA16390a7  
Project: Zettingsvrije plaat HSL Zuid  
Injectieproef: geschiktheid typen injectie en proefopzet

Projectnummer: 16390  
Afdrukdatum: 12-9-2017  
Pagina: 2



# I Inleiding

## 1.1 Algemeen

Door CRUX Engineering BV zijn in opdracht van ProRail B.V. geotechnische advieswerkzaamheden uitgevoerd ten behoeve van het bepalen van een geschikte oplossing voor respectievelijk het uitvoeren van een injectieproef ten bate van de zettingsvrije plaat bij de HSL Zuid. Dit document is, omwille van het korte tijdsbestek, voornamelijk een groeidocument.

De problematiek bestaat meer specifiek uit onvoldoende draagvermogen cq. ongewenst zettingsgedrag van enkele secties met onderheide platen van het HSL spoor. In een tweetal op handen zijnde buitendienststellingen van 52 uur in week 46 en week 47 wordt een proef uitgevoerd om te bezien of het mogelijk is met behulp van grondverbeteringstechnieken als bodeminjectie, jet grouting of compensation grouting het draagvermogen cq. zettingsgedrag te verbeteren.

In dit rapport worden de volgende punten behandeld:

- bepaling mogelijke oplossingen voor verbetering paal draagvermogen cq. zettingsgedrag;
- selectie meest kansrijke methode;
- bepaling uitgangspunten en randvoorwaarden proef;
- voorstel voor een proefopstelling voor een concrete locatie;
- voorstel voor metingen/monitoring op de proeflocatie.

De locatie waar de problematiek optreedt is gelegen tussen km 218.240 en km 221.700 van de HSL Zuid en met name op de locatie Schuilingervliet tussen km 218.3 en 218.6. Uit aanvullende stukken betreft de moot waar de grootste problemen optreden moot 14-04 te zijn (km 218.333- km. 218.363). Deze kilometrering wordt op tekening ook zonder de 200 aangegeven: km 18.333 – km 18.363.

## 1.2 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 worden de uitgangspunten behandeld.

Hoofdstuk 3 gaat in op de mogelijke oplossing en wordt een meest kansrijke oplossing geselecteerd.

Hoofdstuk 4 gaat in op de uitgangspunten en randvoorwaarden van de proef en wordt een voorstel van de proefopstelling gegeven.

In hoofdstuk 5 wordt een voorstel voor de metingen/monitoring op de proeflocatie beschreven. In hoofdstuk 6 is het resultaat van de drukproeven opgenomen.

Documentnummer: RA16390a7  
Project: Zettingsvrije plaat HSL Zuid  
Injectieproef: geschiktheid typen injectie en proefopzet

Projectnummer: 16390  
Afdrukdatum: 12-9-2017  
Pagina: 3



## 2 Uitgangspunten

### 2.1 Documenten

De volgende documenten zijn gehanteerd bij het opstellen van dit rapport:

- [1] HSL Bouwcombinatie Drechtse Steden; tekening *HSL-Zuid Geotechnisch lengteprofiel Blad 7, kilometrerig 17,800-18,600*; nummer 00001-G-T-11007 revisie 0; 10-02-2004.
- [2] Fugro; rapport *Geotechnisch veldwerk betreffende HSL-Zuid – monitoring locatie Schuilingervliet*; nummer 8016-0017-000, versie 1; 28-04-2016.
- [3] Holland Railconsult; tekening *HSL-Zuid Geotechnisch lengteprofiel km 18.000-19.000 fase 3*; nummer Z-2K4-400-203 uitgave B; 26-01-2000.
- [4] ProRail; tekening *Terreinbezoek*.
- [5] ProRail; tekening *Overzicht locatie Schuilingervliet*; 24-05-2016.
- [6] HSL Bouwcombinatie Drechtse Steden; rapport *ZVP tunnel Oude Maas-Maasdamseweg, Baandeel 14, Palenstaat*; HSL4-10332-C-H-54217, revisie 0; 10-05-2004.
- [7] HSL Bouwcombinatie Drechtse Steden; tekening *ZVP tunnel Oud Maas-Maasdamseweg, mootindeling baandeel 14, km 18,200 – 18,600*; HSL4-10332-C-T-54117 revisie 0; 10-05-2004.
- [8] HSL Bouwcombinatie Drechtse Steden; tekening *ZVP tunnel Oud Maas-Maasdamseweg, palenplan baandeel 14, km 18,200 – 18,600*; HSL4-10332-C-T-54217 revisie 0; 10-05-2004.
- [9] HSL Bouwcombinatie Drechtse Steden; tekening *ZVP Maasdamseweg-Mookhoek, grondwerk en verhardingen met bouwwegen, doorsneden*; HSL4-13208-W-T-71055 revisie 0; 17-10-2005.
- [10] Iv-Infra, rapport *Versnellingsmetingen onderbouw HSL-Zuid revisie 2.0*, 27-10-2015, inclusief analyse rapport door Alfons Schrama, 24-11-2015.
- [11] GWTR, boring B01, W16-041, 27-10-2016.
- [12] MOS, korrelverdelingen Schuilingervliet (3 stuks), 1603387.
- [13] VSF; werkplan microcement injectie Schuilingervliet HSL zuid Moot 14-03 – 14-04, W16-041-80-001; 28-10-2016.
- [14] VSF; e-mail bevestiging telefonisch contact afstemming CRUX/VSF; 3-11-2016.
- [15] MOS; rapport drukproeven Microcement injectie te Schuilingervliet; RG1702483-01; 18-07-2017.

*CRUX staat niet in voor de juistheid en/of volledigheid van de door derden verstrekte informatie en gegevens.*

Documentnummer: RA16390a7  
Project: Zettingsvrije plaat HSL Zuid  
Injectieproef: geschiktheid typen injectie en  
proefopzet

Projectnummer: 16390  
Afdrukdatum: 12-9-2017  
Pagina: 4



## 3 Mogelijke oplossingen

### 3.1 Inleiding

Om het paal draagvermogen van te korte palen of palen met een onvoldoende draagvermogen te verbeteren bestaan verschillende methoden. De meest 'gangbare' van deze methoden hebben betrekking op het injecteren van de grond. Hier wordt een onderscheid gemaakt tussen:

1. het verlengen van de palen;
  - a. middels bodeminjectie;
  - b. middels jet grouting;
2. het opspannen van de grond bij de paalpunt;
  - a. middels grondverdringend grouten (compaction grouting);

Voor een omschrijving van de verschillende methoden wordt verwezen naar het in maart 2003 in de L+W verschenen artikel [ref. 7].

### 3.2 Verlengen van palen door bodeminjectie

Het principe van het vergroten van het paal draagvermogen middels het toepassen van bodeminjectie berust op het verhogen van de (schijnbare) cohesie van het zand en het vergroten van de stijfheid hiervan. Dit wordt bereikt door het vullen van de poriën in de grond met een stabiliserende waterglas of microcement respectievelijk het verdringen / verdichten van het korrel skelet wanneer de injectievloeistof niet verder kan indringen.

In door Van der Stoel uitgevoerd promotieonderzoek aan de TU Delft [ref. 5] is middels de Praktijk Injectie Proef in Amsterdam aangetoond dat het draagvermogen van houten palen waarbij een bodeminjectie werd toegepast, is toegenomen tot circa 130%. Daarbij dient te worden opgemerkt dat de bodeminjectie bij een aantal van de palen in dit onderzoek werd toegepast op enige afstand van de paalpunten\*. Bij een van de palen werd bodeminjectie nagenoeg naast de paalpunt uitgevoerd. In dat geval werd het paal draagvermogen zo hoog, dat de maximale capaciteit van de proefbelasting installatie werd bereikt.

Aangezien de injectie in de poriën van het korrel skelet wordt aangebracht, behoudt de paal tijdens de uithardingsperiode minimaal de huidige draagkracht.

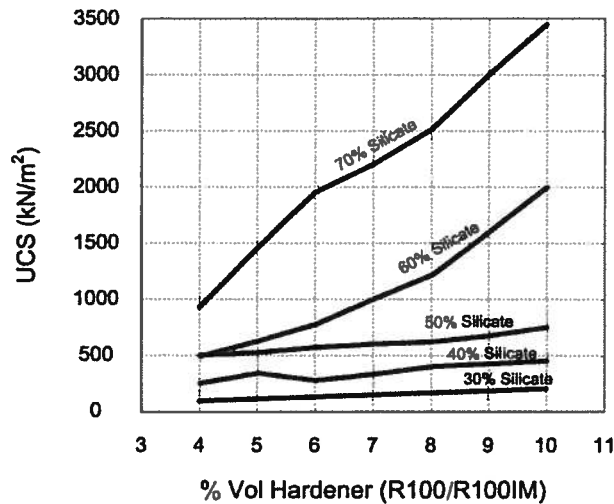
#### 3.2.1 Waterglasinjectie

Bij het uitgaan van een grond stabiliserende injectie met waterglas en harder, dient injecteren plaats te vinden met een mengsel met een waterglaspercentage van ten minste 50% en een harderpercentage van minimaal 8%. In Figuur 1 is het verband gegeven tussen de eigenschappen van het injectiemiddel en ongesteunde druksterkte voor een standaard zand (Leighton Buzzard sand, grade 14/25). Bij een mengsel met een waterglaspercentage van ten minste 50% en een harderpercentage van 8% wordt een ongesteunde druksterkte (UCS) van 660 kPa gevonden (druksterkte na 7 dagen). De stijfheid van het injectielichaam is 250MPa bij een referentiespanning van 100kPa.

---

\* Dit in verband met de doelstelling van de proefnemingen, waarbij in eerste instantie diende te worden vastgesteld dat bodeminjectie geen negatieve invloed op het paal draagvermogen zou hebben.

### Unconfined compressive strength as a function of hardener content



**Figuur 1 Verband injectiemiddel eigenschappen en ongesteunde druksterkte**

Voor de bepaling van de levensduur van constructieve waterglasinjecties is geen regelgeving beschikbaar. Derhalve kan de levensduur discussie oproepen. Uit diverse projecten sinds 1976 lijkt minimaal een constructieve levensduur van 13-40 jaar haalbaar te zijn, zonder afname van druksterkte. Hierbij zijn wel de volgende eisen van belang:

- geen basische grond/grondwater (pH<8);
- hoge alkalische neutralisatie van het injectiemateriaal (80%); gesteld kan worden dat dit bereikt;
- wordt bij 50% injectiemateriaal en 8% harder;
- hoge kwaliteitseisen bij productie en uitvoering van de injectie

#### 3.2.2 Microcement

Microcement is een cementsoort waarbij door de cementkorrels opnieuw te malen de  $d_{95}$  aanzienlijk kan worden gereduceerd. De vloeistof is colloïdaal van karakter en gedraagt zich als een Newtonse vloeistof. Het toevoegen van bentoniet heeft hetzelfde resultaat en geeft de injectievloeistof bovendien een meer thixotroop karakter. Het gebruik van hulpstoffen bij microcementen is daarom onontbeerlijk. Door hun fijne samenstelling zou een hoge wcf (water cement factor) vereist zijn om de verwerkbaarheid te bevorderen, echter dit gaat ten koste van de sterkte. Mede daarom zal, wanneer wederom een geringe krimp en een stabiele samenstelling dienen te worden gegarandeerd, een superplastificeerder moeten worden toegevoegd. De sterkte van zowel zuivere microcement monsters als met microcement behandelde zandmonsters ligt tussen de 1 MPa en 10 MPa. Uit onderzoek van Shibata (1996) is echter gebleken dat de sterkte enigszins afneemt met de tijd. Bij een hoge wcf (circa 8) resteert na 2 jaar circa 20% van de sterkte na 4 maanden. Bij een lagere wcf (4) is dit effect veel kleiner, namelijk een reststerkte van circa 80%.

In de praktijk blijken zich nog wel eens problemen voor te doen met de verwerkbaarheid van microcement (Gouvenot, 1996). De fijne deeltjes van het microcement hebben de neiging te verdichten door de gevoeligheid voor luchtvochtigheid en elektrostatische velden.

Microcement-deeltjes blijken onderhevig aan vlokvorming wanneer ze in water worden opgelost, wat het doordringend vermogen in de alluviale grondsoorten aanzienlijk reduceert. Het toevoegen van dispergeermiddelen, die de potentiaal van de deeltjes zo negatief mogelijk maken, heeft tot gevolg dat de verhardingstijd aanzienlijk wordt verlengd. Tevens geldt dat hoe dunner mengsel, des te instabieler het mengsel. De stijfheid van het microcement zal voornamelijk worden bepaald door de wcf en het toe te passen cement soort.

Voor dit project wordt een microcement met een maximale wcf van 4 aanbevolen. Volker Staal en Funderingen heeft aangegeven van plan te zijn met een wcf van circa 2,5 te injecteren (in het werk nog aan te passen). Dit is in overeenstemming met een maximale wcf van 4.

De levensduur van microcement kan worden aangehouden op 100 jaar.

### 3.3 Verlengen van de palen middels jet grouting

Bij jet grouten wordt door middel een kolom van grout gemaakt ter plaatse van de palen. Hierbij wordt grond weggespoten en vervangen door grout. Aangezien het grout binnen een treinrije periode van 52 uur (in deze tijd dienen ook het groutlichaam te worden aangebracht) onvoldoende uitgehard is, is deze optie niet toepasbaar in dit project. Hierbij wordt opgemerkt dat gezien het feit dat de te korte palen zich over het algemeen in een zandpakket bevinden, jet grouting ten opzichte van bodeminjectie een meer bewerkelijke en kostbaarder oplossing is.

Aangezien bij deze techniek grond vervangen wordt door grout kan de levensduur van cementgrout aangehouden worden. Deze levensduur kan gesteld worden op minimaal 100 jaar.

### 3.4 Opspannen van de grond bij de paalpunt middels compaction grouting

In Figuur 2 zijn de mogelijke verdichting en de mogelijke verplaatsing van grond ten gevolge van compaction grouting bij een funderingspaal schematisch weergegeven. Door de horizontale verplaatsing van de grond ontstaat een effect van opspanning, hetgeen zal resulteren in een verhoging van het draagvermogen. De verticale verplaatsing van de grond is in principe ongewenst en dient zoveel mogelijk te worden beperkt.

In door Van der Stoel uitgevoerd promotieonderzoek aan de TU Delft [ref. 5] is aangetoond dat het draagvermogen van houten palen waarbij een stijve grout werd geïnjecteerd, is toegenomen tot 130%-135%. Een bijkomend effect, dat te maken had met het proefprocédé, is dat de palen door de grouting enigszins omhoog werden geduwd en na het injecteren weer terugzakten (soms zelf iets dieper dan hun oorspronkelijk niveau).

Een op bovenstaand proces gelijkend procedé is toegepast bij een aantal praktijk projecten.

Door Essler et al. [ref. 2] wordt geconcludeerd dat compaction grouting bij paalfunderingen met de nodige voorzichtigheid dient te worden uitgevoerd, vooral wanneer dit gebeurt in zachte kleisoorten. Door dissipatie van wateroverdruk die ontstaat door injecteren kunnen namelijk zettingen ontstaan. Faught [ref. 3] geeft aan dat compaction grouting in zand/silt en gravel, bij de onderkant van een damwand, heeft geleid tot een verdichting van en derhalve een verhoging van de weerstand van die lagen. Hierbij dient opgemerkt te worden dat dit slechts gebaseerd is op de hoeveelheden grout die werden geïnjecteerd en niet op metingen.

In een aantal (niet gepubliceerde) gevallen is bij de productie van boorpalen geïnjecteerd bij de schacht om een tegenvallend schachtdraagvermogen te verhogen. Door Abma [ref. 1] wordt een dergelijk geval beschreven, met dien verstande dat in de daar gebruikte boorpalen reeds voor het

---

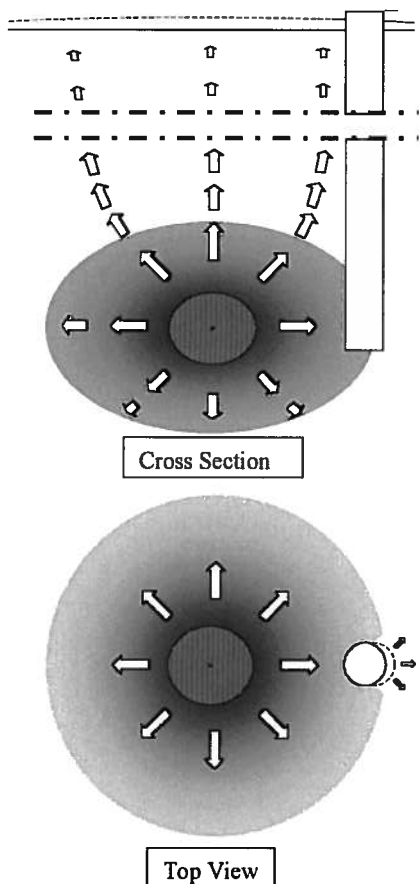
Documentnummer: RA16390a7  
Project: Zettingsvrije plaat HSL Zuid  
Injectieproef: geschiktheid typen injectie en proefopzet

Projectnummer: 16390  
Afdrukdatum: 12-9-2017  
Pagina: 7



aanbrengen van de paal injectieleidingen zijn opgenomen om het punt- en schachtdraagvermogen te verbeteren.

Aangezien bij deze techniek grond verdrongen wordt door grout kan de levensduur van grout aangehouden worden. Deze levensduur kan gesteld worden op minimaal 100 jaar.



**Figuur 2** Mogelijke verdichting / verplaatsing van grond ten gevolge van compaction grouting bij een funderingspaal

### 3.5 Keuze uit te werken methode voor vergroten paal draagvermogen

Beide mogelijke methoden die in de voorgaande 2 paragrafen zijn behandeld lenen zich goed voor het verhogen van het paal draagvermogen. Het voornaamste verschil tussen beide methoden heeft voornamelijk betrekking op uitvoeringsaspecten. Waar bodeminjectie een relatief goed te beheersen proces is, dat bovendien voor stabiliserende doeleinden in Nederland veelvuldig is toegepast, is compaction grouting lastiger beheersbaar en minder toegepast. Hoewel compaction grouting dus waarschijnlijk wel het gewenste resultaat zal bereiken, wordt voor dit project in eerste instantie niet geadviseerd om deze methode toe te passen. Geadviseerd wordt voor bodeminjectie bij de paalpunten te kiezen. De levensduur van constructieve waterglasinjecties is niet bekend. Wel is bekend dat waterglasinjecties minimaal 13-40 jaar mee gaan zonder afname van de druksterkte. Voor een injectie met microcement kan minimaal 100 jaar worden aangehouden.



In Tabel I zijn een aantal relevante punten welke bij de afweging een rol hebben gespeeld opgenomen.

**Tabel I Afwegingstabel**

Methode	Materiaal	Aantal toepassingen materiaal	Levensduur	Beïnvloeding paal draagvermogen korte termijn	Bekendheid bij methode bij verhogen paal draagvermogen	Werking methode	Totaal oordeel
Injectie	waterglas	+	geen regelgeving	+/-	+	++	+
	microcement	-	> 100 jaar				
Compaction grouting	grout	+	> 100jaar	+/-	+/-	+/-	+/-
Jetgrouting	grout	+	> 100jaar	-	+/-	+	-

## 4 Uitgangspunten/randvoorwaarden en proefopstelling

### 4.1 Inleiding

Om het paal draagvermogen/zettingsgedrag van de palen te verbeteren wordt een proef met bodeminjectie opgezet. De uitgangspunten en randvoorwaarden van deze proef alsmede de proefopstelling zijn in dit hoofdstuk beschreven.

### 4.2 Uitgangspunten en randvoorwaarden proef

Voor de proefopstelling zijn de volgende uitgangspunten en randvoorwaarden van belang:

- Te injecteren grond dient te bestaan uit zand waarin geen grote fijne fractie in aanwezig is.
- Een proef dient uitgevoerd te worden op minimaal twee rijen palen (ter plaatse van een voeg) om scheefstand van de plaat te voorkomen (scheluwte).
- Tijdens de TVP dient al enige uitharding opgetreden te zijn (geen injectie aan het eind van de TVP).
- De injectielansen dienen tijdens een treinvrije periode aangebracht te worden.
- De injectie zelf dient binnen een treinvrije periode te vallen (bij voorkeur aan het begin zodat het materiaal al enigszins op sterkte kan komen).
- Na afloop treinvrije periode dienen treinen met 300km/h over de ZVP te kunnen rijden.
- De injectielansen dienen met enige nauwkeurigheid te worden aangebracht zodat het injectielichaam de paalpunt omvat.
- Na aanbrengen injectielansen dienen vervormingen van het spoor in beeld gebracht worden.
- Voor en na injectiewerkzaamheden dienen vervormingen van het spoor ingemeten te worden.
- De injectielansen (buisjes) blijven in de ondergrond achter.
- Ten behoeve van de proef wordt een injectie uitgevoerd bij de paalpunt.
- Maatgevende locatie: plaat I4-04 ter plaatse van voeg I4-03 -> I4-04.

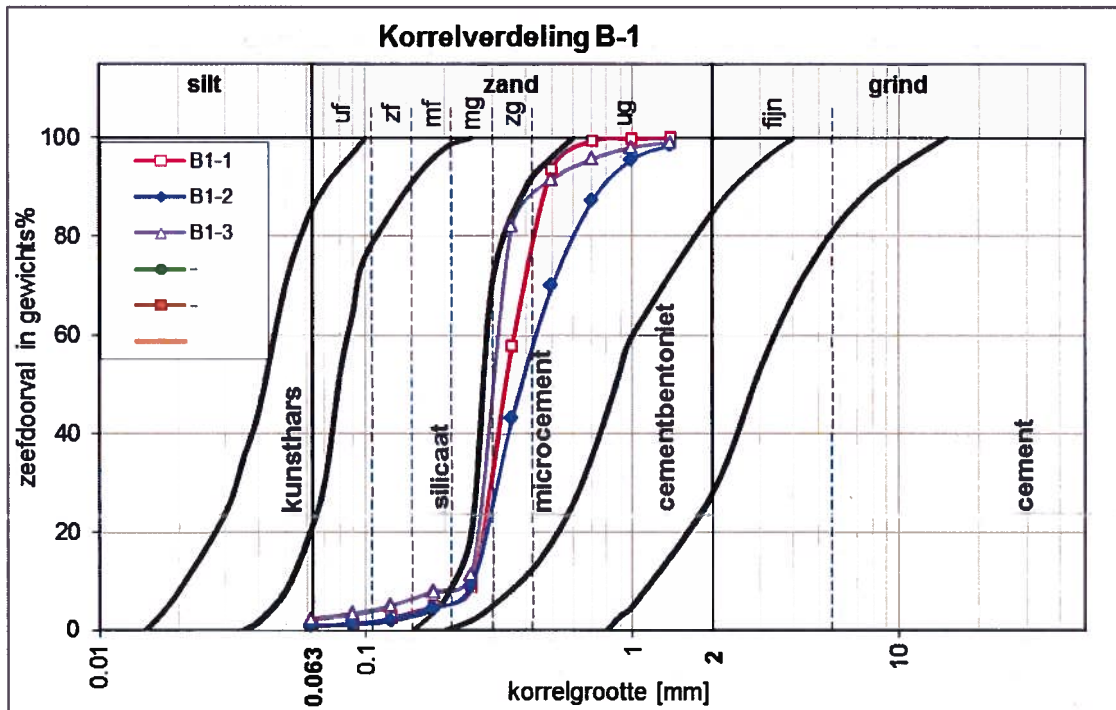
### 4.3 Korrelverdeling en keuze injectiemateriaal

Ten behoeve van het project zijn in de te injecteren zone monsters ten behoeve van korrelverdelingen genomen tussen NAP -7,5m en NAP -9,0m (zie [11] en [12]). Deze korrelverdelingen zijn in Figuur 3 weergegeven. De boring is genomen op de akker naast de HSL. De bodemopbouw ter plaatse van de boring komt goed overeen met sondering DKM1, DKM3 en DKM4, ter plaatse van DKM 2 is de aanzet van de zandlaag lager. Hieruit wordt geconcludeerd dat de boring een voldoende representatief beeld geeft van de bodemopbouw. Op basis van de korrelverdelingen kan met zowel waterglas als met microcement geïnjecteerd worden. Aangezien ProRail heeft aangegeven dat de levensduur in de keuze van injectiemateriaal zwaar weegt, wordt de proef op aangeven van ProRail uitgevoerd met microcement.

Documentnummer: RA16390a7  
Project: Zettingsvrije plaat HSL Zuid  
Injectieproef: geschiktheid typen injectie en proefopzet

Projectnummer: 16390  
Afdrukdatum: 12-9-2017  
Pagina: 10

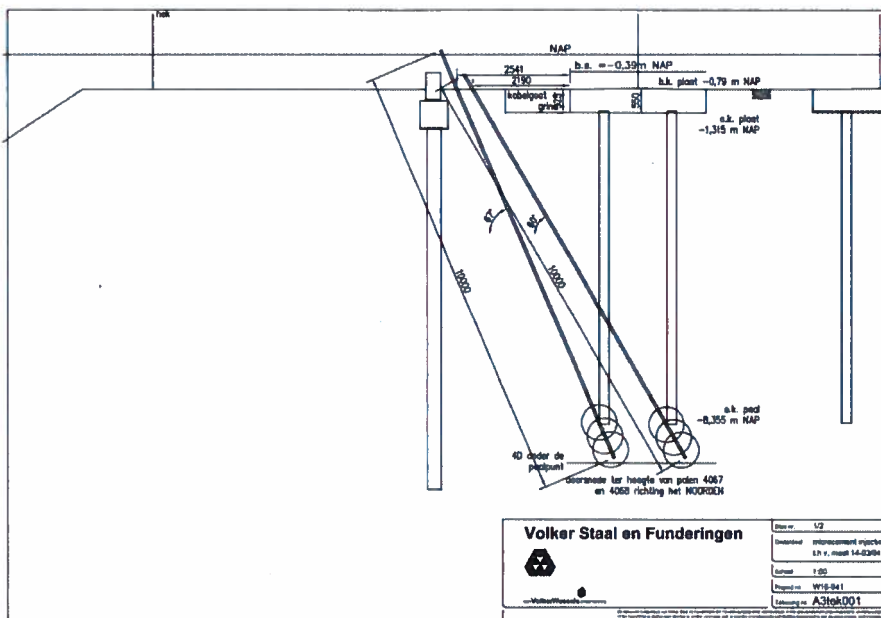




Figuur 3 Korrelverdeling met ondergrens toepassingsgebied

#### 4.4 Proefopstelling

De proefopstelling is zodanig opgesteld dat deze aangebracht worden vanaf een locatie naast het spoor. Het inbrengen van de injectie gebeurt vanaf de locatie inspectieweg naast westelijk spoor. De opstelling is in Figuur 4 en Figuur 5 uitgewerkt.

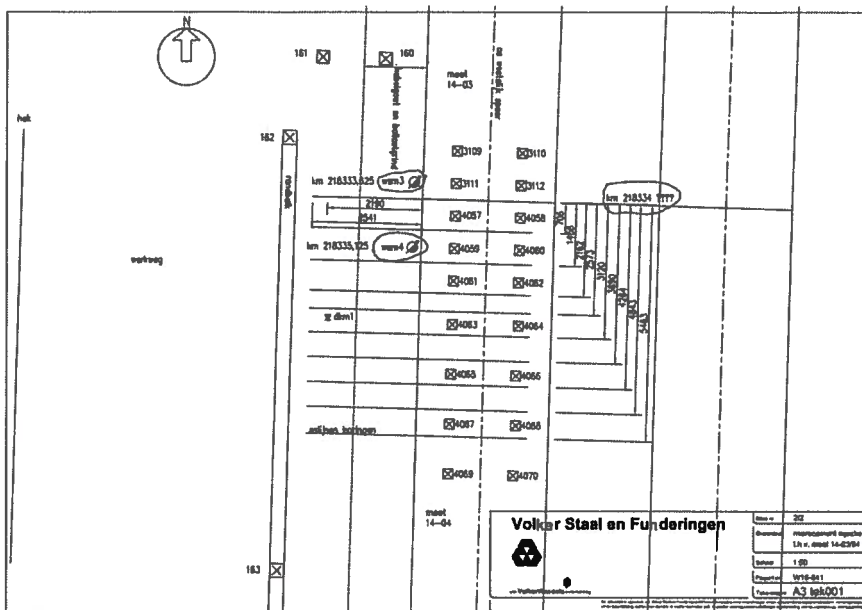


Figuur 4 Doorsnede injectieproef

Documentnummer: RA16390a7  
 Project: Zettingsvrije plaat HSL Zuid  
 Injectieproef: geschiktheid typen injectie en proefopzet

Projectnummer: 16390  
 Afdrukdatum: 12-9-2017  
 Pagina: 11

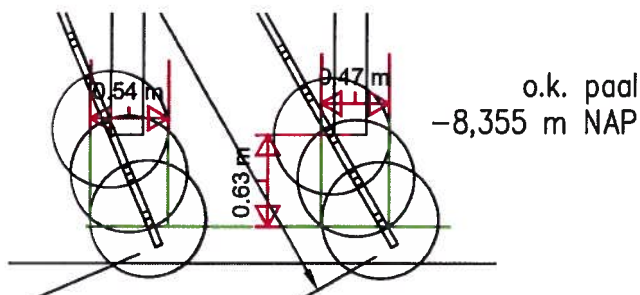




**Figuur 5 Bovenaanzicht proefopstelling**

#### 4.5 Verwachte wijziging paalgedrag

Op basis van Figuur 4 is beschouwd wat de paalafmeting wordt in dwarsrichting. De minimale breedte van de paalpunt wordt 0,47m en de paalpunt komt 0,63m lager te liggen (zie Figuur 6).



**Figuur 6 Gewijzigde afmeting paalpunt**

Om de invloed van de vergrote paalvoet indicatief te bepalen zijn twee berekeningen uitgevoerd, te weten

- herberekening paal draagkracht zonder injectie;
- paal draagkracht berekening met injectie.

Voor de berekening zonder injectie zijn de volgende parameters aangehouden:

- Paal 0,22m x 0,22m
- PPN NAP -8,36m

Voor de berekening met injectie zijn de volgende parameters aangehouden:

- $b_{paalvoet} = 1,0m$ ;  $a_{paalvoet} = 0,47m$ ;  $h_{paalvoet} = 0,63m$ ;

Documentnummer: RA16390a7

Project: Zettingsvrije plaat HSL Zuid  
Injectieproef: geschiktheid typen injectie en  
proefopzet

Projectnummer: 16390

Afdrukdatum: 12-9-2017

Pagina: 12



- $s = 0,76$  (veiligheidshalve  $b=1,2$  aangehouden);
- $\beta = 0,70$  (verhouding  $D_{eq}^2/d_{eq}^2 \geq 3,0$ )
- paalschacht  $0,22m \times 0,22m$
- PPN NAP -8,99m (= NAP -8,36m -0,63m)

In Tabel 2 zijn de resultaten gegeven.

**Tabel 2 Vergelijking draagvermogen met en zonder injectie**

Sondering	$R_{c,net;d}$ zonder injectie	$R_{c,net;d}$ met injectie	Factor met/zonder
1	291	784	2,7
2	219	723	3,3
3	426	923	2,2
4	372	1070	2,9

Uit Tabel 2 volgt dat het draagvermogen van de palen onder de plaat met een factor 2,2 tot 3,3 toeneemt ten zichte van de huidige situatie.

Het verschil in veerwaarde tussen niet geïnjecteerde palen en wel geïnjecteerde palen is in Tabel 3 weergegeven. Hierbij wordt opgemerkt dat ook voor het vergrote deel van de paalvoet de stijfheid van beton is aangehouden. Dit houdt een lichte overschatting van de veer voor elastische verkorting in. Voor de belasting is aangehouden dat de veerwaarde bij 80% van  $R_{c,net;d,gen}$  ( $=0,8 \times 299 = 239kN$ ) van de palen zonder injectie is aangehouden. Bij deze belasting dient nog de negatieve kleef opgeteld te worden.

**Tabel 3 Vergelijking toename veerstijfheid**

Situatie	$F_{s,tot;k}$	$w_{punt}$	$k_{v,punt}$	$w_{el}$	$k_{v,l}$
	kN	mm	MN/m	mm	MN/m
Zonder injectie	271	4.2	65	0.8	54
Met injectie	271	1.8	151	0.3	128

## 5 Monitoring proeflocatie

### 5.1 Inleiding

Ten behoeve van de proef met grondinjectie wordt gemonitord. In dit hoofdstuk worden de te monitoren onderdelen benoemd.

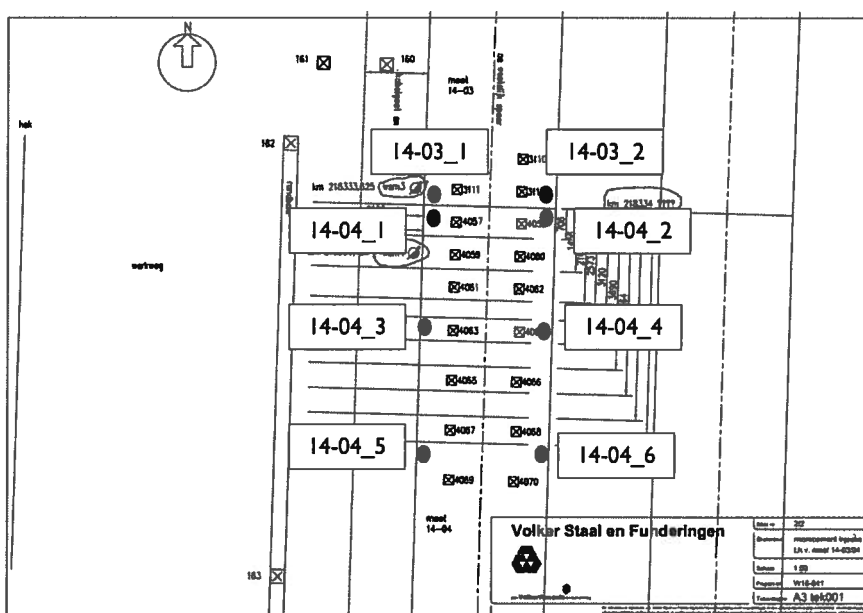
### 5.2 Te meten onderdelen

Ten behoeve van de monitoring kan een indeling gemaakt worden in metingen van de verticale vervormingen als metingen ten behoeve van de uitvoeringscontrole van de injectie.

Bij de metingen van de verticale vervormingen van de plaat wordt opgemerkt dat onafhankelijk van de in dit rapport aangegeven metingen Infrasppeed zelf ook metingen uit gaat voeren. De locatie en frequentie van deze metingen wordt door Infrasppeed uitgewerkt.

#### 5.2.1 Meting horizontale en verticale vervorming

De meting van de vervorming gebeurt door VolkerRail middel van nauwkeurigheidsmetingen van meetpunten aangebracht op de plaat. Hierbij wordt voorgesteld om de meetpunten als aangegeven in Figuur 7 aan te houden. Aangegeven is dat op de plaat al een aantal meetbouten zijn aangebracht. Deze meetbouten kunnen het dichtstbijzijnde punt in onderstaande figuur vervangen.



Figuur 7 Meetpunten deformatie

#### 5.2.2 Registratie injectieproces

De volgende punten dienen bij het injecteren gemeten te worden:

Ten behoeve van de kwaliteitscontrole tijdens de uitvoering dienen de volgende zaken geregistreerd te worden.

Documentnummer: RA16390a7  
Project: Zettingsvrije plaat HSL Zuid  
Injectieproef: geschiktheid typen injectie en proefopzet

Projectnummer: 16390  
Afdrukdatum: 12-9-2017  
Pagina: 14



- hoeveelheid ingebrachte injectievloeistof per injectiepunt (en versus tijd).
- mengselverhouding ingebrachte injectievloeistof per injectiepunt.
- injectiedrukken vs de tijd.
- bepaling uithardingstijd / omslagtijd.
- afwijkingen uitvoeringsparameters ten opzichte van werkplan inclusief reden / (indicatie) oorzaak.

VSF heeft aangegeven deze gegevens te registreren als voorbeeld zijn in Bijlage 2 enkele door VSF aangeleverde voorbeelden opgenomen.

Tevens is voor deze proef gekozen 1 extra lans verticaal aan te brengen zodat op deze locatie kernboringen kunnen worden genomen uit het injectielichaam. Deze kernboring wordt, in overleg met ProRail, ter plaatse van het asfalt van de inspectieweg aangebracht zodat deze eenvoudiger toegankelijk is en dat eventuele monsternamen zonder spanningsloos spoor uitgevoerd kan worden.

Tijdens de werkzaamheden dienen de geregistreerde gegevens te worden vergeleken met vooraf gemaakte inschattingen. Deze gegevens kunnen binnen een bepaalde bandbreedte (op basis van ervaring) afwijken van de verwachte waarden, maar bij grote afwijkingen moet bij voorkeur tijdens de uitvoering de oorzaak achterhaald worden, eventueel middels aanvullend (grond)onderzoek.

### 5.3 Meetfrequentie

Aangezien de meetgegevens per injectiepunt en diverse parameters vrijwel continu worden bijgehouden, is een meetfrequentie voor het injectieproces niet gegeven.

#### 5.3.1 Meetfrequentie horizontale en verticale vervormingen

De volgende meetfrequentie dient te worden aangehouden:

- 0-meting;
- continu-meting tijdens aanbrengen injectielansen;
- meting na aanbrengen injectielansen;
- meting voor injecteren;
- continu-meting tijdens injecteren;
- meting na injecteren.

#### 5.3.2 Kernboring verticale lans

De kernboring uit de verticale lans wordt op dit moment nog niet uitgevoerd. Dit aangezien de beschikbare treinvrije periodes op korte termijn te kort zijn om de werkzaamheden uit te voeren. De kernboring wordt in 2017 op een nader te bepalen tijdstip uitgevoerd.

De hoeveelheid materiaal dient voldoende te zijn om de kubusdruksterkte te bepalen op minimaal twee monsters.

### 5.4 Toleranties

#### 5.4.1 Horizontale en verticale vervormingen

Voor de gemeten horizontale en verticale vervormingen gelden de volgende criteria:

Documentnummer: RA16390a7

Project: Zettingsvrije plaat HSL Zuid  
Injectieproef: geschiktheid typen injectie en proefopzet

Projectnummer: 16390

Afdrukdatum: 12-9-2017

Pagina: 15



- attentiewaarde: 1 mm; wanneer deze waarde in één van de meetpunten bereikt wordt, dan wordt in overleg tussen VSF (Lars Rietveld en Gerard van Zwieten), CRUX (Dirk Goeman) en ProRail (Jan Bogaards en Ton Padmoes) te nemen maatregelen bepaald.
- Limietwaarde: 2 mm; wanneer deze waarde in één van de meetpunten bereikt wordt, dan wordt de proef beëindigd. Dit wordt gemeld bij projectleider VSF (Lars Rietveld) en opdrachtgever ProRail (Jan Bogaards of Ton Padmoes).

## 5.5 Interpretatie

### 5.5.1 Horizontale en verticale vervormingen

Bij de interpretatie van de meetgegevens van de vervormingen wordt opgemerkt dat de huidige situatie onderhevig is aan vervormingen. Mogelijk dat op basis van de al uitgevoerde 3 maandelijkse inmetingen een indicatie van de vervormingssnelheid kan worden afgeleid. Tevens dient bij het interpreteren van de vervormingen ook rekening gehouden met de nauwkeurigheid van de metingen. Indien twijfel bestaat aan de nauwkeurigheid van een meting is het mogelijk wenselijk een aanvullende herhalingsmeting uit te voeren.

### 5.5.2 Gegevens injectieproces

De gegevens van het injectieproces dienen beschikbaar gesteld te worden middels een uitdraai om mogelijke onvolkomenheden in het injectielichaam te detecteren.

Documentnummer: RA16390a7  
Project: Zettingsvrije plaat HSL Zuid  
Injectieproef: geschiktheid typen injectie en proefopzet

Projectnummer: 16390  
Afdrukdatum: 12-9-2017  
Pagina: 16





## 6 Resultaat drukproeven

### 6.1 Inleiding

Ter plaatse van de proefinjectie ter plaatse van de palen van de plaat is tevens een verticale injectie uitgevoerd waaruit kernen zijn genomen. Deze kernen zijn door middel van drukproeven tot bezwijken belast. Uit deze proeven volgt of het injectiemassief binnen de te verwachten druksterktes en stijfheden valt voor microcement.

### 6.2 Eigenschappen microcement en waterglasinjectie

Uit paragraaf 3.2 volgt dat:

1. De sterkte (UCS) van het alternatief waterglasinjectie in zand 660kPa bedraagt.
2. De sterkte van met microcement geïnjecteerd zand tussen 1MPa en 10MPa bedraagt.
3. De stijfheid van het alternatief waterglasinjectie in zand 250MPa bedraagt.
4. De stijfheid van met microcement geïnjecteerd zand zijn geen directe referentiewaarden. De verwachting is dat de stijfheid circa een factor 10 van waterglas bedraagt:  $250\text{MPa} \times 10 = 2.500\text{MPa}$  of  $1/10$  van beton:  $20.000\text{MPa}/10 = 2.000\text{MPa}$ .

### 6.3 Proefresultaten

Van een aantal proeven is het materiaal niet geschikt bevonden om te beproeven (boring 2). Deze monsters zijn na overleg met VSF alsnog beproefd. Derhalve wordt in de analyse van de karakteristieke waarde uitgegaan van:

- Bepaling karakteristieke waarde 'geschikte' proeven.
- Bepaling karakteristieke waarde 'niet geschikte' proeven: niet cilindrisch proefstuk (zie voor onderscheid Figuur 8).
- Bepaling karakteristieke waarde totaal aantal proeven.

Documentnummer: RA16390a7  
Project: Zettingsvrije plaat HSL Zuid  
Injectieproef: geschiktheid typen injectie en  
proefopzet

Projectnummer: 16390  
Afdrukdatum: 12-9-2017  
Pagina: 17





cilindrisch monster (geschikt)

niet cilindrisch monster (niet geschikt)

**Figuur 8** Voorbeeld 'geschikt' monster (links) en 'niet geschikt' monster (rechts)

In Tabel 4 is een samenvatting van de resultaten opgenomen.

**Tabel 4** Samenvatting proefresultaten

Leeftijd	Drukstekte $\sigma'$ max	Stijfheid E-modulus	Opmerking
[dagen]	[MPa]	[MPa]	
233	10,08	2331	
233			Mislukt door software fout
233	9,89	3858	
233	9,19	6505	
233	12,73	9490	
233	10,06	4282	Geen geschikt materiaal, proef toch uitgevoerd
233	6,41	3700	Geen geschikt materiaal, proef toch uitgevoerd
233	7,61	2279	Geen geschikt materiaal, proef toch uitgevoerd
233	11,93	3315	Geen geschikt materiaal, proef toch uitgevoerd
233	14,73	4146	Geen geschikt materiaal, proef toch uitgevoerd

In Tabel 5 is de bepaling van de karakteristieke waarde van de sterkte en stijfheid opgenomen.

Documentnummer: RA16390a7  
 Project: Zettingsvrije plaat HSL Zuid  
 Injectieproef: geschiktheid typen injectie en  
 proefopzet

Projectnummer: 16390  
 Afdrukdatum: 12-9-2017  
 Pagina: 18



**Tabel 5 Bepaling karakteristieke waarde**

	geschikt		niet geschikt		totaal	
	druksterkte	E-modulus	druksterkte	E-modulus	druksterkte	E-modulus
	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
aantal	4	4	5	5	9	9
$X_{gem}$	10,47	5.546	10.15	3.544	10,29	4.434
$t_{\alpha=0,05}$	2,35	2,35	2,13	2,13	1,86	1,86
Standaardafwijkin	1,55	3.144,33	3,34	803,75	2,55	2.267,92
var. coeff	0,15	0,57	0,33	0,23	0,25	0,51
$X_{kar}$	<b>8,7</b>	<b>1.846</b>	<b>7,0</b>	<b>2.778</b>	<b>8,7</b>	<b>3.028</b>

Ten aanzien van de druksterkte wordt opgemerkt dat de variatiecoëfficiënt van de 'geschikte' proeven relatief laag is. Deze ligt hoger voor de 'niet geschikte' proeven (meer spreiding). De karakteristieke waarde van de druksterkte van de 'geschikte' proeven is vrijwel gelijk aan het totaal aantal proeven, terwijl de variatiecoëfficiënt hoger ligt. Dit wordt veroorzaakt doordat het aantal proeven in totaal hoger ligt. De karakteristieke waarde van de druksterkte ligt op 8,7MPa ('geschikte' proeven en totaal aantal proeven).

Ten aanzien van de stijfheid wordt opgemerkt dat bij de 'geschikte' proeven een relatief grote variatiecoëfficiënt is waargenomen. De 'niet geschikte' proeven laten een lagere variatiecoëfficiënt zien. De karakteristieke waarde van de 'geschikte' proeven is circa 2.000MPa terwijl de karakteristieke waarde van de 'niet geschikte' 2.800MPa bedraagt en deze bij het totaal aantal proeven op circa 3.000MPa ligt. Ondanks dat er een hogere variatiecoëfficiënt in bij het totaal is dan bij de 'niet geschikte' proeven, ligt de karakteristieke waarde van het totaal hoger. Dit wordt veroorzaakt door het grotere aantal proeven.

#### 6.4 Conclusie en vergelijk met verwachting

De karakteristieke waarde van de druksterkte van 8,7MPa ligt aan de bovenkant van de range 1MPa-10MPa en is tevens ruimschoots hoger dan de druksterkte van met waterglas geïnjecteerd zand (660kPa). De karakteristieke waarde van de stijfheid ligt ordegrrootte in de verwachte range van 2.000MPa tot 2.500MPa en is tevens ruimschoots hoger dan de stijfheid van met waterglas geïnjecteerd zand.

## 7 Literatuur

[ref. 1] Abma, J., 1988, *Satellietgebouw Nederlandsche Bank, Cement, nr. 4*

[ref. 2] Essler, R.D., E.R.Drooff & E.Falk, 2000, *Compensation Grouting, Concept, Theory & Practice, Advances in grouting and ground modification, Proceedings of sessions of Geo-Denver 2000, ASCE Geotechnical special publication #104, Denver, Colorado, pp. 1-15*

[ref. 3] Faught, K.L., 1997, *Compaction Grouting at tip of Sheet Piles, Ground Treatment; Geotechnical Special Publication No. 69, Proceedings of the ASCE Geo-Institute, Logan, USA, pp.441-443*

[ref. 4] Littlejohn, G.S., 1985, *Chemical Grouting -1, Ground Engineering, March, pp. 13-16;*  
Littlejohn, G.S., 1985, *Chemical Grouting -2, Ground Engineering, April, pp.23-28;*  
Littlejohn, G.S., 1985, *Chemical Grouting -3, Ground Engineering, May, pp. 29-34,*

[ref. 5] Stoel, A.E.C. van der, september 2001, *Grouting for Pile Foundation Improvement, Proefschrift ter verkrijging van de graad van doctor aan de Technische Universiteit Delft, ISBN 90-407-2223-4*

[ref. 6] Stoel, A.E.C. van der, 2002, *Groutinjectie voor verbeteren van funderingen, Land + Water, nummer 9/10*

[ref. 7] Stoel, A.E.C. van der, 2003, *Injecteren geen noodoplossing, Land + Water, nummer 3*

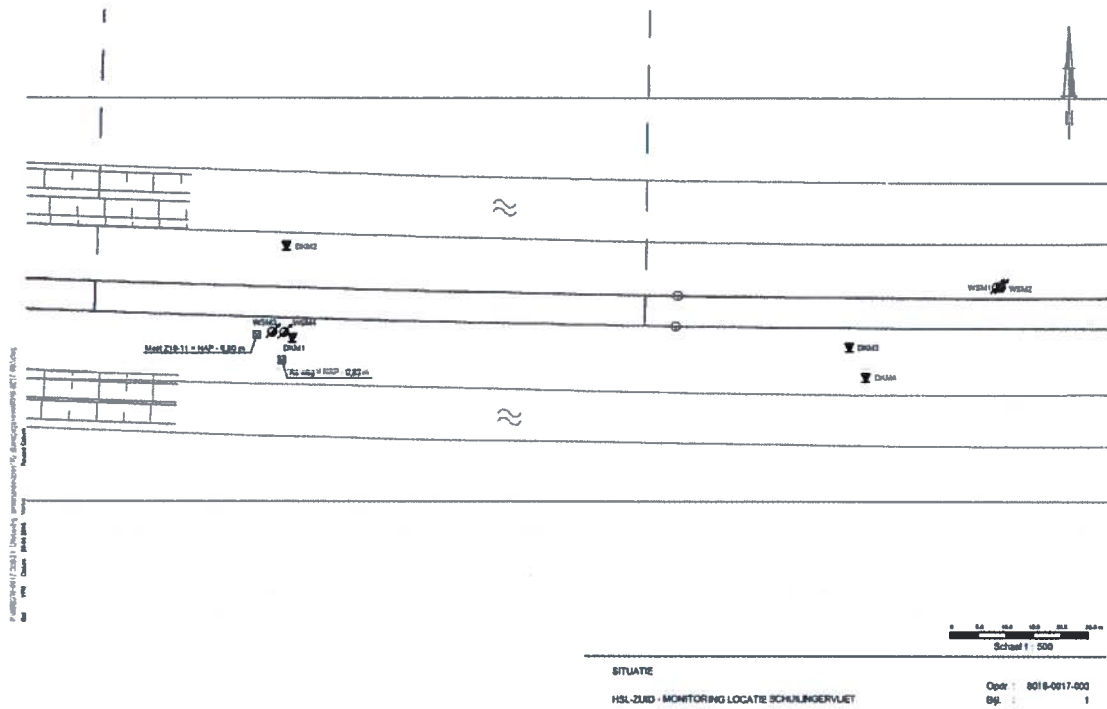
---

Documentnummer: RA16390a7  
Project: Zettingsvrije plaat HSL Zuid  
Injectieproef: geschiktheid typen injectie en  
proefopzet

Projectnummer: 16390  
Afdrukdatum: 12-9-2017  
Pagina: 20



# Bijlage I Sondering I t/m 4, boring en korrelverdelingen



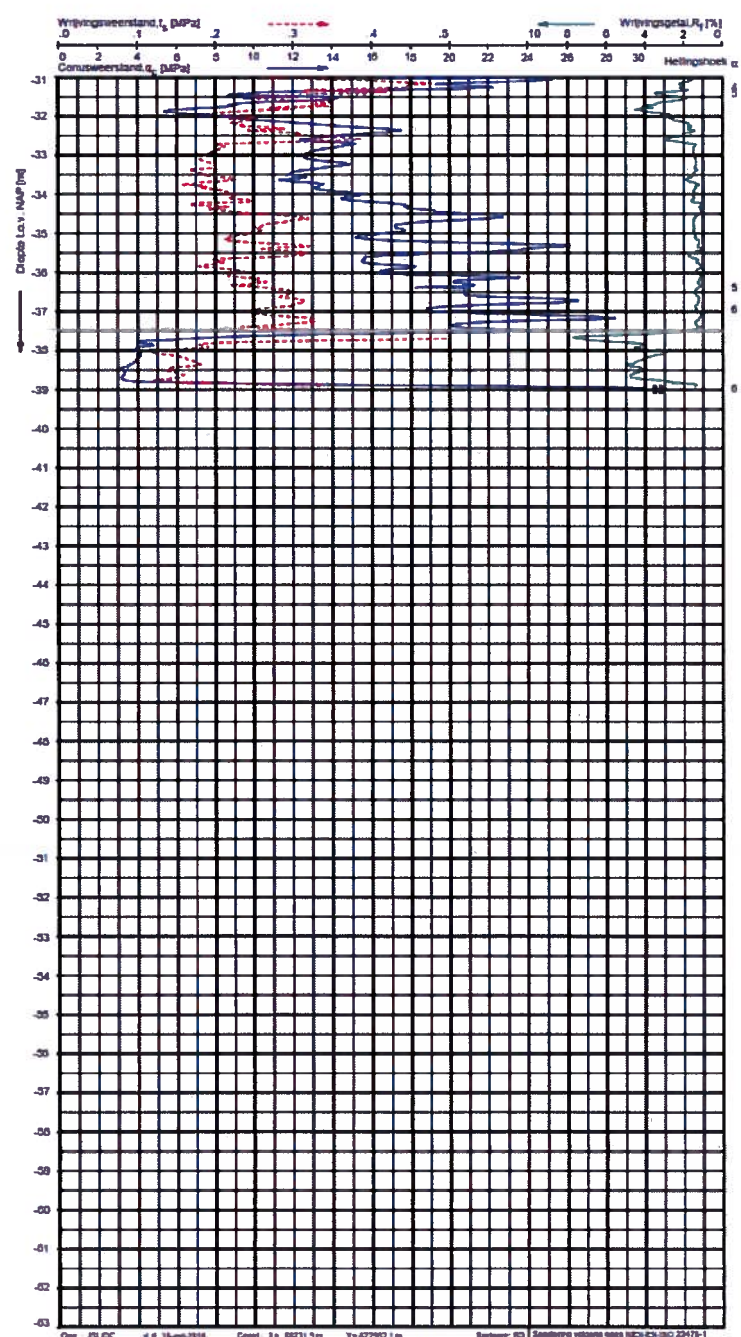




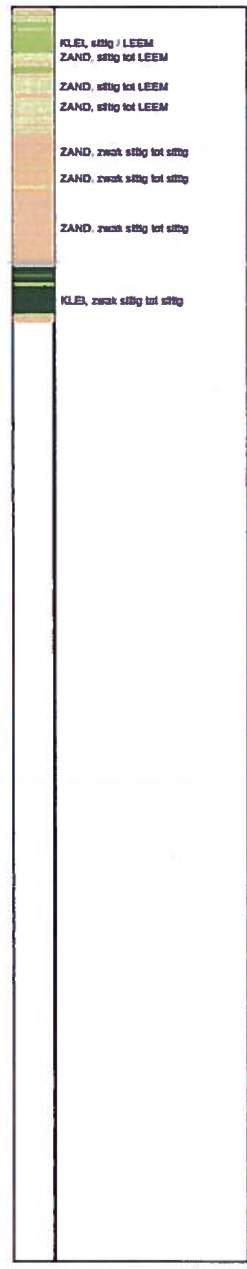
UNIKLEI (201) H/GP/CH/103 (M1) 2016-04-28 12:13:24

8016-0017-000

DKM1 - 2



**Indicatieve bodembeschrijving**  
 Automatisch gegenereerd uit data van de sondering, geldig onder grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



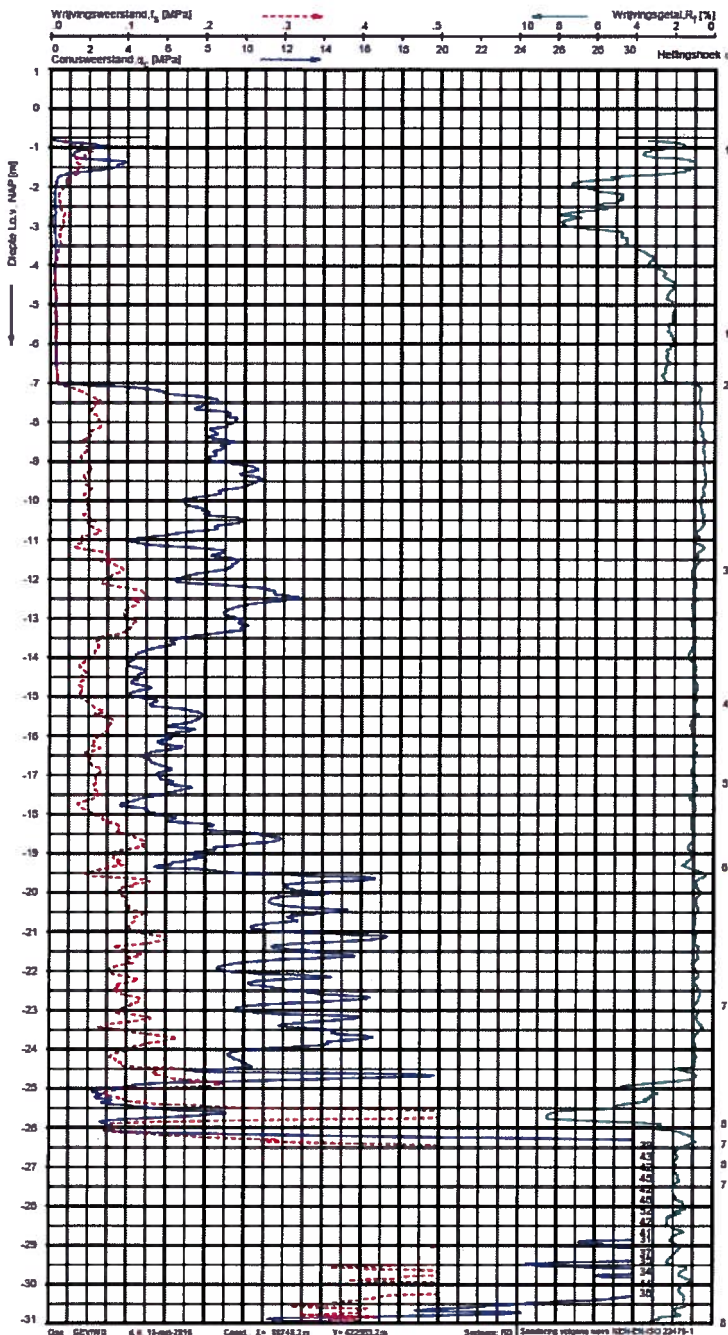
Op: JLOC 16-04-2016 Dm1: 1= 0071.0m Y= 42282.1 m Spoor: 03  
 Gel: MEV 25-09-2016 MV: NAP 4.79 m Dm1: CP10-CF758Q IPN: 2514  
 Sondering uitgevoerd naar NEN 6740:2015-1  
 Frequentieklasse 3 Test type TC1  
 Conditie  $A_v = 1010 \text{ kPa}^2$ ,  $A_s = 1982 \text{ kPa}^2$

**SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING**  
 HSL-ZUID - MONITORING LOCATIE SCHULINGERVLIET  
 Opdr. 8016-0017-000  
 Sond. DKM1

UNIKLEI.DWG | 11:04:34 AM | 2016-04-28 12:13:16

0016-0017-000

DKM2 - 1



**Indicatieve bodembeschrijving**  
 Automatisch gegenereerd uit data van de sondering, geldig onder grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



Oog: GEVW0 d.d. 15-mei-2016 Coörd. X = 88748.2 m Y = 42283.2 m System: RD  
 Get: NGY d.d. 28-apr-2016 Wf = NAP -0.24 m Coörd. CP15-CF753MG 1761-1178  
 Sondering volgens norm NEN 6760:2014 23475-1  
 2. Soepaardigheidsfactor  $S_p$  Test Type T13  
 Coëfficiënt  $k_{cs} = 151 \text{ kPa}^{-1}$   $A_{cs} = 19800 \text{ cm}^2$

**SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING**

HSL-ZUD - MONITORING LOCATIE SCHIJLINGERVLIET

Opdr. 8016-0017-000  
 Sond. DKM2

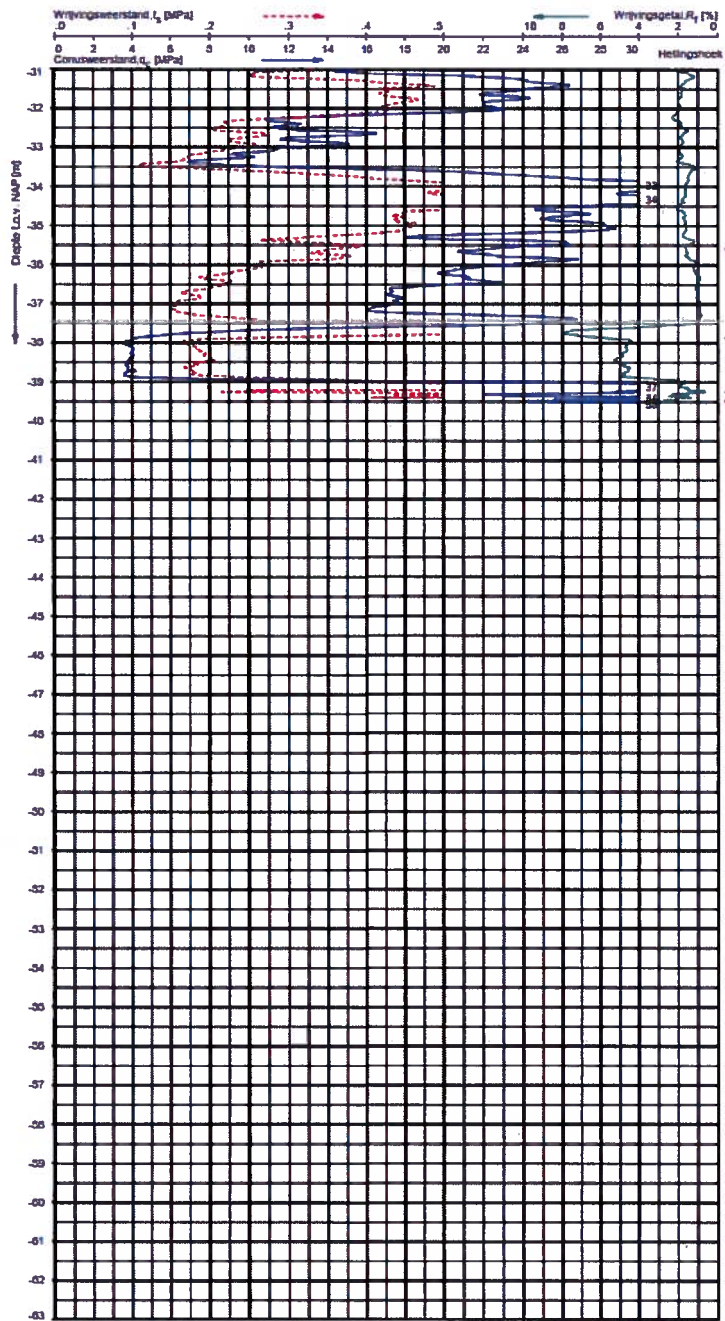




UW161121 (33) (1) Gf. Csa. Rb. nr. 17. 2016-04-29 12:18:38

8016-0017-000

DKM2 - 2



**Indicatieve bodembeschrijving**  
 Automatisch gegenereerd uit data van de sondering, geldig onder grondwaterpeil (Robertson 1996, NL corr.)

ZAND, zwak siltig tot siltig
ZAND, siltig tot LEEM
ZAND, siltig tot LEEM
ZAND, zwak siltig tot siltig
ZAND, zwak siltig tot siltig
ZAND, zwak siltig tot siltig
KLEI, zwak siltig tot siltig
ZAND, zwak siltig tot siltig

Opdr. 8016-0017-000  
 Gf. 15-nov-2016  
 Gf. 23-nov-2016  
 Coörd. X = 96748.7 m  
 Coörd. Y = 42263.1 m  
 Coörd. Z = 0.0 m  
 Systeem: RD  
 1993-1178  
 Sondering uitgevoerd met: NICKI CS-200 ZH178-1  
 Type sonderingsbuis: 2  
 Type type TC1  
 Capaciteit C<sub>u</sub> = 1918 mm<sup>2</sup> A<sub>u</sub> = 1550 mm<sup>2</sup>

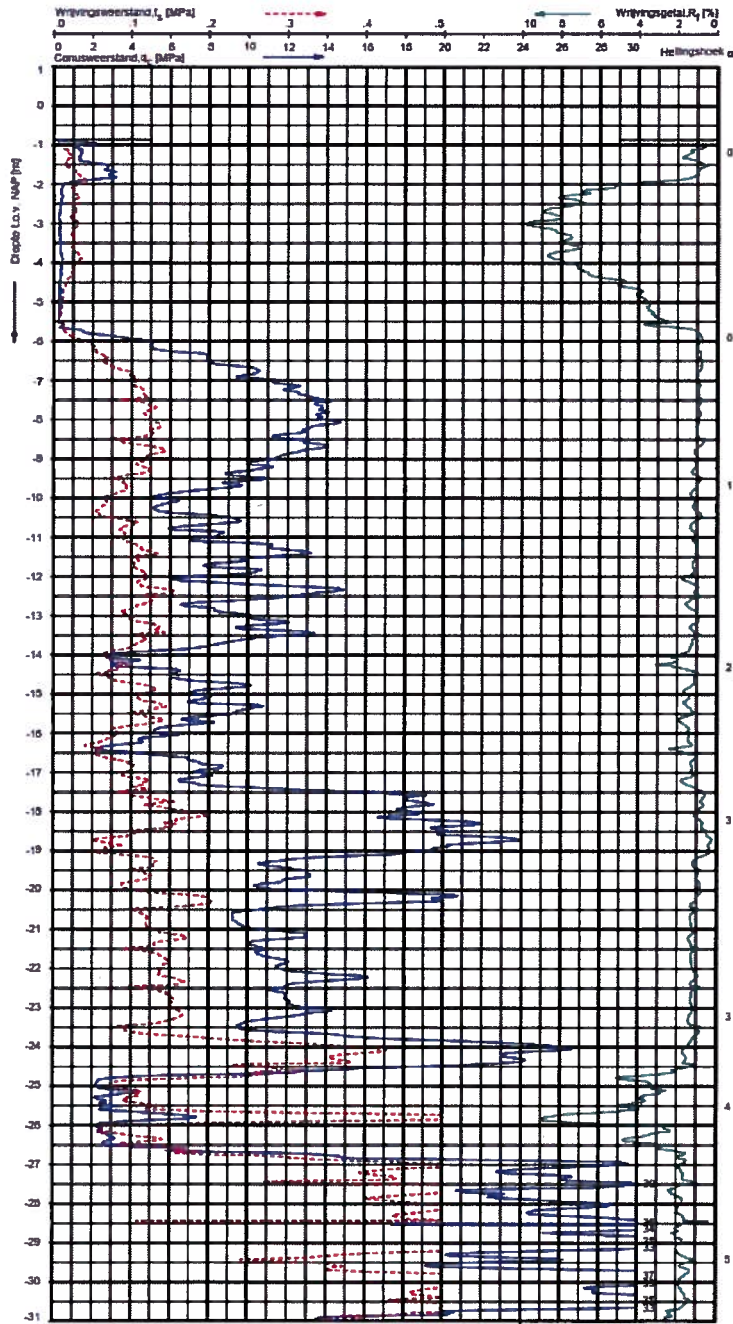
**SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING**  
 HEL-ZUID - MONITORING LOCATIE SCHULINGERVLIET

Opdr. 8016-0017-000  
 Sond. DKM2

UNIFORMITEIT EN GEF. CHINA (3) 1000/2016/04/2016/04/2016/04

0016-0017-000

DKM3



**Indicatieve bodembeschrijving**  
 Automatisch gegenereerd uit data van de sondering, geldig onder grondwaterpeel (Roberson 1998, NL corr.)



Dag: 2016-08-15  
 Gel: 08:30  
 Casid: 3  
 W: NAP  
 Y: 42485.9 m  
 Conus: CP13-CT75243  
 Systeem: RD  
 1751-3014  
 Sondering volgens norm NEN 6762:2012 23475-1  
 1. Hoofdmeter: 100 mm, 2. Toef: 100 mm  
 Conusdruk:  $f_{cu} = 1510 \text{ kPa}$ ,  $f_{cu} = 1885 \text{ kPa}$

**SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING**

HIL-ZUID - MONITORING LOCATIE SCHULINGERVLIET

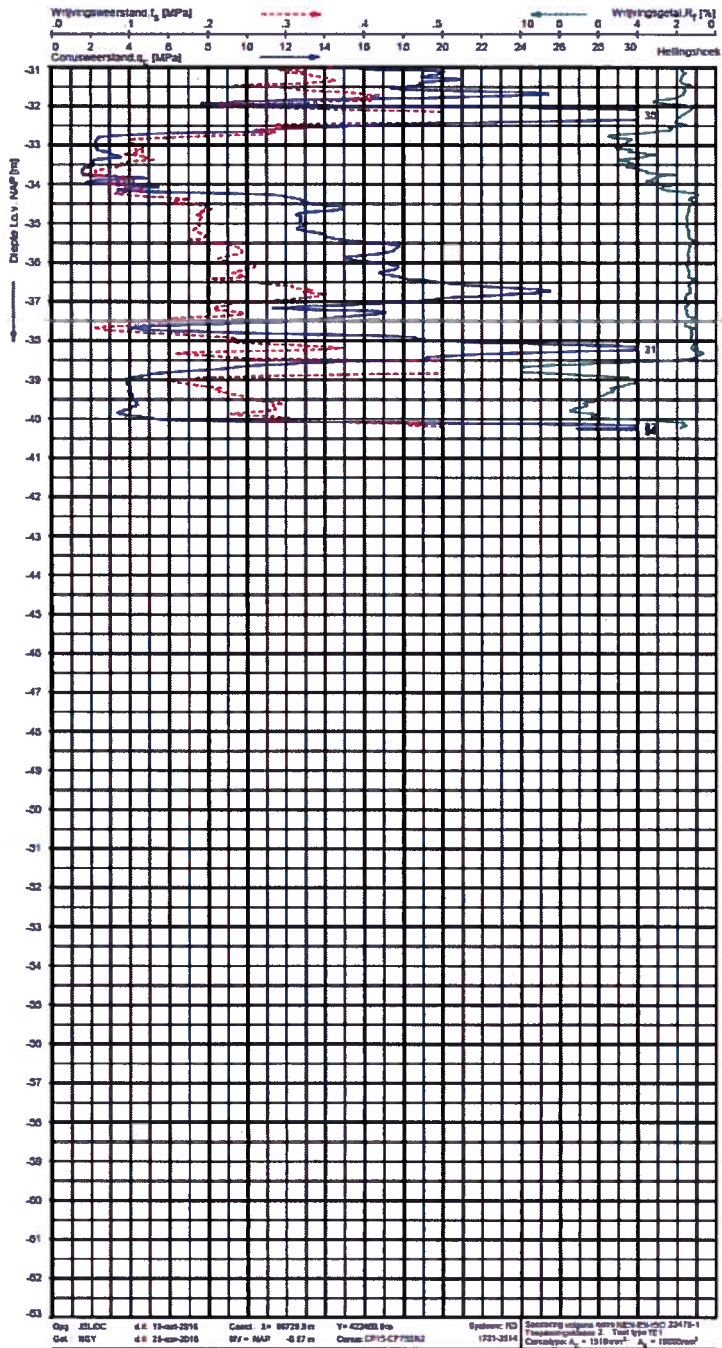
Opdr.: 8016-0017-000  
 Sond.: DKM3



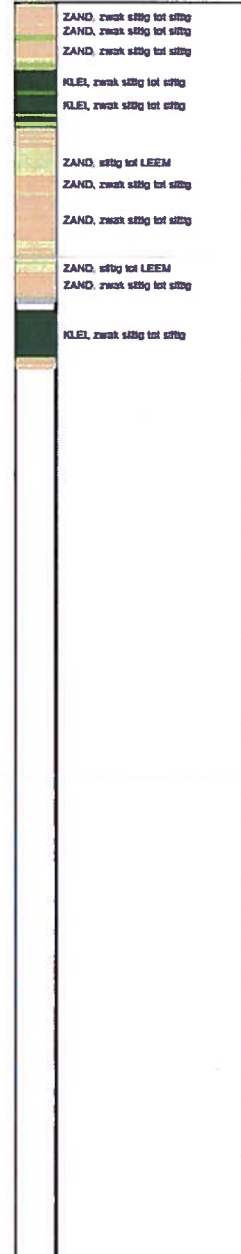
UNIFORM (30.3) / 10.06.2016 09:00:00

00160017000

DKM3 - 2



**Indicatieve bodembeschrijving**  
 Automatisch gegenereerd uit data van de sondering, gelijk onder grondwaterpeil (Robertson 1999, NL corr.)



SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

HEL-ZUID - MONITORING LOCATIE SCHULINGERVLIET

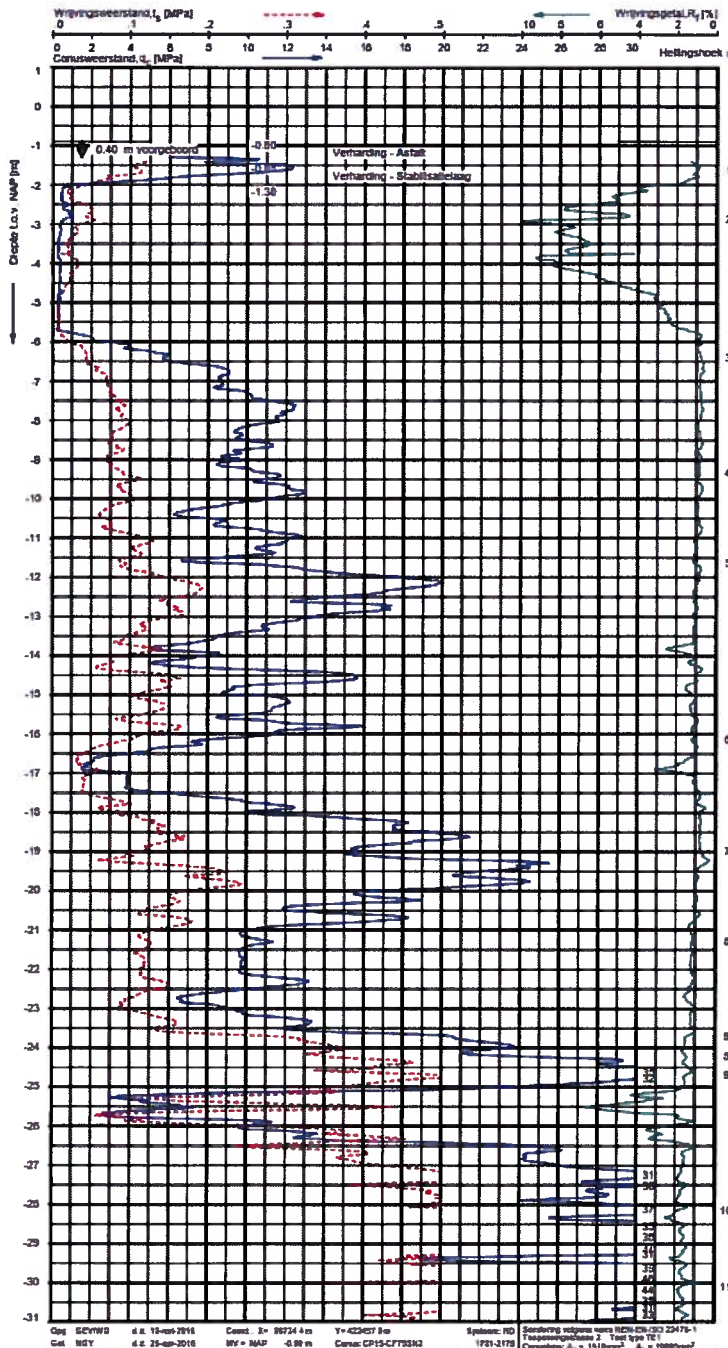
Opdr. 8016-0017-000  
 Sond. DKM3

Org. ZELCO 4.0 13-mei-2016 Caud. 3+ 10729.3 m Y=42248.9 m System. ID 1721-3514 Sondering volgens norm NEN 6763:2014-1  
 Gd. WSY 4.0 21-mei-2016 BY = NAP -6.67 m Datum: DP15-CF7582Z  
 Preparatie: Jansz T. Toet G99 YET  
 Conditie:  $A_v = 13.19 \text{ (over)}$ ,  $A_h = 1.000 \text{ (over)}$

14812102-00-0017-000

0016-0017-000

DKM4 - 1



**Indicatieve bodembeschrijving**  
 Automatisch gegenereerd uit data van de sondering, getuigd onder grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



Opdr. SCVWD d.d. 15-nov-2016 Const. Z= 88724.0 m Y= 423427.8 m Spleetbre. RD Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22475-1  
 Cat. MSY d.d. 25-nov-2016 MW = MAP -0.99 m Canal: CP15-C7753K 1761-2178 Toegewezen: 2. Toegewezen: 2. Toegewezen: 2  
 Chromatop:  $\lambda_s = 151 \text{ mm}$   $\lambda_c = 7000 \text{ mm}$

**SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING**

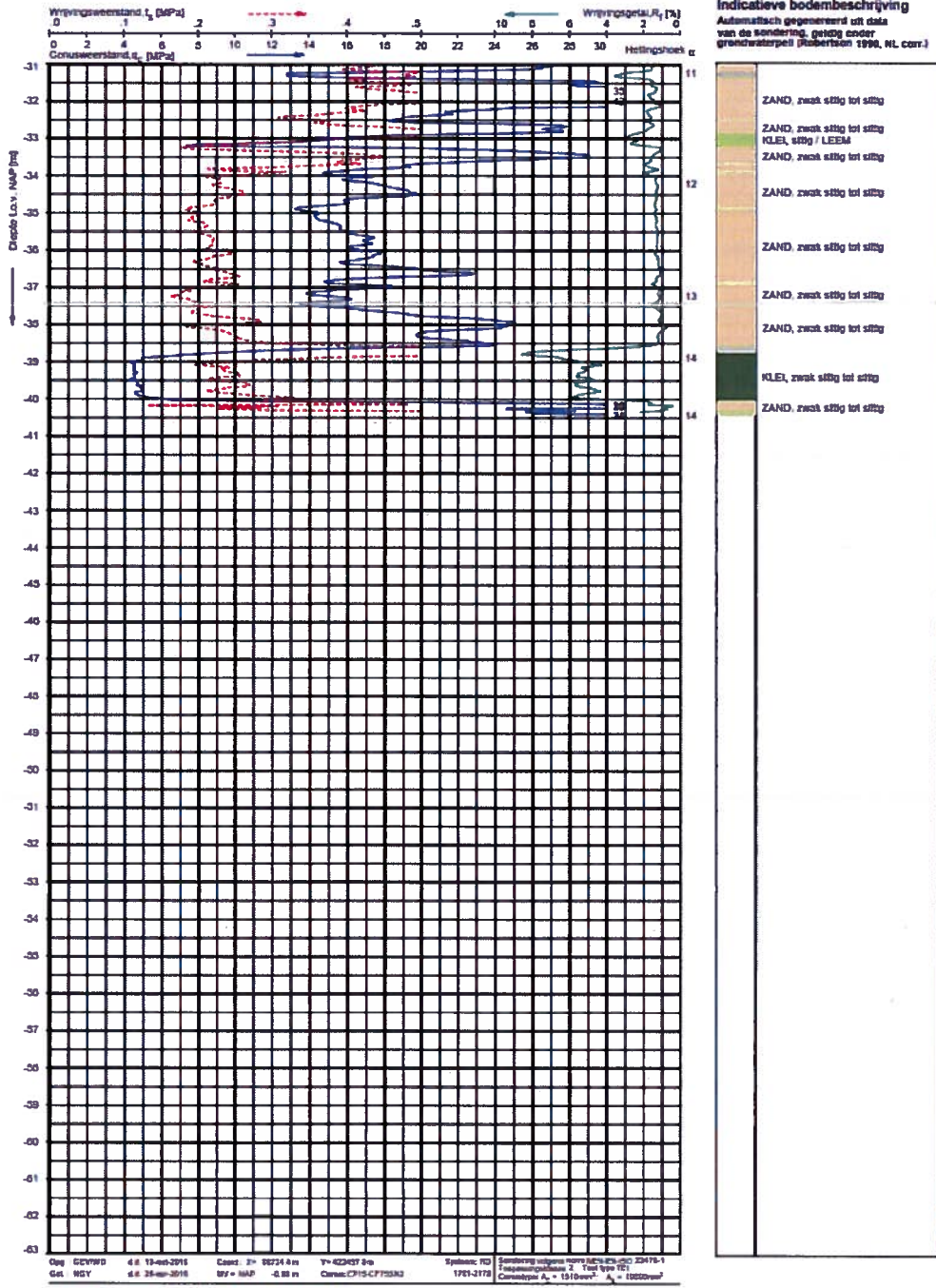
HSL-ZUID - MONITORING LOCATIE SCHULINGERVLIET

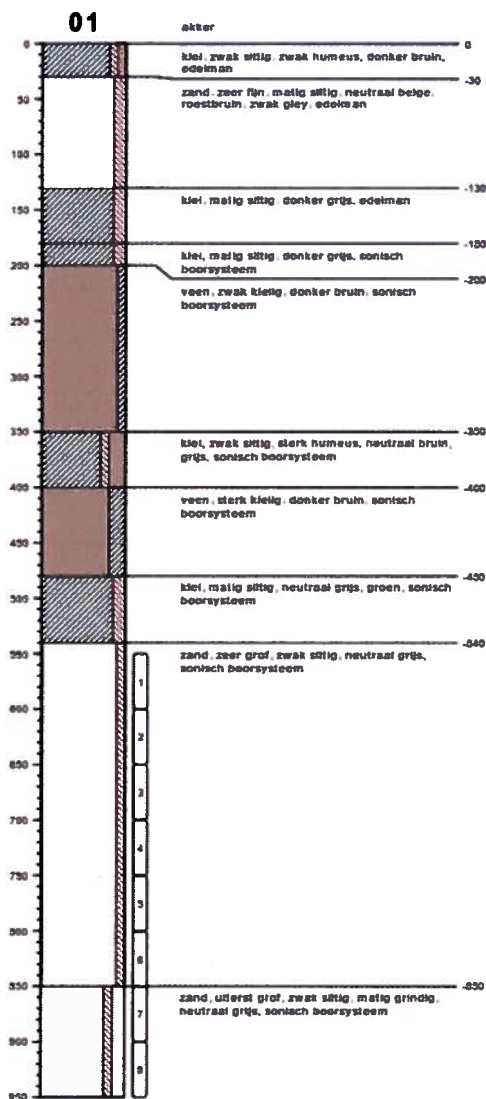
Opdr. 8016-0017-000  
 Sond. DKM4

091121 06-19-0017-000-2-1

0016-0017-000

DKM4-2





type **grootboring**  
datum **26-09-2016**  
boormeester **D. Swartjes**  
z **89719.82**  
y **422564.14**



P16-157.0023, meetpunt 01(1 van 2)



P16-157.0023, meetpunt 01(2 van 2)

## bodemprofielen schaal 1:50

onderzoek **VSF Puttershoek**  
projectcode **W16-041**  
rapportage datum **27-10-2016**  
getekend conform **NEN 5104**  
pagina **1 van 1**



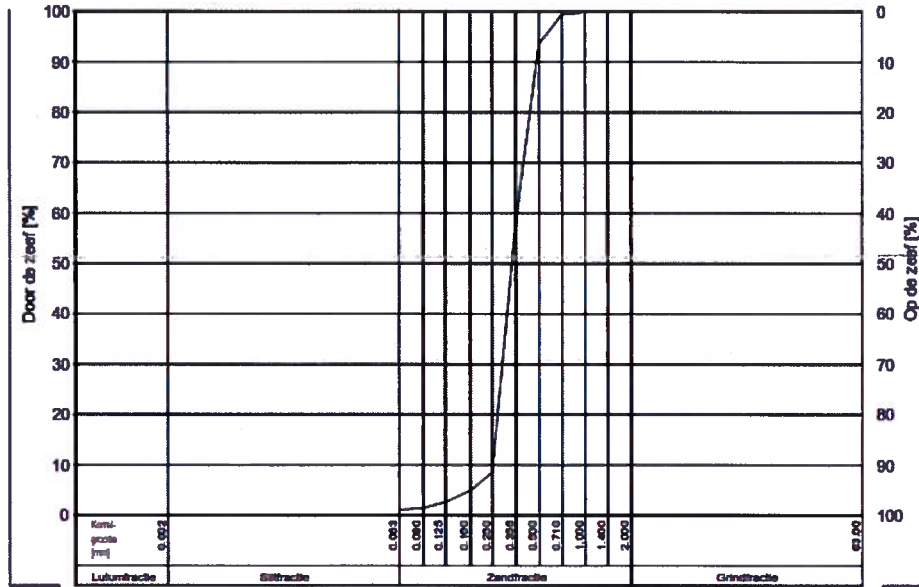
Opdracht : 1603387  
 Plaats : 's Gravendeel  
 Project : Zeefanalyse Schuilervliet (W16-041)

**KORRELVERDELING**

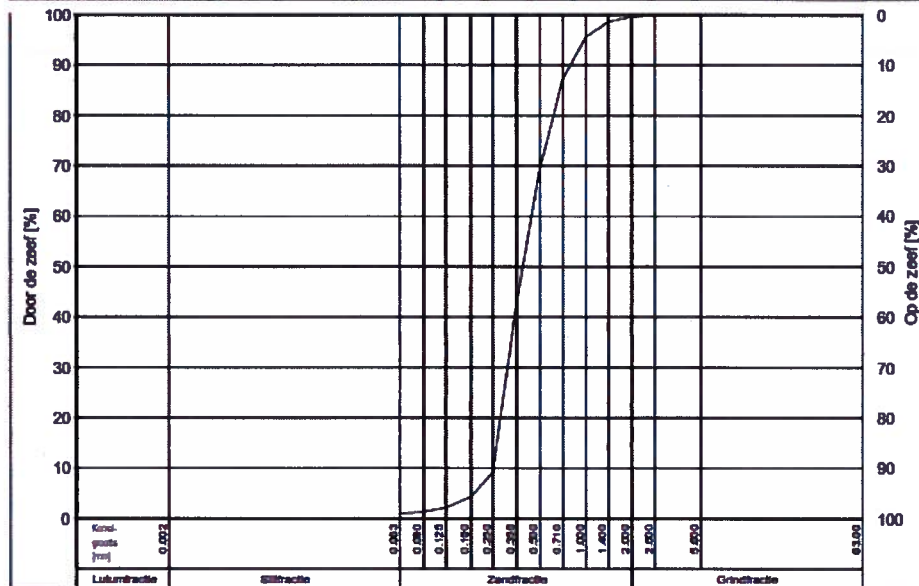
NEN 2560 (1980), NEN 5104 (1989)

Opm: W16-041

Boring	Monster	MV [m] to v. NAP	Diepte [m] to v. NAP	M <sub>z</sub> [µm]	D50 [µm]	D70 <sub>z</sub> [µm]	D60 <sub>z</sub> /D10 <sub>z</sub> [-]	Mg [mm]	k (Kozeny) [m/s](p=0.3)	<63µm<2mm [%]	>2mm [%]
1	1	-1.00	-7.50-8.00	336	335	399	1.43		11.06e-05	1.0	



Boring	Monster	MV [m] to v. NAP	Diepte [m] to v. NAP	M <sub>z</sub> [µm]	D50 [µm]	D70 <sub>z</sub> [µm]	D60 <sub>z</sub> /D10 <sub>z</sub> [-]	Mg [mm]	k (Kozeny) [m/s](p=0.3)	<63µm<2mm [%]	>2mm [%]
1	2	-1.00	-8.00-8.50	390	389	503	1.74	2.5	14.41e-05	0.9	0.38



MOS GRONDMECHANICA B.V.

Postbus 801, 3160 AA Rhoon - Tel: 088 51 30 200 - www.mosgeo.com



MOS GRONDMECHANICA

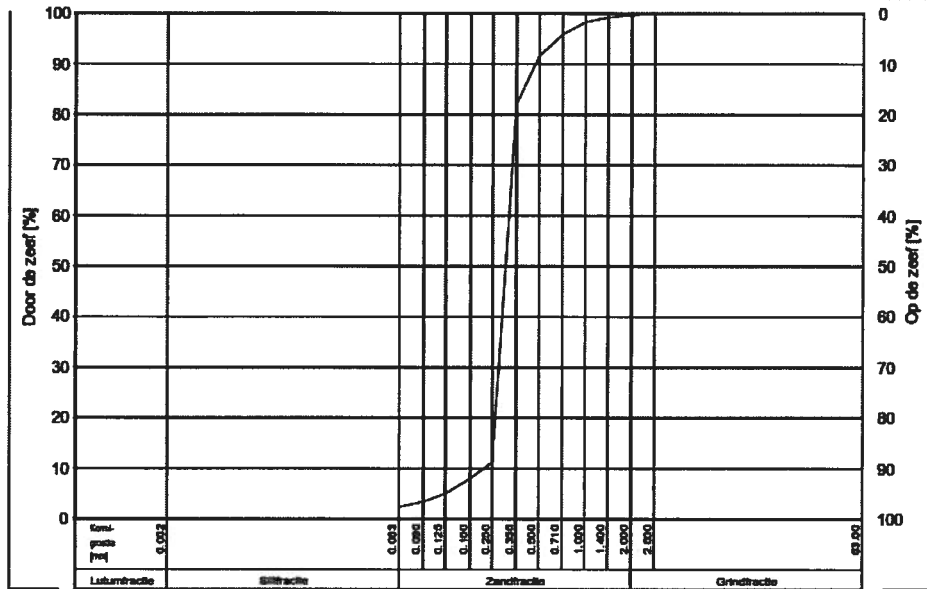
Opdracht : 1603387  
 Plaats : 's Gravendeel  
 Project : Zeefanalyse Schuilervliet (W16-041)

**KORRELVERDELING**

NEN 2560 (1980), NEN 5104 (1989)

Opm: W16-041

Boring	Monster	MV [m] Lo v NAP	Diepte [m] Lo v NAP	M <sub>s</sub> [µm]	D50 [µm]	D70 <sub>z</sub> [µm]	D60 <sub>z</sub> /D10 <sub>z</sub> [-]	Mg [mm]	k (Kozenij) [mVs](p=0.3)	<63µm<2mm [%]	>2mm [%]
1	3	-1.00	-8.50-9.00	304	303	335	1.27	2.4	7.60e-05	2.3	0.26



MOS GRONDMECHANICA



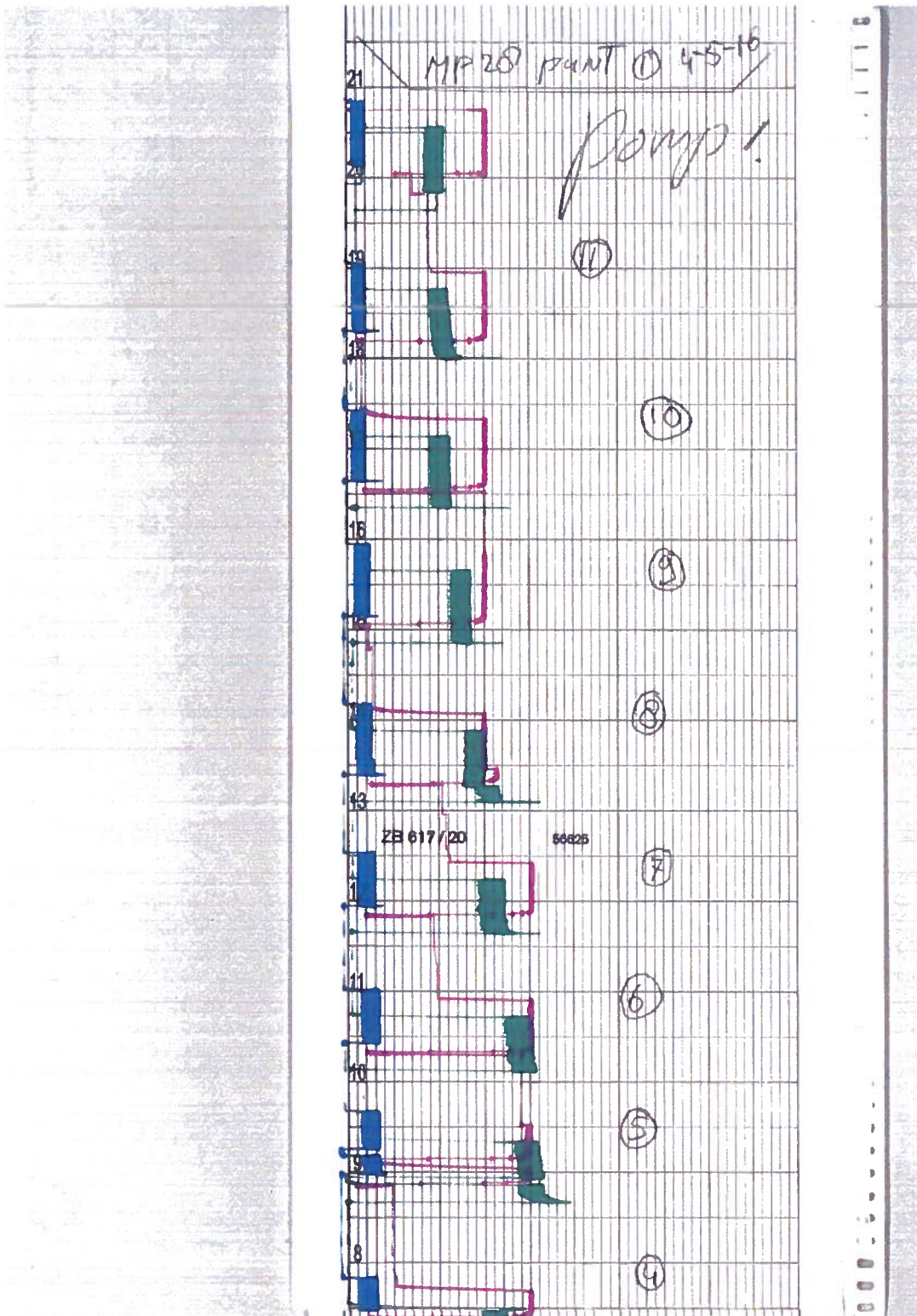


**Bijlage 2 Voorbeelden registratie (aangeleverd door VSF)**

Blauw druk: schaal 0-100MPa

Groen druk: schaal 0-10MPa

Paars: liter



<b>Volker Staal en Funderingen bv</b> Postbus 54548 3008KA ROTTERDAM Telefoon 010 - 299 22 88 Telefax 010 - 290 22 77	<b>Bijlage 7</b> <b>INJECTIESTAAT</b> <b>MANCHETTEBUIS</b>
---	--

KWALITEITSPLANNR.:	WERKNR.: W15-013	VOLGNR.:
Oprichtgever: <b>Boele &amp; van Eesteren</b>	Liters per punt:	
Plaats: <b>Hilversum</b>	Mengsel:	
Lengte manchettebuis:	Lengte blindbuis:	

**4 pomps container**

Manchette buis nummer	Punt	Datum	Liters	Druk	Pomp nr.	Opmerkingen

Opgesteld door: Handtekening:	Akkoord door: Handtekening:
----------------------------------	--------------------------------

\* Doorhalen wat niet van toepassing is

## A3 Invoer risico data base

naam KW	Kunstwerk		omschrijving	schadebeeld		risicogroep	risico analyse		maatregel		maatregelkosten per keer				periodiek € in plan			kosten onzeker		rest onzeker		
	type KW	onderdeel		ernst	omvang		risico	type	frequentie	effectiviteit	EenHeidsPrijs	eenheid	aantal	totale kosten	kans	per jaar	periode	onzekerheid	kans	rest risico	onzekerheid	
Westerik	HSL baan op zettingsvrije plaat/dijklichaam	zettingsvrije plaat (ZVP)	gevolgen van verdraaien onderliggende bak	nog niet opgetreden	plaatselijk	bedrijfsvoering	ontwerptolerantie vd baan wordt overschreden Infraspeed (beheerder) neemt geen verantwoordelijkheid meer voor de baan Prorail operationeel: kans op ongelukken	fixeren ZVP	eenmalig	redelijk	€ 500.000	kans	10%	€ 50.000					ZWe4	10%	€ 500.000 +/- 25%	
	Spoor halfverdiept onder HSL	open bak	bak verschuift horizontaal	serieus	plaatselijk	bedrijfsvoering	ontwerptolerantie vd baan wordt overschreden Infraspeed (beheerder) neemt geen verantwoordelijkheid meer Prorail operationeel: kans op ongelukken	terug leggen van de baan	eenmalig	redelijk	€ 200.000		1	€ 200.000	ZWe001	€ 200.000	-10%/+25%	ZWe002	10%	€ 400.000 +/- 15%		
			tunnelbak verdraait						monitoren			€ 400.000 kans € 15.000 jaar	10% 5	€ 40.000 € 75.000	ZWe003	€ 15.000	€ 75.000	-10%/+15%				
Schuilingervliet	zettingsvrije plaat op mv (ca 25 m lang)	zettingsvrije plaat	verschillende verticale zettingen bij voegen	ernstig	regelmatig	veiligheid	onacceptabe baan afwijking	herstel voegen	2018-21 st	goed	€ 83.600	per voeg	21	€ 1.755.600	ZSc001	€ 1.755.600	+/- 15%					
								operationeel	spoor wordt onberijdbaar	2019-17 st	goed	€ 83.600		17	€ 1.421.200	ZSc002	€ 1.421.200	+/- 15%				
										2020-10 st	goed	€ 83.600		10	€ 836.000	ZSc003	€ 836.000	+/- 15%				
										18-20 extra 54 na 2020-25 st	goed	€ 83.600		54	€ 4.514.400	ZSc010	€ 4.514.400	+/- 15%				
											goed	€ 83.600		25	€ 2.090.000	ZSc011	€ 2.090.000	+/- 15%				
										restrisico 50 stuks	€ 4.180.000	kans	15%	€ 627.000					ZSc008	15%	€ 4.180.000 +/- 15%	
										reparatie randbalk	€ 300.000	kans	50%	€ 150.000					ZSc004	50%	€ 300.000 +/- 25%	
										verplaatsen objecten	€ 200.000	kans	50%	€ 100.000					ZSc005	50%	€ 200.000 +/- 25%	
		monitoren grondonderzoek	€ 15.000 jaar € 25.000 onderzoek		5 1	€ 75.000 € 25.000	ZSc006	€ 15.000	€ 75.000	-10%/+15%	ZSc007	€ 25.000	+20%/- 10%									
Rijpwetering	zettingsvrije plaat op grondlichaam en viaduct	zettingsvrije plaat	horizontale verplaatsing	ernstig	regelmatig	operationeel	spoor wordt onberijdbaar	uitvoeren aanvullend onderzoek	eenmalig	geen	€ 10.000	jaar	25	€ 250.000	ZRi001	€ 10.000	€ 250.000	-10%/+15%				
								- monitoren	€ 5.000	onderzoek	25	€ 125.000	ZRi002	€ 125.000	+/- 25%							
								- meten kracht id ankers	€ 40.000	onderzoek	1	€ 40.000	ZRi003	€ 40.000	+/- 25%							
								- controle drainage	€ 20.000	onderzoek	1	€ 20.000	ZRi004	€ 20.000	+/- 25%							
								- plaatsen peilbuizen	€ 50.000	onderzoek	1	€ 50.000	ZRi005	€ 50.000	+/- 25%							
								- respons zettingsvrije plaat	€ 10.000	onderzoek	1	€ 10.000	ZRi006	€ 10.000	+/- 15%							
								- meting respons oplegblok	€ 40.000	onderzoek	1	€ 40.000	ZRi007	€ 40.000	+25%/- 15%							
								- testen oplegblok											ZRi008	€ 50.000	+/- 25%	
								herstel taludbekleding	eenmalig	goed	€ 50.000		1	€ 50.000								
								uitbreiding drainage systeem	eenmalig	onbekend	€ 125.000	kans	25%	€ 31.250						ZRi004	25%	€ 125.000 +/- 30%
								herstel oplegblok	eenmalig	goed	€ 100.000	kans	20%	€ 20.000						ZRi010	20%	€ 100.000 +25%/- 15%
		bijplaatsen damwanden	eenmalig	onbekend/goed?	€ 2.000.000	kans	15%	€ 300.000					ZRi011	15%	€ 2.000.000 +/- 25%							
TOTAAL											€ 12.895.450				€ 400.000			€ 11.177.200		€ 1.318.250		

## A4    **Berekening kosten conform SSK**

# RAPPORT

## **HSL Zuid**

Risico analyse verplaatsingen/zettingen

Klant: ProRail

Referentie: BF4341-R001-F0.1

Versie: 0.1/Finale versie

Datum: 3 juli 2018

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Postbus 2202  
3500 GE Utrecht  
Netherlands  
Transport & Planning  
Trade register number: 56515154

+31 88 348 55 00 **T**  
rail.commercie@rhdhv.com **E**  
royalhaskoningdhv.com **W**

Titel document: HSL Zuid

Ondertitel:  
Referentie: BF4341-R001-F0.1  
Versie: 0.1/Finale versie  
Datum: 3 juli 2018  
Projectnaam: Onderzoeksmethode verplaatsingen  
Projectnummer: BF4341  
Auteur(s): Jack Sip

Opgesteld door: Jack Sip

Gecontroleerd door: Joost Sanders

Datum/Initialen: 03-07-2018

Goedgekeurd door: Joost Sanders

Datum/Initialen: 03-07-2018

Classificatie

Projectgerelateerd



## Disclaimer

*No part of these specifications/printed matter may be reproduced and/or published by print, photocopy, microfilm or by any other means, without the prior written permission of HaskoningDHV Nederland B.V.; nor may they be used, without such permission, for any purposes other than that for which they were produced. HaskoningDHV Nederland B.V. accepts no responsibility or liability for these specifications/printed matter to any party other than the persons by whom it was commissioned and as concluded under that Appointment. The integrated QHSE management system of HaskoningDHV Nederland B.V. has been certified in accordance with ISO 9001:2015, ISO 14001:2015 and OHSAS 18001:2007.*

## Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Beschikbare informatie</b>	<b>1</b>
2.1	Westrik	1
2.2	Schuilingsvliet	2
2.3	Rijpwetering	2
<b>3</b>	<b>Risico analyse</b>	<b>3</b>
3.1	Methode	3
3.2	Algemeen	3
3.3	Westrik	4
3.4	Schuilingsvliet	4
3.5	Rijpwetering	4
<b>4</b>	<b>Toelichting op invoer en presentatie</b>	<b>4</b>

## Bijlagen

A1	Methode voor risico analyse en kostenraming
A2	Informatie van ProRail voor uitvoering van het project
A3	Invoer risico data base
A4	Berekening kosten conform SSK



## 1 Inleiding

Op 3 locaties langs de HSL zijn in kunstwerken verplaatsingen en zettingen geconstateerd. De vervormingen worden gemonitord en er zijn onderzoeken uitgevoerd naar oorzaak en noodzakelijk herstel. De locaties zijn:

- Westrik
- Schuilingervliet
- Rijpwetering

De opgetreden vervormingen vereisen herstel werk, waarvan de omvang en de effectiviteit maar deels bekend zijn, zodat risico's en kosten daarmee niet eenduidig zijn vast te stellen.

Door RHDHV is een voorstel gedaan om ondanks de onzekerheden toch informatie over de kosten te kunnen verstrekken. (zie bijlage 1).

Dit rapport beschrijft de uitkomsten van de voorgestelde aanpak voor de bepaling van kosten en risico's voor de verplaatsingen/zettingen van de 3 genoemde kunstwerken op basis van de per juni 2018 beschikbare informatie<sup>1</sup>.

## 2 Beschikbare informatie

De informatie voor verplaatsingen en zettingen is gebaseerd op mondelinge informatie over de status van het projecten en (tussen) rapportages van nader onderzoek en herstel werkzaamheden verstrekt door ProRail. In bijlage 2 is aangegeven welke informatie van ProRail is ontvangen voor het uitvoeren van de werkzaamheden. De informatie bestaat uit door externe deskundige opgestelde documenten voor Schuilingervliet en Rijpwetering, een memo waarin de mondeling door ProRail verstrekte informatie over Westrik is vastgelegd en een mail van ProRail over de kosten van herstel werkzaamheden in Schuilingervliet. Voor Schuilingervliet zijn inmiddels aanpassingen uitgevoerd, de (financiële) gegevens vanuit de uitvoering zijn in dit rapport verwerkt evenals de resultaten van verdere waarnemingen van de zettingen op deze locatie.

### 2.1 Westrik

Tijdens de aanleg van een tunnel onder de HSL zijn (horizontale) verplaatsingen van de tunnel ontstaan en is ook de baan van de HSL horizontaal verplaatst. De tunnel is daarom voorzien van ankers die hebben gezorgd voor stabilisering van de tunnel. De verplaatsingen van de HSL zijn zo groot dat het maximum van de tolerantie in de bevestiging van de baan is bereikt en het einde van de stelmogelijkheden van de baan is bereikt. Recentelijke zijn door ProRail geen verplaatsingen van de HSL meer gemeld.

Op basis van de huidige situatie volgt ProRail de volgende werkwijze:

- Naar verwachting zal begin 2018 de verbindingsboog van Breda naar Antwerpen in gebruik worden genomen.
- Hoewel niet verwacht, is niet uit te sluiten dat deze verandering in belastingen vanuit de tunnel, verdere verplaatsingen van de HSL kan veroorzaken.
- Daarom zal de monitoring van de HSL worden geïntensiveerd, zodra de boog Antwerpen Breda in gebruik wordt genomen.

---

<sup>1</sup> Dit rapport is een aanpassing van het rapport BF4341-R001-EO-1 dd 2 20 oktober 2017. De wijzigingen hebben betrekking op nieuwe informatie die van ProRail is ontvangen voor Schuilingervliet.

- Bij toenemende vervorming zijn nog geen uitgewerkte maatregelen gedefinieerd.
- Indien geen verdere vervorming wordt geconstateerd, zal over een lengte van ca 80m de spoorbevestiging van de HSL op de baan worden verplaatst, zodat er weer tolerantie en stelmogelijkheden in de bevestiging beschikbaar komen. Het principe voor het uitvoeren van de verplaatsing van de bevestiging is volgens opgave van ProRail reeds beproefd op een testlocatie in Vlaardingen.

## 2.2 Schuilingervliet

Op de locatie Schuilingervliet bestaat de baan van de HSL uit een laaggelegen zettingsvrije plaat gefundeerd op korte palen.

Op deze locatie zijn in lengterichting verticale verplaatsingsverschillen ontstaan tussen de platen aan beide zijde van de voeg. Het lijkt erop dat het draagvermogen van palen bij de overgangen tussen zettingsvrije platen onvoldoende is.

In 2016 zijn herstel werkzaamheden uitgevoerd bij een voegconstructie waar de grootste verschilverplaatsingen tussen de zettingsvrije platen zijn vastgesteld. De herstel werkzaamheden bestaan uit het injecteren van de grond juist onder en langs de paalpunt van de palen.

Volgens de informatie van ProRail hebben recente metingen aangetoond dat ter plaatse van de voegconstructies, waar rond de palen de grond is geïnjecteerd, de vervormingen niet zijn toegenomen terwijl bij andere (niet geïnjecteerde) voegen de verschillen wel zijn toegenomen. De toegepaste methode wordt daarom door ProRail succesvol genoemd en wordt in de komende jaren bij 127voegconstructies toegepast. Dit zijn alle voegen waar op dit moment deformaties zijn waargenomen.

De strategie die voor deze locatie door ProRail wordt gevolgd bestaat uit:

- In de komende jaren is voorzien dat ter plaatse van alle voegen waar substantiële verplaatsingsverschillen zijn vastgesteld, de grond rond de palen zal worden geïnjecteerd.
- De verwachting is dat de meest gevoelige locaties daarmee zijn hersteld.
- De monitoring aan de baan zal worden gecontinueerd.
- Hoewel op dit moment geen andere locaties bekend zijn waar problemen zijn geconstateerd, is het niet uit te sluiten dat in de toekomst grouten rond de palen op andere locaties is vereist met een vergelijkbare constructief ontwerp.

## 2.3 Rijpwetering

De HSL baan bij Rijpwetering bestaat uit een hooggelegen betonnen plaat op verticale palen. Vanwege de hoogte van de baan is tijdens de bouw een aardebaan aangebracht van waaraf de palen zijn geplaatst en waarop de betonnen plaat is aangebracht.

De oorspronkelijke grondslag onder de aardebaan bestaat uit sterk samendrukbare grond, die onder de belasting van de aardebaan zowel horizontaal als verticaal verplaatst. Varianties in de ondergrond en de op korte afstand aanwezige baan van RW4 maken dat de vervormingen niet gelijkmatig zijn. Er zijn metingen gedaan aan de al opgetreden verplaatsingen en berekeningen naar de consequenties daarvan voor zowel de baan als de palen van de HSL.

Door een aantal externe deskundigen zijn de resultaten van de beschikbare gegevens samengevat in het rapport "HSL- Zuid Externe Toetsing Baanverplaatsing Rijpwetering Eindrapport 2.2 datum 8 september 2017".

De belangrijkste informatie uit die rapportage is:

- De palen vertonen horizontale vervormingen, die groter zijn dan normaliter acceptabel is voor betonnen constructies. Echter het verticale draagvermogen van de palen blijft voldoende om de HSL baan te ondersteunen zodat er geen constructieve onveiligheid is
- Eventuele scheurvorming in de palen door de horizontale vervormingen is niet schadelijk en heeft geen invloed op de constructieve veiligheid.
- De horizontale vervormingen van de baan zijn nog binnen de normen. De verwachting is dat deze vervorming langzaam zullen stoppen in de tijd. Tussen de betonnen baan van de HSL en de top van de aardebaan is ruimte ontstaan. De horizontale stijfheid van de baan wordt daardoor verlaagd. De ruimte van de opening is thans nog niet zo groot dat opvulling vereist is.
- Om de horizontale vervormingen te beperken wordt overwogen kerende constructies te plaatsen. Omvang en locatie van deze kerende constructie zijn nog niet bekend.
- In ieder geval is minimaal 1 keer per jaar monitoring van de baan nodig om zeker te weten dat de thans verwachte verplaatsing niet worden overschreden.

Op basis van de bevindingen zijn in het rapport de volgende acties voorgesteld, die als basis dienen voor het vaststellen van de risico's en de kosten:

- |      |  |
|------|--|
| I    | Voorzetten monitoring verplaatsingen voor alle baansecties en kunstwerk  |
| II   | Vaststellen van werkelijke kracht in voorspanankers door het trekken van 1 op 3 ankers tot moer lost.                                |
| III  | Controleren werking en waar mogelijk uitbreiden drainage baanlichaam en drainage tussen A4 en HSL.                                   |
| IV   | Bijplaatsen peilbuizen (zodanig dat er minimaal 3 peilbuizen per sectie aanwezig zijn)   |
| V    | Onderzoeken respons ZVP en kunstwerk door middel van versnellingsopnemers tijdens 52-urige TVP                                       |
| VI   | Onderzoeken respons per oplegblok van het kunstwerk en indien nodig invullen minder dragende oplegging.                              |
| VII  | Verkrijgen van informatie over bezwijkgedrag oplegblokken, dan wel deze in laboratorium vervormingsgestuurd beproeven tot bezwijken. |
| VIII | Het herstellen van de taludbekleding onder het zuidelijk landhoofd van het kunstwerk.  |

## 3 Risico analyse

### 3.1 Methode

De methode om de onzekerheden over de status van de kunstwerken en de noodzaak en de omvang van de herstelwerkzaamheden te kwantificeren, is beschreven in bijlage 1.

De verwerking van de gegevens is gepresenteerd in bijlage 3 en 4. De invoer gegevens voor de onzekerheden zijn vastgesteld op basis van de gegevens die door ProRail zijn verstrekt.

### 3.2 Algemeen

De informatie die momenteel verstrekt is over de herstelwerkzaamheden voor de kunstwerken, is verdeeld naar de volgende aspecten:

- Herstel werkzaamheden en toekomstige controles die zeker nodig zijn.
- Werkzaamheden, die met een nader te bepalen kans nodig zijn. Dit kunnen maatregelen zijn voor onderdelen die door de voorziene herstelwerkzaamheden nog niet worden verbeterd en/of werkzaamheden die in omvang groter zijn dan wat thans als afdoende wordt beschouwd.

De specifieke acties die daarvoor per kunstwerk nodig zijn, zijn in hoofdstuk 2 vermeld. Daarnaast is in overleg met ProRail vastgesteld welke belangrijke onzekerheden in de voorgenomen maatregelen bestaan. Deze onzekerheden zijn moeilijk te kwantificeren, omdat de intensiteit van de treinen en ook het type trein dat gebruik maakt van de HSL over de laatste jaren niet gelijk zijn geweest.

Er worden derhalve permanent metingen aan de HSL baan uitgevoerd om de risico's op onverwachte vervormingen te kunnen beheersen.

In bijlage 3 zijn alle invoergegevens vermeld om tot een schatting te kunnen komen van de risico's en kosten.

### **3.3 Westrik**

Voor Westrik is vastgesteld dat er momenteel geen vervormingen meer zijn. De impact van treinen die over de boog vanaf Breda gaan rijden is echter niet bekend zodat er rekening is gehouden met mogelijke aanvullende activiteiten met 10% kans van optreden.

### **3.4 Schuilingervliet**

Voor Schuilingervliet is in hoofdstuk 2 aangegeven, dat er een succesvolle herstelmethode bestaat. Deze methode zal op de 127 voegconstructies met de grootste vervormingen worden toegepast. Echter ook is bekend dat over een groter deel van de HSL vergelijkbare constructies zijn toegepast. Daarom is voor de risico's en kosten benadering rekening gehouden dat in de toekomst meer voegconstructies herstel vereisen. (50 extra voegen met een kans van optreden van 15%).

### **3.5 Rijpwetering**

Voor Rijpwetering is in hoofdstuk 2 aangegeven, dat er de huidige situatie weliswaar niet voldoet aan vigerende ontwerpuitgangspunten, maar dat vooralsnog geen ingrijpende herstelwerkzaamheden nodig lijken. Daarom is er voor Rijpwetering naast de kosten voor de maatregelen vermeld in hoofdstuk 2, rekening met extra kosten voor het plaatsen van beschermende maatregelen met een kans van optreden van 25%.

## **4 Toelichting op invoer en presentatie**

Bijlage 3 geeft de invoer alle gegevens conform de hiervoor beschreven methode. De resultaten van bijlage 3 zijn vervolgens verwerkt volgens de SSK systematiek en gepresenteerd in bijlage 4.

Op basis van de inzichten ten tijde van deze rapportage zijn de totale kosten voor herstel en de risico's geraamd op ca €27.5 miljoen met een variatie tussen ca €20.5 miljoen en ca €34 miljoen.

## A1 Methode voor risico analyse en kostenraming

# De Risicoanalyse HSL Zuid

Onderzoeksaanpak  
Beton degeneratie en zettingen/verplaatsingen HSL zuid

Klant: Ministerie Milieu & Infrastructuur

Referentie: T&PBF4341R001F1.0

Versie: 1.0/Finale versie

Datum: 2 oktober 2017

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Leidseveer 4  
3511 SB Utrecht  
Netherlands  
Transport & Planning  
Trade register number: 56515154

+31 88 348 55 00 **T**  
info@rhdhv.com **E**  
royalhaskoningdhv.com **W**

Titel document: Onderzoeksaanpak Risicoanalyse HSL Zuid

Ondertitel: betondegeneratie en zettingen/verplaatsingen  
Referentie: T&PBF4341R001D0.3  
Versie: 1.0/Finale versie  
Datum: 2 oktober 2017  
Projectnaam: RA HSL Zuid  
Projectnummer: BF4341  
Auteur(s): Ed Antoine, Jack Sip

Opgesteld door: Ed Antoine

Gecontroleerd door: Jack Sip

Datum/Initialen:

Goedgekeurd door: Jack Sip

Datum/Initialen:

Classificatie

Alleen voor intern gebruik



## Disclaimer

*No part of these specifications/printed matter may be reproduced and/or published by print, photocopy, microfilm or by any other means, without the prior written permission of HaskoningDHV Nederland B.V.; nor may they be used, without such permission, for any purposes other than that for which they were produced. HaskoningDHV Nederland B.V. accepts no responsibility or liability for these specifications/printed matter to any party other than the persons by whom it was commissioned and as concluded under that Appointment. The integrated QHSE management system of HaskoningDHV Nederland B.V. has been certified in accordance with ISO 9001:2015, ISO 14001:2015 and OHSAS 18001:2007.*

## Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Methodebeschrijving risicoanalyse</b>	<b>3</b>
2.1	Inleiding	3
2.2	Uitwerking	3
2.3	Onderzochte informatie	4
2.4	Stappenplan Risico analyse	4
2.4.1	Classificatie kunstwerken	5
2.4.2	Inventarisatie schade	6
2.4.3	Risico classificatie	7
2.4.4	Maatregelen	8
2.4.5	Restrisico's	9
2.4.6	Risico database	9
2.5	Verwerken onderzoeksresultaten	10
2.6	Werksessies	11
2.7	Rapportage	11

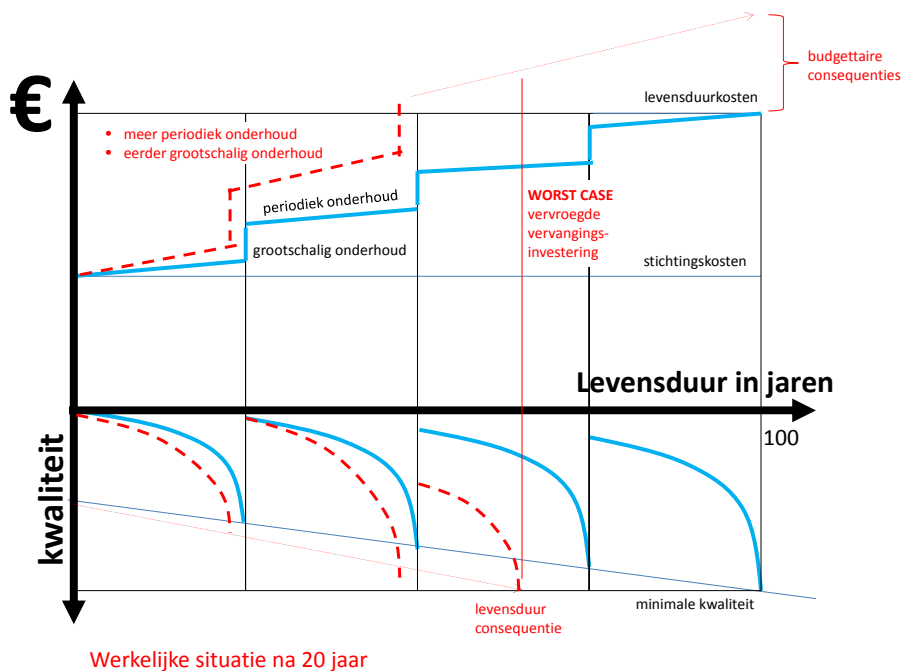


## 1 Inleiding

Aan de HSL Zuid baan zijn gebreken geconstateerd, die bestaan uit ongewenste verplaatsingen/zettingen van kunstwerken en uit degeneratie van beton. De oorzaak en de omvang van de gebreken zijn slechts voor een deel bekend, waardoor ook de kosten die voor herstelwerkzaamheden nodig kunnen zijn, niet te bepalen zijn.

RHDHV heeft van het ministerie van I&M opdracht gekregen om op basis van de beschikbare gegevens een risicoanalyse te maken en op basis daarvan een schatting te maken van de kosten. De methode waarop uitvoering wordt gegeven aan de opdracht wordt in dit rapport beschreven.

Het doel van de opdracht is in de volgende figuur schematisch is weergegeven.



figuur 1 Effect van versnelde degeneratie en verplaatsingen op levensduur en kosten van een kunstwerk

## 2 Methodebeschrijving risicoanalyse

### 2.1 Inleiding

De wijze waarop risico's en kosten worden bepaald zonder dat volledig inzicht bestaat over de achterliggende schade en de noodzakelijke maatregelen vereist een bijzondere aanpak. Bij een traditionele opzet van een risico evaluatie is te verwachten dat er geen duidelijke resultaten worden bereikt. Dit kan zich uiten in een (te) grote bandbreedte of zelfs geen resultaat bijvoorbeeld als niet kan worden bepaald hoe een beheersmaatregel of herstelwerk uitgevoerd kan worden terwijl de HSL in gebruik is.

Het voorgaande is ook in de aanvraag onderkend, zodat I&M voorstelt het door RWS gebruikte Issue model toe te passen voor Vervanging & Renovatie (V&R).

Centraal in de Issue Analyse Methode staan de 'hoe' en 'waarom' vragen. Deze methode helpt om een logische ordening aan te brengen tussen de verschillende aspecten, de reeds aanwezige informatie en mogelijke resultaten van de lopende onderzoeken.

- het gebrek aan duidelijkheid over de schade zelf (voorafgaand aan de risicoanalyse en op basis van de beschikbare informatie en kennis) en de oorzaak van de schade.
- de gevolgen van de schade; de verschillende risico's die er zijn door betonschade en verplaatsingen; constructief falen en/of losraken van betondelen tijdens de exploitatie.
- het formuleren van mogelijke beheersmaatregelen en deze te classificeren naar effectiviteit op de reductie van schade, kosten en uitvoerbaarheid.
- de impact van het uitvoeren van de beheersmaatregelen op de bedrijfsvoering van de HSL-Zuid te beoordelen, die te kwantificeren in tijd en kosten en die vervolgens onderdeel te maken van de risico analyse.

Hoewel de "schade" mechanismes verschillend zijn, wordt de methode zowel voor zettingen/verplaatsingen als voor beton degeneratie toegepast.

### 2.2 Uitwerking

RHDHV heeft de methode uitgewerkt en daarbij rekening gehouden met de door I&M aangegeven tranches voor de uitvoering. Voor de verplaatsingen wordt uitgegaan van één tranche (tranche 1), voor de beton degeneratie zijn de volgende tranches van toepassing:

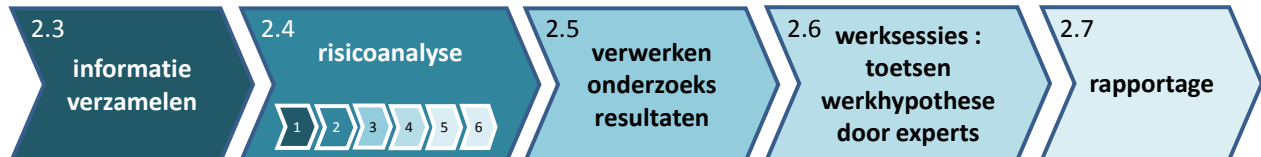
- tranche 1 betreft het voorbereiden van de risicoanalyse, het formuleren van een eerste initiële werkhypothese betreffende TRN<sup>1</sup> en deze toetsen met een expertgroep in een interactieve sessie.
- tranche 2 betreft het aanscherpen van de initiële werkhypothese en het onderzoek en de risicoanalyse verder uitbreiden naar 5 garantieobjecten. Deze tranche wordt afgesloten met een rapportage.
- tranche 3 betreft het verder uitbreiden van de risicoanalyse naar andere objecten van HSL Zuid.

De scope van het huidige onderzoek omvat tranche 1 en 2. De voorgestelde aanpak is er op gericht dat tranche 3 op vergelijkbare wijze kan worden uitgewerkt en wordt toegevoegd aan de resultaten van tranche 1 en 2.

---

<sup>1</sup> TRN = Tunnel Rotterdam Noord

De stappen in het onderzoek zijn voor elke tranche vergelijkbaar, de diepgang en scope kunnen veranderen, afhankelijk van de onderzoeksresultaten. Deze stappen zijn in figuur 2 schematisch weergegeven en zijn in de volgende hoofdstukken nader uitgewerkt. De risicoanalyse is nog weer onderverdeeld in 6 stappen welke nader zijn uitgewerkt in hoofdstuk 2.4.



figuur 2 onderzoek stappen betondegeneratie

## 2.3 Onderzochte informatie

Omdat er zeer veel informatie beschikbaar is en er tal van lopende onderzoeken zijn is besloten geen nieuwe technische onderzoeken te starten. Op basis van bestaande onderzoeken en rapporten is de aanpak in dit hoofdstuk nader uitgewerkt.

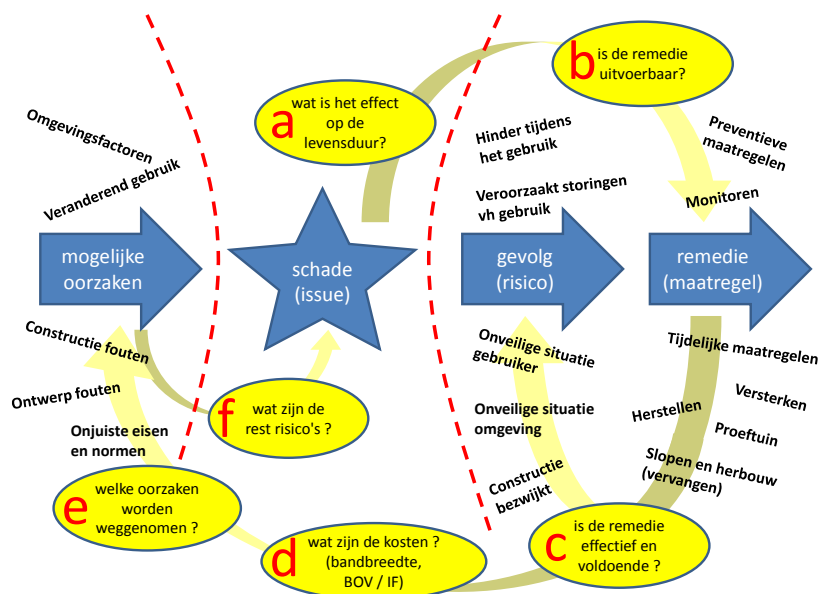
De resultaten van de lopende onderzoeken van ProRail en TNO worden in het najaar van 2017 verwacht. Daarnaast is een vervolg onderzoek voorzien naar de betonkwaliteit van kunstwerken in de HSL. Dit onderzoek is thans in voorbereiding en afronding wordt verwacht medio 2018.

## 2.4 Stappenplan Risico analyse

RHDHV heeft het volgende concept neergelegd voor de risicoanalyse, zie figuur 3. De risicoanalyse gaat uit van de centrale vraag 'welke kosten zijn nodig om de schade te herstellen en indien mogelijk de oorzaken zoveel mogelijk weg te nemen of te reduceren en wat is het effect hiervan op het in de begroting gereserveerde budget?'.

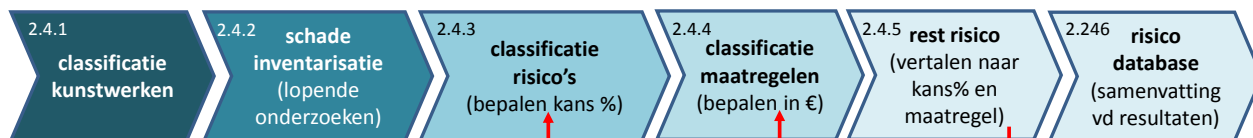
Afhankelijk van de aard, ernst en omvang van de schade worden maatregelen geformuleerd die bij een schadebeeld horen. Elke maatregel wordt beoordeeld op uitvoerbaarheid en effectiviteit. De uitvoerbaarheid wordt in sterke mate bepaald door de bedrijfsvoering en dienstregeling van de HSL waarbij beperkte "tijd slots" beschikbaar zijn voor het uitvoeren van maatregelen. Met de toets op effectiviteit wordt onderzocht of de maatregel daadwerkelijk verdere schade voorkomt of beperkt en welke restrisico's er over blijven.

Als de maatregel uitvoerbaar en effectief is kunnen de kosten in kaart worden gebracht met een inschatting van de bandbreedte en informatie of het periodieke of eenmalige kosten zijn. Tegelijk kan worden gekeken of er mogelijke oorzaken met de maatregel in verband kunnen worden gebracht, of deze mogelijke oorzaken geheel of gedeeltelijk kunnen worden weggenomen en welke restrisico's overblijven. Waarna de cyclus zich weer herhaalt met de vraag 'wat is het effect op het te reserveren budget?'.



figuur 3 concept risicoanalyse

Het voorgaande concept is vertaald in onderstaande stappen, zie figuur 4. Deze stappen zijn in de volgende hoofdstukken nader uitgewerkt.



figuur 4 stappen risicoanalyse

De resultaten van deze analyse worden per stap systematisch verzameld en vastgelegd in een risico database.

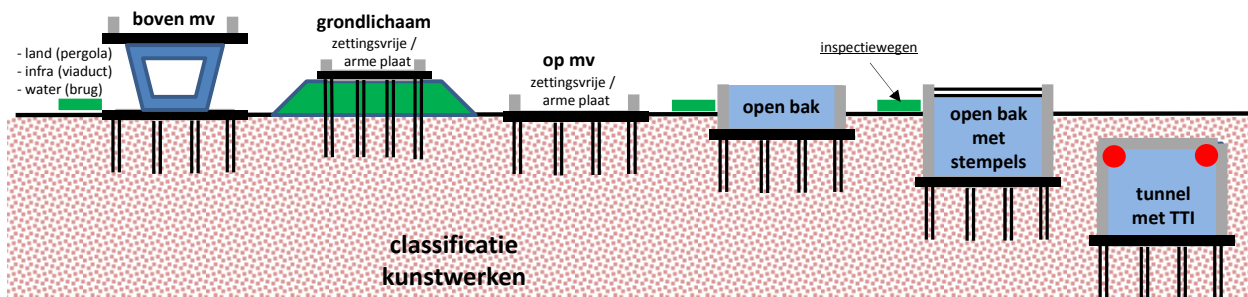
## 2.4.1 Classificatie kunstwerken

Voor het uitwerken van de beton degeneratie wordt in eerste aanleg een beperkt aantal kunstwerken onderzocht<sup>2</sup>, maar het einddoel is om voor de gehele HSL-Zuid een risicoanalyse te maken. Daartoe is het nodig de kunstwerken en onderdelen van kunstwerken te classificeren. Dit vereenvoudigt de risicoanalyse en maakt het statistisch mogelijk te onderzoeken of er correlaties zijn tussen schadebeelden en (onderdelen) van kunstwerken.

De classificatie van de kunstwerken is in figuur 5 schematisch weergegeven.

Voor verplaatsingen/ zettingen zijn zowel de kunstwerken als de schade mechanismes zo verschillend dat de 3 betrokken kunstwerken elk afzonderlijk worden behandeld.

<sup>2</sup> In tranche 1 wordt alleen TRN onderzocht en in tranche 2 worden 5 garantie objecten toegevoegd. In tranche 3 worden meer objecten toegevoegd, maar die vallen buiten de scope van de huidige opdracht. In de opzet van de analyse is rekening gehouden met het uitbreiden van het aantal objecten.



figuur 5 schema kunstwerk classificatie

Als voorbeeld bestaat de tunnel Rotterdam Noord (TRN) samengesteld uit 3 verschillende classificaties, (i) open bak, (ii) open bak met stempels en (iii) het gesloten deel (tunnel) met de tunnel technische installaties (TTI). Er kan schade zijn aan de wanden, de stempels, het dek/dak, de Tunnel Technische Installatie (TTI) of aan de omgeving zoals de inspectiepaden etc.

In de risico database zijn de volgende labels opgenomen:

- naam of identificatie van het kunstwerk
- type kunstwerk
- onderdeel van het kunstwerk

Voor de overige objecten geldt dezelfde aanpak.

## 2.4.2 Inventarisatie schade

Er zijn een aantal lopende onderzoeken van TNO en ProRail naar schadebeelden en eventuele mogelijke oorzaken. Deze onderzoeken zijn nog gaande.

De volgende onderzoeken zijn gaande en waar beschikbaar is aangegeven wat de verwachte datum is waarop de gegevens beschikbaar zullen zijn:

- onderzoek door TNO naar betondegeneratie in opdracht van ProRail
- Onderzoek kwaliteit van de betonnen stempels in de TRN, deels in overleg met de aannemer (2016 en eind 2017). Onderdeel van dit werk is een analyse van mogelijke herstelwerkzaamheden.
- De resultaten van de vorige acties zijn input voor het eventueel opzetten van proeftuintjes. Dat zijn methoden om de herstelwerkzaamheden in de praktijk te testen. In de werksessies wordt onderzocht of proeven nodig zijn.
- In de praktijk te testen kap Barendrecht voor zover het de buizen voor de HSL betreft. Dit onderzoek start begin september 2017 in opdracht van ProRail. Afronding is voorzien voor in 2017.
- Grootschalig onderzoek naar geselecteerde objecten van HSL Zuid. De eerste resultaten worden in de eerste helft van jaar van 2018 verwacht.
- Onderzoek door SBR-CURnet in opdracht van ProRail naar de oorzaken van mosgroei. De afronding is rond december 2017 voorzien. Dit onderzoek heeft geen primaire focus voor de risicoanalyse, maar kan secundair inzicht geven op het effect van de voorgestelde maatregelen op mosgroei.

Uit de lopende onderzoeken moet blijken welke onderdelen van de kunstwerken zijn aangetast en wat de mate van aantasting is. De plaats, ernst en omvang van de aantasting zijn van invloed op het risico van het schadebeeld.

De mate van aantasting zal verder worden gestandaardiseerd bij het bestuderen van de onderzoeken. Te denken valt aan de volgende indeling:

- vervuild, geen/geringe oppervlakte schade
- mosgroei, geen/geringe oppervlakte schade
- matig schade: zichtbare scheuren (geen afbreuk aan functionaliteit)
- serieuze schade: beton is geschilderd (functionaliteit kan in gevaar komen als er geen maatregelen worden genomen)
- ernstige oppervlakte schade, de wapening of roestvorming is zichtbaar (functionaliteit in gevaar)

Ook de omvang van de schade is van belang. In de NEN2767 wordt de volgende indeling aangehouden:

Omvangscore	Percentage	Beschrijving
Omvang 1	<2 %	Het gebrek komt <u>incidenteel</u> voor
Omvang 2	2 % tot 10 %	Het gebrek komt <u>plaatselijk</u> voor
Omvang 3	10 % tot 30 %	Het gebrek komt <u>regelmatig</u> voor
Omvang 4	30 % tot 70 %	Het gebrek komt <u>aanzienlijk</u> voor
Omvang 5	≥ 70 %	Het gebrek komt <u>algemeen</u> voor

figuur 6 classificatie schade omvang

In de risico-database zullen de volgende labels worden opgenomen:

- omschrijving van de schade (vervuild, mosgroei, scheuren, afschilvering, wapening zichtbaar etc)
- ernst van aantasting (variërend van geen tot functionaliteit in gevaar in 5 schaalstappen)
- omvang van de aantasting (variërend tussen < 2% en > 70% van het oppervlak in 5 schaalstappen)

### 2.4.3 Risico classificatie

In de bestaande rapporten voor TRN worden verschillende risico's en maatregelen genoemd. Deze zijn voor de betongeneratie in onderstaande tabel samengevat.

risicogroep	risico	mogelijke gevolg	mogelijke maatregelen
veiligheid	constructieve veiligheid	scheuren	monitoren, schoonmaken, coaten
		aantasting dekking	onderhoud, beton inpakken, reparatie
		betonrot, kans op bezwijken	vervangen, constructief verzwaren
bedrijfsvoering	vergruizen en afbrokkelen beton	losse delen die op trein vallen	inpakken beton
	vergruizen en afbrokkelen beton	Stof in TTI waardoor extra storingen in TTI	inpakken beton betere filters TTI of vaker vervangen
	ARBO veiligheid	gladheid inspectiepaden door gruis	inpakken beton, schoonspuiten paden
imago schade	kortere levensduur	hierdoor meer Buiten Dienst (BD) stellingen a.g.v. extra onderhoud	plannen onderhoud buiten dienstregeling onderdeel eerder vervangen
	State of the art	verlies vertrouwen HSL omzettering	kwaliteit boven geld stellen beperken BD stellingen
	Schoon, geen mos geen graffiti	toename klachten, claims, toename kosten	frequentie onderhoud/schoonmaken vergroten
	Verkeerde interpretatie onderzoeksresultaten	emotie versus ratio	uitvoeren second opinion

figuur 7 risicogroepen

Het is van belang te weten in welke risicogroep een geconstateerde schade zit. Imago schade is hinderlijk en kost geld maar is nog altijd indirect en heeft geen effect op de bedrijfsvoering of veiligheid.

Schade die invloed heeft op de bedrijfsvoering heeft al een hoger risicoprofiel omdat een verstoring op de dienstregeling tot mogelijke claims kan leiden en schade die invloed heeft op veiligheid heeft het grootste risicoprofiel omdat er naast claims ook een grotere kans op ongevallen is.

In de risico-database zullende volgende labels worden opgenomen:

- risicogroep
- omschrijving van het risico

#### 2.4.4 Maatregelen

De aard van de maatregelen is afhankelijk van de ernst en omvang van de schade en het risicoprofiel. Uit de in 2.4.2<sup>3</sup> genoemde onderzoeken komen maatregelen naar voren, die in de risicoanalyse verder geconcretiseerd worden. De kosten van de maatregel kunnen worden bepaald evenals de bandbreedte van de onzekerheid van de kosten.

Dan wordt ook inzicht verkregen in de effectiviteit van een maatregel. Als de effectiviteit beperkt is, dan is het rest risico hoger.

In deze paragraaf wordt de classificatie van de maatregelen uitgewerkt.

maatregel	frequentie	betondegeneratie	effectiviteit	kosten
inspectie	niets doen	periodiek opstellen rapportage	gering	gering
monitoren	periodiek	vergelijkbaar vervolg onderzoek doen	gering	gering
schoonmaken	periodiek	verwijderen vuil en begroeiing	beperkt	matig
coaten	periodiek	schoonmaken en waterdicht maken	matig	matig
inpakken	eenmalig	beton inpakken met kunstroof of epoxy	goed	aanzienlijk
reparatie	eenmalig	beton uithakken en gaten vullen	goed	aanzienlijk
versterken	eenmalig	bestaande onderdelen conserveren en constructieve functie op een alternatieve wijze borgen	maximaal	hoog
vervangen	eenmalig	buiten scope	nvt	nvt
reconstructie	eenmalig	buiten scope	nvt	nvt

figuur 8 overzicht maatregelen

In de risico-database zullen de volgende labels worden opgenomen:

- type maatregel
- frequentie
- effectiviteit
- kosten

<sup>3</sup> Noodzaak voor het uitvoeren van proeftuintjes is nog niet gebleken, zodat daar nog geen informatie over bekend zal zijn voor dit project





Om de bandbreedte van de kosten van de maatregelen (eenmalig en periodiek) en de restrisico's te bepalen wordt gebruik gemaakt van de SSK methodiek<sup>5</sup>. Hierin worden naast de kosten uit de risicoanalyse (gekleurde cellen), ook de opslagen ingevoerd die de opdrachtnemer en opdrachtgever rekenen voor het uitvoeren van de werkzaamheden. Op basis van de ingevoerde onzekerheden van elke maatregel wordt een Monte Carlo simulatie (probabilistische berekening) uitgevoerd om inzicht te krijgen in de bandbreedte van de totale kosten (de variatie coëfficiënt) van de risicoanalyse. De resultaten worden uiteindelijk op de volgende wijze gepresenteerd, waarbij in de tabel fictieve getallen zijn opgenomen.

Samenvatting kostenraming Risico Analyse Verplaatsingen	eenmalige kosten				rest risico's		Totaal
	Directe kosten Benoemd	Directe kosten Nader te detailleren	Indirecte kosten (opdrachtnemer)	Voorziena kosten	Risicoreservering		
<b>Investeringskosten</b>							
Maatregelen (eenmalige kosten)	€ 5.360.000	€ 804.000	€ 1.944.372	€ 8.108.372	€ 1.941.250	€	10.049.622
Engineeringskosten (ON en OG)	€ 324.335	€ -	€ -	€ 324.335	€ 0	€	324.335
Overige bijkomende kosten (verzekeringen etc)	€ 105.409	€ -	€ -	€ 105.409	€ -	€	105.409
<b>Subtotaal investeringskosten</b>	<b>€ 5.789.744</b>	<b>€ 804.000</b>	<b>€ 1.944.372</b>	<b>€ 8.538.116</b>	<b>€ 1.941.250</b>	<b>€</b>	<b>10.479.366</b>
Objectoverstijgende risico's investeringskosten					€ 1.571.905	€	1.571.905
<b>Investeringskosten deterministisch</b>	<b>€ 5.789.744</b>	<b>€ 804.000</b>	<b>€ 1.944.372</b>	<b>€ 8.538.116</b>	<b>€ 3.513.155</b>	<b>€</b>	<b>12.051.271</b>
Scheefte investeringskosten					€ 525.217	€	525.217
<b>Totaal investeringskosten probabilistisch (exclusief BTW)</b>				<b>€ 8.538.116</b>	<b>€ 4.038.372</b>	<b>€</b>	<b>12.576.488</b>
BTW (maar niet over heffingen, leges, e.d.)	Inclusief			€ 1.770.868	€ 843.628	€	2.614.497
<b>Investeringskosten inclusief BTW</b>				<b>€ 10.308.984</b>	<b>€ 4.882.000</b>	<b>€</b>	<b>15.190.985</b>
Investeringskosten inclusief BTW (contante waarde), discontovoet van 5,5% en looptijd van 1 Jaar						€	15.190.985
Bandbreedte: met 70% zekerheid liggen de investeringskosten tussen: (Inclusief BTW )				€ 12.996.903	en	€	17.385.066
Variatiecoëfficiënt					14%		
<b>Periodieke kosten</b>							
<b>Subtotaal periodieke kosten</b>	<b>€ 400.000</b>	<b>€ 40.000</b>	<b>€ 108.856</b>	<b>€ 548.856</b>	<b>€ 27.443</b>	<b>€</b>	<b>576.299</b>
Objectoverstijgende risico's periodieke kosten					€ 57.630	€	57.630
<b>Periodieke kosten deterministisch</b>	<b>€ 400.000</b>	<b>€ 40.000</b>	<b>€ 108.856</b>	<b>€ 548.856</b>	<b>€ 85.073</b>	<b>€</b>	<b>633.929</b>
Scheefte periodieke kosten					€ -	€	-
<b>Periodieke kosten exclusief BTW</b>				<b>€ 548.856</b>	<b>€ 85.073</b>	<b>€</b>	<b>633.929</b>
BTW (maar niet over heffingen, leges, e.d.)				€ 115.260	€ 17.865	€	133.125
<b>Periodieke kosten inclusief BTW</b>				<b>€ 664.116</b>	<b>€ 102.938</b>	<b>€</b>	<b>767.054</b>
Periodieke kosten inclusief BTW (contante waarde), discontovoet van 5,5% en looptijd van 100 Jaar						€	469.796
Bandbreedte: met 70% zekerheid liggen de levensduurkosten tussen: (Inclusief BTW )				€ 627.054	en	€	907.054
Variatiecoëfficiënt					18%		
<b>Projectkosten inclusief BTW</b>				<b>€ 10.973.100</b>	<b>€ 4.984.938</b>	<b>€</b>	<b>15.958.038</b>

figuur 10 samenvatting kostenraming en Monte Carlo simulatie (fictieve getallen voor presentatie Methode)

## 2.5 Verwerken onderzoeksresultaten

Nadat de onderzoeken zijn opgeleverd kan per object (TRN, de 5 garantieobjecten en verplaatsingen) een inventarisatie van de schade worden gemaakt. De schades worden in kaart gebracht en geclassificeerd zoals hierboven omschreven. De maatregelen worden verder geconcretiseerd, zowel technisch als financieel zodat ook een beeld ontstaat van de restrisico's. Deze resultaten worden opgenomen in de risico database, zie figuur 9 (a,b,c). Dit alles resulteert in een eerste initiële inschatting van de kosten (zie figuur 10).

Deze informatie (schade beelden, maatregelen, restrisico en kosten) zijn input voor de expertmeeting. Voor de verplaatsingen zijn geen expertmeetings voorzien.

<sup>5</sup> SSK = Standaard Systematiek Kostenramingen. Deze methode is de gebruikelijke rekenmethode om kosten van Infrastructurale werken te ramen.

## 2.6 Werksessies

Er zijn twee werksessies voorzien met experts.

### 1<sup>e</sup> werksessie, tranche 1

- Toelichten aanpak en methodiek risico analyse
- Resultaten van de TRN onderzoeken afstemmen met deskundigen
- Bespreken maatregelen en bandbreedte (onzekerheid) van de effectiviteit
- Bespreken restrisico's en bandbreedte
- 2<sup>e</sup> inschatting kosten + probabilistische doorrekening

In de eerste werksessie dient TRN als pilot om de werkmethode te toetsen. Mogelijk dat als resultaat de methode nog zal worden verfijnd of aangepast. Inhoudelijk zullen ook de schadebeelden van TRN besproken worden evenals de effectiviteit van de voorgestelde maatregelen en restrisico's.

Deze bevindingen worden meegenomen in de tweede sessie. In de periode tussen sessie 1 en 2 wordt de risicoanalyse van de 5 garantie objecten (tranche 2) uitgevoerd. Dit vormt de input voor de tweede expertsessie.

### 2<sup>e</sup> werksessie, tranche 2

- Terugkoppeling van de 1<sup>e</sup> sessie
- Resultaten onderzoek en risicoanalyse van de 5 garantie objecten afstemmen met deskundigen
- Bespreken mogelijke scenario's van maatregelen
- Voorbereiden eindrapportage, samenvatting en conclusies

## 2.7 Rapportage

De risicoanalyse en de rapportage ontstaan in een dynamisch proces. De rapportage gaat in stappen. De resultaten van TRN hebben een voorlopig karakter. Uitkomsten van nog lopend onderzoek en van de tranches 2 en 3 kunnen nog tot bijstellingen leiden van tranche 1.

## A2 Informatie van ProRail voor uitvoering van het project

# Ex Aequo

Pruijssers Management BV

Middeldijk 32  
2992 SJ Barendrecht

HSL-Zuid  
Externe toetsing Baanverplaatsing Rijkswetering

# HSL-Zuid

## Externe Toetsing

## Baanverplaatsing Rijkswetering

8 september 2017

Eindrapport 2.2

## HSL-Zuid Externe toetsing Baanverplaatsing Rijpwetering

### Inhoudsopgave

0.	Samenvatting.....	3
1.	Inleiding.....	5
2.	Werkwijze en resultaten.....	7
3.	Analyse vervormingen en constructieve impact.....	8
	3.1. Ontvangen documenten	
	3.2. Oorzaak aandrijvende kracht van de horizontale verplaatsingen ZVP	
	3.3. Constructieve aspecten van de horizontale verplaatsingen ZVP	
	3.3.1. Baansecties met damwandscherm en aanpassing model	
	3.3.2. Secties zonder damwandscherm	
	3.3.3. Toelichting op de evaluatie van de maximale belasting in de paalconstructie	
	3.4. Oorzaak van de horizontale verplaatsingen Kunstwerk Zuidweg	
	3.4.1. Laterale verplaatsingen van de baan t.p.v. het kunstwerk	
4.	Mogelijke maatregelen.....	25
	4.1. Baandelen ten zuiden van Kunstwerk Zuidweg	
	4.1.1. Baandelen met verankerde damwand	
	4.1.2. Baandelen zonder verankerde damwand	
	4.1.3. Drainagesysteem	
	4.1.4. Monitoring	
	4.2. Baandelen ten noorden van Kunstwerk Zuidweg	
	4.3. Kunstwerk Zuidweg	
	4.4. Voorgestelde acties	
Bijlage 1.	Documentenlijst	
Bijlage 2.	Uitzwaaien van de HSL-baan	

## HSL-Zuid Externe toetsing Baanverplaatsing Rijpwetering

### 0. Samenvatting

De HSL-baan ter plaatse van Rijpwetering vertoont na de aanleg een voortgaande verticale- en horizontale verplaatsing van het baanlichaam. Deze verplaatsingen zijn door de projectorganisatie HSL-Zuid gemonitord. Tevens zijn er voor drie baansecties verankerde damwanden geplaatst teneinde de toename van de verplaatsingen te beperken en is een zandaanvulling onder de plaat aangebracht waar de paalkoppen door zettingen vrijstaand waren geworden.

ProRail CMT namens lenM beoogt om op basis van de monitoring een beter inzicht te krijgen in de oorzaken van de verplaatsingen en de mate waarin de functionaliteit, beschikbaarheid en veilige berijdbaarheid van de HSL-baan is geborgd. Tevens wordt gezocht naar mogelijke beheersmaatregelen. Voorliggend rapport gaat nader in op deze vraagstelling.

Het baanlichaam direct ten zuiden van kunstwerk Zuidweg verplaatst zich naar het westen. Het belangrijkste mechanisme wat deze verplaatsing veroorzaakt is voortgaande verticale zetting van het baanlichaam, waarbij aan de oostzijde de inmiddels geconsolideerde baanconstructie van de A4 zorgt voor een 'hard punt'. Door dit excentrisch gelegen harde punt gaan de verticale verplaatsingen vergezeld van een horizontale verplaatsing. Voor de secties waar verankerde damwanden zijn geplaatst wordt aanbevolen om de actuele voorspankracht in de ankers door onderzoek vast te leggen. Tevens wordt aanbevolen de monitoring voort te zetten, maar nu geen nadere maatregelen te treffen aangezien de toename van de verplaatsing lijkt uit te dempen. De constructieve sterkte van de palen onder ZVP wordt vooralsnog voldoende geacht. Dit blijkt ook uit de eerdere rapporten van Hollandse Meren en Deltares [3,15,17], die zich op dezelfde orde grootte van verplaatsingen baseren.

Voor de baansecties zonder damwand lijkt er sprake van een nog voortgaande verplaatsing naar het westen. De totale verplaatsing blijft nog onder de waarden ter plaatse van de secties met een verankerde damwand. Deze secties zijn derhalve nog niet kritisch. Aanbevolen wordt om de monitoring voort te zetten en bij een verwachte overschrijding van een verplaatsing van 100 mm ook bij deze secties een verankerde damwand aan te brengen.

Het baanlichaam ten noorden van kunstwerk Zuidweg beweegt zich naar het oosten, maar in mindere mate dan de westwaartse verplaatsingen ten zuiden van het kunstwerk. Er is derhalve geen noodzaak tot het nemen van maatregelen anders dan het voortzetten van de monitoring. Wel geldt voor dit baandeel dat er minder duidelijkheid bestaat over het mechanisme dat de verplaatsing richting het oosten veroorzaakt. Meest waarschijnlijk wordt dit veroorzaakt door het 'drijven' van het baanlichaam op de onvoldoende

## HSL-Zuid Externe toetsing Baanverplaatsing Rijpwetering

geconsolideerde slappe lagen waarop het baanlichaam is aangebracht. Er is daardoor weinig weerstand tegen het uitrijden van de horizontale boog in de spoorbaan. Een eventuele invloed van een liggereffect vanuit de ZVP wordt onwaarschijnlijk geacht gegeven de berekende relatief korte golflengte van de constructie.

Voor wat het betreft de zijdelingse bewegingen van het kunstwerk Zuidweg, beweegt het min of meer mee met de vervormingen van de baanlichamen ten noorden en zuiden van het kunstwerk, waarbij de vervormingen van het baanlichaam ten zuiden de meeste invloed op het kunstwerk uitoefenen. Voor wat betreft het verplaatsen van het zuidelijke landhoofd in noordelijke richting hebben de belangrijkste verplaatsingen zich voorgedaan voordat de trogligger werd geplaatst. De oorzaak wordt gezien in gronddruk vanuit de baan en de geringe stijfheid van de fundering van het landhoofd tegen deze belasting. Deze verplaatsing lijkt nu min of meer gestabiliseerd. Er is geen sprake van constructief falen van onderdelen van het kunstwerk, zodat geen maatregelen nodig worden geacht. Wel wordt aanbevolen om de monitoring voort te zetten. Tevens wordt aanbevolen om tijdens de 52-urige TVP de respons van het kunstwerk te meten met versnellingsmeters aan de zijkant van het dek, zodat een eventueel ongelijkmatig dragen van de rubberoplegblokken kan worden weggenomen.

## HSL-Zuid Externe toetsing Baanverplaatsing Rijpwetering

### 1. Inleiding

Vanaf aanleg is de locatie Rijpwetering als een verdachte locatie bestempeld en is er vanuit ProRail CMT een monitoring opgesteld om verplaatsingen te meten. De verplaatsingen zijn sneller verlopen dan verwacht, om die reden is in 2006 het Rheda spoor over een lengte van ca 800m verwijderd en weer opnieuw opgebouwd. Tevens zijn er op 3 locaties verankerde damwanden aangebracht. Het aanbrengen van de verankerde damwanden heeft het horizontale verplaatsingsproces wel vertraagd maar niet weggenomen en de verplaatsingen hebben zich over een langere baanlengte uitgebreid.

In het verticale vlak zakt het baanlichaam langzaam maar gestaag en heeft inmiddels op sommige locaties de 40cm bereikt. In 2014 is er over ca 800m de ruimte onder de ZVP met droog spuitzand opgevuld ten behoeve van de paalkopmomenten. Uitgangspunt vanuit het ontwerp is dat deze ruimte niet >30cm mag worden voor de paalkopmomenten bij remmen en optrekken van de treinen. Door inklinking van het losse zand en de zetting van het baanlichaam is de open ruimte tussen bovenzijde zandlichaam en onderzijde ZVP inmiddels gemiddeld 15cm (volgens opgave Infraspeed).

Het kunstwerk Zuidweg is aan verplaatsingen onderhevig. Vooral het zuidelijke landhoofd heeft zich in noordelijke richting verplaatst en tordeert enigszins om zijn verticale as.

Om tot een herstelplan voor de problematiek te komen is het noodzakelijk de aandrijvende oorzaak te kennen en inzichtelijk te maken. Het is van groot belang dat de functionaliteit, beschikbaarheid en veilige berijdbaarheid gewaarborgd blijft tot  $V=300\text{km/h}$ .

Dit leidt tot de volgende vraagstelling voor het onderzoek:

#### 1. Impact op constructie:

- Oorzaak aandrijvende kracht van de horizontale verplaatsingen ZVP en kunstwerk Zuid, verticale zettingen baanlichaam omschrijven. Uit eerdere onderzoeken komt naar voren dat er meerdere oorzaken mogelijk zijn, zoals water, invloed spoorstaven, slappe grondlagen, invloed rijksweg A4 enz.
- Is het huidige baanlichaam, inclusief de invloed van de damwanden, bestand tegen langdurige regen, waardoor de zettingen/verplaatsingen negatief worden beïnvloed?
- In eerdere berekeningen van Deltares [1,2,3] is aangegeven dat door de verplaatsingen ZVP en zettingen grondlichaam er op termijn palen kunnen breken maar er kan geen afschuiving plaatsvinden. Nu de verplaatsingen/zettingen groter zijn dan aangenomen tijdens deze berekening, is de vraag of de berekening nog wel geldig is;



## HSL-Zuid

### Externe toetsing Baanverplaatsing Rijpwetering

- Wanneer wordt de kritische grens paalkopmoment bereikt door de horizontale verplaatsing ZVP. De toegelaten “vrijhoogte” is gebaseerd op de rem- en aanzetkrachten van de trein, niet op andere krachten of op een opgelegde verplaatsing door het baanlichaam. Vraag is dus hoeveel capaciteit wordt opgebruikt. (zowel dwars- als in lengte richting)
- Ankers van de damwanden worden na  $\pm 2010$  niet meer op spanning gebracht omdat de ZVP hierdoor ongelijkmatig ging verplaatsen. Is het noodzakelijk de ankers te spannen/ontspannen of zoals nu niets te doen?

## 2. Mogelijke beheersmaatregelen

- Hoe de horizontale verplaatsingen ZVP te minimaliseren of te fixeren;
- Verplaatsingen en torderen landhoofd(en) kunstwerk Zuidweg te minimaliseren en of fixeren;
- Advies voor de te maken herstelplannen voor de genoemde werkzaamheden.
- Welke realistische en doeltreffende maatregel kan er in 2018 tijdens een TVP van 52 uur als praktijksituatie worden uit getest.

## HSL-Zuid Externe toetsing Baanverplaatsing Rijpwetering

### 2. Werkwijze en resultaten

Het rapport is opgesteld op basis van toetsing verricht door een extern team bestaande uit:

- Klaas-Jan Bakker (WAD43 bv)
- Jan Jonker (Movares)
- Arjan Pruijssers (Ex Aequo)

De samenstelling van het deskundigenteam is mede gebaseerd op de inzet van dit team bij vervormingenstudies voor kruisingen met de Betuweroute.

De in het kader van de vervormingsproblematiek eerder opgestelde documenten zijn digitaal aangeleverd door ProRail inclusief de relevante bijlagen. Voor een overzicht van de geleverde documenten, zie bijlage 1.

De review is uitgevoerd in samenspraak met medewerkers van ProRail:

- Rob den Boer
- Ton Padmoes
- Jan Bogaards
- Stephan van Eeten

Na bestudering van de informatie in de beschikbare documenten zijn nadere analyses uitgevoerd ondersteund door berekeningen. Deze zijn met de medewerkers van ProRail besproken in overleggen d.d.: 13 maart, 10 april, en 15 mei. Op 22 mei 2017 is de locatie bezocht.

## HSL-Zuid Externe toetsing Baanverplaatsing Rijpwetering

### **3. Analyse vervormingen en constructieve impact**

#### **3.1. Ontvangen documenten**

De ontvangen documenten zijn weergegeven in Bijlage 1.

#### **3.2. Oorzaak aandrijvende kracht van de horizontale verplaatsingen ZVP**

In de nabijheid van Rijpwetering vertoont de baan van de HSL, welke is uitgevoerd als zettingsvrije plaat op betonnen palen, tussen ongeveer kilometrering 132.4 en 133.8 horizontale verplaatsingen.

Al gedurende een langere periode, het eerste rapport van Deltares [1] dateert van 2006, is er onderzoek gedaan naar de risico's voor de stabiliteit van de baan en de mate waarin deze vervormingen kunnen worden geaccepteerd. In 2006 zijn bij drie secties (132,850-132,930;133.035-133.115;133.140-133.310) verankerde damwanden geplaatst ter beperking van de horizontale vervorming. Tevens wordt ca. 750 m bovenbouw spoor vervangen (132.765-133.560).

De vervormingen van het baanvak onder de Zettingsvrije plaat (ZVP) zijn gedurende een lange periode gemonitord. In de loop der jaren zijn er meerdere herhalingsmetingen uitgevoerd. Hiertoe zijn zowel verticale- (extensometers en zakbakens) als horizontale verplaatsingen (hellingbuis, inverted pendulum, GPS) gemeten. Daarnaast zijn de meetresultaten in 2013 [14,17] vergeleken met satellietmetingen (verticaal).

Ten behoeve van de analyse is het relevant de tijdlijn van de vervormingsproblematiek en de inmiddels genomen maatregelen kort te beschouwen:

Het baanlichaam voor de HSL-Zuid is tussen de pergola (kruising HSL met A4) en HSL-viaduct Zuidweg gelegen direct westelijk naast de bestaande A4. Het baanlichaam voor de naastliggende A4 is in de jaren 60 aangelegd in een uitgegraven cunet. De onderkant van het zandlichaam van de A4 ligt nu op ca 8 m – NAP en loopt over het beschouwde traject voor een deel tot half onder het HSL baanlichaam. Tijdens de aanleg is er lokaal sprake geweest van instabiliteit, waardoor lokaal ter plaatse van de HSL-baan sprake kan zijn van een zanduitstulping vanuit het A4-baanlichaam. De locaties zijn echter niet bekend.

#### *Aanleg baanlichaam HSL-Zuid*

In juli 2002 is gestart met werkzaamheden ten zuiden Rijpwetering: aanbrengen zandlaag van ca 1.5m op maaiveld en Baudrain Systeem tot 2 m boven pleistocene

### HSL-Zuid Externe toetsing Baanverplaatsing Rijpwetering

zand. Daarna verder ophoging baan/terp. Op 8 maart 2003 was er een afschuiving tussen km 133.200 en km 133.350. Als beheersingsmaatregel is toen een vrijstaande damwand in de teen van het talud aangebracht. ( type AZ18, gestaffeld, planklengte 9 en 13 m.) Op 20 januari 2004 afschuiving tussen km 133.030 en km 133.110. Ook hier is een vrijstaande damwand in de teen van het talud aangebracht. ( type AZ36 KM 133.000- KM133.100 en type AZ26 km 133.100- km 133.200). Het baanlichaam is juli 2004 gereed met een berekende restzetting van 0,30 m in 30 jaar. Het viaduct Rijpwetering (Zuidweg) is dan al in aanbouw .

In augustus 2004 start het heiwerk van de palen 400/400 voor de zettingsvrije plaat en in september 2004 vindt eerste betonwerk plaats. De fysieke spoorbouw start in 2005.

In de periode januari 2003 en juli 2004 worden in opdracht van de HSL- opdrachtnemer Hollandse Meren door Deltares Plaxis-analyses gedaan naar het fenomeen van mogelijke horizontale verplaatsingen van de ZVP door kruipgedrag van de grond. Het resultaat van dat onderzoek is dat de horizontale verplaatsingen in de tijd toch groter zal zijn dan de ontwerpeis van 10 mm . De oplossing wordt rekentechnisch gevonden door het aanbrengen van EPS aan de oostkant waarmee de horizontale verplaatsing tot 5mm kan worden terug gebracht. In oktober 2004 wordt de EPS aangebracht tussen km 133.085 en km 133.340. In december 2005 wordt de baan /ZVP formeel civieltechnisch opgeleverd. Opgemerkt wordt dat de bouw van het spoor ook al in 2005 is gestart.

#### *Situatie na oplevering HSL-onderbouw in 2005*

In het voorjaar 2006 wordt geconstateerd dat de horizontale verplaatsingen van de onderbouw over een traject van 600 m ten zuiden van Rijpwetering toch aanzienlijk groter zijn dan de predicties uit de voorgaande genoemde Plaxis-analyses. In het tweede kwartaal 2006 wordt in opdracht van HSL-Zuid een proces opgestart onder aansturing van Deltares met alle direct betrokkenen bij de aanleg van de onderbouw en met Fugro als toetser. De doelstelling van dit onderzoek was *"Op korte termijn in een eerste fase tot een oplossing komen waarbij de veiligheid van de baan gegarandeerd blijft en waarbij de vervormingen van de zettingsvrijeplaat binnen de vooraf gestelde toleranties met betrekking tot comfort moeten zijn gewaarborgd."*

In verband met de tijdsdruk is toen voor de berekeningen in de eerste fase gebruik gemaakt van de monitoringsgegevens van de project organisatie HSL Zuid. Een mitigerende maatregel is gevonden in de toepassing van verankerde, na te spannen, damwanden halfweg het talud aan de west- ofwel polderzijde. Deze zijn in de tweede helft van 2006 ook aangebracht en tevens is het Rheda spoor vernieuwd zodanig dat er een grotere horizontale nastelmogelijkheid beschikbaar is (+/- 28 mm).

## HSL-Zuid Externe toetsing Baanverplaatsing Rijpwetering

De verankerde damwanden zijn aangebracht over de volgende tracé lengten:

- Km 132.850 – km 132.930 type AZ48 en met type AZ36 over de eerste en laatste 10 m.
- Km 133.035 - km 133.115 type AZ48 en met type AZ36 over de eerste en laatste 10 m
- Km 133.140 - km 133.310 type AZ 48 en met type AZ 36 over de eerste en laatste 10 m

De ankers, h.o.h. 2.30 m zijn ontworpen op een gebruiksbelasting van 350 kN per m wand.

Vervolgens heeft er in een tweede fase een optimalisatie plaatsgevonden van de berekeningen voor wat betreft de modellering en parameters. Dit alles om de berekeningsmodellen te verbeteren en te optimaliseren zodat met meer zekerheid voorspeld kon worden wat het effect van de gekozen oplossing is op het verplaatsingsgedrag van de ZVP. De damwand ter plaatse van de twee noordelijke vakken is uiteindelijk afgespannen op 200 kN per m wand, het zuidelijke vak op 150 kN per m wand.

Uit het onderzoek volgden destijds de volgende conclusies en aanbevelingen:

- veiligheid van het spoor is gegarandeerd voor de levensduur van de zettingsvrije plaat
- de verankerde damwand is effectief voor het beperken van de horizontale verplaatsingen
- de combinatie verankerde(na te spannen) damwand en de grotere nastelbaarheid van het spoor is voldoende om aan de gestelde comforteis te kunnen blijven voldoen
- de verwachte horizontale verplaatsing van de zettingsvrije plaat voor de komende 25 jaar is ca 5 á 10 mm . voor de komende 100 jaar wordt een horizontale verplaatsing van 10 á 15 mm verwacht. Deze verwachtingswaarde valt dus ruim binnen de stelmogelijkheid. Gezien de heterogeniteit van de ondergrond en de beperkte nauwkeurigheid van de modellen, de lange voorspellingsperiode is er een onzekerheidsband die niet cijfermatig te onderbouwen is. Bij een factor 2 zullen de grenzen aan de nastelbaarheid worden bereikt hetgeen voor mogelijk wordt gehouden maar niet verwacht wordt.
- een monitoringsprogramma met aanvullend draaiboek met te nemen corrigerende maatregelen wordt aanbevolen.

### HSL-Zuid Externe toetsing Baanverplaatsing Rijpwetering

Gezien de genoemde bandbreedte in de predicties van de verplaatsingen heeft er, en vindt er nog steeds, een uitgebreide monitoring op de betreffende locatie plaats.

#### *De monitoring vanaf 2006*

Onderstaande tabel 1 (opgave ProRail CMT) [20] geeft een beeld van de monitoringsresultaten in het horizontale vlak over het trajectdeel Rijpwetering tot op heden. Ook zijn er monitoringsresultaten beschikbaar ten aanzien van de verticale en horizontale zettingen van het baanlichaam ( en van horizontale verplaatsingen van het viaduct Zuidweg (ca 5 mm) . Opgemerkt wordt dat er geen monitoringsgegevens beschikbaar zijn ten tijde van de bouw van het kunstwerk.

**Tabel 1. Overzicht van de Monitoring**

<b>Totaal verplaatsingen onderbouw vanuit de Landmeetkundige metingen december 2004 tot december 2016</b>					
<b>Puntnr</b>	<b>± km</b>	<b>IFS meting dec 2004 apr-2006</b>	<b>2006 t/m 2009</b>	<b>2009 t/m 2016</b>	<b>Totaal verplaatsing in H-vlak (mm)</b>
GSSS-01	132.585	nvt	0	14	14
GSSS-02	132.705	0	7	24	31
GSSS-03	132.770	0	10	28	38
GSSS-04	132.915	0	15	18	33
GSSS-05	132.970	17	10	22	49
GSSS-06	133.035	9	18	22	49
GSSS-07	133.125	0	15	12	27
GSSS-08	133.190	31	21	7	59
GSSS-09	133.240	0	5	5	10
GSSS-10	134.410	-13	-5	-5	-23
GSSS-11	133.520	8	5	-20	-7
GSSS-12	133.625	0	-5	-2	-7
GSSS-13	133.735	0	-4	0	-4

Uit de eerste beschouwingen komt naar voren dat er meerdere oorzaken voor deze vervormingen mogelijk zijn, zoals water, invloed spoorstaven, slappe grondlagen, invloed rijksweg A4 enz. De diverse mogelijke oorzaken zijn nader beschouwd:

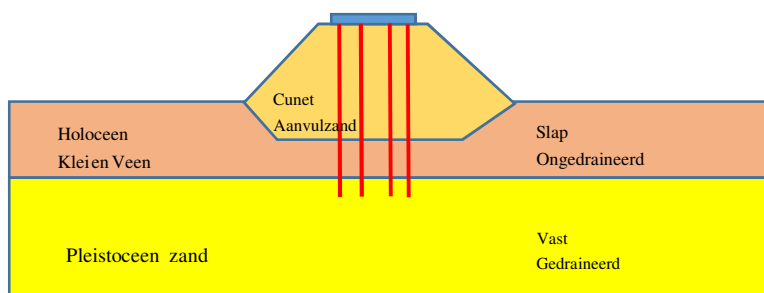
#### Invloed bovenbouwconstructie

Uit de metingen valt op dat het baanlichaam ten zuiden van het kunstwerk Zuidweg naar het westen beweegt en het baanlichaam direct ten noorden van het kunstwerk juist naar het oosten. Hoewel het baanlichaam ten noorden van het kunstwerk verder verwijderd is van het baanlichaam van de A4 en dus minder steunt vindt aan die zijde, is het ook voor dat baanvak aannemelijk dat de steundruk vanuit de laaggelegen polder aan de westzijde overall minder is. Het verplaatsen van dit baanvak naar het oosten is in die zin opmerkelijk.

## HSL-Zuid Externe toetsing Baanverplaatsing Rijpwetering

Een mogelijke oorzaak kan zijn gelegen in de aanwezigheid van de spoorstaven. De spoorconstructie in combinatie met de ZVP vormen een behoorlijke stijve langsligger over de lengte van het baanlichaam. In principe kunnen (temperatuur-)spanningen in de spoorstaven leiden tot het initiëren van horizontale vervormingen. Ter toetsing van deze hypothese is een afschatting gemaakt van de golflengte over welke afstand een opgedrongen kracht of verplaatsing zich over de baan zou verspreiden; zie bijlage 2. Op grond van de berekende golflengte die eerder ligt in de orde van tientallen meters dan honderden meters lijkt het onwaarschijnlijk dat het uitzwaaien wordt veroorzaakt door een opgedrongen rotatie komende vanuit het zuidelijk deel van de baan naar het deel ten noorden van het Kunstwerk Zuidweg.

Een andere mogelijke oorzaak is wellicht wat bekend staat als het “uitrijden van de boog”. Het is bekend ook van andere baandelen in het spoornet dat een spoorbaan in een boogstraal door wellicht een combinatie van centrifugaal krachten en temperatuurspanningen de neiging heeft zich naar de buitenkant van de boog te verplaatsen. Daar komt in dit geval bij dat het baanlichaam zelf hier los ligt van het baanlichaam van de A4. Het baanlichaam van de HSL is gebouwd door het ophogen van zand op de bestaande slappe ondergrond waarbij het grondlichaam stabiel is gehouden door het toepassen van verticale drainage. Na aanleg van het baanlichaam is de drainage uitgezet. Het gerealiseerde baanlichaam “drijft” daarbij min of meer op een onderlaag van klei en veen, zie Fig. 1



**Figuur 1 Het baanlichaam ten Noorden van het kunstwerk Zuidweg; het baanlichaam “drijft” min of meer in de slappe holocene lagen**

Bij een kortdurende belasting zal een variatie van de verticale belasting, die voor een deel ook via schachtwrijving wordt afgedragen aan het baanlichaam leiden tot een toename van verticale spanningen in de slappe lagen daaronder en daar voornamelijk door verhoogde waterspanningen worden gedragen. Verhoogde waterspanning leidt tot een afname van de korrelspanningen en daarmee tot een afname van het kunnen opnemen van laterale schuifspanningen. Het in herhaling

## HSL-Zuid Externe toetsing Baanverplaatsing Rijpwetering

belasten zou daarbij kunnen leiden tot weg “driften” van de baan. Enigerlei onregelmatigheid in de ondergrond bepaald dan welke kant de baan op beweegt.

### Invloed baanlichaam A4 en aanwezigheid slappe lagen

Grondmechanisch mag het aannemelijk worden geacht, zie ook sectie 3.3.2 van dit rapport, dat het baanlichaam HSL bij het consolideren de aanwezigheid van het al geconsolideerde baanlichaam A4 'voelt'. Er ontstaat dan een 'harde schouder' of fictief rotatiepunt aan de oostzijde van het baanlichaam HSL. Als gevolg hiervan gaat een verticale zetting van de baan gepaard met een rotatie om dit harde punt. Hierdoor ontstaan er tevens horizontale vervormingen van de baan richting het westen. Ook kan er sprake zijn van het overschrijden van schuifspanningen in het baanlichaam door het blijven hangen op het harde punt. Het baanlichaam zakt als het ware uit naar het westen. Dit lijkt het belangrijkste mechanisme dat bijdraagt aan de optredende vervormingen van de baan. Ook de constatering dat de baan aan de westkant verder is weggezakt dan de oostkant sterkt deze mening.

De eerder opgetreden lokale instabiliteit tijdens de aanleg van zowel het baanlichaam van de A4 als van de HSL dragen bij aan een verstoord grondprofiel met naar verwachting een iets stijver gedrag dan verwacht mag worden op basis van de sonderingen. Immers, de slappe lagen zijn lokaal weg geperst door het zand. Dit kan mede verklaren waarom de HSL-baan niet op een meer gelijkmatige manier weg kantelt van het baanlichaam van de A4.

Met behulp van het PLAXIS-model is de veiligheid tegen het ontwikkelen van glijvlakken nader beoordeeld. De stabiliteit van het baanlichaam (sectie zonder damwand) is eerst berekend zonder bovenbelasting en zonder palen. Bij gedraineerd grondgedrag levert dit een veiligheid van 1,29. Ongedraineerd is deze vanzelfsprekend lager: 1,22. Het in rekening brengen van de palen levert vervolgens 1,31. De funderingspalen hebben dus wel een (beperkt) stabiliserend effect.

Het toevoegen van 65 kN/m<sup>2</sup> bovenbelasting en een middelpuntvliedende kracht van 7 kN/m<sup>2</sup> op beide sporen levert een veiligheid van 1,22 (ongedraineerd). Volgens de Eurocode dient nog een belastingfactor van 1,5 in rekening te worden gebracht. De veiligheid daalt dan van 1,22 naar 1,21, waaruit blijkt dat de stabiliteit slechts marginaal wordt beïnvloed door de treinbelastingen. De normwaarde voor RC3 (1,3) wordt daarmee niet gehaald, wel blijft men boven RC1. Hierbij geldt dat het gedraineerd of ongedraineerd rekenen de grootste invloed heeft op de berekende veiligheid. Vanwege de geringe invloed van de variabele belastingen is het volledig ongedraineerd rekenen zeker conservatief.



## HSL-Zuid Externe toetsing Baanverplaatsing Rijpwetering

### Invloed water en temperatuur

Uit de monitoring blijkt dat de vervormingen een (kleine) component kennen, die over het jaar varieert, waardoor sommige metingen een afname in de grootte van de vervormingen vertonen. Deze bijdrage is zeer beperkt en vormt mogelijk een meetonnauwkeurigheid. Een andere verklaring kan worden gevonden in seizoensgebonden invloeden. In de eerste plaats kan er invloed zijn van (regen-)water. De aanleg van het baanlichaam van de HSL heeft geleid tot het consolideren van de slappe lagen direct onder het zandlichaam. Door de nabijheid van het zandlichaam van de A4 zullen deze geconsolideerde en weinig waterdoorlatende lagen enigermate een kuipvorm hebben aangenomen. In perioden met veel regen zal onderin het HSL-baanlichaam sprake zijn van een ophoping van dit regenwater. Het extra gewicht hiervan draagt bij aan een extra vervorming. De aanwezigheid van de damwanden (hoewel lokaal voorzien van openingen) beperkt evenzeer de horizontale afstroming van dit water. In meer drogere perioden zakt dit water langzaam richting polder en neemt het extra gewicht weer af. Ter plaatse van de verankerde damwanden is er dan sprake van enige elasticiteit waardoor het baanlichaam enigszins terugkomt.

Een vergelijkbaar effect kan ontstaan door de temperatuur van het baanlichaam. Als gevolg van instraling/uitstraling van warmte zal het boven het grondwater gelegen deel van het baanlichaam een seizoensgebonden toe-/afname van de temperatuur vertonen. Het baanlichaam zet hierdoor iets uit of krimpt juist iets. Omdat deze volumetoename aan de zijde van de A4-baan niet weg kan, zal het leiden tot een effect op de gemeten vervorming aan de westzijde van de HSL-baan.

Mogelijk treden beide effecten samen op, versterken elkaar of dempen elkaar juist uit. Het kwantificeren van dit (gecombineerde) effect is lastig op basis van de aanwezige informatie. Het resulterende effect op de vervormingen is relatief gering. Desondanks wordt aanbevolen om in het kader van de monitoring meer peilbuismetingen te doen in de HSL-baan en ter plaatse van de zone tussen A4 en HSL-baan.

Tevens wordt aanbevolen om ter beperking van het effect van langdurige regenval de drainage ter plaatse van de teen tussen baanlichaam A4 en HSL-baan op werking te controleren en indien realiseerbaar de afvoercapaciteit te vergroten. Het op andere wijze weggeleiden van afstromend regenwater (van zowel A4 als HSL-baan) zodat er geen inzijging in het baanlichaam kan optreden, is evenzeer aan te bevelen.

De analyse van RailInfraSolutions [25] laat zien dat de veiligheid tegen het zich ontwikkelen van glijvlakken beïnvloed wordt door de opbolling van het fratisch vlak

## HSL-Zuid Externe toetsing Baanverplaatsing Rijpwetering

in het baanlichaam. Ook dit resultaat ondersteunt de aanbeveling om de drainage waar mogelijk te verbeteren en meer peilbuismetingen uit te voeren. Het aantal extra peilbuizen dient bij voorkeur zodanig te worden gekozen dat voor de individuele secties (met/zonder damwanden) een representatief beeld van het freatisch vlak bepaald kan worden. Dit betekent minimaal 3 peilbuizen per sectie.

### **3.3. Constructieve effecten van de horizontale verplaatsingen ZVP**

Gezien de afwijkingen van de predicties zijn er gedurende de genoemde periodes in Tabel 1 meerdere beschouwingen uitgevoerd naar de consequenties van de meetresultaten voor het spoor, de baan, de palen onder de zettingsvrije plaat als ook het viaduct Zuidweg op basis van nader veldwerk.

Op basis van de herhalingsmetingen van Arcadis, i.e. de 13e herhalingsmeting d.d. december 2016 [24], zou de indruk kunnen ontstaan dat het in vergelijking met de voorspellingen van Deltares, 1204379-008, d.d. maart 2013 [15], wel meevalt. Deltares voorspelt daar op basis van 2D Plaxis berekeningen, inclusief kruip op termijn (100 jaar) maximale verplaatsingen van ca 120 mm. terwijl de 13e herhalingsmeting in 2016 maximale verplaatsingen toont in de orde van 28 à 29 mm, zie ook kolom 5 in Tabel 1. De laatste meting toont daarbij zelfs iets kleinere verplaatsingen dan eerder geconstateerde maxima. De nul referentie van de Arcadis meting (2006) is echter niet teruggerekend naar de datum van plaatsen van de Palen voor de ZVP. Uit de eerder getoonde Tabel 1 volgt dat in sommige gevallen nog tenminste 30 mm verplaatsing voorafgaande aan de nul referentie van de metingen is opgetreden.

Er zijn geen metingen (XYZ) vanaf de bouw van de onderbouw tot de metingen van Arcadis (2006). Wel zijn er metingen van Infraspied vanaf 2004 op de TMG-punten welke om de ca 60m zijn aangebracht. Deze meetopzet heeft een beduidend lagere meetnauwkeurigheid, +/- 3 a 4mm. Op deze bevindingen zijn de locaties van de damwanden bepaald en de lengte van het te vervangen Rhedaspoor.

De secties zonder damwand vertoonden in het verleden geringere verplaatsingen (reden waarom hier geen damwanden zijn bijgezet). Inmiddels vertonen ook deze secties verplaatsingen maar geringer dan de secties, waar inmiddels damwanden zijn geplaatst ter beperking van deze verplaatsing. Een vergelijk over de laatste herhalingsmetingen laat een stabilisatie van de toenames zien voor de damwandsecties. Voor de niet damwandsecties is die stabilisatie minder waarneembaar. Daarmee lijken de damwanden in ieder geval (deels) hun beoogde functie te vervullen.

## HSL-Zuid Externe toetsing Baanverplaatsing Rijkswetering

Om de constructieve impact van de vervormingen op de baanconstructie te analyseren wordt onderscheid gemaakt naar de secties met damwanden resp. zonder damwanden, waarop in de volgende paragraaf meer in detail zal worden ingegaan.

### **3.3.1. Baansecties met damwandscherm en aanpassing van model**

De door Deltares opgestelde en beschikbaar gestelde Plaxis-modellen (2D) waarvan de geometrie overeen stemt met de figuren zoals getoond in de rapportages uit 2012 en 2013, resp. 1204379.000 en 1204379.008 zijn gebruikt voor aanvullende berekeningen, Destijds waren die berekeningen gemaakt met plaalementen en als een soort upgrade zijn die modellen aangepast en de plaalementen voor de palen vervangen door embedded piles. Het voordeel van embedded beams is dat hiermee op meer eenvoudige en eenduidige wijze een uitspraak kan worden gedaan over de te verwachten paalkrachten.

Eerst is met het model met verankerde wand -ter verificatie en kalibratie – onderzocht of vergelijkbare verplaatsingen konden worden gereproduceerd. Het model toonde een redelijk tot goede overeenstemming met de modeluitkomst met plaalementen, die na conversie naar de Plaxis versie 2016 parallel opnieuw waren gedraaid.

Voor wat betreft de uitkomsten van de berekende paalmomenten, in dit geval berekend met de embedded piles modellering kwam het beeld naar voren dat de laterale verplaatsingen voor de locatie met verankerde damwand de laterale verplaatsingen in alle gevallen zodanig beperkt zijn dat deze niet tot een overschrijding van een maximaal moment leiden; zowel kopmoment en veldmoment onderin.

In aansluiting hierop is vervolgens onderzocht wat de bijdrage vanuit rem- en afzetkrachten is aan het kopmoment, waarbij een model is opgezet in de laterale richting van de baan. Daaruit komt het beeld naar voren dat ook voor de situatie van rem- en afzet-krachten, voor het kopmoment, voor de situatie met de verankerde damwand niet tot een overschrijding van capaciteit van de palen komt. Dit geldt overigens ook voor het veldmoment onderin de paal.

Aangezien de verplaatsingen voor de locaties met verankerde damwand zich voor wat betreft de laterale verplaatsingen verder lijken te stabiliseren is de aandacht vervolgens verlegd naar de situatie zonder veranderde damwand.

## HSL-Zuid Externe toetsing Baanverplaatsing Rijpwetering

### **3.3.2. Secties zonder damwandscherm**

Voor de situatie zonder damwand zijn ook aanvullende Plaxis sommen gemaakt. Daarbij blijkt dat de momenten hier veel verder kunnen oplopen. Daar is de situatie op de langere termijn (in relatie tot mogelijke bezwijken van de paal), mogelijk wel maatgevend, zie ook de aanvullende toelichting op de berekening in paragraaf 3.3.3.

Aanbevolen wordt om de kopverplaatsing in ieder geval beperkt te houden tot ca. 100 mm. Het bezwijkmoment voor falen van de gehele rij palen op moment ligt bij benadering bij 167 mm laterale verplaatsing, zie ook Fig. 1.

Voor wat betreft het gedrag van de baan heeft het er alle schijn van dat het baanlichaam aan de oostzijde leunt op het baanlichaam van de A4 terwijl deze steun aan de westzijde ontbreekt. Het scharnierpunt bevindt zich daarbij ergens aan de A4 zijde van het baanlichaam van de HSL, mogelijk op een niveau van 6 meter onder maaiveld. Door kruip van de kleilagen onder het baanlichaam in het bijzonder aan de westzijde, aan de oostzijde heeft de baan steun op het baanlichaam van de A4 zwaait de baan uit richting de polderzijde. Doordat kruip van de onderliggende kleilagen een doorgaand proces is zal deze beweging zonder een stabiliserende maatregel niet zomaar stoppen.

Dit effect wordt mogelijk nog negatief beïnvloed, doordat in dit gebied in het verleden bij de aanleg van de A4 ook doorpersingen zijn geweest waardoor het zandlichaam van de A4, "uitstulpingen" kent waar het HSL baanlichaam mogelijk in mindere of meerdere mate op steunt. Het is ook niet goed bekend hoe de ondergrond er hier in detail uitzet.

Zoals eerder opgemerkt, het lijkt aannemelijk dat deze zettingen worden veroorzaakt door nazakken van de baan, kruip van de kleilagen in de ondergrond, seculier zetting; althans, ten zuidwesten van het KW Zuidweg. Doordat het baanlichaam hier waarschijnlijk aan één zijde steun vindt aan het naastgelegen dieper gefundeerde zandlichaam van de A4, terwijl het aan de andere zijde in mindere mate die steun kan vinden door de lagere ligging van het naastgelegen terrein met een slappere ondergrond zakt het baanlichaam eenzijdig weg waarbij de bovenbouw, door het dieper gelegen draaipunt "uitzwaait"

### **3.3.3. Toelichting op de evaluatie van de maximale belasting in de paalconstructie**

Volgens HSL Hollandse Meren; 10120058-60-00-CA-0001, kan in de palen, vierkant 400 mm, onder de ZVP een maximaal vloeimoment worden verondersteld

## HSL-Zuid Externe toetsing Baanverplaatsing Rijpwetering

van 120 kNm voor de schacht van de paal. Voor de eenvoud wordt deze waarde voor de gehele paal, dus ook voor het kopmoment aangehouden.

Op basis van een verkennende Plaxis berekening, zie ook paragraaf 3.3.1, waarbij een verkenning is gemaakt van het maximale kopmoment bij remmen en accelereren, werd berekend dat het maximale kopmoment daarbij in de orde is van 40 kNm per paal onder de fundering.

Bovengenoemd moment betreft een uitbuiging in de lengte richting van de baan.

Uitgaande van een convexe omhullende voor de combinatie van het moment parallel aan de baan en loodrecht daarop, waarbij de capaciteit in alle richtingen gelijk is, wordt gevonden dat:

$$M_{\text{vloei\_max}} = \sqrt{(M_{\text{vl\_//}})^2 + (M_{\text{vl\_/-}})^2}$$

waaruit volgt dat de maximale capaciteit die voor een laterale verplaatsing kan worden gereserveerd groot is:

$$(M_{\text{vl\_/-}}) = \sqrt{(M_{\text{vloei\_max}})^2 - (M_{\text{vl\_//}})^2}$$

En dus

$$(M_{\text{vl\_/-}}) = \sqrt{120^2 - 40^2} = 113 \text{ kNm}$$

Vervolgens is een Plaxis berekening waarbij de embedded pile is gemodelleerd met een vloeimoment van 113 kNm en is bepaald bij welke opgelegde verplaatsing vanuit het grondmassief in alle palen aan de kop een vloeischarnier ontstaat.

Voor de situatie zonder verankerde damwand is voor de schematisering met Embedded piles opnieuw een kalibratie berekening gemaakt. In het aangepaste model wordt na 100 jaar kruip een maximale horizontale verplaatsing berekend van 92 mm. Deze verplaatsing kan worden vergeleken met de 120 mm verplaatsing zoals die wordt berekend in Deltares 1204379-008-GEO-0001. Ofschoon er een klein verschil is, wordt dit acceptabel geacht omdat de orde van grootte van de verplaatsing overeenkomt. De uitgangssituatie voor de evaluatie van de maximale krachten is de uitkomst van de berekening na 100 jaar kruip

## HSL-Zuid Externe toetsing Baanverplaatsing Rijpwetering

Voor wat betreft de ontwikkeling van de krachten zijn verschillende berekeningen gemaakt met een steeds verdergaande aanspraak van het draagvermogen van de palen. In een eerste stap is berekend wat de verschillende palen dragen bij het bereiken van het 1e vloeischarnier, i.e. dat ontwikkeld zich in paal no 4, die is gelegen aan de meest oostelijk zijde aan de kant van de A4. In die situatie is nog reserve aan lateraal draagvermogen aanwezig in de andere palen. De verdeling van de paalkrachten is weergegeven in Tabel.2. De laterale verplaatsing van de ZVP is dan 93 mm.

In die situatie worden met Plaxis kopmomenten berekend waarbij voor palenrij 4, het plastische moment is bereikt; i.e.  $26,9 \times 4,2 = 112,9$  kNm, De factor 4,2 komt voort uit de paalafstand in lengterichting van de baan.

**Tabel 2. Kopmomenten na 100 jaar kruip op basis van Plaxis model**

Paalrij	Moment kNm/m	Moment kNm (per paal)
1	13,9	58,4
2	19,0	79,8
3	24,3	102,6
4	26,9	112,9

**Tabel 3. Maximaal veldmoment per paal; na 100 jaar kruip**

Paalrij	Moment kNm/m	Moment kNm (per paa)l
1	24,5	102,9
2	19,4	81,5
3	12,5	52,5
4	19,5	81,9

Vervolgens is een aanvullende berekening gemaakt waarbij de ZVP door een additionele kracht in horizontale richting wordt belast, tot dat vier plastische scharnieren worden gevonden in de aansluiting van de palen aan de Zettingsvrije plaat. Ofschoon de uitkomst enigszins arbitrair kan worden gevonden omdat de verplaatsingen niet echt leiden tot een globaal faalmechanisme is enigszins pragmatisch de verplaatsing bepaald waarbij voor het eerst alle kopmomenten kunnen worden aangemerkt als vloeischarnier. Overigens is er dan nog geen sprake van een overall globaal mechanisme. Er bestaat dan nog steeds een reserve ten aanzien van eventuele laterale krachten voordat de baan zou uitbreken. Voor de eenvoud geldt deze situatie als een grens situatie omdat voorbij deze

## HSL-Zuid Externe toetsing Baanverplaatsing Rijpwetering

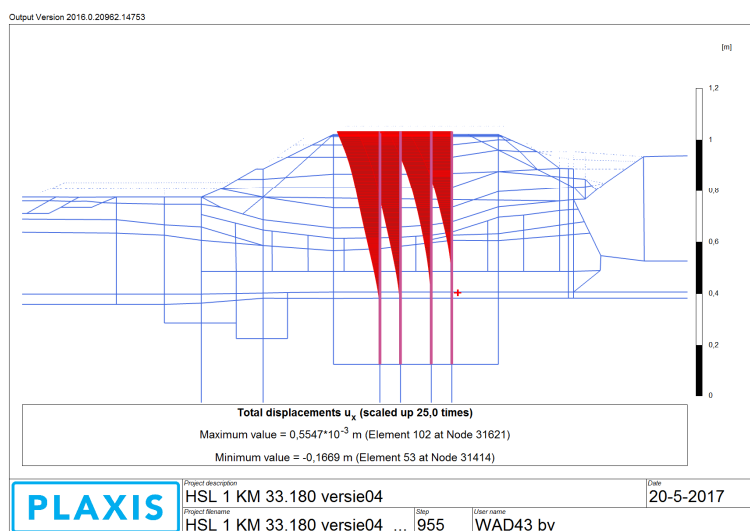
grens de laterale stijfheid van de baan sterk zal afnemen. De grens werd bij benadering bepaald op een verplaatsing van 119 mm, zie tabel 4:

**Tabel 4. Kopmomenten bij een laterale verplaatsing van 119 mm**

Paalrij	Moment kNm/m	Moment kNm (per paal)
1	26,8	112,6
2	27,2	114,2
3	27,1	113,8
4	26,9	112,9

Als afsluiting van deze serie berekeningen is nog bepaald bij welke verplaatsing ook bij de inklemming beneden bij alle palen een vloeimoment is bereikt. Dat blijkt dan pas te zijn bij een verplaatsing van 167 mm, zie Fig. 2.

Waarbij vermeld dient te worden dat ofschoon de palen dan hun maximale capaciteit hebben bereikt de grond nog altijd reserve heeft om de palen zijdelings te steunen dus dat zelfs bij een dergelijk grote vervorming er nog geen aanleiding is te denken dat de baan onder de treinbelasting zijdelings zou kunnen uitbreken.



**Figuur 2 Maximale laterale verplaatsing van de palen bij het bereiken van een mechanisme, i.e. Alle palen vloeien op moment, zowel aan de kop als op het niveau waar de paal beneden zijn ingeklemd.**

Overigens wordt nog opgemerkt dat de vervormingen in dezelfde orde van grootte liggen als eerder aangehouden in de analyses van Deltares en de op basis daarvan

## HSL-Zuid Externe toetsing Baanverplaatsing Rijkswetering

door Hollandse Meren getoetste constructieve effecten voor de palen. Deze resultaten worden dan ook door de eigen analyse onderschreven.

### **3.4. Oorzaak van de horizontale verplaatsingen Kunstwerk Zuidweg**

Het kunstwerk Zuidweg bestaat uit twee onderling niet verbonden trogbruggen voor het Westelijke- respectievelijk Oostelijke spoor. Het viaduct zelf is in lengterichting opgebouwd uit een statisch bepaald deel, het meest zuidelijke tussen landhoofd (1) en pijler (2). En een statisch onbepaald deel dat loopt van pijler (2) over pijler (3) naar landhoofd (4). Ter plaatse van de zuidelijke pijler 2 zijn de trogbrugdelen dus constructief gescheiden. Uit de monitoring blijkt dat het zuidelijk landhoofd noordwaarts is verplaatst en daarbij tevens licht is geroteerd. Het zuidelijk landhoofd is constructief gekoppeld aan de aanliggende moot van de ZVP. Ook de zuidelijke trogliggers lijken wat te zijn verplaatst in noordelijke richting.

Ter weerszijden van de ZVP bevindt zich de fundering van het geluidsscherm. Deze staat qua fundering los van de ZVP en van de landhoofden van het kunstwerk Zuidweg. Uit de monitoring kwam naar voren dat de verplaatsing van het zuidelijke landhoofd zo groot was dat deze randelementen tegen het landhoofd aan kwamen. In 2015 is besloten tot het afzagen van de randelementen van de trogbruggen om dit effect te weg te nemen. De randelementen aan de trogbruggen voorkwamen dat de ruimte tussen trogdeel en landhoofd kleiner werd. Tevens zijn tussen zuidelijk landhoofd en naastgelegen trogdeel groutzakken geplaatst om te voorkomen dat het zuidelijke landhoofd tegen de trogbruggen gaat komen. Reden daartoe was en is er de zorg voor een te hoge spanning op de spoorstaafbevestigingsmiddelen, wanneer het landhoofd weer ruimte heeft om naar het noorden te verplaatsen (en de groutzakken niet geplaatst zouden worden).

Bij het werkbezoek van maandag 22 mei 2017 kwam de vraag naar voren, of en in hoeverre het mogelijk zou zijn dat de middenpijler 2 verplaatst of omgeduwd zou kunnen zijn door een laterale kracht vanuit de trogligger.

Om een indruk te krijgen van de aannemelijkheid hiervan is een berekening gemaakt van de maximale kracht die vanuit het dek via het rubberblok zou kunnen inwerken op de pijler en daar door rotatie en doorbuiging zou kunnen leiden tot het verplaatsen van de bovenkant van de pijlers.

Volgens, het ontwerprapport van de rubber-oplegblokken zijn voor de tussenpijler rubberblokken toegepast, zie Tabel 5,



### HSL-Zuid Externe toetsing Baanverplaatsing Rijpwetering

**Tabel 5. Afmetingen van de toegepaste rubber oplegblokken**

Type ligger : statisch onbepaald – 3 overspanningen

Steunpunt	Steunpunt 1=4		Steunpunt 2=3	
	zijde randconstructie	niet zijde randconstructie	zijde randconstructie	niet zijde randconstructie
10.0-23.6-10.0m type blok	300x300x93 6	250x300x80 7	400x500x94 8	350x400x80 9

bij controle oplegblokken Trelleborg :  
randkolom = zijde randconstructie  
middenkolom = niet zijde randconstructie

Aangehouden is voor het tussensteunpunt een gemiddelde blok van 400 x 500 mm bij een hoogte van 94 mm. Ofschoon het rubberblok 94 mm dik is bedraagt de gesommeerde dikte van het rubber tussen de staalplaten slechts een deel van die dikte, volgens opgave ongeveer 36 mm. Bij een maximale scheefstand van het blok van 20 mm , het maximum dat is gemeten, is de afschuifhoek  $\gamma$  groot 0,55 De maximale kracht in het blok is dan:

$$F_h = EA\gamma$$

waarbij  $\gamma$  is de afschuifhoek. Volgens voornoemd rapport is de glijdingsmodulus  $\approx 1300$  kPa, waarmee de maximale horizontale kracht op de pijler (randpijler) kan worden bepaald op:

$$F_h = 1300 \cdot 0,5 \cdot 0,4 \cdot 0,55 = 144 \text{ kN}$$

Door doorbuiging is de maximale uitbuiging onder invloed van die kracht groot:

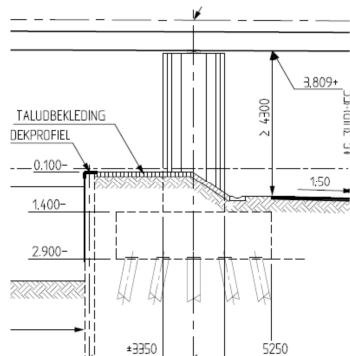
$$\delta = \frac{F \cdot l^3}{3EI}$$

waarbij EI de buigstijfheid van de randpijler is. De afmeting van de pijler is van tekening geschat op bij benadering 0,6 x 1,2 m bij een effectieve stijfheid van 20E6 kPa, bij een uitkragende hoogte van ca. 4 m, wordt dan berekend een doorbuiging van:

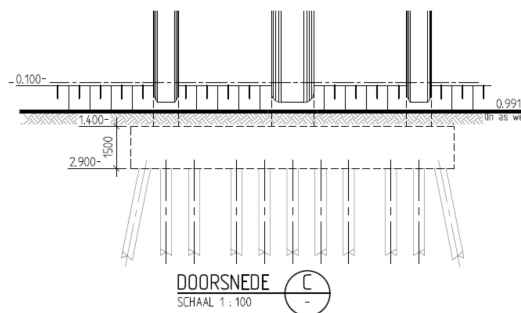
$$\delta = \frac{144 \cdot 4^3}{3 \cdot 20E6 \cdot \frac{1}{12} \cdot 0,6 \cdot 1,2^3} = 0,0018 \text{ m i.e. } < 2 \text{ mm}$$

## HSL-Zuid Externe toetsing Baanverplaatsing Rijwetering

Gezien de hoeveelheid palen onder de fundatie is rotatie onder invloed van deze kracht niet realistisch, tenzij er met het paal draagvermogen iets fundamenteel mis is; Zie Fig. 3 en Fig. 4.



Figuur 3. Zijaanzicht tussenpijler



Figuur 4. Dwarsdoorsnede;  
vooraanzicht fundatie tussenpijler

Een grenswaarde voor het ontwerp van rubberblokken is een maximale rotatie in het blok van 0,7 G, i.e. een maximale afschuifrek van 0,7 (70%).

Gegeven de eerder afleiding zou dit impliceren een maximale horizontale kracht op de randpijler van  $0,7/0,5 \times 55 = 183$  kN, wat zou betekenen een uitbuiging van de pijler van ca 2,3 mm. Ook die verplaatsing valt in het niet bij de verplaatsingen zoals die nu zijn gemeten bij de landhoofden.

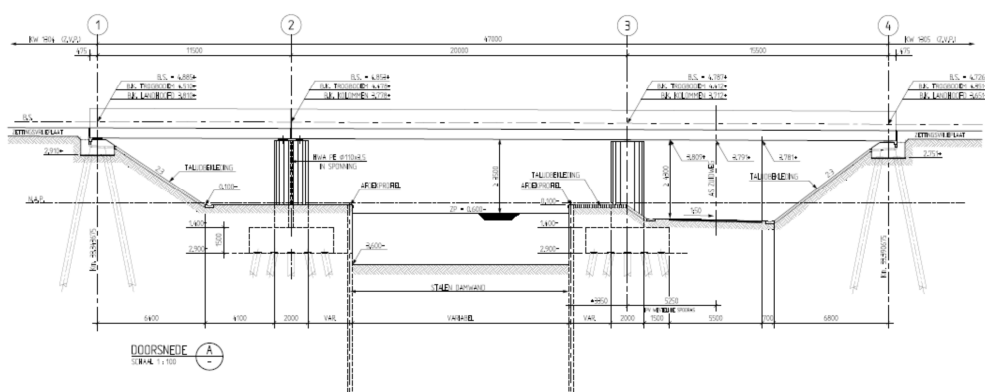
Een nadere evaluatie van de verschillende documenten met meetdata, o.a. notitie RS-UT20130239 d.d. 15 juli 2013 van RailinfraSolutions en de metingen van Dura Vermeer Proj. no 2009398 tekening 9398 d.d. 26 juni 2013, geeft aanwijzingen dat de grootste verplaatsingen zijn opgetreden tijdens en kort na het gereed komen van de bouw van het viaduct, i.e. 45 a 55 mm.

*De som van verschuivingen in de rubberpakketten op landhoofd 1 en pijler 2 bij elkaar bijvoorbeeld voor de oplegblokken aan de NW rand, bij elkaar -18 en + 15 mm, geeft een verschilverplaatsing tussen landhoofd 1 en pijler 2, dat ongeveer overeenkomt met de verplaatsingstoename na 20 Jan 2005. i.e. resp. 33 mm wat vergeleken kan worden met de toename van de verplaatsing van het landhoofd van in de periode 15 mei 2004 en 5 oktober 2011, te weten (76-45 = 31 mm).*

Dit maakt aannemelijk dat het landhoofd na plaatsen van de trogliggers nog in de orde van 31 à 33 mm in noordelijke richting is verplaatst. Dit ondersteunt de conclusie dat het landhoofd onder de brugligger is doorgeschoven.

## HSL-Zuid Externe toetsing Baanverplaatsing Rijpwetering

Het lijkt verder aannemelijk dat de verplaatsing van pijler op as 2 gelijktijdig is opgetreden met de 1<sup>e</sup> verplaatsing van het landhoofd, dus voordat de troglijgger werd geplaatst. Dit wordt ondersteund door de gemeten verschilverplaatsing gezien aan de rubberoplegblokken en de overeenstemming daarvan met de toename van de verplaatsing van het landhoofd.



**Figuur 5. Paalfundering onder de landhoofden in vergelijking tot de fundering van de tussenpijlers.**

Een aanvullende verklaring voor het verplaatsen van pijler 2 is de asymmetrie in de horizontale belasting. Naast de pijler loopt ook nog een vaart waardoor aan de noordzijde van pijler 2 over het bovenste deel een horizontale steun ontbreekt. Gezien de metingen van 2013 t.o.v. 2011 is er weinig reden aan te nemen dat de pijlers van het viaduct nog aan structurele verplaatsingen onderhevig zijn. De metingen (Q1-2015 Q4-2016) van Arcadis tonen aan dat de verplaatsing zuidelijk landhoofd overeen komen met die van de ZVP.

Voor wat betreft de waargenomen verplaatsingen van de randbalken kan opgemerkt worden dat de fundering van de randbalken zich in afwijking van de fundering van het landhoofd beperkt tot loodpalen waardoor de randbalken in de lengterichting van de baan vrijwel geen weerstand in de fundering ondervinden voor horizontale belasting uit de grondverplaatsing. Gezien de overgang in het maaiveld niveau onder het talud is het aannemelijk dat de randbalken de neiging tonen in Noordelijke richting te verplaatsen.

Hoewel dit een ongewenst verschijnsel is voor het geluidsscherm, staat dit los van de integriteit van de spoorbaan of het spoorviaduct.

### 3.4.1. Laterale verplaatsingen van de baan t.p.v. het kunstwerk

## HSL-Zuid Externe toetsing Baanverplaatsing Rijpwetering

Het gehele kunstwerk lijkt mee te gaan in de vervormingslijn over de gehele baan. De horizontale elastische ligger, die ontstaat door de stijfheid van in het bijzonder de spoorstaven dwingt het kunstwerk mee te bewegen met de vervorming van de baandelen. Dit maakt het weinig zinvol om bij mitigerende maatregelen alleen naar het kunstwerk te kijken. Het omgekeerde is overigens wel waar. Als op enig moment besloten wordt om de spoorstaven nabij het kunstwerk door te slijpen vanwege een vervanging dan wordt sterk aanbevolen om daaraan voorafgaand de spoorstaafbevestiging op het kunstwerk geheel los te draaien, zodat de spoorstaafverplaatsing als gevolg van het spanningsloos worden van de spoorstaven niet wordt opgelegd aan het kunstwerk.

Bij de beschouwing van de rapportage monitoring HSL locatie Rijpwetering van 2 maart 2017 en de plot van de GNSS monitoring d.d. 1 maart 2017 wordt een discrepantie gezien in de laterale verplaatsing van het kunstwerk. Enerzijds wordt in het rapport melding van een laterale verplaatsing van het viaduct in westelijke richting terwijl de plot verplaatsingen in de richting van de A4 aangeven. Aanbevolen wordt om de monitoring voort te zetten zodat meer helderheid wordt verkregen over de grootte en de richting van de verplaatsingen.

## Hoofdstuk 4. Mogelijke maatregelen.

### 4.1. Baandelen ten zuiden van kunstwerk Zuidweg

#### 4.1.1. Baandelen met verankerde damwanden

De baandelen met verankerde damwanden vertonen momenteel de grootste horizontale verplaatsingen. De huidige horizontale verplaatsingen naderen de 60% van de eerder door Deltares geformuleerde grens van 100 mm. Uit de aan dit rapport ten grondslag liggende berekeningen bleek dat deze grens mag liggen op 110 mm bij een absolute grenswaarde van ca. 160 mm. De toename van de verplaatsingen lijkt nu enigermate te stabiliseren voor deze baandelen. Het nu nemen van maatregelen anders dan voortgaand monitoren wordt nu niet noodzakelijk geacht. Wel wordt aanbevolen om de huidige ankerkracht vast te stellen door het met een vijzel lossen van het anker. Gedacht wordt aan elke derde anker zodat een goed representatief beeld kan worden ontleend. Op basis hiervan kan worden bepaald hoeveel beschikbare ruimte er nog aanwezig is voor eventueel naspannen.

Tijdens de 52-urige TVP in 2018 wordt aanbevolen te rijden met verschillende rijnsnelheden met een trein voorzien van een responsmeting. Uit de respons per betonmoot van de ZVP kan indirect worden afgeleid of er ergens een kans is op de aanwezigheid van gescheurde palen.

#### 4.1.2. Baandelen zonder verankerde damwanden

De baandelen zonder verankerde damwanden bewegen evenzeer westwaarts. Als deze beweging niet stabiliseert wordt aanbevolen om die baanvakken, die op basis van de metingen binnen enkele jaren een verplaatsing van 100 mm zou bereiken, tijdig te voorzien van een verankerde damwand gelijk aan die, welke al bij andere secties zijn aangebracht.

Gezien het gegeven dat er over het beschouwde traject nog geen correcties in de spoorconstructie zijn doorgevoerd en de totale stelbaarheid nog beschikbaar is, zijn op korte termijn nog geen aanvullende beheersmaatregelen als het aanbrengen van extra verankerde damwanden nodig.

## HSL-Zuid Externe toetsing Baanverplaatsing Rijpwetering

### 4.1.3. Drainagesysteem

Aanbevolen wordt om het drainagesysteem tussen de A4 en de HSL-baan op werking te controleren en indien mogelijk qua afvoer capaciteit te vergroten. Tevens wordt aanbevolen om afstromend regenwater van A4 en HSL-baan via gootconstructies direct af te leiden voordat inzijging op kan treden.

Tevens wordt aanbevolen om de drainage van het baanlichaam zelf te verbeteren en de doorlatendheid van de damwanden te vergroten.

### 4.1.4. Monitoring

Aanbevolen wordt om het huidige monitoringsprogramma voort te zetten en nog uit te breiden met meer peilbuizen in het baanlichaam en tussen A4 en baanlichaam HSL.

## 4.2. Baandelen ten noorden van kunstwerk Zuidweg

Voor deze baandelen wordt alleen het voortzetten van de monitoring aanbevolen.

## 4.3. Kunstwerk Zuidweg

Vooralsnog worden geen ingrijpende maatregelen nodig geacht. Het zuidelijke landhoofd is nu door middel van groutzakken horizontaal gefixeerd ten opzichte van het zuidelijke dek van het kunstwerk. Dit leidt er toe dat de optredende belastingen vanuit het baanlichaam, die de verplaatsing van het zuidelijke landhoofd veroorzaken, nu werken op het samenstel van gekoppelde sectie ZVP, landhoofd en zuidelijke dek kunstwerk. Hoewel dit systeem iets stijver zal reageren dan tot heden, zal de vervorming niet volledig worden verhinderd, overigens zonder de functionaliteit van het spoor kenmerkend te hinderen.

Het verder fixeren van het landhoofd kan door middel van groutankers die door het landhoofd heen worden aangebracht tussen de palen van de zuidelijker gelegen ZVP. Alternatief is het aanbrengen van een palenjuk aan de teen van het talud onder het landhoofd, vanwaar betonpendels worden opgespannen en het landhoofd fixeren. Voor beide varianten geldt dat er sprake is van een extra kracht in de bestaande palen van het landhoofd, welke daartoe op sterkte dienen te worden gecontroleerd. Ingeschat wordt dat dergelijke maatregelen het systeem verstijven maar toekomstige verplaatsing van het landhoofd nooit geheel zullen kunnen voorkomen. Gezien het beperkte effect op de functionaliteit van het spoor wordt een dergelijke ingrijpende maatregel nu niet aanbevolen.

## HSL-Zuid Externe toetsing Baanverplaatsing Rijpwetering

Wel kan de taludbekleding die door de vervorming van het landhoofd deels los lgt, worden hersteld zodat uitspoeling wordt voorkomen.

Vanwege de beperkte mogelijkheden tot verbetering van de situatie en het beperkte gevolg voor het gebruik van het spoor lijkt het verstandig om nu alleen de lopende monitoring voor te zetten.

Gezien dat de laatste meting van de oplegblokken al dateert uit 2013 wordt een herhaling van deze opname sterk aanbevolen.

Tijdens de 52-urige TVP wordt aanbevolen ook de respons van het kunstwerk te meten bij een treinpassage met versnellingsopnemers bevestigd aan de zijkant van het dek. Op basis hiervan kan op indirecte wijze worden afgeleid of alle trogdelen goed dragen op de rubber opleggingen. In het geval dat er sprake is van ongelijkmatig dragen wordt aanbevolen de betreffende rubberpakketten vrij te vijzelen en te voorzien van een stalen oplegplaat om een grotere oplegdruk te verkrijgen.

## HSL-Zuid Externe toetsing Baanverplaatsing Rijpwetering

### 4.4. Voorgestelde acties

- i. Voorzetten monitoring verplaatsingen voor alle baansecties en kunstwerk
- ii. Vaststellen van werkelijke kracht in voorspanankers door het trekken van 1 op 3 ankers tot moer lost.
- iii. Controleren werking en waar mogelijk uitbreiden drainage baanlichaam en drainage tussen A4 en HSL.
- iv. Bijplaatsen peilbuizen (zodanig dat er minimaal 3 peilbuizen per sectie aanwezig zijn)
- v. Onderzoeken respons ZVP en kunstwerk door middel van versnellingsopnemers tijdens 52-urige TVP
- vi. Onderzoeken respons per oplegblok van het kunstwerk en indien nodig uitvullen minder dragende oplegging.
- vii. Verkrijgen van informatie over bezwijkgedrag oplegblokken, dan wel deze in laboratorium vervormingsgestuurd beproeven tot bezwijken.
- viii. Het herstellen van de taludbekleding onder het zuidelijk landhoofd van het kunstwerk.



## HSL-Zuid Externe toetsing Baanverplaatsing Rijpwetering

### Bijlage 1. Documentenlijst

1. Deltares: Horizontale verplaatsing zettingsvrije plaat te Rijpwetering , oplossingsvarianten en prognose restverplaatsingen. Kenmerk 417080-0133-rap versie 02 definitief dd. november 2006
2. Deltares:Aanvullende maatregelen Rijpwetering. Kenmerk 417083-005 versie 03. okt 2008
3. Deltares: Analyse buigende momenten in de palen onder de zettingsvrijeplaat en landhoofden KW1408, analyse door extra zandophoging. Kenmerk 1204379-000-Geo-0012 dd. 2012.
4. Deltares: onderzoek palen onder betonnen plaat. Kenmerk 1204379-008-Geo-0001 dd2013
5. Tek HSL 11-408-C-T-46-001
6. Tek HSL-11-408-C-T-46-011
7. Tek HSL-11-305-C-T-33-051
8. Tek HSL-11-304-C-T-33-052
9. Tek HSL-11-408-C-T-46-021
10. Tek HSL-11-408-C-&-46-161
11. HSL-Hollandse Meren Oplegblokken trogliggers, HSL1-1-1400-C-B-40040,okt. 2003
12. Arcadis, dertiende herhalingsmeting locatie Rijpwetering, 3 maart 2017
13. Fugro, monitoring Rijpwetering, 28 april 2016
14. Samenvatting bevindingen zettingen aardebaan Rijpwetering, 13/14 november 2011
15. Deltares, Onderzoek palen onder betonnen plaat Rijpwetering, 26 maart 2013
16. Infraspeed, 0-inspectie civiele kunstwerken 2015, K-BR-N130-E
17. Deltares, Monitoring en analyse vervormingen Rijpwetering, 5 februari 2013
18. Infraspeed, Instabiliteit onderbouw Rijpwetering, 29 april 2016
19. Infraspeed, Inspectierapport funderingspalen onder ZVP Rijpwetering, 11-1-2016
20. Overzicht meetactiviteiten HSL-Zuid, mei 2015
21. Verslag uitvullen zettingsvrije platen Rijpwetering, RIS, 22 augustus 2014
22. Vervormingen Bijlage 03<sup>E</sup>-HE01, 2-5-2006
23. Vervormingen Bijlage 03<sup>E</sup>-HE01, 15-12-2015
24. Arcadis, Elfde herhalingsmeting, 3 mei 2016
25. RailInfra Solutions: Rapport deformatie ZVP KW 1304 km 132.900-133.300 Geotechnische herberekening. Kenmerk RS-UT-20170036. dd feb. 2017.

# Ex Aequo

**Pruijssers Management BV**

Middeldijk 32  
2992 SJ Barendrecht

HSL-Zuid

Externe toetsing Baanverplaatsing Rijpwetering

26. Hollandse Meren, KW 1304 km 32.800-33.300-KW 1408; Paalfundering,  
afdracht belastingen, doc. 10120058-60-00-CA-0001,15-2-2013

## BIJLAGE 2. Uitzwaaien van de HSL baan; de baan als stijfelement in een verende bedding

De baan van de HSL; gekoppeld door de stijve ligger van de spoorrails kan worden gemodelleerd als een elastisch ondersteunde ligger met de stijfheid van 2 x een enkele liggende plaat

De stijfheid wordt berekend als

$$EI = 45E6 \cdot 2 \cdot \frac{1}{12} 0,5 \cdot 3^3 = 101E6$$

De stijfheid van de onderbaan; i.e. de verende bedding is teruggerekend uit de Plaxis som waarbij een berekening is gemaakt van de maximale weerstand van de baan bij een zijdelings opgelegde belasting.

De maximale weerstand van de palen geeft een dwarskracht van 4 x 40 kN/m bij een zijdelingse verplaatsing van 0,17 m

Dan wordt berekend een beddingsconstante groot

$$k = \frac{160}{0,177} = 900 \text{ kn / m / m}$$

Volgens de theorie van de ligger op verende bedding, volgens Bouma, wordt dan een differentiaal constante berekend van

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{k}{4EI}} = \sqrt[4]{\frac{900}{4 \cdot 100E6}} = 0,039$$

Daaruit volgt bij benadering een halve golflengte van

$$\lambda = \frac{\pi}{4\beta} = \frac{\pi}{4 \cdot 0,039} \approx 20\text{m}$$

Om te komen tot een grote golflengte is gerekend met een maximale stijfheid van de baan en een minimale stijfheid van de ondergrond.

Daarmee lijkt de hypothese dat de baan wordt meegesleept door de verende kracht in de baan als ligger ontkracht; dan zou de ondergrond toch een substantieel lagere bedding

# Ex Aequo

Pruijssers Management BV

Middeldijk 32  
2992 SJ Barendrecht

HSL-Zuid

Externe toetsing Baanverplaatsing Rijpwetering

moeten geven dan wat wij nu bereken; de halve golflengte die wij waarnemen is meer in de orde van 200 m.

Hypothese 2; stel dat de baan als geheel gaat werken, i.e. de twee ZVP samen; en er geen sprake is van 2 apart buigende liggers, dan wordt de stijfheid berekend als

$$EI = 45E6 \cdot \left( \frac{1}{12} 0,5 \cdot 8^3 - \frac{1}{12} 0,5 \cdot 2^3 \right) = 945E6$$

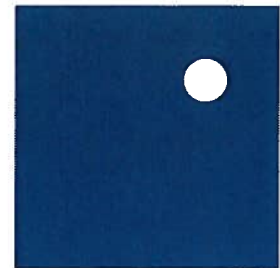
Bij een zelfde beddingsconstante wordt de differentiaal constante groot

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{k}{4EI}} = \sqrt[4]{\frac{900}{4 \cdot 900E6}} = 0,022$$

Met een halve golflengte van

$$\lambda = \frac{\pi}{4\beta} = \frac{\pi}{4 \cdot 0,022} \approx 35\text{m}$$

Ook in dat geval is de golflengte te kort om het waargenomen gedrag toe te schrijven aan liggerwerking.



## CRUX

CRUX Engineering BV  
 Pedro de Medinalaan 3c  
 NL-1086 XK Amsterdam  
 Tel: +31 (0)20 - 494 30 70  
 Fax: +31 (0)20 - 494 30 71  
 info@cruxbv.nl  
 www.cruxbv.nl

OPDRACHTGEVER      ProRail B.V.  
 Dhr. T. Padmoes  
 Postbus 2038  
 3500 GH Utrecht

PROJECTNUMMER      16390

DOCUMENTNUMMER    RAI6390a

VERSIE                7

OPGESTELD            ing. D.G. Goeman

...

GECONTROLEERD     dr. ir. ing. A.E.C. van der Stoel

...

VRIJGAVE             dr. ir. ing. A.E.C. van der Stoel

...

DATUM                 12-09-2017

### Rapport [RAI6390a7]

### Zettingsvrije plaat HSL Zuid

### Injectieproef: geschiktheid typen injectie en proefopzet

#### VERSIEGESCHIEDENIS

REV.	DATUM	OPMERKING
1	07-10-2016	1 <sup>e</sup> concept nadrukkelijk als groeidocument
2	12-10-2016	2 <sup>e</sup> concept, aangevuld en opmerkingen ProRail 1 <sup>e</sup> cpt verwerkt
3	2-11-2016	Keuze materiaal verwerkt – berekeningen en monitoring toegevoegd
4	7-11-2016	Aanpassingen afstemming werkplan VSF / CRUX
5	7-11-2016	Tekstuele aanpassing + toevoeging overzicht sonderlocaties
6	14-11-2016	Aanpassing in monitoring obv overleg HSL EP-track
7	11-09-2017	Resultaat drukproeven

© 2017 CRUX Engineering BV

Niets uit dit drukwerk mag worden veelevoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand en/of openbaar gemaakt, in enige vorm op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, microfilm zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van CRUX Engineering BV, noch mag het zonder een dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd.

Documentlocatie:

\\dserver02\Projecten\16xxx\16390 ProRail Injectie zettingsvrije plaat HSL-Zuid\01 RAP\RAI6390a7 HSL zuid injectieproef.docm  
 Formulier RA-01-v16.0803

# Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>INLEIDING .....</b>	<b>3</b>
1.1	Algemeen .....	3
1.2	Leeswijzer .....	3
<b>2</b>	<b>UITGANGSPUNTEN .....</b>	<b>4</b>
2.1	Documenten .....	4
<b>3</b>	<b>MOGELIJKE OPLOSSINGEN.....</b>	<b>5</b>
3.1	Inleiding.....	5
3.2	Verlengen van palen door bodeminjectie.....	5
3.2.1	Waterglasinjectie.....	5
3.2.2	Microcement.....	6
3.3	Verlengen van de palen middels jet grouting.....	7
3.4	Opspannen van de grond bij de paalpunt middels compaction grouting.....	7
3.5	Keuze uit te werken methode voor vergroten paal draagvermogen .....	8
<b>4</b>	<b>UITGANGSPUNTEN/RANDVOORWAARDEN EN PROEFOPSTELLING.....</b>	<b>10</b>
4.1	Inleiding.....	10
4.2	Uitgangspunten en randvoorwaarden proef.....	10
4.3	Korrelverdeling en keuze injectiemateriaal .....	10
4.4	Proefopstelling .....	11
4.5	Verwachte wijziging paalgedrag .....	12
<b>5</b>	<b>MONITORING PROEFLOCATIE.....</b>	<b>14</b>
5.1	Inleiding.....	14
5.2	Te meten onderdelen .....	14
5.2.1	Meting horizontale en verticale vervorming.....	14
5.2.2	Registratie injectieproces .....	14
5.3	Meetfrequentie .....	15
5.3.1	Meetfrequentie horizontale en verticale vervormingen.....	15
5.3.2	Kernboring verticale lans.....	15
5.4	Toleranties.....	15
5.4.1	Horizontale en verticale vervormingen.....	15
5.5	Interpretatie .....	16
5.5.1	Horizontale en verticale vervormingen.....	16
5.5.2	Gegevens injectieproces.....	16
<b>6</b>	<b>RESULTAAT DRUKPROEVEN .....</b>	<b>17</b>
6.1	Inleiding.....	17
6.2	Eigenschappen microcement en waterglasinjectie .....	17
6.3	Proefresultaten .....	17
6.4	Conclusie en vergelijk met verwachting.....	19
<b>7</b>	<b>LITERATUUR .....</b>	<b>20</b>

Documentnummer: RA16390a7  
Project: Zettingsvrije plaat HSL Zuid  
Injectieproef: geschiktheid typen injectie en  
proefopzet

Projectnummer: 16390  
Afdrukdatum: 12-9-2017  
Pagina: 1



## Lijst van Figuren

Figuur 1 Verband injectiemiddel eigenschappen en ongesteunde druksterkte .....	6
Figuur 2 Mogelijke verdichting / verplaatsing van grond ten gevolge van compaction grouting bij een funderingspaal.....	8
Figuur 3 Korrelverdeling met ondergrens toepassingsgebied .....	11
Figuur 4 Doorsnede injectieproef.....	11
Figuur 5 Bovenaanzicht proefopstelling .....	12
Figuur 6 Gewijzigde afmeting paalpunt.....	12
Figuur 7 Meetpunten deformatie.....	14
Figuur 8 Voorbeeld 'geschikt' monster (links) en 'niet geschikt' monster (rechts) .....	18

## Lijst van Tabellen

Tabel 1 Afwegingstabel .....	9
Tabel 2 Vergelijking draagvermogen met en zonder injectie.....	13
Tabel 3 Vergelijking toename veerstijfheid .....	13
Tabel 4 Samenvatting proefresultaten.....	18
Tabel 5 Bepaling karakteristieke waarde .....	19

## Lijst van Bijlagen

Bijlage 1 Sondering 1 t/m 4, boring en korrelverdelingen
Bijlage 2 Voorbeelden registratie (aangeleverd door VSF)

Documentnummer: RA16390a7  
Project: Zettingsvrije plaat HSL Zuid  
Injectieproef: geschiktheid typen injectie en  
proefopzet

Projectnummer: 16390  
Afdrukdatum: 12-9-2017  
Pagina: 2



# I Inleiding

## 1.1 Algemeen

Door CRUX Engineering BV zijn in opdracht van ProRail B.V. geotechnische advieswerkzaamheden uitgevoerd ten behoeve van het bepalen van een geschikte oplossing voor respectievelijk het uitvoeren van een injectieproef ten bate van de zettingsvrije plaat bij de HSL Zuid. Dit document is, omwille van het korte tijdsbestek, voornamelijk een groeidocument.

De problematiek bestaat meer specifiek uit onvoldoende draagvermogen cq. ongewenst zettingsgedrag van enkele secties met onderheide platen van het HSL spoor. In een tweetal op handen zijnde buitendienststellingen van 52 uur in week 46 en week 47 wordt een proef uitgevoerd om te bezien of het mogelijk is met behulp van grondverbeteringstechnieken als bodeminjectie, jet grouting of compensation grouting het draagvermogen cq. zettingsgedrag te verbeteren.

In dit rapport worden de volgende punten behandeld:

- bepaling mogelijke oplossingen voor verbetering paal draagvermogen cq. zettingsgedrag;
- selectie meest kansrijke methode;
- bepaling uitgangspunten en randvoorwaarden proef;
- voorstel voor een proefopstelling voor een concrete locatie;
- voorstel voor metingen/monitoring op de proeflocatie.

De locatie waar de problematiek optreedt is gelegen tussen km 218.240 en km 221.700 van de HSL Zuid en met name op de locatie Schuilingervliet tussen km 218.3 en 218.6. Uit aanvullende stukken betreft de moot waar de grootste problemen optreden moot 14-04 te zijn (km 218.333- km. 218.363). Deze kilometrering wordt op tekening ook zonder de 200 aangegeven: km 18.333 – km 18.363.

## 1.2 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 worden de uitgangspunten behandeld.

Hoofdstuk 3 gaat in op de mogelijke oplossing en wordt een meest kansrijke oplossing geselecteerd.

Hoofdstuk 4 gaat in op de uitgangspunten en randvoorwaarden van de proef en wordt een voorstel van de proefopstelling gegeven.

In hoofdstuk 5 wordt een voorstel voor de metingen/monitoring op de proeflocatie beschreven. In hoofdstuk 6 is het resultaat van de drukproeven opgenomen.

Documentnummer: RA16390a7  
Project: Zettingsvrije plaat HSL Zuid  
Injectieproef: geschiktheid typen injectie en proefopzet

Projectnummer: 16390  
Afdrukdatum: 12-9-2017  
Pagina: 3





## 2 Uitgangspunten

### 2.1 Documenten

De volgende documenten zijn gehanteerd bij het opstellen van dit rapport:

- [1] HSL Bouwcombinatie Drechtse Steden; tekening *HSL-Zuid Geotechnisch lengteprofiel Blad 7, kilometrerig 17,800-18,600*; nummer 00001-G-T-11007 revisie 0; 10-02-2004.
- [2] Fugro; rapport *Geotechnisch veldwerk betreffende HSL-Zuid – monitoring locatie Schuilingervliet*; nummer 8016-0017-000, versie 1; 28-04-2016.
- [3] Holland Railconsult; tekening *HSL-Zuid Geotechnisch lengteprofiel km 18.000-19.000 fase 3*; nummer Z-2K4-400-203 uitgave B; 26-01-2000.
- [4] ProRail; tekening *Terreinbezoek*.
- [5] ProRail; tekening *Overzicht locatie Schuilingervliet*; 24-05-2016.
- [6] HSL Bouwcombinatie Drechtse Steden; rapport *ZVP tunnel Oude Maas-Maasdamseweg, Baandeel 14, Palenstaat*; HSL4-10332-C-H-54217, revisie 0; 10-05-2004.
- [7] HSL Bouwcombinatie Drechtse Steden; tekening *ZVP tunnel Oud Maas-Maasdamseweg, mootindeling baandeel 14, km 18,200 – 18,600*; HSL4-10332-C-T-54117 revisie 0; 10-05-2004.
- [8] HSL Bouwcombinatie Drechtse Steden; tekening *ZVP tunnel Oud Maas-Maasdamseweg, palenplan baandeel 14, km 18,200 – 18,600*; HSL4-10332-C-T-54217 revisie 0; 10-05-2004.
- [9] HSL Bouwcombinatie Drechtse Steden; tekening *ZVP Maasdamseweg-Mookhoek, grondwerk en verhardingen met bouwwegen, doorsneden*; HSL4-13208-W-T-71055 revisie 0; 17-10-2005.
- [10] Iv-Infra, rapport *Versnellingsmetingen onderbouw HSL-Zuid revisie 2.0*, 27-10-2015, inclusief analyse rapport door Alfons Schrama, 24-11-2015.
- [11] GWTR, boring B01, W16-041, 27-10-2016.
- [12] MOS, korrelverdelingen Schuilingervliet (3 stuks), 1603387.
- [13] VSF; werkplan microcement injectie Schuilingervliet HSL zuid Moot 14-03 – 14-04, W16-041-80-001; 28-10-2016.
- [14] VSF; e-mail bevestiging telefonisch contact afstemming CRUX/VSF; 3-11-2016.
- [15] MOS; rapport drukproeven Microcement injectie te Schuilingervliet; RG1702483-01; 18-07-2017.

*CRUX staat niet in voor de juistheid en/of volledigheid van de door derden verstrekte informatie en gegevens.*

Documentnummer: RA16390a7  
Project: Zettingsvrije plaat HSL Zuid  
Injectieproef: geschiktheid typen injectie en  
proefopzet

Projectnummer: 16390  
Afdrukdatum: 12-9-2017  
Pagina: 4



## 3 Mogelijke oplossingen

### 3.1 Inleiding

Om het paal draagvermogen van te korte palen of palen met een onvoldoende draagvermogen te verbeteren bestaan verschillende methoden. De meest 'gangbare' van deze methoden hebben betrekking op het injecteren van de grond. Hier wordt een onderscheid gemaakt tussen:

1. het verlengen van de palen;
  - a. middels bodeminjectie;
  - b. middels jet grouting;
2. het opspannen van de grond bij de paalpunt;
  - a. middels grondverdringend grouten (compaction grouting);

Voor een omschrijving van de verschillende methoden wordt verwezen naar het in maart 2003 in de L+W verschenen artikel [ref. 7].

### 3.2 Verlengen van palen door bodeminjectie

Het principe van het vergroten van het paal draagvermogen middels het toepassen van bodeminjectie berust op het verhogen van de (schijnbare) cohesie van het zand en het vergroten van de stijfheid hiervan. Dit wordt bereikt door het vullen van de poriën in de grond met een stabiliserende waterglas of microcement respectievelijk het verdringen / verdichten van het korrel skelet wanneer de injectievloeistof niet verder kan indringen.

In door Van der Stoel uitgevoerd promotieonderzoek aan de TU Delft [ref. 5] is middels de Praktijk Injectie Proef in Amsterdam aangetoond dat het draagvermogen van houten palen waarbij een bodeminjectie werd toegepast, is toegenomen tot circa 130%. Daarbij dient te worden opgemerkt dat de bodeminjectie bij een aantal van de palen in dit onderzoek werd toegepast op enige afstand van de paalpunten\*. Bij een van de palen werd bodeminjectie nagenoeg naast de paalpunt uitgevoerd. In dat geval werd het paal draagvermogen zo hoog, dat de maximale capaciteit van de proefbelasting installatie werd bereikt.

Aangezien de injectie in de poriën van het korrel skelet wordt aangebracht, behoudt de paal tijdens de uithardingsperiode minimaal de huidige draagkracht.

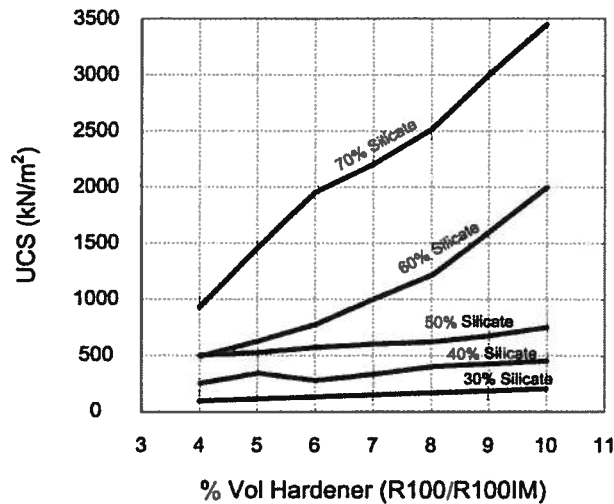
#### 3.2.1 Waterglasinjectie

Bij het uitgaan van een grond stabiliserende injectie met waterglas en harder, dient injecteren plaats te vinden met een mengsel met een waterglaspercentage van ten minste 50% en een harderpercentage van minimaal 8%. In Figuur 1 is het verband gegeven tussen de eigenschappen van het injectiemiddel en ongesteunde druksterkte voor een standaard zand (Leighton Buzzard sand, grade 14/25). Bij een mengsel met een waterglaspercentage van ten minste 50% en een harderpercentage van 8% wordt een ongesteunde druksterkte (UCS) van 660 kPa gevonden (druksterkte na 7 dagen). De stijfheid van het injectielichaam is 250MPa bij een referentiespanning van 100kPa.

---

\* Dit in verband met de doelstelling van de proefnemingen, waarbij in eerste instantie diende te worden vastgesteld dat bodeminjectie geen negatieve invloed op het paal draagvermogen zou hebben.

### Unconfined compressive strength as a function of hardener content



**Figuur 1 Verband injectiemiddel eigenschappen en ongesteunde druksterkte**

Voor de bepaling van de levensduur van constructieve waterglasinjecties is geen regelgeving beschikbaar. Derhalve kan de levensduur discussie oproepen. Uit diverse projecten sinds 1976 lijkt minimaal een constructieve levensduur van 13-40 jaar haalbaar te zijn, zonder afname van druksterkte. Hierbij zijn wel de volgende eisen van belang:

- geen basische grond/grondwater ( $\text{pH} < 8$ );
- hoge alkalische neutralisatie van het injectiemateriaal (80%); gesteld kan worden dat dit bereikt;
- wordt bij 50% injectiemateriaal en 8% harder;
- hoge kwaliteitseisen bij productie en uitvoering van de injectie

#### 3.2.2 Microcement

Microcement is een cementsoort waarbij door de cementkorrels opnieuw te malen de  $d_{95}$  aanzienlijk kan worden gereduceerd. De vloeistof is colloïdaal van karakter en gedraagt zich als een Newtonse vloeistof. Het toevoegen van bentoniet heeft hetzelfde resultaat en geeft de injectievloeistof bovendien een meer thixotroop karakter. Het gebruik van hulpstoffen bij microcementen is daarom onontbeerlijk. Door hun fijne samenstelling zou een hoge wcf (water cement factor) vereist zijn om de verwerkbaarheid te bevorderen, echter dit gaat ten koste van de sterkte. Mede daarom zal, wanneer wederom een geringe krimp en een stabiele samenstelling dienen te worden gegarandeerd, een superplastificeerder moeten worden toegevoegd. De sterkte van zowel zuivere microcement monsters als met microcement behandelde zandmonsters ligt tussen de 1 MPa en 10 MPa. Uit onderzoek van Shibata (1996) is echter gebleken dat de sterkte enigszins afneemt met de tijd. Bij een hoge wcf (circa 8) resteert na 2 jaar circa 20% van de sterkte na 4 maanden. Bij een lagere wcf (4) is dit effect veel kleiner, namelijk een reststerkte van circa 80%.

In de praktijk blijken zich nog wel eens problemen voor te doen met de verwerkbaarheid van microcement (Gouvenot, 1996). De fijne deeltjes van het microcement hebben de neiging te verdichten door de gevoeligheid voor luchtvochtigheid en elektrostatische velden.

Microcement-deeltjes blijken onderhevig aan vlokvorming wanneer ze in water worden opgelost, wat het doordringend vermogen in de alluviale grondsoorten aanzienlijk reduceert. Het toevoegen van dispergeermiddelen, die de potentiaal van de deeltjes zo negatief mogelijk maken, heeft tot gevolg dat de verhardingstijd aanzienlijk wordt verlengd. Tevens geldt dat hoe dunner mengsel, des te instabieler het mengsel. De stijfheid van het microcement zal voornamelijk worden bepaald door de wcf en het toe te passen cement soort.

Voor dit project wordt een microcement met een maximale wcf van 4 aanbevolen. Volker Staal en Funderingen heeft aangegeven van plan te zijn met een wcf van circa 2,5 te injecteren (in het werk nog aan te passen). Dit is in overeenstemming met een maximale wcf van 4.

De levensduur van microcement kan worden aangehouden op 100 jaar.

### 3.3 Verlengen van de palen middels jet grouting

Bij jet grouten wordt door middel een kolom van grout gemaakt ter plaatse van de palen. Hierbij wordt grond weggespoten en vervangen door grout. Aangezien het grout binnen een treinrije periode van 52 uur (in deze tijd dienen ook het groutlichaam te worden aangebracht) onvoldoende uitgehard is, is deze optie niet toepasbaar in dit project. Hierbij wordt opgemerkt dat gezien het feit dat de te korte palen zich over het algemeen in een zandpakket bevinden, jet grouting ten opzichte van bodeminjectie een meer bewerkelijke en kostbaarder oplossing is.

Aangezien bij deze techniek grond vervangen wordt door grout kan de levensduur van cementgrout aangehouden worden. Deze levensduur kan gesteld worden op minimaal 100 jaar.

### 3.4 Opspannen van de grond bij de paalpunt middels compaction grouting

In Figuur 2 zijn de mogelijke verdichting en de mogelijke verplaatsing van grond ten gevolge van compaction grouting bij een funderingspaal schematisch weergegeven. Door de horizontale verplaatsing van de grond ontstaat een effect van opspanning, hetgeen zal resulteren in een verhoging van het draagvermogen. De verticale verplaatsing van de grond is in principe ongewenst en dient zoveel mogelijk te worden beperkt.

In door Van der Stoel uitgevoerd promotieonderzoek aan de TU Delft [ref. 5] is aangetoond dat het draagvermogen van houten palen waarbij een stijve grout werd geïnjecteerd, is toegenomen tot 130%-135%. Een bijkomend effect, dat te maken had met het proefprocédé, is dat de palen door de grouting enigszins omhoog werden geduwd en na het injecteren weer terugzakten (soms zelf iets dieper dan hun oorspronkelijk niveau).

Een op bovenstaand proces gelijkend procedé is toegepast bij een aantal praktijk projecten.

Door Essler et al. [ref. 2] wordt geconcludeerd dat compaction grouting bij paalfunderingen met de nodige voorzichtigheid dient te worden uitgevoerd, vooral wanneer dit gebeurt in zachte kleisoorten. Door dissipatie van wateroverdruk die ontstaat door injecteren kunnen namelijk zettingen ontstaan. Faught [ref. 3] geeft aan dat compaction grouting in zand/silt en gravel, bij de onderkant van een damwand, heeft geleid tot een verdichting van en derhalve een verhoging van de weerstand van die lagen. Hierbij dient opgemerkt te worden dat dit slechts gebaseerd is op de hoeveelheden grout die werden geïnjecteerd en niet op metingen.

In een aantal (niet gepubliceerde) gevallen is bij de productie van boorpalen geïnjecteerd bij de schacht om een tegenvallend schachtdraagvermogen te verhogen. Door Abma [ref. 1] wordt een dergelijk geval beschreven, met dien verstande dat in de daar gebruikte boorpalen reeds voor het

---

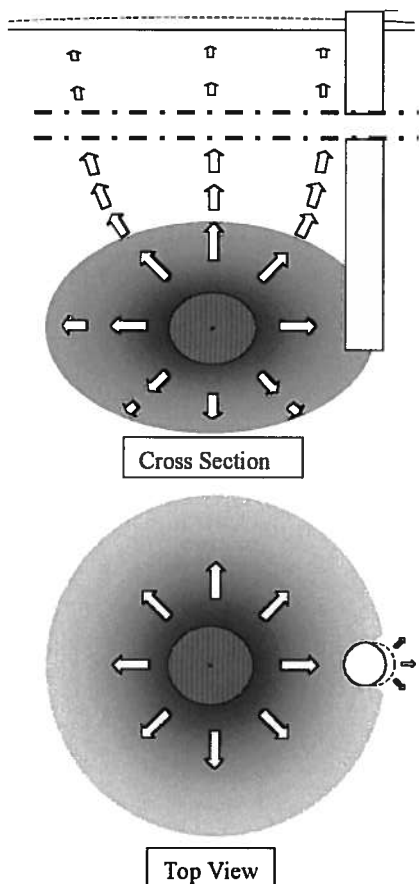
Documentnummer: RA16390a7  
Project: Zettingsvrije plaat HSL Zuid  
Injectieproef: geschiktheid typen injectie en proefopzet

Projectnummer: 16390  
Afdrukdatum: 12-9-2017  
Pagina: 7



aanbrengen van de paal injectieleidingen zijn opgenomen om het punt- en schachtdraagvermogen te verbeteren.

Aangezien bij deze techniek grond verdrongen wordt door grout kan de levensduur van grout aangehouden worden. Deze levensduur kan gesteld worden op minimaal 100 jaar.



**Figuur 2** Mogelijke verdichting / verplaatsing van grond ten gevolge van compaction grouting bij een funderingspaal

### 3.5 Keuze uit te werken methode voor vergroten paal draagvermogen

Beide mogelijke methoden die in de voorgaande 2 paragrafen zijn behandeld lenen zich goed voor het verhogen van het paal draagvermogen. Het voornaamste verschil tussen beide methoden heeft voornamelijk betrekking op uitvoeringsaspecten. Waar bodeminjectie een relatief goed te beheersen proces is, dat bovendien voor stabiliserende doeleinden in Nederland veelvuldig is toegepast, is compaction grouting lastiger beheersbaar en minder toegepast. Hoewel compaction grouting dus waarschijnlijk wel het gewenste resultaat zal bereiken, wordt voor dit project in eerste instantie niet geadviseerd om deze methode toe te passen. Geadviseerd wordt voor bodeminjectie bij de paalpunten te kiezen. De levensduur van constructieve waterglasinjecties is niet bekend. Wel is bekend dat waterglasinjecties minimaal 13-40 jaar mee gaan zonder afname van de druksterkte. Voor een injectie met microcement kan minimaal 100 jaar worden aangehouden.

In Tabel I zijn een aantal relevante punten welke bij de afweging een rol hebben gespeeld opgenomen.

**Tabel I Afwegingstabel**

Methode	Materiaal	Aantal toepassingen materiaal	Levensduur	Beïnvloeding paaldraagvermogen korte termijn	Bekendheid bij methode bij verhogen paaldraagvermogen	Werking methode	Totaal oordeel
Injectie	waterglas	+	geen regelgeving	+/-	+	++	+
	microcement	-	> 100 jaar				
Compaction grouting	grout	+	> 100jaar	+/-	+/-	+/-	+/-
Jetgrouting	grout	+	> 100jaar	-	+/-	+	-

## 4 Uitgangspunten/randvoorwaarden en proefopstelling

### 4.1 Inleiding

Om het paal draagvermogen/zettingsgedrag van de palen te verbeteren wordt een proef met bodeminjectie opgezet. De uitgangspunten en randvoorwaarden van deze proef alsmede de proefopstelling zijn in dit hoofdstuk beschreven.

### 4.2 Uitgangspunten en randvoorwaarden proef

Voor de proefopstelling zijn de volgende uitgangspunten en randvoorwaarden van belang:

- Te injecteren grond dient te bestaan uit zand waarin geen grote fijne fractie in aanwezig is.
- Een proef dient uitgevoerd te worden op minimaal twee rijen palen (ter plaatse van een voeg) om scheefstand van de plaat te voorkomen (scheluwte).
- Tijdens de TVP dient al enige uitharding opgetreden te zijn (geen injectie aan het eind van de TVP).
- De injectielansen dienen tijdens een treinvrije periode aangebracht te worden.
- De injectie zelf dient binnen een treinvrije periode te vallen (bij voorkeur aan het begin zodat het materiaal al enigszins op sterkte kan komen).
- Na afloop treinvrije periode dienen treinen met 300km/h over de ZVP te kunnen rijden.
- De injectielansen dienen met enige nauwkeurigheid te worden aangebracht zodat het injectielichaam de paalpunt omvat.
- Na aanbrengen injectielansen dienen vervormingen van het spoor in beeld gebracht worden.
- Voor en na injectiewerkzaamheden dienen vervormingen van het spoor ingemeten te worden.
- De injectielansen (buisjes) blijven in de ondergrond achter.
- Ten behoeve van de proef wordt een injectie uitgevoerd bij de paalpunt.
- Maatgevende locatie: plaat I4-04 ter plaatse van voeg I4-03 -> I4-04.

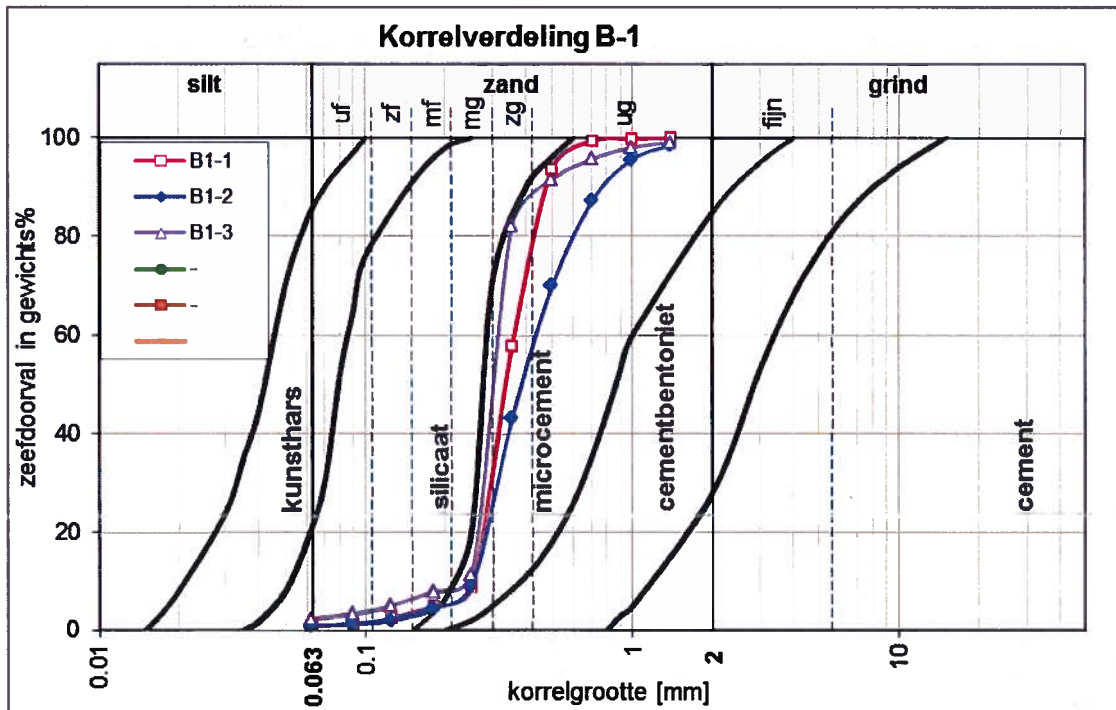
### 4.3 Korrelverdeling en keuze injectiemateriaal

Ten behoeve van het project zijn in de te injecteren zone monsters ten behoeve van korrelverdelingen genomen tussen NAP -7,5m en NAP -9,0m (zie [11] en [12]). Deze korrelverdelingen zijn in Figuur 3 weergegeven. De boring is genomen op de akker naast de HSL. De bodemopbouw ter plaatse van de boring komt goed overeen met sondering DKM1, DKM3 en DKM4, ter plaatse van DKM 2 is de aanzet van de zandlaag lager. Hieruit wordt geconcludeerd dat de boring een voldoende representatief beeld geeft van de bodemopbouw. Op basis van de korrelverdelingen kan met zowel waterglas als met microcement geïnjecteerd worden. Aangezien ProRail heeft aangegeven dat de levensduur in de keuze van injectiemateriaal zwaar weegt, wordt de proef op aangeven van ProRail uitgevoerd met microcement.

Documentnummer: RA16390a7  
Project: Zettingsvrije plaat HSL Zuid  
Injectieproef: geschiktheid typen injectie en proefopzet

Projectnummer: 16390  
Afdrukdatum: 12-9-2017  
Pagina: 10

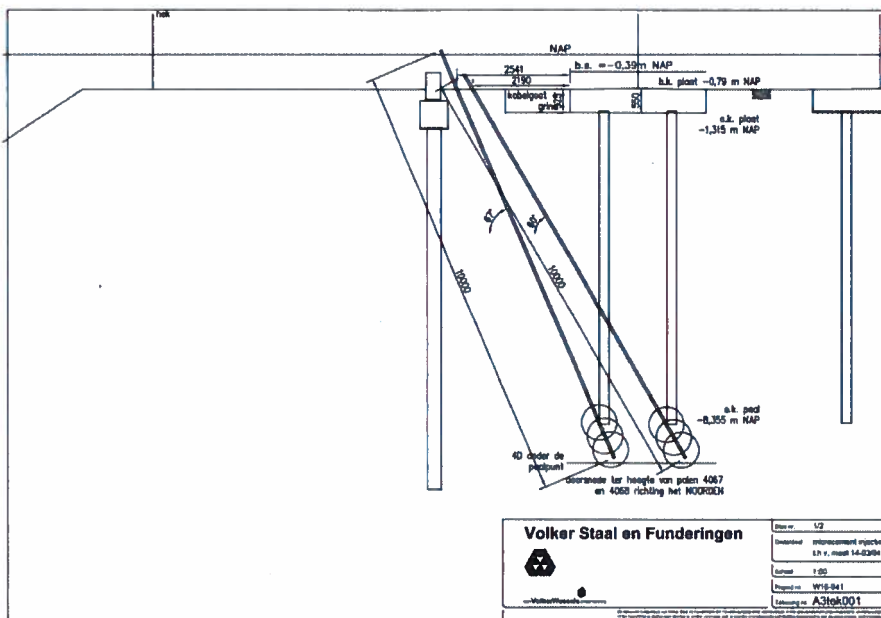




Figuur 3 Korrelverdeling met ondergrens toepassingsgebied

#### 4.4 Proefopstelling

De proefopstelling is zodanig opgesteld dat deze aangebracht worden vanaf een locatie naast het spoor. Het inbrengen van de injectie gebeurt vanaf de locatie inspectieweg naast westelijk spoor. De opstelling is in Figuur 4 en Figuur 5 uitgewerkt.



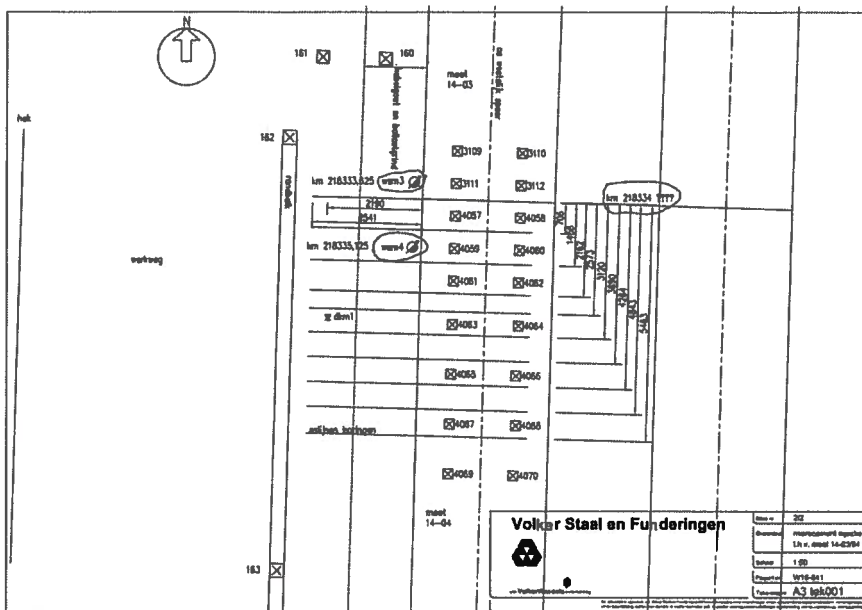
Figuur 4 Doorsnede injectieproef

Documentnummer: RA16390a7  
 Project: Zettingsvrije plaat HSL Zuid  
 Injectieproef: geschiktheid typen injectie en proefopzet

Projectnummer: 16390  
 Afdrukdatum: 12-9-2017  
 Pagina: 11



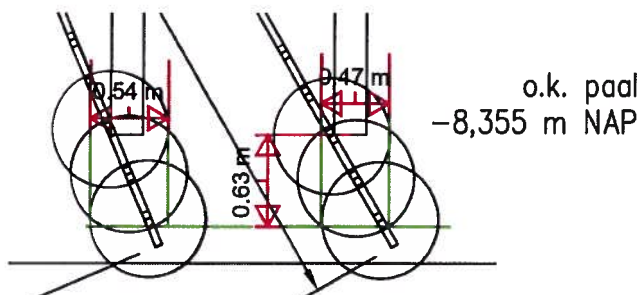




Figuur 5 Bovenaanzicht proefopstelling

#### 4.5 Verwachte wijziging paalgedrag

Op basis van Figuur 4 is beschouwd wat de paalafmeting wordt in dwarsrichting. De minimale breedte van de paalpunt wordt 0,47m en de paalpunt komt 0,63m lager te liggen (zie Figuur 6).



Figuur 6 Gewijzigde afmeting paalpunt

Om de invloed van de vergrote paalvoet indicatief te bepalen zijn twee berekeningen uitgevoerd, te weten

- herberekening paal draagkracht zonder injectie;
- paal draagkracht berekening met injectie.

Voor de berekening zonder injectie zijn de volgende parameters aangehouden:

- Paal 0,22m x 0,22m
- PPN NAP -8,36m

Voor de berekening met injectie zijn de volgende parameters aangehouden:

- $b_{\text{paalvoet}} = 1,0\text{m}$ ;  $a_{\text{paalvoet}} = 0,47\text{m}$ ;  $h_{\text{paalvoet}} = 0,63\text{m}$ ;

- $s = 0,76$  (veiligheidshalve  $b=1,2$  aangehouden);
- $\beta = 0,70$  (verhouding  $D_{eq}^2/d_{eq}^2 \geq 3,0$ )
- paalschacht  $0,22m \times 0,22m$
- PPN NAP  $-8,99m$  (= NAP  $-8,36m -0,63m$ )

In Tabel 2 zijn de resultaten gegeven.

**Tabel 2 Vergelijking draagvermogen met en zonder injectie**

Sondering	$R_{c,net;d}$ zonder injectie	$R_{c,net;d}$ met injectie	Factor met/zonder
1	291	784	2,7
2	219	723	3,3
3	426	923	2,2
4	372	1070	2,9

Uit Tabel 2 volgt dat het draagvermogen van de palen onder de plaat met een factor 2,2 tot 3,3 toeneemt ten zichte van de huidige situatie.

Het verschil in veerwaarde tussen niet geïnjecteerde palen en wel geïnjecteerde palen is in Tabel 3 weergegeven. Hierbij wordt opgemerkt dat ook voor het vergrote deel van de paalvoet de stijfheid van beton is aangehouden. Dit houdt een lichte overschatting van de veer voor elastische verkorting in. Voor de belasting is aangehouden dat de veerwaarde bij 80% van  $R_{c,net;d,gen}$  ( $=0,8 \times 299 = 239kN$ ) van de palen zonder injectie is aangehouden. Bij deze belasting dient nog de negatieve kleef opgeteld te worden.

**Tabel 3 Vergelijking toename veerstijfheid**

Situatie	$F_{s,tot;k}$	$w_{punt}$	$k_{v,punt}$	$w_{el}$	$k_{v,l}$
	kN	mm	MN/m	mm	MN/m
Zonder injectie	271	4.2	65	0.8	54
Met injectie	271	1.8	151	0.3	128

## 5 Monitoring proeflocatie

### 5.1 Inleiding

Ten behoeve van de proef met grondinjectie wordt gemonitord. In dit hoofdstuk worden de te monitoren onderdelen benoemd.

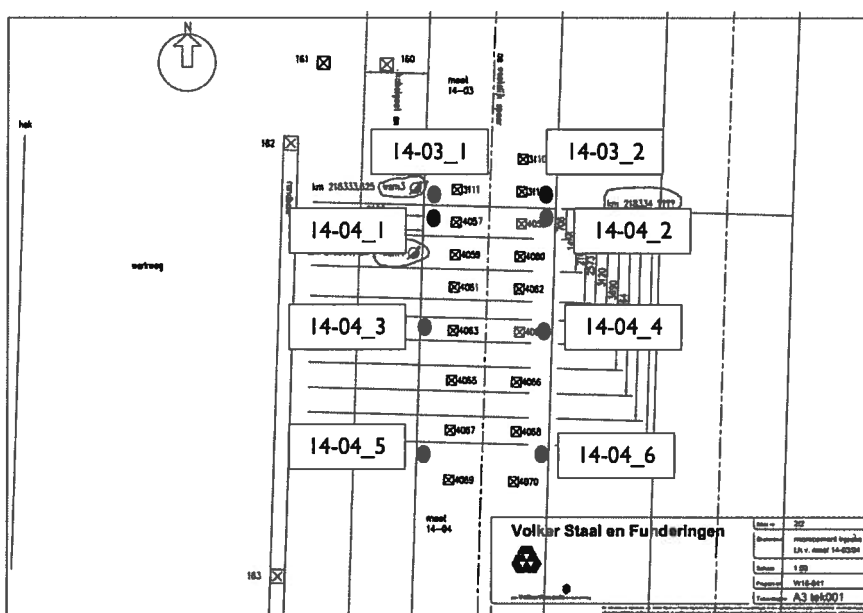
### 5.2 Te meten onderdelen

Ten behoeve van de monitoring kan een indeling gemaakt worden in metingen van de verticale vervormingen als metingen ten behoeve van de uitvoeringscontrole van de injectie.

Bij de metingen van de verticale vervormingen van de plaat wordt opgemerkt dat onafhankelijk van de in dit rapport aangegeven metingen Infrasppeed zelf ook metingen uit gaat voeren. De locatie en frequentie van deze metingen wordt door Infrasppeed uitgewerkt.

#### 5.2.1 Meting horizontale en verticale vervorming

De meting van de vervorming gebeurt door VolkerRail middel van nauwkeurigheidsmetingen van meetpunten aangebracht op de plaat. Hierbij wordt voorgesteld om de meetpunten als aangegeven in Figuur 7 aan te houden. Aangegeven is dat op de plaat al een aantal meetbouten zijn aangebracht. Deze meetbouten kunnen het dichtstbijzijnde punt in onderstaande figuur vervangen.



Figuur 7 Meetpunten deformatie

#### 5.2.2 Registratie injectieproces

De volgende punten dienen bij het injecteren gemeten te worden:

Ten behoeve van de kwaliteitscontrole tijdens de uitvoering dienen de volgende zaken geregistreerd te worden.

Documentnummer: RA|6390a7  
Project: Zettingsvrije plaat HSL Zuid  
Injectieproef: geschiktheid typen injectie en proefopzet

Projectnummer: 16390  
Afdrukdatum: 12-9-2017  
Pagina: 14



- hoeveelheid ingebrachte injectievloeistof per injectiepunt (en versus tijd).
- mengselverhouding ingebrachte injectievloeistof per injectiepunt.
- injectiedrukken vs de tijd.
- bepaling uithardingstijd / omslagtijd.
- afwijkingen uitvoeringsparameters ten opzichte van werkplan inclusief reden / (indicatie) oorzaak.

VSF heeft aangegeven deze gegevens te registreren als voorbeeld zijn in Bijlage 2 enkele door VSF aangeleverde voorbeelden opgenomen.

Tevens is voor deze proef gekozen 1 extra lans verticaal aan te brengen zodat op deze locatie kernboringen kunnen worden genomen uit het injectielichaam. Deze kernboring wordt, in overleg met ProRail, ter plaatse van het asfalt van de inspectieweg aangebracht zodat deze eenvoudiger toegankelijk is en dat eventuele monsternamen zonder spanningsloos spoor uitgevoerd kan worden.

Tijdens de werkzaamheden dienen de geregistreerde gegevens te worden vergeleken met vooraf gemaakte inschattingen. Deze gegevens kunnen binnen een bepaalde bandbreedte (op basis van ervaring) afwijken van de verwachte waarden, maar bij grote afwijkingen moet bij voorkeur tijdens de uitvoering de oorzaak achterhaald worden, eventueel middels aanvullend (grond)onderzoek.

### 5.3 Meetfrequentie

Aangezien de meetgegevens per injectiepunt en diverse parameters vrijwel continu worden bijgehouden, is een meetfrequentie voor het injectieproces niet gegeven.

#### 5.3.1 Meetfrequentie horizontale en verticale vervormingen

De volgende meetfrequentie dient te worden aangehouden:

- 0-meting;
- continu-meting tijdens aanbrengen injectielansen;
- meting na aanbrengen injectielansen;
- meting voor injecteren;
- continu-meting tijdens injecteren;
- meting na injecteren.

#### 5.3.2 Kernboring verticale lans

De kernboring uit de verticale lans wordt op dit moment nog niet uitgevoerd. Dit aangezien de beschikbare treinvrije periodes op korte termijn te kort zijn om de werkzaamheden uit te voeren. De kernboring wordt in 2017 op een nader te bepalen tijdstip uitgevoerd.

De hoeveelheid materiaal dient voldoende te zijn om de kubusdruksterkte te bepalen op minimaal twee monsters.

### 5.4 Toleranties

#### 5.4.1 Horizontale en verticale vervormingen

Voor de gemeten horizontale en verticale vervormingen gelden de volgende criteria:

Documentnummer: RA16390a7

Project: Zettingsvrije plaat HSL Zuid  
Injectieproef: geschiktheid typen injectie en proefopzet

Projectnummer: 16390

Afdrukdatum: 12-9-2017

Pagina: 15



- attentiewaarde: 1 mm; wanneer deze waarde in één van de meetpunten bereikt wordt, dan wordt in overleg tussen VSF (Lars Rietveld en Gerard van Zwieten), CRUX (Dirk Goeman) en ProRail (Jan Bogaards en Ton Padmoes) te nemen maatregelen bepaald.
- Limietwaarde: 2 mm; wanneer deze waarde in één van de meetpunten bereikt wordt, dan wordt de proef beëindigd. Dit wordt gemeld bij projectleider VSF (Lars Rietveld) en opdrachtgever ProRail (Jan Bogaards of Ton Padmoes).

## 5.5 Interpretatie

### 5.5.1 Horizontale en verticale vervormingen

Bij de interpretatie van de meetgegevens van de vervormingen wordt opgemerkt dat de huidige situatie onderhevig is aan vervormingen. Mogelijk dat op basis van de al uitgevoerde 3 maandelijkse inmetingen een indicatie van de vervormingssnelheid kan worden afgeleid. Tevens dient bij het interpreteren van de vervormingen ook rekening gehouden met de nauwkeurigheid van de metingen. Indien twijfel bestaat aan de nauwkeurigheid van een meting is het mogelijk wenselijk een aanvullende herhalingsmeting uit te voeren.

### 5.5.2 Gegevens injectieproces

De gegevens van het injectieproces dienen beschikbaar gesteld te worden middels een uitdraai om mogelijke onvolkomendheden in het injectielichaam te detecteren.

Documentnummer: RA16390a7  
Project: Zettingsvrije plaat HSL Zuid  
Injectieproef: geschiktheid typen injectie en proefopzet

Projectnummer: 16390  
Afdrukdatum: 12-9-2017  
Pagina: 16



## 6 Resultaat drukproeven

### 6.1 Inleiding

Ter plaatse van de proefinjectie ter plaatse van de palen van de plaat is tevens een verticale injectie uitgevoerd waaruit kernen zijn genomen. Deze kernen zijn door middel van drukproeven tot bezwijken belast. Uit deze proeven volgt of het injectiemassief binnen de te verwachten druksterktes en stijfheden valt voor microcement.

### 6.2 Eigenschappen microcement en waterglasinjectie

Uit paragraaf 3.2 volgt dat:

1. De sterkte (UCS) van het alternatief waterglasinjectie in zand 660kPa bedraagt.
2. De sterkte van met microcement geïnjecteerd zand tussen 1MPa en 10MPa bedraagt.
3. De stijfheid van het alternatief waterglasinjectie in zand 250MPa bedraagt.
4. De stijfheid van met microcement geïnjecteerd zand zijn geen directe referentiewaarden. De verwachting is dat de stijfheid circa een factor 10 van waterglas bedraagt:  $250\text{MPa} \times 10 = 2.500\text{MPa}$  of  $1/10$  van beton:  $20.000\text{MPa}/10 = 2.000\text{MPa}$ .

### 6.3 Proefresultaten

Van een aantal proeven is het materiaal niet geschikt bevonden om te beproeven (boring 2). Deze monsters zijn na overleg met VSF alsnog beproefd. Derhalve wordt in de analyse van de karakteristieke waarde uitgegaan van:

- Bepaling karakteristieke waarde 'geschikte' proeven.
- Bepaling karakteristieke waarde 'niet geschikte' proeven: niet cilindrisch proefstuk (zie voor onderscheid Figuur 8).
- Bepaling karakteristieke waarde totaal aantal proeven.

Documentnummer: RA16390a7  
Project: Zettingsvrije plaat HSL Zuid  
Injectieproef: geschiktheid typen injectie en proefopzet

Projectnummer: 16390  
Afdrukdatum: 12-9-2017  
Pagina: 17





cilindrisch monster (geschikt)

niet cilindrisch monster (niet geschikt)

**Figuur 8** Voorbeeld 'geschikt' monster (links) en 'niet geschikt' monster (rechts)

In Tabel 4 is een samenvatting van de resultaten opgenomen.

**Tabel 4** Samenvatting proefresultaten

Leeftijd	Drukstekte $\sigma'$ max	Stijfheid E-modulus	Opmerking
[dagen]	[MPa]	[MPa]	
233	10,08	2331	
233			Mislukt door software fout
233	9,89	3858	
233	9,19	6505	
233	12,73	9490	
233	10,06	4282	Geen geschikt materiaal, proef toch uitgevoerd
233	6,41	3700	Geen geschikt materiaal, proef toch uitgevoerd
233	7,61	2279	Geen geschikt materiaal, proef toch uitgevoerd
233	11,93	3315	Geen geschikt materiaal, proef toch uitgevoerd
233	14,73	4146	Geen geschikt materiaal, proef toch uitgevoerd

In Tabel 5 is de bepaling van de karakteristieke waarde van de sterkte en stijfheid opgenomen.

Documentnummer: RA16390a7  
 Project: Zettingsvrije plaat HSL Zuid  
 Injectieproef: geschiktheid typen injectie en proefopzet

Projectnummer: 16390  
 Afdrukdatum: 12-9-2017  
 Pagina: 18



**Tabel 5 Bepaling karakteristieke waarde**

	geschikt		niet geschikt		totaal	
	druksterkte	E-modulus	druksterkte	E-modulus	druksterkte	E-modulus
	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
aantal	4	4	5	5	9	9
$X_{gem}$	10,47	5.546	10.15	3.544	10,29	4.434
$t_{\alpha=0,05}$	2,35	2,35	2,13	2,13	1,86	1,86
Standaardafwijkin	1,55	3.144,33	3,34	803,75	2,55	2.267,92
var. coeff	0,15	0,57	0,33	0,23	0,25	0,51
$X_{kar}$	<b>8,7</b>	<b>1.846</b>	<b>7,0</b>	<b>2.778</b>	<b>8,7</b>	<b>3.028</b>

Ten aanzien van de druksterkte wordt opgemerkt dat de variatiecoëfficiënt van de 'geschikte' proeven relatief laag is. Deze ligt hoger voor de 'niet geschikte' proeven (meer spreiding). De karakteristieke waarde van de druksterkte van de 'geschikte' proeven is vrijwel gelijk aan het totaal aantal proeven, terwijl de variatiecoëfficiënt hoger ligt. Dit wordt veroorzaakt doordat het aantal proeven in totaal hoger ligt. De karakteristieke waarde van de druksterkte ligt op 8,7MPa ('geschikte' proeven en totaal aantal proeven).

Ten aanzien van de stijfheid wordt opgemerkt dat bij de 'geschikte' proeven een relatief grote variatiecoëfficiënt is waargenomen. De 'niet geschikte' proeven laten een lagere variatiecoëfficiënt zien. De karakteristieke waarde van de 'geschikte' proeven is circa 2.000MPa terwijl de karakteristieke waarde van de 'niet geschikte' 2.800MPa bedraagt en deze bij het totaal aantal proeven op circa 3.000MPa ligt. Ondanks dat er een hogere variatiecoëfficiënt in bij het totaal is dan bij de 'niet geschikte' proeven, ligt de karakteristieke waarde van het totaal hoger. Dit wordt veroorzaakt door het grotere aantal proeven.

#### 6.4 Conclusie en vergelijk met verwachting

De karakteristieke waarde van de druksterkte van 8,7MPa ligt aan de bovenkant van de range 1MPa-10MPa en is tevens ruimschoots hoger dan de druksterkte van met waterglas geïnjecteerd zand (660kPa). De karakteristieke waarde van de stijfheid ligt ordegrrootte in de verwachte range van 2.000MPa tot 2.500MPa en is tevens ruimschoots hoger dan de stijfheid van met waterglas geïnjecteerd zand.



## 7 Literatuur

[ref. 1] Abma, J., 1988, *Satellietgebouw Nederlandsche Bank, Cement, nr. 4*

[ref. 2] Essler, R.D., E.R.Drooff & E.Falk, 2000, *Compensation Grouting, Concept, Theory & Practice, Advances in grouting and ground modification, Proceedings of sessions of Geo-Denver 2000, ASCE Geotechnical special publication #104, Denver, Colorado, pp. 1-15*

[ref. 3] Faught, K.L., 1997, *Compaction Grouting at tip of Sheet Piles, Ground Treatment; Geotechnical Special Publication No. 69, Proceedings of the ASCE Geo-Institute, Logan, USA, pp.441-443*

[ref. 4] Littlejohn, G.S., 1985, *Chemical Grouting -1, Ground Engineering, March, pp. 13-16;*  
Littlejohn, G.S., 1985, *Chemical Grouting -2, Ground Engineering, April, pp.23-28;*  
Littlejohn, G.S., 1985, *Chemical Grouting -3, Ground Engineering, May, pp. 29-34,*

[ref. 5] Stoel, A.E.C. van der, september 2001, *Grouting for Pile Foundation Improvement, Proefschrift ter verkrijging van de graad van doctor aan de Technische Universiteit Delft, ISBN 90-407-2223-4*

[ref. 6] Stoel, A.E.C. van der, 2002, *Groutinjectie voor verbeteren van funderingen, Land + Water, nummer 9/10*

[ref. 7] Stoel, A.E.C. van der, 2003, *Injecteren geen noodoplossing, Land + Water, nummer 3*

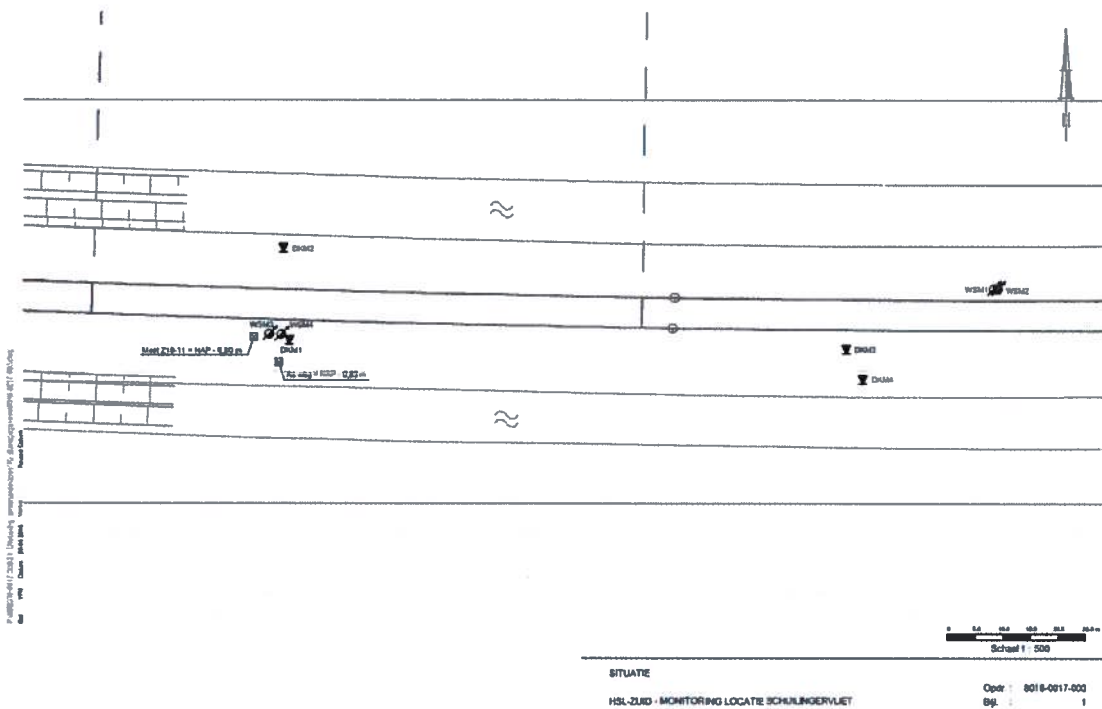
---

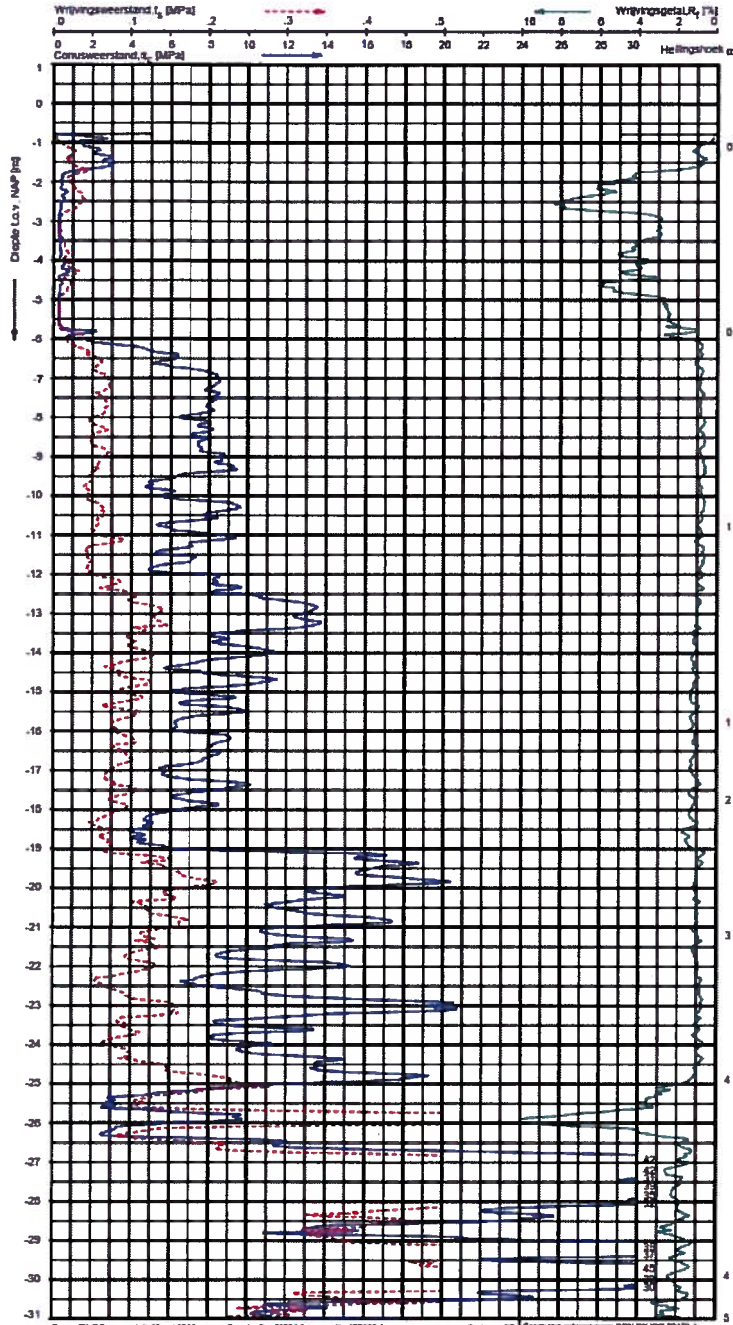
Documentnummer: RA16390a7  
Project: Zettingsvrije plaat HSL Zuid  
Injectieproef: geschiktheid typen injectie en  
proefopzet

Projectnummer: 16390  
Afdrukdatum: 12-9-2017  
Pagina: 20

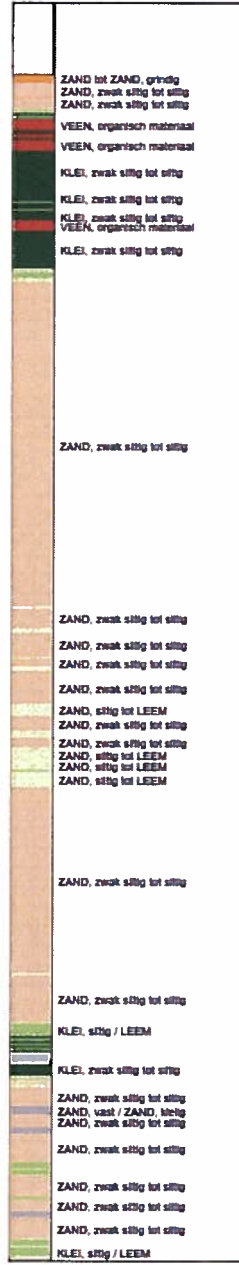


**Bijlage I Sondering I t/m 4, boring en korrelverdelingen**





**Indicatieve bodembeschrijving**  
 Automatisch gegenereerd uit data van de sondering, geldig onder grondwaterpeil (Robertson 1996, NL corr.)



Dag: 25-03-2016    d.s.: 15-met-2016    Camd: Z= 8671.5m    Y= 42260.1m    Systeem: RD    Sondering volgens norm: NEN 6763-202 ZN19-1  
 Gel: HDY    d.d.: 25-03-2016    WS = NAP - 2.79 m    Clima: CP12-CF75S02    1781-3514    Toegestane draaihoek: 2    Toegest. Td: 1  
 Corruptie:  $K_a = 1510 \text{ mm}^2$      $A_s = 1000 \text{ mm}^2$

**SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING**

HSL-ZUID - MONITORING LOCATIE SCHULINGERVLIET

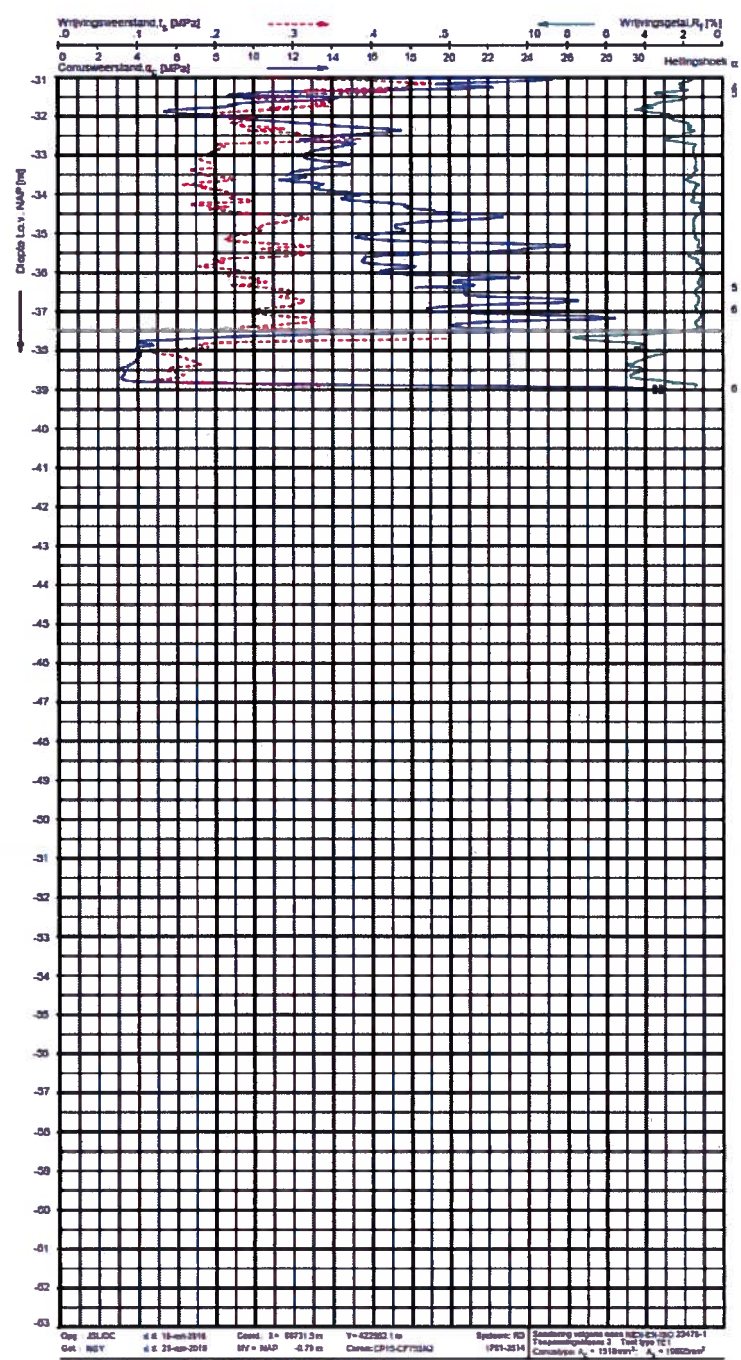
Opdr.: 8016-0017-000  
 Sond.: DKM1



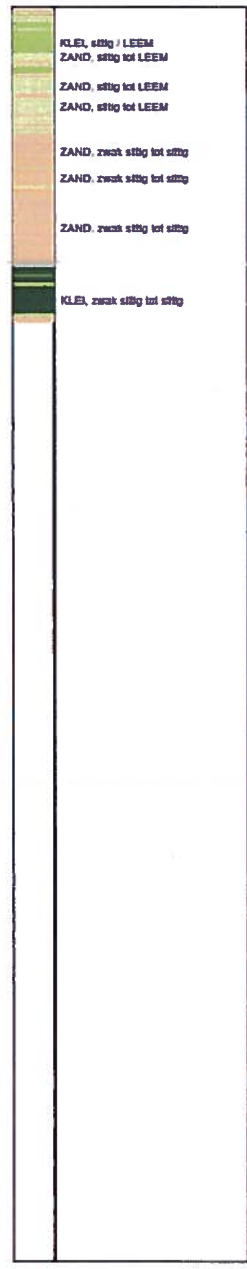
UNIKLEI (3.2) H/GP CHINA 001/2016-04-28 12:13:24

8016-0017-000

DKM1 - 2



**Indicatieve bodembeschrijving**  
 Automatisch gegenereerd uit data van de sondering, geldig onder grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



Op: JSLCC 11-01-2016 11:00:00 Dm1: 1= 0071.0m Y= 42282.1 m Spoorw: 03  
 Gel: MEV 11-01-2016 11:00:00 MV= NAP 4.79 m Dm1: CP13-CF7581Q (P11-2514) Sondering uitgevoerd naar NED-25-000 2516-1  
 Frequentie: 10 Hz Test type: TC1  
 Conuswaarde: A<sub>1</sub> = 1318 kPa, A<sub>2</sub> = 1982 kPa

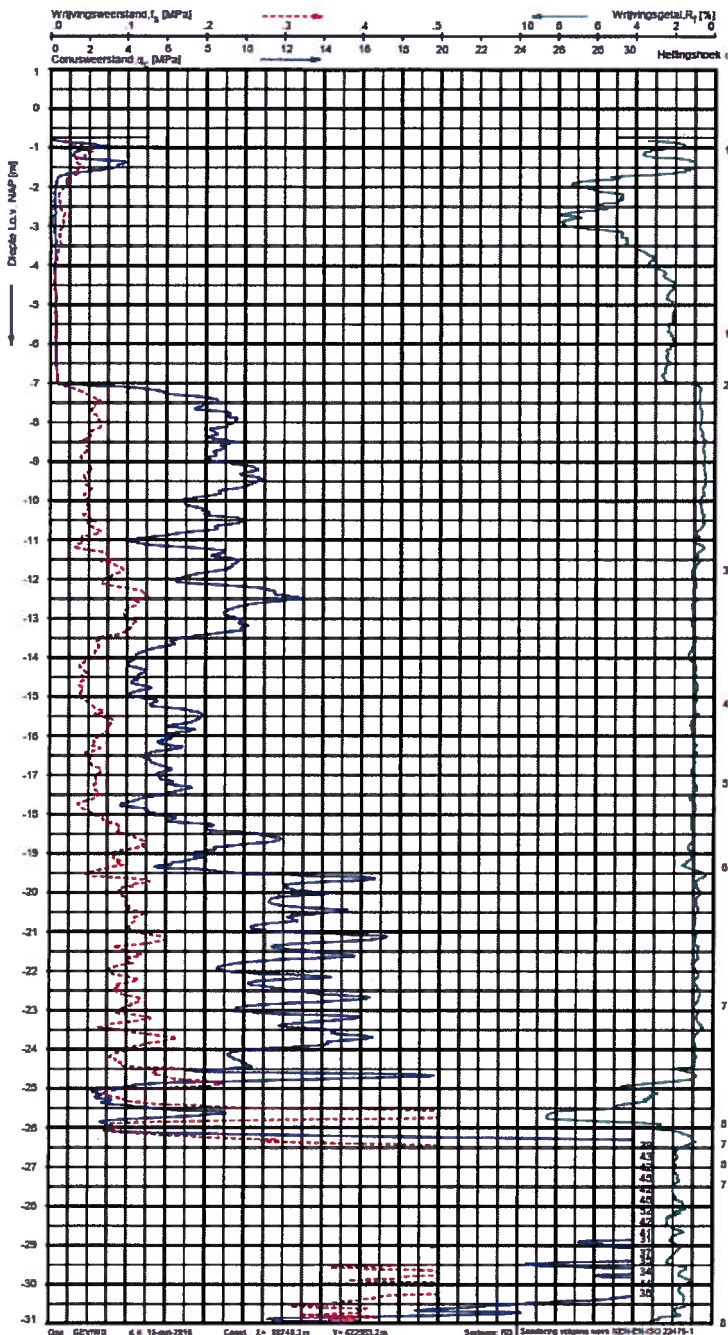
**SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING**  
 HSL-ZUID - MONITORING LOCATIE SCHULINGERVLIET

Opdr.: 8016-0017-000  
 Sond.: DKM1

UNIKLEI.DWG | R:\OPDRACHTEN\2016\04\2016-04-20\12.12.16

0016-0017-000

DKM2 - 1



**Indicatieve bodembeschrijving**  
 Automatisch gegenereerd uit data van de sondering, geldig onder grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



Oog: GEVW0 d.d. 15-mei-2016 Coörd. X = 88748.2 m Y = 422803.2 m System: RD  
 Get: NGY d.d. 28-apr-2016 Wf = MAP -0.24 m Coörd.: CP15-CF753MG 1761-1178  
 Sondering volgens norm NEN 6760:2004 234175-1  
 2. Hoopwaardeklasse 2, Test type T13  
 Conusloop:  $f_{s0} = 151 \text{ kPa}$   $A_{90} = 19800 \text{ cm}^2$

**SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING**

HSL-ZUD - MONITORING LOCATIE SCHIJLINGERVLIET

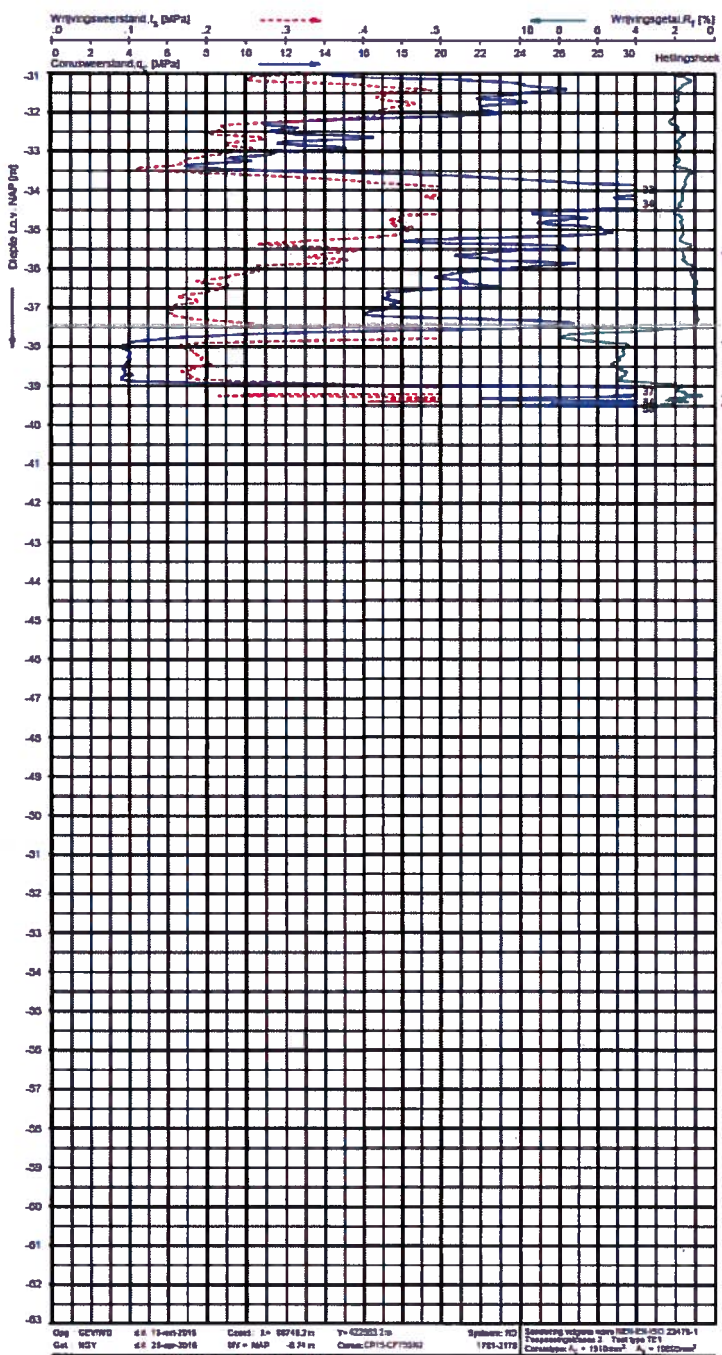
Opdr. 8016-0017-000  
 Sond. DKM2



UNP131 (33) (1) Gf: 0.000 m/s² (1) 2018-09-21 12:18:38

8016-0017-000

DKM2



**Indicatieve bodembeschrijving**  
 Automatisch gegenereerd uit data van de sondering, geldig onder grondwaterpeil (Robertson 1998, NL corr.)

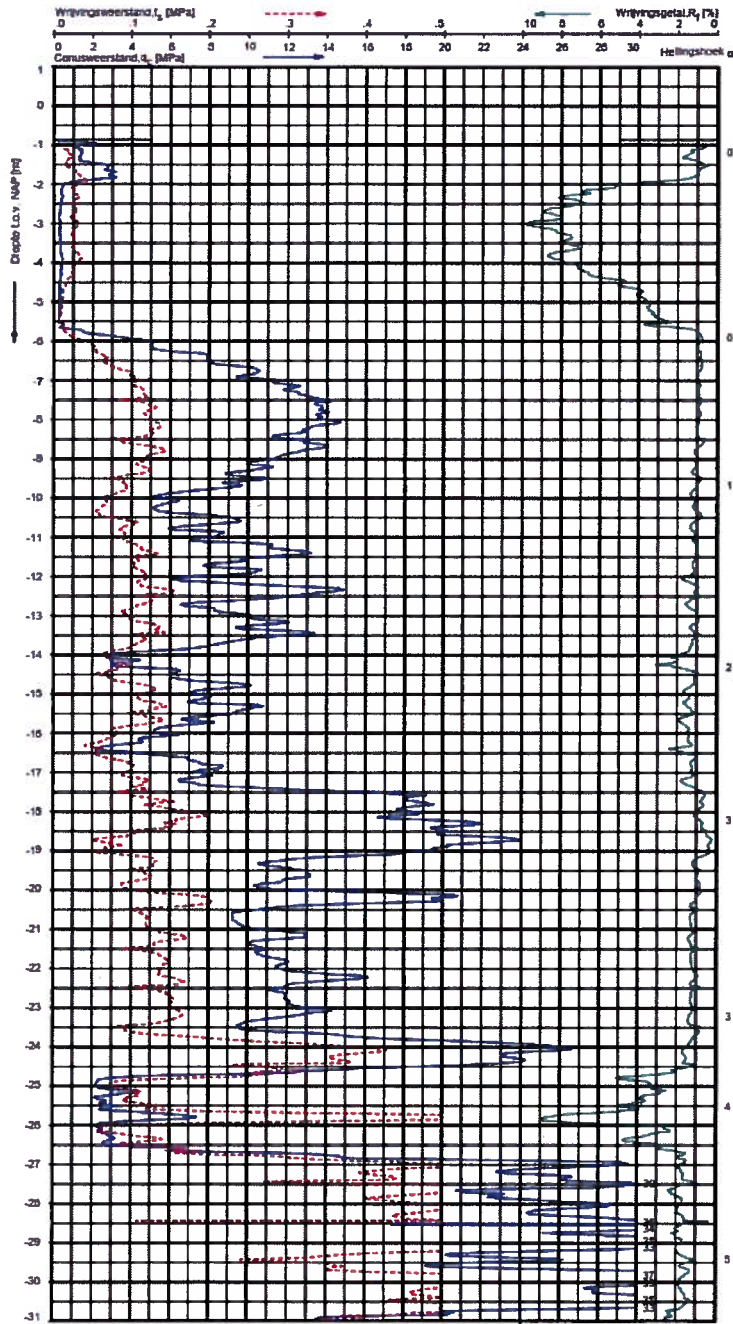
ZAND, zwak stijg tot stijg
ZAND, stijg tot LEEM
ZAND, stijg tot LEEM
ZAND, zwak stijg tot stijg
ZAND, zwak stijg tot stijg
ZAND, zwak stijg tot stijg
KLEI, zwak stijg tot stijg
ZAND, zwak stijg tot stijg

Opdr. 8016-0017-000  
 Sond. DKM2

UNIFORMITEIT EN GEF. CHINA (D. 1000) 2016-04-20 11:18:10

0016-0017-000

DKM3



**Indicatieve bodembeschrijving**  
 Automatisch gegenereerd uit data van de sondering, geldig onder grondwaterpeel (Roberson 1998, NL corr.)



Dag: 2016-04-20 08:15:00  
 Gel: WGY 4.6 25-00-2016  
 Casid: 3= 80729.9 m  
 Y= 42485.9 m  
 Censur: CP13-CT75243  
 Systeem: RD 1751-3014  
 Sondering volgens norm NEN 6760:2002 23475-1  
 Hoofdmeter: 100 mm, 2. Tref: 100 TC  
 Conusmeter:  $R_u = 1510 \text{ kPa}$ ,  $R_r = 1885 \text{ kPa}$

**SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING**

HIL-ZUID - MONITORING LOCATIE SCHULINGERVLIET

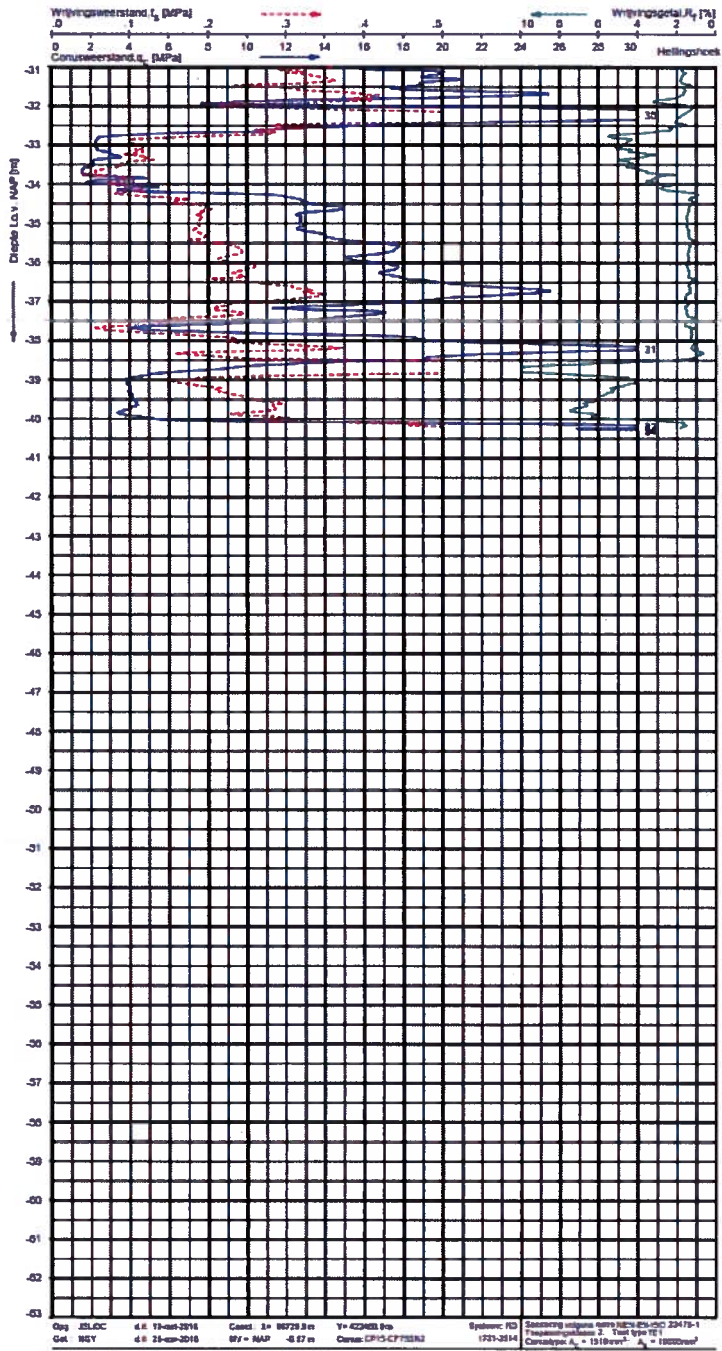
Opdr: 8016-0017-000  
 Sond: DKM3



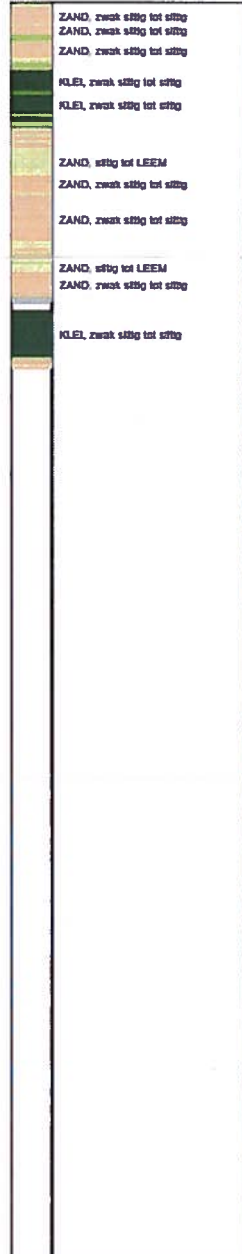
UNIFORM (30.3) / 11.06.2016/2017/2000

0016/0017/2000

DKM3 - 2



**Indicatieve bodembeschrijving**  
 Automatisch gegenereerd uit data van de sondering, gelijk onder grondwaterpeil (Robertson 1999, NL corr.)



Op: 25.03.2016 4.8 13-ma-2016 Caud: 3- 16729.3 m Y= 42248.9 m Systeem: RD Sondering volgens norm NEN 6763:2014-1  
 Gd: 85Y 4.8 25-ma-2016 8Y = NAP -8.67 m Datas: DP15-CF7582 1721-2514 Preparatie: J. T. T. 09-09-16  
 Contact:  $k_{cs} = 1319 \text{ kN/m}^2$ ,  $k_{cs} = 1300 \text{ kN/m}^2$

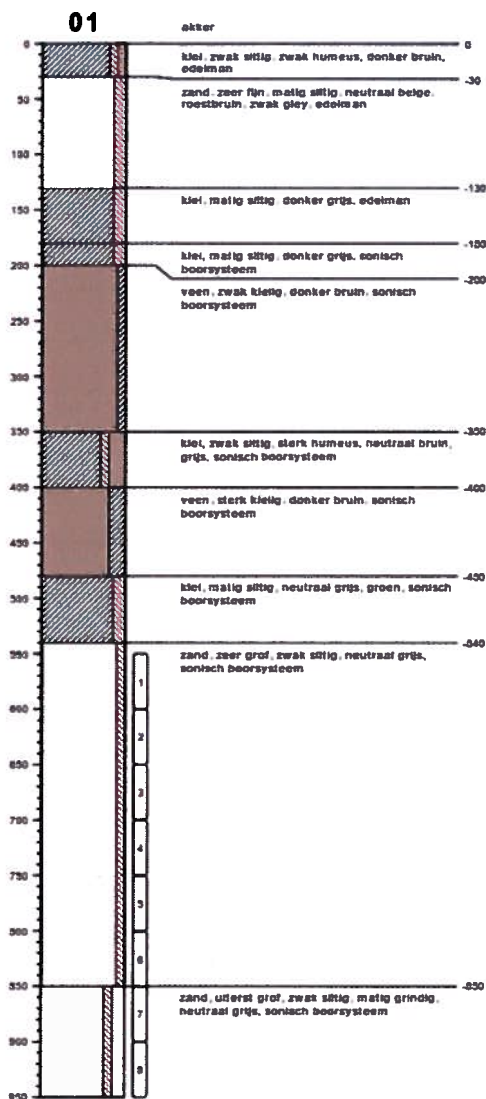
SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING  
 HEL-ZUID - MONITORING LOCATIE SCHULINGERVLIET

Opdr: 8016-0017-000  
 Sond: DKM3









type **grootboring**  
datum **26-09-2016**  
boormeester **D. Swartjes**  
z **89719.82**  
y **422564.14**



P16-157.0023, meetpunt 01(1 van 2)



P16-157.0023, meetpunt 01(2 van 2)

## bodemprofielen schaal 1:50

onderzoek **VSF Puttershoek**  
projectcode **W16-041**  
rapportage datum **27-10-2016**  
getekend conform **NEN 5104**  
pagina **1 van 1**



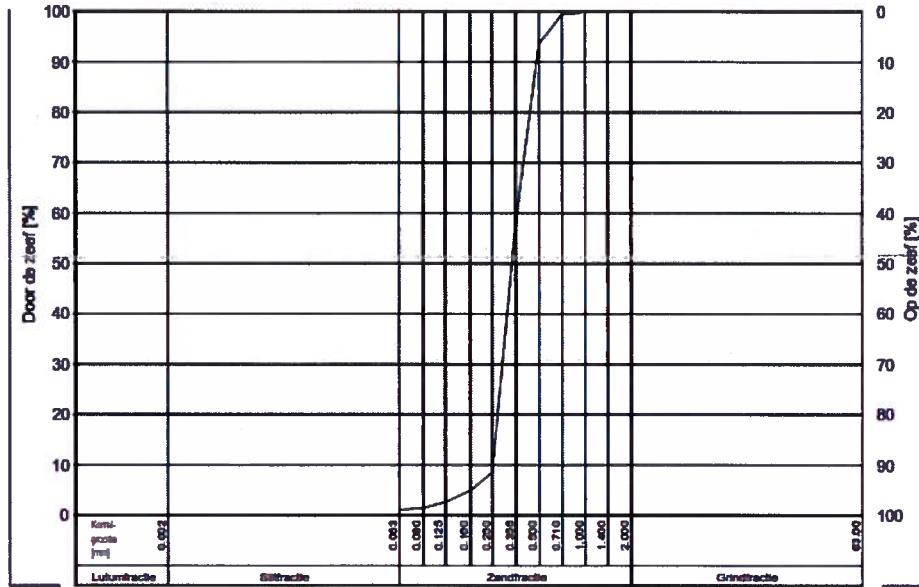
Opdracht : 1603387  
 Plaats : 's Gravendeel  
 Project : Zeefanalyse Schuilervliet (W16-041)

**KORRELVERDELING**

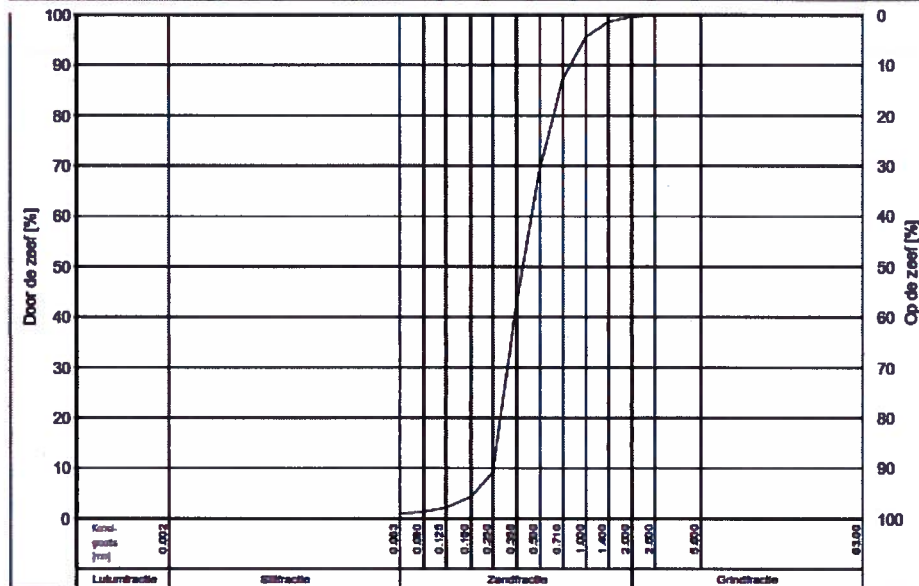
NEN 2560 (1980), NEN 5104 (1989)

Opm: W16-041

Boring	Monster	MV [m] to v. NAP	Diepte [m] to v. NAP	M <sub>z</sub> [µm]	D50 [µm]	D70 <sub>z</sub> [µm]	D60 <sub>z</sub> /D10 <sub>z</sub> [-]	Mg [mm]	k (Kozeny) [m/s](p=0.3)	<63µm<2mm [%]	>2mm [%]
1	1	-1.00	-7.50-8.00	336	335	399	1.43		11.06e-05	1.0	



Boring	Monster	MV [m] to v. NAP	Diepte [m] to v. NAP	M <sub>z</sub> [µm]	D50 [µm]	D70 <sub>z</sub> [µm]	D60 <sub>z</sub> /D10 <sub>z</sub> [-]	Mg [mm]	k (Kozeny) [m/s](p=0.3)	<63µm<2mm [%]	>2mm [%]
1	2	-1.00	-8.00-8.50	390	389	503	1.74	2.5	14.41e-05	0.9	0.38



MOS GRONDMECHANICA B.V.

Postbus 801, 3160 AA Rhoon - Tel: 088 51 30 200 - www.mosgeo.com



MOS GRONDMECHANICA

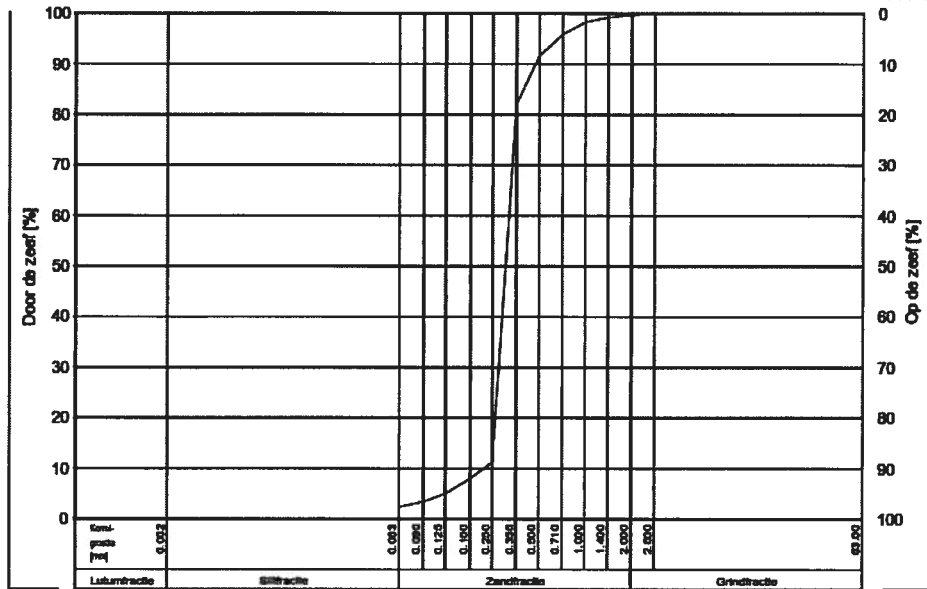
Opdracht : 1603387  
 Plaats : 's Gravendeel  
 Project : Zeefanalyse Schuilervliet (W16-041)

**KORRELVERDELING**

NEN 2560 (1980), NEN 5104 (1989)

Opm: W16-041

Boring	Monster	MV [m] Lo v NAP	Diepte [m] Lo v NAP	M <sub>s</sub> [µm]	D50 [µm]	D70 <sub>z</sub> [µm]	D60 <sub>z</sub> /D10 <sub>z</sub> [-]	Mg [mm]	k (Kozeny) [mVs](p=0.3)	<63µm<2mm [%]	>2mm [%]
1	3	-1.00	-8.50-9.00	304	303	335	1.27	2.4	7.60e-05	2.3	0.26



MOS GRONDMECHANICA

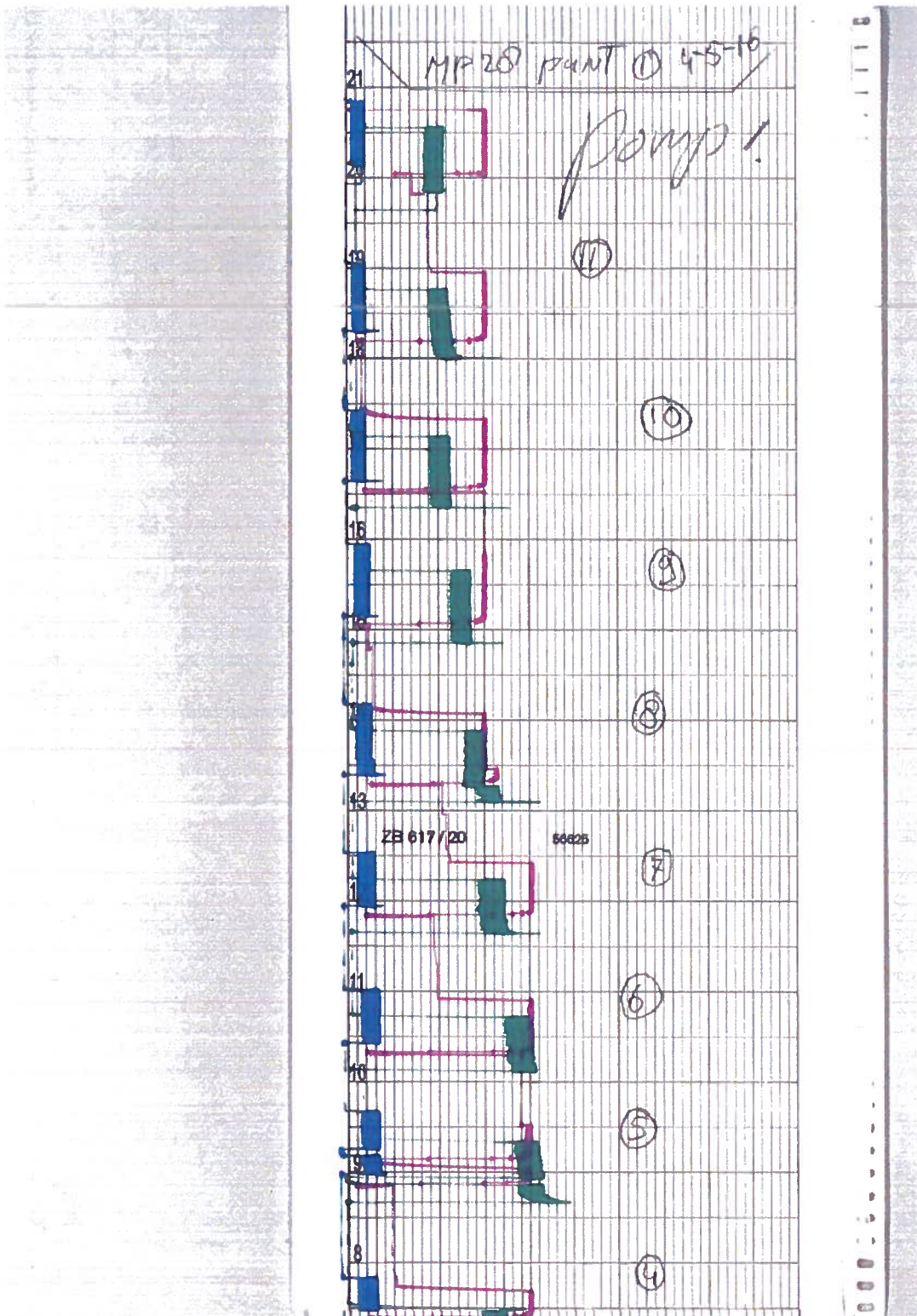


**Bijlage 2 Voorbeelden registratie (aangeleverd door VSF)**

Blauw druk: schaal 0-100MPa

Groen druk: schaal 0-10MPa

Paars: liter



<b>Volker Staal en Funderingen bv</b>  Postbus 54548 3008KA ROTTERDAM Telefoon 010 - 299 22 88 Telefax 010 - 299 22 77		<b>Bijlage 7</b>  <b>INJECTIESTAAT</b> <b>MANCHETTEBUIS</b>				
KWALITEITSPLANNR.:		WERKNR.: W15-013		VOLGNR.:		
Opdrachtgever: <b>Boele &amp; van Eesteren</b>		Liters per punt:				
Plaats: <b>Hilversum</b>		Mengsel:				
Lengte manchettebuis:		Lengte blindbuis:				
<b>4 pomps container</b>						
Manchette buis nummer  buis nr 	Punt	Datum	Liters	Druk	Pomp nr.	Opmerkingen
Opgesteld door: Handtekening:		Akkoord door: Handtekening:				

\* Doorhalen wat niet van toepassing is

## A3 Invoer risico data base



naam KW	Kunstwerk		omschrijving	schadebeeld		risicogroep	risico analyse		maatregel		maatregelkosten per keer				periodiek € in plan			kosten onzeker		rest onzeker								
	type KW	onderdeel		ernst	omvang		risico	type	frequentie	effectiviteit	EenHeidsPrijs	eenheid	aantal	totale kosten	kans	per jaar	periode	onzekerheid	kans	eenmalig	onzekerheid	kans	risico	onzekerheid				
Westerik	HSL baan op zettingsvrije plaat/dijklichaam	zettingsvrije plaat (ZVP)	gevolgen van verdraaien onderliggende bak	nog niet opgetreden	plaatselijk	bedrijfsvoering	ontwerptolerantie vd baan wordt overschreden Infraspeed (beheerder) neemt geen verantwoordelijkheid meer voor de baan Prorail operationeel: kans op ongelukken	fixeren ZVP	eenmalig	redelijk	€ 500.000	kans	10%	€ 50.000						ZWe4	10%	€ 500.000 +/- 25%						
	Spoor halfverdiept onder HSL	open bak	bak verschuift horizontaal	serieus	plaatselijk	bedrijfsvoering	ontwerptolerantie vd baan wordt overschreden Infraspeed (beheerder) neemt geen verantwoordelijkheid meer Prorail operationeel: kans op ongelukken	terug leggen van de baan	eenmalig	redelijk	€ 200.000		1	€ 200.000	ZWe001	€ 200.000	-10%/+25%		ZWe002	10%	€ 400.000 +/- 15%							
			tunnelbak verdraait						monitoren			€ 400.000 kans € 15.000 jaar	10% 5	€ 40.000 € 75.000	ZWe003	€ 15.000	€ 75.000	-10%/+15%										
Schuilingervliet	zettingsvrije plaat op mv (ca 25 m lang)	zettingsvrije plaat	verschillende verticale zettingen bij voegen	ernstig	regelmatig	veiligheid	onacceptabe baan afwijking	herstel voegen	2018-21 st	goed	€ 83.600	per voeg	21	€ 1.755.600	ZSc001	€ 1.755.600	+/- 15%											
								operationeel	spoor wordt onberijdbaar	2019-17 st	goed	€ 83.600		17	€ 1.421.200	ZSc002	€ 1.421.200	+/- 15%										
										2020-10 st	goed	€ 83.600		10	€ 836.000	ZSc003	€ 836.000	+/- 15%										
										18-20 extra 54 na 2020-25 st	goed	€ 83.600		54	€ 4.514.400	ZSc010	€ 4.514.400	+/- 15%										
											goed	€ 83.600		25	€ 2.090.000	ZSc011	€ 2.090.000	+/- 15%										
										restrisico 50 stuks	€ 4.180.000	kans	15%	€ 627.000											ZSc008	15%	€ 4.180.000 +/- 15%	
										reparatie randbalk	€ 300.000	kans	50%	€ 150.000											ZSc004	50%	€ 300.000 +/- 25%	
										verplaatsen objecten	€ 200.000	kans	50%	€ 100.000											ZSc005	50%	€ 200.000 +/- 25%	
		monitoren grondonderzoek	€ 15.000 jaar € 25.000 onderzoek		5 1	€ 75.000 € 25.000	ZSc006	€ 15.000	€ 75.000	-10%/+15%	ZSc007	€ 25.000	+20%/- 10%															
Rijpwetering	zettingsvrije plaat op grondlichaam en viaduct	zettingsvrije plaat	horizontale verplaatsing	ernstig	regelmatig	operationeel	spoor wordt onberijdbaar	uitvoeren aanvullend onderzoek	eenmalig	geen	€ 10.000	jaar	25	€ 250.000	ZRi001	€ 10.000	€ 250.000	-10%/+15%										
								- monitoren	€ 5.000	onderzoek	25	€ 125.000	ZRi002	€ 125.000	+/- 25%													
								- meten kracht id ankers	€ 40.000	onderzoek	1	€ 40.000	ZRi003	€ 40.000	+/- 25%													
								- controle drainage	€ 20.000	onderzoek	1	€ 20.000	ZRi004	€ 20.000	+/- 25%													
								- plaatsen peilbuizen	€ 50.000	onderzoek	1	€ 50.000	ZRi005	€ 50.000	+/- 25%													
								- respons zettingsvrije plaat	€ 10.000	onderzoek	1	€ 10.000	ZRi006	€ 10.000	+/- 15%													
								- meting respons oplegblok	€ 40.000	onderzoek	1	€ 40.000	ZRi007	€ 40.000	+25%/- 15%													
								- testen oplegblok																				
								herstel taludbekleding	eenmalig	goed	€ 50.000		1	€ 50.000	ZRi008	€ 50.000	+/- 25%											
								uitbreiding drainage systeem	eenmalig	onbekend	€ 125.000	kans	25%	€ 31.250												ZRi004	25%	€ 125.000 +/- 30%
								herstel oplegblok	eenmalig	goed	€ 100.000	kans	20%	€ 20.000												ZRi010	20%	€ 100.000 +25%/- 15%
		palen	buiging in de fundatiepalen		plaatselijk	veiligheid	palen breken	bijplaatsen damwanden	eenmalig	onbekend/goed?	€ 2.000.000	kans	15%	€ 300.000					ZRi011	15%	€ 2.000.000 +/- 25%							
TOTAAL											€ 12.895.450				€ 400.000			€ 11.177.200		€ 1.318.250								

## A4     **Berekening kosten conform SSK**

## Colofon

### Project

Projectnaam: HSL Zuid Risicoanalyse  
 Deelprojectnaam: verplaatsingen  
 Projectnummer: BF4341  
 Projectfase: Haalbaarheid  
 Opdrachtgever: Min Milieu en Infrastructuur  
 Projectmanager: Jack Sip  
 Projectleider: Ed Antoine

### Raming

Opsteller: Ed Antoine  
 Afdeling: Infrastructuur  
 Datum: 30-5-2018  
 Versie: 2  
 Prijspeil: 1-1-2018  
 Status: Final

Betrouwbaarheidsinterval LU

70%

### Toetsing

Toetser int: Erik Visser  
 Datum: dec-17  
 Toetser ext: Rob de Boer, Prorail  
 Datum: mei 2018

### Archivering

Project-/dossier-/SAP-nummer: 2nd Projectnummer  
 Documentnummer raming: Documentnummer  
 Nummer kostenrapportage: Verwijzing naar ....  
 Bestandsnaam raming: SSK\_DHV\_805 20160705\_HH\_DB\_02\_HSL\_RA\_v02Risk.  
 Locatie (map) opgeslagen raming: C:\Users\I01236\Documents\Projecten\BF4341 RA HSL z

### Paraaf interne toetser:

Paraaf externe toetser: Paraaf  
 Paraaf projectleider: Paraaf  
 Paraaf manager: Paraaf

Paraaf projectleider: Paraaf  
 Paraaf manager: Paraaf

### Modelversie:

SSK\_DHV\_801 20160329.xlsm

Risico Analyse Verplaatsingen	←----- eenmalige kosten ----->			rest risico's		Totaal
	Directe kosten Benoemd	Directe kosten Nader te detaileren	Indirecte kosten (opdrachtnemer)	Voorziene kosten	Risicoreservering	
<b>Investeringskosten</b>						
Maatregelen (eenmalige kosten) Module verplaatsingen	€ 11.177.200	€ 1.676.580	€ 4.054.596	€ 16.908.376	€ 1.318.250	€ 18.226.626
Maatregelen (eenmalige kosten) Module DHV_template	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -
Maatregelen (eenmalige kosten)	€ 11.177.200	€ 1.676.580	€ 4.054.596	€ 16.908.376	€ 1.318.250	€ 18.226.626
Engineeringkosten (ON en OG) Module verplaatsingen	€ 676.335	€ -	€ -	€ 676.335	€ 0	€ 676.335
Engineeringkosten (ON en OG) Module DHV_template	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -
Engineeringkosten (ON en OG)	€ 676.335	€ -	€ -	€ 676.335	€ 0	€ 676.335
Overige bijkomende kosten (verzekeringen etc) Module verplaatsingen	€ 219.809	€ -	€ -	€ 219.809	€ -	€ 219.809
Overige bijkomende kosten (verzekeringen etc) Module DHV_template	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -
Overige bijkomende kosten (verzekeringen etc)	€ 219.809	€ -	€ -	€ 219.809	€ -	€ 219.809
<b>Subtotaal investeringskosten</b>	€ 12.073.344	€ 1.676.580	€ 4.054.596	€ 17.804.520	€ 1.318.250	€ 19.122.770
Objectoverstijgende risico's investeringskosten					€ 2.868.416	€ 2.868.416
<b>Investeringskosten deterministisch</b>	€ 12.073.344	€ 1.676.580	€ 4.054.596	€ 17.804.520	€ 4.186.666	€ 21.991.186
Scheefte investeringskosten					€ (26.458)	€ (26.458)
<b>Totaal investeringskosten probabilistisch (exclusief BTW)</b>				€ 17.804.520	€ 4.160.208	€ 21.964.728
BTW (maar niet over heffingen, leges, e.d.)	Inclusief			€ 3.692.789	€ 866.783	€ 4.559.573
<b>Investeringskosten inclusief BTW</b>				€ 21.497.310	€ 5.026.991	€ 26.524.301
<b>Investeringskosten inclusief BTW (contante waarde), discontovoet van 5,5% en looptijd van 1 Jaar</b>						€ 26.524.301
<i>Bandbreedte: met 70% zekerheid liggen de investeringskosten tussen: (Inclusief BTW)</i>				€ 19.846.092	en	€ 33.292.735
<i>Variatiecoëfficiënt schatting (+/-) bij deterministische benadering</i>					24%	
<b>Periodieke kosten</b>						
<b>Subtotaal periodieke kosten</b>	€ 400.000	€ 40.000	€ 108.856	€ 548.856	€ 27.443	€ 576.299
Objectoverstijgende risico's periodieke kosten					€ 57.630	€ 57.630
<b>Periodieke kosten deterministisch</b>	€ 400.000	€ 40.000	€ 108.856	€ 548.856	€ 85.073	€ 633.929
Scheefte periodieke kosten					€ 59.533	€ 59.533
<b>Periodieke kosten exclusief BTW</b>				€ 548.856	€ 144.606	€ 693.462
BTW (maar niet over heffingen, leges, e.d.)				€ 115.260	€ 30.367	€ 145.627
<b>Periodieke kosten inclusief BTW</b>				€ 664.116	€ 174.973	€ 839.089
<b>Periodieke kosten inclusief BTW (contante waarde), discontovoet van 5,5% en looptijd van 100 Jaar</b>						€ 513.916
<i>Bandbreedte: met 70% zekerheid liggen de levensduurkosten tussen: (Inclusief BTW)</i>				€ 734.742	en	€ 945.628
<i>Variatiecoëfficiënt</i>					12%	
<b>Projectkosten inclusief BTW</b>				€ 22.161.425	€ 5.201.964	€ 27.363.390
<b>Projectkosten inclusief BTW (contante waarde), discontovoet van 5,5% en looptijd van 100 Jaar</b>						€ 27.038.216

<input checked="" type="checkbox"/> Actief? <b>Module verplaatsingen</b>		VARIANT 1			Totaal	Spreiding hvd %		Spreiding prijzen %			
Code	Omschrijving post	Hvd	Ehd	Prijs		L (%)	U (%)	L (%)	U (%)		
<b>Maatregelen (eenmalige kosten)</b>											
<b>object</b>	<b>Westerik</b>			€	<b>200.000</b>						
CINV-ZWe01	vervangen Spoor (onderliggend)	1,00	ehd	€	200.000,00	€	200.000,00	0%	0%	10%	25%
leeg	.....	0,00	-	€	-	€	-	0%	0%	0%	0%
leeg	.....	0,00	-	€	-	€	-	0%	0%	0%	0%
<b>object</b>	<b>Schuilingervliet</b>			€	<b>10.642.200</b>						
CINV-ZSc01	2018 - herstel voegen	21,00	voeg	€	83.600,00	€	1.755.600,00	10%	10%	15%	15%
CINV-ZSc02	2019- herstel voegen	17,00	voeg	€	83.600,00	€	1.421.200,00	10%	10%	15%	15%
CINV-ZSc03	2020- herstel voegen	10,00	voeg	€	83.600,00	€	836.000,00	10%	10%	15%	15%
CINV-ZSc10	extra herstel voegen 2018-2020	54,00	voeg	€	83.600,00	€	4.514.400,00	10%	10%	15%	15%
CINV-ZSc11	na 2020- herstel voegen	25,00	voeg	€	83.600,00	€	2.090.000,00	10%	10%	15%	15%
CINV-ZSc07	grondonderzoek	1,00	st	€	25.000,00	€	25.000,00	0%	0%	10%	20%
leeg	.....	0,00	-	€	-	€	-	0%	0%	0%	0%
<b>object</b>	<b>Rijpwetering</b>			€	<b>335.000</b>						
CINV-ZRi02	meten kracht in ankers	25,00	anker	€	5.000,00	€	125.000,00	0%	0%	25%	25%
CINV-ZRi03	controle drainage	1,00	st	€	40.000,00	€	40.000,00	0%	0%	25%	25%
CINV-ZRi04	bijplaatsen peilbuizen	1,00	ehd	€	20.000,00	€	20.000,00	0%	0%	15%	15%
CINV-ZRi05	metingen respons ZettingsVrijePlaat	1,00	st	€	50.000,00	€	50.000,00	0%	0%	25%	25%
CINV-ZRi06	metingen respons oplegblok	1,00	st	€	10.000,00	€	10.000,00	0%	0%	15%	15%
CINV-ZRi07	testen oplegblok	1,00	st	€	40.000,00	€	40.000,00	0%	0%	20%	20%
CINV-ZRi08	herstel talud bekleding	1,00	st	€	50.000,00	€	50.000,00	0%	0%	25%	25%
leeg	.....	0,00	-	€	-	€	-	0%	0%	0%	0%
leeg	.....	0,00	-	€	-	€	-	0%	0%	0%	0%
leeg	.....	0,00	-	€	-	€	-	0%	0%	0%	0%
leeg	.....	0,00	-	€	-	€	-	0%	0%	0%	0%
<b>00-BDBK</b>	<b>Benoemde directe bouwkosten</b>					€	<b>11.177.200,00</b>				
00-NTDBK	Nader te detailleren bouwkosten %	15%	%	€	11.177.200,00	€	1.676.580,00	30%	30%		
<b>00-DBK</b>	<b>Directe bouwkosten</b>					€	<b>12.853.780,00</b>				
00-IBKEK99	Eenmalige kosten %	2,0%	%	€	12.853.780,00	€	257.075,60	50%	50%		
<b>00-IBKEK</b>	<b>Totaal eenmalige kosten</b>			€	<b>257.075,60</b>						

<input checked="" type="checkbox"/> Actief? <b>Module verplaatsingen</b>		VARIANT 1		Totaal		Spreiding hvd %		Spreiding prijzen %			
Code	Omschrijving post	Hvd	Ehd	Prijs		L (%)	U (%)	L (%)	U (%)		
<b>Indirecte bouwkosten</b>											
00-IBKABK1	Algemene bouwplaatskosten %	2,0%	%	€	12.853.780,00	€	257.07560	50%	50%		
00-IBKUK1	Uitvoeringskosten %	12,0%	%	€	12.853.780,00	€	1.542.45360	30%	20%		
00-IBKAK1	Algemene kosten %	8,0%	%	€	14.910.384,80	€	1.192.83078	25%	10%		
00-IBKW1	Winst %	2,0%	%	€	16.103.215,58	€	322.06431	50%	50%		
00-IBKR1	Risico %	3,0%	%	€	16.103.215,58	€	483.09647	50%	50%		
<b>00-IBK</b>	<b>Indirecte bouwkosten</b>	31,5% t.o.v. dir.bouwkost			€	<b>4.054.596,36</b>					
<b>00-VBK</b>	<b>Voorziene bouwkosten</b>				€	<b>16.908.376,36</b>					
<b>object</b>	<b>Westerik</b>			€	<b>90.000</b>						
CINV-ZWe02	aanpassen fundering spoorbak Westering	0,10	%	€	400.000,00	€	40.000,00	0%	0%	15%	15%
CINV-ZWe04	fixeren ZVP HSL	0,10	%	€	500.000,00	€	50.000,00	0%	0%	25%	25%
Leeg	.....	-	-	€	-	€	-	0%	0%	0%	0%
<b>object</b>	<b>Schuilingervliet</b>			€	<b>877.000</b>						
CINV-ZSc04	herstel randbalk	0,50	%	€	300.000,00	€	150.000,00	0%	0%	25%	25%
CINV-ZSc05	voorzieningen aanpassen ter plaatse van obstakels/objecten	0,50	%	€	200.000,00	€	100.000,00	0%	0%	25%	25%
CINV-ZSc08	Herstel 50 voegen na 2020 - Schuilingervliet	0,15	%	€	4.180.000,00	€	627.000,00	0%	0%	15%	15%
Leeg	.....	-	-	€	-	€	-	0%	0%	0%	0%
<b>object</b>	<b>Rijpwetering</b>			€	<b>351.250</b>						
CINV-ZRi09	uitbreiding drainage	0,25	%	€	125.000,00	€	31.250,00	0%	0%	30%	30%
CINV-ZRi10	herstel oplegblok	0,20	%	€	100.000,00	€	20.000,00	0%	0%	15%	25%
CINV-ZRi11	restrisico's (plaatsen damwanden)	0,15	%	€	2.000.000,00	€	300.000,00	0%	0%	25%	25%
Leeg	.....	-	-	€	-	€	-	0%	0%	0%	0%
Leeg	.....	-	-	€	-	€	-	0%	0%	0%	0%
Leeg	.....	-	-	€	-	€	-	0%	0%	0%	0%
Leeg	.....	-	-	€	-	€	-	0%	0%	0%	0%
00-NBORBK	Niet benoemd objectrisico bouwkosten %	0,0%	%	€	16.908.376,36	€	0,00	50%	50%		
<b>00-RBK</b>	<b>Rest Risico's maatregelen</b>	7,8% t.o.v. voorz. bouwkost			€	<b>1.318.250,00</b>					
<b>00-BK</b>	<b>Maatregelen (eenmalige kosten) Module verplaatsingen</b>				€	<b>18.226.626,36</b>					

Actief?	Module verplaatsingen	VARIANT		1	Prijs	Totaal	Spreiding hvd %		Spreiding prijzen %		
		Hvd	Ehd				L (%)	U (%)	L (%)	U (%)	
<b>OG/ON Engineering</b>											
00-DEK040	OG PM na gunning bouwcontracten (IPM team) incl. wijzigingbeheer, contractbeheersing %	2,0%	%	€	16.908.376,36	€	338.167,53	25%	25%		
00-DEK060	ON PM na gunning %	2,0%	%	€	16.908.376,36	€	338.167,53	50%	25%		
<b>00-EK</b>	<b>Engineeringkosten (ON en OG) Module verplaatsingen</b>	<b>3,7%</b>			<i>tov directe bouwkosten</i>	<b>€</b>	<b>676.335,05</b>				
<b>Overige bijkomende kosten</b>											
00-DOBK010	Leges&heffingen voortvloeiend uit vergun.aanvragen aannemer %	1,0%	%	€	16.908.376,36	€	169.08376	50%	25%		
00-DOBK015	Verzekeringspremie (CAR, ontwerp, aansprakelijk, e.d) aannemer %	0,3%	%	€	16.908.376,36	€	50.72513	30%	30%		
00-DOBK020	Kosten kabels & leidingen niet via D&C-contract %	0,0%	%	€	16.908.376,36	€	-	0%	0%		
00-DOBK025	Communicatiekosten niet via D&C-contract %	0,0%	%	€	16.908.376,36	€	-	0%	0%		
00-DOBK030	Compenserende maatregelen niet via D&C-contract %	0,0%	%	€	16.908.376,36	€	-	0%	0%		
00-DOBK035	Mitigerende maatregelen niet via D&C-contract %	0,0%	%	€	16.908.376,36	€	-	0%	0%		
00-DOBK040	Ruimen niet gesprongen explosieven niet via D&C-contract %	0,0%	%	€	16.908.376,36	€	-	0%	0%		
00-DOBK045	Archeologische opgravingen niet via D&C-contract %	0,0%	%	€	16.908.376,36	€	-	0%	0%		
00-DOBK050	Planschade %	0,0%	%	€	16.908.376,36	€	-	0%	0%		
Leeg	.....	0,0%	%	€	16.908.376,36	€	-	0%	0%		
Leeg	.....	0,0%	%	€	16.908.376,36	€	-	0%	0%		
Leeg	.....	0,0%	%	€	16.908.376,36	€	-	0%	0%		
<b>00-BDOBK</b>	<b>Benoemde directe overige bijkomende kosten</b>					<b>€</b>	<b>219.808,89</b>				
00-NTDOBK	Nader te detailleren overige bijkomende kosten %	0,0%	%	€	219.808,89	€	-	0%	0%		
<b>00-DOBK</b>	<b>Directe overige bijkomende kosten</b>					<b>€</b>	<b>219.808,89</b>				
HideMe	Do not put anything on this horizontal line										
Leeg	.....	-	-	€	-	€	-	0%	0%	0%	0%
Leeg	.....	-	-	€	-	€	-	0%	0%	0%	0%

Actief?	Module verplaatsingen	VARIANT 1		Prijs	Totaal	Spreiding hvd %		Spreiding prijzen %				
		Hvd	Ehd			L (%)	U (%)	L (%)	U (%)			
<input checked="" type="checkbox"/>	Leeg	.....	-	-	€	-	€	-	0%	0%	0%	0%
	00-IOBKEK	Enmalige kosten %	0,0%	%	€	219.808,89	€	-	0%	0%		
	00-IOBKAK	Algemene kosten %	0,0%	%	€	219.808,89	€	-	0%	0%		
	00-IOBKW	Winst %	0,0%	%	€	219.808,89	€	-	0%	0%		
	00-IOBKR	Risico %	0,0%	%	€	219.808,89	€	-	0%	0%		
	<b>00-IOBK</b>	<b>Indirecte overige bijkomende kosten</b>	0,0% t.o.v. dir. overige bijk.kost		€	-						
	<b>00-VOBK</b>	<b>Voorziene overige bijkomende kosten</b>			€	<b>219.808,89</b>						
	<b>HideMe</b>	<b>Do not put anything on this horizontal line</b>										
	Leeg	.....	0,0%	k*g	€	-	€	-			0%	0%
	Leeg	.....	0,0%	k*g	€	-	€	-			0%	0%
	Leeg	.....	0,0%	k*g	€	-	€	-			0%	0%
	00-NBOROBK	Niet benoemd objectrisico overige bijkomende kosten %	0,0%	%	€	219.808,89	€	-	0%	0%		
	<b>00-OBK</b>	<b>Overige bijkomende kosten (verzekeringen etc) Module verplaatsingen</b>	1,2%	to	directe	bouwkosten	€	<b>219.808,89</b>				
	<b>00-INV</b>	<b>Investeringskosten Module verplaatsingen</b>				€	<b>19.122.770,31</b>		Ingevul d	Ingevul d	Ingevul d	Ingevul d
		Investeringskosten Module verplaatsingen (gekapitaliseerd)				€	<b>19.122.770,31</b>					



Risico Analyse Verplaatsingen	←----- eenmalige kosten ----->			rest risico's		Totaal
	Directe kosten Benoemd	Directe kosten Nader te detaileren	Indirecte kosten (opdrachtnemer)	Voorziene kosten	Risicoreservering	
<b>Investeringskosten</b>						
Maatregelen (eenmalige kosten) Module verplaatsingen	€ 11.177.200	€ 1.676.580	€ 4.054.596	€ 16.908.376	€ 1.318.250	€ 18.226.626
Maatregelen (eenmalige kosten) Module DHV_template	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -
Maatregelen (eenmalige kosten)	€ 11.177.200	€ 1.676.580	€ 4.054.596	€ 16.908.376	€ 1.318.250	€ 18.226.626
Engineeringkosten (ON en OG) Module verplaatsingen	€ 676.335	€ -	€ -	€ 676.335	€ 0	€ 676.335
Engineeringkosten (ON en OG) Module DHV_template	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -
Engineeringkosten (ON en OG)	€ 676.335	€ -	€ -	€ 676.335	€ 0	€ 676.335
Overige bijkomende kosten (verzekeringen etc) Module verplaatsingen	€ 219.809	€ -	€ -	€ 219.809	€ -	€ 219.809
Overige bijkomende kosten (verzekeringen etc) Module DHV_template	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -
Overige bijkomende kosten (verzekeringen etc)	€ 219.809	€ -	€ -	€ 219.809	€ -	€ 219.809
<b>Subtotaal investeringskosten</b>	€ 12.073.344	€ 1.676.580	€ 4.054.596	€ 17.804.520	€ 1.318.250	€ 19.122.770
Objectoverstijgende risico's investeringskosten					€ 2.868.416	€ 2.868.416
<b>Investeringskosten deterministisch</b>	€ 12.073.344	€ 1.676.580	€ 4.054.596	€ 17.804.520	€ 4.186.666	€ 21.991.186
Scheefte investeringskosten					€ (26.458)	€ (26.458)
<b>Totaal investeringskosten probabilistisch (exclusief BTW)</b>				€ 17.804.520	€ 4.160.208	€ 21.964.728
BTW (maar niet over heffingen, leges, e.d.)	Inclusief			€ 3.692.789	€ 866.783	€ 4.559.573
<b>Investeringskosten inclusief BTW</b>				€ 21.497.310	€ 5.026.991	€ 26.524.301
<b>Investeringskosten inclusief BTW (contante waarde), discontovoet van 5,5% en looptijd van 1 Jaar</b>						€ 26.524.301
<i>Bandbreedte: met 70% zekerheid liggen de investeringskosten tussen: (Inclusief BTW)</i>				€ 19.846.092	en	€ 33.292.735
<i>Variatiecoëfficiënt schatting (+/-) bij deterministische benadering</i>					24%	
<b>Periodieke kosten</b>						
<b>Subtotaal periodieke kosten</b>	€ 400.000	€ 40.000	€ 108.856	€ 548.856	€ 27.443	€ 576.299
Objectoverstijgende risico's periodieke kosten					€ 57.630	€ 57.630
<b>Periodieke kosten deterministisch</b>	€ 400.000	€ 40.000	€ 108.856	€ 548.856	€ 85.073	€ 633.929
Scheefte periodieke kosten					€ 59.533	€ 59.533
<b>Periodieke kosten exclusief BTW</b>				€ 548.856	€ 144.606	€ 693.462
BTW (maar niet over heffingen, leges, e.d.)				€ 115.260	€ 30.367	€ 145.627
<b>Periodieke kosten inclusief BTW</b>				€ 664.116	€ 174.973	€ 839.089
<b>Periodieke kosten inclusief BTW (contante waarde), discontovoet van 5,5% en looptijd van 100 Jaar</b>						€ 513.916
<i>Bandbreedte: met 70% zekerheid liggen de levensduurkosten tussen: (Inclusief BTW)</i>				€ 734.742	en	€ 945.628
<i>Variatiecoëfficiënt</i>					12%	
<b>Projectkosten inclusief BTW</b>				€ 22.161.425	€ 5.201.964	€ 27.363.390
<b>Projectkosten inclusief BTW (contante waarde), discontovoet van 5,5% en looptijd van 100 Jaar</b>						€ 27.038.216

Actief? <b>Module verplaatsingen</b>		VARIANT 1			Totaal	Spreiding hvd %		Spreiding prijzen %			
Code	Omschrijving post	Hvd	Ehd	Prijs		L (%)	U (%)	L (%)	U (%)		
<b>Maatregelen (eenmalige kosten)</b>											
<b>object</b>	<b>Westerik</b>			€	<b>200.000</b>						
CINV-ZWe01	vervangen Spoor (onderliggend)	1,00	ehd	€	200.000,00	€	200.000,00	0%	0%	10%	25%
leeg	.....	0,00	-	€	-	€	-	0%	0%	0%	0%
leeg	.....	0,00	-	€	-	€	-	0%	0%	0%	0%
<b>object</b>	<b>Schuilingervliet</b>			€	<b>10.642.200</b>						
CINV-ZSc01	2018 - herstel voegen	21,00	voeg	€	83.600,00	€	1.755.600,00	10%	10%	15%	15%
CINV-ZSc02	2019- herstel voegen	17,00	voeg	€	83.600,00	€	1.421.200,00	10%	10%	15%	15%
CINV-ZSc03	2020- herstel voegen	10,00	voeg	€	83.600,00	€	836.000,00	10%	10%	15%	15%
CINV-ZSc10	extra herstel voegen 2018-2020	54,00	voeg	€	83.600,00	€	4.514.400,00	10%	10%	15%	15%
CINV-ZSc11	na 2020- herstel voegen	25,00	voeg	€	83.600,00	€	2.090.000,00	10%	10%	15%	15%
CINV-ZSc07	grondonderzoek	1,00	st	€	25.000,00	€	25.000,00	0%	0%	10%	20%
leeg	.....	0,00	-	€	-	€	-	0%	0%	0%	0%
<b>object</b>	<b>Rijpwetering</b>			€	<b>335.000</b>						
CINV-ZRi02	meten kracht in ankers	25,00	anker	€	5.000,00	€	125.000,00	0%	0%	25%	25%
CINV-ZRi03	controle drainage	1,00	st	€	40.000,00	€	40.000,00	0%	0%	25%	25%
CINV-ZRi04	bijplaatsen peilbuizen	1,00	ehd	€	20.000,00	€	20.000,00	0%	0%	15%	15%
CINV-ZRi05	metingen respons ZettingsVrijePlaat	1,00	st	€	50.000,00	€	50.000,00	0%	0%	25%	25%
CINV-ZRi06	metingen respons oplegblok	1,00	st	€	10.000,00	€	10.000,00	0%	0%	15%	15%
CINV-ZRi07	testen oplegblok	1,00	st	€	40.000,00	€	40.000,00	0%	0%	20%	20%
CINV-ZRi08	herstel talud bekleding	1,00	st	€	50.000,00	€	50.000,00	0%	0%	25%	25%
leeg	.....	0,00	-	€	-	€	-	0%	0%	0%	0%
leeg	.....	0,00	-	€	-	€	-	0%	0%	0%	0%
leeg	.....	0,00	-	€	-	€	-	0%	0%	0%	0%
leeg	.....	0,00	-	€	-	€	-	0%	0%	0%	0%
<b>00-BDBK</b>	<b>Benoemde directe bouwkosten</b>					€	<b>11.177.200,00</b>				
00-NTDBK	Nader te detailleren bouwkosten %	15%	%	€	11.177.200,00	€	1.676.580,00	30%	30%		
<b>00-DBK</b>	<b>Directe bouwkosten</b>					€	<b>12.853.780,00</b>				
00-IBKEK99	Eenmalige kosten %	2,0%	%	€	12.853.780,00	€	257.075,60	50%	50%		
<b>00-IBKEK</b>	<b>Totaal eenmalige kosten</b>			€	<b>257.075,60</b>						

<input checked="" type="checkbox"/> Actief? <b>Module verplaatsingen</b>		VARIANT 1		Totaal	Spreiding hvd %		Spreiding prijzen %	
Code	Omschrijving post	Hvd	Ehd	Prijs	L (%)	U (%)	L (%)	U (%)
<b>Indirecte bouwkosten</b>								
00-IBKABK1	Algemene bouwplaatskosten %	2,0%	%	€ 12.853.780,00	€ 257.07560	50%	50%	
00-IBKUK1	Uitvoeringskosten %	12,0%	%	€ 12.853.780,00	€ 1.542.45360	30%	20%	
00-IBKAK1	Algemene kosten %	8,0%	%	€ 14.910.384,80	€ 1.192.83078	25%	10%	
00-IBKW1	Winst %	2,0%	%	€ 16.103.215,58	€ 322.06431	50%	50%	
00-IBKR1	Risico %	3,0%	%	€ 16.103.215,58	€ 483.09647	50%	50%	
<b>00-IBK</b>	<b>Indirecte bouwkosten</b>	31,5% t.o.v. dir.bouwkost		<b>€ 4.054.596,36</b>				
<b>00-VBK</b>	<b>Voorziene bouwkosten</b>			<b>€ 16.908.376,36</b>				
<b>object</b>	<b>Westerik</b>			<b>€ 90.000</b>				
CINV-ZWe02	aanpassen fundering spoorbak Westering	0,10	%	€ 400.000,00	€ 40.000,00	0%	0%	15% 15%
CINV-ZWe04	fixeren ZVP HSL	0,10	%	€ 500.000,00	€ 50.000,00	0%	0%	25% 25%
Leeg	.....	-	-	€ -	€ -	0%	0%	0% 0%
<b>object</b>	<b>Schuilingervliet</b>			<b>€ 877.000</b>				
CINV-ZSc04	herstel randbalk	0,50	%	€ 300.000,00	€ 150.000,00	0%	0%	25% 25%
CINV-ZSc05	voorzieningen aanpassen ter plaatse van obstakels/objecten	0,50	%	€ 200.000,00	€ 100.000,00	0%	0%	25% 25%
CINV-ZSc08	Herstel 50 voegen na 2020 - Schuilingervliet	0,15	%	€ 4.180.000,00	€ 627.000,00	0%	0%	15% 15%
Leeg	.....	-	-	€ -	€ -	0%	0%	0% 0%
<b>object</b>	<b>Rijpwetering</b>			<b>€ 351.250</b>				
CINV-ZRi09	uitbreiding drainage	0,25	%	€ 125.000,00	€ 31.250,00	0%	0%	30% 30%
CINV-ZRi10	herstel oplegblok	0,20	%	€ 100.000,00	€ 20.000,00	0%	0%	15% 25%
CINV-ZRi11	restrisico's (plaatsen damwanden)	0,15	%	€ 2.000.000,00	€ 300.000,00	0%	0%	25% 25%
Leeg	.....	-	-	€ -	€ -	0%	0%	0% 0%
Leeg	.....	-	-	€ -	€ -	0%	0%	0% 0%
Leeg	.....	-	-	€ -	€ -	0%	0%	0% 0%
Leeg	.....	-	-	€ -	€ -	0%	0%	0% 0%
00-NBORBK	Niet benoemd objectrisico bouwkosten %	0,0%	%	€ 16.908.376,36	€ 0,00	50%	50%	
<b>00-RBK</b>	<b>Rest Risico's maatregelen</b>	7,8% t.o.v. voorz. bouwkost		<b>€ 1.318.250,00</b>				
<b>00-BK</b>	<b>Maatregelen (eenmalige kosten) Module verplaatsingen</b>			<b>€ 18.226.626,36</b>				

Actief?	Module verplaatsingen	VARIANT		1	Prijs	Totaal	Spreiding hvd %		Spreiding prijzen %	
		Hvd	Ehd				L (%)	U (%)	L (%)	U (%)
Code	Omschrijving post									
<b>OG/ON Engineering</b>										
00-DEK040	OG PM na gunning bouwcontracten (IPM team) incl. wijzigingbeheer, contractbeheersing %	2,0%	%	€	16.908.376,36	€	338.167,53	25%	25%	
00-DEK060	ON PM na gunning %	2,0%	%	€	16.908.376,36	€	338.167,53	50%	25%	
<b>00-EK</b>	<b>Engineeringkosten (ON en OG) Module verplaatsingen</b>	<b>3,7%</b>			<i>tov directe bouwkosten</i>	<b>€</b>	<b>676.335,05</b>			
<b>Overige bijkomende kosten</b>										
00-DOBK010	Leges&heffingen voortvloeiend uit vergun.aanvragen aannemer %	1,0%	%	€	16.908.376,36	€	169.08376	50%	25%	
00-DOBK015	Verzekeringspremie (CAR, ontwerp, aansprakelijk, e.d) aannemer %	0,3%	%	€	16.908.376,36	€	50.72513	30%	30%	
00-DOBK020	Kosten kabels & leidingen niet via D&C-contract %	0,0%	%	€	16.908.376,36	€	-	0%	0%	
00-DOBK025	Communicatiekosten niet via D&C-contract %	0,0%	%	€	16.908.376,36	€	-	0%	0%	
00-DOBK030	Compenserende maatregelen niet via D&C-contract %	0,0%	%	€	16.908.376,36	€	-	0%	0%	
00-DOBK035	Mitigerende maatregelen niet via D&C-contract %	0,0%	%	€	16.908.376,36	€	-	0%	0%	
00-DOBK040	Ruimen niet gesprongen explosieven niet via D&C-contract %	0,0%	%	€	16.908.376,36	€	-	0%	0%	
00-DOBK045	Archeologische opgravingen niet via D&C-contract %	0,0%	%	€	16.908.376,36	€	-	0%	0%	
00-DOBK050	Planschade %	0,0%	%	€	16.908.376,36	€	-	0%	0%	
Leeg	.....	0,0%	%	€	16.908.376,36	€	-	0%	0%	
Leeg	.....	0,0%	%	€	16.908.376,36	€	-	0%	0%	
Leeg	.....	0,0%	%	€	16.908.376,36	€	-	0%	0%	
<b>00-BDOBK</b>	<b>Benoemde directe overige bijkomende kosten</b>					<b>€</b>	<b>219.808,89</b>			
00-NTDOBK	Nader te detailleren overige bijkomende kosten %	0,0%	%	€	219.808,89	€	-	0%	0%	
<b>00-DOBK</b>	<b>Directe overige bijkomende kosten</b>					<b>€</b>	<b>219.808,89</b>			
HideMe	Do not put anything on this horizontal line									
Leeg	.....	-	-	€	-	€	-	0%	0%	0% 0%
Leeg	.....	-	-	€	-	€	-	0%	0%	0% 0%

Actief?	Module verplaatsingen	VARIANT 1			Totaal	Spreiding hvd %		Spreiding prijzen %				
		Hvd	Ehd	Prijs		L (%)	U (%)	L (%)	U (%)			
<input checked="" type="checkbox"/>	Leeg	.....	-	-	€	-	€	-	0%	0%	0%	0%
	00-IOBKEK	Enmalige kosten %	0,0%	%	€	219.808,89	€	-	0%	0%		
	00-IOBKAK	Algemene kosten %	0,0%	%	€	219.808,89	€	-	0%	0%		
	00-IOBKW	Winst %	0,0%	%	€	219.808,89	€	-	0%	0%		
	00-IOBKR	Risico %	0,0%	%	€	219.808,89	€	-	0%	0%		
	<b>00-IOBK</b>	<b>Indirecte overige bijkomende kosten</b>	0,0% t.o.v. dir. overige bijk.kost			€	-					
	<b>00-VOBK</b>	<b>Voorziene overige bijkomende kosten</b>				€	<b>219.808,89</b>					
	<b>HideMe</b>	<b>Do not put anything on this horizontal line</b>										
	Leeg	.....	0,0%	k*g	€	-	€	-			0%	0%
	Leeg	.....	0,0%	k*g	€	-	€	-			0%	0%
	Leeg	.....	0,0%	k*g	€	-	€	-			0%	0%
	00-NBOROBK	Niet benoemd objectrisico overige bijkomende kosten %	0,0%	%	€	219.808,89	€	-	0%	0%		
	<b>00-OBK</b>	<b>Overige bijkomende kosten (verzekeringen etc) Module verplaatsingen</b>	1,2%	tov directe bouwkosten		€	<b>219.808,89</b>					
	<b>00-INV</b>	<b>Investeringskosten Module verplaatsingen</b>				€	<b>19.122.770,31</b>		Ingevul d	Ingevul d	Ingevul d	Ingevul d
		Investeringskosten Module verplaatsingen (gekapitaliseerd)				€	<b>19.122.770,31</b>					