



GraafReinaldalliantie

Samenvattende eindrapportage

Soilmix heaveschermen

Fase 1 Voorbereidingsfase



Overzicht gegevens document

Titel document: Samenvattende eindrapportage soilmix heaveschermen

Kenmerk document: GO-WA-PLN- 213861

Autorisatie

	Naam
<i>Opgesteld door</i>	Martin Groenewoud
<i>Verificatie door</i>	Albert Wiggers
<i>Autorisatie door</i>	Gerjan Westerhof
<i>Vrijgave door</i>	Niek Ridderbos

Paraaf en tekendatum zijn opgenomen in de Goedkeuringsworkflow in DMS

Revisiebeheer

Revisienummer	Datum	Status	Opmerkingen
0.1	14-10-2022	Concept	
1.0	27-10-2022	Definitief	

Adresgegevens

Graaf Reinaldalliantie
Waaldijk 91
4214 LC Vuren
e-mail (publiek): info@gralliantie.nl
e-mail (project): postbus@gralliantie.nl

INHOUDSOPGAVE



1	Inleiding	4
1.1	Achtergrond	4
1.2	Doel van het onderzoek	4
1.3	Selectie soilmix en freestechniek HITEC Road	5
1.4	Leeswijzer	6
2	Resultaten.....	7
2.1	Bijdrage aan HWBP doelstellingen.....	7
2.1.1	Kosten	7
2.1.2	Snellere realisatie	8
2.1.3	Minder hinder	8
2.1.4	Duurzaamheid: Life Cycle Analyse en MKI bepaling.....	8
2.2	Technische haalbaarheid	8
2.2.1	Grondwaterstromingsberekeningen.....	9
2.3	Kennisdeling.....	10
3	Conclusies en aanbevelingen	10

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Bij dijkversterking Gorinchem-Waardenburg (GoWa) is door de Graaf Reinaldalliantie een ontwerp uitgewerkt op basis van het ontwerp instrumentarium OI2014.v4. Hierbij is over een deel van het traject een heavescherm ontworpen om het faalmechanisme van piping tegen te gaan. Dit heavescherm dient meerdere meters in de watervoerende zandlaag aangebracht te worden. Ervaring leert dat het aanbrengen van de traditionele oplossing middels een stalen damwandschermen kostbaar is, maar ook dat in een dichtbebouwde omgeving als GoWa de trillingen in de zandlagen kunnen leiden tot schade aan de omringende bebouwing. Ook is de milieu-impact van dit soort schermen gemeten middels MKI aanzienlijk.

Verticale pipingmaatregelen kunnen op verschillende wijzen worden uitgevoerd. Naast heaveschermen in staal (stalen damwand) zijn voor dit project het Verticaal Zanddicht Geotextiel (VZG), de Grofzandbarrière (GZB) en Prolock schermen beschouwd. Deze verticale maatregelen (VZG, GZB en Prolock) zijn inmiddels afgefallen, omdat VZG en GZB niet toegepast kunnen worden door de grondslag en bij Prolock¹ schermen de aanbrengdiepte een probleem vormt.

Aanleiding onderzoek

Daarom is onderzocht of er nog een tegenhanger voor het stalen heavescherm is af te leiden. Er zit immers een groot kostprijsverschil tussen stalen heaveschermen en de andere verticale maatregelen. Vanuit een functionele beschouwing is snel af te leiden dat het heavescherm een afdichtende functie heeft, maar geen constructieve functie. De keuze voor staal als materialisatie is daarom alleen ingegeven vanuit aanbrengingstechniek, maar scoort minder vanuit kosten of duurzaamheid.

Een soilmix wand waarbij de bestaande grond gemengd wordt met een toeslagmateriaal (additief) achten wij zeer kansrijk als alternatief voor een stalen heavescherm.

SCOPE AFBAKENING

Deze samenvattende eindrapportage beschrijft de resultaten van de **Vorbereidingsfase** (1^e fase). Het vervolg in de vorm van een **Testfase** (maakbaarheidsproef) en een **Pilotfase**, zoals beschreven in het Plan van Aanpak (GoWa, 2021), moet nog verder uitgewerkt en geïnitieerd worden. Deze vervolgfases zullen niet bij project GoWa plaatsvinden, omdat GoWa reeds te ver gevorderd is in de uitvoering. Er wordt nog gezocht naar een geschikt project c.q. geschikte locatie.

TOEPASSINGSGBIED

In het onderzoek is alleen de toepassing van soilmix wanden als heavescherm onderzocht. Ook andere toepassingen van soilmix wanden in een dijkversterking zijn denkbaar, zoals een scherm dat de stabiliteit verhoogt of een scherm dat zowel de stabiliteit als de weerstand tegen piping verhoogt. De kansrijkheid van de toepassing als heavescherm ter verhoging van de weerstand tegen piping wordt echter het grootst geacht en daarom is er bewust voor gekozen om dit onderzoek op deze toepassing te richten.

FINANCIERING

Het onderzoek is mogelijk gemaakt door financiering vanuit de Kennis & Innovatie Agenda van het HBWP en is in opdracht van Waterschap Rivierenland uitgevoerd.

1.2 Doel van het onderzoek

Primaire doelstelling van dit onderzoek is driedelig:

1. **Bijdrage aan HWBP doelstellingen in kaart brengen:** Nagaan wat een soilmix wand als heavescherm bijdraagt aan de HWBP doelstellingen 'beter, sneller en goedkoper'.

¹ Een recente proef met kunststof damwanden bij dijkversterking WOS leverde nog niet het gewenste resultaat. Het inbrengen van kunststof damwanden tot dieptes groter dan 10-12 m is nog een probleem.

2. **Technische haalbaarheid aantonen:** Aantonen of de soilmix techniek ver genoeg is ontwikkeld voor grootschalige toepassing (TRL8-9).
3. **Bijdrage leveren aan Ontwerp- en Beoordelingsrichtlijn (OBR) heaveschermen.** Dit doel is later specifiek toegevoegd omdat uit gesprekken met het HWBP de behoefte aan een OBR heaveschermen naar boven kwam. De kennis die opgedaan wordt tijdens het onderzoek naar soilmix heaveschermen is voor een belangrijk deel generiek (ook geldig van andersoortige heaveschermen).

1.3 Selectie soilmix en freestechniek HITEC Road

Er bestaan diverse soilmix technieken. Om een vergelijking te maken tussen stalen damwanden en soilmix wanden is uitgegaan van de techniek van de firma HITEC Road & partners. In onderstaande alinea's wordt deze keuze toegelicht.

Verticale freestechnieken

De heaveschermen bij GoWa moeten tot circa 15 m onder maaiveld aangebracht kunnen worden. Praktijkervaring leert dat freestechnieken met een verticale giek en roterende freeskoppen niet tot die gewenste diepte toepasbaar zijn (maximaal circa 8 m onder maaiveld). Ook zijn de producties van dergelijke freestechnieken laag (circa 150 m²/dag). Deze technieken leveren vooralsnog niet het gewenste resultaat.

Horizontale freestechniek HITEC Road& partners

HITEC Road& partners heeft een horizontale kettingfrees die wel tot de gewenste dieptes komt en bovendien hoge producties kan leveren (circa 1200 m²/dag). De machine is recentelijk opgeleverd (zomer 2022). HITEC is tevens gespecialiseerd in grondstabilisatietechnieken. Juist de combinatie van innovatieve freestechniek en innovatieve samenstelling van de soilmix maakt deze toepassing kansrijk voor heaveschermen, zie onderstaande alinea's voor meer achtergrond.

Opmerking: er zijn meerdere partijen die stellen de freestechniek op termijn tot 15 m te kunnen uitbreiden.

Soilmix HITEC

HITEC Road is een Nederlandse aannemer die gespecialiseerd is in het stabiliseren van grond d.m.v. toevoegen van een additief genaamd Novocrete®. De bestaande grond wordt bij de stabilisatie 100% hergebruikt. Novocrete bestaat uit een mengsel van cement en een cocktail van natuurlijke mineralen. Door de toevoeging van mineralen ontstaan er lange verbindingen waardoor de sterkte toeneemt. De grondstabilisatie is nagenoeg waterdoorlatend.

HITEC Road heeft deze grondstabilisatie wereldwijd toegepast bij wegen, spoorwegen en vliegvelden. In mei 2019 zijn in opdracht Waterschap Rivierenland en Gemeente Nederbetuwe de wegbermen op de dijk bij Opheusden met deze techniek over 1,4 km versterkt. De bermverharding heeft de belasting door frequent vrachtverkeer tot heden uitstekend doorstaan.

Freestechniek

HITEC Road werkt veel samen met Duitse partners. In Duitsland worden soilmix wanden al veel langer toegepast dan in Nederland. Veel van de machines worden ook in Duitsland gebouwd. HITEC & partners heeft een kettingfrees ontwikkeld welke recentelijk is opgeleverd (zie Figuur 1). Deze machine lijkt zeer geschikt voor het bouwen van soilmix heaveschermen vanwege de volgende eigenschappen:

- Aanlegdiepte van 15 m beneden maaiveld mogelijk
- Hoge productie: circa 1200 m² per dag (bij een diepte van 15 m, 80 strekkende meter, wanddikte 0,5 m)



Figuur 1 Soilmix freesmachine (bron: HITEC Road & Partners)

1.4 Leeswijzer

In Hoofdstuk **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** wordt ingegaan op resultaten m.b.t. de onderzoeksdoelen (bijdrage HWBP doelstellingen, technische haalbaarheid en bijdrage OBR heaveschermen). In Hoofdstuk o volgen de conclusies en aanbevelingen.

2 Resultaten

2.1 Bijdrage aan HWBP doelstellingen

Innovaties moeten een bijdrage leveren aan het HWBP programma om dit 'sneller, beter en goedkoper' te maken. In onderstaande paragrafen wordt uiteengezet in hoeverre soilmix wanden hier een bijdrage aan kunnen leveren.

2.1.1 Kosten

Het was vooraf aan het onderzoek de stellige verwachting dat een soilmix heavescherm significant goedkoper zou zijn dan een stalen heavescherm. Een besparing van minimaal 20% op de directe bouwkosten werd haalbaar geacht. Naarmate er meer ervaring wordt opgedaan met het toepassen van de techniek, zal naar verwachting dit percentage toe kunnen nemen.

Potentiële besparing op GoWa

Op GoWa is 3,7 km heavescherm ontworpen (en 6,4 km gecombineerde stabiliteits/heavescherm). Er is een vergelijking gemaakt tussen de kosten voor een stalen damwand (Bijlage 1) en een soilmix wand (Bijlage 2)

De directe bouwkosten worden geraamd op circa € 6,5 miljoen voor de stalen heaveschermen. De directe bouwkosten voor een soilmix wand zijn **circa 25% lager**, namelijk €4,9 miljoen. Hier moet een aantal kanttekeningen bij gemaakt worden:

- Er is gerekend met prijspeil 1-10-2020. Inmiddels is er veel veranderd, de staalprijs is meer dan verdubbeld waardoor soilmix heaveschermen anno nu relatief nog voordeliger zullen zijn.
- De getallen zijn gebaseerd op ramingen, praktijkervaringen met toepassing van soilmix op grotere schaal zal leiden tot meer inzicht in de kosten.

Besparing op landelijk niveau

Piping is een belangrijk faalmechanisme dat op veel locaties speelt. In Nederland is er bij primaire keringen grofweg op 20% van de te versterken primaire waterkeringen een piping probleem. Momenteel wordt er op verschillende fronten hard gewerkt aan de ontwikkeling van innovatieve technieken om het piping probleem op te lossen, te denken valt aan het Verticaal Zanddicht Geotextiel (VZG), de Grof Zand Barrière (GZB) en kunststof damwanden. Elke techniek heeft z'n beperkingen qua toepassingsgebied. De standaard terugvaloptie is een stalen damwand waarvan de werking en de maakbaarheid geen vragen oproepen. Het is een bewezen techniek.

Wanneer een soilmix heavescherm een volwaardig alternatief zou vormen voor een stalen damwandscherm, kan dit een grote kostenbesparing voor het HWBP programma opleveren. Gezien de huidige ontwikkeling van de staalprijs en verwachte leercurve bij het toepassen van soilmixwanden is de verwachting dat het besparingspercentage verder zal toenemen.

Toepassingsgebied

Heaveschermen (staal of soilmix) zijn bij dikkere deklagen vaak de enige reële optie om het piping probleem te verhelpen i.v.m. maakbaarheid doordat de oplossing diep in de ondergrond moet worden aangebracht. Andere technieken (bijv. filtertechnieken of kunststof damwanden) zijn qua diepte beperkt (maakbaarheid is een probleem). Maar ook bij dunnere deklagen kunnen soilmix heaveschermen heel aantrekkelijk zijn qua kosten o.a. vanwege de hoge producties.

Groot voordeel is dat soilmix heaveschermen **onderhoudsvrij** zijn en dat mede daardoor de werking over de levensduur gegarandeerd is. Heaveschermen bieden **langdurige zekerheid** voor de beheerder, zowel qua waterveiligheid als financieel (geen onverwachte onderhoudskosten). Wel moet rekening gehouden worden met normswijzigingen in de toekomst, maar datzelfde geldt voor stalen heaveschermen. Robuust ontwerpen vermindert dit risico.

Gezien de grote pipingopgave in het land is het voor beheerders van essentieel belang om voor onderhoudsarme/onderhoudsvrije oplossingen te kiezen, zodat dit in de praktijk een beheerbare situatie geeft. Soilmix heaveschermen voldoen aan die vereiste.

Landelijke opgave

Wanneer we kijken naar de landelijke opgave voor piping, dan is er circa 350 km waterkering met pipingprobleem (zie Tabel 1). Deze aantallen zijn indicatief en door het HWBP verkregen door de beheerders bij de aanmelding van hun project te vragen naar de relevante faalmechanismes waarop de dijk is afgekeurd:

HWBP Programma 2022 – 2027 /2033	Pipingopgave
Beschikte projecten	150 km
Geprogrammeerde projecten	79 km
Aangemelde projecten	120 km
Totaal	349 km

Tabel 1 Landelijke pipingopgave

2.1.2 Snellere realisatie

De toepassing van nieuwe, verbeterde technieken voor de aanleg van een soilmix wand resulteert in veel hogere producties (zie ook paragraaf **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**). Met de horizontale freestechiek van HITEC kunnen hogere producties worden bereikt, ook ten opzichte van de productie van stalen damwanden.

- Aanlegdiepte van 15 m beneden maaiveld mogelijk
- Hoge productie: circa 1200 m² per dag (bij een diepte van 15 m, 80 strekkende meter, wanddikte 0,5 m)

Dit vertaalt zich niet alleen in lagere kosten (minder manuren) maar zal ook de totale uitvoeringsduur van het project positief beïnvloeden.

Een praktijkproef en een pilot zijn benodigd om dit aan te tonen.

2.1.3 Minder hinder

De hogere producties (meer meters wand/dag) betekenen ook **minder hinder** voor de omgeving (kortere overlastduur). Ook zullen er minder trillingen optreden en is de techniek veel minder gevoelig voor obstakels in de ondergrond.

2.1.4 Duurzaamheid: Life Cycle Analyse en MKI bepaling

Om op het gebied van duurzaamheid een objectieve vergelijking te maken tussen een stalen damwand en een soilmix wand heeft adviesbureau NIBE een Life Cycle Analyse (LCA) uitgevoerd (zie Bijlage 3). NIBE is gecertificeerd om LCA's op te stellen.

LCA: de *milieukostenindicator* (MKI) komt een soilmix wand (MKI 2,47) een factor 5 beter uit de verf dan een stalen damwand (MKI 12,08).

CO₂: uitstoot scoort een soilmix wand veel beter (factor 3).

Voor verdere details wordt verwezen naar Bijlage 3.

2.2 Technische haalbaarheid

Er is momenteel binnen De Innovatieversneller (DIV) aandacht voor het bepalen van een ontwerpaanpak voor het bepalen van de *benodigde diepte* van een heavescherm. Dit aspect maakt daarom geen deel uit van dit onderzoek. Er heeft wel kennisuitwisseling plaatsgevonden tussen GoWa en DIV en inzichten die zijn opgedaan bij GoWa worden meegenomen bij het ontwikkelen van de landelijke ontwerpaanpak. Het gaat in dit onderzoek over de vraag of het haalbaar is om door middel van een soilmix techniek een heavescherm te

kunnen maken, dat aan alle waterveiligheidseisen voor het faalmechanisme STPH (Opbarsten, heave en piping) voldoet.

Aangezien deze eisen mede afhangen van de techniek is er door de Graaf Reinald Alliantie opdracht gegeven aan Deltares om de technische haalbaarheid te onderzoeken. Dit heeft geresulteerd in de rapportage *Soilmix als heavescherm dijkversterking GoWa, Fase 1 Voorbereidingsfase Bureaustudie (Deltares, 2022)*, zie Bijlage 4.

Bevindingen Deltares rapportage

De bevindingen van Deltares staan samengevat in de volgende alinea's.

2.2.1 Grondwaterstromingsberekeningen

Een belangrijk aandeel van de Deltares rapportage wordt gevormd door de uitgevoerde grondwaterstromingsberekeningen, waarmee de gevoeligheid, haalbaarheid en uitvoeringsaspecten c.q. eisen van een soilmixwand bepaald zijn. Dit is uitgevoerd ten behoeve van de vervolgfases (maakbaarheidsproef en pilottoepassing). Tijdens het installatieproces van de wand zou een afwijking kunnen ontstaan in de waterdoorlatendheid van de soilmixwand ten opzichte van de beoogde waterdoorlatendheid. Gedacht kan worden aan een wand die een hogere doorlatendheid heeft dan beoogd of discontinuïteiten in de doorlatendheid van de wand doordat lokaal minder goed is gemengd. Ook in het geval van grote deformaties van de dijk in de toekomst zou een afwijking in doorlatendheid als gevolg van scheurvorming kunnen ontstaan. Met grondwaterstromingsberekeningen is onderzocht wat het effect van deze afwijkingen is op de weerstand tegen heave en piping. Voor de grondwaterstromingsberekeningen is uitgegaan van een representatieve schematisatie voor de situatie bij GoWa.

Op basis van de uitgevoerde grondwaterstromingsberekeningen wordt geconcludeerd dat, voor het goed functioneren van de soilmix wand er minimaal gestreefd moet worden naar een doorlatendheid, die 100 keer kleiner is dan de doorlatendheid van het zand in het watervoerende pakket. Lokaal mogen daarbij discontinuïteiten aanwezig zijn, die niet groter zijn dan 50 cm en waarbij de doorlatendheid in deze discontinuïteiten tenminste 10 keer lager is dan de doorlatendheid van de watervoerende zandlaag onder de holocene deklaag.

Naar verwachting blijkt (uit de verzamelde informatie), dat relatief eenvoudig een groter doorlatendheidscontrast tussen de wand en het zand in de ondergrond met de soilmixmethode kan worden gerealiseerd.

Mede ook vanwege onzekerheden in de berekeningen (modelschematisatie wijkt af van de werkelijkheid, 2D-versus 3D-berekeningen, en ook een mogelijk risico op progressieve verticale erosie), wordt geadviseerd om voor de maakbaarheidsproef in ieder geval als uitgangspunt voor de doorlatendheid van de wand doorlatendheidscontrast van 1000 te hanteren en voor de discontinuïteiten een doorlatendheidscontrast van 100.

Gaten in een dergelijke wand zijn, gezien de hogere berekende verhangen en het risico op doorgroeien van de pipe, op basis van de uitgevoerde berekeningen en rekenresultaten, in principe niet acceptabel. Daarbij dient wel te worden opgemerkt, dat met name ondiepe gaten (dichtbij de bovenzijde van de zandlaag) een grote invloed hebben op het verhang boven de discontinuïteit, waardoor het risico op het ontstaan van een verticaal kanaal langs de wand en doorgroei van de pipe groot is. Voor diepere discontinuïteiten blijkt dit risico aanzienlijk kleiner. Bij aanwezigheid van een zandbaan (zandlaag met een lagere doorlatendheid bovenop het pleistocene zand) nemen de verhangen toe en daarmee het risico op doorgroei van de pipe (piping).

Uit het uitgevoerde onderzoek kan in zijn algemeenheid geconcludeerd worden, dat de betreffende techniek, zoals men die voor ogen heeft bij GoWa, voldoende geschikt en haalbaar zou moeten zijn, om een soilmix heavescherm te creëren die voldoet aan de waterkeringseisen en een goed alternatief kan vormen voor een stalen (of kunststof) damwand.

Tot slot zijn in deze rapportage aanbevelingen gegeven voor het uitvoeren van een maakbaarheidsproef om doorlatendheid en de invloed van eventuele discontinuïteiten te kunnen bepalen.

2.3 Kennisdeling

De resultaten van deze eerste fase zijn gedeeld met De Innovatieversneller zodat deze benut kunnen worden bij het opstellen van de Ontwerp- en Beoordelingsrichtlijn (OBR) heaveschermen. Ook zijn de resultaten gedeeld met project Sterke Lekdijk waar een soilmix toepassing voor zowel heave als stabiliteit wordt onderzocht. Vanuit dijkversterking GoWa is er vertegenwoordiging in de klankbordgroep Mixed in Place van Sterke Lekdijk. Mixed in Place is overigens een andere benaming voor soilmix.

Tevens wordt er ruchtbaarheid gegeven aan de resultaten via diverse HWBP bijeenkomsten.

3 Conclusies en aanbevelingen

Conclusies

De resultaten van deze eerste fase (Vorbereidingsfase) laten zien dat soilmix heaveschermen een belangrijke bijdrage kunnen leveren aan de HBWP doelstellingen. Soilmix heaveschermen zijn in vergelijking met stalen damwanden **goedkoper** (25% of meer), **sneller realiseerbaar** (hogere producties) en **beter** (veel minder milieubelastend). Soilmix heaveschermen lijken op basis van de Deltares rapportage technisch goed haalbaar, al zijn een praktijkproef en een pilot noodzakelijk om dit daadwerkelijk aan te tonen.

Aanbevelingen

Gezien de positieve conclusies van deze eerste fase wordt aanbevolen om het vervolg (praktijkproef en pilot) in gang te zetten. Praktijkproef en pilot zijn benodigd om aan te tonen dat soilmix heaveschermen daadwerkelijk aan alle vereisten voldoen, zodat een TRL8/9 niveau kan worden aangetoond. Pas dan kunnen soilmix heaveschermen op grote schaal worden toegepast.

Aangezien dijkversterking GoWa reeds in een te ver gevorderd stadium is om nog een praktijkproef en een pilot te organiseren, wordt er momenteel gezocht naar een ander project/locatie om de vervolgfases uit te voeren.