Deltares

Enabling Delta Life

Innovaties HWBP
Probleemveld zettingsvloeiing

Vervolgonderzoek: Versterkt Sediment en Verdichten

Deltares

Innovaties HWBP
Probleemveld zettingsvloeiing

Vervolgonderzoek: Versterkt Sediment en Verdichten

Frans van den Berg
Hans van de Velde

1207938-006

© Deltares, 2013, B

Deltares

Titel
Innovaties HWBP
Probleemveld zettingsvloeiing

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
RWS- Corperate Innovatie Programma	1207938-006	1207938-006-VEB-0003-gbh	13

Trefwoorden
Zettingsvloeiing, innovatie, CIP, versterkt sediment, verdichten

Samenvatting
Naar aanleiding van het tekort op het tweede Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP) was een taskforce ingesteld, die voorstellen heeft geformuleerd voor het aanpassen van het programmeren en financieren van het HWBP. De taskforce Ten Heuvelhof stelde, dat een gebrek aan efficiencyprikkels in het HWBP als gevolg van de 100% rijkssubsidie en de grote tijdsdruk bij het opstellen van de verbetermaatregelen belangrijke oorzaken zijn van de huidige overschrijdingen in het HWBP. Door Rijkswaterstaat is het Corporate Innovatieprogramma (RWS CIP) opgericht om invulling te geven aan de volgende doelstelling: door een innovatieve en/of andere procesaanpak, 10% kostenbesparing te bereiken op de te verwachten hoge kapitaalsinvestering van honderden miljoenen euro's voor het HWBP.

Dit rapport betreft het deelproject Zettingsvloeiing van het hoofdproject “Implementatie Innovaties HWBP” en beschrijft het in 2013 uitgevoerde vervolgonderzoek naar de kansen en mogelijkheden van de innovatieve methoden verdichten en versterkt sediment als mogelijke alternatieve maatregelen tegen het faalmechanisme zettingsvloeiing.

In de derde wettelijke toetsronde van de primaire waterkeringen is in Nederland tussen de 29 en 94 km afgekeurd op de fenomenen zettingsvloeiing en afschuiving (toetsing voorland). Het grootste deel hiervan ligt in de Zuidwestelijke Delta. Hoeveel kilometers dit zijn na het uitvoeren van de verlengde 3^{e} toetsing is nog niet bekend. Uit de toetsrapportage volgt dat 256 km en 72 km van de primaire waterkeringen ‘geen score’ respectievelijk ‘nader onderzoek nodig’ heeft op Voorland. De mogelijkheid bestaat dat hier ook nog gedeelten van versterkt dienen te worden. Kortom, een flinke opgave op dit vlak.

In 2011 en 2012 is geconcludeerd is dat de methoden verdichten en versterkt sediment in bepaalde situaties voldoende technisch en financieel perspectief bieden om bij te kunnen dragen aan een alternatieve oplossing van de zettingsvloeiingsproblemen in Nederland. Uit globale kostenschattingen blijkt dat beide methoden voordeliger kunnen zijn dan de traditionele twee-laagse bestorting.

Dit jaar (2013) is vervolgonderzoek uitgevoerd en zijn verschillende kennisvragen met betrekking tot verdichten en versterkt sediment als maatregelen tegen zettingsvloeiing beantwoord. Er is onderzoek gedaan naar het marktvolume en de te behalen kostenbesparing en een kostenschatting is gemaakt voor het oplossen van de resterende kennisvragen. Uit het onderzoek blijkt dat er in potentie een kostenbesparing mogelijk is, die in de tientallen miljoenen euro’s beloopt.

Uit een marktconsultatie met Boskalis en Van Oord volgde dat daar waar goed te verdichten zettingsvloeiingsgevoelige zandlagen tussen kleilagen aanwezig zijn, kansen liggen voor verdichten als maatregel tegen zettingsvloeiing. Hoe groot het hiermee gemoeide

marktvolume is, is echter niet bekend. Verder vinden de partijen dat het maken van versterkt sediment een gevoelig proces is en vragen zij zich af of versterkt sediment als maatregel tegen zettingsvloeiing wel tot de gewenste kostenvoordelen leidt. Gezien deze informatie zien deze partijen op dit moment weinig perspectief voor doorontwikkeling van beide methoden als maatregel tegen zettingsvloeiing. Anderzijds zijn er mogelijk wel opties voor versterkt sediment als grondverbetering, erosie-maatregel, landuitbreiding en versterking van boezemkaden. Voor de optie verdichten dient de marktpotentie nog onderzocht te worden.

Geadviseerd wordt om verder na te gaan wat de mogelijkheden zijn van de innovaties voor zettingsvloeiingen en mogelijk verdiepingsslagen (zie hoofdstuk 5) met diverse deskundigen te bespreken. Dit is in december 2013 tijdens een STORMsessie gedaan De resultaten van deze sessie zullen apart worden gerapporteerd. De uitkomsten van deze sessie en het uitgevoerde onderzoek van dit jaar zullen leiden tot de requirements voor het vervolg van het onderhavig onderzoek in 2014.

Een aantal zaken die binnen CIP zijn uitgevoerd tot en met 2013 zal mogelijkerwijs in nHWBP verband worden doorgezet. Op het moment van deze eindrapportage wordt gesproken over een Projectoverstijgende Verkenning (POV) Zettingsvloeiing binnen nHWBP. Dit betreft eveneens nieuwe maatregelen voor c.q. tegen het faalmechanisme piping, bouwen op slappe grond en waddendijken.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
	Dec. 2013	Drs.ing. F.P.W. van den Berg		Ir.drs. E.. Tromp		Dr.ir. L.L.F. Janssen	
		Ing. J.L. van de Velde					

Status
definitief

Inhoud

1 Inleiding **1**
1.1 Achtergrond Corporate Innovatieprogramma 1
1.2 Vraagstuk voor Innovaties Dijktechnologie 1
1.3 Deelproject Zettingsvloeiing 2
1.4 Doel 3
1.5 Plan van aanpak 3
1.6 Leeswijzer 4

2 Deskundigenoverleg **5**
2.1 Inleiding 5
2.2 Resultaat 5

3 Marktvolume, kostenbesparing en kostenschatting oplossen kennisvragen **7**
3.1 Inleiding 7
3.2 Marktvolume (punt 4) 7
3.3 Kostenbesparingen (punt 5) 8
3.4 Kostenschatting oplossen kennisvragen (punt 6) 8
3.5 Kans van optreden faalmechanisme Piping 8

4 Marktconsultatie **9**
4.1 Inleiding 9
4.2 Resultaat 9

5 Conclusie en doorkijk **11**

Bijlage(n)

Literatuur **13**

A Plan van Aanpak **A-1**

B Deskundigenoverleg **B-1**

C Memo Marktvolume, kostenbesparing en kostenschatting oplossen kennisvragen v.w.b. innovatieve maatregelen tegen zettingsvloeiing, RWS CIP **C-1**

D Verslag marktconsultatie **D-1**

E Artikel in Land+Water **E-1**

1 Inleiding

1.1 Achtergrond Corporate Innovatieprogramma

Het Rijkswaterstaat Corporate Innovatieprogramma (RWS CIP) voor 2012-2015 is bedoeld om door innovatie bij te dragen aan het verder optimaliseren van de RWS-productie. Dat vereist nauwe aansluiting op de corebusiness van RWS en actieve deelname van Regionale Directies van RWS (RD'en), grote RWS-programma's, Waterschappen, marktpartijen en kennisinstellingen.
In deze context is Deltares gevraagd om (1) het inbrengen van nieuwe robuuste innovatieve kennis en (2) om die kennis te verbinden met bestaande kennis van andere partijen, zodat aldus de RWS-productie slimmer en goedkoper kan worden gemaakt.

Het cluster CIP-waterveiligheid betreft één clusters in het CIP. Het betreft alle innovatieonderwerpen die gerelateerd zijn aan waterbeheer en waterveiligheid.

Innovatievragen zijn opgehaald bij RD'en en grote RWS-programma's. Ze zijn besproken met marktpartijen, kennisinstellingen en andere overheden. Samen met de onderwerpen van de ingediende business cases in het kader van Topsector Water, heeft dit geleid tot een programma voor het cluster waterveiligheid in 2013: innovatieve oplossingen op het gebied van dijktechnologie, dynamisch kustbeheer, dynamisch waterbeheer, eco-engineering, zoet-zoutscheiding en, achteroevers. Het onderhavig onderzoek betreft een deelproject binnen 'Innovaties Dijktechnologie'.

1.2 Vraagstuk voor Innovaties Dijktechnologie

De vraag voor het HWBP richt zich op: *"Hoe kan het HWBP (op middellange termijn en het Deltaprogramma op lange termijn) ondanks het budgettekort zijn taak "NL waterveilig houden" vervullen?"*

In het kader van het HWBP zijn maatregelen t.b.v. de faalmechanismen piping, zettingsvloeiing en zachte ondergrond bepalend voor een groot deel van het HWBP budget. Zo is bijvoorbeeld tussen de 29 en 94 km waterkering afgekeurd en heeft 256 km waterkering de beoordeling "geen oordeel" op het mechanisme zettingsvloeiing en heeft het Expertise Netwerk Waterkeringen (ENW) beoordeeld dat de huidige pipingregel onvoldoende is. De kostenconsequenties worden geschat op 1,4 miljard Euro.
Eén oplossingsrichting is om de markt met een uitdagend inkoopproces te stimuleren om met slimme en goedkope aanbiedingen te komen en pilots/praktijkproeven in alliantievorm uit te voeren. Bij het kiezen van deze aanpak moeten de risico's van dergelijke aanbiedingen beheersbaar blijven en hiervoor maatregelen worden getroffen.

Voor de langere termijn (HWBP en zeker het Deltaprogramma) is de verwachting dat meer flexibiliteit bij ruimtelijke inpassing en het multifunctioneel gebruik van waterkeringen leidt tot grotere maatschappelijke acceptatie en kostenreductie. De oplossing is een integrale aanpak met alle betrokken stakeholders. Binnen het project 'Innovaties Dijktechnologie' vallen een aantal deelprojecten, te weten:

- Zettingsvloeiing.
- Piping.
- Zachte ondergrond.
- Multifunctionele waterkeringen.

- Onderzoek Dijkbekledingen.

Dit rapport is een nadere uitwerking van het deelproject zettingsvloeiing.

1.3 Deelproject Zettingsvloeiing

Vanuit het probleemveld zettingsvloeiing zijn in workshops de kansen en mogelijkheden voor innovatie verkend. In de derde wettelijke toetsronde van de primaire waterkeringen is in Nederland tussen de 29 en 94 km afgekeurd op de fenomenen zettingsvloeiing en afschuiving (toetsing voorland). Het grootste deel hiervan ligt in de Zuidwestelijke Delta. Hoeveel kilometers dit zijn na het uitvoeren van de verlengde 3^{e} toetsing is nog niet bekend. Uit de toetsrapportage volgt dat 256 km en 72 km van de primaire waterkeringen ‘geen score’ respectievelijk ‘nader onderzoek nodig’ heeft op Voorland. De mogelijkheid bestaat dat hier ook nog gedeelten van versterkt dienen te worden. Kortom, een flinke opgave op dit vlak.

In 2011 is voor het probleemveld zettingsvloeiing een begin gemaakt met een onderzoek hoe er door een aangepaste procesaanpak en met behulp van innovatieve methodieken tot de genoemde financiële besparing kan worden gekomen voor het HWBP. Hiertoe zijn vier bijeenkomsten (workshops) georganiseerd. Deze bijeenkomsten zijn georganiseerd met medewerking van professionals uit de driehoek: marktpartijen, kennisinstellingen en overheden.

In 2011 [Deltares, 2011] is een proces gevolgd waarbij eerst een brainstorm (startbijeenkomst) werd gehouden. Vervolgens is een focus geweest op een vernieuwde procesaanpak om innovaties en innovatievermogen uit de markt te stimuleren. Daarna is aandacht geschonken aan de technologische innovaties en welke zaken nog uitgezocht moeten worden alvorens zij toegepast kunnen worden in de praktijk. Hierbij is gebruikt gemaakt van workshops met vertegenwoordigers uit de driehoek.

Tijdens de eerste workshop met aanwezigen vanuit het bedrijfsleven, overheid en kennisinstellingen is geconcludeerd dat onderscheid moet worden gemaakt in kansen die kunnen worden gecreëerd door een andere procesaanpak en door technologische kansen (innovatieve oplossingen).

Er is een drietal potentiële innovatieve methodieken geïnventariseerd. Deze drie methodieken zijn verder uitgewerkt in workshops. Het betreft de navolgende methodieken: versterkt sediment, verdichten en alternatieve materialen. Op basis van de input van de workshops, kwamen de methoden *versterkt sediment* en *verdichten* als kansrijk naar voren. Beide methodieken verkeren in een zodanige fase van ‘rijpheid’ dat een pilot, na het nog beantwoorden van een aantal onderzoeksvragen, tot de mogelijkheden behoort.

In 2012 [Deltares, 2012] is geconcludeerd is dat voornoemde methoden in bepaalde situaties voldoende technisch en financieel perspectief bieden om bij te kunnen dragen aan een alternatieve oplossing van de zettingsvloeiingsproblemen in Nederland. Uit globale kostenschattingen blijkt dat beide methoden voordeliger kunnen zijn dan een twee-laagse bestorting. Zo kunnen de volgende besparingen worden behaald.

1. De methode verdichten met mogelijke optimalisaties kan tot een besparing leiden van maximaal circa 65% op de investeringskosten van een twee-laagse bestorting.
2. De methode versterkt sediment met als optimalisatie een verhoogde productiesnelheid kan tot een besparing leiden van maximaal circa 40% (laagdikte 0.5 m) of maximaal circa 10% (laagdikte 0,75 m) op de investeringskosten van de traditionele twee-laagse bestorting.

Het is echter nauwelijks mogelijk om de optimalisaties nader te kwantificeren daar een en ander sterk afhankelijk zal zijn van de projectlocatie van een dijkverbetering en het hierbij aan te houden ontwerp.

1.4 Doel

Het verkrijgen van een eerste aanzet voor een business case voor verdichten en versterkt sediment als maatregelen tegen zettingsvloeiing door het nagaan van het marktvolume, het afschatten van mogelijke kostenbesparingen en het houden van een marktconsultatie.

1.5 Plan van aanpak

Om dichterbij de (on)mogelijkheid van een eventuele pilot te komen is dit jaar een aantal vervolgstappen gezet.

Bij het in 2012 uitgevoerde nader onderzoek [Deltares, 2012] is geconcludeerd dat de methoden verdichten en versterkt sediment in bepaalde situaties voldoende technisch en financieel perspectief bieden om bij te kunnen dragen aan een alternatieve oplossing van de zettingsvloeiingsproblemen in Nederland. Verder is geconcludeerd dat het nog te vroeg is om een praktijkproef uit te laten voeren. In die zin is aanbevolen om voor een nadere uitwerking van het perspectief vervolgonderzoek (in de vorm van een business case) uit te voeren. Voor 2013 omvat dit vervolgonderzoek de volgende onderdelen om een eerste aanzet van een business case te krijgen:

1. Het opstellen van een *Plan van Aanpak* (ze bijlage 1).
2. Het *verspreiden* van voornoemd 2012-*rapport* naar de deelnemers van de in 2012 gehouden workshop en andere geïnteresseerden [1].
3. Het globaal nagaan of in het bovenrivierengebied een twee-laagse bestorting als traditionele maatregel tegen zettingsvloeiing nodig is of dat een één-laagse kan volstaan. Dit in de vorm van *een deskundigenoverleg*. te Delft tussen RWS CIP, Waterschap Rivierenland (WSRL), Waterschap Hollandse Delta (WSHD) en Deltares. Tijdens dit overleg dienen tevens potentiële locaties voor de uitvoering van praktijkproeven te worden nagegaan. Als een één-laagse bestorting kan volstaan, wordt ervan uitgegaan dat WSDH/ WSRL een prijsindicatie voorhanden hebben voor een één-laagse bestorting.(zie bijlage 2).
4. Het nagaan op welke dijkgedeelten (en bij welke waterschappen) sprake is van zettingsvloeiingsproblematiek. Het resultaat is een *maximaal marktvolume* (in de vorm van km's) voor maatregelen tegen zettingsvloeiing (zie bijlage 3).
5. Het vervolgens op basis van de verkregen kostenschattingen (zie o.a. 2012-rapport) en de informatie over het marktvolume bepalen van de maximale kapitaalsinvestering en de maximale besparing hierop. Dit zal een procentuele vergelijking zijn(zie bijlage 3).

Het hierna opstellen van een globale begroting voor de beantwoording van de volgende in 2012 geformuleerde generieke vragen:

Generieke vragen verdichten:

- het risico dat verdichten op een onderwaterdijktalud een zettingsvloeiing initieert?
- het invloedsgebied van trillingen (schade gebouwen, omgeving, e.d.)?
- het risico van erosie/bresvloeiing onderwatertalud (de bovenste 1,5 meter van het natuurlijke zand kan niet worden verdicht)? Is dat erg als het onderliggende zand niet meer zettingsvloeiingsgevoelig is en de dijkveiligheid dus niet meer in het geding is?
- duurzaamheid verdicht zand (wordt het t.z.t. weer niet losser)?

[1] *Dit 2012-rapport is hiertoe op 12 februari 2013 verspreid.*

- hoe is de erosiebestendigheid van verdicht zand?

Generieke vragen versterkt sediment:

- onder welke hellingshoek kan versterkt sediment onderwater worden aangebracht?
- duurzaamheid versterkt sediment (o.a. erosiebestendigheid, chemische binding)?
- De globale begroting voor de beantwoording van de generieke vragen dient te worden afgezet tegen de te bereiken maximale besparing (zie punt 5). Hiermee wordt een kosten-batenanalyse verkregen.(zie bijlage 3)

6. Het uitvoeren van een *marktconsultatie*. Dit is een belangrijk onderdeel. Maximaal 4 aannemers zullen worden gevraagd of zij gegeven de resultaten tot dan, waaronder het potentiële binnenlandse marktvolume, voldoende perspectief zien voor verdere ontwikkeling van (een van) deze methoden.(zie bijlage 4).
7. Het opstellen van een *eindrapport* inclusief aanbevelingen (het voorliggende rapport).

Bij een positieve eerste aanzet kan vervolgens in 2014 de business case worden afgerond, met o.a. de beantwoording van de generieke vragen, het bepalen van een locatie voor een praktijkproef en het opstellen van de randvoorwaarden voor een uitvraag voor een project, waarin de mogelijkheid wordt gegeven om de methode verdichten en/ of versterkt sediment als alternatief aan te bieden.

Als bijlage 5 is een artikel opgenomen, welke in Land+Water, nummer 11 2013 is opgenomen betreffende het uitgevoerde onderzoek.

1.6 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 zullen de resultaten van het deskundigenoverleg worden beschreven. In hoofdstuk 3 wordt nader ingegaan op het marktvolume, de kostenbesparing en de kostenschatting van het oplossen van de kennisvragen. Hoofdstuk 4 bevat de resultaten van het overleg met de marktpartijen om te bezien in hoeverre de gekozen methodieken bij kunnen dragen aan een oplossing van de zettingsvloeiingproblemen in Nederland. Hoofdstuk 5 bestaat uit een beschrijving van de behaalde resultaten, de conclusie, de aanbevelingen en een doorkijk naar 2014.

2 Deskundigenoverleg

2.1 Inleiding

Op 20 maart 2013 is bij Deltares een deskundigenoverleg georganiseerd met het volgende doel: Het globaal nagaan of in het bovenrivierengebied een twee-laagse bestorting als traditionele maatregel tegen zettingsvloeiing nodig is of dat een één-laagse kan volstaan.

Tijdens dit overleg zijn potentiële locaties voor de uitvoering van praktijkproeven nagegaan.

Het verslag van dit overleg is als bijlage 2 bijgevoegd.

De onderstaande punten zijn behandeld in het overleg:

1 Korte toelichting op het onderzoek tot nu, inclusief resultaten
2 Doel vervolgonderzoek 2013
3 Twee-laagse of één-laagse bestorting, inclusief kostenindicatie
4 Geschikte locaties voor opschalings- en praktijkproeven en een zettingsvloeiingsproef

2.2 Resultaat

Geconcludeerd is dat de vraag of een één-laagse dan wel een twee-laagse bestorting kan worden toegepast niet goed te beantwoorden is. Dit hangt vooral af van het ontwerp en de beschikbaarheid van materiaal. Of een kostenindicatie van een één-laagse bestorting gemakkelijk is te vergelijken met de thans bekende kostenschattingen van de innovatieve methoden zal ook moeilijk zijn. Veel factoren spelen hierbij mee, zoals wijze van uitvoeren, logistiek, werken tijdens getijde en/ of hoge of lage stroming, materiaaltoepassing, profiel en ontwerp dijkversterking (lengte, dikte, aantal m^2/m^3). Wel kan worden gesteld dat een niet te dikke één-laagse bestorting goedkoper zal zijn dan de innovatieve methoden.

Indien de RWS CIP business case voor zettingsvloeiing positief is kunnen als vervolgstap opschalings- en praktijkproeven voor de innovatieve methoden nodig zijn om tot marktimplementatie te komen.

Voor de onderwater toepassing van versterkt sediment is thans ervaring opgedaan met een laboratorium experiment (met een onderwater talud van 1:2,8 en geconditioneerde omstandigheden) en met de praktijkproef Hoedekenskerke (versterkt sediment juist onderwater in een horizontale laag aangebracht). Een opschalingsproef met als doel daadwerkelijk in situ een laag versterkt sediment op een onderwater talud aan te brengen kan zinvol zijn. Er wordt aangegeven aan dat hiertoe mogelijk ook laboratorium experimenten kunnen worden uitgevoerd, bijvoorbeeld in stroomgoten.

Praktijkproeven zouden in het kader van een dijkversterkingswerk kunnen worden uitgevoerd. Hierbij kan wellicht worden aangesloten bij de ervaring die thans wordt opgedaan bij het project Kinderdijk – Schoonhoven (KIS), waarbij thans gebruik wordt gemaakt van innovatieve contractvorming en een acceptatie-protocol voor innovatieve dijkversterkingsmethoden. Het is echter gebleken dat innovaties nauwelijks zijn ingediend.

Bij het zettingsvloeiingsonderzoek dat wordt uitgevoerd in het kader van het WTI (Wettelijk Toets Instrumentarium), waarbij onder andere het model ‘D-Flowslide’ wordt ontwikkeld voor

de gedetailleerde toets, is behoefte aan validatie van het ontwikkelde model door het uitvoeren van een zettingsvloeiingsproef. Deze behoefte heeft ook de Stichting IJkdijk met als doel bruikbare meettechnieken te valideren. In dit laatste geval vindt thans overleg plaats tussen de Stichting IJkdijk en Cascade, de vereniging van zand- en grindproducenten, om tot een zettingsvloeiingsproef in een zandwinput te komen. De verkregen kennis uit een dergelijke proef kan ook voor deze producenten van belang zijn, bijvoorbeeld omdat de taludhelling bij de zandwinning kan worden geoptimaliseerd.

De vraag is dus of er geschikte proeflocaties voorhanden zijn. Mogelijk dat hierbij de diverse kennisvragen kunnen worden gecombineerd. Zo zou de voornoemde zettingsvloeingsproef bijvoorbeeld kunnen worden verdeeld in vier vakken:

- Vak 1 talud afgedekt met traditioneel breuksteen.
- Vak 2 het zand ‘versterkt’ met de methode verdichten.
- Vak 3 waarin een zettingsvloeiing wordt bewerkstelligd.
- Vak 4 talud afgedekt met versterkt sediment.

Een en ander vergt wel voldoende breedte van de proeflocatie.

Aangegeven wordt dat er bij RWS PBZ vooroevers bestort moeten worden al dan niet als maatregel tegen zettingsvloeiing. Mogelijk dat hier proeven kunnen worden uitgevoerd.

De volgende vooroevers dienen de komende periode bestort te worden.
2014 - 2017 Cluster 3:

- Westerschelde: Hoedekenskerke.
- Oosterschelde: Wemeldinge, Vlietepolder, Burgsluis en Anna-Frisopolder.

Er is aangegeven dat de Perkpolder (eigenaar DLG) zal worden ontpolderd. Hier zal in 2014 een bres van 400 m in de waterkering worden gemaakt. De oplevering van de ontpoldering moet in 2015 zijn. Het is niet bekend of de ondergrond uit zettingsvloeiingsgevoelig zand bestaat. Wellicht kan op deze locatie een proeftuin worden gemaakt. Hier wordt momenteel nog onderzoek naar uitgevoerd.

3 Marktvolume, kostenbesparing en kostenschatting oplossen kennisvragen

3.1 Inleiding

Dit hoofdstuk betreft de uitwerking van de punten 4 t/m 6 van het Plan van Aanpak. In dit hoofdstuk is een samenvatting van de memo gegeven, welke in bijlage 3 is opgenomen.

Getracht is een binnenlands marktvolume (in de vorm van kilometers) voor maatregelen tegen zettingsvloeiing te bepalen, zie onderstaand punt 4. Daarna wordt met punt 5 getracht dit volume te vertalen naar een kapitaalsinvestering voor bestortingsmaatregelen als ook voor de innovatieve maatregelen verdichten en versterkt sediment, teneinde inzicht te kunnen verkrijgen in de mogelijke kostenbesparingen. Vervolgens wordt met punt 6 getracht een globale begroting te geven voor de beantwoording c.q. oplossing van de in 2012 geformuleerde generieke kennisvragen. Ten slotte is aangegeven dat versterkt sediment ook als maatregel kan dienen tegen het faalmechanisme piping.

Samengevat zijn de resultaten als volgt.

3.2 Marktvolume (punt 4)

Voor de volgende maatregelen tegen zettingsvloeiingen bedraagt het binnenlands marktvolume:

- Bestorting (inclusief gehele Drechtstedengebied) **200 - 305 km**
- Verdichten (inclusief gehele Drechtstedengebied) **200 - 305 km**
- Versterkt sediment (inclusief gehele Drechtstedengebied) **200 - 305 km**

Voor het Drechtstedengebied is een strekking van 160 km afgeschat om alle onderwatertaluds te versterken. De vraag hierbij is of wel over de volle 160 km maatregelen nodig zijn. Nader onderzoek hiernaar is nodig. In die zin kunnen de hierboven gegeven kilometers als een maximum worden gezien.

Voor de volgende maatregelen tegen erosie van de gehele rivierbodem van de riviertakken in het Drechtsteden gebied bedraagt het binnenlands marktvolume:

- Bestorting (160 km) 38.400.000 m^2
- Versterkt sediment (160 km) 38.400.000 m^2

Ook hier is het de vraag of wel over de volle 160 km en over de volle breedte van de rivierbodem een erosiemaatregel nodig is (zo er geen noodzaak is, zal de rivierbeheerder dit natuurlijk niet doen). Bekend is dat ontgrondingskuilen in het Drechtsteden gebied met name in het noord-westelijk gelegen deel van de Oude Maas voorkomen. Daarnaast zal niet overal de op het zandpakket liggende klei- en/ of veenlaag zijn doorbroken dan wel nog voldoende dikte hebben. Daarom wordt - voor de gedachtebepaling - voorgesteld om van de bovengenoemde oppervlakte 30% dus **11.500.000 m^2** aan te houden voor een eventuele erosiemaatregel op de bodem van de riviertakken in het Drechtsteden gebied. Geadviseerd wordt om de omvang van het erosieprobleem verder en nauwkeuriger te kwantificeren voor het Drechtsteden gebied en daarbij ook andere gebieden in Nederland te betrekken. Zoals in de memo van bijlage 3 beschreven, bestaan er in Nederland veel erosieproblemen (in havens, kanalen en rivieren).

3.3 Kostenbesparingen (punt 5)

De te behalen binnenlandse kostenbesparingen voor zettingsvloeiing op een 'traditionele kapitaalsinvestering' met stortsteen van **250 - 950 M€** zijn als volgt voor:

- Verdichten met mogelijke optimalisaties **140 - 520 M€**
- Versterkt sediment (dik 0.5 m) met verhoogde productiesnelheid **100 - 380 M€**
- Versterkt sediment (dik 0.75 m) met verhoogde productiesnelheid **30 - 100 M€**

De te behalen binnenlandse kostenbesparingen voor erosiemaatregel op een 'traditionele kapitaalsinvestering' met stortsteen van **430 - 720 M€** in het Drechtsteden gebied zijn als volgt voor:

- Versterkt sediment (dik 0.5 m) met verhoogde productiesnelheid **170 - 290 M€**
- Versterkt sediment (dik 0.75 m) met verhoogde productiesnelheid **40 - 70 M€**

De gegeven kostenbesparingen gelden over de levensduur van de maatregelen (tot weer onderhoud zal moeten plaatsvinden dan wel weer een dijkverbetering nodig is). Deze levensduur zal van locatie tot locatie verschillen, maar in zijn algemeenheid mag worden uitgegaan van een periode van circa 20 tot 30 jaar.

Gezien de vele beschreven uitgangspunten en meespelende factoren zijn de gegeven kostenbesparingen niet hard. Zij geven wel de potentie van de mogelijke oplossingsrichtingen aan.

Het buitenlands marktvolume voor maatregelen tegen zettingsvloeiing en reguliere bestortingen (als erosie-maatregel) is niet bekend en daarmee ook niet de mogelijke kostenbesparingen hiervoor.

3.4 Kostenschatting oplossen kennisvragen (punt 6)

Indien een praktijkproef onderdeel is van een dijkversterkingswerk zijn de kosten voor het beantwoorden van de generieke kennisvragen het goedkoopst mits marktpartijen de innovatieve maatregelen als kosteneffectief beoordelen en aanbieden en onder aanname dat de maatregelen functioneren. In dat geval wordt nog een kennisinvestering geschat van 150 k€.
Indien van deze aanpak wordt uitgegaan moet een acceptatieprotocol worden opgesteld, omdat voor verdichten en versterkt sediment nog geen ontwerprichtlijnen beschikbaar zijn, waardoor toekomstige toetsingen niet zondermeer kunnen worden uitgevoerd.

3.5 Kans van optreden faalmechanisme Piping

Bij het ontstaan van ontgrondingskuilen kunnen klei- en/ of veenlagen worden doorbroken, waardoor het intreepunt voor het faalmechanisme piping verschuift in de richting van de waterkering. Dit betekent dat er meer risico zal bestaan/ komen op piping. Daarnaast geven de nieuwe inzichten uit Veiligheid Nederland in Kaart (VNK) en Deltaplan Rivieren (DPR) aan dat dit faalmechanisme dominanter wordt, hetgeen resulteert in mogelijk veel bredere pipingbermen en navenant hogere investeringskosten dan thans wordt voorzien. Ook hier kan versterkt sediment een mogelijke kostenbesparende maatregel zijn door het aan te brengen tegen het onderwaterbeloop van waterkeringen. Dit kan binnendijkse maatregelen voorkomen en reduceren, alsmede (toekomstige) erosieprocessen voorkomen. Deze optie is tot op heden nog niet onderzocht.

4 Marktconsultatie

4.1 Inleiding

Op 31 oktober 2013 is een marktconsultatie met de marktpartijen Boskalis en Van Oord gehouden. Het verslag is als bijlage 4 opgenomen.

4.2 Resultaat

Uit de marktconsultatie met Boskalis en Van Oord volgde dat daar waar goed te verdichten zettingsvloeiingsgevoelige zandlagen tussen kleilagen aanwezig zijn, kansen liggen voor verdichten als maatregel tegen zettingsvloeiing. Hoe groot het hiermee gemoeide marktvolume is, is echter niet bekend. Op dit moment vraagt de opdrachtgever ook nog niet om te verdichten. Mede om die reden komt deze techniek nog niet van de grond.

Met betrekking tot versterkt sediment vinden zij dat het maken hiervan een gevoelig proces is. Zij vragen zich bovendien af of versterkt sediment als maatregel tegen zettingsvloeiing wel tot kostenvoordelen leidt. Hierbij is het met name de vraag of versterkt sediment wel direct op een onderwatertalud kan worden aangebracht of dat het talud eerst moet worden uitgevuld. Daarnaast stellen zij een optimalisatie voor door in plaats van een hard materiaal een erosiebestendig en meer kleiachtig materiaal te maken. Hierdoor kan de laag beter meevervormen en is veelal ook minder cement en waterglas als toeslagstoffen nodig, waardoor de kostprijs daalt. Anderzijds zien zij wel opties voor versterkt sediment als grondverbetering, erosie-maatregel, landuitbreiding en versterking van boezemkaden.

Gezien het resultaat van deze marktconsultatie is er op dit moment weinig perspectief voor doorontwikkeling van versterkt sediment als maatregel tegen zettingsvloeiing.

Wellicht zijn er mogelijkheden voor de eerder genoemde andere opties voor versterkt sediment als grondverbetering, erosie-maatregel, landuitbreiding en versterking van boezemkaden.

Voor verdichten dient de marktpotentie nog verkend te worden.

5 Conclusie en doorkijk

In 2013 is een stap gezet in het onderzoek naar verdichten en versterkt sediment als innovatieve maatregelen voor het zettingsvloeiing.

Onderzoek is gedaan naar het marktvolume en de te behalen kostenbesparing en een kostenschatting is gemaakt voor het oplossen van de resterende kennisvragen. Uit het onderzoek blijkt dat er in potentie een kostenbesparing mogelijk is, die in de tientallen miljoenen euro's beloopt.

Uit een marktconsultatie met Boskalis en Van Oord volgde dat daar waar goed te verdichten zettingsvloeiingsgevoelige zandlagen tussen kleilagen aanwezig zijn, kansen liggen voor verdichten als maatregel tegen zettingsvloeiing. Hoe groot het hiermee gemoeide marktvolume en de daarmee gemoeide mogelijke kostenbesparing is, is echter niet bekend. Verder vindt de markt dat het maken van versterkt sediment een gevoelig proces is en vragen zij zich af of versterkt sediment als maatregel tegen zettingsvloeiing wel tot kostenvoordelen leidt. Gezien deze informatie is er op dit moment weinig perspectief voor doorontwikkeling van beide methoden als maatregel tegen zettingsvloeiing.
Anderzijds zijn er mogelijk wel opties voor versterkt sediment als grondverbetering, erosie-maatregel, landuitbreiding en versterking van boezemkaden,

Binnen CIP is piping ook een belangrijk onderwerp. Nieuwe inzichten uit Veiligheid Nederland in Kaart (VNK) geven aan dat dit faalmechanisme dominanter wordt, hetgeen zou kunnen resulteren in veel bredere pipingbermen dan thans wordt voorzien. In die zin kan versterkt sediment aangebracht onderwater tegen het onderwaterbeloop van waterkeringen ook een mogelijke piping-maatregel zijn. Dit kan binnendijkse maatregelen voorkomen en/ of reduceren, alsmede (toekomstige) erosieprocessen voorkomen. Deze optie is tot op heden nog niet onderzocht.

De vragen van de marktpartijen en de overige resultaten van het onderzoek geven aan dat er nog de volgende verdiepingsslagen mogelijk zijn:

- Het nagaan waar goed te verdichten zettingsvloeiingsgevoelige zandlagen tussen kleilagen aanwezig zijn voor verdichten als maatregel tegen zettingsvloeiing om hiervoor een nauwkeuriger marktvolume af te schatten en dus de uiteindelijke potentie te kunnen bepalen.
- Het nagaan/ onderzoeken of versterkt sediment direct op een ' macro-stabiel' onderwatertalud kan worden aangebracht of dat eerst moet worden uitgevuld (hierbij speelt op korte taludgedeelten de te bereiken steilte voor het aanbrengen van versterkt sediment mee). Fundamenteel gezien speelt hierbij de vraag mee waarom een laag stortsteen zettingsvloeiing voorkomt, waarmee mogelijk ook het antwoord kan worden verkregen of versterkt sediment direct op een onderwatertalud kan worden aangebracht.
- Het nagaan of versterkt sediment als maatregel tegen zettingsvloeiing van een meer klei-achtig materiaal (dat ook redelijk goed erosiebestendig moet zijn) kan worden gemaakt in plaats van een harde laag.
- Het nagaan of versterkt sediment ook als piping-maatregel kan dienen en hierdoor kostenbesparingen voor nHWBP mogelijk zijn.
- Het nagaan of versterkt sediment als afdeklaag op weer met sediment gevulde ontgrondingskuilen kan dienen.

- Het uitbreiden van de marktconsultatie naar enkele kleinere marktpartijen om het perspectief voor doorontwikkeling van beide methoden verder na te gaan.

Geadviseerd wordt om verder na te gaan wat de mogelijkheden zijn van de innovaties voor zettingsvloeiingen en voornoemde verdiepingsslagen met diverse deskundigen te bespreken. Dit is in december 2013 tijdens een STORMsessie[2] gedaan De resultaten van deze sessie zullen apart worden gerapporteerd. De uitkomsten van deze sessie en het uitgevoerde onderzoek van dit jaar zullen leiden tot de requirements voor het vervolg van het onderhavig onderzoek in 2014.

Een aantal zaken die binnen CIP zijn uitgevoerd tot en met 2013 zal mogelijkerwijs in nHWBP verband worden doorgezet. Op het moment van deze eindrapportage wordt gesproken over een Projectoverstijgende Verkenning (POV) Zettingsvloeiing binnen nHWBP. Dit betreft eveneens nieuwe maatregelen voor c.q. tegen het faalmechanisme piping, bouwen op slappe grond en waddendijken.

[2] *Doel van de STORMmethodiek is het gemeenschappelijk maken van de verschillende uitgangspunten en redeneerlijnen en de effecten van deze samengestelde beelden te doorgronden, om op basis van deze effecten de aanpak waar nodig bij te sturen. STORM levert een dynamisch model op dat telkens voorzien kan worden van de nieuwste inzichten, vanuit de hoek van belanghebbenden en onderzoekers. Het integreert de gedachtelijnen en kennis en fungeert als communicatie-, kennis- en besluitvormingsinstrument. Door middel van STORM sessies wordt op een systematische manier verkend welke aannames en onzekerheden spelen bij het evalueren van de verschillende manieren om met zettingsvloeiing om te gaan en welke factoren bijdragen aan het implementeren van nieuwe methoden.*

Literatuur

[Deltares, 2011]
Van den Berg, F.P.W. , Corporate Innovatieprogramma - cluster Waterveiligheid, Innovatief Waterkeren, (technologische en proces) Innovaties voor het aanpakken van de problematiek van verweking vooroevers, 1204317-001-VEB-0011, december 2011, Deltares

[Deltares, 2012]
Van den Berg, F.P.W., Van de Velde, H., Innovaties HWBP Probleemveld Zettingsvloeiing, Nader onderzoek methoden: versterkt sediment en verdichten, Deltares, kenmerk 1205973-002-VEB-0006-gbh, november 2012

A Plan van Aanpak

HOOFDPROJECTINFORMATIE	
HoofdprojectID	WV1
HoofdprojectNaam	Innovaties dijktechnologie
HoofdprojectLeider	Ellen Tromp
Doelstelling	Onderzoek innovaties maatregelen zettingsvloeiing
Naam Excelbestand met projectbegroting.	
Locatie begroting	n:\Teams\Corporate-Innovatie-Programma (CIP)\2013\Bronbestanden\Begrotingen\
SUBPROJECTINFORMATIE	
SubprojectID	WV1.6
SubprojectNaam	Vervolgonderzoek voorbereiding pilot zettingsvloeiing
SubprojectLeider	Frans van den Berg
Subproject Reviewer	Hans van de Velde
SubprojectBudget	55 k€ inclusief BTW en toeslagen
Requirements (gewijzigd!)	Zettingsvloeiing is het derde faalmechanisme dat een dominante kostenfactor is bij de huidige en toekomstige versterkingen. In een verkenning met de driehoek (2011/ 2012) blijken twee nieuwe oplossingsrichtingen kansen te bieden: taludverdichting en taludstabilisatie met versterkt sediment. Requirement: eerste aanzet van een business case innovatie bij maatregelen tegen zettingsvloeiing.
Plan van Aanpak	Bij het in 2012 uitgevoerde nader onderzoek (zie rapport 1205973-002-VEB-0006-r-Innovaties HWBP Probleemveld Zettingsvloeiing van november 2012) is geconcludeerd dat de methoden verdichten en versterkt sediment in bepaalde situaties voldoende technisch en financieel perspectief bieden om bij te kunnen dragen aan een alternatieve oplossing van de zettingsvloeiingsproblemen in Nederland. Ook is geconcludeerd dat het nog te vroeg is om een praktijkproef uit te laten voeren. Aanbevolen is om voor een nadere uitwerking van het perspectief vervolgonderzoek (in de vorm van een businesscase) uit te voeren. Voor 2013 omvat dit vervolgonderzoek de volgende onderdelen om een eerste aanzet van een business case te krijgen: 1. Het opstellen van een Plan van Aanpak (= onderhavig document). (Deelproduct 1, levering ca. medio februari 2013). 2. Het verspreiden van voornoemd 2012-rapport naar de deelnemers van de in 2012 gehouden workshop en andere geïnteresseerden. (Deelproduct 2, levering ca. medio februari 2013). 3. Het globaal nagaan of in het bovenrivierengebied een twee-laagse bestorting als traditionele maatregel tegen zettingsvloeiing nodig is of dat een één-laagse kan volstaan. Dit in de vorm van een deskundigenoverleg te Delft tussen RWS CIP, Waterschap Rivierenland (WSRL), Waterschap Hollandse Delta (WSHD) en Deltares. Tijdens dit overleg dienen tevens potentiële locaties voor de uitvoering van praktijkproeven te worden nagegaan. Als een één-laagse bestorting kan volstaan, wordt ervan uitgegaan dat WSDH/ WSRL een prijsindicatie voorhanden hebben voor een één-laagse bestorting. (Deelproduct 3, levering ca. medio april 2013).

	4. Het nagaan op welke dijkgedeelten (en bij welke waterschappen) sprake is van zettingsvloeiingsproblematiek. RWS CIP zal deze informatie verschaffen (informatie afkomstig van nHWBP op basis van de laatste toetsingen (Toetsing voorland, faalmechanisme zettingsvloeiing)). Het resultaat is een maximaal marktvolume (in de vorm van km's) voor maatregelen tegen zettingsvloeiing. (Deelproduct 4, levering ca. medio april 2013). 5. Het vervolgens op basis van de verkregen kostenschattingen (zie o.a. 2012-rapport) en de informatie over het marktvolume bepalen van de maximale kapitaalsinvestering en de maximale besparing hierop. Dit zal een procentuele vergelijking zijn. (Deelproduct 5, levering ca. medio juli 2013). 6. Het hierna opstellen van een globale begroting voor de beantwoording van de volgende in 2012 geformuleerde generieke vragen: *Generieke vragen verdichten:* - het risico dat verdichten op een onderwaterdijktalud een zettingsvloeiing initieert? - het invloedsgebied trillingen (schade gebouwen, omgeving, e.d.)? - het risico van erosie/ bresvloeiing onderwatertalud (de bovenste 1,5 meter van het natuurlijke zand kan niet worden verdicht)? Is dat erg als het onderliggende zand niet meer zettingsvloeiingsgevoelig is en de dijkveiligheid dus niet meer in het geding is? - duurzaamheid verdicht zand (wordt het t.z.t. weer niet losser)? - hoe is de erosiebestendigheid van verdicht zand? *Generieke vragen versterkt sediment:* - onder welke hellingshoek kan versterkt sediment onderwater worden aangebracht? - duurzaamheid versterkt sediment (o.a. erosiebestendigheid, chemische binding)? Voor de beantwoording van deze vragen kan enerzijds worden volstaan met een expert judgement oordeel, anderzijds zullen laboratorium/ experimenteel onderzoek en in situ proeven voor opschaling (van een) van de methoden nodig zijn. De globale begroting voor de beantwoording van de generieke vragen dient te worden afgezet tegen de te bereiken maximale besparing (zie punt 5). Hiermee wordt een kosten-batenanalyse verkregen. (Deelproduct 6, levering ca. medio augustus 2013). NB. Uitgangspunt is dat de overheid, bijvoorbeeld via het HWBP, deze generieke vragen financiert (wat de markt kan dient aan de markt te worden overgelaten). Anderzijds is een optie dat het HWBP de markt bevraagt deze vragen te beantwoorden, vooral als het HWBP alle 'opgeboste projecten maatregelen zettingsvloeiing' via één uitvraag aan de markt aanbiedt voor (innovatieve) uitvoering. Daartoe overleggen met RWS CIP/ nHWBP om te bezien of dit past in de lijn die het nHWBP voorstaat met hun Business Concept rond zettingsvloeiing. 7. Het uitvoeren van een marktconsultatie. Dit is een belangrijk onderdeel. Maximaal 4 aannemers zullen worden gevraagd of zij gegeven de resultaten tot dan, waaronder het potentiële binnenlandse marktvolume, voldoende perspectief zien voor verdere ontwikkeling van (een van) deze methoden. (Deelproduct 7, levering ca. medio oktober 2013). 8. Het opstellen van een eindrapport inclusief aanbevelingen. (Eindproduct 8, levering eind november 2013).

	Deze onderdelen zijn i.o.m. RWS CIP opgesteld. De resultaten zullen als deelproducten in de vorm van memo's e.d. worden geleverd. In het eindrapport worden de deelproducten als bijlagen opgenomen. Bij een positieve eerste aanzet kan vervolgens in 2014 de business case worden afgerond, met o.a. de beantwoording van de generieke vragen, het bepalen van een locatie voor een praktijkproef en het opstellen van de randvoorwaarden voor een uitvraag voor een project, waarin de mogelijkheid wordt gegeven om de methode verdichten en/ of versterkt sediment als alternatief aan te bieden.
Relatie met andere projecten	• SBW-onderzoek zettingsvloeiing (vanwege kennisopbouw) • IJkdijk: beoogde proef zettingsvloeiing (vanwege mogelijk daarin opnemen van pilot) • SMIT: monitoringsinstrumentarium proef zettingsvloeiing (vanwege mogelijke combinatie sensor in pilot) • Oosterschelde zettingsvloeiingsproblematiek (vanwege mogelijke aanbevelingen voor beheer en onderhoud en dus voor mogelijke maatregelen) • Rivierbeheer/ vaargeulonderhoud (vanwege ideeën daarbij voor proeven versterkt sediment)
Deliverables met einddatum	Deelproduct 1, levering ca. medio februari 2013 Deelproduct 2, levering ca. medio februari 2013 Deelproduct 3, levering ca. medio april 2013 Deelproduct 4, levering ca. medio april 2013 Deelproduct 5, levering ca. medio juli 2013 Deelproduct 6, levering ca. medio augustus 2013 Deelproduct 7, levering ca. medio oktober 2013 Eindproduct 8, levering eind november 2013

B Deskundigenoverleg

Memo

Aan
Koos Saathof, Gert-Jan Goelema, Yvo Provoost, Frans van den Berg

Datum	**Kenmerk**	**Aantal pagina's**
9 april 2013	1207938-006-VEB-0001	4
Van	**Doorkiesnummer**	**E-mail**
Hans van de Velde	+31 (0)88 33 57 550	hans.vandevelde@deltares.nl

Onderwerp
Definitief verslag 'Deskundigenoverleg methoden verdichten en versterkt sediment' i.h.k.v. project RWS CIP Zettingsvloeing, dd. 20 maart 2013

Deze memo is het verslag van voornoemd overleg. Aanwezig waren:
Koos Saathof (Rijkswaterstaat Corporate Innovatie Programma, RWS CIP) – KS
Gert-Jan Goelema (Waterschap Hollandse Delta, WSHD) – GG
Yvo Provoost (Rijkswaterstaat Projectbureau Zeeweringen, RWS PBZ) – YP
Frans van den Berg (Deltares) – FB
Hans van de Velde (Deltares) – HV

1 Korte toelichting op het onderzoek tot nu, inclusief resultaten
In 2011 zijn met deelnemers uit de driehoek een proces en drie technische workshop(s) gehouden, waaruit de methoden verdichten en versterkt sediment als mogelijke innovatieve maatregelen tegen zettingsvloeiing naar voren zijn gekomen.
Het technisch perspectief van deze methoden is in 2012 verder onderzocht tijdens een brainstormsessie, waarbij voornamelijk onduidelijkheden en onzekerheden die geënt zijn op de uitvoering zijn besproken. Hierbij is vooral aandacht gegeven aan de aspecten: 'is het maakbaar, meetbaar en beheersbaar'. Vele uitvoeringstechnische zaken blijken door marktpartijen te kunnen worden opgepakt.
Vervolgens is in 2012 het financieel perspectief onderzocht door de kosten van deze methoden te vergelijken met die van een twee-laagse bestorting. Hierbij is uitgegaan van de casus Dordtsche Kil.
Geconcludeerd is dat beide methoden, afhankelijk van de projectlocatie van een dijkverbetering en het ontwerp, voldoende technisch en financieel perspectief bieden om bij te kunnen dragen aan een alternatieve oplossing van de zettingsvloeiingsproblemen in Nederland. Ten opzichte van een twee-laagse bestorting kunnen kostenbesparingen worden behaald van maximaal 55% (verdichten), maximaal 40% (versterkt sediment, laagdikte 0.5 m) en maximaal 10% (versterkt sediment, laagdikte 0.75 m).
Generiek gezien dienen echter nog een aantal vragen te worden opgelost. Bijvoorbeeld hoe de erosiebestendigheid van verdicht zand is, onder welke hellingshoek versterkt sediment onderwater kan worden aangebracht en wat de duurzaamheid van versterkt sediment is.

In relatie tot de generieke vragen geeft GG aan dat er voor wat hem betreft bij de beoordeling van de zettingsvloeiingsgevoeligheid onderscheid dient te worden gemaakt tussen statische belasting (bijvoorbeeld in geval van een bestort onderwatertalud) en dynamische belasting (bijvoorbeeld een bestort/ beschermd onderwatertalud, dat wordt belast door trillingen als gevolg van bijvoorbeeld windmolens, heiwerken, verdichtingen). Als voorbeeld geeft hij aan dat WSHD het plan heeft om op het buitenbeloop van de dijk langs het Spui een fietspad aan te brengen dat drie tot zeven meter boven de zettingsvloeiingsgevoelige zandlaag komt. Op het onderwaterbeloop komt een twee-laagse bestorting. Het zandcunet van het fietspad zal

moeten worden verdicht met een trilwals. De vraag is nu of de trillingen tot een onaanvaardbare kans op zettingsvloeiing zullen leiden. Hiertoe zal Fugro in april 2013 een trillingsonderzoek uitvoeren om de invloed van de voorziene verdichting van het cunet op de zettingsvloeiingsgevoelige zandlaag na te gaan. Hiertoe worden onder andere ook waterspanningsmeters in de zettingsvloeiingsgevoelige zandlaag aangebracht. Deze casus is vanuit kennisoogpunt c.q. generiek gezien interessant, temeer omdat Deltares ook betrokken is bij bijvoorbeeld het effect van windmolens op de stabiliteit van waterkeringen. WSDH is bereid om nadere gegevens aan Deltares te verstrekken. **Actie FB:** doorspelen van deze casus aan Geeralt van den Ham (onderscheid statische/ dynamische belasting), Paul Hölscher (trillingen) en Mike Woning (monitoring) om bij dit trillingsonderzoek etc. betrokken te raken.

2 Doel vervolgonderzoek 2013

In 2012 is ook geconcludeerd dat het nog te vroeg is om een praktijkproef in RWS CIP verband uit te voeren. Voor een nadere uitwerking van het perspectief wordt daarom in 2013 vervolgonderzoek in de vorm van een businesscase uitgevoerd. Hierbij is het doel is om inzicht te verkrijgen in het marktvolume, de benodigde kapitaalsinvestering en de mogelijke kostenbesparing van beide methoden, waarna een marktconsultatie zal worden gehouden. Het deskundigenoverleg heeft hiertoe als doel om nadere informatie te verzamelen over de toepassing en kosten van bestortingsmaatregelen in het beheersgebied van WSDH en RWS PBZ en mogelijk geschikte locaties voor proeven met voornoemde methoden.

Voor de bepaling van het marktvolume wordt vooralsnog uitgegaan van de gegevens uit het Toetsrap. voor wat betreft de aantallen kilometers hoofdwaterkeringen die zijn gerapporteerd naar aanleiding van de toetsresultaten voor het deelspoor Voorland. Uit het Toetsrap. volgt dat 94 km Voorland volgens het veiligheidsoordeel niet aan de norm voldoet. Aangezien Voorland uit de mechanismen Zettingsvloeiing en Afschuiving bestaat is 94 km een bovengrens voor zettingsvloeiing. Uit indicatief onderzoek van RWS Waterdienst volgt dat minimaal 29 km hoofdwaterkering niet aan de norm voldoet voor zettingsvloeiing, hetgeen de ondergrens aangeeft. Daarnaast heeft 257 km hoofdwaterkering ‘geen score’; hieraan wordt gewerkt in de verlengde derde toetsronde tot eind 2013.

KS geeft aan dat nHWBP gestart is met het opzetten van businesscases voor zachte ondergrond/ stabiliteit, piping, zettingsvloeiing enz. Het ligt in de bedoeling om twee van de cases projectmatig op te pakken, waarna later de anderen worden opgepakt.

3 Twee-laagse of één-laagse bestorting, inclusief kostenindicatie

YP geeft aan dat de laatste tijd de vooroeverbestortingen bij RWS PBZ met staalslakken (als één-laags systeem) worden uitgevoerd. Staalslak heeft een hogere dichtheid en een fijnere gradering dan breuksteen. Of staalslakken ook gebruikt worden als maatregel tegen zettingsvloeiing zal hij uitzoeken, alsmede de kosten van een één-laagse bestorting met breuksteen (**actie YP**).

GG geeft aan dat WSHD bij veel stroming voor een traditionele twee-laagse bestorting kiest, waarbij een breuksteenlaag als bescherming voor de filterlaag fungeert. WSDH heeft geen kostenindicatie voor een één-laagse bestorting met filtermateriaal. Indien je voor de casus Dordtsche Kil de breuksteenlaag laat vervallen (waardoor de filterlaag van 2600 kg/m^3 overblijft), heb je wel bij benadering de prijs voor een één-laagse bestorting.

Het WSHD-bestuur heeft als beleid om geen staalslakken toe te passen. Gezien de op handen zijnde werken en de beperkte leveringscapaciteit van andere geschikte bestortingsmaterialen

wordt dat beleid mogelijk heroverwogen. Hierbij is er in verband met het uitlooggedrag (in relatie tot de regelgeving in het bouwstoffenbesluit) vanuit ecologisch oogpunt discussie over de onderwater toepassing van staalslakken. Mogelijk leidt het een en ander dat tot een goedkopere één-laagse bestorting met staalslakken kan worden overgegaan.

Geconcludeerd wordt dat de vraag of een één-laagse dan wel een twee-laagse bestorting kan worden toegepast niet goed te beantwoorden is. Dit hangt vooral af van het ontwerp en de beschikbaarheid van materiaal. Of een kostenindicatie van een één-laagse bestorting gemakkelijk is te vergelijken met de thans bekende kostenschattingen van de innovatieve methoden zal ook moeilijk zijn. Veel factoren spelen hierbij mee, zoals wijze van uitvoeren, logistiek, werken tijdens getijde en/ of hoge of lage stroming, materiaaltoepassing, profiel en ontwerp dijkversterking (lengte, dikte, aantal m^2/m^3). Wel kan worden gesteld dat een niet te dikke één-laagse bestorting goedkoper zal zijn dan de innovatieve methoden.

Afgesproken wordt dat YP en GG informatie zullen uitwisselen over de toepassing en regelgeving van/ over staalslakken en andere materialen (**actie YP en GG**).

4 Geschikte locaties voor opschalings- en praktijkproeven en een zettingsvloeiingsproef
Indien de RWS CIP businesscase voor zettingsvloeiing positief is kunnen als vervolgstap opschalings- en praktijkproeven voor de innovatieve methoden nodig zijn om tot marktimplementatie te komen.

Voor de onderwater toepassing van versterkt sediment is thans ervaring opgedaan met een laboratorium experiment (met een onderwater talud van 1:2,8 en geconditioneerde omstandigheden) en met de praktijkproef Hoedekenskerke (versterkt sediment juist onderwater in een horizontale laag aangebracht). Een opschalingsproef met als doel daadwerkelijk in situ een laag versterkt sediment op een onderwater talud aan te brengen kan zinvol zijn. KS geeft aan dat hiertoe mogelijk ook laboratorium experimenten kunnen worden uitgevoerd, bijvoorbeeld in stroomgoten. Ook kan het een idee zijn om afstudeerders dergelijke proeven te laten uitvoeren.

Praktijkproeven zouden in het kader van een dijkversterkingswerk kunnen worden uitgevoerd. Hierbij kan wellicht worden aangesloten bij de ervaring die thans wordt opgedaan bij het project Kinderdijk – Schoonhoven (KIS), waarbij thans gebruik wordt gemaakt van innovatieve contractvorming en een acceptatie-protocol voor innovatieve dijkversterkingsmethoden.

Bij het zettingsvloeiingsonderzoek dat wordt uitgevoerd in het kader van het WTI (Wettelijk Toets Instrumentarium), waarbij onder andere het model ‘D-Flowslide’ wordt ontwikkeld voor de gedetailleerde toets, is behoefte aan validatie van het ontwikkelde model door het uitvoeren van een zettingsvloeiingsproef. Deze behoefte heeft ook de Stichting IJkdijk met als doel bruikbare meettechnieken te valideren. In dit laatste geval vindt thans overleg plaats tussen de Stichting IJkdijk en Cascade, de vereniging van zand- en grindproducenten, om tot een zettingsvloeiingsproef in een zandwinput te komen. De verkregen kennis uit een dergelijke proef kan ook voor deze producenten van belang zijn, bijvoorbeeld omdat de taludhelling bij de zandwinning kan worden geoptimaliseerd.

De vraag is dus of er bij WSHD en RWS PBZ geschikte proeflocaties voorhanden zijn. Mogelijk dat hierbij de diverse kennisvragen kunnen worden gecombineerd. Zo zou de voornoemde zettingsvloeingsproef bijvoorbeeld kunnen worden verdeeld in vier vakken:

- vak 1 talud afgedekt met traditioneel breuksteen

- vak 2 het zand ‘versterkt’ met de methode verdichten
- vak 3 waarin een zettingsvloeiing wordt bewerkstelligd
- vak 4 talud afgedekt met versterkt sediment.

Een en ander vergt wel voldoende breedte van de proeflocatie.

GG geeft aan dat WSHD de locatie Beningerwaard langs het Spui als proeflocatie onder de aandacht heeft gebracht bij de Stichting IJkdijk. Dienst Landelijk Gebied (DLG) is hier de eigenaar. Op deze locatie ligt een buitendijkse dijk (niet zijnde hoofdwaterkering) welke weg moet en mag bezwijken. De ondergrond bestaat onder andere uit zettingsvloeiingsgevoelig zand.

YP geeft aan dat er bij RWS PBZ vooroevers bestort moeten worden al dan niet als maatregel tegen zettingsvloeiing. Mogelijk dat hier proeven kunnen worden uitgevoerd. Dit zal afhangen van de toestemming van de projectleider. Hij heeft (in een nagezonden mail) de volgende informatie gestuurd over de planning van deze bestortingen:
2014 - 2017 Cluster 3:
Westerschelde: Hoedekenskerke
Oosterschelde: Wemeldinge, Vlietepolder, Burgsluis en Anna-Frisopolder.

YP geeft verder aan dat de Perkpolder (eigenaar DLG) zal worden ontpolderd. Hier zal in 2014 een bres van 400 m in de waterkering worden gemaakt. De oplevering van de ontpoldering moet in 2015 zijn. Hij weet niet of de ondergrond uit zettingsvloeiingsgevoelig zand bestaat. Naar zijn idee kan op deze locatie een proeftuin worden gemaakt. Dit moet dan wel bijtijds worden georganiseerd. Pieter van Geer en Mark Klein Breteler (van Deltares) zijn hierbij reeds betrokken. **Actie HV**: deze informatie doorspelen aan Geeralt van den Ham en Harm Aantjes.

Aandachtspunten:

1. Afstudeerders (TUD/ HBO) inzetten voor beantwoording van de generieke vragen over versterkt sediment.
   NB. HV heeft na het overleg hierover met Dianne den Hamer gesproken, die vanuit Deltares het STW-onderzoek “Lift-up Lowlands” begeleidt. Dit onderzoek moet nog starten, maar Dianne zal de vragen meenemen.
2. Tijdens de marktconsultatie dit punt van afstudeerders meenemen, vooral als er door de marktpartijen marktpotentie wordt gezien en de beantwoording van de generieke vragen (verdichten en versterkt sediment) aan de markt wordt overgelaten.
3. GG verzoekt om bij een volgend overleg ook Bastiaan Los van WSHD te betrekken (en daarom niet op woensdagmiddagen te plannen).

Kopie aan
Peter Damen, Geeralt van den Ham, Hans van der Sande

C Memo Marktvolume, kostenbesparing en kostenschatting oplossen kennisvragen v.w.b. innovatieve maatregelen tegen zettingsvloeiing, RWS CIP

Memo

Aan
Koos Saathof

Datum	**Kenmerk**	**Aantal pagina's**
18 oktober 2013	1207938-006-VEB-0002	31
Van	**Doorkiesnummer**	**E-mail**
Hans van de Velde	+31 (0)88 33 57 550	hans.vandevelde@deltares.nl

Onderwerp
Marktvolume, kostenbesparing en kostenschatting oplossen kennisvragen v.w.b. innovatieve maatregelen tegen zettingsvloeiing, RWS CIP (deelprodukten 4 t/m 6)

Definitieve versie

Inleiding en samenvatting

Deze memo betreft de uitwerking van de punten 4 t/m 6 van het Plan van Aanpak (definitieve versie dd. 31 januari 2013) van het subproject 'Vervolgonderzoek voorbereiding pilot zettingsvloeiing', vallend onder het hoofdproject 'Innovaties dijktechnologie', welke in het kader van het Rijkswaterstaat Corporate Innovatie Programma (RWS CIP) in 2013 wordt uitgevoerd.

Leeswijzer
Met punt 4 wordt getracht een binnenlands marktvolume (in de vorm van kilometers) voor maatregelen tegen zettingsvloeiing te bepalen. Daarna wordt met punt 5 getracht dit volume te vertalen naar een kapitaalsinvestering voor bestortingsmaatregelen als ook voor de innovatieve maatregelen verdichten en versterkt sediment, teneinde inzicht te kunnen verkrijgen in de mogelijke kostenbesparingen. Vervolgens wordt met punt 6 getracht een globale begroting te geven voor de beantwoording c.q. oplossing van de in 2012 geformuleerde generieke kennisvragen. Tenslotte wordt aan het einde van deze memo aangegeven dat versterkt sediment ook als maatregel kan dienen tegen het faalmechanisme piping en wordt aangegeven dat in 2014 aan een praktijkproef wordt gedacht om de havenbodem van de containerterminal bij Hengelo erosiebestendig te maken.

Samengevat zijn de resultaten als volgt:

Marktvolume (punt 4)
Voor de volgende maatregelen tegen <u>zettingsvloeiingen</u> bedraagt het binnenlands marktvolume:

- bestorting (inclusief gehele Drechtsteden gebied) **200 - 305 km**
- verdichten (inclusief gehele Drechtsteden gebied) **200 - 305 km**
- versterkt sediment (inclusief gehele Drechtsteden gebied) **200 - 305 km**

Voor het Drechtsteden gebied is een strekking van 160 km afgeschat om alle onderwatertaluds te versterken. De vraag hierbij is of wel over de volle 160 km maatregelen nodig zijn. Nader onderzoek hiernaar is nodig. In die zin kunnen de hierboven gegeven kilometers als een maximum worden gezien.

Voor de volgende maatregelen tegen <u>erosie</u> van de gehele rivierbodem van de riviertakken in het Drechtsteden gebied bedraagt het binnenlands marktvolume:

- bestorting (160 km) 38.400.000 m^2
- versterkt sediment (160 km) 38.400.000 m^2

Ook hier is het de vraag of wel over de volle 160 km en over de volle breedte van de rivierbodem een erosiemaatregel nodig is. Bekend is dat ontgrondingskuilen in het Drechtsteden gebied met name in het noord-westelijk gelegen deel van de Oude Maas voorkomen. Daarnaast zal niet overal de op het zandpakket liggende klei- en/ of veenlaag zijn doorbroken dan wel nog voldoende dikte hebben. Daarom wordt - voor de gedachtebepaling - voorgesteld om van de bovengenoemde oppervlakte 30% dus **11.500.000 m^2** aan te houden voor een eventuele erosiemaatregel op de bodem van de riviertakken in het Drechtsteden gebied. Geadviseerd wordt om de omvang van het erosieprobleem verder en nauwkeuriger te kwantificeren voor het Drechtsteden gebied en daarbij ook andere gebieden in Nederland te betrekken. Zoals in deze memo beschreven, bestaan er in Nederland veel erosieproblemen (in havens, kanalen en rivieren).

Kostenbesparingen (punt 5)
De te behalen binnenlandse kostenbesparingen voor zettingsvloeiing op een 'traditionele kapitaalsinvestering' met stortsteen van **250 - 950 M€** zijn als volgt voor:

- verdichten met mogelijke optimalisaties **140 - 520 M€**
- versterkt sediment (dik 0.5 m) met verhoogde productiesnelheid **100 - 380 M€**
- versterkt sediment (dik 0.75 m) met verhoogde productiesnelheid **30 - 100 M€**

De te behalen binnenlandse kostenbesparingen voor erosiemaatregel op een 'traditionele kapitaalsinvestering' met stortsteen van **430 - 720 M€** in het Drechtsteden gebied zijn als volgt voor:

- versterkt sediment (dik 0.5 m) met verhoogde productiesnelheid **170 - 290 M€**
- versterkt sediment (dik 0.75 m) met verhoogde productiesnelheid **40 - 70 M€**

De gegeven kostenbesparingen gelden over de levensduur van de maatregelen (tot weer onderhoud zal moeten plaatsvinden dan wel weer een dijkverbetering nodig is). Deze levensduur zal van locatie tot locatie verschillen, maar in zijn algemeenheid mag worden uitgegaan van een periode van circa 20 tot 30 jaar.

Gezien de vele in deze memo beschreven uitgangspunten en meespelende factoren zijn de gegeven kostenbesparingen niet hard. Zij geven wel de potentie van de mogelijke oplossingsrichtingen aan.

Het buitenlands marktvolume voor maatregelen tegen zettingsvloeiing en reguliere bestortingen (als erosie-maatregel) is niet bekend en daarmee ook niet de mogelijke kostenbesparingen hiervoor.

Kostenschatting oplossen kennisvragen (punt 6)
Indien een praktijkproef onderdeel is van een dijkversterkingswerk zijn de kosten voor het beantwoorden van de generieke kennisvragen het goedkoopst mits marktpartijen de innovatieve maatregelen als kosteneffectief beoordelen en aanbieden en onder aanname dat de maatregelen functioneren. In dat geval wordt nog een kennisinvestering geschat van 150 k€.
Indien van deze aanpak wordt uitgegaan moet een acceptatieprotocol worden opgesteld, omdat voor verdichten en versterkt sediment nog geen ontwerprichtlijnen beschikbaar zijn, waardoor toekomstige toetsingen niet zondermeer kunnen worden uitgevoerd.

Piping
Bij het ontstaan van ontgrondingskuilen kunnen klei- en/ of veenlagen worden doorbroken, waardoor het intreepunt voor het faalmechanisme piping verschuift in de richting van de waterkering. Dit betekent dat er meer risico zal bestaan/ komen op piping. Daarnaast geven de nieuwe inzichten uit Veiligheid Nederland in Kaart (VNK) en Deltaplan Rivieren (DPR) aan dat dit faalmechanisme dominanter wordt, hetgeen resulteert in mogelijk veel bredere pipingbermen en navenant hogere investeringskosten dan thans wordt voorzien. Ook hier kan versterkt sediment een mogelijke kostenbesparende maatregel zijn. Hiermee is bij de hierboven genoemde kostenbesparingen nog geen rekening gehouden.

Praktijkproeven
Op 12 september 2013 is een workshop gehouden met als onderwerp ‘Workshop praktijkproef versterkt sediment als innovatieve maatregel tegen ontgrondingen, zettingsvloeiingen, kwel en piping’. Hierin is de problematiek besproken van de ontgrondingskuilen in het Drechtsteden gebied, de onderhavige problematiek over zettingsvloeiingen, de erosieproblematiek in havens, rivieren en kanalen als gevolg van scheepsbewegingen, de grotere erosie- en kwelproblematiek als gevolg van de verruiming en verbreding van de Twentekanalen en voornoemde pipingproblematiek. Het resultaat van deze workshop is dat thans wordt gedacht aan de uitvoering van een praktijkproef in 2014 om de havenbodem van de containerterminal bij Hengelo erosiebestendig te maken.

Punt 4: Marktvolume
Aan RWS CIP zijn de volgende vragen gesteld:

1. Hoeveel km's hoofdwaterkering zijn na de laatste toetsing afgekeurd op zettingsvloeiing? (xxx km)
2. Hoeveel km's hoofdwaterkering hebben na de laatste toetsing op 'Toetsing voorland' (= zettingsvloeiing + afschuiving) als toetsresultaat 'geen oordeel'? (yyy km)
3. Is deze yyy km 'geen oordeel' te splitsen in aaa km voor zettingsvloeiing en bbb km voor afschuiving?
4. Zo ja, welk percentage van die aaa km verwacht het nHWBP dat die km's in de toekomst alsnog zullen worden afgekeurd op zettingsvloeiing?
5. Zo neen, welk percentage van die yyy km verwacht het nHWBP dat die km's in de toekomst alsnog zullen worden afgekeurd op zettingsvloeiing?

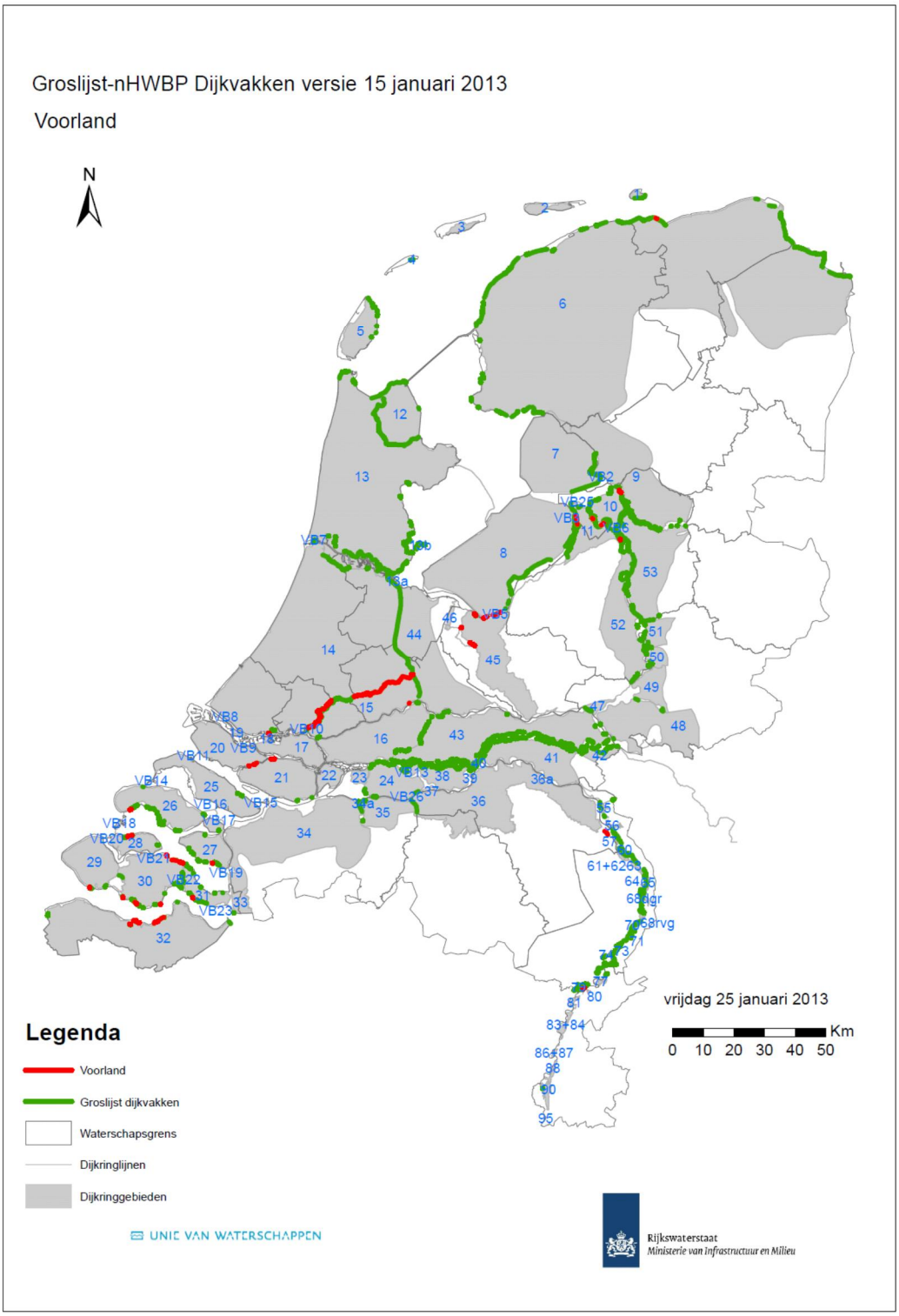
Met deze informatie zou het marktvolume (in de vorm van kilometers) voor maatregelen tegen zettingsvloeiing kunnen worden afgeschat. Afhankelijk van de antwoorden (xxx + yyy) km's, of (xxx + % yyy) km's, of (xxx + % aaa) km's.

Ontvangen informatie
De volgende informatie is ontvangen:

a) Resultaten toetsen derde toetsronde uit Toetsrap voor wat betreft faalmechanisme Voorland, zie tabel 1 en figuur 1:

Toetsresultaten deelspoor Zettingsvloeiingen (in aantal km)				
Dit betreffen de resultaten uit het programma Toetsrap.				
De aantallen kilometers kunnen in werkelijkheid licht afwijken.				
Bijzondere situaties (als aangepakt al aangepakt in HWBP2, RvdR etc).				
Totaal aantal km (excl al aangepakt): 3244.04km				
	Categorie A	Categorie B	Categorie C	Totaal
Technisch oordeel				
Niet ingevuld	55.71	0.00	1.96	57.67
Niet van toepassing	31.22	0.05	77.59	108.86
Geen score	120.17	23.29	113.34	256.80
Onvoldoende	61.61	0.00	21.17	82.78
Voldoende	500.93	52.83	141.76	695.52
Goed	1651.69	68.46	322.25	2042.40
Diepgang toets				
Niet ingevuld	455.74	33.48	200.42	689.64
Eenvoudig	651.81	40.45	332.02	1024.28
Gedetailleerd	1309.82	58.38	145.62	1513.82
Geavanceerd	3.97	12.33	0.00	16.30
Beheerdersoordeel				
Volgt TO	2340.64	134.49	622.50	3097.63
Volgt TO niet - onvoldoende	5.97	0.00	24.84	30.81
Volgt TO niet - voldoende	74.73	10.15	30.72	115.60
Toelichting beheerdersoordeel				
Niet ingevuld	2327.94	134.49	611.77	3074.20
Geen score niet verwijtbaar	0.10	0.00	0.00	0.10
Historische gegevens	44.27	0.00	22.77	67.04
Waargenomen gedrag	7.87	0.00	5.48	13.35
aarneming per faalmechanisme	1.15	0.00	0.00	1.15
Anders, nl:	40.01	10.15	38.05	88.21
Veiligheidsoordeel				
Niet ingevuld	67.39	0.00	20.73	88.12
Niet van toepassing	28.41	0.00	85.33	113.74
Nader onderzoek nodig	49.32	13.15	9.67	72.14
Voldoet niet aan de norm	48.04	0.00	46.02	94.06
Voldoet aan de norm	2228.18	131.49	516.33	2876.00
Totaal categorieën	2421.34	144.64	678.08	3244.06

Tabel 1: Toetsresultaten deelspoor Voorland *(nb. in de kop van de tabel staat 'Zettingsvloeiingen', dit is niet juist en moet 'Voorland' zijn)*



Figuur 1: Groslijst nHWBP dijkvakken op deelspoor Voorland (deze kaart is gebaseerd op de resultaten uit Toetsrap)

b) Memo ‘Samenvattend memo kennisvragen’ aan ‘Deltaprogramma Rijnmond-Drechtsteden’, Deltares, kenmerk 1207032-000-VEB-0015, dd. 19 december 2012 (incl. bijlage ‘Erosie in getijrivieren/ instabiele waterkeringen’ dd. 15 oktober 2012) [1].

Deze memo beschrijft onder andere dat de rivieren in de regio Drechtsteden kampen met structurele erosie.

Evaluatie ontvangen informatie

a) Voor wat betreft informatie uit Toetsrap.
In de derde toetsronde is in Nederland 94 km van de primaire waterkeringen afgekeurd op Voorland, zie tabel 1. Het grootste deel hiervan ligt in de zuid-westelijke Delta, zie figuur 1. Aangezien Voorland uit de faalmechanismen Zettingsvloeiing en Afschuiving bestaat, zou deze 94 km een bovengrens voor Zettingsvloeiing kunnen zijn.

Zeer waarschijnlijk is ToetsRap niet altijd correct ingevuld. Zo zijn de waterkeringen langs de Hollandsche IJssel (een C kering die voor het eerst volgens de VTV is getoetst) ruimschoots afgekeurd op Hoogte. Daarop is voor alle andere faalmechanismen eveneens de score onvoldoende ingevuld, inclusief Voorland.
Uit een door Rijkswaterstaat Waterdienst (informatie Joost van der Hammen) uitgevoerde analyse van de afgekeurde dijkvakken op Voorland blijkt dat minimaal 29 km van de primaire waterkeringen niet aan de norm voldoet voor Zettingsvloeiing. Deze 29 km zou een ondergrens voor Zettingsvloeiing kunnen zijn.

Uit Toetsrap volgt dat 256 km en 72 km van de primaire waterkeringen ‘geen score’ respectievelijk ‘nader onderzoek nodig’ heeft op Voorland. Deze getallen dienen gezien voornoemde analyse vermoedelijk te worden aangepast. De vraag blijft dan hoeveel kilometers waterkeringen in de nabije toekomst nog zullen worden afgekeurd op Zettingsvloeiing.

Ten opzichte van het totaal aantal waterkeringen is het thans bekende percentage op Zettingsvloeiing afgekeurde waterkeringen laag, in orde van enkele procenten (94 km op 3244 km). Daarom wordt voorgesteld om voor de ondergrens aan te nemen dat in de verlengde derde toetsronde dan wel de vierde toetsronde van 2017 nog enkele procenten van 256 + 72 = 11 km waterkeringen zal worden afgekeurd op Zettingsvloeiing. Het voorgaande leidt tot een schatting voor de ondergrens van het binnenlands marktvolume van 29 + 11= **40 km** waterkeringen, waarvoor de komende jaren een maatregel tegen zettingsvloeiing moet worden getroffen.

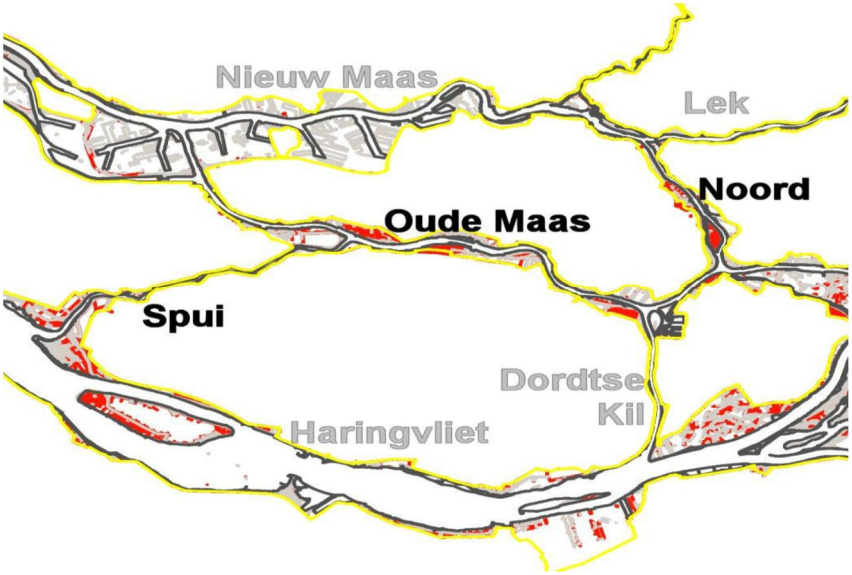
Een bovengrens is met de huidige inzichten moeilijk af te schatten. Het volgende wordt voorgesteld:
1 stel dat 50% van de reeds afgekeurde waterkeringen door Zettingsvloeiing komt
2 stel verder dat 30% van de waterkeringen met ‘geen score’ en ‘nader onderzoek nodig’ nog op Zettingsvloeiing zal worden afgekeurd in de verlengde derde toetsronde dan wel de vierde toetsronde van 2017,
dan leidt dit tot een schatting voor de bovengrens van het binnenlands marktvolume van 0.5 x 94 + 0.3 (256 + 72) = **145 km** waterkeringen, waarvoor de komende jaren een maatregel tegen zettingsvloeiing moet worden getroffen.

Een en ander leidt dan tot een range van **40 tot 145 km**.

Een uitspraak in hoeverre maatregelen in de verdere toekomst nodig zullen zijn, is in het geheel niet te geven.

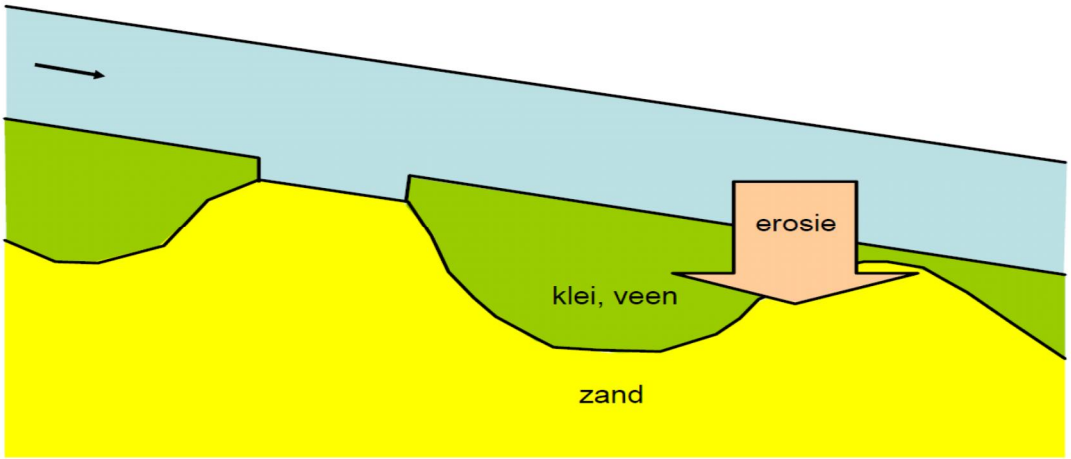
b) Voor wat betreft informatie uit voornoemd 'Samenvattend memo kennisvragen' aan 'Deltaprogramma Rijnmond-Drechtsteden'.

In deze memo is onder andere beschreven, dat de sluiting van de zeeverbinding met het Haringvliet met de bouw van de Haringvlietdam een grootschalige eroderende trend heeft veroorzaakt in de rivieren Noord, Spui, Oude Maas en Dordtsche Kil (zie figuur 2). Verder dat naast grootschalige erosie er in dit gebied ook sprake is van diepe erosiekuilen en lokale aanzanding, waarbij de kuilen zijn ontstaan bij het doorbreken van een klei- of veenlaag die een zandpakket bedekt hield (zie figuur 3). Door deze 10 tot 20 meter diepe erosiekuilen kunnen onderwatertaluds kritiek worden en de stabiliteit van waterkeringen in gevaar worden gebracht alsmede het gebruik van de vaargeul worden gehinderd. Tevens kunnen tunnels, kabels en leidingen bloot komen te liggen. Tenslotte is de zoutindringing toegenomen door de verdieping en wijziging in de afvoerverdeling.



Figuur 2: Getijrivieren in regio Drechtsteden

In de huidige strategie van erosiebestrijding is de traditionele oplossing om de rivierbodem te bestorten met stortsteen en dergelijke. Als maatregel tegen het risico op zettingsvloeiing zijn in het kader van HWBP2 in 2010 enkele dijkstrekkingen langs de Dordtsche Kil versterkt met stortsteen; voor enkele dijkstrekkingen langs het Spui zijn thans gelijksoortige versterkingen in planvorming. Bestortingen zijn over het algemeen goed uitvoerbaar. Het versterken van dijken en/ of suppleren van ontgrondingskuilen en/ of bestorten van rivierbodems in onderhavig gebied beslaat een strekking van naar schatting **160 km** [1] hetgeen een kapitaalsinvestering vergt van vele honderden miljoenen euro's.



Figuur 3: Schematische weergave van de interactie tussen slecht- en makkelijk-erodeerbare ondergrond.

Ook in andere rivieren komen ontgrondingskuilen voor. Verder spelen in diverse rivieren, met name in rivierbochten, erosie- en aanzandingsprocessen plaats waardoor bestortingsmaatregelen moeten worden getroffen om de vaargeulbreedte te handhaven. Daarnaast ontstaan in havens dergelijke kuilen als gevolg van erosie door scheepsschroeven. Hierdoor ontstaat ook het risico van instabiliteit van kadeconstructies. Een voorbeeld hiervan is (informatie van Witteveen+Bos) de haven c.q. de containerterminal van Hengelo. In kanalen (bijvoorbeeld de Twentekanalen[1], zie [4], waar naast ontgrondingen ook van een structurele kwelproblematiek sprake is) en in kanaalbochten kan door scheepsbewegingen ook sprake zijn van erosie van de onderwaterbodem. Al met al dienen in den lande veel erosiemaatregelen te worden genomen.

Hoewel het bestorten van rivier-, kanaal- en havenbodems en/ of suppleren van ontgrondingskuilen meestal niet te maken behoeft te hebben met een maatregel tegen zettingsvloeiing, behoren erosiemaatregelen naast de voornoemde strekking van **160 km** in het Drechtstedengebied toch in de afweging van het beschikbare binnenlands marktvolume van onderhavig onderwerp te worden meegenomen, temeer omdat versterkt sediment een mogelijk alternatief is voor de traditionele maatregel van bestorten.

Bij de rivierbeheerder RWS Directie Zuid Holland (informatie Arjan Sieben) bestaan plannen om de ontgrondingskuilen te suppleren, waarbij onder andere één van de ideeën is om dit ook met behulp van versterkt sediment te doen in de vorm van in eerste instantie een praktijkproef (zie [6]).

Ook voor het erosie-probleem in de haven van Hengelo bestaan plannen om als maatregel versterkt sediment toe te passen, in eerste instantie door middel van een praktijkproef.

[1] Zo is hier van het maatgevend schip de maximaal gegenereerde stroomsnelheid op de bodem door de boegschroef circa 4 m/s.

Conclusie marktvolume

Op basis van voorgaande evaluatie bedraagt het binnenlands marktvolume als volgt:

Voor traditionele bestorting, verdichten en versterkt sediment:

- Als maatregel tegen zettingsvloeiing 40 - 145 km
- Als maatregel tegen zettingsvloeiing in het Drechtsteden gebied, schatting 160 - 160 km
- Totaal **200 - 305 km**

Hierbij dient te worden aangetekend, dat wellicht van enige dubbeltelling sprake is, gezien het gegeven dat in het Drechtsteden gebied thans reeds enige dijkstrekkingen zijn afgekeurd op Zettingsvloeiing (zie figuur 1). Het effect van de dubbeltelling is echter naar verwachting niet groot.

Voor traditionele bestorting en versterkt sediment:

- Als erosiemaatregel op de gehele rivierbodem in het Drechtsteden gebied **160 - 160 km** (vastleggen rivierbodem door suppleren van ontgrondingskuilen en/ of bestorten van de riviertakken)

Hierbij dient te worden aangetekend, dat - zoals hiervoor reeds is beschreven - in den lande veel erosieproblemen voorkomen, met andere woorden dat de omvang van het probleem veel groter is dan overeenkomend met deze 160 km. Voor wat betreft de rivierbodembreedte waarover deze erosiemaatregel zou moeten worden genomen, is alleen de breedte op de bodem van de (smallere) riviertakken Spui, Oude Maas (gedeeltelijk) en Dordtsche Kil globaal afgeschat (zie figuur 4). Geschat wordt een gemiddelde waterbreedte van 300 meter[2]. Hierbij is vanaf kaartmateriaal gemeten op de waterlijn (zeg op circa NAP). Indien er vanuit wordt gegaan dat het onderwatertalud een helling heeft van 1:3 en de rivierdiepte 10 meter bedraagt, moet de gemiddelde waterbreedte worden gecorrigeerd met 60 meter voor de schatting van de gemiddelde bodembreedte. Dit betekent dat - onder aanname dat de gemiddelde bodembreedte van 240 meter voor het gehele gebied geldt - de erosiemaatregel over de gehele bodembreedte alleen al in het Drechtsteden gebied een oppervlakte zou beslaan van minimaal 160.000 x 240 = 38.400.000 m^2.

[2] Dit correspondeert goed met de gegevens uit http://www.rijkswaterstaat.nl/water/feiten_en_cijfers/vaarwegenoverzicht/

Figuur 4: Van kaart gemeten rivierbreedte op het wateroppervlak van de riviertakken Spui, Oude Maas (gedeeltelijk) en Dordtsche Kil - 27 metingen, gemiddelde waterbreedte circa 300 meter

Bekend is dat ontgrondingskuilen met name in het noord-westelijk gelegen deel van de Oude Maas voorkomen. Daarnaast zal niet overal de op het zandpakket liggende klei- en/ of veenlaag zijn doorbroken dan wel onvoldoende dikte hebben. Geadviseerd wordt om de omvang van het erosieprobleem (qua marktvolume) verder en nauwkeuriger te kwantificeren door ook andere gebieden dan het Drechtsteden gebied erbij te betrekken.
Voorgesteld wordt - voor de gedachtebepaling - om van de bovengenoemde oppervlakte 30% dus **11.500.000 m^2** aan te houden voor een eventuele erosiemaatregel op de bodem van de riviertakken in het Drechtsteden gebied.

Het buitenlands marktvolume voor maatregelen tegen zetttingsvloeiing en reguliere bestortingen (als erosie-maatregel) is niet bekend.

Punt 5: Kostenbesparing
Met dit punt wordt getracht het in punt 4 gegeven marktvolume te vertalen naar een kapitaalsinvestering voor de traditionele bestortingsmaatregel als ook voor de innovatieve maatregelen verdichten en versterkt sediment, teneinde inzicht te kunnen verkrijgen in de mogelijke kostenbesparingen.
Hiertoe is gebruikt gemaakt van prijsinformatie uit het verleden. Waar nodig is deze prijsinformatie herleid naar het prijsniveau van 2013, waartoe per jaar een prijsstijging is gehanteerd van 3%. Alle gegeven prijsinformatie is excl. BTW en zijn excl. directiekosten, ontwerp etc.

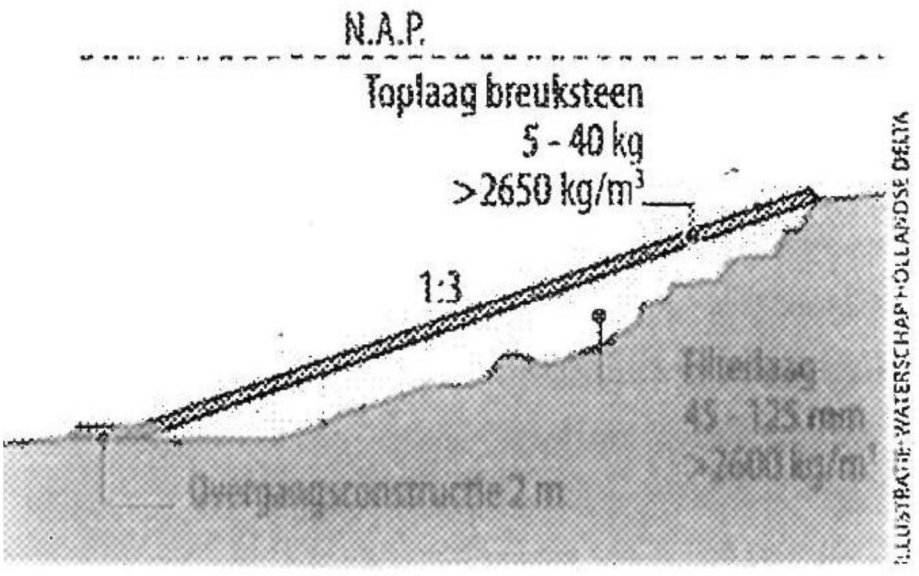
Van bestortingswerken is enige prijsinformatie voorhanden. In Nederland is nagenoeg geen ervaring opgedaan met verdichtingsprojecten; hiervan is dan ook geen prijsinformatie voorhanden. Voor versterkt sediment is van een marktpartij (welke hierna is geanominiseerd) een prijsvergelijking in relatie tot een bestortingswerk bekend. De prijsinformatie afkomstig van de ‘Praktijkproef versterkt sediment Hoedekenskerke’, zoals die in 2011 is uitgevoerd, wordt niet gebruikt omdat een pilot veelal duurder is dan een regulier werk.

De volgende prijsinformatie beschikbaar:

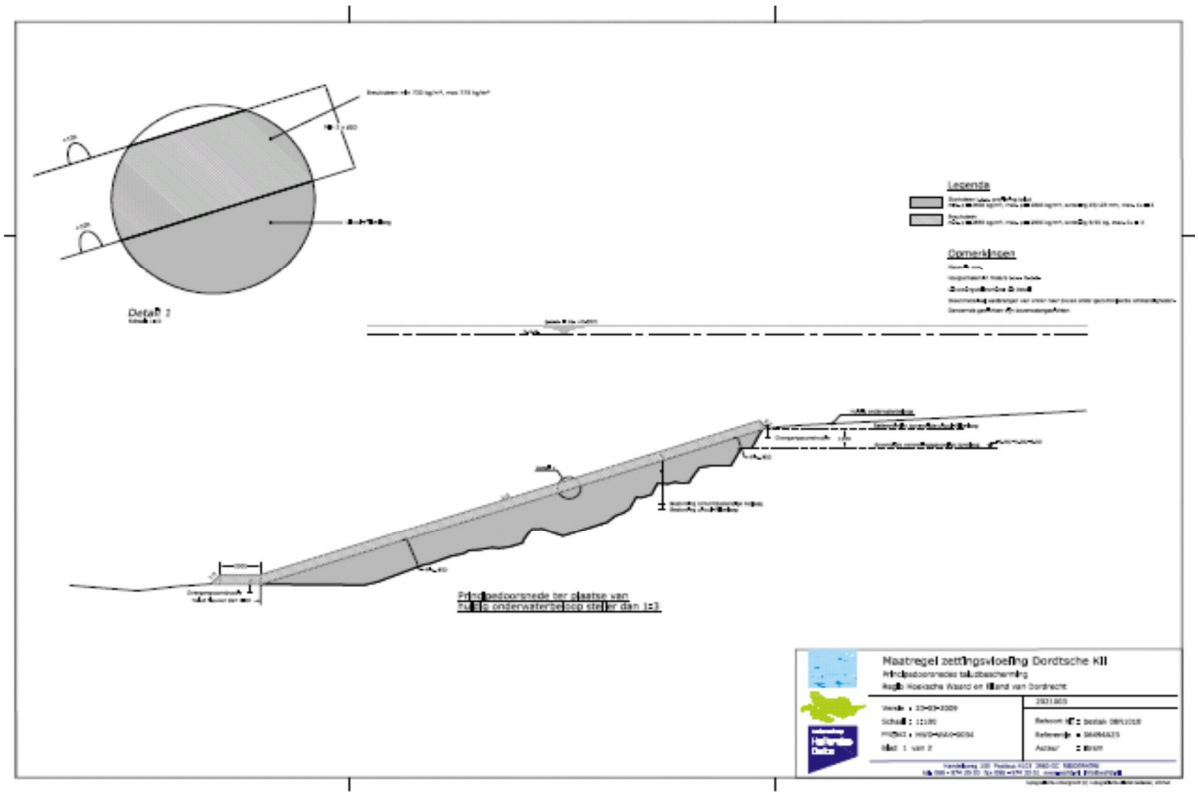
a) Informatie van het waterschap Hollandse Delta (WSHD)

Op basis van in 2010 door WSHD opgestelde SSK-ramingen voor het bestortingswerk Dordtsche Kil (als twee-laagse bestorting) blijkt dat de uitvoeringskosten per strekkende meter dijk werden geraamd op globaal **2.1 - 3.1 M€/km excl. BTW** overeenkomend met **70 - 105 €/m^2 excl. BTW** (prijspeil 2013).

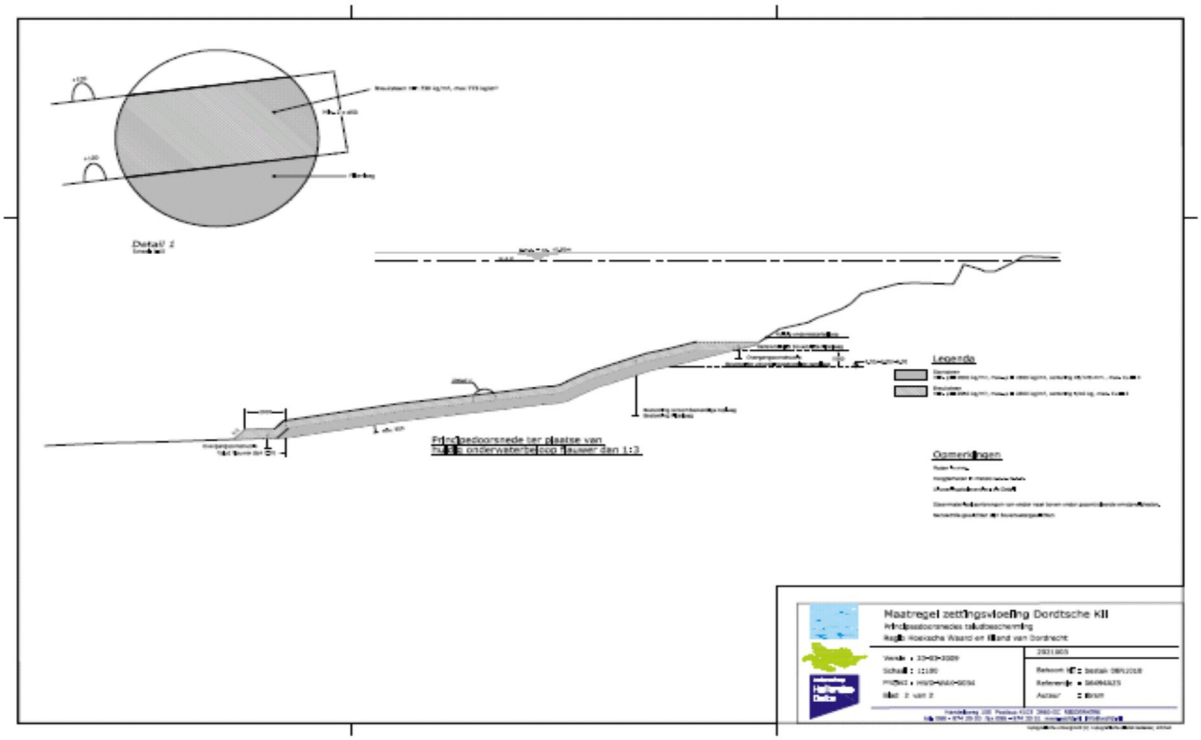
WSHD heeft aangegeven dat de eindafrekening van dit werk **2.0 M€/km excl. BTW** (prijspeil 2013) bedroeg; dit was inclusief het meerwerk vanwege extra bestortingen als gevolg van het wegzakken van bestortingen in slappe (veen-)gronden.
Hierbij is de volgende bestorting aangebracht (zie figuur 5, uit [5]). In de figuren 6 en 7 (uit [3]) zijn twee generieke profielen gegeven. Uit deze figuren blijkt dat een twee-laagse bestorting is aangebracht bestaande uit een filter- en uitvullaag (met sortering 45 - 125 millimeter, minimaal 2.600 kg/m^2, om uitspoeling van de zandlaag te voorkomen en om de onderwatertaluds een helling te geven van 1:3), met hierop een laag erosiebestendige stortsteen (5 - 40 kg, minimaal 2.650 kg/m^2, mede om uitspoeling van de filterlaag te voorkomen). De gemiddelde lengte van het te beschermen beloop van de generieke profielen bedraagt zo'n 25 meter, met een dikte van de totale bestortingsconstructie van circa 1 tot 2,5 meter. Hieruit valt af te leiden dat het werk gemiddeld 2.000.000 : 1000 : 25 = **80 €/m^2 excl. BTW** (prijspeil 2013) heeft gekost.



Figuur 5: Schets van principe-ontwerp dijkversterking Dordtsche Kil



Figuur 6: Generiek dwarsprofiel dijkversterking Dordtsche Kil (met een ‘dikke’ uitvullaag/ filterlaag)



Figuur 7: Generiek dwarsprofiel dijkversterking Dordtsche Kil (met een ‘dunne’ uitvullaag/ filterlaag)

b) Rapport HWBP Probleemveld Zettingsvloeiing, Nader onderzoek methoden: versterkt sediment en verdichten, Deltares, kenmerk 1205973-002-VEB-0006-gbh dd. november 2012 [3]

Dit rapport werd in 2012 opgesteld in het kader van onderhavige studie naar innovatieve maatregelen tegen zettingsvloeiing. Zo werden door Witteveen+Bos in opdracht van Deltares gemaakte globale SSK-kostenschattingen door Deltares bewerkt om de methoden 'twee-laagse bestorting', 'verdichten' en 'versterkt sediment' met elkaar te kunnen vergelijken. Hierbij werd ervan uitgegaan dat de innovatieve methoden al 'volwassen' zijn. Dit werd gedaan om een gelijkwaardig vergelijk te kunnen maken tussen deze methoden.

De resultaten van deze kostenschattingen zijn in tabel 2 gegeven.

Methode	€/m[1] dijkvak geraamd	Percentage t.o.v. traditionele methode	€/m[1] dijkvak geoptimaliseerd	Percentage t.o.v. traditionele methode
Traditioneel: 2-laagse bestorting	1.290	100%	n.v.t.	n.v.t.
Verdichten	2.008	156%	n.v.t.	n.v.t.
Verdichten, h.o.h. 2 → 3 m			1.335	104%
Verdichten, geen zandaanvulling			1.225	95%
Verdichten, 2 → 3 + geen zandaanv.			550	43%
Versterkt sediment 0.5 m	880	68%	n.v.t.	n.v.t.
Idem met hogere productie			795	62%
Versterkt sediment 1.0 m	1.760	137%	n.v.t.	n.v.t.
Idem met hogere productie			1.585	123%

Tabel 2 Globale kostenschattingen tussen de traditionele en innovatieve methoden. Genoemde bedragen zijn investeringskosten exclusief omzetbelasting en kosten opdrachtgever op prijspeil 2013.

Bij deze kostenschattingen kunnen de volgende opmerkingen worden gemaakt:

De resultaten hebben betrekking op de (reeds uitgevoerde casus) Dordtsche Kil en zijn niet generiek geldig. Door de vele uitgangspunten, aannames en de gevolgde calculatiemethode kunnen de kostenschattingen niet worden gebruikt voor andere doeleinden c.q. projecten. Temeer omdat de werkelijke kosten van het bestortingswerk Dordtsche Kil in 2010 tot een hogere kapitaalsinvestering[3] leidde, zoals hiervoor is aangegeven. De kostenschattingen hadden uitsluitend als doel om een gelijkwaardig vergelijk te kunnen maken tussen de verschillende methoden om daarmee richting te kunnen verkrijgen in de financiële potentie van de innovatieve methoden.

Bij de hiervoor genoemde prijzen van de geoptimaliseerde methoden *verdichten* zijn de volgende optimalisaties ingecalculeerd:

- de hart-op-hart maat van het raster is vergroot van 2 naar 3 m, of
- de zandaanvulling wordt niet toegepast, of
- deze beide optimalisaties worden toegepast.

[3] Vermoedelijk door het uitgevoerde meerwerk en overige bijkomende kosten.

Bij de hierboven genoemde prijzen van de geoptimaliseerde methode *versterkt sediment* is de volgende optimalisatie ingecalculeerd (voor beide laagdikten):

- productiesnelheid van 500 m^3/dag verhoogd naar 700 m^3/dag.

Uit de kostenschattingen voor versterkt sediment kan worden afgeleid dat de prijs voor een laagdikte van 0.75 m op circa 102% (zonder optimalisatie) en op circa 92% (met hogere productiesnelheid) van die van de twee-laagse bestorting kan komen. Verder kan voor versterkt sediment een verdere kostenoptimalisatie worden bereikt door toepassing van vlieg- of bodemas als cementvervanger.

Op basis van deze kostenschattingen zijn in 2012 de volgende conclusies getrokken:

1. de methode verdichten met mogelijke optimalisaties kan tot een besparing leiden van maximaal circa **55%** op de investeringskosten van de traditionele twee-laagse bestorting
2. de methode versterkt sediment met verhoogde productiesnelheid kan tot een besparing leiden van maximaal circa **40%** (laagdikte 0.5 m) of maximaal circa **10%** (laagdikte 0.75 m) op de investeringskosten van de traditionele twee-laagse bestorting
3. aangenomen mag worden dat beide methoden tot een besparing kunnen leiden op het gebruik van primaire bouwstoffen
4. aangenomen mag worden dat beide methoden tot een lagere CO_2-belasting kunnen leiden.

Bovengenoemde percentages zullen worden gehanteerd om te komen tot de mogelijke kostenbesparing op de investeringskosten van de twee-laagse bestorting.

c) Prijsindicatie bestortingen, zoals bij Deltares gehanteerd

De kostprijs van een conventionele oeververdediging bestaande uit een toplaag van gestorte steen op een filterlaag op een geotextiel (totaal 1000 kg/m^2) wordt door Deltares aangehouden op een bedrag in de orde van **50 €/m^2 excl. BTW** (zijnde de directe bouwkosten, dat wil zeggen leveren en aanbrengen gehele constructie inclusief filterconstructie). Hierin zijn niet opgenomen de kosten voor directievoering, ontwerp, etc.
Het maakt hierbij qua prijs niet veel uit wat de zwaarte van het bestortingsmateriaal zelf is. Grind is vrijwel even duur als zware breuksteen (materiaalkosten allemaal in de orde van 15 €/ton, dus exclusief vervoeren en aanbrengen). Het verschil is voornamelijk dat bij kleine sorteringen minder massa nodig is dan bij zwaardere bestortingen. In Nederland is bijvoorbeeld langs kanalen en meren een gebruikelijke sortering 10 - 60 kg en dan is ongeveer 1000 kg/m^2 nodig bij een laagdikte van 0,5 meter (= 2 keer de mediane diameter D50). In geval 2000 kg/m^2 nodig is, wordt door Deltares een kostprijs van **100 €/m^2 excl. BTW** aangehouden.

Bij een standaard oeverbescherming met een lengte van orde 10 meter en een kostprijs van 50 €/m^2 bedraagt de investering dus **500 €/m excl. BTW**. Bij een taludlengte van 30 meter dus **1500 €/m excl. BTW** (zie ook punt d) hierna).

d) Memo ‘Samenvattend memo kennisvragen’ aan ‘Deltaprogramma Rijnmond-Drechtsteden’, Deltares, kenmerk 1207032-000-VEB-0015, dd. 19 december 2012 (incl. bijlage ‘Erosie in getijrivieren/ instabiele waterkeringen dd. 15 oktober 2012) [1]

In deze memo [1] is aangegeven, dat de oplossing om alle onderwatertaluds in het Drechtsteden gebied te bestorten met breuksteen wordt geschat op 400 tot 500 M€. Dit is nog zonder suppletie van de in dit gebied voorkomende ontgrondingskuilen. Hierbij is uitgegaan van een bestorting met een laagdikte van 1 meter en een kostprijs van € 50/m^2 excl. BTW. Bij een te verdedigen onderwatertalud onder een steilheid van 1V:3H over een diepte van zeg circa 10 m, bedraagt de taludlengte zo’n 30 m. Voor een dijkversterking c.q. een oever bedraagt de kostprijs dan 30x50x1x1000:1000:1000= **1.5 M€/km excl. BTW**. Bij een totale strekking van 160 km wordt dus voor beide oevers een kapitaalsinvestering geschat van 160 x 2 x 1.5 = 400 tot 500 M€ excl. BTW.

In memo ‘Consequenties morfologische veranderingen NDB’, Deltares, kenmerk 1207828-002-VEB-0012, dd. 11 juni 2013 [2] is als aanvulling op [1] aangegeven dat bovengenoemde schatting van 400 tot 500 M€ excl. BTW bij de gegeven uitgangspunten op zich wel correct is. Wel zijn in [2] onder andere de volgende kanttekeningen geplaatst:

1. De mogelijke dijkinstabiliteit als gevolg van de ontgrondingen en de erosie van de rivierbodem kunnen ten dele worden verklaard vanuit dezelfde oorzaken, maar de problemen vragen om verschillende oplossingen.
2. Zonder ingrepen zal de grootschalige erosie in het Drechtsteden gebied doorgaan.
3. Een dijkverbeteringsmaatregel is geen oplossing voor de voortschrijdende erosie van de rivierbodem.
4. Een verdergaande erosie en dus verdieping van de ontgrondingskuilen zal er ook toe leiden dat de zoutindringing in de Oude Maas en aangrenzende riviertakken zal toenemen.
5. De vraag is of over de totale strekking van 160 km wel overal maatregelen (dijkverbetering en/ of erosiebescherming) nodig zijn.
6. Bij het dijkverbeteringswerk Dordtsche Kil is voorzien in een ‘falling apron’. Bij voortgaande erosie van de rivierbodem kan mogelijk blijken dat de falling apron onvoldoende is en dat aanvullende bestortingen nodig zijn. Eigenlijk is dan geen sprake van een duurzame, robuuste oplossing.
7. De kosten van het volledig vastleggen van de rivierbodem zijn niet verdisconteerd in voornoemde schatting van 400 tot 500 M€. Hierbij moet worden gedacht aan extra investeringen voor mitigerende maatregelen inzake de risico’s van het ontstaan van diepe ontgrondingskuilen door het doorbreken van dunne, afdekkende klei- en/ of veenlagen en het bloot komen liggen van rivierkruisende leidingen, kabels en tunnels. Daarnaast speelt de zoutindringing nog mee, hetgeen verdergaande kosten met zich meebrengt.

Gezien deze kanttekeningen wordt in het kader van onderhavige memo geadviseerd:

- om de omvang van de eventueel benodigde dijkversterkingen in het Drechtsteden gebied als gevolg van de te verwachten ontgrondingen nader te kwantificeren, en
- om de omvang van het erosieprobleem in het Drechtsteden gebied verder en nauwkeuriger te kwantificeren en daarbij ook andere gebieden in Nederland erbij te betrekken.

e) Prijsvergelijking oeververdediging Rotterdams havengebied

In 2010 heeft marktpartij A een grove prijsvergelijking gemaakt voor een oeverdediging in het Rotterdamse havengebied. De casus (nb. het project is niet uitgevoerd) betrof een 240 meter lang bovenwatertalud met een taludlengte van 16 meter. Vergeleken is een traditionele oplossing bestaande uit een kraagstuk met breuksteen 10 - 60 kg met een oplossing in versterkt sediment, waarbij beide oplossingen een dikte hebben van 50 cm. Bij de prijsvergelijking zijn de kosten voor het baggeren en het vervoeren van de specie buiten beschouwing gelaten. Veel werkzaamheden zijn bij beide oplossingen hetzelfde, bijvoorbeeld het profileren van de oever en het opschonen van het terrein, waardoor de kosten hiervan ook buiten beschouwing zijn gelaten. De prijsvergelijking had het volgende resultaat (prijspeil 2013):

Kraagstuk met breuksteen (excl. uitvullen talud)	€ 34,30/m^2 excl. BTW
Versterkt sediment (excl. receptuuronderzoek)	€ 29,40/m^2 excl. BTW[4]

Marktpartij A heeft hierbij een productiesnelheid van 480 m^3/dag voor het aanbrengen van het versterkt sediment aangehouden. Bij de prijs voor versterkt sediment is het voordeel dat geen stortkosten van het sediment aanwezig zijn verdisconteerd.

De genoemde prijzen zijn niet generiek geldig. Door de vele uitgangspunten en de gevolgde calculatiemethode kunnen deze prijzen niet worden gebruikt voor andere doeleinden c.q. projecten. De prijsvergelijking had uitsluitend als doel om een gelijkwaardig vergelijk te kunnen maken tussen beide oplossingen. Wel kan worden geconcludeerd dat voor deze casus versterkt sediment circa **15%** goedkoper kan zijn dan een kraagstuk met breuksteen, hetgeen een verdere onderbouwing geeft van het financieel perspectief van versterkt sediment.

[4] Daarbij heeft Deltares de door marktpartij A gegeven mengkosten voor het versterkt sediment aangepast.

Afschatting ‘generieke richtprijs’ bestorting als maatregel tegen zettingsvloeiing

In het ‘Deskundigenoverleg methoden verdichten en versterkt sediment’ van 20 maart 2013 is geconcludeerd dat de vraag of een één-laagse dan wel een twee-laagse bestorting kan worden toegepast niet goed te beantwoorden is. Dit hangt vooral af van het ontwerp, de stroomsnelheden en de beschikbaarheid van materiaal. Of een kostenindicatie van een één-laagse bestorting (ook) gemakkelijk is te vergelijken met de thans bekende kostenschattingen van de innovatieve methoden is de vraag.

Bij alle oplossingen spelen veel factoren mee, zoals grootte van het werk, wijze van uitvoeren, logistiek, werken tijdens getijde en/ of hoge of lage stroming, materiaaltoepassing, profiel (nb. bijvoorbeeld de lengte van het te beschermen beloop!), benodigde hoeveelheid materiaal voor uitvullen talud, ontwerp dijkversterking, aanwezigheid van kabels en leidingen, mogelijke obstakels in de ondergrond etcetera.

Het grootste deel van de primaire waterkeringen die thans afgekeurd zijn op Zettingsvloeiing ligt in de zuidwestelijke Delta. In die zin is het in 2010 uitgevoerde bestortingswerk in de Dordtsche Kil een goede referentie voor de te nemen maatregelen. Hier werd een twee-laagse bestorting (zijnde een geometrisch open filter op zand gevormd door een filterlaag en een bestortingslaag) ter voorkoming van uitspoeling van zand aangehouden. Echter het totaal aantal m^2 dan wel de totale lengte van het te beschermen beloop in de zuidwestelijke Delta is niet bekend. Zoals hiervoor reeds is aangegeven, bedraagt de gemiddelde lengte van het te beschermen beloop van de twee principedoorsneden van de Dordtsche Kil (zoals ook gehanteerd bij de in 2012 uitgevoerde kostenstudie [3]) zo’n 25 meter, met een dikte van de totale constructie variërend van circa 1 tot 2,5 meter. Dit laatste getal geeft aan dat ook veel uitvul- c.q. filtermateriaal moest worden gebruikt om het talud onder 1:3 te kunnen opbouwen.

Gezien de hierboven genoemde factoren en dergelijke is - ondanks de beschreven prijsinfomaties - een ‘generieke richtprijs’ voor een bestortingsmaatregel tegen zettingsvloeiing dus niet goed af te schatten. De beste referentie is het bestortingswerk in de Dordtsche Kil, dat een prijs had van 2.0 M€/km excl. BTW (prijspeil 2013). Mede rekening houdend met mogelijke toekomstige prijsstijgingen wordt daarom geadviseerd een ‘generieke richtprijs’ voor een twee-laagse bestorting aan te houden van **2.5 M€/km excl. BTW** (prijspeil 2013) **met een bandbreedte van -/- 50 % à +/+ 25 %.** In het geval van de Dordtsche Kil komt dit dan neer op een kostprijs van 100 €/m^2 excl. BTW (prijspeil 2013). De afschatting -/- 50 % is hierbij ingegeven dat sprake kan zijn van een werk met een één-laagse bestorting en weinig uitvullen en de afschatting +/+ 25 % dat sprake kan zijn van een werk met een twee-laagse bestorting, veel uitvullen en een lang te verdedigen talud.

Afschatting ‘generieke richtprijs’ bestorting als maatregel tegen erosie

Zoals onder punt 4 beschreven beslaat een eventuele erosiemaatregel in het Drechtsteden gebied een lengte van 160 km. Daarbij is enerzijds de vraag aangetekend of hier over de totale strekking van 160 km wel overal maatregelen nodig zijn en anderzijds dat in den lande veel meer erosieproblemen voorkomen. De erosiemaatregel beslaat over de volle 160 km en over de volle rivierbodem van de riviertakken in het Drechtsteden gebied - grof geschat - een oppervlakte van 38.400.000 m^2.
Bekend is dat ontgrondingskuilen in het Drechtsteden gebied met name in het noordwestelijk gelegen deel van de Oude Maas voorkomen. Daarnaast zal niet overal de op het zandpakket liggende klei- en/ of veenlaag zijn doorbroken dan wel nog voldoende dikte hebben. Daarom

wordt - voor de gedachtebepaling - voorgesteld om van de bovengenoemde oppervlakte 30% dus **11.500.000 m^2** aan te houden voor een eventuele erosiemaatregel op de bodem van de riviertakken in het Drechtsteden gebied.
Zoals reeds eerder aangegeven wordt geadviseerd om de omvang van het erosieprobleem verder en nauwkeuriger te kwantificeren door ook andere gebieden dan het Drechtsteden gebied erbij te betrekken.

Bij de rivierbeheerder RWS Directie Zuid Holland (informatie Arjan Sieben) bestaan plannen om de ontgrondingskuilen te suppleren, waarbij onder andere één van de ideeën is om dit ook met behulp van versterkt sediment te doen in de vorm van in eerste instantie een praktijkproef. In [6] is aangegeven dit te doen door een ontgrondingskuil eerst te suppleren met sediment uit nabijgelegen ondiepten en de kuil vervolgens af te dekken met een laag versterkt sediment van 0.75 meter dikte (hierna zal voor de bepaling van de kostenbesparingen ook een dikte van 0.5 meter worden meegenomen). Deze afdekking kan ook gebeuren met bijvoorbeeld een twee-laagse bestorting (geometrisch open filter bestaande uit een filterlaag met hierop stortsteen). Er wordt vanuit gegaan dat zowel het versterkt sediment als de bestorting vanuit een koker zal worden aangebracht. De kostprijs voor deze bestorting wordt (krap) geschat op **€ 50/m^2 excl. BTW** met een bandbreedte van +/- 25%. Overeenkomstig voornoemd punt 5b) wordt ervan uitgegaan dat met de laag versterkt sediment een kostenbesparing kan worden bereikt van minimaal 10% (laagdikte 0.75 meter) en circa 40% (laagdikte 0.50 meter). Bij deze prijzen zijn het baggeren, vervoeren en suppleren van het sediment uit nabijgelegen ondiepten niet verdisconteerd, alsmede ook geen eventueel prijsvoordeel doordat bijvoorbeeld stortkosten van het te gebruiken (verontreinigd?) sediment uit nabijgelegen diepten worden vermeden. Dit betekent dat grofweg genomen het er niet toe doet of er een ontgrondingskuil aanwezig is in de rivierbodem en dat de schematisatie in die zin het afdekken van **11.500.000 m^2** rivierbodem in het Drechtsteden gebied betreft.

<u>De kostenbesparing</u>
Op basis van het in punt 4 gegeven marktvolume, de hiervoor genoemde ‘generieke richtprijzen’ van 2.5 M€/km excl. BTW (-/- 50 % à +/+ 25 %) voor een twee-laagse bestortingsmaatregel tegen zettingsvloeiing en van € 50/m^2 excl. BTW (+/- 25%) voor een twee-laagse bestortingsmaatregel tegen erosie en de in punt 5 b) gegeven ‘besparingspercentages’ voor de innovatieve methoden kunnen nu de kapitaalsinvesteringen voor de bestortings- en innovatieve maatregelen als ook de mogelijke kostenbesparingen worden afgeleid (alle bedragen excl. BTW en op prijspeil 2013).

De bandbreedten voor de kapitaalsinvesteringen zijn hierbij als volgt:

Kapitaalsinvesteringen voor een maatregel tegen zettingsvloeiing:

- Bestorting — minimaal 200 km tegen 2.5 M€/km -/- 50%
  maximaal 305 km tegen 2.5 M€/km +/+ 25%
- Versterkt sediment (dik 0.5 m) — 60% van de investering van bestorting
- Versterkt sediment (dik 0.75 m) — 90% van de investering van bestorting
- Verdichten — 45% van de investering van bestorting

Kapitaalsinvesteringen voor een maatregel tegen erosie:

- Bestorting — minimaal 11.500.000 m^2 tegen € 50/m^2 -/- 25%
  maximaal 11.500.000 m^2 tegen € 50/m^2 +/+ 25%
- Versterkt sediment (dik 0.50 m) — 60% van de investering van bestorting
- Versterkt sediment (dik 0.75 m) — 90% van de investering van bestorting

Dit geeft het volgende beeld (alle getallen afgerond op tientallen euro's):

Kapitaalsinvestering als maatregel tegen zettingsvloeiing:	*Min. [M€]*	*Max. [M€]*
Twee-laagse bestortingsmaatregel (200 - 305 km)	250	950
Verdichten met mogelijke optimalisaties	110	430
Versterkt sediment (dik 0.5 m) met verhoogde productiesnelheid	150	570
Versterkt sediment (dik 0.75 m) met verhoogde productiesnelheid	230	860
Kostenbesparing als maatregel tegen zettingsvloeiing:		
Verdichten met mogelijke optimalisaties	140	520
Versterkt sediment (dik 0.5 m) met verhoogde productiesnelheid	100	380
Versterkt sediment (dik 0.75 m) met verhoogde productiesnelheid	30	100
Kapitaalsinvestering als erosie-maatregel in het Drechtsteden gebied:		
Twee-laagse bestortingsmaatregel	430	720
Versterkt sediment (dik 0.5 m) met verhoogde productiesnelheid	260	430
Versterkt sediment (dik 0.75 m) met verhoogde productiesnelheid	390	650
Kostenbesparing als erosie-maatregel in het Drechtsteden gebied:		
Versterkt sediment (dik 0.5 m) met verhoogde productiesnelheid	170	290
Versterkt sediment (dik 0.75 m) met verhoogde productiesnelheid	40	70

De te behalen binnenlandse kostenbesparingen voor zettingsvloeiing zijn dus als volgt:
Voor verdichten met mogelijke optimalisaties als maatregel tegen zettingsvloeiing **140 - 520 M€** op een 'traditionele kapitaalsinvestering' van 250 - 950 M€.

Voor versterkt sediment (dik 0.5 m) met verhoogde productiesnelheid als maatregel tegen zettingsvloeiing **100 - 380 M€** op een 'traditionele kapitaalsinvestering' van 250 - 950 M€.

Voor versterkt sediment (dik 0.75 m) met verhoogde productiesnelheid als maatregel tegen zettingsvloeiing **30 - 100 M€** op een 'traditionele kapitaalsinvestering' van 250 - 950 M€.

De te behalen binnenlandse kostenbesparingen voor erosiemaatregel zijn dus als volgt:
Voor versterkt sediment (dik 0.5 m) met verhoogde productiesnelheid als erosie-maatregel in het Drechtsteden gebied **170 - 290 M€** op een 'traditionele kapitaalsinvestering' van 430 - 720 M€.

Voor versterkt sediment (dik 0.75 m) met verhoogde productiesnelheid als 'erosie-maatregel' in het Drechtsteden gebied **40 - 70 M€** op een 'traditionele kapitaalsinvestering' van 430 - 720 M€.

De gegeven kostenbesparingen gelden over de levensduur van de maatregelen (tot weer onderhoud zal moeten plaatsvinden dan wel weer een dijkverbetering nodig is die ook ingrijpt in de maatregel). Deze levensduur zal van locatie tot locatie verschillen, maar in zijn algemeenheid mag worden uitgegaan van een periode van circa 20 tot 30 jaar voor onderhoud en 50 jaar voor weer een dijkverbetering.

Gezien de vele in deze memo beschreven uitgangspunten en meespelende factoren zijn de gegeven kostenbesparingen niet hard. Zij geven wel de potentie van de mogelijke oplossingsrichtingen aan.

Het buitenlands marktvolume voor maatregelen tegen zettingsvloeiing en reguliere bestortingen (als erosie-maatregel) is niet bekend en daarmee ook niet de mogelijke kostenbesparingen hiervoor.

Punt 6: Globale begroting generieke kennisvragen.

In [3] zijn naar aanleiding van de in 2012 met de sector gehouden brainstormsessie de volgende generieke kennisvragen vastgesteld:

Generieke vragen verdichten:

1. Risico dat verdichten op een onderwaterdijktalud een zettingsvloeiing initieert?
2. Invloedsgebied trillingen (met het oog op schade aan gebouwen, omgeving, e.d.)?
3. Risico erosie/bresvloeiing onderwatertalud (de bovenste ca. 1,5 meter van het natuurlijke zand kan niet worden verdicht)? Is dat erg als het onderliggende zand niet meer zettingsvloeiingsgevoelig is en de dijkveiligheid dus niet meer in het geding is?
4. Duurzaamheid verdicht zand? Wordt het zand te zijner tijd weer losser?
5. Hoe is de erosiebestendigheid van verdicht zand?

Generieke vragen versterkt sediment:

6. Onder welke hellingshoek kan versterkt sediment onderwater worden aangebracht?
7. Duurzaamheid versterkt sediment (o.a. erosiebestendigheid, chemische binding)?

In het navolgende wordt op deze vragen ingegaan en wordt waar nodig een globale kostenschatting[5] voor de beantwoording van deze vragen gegeven.

Ad 1 Risico dat verdichten op een onderwaterdijktalud een zettingsvloeiing initieert?
Ad 2 Invloedsgebied trillingen?
Tijdens de in 2012 gehouden brainstormsessie [3] heeft Keller Funderingstechnieken bv aangegeven dat op basis van uitgevoerde verdichtingswerken gesteld kan worden dat het invloedsgebied van de trillingen c.q. het verdichten maximaal 5 meter is. Het heeft thans geen nut om hiernaar verder onderzoek te doen, bijvoorbeeld door het uitvoeren van laboratorium-experimenten, omdat hierbij de 3D-randvoorwaarden niet goed kunnen worden verschaald: de randeffecten zullen in dergelijke experimenten verstorend zijn. Het beste is om deze vragen te laten beantwoorden tijdens de uitvoering van een praktijkproef, al dan niet als onderdeel van een dijkversterkingswerk.

De grove kostenbegroting van een praktijkproef voor een dijkstrekking van 100 meter met een vanaf het water te verdichten zandlaag van 5 meter dik (onder een 20 meter lang dijktalud) in een stramienmaat van h.o.h. 3 meter, inclusief grondonderzoek, bedraagt **200 k€**

[5] Alle hierna genoemde kosten zijn slechts grof geschat, waaraan dus geen gedetailleerde kostenberekeningen ten grondslag hebben gelegen. Gemeend is dat dit voldoende is voor de bepaling van de richting in vergelijking tot de in deze memo aangegeven schattingen over de mogelijke kostenbesparing van de innovatieve maatregelen tegen zettingsvloeiing.

Indien de praktijkproef onderdeel is van een dijkversterkingswerk zijn de meer- of minderkosten onder aanname dat de maatregel functioneert **0 k€**

Ad 3 Risico erosie/bresvloeiing onderwatertalud?
De bovenste circa 1,5 meter van het natuurlijke zand kan niet worden verdicht. Reeds bij geringe stroming zal het zand eroderen. Nagegaan dient te worden wat de erosie-diepte wordt. Ook bij een grotere erosie-diepte dan 1,5 meter kan het onderliggende en wel verdichte en dus niet meer zettingsvloeiingsgevoelige zand eroderen met als uiteindelijk gevolg (het risico op) een bresvloeiing. Een en ander kan vooral spelen in de buitenbochten van rivieren. Daarnaast kunnen boven het zand liggende kleilagen, die minder erosie-gevoelig zijn, ondermijnd worden en uiteindelijk afkalven.
Met andere woorden nagegaan moet worden of de dijkveiligheid in gevaar kan komen door erosie-processen. Hiertoe zal de methode van expert-judgement worden gevolgd, door diverse experts (op het gebied van de bodemmorfologie en geotechniek) te consulteren. Met behulp van (empirische) rekenmodellen kan bepaald worden wat de erosie(diepte) is als functie van de tijd.

Een en ander speelt minder in de binnenbochten van rivieren en daar waar de verdichte zandlagen zijn afgedekt door kleilagen[6].

De kosten van de expert-judgement, inclusief globale berekeningen, bedraagt **20 k€**

Ad 4 Duurzaamheid verdicht zand?
De vraag doet zich voor of het verdichte zand met de tijd weer losser wordt. Naar informatie van Keller Funderingstechnieken bv wordt in de tijd gezien het verdichte zand niet losser: als zand eenmaal verdicht is blijft het in deze toestand.
Daarnaast kan gesteld worden dat gedurende de levensduur van het werk, gesteld op 50 jaar exclusief onderhoud, zo er ter plaatse geen eerdere dijkingrepen gebeuren, geen aanleiding is om te veronderstellen dat het verdichte zand weer losser wordt. Gedurende hoog water zullen de waterspanningen in het zand toenemen en na val van het water zullen deze spanningen weer afnemen tot de gebruikelijke waarden in dagelijkse omstandigheden. Dit is een normaal proces hetgeen ook gebeurt als het zand niet verdicht is, met dien verstande dat het nu gaat over verdicht zand, dat niet meer zettingsvloeiingsgevoelig is. Daarnaast kan gesteld worden dat het verdichte zand is ‘ingepakt’ tussen de diverse bodemlagen. Alleen voornoemde erosie-processen kunnen optreden.
Ook zettingen van de ondergrond kunnen aanleiding geven tot het mogelijk losser worden van het verdichte zand. Echter, de eventuele zakking van de verdichte zandlaag gebeurt in het pakket als geheel en niet te verwachten is dat zich hierin op korte afstanden dermate grote verschilzettingen voordoen die aanleiding geven tot het losser worden van het verdichte zand. Mogelijke niet vooraf voorziene ontgrondingen in de rivierbodem al dan niet tussen kribben, die zich (verder) buiten het verdichte werk afspelen, kunnen evenwel wel aanleiding geven tot grote vervormingen. Dit geldt echter voor elke waterkering. Hiermee dient dus bij elke waterkering rekening te worden gehouden, hetgeen inhoudt dat de verantwoordelijke rivierbeheerder voor zijn rivier en het verantwoordelijk waterschap/ hoogheemraadschap voor zijn waterkering door middel van gegevensuitwisseling (in het bijzonder de periodieke peilingen van de rivierbodem en onderwatertaluds) een vinger aan de pols moet houden. In dit verband wordt bijvoorbeeld verwezen naar de in deze memo beschreven ontgrondingsproblematiek in het Drechtsteden-gebied.

[6] Zie bijvoorbeeld de Hondsbossche Zeewering

Concluderend kan worden gesteld dat er geen aanleidingen zijn om te veronderstellen dat het verdichte zand in de tijd gezien losser wordt. Wel dient voornoemde gegevensuitwisseling te gebeuren. Nader onderzoek naar het losser worden van verdicht zand is dan ook niet noodzakelijk. Vanuit kennis-oogpunt kan eventueel wel worden overwogen om een aantal jaren na de uitvoering van een verdichtingswerk nog eens een aantal controle-sonderingen te laten maken.

De kosten voor beantwoording van deze vraag zijn dus **0 k€**

Ad 5 Hoe is de erosiebestendigheid van verdicht zand?
Reeds bij geringe stromingen kan verdicht zand eroderen. Hiervoor wordt verwezen naar ad 3 hiervoor.

Ad 6 Onder welke hellingshoek kan versterkt sediment onderwater worden aangebracht?
Tijdens de in 2012 met de sector gehouden brainstormsessie [3] is geconcludeerd dat vele uitvoeringstechnische zaken door marktpartijen kunnen worden opgepakt. Echter er bestaat nog geen voldoende ervaring met het aanbrengen van versterkt sediment op relatief gezien grote waterdiepte en op een onderwatertalud (alsmede niet onder stroming (zie kennisvraag punt 7)). Zo zijn alleen de volgende ervaringen bekend:

- ✓ In 2007 is een laboratorium-experiment [7] uitgevoerd waarbij in een bak met water een zandtalud met een helling onder 1:3 is opgebouwd waarop onder water een laag versterkt sediment met succes is aangebracht. Van dit experiment is een video opgenomen.
- ✓ In 2011 is een praktijkproef in de haven van Hoedekenskerke uitgevoerd [8, 9]. Hier is een horizontale laag versterkt sediment juist onderwater aangebracht. Verder zijn wel een aantal kleine (bijkomende) experimenten uitgevoerd om het versterkt sediment enigszins onder een helling aan te brengen, maar de kleine schaal waarop dit gebeurde is vandien aard geweest dat hieraan geen conclusies kunnen worden verbonden. Ook van deze proef is een video opgenomen, zie

  http://www.youtube.com/watch?v=RS9a084U6XM

Er zijn drie manieren om meer kennis over deze vraag te verkrijgen:

1. Het uitvoeren van een laboratorium-experiment op grotere schaal dan in [7] uitgevoerd, bijvoorbeeld in de deltagoot. De kosten hiervan worden geschat op **300 - 500 k€**
2. Het uitvoeren van een praktijkproef. De kosten hiervan worden geschat op **300 - 500 k€**
3. Indien de praktijkproef onderdeel is van een dijkversterkingswerk zijn de meer- of minderkosten onder aanname dat de maatregel functioneert **0 k€**

Hierbij moet gesteld worden, dat dergelijke experimenten/ proeven slechts betrekking hebben op het uittesten van hooguit een paar recepturen versterkt sediment. Met de tijd gezien zal de benodigde kennis echter worden verkregen door het uitvoeren van meerdere werken, mits versterkt sediment kosteneffectief blijkt te zijn en uitvoerings-technisch gezien zonder problemen kan worden aangebracht.

Vooralsnog mag ervan worden uitgegaan dat versterkt sediment kan worden aangebracht onder een hellingshoek van 1:3. Hierbij kan worden aangetekend, dat zo nodig ook

bijvoorbeeld geotextiele elementen (geotubes of gelijkwaardig) en stortsteen als taludbegrenzing kunnen worden gebruikt om gestaffeld op hoogte te komen. Vooral bij werken van grotere omvang (bijvoorbeeld brede onderwaterbermen, landuitbreiding, eilanden) kunnen ontwerp- en kostenoptimalisaties (ook door een goedkopere receptuur voor het versterkt sediment) worden bereikt. Indien stortsteen als begrenzing wordt gebruikt, kunnen tevens ecologische voordelen worden behaald, doordat een leefomgeving voor vissen en dergelijke wordt verkregen (dit in tegenstelling tot versterkt sediment).

Ad 7 Duurzaamheid versterkt sediment?

Versterkt sediment moet gedurende de levensduur van een werk zijn functie behouden, waarbij de milieu-hygiënische en civiel-technische eigenschappen (zoals bijvoorbeeld sterkte, stijfheid, samendrukbaarheid en doorlatendheid) in de tijd gezien niet achteruit mogen gaan. In [10] is aangegeven, dat gedacht kan worden aan de volgende duurzaamheidsaspecten:

- ✓ zoet - zout aspecten
- ✓ nat - droog aspecten
- ✓ krimp - zwel aspecten
- ✓ vorst - dooi aspecten
- ✓ cyclische belasting
- ✓ erosie
- ✓ verwering/ oxidatie (met name in geval van venig ingangssediment).

Daarnaast wordt tegenwoordig ook aandacht gegeven aan de levenscyclus van een product, waarbij hergebruik ervan als een belangrijk duurzaamheidsaspect wordt gezien (het ‘cradle-to-cradle’ concept).

Er is nog niet veel bekend over het gedrag van versterkt sediment op lange termijn, dat is inherent aan een nieuw materiaal. Zo is het bijvoorbeeld niet bekend hoe het materiaal reageert op weersinvloeden als vorst/dooi of verdroging, bijvoorbeeld met het oog op krimp, scheurvorming en zwel, waarbij zelfhelende eigenschappen, die bij klei verondersteld worden, als belangrijk worden gezien. Wel is het volgende bekend:

1. Tot nu zijn de afgelopen vijf jaar reeds meer dan vijftien receptuuronderzoeken uitgevoerd voor diverse toepassingen zoals voor boezemkaden, hoofdwaterkeringen, onderwatertoepassingen, wegen en een grondverbetering onder water, alsmede een laboratorium-experiment onder water [7] en twee praktijkproeven, een te Beesd (uitgevoerd in 2005, voor rijksweg A2 als aardenbaan, uitgevoerd in het kader van het RWS-programma ‘Wegen naar de toekomst’) en een te Hoedekenskerke [8]. Bij al deze onderzoeken/ proeven zijn recepturen verkregen die beantwoordden aan de gestelde functionele eisen. Voor een receptuuronderzoek met als ingangsmateriaal een filtercake uit een grond-was-installatie (gestationeerd in Canada) is zelfs een sterkte van het versterkt sediment, met als bindmateriaal een geopolymeer, bereikt van meer dan 30 MPa [13]. Afhankelijk van de toepassing zijn sterkten van het versterkt sediment bereikt tussen de circa 200 kPa en meer dan 30 MPa. Van enkele recepturen zijn doorlatendheden vastgesteld kleiner dan 10^{-8} à 10^{-9} m/sec en samendrukkingsparameters die liggen tussen die van stijve klei en zand. In de praktijkproef Hoedekenskerke [8] is aangetoond dat de sterkte van het gemaakte versterkt sediment zes maanden na de uitvoering niet achteruit is gegaan. Op basis van alle onderzoeken kan worden geconcludeerd dat - afhankelijk van de gewenste toepassing - van bagger c.q. een ingangssediment een klei- dan wel steenachtige bouwstof kan worden gemaakt.

2. In [11] is vooruitlopend op de praktijkproef Hoedekenskerke een receptuuronderzoek gerapporteerd, waarin een experiment is beschreven waarbij in een bak een plaat versterkt sediment onder water onder een flauwe helling is aangebracht. De plaat is gedurende het onderzoek elke dag geïnspecteerd op krimpscheuren. Deze zijn gedurende de eerste weken niet waargenomen. Hierna is het water op de plaat verwijderd. De bak heeft hierna 3,5 jaar op een kamer droog gestaan, in de wintertijd ook onder een verwarming, waardoor het versterkt sediment is uitgedroogd. Tijdens die periode zijn slechts minieme krimpscheuren in het versterkt sediment waargenomen. Een foto van de bak met de plaat is hieronder opgenomen.

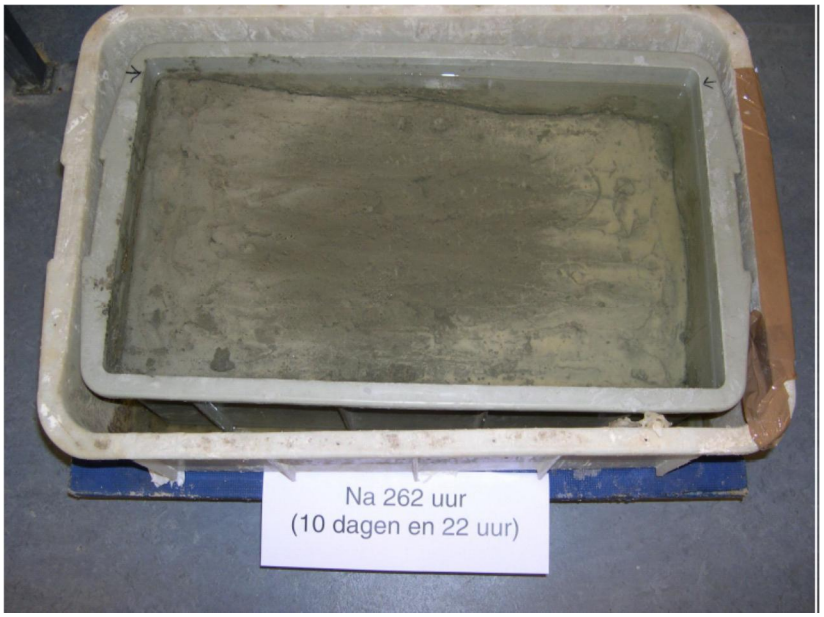
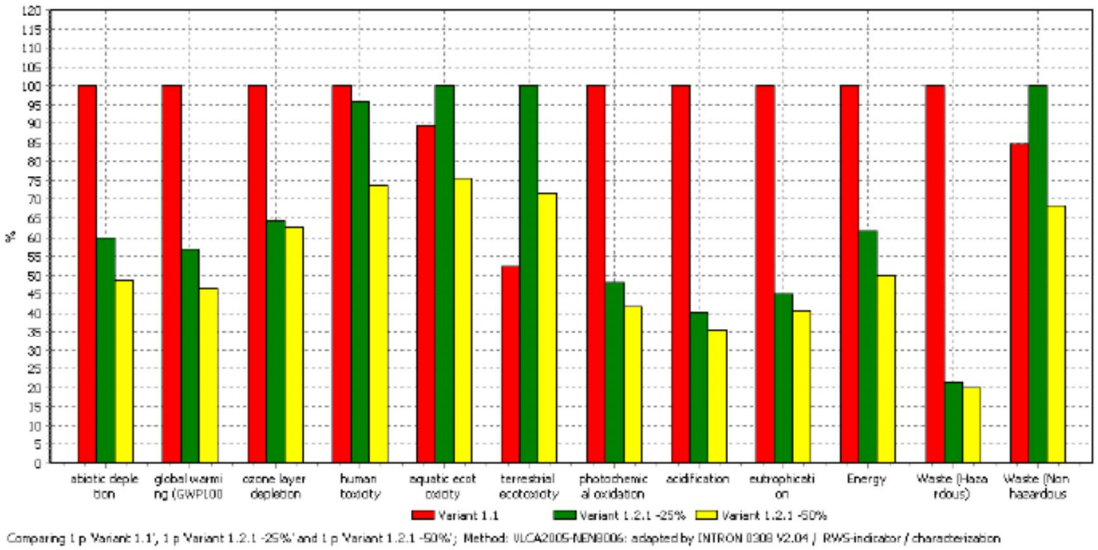


Foto 1: Bak met plaat versterkt sediment zonder water erop in november 2009

3. In [11] en [12] zijn met succes recepturen versterkt sediment gemaakt met zout sediment als ingangssediment. Alle andere receptuuronderzoeken zijn uitgevoerd met zoet sediment als ingangssediment. Op basis van de resultaten van alle onderzoeken tot nu kan worden gesteld dat van elk ingangssediment (van zoet tot zout en met een hoog organisch stofgehalte tot zeer zandig) versterkt sediment kan worden gemaakt, dat kan beantwoorden aan de gestelde functionele c.q. civiel-technische eisen.
4. Versterkt sediment als bouwstof moet voldoen aan het Besluit bodemkwaliteit en aan de Waterwet. Na de engineering van het recept, dat beantwoordt aan de gestelde civiel-technische eisen, vindt standaard een bouwstoffenkeuring van de ontwikkelde receptuur plaats. Op basis van de resultaten van alle receptuuronderzoeken tot nu kan worden gesteld dat elk ontwikkeld versterkt sediment beantwoordt aan de milieu-hygiënische eisen qua uitloogkarakteristieken en samenstellingswaarden[7].
5. In 2008/2009 is een levenscyclus analyse (LCA) uitgevoerd voor twee toepassingen van versterkt sediment, een als bouwstof voor boezemkaden ter vervanging van klei en een als bouwstof voor een onderwaterbescherming ter vervanging van stortsteen [14]. Voor onderhavige studie is de laatste toepassing relevant. Hierbij is als uitgangspunt genomen,

[7] Hierbij dient te worden aangetekend dat versterkt sediment een koud chemisch immobilisaat is. Dit betekent ook dat in principe van verontreinigde ingangssedimenten versterkt sediment kan worden gemaakt. Verder dient te worden aangetekend dat de toeslagstoffen cement en waterglas geaccepteerde bouwstoffen zijn.

dat het versterkt sediment een volwaardige bouwstof is en zijn de LCA-waarden ten opzichte van stortsteen bepaald op basis van een Ruimte voor de Rivier maatregel. Dit is gebeurd door diverse experts uit de sector. De resultaten van de LCA geven aan dat versterkt sediment beter scoort dan stortsteen en als voorbeeld een lagere CO_2-uitstoot heeft. Daarnaast dat versterkt sediment aan het einde van de levensduur van een werk kan worden hergebruikt. Onderstaande illustraties (figuur 3 en tabel 2) zijn rechtstreeks uit [14] overgenomen en vatten de resultaten van de LCA voor wat betreft de vergelijking tussen versterkt sediment en stortsteen samen.



Figuur 3 Het milieuprofiel van de rivieroever en –bodembescherming met variant 1.1 stortsteen, Versterkte baggerspecie variant 1.2.1. met 25% minder bindmiddel en CEM III/C vs. variant 1.2.1. met 50% minder bindmiddel en CEM III/C

Tabel 2 De RWS-indicator en CO_2-prestatie voor variant 1.1 en de verbeterde varianten 1.2.1

	Variant 1.1		Variant 1.2.1 CEM III/C -25%		Variant 1.2.1 CEM III/C -50%	
RWS-indicator	14,72	100%	8,74	59%	7,16	49%
kg CO_2-eq	124	100%	71	57%	58	47%

Rijkswaterstaat heeft op basis van de CML-2 methode (CML = Centrum voor Milieukunde Leiden) de RWS-indicator laten ontwikkelen, waarmee het milieuprofiel in één indicatorscore wordt uitgedrukt. Om tot een enkelvoudige indicator voor milieubelasting te komen is het wegen en samenvoegen van de scores op de (toentertijd tijdens de Intron-studie) tien gebruikte effectcategorieën noodzakelijk. Hiertoe staat een aantal opties ter beschikking. Voor de RWS-indicator wordt één van die opties gebruikt: de schaduwprijsmethodiek. De schaduwprijs is het voor de overheid hoogste toelaatbare kostenniveau per eenheid emissiebestrijding. Bij de bepaling van de RWS-indicator worden de scores uit het gekarakteriseerde CML-2 milieuprofiel gewogen. De optelsom van de gewogen scores leidt tot de RWS-indicatorscore. Deze wordt uitgedrukt in Euro's. Het betreft overigens algemene milieukosten, geen projectspecifieke milieukosten.

Uiteindelijk te onderzoeken duurzaamheidsaspecten versterkt sediment
Voor de onderhavige toepassing - versterkt sediment in een onderwatertoepassing als maatregel tegen zettingsvloeiing - waarbij de bouwstof uiteindelijk steenachtig dient te zijn, zijn de aspecten vorst - dooi, nat - droog, krimp - zwel en verwering/oxidatie niet relevant. De aspecten cyclische belasting en erosie, door stroming en golfaanval, zijn daarentegen zeer relevant. Mede gezien de hiervoor beschreven kennis, dient dus te worden gefocussed op de aspecten cyclische belasting en erosie.

In 2009 is een verkennend onderzoek uitgevoerd naar erosiebestendigheid van versterkt sediment onder stroming [15]. Hierbij zijn vier verschillende recepturen versterkt sediment, met als bindmiddelen vliegas en cement en met oplopende sterkte, gedurende zes uren met oplopende stroomsnelheden tot 3 m/sec. in een roto-erosiemeter onderzocht op hun erosiegedrag. Alle monsters bleken uitzonderlijk erosiebestendig te zijn en vertoonden een verwaarloosbare erosie bij de gangbare stroomsnelheden van 0 tot 2 m/sec. in de Nederlandse watergangen. Deze eerste verkenning geeft daarom een positief beeld over de erosiebestendigheid van versterkt sediment onder stroming. Bij dit verkennend onderzoek is evenwel gebruik gemaakt van korte duur proeven, zodat ook nog lange duur proeven moeten worden uitgevoerd om het erosiegedrag onder stroming te valideren.
Bij dit verkennend onderzoek is golfaanval echter niet onderzocht. Indien versterkt sediment ook rond de waterlijn wordt overwogen, zal tevens onderzoek naar het erosiegedrag onder golfwerking nodig zijn.

Er zijn drie manieren om meer kennis over het lange termijn erosiegedrag onder stroming en eventueel ook onder golfwerking te verkrijgen:

1. Het uitvoeren van een laboratorium-experiment op grotere schaal dan in [15] uitgevoerd, bijvoorbeeld in de deltagoot en/ of in een stroomgoot. De kosten hiervan worden geschat op 300 - 500 k€. Dit kan worden gecombineerd met het onderzoek zoals genoemd onder ad 6 hiervoor (de bepaling onder welke hellingshoek versterkt sediment onderwater kan worden aangebracht). In dat geval zijn de onderzoekskosten **0 k€**
2. Het uitvoeren van een praktijkproef. De kosten hiervan worden geschat op 300 - 500 k€. Ook hier kan worden gecombineerd met het onderzoek zoals genoemd onder ad 6 hiervoor. In dat geval zijn de onderzoekskosten **0 k€**
3. Indien de praktijkproef onderdeel is van een dijkversterkingswerk zijn de meer- of minderkosten onder aanname dat de maatregel functioneert **0 k€**

Hierbij moet gesteld worden, dat dergelijke experimenten/ proeven slechts betrekking hebben op het uittesten van hooguit een paar recepturen versterkt sediment. Met de tijd gezien zal de benodigde kennis echter worden verkregen door het uitvoeren van meerdere werken, mits versterkt sediment kosteneffectief en erosiebestendig blijkt te zijn en uitvoerings-technisch gezien zonder problemen kan worden aangebracht. Bij uitvoering onder stromingscondities dienen dan wel maatregelen te worden genomen om ontmenging van waterglas tegen te gaan. In dat geval kan het aanbrengen van het versterkt sediment wellicht het beste vanuit een stalen koker gebeuren welke juist boven de onderwaterbodem hangt (vergelijk het op diepte storten van stortsteen om het risico van ongewenste trillingen die een zettingsvloeiing kunnen genereren te minimaliseren).

Voor wat betreft golfaanval is het thans een veilige benadering om ervan uit te gaan dat het versterkt sediment tot juist onder de LLW-stand wordt aangebracht met hierboven stortsteen.

Dit neemt niet weg dat bij een praktijkproef ook een gedeelte van het versterkt sediment boven de LLW-stand kan worden aangebracht, opdat kennis over het gedrag van versterkt sediment onder golfaanval kan worden opgedaan. Het beste is dan dit te doen in een dijkgedeelte waar de golfaanval c.q. cyclische belasting minder hevig is. Wel dienen dan ook duurzaamheidsaspecten als vorst - dooi, nat - droog en krimp - zwel te worden beoordeeld, alsmede de weerstand tegen ijsbelasting.

Chemische binding op langere termijn
Voor wat betreft de beoordeling van de duurzaamheidsaspecten van versterkt sediment is nog een aspect niet genoemd: de chemische binding op langere termijn. Versterkt sediment in de beoogde onderwatertoepassing is een steenachtige bouwstof en kan in die zin worden vergeleken met (colloïdaal) beton. Hoewel aan dit bindingsgedrag niet wordt getwijfeld, is nog geen kennis aanwezig over de langere termijn hiervan. Wel is door TNO in het kader van de voornoemde praktijkproef bij Beesd een eerste verkennend onderzoek naar dit bindingsgedrag uitgevoerd met als resultaat dat aangenomen mag worden dat er bindingsgedrag aanwezig is. Gezien het oriënterend karakter van dit onderzoek is evenwel vervolgonderzoek nodig om tot een definitieve uitspraak te kunnen komen. De vervolgkosten naar het chemisch bindingsgedrag worden geschat op **75 k€**
Uitgangspunt hierbij is dat dit onderzoek in combinatie met een praktijkproef gebeurd, omdat hierbij monsters beschikbaar komen.

Samenvatting en conclusies beantwoorden generieke kennisvragen
Resumerend zijn de volgende kostenschattingen gegeven voor de beantwoording van de generieke kennisvragen, onderverdeeld in de manier waarop het onderzoek wordt aangepakt (zie tabel 3):

Maatregel	Onderzoek	Praktijkproef	Dijkversterkingswerk
Verdichten			
Ad 1 Risico zettingsvloeiing	geen nut	200	0
Ad 2 Invloed trillingen	zie ad 1	zie ad 1	0
Ad 3 Risico erosie/bresvloeiing	20	20	20
Ad 4 Duurzaamheid	0	0	0
Ad 5 Erosiebestendigheid	zie ad 3	zie ad 3	zie ad 3
Versterkt sediment			
Ad 6 Mogelijke hellingshoek	300 - 500	300 - 500	0
Ad 7 Duurzaamheid			
- Erosiebestendigheid	zie ad 6	zie ad 6	0
- Chemisch bindingsgedrag	75	75	75
Begeleiding van een praktijkproef (excl. meerjarige monitoring)	n.v.t.	55	55
Totaal	circa 600	circa 850	circa 150

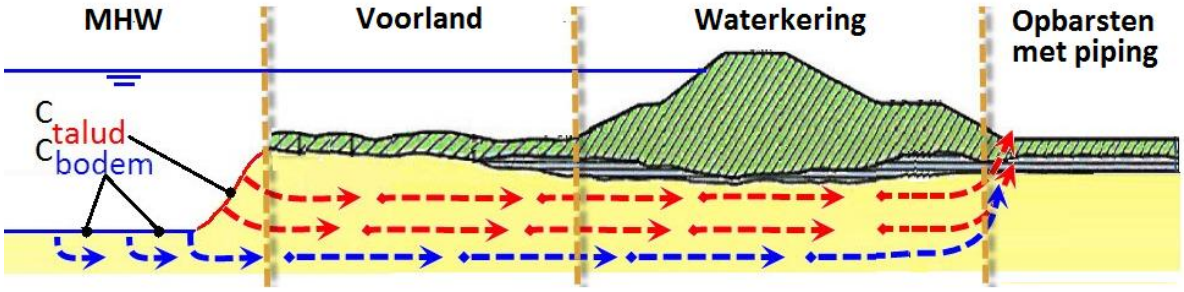
Tabel 3: Globale kostenschattingen beantwoording generieke kennisvragen in k€, excl. BTW

In de tabel is een voorziening opgenomen voor de geschatte kosten voor de begeleiding van een praktijkproef.

De beantwoording van alle genoemde kennisvragen verdient de nodige aandacht, maar alles overziende zijn de vragen voor verdichten onder ad 3 en ad 5 het belangrijkst omdat hiermee de toepassingsmogelijkheid van de verdichtingsmethodiek valt of staat.

Verder kan worden geconcludeerd dat indien een praktijkproef onderdeel is van een werk de kosten voor het beantwoorden van de generieke kennisvragen het goedkoopst zijn mits marktpartijen de innovatieve maatregelen als kosteneffectief beoordelen en aanbieden en onder aanname dat de maatregelen functioneren. In dat geval wordt nog een kennisinvestering geschat van 150 k€.
Hierbij dient opgemerkt te worden dat voor beide methoden nog geen ontwerprichtlijnen beschikbaar zijn, waardoor toekomstige wettelijke toetsingen niet zondermeer kunnen worden uitgevoerd. Mogelijk dat voor wat betreft de methode versterkt sediment gebruik kan worden gemaakt van Technisch Rapport 'Criteria voor toepassing van bekledingen op waterkeringen, hulpmiddel voor ontwikkeling van innovatieve dijkbekledingen' (ref. DT308, vierde concept van 6 september 2010) zoals opgesteld door Witteveen+Bos en Deltares.
Een en ander betekent dat in geval gekozen wordt voor een praktijkproef als onderdeel van een dijkversterkingswerk er thans van moet worden uitgegaan dat een acceptatieprotocol moet worden opgesteld.

Piping
Bij het ontstaan van ontgrondingskuilen kunnen klei- en/ of veenlagen worden doorbroken, waardoor het intreepunt voor het faalmechanisme piping verschuift in de richting van de waterkering. Dit betekent dat er meer risico zal bestaan/ komen op piping. Daarnaast geven de nieuwe inzichten uit Veiligheid Nederland in Kaart (VNK) en Deltaplan Rivieren (DPR) aan dat dit faalmechanisme dominanter wordt, hetgeen resulteert in mogelijk veel bredere pipingbermen en navenant hogere investeringskosten dan thans wordt voorzien. Naar informatie van Peter Damen van Waterschap Rivierenland speelt een dergelijk risico vooral bij het ontstaan van ontgrondingskuilen aan de benedenstroomse zijde van de kribben in de bovenrivieren. Een en ander wordt geïllustreerd in onderstaande figuur 8.



Figuur 8**:** Verhoogd risico op piping bij ontstaan ontgrondingskuilen

Ook hier kan versterkt sediment een mogelijke kostenbesparende maatregel zijn. Door de kuilen weer op te vullen met sediment en af te dekken met versterkt sediment, aansluitend op de niet-doorbroken klei- en/ of veenlagen, wordt het intreepunt weer min of meer hersteld. Dit kan betekenen dat eventueel noodzakelijke pipingbermen niet meer nodig zijn dan wel minder breed behoeven te worden.

Mogelijke pilots voor de methodieken verdichten en versterkt sediment
In het deskundigenoverleg van 20 maart 2013 is een aantal ideeën geopperd voor mogelijke pilots. Deze hebben nog niet tot het beoogde resultaat geleid.

Wel is op 12 september 2013 een workshop gehouden met diverse vertegenwoordigers uit de sector met als onderwerp 'Workshop praktijkproef versterkt sediment als innovatieve maatregel

tegen ontgrondingen, zettingsvloeiingen, kwel en piping'. Hierin is de problematiek besproken van de ontgrondingskuilen in het Drechtsteden gebied, de onderhavige problematiek over zettingsvloeiingen, de erosieproblematiek in havens, rivieren en kanalen als gevolg van scheepsbewegingen, de grotere erosie- en kwelproblematiek als gevolg van de verruiming en verbreding van de Twentekanalen en voornoemde pipingproblematiek. Het resultaat van deze workshop is dat thans wordt gedacht aan de uitvoering van een praktijkproef in 2014 om de havenbodem van de containerterminal bij Hengelo erosiebestendig te maken.

Literatuur

[1] Memo ‘Samenvattend memo kennisvragen’ aan ‘Deltaprogramma Rijnmond-Drechtsteden’, Deltares, kenmerk 1207032-000-VEB-0015, dd. 19 december 2012 (incl. bijlage ‘Erosie in getijrivieren/ instabiele waterkeringen’ dd. 15 oktober 2012).

[2] Memo ‘Consequenties morfologische veranderingen NDB’, Deltares, kenmerk 1207828-002-VEB-0012, dd. 11 juni 2013.

[3] Rapport ‘Innovaties HWBP Probleemveld Zettingsvloeiing, Nader onderzoek methoden: versterkt sediment en verdichten’, Deltares, kenmerk 1205973-002-VEB-0006-gbh, dd. november 2012.

[4] Rapport ‘Verruiming Twentekanalen Fase 2 Bachelor Eindwerk, Bodemperikelen’, Tuan Nam Le, Ingenieursbureau ‘Twengineers’, TU Delft, Faculteit Civiele Techniek, dd. 12 juni 2013.

[5] Artikel ‘Stortsteen verlost Dordtsche Kil van zettingsvloeiing’, ing. G. Goelema en ir. I. Maaskant, Land+Water nr. 8 van augustus 2010.

[6] Memo ‘Pilotproject stabilisatie ontgrondingskuilen’, Deltares, kenmerk 1207770.001, concept 27 juni 2013

[7] Rapport ‘Het toepassen van versterkte baggerspecie op een onderwatertalud, verslag van de kijkproef’, Deltares, kenmerk 12510-0037 versie 01 concept, dd. december 2007.

[8] Rapporten ‘Praktijkproef versterkt sediment Hoedekenskerke’, Deltares, kenmerk 1202972, diverse rapporten gedateerd 2011/ 2012.

[9] Artikel ‘Proef met versterkt sediment als bodemverbetering’, ing. J.L. van de Velde, ing. E.W. Vastenburg, drs.ing. D.A. den Hamer en ing. Y.M. Provoost, Land+Water nr. 6 van juni 2013.

[10] Rapport ‘Versterkte baggerspecie als bouwstof in boezemkaden, Verkenning innovatieve toepassing’, Deltares, kenmerk 422770-0002 versie 08 definitief, dd. maart 2008.

[11] Rapport ‘Receptuuronderzoek versterkte baggerspecie in het kader van het steenzettingenonderzoek’, Deltares, kenmerk 1200193 versie 03 concept, dd. 24 november 2009.

[12] Rapport ‘Versterken zoute baggerspecie Eemshaven’, Deltares, kenmerk 1200083 definitief, dd. 7 december 2009.

[13] Rapport ‘Assessment of the production of a building material from residues of soil washing plants with geopolymers’, Deltares, kenmerk 1203687 definitief, dd. 2 februari 2011.

[14] Rapport ‘Verkennende vergelijkende levenscyclus analyse (LCA) van twee toepasssingen van versterkte baggerspecie met bijzondere aandacht voor CO_2’, Intron, kenmerk A844600 definitief, dd. 12 maart 2009.

[15] Rapport ‘Verkennend onderzoek erosiebestendigheid versterkte baggerspecie’, Deltares, kenmerk 1001338 concept, dd. 23 juli 2009.

Kopie aan
Kees Sloff, Henk Verheij, Gijs Hoffmans, Frans van den Berg

D Verslag marktconsultatie

Memo

Aan
Koos Saathof

Datum	**Kenmerk**	**Aantal pagina's**
14 november 2013	1207938-006-VEB-0004	4
Van	**Doorkiesnummer**	**E-mail**
Hans van de Velde	+088 335 755 0	hans.vandevelde@deltares.nl

Onderwerp
Verslag 'Marktconsultatie i.h.k.v. business case 'verdichten' en 'versterkt sediment' als innovatieve maatregelen tegen zettingsvloeiing' dd. 31 oktober 2013

Aanwezigen:
Cor Paans (Van Oord), Dirk Hamer (Van Oord), Dries Hof (Boskalis), Corne Appelo (Boskalis), Willem-Jan Vos (Boskalis), Piet de Boer (Boskalis), Koos Saathof (RWS CIP), Frans van den Berg (Deltares) en Hans van de Velde (Deltares)

Introductie RWS Corporate Innovatie Programma (CIP)
Koos geeft aan waar het CIP voor staat. Dit is een breed innovatieprogramma met allerlei onderdelen en met een budget van 7 Meuro voor 2013. Binnen het onderdeel Water trekt hij de onderzoekslijn ‘Innovatieve dijktechnologie’ teneinde tot nieuwe (proces en/of technische) maatregelen te komen die ook kostenbesparend zijn. Onderwerpen zijn bijvoorbeeld piping en zettingsvloeiing. Zo kunnen de methoden verdichten en versterkt sediment mogelijke maatregelen tegen zettingsvloeiing zijn. Dit deelproject wordt uitgevoerd door Deltares.

Het tot nu toe gevolgde proces
Sinds 2011 zijn diverse workshops met vertegenwoordigers uit de driehoek gehouden om de (proces- en/of technologische) kansen voor innovatie op het onderwerp zettingsvloeiing na te gaan. Uit circa 15 potentiële innovatieve technieken zijn uiteindelijk verdichten en versterkt sediment als kansrijk naar voren gekomen.
In 2012 is een brainstormsessie gehouden voor de bepaling van de uitvoeringstechnische onduidelijkheden en onzekerheden van beide methoden en is door Witteveen+Bos een kostenstudie uitgevoerd. Geconcludeerd is dat beide methoden in bepaalde situaties voldoende perspectief bieden om bij te kunnen dragen aan een alternatieve oplossing voor zettingsvloeiing.
In 2013 zijn globale cijfers voor het marktvolume en hiervan afgeleid mogelijke kostenbesparingen voor maatregelen tegen zettingsvloeiing en erosie bepaald. Deze cijfers zijn niet hard en zijn gegeven in de memo van Deltares van 4 oktober 2013.

Doel van deze marktconsultatie is om van marktpartijen te vernemen of zij op basis van de resultaten tot nu (zie voornoemde memo) perspectief zien voor verdere ontwikkeling van deze methoden als maatregel tegen zettingsvloeiing.

Discussie
Puntsgewijs zijn de volgende onderwerpen aan de orde gekomen (V=vraag, A=antwoord, D=discussie):

Verdichten

Verdichtingsmethode
V: Van welke verdichtingsmethode is uitgegaan?
A: Ruttelndruckverfahren.

D: Het zand moet te verdichten zijn. Dit hangt vooral af van de gradering. Zo zal het zand in de Zeeuwse wateren moeilijk te verdichten zijn omdat het zand hier een kleine gradering heeft. Verdicht zand zal tot zekere diepte kunnen eroderen. Een en ander zal de toepassingsmogelijkheden van verdichten beperken.

Daar waar goed te verdichten zettingsvloeiingsgevoelige zandlagen tussen kleilagen aanwezig zijn, liggen wel kansen voor deze methode. Hoe groot het hiermee gemoeide marktvolume is, valt niet te bepalen.

Men vindt verdichten eigenlijk geen innovatie. Het wordt af en toe gedaan.

Versterkt sediment

Uitvullen
V: Het werk Dordtsche Kil is als maatlat gebruikt. Hier moest het talud worden uitgevuld om de bodembescherming onder 1:3 te kunnen aanbrengen. Bij versterkt sediment wordt geen uitvullen voorzien. Kan dat wel?
A: Het niet uitvullen is een uitgangspunt geweest en de noodzaak is (nog) niet onderzocht. De gedachtegang hierbij is dat als de macro-stabiliteit voldoet, primair erosie moet worden voorkomen. Aangenomen is verder dat versterkt sediment onder 1:3 kan worden aangebracht. Hoe dat dan zit met kleine steiltes in het talud, moet nog worden nagegaan. Toch uitvullen kan kostenverhogend werken.
Fundamenteel gezien is verder nog niet bekend waarom een laag stortsteen zettingsvloeiing voorkomt. Dit zal dan ook de vraag zijn bij een laag versterkt sediment.

Werk met werk maken, uitloging
D: Bij versterkt sediment kan een baggerwerk worden gecombineerd met het te maken werk om kostenvoordeel (voorkomen stort- en transportkosten) te behalen. Combinatie van werken kan lastig zijn. Daarnaast dient het aangevoerde sediment een redelijk constante ‘kwaliteit’ te hebben, ook qua watergehalte. De vraag is of het mogelijk is om partijen sediment van verschillende herkomst te gebruiken. Vooralsnog moet ervan worden uitgegaan dat het te gebruiken sediment van dezelfde herkomst is.

V: Hoe is de uitloging?
A: Receptuuronderzoeken laten zien dat de uitloging van verontreinigingen voldoet aan de regelgeving van het Besluit bodemkwaliteit. Dit wordt vooraf getoetst.

Voordelen versterkt sediment
V: Wat zijn, buiten het eventuele kostenvoordeel, de technische voordelen van versterkt sediment t.o.v. stortsteen?
A: Geen gebruik primaire bouwstoffen, hergebruik secundaire bouwmaterialen, lagere CO_2-emissie (zie LCA), milieuvoordelen (niet storten en ‘slepen’ van/met verontreinigd sediment). E.e.a. kan zich vertalen in emvi-voordelen.

Productiesnelheid
V: Voor het kostenaspect is een productie van minimaal 500 m^3/dag nodig. Is dat haalbaar?
A: Gegeven de ervaringen met het gebruikte materieel in Hoedekenskerke is dit mogelijk. Maar dan moet er wel een redelijk constante aanvoer van sediment van globaal dezelfde kwaliteit (incl. watergehalten) zijn.

Dikte versterkt sediment
V: Is een dikte van 0.5 m wel toereikend en moet het wel een stijve plaat worden?
A: Ontwerpberekeningen zijn nog niet gemaakt. Maar de aanname is dat als een stortsteen laagdikte van 0.5 m voldoende is, dat dat ook voor versterkt sediment zo is. Natuurlijk bij het ontwerpen ook kijken naar opdrukken/ waterspanningen (vandaar nu alleen toepassen tot onder LLW) en naar benodigde plasticiteit (met het oog op een slappe ondergrond/ zettingsverschillen).

Kosten
O.b.v. de casus Dordtsche Kil zijn de volgende uitvoeringskosten in euro per m^2 (excl. BTW) afgeschat:
- Stortsteen: 100
- Verdichten hoh 3 m: 45
- Versterkt sediment (0.5 m dik/ produktie 700 m^3/dag): 60
- Versterkt sediment (0.75 m dik/ produktie 700 m^3/dag): 90

Door de marktpartijen wordt desgevraagd aangegeven dat de kosten voor toepassing van staalslakken in de orde van maximaal euro 20/m^2 liggen (aankoop circa 8 euro/ton, evenals voor fosforslakken, terwijl stortsteen circa 18 euro/ton kost).
NB Het volgende is tijdens het overleg niet besproken. De gegeven kostprijs voor staalslakken is niet opgeschaald naar de casus Dordtsche Kil (zie kostenstudie Witteveen+Bos) en kan dus niet worden vergeleken met bovengenoemde uitvoeringskosten.

Mening marktpartijen
Verder zijn door de marktpartijen de volgende opmerkingen, in willekeurige volgorde aangegeven, genoemd:
- In geval van verontreinigd sediment, dient de milieukwaliteit van het versterkt sediment vooraf te worden getoetst.
- Afgezien van een mogelijk kostenvoordeel, zijn er zijn geen technische voordelen aanwezig boven de toepassing van stortsteen.
- Mogelijk dat uitvullen van een talud nodig is eer de laag versterkt sediment kan worden aangebracht. Dit werkt kostenverhogend.
- Precies aanbrengen is de kunst.
- Het zou mooi zijn als het sediment/slib reeds in de bakken kan worden opgedikt.
- Het ingangssediment is niet altijd constant van samenstelling.
- De kosten van cement en waterglas zijn het grootste aandeel in de kostprijs. Uitgangspunt is een hard materiaal, maar wellicht kan een optimalisatie worden bereikt door er een erosiebestendig, meer klei-achtig materiaal van te maken.
- Sediment is goedkoop en kan goedkoop worden afgevoerd of herbruikt.
- Steen is goedkoop.
- Voor elk werk moet vooralsnog nog receptuuronderzoek worden uitgevoerd, hetgeen kostenverhogend werkt.

Grosso modo vinden de marktpartijen het maken van versterkt sediment een gevoelig proces. Afgevraagd wordt of versterkt sediment als maatregel tegen zettingsvloeiing wel tot kostenvoordelen leidt. In die zin is er weinig perspectief voor doorontwikkeling.

Niettemin kan versterkt sediment in bepaalde marktniches mogelijk wel een optie zijn, zoals:

1. Als grondverbetering (zie Hoedekenskerke): het ter plekke omvormen van (zeer) slappe ondergrond tot een plaat/ laag versterkt sediment om hierna bv. een oeverconstructie op te bouwen (stortsteen e.d. zal namelijk gelijk wegzakken in de ondergrond).
2. Als erosie-maatregel langs bv. kades in havens. Scheepsschroeven veroorzaken erosiegaten ook als er een bodembescherming van stortsteen ligt. Versterkt sediment is hierbij een alternatief voor (het dure) colloïdaal beton dan wel met colloïdaal beton gepenetreerd stortsteen. De erosiebestendigheid van versterkt sediment is hierbij een nog niet volledig onderzocht aspect.
3. Het opvullen van grote erosiekuilen (bv. in de riviertakken van het Drechtstedengebied). Hier is het idee om de kuilen eerst op te vullen met sediment uit nabijgelegen ondiepten om de kuil daarna af te dekken met een laag versterkt sediment. De erosiebestendigheid van versterkt sediment is hierbij een nog niet volledig onderzocht aspect.
4. Voor landuitbreiding. Vooral daar waar geen zand aanwezig is, dan wel van ver moet worden gehaald. Omdat in dit geval geen hard materiaal nodig is, behoeft veel minder cement en waterglas te worden gebruikt voor het versterken van lokaal aanwezig sediment/ bagger (hetgeen afhankelijk is van de functionele eisen). Afhankelijk van de planning i.r.t. de grootte van het werk is wellicht zelfs geen waterglas nodig. Het versterkt sediment is hierbij circa 30% lichter dan traditioneel zand, waardoor de zettingen kleiner zijn en minder bouwvolume nodig is.
5. Voor versterking van boezemkades met de bagger uit de boezemwatergangen. Hierbij aangetekend dat dit veelal kleinere werken zijn, met een minder goede bereikbaarheid, met soms een slechte ondergrond en dus van een andere materieel-inzet en produktie sprake zal zijn. Mogelijk in combinatie met geotubes gevuld met bagger, waarbij een flocculant moet worden gebruikt.

Conclusie

Boskalis en Van Oord vinden het maken van versterkt sediment een gevoelig proces. Afgevraagd wordt of versterkt sediment als maatregel tegen zettingsvloeiing wel tot kostenvoordelen leidt.

Daar waar goed te verdichten zettingsvloeiingsgevoelige zandlagen tussen kleilagen aanwezig zijn, liggen kansen voor verdichten als maatregel tegen zettingsvloeiing. Hoe groot het hiermee gemoeide marktvolume is, is echter niet bekend.

Gezien deze conclusies is er op dit moment weinig perspectief voor doorontwikkeling van beide methoden.

Kopie aan

Cor Paans (Van Oord), Dirk Hamer (Van Oord), Dries Hof (Boskalis), Corne Appelo (Boskalis), Willem-Jan Vos (Boskalis), Piet de Boer (Boskalis), Frans van den Berg (Deltares)

E Artikel in Land+Water

FUNDERINGEN & GEOTECHNIEK

Zettingsvloeiing tegengaan met innovatieve methoden

Naar aanleiding van kostenoverschrijdingen van het tweede hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP2) is door de commissie Ten Heuvelhof geconstateerd dat deze overschrijdingen onder andere zijn te wijten aan een combinatie van de 100 procent rijkssubsidie en de tijdsdruk. Dit leidde tot conservatief ontwerpen en een opeenstapeling van technische eisen.

DRS. ING. F.P.W VAN DEN BERG / ING. H. VAN DE VELDE
ING. G.J GOELEMA / IR. K. SAATHOF

Voor het nieuwe HWBP (nHWBP) wordt daarom gezocht naar mogelijkheden om innovaties toe te passen die binnen dijkversterkingsprogramma's door de schaalbaarheid dienen te leiden tot kostenbesparingen. Door Rijkswaterstaat is hiertoe het Corporate Innovatie Programma (CIP) opgezet, dat als doel heeft om innovaties te stimuleren en om stakeholders/overheden, marktpartijen en kennisinstituten (de driehoek) aan elkaar te koppelen, zodat deze kennis kunnen uitwisselen. Daarnaast vergemakkelijkt dit programma de toepassing van innovaties in de praktijk.
Met het CIP streeft Rijkswaterstaat naar 30 procent duurzamer, 30 procent goedkoper en 30 procent veiliger werken. In een van de projecten wordt gezocht naar mogelijkheden om innovaties toe te passen die binnen dijkversterkingsprogramma's door de schaalbaarheid dienen te leiden tot kostenbesparingen bij het bestrijden van het gevaar van zettingsvloeiingen.
Binnen het CIP-kader is onderzoek ingesteld naar alternatieve maatregelen tegen zettingsvloeiing, omdat wordt verwacht dat hiermee kostenbesparingen zijn te bewerkstelligen. In de derde wettelijke toetsronde van de primaire waterkeringen is in Nederland tussen de 25 en 94 km afgekeurd op de fenomenen zettingsvloeiing en afschuiving (toetsing Voorland). Het grootste deel hiervan ligt in de Zuidwestelijke Delta. Hoeveel kilometers dit zijn na het uitvoeren van de geavanceerde toetsing in 2012 en 2013 is nog niet bekend. Uit de toetsrapportage volgt dat 256 km en 72 km van de primaire waterkeringen 'geen score' respectievelijk 'nader onderzoek nodig' hebben op Voorland. De mogelijkheid bestaat dat hiervan ook nog gedeelten moet worden versterkt. Kortom, een flinke opgave op dit vlak.

IN 'T KORT - INNOVATIEVE METHODEN

- Het Corporate Innovatie Programma (CIP) moet onder meer innovaties stimuleren
- In 2011 is begonnen met onderzoek naar alternatieve maatregelen tegen zettingsvloeiing
- Er werd gezocht naar innovatieve methoden die tot kostenbesparing konden leiden
- Verdichten en versterkt sediment zijn geschikte methoden om zettingsvloeiing tegen te gaan

Tabel Resultaten uit de workshops

Vermindering kans op zettingsvloeiingen door:
1. Geometrische aanpassingen;
2. Wegnemen trigger (in NL meestal erosie);
3. Voorkomen verweking door verdichten of versterken losgepakt zand.
Traditionele technieken:
• Eenlaagse bestorting (breuksteen, staalslakken, mijnsteen, etc.);
• Breuksteen op filterdoek;
• Meerlaagse bestorting;
• Verflauwen talud;
• Verondiepen;
• Asfaltbekleding;
• Colloïdaal beton;
• Etc.
Innovatieve technieken:
• Biogrout;
• Groundconsolidators;
• Versterkt sediment als bouwstof;
• Verdichten van het zandpakket o.a. met Rütteldruckverfahren;
• Geotextiele tubes.

Resultaten uit de workshops waarin verschillende alternatieve methoden zijn besproken.

Het onderzoek

In 2011 is een begin gemaakt met het onderzoek naar alternatieve maatregelen tegen zettingsvloeiing. Hierbij is de vraag gesteld hoe door een aangepaste procesaanpak en met behulp van welke innovatieve methodieken tot kostenbesparing kan worden gekomen. Hiertoe zijn vier

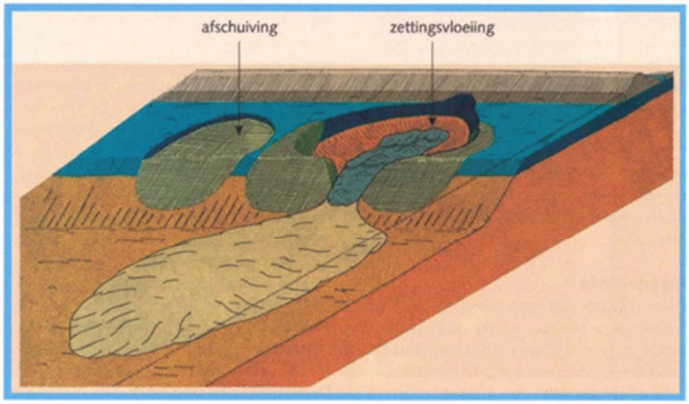


FOTO: VERLOREN OP TOETSEN 2006, RWS

Gelaagde weergave van zettingsvloeiing in de praktijk.

Tabel Resultaten globale kostenberekeningen innovatieve methoden

Methode	Percentage t.o.v. traditioneel	Percentage t.o.v. traditionele methode geoptimaliseerd
Traditioneel: tweelaagse steenbestorting	100 %	100%
Verdichten	155 %	45 %
Versterkt sediment 0,5 m	65 %	60 %
Versterkt sediment 0,75 m	100 %	90 %

De kosten in deze tabel zijn in percentages uitgezet tegen de traditionele methode (100 procent).

sie om de verschillende technieken in beeld te brengen. Vervolgens is de focus gelegd op een vernieuwde procesaanpak om innovaties en innovatievermogen uit de markt te stimuleren. Daarna is aandacht geschonken aan de technologische innovaties en welke zaken nog moeten worden uitgezocht alvorens deze innovaties toegepast kunnen worden in de praktijk.
Tijdens de eerste workshop is geconcludeerd dat onderscheid moet worden gemaakt in kostenbesparingen die kunnen worden gecreëerd door een andere procesaanpak en door technologische innovatie. In deze eerste bijeenkomst zijn vele verschillende alternatieve methoden besproken, waarvan een aantal in de tabel 'Resultaten uit de workshops' is opgenomen.
Er zijn drie potentiële innovatieve methodieken geïnventariseerd, die verder zijn uitgewerkt in een drietal workshops. Deze methodieken zijn: versterkt sediment als bouwstof, verdichten en alternatieve materialen. Op basis van de input van deze workshops zijn versterkt sediment en verdichten als meest kansrijk naar voren gekomen. Beide methodieken verkeren in een zodanige fase van rijpheid dat een pilot – na het nog beantwoorden van een aantal onderzoeksvragen – tot de mogelijkheden behoort. In essentie komt de innovatie neer op een goedkope, eenvoudige en snel toepasbare techniek waarbij opgebaggerd sediment direct met behulp van secundaire grondstoffen wordt versterkt. Deze grondstoffen zijn waterglas en bodemas of cement.
Door het sediment te mengen met cement (of bodemas) en vervolgens waterglas aan toe te voegen, ontstaat er een snel uithardende massa. Deze afdekking zal dezelfde functie hebben als de steenbestorting. Diepteverdichting door middel van het 'Tiefenrüttelverfahren' is een veelzijdige grondverbeteringstechniek en dient momenteel vooral als fundering voor bouwwerken waarvan de oorspronkelijke grondslag niet voldoende draagkrachtig is.
Door middel van deze zogenaamde diepe vibratietechniek is het echter ook mogelijk om het losse zand onder/in het talud te verdichten. Hierdoor zal het niet mogelijk zijn om een zettingsvloeiing te laten ontstaan. In 2012 zijn deze twee methodieken verder onderzocht op financiële en technische haalbaarheid.

Financiële haalbaarheid

Door Witteveen+Bos is eind 2012 een onderzoek uitgevoerd naar de financiële haalbaarheid van de methoden versterkt sediment en verdichten. Hiertoe is een vergelijk gemaakt met de traditionele oplossing zoals uitgevoerd in de Dordtsche Kil. In augustus 2010 is reeds een artikel in Land+Water (Goelema & Maaskant, 2010) verschenen over de problemen met zettingsvloeiing bij het Dordtsche Kil. Deze zijn verholpen met een tweelaagse bestorting.
Op basis van twee representatieve dwarsprofielen voor de Dordtsche Kil zijn de kosten bepaald in een SKK-model (Standaard Systematiek Ramingen). Het uitgangspunt bij dit onderzoek was onder andere dat de beide technieken volwassen en uitontwikkeld zouden zijn. Bij de methode met versterkt sediment wordt ervan uitgegaan dat een noodzakelijke profielaanvulling in zand mogelijk is. In de tabel 'Resultaten globale kostenberekeningen innovatieve methoden' zijn de resultaten opgenomen van de globale kostenberekeningen van de innovatieve methoden ten opzichte van de traditionele tweelaagse steenbestorting. De kosten zijn in percentages uitgezet tegen de traditionele methode (100 procent). Is de methode goedkoper, dan is een lager percentage vermeld. De genoemde percentages zijn afgerond op 5 procent.
De percentages in de laatste kolom zijn gebaseerd op de volgende aangenomen mogelijke optimalisaties: voor verdichten wordt het hart-op-hartrooster vergroot van 2 naar 3 m en wordt de zandaanvulling achterwege gelaten. Voor versterkt sediment wordt uitgegaan van een productie van 750 m³ /dag.

Kennisvragen

Generiek gezien dient ook een aantal kennisvragen voor de methoden te worden uitgezocht. Een aantal vragen is: hoe is de erosiebestendigheid van verdicht zand, onder welke hellingshoek kan versterkt sediment onder water worden aangebracht en wat is de duurzaamheid/erosiebestendigheid van versterkt sediment is in geval van stromend getij?
Recent zijn ook andere situaties met ontgrondingen in beeld gekomen waar een goedkopere of innovatieve aanpak is gewenst. Zoals in vaarwegen waar soms kuilen ontstaan door de grotere vermogens van schepen die bij manoeuvres worden ingezet, dwarsvaren, afmeren in langshavens, in- en uitvaren van doorgangen enzovoort. Ook zonder gevaar voor zettingsvloeiingen zijn grote kuilen ongewenst in kanalen en rivieren. Mogelijk kan door de gemeenschappelijke basisvraag gezamenlijk tot goede pilots en relevant onderzoek worden gekomen.
Op basis van de onderzoeken is gebleken dat verdichten en versterkt sediment geschikt zijn om als alternatief te dienen van een traditionele steenbestorting. Behalve een financiële besparing kunnen er ook milieubesparingen zijn door het hergebruik van sediment en ook doordat geen transport nodig is voor de aanvoer van stortsteen.
Momenteel wordt gezocht naar een locatie waar een pilot kan worden uitgevoerd, zodat deze beide innovatieve technieken, die op zichzelf al zijn bewezen, kunnen worden ingezet als een volwaardig alternatief voor de traditionele steenbestortingen.
Hierbij kan worden gedacht aan bijvoorbeeld het verdelen van de proef in vier vakken: een vak 1 met een talud afgedekt met traditioneel breuksteen, een vak 2 waarin het aanwezige losgepakte zand wordt versterkt met de methode verdichten, een vak 3 waarin juist een zettingsvloeiing wordt bewerkstelligd en een vak 4 met een talud dat is afgedekt met versterkt sediment.
Parallel aan dit onderzoek vindt onderzoek plaats naar maatregelen tegen het voorkomen van ontgrondingskuilen (als gevolg van erosie en/of scheepsbewegingen) en piping (als gevolg van slib- en kleilagen op de rivierbodem door erosie). Hierdoor zullen naar verwachting in 2014 pilotproeven met versterkt sediment worden uitgevoerd.
Voor meer informatie over het programma CIP: www.rijkswaterstaat.nl/zakelijk/innovatie.

Frans van den Berg en Hans van de Velde werken bij Deltares, Gert-Jan Goelema werkt bij Waterschap Hollandse Delta en Koos Saathof is werkzaam bij Rijkswaterstaat.

ZETTINGSVLOEIING

Onder zettingsvloeiing wordt het spontaan instabiel worden van een onderwatertalud verstaan, waarbij het talud zeer sterk verflauwt en terugschrijdt in het talud. In geval van een schaardijk kan dit leiden tot aantasting van de dijk of in het ergste geval een dijkval. Met betrekking tot maatregelen is het van belang onderscheid te maken tussen verwekinsgvloeiing en bresvloeiing. Voorwaarde voor verwekingsvloeiing is de aanwezigheid van losgepakt zand; bresvloeiing kan ook in vaster gepakt zand optreden. Waarschijnlijk is bij veel opgetreden vloeiingen sprake van een combinatie van beide. Beide mechanismen vereisen een trigger. Bij bresvloeiing is dit sterke erosie, bij verwekingsvloeiing kan dit ook een sterke trilling zijn. Bresvloeiing kan alleen voorkomen worden door het voorkomen van erosie. Verwekingsvloeiing kan naast het voorkomen van erosie ook voorkomen worden door de pakking van het zand te vergroten.