

# Praktijkproef Piping in getijdenzand Hedwigepolder

Plan van aanpak voor een full-scale pipingproef in getijdenzand

Waterschap Hollandse Delta  
B. Los  
R. Roodenburg

Fugro  
G.R.P. Van Goor

Deltares  
M.P. Hijma

18 december 2019  
versie 3: definitieve versie



# Inhoudsopgave

Samenvatting .....	4
1 Inleiding .....	6
1.1 Aanleiding .....	6
1.2 Doelstelling praktijkproef.....	7
1.3 Relatie met HWBP programmadoelstellingen .....	12
1.4 Toepassingsbereik .....	13
1.5 Relatie met andere projecten .....	14
2 Route naar Plan van Aanpak .....	16
2.1 Aanloop.....	16
2.2 26 juni 2019: Overleg met probleemeigenaren.....	16
2.3 Overleg HWBP .....	17
2.4 Overleg STOWA.....	17
2.5 Overleg met WSHD .....	17
2.6 Overleg met MOW.....	17
2.7 Aanvullende overleggen met het HWBP en het BOI-team .....	18
3 Aanpak.....	19
3.1 Projectlocatie .....	19
3.2 Ondergrondopbouw .....	19
3.3 Hoogteligging .....	22
3.4 Eerste ideeën proefontwerp.....	24
3.5 Aanpak op hoofdlijnen: van grof naar fijn.....	27
3.6 Activiteiten en producten.....	27
3.6.1 Fase 0: Plan van Aanpak .....	27
3.6.2 Fase 1A: Expert werkplaats piping in getijdenafzettingen.....	27
3.6.3 Fase 1B: Karakterisering projectgebied / ondergrond.....	28
3.6.4 Fase 2: Proefontwerp .....	33
3.6.5 Fase 3: Uitvoeren praktijkproef.....	34
3.6.6 Fase 4: Schaalproeven, D-Geo Flow validatie, toepassen en kennis delen .....	37
4 Planning .....	40

5	Projectorganisatie .....	41
5.1	Omgevingsmanagement.....	42
5.2	Kennisstrategie.....	42
6	Businesscase: kostenraming en rendement .....	44
7	Risicomanagement .....	46
8	Literatuurlijst.....	48
	Bijlagen .....	49

## Samenvatting

De beoordeling op piping zorgt voor forse versterkingsopgaves met veel impact. De Sellmeijer-rekenregel die voor de beoordeling gebruikt wordt is echter gefit op proeven met homogeen rivierzand en er zijn steeds meer aanwijzingen dat het proces in getijdenafzettingen anders verloopt en getijdenzand fors meer weerstand biedt. Uit verschillende onderzoeksprojecten, zowel in het veld als in het laboratorium, volgt dat getijdenzand minstens een factor 2 sterker is dan volgt uit de rekenregel. Fenomenologisch is het daarnaast de vraag of piping altijd tot een doorbraak kan leiden in getijdenafzettingen. De extra sterkte wordt deels veroorzaakt door aspecten die de belasting verminderen (anisotropie, meerlaagsheid) en deels door aspecten die het pipingproces beïnvloeden (onder invloed van de aanwezigheid van een fijne fractie en gelaagdheid). Deze nieuwe inzichten zijn (nog) niet expliciet opgenomen in het beoordelings- en ontwerp-instrumentarium, onder andere omdat praktijkvalidatie nog ontbreekt. De ontpoldering van de Hedwigepolder (zie Figuur 1) biedt een unieke kans om deze validatie uit te voeren door middel van een praktijkproef gericht op piping met als doel:

***“de daadwerkelijke sterke van getijdenzand tegen piping te bepalen, de (sterkte)-eigenschappen en het pipingproces te karakteriseren en deze kennis te vertalen en toepasbaar te maken voor beoordelings- en versterkingsprojecten van waterkeringen.”***

Binnen dit hoofddoel kent de proef vijf subdoelstellingen:

1. Het project geeft inzicht in het pipingproces in verschillende typen getijdenafzettingen.
2. De praktijkproef dient de optimalisatiekansen voor het meenemen van meerlaagsheid en anisotropie binnen het getijdenzand te vergroten en de huidige methoden om deze in rekening te brengen te valideren.
3. Het project dient de toepassing van de opgedane kennis rondom meerlaagsheid en anisotropie binnen beoordelings- en versterkingsprojecten te stimuleren.
4. De praktijkproef dient de optimalisatiekansen door het meenemen van extra sterkte door de fijne fractie en cohesie binnen het getijdenzand te valideren.
5. Afleiden van een aangepaste aanpak voor piping in het getijdengebied op basis van de daadwerkelijke totale sterkte van het getijdenzand op piping.



**Figuur 1: Hedwigepolder (voorgrond; NL) en Prosperpolder (BE)**

Het project zal in vier fasen uitgevoerd worden:

Fase 1A: Expert werkplaats piping in verschillende typen getijdenafzettingen

Deze werkplaats gaat vooral in op de fenomenologische aspecten van piping in de verschillende typen getijdenafzettingen, ook in relatie tot het pipingproces in rivierafzettingen. De output van deze werkplaats is input voor zowel fase 1B (ontwerp, grondonderzoek) als voor fase 4 (schaalproeven, kennis delen).

Fase 1B: Karakterisering projectgebied / ondergrond

Deze fase bestaat uit het uitvoeren van geotechnisch en geologisch grondonderzoek, het uitvoeren van 2D- en 3D-pipingsommen en het definitief vaststellen van de meest geschikte locatie.

Fase 2: Proefontwerp

Hierin worden voor- en definitieve ontwerpen opgesteld, alsmede ook gedetailleerd grondonderzoek uitgevoerd op de definitieve locatie. De benodigde gradiënt over de dijk zal naar verwachting gerealiseerd gaan worden door gebruik te maken van infiltratiebuizen met daarom heen een damwandconstructie die de waterdruk de goede kant op stuurt. Er zal een uittredepunt geforceerd worden door het (deels) weggraven van de deklaag achter de dijk.

Fase 3: Uitvoeren praktijkproef

In deze fase worden het uitvoeringsontwerpen en draaiboeken gemaakt en zal de proef uitgevoerd worden.

Fase 4: Schaalproeven, toepassen en kennis delen

Er zullen meerdere kleine- en mediumschaalproeven uitgevoerd op verschillende typen getijdenafzettingen, om de dataset aan waarnemingen voor de verschillende typen afzettingen zo groot mogelijk te maken. Dit in relatie tot de uitkomsten van de werkplaats in fase 1A. Het materiaal is niet afkomstig van de Hedwigepolder, maar van locaties elders in het land. Daarnaast wordt implementatie van de kennis mogelijk gemaakt door het schrijven van een *Handreiking piping in getijdengebied*, verankering in het BOI, afstemming met ENW en KPR, het geven van presentaties en het schrijven van publicaties.

Naar onze stellige overtuiging kan met dit project onderbouwd worden dat de overstromingskans op de trajecten met getijdenzand in 95% van de gevallen voldoende klein is. Het is niet overdreven om te stellen dat dit ruim 100 miljoen euro aan besparing zal opleveren. Deze reductie draagt bij aan de ambitieuze doelen van het Hoogwaterbeschermingsprogramma:

- de productie verhogen naar gemiddeld 50 kilometer per jaar;
- de gemiddelde kosten per kilometer beperken tot 7 miljoen euro per kilometer.

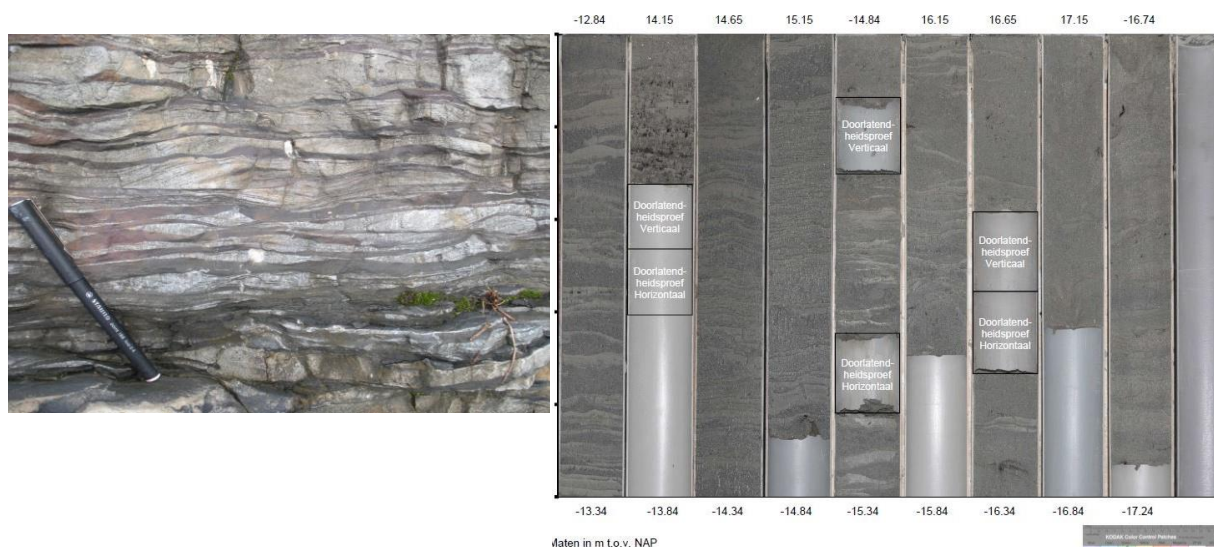
Immers, het voorgestelde onderzoek zal er toe leiden dat de versterkingsopgave per kilometer gemiddeld kleiner wordt en daarmee dus sneller en goedkoper uitgevoerd kan worden. Dit sluit goed aan bij de stelling in het programmaplan dat "kennis en innovatie onmisbaar zijn om de programmadoelen te halen en maatregelen sneller en goedkoper, en ook duurzamer te realiseren".

# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding

Piping is één van de dominante faalmechanismen die de versterkingsopgave van waterkeringen in Nederland bepaald. De opgave is fors en de impact groot. Tegelijkertijd wordt in het werkveld onderkend dat de rekenregel niet altijd aansluit bij de werkelijkheid of ervaring van beheerders. Een oorzaak hiervoor is dat de Sellmeijer-rekenregel die voor beoordeling en ontwerp gebruikt wordt gefit is op proeven met homogeen rivierzand en er zijn steeds meer aanwijzingen dat het proces in getijdenafzettingen soms anders verloopt en getijdenzand fors meer weerstand biedt. Uit verschillende onderzoeksprojecten, zowel in het veld als in het laboratorium, volgt dat getijdenzand minstens een factor 2 sterker is dan volgt uit de rekenregel. Fenomenologisch is het daarnaast de vraag of piping altijd tot een doorbraak kan leiden in getijdenafzettingen. De extra sterkte wordt deels veroorzaakt door aspecten die de belasting verminderen (anisotropie, meerlaagsheid) en deels door aspecten die het pipingproces beïnvloeden (onder invloed van de aanwezigheid van een fijne fractie en gelaagdheid). Deze nieuwe inzichten zijn (nog) niet expliciet opgenomen in het beoordelings- en ontwerpinstrumentarium, onder andere omdat praktijkvalidatie nog ontbreekt.

Een grootschalige veldproef naar de overstromingsbestendigheid van een waterkering op getijdenzand tegen piping biedt een welkome kans om de reeds opgedane kennis te valideren en verder te brengen voor toepassing binnen beoordelings- en versterkingsprojecten. Deze toepassing zal leiden tot een kleinere versterkingsopgave (minder afkeur) en een doelmatige, snellere en meer duurzame inzet van middelen met minder ruimtebeslag op trajecten waar wel een opgave ligt (optimalisatie maatregelen).



**Figuur 2: Sterk gelaagd getijdenzand (links: versteend getijdenzand met donkergrijze kleilagen; rechts: boring normtraject 20-3/Spui-West met zand met vele kleilagen)**

Met de herinrichting van de Hedwige- en Prosperpolder en het bijbehorende Living Lab initiatief (LLHPP=Living Lab Hedwige-Prosperpolder) wordt een unieke kans geboden om een dergelijke praktijkproef op een primaire waterkering op getijdenzand uit te voeren. In het kader hieronder wordt nader ingegaan op de verschillende typen getijdenzand en hoe hun specifieke eigenschappen het pipingproces beïnvloeden. Aangezien de extra sterkte in

getijdenzand ondermeer veroorzaakt wordt door de aanwezigheid van een fijne fractie, meerlaagsheid en anisotropie, aspecten die ook bij rivierafzettingen een rol spelen, zal de opgedane kennis naar verwachting ook van waarde kunnen zijn voor het rivierengebied.

## **1.2 Doelstelling praktijkproef**

Het onderzoek kent de volgende hoofddoelstelling:

**Het project heeft tot doel meer inzicht te geven in het pipingproces in getijdenafzettingen. De praktijkproef heeft tot doel de daadwerkelijke sterke van getijdenzand tegen piping te bepalen, de (sterkte)-eigenschappen en het pipingproces te karakteriseren en deze kennis te vertalen en toepasbaar te maken voor beoordelings- en versterkingsprojecten van waterkeringen.**

Hierbij zijn de volgende subdoelstellingen gedefinieerd om een vlotte toepassing binnen projecten mogelijk te maken:

1. Het project geeft inzicht in het pipingproces in verschillende typen getijdenafzettingen.
2. De praktijkproef dient de optimalisatiekansen voor het meenemen van meerlaagsheid en anisotropie binnen het getijdenzand te vergroten en de huidige methoden om deze in rekening te brengen te valideren.
3. Het project dient de toepassing van de opgedane kennis rondom meerlaagsheid en anisotropie binnen beoordelings- en versterkingsprojecten te stimuleren. Lopende of op te starten versterkingsprojecten waarvoor de voorgestelde praktijkproef directe relevantie heeft zijn Spui-West (WSHD), Koehool-Lauwersmeer (Wetterskip Fryslân), Brede Groene Dijk (Hunze en Aa) en de Lauwersmeerdijk en dijktraject 6-6 (Noorderzijlvest). Ook voor beoordelingsprojecten kunnen de inzichten worden toegepast.
4. De praktijkproef dient de optimalisatiekansen door het meenemen van extra sterkte door de fijne fractie en cohesie binnen het getijdenzand te valideren.
5. Afleiden van een aangepaste aanpak voor piping in het getijdengebied op basis van de fenomenologische beschrijving en de daadwerkelijke totale sterkte van het getijdenzand op piping.

Onderstaand is per doelstelling een toelichting gegeven.

## **1. Het project geeft inzicht in het pipingproces in verschillende typen getijdenafzettingen**

De hypothese is dat de sterkte van het getijdenzand wordt bepaald door de volgende aspecten:

- a) meerlaagsheid binnen de getijdenafzetting (doorlatendheidsvariatie tussen lagen);
- b) anisotropie in doorlatendheid (m.n. door gelaagdheid van klei en zand binnen lagen);
- c) hoog percentage fijne fractie (lutum en silt;  $< 63 \mu\text{m}$ ), invloed duidelijk aanwezig in internationale literatuur;
- d) cohesie (tussen kleideeltjes, door kleicoating op zandkorrels, biofilms);
- e) doolhof: complexe structuren waarlangs of onderdoor een erosiepijp dient te groeien, met name door de aanwezigheid van dunne kleilaagjes.

Hierbij moet onderscheid gemaakt worden tussen aspecten die aangrijpen op de belasting (a, b) en aspecten die aangrijpen op het pipingproces (fenomenologische invalshoek; c-e). Het is namelijk niet ondenkbaar dat het pipingproces in het bepaalde typen zandige getijdenafzettingen, bijvoorbeeld bij veel klei-zand afwisselingen, fenomenologisch anders verloopt waardoor bestaande modellen niet meer van toepassing zijn. Direct na aanvang van het project willen we daarom starten met het schrijven van een 'verhaal van de kering' op basis van een expert werkplaats. In deze werkplaats wordt voor de verschillende typen (zandige) getijdenafzettingen een fenomenologische beschrijving gegeven en nagegaan onder welke omstandigheden piping tot een doorbraak kan leiden. Dit 'verhaal' is nodig voor het optimaliseren van het grondonderzoek voor fase 1B, maar ook voor het opstellen van de hypothesen die we met de praktijkproef willen valideren.

## **2. De praktijkproef dient de optimalisatiekansen voor het meenemen van meerlaagsheid en anisotropie binnen het getijdenzand te vergroten en de huidige methoden om deze in rekening te brengen te valideren.**

Een belangrijk deel van de sterkte van getijdenzand tegen piping wordt gevormd door de doorlatendheidsvariatie tussen en binnen de verschillende getijdenzandlagen, oftewel meerlaagsheid en anisotropie in doorlatendheid. Deze sterkte ontstaat door een verminderde belasting. De mate van anisotropie, de invloed van meerlaagsheid en daarmee de afname van de belasting zal per type getijdenafzettingen variëren. In het lopende anisotropieonderzoek voor Spui-West (WSHD; normtraject 20-3) is door het meenemen van meerlaagsheid en anisotropie een reductie van gemiddeld 60% berekend in de benodigde kwelweglengte (ca. 40% meerlaagsheid, 20% anisotropie). Op een aantal dijkvakken is de pipingopgave daarmee komen te vervallen en op andere is de extra benodigde kwelweglengte fors afgenomen van bv. 50 naar 10 m, waardoor een pipingberm beter inpasbaar is en eventueel eenvoudig kan worden gecombineerd met een stabiliteitsberm. Voor het in rekening brengen van de complexe ondergrond is deze geschematiseerd in D-Geo Flow.

Op de proeflocatie willen we daarom ook de doorlatendheidsvariatie tussen de verschillende getijdenzandlagen (meerlaagsheid) en de mate van anisotropie in doorlatendheid bepalen en schematiseren in D-Geo Flow. Deze maatwerkaanpak zal worden vergeleken met een meer



traditionele aanpak o.b.v. één homogeen, isotroop pakket binnen de vigerende analytische rekenregel van Sellmeijer.

Primaire focus binnen deze subdoelstelling ligt op het valideren van bestaande technieken en (reken)methoden waarmee de sterkte van het getijdenzand nu al verzilverd kan worden in beoordelings- en versterkingsprojecten. De resultaten dragen daarmee bij aan een bredere toepassing binnen beoordelings- en versterkingsprojecten (zie doelstelling 3). De validatie, en wellicht de daaruit volgende aanbevelingen voor aanpassing van de huidige werkwijze, zal vastgelegd worden in een memo.

### **3. Het project dient de toepassing van de opgedane kennis rondom meerlaagsheid en anisotropie binnen beoordelings- en versterkingsprojecten te stimuleren door samen met de resultaten langs Spui-West en andere rivierprojecten als referentie te dienen.**

Zoals hierboven vermeld worden nu grote besparingen behaald langs Spui-West. Door de resultaten van dit anisotropieonderzoek te valideren wordt een eventuele drempel weggenomen voor bredere toepassing in de praktijk. Binnen het anisotropie onderzoek t.b.v. Spui-West wordt op dit moment al een beoordelings- en ontwerpmethodologie voor piping met anisotropie opgesteld. Deze methodologie is in het najaar van 2019 beschikbaar gekomen en zal bijdragen aan de toepassing van de nieuwe kennis en inzichten binnen de dijkprojecten.

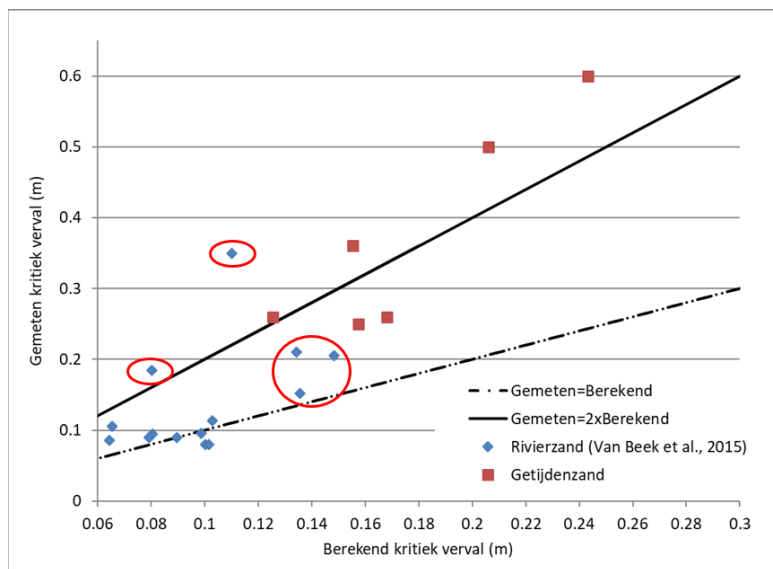
Het Spui-West onderzoek en de voorgestelde praktijkproef worden uitgevoerd op getijdenzand. De vertaling naar rivierafzettingen lijkt op voorhand betrekkelijk eenvoudig, aangezien ook in rivierzand meerlaagsheid en anisotropie en voorkomen. De beoordelings- en ontwerpmethodologie zal zo ingericht worden dat deze twee aspecten meegenomen kunnen worden, ongeacht het type zand. Dit is te verantwoorden, omdat anisotropie en meerlaagsheid direct aangrijpen op de belasting en niet direct op het pipingproces zelf. De oorzaak voor anisotropie en meerlaagsheid (heterogeniteit in lithologie over verschillende schalen), heeft wel invloed op het pipingproces, maar dat valt buiten deze subdoelstelling (valt wel binnen subdoelstelling 4). De verwachting is wel dat in rivierzand meerlaagsheid en anisotropie minder sterk aanwezig zijn dan in getijdenzand, waardoor de sterkte-winst ook kleiner is. Dit wordt binnen het lopende anisotropieonderzoek kwalitatief nader onderzocht.

Daarnaast worden op dit moment de mogelijkheden verkend om de karakterisering en doorvertaling van meerlaagsheid en anisotropie ook te onderzoeken binnen de praktijkproef in de Willemspolder (WSRL, rivierengebied). Door bij dit initiatief aan te haken bestaat de mogelijkheid om de bestaande technieken en (reken)methoden ook in het rivierengebied te valideren. Verder wordt er binnen steeds meer rivierprojecten (bv. Wolferen-Sprok, Culemborgse Veer -Beatrixsluis, Grebbedijk en Stadsdijken Zwolle) gemeten aan en gerekend met meerlaagsheid en anisotropie. De kennis en ervaring die binnen deze projecten is opgedaan zal worden verzameld en gebruikt om het toepassingsbereik en impact te vergroten.

#### 4. De praktijkproef dient de optimalisatiekansen door het meenemen van extra sterkte door fijne fractie en cohesie binnen het getijdenzand te valideren.

Binnen het KPP-project Kennis voor Keringen is in 2018 begonnen met een onderzoekslijn naar piping in getijdenzand. Deze lijn is vanwege de veelbelovende resultaten in 2019 doorgezet (Hijma & Oost, 2018; Hijma, 2019). Het onderzoek bestond in hoofdlijnen uit:

1. Karakterisatie: hoe zien getijdenafzettingen eruit? Gekoppeld aan de WBI-SOS eenheden.
2. Inventarisatie: wat voor onderzoek is al gedaan?
3. Demonstratie: kleine schaalproeven op uit veld gehaald getijdenzand. De voorlopige conclusie is dat getijdenzand gemiddeld 2x sterker is dan volgt uit de rekenregel van Sellmeijer (zie Figuur 3). Er zijn tot nog toe 10 kleine schaalproeven uitgevoerd.



**Figuur 3: Resultaten pipingproeven op getijdenzand (vierkantjes); rood omcirkeld: rivierzand met relatief hoge fijne fractie**

De kleine schaalproeven zijn uitgevoerd op isotroop aangebracht getijdenzand en de extra sterkte wordt dus niet veroorzaakt door anisotropie en/of meerlaagsheid, maar door directe beïnvloeding van het pipingproces door de aanwezigheid van de fijne fractie. Deels wordt dit veroorzaakt door extra cohesie, zowel door de aanwezigheid van kleideeltjes (fysische cohesie) als door de aanwezigheid van biofilms (biologische cohesie). Daarnaast ontstaat de sterkte waarschijnlijk ook door de invloed van de fijne fractie op het losmaken van korrels, ook als de fijne fractie niet cohesief is (silt), of door doorlatendheidseffecten die niet door de rekenregel van Sellmeijer omvat worden. Het onderzoek uit 2019 laat zien dat er met name een sterke correlatie is tussen het percentage slib ( $< 16 \mu\text{m}$ ) en de sterkte-toename.

Praktijkproeven en aanvullende kleine en mediumschaalproeven zijn nodig om de gevonden sterkte te valideren, zodat de extra sterkte voor de verschillende typen WBI-SOS eenheden vastgesteld kan worden en direct toegepast binnen het WBI. De invloed van de verschillen tussen praktijkproeven (ongeroid, medium-grote schaal) en schaalproeven (geroid, kleine-medium schaal) op de resultaten moet daarbij veel aandacht krijgen.

## **5. Afleiden van een aangepaste aanpak voor piping in het getijdengebied o.b.v. de daadwerkelijke totale sterkte van het getijdenzand op piping.**

De bestaande rekenregel is geijkt op rivierzand en vooral afgeleid uit kleine- en mediumschaalproeven. Aangenomen mag worden dat deze rekenregel de sterkte van het getijdenzand sterk onderschat, ook op de locatie van de praktijkproef. De extra sterkte zal veroorzaakt worden door een combinatie van eerder genoemde aspecten (a t/m e) bij doelstelling 1: meerlaagsheid, anisotropie, fijne fractie, cohesie en doolhofstructuur. De invloed van de verschillende aspecten op het pipingproces in de verschillende typen getijdenafzettingen volgt uit de expert werkplaats in fase 1A (doelstelling 1). Om deze extra sterkte in de beoordeling en het ontwerp van waterkeringen mee te kunnen nemen is het nodig een aangepaste aanpak op te stellen, dit zal onderdeel zijn van het Hedwigeproject.

Voor het opstellen van een aangepaste aanpak is het nodig de bijdrage van elk van de aspecten (a t/m e) aan de sterkte te kennen. Het is namelijk niet ondenkbaar dat het pipingproces in het bepaalde typen zandige getijdenafzettingen, bijvoorbeeld bij veel klei-zand afwisselingen, fenomenologisch anders verloopt of gewoonweg niet op kan treden waardoor bestaande modellen niet meer van toepassing zijn. Hiertoe zullen aanvullende kleine en medium schaalproeven uitgevoerd dienen te worden waarbij o.a. de randvoorwaarden voor een terugschrijdend erosieproces (piping) worden onderzocht. Om het toepassingsbereik te vergroten zal het nodig zijn de kleine en mediumschaalproeven op verschillende typen getijdenzand uit te voeren. In lijn met de eerder genoemde doelstelling wordt een gefaseerde aanpak voorzien in het komen tot een aangepaste aanpak ten aanzien van het beoordelen en ontwerpen op piping in getijdenzand.

Voor de korte termijn kan het gunstige effect van meerlaagsheid en anisotropie al worden meegenomen in pipinganalyses o.b.v. bestaande technieken en de vertaling hiervan in D-Geo Flow. Dit zijn optimalisaties die nu al verzilverd kunnen worden door lokaal in-situ onderzoek te doen in een maatwerk aanpak (zie ook doelstellingen 2 en 3). Wel geldt hierbij dat D-Geo Flow momenteel nog niet gevalideerd is, er is slechts een bèta-versie beschikbaar, en de uitkomsten van D-Geo Flow nog niet direct naar faalkansen omgerekend kunnen worden. In 2020 zal dit waarschijnlijk veranderen, omdat er een door RWS-WVL gefinancierd project zal starten dat zal resulteren in een gevalideerde versie van D-Geo Flow. Daarnaast zal naar verwachting volgend jaar een project uitgevoerd worden, waarna de berekende kritieke vervallen in D-Geo Flow vertaald kunnen worden naar faalkansen.

Indien de praktijkproefresultaten uit Noord-Friesland (zie onder) en de Hedwigepolder samen met de resultaten uit de kleine en mediumschaalproeven voldoende vertrouwen geven in de extra sterkte door de aanwezigheid van een fijne fractie (inclusief cohesie), kan deze sterkte op middellange termijn eveneens meegenomen worden binnen versterkings- en beoordelingsprojecten. Zeer waarschijnlijk zal dit kunnen door gebruik te maken van resultaten van lopend onderzoek binnen het Kennis voor Keringen-programma van Rijkswaterstaat: de eerste resultaten daarvan laten een duidelijk verband zien tussen sterkte winst en het percentage fijne fractie. Dit percentage is goed vast te stellen in korrelgrootteproeven en daarom een praktijkvriendelijke parameter. Daarnaast kunnen mogelijke enkele kleiige getijdenzandafzettingen weggeschreven worden als niet-pipinggevoelig, dit in combinatie met de uitkomsten van de expert werkplaats.

De mogelijke sterkte door de afwezigheid van een vlak pad waarlangs een pijp kan groeien, de doolhofstructuur die aanwezig zal zijn bij getijdenzand met veel dunne kleilaagjes (zie Figuur 2), zal moeilijk globaal te kwantificeren zijn. Op de proeflocatie zal het terugschrijdende erosieproces worden gevolgd en nagegaan worden in hoeverre dit een significante effect kan hebben op het pipingrisico.

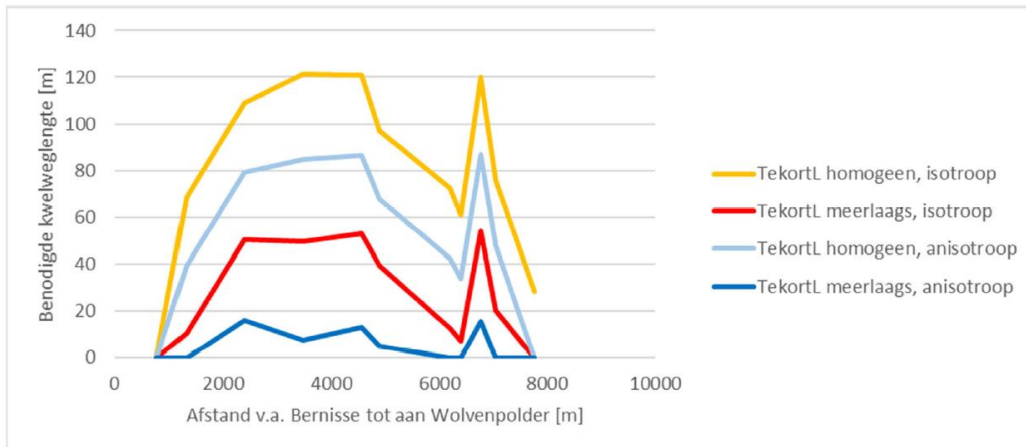
*Samengevat subdoelstellingen:*

Met het project willen we inzicht krijgen in het pipingproces in getijdenafzettingen, met mogelijk uitsluiten van bepaalde typen getijdenafzettingen waar piping tot een doorbraak kan leiden (doelstelling 1). Primaire focus ligt vervolgens op de korte/middellange termijn, met nadruk op validatie van bestaande technieken, (reken)methoden, inzichten uit kleine schaalproeven en het stimuleren van de toepassing hiervan in dijkprojecten (doelstellingen 2, 3 en 4). Concreet gaat het hier om het valideren van de sterkte van het getijdenzand door het meenemen van meerlaagsheid, anisotropie en invloed van de fijne fractie op het pipingproces. Voor de middellange termijn willen we toewerken naar een andere aanpak voor piping in getijdenzand (doelstelling 5) waarbij de aanwezige sterkte in rekening kan worden gebracht in beoordeling en ontwerp.

### **1.3 Relatie met HWBP programmadoelstellingen**

Het doel van het HWBP is om in 2050 alle primaire waterkeringen op een sobere en doelmatige wijze versterkt te hebben, zodat de waterkeringen voldoen aan de wettelijke normen. Om dit doel te behalen dienen versterkingen sneller, goedkoper en duurzamer te worden uitgevoerd. Ook aan de voorkant dient de veiligheidsbeoordeling een reëel en stabiel beeld te geven van de daadwerkelijke opgave.

Het valideren van bestaande technieken en rekenmethoden m.b.t. piping in getijdenzand kan een directe besparing binnen de HWBP-projecten opleveren door a) het reduceren van de scope van de dijkversterking, b) het reduceren van de omvang van maatregelen en c) de mogelijkheid te kiezen voor meer duurzame, goedkopere alternatieven. Voorbeeld is de businesscase voor normtraject 20-3 die i.h.k.v. het anisotropieonderzoek is opgesteld (Figuur 4). Op delen vervalt de opgave voor piping en op andere is het kwelweglengtetekort tot wel 60% gereduceerd waardoor een bermoplossing (al dan niet gecombineerd met een maatregel op STBI) een aantrekkelijke optie wordt in vergelijking met een zware en duurdere damwand als kwelscherm. Deze reductie is dus bereikt door het meenemen van meerlaagsheid en anisotropie in een maatwerk aanpak o.b.v. D-Geo Flow. De extra sterkte door cohesie en de remmende werking van kleilaagjes op het pipingproces is hierbij nog niet meegenomen.



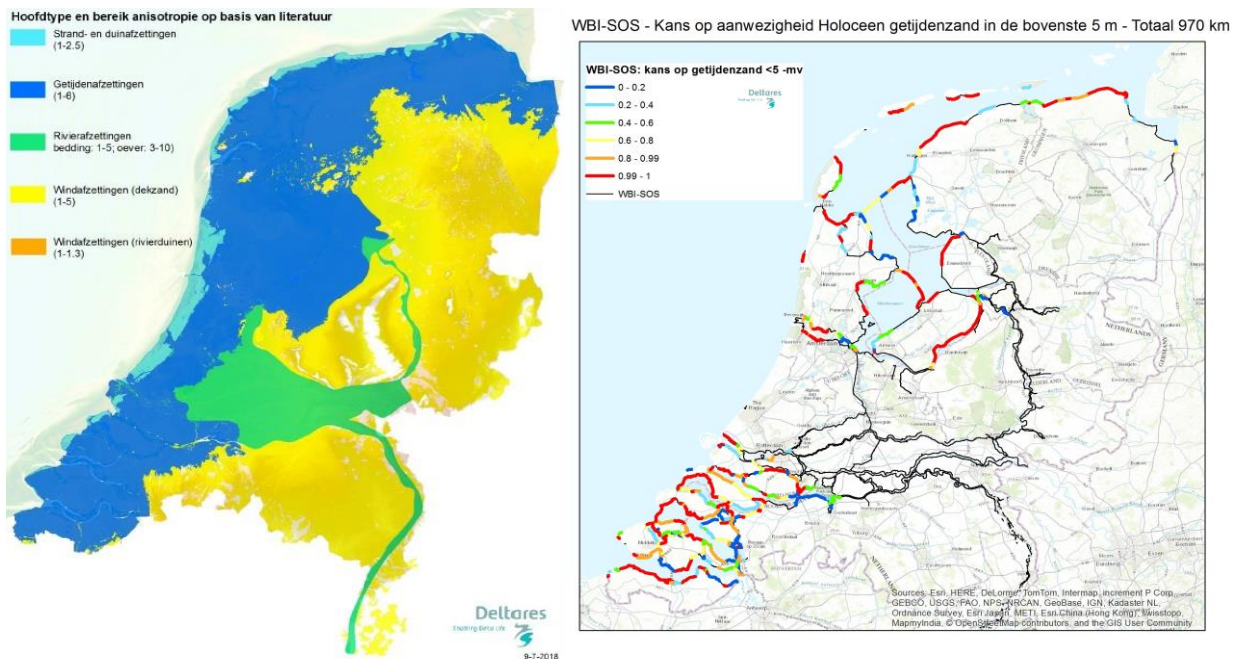
**Figuur 4: Reductie kwelweglengtetekort door betere karakterisering getijdenzand (in dit geval meerlaagsheid en anisotropie) – bron: businesscase anisotropieonderzoek fase 1 (1217-0051-000.R06 d.d. 09-08-2018 & update mei 2019)**

Uit de opgestelde businesscase voor normtraject 20-3 (Spui-West) en gevoeligheidsanalyses met +/- 0,1 variatie in schematiseringsfactor blijkt dat de besparing als gevolg van het meenemen van anisotropie ca. € 2,5M a € 4,0M bedraagt met een verwachtingswaarde van € 3,4M. Let op dat hierbij de besparing door het meenemen van meerlaagsheid, bovenop de winst door het meenemen van anisotropie, nog niet eens is meegeteld. Gebeurt dit wel, dan zal de besparing minimaal een factor 2 groter worden, zoals ook wel blijkt uit Figuur 4, met ca. 20% besparing door anisotropie bovenop ca. 40% door meerlaagsheid.

#### 1.4 Toepassingsbereik

Het toepassingsbereik van de proef spitst zich toe op gebieden met getijdenzand. In Figuur 5 is dat het blauw gearceerde gebied langs de Nederlandse kust en grote meren. Het afzettingsmilieu in dit gebied is wel verschillend, zo bevat het getijdenzand in het noorden van het land meer lutum waardoor de weerstand tegen piping mogelijk groter zal zijn. Parrallel aan dit voorstel is daarom ook een initiatief gestart voor een medium schaal praktijkproef in het beheergebied van Wetterskip Fryslân (Noord-Friesland, word momenteel uitgevoerd). Daar bevat het getijdenzand dus meer lutum, waardoor beide proeven verschillende typen getijdenzand, en daarmee verschillende WBI-SOS eenheden, beproeven. De beide proeven zijn daarom niet repeterend, maar complementair. Met de kleine en mediumschaalproeven zullen ook de overige typen getijdenzand onderzocht worden, waardoor het uiteindelijke toepassingsbereik het gehele areaal aan dijken op getijdenzand betreft.

Hoewel de nadruk binnen het onderzoeksvoorstel ligt op getijdenzand, zal de opgedane kennis ook relevant zijn voor het rivierengebied. In dat deel van Nederland spelen meerlaagsheid en anisotropie van het watervoerend pakket namelijk ook een rol en zijn er ook afzettingen met een fijne fractie (inclusief cohesieve lutumdeeltjes). In lijn met doelstelling 3 (stimuleren toepassing nieuwe kennis) willen we het toepassingsbereik zo mogelijk vergroten naar het rivierengebied door a) betrokkenheid en afstemming met de pipingproef in de Willemspolder (zie ook §1.5) en b) door de kennis en ervaringen opgedaan binnen verschillende versterkingsprojecten in het rivierengebied, zoals Wolferen-Sprok (WSRL), Culemborgse Veer-Beatrixsluis (HDSR), Grebbedijk (WV) en Stadsdijken Zwolle (WDOD) te inventariseren en te gebruiken.



**Figuur 5: Linkerpaneel toont het voorkomen getijdenafzettingen in Nederland (blauw). Rechterpaneel laat zien waar en met welke kans getijdenzand voorkomt in de bovenste 5 m. Rood geeft aan dat de kans 99-100% is.**

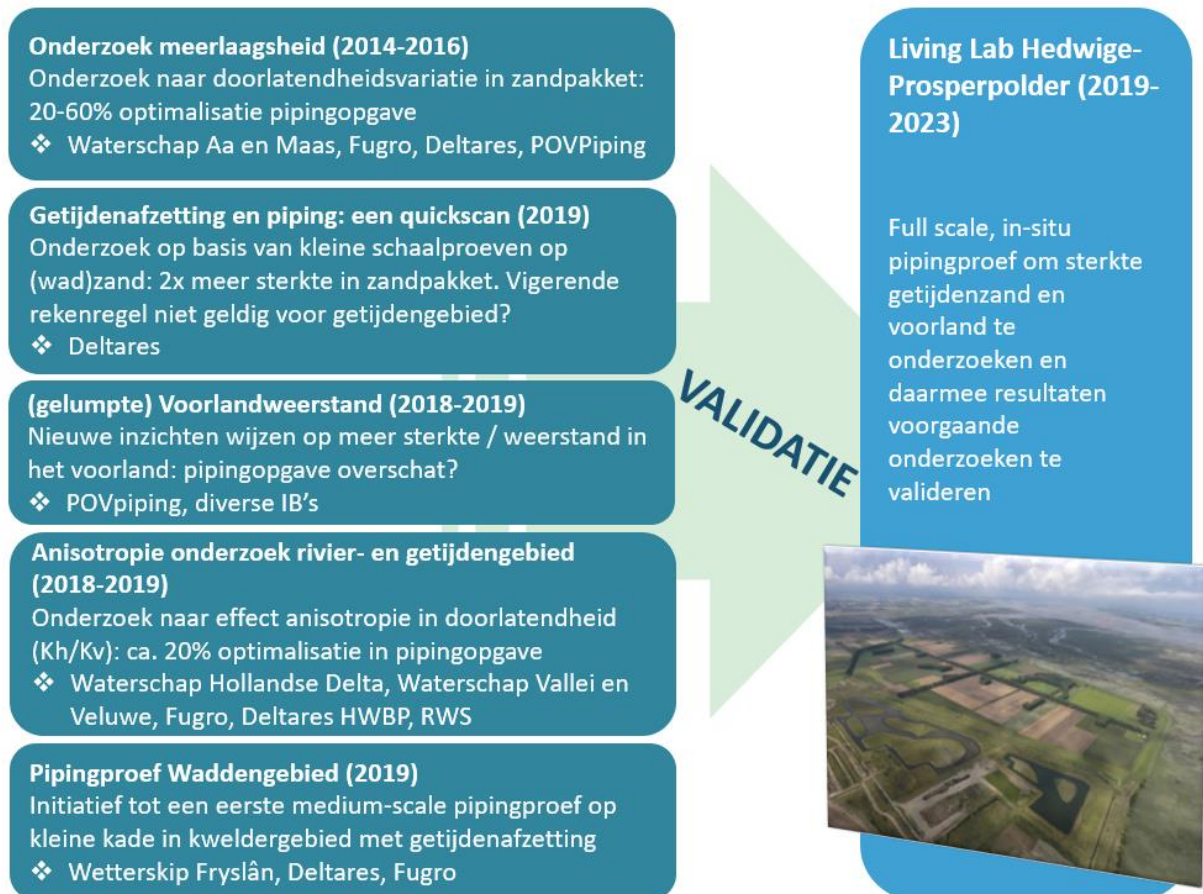
## 1.5 Relatie met andere projecten

Binnen verschillende onderzoeksprojecten is gebleken dat het getijdenzand onder onze primaire en regionale waterkeringen fors meer weerstand biedt tegen piping dan uit de vigerende rekenregels blijkt. In Figuur 6 is een overzicht gepresenteerd van relevante projecten op het thema: piping in getijdenzand. De achtergronden bij deze projecten zijn nader toegelicht in bijlage 1.

Afgezien van het onderhavige voorstel en de lopende praktijkproef in Friesland, wordt ook gewerkt aan een voorstel voor een praktijkproef in de Willemspolder. De pipinggevoelige afzettingen bestaan daar uit rivierzand, maar deze bevatten gemiddeld een fijne fractie van 1-3%. Daarnaast mag verwacht worden dat er enige mate van meerlaagsheid en anisotropie aanwezig is. Twee van de subdoelstellingen bij de Willemspolder sluiten dan ook direct aan bij de voorgestelde proef in de Willemspolder, namelijk a) vaststellen van de invloed van de fijne fractie en b) vaststellen van de invloed van anisotropie. Indien naast de proef in Friesland ook de proeven in de Hedwige- en Willemspolder doorgang vinden, ontstaat er een set praktijkproeven die een breed spectrum van typen zand bestrijken:

- isotroop zand zonder fijne fractie (IJKdijk, Deltagoot)
- getijdenzand met sterke anisotropie en relatief hoge percentages fijne fractie (Hedwigepolder, Friesland)
- rivierzand met anisotropie en beperkt percentage fijne fractie (Willemspolder)

In combinatie met reeds uitgevoerde en nog uit te voeren kleine en medium schaalproeven wordt zo een dataset gevormd die het begrip van het pipingproces flink zal doen toenemen, waardoor beoordelingen en ontwerpen kunnen gaan aansluiten bij de praktijk.



**Figuur 6: Overzicht recente projecten pipingrisico in o.a. getijdenzand**

## **2 Route naar Plan van Aanpak**

### **2.1 Aanloop**

In 2018 is samen met het Wetterskip Fryslân gestart met het maken van een plan voor een pipingproef bij de Lontkade in Noord-Friesland. Deze proef kan gezien worden als een medium-schaalpraktijkproef op getijden-afzettingen. In februari 2019 werd hier volop aan gewerkt toen de uitnodiging voor de "Inspiratiemiddag Living Lab Hedwige-Prosperpolder" op 20 maart langs kwam. Meteen was duidelijk dat dit een unieke kans zou kunnen zijn om een full-scale pipingproef uit te voeren op een primaire waterkering, iets dat nog nooit eerder uitgevoerd is. Na een verkennende analyse van het beschikbare grondonderzoek werd duidelijk dat een pipingproef inderdaad mogelijk is, omdat er onder de dijk een 3 à 4 m dik pakket getijdenzand aanwezig is. Begin maart is daarom een eerste voorstel geschreven voor de proef, waarbij ook, puur vanuit de ondergrondopbouw redenerend, een geschikte locatie is aangewezen. Enkele dagen voor de Inspiratiemiddag is het plan gedeeld met Ludolph Wentholt (STOWA) en Patrick Peeters (MOW) en op de middag zelf is het met verschillende mensen besproken die allen enthousiast reageerden.

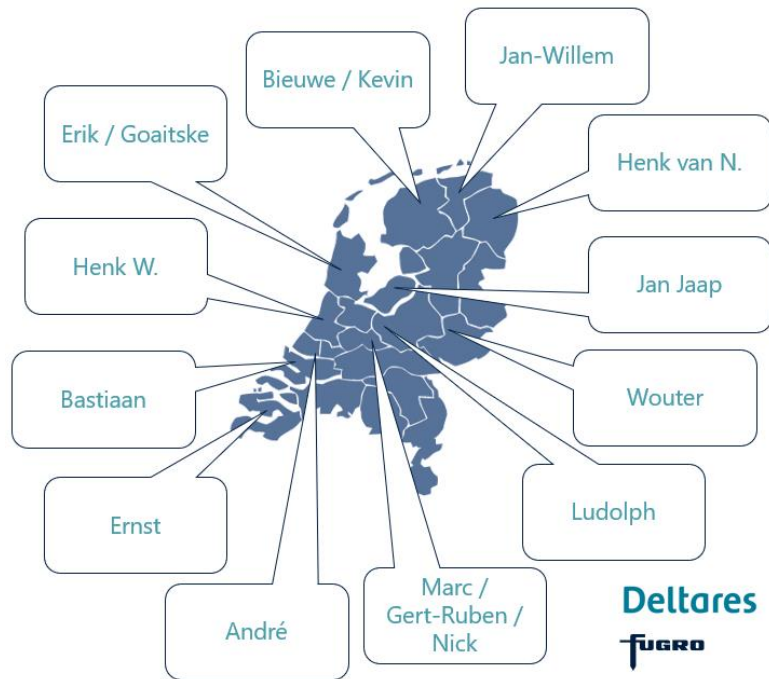
### **2.2 26 juni 2019: Overleg met probleemeigenaren**

Aangejaagd door de positieve energie van de Inspiratiemiddag is nadien contact gelegd met alle waterschappen die in grote mate te maken hebben met getijdenafzettingen en andere probleemeigenaren zoals Rijkswaterstaat-WVL en het HWBP. Om draagvlak voor het Plan van Aanpak te krijgen én om ideeën op te doen voor de uitvoering en projectorganisatie is een overleg georganiseerd met de probleemeigenaren. Dit overleg heeft plaatsgevonden op 26 juni 2019. Voor het overleg is een ingevuld HWBP factsheet opgestuurd naar het HWBP.

In het overleg is het voorstel voor de praktijkproef toegelicht en heeft Ludolph Wentholt een presentatie gegeven over het Living Lab. Verder is in twee groepen verder gediscussieerd over 1) de opzet van de proef en 2) hoe de kennis die opgedaan wordt bij de proef kan 'landen' en toegepast kan worden in Nederland. Het was een inspirerende bijeenkomst met enthousiaste reacties, waarmee geconcludeerd kon worden dat alle betrokkenen de noodzaak en het nut van een dergelijke praktijkproef zien.

Aanwezig waren: Erik Vastenburgh (HHNK), Kevin van der Giessen (Wetterskip Fryslân), Jan-Willem Nieuwenhuis (Noorderzijlvest), Goaitske de Vries (HWBP/HHNK), Henk Weijers (POV, Rijnland), Jan Jaap Heerema (RWS-WVL), Ludolph Wentholt (STOWA), André Koelewijn (STOWA, Deltares), Wouter Zomer (STOWA, BZIM), Marc Hijma (Deltares) en Gert-Ruben van Goor (Fugro). Niet aanwezig, maar wel op de hoogte gesteld: Jaap Stoop (HHSK), Ernst Jonker (Scheldestromen), Henk van Norel (Hunze en Aa) en Bieuwe Couperus (Wetterskip Fryslân). Figuur 6 laat zien dat de betrokkenen uit de volle breedte van Nederland afkomstig zijn.





**Figuur 7: Werklocaties van deelnemers breed overleg 26 juni 2019**

### 2.3 Overleg HWBP

Op 8 juli 2019 is een vervolgoverleg geweest met het HWBP (Goaitske de Vries en Huub de Bruijn). Hier is met name het pad richting het indienen van een uitgewerkt Plan van Aanpak besproken en aangegeven dat een dergelijke proef goed past binnen de scope van het HWBP. Ook is de relatie tot andere lopende plannen besproken (Lontkade, maar ook Willemspolder) en is geconcludeerd dat deze proeven in belangrijke mate complementair zijn en in gezamenlijkheid de kennis over de invloed van anisotropie, meerlaagsheid en een fijne fractie in het zand op het pipingproces enorm zullen vergroten.

### 2.4 Overleg STOWA

Op 16 juli 2019 is vervolgoverleg geweest met STOWA (Ludolph Wentholt en André Koelewijn). Hier is definitief vastgesteld dat een stuk dijk van 440 m lang wordt gereserveerd voor pipingproeven. Het gaat om een stuk dijk langs het Sieperdaschor. Ook is afgesproken dat overleg gepland wordt met de betrokken Vlaamse partijen om hen te informeren, feedback te ontvangen en data uit te wisselen.

### 2.5 Overleg met WSHD

Eind augustus 2019 is overleg geweest met waterschap Hollandse Delta (Bastiaan Los en Ralf Roodenburg) die bereid zijn om vanuit hun waterschap het voorstel in te dienen bij het HWBP. Dit is verder afgestemd in september 2019 met het IPM team van de dijkversterking Geervliet-Hekelingen, normtraject 20-3. Op 27 november en 10 december is het plan ook toegelicht aan het HWBP begeleidingsteam (Anske van der Laan, Myranda van Kooten en Sandra Brouwer) en het IPM team van WSHD voor de dijkversterking Geervliet-Hekelingen 20-3 waar de pipingproef ondergebracht gaat worden.

### 2.6 Overleg met MOW

Het Living Lab bij Hedwige-Prosperpolder ligt deels op Belgisch grondgebied en Belgische partijen participeren in het project en voeren ook grondonderzoek uit. De meeste werkzaamheden worden gedaan vanuit het Departement Mobiliteit en Openbare Werken

(MOW) van de Vlaamse overheid. Op 17 september 2019 is een bezoek gebracht aan het MOW-kantoor in Zwijnaarde om elkaar te informeren en om data uit te wisselen, contactpersoon aldaar is Griet de Backer. Het MOW is enthousiast, heeft data beschikbaar gesteld, blijft graag betrokken en heeft interesse om tijdens de proef ook mee te werken aan de monitoring.

## **2.7 Aanvullende overleggen met het HWBP en het BOI-team**

De werkversie van het concept Plan van Aanpak is een vroeg stadium gedeeld met het HWBP en op 7 oktober met hen besproken (Goaitske de Vries, Huub de Bruijn). Op 1 november is vervolgens een concept Plan van Aanpak ingediend. Op 12 november is wederom overleg geweest met het HWBP, waarin positief gereageerd is op het concept en commentaar vanuit HWBP en RWS-WVL gedeeld. Bij dat gesprek schoof ook Don de Bake aan om af te stemmen over de ontwikkelingen binnen het Beoordelings- en Ontwerpinstrumentarium in relatie tot de Hedwige-proef. Het inhoudelijk commentaar vanuit het Kennis en Innovatieteam van het HWBP is op 2 december besproken met Han Knoeff en Huub de Bruijn. Op 10 december is verder nog overleg geweest met het HWBP en betrokkenen bij het plan voor een pipingproef in de Willemspolder.

Het verwerken van het commentaar en het meenemen van alle input die volgde uit de gesprekken heeft uiteindelijk geresulteerd in het onderhavige definitieve Plan van Aanpak dat half december is ingediend.

### 3 Aanpak

#### 3.1 Projectlocatie

De pipingproef zal plaatsvinden langs de Sieperdadijk van de Hertogin Hedwigepolder die relatief recent, in 1907, ingepolderd is. Daarvoor lag de polder in het Verdrunken Land van Saeftinghe (ontstaan in 1584). Binnen het LLHPP initiatief is reeds een dijk lengte van 440 m gereserveerd voor de praktijkproef, zie Figuur 8. Deze locatie is gekozen op basis van een gunstige bodemopbouw (zie verder) in combinatie met de mogelijkheden vanuit het inrichtingsproject van de Hedwige- en Prosperpolder. Direct langs de Westerschelde is een tot 6 m dikke deklaag aanwezig, met daaronder zeer beperkte aanwezigheid van getijdensand. Dit maakt een locatie langs de Schelde niet geschikt voor het uitvoeren van de pipingproef.

#### 3.2 Ondergrondopbouw



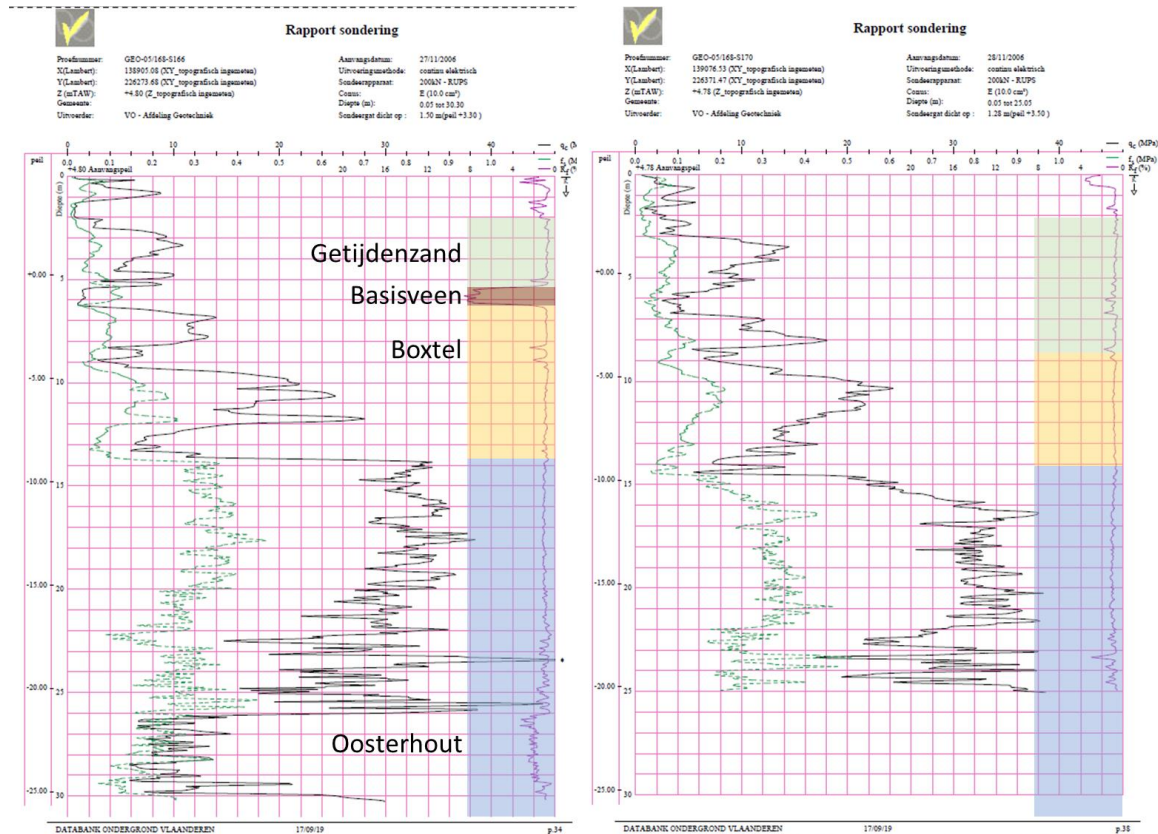
**Figuur 8: Beoogde projectlocatie praktijkproef piping: 440 m (m2810 – m3250)**

**De aangegeven locatie ligt naast het Sieperdaschor met op het voorland een cohesieve deklaag variërend van ca. 1 tot 3 m. Onder de deklaag bevindt zich óf een getijdensandlaag van enkele meters dik met daaronder een basisveenlaag rond 3 à 4 m -NAP óf een dikker pakket getijdensandafzettingen waarbij het basisveen ontbreekt (**

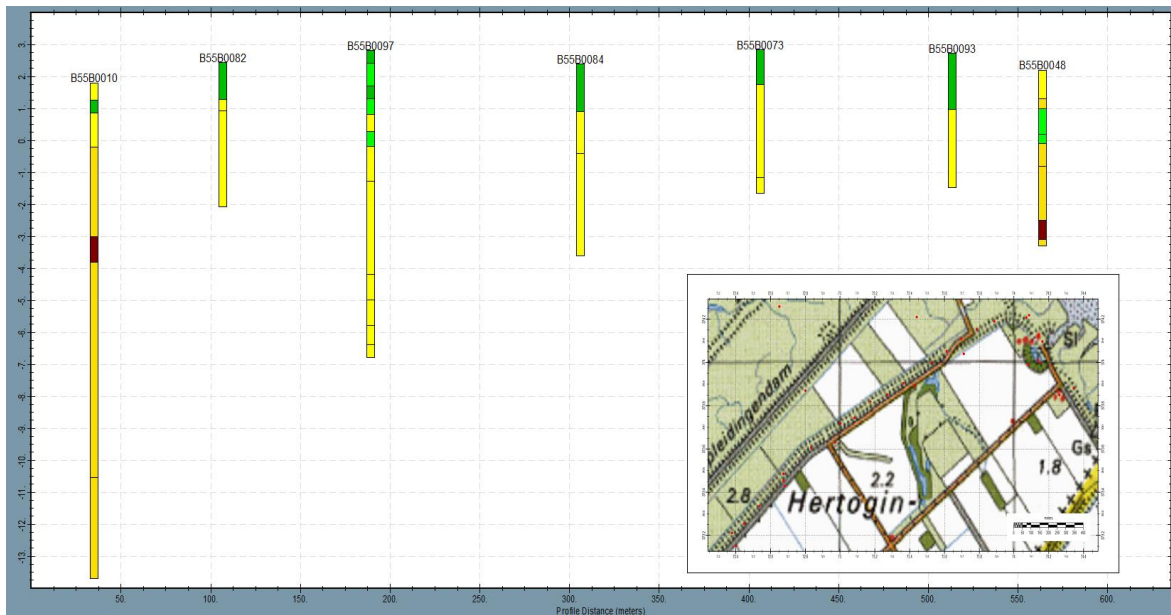
**Figuur 9, Figuur 10).** De beschikbare sonderingen laten zien dat het getijdensand in het laatste geval tot dieptes van rond 7 m -NAP voorkomt en dan in direct contact staat met het Pleistocene zand. De conusweerstand van het getijdensand is relatief hoog (tot ruim 10 MPa), het wrijvingsgetal laag en de uitslagen zijn redelijk constant. Dit maakt het aannemelijk dat het een relatief homogeen zandpakket betreft, met weinig kleilagen, passend bij WBI-SOS eenheden H\_Mg\_zm of H\_Mg\_zf. Hierdoor wordt niet verwacht dat het pipingproces wezenlijk anders zal verlopen dan waargenomen in de kleine schaalproeven.

Als de basisveenlaag niet aanwezig is neemt de dikte van het zandpakket dat piping beïnvloedt toe. Het goed in beeld hebben van de verbreiding van de basisveenlaag is dus erg belangrijk. Beschikbaar grondonderzoek is daarom reeds geanalyseerd op het voorkomen

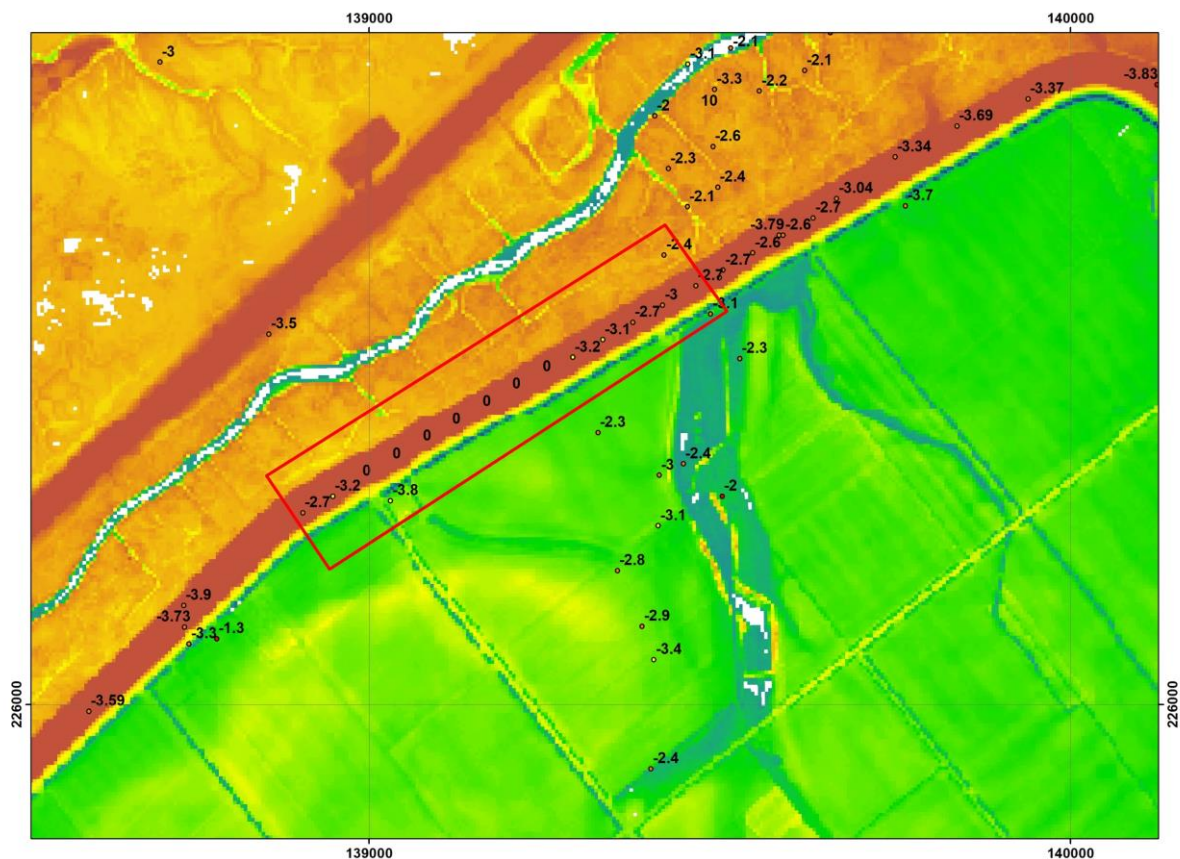
van basisveen. Figuur 11 laat zien dat het basisveen met name in het centrale deel van locatie ontbreekt. Waar het voorkomt, komt het op sterk wisselende dieptes voor. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door een golvende top van het Pleistoceen (waarschijnlijk kleine duintjes) waarover het veen gedrapeerd ligt. Waar het veen ontbreekt is het geïrodeerd door getijdengeulen.



**Figuur 9: Voorbeelden van de ondergrondopbouw ter plaatse van de voorgestelde praktijkproef. Links een opbouw met en rechts een opbouw zonder basisveen (dieptes in m TAW, -2,33 m = NAP). Data verkregen via dov.vlaanderen.be. Linkerpaneel laat rond -21 m TAW een kleilig traject zien in de Formatie van Oosterhout.**



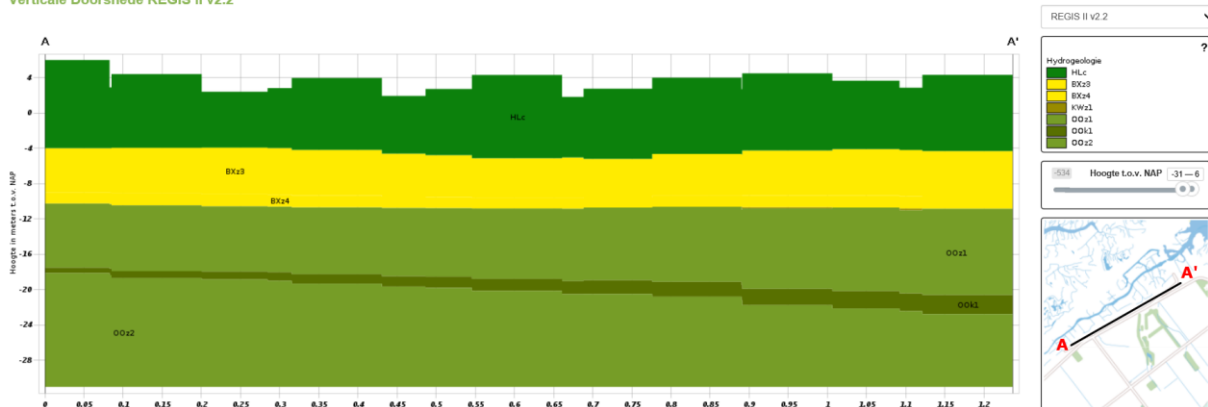
**Figuur 10: Boringen vanuit TNO-Geologische Dienst van Nederland voor het gereserveerde traject. Geel=zand, groen=klei/zandige klei en bruin=veen. In het uiterste westen en oosten is het basisveen aangetroffen rond 2.5/3.5 m -NAP. In het midden van het traject lijkt het basisveen niet aanwezig.**



**Figuur 11: Diepte van de onderkant van het basisveen (m NAP). De achtergrond is een AHN-beeld, waarbij groen relatief laag is en bruin relatief hoog. Locaties waar het basisveen ontbreekt zijn aangegeven met '0'.**

De eerste paar meter van het Pleistoceen bestaan uit afzettingen van de Formatie van Boxtel (beek- en/of windafzettingen), daaronder ligt de Formatie van Oosterhout met rond 22 m -NAP een scheidende laag (Figuur 12). Deze scheidende laag wordt ook in de sonderingen aangetroffen (Figuur 9). De Formatie van Oosterhout is gevormd in een kustnabije zee.

Verticale Doorsnede REGIS II v2.2



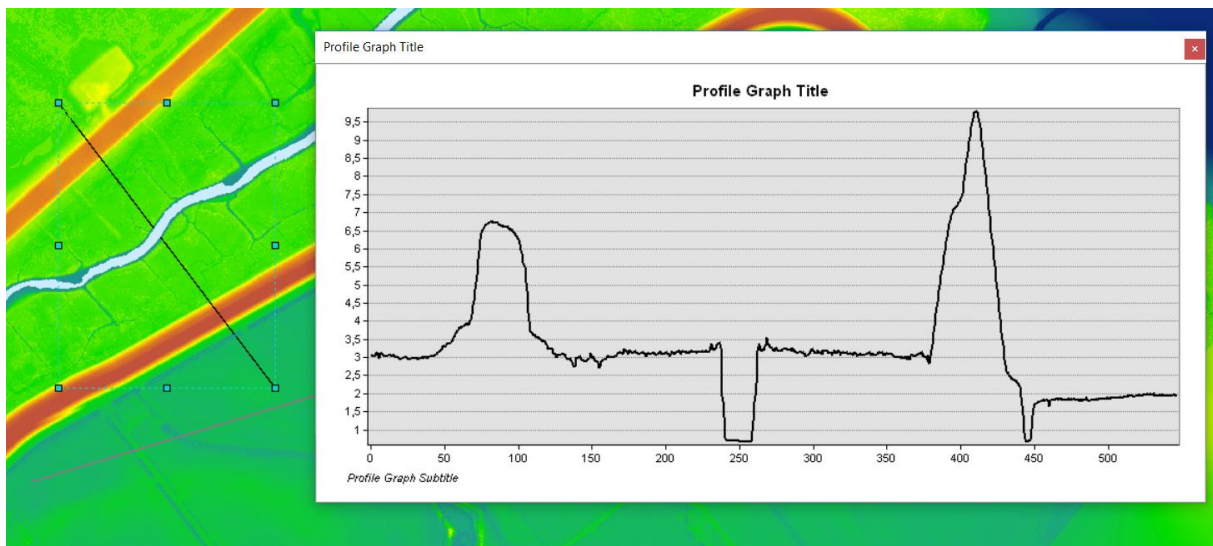
**Figuur 12: Doorsnede proeflocatie (REGISII). HLC=Holocene getijdenafzettingen; BXz=zandige Formatie van Bortel; Ooz=zandige Formatie van Oosterhout en Ook=kleiige Formatie van Oosterhout.**

### 3.3 Hoogteligging

In figuur 13 is een hoogteprofiel opgenomen van een dwarsprofiel dat is getrokken over de leidingendam ten noorden van de projectlocatie tot over de Sieperdadijk zelf. De leidingendam heeft een hoogte van ca. NAP +6,6 m. Opgemerkt wordt dat de leidingendam geen waterkering betreft, maar een veiligheidsconstructie voor kabels en leidingen gelegen tussen twee overstroombare schorgebieden: het Verdrongen Land van Saeftinghe en het Sieperdaschor.

De kruin van de Sieperdadijk is op ongeveer NAP +9,6 m is gelegen. Het voorland voor de Sieperdadijk ligt vrij vlak op een hoogte van rond NAP +3 m. De voorlandlengte varieert tussen 100 en 140 m. Op het voorland komen kleinere geultjes voor die haaks op de hoofdgeul staan. Deze variëren volgens het AHN in diepte van 0,5 tot 1 m. Het maaiveldniveau van de Hedwigepolder achter de dijk ligt op ca. NAP +1,8 m. De kerende hoogte van de Sieperdadijk is daarmee ca. 7,8 m. Aan de binnendijkse zijde van de dijk is een teensloot aanwezig.

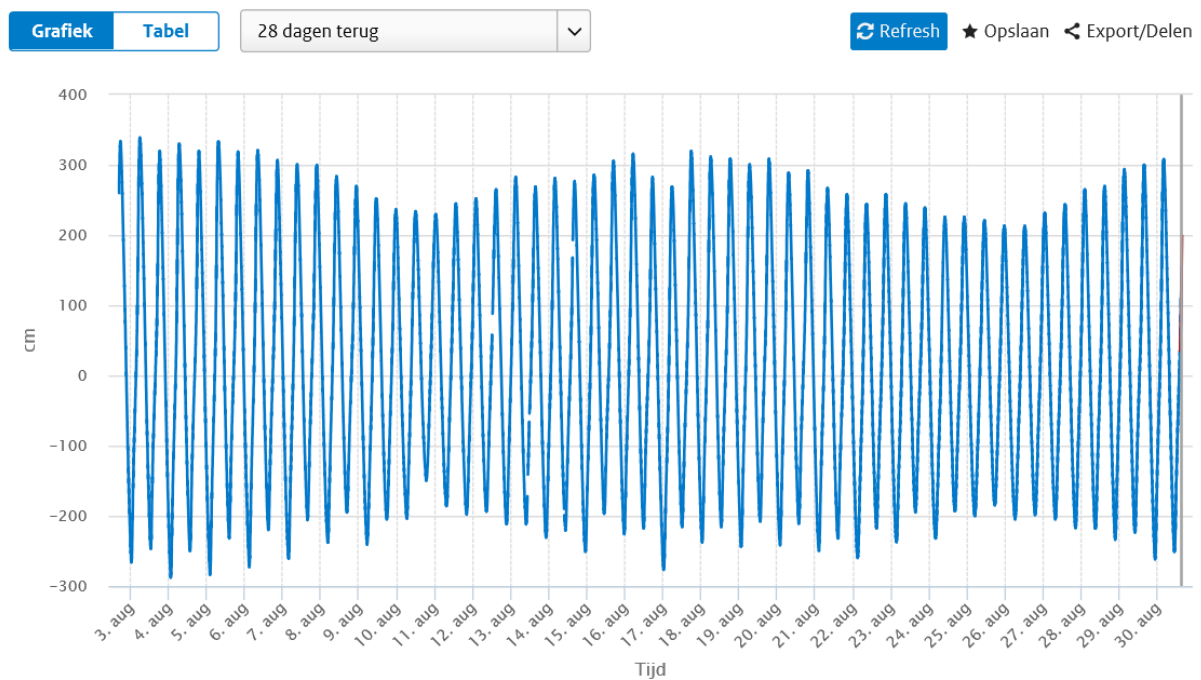
De bodemligging van de geul op het voorland tussen de leidingendam en de Sieperdadijk is voorsnog niet exact bekend. Mogelijk dat deze geheel of gedeeltelijk insnijdt in de getijdenzandlaag.



**Figuur 13: Dwarsprofiel (links: leidingdam; rechts: Sieperdadijk)**

In figuur 14 is het waterstandsverloop op de Schelde ter hoogte van de Prosperpolder weergegeven voor de maand augustus 2019. Het meetstation ligt iets bovenstrooms van de projectlocatie, maar te zien is dat het voorland voor de Sieperdadijk in normale omstandigheden niet zwaar wordt belast. Tijdens springtij kan er een laagje water van enkele decimeters op het voorland staan. Uiteraard kan het beeld bij (zware) storm anders zijn.

📍 Prosperpolder | Laatste meting: 154cm op 30-08-2019, 15:00:00



**Figuur 14: Waterstandsverloop meetstation Prosperpolder (2019; cm t.o.v. NAP)**

Samenvattend: binnen het LLHPP initiatief is een projectlocatie langs 440 m van de Sieperdadijk gereserveerd voor de pipingproef. De lokale bodemopbouw is geschikt voor het uitvoeren van de praktijkproef, m.n. door het ontbreken van een dikke deklaag en de

aanwezigheid van een pakket van enkele meters getijdenzand onder deze deklaag. Het definitieve proefontwerp zal onder meer afhangen van het voorkomen van de basisveenlaag.

### **3.4 Eerste ideeën proefontwerp**

In deze paragraaf wordt een eerste aanzet gegeven voor een mogelijk proefontwerp en alternatieven. Een inventarisatie van mogelijke ontwerpen, met de keuze hierin gebaseerd op omgeving, techniek, budget, duurzaamheid en risico's, zal in fase 1 van het project nader worden uitgewerkt. Het voorbeeld zoals hier beschreven is een eerste aanzet, zodat een beeld kan worden gevormd bij een mogelijke opzet en kosten die met de proef gemoeid zijn.

Uitgangspunt voor de pipingproef is om een maximaal waterstandsverval over de Sieperdadijk aan te brengen en een geconcentreerde kwelstroom richting de teensloot te creëren. Een hoge belasting zal nodig zijn om het erosieproces in het getijdenzand in gang te zetten. Verkennende D-Geo Flow berekeningen laten zien dat in aanwezigheid van het basisveen en een volledig afgegraven deklaag er doorgaande pipegroei optreedt bij een buitendijkse waterstand van 8 m +NAP. Deze berekeningen houden rekening met anisotropie en meerlaagsheid. De invloed van cohesie, mogelijk een factor 2, zit hier niet in. In afwezigheid van het basisveen is een buitendijkse waterstand van 4.75 m +NAP nodig.

Het eerste idee om het benodigde verval te realiseren was door het opzetten van buitendijks water in een bak waarin het waterpeil gecontroleerd in opgezet kan worden. Een dergelijke bak kan van damwanden of een grondconstructie worden geconstrueerd. De hoogte van deze bak lijkt in eerste instantie beperkt te worden tot de hoogte van de huidige Sieperdadijk en zal voor een groot deel op het voorland van de dijk aangelegd moeten worden. De deklaag zal moeten worden afgegraven om de weerstand van de deklaag teniet te doen en zodoende de grondwaterstroming in het getijdenzand op gang te brengen. Het water zal evenwel relatief veel verticale stromingsweerstand ondervinden om in het getijdenzand in te dringen, dit vanwege de verwachte lage verticale doorlatendheid van het pakket waarbinnen zich vermoedelijk vele kleilaagjes bevinden. Ook de kosten en risico's, zoals de invloed op natuurwaarden, die gemoeid zijn met een damwand of grondconstructie op het voorland zijn aanzienlijk gebleken. Daarom is een alternatieve proefopzet ontwikkeld waarmee het verval over het getijdenzand doormiddel van infiltratiebuizen wordt gerealiseerd. Deze opzet is gelijk aan de opzet die wordt toegepast in de pipingproef van de Lontkade. Een dergelijke opzet kent de volgende voordelen:

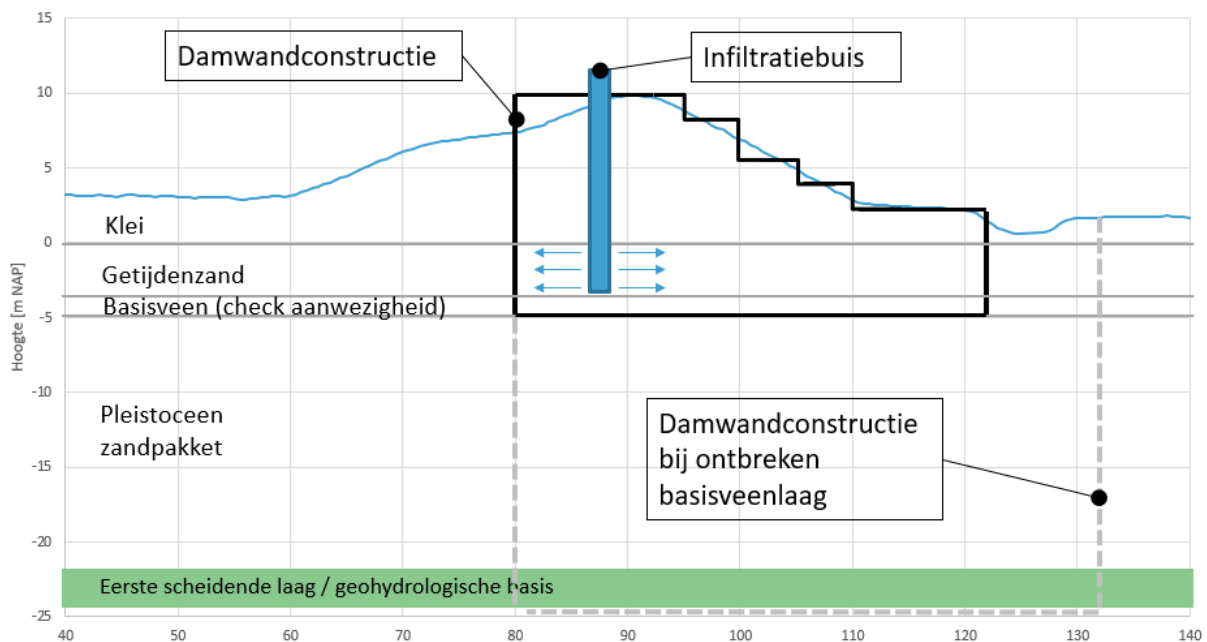
- Hogere belasting kan worden opgelegd om piping te initiëren. Dit komt enerzijds omdat met infiltratiebuizen gemakkelijker een hogere waterdruk, hoger dan de kruin van de Sieperdadijk, kan worden opgelegd en de aanwezige kwelweglengte kan worden verkort door het infiltratiepunt (= intredepunt) dichter bij het uittredepunt te leggen, bijvoorbeeld ter plaatse van de kruin van de dijk in plaats dat deze ergens op het voorland ligt. Daarnaast zal het water door het filter van de infiltratiebuizen direct horizontaal in het getijdenzand kunnen instromen. De verwachte hoge verticale stromingsweerstand van het getijdenzand die het water zou ondervinden om in te dringen bij een bak op het voorland speelt in dat geval geen rol meer.
- De ondergrondse schermconstructie om het getijdenzand te compartimenteren en een geconcentreerde kwelstroom richting het uittredepunt te forceren hoeft veel minder groot gedimensioneerd te worden.



De lopende pipingproef in Noord-Friesland heeft eenzelfde opzet en is dus een ideale test om de werking van dit systeem op basis van infiltratiebuizen te onderzoeken.

Een gecontroleerde kwelstroom richting de teensloot kan geforceerd worden door het (getijden)zandpakket door middel van schermen aan drie zijden af te sluiten. Damwanden kunnen tot in de basisveenlaag of de diepere waterremmende laag worden aangebracht, waardoor het getijdenzand aan drie zijden kan worden afgesloten en de kwelstroom richting het uittredepunt wordt geforceerd. Hierdoor kan ook een hogere belasting worden opgelegd doordat het water niet naar alle zijden kan afstromen. Dit is wenselijk omdat op voorhand wordt ingeschat dat een redelijk hoge belasting nodig zal zijn om piping in het getijdenzand te initiëren. Het opsluiten van het zandpakket biedt ook voordelen voor de modellering (randvoorwaarden bekend), vraagt om een minder uitgebreid monitoringsplan om de grondwaterstroming in kaart te brengen en zal, qua grondwaterstroming, minder impact hebben op de omgeving. Op delen met basisveen hoeven de schermen voor het afsluiten van het zandpakket tot ca. 3 m -NAP te reiken. In een aanzienlijk deel van de proeflocatie is het basisveen echter afwezig. De eerstvolgende en doorlopende waterremmende laag lijkt rond 20/25 m -NAP te liggen. Indien gekozen wordt voor volledige afsluiting van het zandpakket zijn, op locaties zonder basisveenlaag, dus langere schermen nodig.

Vooralsnog wordt uitgegaan van uitvoering van de proef op een locatie waar basisveen aanwezig is. Deze eerste proefopzet is schematisch weergegeven in Figuur 15. De grondopbouw in het figuur is gebaseerd op het beschikbare grondonderzoek (zie §3.2).

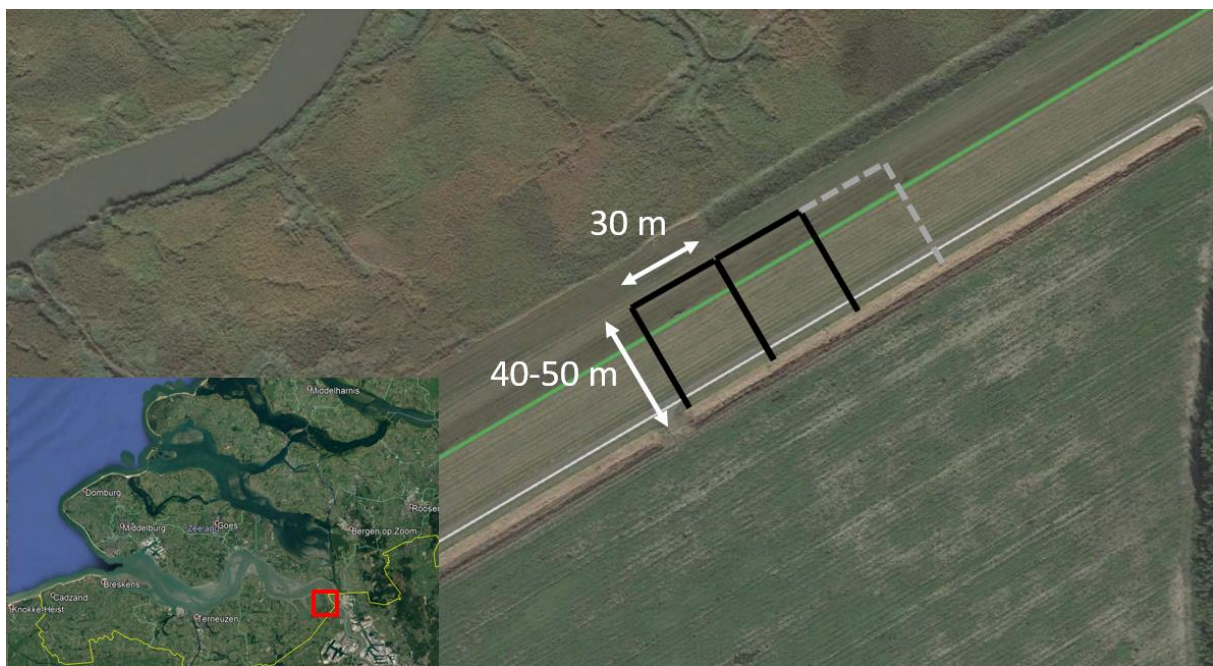


**Figuur 15: Schematisch proefontwerp o.b.v. infiltratiebuizen en afsluiten getijdenzandpakket**

Vooralsnog wordt uitgegaan van het aanbrengen van minimaal 2 compartimenten van ca. 40-50 m over de dijk x 30 m langs de dijk, zie Figuur 16, zodat een herhaalproef kan worden uitgevoerd. Afhankelijk van de uiteindelijke kosten en tijdsplanning en mogelijkheden vanuit cofinanciering is het realiseren van een derde proefvak mogelijk, bijvoorbeeld wanneer men pipingmaatregelen wil testen. Dit valt vooralsnog buiten de doelstelling van dit onderzoek. De breedte van 30 m wordt voldoende geacht om tot een ontwikkeling te kunnen komen van

een erosiepijp in het getijdenzand. Aandachtspunt is dat de pijp zich niet langs de damwand instelt, daarom zal het niet wenselijk zijn om de damwand volledig tot aan de teensloot door te zetten, maar wel voldoende om de kwelstroom te richten naar het uittredepunt. Daarnaast zal de teensloot in het midden van het proefvak het zwakst worden gemaakt zodat hier een wel zich zal instellen.

Bij het opstellen van het definitieve proefontwerp zullen de exacte dimensies nader bepaald worden, waarbij tot een zo efficiënt en effectief ontwerp gekomen zal moeten worden. Zo is het nog de vraag tot hoever de constructie richting het uittredepunt moet worden doorgezet om een geconcentreerde kwelstroom te forceren. Grondwaterstromingsanalyses dienen hier inzicht in geven.



**Figuur 16: Overzicht proefcompartimenten, locatie indicatief**

In een brainstorm over de proefuitvoering is ook de mogelijkheid genoemd om het water binnendijks op te zetten. Dit is een interessante invalshoek, maar brengt ook de volgende aandachtspunten met zich mee:

- beeldvorming: geen natuurlijke situatie;
- geen / beperkte deklaag binnendijks waardoor de voorlandweerstand niet kan worden gekwantificeerd. Dit is overigens geen doelstelling meer in de huidige proefopzet;
- het uittredepunt zal buitendijks gelegen zijn
  - o deklaag zal ter plaatse afgegraven moeten worden om opbarsten te forceren;
  - o getij zal waterdrukken nabij uittredepunt bepalen;
  - o voorzieningen zullen getroffen moeten worden om t.p.v. het uittredepunt veilig en droog te kunnen werken.

Overige mogelijkheden die verkend zijn ten aanzien van het proefontwerp zijn:

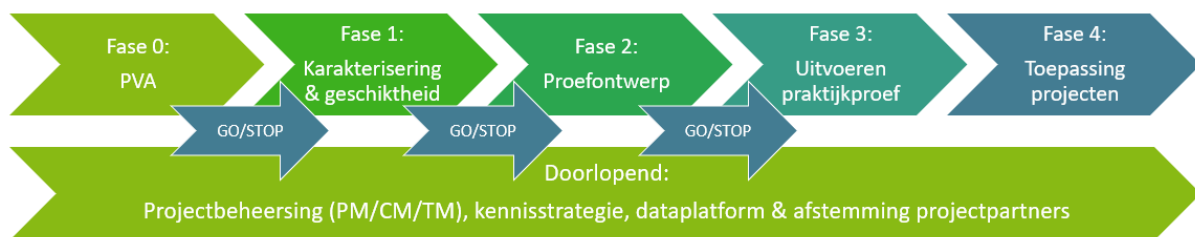
- Aanleg grondconstructie als waterkering op het voorland om water in op te zetten, mogelijk i.c.m. andere schermoplossing(en) om zandpakket op te sluiten.

- Aanleg van een dam op het voorland om het gebied tussen de leidingendam en de Sieperdadijk te compartimenteren en daar het water in op te zetten. Vanuit het ontpolderingsproject is al voorzien in de aanleg van een dam ten westen van de beoogde proeflocatie. Aandachtspunten hierbij zijn: effecten op leidingendam, controle waterniveau en snelheid in aanpassingen van dit niveau in het compartiment en omgevingsbeïnvloeding grondwaterstroming buiten projectgebied.
- Ook het testen van maatregelen tegen piping, zoals een filteroplossingen en grofzand barrière is een mogelijkheid in één van de compartimenten.

Bovenstaande oplossingsrichtingen en andere opties zullen op weg naar een definitief proefontwerp worden geïnventariseerd en beoordeeld op o.a. omgeving, techniek, budget, duurzaamheid en risico's.

### 3.5 Aanpak op hoofdlijnen: van grof naar fijn

In dit plan van aanpak wordt een gefaseerde aanpak voorgesteld waarin van grof naar fijn wordt gewerkt. In iedere fase wordt concreet toegewerkt naar een nadere detaillering van de praktijkproef op haalbaarheid, ontwerp, uitvoering, kosten en rendement. Een fase wordt afgesloten met een expliciet GO/STOP moment waarbij besloten wordt te stoppen of door te gaan naar een volgende fase. In onderstaand figuur een overzicht van de fasen binnen het project. De invulling van deze fasen staat beschreven in §3.6.



**Figuur 17: Projectfasering**

In dit plan van aanpak zijn de activiteiten en producten voor fase 1 nader gedetailleerd en de kosten geraamd. De invulling van fase 2-4 is sterk afhankelijk van de resultaten uit de voorgaande fase(n). De invulling van fase 2-4 inclusief kostenraming is dan ook op hoofdlijnen gegeven. Ieder GO/STOP moment zal gepaard gaan met een update van het plan van aanpak en geraamde kosten.

## 3.6 Activiteiten en producten

### 3.6.1 Fase 0: Plan van Aanpak

Vanaf februari 2019 is gewerkt aan het voorstel voor een full-scale praktijkproef in de Hedwigepolder. De invulling van deze fase tot en met schrijven van dit definitieve Plan van Aanpak kunt u lezen in hoofdstuk 2.

### 3.6.2 Fase 1A: Expert werkplaats piping in getijdenafzettingen

Om het grondonderzoek en de pipinganalyses in fase 1B voor de Hedwigepolder zo goed mogelijk op te zetten wordt eerst een expert werkplaats georganiseerd, waarbij het fenomenologische verloop van het pipingproces in verschillende typen getijdenafzettingen centraal staat (faalpaden-aanpak). Hierbij zal voor de verschillende typen getijdenafzettingen aangegeven worden onder welke omstandigheden verwacht mag worden dat piping optreedt, hoe deze omstandigheden geïdentificeerd kunnen worden en welke invloed ze

hebben op de belasting en de sterkte (doelstelling 1). Voor de werkplaats wordt aangesloten bij de methodiek die in het Kennis voor Keringen programma is ontwikkeld en in 2019 is uitgewerkt voor het bovenriviereengebied. De output van de werkplaats zal ook belangrijk zijn om de kennis over piping in getijdenafzettingen mee te kunnen nemen binnen de overstromingskansbenadering (kansen toekennen aan verschillende onderdelen van het fenomenologische pipingproces) en levert ook informatie voor fase 4.

### **3.6.3 Fase 1B: Karakterisering projectgebied / ondergrond**

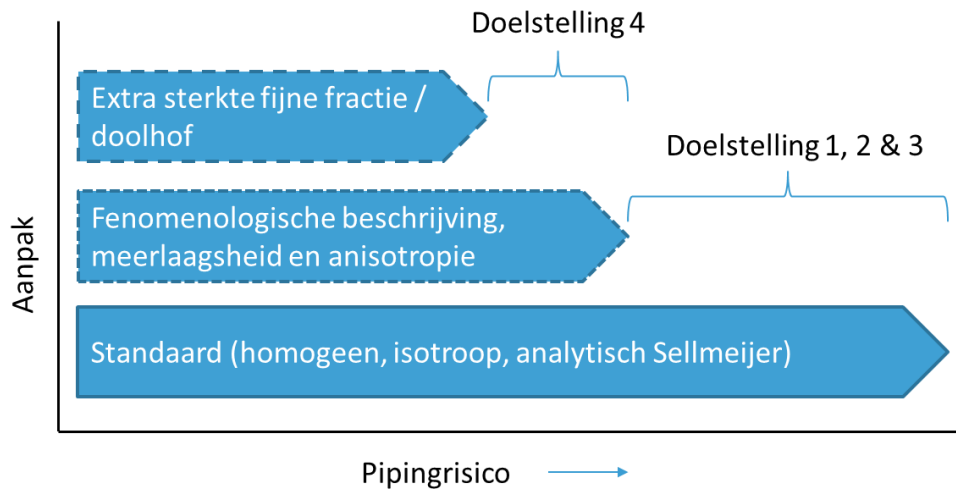
In §3.1 is een beschrijving gegeven van de beoogde projectlocatie op basis van beschikbare informatie. In de eerste fase van het onderzoek zal het projectgebied en met name de ondergrond nader worden gekarakteriseerd. Het doel hiervan is om:

1. de definitieve geschiktheid van de locatie voor de pipingproef vast te stellen en de benodigde (grond)parameters te verzamelen, en
2. de benodigde informatie in te winnen om een eerste proefontwerp op te stellen binnen fase 2.

De geschiktheid van de proeflocatie wordt bepaald door de aanwezigheid van getijdenzand: geen getijdenzand = geen proef. Op basis van reeds beschikbaar grondonderzoek wordt kans op volledige afwezigheid van getijdenzand op nihil geschat. Ook de pipinggevoeligheid van het systeem is van belang. Hoewel de dijk niet tot bezwijken hoeft te worden gebracht om de proef succesvol te laten zijn, is het wel noodzaak om vast te stellen of piping überhaupt kan optreden, oftewel bij welke belasting pijpgroei verwacht wordt. Het type getijdenzand dat aangetroffen wordt is hierbij cruciaal: is het een relatief homogeen zandpakket (met slib) of komen er relatief veel kleilagen in het zand voor? In het laatste geval is het goed mogelijk dat bestaande modellen/concepten met betrekking tot het pipingproces niet opgaan, omdat in dergelijke afzettingen het pipingproces wellicht fenomenologisch anders verloopt of gewoonweg niet op kan treden. Op basis van de uitkomsten van de werkplaats zullen de navolgende pipinganalyses daarom nader vorm gegeven worden.

Op de proeflocatie is het getijdenzand opgebouwd uit een relatief uniforme zandlaag waardoor het pipingrisico op de proeflocatie eerst beoordeeld zal worden op basis van een standaard aanpak met een homogeen, isotroop watervoerend pakket met de analytische rekenregel van Sellmeijer, gevolgd door een maatwerk aanpak in D-Geo Flow waarin meerlaagsheid en anisotropie worden meegenomen. Hierin zullen geen veiligheidsfactoren worden opgenomen, omdat voor de proef juist het verwachte moment van pijpgroei/falen van belang is. Bovenstaande betekent dat door de ondergrond nauwkeurig te karakteriseren en te schematiseren in D-Geo Flow, het pipingrisico en de sterkte winst door meerlaagsheid en anisotropie in beeld kan worden gebracht (doelstelling 2 en 3, zie ook Figuur 18).

Daarnaast zullen ook aspecten die nog niet in de maatwerkaanpak passen beschouwd worden. Dit gaat om de invloed van de fijne fractie en de doolhofstructuur op de sterkte, maar ook om de invloed van 3D-stroming versus 2D-stroming. D-Geo Flow rekent namelijk in 2D, terwijl in werkelijkheid 3D-aspecten een rol spelen. Meenemen van de invloed van de fijne fractie/doolhof (doelstelling 4) zal leiden tot hogere kritieke vervallen dan volgend uit Sellmeijer, terwijl 3D-stroming naar verwachting juist leidt tot lagere kritieke vervallen (Van Beek et al., 2015). Het 3D-effect zal nader onderzocht worden door middel van 3D-modellering binnen een numeriek stromingsmodel.



**Figuur 18: Optimalisatiekansen door andere aanpak pipingopgave**

Het grondonderzoek is afgestemd op het gewenste detailniveau in deze fase. Het grondonderzoek richt zich op het verkrijgen van een beeld van de lokale bodemopbouw, het geohydrologisch systeem en zal een eerste parameterset ten behoeve van de pipinganalyses opleveren. Het volgende veld en laboratoriumonderzoek is voorzien (zie ook figuur 20):

- 23x DKMP-waterspanningssonderingen (bodemopbouw)
- 14x DKMP-HPT sonderingen (bodemopbouw en doorlatendheidsprofiel bodem)
  - o De HPT sonderingen levert dezelfde data op als een standaard DKMP sondering (conusweerstand, mantelwrijving en waterdruk) en geeft daarnaast inzicht in de doorlatendheidsvariatie van de bodem over de sondeerlengte. Dit door tijdens het sonderen water met een constant debiet ( $Q$ ) in de bodem te injecteren en de injectiedruk ( $P$ ) te meten. Dit levert een relatief doorlatendheidsprofiel op ( $Q/P$ ).
- 4x HPT-2MPT en 8x HPT-2AMPT sonderingen (bodemopbouw incl. karakterisering  $k_h$ ,  $k_v$  / anisotropie en absoluut doorlatendheidsprofiel bodem) t.b.v. pipinganalyses in D-Geo Flow.
  - o De MPT's (mini-pompproeven) leveren een absolute waarde van de horizontale doorlatendheid ( $k_h$ ). Door deze waarden te ijken aan het relatieve doorlatendheidsprofiel van de HPT sonderingen kan een continu profiel van de absolute doorlatendheid van de ondergrond worden verkregen. Dit geeft een beeld van de doorlatendheidsvariatie van het watervoerend pakket, oftewel de meerlaagsheid. Er is rekening gehouden met 2 MPT testen per HPT-MPT sondering, dus 8 in totaal verdeeld over het getijden- en pleistocene zandpakket.
  - o De AMPT sonderingen worden in een latere fase van het grondonderzoek uitgevoerd wanneer de resultaten van de DKMP en HPT-MPT sonderingen beschikbaar zijn. Dit om de specificaties voor de AMPT metingen nauwkeurig te kunnen opstellen (testdieptes, injectiedebieten, e.d.) en om eventueel het plan aan de hand van de resultaten van de DKMP's en HPT-MPT's te kunnen uitstellen. De AMPT (Anisotrope mini-pompproef) levert een absolute waarde van zowel de horizontale als verticale doorlatendheid ( $k_h$  en  $k_v$ ) en daarmee in de mate van anisotropie. Ook hier is rekening gehouden met 2 AMPT's per

- sondering, oftewel 16 testen in totaal verdeeld over het getijden- en pleistocene zandpakket.
  - Wanneer de scheidende basisveenlaag overal aanwezig is, is gedetailleerd onderzoek in het pleistocene zand minder relevant. In dat geval zal het (A)MPT onderzoek zich met name focussen op het getijdenzand.
- 8x handboringen (bodempopbouw, plaatsen peilbuizen, monsternamen getijdenzand) en 4 boringen met de Deltares Large Diameter Sampler voor doorlatendheidsbepalingen op grotere monsters welke meer aan zullen sluiten bij het stromingsproces betrokken bij piping.
  - Vanaf de onderkant van de deklaag zal er een geroerd en ongeroerd monster van het getijdenzand worden genomen. Van het geroerde monster zal de korrelverdeling incl. fijne fractie in het lab worden bepaald. Indien mogelijk zal ook van het pleistocene pakket geroerde monsters worden genomen ter bepaling van de korrelverdeling. Dit geeft inzicht in de samenstelling van het pakket en kan worden gebruikt om het pipingrisico in deze laag te beoordelen (wanneer getijdenzand zit gedraagt als nagenoeg ondoorlatend pakket met hoge stromingsweerstand).
  - De ongeroerde monsters zullen worden gebruikt om op de helft van de monsters op kleine schaal de horizontale en verticale doorlatendheid te bepalen (4x), de grond te classificeren en vast te leggen met een hoge resolutie fotoboring (8x). van elk Large Sample zullen verticale en horizontale doorlatendheden bepaald. Ter plaatse van de buiten- en binnenteen van de dijk zullen 2x2 peilbuizen worden geplaatst. De waterdrukken worden continu gemeten gedurende een half jaar (duur fase 1). Deze peilbuismetingen geven inzicht in de respons van de waterdrukken in het getijdenpakket op het getij en een eventueel hoogwater. De meetreeksen worden ook gebruikt worden om het stromingsmodel in D-Geo Flow te ijken.
- 12x korrelverdelingen: 8x getijdenzand, 4x pleistoceen zand (t.b.v. bepaling d70)

Alles sonderingen zullen tot circa 26 m -NAP worden uitgevoerd om ook de scheidende laag binnen de Formatie van Oosterhout verder te karteren (zie Figuur 12). Alle sonderingen zullen tot MV -10 m worden afgedicht met bentoniet om verstoring van de belangrijkste bovenste gedeelte van het zandpakket te minimaliseren. Sondeergaten in het getijdenzand vloeien mogelijk nauwelijks dicht, deze verstoringen zouden een negatief effect kunnen hebben op de vervolgtesten en de proef zelf. Volledig afdichten tot diep in het Pleistocene pakket wordt minder zinvol geacht, enerzijds omdat dichtvloeien hier waarschijnlijker is en omdat op deze diepte een eventuele verstoring geen significant effect zal hebben op latere testen en de proef zelf.

In de kostenraming voor fase 1 is als uitgangspunt gehanteerd dat het veldonderzoek met standaard materieel (track-truck of minirups) kan worden uitgevoerd. Er is voorlopig geen rekening gehouden met de inzet van amfibisch/offshore materieel op het voorland, de kosten hiervan zijn significant hoger.

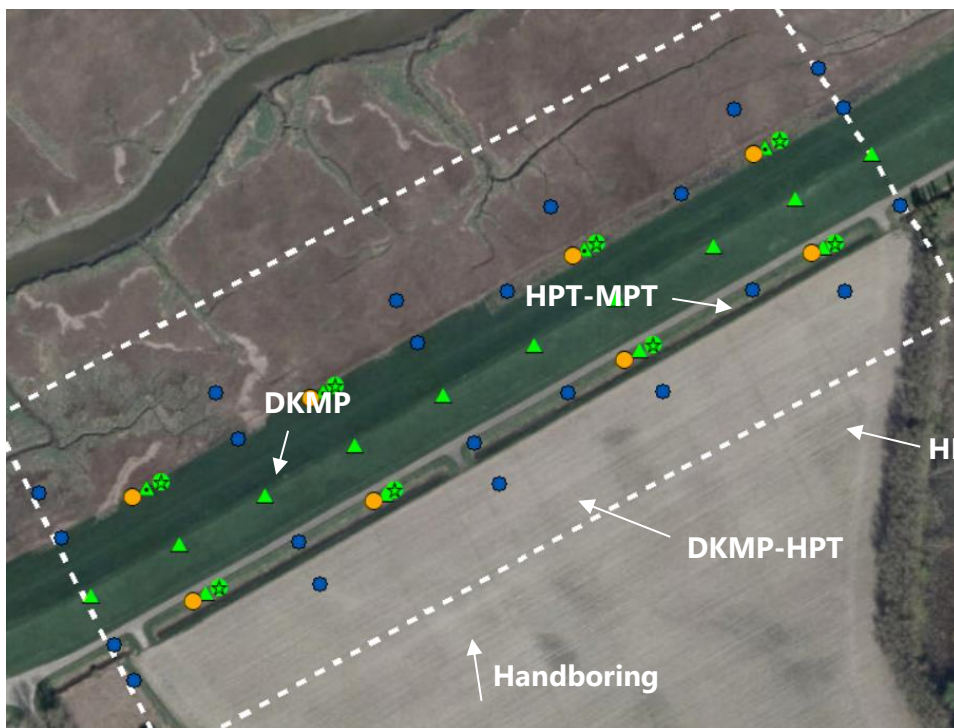
Het is vooralsnog onbekend of het gebied verdacht is op niet-gesprongen explosieven (NGE). Vooralsnog is, gezien de beperkte deklaagdikte op het voor- en achterland, rekening gehouden met NGE oppervlakedetectie op deze locaties.

Het voorland kenmerkt zich door hoge begroeiing, zie ook Figuur 19. Er is een voorziening opgenomen om deze begroeiing te maaien voordat het veldwerk kan worden uitgevoerd. De bereikbaarheid van het voorland is sowieso een aandachtspunt i.v.m. terreingesteldheid en hier en daar zijn gebieden afgezet met hekwerk/prikkeldraad.



**Figuur 19: Begroeiing op Sieperdaschor (09-2019)**

Ook zal de uitvoering van het grondonderzoek goed getimed moeten worden. Het voorland staat periodiek namelijk onder water. Er is rekening gehouden met 3 momenten waarop het veldonderzoek uitgevoerd gaat worden: 2 momenten voor de DKMP, HPT en HPT-MPT sonderingen en 1 moment voor het HPT-AMPT onderzoek. Er is voorsnog geen rekening gehouden met eventuele ecologische begeleiding of aanvullende maatregelen die mogelijk worden gesteld vanwege bijvoorbeeld een broedseizoen. Er wordt vanuit gegaan dat de benodigde vergunningen in het kader van het ontpolderingsproject / LLHPP-initiatief worden geregeld.



**Figuur 20: Globale opzet grondonderzoek fase 1**

Naast bovengenoemde aspecten dient in de eerste fase ook de kansrijkheid van de proef te worden beoordeeld aan de hand van de randvoorwaarden die voortkomen uit het herinrichtingsproject van de Hedwige- en Prosperpolder en het LLHPP initiatief. De planning, het tempo en de ruimte binnen het ontpolderingsproject zullen van grote invloed zijn op de (on)mogelijkheden voor de pipingproef. Zo zal de planning van de aannemer die daar bezig gaat, cruciaal zijn voor de proefplanning. Op het moment van schrijven dient de aannemer voor het ontpolderingsproject nog geselecteerd te worden. Bij het opstellen van de planning van de proef is voorgesorteerd op de nu beschikbare informatie en voorlopige planning van het ontpolderingsproject.

In fase 1AB zijn de volgende activiteiten en producten voorzien:

ID	Activiteit	Product
1.0	Kick-off en productspecificatie fase 1A (1.1) en 1B (1.2 t/m 1.8)	Productspecificatie fase 1AB
1.1	Expert werkplaatswerkplaats piping in getijdenzand. Fenomenologische beschrijving pipingproces in verschillende typen getijdenzand, eerste faalpaden analyse	Memo
1.2	Afleiden criteria voor beoordeling geschiktheid proeflocatie <ul style="list-style-type: none"> <li>- bodemopbouw: voorkomen getijdenzand, voorkomen basisveen, Pleistoceen zandpakket, scheidende (kleilaag), deklaagdiktes</li> <li>- watervoerend pakket (<math>k_h</math>, <math>k_v</math>, <math>d_{70}</math>)</li> <li>- veiligheidsfactor piping (benodigde belasting voor pijpgroei vs. reëel op te leggen belasting; zie ook activiteit 1.4)</li> <li>- representativiteit voor primaire waterkeringen in getijdengebied</li> <li>- maakbaarheid</li> <li>- randvoorwaarden LLHPP initiatief &amp; ontpolderingsproject</li> <li>- voorwaarden vanuit omgeving en milieu</li> </ul>	Memo criteria geschiktheid
1.3	Opstellen onderzoeks- en uitvoeringsplan veldwerk	Onderzoeksplan & Uitvoeringsplan
1.4	Uitvoeren geotechnisch / geohydrologisch veldonderzoek (basis) <ul style="list-style-type: none"> <li>- waterspanningssonderingen (bodemopbouw)</li> <li>- HPT-(A)MPT sonderingen (bodemopbouw incl. karakterisering <math>k_h</math>, <math>k_v</math> / anisotropie) t.b.v. pipinganalyses in D-Geo Flow (1.4)</li> <li>- handboringen (bodemopbouw, monsternamen getijdenzand)</li> <li>- peilbuismetingen (responsmetingen buitenwater, ijking model)</li> <li>- korrelverdelingen (<math>d_{70}</math>) en classificatie</li> </ul>	Factual report(s) veldonderzoeken
1.5	Pipinganalyses in D-Geo Flow (excl. veiligheidsfactoren) t.b.v. bepaling belasting vs. pijpgroei incl. gevoeligheidsanalyses o.b.v. variaties gevonden parameterwaarden	Memo pipinganalyses fase 1
1.6	Bepalen geschiktheid proeflocatie voor full-scale pipingproef aan de hand van pipinganalyses en criteria. Inclusief doorkijk naar mogelijke proefopstelling (schetsontwerp, SO) en effect op kosten.	Syntheserapport fase 1
1.7	GO/STOP moment: geschiktheid proeflocatie & herijking PvA en kostenraming volgende fase	Update PvA Verslag
1.8	Algemeen: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Projectmanagement en -overleg</li> <li>- Afstemming projectpartners</li> <li>- Inzet kennisstrategie (zie verderop §5.2)</li> </ul>	- n.t.b. bv. Publicatie/ Presentatie



Wanneer op basis van bovenstaande punten blijkt dat de Hedwigepolder niet geschikt is voor een full-scale pipingproef, zullen alternatieve proeflocaties worden verkend en ingebracht worden voor het GO/STOP moment. De proef kan feitelijk op iedere locatie met getijdenzand onder een eventuele deklaag worden uitgevoerd. De aanwezigheid van een bestaande dijk is daarbij in principe geen vereiste. Uitvoering in de Hedwigepolder heeft voorsnog de voorkeur in verband met beeldvorming (echte primaire waterkering) en de positieve relatie met en momentum van het LLHPP initiatief.

#### **3.6.4 Fase 2: Proefontwerp**

Bij een positief besluit om door te gaan naar de tweede fase zal de nadruk liggen op het opstellen van het proefontwerp. Zoals eerder besproken zijn er verschillende mogelijkheden en combinaties om, naast de basisopzet gepresenteerd in §3.4, de full-scale pipingproef in te richten (damwandkuip, grondconstructie als dijk op voorland, afdammen getijdengeul op voorland, etc.). Deze fase zal zich richten op het inventariseren van de mogelijke oplossingen, het opstellen van een voorlopig ontwerp (VO-niveau), het maken van een keuze tussen de alternatieven en het nader detailleren van het voorkeursalternatief tot definitief ontwerp (DO-niveau). Los van haalbaarheid en veiligheid, is het belangrijkste criterium waaraan het ontwerp moet voldoen het kunnen behalen van de doelen.

De inventarisatie van mogelijke proefontwerpen zal plaatsvinden op basis van brainstormsessies en interviews met collega's/experts uit het werkveld en daarbuiten (o.a. potentiële leveranciers). Bij de opzet en uitwerking van deze stap zullen de vakgebieden waterbouw, geologie en (geo)hydrologie worden betrokken en willen we de kennis vanuit eerdere pipingproeven, zoals de IJkdijkproef en lopende initiatieven zoals de voorgestelde pipingproef in de Willemspolder en pipingproef in Noord-Friesland optimaal benutten. Deze afstemming wordt mede geborgd door de keuze in projectorganisatie (zie § 0), waarin de relevante experts betrokken zijn.

Om een keuze tussen de alternatieven te faciliteren zullen deze worden getoetst aan de hand van een set criteria die aangrijpen op aspecten zoals omgevingsbeïnvloeding, technische haalbaarheid, inpassing binnen LLHPP initiatief en het herinrichtingsproject van de polders, kosten, duurzaamheid en risico's. Een uiteindelijke keuze voor een voorkeursalternatief zal breed gedragen moeten worden en voldoen aan de randvoorwaarden van de verschillende projectpartners. In deze fase zal ook aanvullend veldonderzoek plaatsvinden om de resultaten uit fase 1 te complementeren. Dit onderzoek wordt gebruikt voor het opstellen van het definitieve proefontwerp en ter ondersteuning van de pre- en postanalyses. Op basis van dit gedetailleerde veldonderzoek zal ook de conclusies uit fase 1 (GO: proeflocatie geschikt) worden heroverwogen.

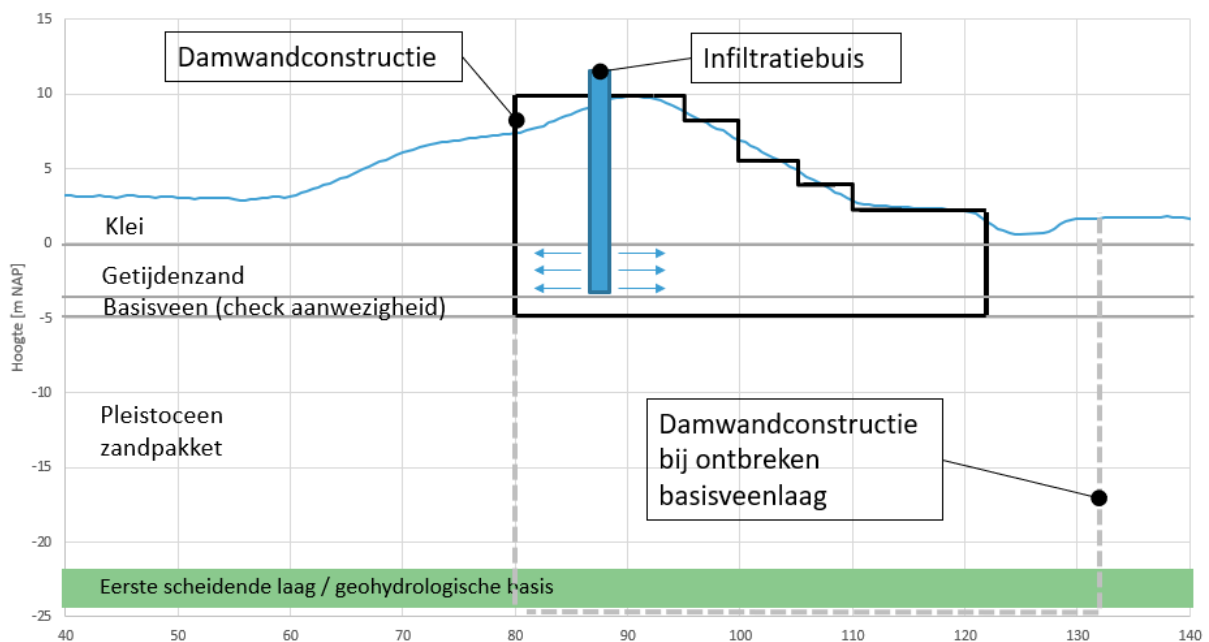
Op basis van de multi-criteria analyse en keuze voor een voorkeursalternatief, zal deze verder worden uitgewerkt tot een definitief ontwerp van alle onderdelen van de proef zoals constructie, monitoringssysteem en proefverloop. Op basis van dit ontwerp zal het plan van aanpak ge-update worden en een aangepaste kostenraming voor de volgende fase worden opgesteld. Dit als input voor het volgende GO/STOP moment en daarmee een volgende fase.

Onderstaande activiteiten en producten zijn voorzien in fase 2:

ID	Activiteit	Product
2.0	Kick-off fase 2 en productspecificatie	Productspecificatie fase 2
2.1	Inventarisatie mogelijke oplossingen en opstellen voorontwerp (VO)	Rapportage alternatieven
2.2	Uitvoeren geotechnisch / geohydrologisch veldonderzoek (detail)	Factual report(s) veldonderzoeken
2.3	Keuze voorkeursalternatief en opstellen definitief ontwerp (DO), constructie, monitoringsysteem en proefverloop (draaiboek) o.a. gebaseerd op predictiestudies.	Rapportage VKA en DO
2.4	Contact met derden / leveranciers (beprijzen)	Detailering kostenraming
2.5	GO/STOP moment: geschiktheid proeflocatie & herijking PvA en kostenraming volgende fase	Update PvA Verslag
2.6	Algemeen: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Projectmanagement en -overleg</li> <li>- Afstemming projectpartners</li> <li>- Inzet kennisstrategie (zie verderop §5.2)</li> </ul>	-

### 3.6.5 Fase 3: Uitvoeren praktijkproef

In §3.4 is het voorlopige proefontwerp gegeven op basis van minimaal 2 proefvakken waarbij o.b.v. infiltratiebuizen de waterdruk in het getijdenzandpakket wordt verhoogd. Een geconcentreerde kwelstroom richting het intredepunt wordt geforceerd door het getijdenzand aan drie zijden te compartimenteren met een schermconstructie. Dit is dezelfde proefopzet als wordt toegepast bij de pipingproef in het beheergebied van Wetterskip Fryslân. De proef in Friesland is een ideale test om ervaring op te doen met de werking van deze proefopzet. In onderstaand figuur is nogmaals de proefopzet schematisch weergegeven.



**Figuur 21: Schematisch proefontwerp o.b.v. infiltratiebuizen en afsluiten getijdenzandpakket (2)**

Om een inschatting te kunnen maken van de kosten voor de proef zijn in deze fase de volgende uitgangspunten gehanteerd:

#### *Afmetingen*

2x proefvak 30 m breed x ca. 45 m lang. Schermconstructie voor het compartimenteren van het getijdenzand tot onderkant basisveenlaag rond NAP -3 m. Voor de schermen is vooralsnog uitgegaan van een stalen damwandconstructie. Waterdruk wordt opgebracht door gebruik te maken van infiltratiebuizen in combinatie met onttrekking van dieper grondwater.

#### *Proefduur en monitoring*

Proefduur (incl. nulmetingen en demobilisatie): 1 maand.

<b>Week</b>	<b>Onderdeel</b>
1	Testen proefonderdelen zoals werking infiltratiebuizen, monitoringssysteem en datastromen. Start testen proefvak 1.
2	Testen proefvak 1, niet destructief
3	Testen proefvak 2
4	Destructieve test proefvak 2 / ontmantelen.

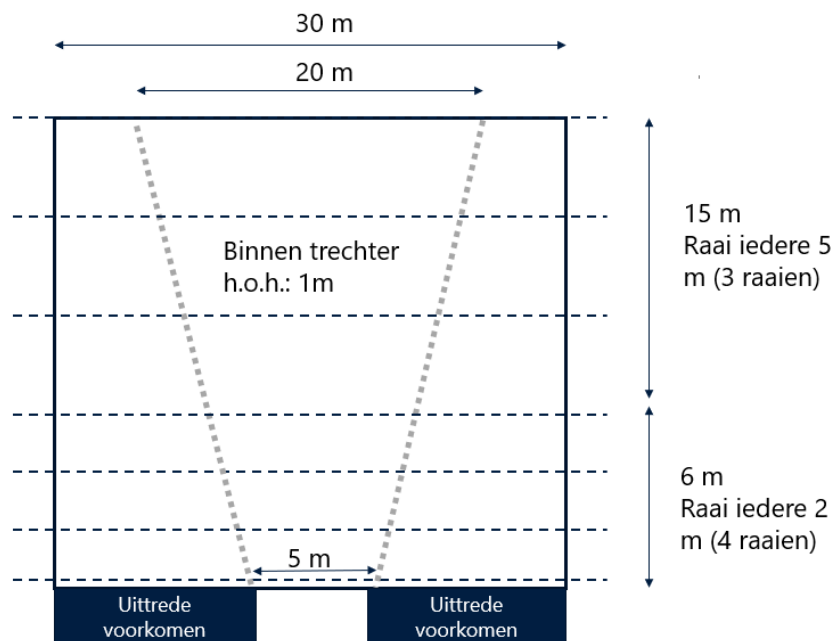
#### *Monitoring*

Onderstaand zijn de verschillende monitoringselementen beschreven. Deze zijn er met name op gericht om het pipingproces in beeld te brengen. Er worden diverse methoden gecombineerd om de slaagkans zo groot mogelijk te maken. Slagen is in dit geval gedefinieerd als het kunnen aantonen dat zandmeevoerende wellen optreden, kanaalvorming optreedt en dat we het pipingproces kunnen volgen. Hiervoor zijn de volgende monitoringsonderdelen voorzien:

- Waterspanningsmeters (WSM's) in het getijdenzand om pijpgroei te monitoren en een aantal in de diepere Pleistocene zandlaag. Op basis van de gemeten waterdrukken kan vastgesteld worden of de gemeten verhangen constant blijven, afnemen of juist toenemen. Op basis hiervan kan worden achterhaald of er kanaaltjes aanwezig zijn.
  - o Er is uitgegaan van een meetopstelling waarbij WSM's met een h.o.h. afstand van 1 m langs diverse raaien parallel aan de dijk worden aangebracht in de top van het getijdenzandpakket. Dit gelijk aan de proefopstelling in de IJkdijkproef. Om het aantal WSM's te beperken is binnen de proefbak een trechterzone aangeduid waar de WSM's in een hoge dichtheid worden aangebracht. Het monitoringsvlak loopt over een lengte van 21 m vanuit het intredepunt richting de infiltratiebuizen (ca. metrerings 100 – 120 in Figuur 21). Het is niet nodig om de monitoring tot aan het infiltratiepunt door te zetten, omdat de pijpgroei na het bereiken van een kritieke lengte zal doorschieten naar het infiltratiepunt waarna het proces van het ruimen van het erosiekanaal aanvangt. Dit wordt binnen deze proef gezien als falen op piping.
  - o Het uittredepunt zal in het midden van de proefbak achter de dijk worden geforceerd. De pijp zal buitendijks groeien waarbij het pad niet per se haaks op de dijk hoeft te staan. De pijp kan naar links en rechts onder de deklaag groeien. Ook is gevarieerd met de tussenafstanden van de raaien. Nabij het uittredepunt liggen de raaien dichter op elkaar dan verder weg. Dit omdat we

m.n. geïnteresseerd zijn in het moment van start pijpgroei en het de verwachting is dat pijpgroei, vanwege de verwachte hoge sterkte van het getijdenzand beperkt of zelfs helemaal niet optreedt.

- Langs de damwandconstructie is rekening gehouden met 2 extra WSM's aan weerszijden van iedere raai om eventuele pijpgroei langs de schermconstructie te kunnen uitsluiten. Daarnaast is er rekening gehouden met in totaal 10 WSM's in het diepere Pleistocene zandpakket.
- Onderstaand figuur geeft de monitoringsraaien en de trechtervorm waarbinnen de WSM's h.o.h. 1 m van elkaar worden geplaatst schematisch weer:



**Figuur 22: Trechterzone en meetraaien WSM onderzoek**

- In deze configuratie zijn de volgende aantallen WSM's benodigd:
    - 78 WSM's in trechterzone / proefvak;
    - 28 aanvullende WSM's langs schermconstructie / proefvak;
    - aanvullende WSM's in Pleistoceen zand / proefvak.
  - Op basis van 2 proefvakken komt het totaal aantal benodigde WSM's daarmee op 212 stuks. Op weg naar een definitief meetopstelling zal in fase 2 van het onderzoek modelberekeningen moeten aantonen of in deze configuratie pijpgroei in getijdenzand, net als bij de Ikdijkproef, kan worden aangetoond.
- Temperatuursensoren worden in eenzelfde opzet als de WSM's geplaatst om de grondwaterstroming en verstoringen daarin dat duidt op kanaalvorming te monitoren. Om voldoende contrast te meten zal het water in de bron mogelijk moeten worden verwarmd. Mogelijk zal ook met glasvezel worden gemeten om stroomsnelheden en richtingen te kunnen bepalen. Het horizontaal aanbrengen van glasvezels op kanaalvorming op te sporen lijkt op voorhand minder kansrijk.
  - Electrical Resistivity Tomography (ERT) metingen zullen eveneens worden toegepast om de waterstroming en preferente stroombanen via het erosiekanaal, vlakdekkend, in beeld te brengen. Op basis van de elektrische weerstand van de ondergrond kan de

bodemopbouw in beeld worden gebracht. Door gebruik te maken van een tracer materiaal vanuit de infiltratiebron en door continue de variatie in elektrische weerstand te meten kunnen stroombanen en verstoringen hierin, die duiden op lokale kanaalvorming, in beeld worden gebracht. De afstand tussen de elektrodes op het maaiveld zal zodanig gekozen moeten worden dat voldoende resolutie wordt verkregen om een erosiekanaaltje te kunnen detecteren.

- Infraroodcamera's zullen vanaf de binnendijkse zijde worden gericht op het binnentalud en de uittredelocatie. Enerzijds om de proef continu in beeld te brengen en anderzijds om de geplande en ongeplande uittredelocaties van grondwater in beeld te brengen.
- Welmetingen. Voorzieningen zullen getroffen worden om het debiet uit het uittredepunt en zandopbrengst te bepalen. Dit is verder nog niet gedetailleerd. Daarnaast zullen visuele waarnemingen worden vastgelegd. Adviseurs zullen gedurende de proefperiode aanwezig zijn om de proef direct te kunnen aansturen en beslissingen te kunnen maken.

Onderstaande activiteiten en producten zijn voorzien in fase 3:

ID	Activiteit	Product
3.0	Kick-off fase 3 en productspecificatie	Productspecificatie fase 3
3.1	Opstellen uitvoeringsontwerp (UO)	Rapportage UO
3.2	Opstellen draaiboek	Draaiboek proefuitvoering
3.3	Proefinrichting en controle specificaties	As-built rapportage
3.4	Proefuitvoering incl. demobilisatie	Factual report
3.5	Analyse proefresultaten	Analysereport
3.6	Algemeen: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Projectmanagement en -overleg</li> <li>- Afstemming projectpartners</li> <li>- Inzet kennisstrategie (zie verderop §5.2)</li> </ul>	-

### 3.6.6 Fase 4: Schaalproeven, toepassen en kennis delen

De huidige rekenregel is grotendeels gestoeld op tientallen kleine en medium schaalproeven. Voor getijdenafzettingen ontbreekt een dergelijke dataset: er zijn momenteel circa 10 kleine schaalproeven uitgevoerd op getijdenafzettingen en er is nog geen enkele medium schaalproef beschikbaar. Wel zijn na afloop van de Hedwigeproef twee veldproeven beschikbaar voor getijdenafzettingen (Hedwige, Noord-Friesland). Om een enigszins vergelijkbare dataset als voor het huidige Sellmeijer-model te krijgen worden minstens 10 tot 15 kleine en minstens 3 mediumschaalproeven uitgevoerd. Het benodigde materiaal moet verkregen worden door aan te haken bij lopende projecten in het getijdengebied waar materiaal vrij komt. Hierbij zal een link gelegd worden met getijdeneenheden uit WBI-SOS: op elk type getijdeneenheid willen we proeven uitgevoerd hebben. Het zal niet mogelijk zijn om volledige ongestoorde monsters te steken in het veld, zeker niet voor de medium schaalproef (veel volume). Het zal daarom nodig zijn om voor de schaalproeven een methode te ontwikkelen om, anders dan nu gebeurt, de monsters op een zo natuurgetrouwe manier in

te bouwen in de verschillende schaalproefopstellingen. Mochten er niet genoeg locaties beschikbaar komen op deze manier dan kan óók materiaal ingezet worden om deklagen weg te graven, hiermee is in de raming rekening gehouden. Ook kan in het laboratorium met behulp van zevingen het getijdenzand het gewenste percentage fijn materiaal gegeven worden. Gecombineerd vormt de totale dataset een onmisbare dataset om de pipinggevoeligheid van getijdenzand met vertrouwen vast te stellen.

Een belangrijk product in deze fase is verder de handreiking voor een aanpak voor piping in getijdenzand, waarbij meerlaagsheid, anisotropie en de invloed van een fijne fractie meegenomen kunnen worden. D-Geo Flow zal hierin een belangrijke plaats innemen. In 2020 zal in parallelle projecten gestart worden met de validatie van D-Geo Flow en met het ontwikkelen van een werkwijzen om de resultaten van D-Geo Flow te vertalen naar faalkansen. Er zal frequent contact zijn met het team dat aan D-Geo Flow werkt om elkaars projecten te versterken.

Op basis van de handreiking zal een impactanalyse van de nieuwe kennis worden uitgevoerd op lopende of nog op te starten versterkingsprojecten van het HWBP. Deze impactanalyse zal worden uitgevoerd voor 3 cases (zuid – midden – noord) waarvan het traject Geervliet-Hekelingen 20-3 er één zal zijn. Langs Spui-West, onderdeel van normtraject 20-3, zijn in het kader van het anisotropieonderzoek al HPT-AMPT sonderingen uitgevoerd, waardoor ook direct het effect van meerlaagsheid en anisotropie kan worden meegenomen.

De handreiking zal afgestemd worden met het ENW en verankerd in het BOI. Afstemming hierover met het BOI is al in gang gezet (zie ook tekstkader hieronder). Het is mogelijk de werkzaamheden aan de handreiking reeds tijdens fase 1 op te starten, zodat de recente kenniswinst over piping in getijdenzand al in een eerder stadium meegenomen kan worden. Dit bijvoorbeeld op basis van de expert werkplaats gericht op de fenomenologische aspecten van piping in verschillende typen getijdenafzettingen.

#### **Relatie met het Beoordelings- en Ontwerpinstrumentarium (BOI)**

Waar voorheen aparte beoordelings- en ontwerpinstrumentaria ontwikkeld werden, is enige jaren geleden gestart met het opzetten van een geïntegreerd instrumentarium. Er wordt voorzien dat de kennis die opgedaan wordt in de pipingproeven kan gaan landen binnen het BOI. Er zijn daarnaast verschillende ontwikkelingen binnen het BOI waarvan het Hedwigeproject juist weer kan profiteren, zoals validatie/aanpassingen aan D-Geo Flow en aanpassingen binnen Riskeer en de toets op maat. Het is dus zaak om gezamenlijk op te trekken, zodat beide projecten elkaar kunnen versterken.

Een concreet aanknopingspunt tussen beide projecten is het WBI-SOS, dat beschikbaar is via D-Soil Model. Daarin worden verschillende type zandige getijdenafzettingen onderscheiden en worden aan zandige SOS-eenheden startwaarden voor de d70 en de doorlatendheid gegeven. Op basis van de resultaten van het voorgestelde project kunnen aan de verschillende typen getijdenzand specifieke startwaarden toegekend worden en kunnen sommige typen getijdenzand wellicht zelfs als niet- of verminderd pipinggevoeligheid aangemerkt worden. Dit past goed bij de overstromingskansbenadering.

Daarnaast is deze fase bedoeld om kennis te delen in zowel binnen- als buitenland door middel van presentaties en publicaties.

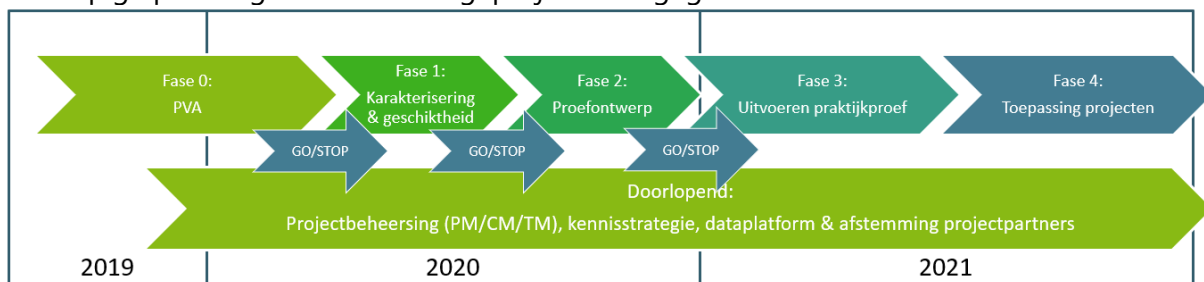
Onderstaande activiteiten en producten zijn voorzien in fase 4:

<b>ID</b>	<b>Activiteit</b>	<b>Product</b>
4.0	Kick-off fase 4 en productspecificatie	Productspecificatie fase 4
4.1	Kleine en mediumschaalproeven	Dataset. Rapport
4.2	Toepasbaar maken in Nederland	Handreiking piping in getijdengebied, incl. veiligheidsfilosofie/BOI Presentaties/publicaties
4.3	Impactanalyse voor 3 cases van lopende of nog op te starten versterkingsprojecten	Memo per case Mogelijk opnemen als bijlage bij handreiking piping in getijdengebied
4.4	Kennis delen (nationaal en internationaal)	Presentaties/publicaties
4.5	Algemeen: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Projectmanagement en -overleg</li> <li>- Afstemming projectpartners</li> </ul>	

## 4 Planning

De pipingproef zal als innovatie binnen de Verkenning van de dijkversterking van normtraject 20-3: Geervliet-Hekelingen worden uitgewerkt. De beheerder is Waterschap Hollandse Delta (WSHD). Het anisotropieonderzoek dat Deltares en Fugro uitvoeren voor WSHD is in het kader van de voorverkenning binnen deze dijkversterking uitgevoerd. In Q1 van 2020 start WSHD met het opstellen van het Plan van Aanpak voor de Verkenningsfase van 20-3. In Q2 zal dit Plan van Aanpak ter accordering worden aangeboden aan het HWBP. Dit plan van aanpak voor de pipingproef zal een onderdeel zijn van de Verkenningsfase. Mogelijk dat accordering en uitwerking van onderdelen uit dit plan van aanpak al voor Q2 2020 opgepakt kunnen worden. Vooralsnog is Q2 2020 als startmoment gekozen voor de uitwerking van de activiteiten van fase 1 zoals in dit plan van aanpak opgenomen. Doel is om in 2019 het Hedwigeproject al wel op te nemen in het Innovatieportfolio van het HWBP zodat middelen tijdig kunnen worden gereserveerd. Voorliggend plan van aanpak dient hiertoe.

Op basis van gesprekken met het STOWA blijkt vooralsnog dat de proef voor het einde van de herfst van 2021 afgerond moet zijn. Dit in verband met de herinrichtingsplannen voor het gebied en de werkzaamheden van de aannemer. Dit biedt ruimte om in 2020 fase 1 en 2 uit te voeren, waardoor er voldoende tijd is om een goed doordacht proefontwerp te maken. De praktijkproef kan dan in de eerste helft van 2021 uitgevoerd worden. In Figuur 23 is de voorlopige planning van het Hedwigeproject weergegeven.

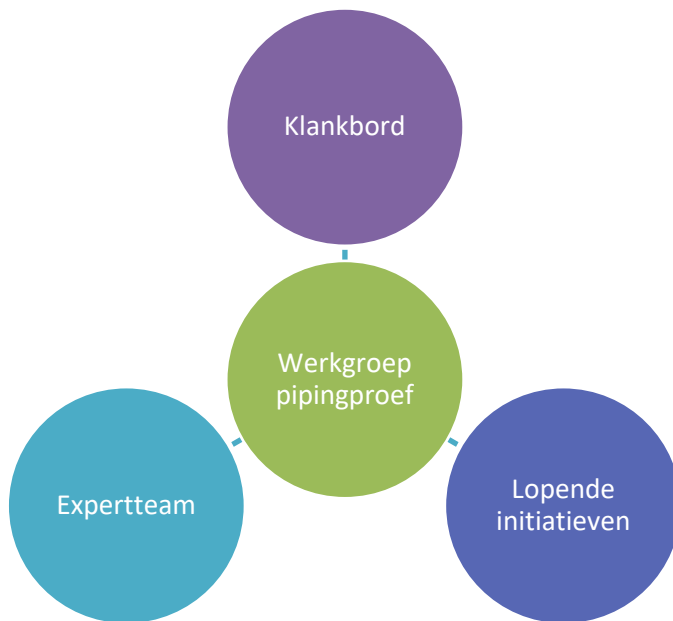


**Figuur 23: Planning pipingproef Hedwigepolder**



## 5 Projectorganisatie

De voorgestelde praktijkproef is omvangrijk, complex en kent veel belanghebbenden. Het is daarom noodzakelijk om een goede en sterke projectorganisatie op te tuigen. Het figuur hieronder geeft aan welke structuur wij hanteren.



**Figuur 24: Projectorganisatie pipingproef**

### **Werkgroep pipingproef**

De dagelijkse uitvoering van het innovatieproject zal in handen zijn van de werkgroep, dat bestaat uit Gert-Ruben van Goor (Fugro), Marc Hijma (Deltares) en Bastiaan Los (Waterschap Hollandse Delta).

### **Expertteam**

Het expertteam adviseert aan de Werkgroep, eventueel met inzet van de Klankbordgroep i.h.k.v. draagvlak. Ook zal de kwaliteitsborging worden ingevuld door het expertteam. Daarnaast zal op een geschikt moment advies van ENW en het Kennisplatform Risicobenadering (KPR) ingewonnen worden. Als leden voor het expertteam worden voorgesteld: ENW-lid (bijv. Meindert Van en/of Martin van der Meer), Goaitske de Vries (HWBP), Bieuwe Couperus (Wetterskip Fryslân), RWS-WVL pipingdossierhouder (Henk van Hemert) en nog een beheerder vanuit de getijdenwaterschappen.

### **Klankbordgroep**

Naast een expertteam zal ook een klankbordgroep ingesteld worden. Deze bestaat uit de getijdenwaterschappen en overige belanghebbenden, goeddeels de groep mensen die op 26 juni 2019 bij elkaar kwam in een vooroverleg (inclusief STOWA), aangevuld met betrokkenen van de afdeling Geotechniek van het Departement Mobiliteit en Openbare Werken van de Vlaamse overheid. Dit team zal geïnformeerd en geconsulteerd worden. Dit laatste met name in fase 4, als de toepassing binnen projecten verder uitgewerkt wordt.

### **IPM projectteam WSHD 20-3 (regulier en innovatief)**

De stekker op de projectorganisatie van WSHD voor de Verkenning van 20-3 wordt gevormd door de werkgroep van de pipingproef en de technisch manager van het IPM team van WSHD (Hans de Bart). Het IPM projectteam 20-3 (regulier en innovatief) ofwel het Kernteam legt op advies van de Werkgroep besluiten voor aan de Stuurgroep van WSHD. Het IPM team zorgt voor medeadvies en instemming bij en van het HWBP begeleidingsteam over de GO/STOP momenten of het managen van een volgende fase.

De stuurgroep bestaat uit WSHD medewerkers Eric van de Meij, William Teulling, Marion Wiedijk en Alex de Klerk.

Het HWBP begeleidingsteam bestaat uit Sandra Brouwer, Anske van der Laan en Myranda van Kooten.

### **5.1 Omgevingsmanagement**

Het omgevingsmanagement rondom deze proef zal in nauw overleg met de trekkers van het LLHPP-initiatief uitgevoerd worden. Dit initiatief loopt al jaren en zal daarom reeds goed bekend zijn in de omgeving. Binnen fase 1 zal overleg zijn met deze trekkers om het omgevingsmanagement vorm te geven. Er wordt vanuit gegaan dat het omgevingsmanagement vanuit het LLHPP-initiatief in samenwerking en afstemming met de omgevingsmanager van WSHD wordt opgepakt.

### **5.2 Kennisstrategie**

Het project heeft tot doel meer inzicht te geven in het pipingproces in getijdenafzettingen. Het hoofddoel van de praktijkproef is de daadwerkelijke sterke van getijdenzand tegen piping te bepalen, de (sterkte)-eigenschappen en het pipingproces te karakteriseren en deze kennis te vertalen en toepasbaar te maken voor beoordelings- en versterkingsprojecten van waterkeringen. Getijdenafzettingen komen op veel plaatsen in Nederland voor onder de dijk en het potentiële toepassingsgebied is daarom erg groot. De kennis die opgedaan wordt over de invloed van meerlaagsheid, anisotropie en de fijne fractie is daarnaast ook van directe waarde voor het verkleinen van de pipingopgave in het rivierengebied.

In §1.2 is aangegeven dat op korte termijn de kennis moet landen binnen huidige beoordelings- en versterkingsprojecten. Binnen het onderzoek wordt toegewerkt naar een aangepaste aanpak voor piping in het getijdengebied op basis van de daadwerkelijke totale sterkte van het getijdenzand. Naar onze stellige overtuiging kan met dit project onderbouwd worden dat de overstromingskans op de trajecten met getijdenzand in 95% van de gevallen voldoende klein is. Het is niet overdreven om te stellen dat dit ruim 100 miljoen euro aan besparing zal opleveren. Dat deze overtuiging realistisch is blijkt onder meer uit het succes van het Spui 20-3 Anisotropie onderzoek. Deze reductie draagt bij aan de ambitieuze doelen van het Hoogwater-beschermingsprogramma:

- de productie verhogen naar gemiddeld 50 kilometer per jaar;
- de gemiddelde kosten per kilometer beperken tot 7 miljoen euro per kilometer.

Immers, het voorgestelde onderzoek zal er toe leiden dat de versterkingsopgave per kilometer gemiddeld kleiner wordt en daarmee dus sneller en goedkoper uitgevoerd kan worden. Dit sluit goed aan bij de stelling in het programmaplan dat "kennis en innovatie

onmisbaar zijn om de programmadoelen te halen en maatregelen sneller en goedkoper, en ook duurzamer te realiseren”.

Het efficiënt en binnen korte termijn toepassen van de opgedane kennis vraagt om korte lijnen met de degenen die verantwoordelijk zijn voor beoordeling en versterkingen binnen Nederland. De voorgestelde projectorganisatie is hierbij cruciaal, omdat binnen het project vrijwel alle van deze verantwoordelijken reeds aanwezig zijn. Binnen de projectorganisatie zal daarom reeds vanaf fase 1 overleg zijn over hoe de kennis het beste kan ‘landen’.

Voorziene kennisproducten zijn:

- Handreiking piping in getijdengebied voor beoordelings- en versterkingsprojecten (incl. synthese anisotropie onderzoek Spui-West en overige onderzoeken). Deze handreiking maakt het mogelijk maatwerk te leveren bij versterkingsprojecten, waarbij rekening gehouden wordt met meenemen van meerlaagsheid, anisotropie en cohesie. Hierbij zal gedifferentieerd worden naar de verschillende typen getijdenzanden, omdat het pipingproces in de verschillende typen getijdenzand wellicht anders verloopt waardoor een gedifferentieerde aanpak nodig is. De handreiking geeft daarnaast input voor het gebruik van de opgedane kennis binnen de overstromingskansbenadering (faalpadenaanpak). Dit is inclusief verankering in het BOI en afstemming met het ENW en het KPR.
- Impactanalyse waarin de handreiking concreet wordt toegepast op 3 relevante cases. Deze impactanalyses kan als voorbeelden-bijlage worden bijgesloten bij de bovengenoemde handreiking.
- Inhoudelijke rapportages
- Nieuwe dataset aan kleine- en mediumschaalproeven
- Presentaties/toelichting op vakdagen en andere relevante bijeenkomsten. Goed voorbeeld doet goed volgen.
- Daarnaast zowel gevraagd en ongevraagd advies geven binnen andere projecten door zowel het project- als het expertteam. Dit zorgt ervoor er dat de nieuwe kennis ook opgepikt wordt.
- Artikelen in zowel nationale als internationale vakbladen. Het is een uniek project dat breed uitgedragen moet worden.

## 6 Businesscase: kostenraming en rendement

De aanpak zoals omschreven in dit document laat zich kenmerken door een gefaseerde aanpak waarbij van grof naar fijn wordt gewerkt. Dit houdt ook in dat de investeringen in de tijd zullen toenemen. Op dit moment is een goed beeld verkregen van de benodigde inspanning binnen fase 1. Voor deze fase is een gedetailleerde kostenraming opgenomen in bijlage 2.

In Tabel 1 is de kostenraming voor alle fasen opgenomen (zie bijlage 3 voor volledige SSK-raming). De kostenramingen voor fase 2 t/m 4 zijn grof ingeschat, maar geven een goede indicatie van de benodigde investering. Analoog aan de uitwerking van het anisotropieonderzoek langs normtraject 20-3 wordt aan het einde van een fase het gewenste detailniveau, activiteiten, producten en kosten voor een volgende fase onderbouwd. Waar toepasbaar zullen alternatieven worden voorgesteld zodat er tijdens de GO/STOP momenten een weloverwogen beslissing kan worden gemaakt over de doorgang en invulling van een volgende fase.

De potentiële besparing in termen van scopereductie op piping in het getijdengebied en de optimalisatie van pipingmaatregelen is groot. In §1.3 is aangegeven dat door het meenemen van anisotropie alleen al voor normtraject 20-3 een besparing is uitgerekend van € 3,4M (verwachtingswaarde). De besparing is groter wanneer ook het gunstige effect van meerlaagsheid wordt meegerekend. Meerlaagsheid en anisotropie zijn elementen waar nu al aan gemeten en gerekend kan worden. Op de korte termijn willen we dit dan ook al verzilveren (zie doelstelling 2 en 3). De besparing wordt nog groter wanneer we succesvol de andere sterktecomponenten kunnen karakteriseren en meenemen in de pipinganalyse (doelstelling 4 en 5).

Alleen al ten aanzien van normtraject 20-3 is het rendement positief, uitgedrukt in 'return on investment (ROI)' een factor  $> 1,5$  ( $> € 3,4M / € 2,3M$ ). Bekeken voor heel Nederland zal de verwachte winst vele malen groter zijn dan € 100M. Dit is echter nog niet kwantitatief onderbouwd.

**Tabel 1: Kostenraming pipingproef Hedwige**

<b>Fase</b>	<b>Onderdeel</b>	<b>Kosten (excl. BTW)</b>
0. PvA	Kosten Deltares, Fugro en WSHD t.b.v. initiëren, afstemmen en uitwerken PvA	€ 60,000
<b>Totaal fase 0:</b>		<b>€ 60,000</b>
1. Karakterisering & geschiktheid	Zie detailraming fase 1 in bijlage	€ 355,000
<b>Totaal fase 1:</b>		<b>€ 355,000</b>
2. Proefontwerp	Proefontwerp (VO en DO), incl. predicties	€ 75,000
	Geotechnisch en hydrologisch veldonderzoek	€ 60,000
	Project- & contractmanagement/-begeleiding, aannemer(s)selectie	€ 90,000
<b>Totaal fase 2:</b>		<b>€ 225,000</b>
3. Proefuitvoering	Opstellen UO en draaiboek	€ 30,000
	Vastleggen as-built	€ 15,000
	Uitvoeringskosten schermconstructie	€ 350,000
	Monitoring waterdrukken (WSM's)	€ 250,000
	Monitoring temperatuur	€ 175,000
	Monitoring o.b.v. ERT	€ 50,000
	IR cameras	€ 20,000
	Dataverwerking en presentatie (online + actuele analyses)	€ 30,000
	Terreininrichting, grondwerk, infiltratiebuizen	€ 150,000
	Uitvoeringsbegeleiding, analyse en uitwerking	€ 100,000
Project- en contractmanagement/-begeleiding	€ 117,000	
<b>Totaal fase 3:</b>		<b>€ 1,287,000</b>
4. Toepassing binnen projecten	Inzichten toepasbaar maken binnen projecten in NL (Handreiking) en verankering BOI	€ 120,000
	Impactanalyse 3 cases	€ 25,000
	Kleine/medium schaalproeven NL	€ 250,000
	Kennisdeling met buitenland	€ 32,000
	Project- en contractmanagement/-begeleiding	€ 67,000
<b>Totaal fase 4:</b>		<b>€ 494,000</b>
<b>Totaal fase 0 t/m 4:</b>		<b>€ 2,421,000</b>
5. Risicoreservering	15% van totaal	€ 363,150
<b>Totaal fase 0 t/m 4 incl. risicoreservering:</b>		<b>€ 2,784,150</b>

## 7 Risicomanagement

In fase 1B zal een risicodossier worden opgesteld en actueel worden gehouden tijdens iedere fase van het project. In het algemeen is rekening gehouden met een risicopost (10%) + post onvoorzien (5%) van in totaal 15% per fase.

Nr	Risico	Relevant in fase	Beheermaatregel
1	Basisveenlaag beperkt / niet aanwezig op voorziene proeflocatie.	1B	Nauwkeurig karakteriseren bodemopbouw in fase 1B. Mogelijk uitwijken naar andere proeflocatie. Hiervoor o.a. risicobudget beschikbaar.
2	Bodemopbouw Sieperdadijk voorsnog onbekend. Mogelijk ontbreekt een cohesieve laag onder de dijk waardoor zanddijk bovenop getijdenzand is gelegen. In deze situatie kan piping (theoretisch) niet optreden omdat er zich geen doorgaand erosiekanaal kan instellen.	1B	Nauwkeurig karakteriseren bodemopbouw in fase 1B. Mogelijk uitwijken naar andere proeflocatie.
3	Tempo en randvoorwaarden vanuit het ontpolderingsproject.	1B	Goede afstemming o.a. via het LLHPP initiatief
4	Monitoring: onvoldoende contrast in waterdrukken, temperatuur en/of elektrisch geleidingsvermogen om pipingproces te volgen.	3	Vooraf modelleren in numeriek stromingsmodel t.b.v. definitieve keuze monitoringsysteem. Meerdere monitoringssystemen inzetten.
5	Pipingproces verstoord als gevolg van sensoren in getijdenzand.	3	Goed plannen van sensorlocaties.
6	Dijk bezwijkt als gevolg van ander mechanisme.	3	Vooraf ontwerpen in DO en UO. Observaties en monitoren vervormingen en waterdrukken tijdens uitvoering.
7	Erosiekanaal stelt zich in langs schermconstructie.	3	Opbarstlocatie in het midden van de proefbak forceren. Randen op minimale afstand houden, voorsnog proefbreedte 30 m, dus 15 m aan weerszijden van midden uittredepunt.
8	Weerstand vanuit de omgeving.	1, 2 en 3	Omgevingsmanagement vanuit LLHPP-initiatief.
9	Pompuitval / stroomuitval.	3	100% back-up inbouwen in systeem.
10	Problemen met aanwezigheid explosieven.	1, 2 en 3	Vooralsnog is rekening gehouden met oppervlakedetectie voor het vrijgeven van locaties op NGE (Niet Gesprongen Explosieven).
11	Validatie D-Geo Flow en opstellen veiligheidsfilosofie als RWS-project komt niet van de grond.	4	Alternatieve aanpak opzetten, in samenspraak met Rijkswaterstaat
12	Beperkte beschikbaarheid getijdenzand voor kleine en medium schaalproeven.	4	In voorbereiding lopende projecten inventariseren en tijdig vastleggen. Dit in

			afstemming met de begeleidingsgroep waarin beheerders deelnemen.
13	(Sub)doelstellingen worden niet behaald	4	Deze kans wordt klein geschat, en kan vrijwel alleen een gevolg zijn van het mislukken van de proef zelf. Het mislukken van implementatie resultaten wordt voorkomen door goede afstemming en betrokkenheid met alle betrokken partijen.

## 8 Literatuurlijst

- Hijma, M.P., Oost, A.P., 2018. Getijdenafzettingen en piping: een quickscan - Karakterisatie, inventarisatie en demonstratie, Deltares report 11202560-012-GEO-0001pp.
- Hijma, M.P., 2019. KvK Piping deelproject 011: Getijdenafzettingen en piping (2) - Proeven, begrijpen, toepassen, Deltares report 11203719-011-GEO-0001pp.
- Van Beek, V.M., Van Essen, H.M., Vandenboer, K., Bezuijen, A., 2015. Developments in modelling of backward erosion piping. *Géotechnique*, 65 (9), 740-754.  
10.1680/geot.14.P.119.



## Bijlagen

### Bijlage 1 – Achtergronden eerdere en lopende pipingprojecten

#### 1. Meerlaagsheid binnen het pipinggevoelige pakket (POVP, 2015-2016)

Binnen de Projectoverstijgende Verkenning Piping (POVP) van het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP) hebben Fugro en Deltares in samenwerking met Waterschap Aa en Maas het effect van de doorlatendheidsvariatie binnen het pipinggevoelige watervoerend pakket op piping onderzocht. Met meerlaagsheid wordt bedoeld dat verschillende typen zand op elkaar gestapeld liggen. Elk type zand heeft zijn eigen doorlatendheid en als je deze verschillen meeneemt in de beoordeling leidt dit aanzienlijke winst t.o.v. de huidige werkwijze waarbij de verschillende zandpakketten tot 1 zandlaag geschematiseerd worden met een gewogen doorlatendheid. Bij dit onderzoek is een groot aantal verschillende doorlatendheidsmetingen ingezet en met elkaar vergeleken. De HPT-MPT<sup>1</sup> sondering is hierbij eveneens toegepast en gevalideerd aan de hand van grootschalige pompproeven. De volgende kenmerkende resultaten zijn binnen het onderzoek geboekt:

- Berekende besparing op het kwelweglengtetekort (pipingopgave) van 120 m naar 45 m door het meenemen van meerlaagsheid voor een dijkvak langs de Bergsche Maas, een besparing van > 60%;
- Schaafeffect in doorlatendheidsmetingen: kleinschalige proeven geven een relatief lage doorlatendheid waarbij de doorlatendheid toeneemt met de schaalgrootte van de proef, tot aan de bulkdoorlatendheid van het pakket. De bulkdoorlatendheid is het meest relevant voor het grootschalige pipingproces onder onze waterkeringen. Van belang is het om doorlatendheden te gebruiken op een schaal die aansluit bij het schaalniveau van het probleem. Peilbuismetingen/-analyses, grootschalige pompproeven en de HPT-MPT techniek lijken het best aan te sluiten op het schaalniveau van het pipingvraagstuk.
- Correlatielengte van de horizontale doorlatendheid in het Kreftenheye pakket (veelvoorkomende Pleistocene rivierafzetting) is ca. 200 m. Deze lengte is m.n. van belang voor het bepalen van de gewenste dichtheid van doorlatendheidsonderzoek en de statistische verwerking van de meetwaarden naar een verantwoorde ontwerpparameter.

Inmiddels zijn de inzichten en HPT-MPT techniek binnen diverse beoordelings- en ontwerpprojecten ingezet om het effect van de doorlatendheidsvariatie mee te nemen in de bepaling van de pipingopgave.

#### 2. Getijdenafzetting en piping: een quickscan (Deltares, 2018-2019)

Dit onderzoek wordt uitgevoerd binnen een KPP-project (Kennis voor Keringen) voor RWS-WVL. Op basis van kleine schaalproeven wordt gesteld dat getijdenzand aantoonbaar sterker is dan het zand gebruikt bij het ontwikkelen van het rekenmodel van Sellmeijer waarmee de Nederlandse waterkeringen worden beoordeeld en ontworpen op piping. Het kritieke verval

---

<sup>1</sup> HPT = Hydraulic Profiling Tool; MPT = Mini-pompproef

lag gemiddeld 100% hoger (2x zo sterk) dan het berekende kritieke verval o.b.v. het rekenmodel. Omdat de proeven homogeen en isotroop zijn opgebouwd is de extra sterkte niet het gevolg van meerlaagsheid en/of anisotropie. De extra sterkte tijdens de proeven wordt veroorzaakt door de aanwezigheid van een fijne fractie. In 2018 (Hijma & Oost, 2018) werd de nadruk gelegd op een gemiddelde sterktefactor van rond 2, het onderzoek in 2019 (Hijma, 2019) specificeert dit door een relatie te leggen tussen de hoogte van de sterktefactor en het percentage fijne fractie. De sterkste relatie is er met het percentage fijn materiaal kleiner dan 16 µm (slibfractie).

### **3. Anisotropie-onderzoek: langs het Spui (getijdenzand) en Grebbedijk (rivierengebied) (2018-2019)**

In een samenwerking tussen Waterschap Hollandse Delta (WSHD), Waterschap Vallei en Veluwe (WVV), het HWBP, Fugro, Deltares en een expertteam wordt op dit moment langs de westelijke Spuidijk onderzoek gedaan naar de anisotropie van het pipinggevoelige zandpakket. Het huidige rekenmodel van Sellmeijer gaat uit van een enkellaags en isotroop (1 doorlatendheid) zandpakket. Door het effect van anisotropie mee te nemen kan meer weerstand aan het zandpakket worden toegekend, dit remt de waterstroming en drukopbouw onder de dijk. Door gebruik te maken van stromingsmodellen zoals PlaxFlow en D-Geo Flow kan het effect op de pipingopgave worden bepaald.

Binnen het onderzoek worden verschillende kleine en grootschalige doorlatendheidstesten ingezet waarmee de mate van anisotropie in de ondergrond wordt bepaald. De innovatieve HPT-AMPT<sup>2</sup> sondering wordt hierbij getest waarbij op een relatief eenvoudige en efficiënte manier de doorlatendheidsvariatie en anisotropie kan worden bepaald. De eerste succesvolle veldtesten met de HPT-AMPT sondering zijn in de zomer van 2018 en het voorjaar van 2019 uitgevoerd. Op basis van de eerste resultaten is het effect van meerlaagsheid en anisotropie op de pipingopgave langs de Spuidijk een besparing van respectievelijk 40% en 20%, totaal dus 60% op de benodigde kwelweglengte. Dit door voorlopig rekening te houden met een anisotropiefactor van 5, waarbij de horizontale doorlatendheid 5x zo groot is als de verticale.

### **4. Inzichten (gelumpte) voorlandweerstand (2018-2019)**

Binnen de POVPiping is door diverse experts geopperd dat er meer sterkte in het voorland aanwezig is dan dat nu veelal wordt aangenomen in pipinganalyses. Het effect van aanwezige sloten, lokale kortsluitingen met het watervoerend pakket (WVP), wisselende dikte deklaag, etc. mogen worden uitgemiddeld in een hydraulische weerstand voor een grotere oppervlakte: de "gelumpte weerstand". Deze gelumpte weerstand wordt vervolgens gebruikt om de effectieve voorlandlengte te bepalen.

De gedachte is dat ondanks een dunne deklaag op het voorland (<1 m) of zelfs het ontbreken van een dergelijke deklaag, de weerstand over een groter gebied voldoende is om meer effectieve voorlandlengte in rekening te mogen brengen. De huidige praktijk laat zien dat het intredepunt voor piping veelal wordt gekozen t.p.v. de buitenteen van de dijk (wanneer men niets van het voorland weet) of, waar een redelijke deklaag aanwezig is, wordt de locatie met een lokale kortsluiting met het WVP gekozen als intredepunt.

---

<sup>2</sup> HPT = Hydraulic Profiling Tool; AMPT = Anisotrope Mini-pompproef

Een veldproef waarbij de deklaag op het voorland verschillend wordt geconfigureerd (gesloten, gaten, sloot, etc.) en waarbij tegelijk de waterspanningen onder het voorland en de dijk worden gemeten, kan bovengenoemde hypothese m.b.t. de gelumpte voorlandweerstand bevestigen.

#### **5. Pipingproef Waddenzeegebiet (lopend project 2019-2020)**

Het Wetterskip Fryslân voert samen met Deltares en Fugro een pipingproef in Noord-Friesland. Ook in het noordelijke getijdengebied wordt een forse pipingopgave berekend die men, gezien de inmiddels opgedane kennis, niet altijd herkend. Dit initiatief is recent opgestart, de proef zal in het voorjaar van 2020 plaatsvinden.

## Bijlage 2 – Kostenraming fase 1

Kostenraming pipingproef Hedwigepolder - fase 0 & 1			Uurtarief	Dagtarief	Combi	Uurtarief	Dagtarief	combi	flatrate	Uurtarief	Dagtarief	Derden				
Van:	Gert-Ruben van Goor / Marc Hijma		Junior	€ 125	€ 997	Junior	€ 115	€ 920		€ 120	€ 960					
Datum:	17-12-2019		Medior	€ 157	€ 1,252	Senior	€ 150	€ 1,200								
v1	Definitieve versie		Expert	€ 231	€ 1,846			€ 990								
Bedragen zijn exclusief BTW			Deltares			Fugro			WSHD			Totaal				
ID	Activiteit	Product	Aantal	Eenheid	Tarief	Kosten	Aantal	Eenheid	Tarief	Kosten	Aantal	Eenheid	Tarief	Kosten	Derden	Totaal
0.0	Opstellen plan van aanpak (fase 0)	PvA	1	PvA	€ 30,000	€ 30,000	1	PvA	€ 30,000	€ 30,000						€ 60,000
1.0	Kick-off en productspecificatie fase 1	Productsificatie fase 1	2	dag	€ 1,541	€ 3,082	3	dag	€ 1,200	€ 3,600						€ 6,682
1.1	Expert werkplaats	Memo	1	workshop	€ 15,000	€ 15,000	1	workshop	€ 7,500	€ 7,500	1	workshop	€ 960	€ 960	€ 7,500	€ 30,960
1.2	Afleiden criteria voor beoordeling geschiktheid proeflocatie	Memo criteria geschiktheid	3	dag	€ 1,541	€ 4,623	3	dag	€ 1,200	€ 3,600						€ 8,223
1.3	Opstellen onderzoeks- en uitvoeringsplan veldwerk incl. vergunningen / OM	Onderzoeks- en uitvoeringsplan	1	dag	€ 1,541	€ 1,541	4	dag	€ 990	€ 3,960						€ 5,501
1.4	Uitvoeren geotechnisch / geohydrologisch veldonderzoek (basis)	Factual report(s) veldonderzoeken														
	<i>Fase 1: DKMP, HPT, HPT-MPT, handboringen en korrelverdelingen</i>															
	Werkvoorbereiding, coordinatie en veldbezoek		1	dag	€ 1,541	€ 1,541	1	projectfase	€ 5,000	€ 5,000						€ 6,541
	KLIC melding 500x500 m						2	projectfase	€ 85	€ 170						€ 170
	NGE oppervlaktedetectie 2 dagen, verkort PvA en vrijgave rapportage						1	projectfase	€ 3,500	€ 3,500						€ 3,500
	Draglineschotten op voorland t.b.v. bereikbaarheid onderzoekslocaties, huur, vervoer, leggen, opnemen en schoonmaken (circa 400 m, 4 weken, 2 fasen)						1	project	€ 23,850	€ 23,850						€ 23,850
	Maaiwerkzaamheden op voorland t.b.v. onderzoekslocaties						3	dag	€ 850	€ 2,550						€ 2,550
	Aan- en afvoer HPT sondeerunit (track-truck)						2	projectfase	€ 1,750	€ 3,500						€ 3,500
	(de)mobilisatie uitzetten en waterpassen						2	projectfase	€ 120	€ 240						€ 240
	Uitzetten en waterpassen sondeerlocaties fase 1						31	locaties	€ 18	€ 558						€ 558
	- 23 x waterspanningssondering tot MV -30m (DKMP) t.p.v. VL, BUTE, BITE, AL						23	stuks	€ 450	€ 10,350						€ 10,350
	- 10x DKMP-HPT-sondering tot MV -40m t.p.v. KRUIJN						10	stuks	€ 650	€ 6,500						€ 6,500
	- 4x DKMP-HPT-sondering tot MV -30m t.p.v. BITE						4	stuks	€ 560	€ 2,240						€ 2,240
	- 4x HPT-2MPT sonderingen t.p.v. BUTE						4	dag	€ 2,250	€ 9,000						€ 9,000
	- Afdichten sondeergaten tot MV -10m met bentoniet d.m.v. naprikken						41	locaties	€ 210	€ 8,610						€ 8,610
	- 8x Handboringen inclusief 4 peilbuizen (6 maanden meten)		2	dag	€ 1,541	€ 3,082	1	project	€ 14,280	€ 14,280						€ 17,362
	- 8x ongeroerde monsternamen						8	stuks	€ 30	€ 240						€ 240
	- 12x Korrelverdelingen incl. fijne fractie						12	stuks	€ 200	€ 2,400						€ 2,400
	- 4x classificatie en fotoboring (kleur) ongeroerde monsters, incl. falling head test ter bepaling van Kh en Kv (kleine schaal)						4	stuks	€ 480	€ 1,920						€ 1,920
	- 4x classificatie en fotoboring (kleur) ongeroerde monsters						4	stuks	€ 30	€ 120						€ 120
	4 Deltares Large Diameter Samples incl. Kh en Kv bepaling in lab		4	stuks	€ 2,500	€ 10,000										€ 10,000
	Begeleiding veldonderzoeken incl. specificatie en controle HPT(-MPT)		3	dag	€ 1,263	€ 3,790	4	dag	€ 990	€ 3,960						€ 7,750
	Uitwerking HPT(-MPT) sonderingen incl. opstellen factual report						6	dag	€ 920	€ 5,520						€ 5,520
	Review en kwaliteitsborging uitwerking en rapportages		2	dag	€ 1,541	€ 3,082	2	dag	€ 1,200	€ 2,400						€ 5,482
	<i>Fase 2: HPT-AMPT sonderingen en ERT-metingen</i>															
	Aan- en afvoer sondeerunits (AMPT mini-rups met extra toren)						1	projectfase	€ 2,000	€ 2,000						€ 2,000
	KLIC melding 500x500 m						1	projectfase	€ 85	€ 85						€ 85
	(de)mobilisatie uitzetten en waterpassen						1	projectfase	€ 120	€ 120						€ 120
	Uitzetten en waterpassen sondeerlocaties fase 1						8	locaties	€ 18	€ 144						€ 144
	- 8x HPT-2AMPT sondering tot MV -30m t.p.v. BUTE, BITE						8	dag	€ 3,000	€ 24,000						€ 24,000
	Begeleiding veldonderzoeken incl. specificatie en controle HPT-AMPT						2	dag	€ 990	€ 1,980						€ 1,980
	Uitwerking HPT-AMPT sonderingen incl. opstellen factual report						12	dag	€ 920	€ 11,040						€ 11,040
	Review en kwaliteitsborging uitwerking en rapportages		1	dag	€ 1,541	€ 1,541	2	dag	€ 1,200	€ 2,400						€ 3,941
	ERT metingen t.p.v. BUTE, KRUIJN, BITE incl. x dwarsraaien tot 30m vanuit dijkteen		15	dag	€ 1,263	€ 18,952	2	dag	€ 1,200	€ 2,400						€ 21,352
1.5	Pipinganalyses in DGeo Flow (excl. veiligheidsfactoren) t.b.v. bepaling belasting vs. pijpgroei incl. gevoeligheidsanalyses o.b.v. variaties gevonden parameterwaarden	Memo pipinganalyses fase 1	10	dag	€ 1,263	€ 12,635	1	dag	€ 990	€ 990						€ 13,625
1.6	Bepalen geschiktheid proeflocatie voor full-scale pipingproef aan de hand van pipinganalyses en criteria incl. update proefontwerp (SO-niveau, maximaal 3 alternatieven)	Syntheserapport fase 1	5	dag	€ 1,541	€ 7,704	8	dag	€ 1,200	€ 9,600						€ 17,304
1.7	GO/STOP moment: geschiktheid proeflocatie & herijking PvA en kostenraming volgende fase	Update PvA en verslag	4	dag	€ 1,541	€ 6,164	4	dag	€ 1,200	€ 4,800						€ 10,964
1.8	Algemeen:	-														
	- Projectmanagement en -overleg		6	dag	€ 1,541	€ 9,245	8	dag	€ 1,200	€ 9,600	13	dag	€ 960	€ 12,480		€ 31,325
	- Expertteam													€ 15,000		€ 15,000
	- Afstemming projectpartners		6	dag	€ 1,541	€ 9,245	6	dag	€ 1,200	€ 7,200						€ 16,445
	- Inzet kennisstrategie		2	dag	€ 1,541	€ 3,082	2	dag	€ 1,200	€ 2,400						€ 5,482
	Totalen fase 1:					€ 114,308				€ 204,327			€ 13,440	€ 22,500		€ 354,575
	Totalen fase 0:					€ 30,000				€ 30,000			€ -			€ 60,000



Project: Pipingproef Hedwigepolder - Projectnr: 1218-0089-000 - Opdr.gever: Waterschap Hollandse Delta (WSHD)  
 Versie raming: 1 - Status: Definitief - Opgesteld door: Fugro & Deltares

Prijspeil raming: 01-12-19  
 Datum raming: 18-12-19

## Colofon

Versie 3.05a (18 juni 2014)

### Project:

Project  
 Omschrijving / specificatie  
 Projectfase  
 Opdrachtgever  
 Projectmanager  
 Manager projectbeheersing  
 Technisch manager

### Pipingproef Hedwigepolder

Kostenraming  
 SO / Plan van Aanpak  
 Waterschap Hollandse Delta (WSHD)  
 Gert-Ruben van Goor / Marc Hijma

### Raming:

Type raming  
 Datum opstelling raming  
 Opsteller raming  
 Mede opstellers raming  
 Versie raming  
 Status raming  
 Prijspeil raming  
 Valuta

Raming Plan van Aanpak  
 18-12-19  
 Fugro & Deltares  
 1  
 Definitief  
 01-12-19  
 Euro

### Archivering:

Project-/dossier-/SAP-nummer  
 Documentnummer raming  
 Nummer kostenrapportage  
 Bestandsnaam raming  
 Locatie (map) opgeslagen raming

1218-0089-000  
 1218-0089-000 SSK-raming Piningproef Hedwigepolder.xlsm  
 P:\12\1218-0089-000\34\_Advies\_waterbouw

### Toetsing:

Raming intern getoetst door  
 Datum interne toetsing  
 Raming extern getoetst door  
 Datum externe toetsing

### Parafering:

Paraaf opsteller raming  
 Paraaf interne toetser  
 Paraaf externe toetser  
 Paraaf projectleider  
 Paraaf manager projectbeheersing  
 Paraaf projectmanager

Project: Pipingproef Hedwigepolder - Projectnr: 1218-0089-000 - Opdr.gever: Waterschap Hollandse Delta (WSHD)  
Versie raming: 1 - Status: Definitief - Opgesteld door: Fugro & Deltares

Prijspeil raming: 01-12-19  
Datum raming: 18-12-19

**Scope en uitgangspunten**

Versie 3.05a (18 juni 2014)

Pipingproef Hedwigepolder kostenraming fase 1\_v1

Project: Pipingproef Hedwigepolder - Projectnr: 1218-0089-000 - Opdr.gever: Waterschap Hollandse Delta (WSHD)  
 Versie raming: 1 - Status: Definitief - Opgesteld door: Fugro & Deltares

Prijspeil raming: 01-12-19  
 Datum raming: 18-12-19

### Samenvatting LCC en deelramingen

Versie 3.05a (18 juni 2014)

Deelramingen	Geactiveerd	Investerings-	Levensduur-	Project-	Investerings-	Levensduur-	Project-	Gemiddeld jaarlijkse onderhoudskosten
		kosten	kosten	kosten	kosten	kosten	kosten	
		Looptijd 1 jaar	Looptijd 1 jaar	Looptijd 1 jaar	Looptijd 1 jaar	Looptijd 1 jaar	Looptijd 1 jaar	Looptijd 1 jaar
		Projectkosten			Projectkosten (contante waarde) met 2,5% over 1 jaar			Niet gekapitaliseerd
Deelraming Pipingproef fase 0 en 1	Ja	€ 476.762	€ -	€ 476.762	€ 476.762	€ -	€ 476.762	€ - [€/jaar]
Deelraming Pipingproef fase 2 tm 4	Ja	€ 2.305.543	€ -	€ 2.305.543	€ 2.305.543	€ -	€ 2.305.543	€ - [€/jaar]
Objectoverstijgende risico's	Ja	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ - [€/jaar]
Scheefte		€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ - [€/jaar]
BTW	Ja	€ 584.284	€ -	€ 584.284	€ 584.284	€ -	€ 584.284	€ - [€/jaar]
<b>Projectkosten inclusief BTW</b>		<b>€ 3.366.590</b>	<b>€ -</b>	<b>€ 3.366.590</b>	<b>€ 3.366.590</b>	<b>€ -</b>	<b>€ 3.366.590</b>	<b>€ - [€/jaar]</b>
		Ok			Ok			Ok

Gemiddeld jaarlijkse onderhoudskosten (toekomstige situatie) over 1 jaar € - [€/jaar]

Gemiddeld jaarlijkse onderhoudskosten (huidige situatie) over 1 jaar € - [€/jaar]

Verskil gemiddeld jaarlijkse onderhoudskosten € - [€/jaar]

#### Handige checks binnen investeringskosten (incl. BTW):

Verhouding voorziene kosten t.o.v. investeringskosten	100%	0%	Verhouding nader te detailleren bouw- t.o.v. benoemde bouwkosten (excl. BTW)
Verhouding risicoreservering t.o.v. investeringskosten	0%	15%	Verhouding indirecte bouw- t.o.v. benoemde bouwkosten (excl. BTW)
Investeringskosten	100%	10%	Verhouding engineeringkosten t.o.v. bouwkosten
Verhouding risicoreservering t.o.v. voorziene kosten binnen investeringskosten	0%	0%	Verhouding overige bijkomende kosten t.o.v. bouwkosten
Verhouding scheefte t.o.v. deterministische investeringskosten	n.v.t.	1,53	Opslagfactor investeringskosten t.o.v. benoemde bouwkosten
Gemiddeld percentage BTW in de raming van de investeringskosten	21,00%		
Is de financiële planning (€) gelijk aan de raming (€) van de investeringskosten?	Ja		1 Looptijd in jaren van de investeringskosten: vanaf 1 t/m 1

#### Handige checks binnen levensduurkosten (incl. BTW):

Verhouding voorziene kosten t.o.v. levensduurkosten	0%	0%	Verhouding nader te detailleren levensduur- t.o.v. benoemde levensduurkosten (excl. BTW)
Verhouding risicoreservering t.o.v. levensduurkosten	0%	0%	Verhouding indirecte levensduur- t.o.v. benoemde levensduurkosten (excl. BTW)
Levensduurkosten	0%		
Verhouding risicoreservering t.o.v. voorziene kosten binnen levensduurkosten	0%	0,00%	Percentage gemiddeld jaarlijkse onderhoudskosten t.o.v. investeringskosten, in toekomstige situatie
Verhouding scheefte t.o.v. deterministische investeringskosten	n.v.t.	0,00%	Percentage gemiddeld jaarlijkse onderhoudskosten t.o.v. investeringskosten, in huidige situatie
Gemiddeld percentage BTW in de raming van de levensduurkosten	-		
Is de financiële planning (€) gelijk aan de raming (€) van de levensduurkosten?	Ja		1 Looptijd in jaren van de levensduurkosten: vanaf 1 t/m 1

#### Handige checks binnen projectkosten (incl. BTW):

Is de financiële planning (€) gelijk aan de raming (€) van de projectkosten?	Ja	1 Looptijd in jaren van de projectkosten (lifecycle): vanaf 1 t/m 1
--	----	---



Project: Pipingproef Hedwigepolder - Projectnr: 1218-0089-000 - Opdr.gever: Waterschap Hollandse Delta (WSHD)  
 Versie raming: 1 - Status: Definitief - Opgesteld door: Fugro & Deltares

Prijspeil raming: 01-12-19  
 Datum raming: 18-12-19

Samenvatting SSK							Versie 3.05a (18 juni 2014)	
Kostengroepen	Directe kosten		Indirecte kosten	Voorziene kosten	Risicoreservering	Totaal		
Kostencategorieën	Benoemd	Nader te detailleren						
<b>Investeringskosten (indeling naar categorie):</b>								
Bouwkosten	€ 2.197.885	€ -	€ 329.683	€ 2.527.568	€ -	€ -	€ 2.527.568	
Vastgoedkosten	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	
Engineeringkosten	€ -	€ -	€ 254.738	€ 254.738	€ -	€ -	€ 254.738	
Overige bijkomende kosten	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	
<b>Subtotaal investeringskosten</b>	<b>€ 2.197.885</b>	<b>€ -</b>	<b>€ 584.420</b>	<b>€ 2.782.305</b>	<b>€ -</b>	<b>€ -</b>	<b>€ 2.782.305</b>	
Objectoverstijgende risico's					€ -	€ -	€ -	
<b>Investeringskosten deterministisch</b>	<b>€ 2.197.885</b>	<b>€ -</b>	<b>€ 584.420</b>	<b>€ 2.782.305</b>	<b>€ -</b>	<b>€ -</b>	<b>€ 2.782.305</b>	
Scheefte					€ -	€ -	€ -	
<b>Investeringskosten exclusief BTW</b>				<b>€ 2.782.305</b>	<b>€ -</b>	<b>€ -</b>	<b>€ 2.782.305</b>	
BTW				€ 584.284	€ -	€ -	€ 584.284	
<b>Investeringskosten inclusief BTW</b>				<b>€ 3.366.590</b>	<b>€ -</b>	<b>€ -</b>	<b>€ 3.366.590</b>	
<b>Investeringskosten inclusief BTW (contante waarde), discontovoet van 2,5% en looptijd van 1 jaar</b>							<b>€ 3.366.590</b>	
<i>Bandbreedte : met 70% zekerheid liggen de investeringskosten inclusief BTW tussen</i>				€ 2.356.613	<i>en</i>	€	4.376.566	
<i>Variatiecoëfficiënt</i>					<i>30%</i>			
<b>Levensduurkosten:</b>								
<b>Subtotaal levensduurkosten</b>	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	
Objectoverstijgende risico's					€ -	€ -	€ -	
<b>Levensduurkosten deterministisch</b>	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	
Scheefte					€ -	€ -	€ -	
<b>Levensduurkosten exclusief BTW</b>				€ -	€ -	€ -	€ -	
BTW				€ -	€ -	€ -	€ -	
<b>Levensduurkosten inclusief BTW</b>				€ -	€ -	€ -	€ -	
<b>Levensduurkosten inclusief BTW (contante waarde), discontovoet van 2,5% en looptijd van 1 jaar</b>							€ -	
<i>Bandbreedte : met 70% zekerheid liggen de levensduurkosten inclusief BTW tussen</i>				€ -	<i>en</i>	€	-	
<i>Variatiecoëfficiënt</i>								
<b>Projectkosten inclusief BTW</b>				<b>€ 3.366.590</b>	<b>€ -</b>	<b>€ -</b>	<b>€ 3.366.590</b>	
<b>Projectkosten inclusief BTW (contante waarde), discontovoet van 2,5% en looptijd van 1 jaar</b>							<b>€ 3.366.590</b>	
<b>Budgetvaststelling investeringskosten:</b>								
Investeringskosten inclusief BTW				€ 3.366.590	€ -	€ -	€ 3.366.590	
Organisatiegebonden kosten		0%	€ 3.366.590	€ -	€ -	€ -	€ -	
Onzekerheidsreserve (in te vullen door financier)				€ -	€ -	€ -	€ -	
Reservering scope wijzigingen (in te vullen door financier)				€ -	€ -	€ -	€ -	
<b>Aan te houden risicoreservering en totaal budget investeringskosten</b>				<b>€ 3.366.590</b>	<b>€ -</b>	<b>€ -</b>	<b>€ 3.366.590</b>	
<b>Budgetvaststelling levensduurkosten:</b>								
Levensduurkosten inclusief BTW				€ -	€ -	€ -	€ -	
Organisatiegebonden kosten		0%	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	
Onzekerheidsreserve (in te vullen door financier)				€ -	€ -	€ -	€ -	
Reservering scope wijzigingen (in te vullen door financier)				€ -	€ -	€ -	€ -	
<b>Aan te houden risicoreservering en totaal budget levensduurkosten</b>				<b>€ -</b>	<b>€ -</b>	<b>€ -</b>	<b>€ -</b>	

Project: Pipingproef Hedwigepolder - Projectnr: 1218-0089-000 - Opdr.gever: Waterschap Hollandse Delta (WSHD)		Prijspeil raming: 01-12-19		
Versie raming: 1 - Status: Definitief - Opgesteld door: Fugro & Deltares		Datum raming: 18-12-19		
Deelraming Pipingproef fase 0 en 1			Versie 3.05a (18 juni 2014)	
Deelraming aan			Totaal	
Code	Omschrijving post	Hoeveelheid	Eenheid	Prijs
<b>Investeringskosten:</b>		<b>Hoeveelheid</b>	<b>Eenheid</b>	<b>Prijs</b>
1	Deelfase 1: DKMP, HPT, HPT-MPT, handboringen en korrelverdelingen			€ -
	Werkvoorbereiding, coordinatie en veldbezoek	1,00	euro	€ 6.541,00
	KLIC melding 500x500 m	1,00	euro	€ 170,00
	NGE oppervlaktedetectie 2 dagen, verkort PvA en vrijgave rapportage	1,00	euro	€ 3.500,00
	Draglineschotten op voorland t.b.v. bereikbaarheid onderzoekslocaties, huur, ver	1,00	euro	€ 23.850,00
	Maaierwerkzaamheden op voorland t.b.v. onderzoekslocaties	1,00	euro	€ 2.550,00
	Aan- en afvoer HPT sondeerunit (track-truck)	1,00	euro	€ 3.500,00
	(de)mobilisatie uitzetten en waterpassen	1,00	euro	€ 240,00
	Uitzetten en waterpassen sondeerlocaties fase 1	1,00	euro	€ 558,00
	23 x waterspanningssondering tot MV -30m (DKMP) t.p.v. VL, BUTE, BITE, AL	1,00	euro	€ 10.350,00
	10x DKMP-HPT-sondering tot MV -40m t.p.v. KRUIJN	1,00	euro	€ 6.500,00
	4x DKMP-HPT-sondering tot MV -30m t.p.v. BITE	1,00	euro	€ 2.240,00
	4x HPT-2MPT sonderingen t.p.v. BUTE	1,00	euro	€ 9.000,00
	Afdichten sondeergaten tot MV -10m met bentoniet d.m.v. naprikken	1,00	euro	€ 8.610,00
	8x Handboringen inclusief 4 peilbuizen (6 maanden meten)	1,00	euro	€ 17.362,00
	8x ongeroerde monstername	1,00	euro	€ 240,00
	12x Korrelverdelingen incl. fijne fractie	1,00	euro	€ 2.400,00
	4x classificatie en fotoboring (kleur) ongeroerde monsters, incl. falling head test t	1,00	euro	€ 1.920,00
	4x classificatie en fotoboring (kleur) ongeroerde monsters	1,00	euro	€ 120,00
	4 Deltares Large Diameter Samples incl. Kh en Kv bepaling in lab	1,00	euro	€ 10.000,00
	Begeleiding veldonderzoeken incl. specificatie en controle HPT(-MPT)	1,00	euro	€ 7.750,00
	Uitwerking HPT(-MPT) sonderingen incl. opstellen factual report	1,00	euro	€ 5.520,00
	Review en kwaliteitsborging uitwerking en rapportages	1,00	euro	€ 5.482,00
				€ -
2	Deelfase 2: HPT-AMPT sonderingen en ERT-metingen			€ -
	Aan- en afvoer sondeerunits (AMPT mini-rups met extra toren)	1,00	euro	€ 2.000,00
	KLIC melding 500x500 m	1,00	euro	€ 85,00
	(de)mobilisatie uitzetten en waterpassen	1,00	euro	€ 120,00
	Uitzetten en waterpassen sondeerlocaties fase 1	1,00	euro	€ 144,00
	8x HPT-2AMPT sondering tot MV -30m t.p.v. BUTE, BITE	1,00	euro	€ 24.000,00
	Begeleiding veldonderzoeken incl. specificatie en controle HPT-AMPT	1,00	euro	€ 1.980,00
	Uitwerking HPT-AMPT sonderingen incl. opstellen factual report	1,00	euro	€ 11.040,00
	Review en kwaliteitsborging uitwerking en rapportages	1,00	euro	€ 3.941,00
	ERT metingen t.p.v. BUTE, KRUIJN, BITE incl. x dwarsraaien tot 30m vanuit dijkte	1,00	euro	€ 21.352,00
				€ -
<b>00-BDBK</b>	<b>Benoemde directe bouwkosten</b>			€ <b>193.065</b>
00-NTDBK	Nader te detailleren bouwkosten (%)	0,00%	%	€ 193.065
<b>00-DBK</b>	<b>Directe bouwkosten</b>			€ <b>193.065</b>
00-IBKEK99	Enmalige kosten (%)	0,00%	%	€ 193.065
00-IBKABK	Algemene bouwplaatskosten (%)	0,00%	%	€ 193.065
00-IBKUJ	Uitvoeringskosten (%)	0,00%	%	€ 193.065
00-IBKAK1	Algemene kosten (%)	0,00%	%	€ 193.065
00-IBKW1	Winst (%)	0,00%	%	€ 193.065
00-IBKR1	Risico (%)	15,00%	%	€ 193.065
<b>00-IBK</b>	<b>Indirecte bouwkosten</b>	15,00%	t.o.v. directe bouwkosten	€ <b>28.960</b>
<b>00-VBK</b>	<b>Voorziene bouwkosten</b>			€ <b>222.025</b>
<b>00-BK</b>	<b>Bouwkosten Deelraming Pipingproef fase 0 en 1</b>			€ <b>222.025</b>
<b>00-BDVK</b>	<b>Benoemde directe vastgoedkosten</b>			€ -
<b>00-DVK</b>	<b>Directe vastgoedkosten</b>			€ -
<b>00-IVK</b>	<b>Indirecte vastgoedkosten</b>		t.o.v. directe vastgoedkosten	€ -
<b>00-VVK</b>	<b>Voorziene vastgoedkosten</b>			€ -
<b>00-RVK</b>	<b>Risico's vastgoedkosten</b>		t.o.v. voorziene vastgoedkosten	€ -

<b>00-VK</b>	<b>Vastgoedkosten Deelraming Pipingproef fase 0 en 1</b>				€	-
<b>00-BDEK</b>	<b>Benoemde directe engineeringkosten</b>				€	-
00-NTDEK	Nader te detailleren engineeringkosten (%)	0,00%	%	€	-	-
<b>00-DEK</b>	<b>Directe engineeringkosten</b>				€	-
	Opstellen plan van aanpak (fase 0)	1,00	euro	€	60.000	€ 60.000
	Kick-off en productspecificatie fase 1	1,00	euro	€	6.682	€ 6.682
	Expert werkplaats	1,00	euro	€	30.960	€ 30.960
	Afleiden criteria voor beoordeling geschiktheid proeflocatie	1,00	euro	€	8.223	€ 8.223
	Opstellen onderzoeks- en uitvoeringsplan veldwerk incl. vergunningen / OM	1,00	euro	€	5.501	€ 5.501
	Pipinganalyses in DGeo Flow (excl. veiligheidsfactoren) t.b.v. bepaling belasting vs.	1,00	euro	€	13.625	€ 13.625
	Bepalen geschiktheid proeflocatie voor full-scale pipingproef aan de hand van piping	1,00	euro	€	17.304	€ 17.304
	GO/STOP moment: geschiktheid proeflocatie & herijking PvA en kostenraming volg	1,00	euro	€	10.964	€ 10.964
	Projectmanagement en -overleg	1,00	euro	€	31.325	€ 31.325
	Expertteam	1,00	euro	€	15.000	€ 15.000
	Afstemming projectpartners	1,00	euro	€	16.445	€ 16.445
	Inzet kennisstrategie	1,00	euro	€	5.482	€ 5.482
00-IEKEK	Eenmalige kosten (%)	0,00%	%	€	-	€ -
00-IEKAK	Algemene kosten (%)	0,00%	%	€	221.511	€ -
00-IEKW	Winst (%)	0,00%	%	€	221.511	€ -
00-IEKR	Risico (%)	15,00%	%	€	221.511	€ 33.227
<b>00-IEK</b>	<b>Indirecte engineeringkosten</b>					€ 254.738
						<i>t.o.v. directe engineeringkosten</i>
<b>00-VEK</b>	<b>Voorziene engineeringkosten</b>					€ 254.738
<b>00-EK</b>	<b>Engineeringkosten Deelraming Pipingproef fase 0 en 1</b>					€ 254.738
	Leges & heffingen voortvloeiend uit vergunningaanvragen opdrachtnemer (%)	0,00%	%	€	222.025	€ -
	Verzekeringspremies (CAR, ontwerp, aansprakelijkheid, e.d) opdrachtnemer (%)	0,00%	%	€	222.025	€ -
<b>00-BDOBK</b>	<b>Benoemde directe overige bijkomende kosten</b>					€ -
<b>00-VOBK</b>	<b>Voorziene overige bijkomende kosten</b>					€ -
<b>00-OBK</b>	<b>Overige bijkomende kosten Deelraming Pipingproef fase 0 en 1</b>					€ -
<b>00-INV</b>	<b>Investeringskosten Deelraming Pipingproef fase 0 en 1</b>				€	476.762
	Investeringskosten Deelraming Pipingproef fase 0 en 1 (contante waarde)				€	476.762

Project: Pipingproef Hedwigepolder - Projectnr: 1218-0089-000 - Opdr.gever: Waterschap Hollandse Delta (WSHD)		Prijspeil raming: 01-12-19		
Versie raming: 1 - Status: Definitief - Opgesteld door: Fugro & Deltares		Datum raming: 18-12-19		
<b>Deelraming Pipingproef fase 2 tm 4</b>				
Deelraming aan			Totaal	
Code	Omschrijving post	Hoeveelheid	Eenheid	Prijs
<b>Investeringskosten:</b>				
		<b>Hoeveelheid</b>	<b>Eenheid</b>	<b>Prijs</b>
1	Fase 2: Proefontwerp			€ -
	Proefontwerp (VO en DO), incl. predicties	1,00	euro	€ 75.000,00
	Geotechnisch en hydrologisch veldonderzoek	1,00	euro	€ 60.000,00
	Project- & contractmanagement/-begeleiding, aannemer(s)selectie	1,00	euro	€ 90.000,00
2	Fase 3: Proefuitvoering			€ -
	Opstellen UO en draaiboek	1,00	euro	€ 30.000,00
	Vastleggen as-built	1,00	euro	€ 15.000,00
	Uitvoeringskosten schermconstructie	1,00	euro	€ 350.000,00
	Monitoring waterdrukken (WSM's)	1,00	euro	€ 250.000,00
	Monitoring temperatuur	1,00	euro	€ 175.000,00
	Monitoring o.b.v. ERT	1,00	euro	€ 50.000,00
	IR cameras	1,00	euro	€ 20.000,00
	Dataverwerking en presentatie (online + actuele analyses)	1,00	euro	€ 30.000,00
	Terreinrichting, grondwerk, infiltratiebuizen	1,00	euro	€ 150.000,00
	Uitvoeringsbegeleiding, analyse en uitwerking	1,00	euro	€ 100.000,00
	Project- en contractmanagement/-begeleiding	1,00	euro	€ 117.000,00
3	Fase 4: Toepassing binnen projecten			€ -
	Inzichten toepasbaar maken binnen projecten in NL (Handreiking) en verankering	1,00	euro	€ 120.000,00
	Impactanalyse 3 cases	1,00	euro	€ 25.000,00
	Kleine schaalproeven NL	1,00	euro	€ 215.000,00
	Kennisdeling met buitenland	1,00	euro	€ 32.000,00
	Project- en contractmanagement/-begeleiding	1,00	euro	€ 67.000,00
	Materiaal verzamelen + methode ontwikkelen	1,00	euro	€ 33.820,00
<b>00-BDBK</b>	<b>Benoemde directe bouwkosten</b>			€ <b>2.004.820</b>
00-NTDBK	Nader te detailleren bouwkosten (%)	0,00%	%	€ 2.004.820
<b>00-DBK</b>	<b>Directe bouwkosten</b>			€ <b>2.004.820</b>
00-IBKEK99	Enmalige kosten (%)	0,00%	%	€ 2.004.820
00-IBKABK	Algemene bouwplaatskosten (%)	0,00%	%	€ 2.004.820
00-IBKUK	Uitvoeringskosten (%)	0,00%	%	€ 2.004.820
00-IBKAK1	Algemene kosten (%)	0,00%	%	€ 2.004.820
00-IBKW1	Winst (%)	0,00%	%	€ 2.004.820
00-IBKR1	Risico (%)	15,00%	%	€ 2.004.820
<b>00-IBK</b>	<b>Indirecte bouwkosten</b>	15,00%	t.o.v. directe bouwkosten	€ <b>300.723</b>
<b>00-VBK</b>	<b>Voorziede bouwkosten</b>			€ <b>2.305.543</b>
<b>00-BK</b>	<b>Bouwkosten Deelraming Pipingproef fase 2 tm 4</b>			€ <b>2.305.543</b>
<b>00-BDVK</b>	<b>Benoemde directe vastgoedkosten</b>			€ -
<b>00-DVK</b>	<b>Directe vastgoedkosten</b>			€ -
<b>00-IVK</b>	<b>Indirecte vastgoedkosten</b>		t.o.v. directe vastgoedkosten	€ -
<b>00-VVK</b>	<b>Voorziede vastgoedkosten</b>			€ -
<b>00-RVK</b>	<b>Risico's vastgoedkosten</b>		t.o.v. voorziede vastgoedkosten	€ -
<b>00-VK</b>	<b>Vastgoedkosten Deelraming Pipingproef fase 2 tm 4</b>			€ -
<b>00-BDEK</b>	<b>Benoemde directe engineeringkosten</b>			€ -
<b>00-VEK</b>	<b>Voorziede engineeringkosten</b>			€ -
<b>00-EK</b>	<b>Engineeringkosten Deelraming Pipingproef fase 2 tm 4</b>			€ -
	Leges & heffingen voortvloeiend uit vergunningaanvragen opdrachtnemer (%)	0,00%	%	€ 2.305.543

	Verzekeringspremies (CAR, ontwerp, aanspakeelijkheid, e.d) opdrachtnemer (%)	0,00%	%	€	2.305.543	€	-
00-BDOBK	Benoemde directe overige bijkomende kosten					€	-
00-VOBK	Voorziene overige bijkomende kosten					€	-
00-OBK	Overige bijkomende kosten Deelraming Pipingproef fase 2 tm 4					€	-
00-INV	Investeringskosten Deelraming Pipingproef fase 2 tm 4					€	2.305.543
	Investeringskosten Deelraming Pipingproef fase 2 tm 4 (contante waarde)					€	2.305.543