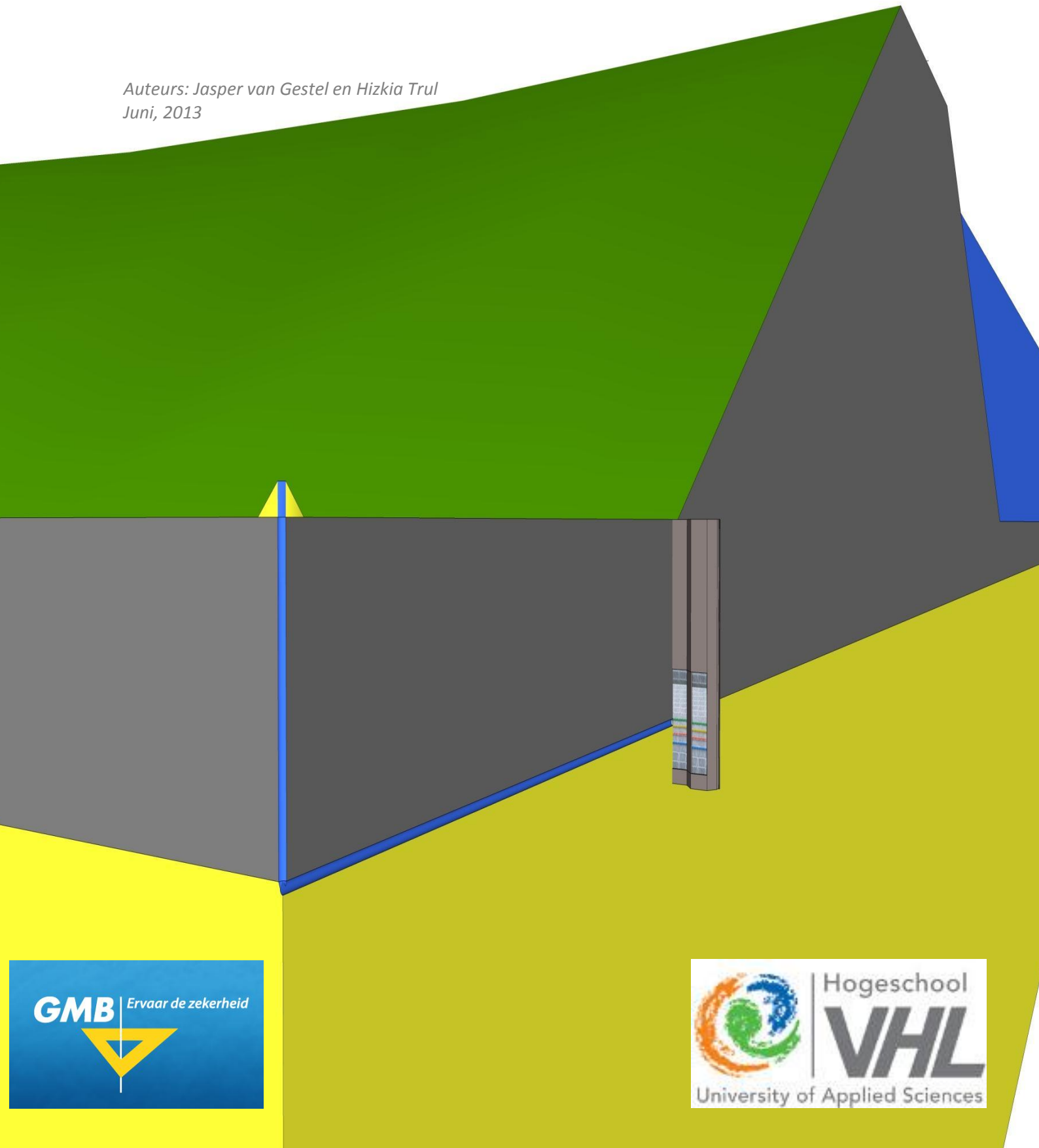


De Werkmethode Tegen Piping

De werkmethode om dijken te laten voldoen aan de toekomstige norm op piping.

*Auteurs: Jasper van Gestel en Hizkia Trul
Juni, 2013*



Colofon

Auteurs:

Jasper van Gestel
HizkiaTrul

Opleiding:

Land- en Watermanagement, Hogeschool Van Hall Larenstein

Vak:

Afstuderen

In opdracht van:

GMB
Dalwagenseweg 51
4043 MT Opheusden

Hogeschool van Hall - Larenstein
Larensteinselaan 26a
6882 CT Velp

Begeleid door:

Jan van Dijk
Peter Groenhuijzen

Aannemingsbedrijf GMB
Hogeschool van Hall Larenstein

Definitief rapport:

6 juni 2013

Contact

jasper.vangestel@wur.nl
hizkia.trul@wur.nl

jaspervangestel013@hotmail.com
hizkiatrul1@gmail.com

Voorwoord

Voor u ligt het resultaat van het door ons uitgevoerde afstudeeronderzoek. Deze scriptie is geschreven voor de opdrachtgever GMB en in het kader van het afstuderen voor Hogeschool van Hall Larenstein, opleiding Land- en Watermanagement. Daarnaast is deze scriptie opgesteld voor iedereen die een bijdrage heeft geleverd aan de totstandkoming van dit onderzoek.

Alvorens de resultaten aan u te presenteren willen wij degene die een bijdrage hebben geleverd aan dit onderzoek graag bedanken.

- Jan van Dijk	Begeleider GMB
- Peter Groenhuzijen	Begeleider Hogeschool van Hall Larenstein
- Harry van Rosmalen	Docent Hogeschool van Hall Larenstein
- Chris van Vooren	Docent Hogeschool van Hall Larenstein
- Peter Damen	Waterschap Rivierenland
- Stefan van den Berg	Waterschap Rivierenland
- Wim Cornelisse	Waterschap Rivierenland
- Marien Harkes	Deltares
- Ulrich Förster	Deltares
- Gerrit Dortland	TenCateGeotextiel
- Harry Bos	Volker Wessels Telecom
- Berrie Klein	Muluan Kunststoffen
- Rienk van Toor	Sheet Pile Europe
- Roeland Nagel	Van Halteren Infra
- Henk van Dasselaar	Lareco

Gedurende deze afstudeeropdracht heb ik ervaren wat het is om met een onderwerp bezig te zijn dat zeer actueel is. De problemen rondom piping zijn nu actueel en veel bedrijven en waterschappen zijn er mee bezig. Het mooie aan dit onderzoek is dat ik gaandeweg zelf veel kennis van piping en mogelijke oplossingen heb opgedaan. Met deze kennis kan je zelf ideeën aandragen bij bedrijven. De afstudeeropdracht heb ik als zeer leerzaam en leuk ervaren en ik hoop dat dit rapport een begin is voor volgende onderzoeken.

Tijdens het afstudeeronderzoek heb ik ervaren dat het fijn is om eerst voldoende aandacht te besteden aan een goede planning. Dit geeft duidelijkheid en structuur aan het te volgen proces. Het onderzoek sprak mij zeer aan, omdat piping actueel is en de zoektocht binnen het onderzoek gericht is op een concrete werkmethode. Hopelijk zie ik de resultaten van het onderzoek een keer in de praktijk terug. Bij deze wil ik een ieder in mijn persoonlijke omgevingen danken voor de steun en het meedenken richting een goede werkmethode.

Samenvatting

Nederland heeft al eeuwen dijken die nodig zijn om ons te beschermen tegen het water. De eisen die gesteld worden aan de dijken worden steeds strenger door vernieuwend onderzoek. Toch ging het in 1993 en 1995 met hoog water bijna mis. Na onderzoek bleek dat de dijken bijna doorbraken door piping. Bij piping stroomt water onder de dijk door en worden zandkorrels meegenomen. Hierdoor wordt de dijk instabiel en kan deze uiteindelijk bezwijken. Behalve het hoog water in 1993 en 1995 waren de dijkdoorbraken bij New Orleans in 2005 het gevolg van piping, uiteraard in combinatie met de orkaan Katrina. Deze twee incidenten waren voor Deltares en Rijkswaterstaat aanleiding om de huidige normen voor piping te onderzoeken. Uit dit onderzoek bleek dat de huidige normen in veel gevallen te soepel zijn. Op dit moment is men bezig om de norm aan te passen.

Wanneer de nieuwe norm verankerd wordt in de wet worden veel dijken in het rivierengebied afgekeurd op piping. Dit blijkt uit een eerste inventarisatie van Arcadis. Volgens Arcadis worden 60% van de dijken in het rivierengebied afgekeurd. Door de grote impact van deze nieuwe norm wordt dit een maatschappelijk probleem en moet er worden gezocht naar een oplossing.

Het doel van dit onderzoek is om een maatschappelijk verantwoorde oplossing te vinden tegen piping. Dit houdt in dat de oplossing een techniek is waarbij kosten, ruimtelijke consequenties, maakbaarheid en controleerbaarheid in balans zijn. Daarnaast dient deze techniek in één werkmethode te kunnen worden toegepast, zodat deze op grote schaal toepasbaar is.

Het onderzoek is in te delen in een aantal stappen. Ten eerste is onderzocht wat piping is en wat er gaat veranderen met de nieuwe norm. Dit is vooral gedaan door vakliteratuur te onderzoeken. Met deze kennis is op zoek gegaan naar technieken die werken tegen piping. Deze technieken zijn onderzocht door literatuurstudie en gesprekken met deskundigen. De beste techniek is gekozen met behulp van een Trade-off Matrix. Voor toepassing van de beste techniek zijn een viertal werkmethoden opgesteld en deze zijn voorgelegd aan deskundigen. De verschillende werkmethoden zijn met elkaar vergeleken in een Trade-off Matrix. De beste twee methoden zijn vervolgens getest op haalbaarheid in een pilotgebied nabij Gendt.

Het blijkt dat de huidige technieken die toegepast worden tegen piping door de nieuwe norm niet meer haalbaar zijn. Ze zijn te duur of nemen te veel ruimte in beslag. Uit analyse van alle technieken tegen piping blijkt dat het innovatieve verticaal zanddicht geotextiel een maatschappelijk verantwoorde oplossing is. Zo is de techniek niet duur, zijn er na realisatie geen ruimtelijke consequenties en is de techniek controleerbaar door in het geotextiel verwerkte glasvezeldraden. Deze techniek is echter nog nooit in een bestaande dijk aangebracht.

Er zijn vier verschillende werkmethoden opgesteld om het verticaal zanddicht geotextiel aan te brengen. Na analyse van deze werkmethode bleven er twee over. Dit zijn het aanbrennen van het geotextiel met een freesmachine in een sleuf en het verwerken van het geotextiel in een kunststof damwand, de tweede methode wordt pipingscherm genoemd. De werkmethode met de freesmachine wordt gebruikt als er voldoende ruimte langs de dijk is. Monitoring blijft mogelijk. Het pipingscherm wordt toegepast bij obstakels, zoals huizen en wegen, langs de dijk. Monitoring is met een pipingscherm niet meer mogelijk. De vuistregel is, wanneer er langs een te verbeteren dijktraject van minimaal 50 meter voldoende open ruimte is dan dient het geotextiel ingebracht te worden middels een freesmachine, in alle andere gevallen dient het pipingscherm toegepast te worden. Door deze twee methoden te combineren kan op een maatschappelijk verantwoorde wijze de problematiek omtrent piping worden aangepakt.

Inhoud

Samenvatting

1	Inleiding	7
2	Waterkeringen en piping.....	10
2.1	Waterkeringen.....	10
2.2	Faalmechanismen.....	10
2.3	Piping.....	11
2.4	Wetgeving.....	12
2.5	Nieuwe norm.....	13
3	Oplossingsrichtingen en technieken	14
3.1	Het horizontaal en/of verticaal verlengen van de kwelweg	14
3.2	Het voorkomen van het opbarsten van de kleilaag binnen de kritieke kwelweglengte	15
3.3	Het verkleinen van het verval doormiddel van waterstandsverandering.....	15
3.4	Waterdrukreductie en het voorkomen van zanduitspoeling.....	16
3.5	TOM (Trade-off Matrix).....	19
3.6	De meest geschikte techniek.....	20
4	Werkmethoden voor toepassing Verticaal Zanddicht Geotextiel.....	21
4.1	Aanbrengen verticaal zanddicht geotextiel.....	21
4.2	Freesmachine	22
4.3	Verticaal inbrengen middels drukmes.....	23
4.4	Horizontaal inbrengen.....	24
4.5	Pipingscherm	25
4.6	Risicoanalyse	27
4.7	Analyse Werkmethoden.....	28
4.8	De meest geschikte werkmethode.....	30
5	Haalbaarheid	31
5.1	Pilotgebied.....	31
5.2	Ondergrond en profiel.....	32
5.3	Toepassing geotextiel met freesmachine.....	32
5.4	Toepassing pipingscherm	33
5.5	Totale toepassing	33
6	Conclusie, aanbevelingen en reflectie.....	34
	Bijlage 1: Wetgeving.....	37
	Bijlage 2: Herziening Technisch Rapport Zandmeevoerende Wellen	38
	Bijlage 3: Pipingberm.....	39

Bijlage 4: Kwelscherm (kunststof, cement-bentoniet, mixed in place, staal en kort staal)	41
Bijlage 5: Waterontspanner	45
Bijlage 6: Binnendijkse waterstandsverhoging of buitendijkse waterstandsverlaging	47
Bijlage 7: DMC-systeem.....	48
Bijlage 8: BioGrout koffer	50
Bijlage 9: Verticaal zanddicht geotextiel	52
Bijlage 10: Opkisten	55
Bijlage 11: TOM technieken	56
Bijlage 12: Freesmachine.....	57
Bijlage 13: Verticaal inbrengen middels drukmes	60
Bijlage 14: Horizontaal inbrengen	63
Bijlage 15: Pipingscherm	66
Bijlage 16: Pilotgebied boorpunten Gendt.....	69
Bijlage 17: Dikte kleilaag.....	70
Bronvermelding.....	71

1 Inleiding

Aanleiding

Om Nederland te beschermen tegen de dreiging van het water zijn dijken, ook wel waterkeringen genoemd, noodzakelijk. De waterkeringen zijn onder te verdelen in primaire en secundaire waterkeringen. De primaire keringen beschermen Nederland tegen de dreiging van buitenwater, zoals de grote rivieren (Bandijken) en de Noordzee (Wakerdijken). De secundaire waterkeringen bieden bescherming tegen overstroming vanuit buitenwater, binnenwater of bij doorbraak van andere waterkeringen. De laatste jaren zijn alle dijken op voldoende hoogte gebracht, zodat het water niet meer over de dijk kan stromen. Met de dijken op voldoende hoogte werd het nieuw risico piping geïntroduceerd.

In Nederland ging het bijna mis in 1993 en 1995 met hoog water in de grote rivieren. Sommige locaties overstromden door kwelwater en de dijken dreigden op bepaalde plaatsen door te breken. In 2005 stond New Orleans in Amerika blank als direct gevolg van de orkaan Katrina. De wateroverlast in de bovenstaande situaties waren mede het gevolg van piping. Bij piping stroomt water onder de dijk door en wordt het sediment meegevoerd, waardoor de dijk instabiel wordt en zelfs kan doorbreken.

Naar aanleiding van 1993, 1995 en New Orleans hebben kennisinstituut Deltares en Rijkswaterstaat samen onderzoek uitgevoerd naar piping. Hieruit blijkt dat de huidige normen omtrent piping waaraan de primaire waterkeringen moeten voldoen in veel gevallen te soepel zijn. Ook dient er rekening gehouden te worden met klimaatsverandering. Grote piekafvoeren en extreme buien zullen steeds vaker voorkomen als gevolg hiervan.

Probleemstelling

Arcadis heeft onderzoek gedaan naar de gevolgen van de nieuwe normen van piping voor de dijken in het rivierengebied, omdat piping hier het meest voorkomt. De totale lengte van de onderzochte primaire keringen is 942,1 km. Bij hantering van de aangepaste rekenregel en het meenemen van het lengte-effect voldoet 539,7 km van de dijk niet meer aan de (waarschijnlijk) toekomstige normen (Arcadis, 2012). Voor het rivierengebied betekent dit dus dat $539,7/942,1 * 100 = 57,3\%$ van alle primaire waterkeringen niet voldoen aan de toekomstige normen op piping.

Het onderzoek van Arcadis roept een nieuw probleem op. Als de dijken in de toekomst niet meer voldoen is er een maatschappelijk probleem en moet er worden gezocht naar een maatschappelijke verantwoorde oplossing, omdat de nieuwe norm een grotere kwelweglengte (afstand tussen in- en uittrede punt van het pipingproces) voorziet. De huidige oplossingen tegen piping zullen duurder worden en meer ruimte in beslag nemen.

Doel

Het doel van dit onderzoek is om een geschikte maatschappelijk verantwoorde oplossing te vinden voor de primaire waterkeringen die niet meer voldoen aan de toekomstige normen van piping. De oplossing dient te worden gevonden in een werkmethode om een beste techniek toe te passen, rekening houdend met de kosten, ruimtelijke consequenties, haalbaarheid en controleerbaarheid. Daarnaast is het belangrijk dat het een duurzame oplossing is en dat deze sowieso 50 jaar meegaat. Dit leidt tot de volgende hoofdvraag:

Wat is de meest geschikte techniek om dijken die niet voldoen aan de nieuwe norm van piping aan te passen en in hoeverre kan deze techniek middels één werkmethode op grotere schaal worden toegepast, waarbij sprake is van een optimale balans tussen kosten, ruimtelijke consequenties, maakbaarheid en controleerbaarheid?

Om de hoofdvraag te beantwoorden zijn de volgende deelvragen opgesteld:

- Wat is piping en waarom is het fenomeen de laatste tijd actueel?
- Welke verschillende technieken kunnen er toegepast worden om piping tegen te gaan?
- Aan welke criteria dienen de technieken getoetst te worden?
- Wat is de beste techniek om piping tegen te gaan?
- Middels welke werkmethode kan de beste techniek worden aangebracht in dijken?
- Hoe is de haalbaarheid van de werkmethode in een pilotgebied?

Werkwijze

Dit onderzoek bestaat vooral uit een literatuurstudie en dialogen met deskundigen uit het werkveld. In tabel 1 is de werkwijze per stap en deelstap zichtbaar. Door middel van twee Trade-off Matrixen is aan de hand van een aantal criteria de beste techniek en de beste werkmethode gekozen. Bij het kiezen van de beste werkmethode speelt de risicoanalyse een grote rol. In de risicoanalyse wordt naast de risico's van een werkmethode, ook de beheersmaatregel aangegeven. De gesprekken met deskundigen zijn noodzakelijk, omdat er in de literatuur weinig informatie te vinden is over innovatieve technieken tegen piping en de daarbij behorende werkmethoden. De gesprekken en het terugkoppelen van de informatie is een belangrijke informatiebron.

Stappen	Deelstappen	Werkwijze
Inventarisatie	Probleem inzichtelijk krijgen	- Doornemen vakliteratuur - Gesprek Deltares
	Gevolgen van het probleem inzichtelijk krijgen	- Doornemen vakliteratuur - Gesprek Waterschap Rivierenland
	Verschillende technieken inventariseren	- Doornemen vakliteratuur
Analyse	Analyseren werking van de technieken	- Doornemen vakliteratuur - Gesprek Deltares - Gesprek TenCate - Gesprek VolkerWessels Telecom
	Opstellen criteria voor technieken	- Gesprek GMB
	Kiezen van de beste techniek	- Opstellen Trade-off Matrix
Ontwerp	Opstellen werkmethode	- Analyseren van gegevens - Gesprek Deltares - Gesprek Ten Cate - Gesprek Sheet Pile Europe - Gesprek Maluan kunststoffen - Gesprek GMB - Gesprek Lareco
	Opstellen risicoanalyse	- Analyseren gegevens - Gesprek GMB
	Kiezen van de werkmethode	- Opstellen Trade-off Matrix

Haalbaarheid	Kiezen van een pilotgebied	- Gesprek Waterschap Rivierenland
	Gegevens verzamelen pilotgebied	- Literatuurstudie - Veldwerk
	Toepassen werkmethode	- Analyseren gegevens

Tabel 1 Werkwijze onderzoek

Leeswijzer

Dit rapport is opgebouwd uit een zestal hoofdstukken.

Het tweede hoofdstuk geeft een introductie van piping en de andere faalmechanismen van een dijk. Verder staat beschreven wat er aan de norm verandert en wat dit betekent voor de huidige wetgeving.

In hoofdstuk drie staan alle oplossingsrichtingen en technieken tegen piping beschreven. Uit analyse van de technieken is één beste techniek gekomen.

Voor toepassing van de beste techniek zijn vervolgens werkmethode opgesteld. Deze staan beschreven in hoofdstuk vier. Er zijn vier verschillende werkmethode met elkaar vergeleken en de beste methoden zijn verder uitgewerkt. Bij het vergelijken van de werkmethode ligt de nadruk op risicobeheersing.

De toepasbaarheid van de beste werkmethode is beschreven in hoofdstuk vijf. Deze is beschreven aan de hand van de kosten, ruimtelijke consequenties, maakbaarheid en controleerbaarheid.

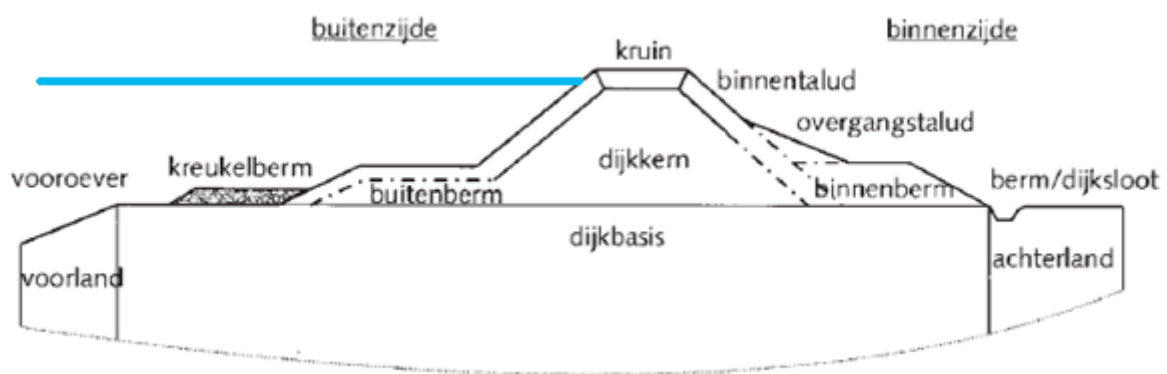
In het laatste hoofdstuk staat de conclusie. Hierin worden de hoofd- en deelvragen beantwoord, de aanbevelingen gegeven en gereflecteerd op het onderzoek.

2 Waterkeringen en piping

In dit hoofdstuk wordt de algemene situatie omtrent waterkeringen, faalmechanismen, wetgeving en piping beschreven. Ten eerste staat beschreven hoe waterkeringen zijn opgebouwd en bij welke waterkeringen piping op kan treden. Behalve piping zijn er meer risicofactoren voor waterkeringen. Dit worden de faalmechanismen genoemd. Na een korte opsomming van de verschillende faalmechanismen wordt het faalmechanisme piping verder toegelicht. Ten slotte wordt er ingegaan op de verandering van de norm van piping en hoe deze nieuwe norm verankerd wordt in de wetgeving.

2.1 Waterkeringen

In verschillende delen van Nederland zijn dijken noodzakelijk voor bescherming tegen het water. Elke regio heeft zijn eigen bodemopbouw. Zo zijn grofweg dijken in het westen van het land gefundeerd op veen, in het oosten en zuidoosten (langs de grote rivieren) op zand en in het noorden en zuidwesten op klei. De opbouw van de dijken is min of meer uniform, zie figuur 1. Per locatie verschilt het materiaal wat wordt gebruikt voor de dijk kern, dit kan zand, veen of klei zijn. De meeste dijken zijn bekleed met stenen en/of klei, dit is afhankelijk van welke invloeden de dijk moet aankunnen. Alleen bij dijken die gefundeerd zijn op zand, waar op het voor- en achterland een ondoorlatende laag aanwezig is en de dijk bekleedt is met een ondoorlatende laag, speelt het risico van het faalmechanisme piping een rol.



Figuur 1 Opbouw dijken (Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, 2001)

2.2 Faalmechanismen

Door verschillende invloeden van het water kan een dijk bezwijken, deze verschillende invloeden worden faalmechanismen genoemd. Een van deze faalmechanismen is piping. De primaire waterkeringen worden getoetst door de waterschappen. Tijdens de toetsing van de primaire keringen wordt er onderzocht of de desbetreffende dijk voldoet aan de wettelijk gestelde eisen. De criteria waarop dijken worden getoetst zijn onder te verdelen in een zestal faalmechanismen. Dit zijn overloop, overslag, macro-instabiliteit, micro-instabiliteit, erosie en piping, zie figuur 2. Deze verschillende faalmechanismen worden hieronder kort toegelicht.

Bij overloop is de waterstand hoger dan de waterkering. Het water loopt dan over de waterkering heen. Bij overslag is de waterkering wel hoger dan de waterstand, maar via golfslag stroomt het water over de waterkering. Deze golfslag wordt gevormd door wind.

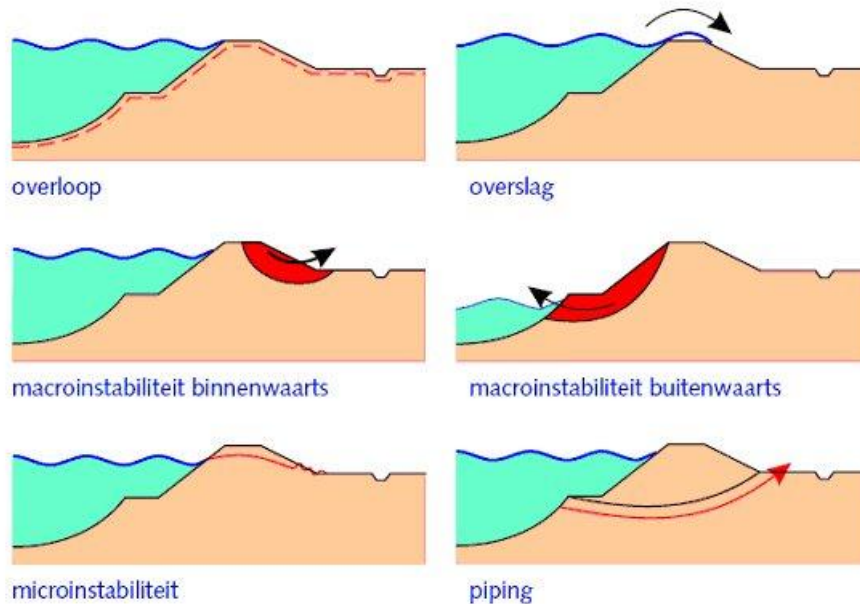
De macro-instabiliteit hangt af van de wrijvings eigenschappen van de grond en ondergrond, het waterniveau in de dijk, de taludhelling en eventuele bijzondere belastingen op de dijk. De macro-instabiliteit wordt bepaald door de druk van buitenaf, wanneer bijvoorbeeld de druk van het water te groot wordt kan de dijk afschuiven.

De micro-instabiliteit betreft de stabiliteit van de grondlaag aan het oppervlak van het binnentalud onder invloed van door de grond stromend water. Het gevaar voor de micro-instabiliteit komt van

binnenuit de dijk. De grondwaterdruk kan er voor zorgen dat de bekleding van de dijk wordt gedrukt, waardoor water uit de dijk treedt en de dijk erodeert.

Erosie kan optreden door het overlopen van de dijk en door de invloed van golven en stroming. Bij het overlopen kan het binnentalud eroderen. Het buitentalud kan eroderen door bijvoorbeeld golven op het talud en stroming er langs (Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, 2001).

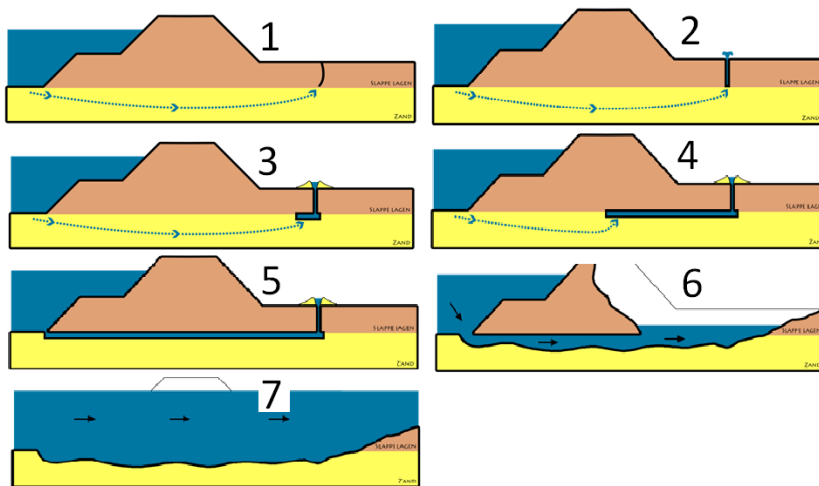
Piping is het faalmechanisme dat optreedt wanneer er water onder de dijk doorstroomt en er zand wordt meegevoerd. Er ontstaat zo een holle ruimte onder de dijk, waardoor de dijk minder stabiel wordt en zelfs kan doorbreken (www.joostdevree.nl).



Figuur 2 Faalmechanismen (www.waterschaprivierenland.nl)

2.3 Piping

Dit onderzoek richt zich op het faalmechanismen piping, daarom volgt hieronder een uitgebreidere beschrijving van piping. Dijken die gefundeerd zijn op zand zijn gevoelig voor piping. Wanneer er een waterdrukverschil is tussen de buitendijkse en binnendijkse zijde van een dijk kan er water onder de dijk door gaan stromen. Afhankelijk van het drukverschil, de lengte van de kwelweg (de afstand die het water aflegt tussen in- en uittredepunt), de eigenschappen van het zandpakket en de deklaag kan er piping ontstaan. Wanneer er binnendijs door toedoen van de waterdruk een punt is ontstaan waar de deklaag is opgebarsten (uittredepunt), zal er geconcentreerd water naar het binnendijkse gebied stromen. Het uittredepunt waar het water omhoog komt wordt een wel genoemd. Wanneer de stroomsnelheid door het zandpakket groot genoeg is om zand mee te voeren, zal er vanaf de wel een pipe worden gevormd. De pipe ontstaat alleen op het grensvlak tussen de slecht doorlatende laag en het zandpakket. Afhankelijk van het drukhoogteverschil en de daarmee samenhangende stroomsnelheid wordt de pipe groter. Wanneer er een volledige pipe van het in- naar het uittredepunt is ontstaan zal de stroomsnelheid verder toenemen, wat resulteert in een nog grotere erosiesnelheid. Wanneer door het gewicht van de dijk de pipe instort is de dijk zijn stabiliteit kwijt (Förster, Ham, Calle, & Kruse, 2011). In combinatie met de druk van het water aan de buitendijkse zijde kan de dijk doorbreken. Zie figuur 3 voor een schematische weergave van het pipingproces. Er zijn een aantal rekenregels opgesteld om dijken te toetsen op piping. De eenvoudigste manier is met de formule van Bligh(1910), zie figuur 4 links. Een meer preciezere methode is de rekenregel van Lane(1935), zie figuur 4 rechts. Ten slotte kan gebruik gemaakt worden van de rekenregel van Sellmeijer(1989)(zie figuur 4 midden), deze is recent aangepast (zie figuur 5) maar nog niet geïmplementeerd in de wet.



Figuur 3 Het pipingproces (Förster, Ham, Calle, & Kruse, 2011)

$$\Delta H \leq \Delta H_c = \frac{L}{C_{creep}}$$

$$\Delta H_c = \alpha c \frac{Y_p}{Y_w} \tan(\theta) (0.68 - 0.10 \ln(c)) L$$

Waarin:

$$\alpha = \left(\frac{D}{L}\right)^{\left(\frac{0.28}{D^{2.8}-1}\right)}$$

$$c = \eta d_{70} \left(\frac{1}{\kappa L}\right)^{\frac{1}{3}}$$

Waarin:

$$\kappa = \frac{\nu}{g} k = 1.35 \cdot 10^{-7} k$$

$$\Delta H \leq \Delta H_c = \frac{\left(\frac{1}{3} L_h + L_v\right)}{C_{w,creep}}$$

Figuur 4 rekenregel Bligh (links), rekenregel Sellmeijer (midden), rekenregel Lane (rechts) (Förster, Ham, Calle, & Kruse, 2011)

2.4 Wetgeving

De primaire waterkeringen moeten getoetst worden door het waterschap op alle faalmechanismen, waaronder piping. Tijdens de toetsing kunnen dijken worden afgekeurd en moeten er maatregelen worden genomen. Vanaf het moment dat een dijk wordt afgekeurd op piping is een geschikte werkmethode noodzakelijk. Het is belangrijk om te weten hoe het faalmechanismen piping is verankerd in de huidige en toekomstige wetgeving.

Veel van de huidige wetgeving omtrent water valt onder de Waterwet(wetten.overheid.nl). Het ministerie stelt iedere zes jaar de veiligheidsnormen vast en doet dit in het 'Wettelijk Toetsinstrumentarium' (WTI). Het WTI bestaat uit de hydraulische randvoorwaarden en het voorschrift toetsen op veiligheid (VTV)(www.rws.nl). Het VTV kan opgedeeld worden in drie aspecten. Als eerste het algemene gedeelte. Hierin staat het proces van toetsing van de waterkeringen beschreven. Welke stappen moeten worden genomen en welke informatie is noodzakelijk voor de toetsing. In het technische gedeelte staan de technische normen, hieronder valt het voor piping belangrijke 'Technisch Rapport Zandmeevoerende Wellen'(TRZW). Op dit moment wordt dit rapport herzien. Het derde gedeelte van het VTV is de 'Leidraad rivieren'. Hierin staan voorstellen voor ontwerp, onderhoud en beheer van waterkeringen(Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2007). Dit is niet verplicht voor de waterbeheerder, maar wel een goede leidraad. In bijlage 1 staat de vigerende wetgeving schematisch uitgewerkt.

Men is nu bezig met het aanpassen van het TRZW en ziet het er naar uit dat de normen strenger worden. De eerste keer dat er geconcludeerd werd dat de normen op piping niet voldoende waren, bleek uit de 'Veiligheid Nederland in Kaart 2' (VNK2). In de VNK2 staat per dijkkring beschreven wat de risico's op een overstroming zijn en wat de oorzaken hiervan kunnen zijn. Hieruit bleek dat bij alle dijkringen piping een belangrijke bijdrage levert aan de overstromingskans. Hierop heeft

Rijkswaterstaat besloten om het onderzoeksprogramma 'strekke belasting waterkeringen' (SBW) te starten. Dit wordt uitgevoerd door Deltrares. Binnen het SBW is Deltares gestart met een onderzoeksproject naar piping (Förster, Ham, Calle, & Kruse, 2011). Daarnaast een belangrijke reden voor aanpassing van het TRZW de overstrooming in New Orleans en de bijna dijkdoorbraak in 1993 en 1995.

Gelijktijdig met het onderzoek van Deltrares heeft het Expertise Netwerk Veiligheid Nederland (ENW) een rapport uitgebracht met als titel 'Piping realiteit of rekenfout' (Vrijling, et al., 2010).

De input van het concept rapport TRZW bestaat uit de onderzoeken van Deltrares en ENW. Om het rapport definitief te maken moet ENW er goedkeuring aan geven en vervolgens dient de staatssecretaris er een uitspraak over te doen zodat het geïmplementeerd kan worden in de wetgeving. Wanneer het rapport definitief is geworden, moeten de uitkomsten uit dit rapport worden meegenomen bij de volgende toetsronde. In bijlage 2 is te zien hoe de herziening van het TRZW tot stand is gekomen.

2.5 Nieuwe norm

De belangrijkste veranderingen in het nieuwe TRZW (nog niet openbaar) is dat de rekenregel van Sellmeijer wordt aangepast, dit omdat de huidige formule van Sellmeijer en de formule van Bligh te optimistische waarde geven. De nieuwe formule van Sellemijer is zichtbaar in figuur 5.

Met de huidige formule van Sellmeijer wordt het kritieke verval berekend, die in evenwicht is met het feit dat de korrels in de pipe net niet bewegen. Wanneer het werkelijke verval kleiner is dan het kritieke verval, zal er een evenwichtssituatie ontstaan, waarbij de gevormde pipe niet langer zal worden dan een bepaalde lengte. Is het verval groter dan zal de pipe de gehele dijk ondermijnen, wat kan leiden tot een dijkdoorbraak. Benodigde parameters voor de formule zijn kwelweglengte, dikte van de zandlaag, dikte van de deklaag, doorlatendheid van de watervoerende zandlaag, korrelgrootte d_{70} , soortelijk gewicht van het zandkorrelmateriaal, de sleepkrachtcoëfficiënt en de rolweerstand. Het belangrijke uitgangspunt in de berekening van Sellmeijer is dat de zandlaag homogeen (gelijk verdeeld) is met een isotrope doorlatendheid (laag die overal een gelijke doorlatendheid heeft) (Vrijling, et al., 2010).

In de vernieuwde rekenregel wordt de d_{70} -waarde (korrelgrootteverdeling) opgesplitst in een karakteristieke ondergrens van de d_{70} -waarde en een gemiddelde d_{70} -waarde. Verder wordt er in de nieuwe formule een veiligheidsfactor en een schematiseringsfactor opgenomen. De veiligheidsfactor heeft betrekking op de faalkans van de waterkering. Deze faalkans wordt onder andere beïnvloed door het lengte-

effect (hoe langer een waterkering, hoe groter de kans dat de kering ergens bezwijkt). De schematiseringsfactor wordt opgenomen om meetonzekerheden af te vangen. Hoe preciezer de metingen hoe lager de schematiseringsfactor. Over het algemeen geeft de vernieuwde rekenregel van Sellmeijer minder positieve waarden dan de verouderde rekenregel en de formule van Bligh (Förster, Ham, Calle, & Kruse, 2011).

De verwachting is dat de nieuwe formule van Sellemijer verankerd gaat worden in de wetgeving. Dit kan al zijn bij de volgende toetsronde in 2017. Er worden dan veel meer dijken afgekeurd op piping. De behoefte naar een werkmethode waarmee de dijken weer voldoen aan de nieuwe formule van Sellemijer is groot.

$$\frac{\Delta H_c}{\gamma_n \cdot \gamma_b} > (\Delta H - 0,3d) \quad \Delta H_c \geq \gamma_n \cdot \gamma_b (\Delta H - 0,3d)$$

$$\Delta H_c = L \cdot F_{\text{resistance}} \cdot F_{\text{scale}} \cdot F_{\text{geometry}}$$

$$F_1 = F_{\text{resistance}} = \frac{\gamma_p}{\gamma_w} \{ \eta \tan(\theta) \}$$

$$F_2 = F_{\text{scale}} = \frac{d_{70m}}{\sqrt[3]{\kappa L}} \left(\frac{d_{70}}{d_{70m}} \right)^{0,4}$$

$$F_3 = F_{\text{geometry}} = \overset{MS\text{eep}}{=} F(G) = \overset{\text{standaarddijk}}{=} 0,91 \cdot \left(\frac{D}{L} \right)^{\frac{0,28}{D/L} + 0,04}$$

Figuur 5 Aangepaste rekenregel van Sellmeijer (Förster, Ham, Calle, & Kruse, 2011)

3 Oplossingsrichtingen en technieken

Om piping tegen te gaan kunnen verschillende technieken toegepast worden. De technieken kunnen worden onderverdeeld in vier oplossingsrichtingen (Förster, Ham, Calle, & Kruse, 2011) namelijk:

1. Het horizontaal en/of verticaal verlengen van de kwelweg.
2. Het voorkomen van het opbarsten van de kleilaag binnen de kritieke kwelweglengte.
3. Het verkleinen van het verval.
4. Waterdrukreductie en het voorkomen van zanduitspoeling.

In dit hoofdstuk staan per oplossingsrichting de verschillende technieken beschreven. Vervolgens staat beschreven hoe deze technieken met elkaar vergeleken zijn. Dit is gedaan doormiddel van een Trade-off Matrix, in het vervolg TOM genoemd. De verschillende onderdelen van de TOM worden toegelicht. Deze analyse is opgesteld om er achter te komen wat de beste techniek is om piping te voorkomen.

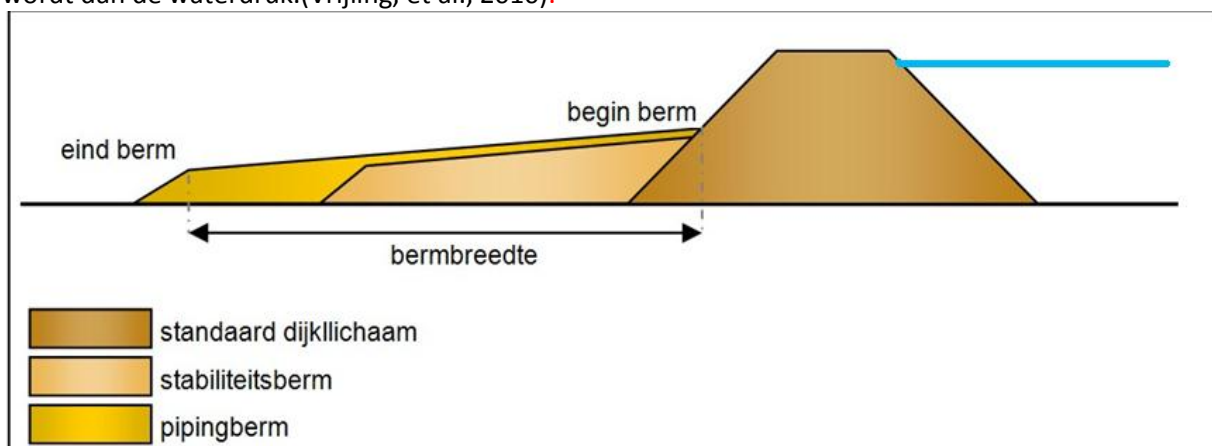
3.1 Het horizontaal en/of verticaal verlengen van de kwelweg

Piping is onder andere afhankelijk van de lengte van de kwelweg. Hoe langer de kwelweg hoe kleiner de kans op piping. Deze oplossingsrichting is erop gericht om het water een langere weg af te laten leggen. Wanneer het water een langere weg aflegt heeft het meer energie nodig, hierdoor verminderd de kans op opbarsting en neemt de stroomsnelheid af.

Horizontaal en/of verticaal verlengen van de kwelweg kan worden gedaan door het aanleggen van een pipingberm of het inbrengen van een kwelscherm. Bij beide technieken zal niet alleen piping worden voorkomen, maar de macro-instabiliteit van de dijk zal ook worden verbeterd.

Pipingberm

Het aanleggen van een pipingberm is een bewezen techniek om piping tegen te gaan. Aan de binnenzijde van de dijk wordt grond opgebracht om ervoor te zorgen dat de slecht doorlatende laag niet kan opbarsten als gevolg van de grondwaterdruk, zie figuur 6. De lengte van de benodigde pipingberm is gelijk aan de berekende lengte van de extra kwelweg. De dikte van de pipingberm is afhankelijk van het verschil tussen waterdruk (afhankelijk van het verval over de kering) en gronddruk (aanwezige kleilaag). De gronddruk moet dusdanig worden verhoogd, dat deze groter wordt dan de waterdruk. (Vrijling, et al., 2010).

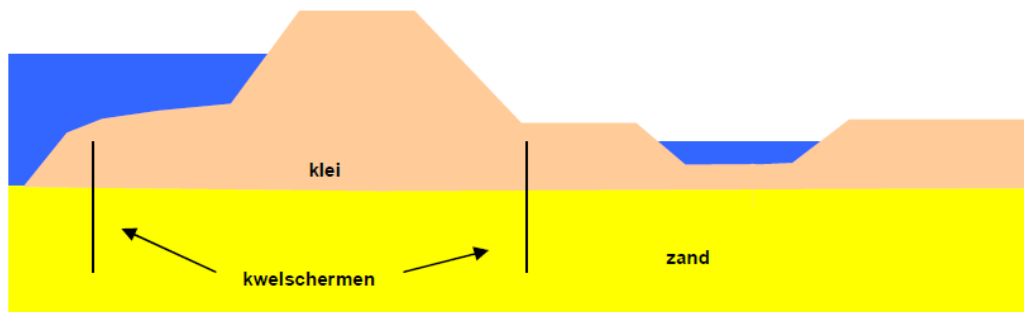


Figuur 6 Pipingberm(Dijkverlegging Cortenoever, 2013)

Kwelscherm

Het doel van een kwelscherm is het tegenhouden van de kwelstroom van buiten- naar binnendijks, zie figuur 7. Het kwelscherm zorgt hierdoor ervoor dat er geen pipe gevormd kan worden.. De diepte van het kwelscherm is afhankelijk van de kwelweglengte. Voor een kwelscherm binnendijks wordt een diepte van 1/3 maal de benodigde kwelweglengte aangehouden. Naast piping zorgt een kwelscherm ervoor dat de stabiliteit van de dijk wordt vergroot. Grofweg worden kwelschermen

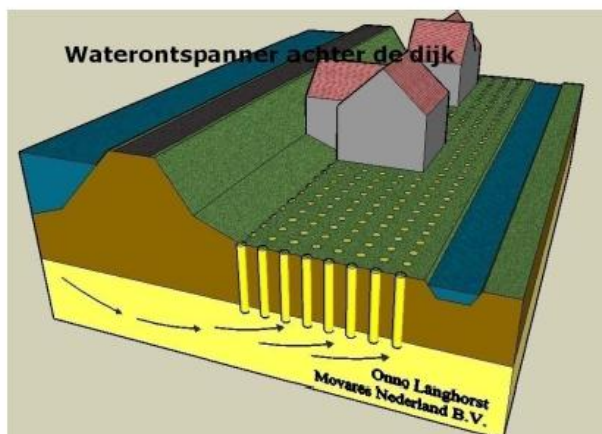
toegepast in drie varianten, namelijk gefabriceerd van kunststof, cement-bentoniet of staal. Recent wordt ook gebruik gemaakt van zogenoemde korte stalen kwelschermen. Een voordeel van een kort stalen kwelscherm is dat deze voornamelijk in de zandlaag wordt geplaatst en maar voor een deel in de ondoorlatende laag, dit bespaart kosten omdat er minder materiaal nodig is (Luiendijk, 2011).



Figuur 7 Kwelschermen (Förster, Ham, Calle, & Kruse, 2011)

3.2 Het voorkomen van het opbarsten van de kleilaag binnen de kritieke kwelweglengte

Voor deze oplossingsrichting kan één techniek worden toegepast, namelijk de waterontspanner, zie figuur 8. In de (eventueel aanwezige) steunberm of op het maaiveld van het binnendijkse gebied worden zand- of grindpalen geplaatst die tot in de watervoerende zandlaag reiken. Wanneer door hoge rivierwaterstanden de grondwaterdruk in de watervoerende zandlaag stijgt, zoekt het water de weg van de minste weerstand door de palen omhoog en neemt de kweldruk af. De kans op opbarsten van de kleilaag wordt hiermee sterk gereduceerd waardoor de kans op piping afneemt (Luiendijk, 2011).

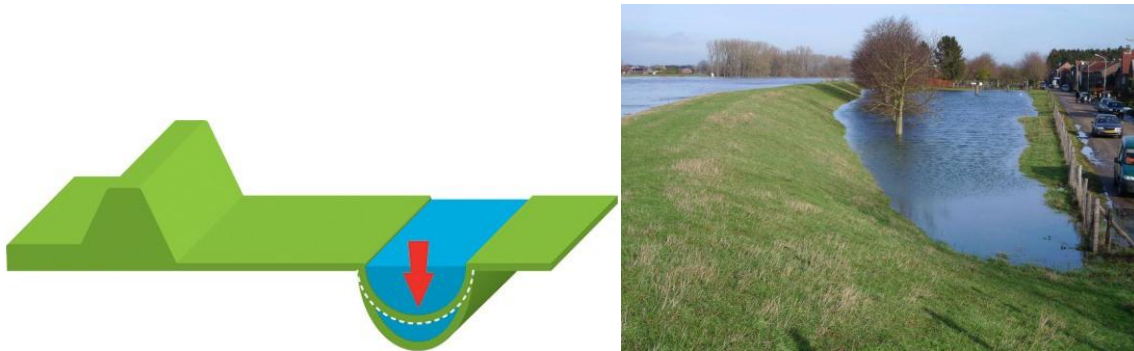


Figuur 8 Waterontspanner (Zwan & Tromp, 2010)

3.3 Het verkleinen van het verval doormiddel van waterstandsverandering

Een van de maatgevende factoren voor de kans op piping is het verval over de waterkering. Hoe groter het verval, hoe groter de binnendijkse waterspanning. Wanneer de waterspanning groter is dan de gronddruk, bestaat de kans dat de grond zal opbarsten. Als dit gebeurt zal er geconcentreerd water opwellen, wat zand kan meevoeren. Blijft de wel continu zand aanvoeren dan is er sprake van piping en kan de waterkeringen op een gegeven moment bezwijken. Om te voorkomen dat de waterspanning te groot wordt kan het verval worden verkleind door technieken zoals het verlagen van de buitenwaterstand (bijvoorbeeld: 'Ruimte voor de Rivier') en/of het verhogen van de

binnenwaterstand (Vrijling, et al., 2010). Bij Ruimte voor de Rivier projecten wordt de waterstand verlaagd door technieken zoals, zomerbedverlagingen (zie figuur 9 links), dijkverleggingen, nevengeulen en bypasses. Het verhogen van de binnenwaterstand kan worden gedaan door het kwelwater in het binnendijkse gebied niet weg te pompen, of juist water het gebied in te laten/pompen. Van belang hierbij is dat er maatregelen getroffen zijn, waardoor de waterstand veilig verhoogd kan worden. Dit kan bijvoorbeeld een kwelkade zijn. Een kwelkade is een grondophoging die op een bepaalde afstand aan de binnendijkse kant van de dijk is gelokaliseerd en ervoor zorgt dat het kwelwater tussen de dijk en de kwelkade zelf blijft staan. Op figuur 9 (rechts) is te zien dat er aan beide zijden van de dijk water staat, het buitendijkse water zorgt voor tegendruk.



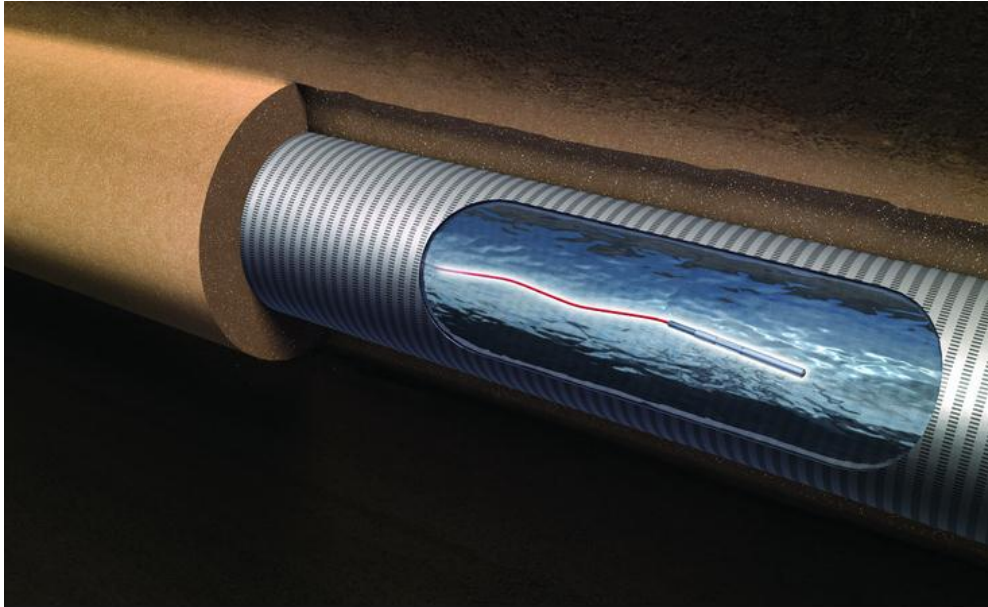
Figuur 9 Waterstandsverlaging (Zomerbedverlaging Beneden-IJssel, 2013) (links). Buitendijkse waterstandsverhoging (Buurtvereniging "Aan de Maas" Geulle., 2011) (rechts).

3.4 Waterdrukreductie en het voorkomen van zanduitspoeling

Door het toepassen van onderstaande technieken wordt voorkomen dat piping zal optreden. Het DMC-systeem zorgt ervoor dat de waterdruk gereduceerd wordt. Het toepassen van BioGrout of verticaal zanddicht geotextiel zorgt niet voor waterdrukreductie, maar wel voor voorkoming van zanduitspoeling. Het toepassen van de repressieve maatregel, opkisten in combinatie met geotextiel, zorgt dat zanduitspoeling wordt voorkomen en dat de waterdruk wordt gereduceerd.

DMC-systeem

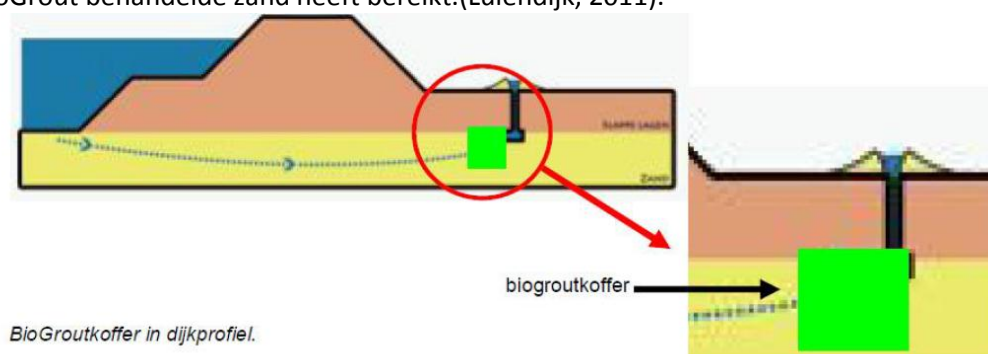
De volgende informatie is verkregen uit een dialoog met de heer Harry Bos van het bedrijf VolkerWessels Telecom (Bos, 2013). Het DMC (dijk monitoring en conditionering)-systeem wordt door middel van een horizontaal gestuurde boring als filterbuis in een zandomstorting aangebracht in, onder of nabij een dijk, zie figuur 10. De lengte van de buis is variabel, maar een lengte van 150 meter lijkt de meest ideale afmeting. In de filterbuis bevinden zich sensoren, die aangesloten worden op een bijbehorend meet- en regeltechniekinstrument, waarmee de waterdruk en de temperatuur kan worden gemeten. Als de maximale druk en/of temperatuur wordt overschreden, dan treedt het systeem in werking. Op dat moment treedt een pomp in werking om het water af te voeren. Zo wordt ervoor gezorgd dat de waterspanning afneemt. De meetwaarden kunnen via internet worden afgelezen.



Figuur 10 DMC-systeem (Planetfit, 2013)

BioGrout koffer

Uit een dialoog met de heer Marien Harkes van Deltares is de volgende informatie verkregen (Harkes, 2013). Het toepassen van BioGrout is een techniek, waarbij met behulp van micro-organismen in de bodem het zand en het grind worden versterkt. In de bodem worden micro-organismen en nutriënten geïnjecteerd, zo worden calciëtkristallen gevormd. Deze kristallen vormen bruggen tussen de zandkorrels, waardoor de stevigheid en stijfheid van het zandpakket toeneemt. Doordat de kristallen voornamelijk op de contactpunten van zandkorrels gevormd worden, blijft de porositeit van het zandpakket behouden en kan het grondwater blijven stromen. Als er geen nutriënten meer worden toegevoegd, sterven de micro-organismen en blijft er calciëtkristallen achter. Hoe meer nutriënten, hoe meer kristallen en hoe sterker het zandpakket. De nutriënten worden toegevoegd in een waterige oplossing. Hierdoor is het mogelijk om injectieafstanden van 5 tot 10 meter te halen. Omdat de zandkorrels aan elkaar komen te zitten wordt het proces van piping gestopt. De locatie voor de BioGrout koffer is in het zandpakket aan de binnendijkse zijde van de dijk, zo dicht mogelijk bij het eventuele uittredepunt, zie figuur 11. De pipe zal niet verder groeien wanneer deze het met BioGrout behandelde zand heeft bereikt. (Luiendijk, 2011).



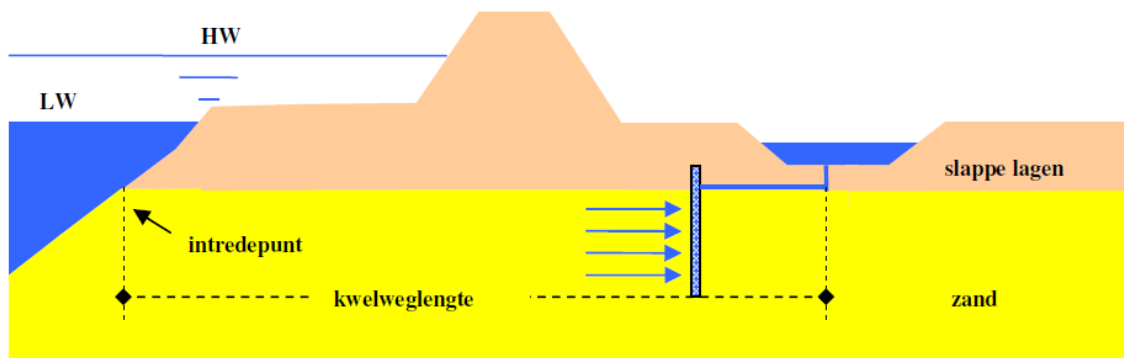
BioGroutkoffer in dijkprofiel.

Figuur 11 BioGrout koffer in dijkprofiel (Luiendijk, 2011)

Verticaal zanddicht geotextiel

Onderstaande informatie is verkregen uit een gesprek met de heer Ulrich Förster van het kennisinstituut Deltares (Förster U., Spreken over Zanddicht Geotextiel, 2013) en de heer Gerrit Dortland van het bedrijf TenCate (Dortland, 2013). Om ervoor te zorgen dat optredende piping niet resulteert tot instabiliteit van een dijk kan gebruik worden gemaakt van een filter. Zeer recent is door de stichting IJkdijk onderzoek gedaan naar een bepaald soort filter, namelijk het verticaal zanddicht geotextiel (Voorde, 2012). Uit het onderzoek blijkt dat het door TenCate ontwikkelde geotextiel, GeoDetect het pipingproces een halt toe kan roepen (www.ijkdijk.nl) en tevens de vervorming in de grond kan monitoren. Het textiel laat het water door en houdt het sediment tegen. Afhankelijk van de korrelgrootte van het onder de dijk aanwezige zandpakket dient het geotextiel gekozen te worden. Hoe kleiner de korrelgrootte hoe fijnmaziger het geotextiel dient te zijn. In het geotextiel is een optische glasvezel verwerkt, waarmee vervormingen in de grond en veranderingen in temperatuur kunnen worden gemeten. Op deze manier wordt er voor gezorgd dat de maatregel controleerbaar is (www.tencate.com).

Het textiel wordt verticaal zo dicht mogelijk bij het eventuele uittredepunt geplaatst. Belangrijk is dat het materiaal sowieso aangebracht is in de zandlaag en kleilaag, zie figuur 12. Het grensvlak tussen beide lagen is namelijk het meest pipinggevoelig.



Figuur 12 Verticaal zanddicht geotextiel (Förster U. B., 2013)

Repressieve Maatregel (Opkisten)

In een situatie waarbij de eerste verschijnselen van piping zijn opgetreden kan het proces een halt worden toegeroepen door het plaatsen van zandzakken bij het uittredepunt. De waterkolom binnen de kring van zandzakken biedt tegendruk, waardoor het zandtransport afneemt en kan stoppen. Vaak wordt het plaatsen van zandzakken gecombineerd met geotextiel. Over de zandmeevoerende wel wordt een doek van geotextiel geplaatst, op dit doek worden de zandzakken om de wel opgestapeld, zie figuur 13. Dit is echter een noodmaatregel en dus niet preventief (Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, 1999).



Figuur 13 Opgekiste zandmeevoerende wellen (Niemeijer, 1996)

3.5 TOM (Trade-off Matrix)

De TOM is opgesteld om te achterhalen wat de meeste geschikte techniek is om het piping probleem op te lossen. Er is gekozen voor deze methode, omdat in een TOM kritieke eisen worden meegenomen. Voldoen bepaalde technieken niet aan deze eisen dan vallen ze gelijk af. Verder worden er verschillende nieuwe technieken vergeleken met bestaande. Bij nieuwe technieken is het van belang dat de risico's in kaart worden gebracht. In de TOM kunnen risico's overzichtelijk met elkaar vergeleken worden. Omdat het toepassen van een techniek bij alle dijken in principe maatwerk is, zijn per techniek de algemene voor- en nadelen afgewogen. Er is vanuit gegaan dat over een afstand van 1 km van een dijk piping optreedt. De ondergrond van de dijk bestaat uit een goed doorlatende zandlaag, met daarop een slecht doorlatende laag. In onderstaande punten staat hoe de TOM is opgebouwd en waarom welke waardering aan de verschillende aspecten van de TOM zijn toegekend. Verder staat beschreven welke techniek er het best scoort op een bepaald punt.

Kritiek eisen

Kritieke eisen zijn de eisen waaraan de techniek sowieso moet voldoen om meegenomen te worden in de TOM. De eerste eis waaraan de technieken moeten voldoen is dat ze piping tegengaan, anders vallen deze buiten de scope van de matrix. Vervolgens blijkt uit het rapport van Arcadis (Arcadis, 2012) dat de gemiddelde benodigde extra kwelweglengte ongeveer 30 meter dient te zijn. De techniek moet dus sowieso zorgen dat binnen deze kwelwegafstand geen piping zal optreden. Uit de concept versie van het Technisch Rapport Zandmeevoerende Wellen 2011 ((Förster, Ham, Calle, & Kruse, 2011)) blijkt dat dijken gedimensioneerd dienen te worden op een levensduur van 50 jaar. Technieken die de dijk versterken moeten net zolang meegaan als de dijk zelf. Een kritieke eis is dat de techniek een levensduur heeft van 50 jaar. Uit de analyse blijkt dat alle technieken behalve buitenwaterstandsverlaging en opkisten voldoen aan de kritieke eisen.

Risico's

Per techniek worden de risico's in kaart gebracht. Deze risico's hebben betrekking op 5 aspecten, namelijk geld, tijd, kwaliteit, veiligheid en omgeving. Voor elke techniek wordt per aspect bekeken hoe groot de kans is dat een risico zich voordoet. Vervolgens wordt er gekeken wat het effect is wanneer er iets misgaat. De kans en het effect worden beoordeeld met een waarde klein(1), gemiddeld(3) of groot(5). De kans wordt vermenigvuldigd met het effect en deze waarde wordt van het eindtotaal afgetrokken. Uit de TOM blijkt dat de technieken verticaal zanddicht geotextiel en het DMC-systeem de minste risico's met zich meebrengen.

Raakvlakken

Omdat het toepassen van een techniek vaak samen gaat met ander factoren, worden de raakvlakken van de techniek meegenomen in de TOM. Deze worden opgesplitst in externe en interne raakvlakken. Externe raakvlakken hebben betrekking op zaken die beïnvloed worden door de bepaalde techniek of waardoor de techniek beïnvloed wordt. Dit zijn het ook verminderen van de negatieve effecten van andere faalmechanismen (waarde 10) en de storingsgevoeligheid (waarde -2). Interne raakvlakken hebben betrekking op zaken die direct gebonden zijn aan een techniek, namelijk de kans op vervuiling door het gebruikte materiaal (waarde -2) en de kans op monitoring (waarde 5). Na analyse blijkt dat het toepassen van een kunststof kwelscherm het beste op deze punten scoort.

Omgeving/Financiën/Beheer

In dit gedeelte van de TOM worden de technieken getoetst op de drie meest belangrijke aspecten, dit zijn omgeving, financiën en beheer. Elke van deze aspecten krijgt een cijfer van 1 tot 10. Hoe hoger het cijfer, hoe positiever de invloed van de desbetreffende techniek op het bepaalde aspect is. Alle drie categorieën zijn gelijkwaardig en worden dus met een zelfde waarde meegenomen in de

eindbeoordeling. Uit de TOM blijkt dat de technieken verticaal zanddicht geotextiel en het DMC-systeem het beste scores op deze punten.

Kostenindicatie

Per techniek wordt een indicatie gegeven over de kosten. De kosten worden berekend op basis van standaard kosten die vermeld staan in verschillende documenten, zoals bijvoorbeeld het Technisch Rapport Zandmeevoerende Wellen (Förster, Ham, Calle, & Kruse, 2011). De weging van de kosten zijn de totale kosten gedeeld door 100.000. Een kostenpost van 1 miljoen krijgt zo 10 punten. Deze worden later van het totaal afgetrokken. De goedkoopste maatregel is het toepassen van verticaal zanddicht geotextiel.

Oordeel

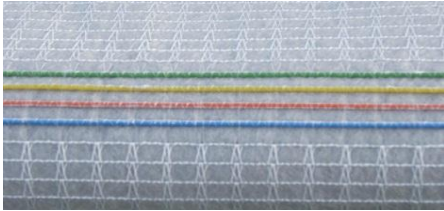
De punten gescoord op omgeving/financiën/beheer worden bij elkaar opgeteld en vermenigvuldigd met een waarde 5. Van dit totaal worden de punten die toegekend zijn aan de kosten afgetrokken. Bij dit getal worden de punten die gescoord zijn op het deel raakvlakken opgeteld. Van dit totaal aantal punten wordt het risicogetal afgetrokken. Hoe hoger het eindoordeelgetal, hoe beter een techniek uit de TOM komt. Het hoogste cijfer is toegekend aan het verticaal zanddicht geotextiel.

3.6 De meest geschikte techniek

Voor alle verschillende geanalyseerde technieken zijn documenten opgesteld, zie de bijlagen 3 t/m 10. In deze documenten wordt per punt van de TOM uitgewerkt welke waarde waarom is toegekend. In bijlage 11 staat de tabel gepresenteerd waarin alle technieken met elkaar vergeleken zijn. Uit de analyse blijkt dat het verticaal toepassen van verticaal zanddicht geotextiel de meest geschikte techniek is.

4 Werkmethoden voor toepassing Verticaal Zanddicht Geotextiel

Uit de TOM blijkt dat het verticaal zanddicht geotextiel, zie figuur 14, de meest geschikte techniek is om toe te passen tegen piping. De kosten zijn namelijk laag, de ruimtelijke consequenties zijn klein en de werking van de techniek is te monitoren. Het verticaal zanddicht geotextiel is echter nog nooit in een bestaande dijk aangebracht. In onderstaande subhoofdstukken staat beschreven door middel van welke werkmethoden het verticaal zanddicht geotextiel kan worden ingebracht. Per werkmethode staat beschreven hoe deze werkt, wat het effect is op de omgeving en hoe te controleren is of het verticaal zanddicht geotextiel goed is geplaatst. Vervolgens is te lezen welke risico's er per werkmethode spelen en welke beheersmaatregelen hieraan gekoppeld zijn om deze risico's af te zwakken. De werkmethoden zijn vergeleken op restrisico's in combinatie met kritieke eisen, raakvlakken en kosten. De twee beste werkmethoden zijn verder uitgewerkt.



Figuur 14 Verticaal zanddicht geotextiel

4.1 Aanbrengen verticaal zanddicht geotextiel

Om te garanderen dat het verticaal zanddicht geotextiel functioneert dient het materiaal verticaal op het grensvlak tussen de klei- en zandlaag te worden geplaatst, omdat een pipe alleen op deze plaats zal ontstaan. De meest geschikte locatie is zo dicht mogelijk bij het uittredepunt, omdat zo de pipe die potentieel zal ontstaan zo klein mogelijk blijft. In de praktijk is gedegen grondonderzoek nodig om vast te stellen waar dit punt eventueel zou kunnen ontstaan. Wanneer niet duidelijk is waar de pipe potentieel zal ontstaan is het beter het doek te plaatsen aan de teen van de dijk, zie figuur 15, omdat zo ten alle tijden voorkomen wordt dat de pipe tussen het geotextiel en dijk ontstaat. Het nadeel hiervan is dat er nog relatief lange en of grote pipes naar het geotextiel toe kunnen groeien. Dit is onwenselijk omdat zo de kleilaag in het binnendijkse land ondermijnd wordt, wat kan resulteren in verzakkingen van de kleilaag. Verder blijkt uit de door onder anderen Deltares uitgevoerde onderzoeken dat de pipes langs het geotextiel zullen groeien. Uit een gesprek met Ulrich Förster van Deltares en Gerrit Dortland van TenCate blijkt dat deze zaken in de praktijk geen problemen zullen geven en dat de eventueel negatieve effecten beheersbaar zullen zijn (Förster U. , Spreken over Zanddicht Geotextiel, 2013)(Dortland, 2013). Deze effecten zullen namelijk alleen optreden tijdens hoogwater, de dijkbeheerder zal eventuele zandmeevoerende wellen opmerken en vervolgens na het hoge water controleren wat de effecten van deze wellen zullen zijn. Uit proeven blijkt dat het verticaal zanddicht geotextiel functioneert, maar in de praktijk is deze techniek nog niet toegepast. Vandaar dat er gezocht dient te worden naar een toepasbare werkmethode.



Figuur 15 Plaatsen verticaal zanddicht geotextiel(TenCate GeoDetect® voor dijkmonitoring, 2012)

4.2 Freesmachine

Uit mailcontact met de heer Dasselaar, voormalig werknemer van het bedrijf Lareco(Dasselaar, 2013), blijkt dat het geotextiel ingebracht kan worden middels een machine die een gleuf in de grond freest en vervolgens het geotextiel in deze sleuf brengt. Dit is een bestaande techniek die gebruikt wordt bij het inbrengen van kwelschermfolies(Paverd, Kwelschermen onder rivierdijken 'Vooronderzoek', 1994), zie figuur 16.



Figuur 16 Freesmachine (Foliescherm Veldhoven, 2013)

Plaatsen verticaal zanddicht geotextiel

Belangrijk is dat het textiel op het grensvlak tussen klei en zand geplaatst wordt. De machine dient dus deze lagen min of meer gescheiden te houden. Wanneer inzichtelijk is hoe diep de zandlaag zich bevindt, wordt er met behulp van een laser nauwkeurig gewerkt(Dasselaar, 2013). Wanneer het doek is ingebracht wordt de sleuf opgevuld met het ontgraven materiaal. Het doel is dat de grondopbouw van het opgevulde gat zo goed mogelijk overeen komt met de grondopbouw voor de ontgraving. Enige vermenging van zand en klei kan niet voorkomen worden. Het is mogelijk om het bovenste deel van het gat op te vullen met alleen klei, de noodzaak hiervan is afhankelijk van de verwachte grootste waterspanning. Het opvullen van de sleuf zorgt er ook voor dat het textiel wordt ingeklemd, zodat deze verticaal strak in grond zal komen.

Werking

Aan de graafboom wordt een cassette bevestigd die voorzien is met opgerold geotextiel. Bovengronds worden de delen geotextiel aan elkaar gemaakt en vervolgens in de cassette geplaatst. Door het voortbewegen van de machine zal het geotextiel uit de cassette worden getrokken. Het zand zal het geotextiel inklemmen, dit wordt bevorderd als het zand verzadigd is met grondwater, hierdoor stroomt het zand namelijk met het water naar het geplaatste doek(Dasselaar, 2013).

Omgeving

Als er belemmerende obstakels zoals, sloten, wegen en/of bebouwing aanwezig zijn langs de dijk dienen deze te wijken voor toepassing van deze techniek. De vuistregel is dat er 1:1 uit bebouwing gebleven dient te worden met een minimum van 2 meter. Dit betekent, wanneer er 8 meter diep gefreesd dient te worden er 8 meter uit de bebouwing gebleven moet worden met een minimum van 2 meter(Dasselaar, 2013). Ook zal het tracé waar het doek wordt ingebracht bouwrijp gemaakt moeten worden, er dient met de machine gereden te kunnen worden. Hierdoor zullen sloten moeten worden gedempt en wegen/opritten die aansluiten op de dijk eventueel moeten worden verwijderd. Na realisatie zal alleen een geotextiel in de grond aanwezig zal zijn. In het landschap zal niets te zien zijn van deze maatregel. De techniek wordt in één keer ingebracht, de omgeving zal dus relatief weinig last hebben van de realisatie.

Controleerbaarheid

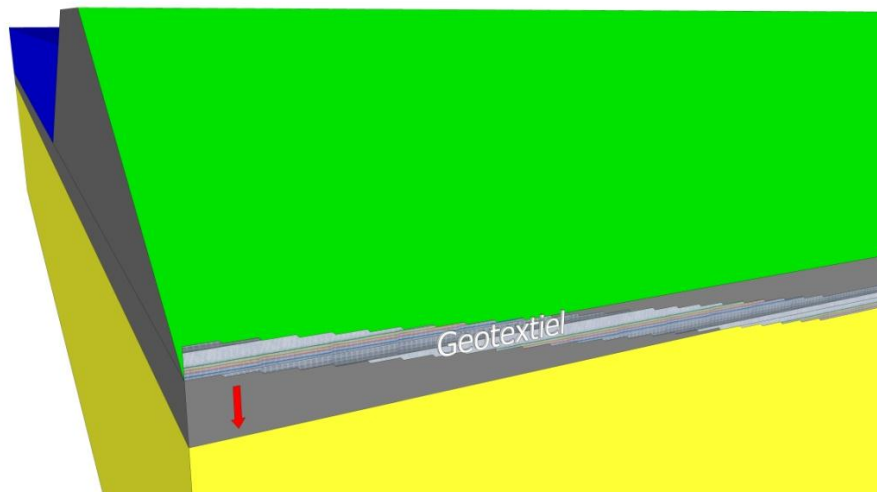
Door een ingevlochten glasvezel kan gemonitord worden of het textiel recht in de grond zit, eventuele fouten worden zo opgemerkt. Het aanpassen van een niet goed geplaatst doek zal lastig worden en veel energie kosten. Het textiel dient dan namelijk uitgegraven en opnieuw ingebracht te worden (Dasselaar, 2013). Het correct inbrengen van het geotextiel middels deze werkmethode is nog niet te garanderen, daarom zal een pilot om deze werkmethode te beproeven noodzakelijk zijn.

4.3 Verticaal inbrengen middels drukmes

Dit is een nog niet eerder toegepaste werkmethode om een verticaal zanddicht geotextiel of in de grond aan te brengen. Deze werkmethode komt voort uit in het kader van het onderzoek verrichte brainstormsessies. Uit gesprekken met de bedrijven TenCate en GMB blijkt dat getwijfeld wordt over de haalbaarheid van deze werkmethode (Dortland, 2013) (Dijk J. v., Voortgangsgesprek, 2013).

Plaatsen verticaal zanddicht geotextiel

Deze werkmethode zorgt ervoor dat het geotextiel verticaal de grond in wordt gedrukt door middel van hieraan bevestigde messen, zie figuur 17. Wanneer de machine de messen door de kleilaag gedrukt zal hebben wordt dit opgemerkt doordat er een grotere druk benodigd zal zijn om de zandlaag in te komen. Het geotextiel zal strak verticaal geplaatst worden, omdat de grond na het passeren van het geotextiel terug zal willen naar de oorspronkelijk situatie. Het doek wordt zo ingeklemd in de grond.



Figuur 17 Verticaal aanbrengen geotextiel middels drukmes

Werking

Aan de messen wordt het geotextiel bevestigd, deze messen worden door middel van drukcilinders de grond in gedrukt. Er zal een geotextiel, met een lengte van het te verbeteren traject aan verschillende messen worden bevestigd. Tussen de messen komt een vrij geotextiel van 0,2 meter. Het textiel dient trapsgewijs ingebracht te worden. Tijdens aanleg mag de diepte van naastliggende messen maximaal 0,1 meter zijn. Als de messen dieper worden gedrukt dan 0,1 meter zal het doek scheuren. Wanneer het geotextiel op de juiste diepte is zullen de drukcilinders omhoog gehaald worden en blijft het geotextiel met de messen in de grond achter. Het ontstane gat boven het geotextiel zal na enige tijd dichtgaan, doordat de klei weer teruggaat naar de oorspronkelijke situatie.

Omgeving

De maximale lengte van het mes zal enkele meters zijn, omdat de benodigde machine mobiel en dus niet te groot mag zijn. De overlast tijdens realisatie is relatief groot. Dit komt doordat het geotextiel

trapsgewijs ingebracht dient te worden. Afhankelijk van de benodigde diepte is er langs een relatief groot traject activiteit.

Controleerbaarheid

Wanneer het eventuele gat boven het verticaal zanddicht geotextiel niet voldoende goed op een natuurlijke manier zal dichten zal het water voor het geotextiel omhoog gaan stromen door dit ontstane gat. De eventuele zandmeevoerende wel kan er dan voor zorgen dat er een pipe onder de dijk door zal ontstaan. De realisatie heeft er dan voor gezorgd dat piping niet wordt voorkomen, maar juist wordt vergemakkelijkt.

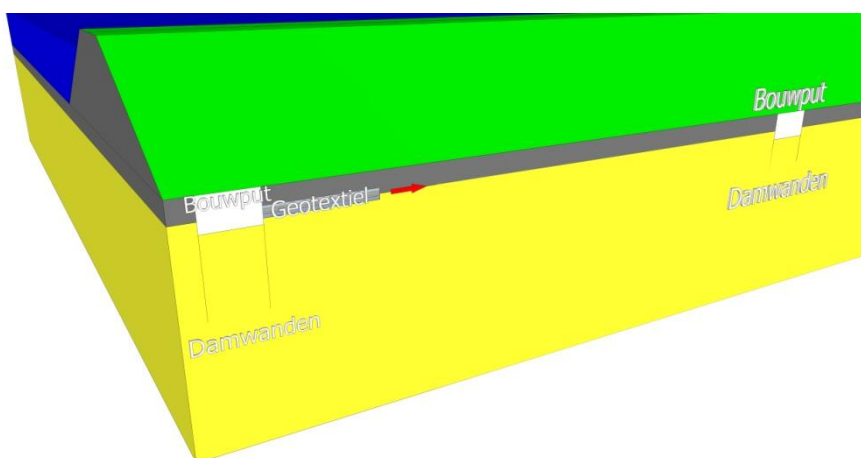
Na realisatie dient er tijdens hoog water in de gaten gehouden te worden of er wellen ontstaan op de locatie waar het geotextiel geplaatst is. Ook kan dit gemeten worden door de vervorming van het glasvezeldraad. Op dit punt zal het water niet door het geotextiel stromen, maar er voor langs. De druk op het doek verminderd hierdoor. Na aanbreng van het verticaal zanddicht geotextiel wordt scheuring opgemerkt door middel van het toegepaste glasvezel. Door de grote krachten die benodigd zijn om de messen naar beneden te drukken wordt dit tijdens de realisatie niet opgemerkt. Het feit is dat dan al het ingebracht geotextiel verwijderd dient te worden en er opnieuw begonnen moet worden met de realisatie.

4.4 Horizontaal inbrengen

Deze werkmethode is niet eerder toegepast om verticaal zanddicht geotextiel in de grond te plaatsen. Uit brainstormsessies is deze werkmethode naar voren gekomen. Uit gesprekken met de organisaties TenCate, GMB en Deltares blijkt dat men sceptisch kijkt naar deze werkmethode (Dortland, 2013) (Dijk J. v., Voortgangsgesprek, 2013) (Förster U., Spreken over Zanddicht Geotextiel, 2013). De reden hiervoor is dat er onzekerheden aan de werkmethode zijn, zoals de grootte van de benodigde machine, de sterkte van het geotextiel en de diepte van de damwanden.

Plaatsen verticaal zanddicht geotextiel

Langs de dijk worden verschillende bouwputten met een diepte tot één meter in de zandlaag gegraven, zie figuur 18. Er is gedetailleerde informatie nodig over de dikte van de kleilaag en dus de locatie van de scheidelingslaag tussen klei en zand. Wanneer dit inzichtelijk is kan bepaald worden hoe breed het geotextiel dient te zijn en wat de afstand tussen de bouwputten moet worden. Bij te grote variaties worden moeilijkheden verwacht, omdat door de stijve drukstangen het inbrengen alleen op een bepaalde diepte kan worden gedaan. Het doek kan alleen recht worden ingebracht, sturen is niet mogelijk. Dit nadeel kan voorkomen worden door gebruik te maken van een doek met een grotere breedte, zo wordt het effect van de variatie van de diepte van de zandlaag verkleind.



Figuur 18 Horizontaal inbrengen geotextiel

Werking

Er dient een machine ontworpen te worden die het geotextiel middels horizontale druk en/of trilling inbrengt tussen de klei- en zandlaag. Het doek wordt bevestigd aan een metalen mes die iets langer is dan de hoogte van het geotextiel. Aan het mes worden drukstangen bevestigd die middels drukcilinders het mes met het daaraan bevestigde geotextiel in de grond persen. Deze drukstangen worden verlengd, zodat de benodigde te overbruggen afstand kan worden gehaald. Wanneer het textiel bij het volgende gat is aangekomen worden de drukstangen los gekoppeld en teruggetrokken. De machine wordt verplaatst naar het volgende gat. Een nieuw geotextiel wordt bevestigd aan het reeds ingebrachte geotextiel en vervolgens begint het proces van voor af aan.

Omgeving

De bouwputten zullen op handige locaties gesitueerd worden. Eventuele op- of afritten, sloten of bebouwing zijn zo te omzeilen en hoeven niet op de schop. Het grootste gedeelte van de grond hoeft niet vergraven te worden, dus de oorspronkelijke lagenscheiding blijft gehandhaafd. Boven het doek zal geen open ruimte ontstaan, omdat de deklaag niet doorsneden hoeft te worden. De kans op een zandmeevoerende wel op deze locatie wordt hierdoor verkleind. Ook is het niet doorsnijden van de deklaag positief wanneer er kabels en leidingen in de grond aanwezig zijn. Deze zullen niet worden geraakt, mits deze niet op dezelfde diepte gelegen zijn als het te plaatsen geotextiel. In de grond zal alleen geotextiel aanwezig zijn. Tijdens realisatie zal er een relatief grote overlast zijn voor de omgeving. Het ontgraven van de bouwputten zal gedaan worden met groot materieel en het inbrengen van het doek kan tijdelijk overlast geven. Verder zijn er relatief grote bouwputten nodig, deze dienen voor de stabiliteit verstevigd te worden met damwanden.

Controleerbaarheid

Omdat de verbindingen tussen de verschillende delen textiel in de bouwputten worden gemaakt is de kwaliteit van de verbindingen controleerbaar. Doordat het geotextiel van de ene naar de ander bouwput wordt geperst/getrild kan bij de uiteinden worden gezien of het geotextiel recht zit. De gaten worden na realisatie zorgvuldig opgevuld, belangrijk is dat de scheiding tussen zand en klei gehandhaafd blijft. Eerst dient dus het zand terug geplaatst te worden en vervolgens de klei. Eventuele problemen zullen opgemerkt worden door middel van het in het geotextiel gevlochten glasvezel. Metingen en visuele inspecties tijdens hoogwater geven uitsluitsel over het goed functioneren van de werkmethode. Op de plaats waar de drukstang doorheen is gegaan ontstaat een holle ruimte boven het geotextiel, deze kan ervoor zorgen dat het water over het doek zal stromen en het doek kan verzakken.

4.5 Pipingscherm

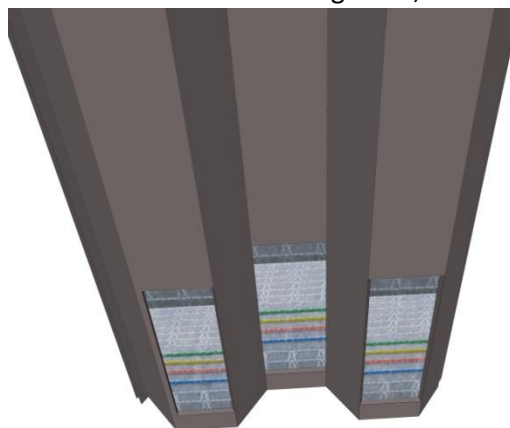
Toepassing van deze werkmethode zorgt ervoor dat er geen machine ontwikkeld of aangepast hoeft te worden. Het geotextiel dient anders geleverd te worden en wordt gefabriceerd in combinatie met een kunststof damwand. Deze combinatie wordt pipingscherm genoemd. Uit een gesprek met de heer Berrie Klein van het bedrijf Maluan Kunststoffen (Klein, 2013) en een gesprek met de heer Rienk van Toor van het bedrijf Sheet Pile Europe (Toor, 2013) blijkt dat hier mogelijkheden liggen. Het plaatsen van de pipingschermen wordt gedaan op dezelfde manier als het plaatsen van damwanden, zie figuur 19



Figuur 19 Aanbrengen pipingscherm (rechts) (Concept Waterkerende verticale afdichtingen, 2013), Aanbrengen pipingscherm in praktijk (links) (Damwanden, 2013)

Plaatsen verticaal zanddicht geotextiel

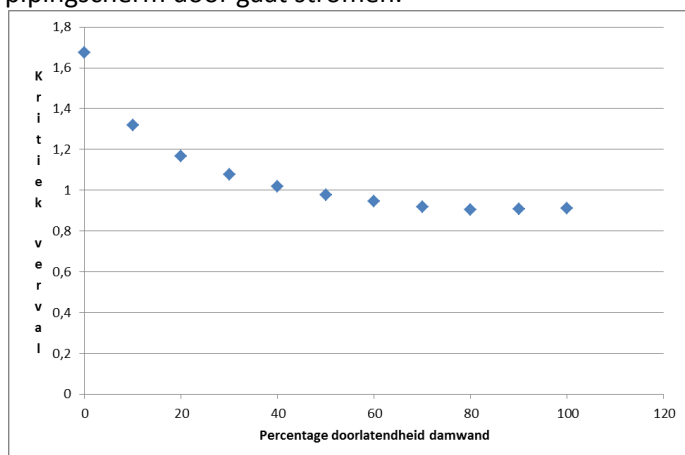
In deze werkmethode wordt afgestapt van het principe dat er alleen een geotextiel de grond wordt ingebracht. Om te garanderen dat het geotextiel verticaal tussen de klei- en zandlaag komt, wordt deze geïntegreerd in een pipingscherm. Op figuur 20 is te zien hoe het pipingscherm er eventueel komt uit te zien. Er is globaal onderzoek nodig naar de diepte van de zandlaag. Omdat de weerstand van de klei verschilt van die van het zand, zal middels het drukken/heien van het pipingscherm gemeten kunnen worden wanneer het scherm de juiste diepte heeft bereikt. Doordat er aan weerszijden van het pipingscherm geleiders aanwezig zullen zijn wordt gegarandeerd dat de verschillende componenten strak tegen elkaar aan komen. Door deze koppelingen wordt voorkomen dat er water tussen het scherm door kan stromen.



Figuur 20 Voorbeeld pipingscherm

Werking

Afhankelijk van de diepte van de zandlaag wordt een pipingscherm van een bepaalde lengte toegepast. Er wordt gebruik gemaakt van een standaardmaat scherm, deze kan met het bestaande materieel worden ingebracht, zie figuur 19. In elke damwand worden openingen gemaakt, waarin het geotextiel wordt geïntegreerd. Middels het programma MSeep is berekend wat de minimale doorlatendheid van het pipingscherm dient te worden. De doorlatendheid van de damwand dient 50% te zijn. Uit figuur 21 blijkt dit, omdat bij een percentage kleiner dan 50% het kritieke verval over de kering exponentieel toeneemt en het water dus door de toenemende druk onder het pipingscherm door gaat stromen.



Figuur 21 Grafiek minimale doorlatendheid damwand

De afmetingen van de openingen zijn niet alleen afhankelijk van benodigde doorlatendheid, maar ook van benodigde sterkte van de pipingscherm. De benodigde sterkte wordt alleen bepaald door de krachten die nodig zijn om het pipingscherm in de grond te brengen. Eenmaal geïnstalleerd zal het scherm de druk van de dijk doorgeven aan de grond binnendijks van de damwand. In de onderste meter van de kunststof damwand wordt het deel waar het geotextiel inkomt een aantal millimeteren verzonken. In het verzonken gedeelte wordt het benodigde aantal gaten geboord om ervoor te zorgen dat dit deel 50% doorlatend wordt. Het geotextiel wordt in het verzonken deel, voor de

gaten, gelijmd. Om het doek te beschermen wordt bovenop het geotextiel een kunststofprofiel met hetzelfde gatenpatroon als de damwand gelijmd. De dikte van het profiel is gelijk aan het verzonken gat, zodat het pipingscherm geen verdikking zal hebben.

Anticiperend op de eventueel nieuwe normen (niet gedraineerd rekenen) voor macro- instabiliteit, wat blijkt uit een gesprek met de heer Stefan van den Berg van het waterschap Rivierenland (Berg, 2013), zal deze techniek ook soelaas kunnen bieden. Extra onderzoek naar de precieze verandering van deze norm is hiervoor benodigd.

Omgeving

Deze techniek kan overal toegepast worden. Trilling overlast is bij toepassing van kunststof damwanden niet aan de orde, omdat het kunststof de benodigde trillingen absorbeert en niet doorgeeft aan de omgeving. Ook kunnen de damwanden op een trilling loze manier worden ingebracht (Sheet Pile Europe, 2013). De overlast voor de omgeving is tijdens aanleg gering. Deze is vergelijkbaar met de overlast van het toepassen van een gewone kunststof damwand. Echter hoeven de pipingschermen aanzienlijk minder diep dan kwelschermen geplaatst te worden. Kwelschermen moeten namelijk de kwelstroom verlengen, terwijl pipingschermen deze kwelstroom doorlaten en alleen het pipingproces stoppen. Installatie gaat zo sneller en kan gedaan worden met kleiner materieel wat resulteert in minder overlast. Eventuele kabels en leidingen moeten worden gemedend tijdens aanleg van deze techniek.

Controleerbaarheid

De damwanden komen strak in de grond, zodat er geen water voor het scherm omhoog kan stromen. Ook wordt voorkomen dat er water voor het geotextiel op kan gaan wellen door een ontstaan gat, deze wordt namelijk opgevuld met damwand. Monitoring doormiddel van het glasvezel zal niet mogelijk zijn, de stijfheid van de schermen zorgt er namelijk voor dat de vervorming in de grond niet middels de glasvezel draden kan worden gemeten (Dortland, 2013). Doordat de schermen afzonderlijk van elkaar omhoog gehaald kunnen worden kan gecontroleerd worden of de maatregel naar behorend functioneert. Tijdens hoog water dient de werking van deze techniek gecontroleerd te worden door visuele inspecties door de dijkbeheerder.

Uit de testen bij de IJkdijk blijkt dat er piping langs het geotextiel ontstaat, doordat de pipingschermen golvend worden uitgevoerd stopt dit proces. Dit komt doordat het water haaks door het pipingscherm stroomt en het golvende karakter ervoor zorgt dat er geen water langs het scherm kan worden aangevoerd.

4.6 Risicoanalyse

Toepassing van de vier benoemde werkmethode is nog niet in de praktijk gedaan. Bij nieuwe ontwikkelingen zijn altijd risico's verbonden. Het risico is de kans maal het effect van een ongewenste situatie. Door analyse van de werkmethode zijn deze ongewenste situaties in kaart gebracht. Deze zijn onderverdeeld in geld, tijd, kwaliteit, veiligheid en omgeving. Aan alle risico's zijn beheersmaatregelen gekoppeld, om de kans en/of het effect ervan te verminderen. Na de beheersmaatregelen blijkt dat er een restrisico overblijft. In tabel 2 staat de risicoanalyse gepresenteerd. Voor gedetailleerde informatie over de risico's en specifieke ongewenste situaties van de verschillende werkmethode, zie bijlage 12 voor de freesmachine, bijlage 13 voor verticaal middels drukmes, bijlage 14 voor horizontaal inbrengen en bijlage 15 voor het pipingscherm.


Risico	Freesmachine			Verticaal middels drukmes			Horizontaal inbrengen			Pipingscherm		
	K	W	R	K	W	R	K	W	R	K	W	R
Geld	5	3	15	5	5	25	5	5	25	5	5	25
Tijd	5	3	15	5	3	15	3	5	15	1	1	1
Kwaliteit	3	5	15	5	5	25	5	5	25	3	3	9
Veiligheid	1	3	3	5	1	5	1	5	5	1	3	3
Omgeving	5	5	25	5	5	25	5	3	15	1	5	5
<i>Risicogetal</i>	73			95			85			43		
Beheersmaatregel												
Geld	Ontwikkelingskosten afschrijven Alleen toepassen bij voldoende ruimte			Zorgen dat er minder onbekenden zijn			Pilot uitvoeren Standaard breedte geotextiel vergroten			Ontwikkelingskosten afschrijven Alleen toepassen bij weinig ruimte		
Tijd	Eerst testen op pilotgebied			Andere techniek toepassen			Andere techniek toepassen Goed plannen van realisatie			Een goede planning aanhouden		
Kwaliteit	Eerst testen op pilotgebied			Andere techniek toepassen			Een sterkere variant geotextiel toepassen			Aparte monitoring Pilot uitvoeren Componenten controleren		
Veiligheid	Gedegen grondonderzoek uitvoeren			Andere techniek toepassen			Bouwputten verstevigen met damwanden			Tijdens hoog water visuele inspecties uitvoeren		
	Geen realisatie tijdens hoog water			Ontstaan gat opullen met klei			Geen realisatie tijdens hoog water					
Omgeving	Omgeving informeren Uitwijken naar een minder omgevingsonvriendelijke toepassing			Omgeving informeren Alleen toepassen bij voldoende ruimte			Strakke planning aanhouden			Omgeving tijdig informeren		
Restrisico	K	W	R	K	W	R	K	W	R	K	W	R
Geld	1	3	3	5	5	25	3	5	15	1	5	5
Tijd	1	3	3	5	3	15	3	3	9	1	1	1
Kwaliteit	1	5	5	5	5	25	3	5	15	1	3	3
Veiligheid	1	1	1	5	1	5	1	3	3	1	3	3
Omgeving	3	3	9	3	5	15	3	3	9	1	1	1
<i>Restrisicogetal</i>	21			85			51			13		

Tabel 2 Risicoanalyse

Te zien is dat de werkmethode die vergelijkbaar zijn met bestaande technieken het beste uit deze analyse komen. Dit zijn toepassing middels een freesmachine en het pipingscherm. De reden hiervoor is dat één zaak verschilt met een bestaande werkmethode. Voor de freesmachine is dit dat er in plaats van een kwelerschermfolie een verticaal zanddicht geotextiel in de grond wordt gebracht. Het verschil tussen een kunststof damwand en een pipingscherm, is dat er in het pipingscherm een geotextiel is verwerkt. Toepassing kan op dezelfde manier als kunststof damwanden. Bij de andere twee werkmethode zijn meerdere zaken onbekend. Bij het verticaal inbrengen middels een drukmes moet een machine ontworpen worden en dient het geotextiel aangepast te worden. Bij het horizontaal inbrengen dient er een machine ontworpen te worden en moeten er bouwputten gegraven en verstevigd worden.

4.7 Analyse Werkmethode

Naast de risico's zijn de vier werkmethode vergeleken op basis van kritieke eisen, raakvlakken en kosten. De kritieke eisen zijn dat de werkmethode ervoor dienen te zorgen dat het verticaal zanddicht geotextiel aaneengesloten wordt ingebracht en dat deze op de scheidingslaag van klei en zand komt. De raakvlakken zijn, de werkmethode pakt ook effecten van andere faalmechanismen aan, storingsgevoeligheid, introductie van risico's, ontwerp van toepassingsvorm, ontwerp van machine, monitoring en controle. In tabel 3 staat de analyse weergegeven. Voor gedetailleerde informatie over de raakvlakken en kosten zie bijlage 12 voor de freesmachine, bijlage 13 voor verticaal middels drukmes, bijlage 14 voor horizontaal inbrengen en bijlage 15 voor het pipingscherm.

																
Trade-off Matrix										Contract:						
Project:		Werkmethoden verticaal zanddicht geotextiel						Opsteller:		van Gestel en Trul						
Hoofdonderdeel:		Piping						Fase:		Analyse						
Object:								Versie:		1						
Objectcode (SBS):								Datum:		29-5-2013						
Werkmethoden		werkmethode 1			werkmethode 2			werkmethode 3			werkmethode 4					
		FreemACHINE			Verticaal middels drukmes			Horizontaal inbrengen			Pipingscherm					
Kritische eisen																
Moet aaneengesloten toegepast worden		ja			ja			ja			ja					
Moet tussen de klei en zandlaag worden geplaatst		ja			ja			ja			ja					
Risiko's		K	W	R	K	W	R	K	W	R	K	W	R			
Geld		5	3	15	5	5	25	5	5	25	5	5	25			
Tijd		5	3	15	5	3	15	3	5	15	1	1	1			
Kwaliteit		3	5	15	5	5	25	5	5	25	3	3	9			
Veiligheid		1	3	3	5	1	5	1	5	5	1	3	3			
Omgeving		5	5	25	5	5	25	5	3	15	1	5	5			
Risikogetal		73			95			85			43					
Beheersmaatregelen																
Geld		ontwikkelingskosten afschrijven			Zorgen dat er minder onbekenden zijn			Pilot uitvoeren			ontwikkelingskosten afschrijven					
		alleen toepassen bij voldoende ruimte						Standaard breedte geotextiel vergroten			Alleen toepassen bij weinig ruimte					
Tijd		Eerst testen op pilotgebied			Andere techniek toepassen			Andere techniek toepassen			Een goede planning aanhouden					
								goed plannen van realisatie								
Kwaliteit		Eerst testen op pilotgebied			Andere techniek toepassen			Een sterkere variant geotextiel toepassen			Aparte monitoring					
											Pilot uitvoeren					
		Uitvoeren in los te koppelen componenten			Monitoring tijdens realisatie						Componenten controleren					
Veiligheid		Gedegen grondonderzoek uitvoeren			Andere techniek toepassen			Bouwputten verstevigen met damwanden			Tijdens hoog water visuele inspecties uitvoeren					
		Geen realisatie tijdens hoog water			ontstaan gat opvullen met klei			Geen realisatie tijdens hoog water								
Omgeving		Omgeving informeren			Omgeving informeren			Strakke planning aanhouden			Omgeving tijdig informeren					
		uitwijken naar een minder omgevingsonvriendelijke toepassing			alleen toepassen bij voldoende ruimte											
Restrisico's		K	W	R	K	W	R	K	W	R	K	W	R			
Geld		1	3	3	5	5	25	3	5	15	1	5	5			
Tijd		1	3	3	5	3	15	3	3	9	1	1	1			
Kwaliteit		1	5	5	5	5	25	3	5	15	1	3	3			
Veiligheid		1	1	1	5	1	5	1	3	3	1	3	3			
Omgeving		3	3	9	3	5	15	3	3	9	1	1	1			
Restrisicogetal		21			85			51			13					
Raakvlakken																
Soort		Raakvlakomschrijving														
Extern		Ook effecten van andere faalmechanismen meenemen			0			0			0			1		
		Storingsgevoeligheid			1			1			0			0		
		introduceren van risico's			1			1			0			0		
		Ontwerpen van toepassingsvorm			0			1			1			1		
		Ontwerpen van machine			0			1			1			0		
Intern		monitoring			1			1			1			0		
		Controle of het doek recht zit			0			0			1			1		
Kostenindicatie																
Totale kosten		65.000			500.000			500.000			200.000					
Oordeel																
Opsteller:		van Gestel en Trul														
Definitieve varianten:		Pipingscherm en FreemACHINE														
totaal aantal punten		-17,35			-92			-46			-6					

Tabel 3 TOM Werkmethoden

4.8 De meest geschikte werkmethode

Uit de analyse blijkt dat er niet één werkmethode is die overal toegepast kan worden. Er komen twee werkmethoden naar voren, namelijk inbrengen middels een freesmachine en het toepassen van een pipingscherm zijn. Wanneer er langs de dijk belemmerende zaken aanwezig zijn, zoals bebouwing en wegen is de beste manier om het verticaal zanddicht geotextiel toe te passen het plaatsen van een pipingscherm. Wanneer er geen belemmerende zaken aanwezig zijn, kan het geotextiel het beste ingebracht worden doormiddel van een freesmachine.

Monitoring

Monitoring is mogelijk als er alleen een geotextiel in de grond wordt geplaatst. De beste methode om dit te doen is middels een freesmachine. Als er geen belemmerende obstakels aanwezig zijn is het toepassen van deze techniek de beste optie. Het belang van monitoren is dan groter dan het omgevingsbelang.

Omgeving

Wanneer er onvoldoende ruimte langs de dijk aanwezig is om met een freesmachine te werken is de beste manier om het verticaal zanddicht geotextiel toe te passen het gebruik maken van een pipingscherm. Het omgevingsbelang is dan groter dan het belang van monitoren. De omgeving zal slecht enkele dagen last hebben van de installatie van de pipingschermen. Na realisatie is er niets meer van de techniek te zien en zal de omgeving geen last ondervinden.

Overgang tussen pipingscherm en freesmachine

Wanneer er langs een pipinggevoelig traject belemmerende obstakels afgewisseld worden door trajecten met voldoende ruimte dienen beide werkmethoden toegepast te worden. Als dit het geval is dient het losse geotextiel aan te sluiten op het pipingscherm. Deze hard naar zacht verbinding zal worden gemaakt door aan het verticaal zanddicht geotextiel een koppeling te maken, die overeenkomt met de koppeling aan het pipingscherm. De startmaatregel bij de overgang van het pipingscherm naar het verticaal zanddicht geotextiel is deze koppeling. De eindmaatregel is een zelfde koppeling zijn. Mocht de maatregel uitgebreid moeten worden dan wordt hierop aangesloten. Uit een gesprek met de heer Jan van Dijk(Dijk, Voortgangsgesprek 17-05-2013, 2013) blijkt dat het aanbrengen van beide werkmethoden de volgende kosten met zich meebrengen, zie tabel 4.

	Freesmachine	Pipingscherm
Plaatsen materieel	€2500,-	€2500,-
Verplaatsen materieel	€1500,-	€750,-
Aanleg per strekkende meter	€65,-	€200,-
Start- of eindmaatregel	€1500,-	

Tabel 4 Kosten werkmethoden

Het omslagpunt, wanneer welke techniek toegepast dient te worden, is berekend op basis van de kosten. De vaste kosten om gebruikt te maken van de freesmachine bedragen $1500 \cdot 3 + 2500 = 7000$ euro. De vaste kosten voor het plaatsen van pipingschermen bedraagt $750 + 2500 = 3250$ euro. De kostprijs voor het werken met een freesmachine is $7000 + 65 \cdot \text{de te realiseren afstand in meters}$. De kostprijs voor het pipingscherm is $3250 + 200 \cdot \text{de te realiseren afstand in meters}$. De te realiseren afstand is variabel. Het omslagpunt ligt dus op het punt dat $7000 + 65X = 3250 + 200X$, dit is gelijk aan $3750 = 135X$, de afstand is dus $3750 / 135 = 27,8$ meter. Omdat aansluiting van hard (pipingscherm) naar zacht (geotextiel) risico's met zich meebrengt wordt een veiligheidsfactor van 2 meegerekend. Dit betekent dat het traject waar de freesmachine moet werken minimaal $27,8 \cdot 2 = 55,6$ meter moet zijn. Omdat de grote van de veiligheidsfactor discutabel is wordt deze afstand afgerond op 50 meter. De vuistregel is dus, bij een traject van minimaal 50 meter waar voldoende ruimte is, verticaal zanddicht geotextiel toepassen middels een freesmachine, in alle andere gevallen pipingschermen toepassen.

5 Haalbaarheid

In dit hoofdstuk wordt het verticaal zanddicht geotextiel getest op haalbaarheid. Er zijn twee geschikte werkmethoden ontwikkeld om het geotextiel verticaal aan te brengen. Dit is de methode waarbij met behulp van een freesmachine een sleuf wordt gegraven waarin het geotextiel wordt aangebracht. De andere methode is het pipingscherm. Beide methoden worden in dit hoofdstuk getest op de kosten, ruimtelijke consequenties, controleerbaarheid en maakbaarheid.

5.1 Pilotgebied

Aan het pilotgebied zijn een aantal eisen gesteld. Zo moet het een gebied zijn waar sprake is van piping, de dijk is van klei en gefundeerd op zand, beide technieken moeten worden toegepast en het moet een eenvoudig gebied zijn. Met dat laatste wordt bedoeld dat er geen factoren een rol spelen waar geen controle op is. Een voorbeeld van een pilot die mislukt is doordat er factoren van een buitenaf een rol speelde is een proef met het uitzetten van karpers.

In de pilot met het uitzetten van de karpers was het beoogde resultaat om de watergang schoon te houden van planten. Na het kweken van de karpers werden ze uitgezet in een watergang nabij de spoorlijn. Binnen enkele dagen waren alle karpers overleden. Na onderzoek bleek dat dit kwam door de trillingen van de treinen die over de spoorlijn kwamen.

In het voorbeeld komt duidelijk naar voren dat de spoorlijn een factor is waar geen rekening mee is gehouden. Het pilotgebied is hier fout gekozen. Om te onderzoeken of karpers echt de watergang schoon houden had men beter een kleine watergang in een rustig gebied kunnen kiezen. Het is de bedoeling om klein en eenvoudig te beginnen bij een pilotgebied en dit later uit te breiden. Als een test bij een eenvoudig pilotgebied al niet werkt dan zal het in een complexere situatie zeker niet werken.



Figuur 22 Pilotgebied Gendt(Google maps, 2013)

Een pilotgebied wat aan alle eisen is voldoet is het gebied nabij Gendt aan de Waal, zie figuur 22. Het pilotgebied Gendt bevindt zich in dijkkring 43 Betuwe/Tieler en Culemborgerwaarden. De keuze voor dit gebied komt voort uit een bezoek van verschillende gebieden met Wim Cornelisse, dijkbeheerder van Waterschap Rivierenland (Cornelisse, 2013). Het gebied bestaat uit grasland en er loopt een weg de dijk op, dus een eenvoudig gebied zonder ongewenste factoren. Beide technieken zijn hier noodzakelijk om het geotextiel aan te brengen. In de open ruimte wordt de freesmachine gebruikt en nabij en onder de weg wordt het pipingscherm toegepast.

De belangrijkste onderbouwing voor het pilotgebied Gendt is dat er bij het laatste hoog water (december 2012) sprake was van piping. In figuur 23 is een zandmeevoerende wel zichtbaar van het laatste hoge water. Daarnaast is de dijk opgebouwd uit klei en gefundeerd op een zandpakket.



Figuur 23 Foto Zandmeevoerende wel

5.2 Ondergrond en profiel

Om te bepalen op welke diepte het zanddicht verticaal geotextiel is het belangrijk om over gegevens van de ondergrond te beschikken. Het geotextiel moet geplaatst op de scheiding van de kleilaag en het zandpakket. Gezien de tijd van het onderzoek is het onmogelijk om gedetailleerd grondonderzoek uit te voeren. Er is daarom gebruik gemaakt van bestaande gegevens (dinoloket, 2013).

In totaal zijn er 23 boringen in en om het pilotgebied onderzocht, zie bijlage 16. De belangrijkste gegevens die hier uit gehaald zijn is de dikte van de kleilaag, de hoogte van het maaiveld t.o.v. N.A.P. en het begin van het zandpakket t.o.v. N.A.P. Het probleem is echter dat dit boringen zijn op één punt en niet van het gehele pilotgebied. Om de dikte van de kleilaag in het gehele pilotgebied te bepalen zijn de gegevens geïnterpoleerd. Zo is duidelijk zichtbaar hoe de dikte van de kleilaag is over het gehele pilotgebied. De dikte van de kleilaag in het pilotgebied is zichtbaar in bijlage 17. Duidelijk zichtbaar op de kaart is de rivierduin met de dunste kleilaag, hier is de zandmeevoerende wel aangetroffen.

5.3 Toepassing geotextiel met freesmachine

Over een lengte van 276 meter vanaf de waterzuivering tot aan de weg wordt het geotextiel aangebracht met behulp van een freesmachine. Hier is alleen maar grasland en er zijn geen obstakels die werken met de freesmachine bemoeilijken, zie bijlage 17. De kleilaag varieert over deze afstand tussen 2.40 meter en de 1.90 meter. Aan de westzijde (bij de waterzuivering is de kleilaag het dikst). Vervolgens wordt de kleilaag dunner tot een minima van 1.90 meter. Aan de oostzijde loopt vervolgens de kleilaag weer op tot 2.23 meter. Er is dus geen mooie rechte scheidingslaag. Het

geotextiel zal minimaal 0.50 meter in het zandpakket moeten worden geplaatst en 0.50 meter als verankering in de klei. Het geotextiel heeft een breedte van één meter.

Om het probleem van de variërende scheidingslaag te omzeilen zal de freesmachine gestuurd worden door een laser. Zo kan het geotextiel precies op de goede diepte worden geplaatst. Het geotextiel wordt via vaste stangen in de cassette naar de gewenste diepte geleid en verticaal uit de cassette getrokken. Op deze manier wordt ook het aan het geotextiel vastzittende glasvezel aangebracht in de grond.

De kosten voor het aanbrengen van het geotextiel met een freesmachine bedraagt €40 per strekkende meter. Daarnaast komen er extra kosten voor de aanpassing van een freesmachine die een geotextiel kan aanbrengen. Voor de eerste tien kilometer zal er per strekkende meter €25 afschrijving van ontwikkelingskosten bijkomen. Dit betekent dat de prijs per strekkende meter oploopt tot €65. Deze prijs is inclusief personeelskosten. Verder komt er een extra vast bedrag bij van € 7000 bij voor het plaatsen en verplaatsen van het materieel. De totale kosten zullen uitkomen op $65 \cdot 276 + 7000 = €24940,-$ (Dijk, Voortgangsgesprek 06-05-2013, 2013)

De freesmachine kan 30 tot 50 meter per uur verwerken. Dit betekent dat binnen één dag het geotextiel over lengte van 276 meter kan worden aangebracht.

Wat belangrijk is bij deze methode is dat de bovenlaag weer goed wordt afgedekt. De eerste meter moet zeker weer opgevuld met klei, om zodoende geen zwakke plek te creëren.

5.4 Toepassing pipingscherm

Aan de oostzijde van het pilotgebied komt er een weg de dijk op. Vanaf hier is het niet meer mogelijk om gebruik te maken van de freesmachine. Hier wordt het pipingscherm toegepast. De variatie van de kleilaag schommelt hier tussen 2.26 meter en de 2.36 meter. De totale lengte waarover het pipingscherm moet worden toegepast bedraagt 17 meter. Dit is een stuk breder dan de weg zelf.

Hier is bewust voor gekozen, omdat langs de weg geen freesmachine kan worden gebruikt.

Het pipingscherm moet minimaal 0.50 meter in het zandpakket zitten en 0.50 meter in de klei verankerd zijn. De totale diepte van het pipingscherm is maximaal 2.86 meter. Met deze diepte zit het pipingscherm overal op de juiste diepte.

Daarnaast moet het pipingscherm een minimale doorlatendheid hebben van 50%. Als dit niet zo is stroomt er water onder het pipingscherm door, wat de gewenste werking van de techniek zal bemoeilijken. De kosten voor het aanbrengen van een pipingscherm bedragen €200,- per strekkende meter. De plaatsing en verplaatsing van het materieel kost €3250. De totale kosten voor het aanbrengen van het pipingscherm bedragen $17 \cdot 200 + 3250 = €6650,-$ (Dijk, Voortgangsgesprek 06-05-2013, 2013)

De werkzaamheden zullen bestaan uit het uitfrezen van de verharde weg en het aanbrengen van het pipingscherm in de ondergrond. In totaal zal dit één dag werk zijn. De weg op de dijk wordt afgesloten, omdat de machine die het pipingscherm aanbrengt deze blokkeert. Er zijn voldoende mogelijkheden tot omleiding van het verkeer.

5.5 Totale toepassing

De totale kosten om de waterkering weer te laten voldoen aan de normen van piping zullen uitkomen op $24940 + 6650 = €31590,-$. De totale werktijd zal uitkomen op twee dagen.

Een belangrijk aandachtspunt in dit pilotgebied is de lastige overgang van het geotextiel naar het pipingscherm. Dit is een overgang van zacht (geotextiel) naar hard (pipingscherm). Om deze overgang goed te laten verlopen wordt er aan het geotextieleen gelijke koppeling gemaakt als aan het pipingscherm. Zo ontstaat er een start maatregel waaraan het pipingscherm kan worden vastgemaakt. Tevens zal er ook een start maatregel worden aangebracht nabij de waterzuivering (gele spot in bijlage 16). Hier kan in de toekomst dan eventueel het geotextiel worden verlengd met pipingschermen.

Beide technieken kunnen in één pilotgebied worden uitgewerkt.

6 Conclusie, aanbevelingen en reflectie

De beste techniek om aan de nieuwe norm van piping te voldoen, waarbij een optimale balans is tussen kosten, ruimtelijke consequenties, maakbaarheid en contoleerbaarheid is het verticaal zanddicht geotextiel. Het verticaal zanddicht geotextiel laat het water door, maar houdt het zand tegen. Het geotextiel dient in de teen van de dijk te worden aangebracht, zodoende zal het doek het pipingproces altijd stopt. De techniek is rekenregel onafhankelijk, dit betekent dat toepassing van geotextiel altijd gedaan kan worden onafhankelijk van de berekende benodigde kwelweglengte. In vergelijking met andere techniek is het verticaal zanddicht geotextiel het goedkoopst. De ruimtelijke consequentie voor toepassing van deze techniek is dat er tijdens realisatie overlast is voor de omgeving. Na realisatie zal er niets te zien zijn van deze techniek en kan de functie van het binnenland onverstoord gehandhaafd blijven.

Voor de maakbaarheid van deze techniek in een dijk is er niet één werkmethode te hanteren. Er zijn twee werkmethoden opgesteld. Welke werkmethode er moet worden toegepast is afhankelijk van de omgeving rondom de dijk. Zijn er op of naast de dijk huizen, wegen en of andere belemmerende elementen aanwezig dan dient te worden gekozen voor toepassing van een pipingscherm (geotextiel verwerkt in een kunststof damwand). Is er voldoende ruimte om de dijk dan dient het verticaal zanddicht geotextiel aangebracht te worden middels een freesmACHINE. Een combinatie van beide technieken is mogelijk en in vele gevallen noodzakelijk. Wanneer bij een te verbeteren traject langs de dijk van minimaal 50 meter ruimte is dan dient het geotextiel ingebracht te worden met een freesmACHINE, in alle andere gevallen dient het pipingscherm toegepast te worden.

Wanneer het geotextiel ingebracht wordt met een freesmACHINE dan is deze techniek controleerbaar door in het geotextiel verwerkte glasvezel draden. Als het geotextiel wordt toegepast in de vorm van een pipingscherm dan kan niet met glasvezel gemonitord worden. De techniek is dan controleerbaar door steekproefsgewijs een scherm uit de grond te halen en deze te controleren. Het voordeel van beide werkmethoden is dat het een robuuste oplossing is. Alle materialen gaan ruim vijftig jaar mee en dus zijn aanpassing op de korte termijn niet noodzakelijk.

Piping is een faalmechanisme van een dijk wat de laatste tijd zeer actueel is, omdat Deltares en Rijkswaterstaat samen de huidige normen voor piping hebben onderzocht. Hieruit blijkt dat de huidige normen niet voldoende veiligheid garanderen en dat piping jarenlang een onderschat faalmechanisme is geweest. Er is daarom een nieuwe rekenregel van Sellemeijer opgesteld, welke in de toekomst waarschijnlijk wetgeving wordt. Als de nieuwe rekenregel vigerend wordt, dan zal 60% van de dijken niet meer voldoen. Met de huidige technieken, een pipingberm of een kwelscherm, wordt aanpassing van dijken door de nieuwe norm te kostbaar en/of te belasten voor de omgeving. Vandaar dat op zoek is gegaan naar een innovatie techniek met bijbehorende werkmethode.

Aanbevelingen

Uit het onderzoek blijkt dat er een beste techniek is en dat er twee beste werkmethoden zijn om het verticaal zanddicht geotextiel toe te passen. Wel zijn er nog enkele aanbevelingen die nog extra aandacht verdienen.

De aanbevelingen zijn:

- Verticaal zanddicht geotextiel toepassen met een freesmACHINE of als pipingscherm.
- Bij meer dan vijftig meter ruimte langs de dijk het geotextiel aanbrengen met een freesmACHINE.
- Bij minder dan vijftig meter ruimte langs de dijk het geotextiel aanbrengen met een pipingscherm.

- Vervolgonderzoek naar toepassing van de werkmethode in de praktijk en een vervolgonderzoek naar de technische ontwikkeling van de freesmachine en het pipingscherm.
- Het zoeken van oplossingen voor monitoren bij een pipingscherm.
- Optimalisatie van het materiaal en materieel, denk aan een zo efficiënt mogelijk freesmachine en de ontwikkeling van een zo robuust mogelijk pipingscherm.
- Het pipingscherm eventueel verkleinen, veel kunststof damwand gaat nu verloren in de grond.
- Voordat de nieuwe werkmethoden grootscheeps worden toegepast, dienen deze eerst getest te worden in een pilotgebied. Hier dient de aanbreng en de werking van de techniek te worden onderzocht. Met name in de periode van hoog water is dit belangrijk.
- Voordat het verticaal zanddicht geotextiel middels de geschikte werkmethode wordt aangebracht in een dijk, is gedetailleerd bodemonderzoek noodzakelijk. Het is belangrijk om te weten waar de scheidingslaag zit tussen het zand en de klei. Hier moet het verticaal zanddicht geotextiel geplaatst worden en in elke situatie is de diepte van deze laag anders.
- Voor het aanbrengen van de technieken in een dijk eerst een KLIC melding uitvoeren om te controleren of er kabels en leidingen aanwezig zijn.
- Onderzoek of met het pipingscherm ook andere faalmechanismen, zoals macroinstabiliteit kunnen worden opgelost.

Reflectie

Uit dit onderzoek zijn twee werkmethoden naar voren gekomen die ervoor zorgen dat het verticaal zanddicht geotextiel kan worden toegepast en dijken dus voldoen aan de nieuwe norm van piping. Er zijn wel een aantal momenten in het onderzoek die een kritische blik verdienen. In dit onderzoek wordt twee keer een keuze gemaakt met behulp van Trade-off Matrix. De uitkomst van deze analyse is enigszins discutabel, omdat er voor verschillende punten aannames zijn gedaan. De aannames zijn onder andere gedaan op basis van gesprekken met bedrijven die hun product zo goed mogelijk proberen te verkopen. Ook het toekennen van een bepaalde waarde aan criteria binnen de Trade-off Matrix kan leiden tot andere uitkomsten. Over de innovatieve technieken en de nieuwe werkmethoden is nog weinig bekend. De analyses zijn zo waarheidsgetrouw mogelijk opgesteld. Gezien het tijdgebrek is er bij het haalbaarheidsonderzoek geen veldwerk uitgevoerd. De gegevens van de ondergrond van het pilotgebied zijn afkomstig van dinoloket. Dit is een betrouwbare organisatie, maar sommige boringen zijn al enkele jaren oud en komen dus wellicht niet meer overeen met de bestaande situatie.

Bijlagen

Bijlage 1: Wetgeving

Bijlage 2: Herziening Technisch Rapport Zandmeevoerende Wellen

Bijlage 3: Pipingberm

Bijlage 4: Kwelscherm (kunststof, cement-bentoniet, mixed in place, staal en kort staal)

Bijlage 5: Waterontspanner

Bijlage 6: Binnendijkse waterstandsverhoging of buitendijkse waterstandsverlaging

Bijlage 7: DMC-systeem

Bijlage 8: BioGrout koffer

Bijlage 9: Verticaal zanddicht geotextiel

Bijlage 10: Opkisten

Bijlage 11: TOM technieken

Bijlage 12: Freesmachine

Bijlage 13: Verticaal inbrengen middels drukmes

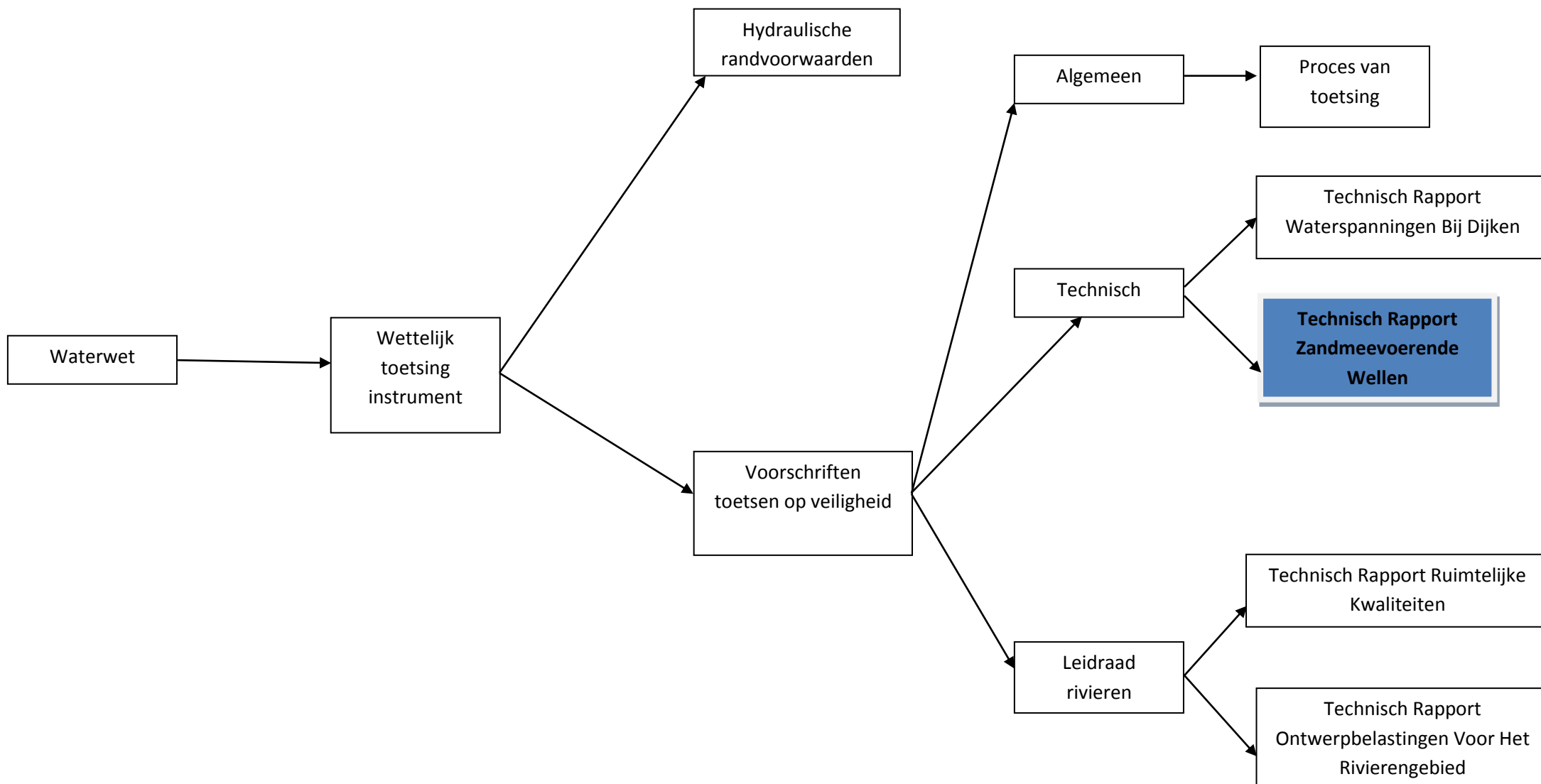
Bijlage 14: Horizontaal inbrengen

Bijlage 15: Pipingscherm

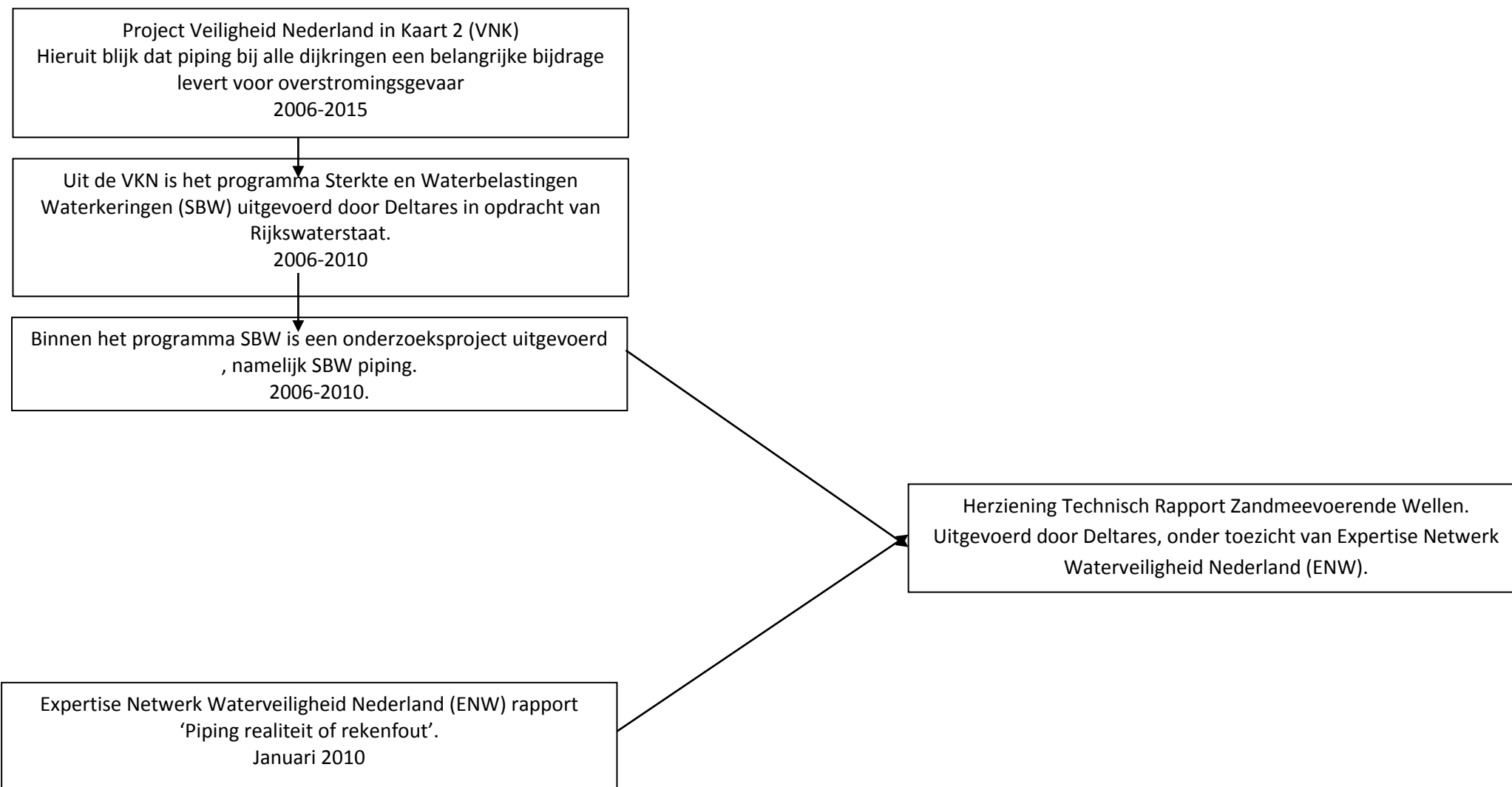
Bijlage 16: Pilotgebied boorpunten Gendt

Bijlage 17: Dikte kleilaag

Bijlage 1: Wetgeving



Bijlage 2: Herziening Technisch Rapport Zandmeevoerende Wellen



Bijlage 3: Pipingberm

Kritieke eisen

Een pipingberm voldoet aan de kritieke eisen. Het is een geschikte techniek tegen piping en gaat ruim vijftig jaar mee. De kwelweg van dertig meter is haalbaar door toepassing van een pipingberm. De pipingberm moet namelijk net zo lang zijn als de kwelweglengte.

Risico's

- **Geld:** De kans is klein dat door onvoorziene omstandigheden de toe te passen techniek duurder wordt. Het effect is dat het toepassen duurder wordt, maar de uitvoer zal door moeten gaan, omdat de dijken moeten voldoen aan de normen. Het effect is dus klein. Een gemiddelde kans maal een klein effect betekent een relatief klein risico
- **Tijd:** Er is een kleine kans dat wanneer er veel actoren betrokken zijn het traject tot de daadwerkelijk uitvoer lang zal duren, de techniek wordt namelijk veel toegepast. Het effect is dat de dijk langer niet voldoet aan de norm. Dijken met een zeer hoge prioriteit worden ondanks de kans toch aangepakt. Het effect is dus klein. Dit resulteert dus in een klein risico.
- **Kwaliteit:** De kans dat de kwaliteit niet goed zal zijn is zeer klein, omdat dit een vaak toegepaste en bewezen techniek is. Het effect wanneer de berm een slechte kwaliteit zou hebben is relatief klein, beginnende piping zal tijdens inspectieronden worden aangetroffen. Het risico is dus klein te noemen.
- **Veiligheid:** De kans dat de veiligheid in het geding komt bij toepassing van deze techniek is klein. Het eventueel voorkomen van piping verschijnselen zal worden opgemerkt tijdens inspectieronden. Een andere factor die de kans op onveilige situaties vermindert is dat deze techniek ook de macro-instabiliteit verkleint. Het effect wanneer de pipingberm niet goed functioneert is relatief klein. Kleine aanpassing kunnen worden gedaan, zodat piping niet zal leiden tot gevaarlijke situaties. Het risico is klein.
- **Omgeving:** De kans dat de omgeving wordt verstoord door het aanleggen van een pipingberm is groot. Er zal namelijk gewerkt moeten worden met zwaar materieel en alles op de locatie waar de berm wordt aangelegd moet wijken. Het effect voor de omgeving is groot, omdat het gehele landschap wordt veranderd en niet alle huidige functies van de desbetreffende locatie gewaarborgd kunnen worden. Het risico voor de omgeving is dus hoog.

Raakvlakken

Raakvlakken met andere faalmechanismen

Het effect van een pipingberm is niet alleen dat het pipingprobleem wordt opgelost, maar ook dat het een positief effect heeft op de macro-instabiliteit van de dijk. De pipingberm zorgt ervoor dat er extra tegendruk zal zijn bij eventueel stabiliteitsverlies.

Storingsgevoeligheid

De pipingberm is niet storingsgevoelig, de techniek werkt namelijk niet door middel van storingsgevoelige onderdelen.

Introduceren van risico's

Bij een pipingberm worden geen negatieve neveneffecten verwacht. Het is een robuust systeem zonder bijwerkingen voor de veiligheid van de waterkering.

Kans op vervuiling door gebruikt materiaal

Er dient rekening gehouden te worden met de kwaliteit van de aan te voeren grond. De grond dient getest te worden op de aanwezigheid van niet toegestane stoffen. Wanneer de grond schoon verklaard is mag het toegepast worden.

Monitoring

Monitoring na het aanleggen van de pipingberm kan gedaan worden in de vorm van visuele inspecties. Wanneer meer gedetailleerde monitoring gewenst is dient er extra meetapparatuur geïnstalleerd te worden. Op monitoring scoort de pipingberm dus laag.

Omgeving

Het aanleggen van een pipingberm is een grote ingreep. Alles wat binnen de vereiste pipingberm lengte valt moet tijdens de aanleg wijken. Ook dient er met zwaar materieel gewerkt te worden, omdat er grote hoeveelheden grond toegevoegd dienen te worden. Dit zorgt voor geluidshinder, wat een negatief effect heeft op bijvoorbeeld wonen/werken, ecologie en recreatie. Door de grote overlast als gevolg van deze techniek wordt het effect tijdens aanleg becijferd met een 1, dus zeer negatief.

Het effect na aanleg voor de omgeving is afhankelijk van de functie aan de binnenzijde van de dijk. Over het algemeen is het grootste nadeel van een pipingberm dat het beeld van de dijk veranderd. Functies zoals landbouw, recreatie en ecologie blijven mogelijk. Afhankelijk van de hoogte van de aan te leggen pipingberm wordt het negatieve effect voor bijvoorbeeld de landbouw groter, omdat de percelen minder goed toegankelijk worden. Het effect na aanleg wordt becijferd met een 4.

Het gemiddelde cijfer voor het effect op de omgeving van een pipingberm is dus $(4+1)/2 = 2,5$

Financiën

Wanneer een pipingberm wordt aangelegd dienen er veel kosten gemaakt te worden. Er kan bijvoorbeeld gedacht worden aan het aanvoeren en opbrengen van grond en het schadeloos stellen van grondeigenaren en omwonenden. Wanneer de pipingberm eenmaal aangelegd is hoeven er in principe geen kosten meer gemaakt te worden. De financiën omtrent het aanleggen van een pipingberm worden laag becijferd, omdat het een relatief dure ingreep is. Het cijfer wordt een 3.

Beheer

Een aangelegde pipingberm vergt relatief weinig beheer. Het beheer beperkt zich tot het maaien van de berm, het voorkomen van houtgroei. Wanneer de pipingberm fungeert als landbouwgrond wordt het beheer beperkt tot het inspecteren. Op beheer scoort de pipingberm een 9.

Kosten

Uit het Technisch Rapport Zandmeevoerende Wellen (Förster, Ham, Calle, & Kruse, 2011) kan een indicatieve waarde worden afgelezen. Er is vanuit gegaan dat er 1 meter grond opgebracht dient te worden. Voor 10m^2 zijn de kosten dan 400 euro (Förster, Ham, Calle, & Kruse, 2011). Aankoop van grond en kosten voor het in gebruik nemen zijn in de berekening voor de indicatieve waarde niet meegenomen. Er is vanuit gegaan dat er grond gebruikt wordt die uit andere projecten is vrij gekomen, hieraan zijn dus geen extra kosten verbonden. Voor het in gebruik nemen van het grondoppervlak wordt vanuit gegaan dat deze kosten verwaarloosbaar klein zijn. Overige onvoorziene kosten worden niet in de berekening meegenomen. De kosten voor 1 km dijk bedragen dus $1000 \cdot 30 / 10 \cdot 400 = 1,2$ miljoen.

Bijlage 4: Kwelscherm (kunststof, cement-bentoniet, mixed in place, staal en kort staal)

Kritieke eisen

Kwelschermen zijn een geschikte techniek tegen piping. Grofweg worden kwelschermen toegepast in vier varianten, namelijk mixed in place, kunststof, cement-bentoniet of staal. De levensduur van kunststof, cement-bentoniet en mixed in place kwelschermen (Bauernl, 2007) is ongeveer 100 jaar. Een stalen kwelscherm of een kort stalen kwelscherm gaat ongeveer 50 – 100 jaar mee, dit is echter wel afhankelijk van de zuurtegraad van de ondergrond. Bij zure ondergronden zal het staal aanzienlijk minder lang meegaan. Voor kwelschermen geldt dat de diepte bepaald wordt door de kwelweglente. De diepte van de kwelschermen is 1/3 van de kwelweglente. Dit betekent dat voor 30 meter kwelweglente, de kwelschermen 10 meter diep moeten worden geplaatst. Dit is haalbaar. Alle kwelschermen voldoen aan de kritieke eisen.

Risico's

- Geld: De kans dat het toepassen van kwelschermen duurder uitvalt dan geraamd is klein, de techniek wordt vaak toegepast, dus kosten kunnen redelijk nauwkeurig worden berekend. Het effect van het eventueel duurder worden van de toepassing is klein. Het feit is dat de problemen opgelost dienen te worden, ook als dit duurder wordt. Het effect is dus klein. Dit betekent dat het risico klein is.
- Tijd: De kans dat het toepassen van deze techniek langer gaat duren dan gepland is klein. Het is namelijk een vaak toegepaste techniek, er is dus voldoende kennis om een correcte planning te maken. Het effect wanneer er extra tijd nodig is, is klein. Wanneer er meer tijd besteed moet worden aan het voortraject van de realisatie zal de kans dat de dijk bezwijkt door het desbetreffende faalmechanisme klein zijn, omdat in principe alleen extreme omstandigheden zullen leiden tot dijkdoorbraken. Een kleine kans maal een klein effect betekent dus een klein risico.
- Kwaliteit: De kans dat de kwaliteit van het kwelscherm niet voldoende is, is klein. De materialen worden veel gebruikt, er is veel over bekend. Het effect is echter groot, omdat kwelschermen ondergronds worden aangebracht is monitoring namelijk gecompliceerd. Een falend kwelscherm kan zo langdurig een minder goede veiligheid bieden dan berekend was. Het risico is dus klein * groot is gemiddeld.
Voor korte kwelschermen kan niet worden uitgegaan dat de kans op niet voldoende kwaliteit klein is. Deze techniek is namelijk nog niet vaak toegepast. Er is nog onvoldoende kennis over de effecten van het niet doorlopen van het kwelscherm tot het maaiveld. De kans is dus gemiddeld. Het effect is gelijk aan die van de meer bekendere toegepaste kwelschermen, dus groot. Het risico is gemiddeld*groot is relatief groot.
- Veiligheid: De kans dat de veiligheid in het geding komt door toepassing van een kwelscherm is gemiddeld. Dit komt doordat achter het kwelscherm een kwelstroom verticaal gericht ontstaat, wat kan resulteren in een heave situatie. Door heave valt de korrelspanning weg, wat kan resulteren in verzakking van het kwelscherm en bezwijken van de slecht doorlatende laag. Het effect is gemiddeld, omdat er zo water tussen het scherm door kan stromen en op kan wellen bij de bezweken ondoorlatende laag. Piping kan zo plaatsvinden, met mogelijk desastreuze gevolgen. Het risico is dus gemiddeld.
- Omgeving: De kans dat de omgeving last heeft van de aanleg van een kwelscherm is groot. Er dient namelijk met groot materieel gewerkt te worden. Ook vervuiling van de omgeving door de aanleg van een scherm en uitloging van giftige stoffen vergroot de kans op overlast voor de omgeving. Het effect voor de omgeving is gemiddeld, omdat de aanleg relatief weinig tijd in beslag neemt, de kwelschermen na aanleg niet meer zichtbaar zijn en doordat de meeste

materialen die gebruikt worden niet giftig zijn. Een grote kans maal een gemiddeld effect geeft een relatief groot risico.

Voor korte kwelschermen speelt mee dat er nog onvoldoende bekend is over het opvullen van het ontstane gat boven het kwelscherm. De kans voor een negatief effect voor de omgeving wordt hierom groot geacht. Het effect zal groot zijn, omdat niet bekend is tot wat voor omgevingsonvriendelijke situaties de aanleg van een kort kwelscherm kan leiden. Het risico voor de omgeving van toepassing van een kort kwelscherm is groot*groot is groot.

Raakvlakken

Raakvlakken met andere faalmechanismen

Het voordeel van de aanleg van een kwelscherm is dat niet alleen het pipingprobleem hiermee wordt opgelost, maar ook de kans op instabiliteit van het binnentalud. Een nadeel van een scherm is dat er vanaf binnen- naar buitendijks ook geen water kan stromen. Dit kan resulteren in het onstabiel worden van het binnentalud, dit is dus een negatief neveneffect.

Storingsgevoeligheid

Het functioneren van een kwelscherm is niet afhankelijk van storingsgevoelige onderdelen.

Introduceren van risico's

Een kwelscherm heeft geen negatieve neveneffecten voor de veiligheid van dijk. Hiervoor moet een kwelscherm wel 1/3 keer de lengte hebben van het tekort aan kwelweglengte. Hier wordt in de TOM van uitgegaan. Mocht de lengte korter zijn, dan bestaat de kans op heave. Voor een korte damwand zijn wel negatieve nadelige gevolgen. Zo kan het bereik van een korte damwand niet groot genoeg zijn en zodoende kan er piping boven het scherm ontstaan, het scherm zit dan namelijk onvoldoende ver in de ondoorlatende laag.

Kans op vervuiling door gebruikt materiaal

De kans op vervuiling van het gebied door het gebruik maken van een kunststof kwelscherm is zeer klein. Bij het toepassen van een scherm gemaakt van cement-bentoniet of een mixed in place kwelscherm is er wel een reële kans op vervuiling van de omgeving. Dit komt doordat het materiaal op locatie gemengd wordt, met als gevolg dat er materiaal geknoeid kan worden. Het toepassen van stalen kwelschermen geeft in principe geen vervuiling. Wanneer er gebruik wordt gemaakt van coating van het staal kan dit negatief zijn voor de omgeving, omdat er zo giftige stoffen kunnen uitloggen in de grond.

Monitoring

Toepassing van kwelschermen is een robuuste oplossing om piping tegen te gaan. Het nadeel is dat monitoring van de werking van deze schermen gecompliceerd is. De kwelschermen worden namelijk in de grond geplaatst en zijn niet meer zichtbaar. Betere monitoring kan gerealiseerd door het installeren van meetapparatuur. Als dit niet wordt gedaan blijft de monitoring beperkt tot het visueel inspecteren van de waterkering. Wanneer verschijnselen van piping worden geconstateerd duidt dit erop dat het kwelscherm niet naar behoren functioneert.

Omgeving

Tijdens het inbrengen van kwelschermen is de overlast voor de omgeving aanzienlijk. Afhankelijk van hoe diep het scherm geplaatst dient te worden is de overlast groter. Hoe dieper het kwelscherm aangebracht dient te worden, hoe meer tijd de werkzaamheden in beslag nemen en hoe groter het te gebruiken materieel moet zijn. Om gebruik te kunnen maken van grote machines dienen sommige functies naast de dijk tijdelijk te worden veranderd. Wanneer het scherm in dijk geplaatst wordt kan dit overlast veroorzaken voor een eventueel aanwezige verkeersweg. Het verkeer zal moeten worden omgeleid. Ook het lawaai wat inherent is aan de aanleg van kwelschermen heeft een

negatieve invloed op mens en ecologie. Bij het plaatsen van kwelschermen van cement-bentoniet is er een extra nadelig gevolg voor de omgeving, namelijk het lekken van het cement-bentonietmengsel die op locatie dient te worden gemaakt. Door dit kleine verschil krijgen kunststof en stalen kwelschermen een 4 en cement-bentoniet kwelschermen een 3. Toepassing van een mixed in place kwelscherm zal minder overlast veroorzaken voor de omgeving. Dit komt doordat de grond gemengd wordt met cement, dit wordt gedaan doormiddel van graven en mengen. De geluid- en trillingsoverlast zal minder zijn dan bij het toepassen van de ander varianten. Op dit punt scoort de mixed in place oplossing een 5.

Wanneer een kwelscherm eenmaal is geïnstalleerd zal er in principe weinig overlast zijn voor de omgeving. De schermen verstoren het beeld van het landschap niet. Uitloging van giftige stoffen kan alleen bij gecoate stalen kwelschermen plaatsvinden. Verder kan er bij het gebruik van korte stalen kwelschermen een zwakke plek in de afdekkende laag ontstaan, omdat de damwand niet reikt tot de maaiveld. Dit is het geval bij onvoldoende zorgvuldig opvullen van het ontstane gat boven het kwelscherm. Hierdoor krijgen mixed in place, kunststof en cement-bentoniet kwelschermen een 8, kwelschermen van staal een 7 en korte stalen kwelschermen een 5.

Het cijfer voor een kunststof kwelscherm wordt $(4+8)/2=6$

Het cijfer voor een mixed in place kwelscherm wordt $(5+8)/2=6,5$

Het cijfer voor een cement-bentoniet kwelscherm wordt $(3+8)/2=5,5$

Het cijfer voor een stalen kwelscherm wordt $(4+7)/2=5,5$

Het cijfer voor een kort stalen kwelscherm wordt $(4+5)/2=4,5$

Financiën

De kosten die gemaakt dienen te worden bij het realiseren van een kwelscherm zijn aanzienlijk te noemen. Het toe te passen materiaal dient gekocht te worden, de dijk dient gereed gemaakt te worden voor de werkzaamheden en er moet zwaar materieel bekostigt worden. Verder kunnen er extra kosten in rekening worden gebracht voor het compenseren van overlast, bijvoorbeeld verkeers- of geluidshinder. De kosten van een cement-bentoniet of een stalen kwelscherm zijn aanzienlijk hoger dan die van de andere varianten. Wanneer de techniek eenmaal is toegepast zijn de kosten zeer gering. Omdat de aanleg van cement-bentoniet en stalen kwelschermen aanzienlijk duurder is krijgen deze een 3, de andere varianten krijgen een 4.

Beheer

In principe hoeven de kwelschermen niet beheerd te worden. Het is alleen noodzakelijk om tijdens inspectieronden de werking van de schermen goed te controleren. Wanneer er uit inspectie blijkt dat het scherm niet naar behoren functioneert, zijn aanpassingen kostbaar. Beide zaken afwegend scoort een kwelscherm een 7 op beheer.

Kosten

Er wordt gerekend met een dijkverbeteringstraject van 1 km, waarbij de diepte van het kwelscherm $(1/3)*30$ (benodigde kwelweglengte)=10meter moet worden. Het totale oppervlak van het toe te passen kwelscherm wordt dus $1000*10=10.000m^2$. In onderstaande punten staat per techniek beschreven wat de kosten ongeveer worden. Eventuele extra kosten ter compensatie van hinder worden hierin niet meegerekend. Bij kunststof, mixed in place en stalen kwelschermen wordt een extra bedrag van 3.000 euro bijgerekend voor de mobilisatie en demobilisatie van materieel. Dit bedrag is voor cement-bentoniet aanzienlijk hoger, namelijk 25.000 euro.

- Kunststof kwelscherm: Het toepassen van dit materiaal kost hooguit 75 euro per vierkante meter. Voor het totale traject worden de kosten $75*10.000+3.000=753.000$ euro.

- Mixed in place: De kosten voor de aanleg van een mixed in place kwelscherm kost ongeveer 50 euro per vierkante meter. De totale kosten voor het gehele traject zijn $50 \cdot 10.000 + 3.000 = 503.000$ euro.
- Stalen kwelscherm: Bij een maximale diepte van 10 meter kan gebruik worden gemaakt van een licht stalen kwelscherm. Deze kosten bedragen 123 euro per vierkante meter. Voor het gehele traject kost de aanleg van een stalen kwelscherm $123 \cdot 10.000 + 3000 = 1.233.000$ euro.
- Kort stalen kwelscherm: Doordat er minder materiaal gebruikt hoeft te worden bij het plaatsen van een korte stalen kwelschermen zijn de kosten lager. Het verschil met een stalen kwelscherm is ongeveer 30 %. Dit betekent dat de kosten ongeveer $123 \cdot 0,7 \cdot 10.000 + 3000 = 864.000$ euro zijn.
- Cement-bentoniet kwelscherm: De kosten voor toepassing van cement-bentoniet zijn ongeveer 200 euro per vierkante meter. De totale kosten voor het gehele traject zijn $200 \cdot 10.000 + 25.000 = 2.025.000$

Bijlage 5: Waterontspanner

Kritieke eisen

De waterontspanner is een bewezen techniek tegen piping en is rekenregel onafhankelijk. Onafhankelijk van de benodigde kwelweglengte zal deze techniek functioneren.. Het is nog niet met zekerheid te zeggen dat de techniek vijftig jaar mee gaat, omdat er nog nooit zo lang is getest met deze techniek. Er wordt wel van uitgegaan dat de techniek minimaal vijftig jaar mee gaat. Het voldoet aan de kritieke eisen.

Risico's

- **Geld:** De kans is groot dat toepassing van deze techniek extra kosten met zich mee zal brengen. Het effect is dat er misschien toch uitgeweken wordt naar een andere meer bekende techniek. Voor het uit te geven geld is het effect dus klein. Een grote kans maal een klein effect betekent een gemiddeld risico.
- **Tijd:** De kans dat het toepassen langer gaat duren dan verwacht is groot, het is namelijk slecht eenmaal toegepast in Jaarsveld.. Het effect hiervan is klein, omdat er waarschijnlijk relatief weinig tijd benodigd is om de techniek toe te passen. Het risico is een grote kans maal een klein effect, dus gemiddeld.
- **Kwaliteit:** De kans dat de kwaliteit niet naar behoren is, omdat het een nieuwe techniek betreft is gemiddeld. Het effect hiervan is dat er extra kosten gemaakt dienen te worden en dat er onveiligere situaties kunnen ontstaan. Het effect wordt gemiddeld beoordeeld. Dit betekent een gemiddeld risico.
- **Veiligheid:** Wanneer meerdere grindpalen verstopt raken stijgt de druk in het watervoerende pakket. Hierdoor zal het water de weg van de minste weerstand kiezen. Het water zal dan op enkele punten opwellen, met als gevolg dat er zandmeevoerende wellen ontstaan. De kans dat dit gebeurd is klein, omdat de toegepaste maatregel voldoende vaak zal worden geïnspecteerd. Het effect als er toch zandmeevoerende wellen ontstaan zal gemiddeld zijn, omdat tijdens inspecties deze worden opgemerkt en het niet meteen leidt tot piping en/of instorten van de dijk. Het risico is klein maal gemiddeld, dus relatief klein.
- **Omgeving:** De kans dat de omgeving overlast ondervindt van de aanleg en het functioneren van het systeem is groot. Het effect voor de omgeving is groot, omdat tijdens de aanleg een groot gebied aangepast dient te worden en dat na de aanleg het waterbezwaar op het watersysteem significant toeneemt. Een grote kans maal een groot effect betekent een groot risico.

Raakvlakken

Raakvlakken met andere faalmechanismen

Deze techniek is eigenlijk ontwikkeld voor het oplossen van het faalmechanisme macro-instabiliteit. Omdat door de techniek de waterdruk verminderd wordt, kan het ook toegepast worden om de kans op piping te voorkomen. Bij een dijk waar beide faalmechanismen een rol spelen en een piping-/steunberm niet toegepast kan worden kan deze techniek een oplossing zijn.

Storingsgevoeligheid

Het functioneren van een waterontspanner kan gepaard gaan met pompen en/of automatische schuiven. Deze onderdelen zijn storingsgevoelig. Wanneer een van deze eventuele systemen uitvalt functioneert de maatregel niet meer naar behoren.

Introduceren van risico's

Voor de waterontspanner kan een negatief neveneffect zijn dat er problemen ontstaan door verstopping van meerdere grind-/zandpalen. Met een waterontspanner krijgt het water een

vrijgeleide om onder de dijk door te stormen en via de grindpalen weer uit te stromen. Er ontstaat zo geen piping, omdat het water gecontroleerd gedraineerd wordt. Wel blijft er met een grote stroomsnelheid constant water onder de dijk doorstromen. Wanneer meerder palen verstoep raken, zal de uitstroom beperkt worden tot een aantal koffers. Hier zal de stroomsnelheid toenemen, wat kan resulteren in zandtransport en dus piping.

Kans op vervuiling gebruikt materiaal

Er wordt niet verwacht dat de gebruikte materialen zullen leiden tot vervuiling van de omgeving.

Monitoring

Dit systeem is gericht op het afvoeren van water om de waterspanning in het watervoerende zandpakket te verlagen. Dit wordt gedaan door het continu afvoeren van water door openingen in de slecht doorlatende laag. Monitoring zal vooral gedaan moeten worden door visuele inspecties. Wanneer meer specifieke monitoring van het systeem gewenst is, dient er extra meetapparatuur geïnstalleerd te worden.

Omgeving

Tijdens de aanleg zal het installeren van deze techniek redelijk veel overlast met zich meebrengen. De afstand tussen de buizen is ongeveer 3 meter. Afhankelijk van de hoeveelheid kwel moet er een gebied binnendijks gebruikt worden voor de installatie van deze grindpalen. De overlast tijdens aanleg voor de omgeving zal gelijkwaardig zijn aan die van het installeren van kwelschermen, dus een 4.

Na aanleg blijft er een aanzienlijke overlast voor de omgeving, omdat tijdens natte perioden meer water zal opwellen dan voorheen. Hierdoor wordt het binnendijkse land een stuk natter en moeten de gemalen harder gaan pompen. In sommige gevallen zal zelfs een extra gemaal geïnstalleerd moeten worden. Ook het gebruik van de oppervlakte, waar de palen worden geplaatst, wordt bemoeilijkt. Om de drie meter komt namelijk een paal aan de oppervlakte, waar in natte perioden water uit zal vloeien. De overlast na aanleg wordt met een 4 becijferd. Het cijfer voor het effect op de omgeving wordt dus $4+4/2=4$.

Financiën

Over financiën is nog weinig bekend. De techniek is alleen nog maar toegepast in Jaarsveld. Omdat deze techniek nieuw is, zullen er hoogst waarschijnlijk onvoorziene kosten mee gemoeid zijn. Het cijfer voor de financiën wordt dus iets lager dan die van een cement-bentoniet scherm. Het cijfer wordt een 3.

Beheer

Over het beheer is nog weinig bekend. Wel is duidelijk dat er een aanzienlijke hoeveelheid extra kwelwater afgevoerd zal moeten worden. Het is dus belangrijk dat de watergangen goed beheerd worden. Verder is het denkbaar dat het gebruikte opvulmateriaal (grind of zand) eens in de zoveel tijd moet worden ververs, om verstopping tegen te gaan. Wanneer er afsluiters geïnstalleerd worden, bestaat de kans dat deze vastroesten. Het is belangrijk dat de afsluiters dus regelmatig te gebruiken. Al met al is de verwachting dat er veel beheer aan deze techniek te pas moet komen, wil deze optimaal functioneren. Het cijfer wordt daarom dus een 3.

Kosten

Het blijkt dat de kosten van deze techniek minder zullen zijn dan het toepassen van cement-bentoniet kwelschermen. Uit een gesprek met de heer J. van Dijk(Dijk, Voortgangsgesprek, 2013) blijkt dat de totale kosten ongeveer 600.000 euro zullen zijn.

Bijlage 6: Binnendijkse waterstandsverhoging of buitendijkse waterstandsverlaging

Verlagen buitenwaterstand

Meestal is de buitenwaterstand niet direct te beïnvloeden, behalve door grootschalige maatregelen zoals het programma 'Ruimte voor de Rivier'. Omdat het verlagen van de buitenwaterstand landelijk dient te worden aangepakt en omdat deze maatregel geen garantie voor sowieso 50 jaar geeft wordt deze optie niet verder uitgewerkt.

Verhogen binnenwaterstand

Verhoging van de waterstand binnendijks kan worden gerealiseerd door verhoging van het binnendijkse maaiveld, verhoging van de waterstand in binnendijkse watergangen of door het opzetten van het waterpeil op het maaiveld.

In situaties waar binnendijks geen open water voorkomt is de binnendijkse grondwaterstand die maatgevend is voor piping gelijk aan het maaiveldniveau. Door het maaiveldniveau te verhogen wordt daarom ook de waterstand binnendijks verhoogd. Dit komt in feite overeen met de aanleg van een pipingberm (Förster, Ham, Calle, & Kruse, 2011).

Indien binnendijks waterpartijen voorkomen waarin de waterstand middels stuwen en bemaling wordt beheerst dan is verhoging van de waterstand middels beheersmaatregelen te realiseren. In de praktijk is het alleen mogelijk om het terrein binnendijks te inunderen als er kwelkades of andere voorzieningen aanwezig zijn. Deze voorzieningen zullen deel uit maken van de primaire waterkering en zullen daarom op alle faalmechanismen getoetst moeten worden. Om piping uit te sluiten dient de inundatie te gebeuren middels inlaatduikers of andere voorzieningen. Het verhogen van de binnendijkse waterstand heeft een positieve invloed op de stabiliteit van de waterkering, omdat de gronddruk wordt verhoogt met een extra waterdruk.

Verhoging van de binnendijkse waterstand is in de praktijk vaak alleen mogelijk als beheersmaatregel, door bijvoorbeeld gecontroleerd inunderen van het binnendijkse gebied direct achter de kering. Beheersmaatregelen bieden in de toekomst geen oplossing voor het pipingprobleem.

Alleen verhogen van het binnendijkse maaiveld als maatregel voor een waterstandsverhoging geeft garanties voor de toekomst. Dit komt overeen met de aanleg van een pipingberm, hierom zal de maatregel binnendijkse waterstandsverhoging gelijk scoren op alle punten.

Bijlage 7: DMC-systeem

Kritieke eisen

Het DMC-systeem voldoet aan de kritische eisen. Zo kan piping worden tegengegaan door het reduceren van de waterspanning. De levensduur van het DMC-systeem is 50 jaar. Het systeem is rekenregel onafhankelijk. Voor elke benodigde kwelweglengte zal het systeem werken.

Risico's

- **Geld:** Er bestaat een kans dat de kosten hoger zullen uitvallen dan verwacht. Voor het DMC-systeem is dit een gemiddelde kans, omdat het systeem een nieuwe innovatieve techniek is. De kans dat de kosten hoger uitvallen is gemiddeld, maar de gevolgen zijn klein. Het risico op de kosten is laag.
- **Tijd:** Aanleggen van het DMC-systeem kan langer duren dan gepland. Het is namelijk een nieuwe techniek met relatief veel elektronica. De kans dat er vertraging in de aanleg wordt opgelopen is gemiddeld en de gevolgen zijn laag, omdat piping niet op korte termijn een gevaar oplevert. Het risico is dus laag.
- **Kwaliteit:** Over de kwaliteit van het DMC-systeem is veel bekend. Er is met succes een proef uitgevoerd bij de IJkdijk. Deze proef is vooral gedaan om uit te vinden in welke mate het mogelijk is om te monitoren wat er in een dijk gebeurt en deze monitoringsresultaten te gebruiken om het systeem te laten functioneren. De werking van het DMC-systeem is afhankelijk van elektrische stroom. Indien er een stroomstoring is, dan werkt het DMC-systeem niet meer. Ondanks de energieafhankelijkheid heeft de DMC buis een faalkans van één op de 200 jaar. Kansen op een slechte kwaliteit zijn gemiddeld, door de werking op elektriciteit. Het gevolg van mindere kwaliteit is gemiddeld, omdat eventuele gebreken snel kunnen worden opgemerkt doordat de techniek gemonitord kan worden op afstand. Het risico is dus gemiddeld.
- **Veiligheid:** Het DMC-systeem is juist een versterking voor de veiligheid. Het DMC-systeem kan namelijk parameters meten die belangrijk zijn voor het functioneren van de dijk. Dankzij het DMC-systeem is snel duidelijk of een dijk onveilig is en wat hiervan de oorzaak is. Er kan dan snel en gericht worden gehandeld. De kans op problemen met de veiligheid zijn klein. De gevolgen van een niet werkend DMC-systeem zijn klein, omdat dankzij de sensoren snel zichtbaar is wanneer het systeem niet meer werkt. Het risico op veiligheid is klein.
- **Omgeving:** Het DMC-systeem geeft weinig last voor de omgeving. Tijdens de aanleg is er wat overlast, maar de kans dat hier wat fout gaat is klein. Na de aanleg blijven er wel enkele putten zichtbaar in de dijk. Deze putten zijn nodig voor het onderhoud en monitoring. De kans op overlast voor de omgeving is gemiddeld en de gevolgen zijn klein. Het risico voor de omgeving is laag.

Raakvlakken

Raakvlakken met andere faalmechanismen

Het DMC-systeem kan wel gebruikt worden voor macro- en micro-instabiliteit, maar niet tegelijk met piping. De diepte en locatie van het DMC-systeem in de dijk is verschillend voor deze drie faalmechanismen. Als het DMC-systeem er ligt voor piping, dan kan het geen ander faalmechanisme bestrijden.

Storingsgevoeligheid

Het DMC-systeem zal alleen functioneren als de pompen het overtollige water uit de waterkering zullen pompen. Deze elektrische en mechanische onderdelen kunnen door bepaalde omstandigheden kapot gaan of falen door een eventuele energiestoring. Het systeem is hierdoor

storingsgevoelig. Dit risico wordt zo klein mogelijk gemaakt doordat het systeem eens in de maand een voorgeprogrammeerde test ondergaand om de werking te controleren..

Introduceren van risico's

Het systeem zal geen extra risico's introduceren. Dit kan geconcludeerd worden, omdat de installatietechniek veel toegepast wordt bij het realiseren van drinkwaterbronnen en hier worden de risico's goed gemanaged.

Kans op vervuiling door gebruikt materiaal

Het toepassen van een drainagebuis is een veel gebruikte techniek. Er treedt hierbij geen vervuiling op door het gebruikte materiaal. Als boorvloeistof wordt geen bentoniet gebruikt, maar een biologisch afbreekbaar mengsel.

Monitoring

Met het DMC-systeems zijn de processen in de dijk te monitoren. Dankzij de sensoren met de bijbehorende meetapparatuur kunnen zaken als temperatuur en waterspanning worden gemeten. Deze informatie kan op locatie of op afstand worden geraadpleegd. Het functioneren van het systeem kan op een gemakkelijke manier worden gecontroleerd.

Omgeving

Het DMC-systeem geeft weinig last voor de omgeving, omdat het systeem in, onder of in de nabije ondergrond van de dijk zal worden geplaatst. Wel kan de aanleg van het DMC-systeem voor overlast zorgen tijdens aanleg. Om dit probleem te tackelen wordt er om de 150 meter een boring gezet, hierdoor kan er met er kleinere en lichtere machines worden gewerkt dan bij grote aanleg afstanden. Voor de aanleg krijgt het DMC-systeem een 7.

Na de aanleg is er weinig zichtbaar van het DMC-systeem. Wel blijven er in het landschap putten zichtbaar, deze liggen in de dijk. In de putten wordt een pomp geplaatst, deze slaat aan als de waterspanning in de dijk te hoog is, het overtollige water uit de dijk gepompt. Het DMC-systeem krijgt voor na de aanleg een 7.

In totaal scoort het DMC-systeem voor de omgeving een $(7+7)/2=7$.

Financiën

Omdat het toepassen van een DMC buis een nieuwe innovatieve techniek is nog niet precies inzichtelijk wat het financiële plaatje zal zijn. Er zullen elektronische installaties, meters en pompen moeten worden geïnstalleerd. Voor werking van het systeem zal altijd energie nodig zijn, dit brengt extra kosten met zich mee. Uit het gesprek met de heer Bos (Bos, 2013) blijkt dat de kosten relatief hoog zullen zijn. Hierom wordt het cijfer 5 toegekend.

Beheer

Het beheer van een DMC-systeem is goed uit te voeren. Dit omdat er precies kan worden ingegrepen wanneer noodzakelijk. Doordat er gebruikt wordt gemaakt van meettechnieken in het systeem is duidelijk wanneer er onderhoud noodzakelijk is. Onderhoud kan noodzakelijk zijn, omdat het een technische oplossing is die functioneert middels slijtbare elementen. Cijfer een 7.

Kosten

Na een gesprek met de heer Harry Bos van het bedrijf VolkerWessels Telecom (Bos, 2013) is duidelijk geworden dat voor de aanleg van het DMC-systeem een prijs van €2.000.000 per km waterkering moet worden gerekend.

Bijlage 8: BioGrout koffer

Kritieke eisen

De BioGrout koffer voldoet aan alle kritieke eisen. Het is een techniek die werkt tegen piping. BioGrout gaat in principe eeuwig mee en haalt dus met gemak de eis van vijftig jaar. Daarnaast is BioGrout rekenregel onafhankelijk en zodoende geschikt voor elke kwelweglengte.

Risico's

- **Geld:** Er bestaat een reële kans dat de kosten hoger zullen uitvallen dan gepland. Dit komt doordat er nog weinig ervaring is met BioGrout koffers. Hierdoor zijn de precieze kosten nog niet helemaal duidelijk. Zo wordt wel gezegd dat de kosten per volume terug zullen nemen, maar het is niet duidelijk hoeveel dit zal zijn. De kans op overschrijding van de kosten is hoog en de gevolgen zijn klein. Het risico is dus klein.
- **Tijd:** Er bestaat een reële kans dat het proces langer zal duren dan gepland. Dit komt doordat er nog weinig ervaring is met BioGrout koffers. Hierdoor is het nog niet helemaal duidelijk hoe lang het proces zal duren. Het kan dus langer duren dan gepland. De kans op overschrijding van de tijd is hoog en de gevolgen zijn klein. Het risico is dus klein.
- **Kwaliteit:** De kans dat kwaliteit van het BioGrout koffer niet voldoende is, is gemiddeld. Het is een nieuwe techniek die nog weinig in praktijk is getest. De kans dat BioGrout koffer niet werkt is gemiddeld en de gevolgen zijn gemiddeld. Het risico is dus gemiddeld.
- **Veiligheid:** De BioGrout koffer heeft een groot risico voor de veiligheid van het milieu. Er kunnen namelijk toxische stoffen vrijkomen die moeten worden opgevangen. Indien dit niet goed gebeurt kunnen de toxische stoffen in het oppervlaktewater terecht komen. Dit heeft grote gevolgen voor de veiligheid van het milieu. Tevens is het risico voor de veiligheid groot doordat het niet bekend is of het BioGrout zich volledig in de grond heeft ontwikkeld. Wellicht zijn er zwakke plekken in het BioGrout waardoor het water en het zand zich een weg kunnen banen.
- **Omgeving:** Bij de risico's voor de omgeving worden de toxische stoffen niet meegenomen, omdat deze al bij de veiligheid zijn weergegeven. De BioGrout koffer heeft weinig tot geen invloed op de omgeving. Het is in elke situatie toe te passen, met weinig grondverzet. Daarnaast kan het water doorstromen, maar wordt er geen sediment meegevoerd en ontstaat er dus geen pipe. De kans voor de omgeving is klein en de gevolgen zijn eveneens klein. Het risico op de omgeving is laag.

Raakvlakken

Raakvlakken met andere faalmechanismen

Er zijn geen negatieve effecten op andere faalmechanismen door een BioGrout koffer. Het versterkt eerder de stabiliteit van de dijk door de kristallen die bruggen vormen tussen de zandkorrels. Doordat de porositeit van het zandpakket gelijk blijft, zal de waterdruk niet afnemen. Een meetbare verbetering tegen effecten van andere faalmechanismen wordt niet verwacht.

Storingsgevoeligheid

Wanneer deze maatregel functioneert zal er geen kans op storingen zijn, omdat er geen storingsgevoelige onderdelen toegepast worden.

Introduceren van risico's

Bij het gebruik van een BioGrout koffer moeten er in eerste instantie nutriënten worden geïnjecteerd. Dit betekent dat de deklaag van een dijk moet worden aangetast. Het is belangrijk dat het gat weer goed wordt dichtgemaakt. Indien dit niet gebeurt kan er via deze opening een wel ontstaan.

Kans op vervuiling door gebruikt materiaal

Door toepassing van de BioGrout koffer is de kans groot op vervuiling in de omgeving. Dit komt door het gebruik van de benodigde stoffen. Bij het proces komt ammoniumchloride vrij.

Monitoring

De werking en de ontwikkeling van BioGrout is niet monitoren. In de eerste plaats is het al moeilijk te monitoren of het BioGrout zich wel overal heeft ontwikkeld. In het laboratorium is dit gemonitord met behulp van geluid (geofysica), maar in de praktijk is dit een lastig toepasbare optie. Of het BioGrout ook daadwerkelijk werkt in de ondergrond is niet monitoren, maar alleen vast te stellen door inspecties tijdens hoog water.

Omgeving

De aanleg van een BioGrout koffer geeft weinig tot geen overlast voor de omgeving. Er is namelijk geen grondverzet noodzakelijk. Daarnaast is er geen zwaar materiaal nodig om de BioGrout koffer te plaatsen. Er zal weinig tot geen hinder zijn voor de omgeving. Een bijkomend voordeel is dat de BioGrout koffer in elke situatie is toe te passen en na de aanleg is het niet zichtbaar. Voor de aanleg krijgt een deze techniek een 8.

Een nadeel na het aanbrengen van het BioGrout voor de omgeving is dat de afvalstof ammoniumchloride vrij komt. Deze moet tijdig worden onttrokken en verwerkt. Het ammoniumchloride mag niet in het grondwater terecht komen. Wegens dit nadeel krijgt de BioGrout koffer een 4.

In totaal krijgt de BioGrout koffer een $(4+8)/2=6$.

Financiën

De kosten voor BioGrout koffer 1 bedragen €450,- per m³. Dit is exclusief materiaal, boren en injecteren. Naarmate het volume van de behandelde grond toeneemt, neemt de prijs per m³ af. De techniek is vrij duur, dit komt door de kweek van de bacteriën. Wel is de BioGrout koffer een nieuwe techniek die nog niet veel is toegepast. Er kunnen extra onvoorziene kosten bij komen, vanwege de onbekendheid. Daarnaast moeten de toxische afvalstoffen worden opgevangen en verwerkt. Voor de financiën krijgt de BioGrout koffer een 5.

Beheer

Over het beheer van een BioGrout koffer is nog weinig bekend, wel kan de BioGrout koffer weer eenvoudig worden verwijderd door met zuur te spoelen. Het is niet duidelijk of er onderhoud gepleegd kan worden en of dit überhaupt nodig is. Voor het beheer krijgt de BioGrout koffer een 6, vooral omdat het makkelijk te verwijderen is.

Kosten

Er wordt van uitgegaan dat het BioGrout over een lengte van 1000 meter wordt toegepast tot een diepte van 1 meter in het zandpakket en met een breedte van 5 meter. Dit is makkelijk haalbaar door bepaalde injectietechnieken. De totale inhoud van het behandeld oppervlakte is dan $5*1000*1=5000\text{m}^3$. De prijs van het BioGrout is €450 per m³ behandelde grond. De prijs is $5000*450=€2.250.000$. Bovenop deze prijs komen nog eenmalige kosten van €60.000,-. De totale prijs voor BioGrout bedraagt $2.250.000+60.000=€2.310.000$.

BioGrout is een dure oplossing. Dit komt vooral door de kweek van de bacteriën en het doorspoelen van de afvalstof ammoniumchloride.

Bijlage 9: Verticaal zanddicht geotextiel

Kritieke eisen

Door toepassing van verticaal zanddicht geotextiel worden de nieuwe normen van piping gehaald, want er ontstaat geen doorgaande piping. Het bijzondere is dat deze techniek rekenregel onafhankelijk is. Het maakt dus niet uit hoelang de benodigde kwelweglengte is, met het geotextiel wordt het pipingproces gestopt. Het materiaal gaat minimaal 50 jaar mee, maar de verwachting is dat dit 100 jaar of meer zal zijn. Het geotextiel voldoet aan de in de TOM opgenomen kritieke eisen.

Risico's

- **Geld:** Er bestaat een kans dat het aanbrengen van geotextiel meer geld kost dan verwacht. Deze kans is gemiddeld, omdat geotextiel nog niet wordt toegepast op deze manier. Door de onbekendheid kunnen de kosten hoger uitvallen dan verwacht. De kans op hogere kosten is gemiddeld, maar de gevolgen zijn klein. Het risico is laag.
- **Tijd:** Net als voor de kosten bestaat de kans dat de planning niet gehaald worden. Deze kans is gemiddeld, omdat de werkzaamheden waarschijnlijk gelijk zal zijn met het toepassen van drainagefilters of damwanden. Hierdoor zijn de benodigde werkzaamheden globaal al bekend. Het blijft toch een nieuwe techniek met onbekendheden. De kans op vertraging is gemiddeld en de gevolgen zijn klein, omdat piping niet op zeer korte termijn tegengegaan hoeft te worden. Het risico is laag.
- **Kwaliteit:** Over de kwaliteit is nog weinig bekend. Zo is het geotextiel wel al met succes getest bij de IJkdijk. Dit was echter over een periode van acht dagen. In de praktijk is nog nooit geotextiel op deze manier toegepast. Het kan zijn dat er nog twijfels bestaan over de kwaliteit van geotextiel. De kans op falen van de kwaliteit is gemiddeld, net als de gevolgen. Het risico is eveneens gemiddeld.
- **Veiligheid:** De kans dat geotextiel een gevaar is voor de veiligheid is gering. Voor het geotextiel is een goede monitoring beschikbaar, door het toepassen van glasvezelkabels. Dit vergroot de veiligheid. De kans op gevaar voor de veiligheid is klein en de gevolgen zijn klein, omdat eventuele piping snel opgemerkt zal worden. Het risico is laag.
- **Omgeving:** Geotextiel geeft weinig overlast voor de omgeving en is na de aanbreng niet meer zichtbaar in het landschap. Daarnaast heeft geotextiel geen negatieve effecten op het milieu. De kans op overlast voor de omgeving is klein en de gevolgen zijn klein. Het risico voor de omgeving is laag.

Raakvlakken

Raakvlakken met andere faalmechanismen

Geotextiel geeft geen oplossing voor andere faalmechanismen, maar versterkt ander faalmechanismen ook niet. De waterhuishouding wordt niet verstoord, omdat het water door het textiel kan blijven stromen.

Storingsgevoeligheid

De primaire werking van het geotextiel is niet storingsgevoelig, omdat er geen storingsgevoelige onderdelen toegepast worden. Het eventueel disfunctioneren van het glasvezel bemoeilijkt de monitoring van de werking van het systeem, maar zal niet leiden tot onwenselijke situaties.

Introduceren van risico's

Bij de proeven van de IJkdijk zijn enkele negatieve neveneffecten opgetreden. Bij de proef is gebleken dat de pipe gestopt is bij het geotextiel en zodoende piping tegengaat, maar het zandtransport was na 8 dagen nog niet gestopt. Dit zand verplaatste zich horizontaal langs het geotextiel en zodoende ontstaat er een uitgebreide pipe. Behalve dit neveneffect zijn er nog zorgen over de aanleg van het geotextiel. Om het geotextiel in te brengen zal te alle tijde de deklaag moeten worden aangetast. Waarschijnlijk is het geotextiel smaller dan het gat. Hierdoor ontstaat er open ruimte langs en boven het geotextiel. De kans bestaat dat bij hoog water hier een zandmeevoerende wel kan ontstaan.

Kans op vervuiling door gebruikt materiaal

Er bestaat geen kans op vervuiling door toepassing van verticaal zanddicht geotextiel.

Monitoring

De werking van het textiel is goed te monitoren doordat er een glasvezeldraad in het geotextiel is verweven. Hiermee kan veel informatie over de dijk worden ingewonnen. Zo kan de vervorming in de grond en de verandering in temperatuur worden geregistreerd. De processen in de dijk kunnen zo in de gaten worden gehouden, net als de werking van het geotextiel.

Omgeving

De aanbreng van het geotextiel kan tijdelijk hinder opleveren voor de omgeving en omwonenden. Het is nog niet duidelijk hoe toepassing van het materiaal op grote schaal zal moeten worden gedaan. Voor de aanleg krijgt het geotextiel hetzelfde cijfer als voor een kwelscherm, namelijk een 4. De verwachting is namelijk dat aanleg even intensief zal zijn.

Wanneer deze techniek eenmaal is toegepast zal het geen overlast meer geven voor de omgeving. Het materiaal is niet meer zichtbaar en de verwachting is dat het geotextiel voor een lange tijd zal blijven functioneren, waardoor intensief beheer niet nodig zal zijn. Doordat er na aanleg niets meer zichtbaar is voor de omgeving krijgt deze maatregel op dit punt het cijfer 8.

In totaal krijgt geotextiel voor de omgeving een cijfer van $(4+8)/2=6$

Financiën

Over het financiële deel van het toepassen van verticaal zanddicht geotextiel kan nog weinig worden gezegd. De techniek wordt namelijk nog niet in de praktijk toegepast. De verwachting is dat de kosten een stuk lager zullen zijn dan het aanbrengen van een kwelscherm. Omdat het nog onzeker is hoe men deze techniek zal gaan toepassen en welke kosten hiermee verbonden zullen zijn krijgt deze techniek op dit punt een relatief laag cijfer. De verwachting is dat het een relatief goedkoop toepasbare techniek is. Beide zaken afwegend scoort het geotextiel een 5.

Beheer

Verticaal zanddicht geotextiel is een nieuwe techniek. Het is hierom nog onbekend of er beheer en onderhoud aan het geotextiel noodzakelijk zal zijn. Het eventueel dichtslibben van het textiel en de snelheid waarmee dit zal gaan is nog niet duidelijk. Indien onderhoud nodig is, is het nog niet bekend hoe dit moet gebeuren en wat de kosten hiervan zullen zijn. Wel wordt er een glasvezeldraad aangebracht in het geotextiel, waardoor met daarvoor bestemde meetapparatuur vervormingen in de grond kunnen worden aangetoond. Wanneer dit het geval is, kan dit betekenen dat het materiaal niet voldoende goed functioneert. Eventueel beheer en/of onderhoud kan op deze manier inzichtelijk worden gemaakt. Ook kunnen er aan weerszijden van het doek waterspanningsmeters worden geïnstalleerd, wanneer het ene instrument een ander waarde meet dan de andere kan dit erop duiden dat het geotextiel onvoldoende goed doorlatend is, onderhoud is dan noodzakelijk. Het is dus nog niet bekend hoe de techniek beheerd kan en moet worden, maar door de metingen is wel

inzichtelijk wanneer er beheer/onderhoud zal moeten worden uitgevoerd. Als cijfer krijgt geotextiel een 8.

Kosten

Omdat het geotextiel op deze manier nog niet wordt toegepast is het nog niet duidelijk wat het toepassen van deze techniek gaat kosten. De verwachting is dat het goedkoper zal zijn dan het installeren van een kwelscherm. Na een gesprek met de heer J. van Dijk (Dijk, Voortgangsgesprek, 2013) blijkt dat de kosten ongeveer 250.000 euro zullen zijn om het doek langs 1 km dijk aan te brengen.

Bijlage 10: Opkisten

Een representatieve maatregel tegen piping is opkisten zie Hierbij worden rondom een zandmeevoerende wel zandzakken geplaatst. Binnen de zandzakken ontstaat een waterkolom, die tegendruk biedt aan het opwellende water. Het transport van water met sediment wordt hierdoor een halt toegeroepen. Daarnaast wordt op de wel een geotextiel geplaatst, waardoor er geen sediment door het water meegevoerd kan worden. Vaak worden de zandzakken dan op dit geotextiel geplaatst.

Deze maatregel zal echter niet voldoen aan de harde eis om voor meer dan 50 jaar mee te gaan. Opkisten is alleen nuttig als er al een zandmeevoerende wel is aangetroffen. De zandzakken kunnen na het hoge water weer worden verwijderd. Een zandmeevoerende wel geeft een goede indicatie voor plaatsen waar piping optreedt. Hier moeten dan definitieve maatregelen worden getroffen. Het opkisten wordt verder niet onderzocht, omdat het niet voldoet aan de kritieke eisen.

Bijlage 12: Freesmachine

Risico's

Geld

- Ongewenst: De kosten worden te hoog door het aanpassen van de machine en het bouwrijp maken van een terrein met belemmerende objecten, zoals bebouwing, wegen, watergangen enzovoort.
- Kans: Deze is voor beide zaken reëel, omdat het verticaal inbrengen van het geotextiel middels een freesmachine nog niet eerder is gedaan en omdat er op veel locaties sprake is van belemmerende objecten langs de dijk.
- Effect: Er zal onderzoek gedaan worden naar andere technieken om piping tegen te gaan.
- Beheersmaatregel: Om de aanpassingskosten van de machine te beperken moeten deze uitgesmeerd worden over de meterprijs van een tiental kilometers te behandelen dijk. Om te voorkomen dat het bouwrijp maken te duur zal worden, dient deze techniek alleen toegepast te worden op locaties waar voldoende ruimte is om met de reeds benoemde machine te werken.
- Restrisico: De kans dat de kosten te hoog zullen worden, zal door de beheersmaatregelen worden uitgesloten. Er blijft dus geen risico over dat de kosten te hoog zullen worden.

Tijd

- Ongewenst: De oplevering van het in de grond geplaatste geotextiel gaat langer duren dan gepland doordat er problemen voor, tijdens en/of na realisatie zijn.
- Kans: Deze is reëel omdat in de praktijk deze techniek nog niet is toegepast.
- Effect: De opdrachtgever vertrouwt niet meer in deze toepassingstechniek en zal vragen om een aanvaardbare verklaring.
- Beheersmaatregel: De techniek eerst testen op een eenvoudige situatie, zoals bijvoorbeeld een zomerkade en vervolgens opschalen naar moeilijkere situaties.
- Restrisico: De kans wordt door de beheersmaatregelen verkleind. Door onvoorziene omstandigheden, zoals bijvoorbeeld langdurig hoogwater, blijft echter de kans bestaan dat de planning niet gehaald wordt. Het effect blijft gelijk. Het risico wordt beperkt, maar zal niet kunnen worden uitgebannen.

Kwaliteit

- Ongewenst: Het doek blijkt niet juist te zijn geplaatst. Het doek blijkt na een aantal jaren niet meer te functioneren.
- Kans: Deze is reëel omdat het een nieuw toe te passen techniek is en omdat er bij grote afstanden dijk geotextiel zal moeten worden toegepast, de kans dat het doek ergens niet goed zal zitten wordt hierdoor vergroot. De kans dat het doek na een aantal jaren niet meer zal functioneren is klein, omdat uit proeven blijkt dat dichtslibben niet zal gebeuren en de leverancier garandeert dat het doek een levensduur van minimaal 50 jaar heeft.
- Effect: Wanneer het doek niet juist is geplaatst of het niet meer functioneert, dient deze opgegraven te worden. Er dient vervolgens een nieuw doek geplaatst te worden, of er zal uitgeweken moeten worden naar een andere techniek om piping te voorkomen.
- Beheersmaatregel: Om de kans te verkleinen dat het doek niet juist geplaatst zal zijn, dient eerst een pilot in een makkelijke situatie uitgevoerd te worden. Eventuele knelpunten zullen tijdens deze pilot aan het licht komen en zullen voor grootschalige toepassing kunnen worden opgelost. Er kunnen bij de pilot meerdere geotextiel doeken naast elkaar worden geplaatst, deze dienen om de zoveel jaar naar boven worden gehaald en worden gecontroleerd. Op deze manier zal worden gecontroleerd of de door de fabrikant opgegeven

werking en levensduur overeenkomt met de werkelijkheid. Ook dient tijdens realisatie gemonitord te worden of het doek recht zit, eventueel scheef zittend geotextiel zal worden opgemerkt. Tijdens realisatie zal op deze manier de mogelijkheid er zijn om het doek recht te trekken of een deel opnieuw te plaatsen. Ook dient het doek in los te koppelen componenten geplaatst te worden. Deze koppelingen dienen gelijk te zijn aan de waterdichte koppelingen die toegepast worden bij damwanden. Op deze manier zal alleen een component vervangen hoeven worden, wanneer er fouten geconstateerd worden.

- Restrisico: Na het nemen van de beheersmaatregelen blijft er een kleine kans dat de kwaliteit ergens niet op orde zal zijn. Er kan zich altijd een situatie voordoen dat het doek onvoldoende goed geplaatst is en dit niet wordt opgemerkt middels de glasvezelmonitoring.

Veiligheid

- Ongewenst: Door het onvoldoende goed opvullen van de freessleuf kan er op deze locatie een uittredepunt ontstaan. Het pipingproces zal zich voortzetten zonder dat het geotextiel hier enig effect op zal hebben. Verder kan tijdens realisatie het water in de rivier stijgen tot boven het kritiek verval.
- Kans: Deze is klein, omdat door gedegen grondonderzoek berekend kan worden hoe sterk de opvulling van de sleuf minimaal dient te zijn. Door monitoring van het geotextiel en visuele inspecties door de dijkbeheerder zal een eventuele zandmeevoerende wel worden opgemerkt en kan deze worden aangepakt. Verder is de kans dat er tijdens realisatie hoogwater zal zijn uit te sluiten, hierop kan namelijk geanticipeerd worden en tevens zal het waterschap geen toestemming geven om werkzaamheden te verrichten in of om de dijk wanneer er een kans op hoogwater is.
- Effect: Het effect van een pipingkanaal voor het geotextiel langs is niet dat de dijk gelijk zal bezwijken, zandmeevoerende wellen zijn namelijk goed te beheersen door bijvoorbeeld opkisten. In het extreemste geval kan zo'n wel leiden tot een dijkdoorbraak, zodat de veiligheid ernstig in het geding komt. Wanneer er hoogwater zal zijn tijdens realisatie kan dit resulteren in een te grote waterdruk, zodat er water omhoog stroomt op het punt dat de sleuf open is en de waterdruk de nog niet gezette opgevulde sleuf openbreekt. Vooral de veiligheid van de werknemers komt op deze manier in het geding. Verder kan in het extreemste geval de dijk doorbreken, omdat op het punt waar de sleuf open is de dijk zijn stabiliteit kwijt is.
- Beheersmaatregel: Zorgen dat er gedegen onderzoek is uitgevoerd naar de opbouw van de dijk en de waterstanden die de dijk aan moet kunnen. Zo kan worden berekend welke krachten de opgevulde sleuf minimaal aan dient te kunnen. Verder is het belangrijk dat er alleen in perioden wordt gewerkt wanneer er geen hoogwater zal zijn.
- Restrisico: Door onvoldoende goed onderzoek bestaat de kans dat op een bepaald moment de opgevulde sleuf oprast en er een zandmeevoerende wel ontstaat. Deze kans is klein en het effect is dat deze opgemerkt wordt door de monitoring en/of door inspecties van de dijkbeheerder. De kans dat dit zal gebeuren is nihil.

Omgeving

- Ongewenst: Wanneer er belemmerende objecten nabij de dijk zijn, zoals sloten, wegen en/of bebouwing dienen deze elementen 'tijdelijk' te wijken voor toepassing van deze techniek. Ook de aanwezigheid van kabels en leidingen vormt een risico voor toepassing van deze techniek. Verder zal toepassing van de techniek geluidsoverlast met zich meebrengen.
- Kans: Deze is groot, omdat werken met dit materieel alleen mogelijk is als er voldoende ruimte aanwezig is. Ook blijkt in de praktijk dat er op een groot aantal locaties belemmerende zaken aanwezig zijn. De kans dat er geluidsoverlast is voor de omgeving is groot, omdat er met groot materieel gewerkt dient te worden.
- Effect: Sloten zullen tijdelijk gedempt moeten worden. Wegen/opritten zullen tijdelijk verwijderd moeten worden. Uit bebouwing dient 1:1 op uit gebleven te worden met een

minimum van 2 meter. Is dit qua ruimte niet mogelijk dat dient de bebouwing 'tijdelijk' verplaatst of verwijderd te worden. Kabels en leidingen dienen te worden vermeden. Het effect van de geluidsoverlast is klein, omdat dit alleen tijdens de realisatie zal zijn. De machine zal werken met een snelheid van 30 tot 50 meter per uur, geluidsoverlast is hierdoor slechts maximaal enkele dagen een probleem. Toch zal de omgeving kunnen gaan klagen over de geluidsoverlast en schadevergoeding kunnen eisen.

- Beheersmaatregel: Door deze techniek alleen toe te passen op locaties waar geen belemmerende zaken aanwezig zijn wordt voorkomen dat dure en omgeving belastende maatregelen getroffen hoeven te worden. Er dient een Klic-melding gedaan te worden, zodat tijdens realisatie er rekening gehouden kan worden met de aanwezigheid van kabels en leidingen. Wanneer deze haaks onder de dijk door gaan moeten ze tijdelijk wijken. Door de omgeving te informeren over eventuele geluidsoverlast door realisatie en de noodzaak van toepassing uit te leggen wordt voorkomen dat mensen hier tegen in verweer gaan.
- Restrisico: Het restrisico zal zijn dat er overlast ondervonden wordt door het tijdelijk kapot maken van de kabels en leidingen. Ook blijft er een kleine kans bestaan dat sommige actoren in het gebied na toelichting van de noodzaak voor de werkzaamheden weerstand blijven bieden tegen de maatregel.

Raakvlakken

- Effecten van andere faalmechanismen meenemen: Er zal alleen een geotextiel in de grond worden gebracht. Andere faalmechanismen worden hiermee niet verholpen.
- Storingsgevoeligheid: Doordat de machine een aantal handelingen moet doen is er een aannemelijke kans dat het doek ergens niet goed komt te zitten. Er bestaat een reële kans op storingen, maar door de te treffen beheersmaatregelen wordt deze kans verkleind.
- Introduceren risico's: Doordat er een sleuf wordt gegraven bestaat de kans dat het ontgraven materiaal niet op een goede manier wordt teruggebracht. Op een punt waar dit het geval zal zijn, kan het water voor het geotextiel middels het onvoldoende goed opgevulde gat gaan opwellen. Toepassing van deze techniek zorgt dan voor het introduceren van risico's.
- Ontwerpen van toepassingsvorm: Het geotextiel hoeft niet op een andere wijze vervaardigd te worden. Het wordt namelijk als een opgerold doek in een cassette geplaatst en vervolgens uitgerold in de grond.
- Ontwerpen van machine: Er hoeft geen machine ontworpen te worden, een soortgelijke machine bestaat namelijk al. Met deze machine worden folies ingebracht die fungeren als kwelscherm. Enige aanpassingen aan het bestaande materieel zullen wel gedaan moeten worden.
- Monitoring: Door in het geotextiel verwerkte glasvezeldraden kan gemonitord worden of er vervormingen in de grond zullen zijn.
- Controle of het doek recht zit: Als de machine goed functioneert mag verwacht worden dat dit het geval zal zijn. Door het ingeweven glasvezel is te zien of het doek juist is geplaatst.

Kosten

De kosten zullen bestaan uit het eenmalig aanpassen van een machine. Het gebruik maken van en het onderhoud aan het benodigde materieel. Het bouwrijp maken van de teen van de dijk, bijvoorbeeld zorgen dat er geen paaltjes staan en geen sloten meer aanwezig zijn. Ten slotte dient het geotextiel bekostigd te worden. Het aanpassen van de machine kost 250.000 euro de overige kosten zullen 40 euro per strekkende meter zijn. De aanpassingskosten voor de machine worden afgeschreven over de eerste 10 kilometer te behandelen dijk. De totale kosten worden $250.000/10 = 25.000 + 40 \cdot 1000 = 65.000$ euro (Dijk, Voortgangsgesprek 06-05-2013, 2013).

Bijlage 13: Verticaal inbrengen middels drukmes

Risico's

Geld

- Ongewenst: Toepassing van deze techniek wordt te duur doordat er meerder zaken ontwikkeld dienen te worden. Het geotextiel dient op een andere manier vervaardigd te worden en een nieuwe machine moet ontwikkeld worden
- Kans: Deze is groot, omdat ontwikkeling van een nieuwe machine en toepassingsvorm veel onzekerheden met zich meebrengt.
- Effect: De techniek wordt te duur, zodat er uitgeweken wordt naar een bekendere techniek.
- Beheersmaatregel: Zorgen dat er minder onbekenden zijn, de machine op een manier uitvoeren dat het doek niet aangepast hoeft te worden. Zorgen dat het doek zo wordt aangepast dat er geen machine ontwikkeld hoeft te worden.
- Restrisico: Door het nemen van de beheersmaatregelen zal uitgekomen worden op een andere techniek. Dit kan zijn het toepassen middels een freesmachine, hier hoeft alleen een bestaand machine aangepast te worden. Dit kan ook zijn het combineren van het geotextiel met een kunststof damwand, hier hoeft alleen de toepassingsvorm ontwikkeld te worden.

Tijd

- Ongewenst: Het toepassen van deze techniek neemt meer tijd in beslag dan andere technieken, doordat de machine trapsgewijs dient te werken.
- Kans: Dit is groot, omdat in alle gevallen de realisatietijd groter zal zijn dan bij de andere technieken. De werking van deze techniek is namelijk berust op het trapsgewijs werken langs een lang traject.
- Effect: De omgeving ondervindt overlast van de realisatie. De kosten voor het gebruik maken van het materieel zullen hoog worden.
- Beheersmaatregel: Deze techniek niet toepassen.
- Restrisico: Toepassing op deze manier zal niet worden gedaan.

Kwaliteit

- Ongewenst: Het doek scheurt tijdens realisatie, doordat er met grote kracht op de messen gedrukt zal worden.
- Kans: Groot, omdat door de grote kracht niet gemerkt wordt wanneer het doek zal scheuren.
- Effect: In het doek zitten scheuren, waardoor de eventuele pipe zal kunnen groeien. De werking van het verticaal zanddicht geotextiel kan niet worden gegarandeerd.
- Beheersmaatregel: Monitoring tijdens realisatie of uitwijken naar een andere manier om het geotextiel in de grond te brengen.
- Restrisico: Wanneer door de monitoring tijdens realisatie blijkt dat er scheuren zijn ontstaan dient het gehele doek verwijderd te worden en moet er opnieuw begonnen worden met het aanbrenge van deze maatregel. Het geotextiel zal niet op deze manier worden toegepast.

Veiligheid

- Ongewenst: Er ontstaat een doorgaande pipe, die groeit door een tijdens de realisatie ontstaande scheur in het geotextiel. Op het punt waar het doek geplaatst is ontstaat een wel. Dit kan gebeuren wanneer kort naar realisatie de rivierstanden boven het kritieke verval komen. De klei heeft dan te weinig tijd om het gat weer op te vullen, denk aan zandmeevoerende wellen op sondeerlocaties.
- Kans: Groot, omdat door de grote kracht waarmee het mes de grond in wordt gedrukt het moeilijk opgemerkt zal worden wanneer het doek scheurt. Verder zal het lang duren dat de klei het boven het doek ontstaande gat zal dichten.

- Effect: De dijk zal niet doorbreken, omdat zandmeevoerende wellen doormiddel van opkisten kunnen worden gestopt. De dijk zal dus niet doorbreken, maar de gewenste werking van het geotextiel wordt niet gehaald. Toepassing van de techniek zorgt dus niet voor verbeteringen
- Beheersmaatregel: Niet werken doormiddel van deze werkmethode, omdat niet gegarandeerd kan worden dat het doek niet zal scheuren. Het gat boven het geotextiel opvullen met extra klei.
- Restrisico: Het gat wordt niet overal goed opgevuld, waardoor op de specifieke locaties er een vergrootte kans is op een zandmeevoerende wel. Deze techniek niet toepassen, maar het geotextiel op een andere manier in de grond plaatsten.

Omgeving

- Ongewenst: Er dient trapsgewijs te worden gewerkt, waardoor gedurende een relatief lange tijd er werkzaamheden aan de dijk zullen zijn. Belemmerende objecten zoals, sloten, wegen, kabels, leidingen en/of bebouwing moeten wijken om ruimte te maken voor toepassing van deze techniek. Er zal geluidsoverlast zijn voor de omgeving door het inbrengen van de messen, denk aan trillen/ heien of drukken.
- Kans: Groot, omdat er langs een relatief lang traject uitvoeringsactiviteiten aan de gang zijn. Ook is er ruimte nodig om de machine op te stellen en deze vervolgens weer te verplaatsten, de kans is dus groot dat belemmerende objecten dienen te wijken. Verder zal er zeker gedurende de realisatietijd geluidsoverlast zijn voor de omgeving.
- Effect: Belemmerende zaken dienen te wijken, sloten moeten tijdelijk worden gedempt, bebouwing moet verplaatst of verwijderd worden en wegen dienen tijdelijk opgebroken te worden. Dit zal veel tijd en geld kosten, wat zal resulteren dat deze techniek niet toegepast zal worden.
- Beheersmaatregel: Combineren met een andere techniek waardoor belemmerende zaken niet hoeven te wijken. Alleen op locaties toepassen waar voldoende ruimte aanwezig is. Actoren inlichten over de noodzaak van toepassing.
- Restrisico: Op locaties waar voldoende ruimte aanwezig is zal er gedurende realisatie geluidsoverlast blijven, er wordt uitgeweken naar een minder omgeving beïnvloedende maatregel.

Raakvlakken

- Effecten van andere faalmechanismen meenemen: Er zal alleen een geotextiel met een mes de grond in worden gebracht. Andere faalmechanismen worden hiermee niet verholpen.
- Storingsgevoeligheid: Doordat een te ontwerpen machine grote krachten op de messen overbrengt is de kans groot dat het doek op een bepaald punt scheurt en het gewenste resultaat niet gehaald wordt.
- Introduceren risico's: Het geotextiel wordt middels een mes de grond in gedrukt. Hierdoor ontstaat er boven het doek een gat. De kans bestaat dat het water door dit ontstane gat opwelt. Een pipe kan voor het geotextiel ontstaan en de techniek verliest op deze manier de gewenste functie. Toepassing van deze techniek zorgt dan voor het introduceren van risico's.
- Ontwerpen van toepassingsvorm: Het geotextiel dient op een wijze vervaardigd te worden dat het toegepast kan worden door een machine. Onderaan het doek dient een mes te worden bevestigd, die de grond ingedrukt wordt.
- Ontwerpen van machine: Er moet een machine ontworpen worden die middels drukcilinders een mes met daaraan bevestigd het geotextiel in de grond kan drukken.
- Monitoring: Door in het geotextiel verwerkte glasvezeldraden kan gemonitord worden of er vervormingen in de grond zullen zijn en wat de locatie van de pipe zal zijn.
- Controle of het doek recht zit: Het is moeilijk om te controleren of het doek recht zit. Als de machine goed functioneert mag verwacht worden dat dit het geval zal zijn.

Kosten

De kosten zullen bestaan uit het eenmalig ontwikkelen, maken en verbeteren van een machine. Het gebruik maken van en het onderhoud aan het benodigde materieel. Het bouwrijp maken van de teen van de dijk. Het inkopen van de metalen messen en het geotextiel. Het bevestigen van het geotextiel aan het metalen mes. De totale kosten voor het aanleggen van het geotextiel langs 1 km dijk wordt geschat op 500.000 euro.

Bijlage 14: Horizontaal inbrengen

Risico's

Geld

- Ongewenst: De kosten worden te hoog door het ontwikkelen van een machine en het bouwen van de bouwputten die verstevigd moeten worden met damwanden. Er kan niet gewerkt worden met een standaard breedte van het doek, deze is per situatie verschillend. Ook bestaat het risico dat de waterspanning in het zandpakket zo groot is dat er water in de bouwput komt te staan.
- Kans: Groot, omdat er een nieuwe machine ontwikkeld dient te worden. Verder is de kans groot dat de bouwputten verstevigd moeten worden met damwanden, omdat de stabiliteit anders niet naar behoren is. Doordat in veel situaties de diepte van de zandlaag variabel is, is de kans groot dat de breedte van het doek per situatie aangepast dient te worden. Doordat de dijken in natte gebieden gelokaliseerd zijn is er een aannemelijke kans dat grondwater voor problemen zorgt.
- Effect: Door de vele onzekerheden en de daarmee gemoeide hoge kosten is het draagvlak voor deze techniek klein. Er wordt uitgeweken naar andere meer bekendere technieken. In situaties met een te hoge grondwaterspanning dient bronbemaling geïnstalleerd te worden om het te veel aan water te onttrekken, dit brengt extra kosten met zich mee.
- Beheersmaatregel: Een pilot uitvoeren, om deze techniek te testen en uit te bewijzen dat het functioneert. De kosten voor het ontwikkelen van de machine uitsmeren over de meterprijs van de eerste 25 kilometer te verbeteren dijk. De standaardbreedte van het geotextiel aanpassen op de grootst verwachte variatie van de diepte van de zandlaag. Op deze manier hoeft er maar één breedte gefabriceerd te worden, zodat de productiekosten worden gedrukt. Om te zorgen dat er geen bronbemaling noodzakelijk is, dient onderzocht te worden tot welke diepte het grondwater aanwezig is. Op locaties waar het grondwater voor problemen zou kunnen zorgen, dient uitgeweken te worden naar andere toepassingsmaatregelen.
- Restrisico: Het verstevigen van de bouwputten blijft teveel geld kosten. De kosten voor de aankoop van geotextiel wordt in gevallen met een kleinere variatie in de diepte van het zandpakket duurder. Er worden maar een aantal kilometers dijk behandeld middels deze techniek, de investeringskosten worden niet terugverdient.

Tijd

- Ongewenst: Het realiseren van het verticaal zanddicht geotextiel gaat veel tijd kosten, omdat er gedetailleerd grondonderzoek nodig is en omdat de bouwputten gegraven, verstevigd en verwijderd moeten worden.
- Kans: Groot, er is gedetailleerd grondonderzoek nodig om de juiste locaties en dieptes van de bouwputten te bepalen. Verder is de kans klein dat het realiseren van de bouwputten teveel tijd kost, omdat dit een relatief eenvoudige maatregel is.
- Effect: Het grondonderzoek wordt te duur, waardoor de keuze van een andere techniek voor de hand ligt. Het effect van het realiseren van de bouwputten is dat er gedurende een relatief lange tijd activiteiten rond de dijk zijn, dit is zowel nadelig voor de kosten en de omgeving.
- Beheersmaatregel: Op zoek gaan naar een techniek waar minder gedetailleerde informatie over de diepte van zandlaag benodigd is. Het goed plannen van het uit te voeren werk, zodat er zo min mogelijk tijd nodig is voor de realisatie.
- Restrisico: Het aanleggen van de bouwputten blijft meer tijd kosten dan het gebruik maken van een techniek waardoor het geotextiel in één werkgang de grond ingebracht wordt.

Kwaliteit

- Ongewenst: Doordat het doek met grote kracht door de klei en zandlaag wordt gedrukt kan het doek scheuren. Door het gat wat ontstaat boven het geotextiel na het terugtrekken van de drukstangen kan er water boven het doek langs gaan stromen
- Kans: Groot, naar mate het doek tussen de klei- en zandlaag gedrukt wordt nemen de weerstandskrachten van de grond op het doek toe. De kans dat de gaten ontstaan door de drukstangen problemen zullen opleveren is klein, omdat het doek vastgeklemd zit in de grond.
- Effect: Wanneer het doek scheurt wordt dit opgemerkt omdat er geen doek meer van de rol getrokken wordt. Wanneer dit het geval is, dient er tussen de desbetreffende bouwputten een geheel nieuwe geotextiel te worden aangebracht. Door de ontstane gaten van de drukstangen kan het water over het doek gaan stromen, wat kan resulteren in het verzakken van het doek op een bepaald punt. Langs dit punt kan een doorgaande pipe ontstaan. De gewenste werking van het geotextiel wordt dan niet bereikt.
- Beheersmaatregel: Berekenen wat de maximale kracht op het doek is en de kracht van het geotextiel hierop aanpassen.
- Restrisico: Het risico blijft bestaan dat er water over het doek stroomt en het pipingproces op dit desbetreffende punt niet wordt gestopt.

Veiligheid

- Ongewenst: Er moeten relatief grote bouwputten aan de teen van de dijk gerealiseerd worden. Tijdens hoogwater kan dit gevaarlijke situaties opleveren.
- Kans: Klein, omdat het waterschap geen toestemming zal verlenen om werkzaamheden rond de dijk uit te voeren als de kans bestaat dat er een hoogwatersituatie zal optreden.
- Effect: De stabiliteit van de dijk is enige tijd minder goed. Wanneer het buitenwater stijgt kan de dijk doorbreken omdat er op de locatie van de bouwput een minder goede stabiliteit zal zijn.
- Beheersmaatregel: Alleen werkzaamheden plannen als met zekerheid gesteld kan worden dat tijdens de realisatie er geen sprake is van een hoogwatersituatie. De bouwput verstevigen met damwanden, zodoende dat de stabiliteit van de dijk even groot zal zijn als in de bestaande situatie.
- Restrisico: Onverhoopt stijgt het water zo snel dat hierop niet geanticipeerd had kunnen worden.

Omgeving

- Ongewenst: Door de relatief lange realisatietijd en het benodigde materieel is er veel overlast voor omgeving. Verder brengt het inbrengen van de damwanden en het geotextiel trilling- en geluidsoverlast overlast met zich mee.
- Kans: Groot, omdat er veel handelingen achtereen verricht moeten worden. De bouwputten dienen gegraven en verstevigd te worden. Vervolgens zal de machine het doek door middel van grote krachten de grond inbrengen. Ten slotte dienen de bouwputten dichtgemaakt te worden en zullen de damwanden moeten worden verwijderd.
- Effect: Verkeershinder door het materieel wat benodigd is voor het ontgraven en dichtmaken van de bouwputten, het plaatsen en verwijderen van de damwanden en het plaatsen van het geotextiel. Geluidshinder door alle realisatiewerkzaamheden. Overlast door trillingen van het plaatsen van de damwanden en het inbrengen van het geotextiel.
- Beheersmaatregel: Een strakke planning maken waardoor de realisatietijd zoveel mogelijk beperkt wordt. Gebruik maken van trilling loze technieken.
- Restrisico: De realisatie blijft lang duren door de handelingen die achtereen uitgevoerd moeten worden.

Raakvlakken

- Effecten van andere faalmechanismen meenemen: Er wordt alleen een geotextiel de grond ingebracht. Andere faalmechanismen worden hiermee niet verholpen.
- Storingsgevoeligheid: Doordat de afdeklaag maar op een aantal locaties vergraven hoeft te worden is de kans dat er zwakke plekken in de afdeklaag komen klein. Het is eenvoudig om de bouwputten weer juist op te vullen met materiaal, er is namelijk voldoende ruimte om te werken. Deze techniek zal niet storingsgevoelig zijn.
- Introduceren risico's: Omdat de deklaag niet wordt doorsneden en de bouwputten weer worden opgevuld met het ontgraven materiaal zullen er geen risico's worden geïntroduceerd.
- Ontwerpen van toepassingsvorm: In principe kan het geotextiel worden bevestigd aan een mes behorend bij de te ontwerpen machine. Er hoeft geen toepassingsvorm ontworpen te worden.
- Ontwerpen van machine: Er moet een machine ontworpen worden die middels drukcilinders een mes met daaraan bevestigd het geotextiel horizontaal in de grond kan drukken of trillen.
- Monitoring: Door in het geotextiel verwerkte glasvezeldraden kan gemonitord worden of er vervormingen in de grond zullen zijn.
- Controle of het doek recht zit: Het is mogelijk om te controleren of het doek recht zit, omdat beide uiteinden zichtbaar zijn. Wanneer deze recht en op het grensvlak tussen de klei- en zandlaag zitten mag verwacht worden dat het gehele doek recht zit. Door de glasvezeldraden in het geotextiel kan worden gemeten of het doek recht geplaatst is.

Kosten

De kosten zullen bestaan uit het eenmalig ontwikkelen, maken en verbeteren van een machine. Het gebruik maken van en het onderhoud aan het benodigde materieel. Het bouwrijp maken van een aantal locaties bij de teen van de dijk. Het ontgraven en eventueel verstevigen van de bouwputten. De inkoop van het geotextiel. De totale kosten voor het aanleggen van het geotextiel langs 1 km dijk worden geschat op 500.000 euro.

Bijlage 15: Pipingscherm

Risico's

Geld

- Ongewenst: Ontwikkeling van het pipingscherm wordt duur. Het overal toepassen van pipingschermen wordt kostbaarder dan noodzakelijk.
- Kans: Groot, omdat ontwikkelingskosten altijd duur zijn, doordat er onzekerheden overwonnen dienen te worden. De kans dat de kosten hoger zullen uitvallen dan noodzakelijk door deze techniek overal toe te passen is groot, omdat op locaties waar voldoende ruimte aanwezig is andere technieken voordeliger zijn.
- Effect: Wanneer de kosten te hoog uitvallen betekent dit dat deze maatregel minder aantrekkelijk is om toe te passen. Hierdoor zullen opdrachtgevers uitwijken naar een andere goedkopere toepassingsmaatregel.
- Beheersmaatregel: De ontwikkelingskosten uitsmeren over 10 kilometer toe te passen pipingscherm. Het pipingscherm alleen toepassen op locaties waar geen ruimte rond de dijk aanwezig is om met groot materieel te werken. Op locaties waar dit wel het geval het doek inbrengen middels een freesmachine die alleen het doek inbrengt.
- Restrisico : De ontwikkelingskosten zijn zo hoog dat wanneer deze prijs uitgesmeerd wordt over 10 kilometer toe te passen scherm de totale kosten te hoog zullen zijn. Er is een kleine kans dat dit het geval zijn, omdat het integreren van het geotextiel in de damwand een relatief eenvoudige operatie is.

Tijd

- Ongewenst: Het aanbrengen van deze techniek kost teveel tijd, doordat het pipingscherm ontwikkeld moet worden.
- Kans: Klein, omdat het toepassen van damwanden in Nederland een bewezen en veel toegepaste techniek is. Het nieuwe aan deze maatregel is dat er geen metalen, maar een kunststofdamwand gecombineerd met een geotextiel in de grond wordt aangebracht. Ontwikkeling is relatief eenvoudig dus de kans is klein dat dit extra tijd in beslag neemt.
- Effect: De kosten zullen hoger uitvallen dan gepland en de omgeving zal gedurende een langere tijd overlast ondervinden van toepassing van deze maatregel.
- Beheersmaatregel: Een goede planning aanhouden, zodat onvoorziene zaken kunnen worden getackeld.
- Restrisico: Geen

Kwaliteit

- Ongewenst: Monitoring is niet meer mogelijk, doordat glasvezeldraden niet meer toegepast zullen worden. Het doek scheurt of komt los van de damwand tijdens realisatie. De gaten in de damwand zijn te groot, waardoor de sterkte van het scherm onvoldoende groot is.
- Kans: Groot, omdat het toepassen van glasvezel in combinatie met het pipingscherm te gecompliceerd en dus duur wordt. De kans dat het doek scheurt tijdens realisatie is klein, omdat het doek beschermd wordt doordat het in de damwand verzonken zal zijn. De kans is klein dat de sterkte onvoldoende groot is, omdat bij het ontwerp een optimale balans tussen doorlatendheid en sterkte gezocht zal worden.
- Effect: Monitoring is op plaatsen waar pipingschermen worden toegepast niet mogelijk. Wanneer het doek scheurt zal de techniek op dit bepaalde punt niet functioneren. Als de sterkte onvoldoende groot is, kan het scherm niet ingebracht worden.
- Beheersmaatregel: De pipingschermen kunnen ter controle omhoog worden gehaald, hierdoor zal de werking van de techniek gecontroleerd kunnen worden. Monitoring zal apart van de damwand worden geïnstalleerd. Niet het gehele traject zal worden gemonitord, maar

alleen de locaties waar met een freesmachine gewerkt kan worden. Op deze locaties wordt het geotextiel GeoDetect toegepast, deze is standaard voorzien van een glasvezeldraad waarmee gemonitord kan worden. Om te voorkomen dat een eventueel scheurend doek tot problemen zal leiden, dient deze techniek getest te worden tijdens een pilot.

Steekproefsgewijs zullen er pipingschermen na realisatie ter controle omhoog worden gehaald. Wanneer de sterkte van het scherm te klein is, kunnen de schermen ingebracht worden doormiddel van een metalen moederplank. Deze heeft dezelfde vorm als het pipingscherm en zal het scherm de grond mee in nemen. Krachten die benodigd zijn om het scherm in de grond te plaatsten zullen op de moederplank komen. Wanneer de gewenste diepte is bereikt zal de moederplank teruggetrokken worden en blijft het pipingscherm achter.

- Restrisico: Het waterschap wil langs het gehele traject monitoren. Dit zal beheerst kunnen worden door op de locaties waar pipingschermen worden geplaatst een apart monitoringsysteem te installeren.

Veiligheid

- Ongewenst: Doordat het doek in het pipingscherm niet functioneert wordt het pipingproces niet gestopt.
- Kans: Klein, omdat het doek verzonken is in de damwand en de kans dat deze scheurt hierdoor klein is. Verder is de kans zeer klein dat een pipe ervoor zorgt dat de veiligheid gelijk in het geding komt, deze kan namelijk doormiddel van opkisten worden geremd.
- Effect: Wanneer het pipingproces niet gestopt wordt kan dit in het extreemste geval leiden tot een dijkdoorbraak.
- Beheersmaatregel: Tijdens hoogwater controleren op zandmeevoerende wellen. Aangetroffen zandmeevoerende wellen in de gaten houden en opkisten wanneer deze teveel zand zullen aanvoeren. Wanneer opkisten noodzakelijk is geweest, na het hoogwater het pipingscherm controleren op eventuele gebreken. Dit kan gedaan worden door de verschillende componenten omhoog te halen.
- Restrisico: Tijdens controle blijkt het geotextiel intact te zijn. De oorzaak ligt dan ergens anders, bijvoorbeeld een scherm die niet functioneert omdat deze onvoldoende diep in de zandlaag is geplaatst.

Omgeving

- Ongewenst: De omgeving ondervindt overlast tijdens de realisatie, door trilling en geluidsoverlast. Er is onvoldoende ruimte om de pipingschermen te plaatsen.
- Kans: Klein, omdat het toepassen van een kunststof damwand relatief snel gebeurt, duurt de geluidsoverlast maximaal een aantal dagen. Verder blijkt dat het inbrengen van kunststofdamwanden weinig trilling overlast met zich meebrengt, omdat het kunststof de trillingen absorbeert en maar voor een klein deel doorgeeft aan de ondergrond. De kans dat er onvoldoende ruimte zal zijn is klein, omdat met klein materieel gewerkt kan worden en de damwanden praktisch geen ruimte in beslag nemen.
- Effect: Wanneer er trilling of geluidsoverlast zou zijn is het grootste effect dat actoren in het desbetreffende gebied over zullen gaan klagen. Wanneer er onvoldoende ruimte is om damwanden te plaatsen is het niet mogelijk om op deze locatie een geotextiel in de grond te brengen. Andere toepassingsvarianten hebben namelijk nog meer ruimte nodig
- Beheersmaatregel: De omgeving tijdig informeren over de eventuele overlast en uitleggen wat de noodzaak is van toepassing van deze techniek. Wanneer er geen ruimte is om een pipingscherm te installeren moet er uitgeweken worden naar andere pipingremmende technieken.
- Restrisico: Geen

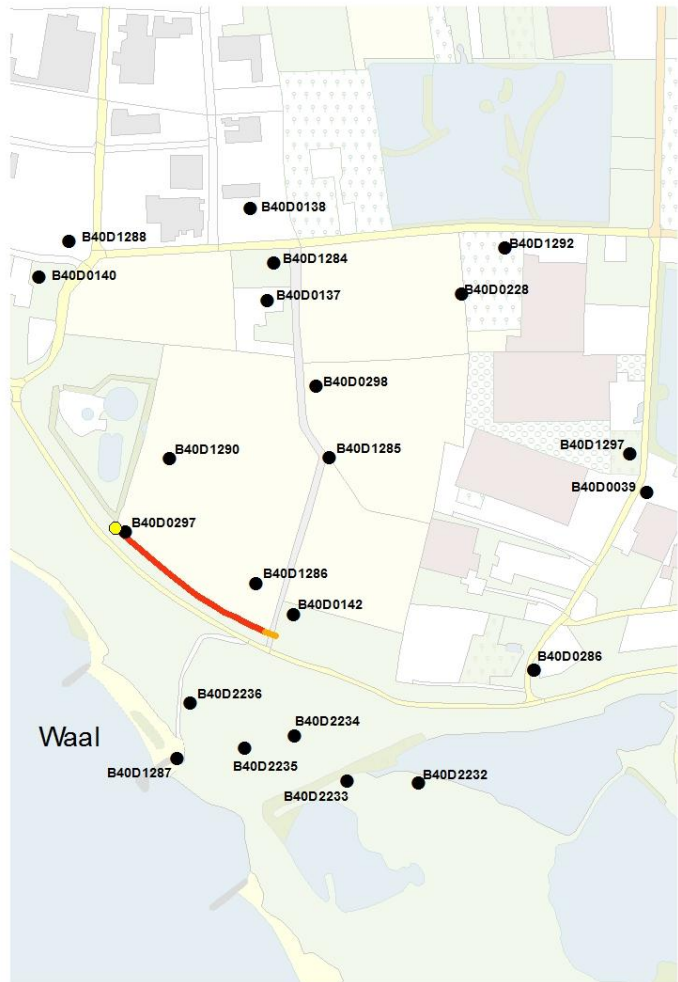
Raakvlakken

- Effecten van andere faalmechanismen meenemen: Het geotextiel zal ingebracht worden in combinatie met een damwand. Dit pipingscherm zorgt voor stabiliteit in de ondergrond. Afhankelijk van de eventuele glijcirkel kan de damwand afschuiving voorkomen. De macro-instabiliteit van de dijk wordt hierdoor verkleind.
- Storingsgevoeligheid: Door de damwanden op een juiste manier te dimensioneren wordt ervoor gezorgd dat toepassing van deze techniek niet tot mogelijk storingsgevoelige situaties zal leiden.
- Introduceren risico's: Het gat waar de damwand door naar beneden zal gaan wordt opgevuld met de damwand zelf. Er zullen geen extra risico's worden geïntroduceerd.
- Ontwerpen van toepassingsvorm: Het geotextiel dient in combinatie met een damwand gefabriceerd te worden. De toepassingsvorm zal dus ontworpen moeten worden.
- Ontwerpen van machine: Het plaatsen van damwanden is een veel toegepast techniek, een machine hoeft niet ontworpen te worden.
- Monitoring: Door het geotextiel te integreren in een damwand wordt monitoring middels glasvezeldraden onmogelijk. Dit zal qua ontwikkeling te gecompliceerd worden. Ook de werking van de monitoring doormiddel van het glasvezel zal niet meer voldoen aan de gestelde criteria. Het pipingscherm zorgt namelijk voor extra stabiliteit, wat ervoor zal zorgen dat de vervorming in de grond niet meer meetbaar zal zijn. Verder zullen de glasvezelverbindingen tussen de verschillende componenten zorgen voor teveel signaalverlies.
- Controle of het doek recht zit: Het doek wordt in de damwand bevestigd. Het doek zal dus altijd recht zitten. Ook kan dit gecontroleerd worden door een component naar boven te halen en te kijken hoe deze eruit ziet.

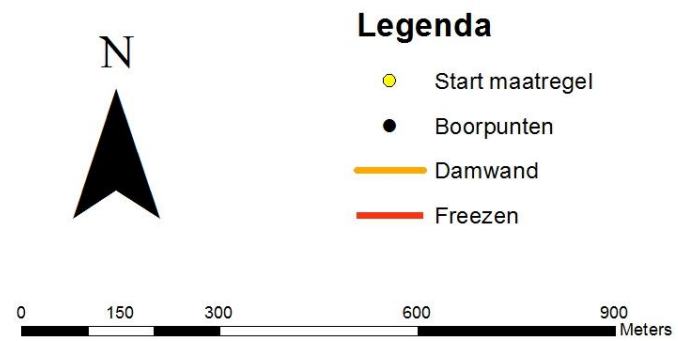
Kosten

De kosten zullen worden beperkt tot het ontwikkelen van een damwand met daar in geïntegreerd een geotextiel. Het maken van deze damwanden zal maatwerk zijn, omdat de dikte van de kleilaag overal anders is. Verder zijn er kosten verbonden aan het gebruik maken van het materieel en het bouwrijp maken van de teen van de dijk. Uit een gesprek met de heer Jan van Dijk van het bedrijf GMB (Dijk, Voortgangsgesprek 06-05-2013, 2013) blijkt dat de kosten per strekkende meter ongeveer 200 euro wordt. Realisatie bij 1 km dijk wordt dus $200 * 1000 = 200.000$ euro.

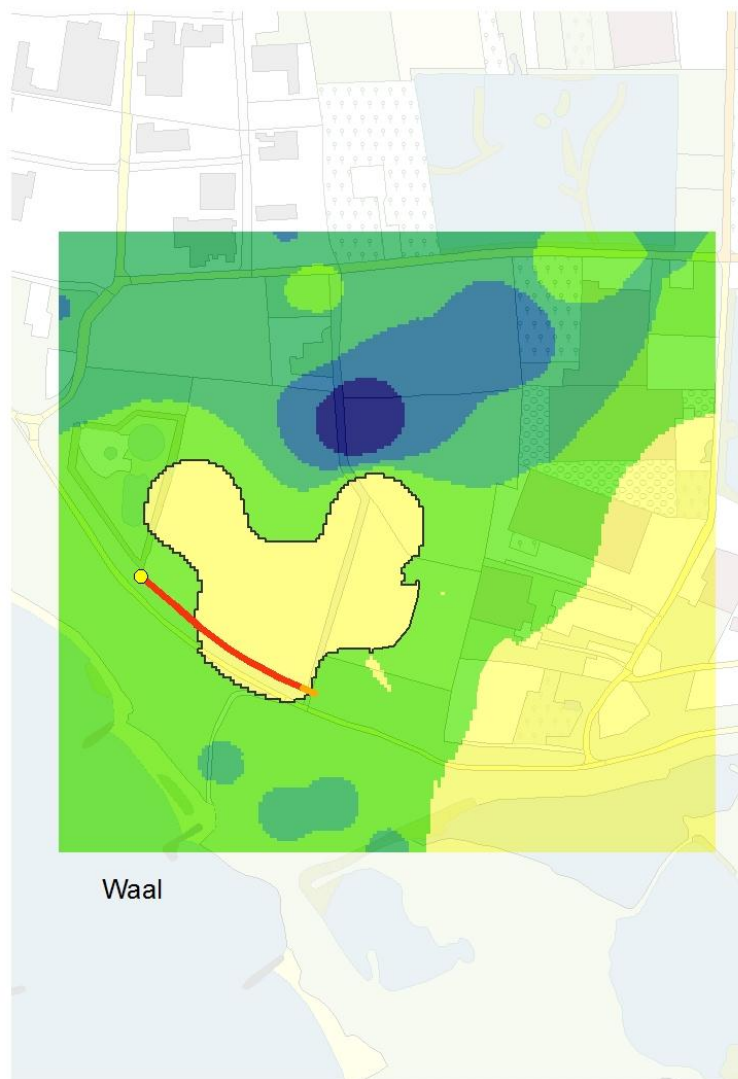
Bijlage 16: Pilotgebied boorpunten Gendt



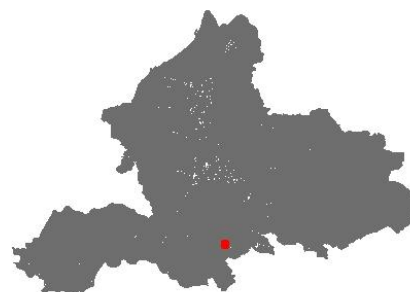
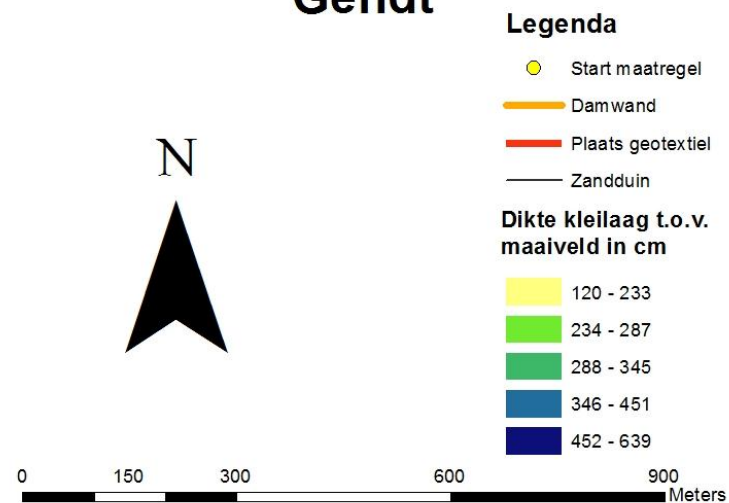
Boorpunten pilotgebied Gendt



Bijlage 17: Dikte kleilaag



Dikte kleilaag pilotgebied Gendt



Bronvermelding

Buurtvereniging "Aan de Maas" Geulle. (2011, 01 08). Geraadpleegd op 24 05, 2013, van Buurtvereniging "Aan de Maas" Geulle.: <http://www.admaasgeulle.nl/Overstromingen.html>

TenCate GeoDetect® voor dijkmonitoring. (2012). Geraadpleegd op 27 05, 2013, van www.tencate.com: <http://www.tencate.com/nl/txtures/winter-2012/TenCate-geodetect-in-pilot-en-commerciele-projecten.aspx>

Concept Waterkerende verticale afdichtingen. (2013, 27 05). Geraadpleegd op 27 05, 2013, van www.emis.vito.be: <http://www.emis.vito.be/techniekfiche/concept-waterkerende-verticale-afdichtingen>

Damwanden. (2013, 27 05). Geraadpleegd op 27 05, 2013, van www.dubbink.nl: <http://www.dubbink.nl/damwanden.html>

Dijkverlegging Cortenoever. (2013, 24 05). Geraadpleegd op 24 05, 2013, van ruimtelijkeplannen.brummen.nl: http://ruimtelijkeplannen.brummen.nl/ro/ro/NL.IMRO.0213.BPBG700004-/NL.IMRO.0213.BPBG700004-on01/t_NL.IMRO.0213.BPBG700004-on01_4.6.html

Foliescherm Veldhoven. (2013, 27 05). Geraadpleegd op 27 05, 2013, van www.lareco.com: <http://www.lareco.com/nl/catalog/projecten-waterbeheersing/sub,2/pid,22>

Google maps. (2013, 30 05). Geraadpleegd op 30 05, 2013, van Google: <https://maps.google.nl/maps?hl=nl&tab=wl>

Zomerbedverlaging Beneden-IJssel. (2013, 24 05). Geraadpleegd op 24 05, 2013, van Ruimte voor de rivier: <http://www.ruimtevoorderivier.nl/waar-doen-wedit/projecten/overijssel/zomerbedverlaging-beneden-ijssel/>

Arcadis. (2012). *Consequentie analyse aangepaste pipingregel.* Arcadis.

Bauernl. (2007, 09). Geraadpleegd op 08 03, 2013, van [bauernl.nl](http://www.bauernl.nl): http://www.bauernl.nl/export/sites/www.bauernl.nl/pdf/Cobouw_MIP_Westervoort.pdf

Berg, S. v. (2013, 03 03). Toetsingsproces waterkeringen. (J. v. Gestel, & H. Trul, Interviewers)

Bos, H. (2013, 08 04). Gesprek over het DMC systeem. (J. v. Gestel, & H. Trul, Interviewers)

Cornelisse, W. (2013, 27 03). Dijkbezoek piping. (J. v. Gestel, & H. Trul, Interviewers)

Dasselaar, H. v. (2013, 03 05). Freesmachine om geotextiel in te brengen. (J. v. Gestel, & H. Trul, Interviewers)

Dijk, J. v. (2013, 15 03). Voortgangsgesprek. (J. v. Gestel, & H. Trul, Interviewers)

- Dijk, J. v. (2013, 06 05). Voortgangsgesprek 06-05-2013. (J. v. Gestel, & Trul, Interviewers)
- Dijk, J. v. (2013, 17 05). Voortgangsgesprek 17-05-2013. (J. v. Gestel, & H. Trul, Interviewers)
- dinoloket. (2013, 23 04). *ondergrondgegevens*. Geraadpleegd op 23 04, 2013, van dinoloket:
<http://www.dinoloket.nl/ondergrondgegevens>
- Dortland, G. (2013, 18 04). Spreken over Zanddicht Geotextiel. (J. v. Gestel, & H. Trul, Interviewers)
- Förster, U. (2013, 16 04). Spreken over Zanddicht Geotextiel. (J. v. Gestel, & H. Trul, Interviewers)
- Förster, U. B. (2013, 12 03). *Deskundigen praten over innovatieve oplossingen tegen piping*.
 Geraadpleegd op 22 04, 2013, van Waterschap Rivierenland:
<http://www.waterschaprivierenland.nl/actueel/nieuws/@233416/pagina/>
- Förster, U., Ham, G. v., Calle, E., & Kruse, G. (2011). *SBW Piping HP.9 Technisch Rapport Zandmeevoerende Wellen - Herziene versie 2011*. Deltares.
- Harkes, M. (2013, 26 03). Gesprek Deltares over BioGrout. (J. v. Gestel, & H. Trul, Interviewers)
- Klein, B. (2013, 26 04). Spreken over mogelijkheden combinatie damwand en Geotextiel. (J. v. Gestel, & H. Trul, Interviewers)
- Luiendijk, M. (2011). *Innovatie oplossingen kweloverlast en piping*. Deltares.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat. (2007). *Voorschrift Toetsen op Veiligheid Primaire Waterkeringen*. Ministerie van Verkeer en Waterstaat.
- Niemeijer, J. (1996). *Dijkbeoordeling bij hoogwater*. Delft: Heijdemij Advies BV.
- Paverd, M. v. (1994). *Kwelschermen onder rivierdijken 'Vooronderzoek'*. Den Haag: Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouw.
- Planetfit. (2013, 28 03). *Dijkmonitoring- en Conditioneringsysteem*. Geraadpleegd op 28 03, 2013, van Planetfit: <http://www.planetfit.nl/nl/in-de-praktijk/detail/dijkmonitoring-en-conditioneringsysteem>
- Sheet Pile Europe. (2013, 06 05). *Zetten kunststof damwanden*. Geraadpleegd op 06 05, 2013, van Sheet Pile Europe: <http://www.sheetpile.nl/index.php/nl/page/zetten-kunststof-damwanden>
- Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen. (1999). *Technisch rapport Zandmeevoerende Wellen*. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen.
- Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen. (2001). *Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies, Geotechnische aspecten van dijken, dammen en boezemkaden*. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen.
- Toor, R. v. (2013, 13 05). Spreken over kunststof damwand in combinatie met geotextiel (Sheet Pile Europe). (J. v. Gestel, & H. Trul, Interviewers)

Voorde, M. t. (2012, 19 10). *Doek in de dijk*. Geraadpleegd op 25 02, 2013, van [www.kennislink.nl:
http://www.kennislink.nl/publicaties/doek-in-de-dijk](http://www.kennislink.nl/publicaties/doek-in-de-dijk)

Vrijling, J., Kok, M., Calle, E., Epema, W., Meer, M. v., Berg, P. v., et al. (2010). *Piping - Realiteit of Rekenfout?* expertisenetwerk waterveiligheid.

wetten.overheid.nl. (z.d.). Geraadpleegd op 06 02, 2013, van http://wetten.overheid.nl/BWBR0025458/volledig/geldigheidsdatum_06-02-2013#Hoofdstuk1

www.ijkdijk.nl. (z.d.). Geraadpleegd op 25 02, 2013, van <http://www.ijkdijk.nl/nl/nieuws/122-geotextiel-effectief-tegen-piping>

www.joostdevree.nl. (z.d.). Geraadpleegd op 22 02, 2013, van <http://www.joostdevree.nl/shtmls/piping.shtml>

www.rws.nl. (z.d.). Geraadpleegd op 11 03, 2013, van http://www.rws.nl/water/veiligheid/bescherming_tegen_het_water/organisatie/wettelijk_toetsinstrumentarium/

www.tencate.com. (z.d.). Geraadpleegd op 25 02, 2013, van <http://www.tencate.com/nl/txtures/voorjaar-2010/TenCate-GeoDetect-voor-intelligente-dijkbewaking.aspx>

www.waterschaprivierenland.nl. (z.d.). Geraadpleegd op 11 03, 2013, van <http://www.dijkverbetering.waterschaprivierenland.nl/dijkverbetering/waarom>