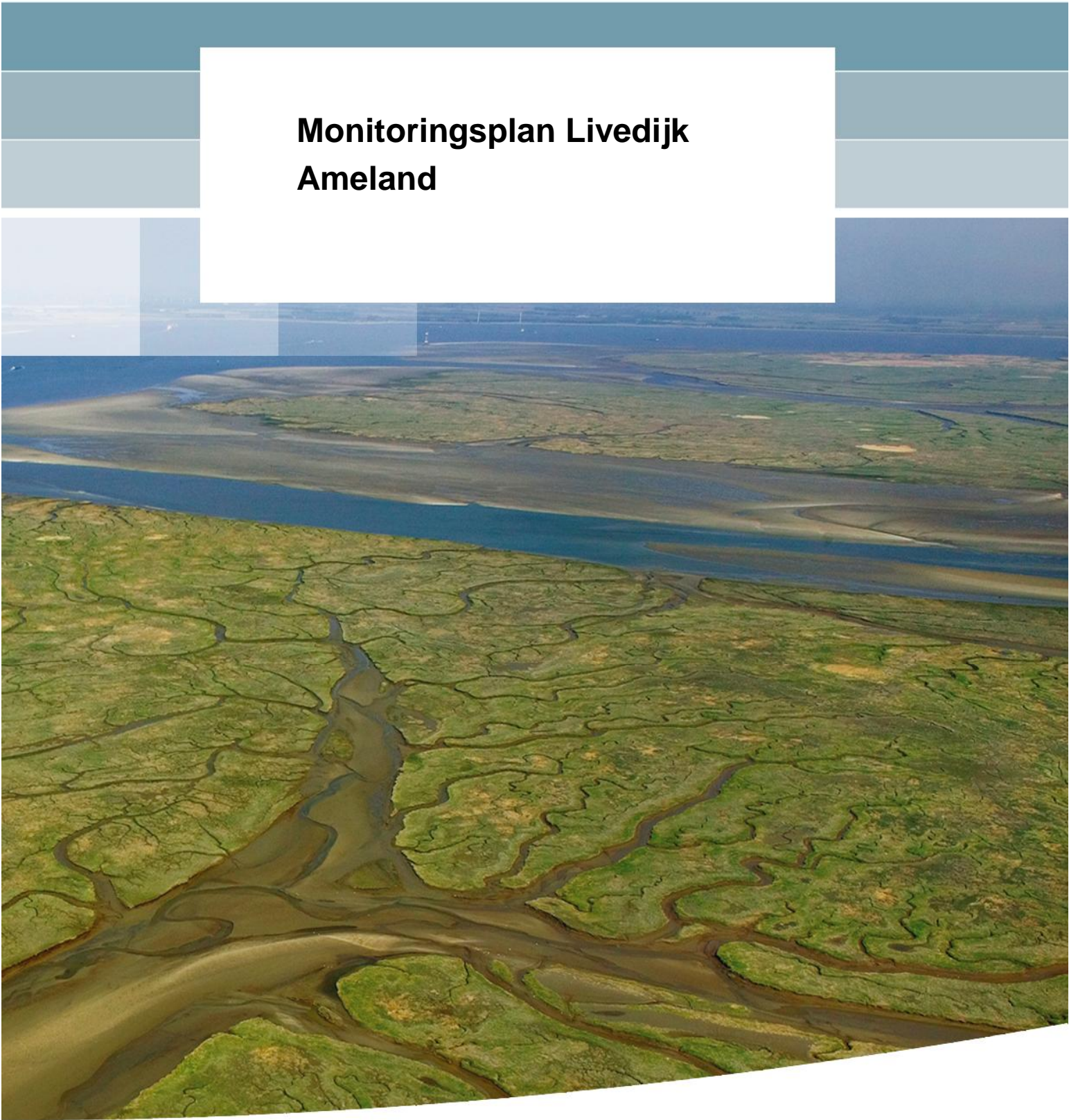


**Monitoringsplan Livedijk
Ameland**



Monitoringsplan Livedijk Ameland

M.S. Lujendijk M.Sc

1206727-000

Titel
Monitoringsplan Livedijk Ameland



Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
Stichting IJkdijk	1206727-000	1206727-000-GEO-0003	15

Trefwoorden
Monitoringsplan, Livedijk, Ameland, piping, tijdsafhankelijkheid

Samenvatting

De Waddenzeedijk van Ameland is in de tweede toetsronde deels afgekeurd, onder andere op het mechanisme piping op traject km 6,8-7,1. Doel is om te bepalen of er over een lengte van 300 m de nu voorziene maatregelen kunnen worden heroverwogen door nader onderzoek uit te voeren. In dit nader onderzoek wordt gewerkt met de nieuwste inzichten, mede ontwikkeld binnen SBW Piping. De focus ligt op het in rekening brengen van de tijdsafhankelijkheid van hoogwater op de mogelijke reductie van de benodigde kwelweglengte.

Als afgeleide van de grondwaterstroming kan ook de grondwatertemperatuur bepaald worden, onderzocht wordt dan hoe en in hoeverre (ook bij wisselende waterstanden) temperatuurmetingen een rol kunnen spelen bij de detectie van piping. Dit kan worden bereikt door gecombineerde temperatuur en waterspanningsmeters in te zetten. Een meer gedetailleerd beeld van de ondergrond kan verkregen worden door de grondradar in te zetten. Daarnaast kunnen eventuele plaatsen waar het grondwater uittreedt worden gedetecteerd met de infraroodcamera. Deze innovatieve meettechnieken kunnen zo extra informatie leveren met betrekking tot het detecteren van piping, zodat de onderbouwing van een eventueel optimaler versterkingsmaatregel betrouwbaarder wordt, maar tevens in de tussenliggende projectperiode (begin 2013 tot medio 2014) als instrument worden gebruikt voor het inzichtelijk maken van het werkelijke pipingrisico bij hoogwatersituaties. Om de grondwaterstroming in kaart te brengen worden waterspanningsmetingen uitgevoerd op locatie km 6,8 tot 7,1 waar zich een geul bevindt voor de kust en wat binnen het versterkingsproject Waddenzeedijk Ameland wordt uitgevoerd. De innovatieve technieken vereisen een referentielocatie waar zich geen geul bevindt, geadviseerd is locatie km 2,3 tot 2,5 en waar dan ook waterspanningsmetingen nodig zijn.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
	jan. 2013	M.S. Lujendijk	M.Sc		dr. ir. A.R. Koelewijn		ir. L. Voogt

Status
definitief

Inhoud

1	Inleiding	1
1.1	Achtergrond en doelstellingen	1
1.2	Probleemomschrijving en oplossingsrichting	1
2	Beschikbaar en lopend onderzoek	5
2.1	Eerder uitgevoerd onderzoek	5
2.2	Aanvullend geotechnisch onderzoek op km 6,8-7,1	5
2.3	Lopend onderzoek	5
3	Innovatieve meettechnieken ter detectie van piping	7
3.1	Algemeen	7
3.2	Locatiekeuze	7
3.3	Temperatuurmetingen gecombineerd met waterspanningen	8
3.4	Grondradar	8
3.4.1	Algemeen	8
3.4.2	Werking grondradar	8
3.4.3	Ohmmapper	9
3.5	Temperatuurmetingen dmv infraroodcamera	9
3.5.1	Algemeen	9
3.5.2	Werking infrarood camera	9
4	Plaatsing instrumentatie	11
	Temperatuur- en waterspanningsmetingen	11
4.1	11	
4.1.1	Tijdstip metingen	11
4.1.2	Locatie	11
4.1.3	Aandachtspunten	11
	Grondradar	12
4.2	12	
4.2.1	Tijdstip metingen	12
4.2.2	Profielen	12
4.2.3	Aandachtspunten	12
4.3	Ohmmapper	13
4.3.1	Tijdstip metingen	13
4.3.2	Locatie/profielen	13
4.3.3	Aandachtspunten	13
4.4	Infrarood camera	13
4.4.1	Tijdstip metingen	13
4.4.2	Locatie	13
4.4.3	Aandachtspunten	13
5	Literatuur	15

1 Inleiding

1.1 Achtergrond en doelstellingen

De Waddenzeedijk van Ameland is in de tweede toetsronde deels afgekeurd, onder andere op het mechanisme piping. Wetterskip Fryslân is de beheerder van de waterkering en wil bepalen of er over een lengte van 300 m de nu voorziene maatregelen (damwand, berm) kunnen worden heroverwogen door nader onderzoek uit te voeren. In dit nader onderzoek wordt gebruik gemaakt van de nieuwste inzichten, mede ontwikkeld in het kader van het SBW-onderzoek naar piping. Opgemerkt wordt dat vooralsnog de 'oude' toetsingsvoorschriften vigerend zijn. Belangrijk hierbij is het effect van de niet-stationaire belasting (tijdsafhankelijkheid) van het buitenwater op de reductie van de benodigde kwelweglengte. Dit kan leiden tot een optimaler ontwerp van de dijkversterking ter plaatse.

Hiervoor is reeds binnen het versterkingsproject Waddenzeedijk Ameland (W2-049) een monitoringstraject met waterspanningsmeters ingezet op het traject km 6,8 tot km 7,1. Hierbij wordt met name gekeken naar de tijdsafhankelijkheid van (voornamelijk) hoogwater en of hier winst met betrekking tot de reductie van de benodigde kwelweglengte is te behalen, zodat de geplande versterkingsmaatregelen wellicht goedkoper kunnen worden uitgevoerd.

In overleg met de Stichting IJkdijk is vastgesteld dat innovatieve meettechnieken wellicht extra informatie kunnen leveren met betrekking tot het detecteren van piping, zodanig dat de onderbouwing van een eventueel optimaler versterkingsmaatregel betrouwbaarder wordt, maar tevens in de tussenliggende periode als instrument kan worden gebruikt voor het inzichtelijk maken van het werkelijke pipingrisico bij hoogwatersituaties. Dit wordt via een zogenaamde Livedijk vormgegeven.

De bedoeling daarmee is dat met Livedijk Ameland de volgende doelstellingen worden behaald:

1. Monitoren van de dijk met als doel vroegtijdig te kunnen waarschuwen wanneer pipingrisico optreedt (totdat de dijk verbeterd is). Dit ondanks dat de kans van optreden van het risico klein wordt geschat, mede gelet op de kleine kans van voorkomen van een voldoende groot waterstandsverschil over de kering in de projectperiode.
2. Het leveren van aanvullende lokale informatie over het optreden van piping, opbouw van de dijk, etc. door inzet van innovatieve monitoringstechnieken, te weten grondradar en infrarood camera-/temperatuurmetingen in te zetten. Dit ten behoeve van het optimaliseren van de eventuele versterkingsmaatregelen.
3. Het monitoren van de dijk over een beperkte periode om op basis daarvan te bepalen in hoeverre beheer en onderhoud geoptimaliseerd kunnen worden – al dan niet met verlenging van de monitoring voor bepaalde danwel onbepaalde tijd.

1.2 Probleemomschrijving en oplossingsrichting

Op het traject km 6,8 tot km 7,1 (bij de Ballumerbocht) voldoet de Waddenzeedijk niet voor het faalmechanisme piping. Om tot een optimaler dijkontwerp te komen, is voorgesteld de tijdsafhankelijke effecten van hoogwater op de mogelijke reductie van de benodigde kwelweglengte te onderzoeken.

Op dit moment is onderzoek naar tijdsafhankelijke effecten met betrekking tot piping en hoe deze in rekening mogen worden gebracht in volle gang binnen het SBW programma Piping.

Resultaten hiervan worden in de loop van 2013 en 2014 verwacht. Het gaat dan om de tijdsafhankelijkheid van de grondwaterstroming bij hoogwater en de tijdsafhankelijkheid van het erosieproces (groei van pipingkanaaltjes).

Om dit effect in kaart te brengen is het noodzakelijk om waterspanningen te meten in de dwarsdoorsnede van de dijk in het watervoerende pakket. De grondwaterstroming wordt immers veroorzaakt door verschillen in waterdruk. Door waterspanningen onder de dijk te meten komt detailinformatie beschikbaar die meer inzicht oplevert in de grondwaterstroming dan alleen metingen van de buitenwaterstand en het slootpeil op kunnen leveren. Zo kunnen bijvoorbeeld doorlatendheidsverschillen langs de kwelweg bepaald worden. Dit sluit aan bij de eerste doelstelling.

Als afgeleide van grondwaterstroming kan ook de grondwatertemperatuur bepaald worden. Tijdens de doorstroming past de temperatuur van het grondwater zich ten dele aan de omgevingstemperatuur aan – hoe sneller de stroming, hoe minder. Voor stationaire omstandigheden zijn hiermee al goede ervaringen opgedaan voor de detectie van grondwaterstroming en ook piping bij stuwdammen. Als onderdeel van de Livedijk Ameland wordt voor deze concrete situatie nagegaan hoe, en in hoeverre, ook bij wisselende waterstanden temperatuurmetingen een rol kunnen spelen bij de detectie van piping. Hiervoor dient de temperatuur van het buitenwater, de luchttemperatuur en de neerslag bekend te zijn en kunnen zowel de temperatuur onder de dijk als in de sloot achter de dijk worden gemeten. Dit sluit aan bij de tweede doelstelling.

Wanneer piping optreedt in een natuurlijk afgezet zandpakket wordt de precieze locatie van de pipingkanaaltjes sterk bepaald door heterogeniteit: variaties in de samenstelling van het zandpakket (korrelverdeling), de pakkingsdichtheid en eventuele versturende elementen, zoals kleilagen of ingesloten andere materialen die in de loop van de tijd bovendien mogelijk van aard veranderd zijn, zoals een indertijd aangespoeld stuk hout dat inmiddels verrot kan zijn, zodat holtes aanwezig zijn. Ook kunnen oude pipingkanaaltjes aanwezig zijn, te zien als holtes. Met behulp van grondradar kunnen variaties in de ondergrond worden opgespoord, bij herhaalde metingen (bijvoorbeeld tijdens of net na een flinke storm) kunnen eventuele veranderingen daarin worden gevonden die samenhangen met piping of van invloed zijn op de gevoeligheid voor piping. Ook dit sluit aan bij de tweede doelstelling.

De grondradarmetingen samen met de Ohmmapper kunnen bovendien een meer gedetailleerd beeld geven van de ondergrond tussen de in het verleden gemaakte sonderingen door en zo bijvoorbeeld inzicht geven waar de kleilagen aflopen en waar niet. Met de temperatuurmetingen door middel van een infraroodcamera kunnen eventuele plaatsen waar grondwater uittreedt worden gedetecteerd. Dit sluit niet alleen aan op de tweede doelstelling, maar past ook bij de beide andere doelstellingen.

Binnen het versterkingsproject Waddenzeedijk Ameland, dat wordt uitgevoerd door ingenieursbureau Witteveen en Bos, is in november 2012 een drietal meetraaien vlak naast elkaar en dwars op de dijk geplaatst met in totaal twaalf waterspanningsmetingen op het traject km 6,8 tot 7,1 geplaatst. Dit is het traject waar een dijkversterking vooralsnog noodzakelijk wordt geacht. Deze waterspanningsmetingen zullen de veranderingen in de waterspanningen bij storm en dus hoogwater moeten weergeven, om de invloed van de geul op de waterspanningen te onderzoeken. De metingen zullen worden voortgezet tot juni 2014 en zo twee stormseizoenen en een rustig seizoen te meten.

Het is echter lastig, zo niet onmogelijk, om op basis van één meetlocatie tot vergaande conclusies te komen, met name op onderdelen waar vooral de informatie verkregen met innovatieve meettechnieken een hoofdrol speelt. De meer geijkte metingen van waterspanningen kunnen op basis van ervaringen elders immers wel worden geïnterpreteerd, echter voor een goede volledige interpretatie is een alternatieve meetlocatie waar zich geen geul plaats vindt nodig. Het op basis van ervaringen interpreteren geldt in veel mindere mate voor de grondradar- en temperatuurmetingen. Daarom is gezocht naar een nabije meetlocatie die enerzijds vergelijkbare kenmerken heeft (een dijk, met voor wat betreft piping een vergelijkbare bodemopbouw en met ongeveer dezelfde buitenwaterstand en binnendijkse omstandigheden) en die anderzijds voldoende verschilt om kenmerkende verschillen te meten (niet afgekeurd op piping vanwege een significant lagere kans op zandmeevoerende wellen). Concreet betekent dit een nabijgelegen dijktraject met eenzelfde ondergrond maar zónder geul vlak voor de dijk. Met name voor de innovatieve meettechnieken wordt een dergelijke referentielocatie noodzakelijk geacht.

2 Beschikbaar en lopend onderzoek

2.1 Eerder uitgevoerd onderzoek

In 2003 is de Waddenzeedijk op Ameland getoetst door Deltares (toen GeoDelft) op piping. Voor een groot deel van het dijktraject kon bij de toetsing worden volstaan met het toepassen van de methode Bligh. Voor enkele dijkvakken is de methode Sellmeijer toegepast. Voor de meest kritische dijkvakken is piping getoetst, rekening houdend met de respons van de stijghoogte in de watervoerende zandlaag onder de dijk op het getijde (gemeten met peilbuizen bij km. 3.8, getijgegevens van 31-1-2003 t/m 5-2-2003) [1 en 2].

Recenter, in 2011, zijn de trajecten van 2003 getoetst met de vigerende toetspeilen (HR 2006) en de vigerende rekenregel van Sellmeijer, om de scope te bepalen van de dijkversterking op Ameland met betrekking tot piping [3]. Hierbij is rekening gehouden met de weerstand van het wad, zoals in het onderzoek van 2003 is gedaan. Gebruik is gemaakt van de geotechnische lengte profielen en dwarsprofielen uit het onderzoek van 2003. Daarnaast is de nieuwe rekenregel van Sellmeijer toegepast in het onderzoek, evenals het lengte-effect.

2.2 Aanvullend geotechnisch onderzoek op km 6,8-7,1

In opdracht van Witteveen en Bos in het kader van het versterkingsproject heeft Fugro in september 2011 twintig sonderingen uitgevoerd langs de dijk nabij Nes [4] op het traject km 6,8 tot 7,1. Deze zijn nog niet verwerkt in het geotechnisch lengteprofiel van dit traject. Hiermee is gedetailleerder informatie over de aan- en afwezigheid van kleilagen op dit traject vastgesteld.

2.3 Lopend onderzoek

Eind 2012 zijn er waterspanningsmeters in drie dicht bij elkaar gelegen meetraaien geplaatst op het traject km 6,8 – 7,1 in het kader van het versterkingsproject. In totaal gaat het om twaalf waterspanningsmeters.

Deze zijn aangebracht op een diepte van NAP -3 m. Dit betekent dat de waterspanningsmeters ongeveer 1 meter onder de kleilaag liggen, die op een diepte van circa NAP -1,4 tot NAP -1,8 m ligt.

De metingen zijn redundant uitgevoerd om duidelijkheid te verkrijgen over de representativiteit van de meetwaarden en om de gevolgen van eventuele uitval van instrumenten te beperken. Eén van de twaalf instrumenten blijkt al geen meetwaarden te leveren, hetgeen het belang hiervan nog eens onderstreept.

De bedoeling is dat deze waterspanningsmeters informatie leveren van december 2012 t/m juni 2014 en deze zullen periodiek beschikbaar worden gesteld aan Deltares.

3 Innovatieve meettechnieken ter detectie van piping

3.1 Algemeen

Voor dit project, Livedijk Ameland, is het van belang het faalmechanisme piping te kunnen detecteren tijdens de projectperiode. In eerste instantie wordt daarbij gedacht aan technieken die in de afgelopen jaren zijn uitgetest op de proeflocatie van de IJkdijk te Booneschans, Oost-Groningen. Van deze technieken is immers goed bekend wat de technische mogelijkheden zijn – wat de toepassing van verder doorontwikkelde instrumenten natuurlijk niet uitsluit. Ook zijn hier concrete aanbieders van bekend met ervaring onder vergelijkbare omstandigheden, hetgeen een snelle mobilisatie vergemakkelijkt.

Geofysische meettechnieken kunnen hieraan een bijdrage leveren, naast waterspannings- en temperatuurmetingen. Het gaat hier om korte trajecten. Daardoor vallen enkele innovatieve methoden met naar verhouding hoge mobilisatiekosten maar lage kosten per kilometer af. Dit betreft met name de verschillende glasvezeltechnieken, maar ook de methode van DMC die gelijktijdig een versterkingsmaatregel is. Wat dan overblijft zijn in elk geval infraroodcamerametingen, grondradarmetingen en in één instrument geïntegreerde waterspannings- en temperatuurmetingen.

Grondradar kan gebruikt worden voor het detecteren van holtes of gebieden met lagere dichtheid die ontstaan zijn door oude en/of nieuwe pipingkanaaltjes. Andere meettechnieken zijn hier niet geschikt voor. Daarnaast is de grondradar een bij uitstek geschikte methode om een meer gedetailleerder beeld van de ondergrond te krijgen. Een hulpmiddel hierbij is de Ohmmapper, deze kan beter in de kleilagen doordringen dan de grondradar, maar is onnauwkeuriger. De grondradar en Ohmmapper vullen elkaar dan aan.

Een infraroodcamera kan worden gebruikt om de temperatuurveranderingen te meten in de sloot en aan de teen van de dijk. Dit zijn de zones waar uittreidend grondwater te verwachten is in het geval dat piping optreedt.

3.2 Locatiekeuze

Zoals aangegeven in §1.2 is bij de toepassing van de innovatieve technieken een tweede meetlocatie noodzakelijk als referentie.

De primaire locatie is bepaald binnen het versterkingsproject Waddenzeedijk Ameland. Het gaat om traject km 6,8 – 7,1, bij de Ballumerbocht, ten oosten van de Stroomleidam. Binnen dit traject is er risico op piping. Er loopt een geul dicht langs de dijk, waardoor de kwelweglengte beperkt is.

Er zijn een drietal meetraaien met waterspanningsmeters geplaatst vlak naast elkaar. Het is nog onduidelijk in hoeverre hier ook temperatuurmetingen beschikbaar zijn. Op deze locatie bevindt zich een geul voor de kust van ongeveer 50 m breed (parallel aan de dijk). Voorgesteld is om de grondradar, ohmmapper en infrarood camera op hetzelfde traject in te zetten ter mogelijke ondersteuning van de onderbouwing van een optimaler dijkontwerp.

Bij het zoeken van de secundaire meetlocatie is in de nabijheid van de primaire meetlocatie gezocht naar een situatie zonder geul vlak voor de dijk en met een voor wat betreft piping vergelijkbare bodemopbouw, dit om mogelijke verschillen in de meetgegevens goed te

kunnen verklaren. Bij voorkeur zouden de meetraaien op dezelfde manier moeten worden ingedeeld met waterspanningsmeters als op het primaire traject.

Op Ameland is de ondergrond onder de Waddenzeedijk meestal zandig. Daarnaast bevindt zich op sommige trajecten een dunne kleilaag van circa 1 m dik en deze ligt op verschillende diepten (circa NAP -1,5 tot NAP -2,5 m). Deze kleilaag is maatgevend voor het pipingmechanisme op traject km. 6,8 - 7,1. Boven deze kleilaag, kunnen zich op sommige trajecten nog een kleilaag bevinden, op een hoogte van ongeveer NAP + 0 m. Deze is van minder belang. Het is dus met name belangrijk dat de locatie waar de meetraai moet komen, diezelfde kleilaag op een diepte van ongeveer NAP -1,5 tot -2,5 m aanwezig is.

De locatie die aan de gestelde eisen het beste voldoet op basis van het beschikbare grondonderzoek [1, 2] is tussen km 2,3 en km 2,5. Dit is een eindje naar het westen. Hier bevindt zich geen geul maar zal de invloed van het getij vrijwel hetzelfde zijn als op km 6,8-7,1. De bodemopbouw is ruwweg hetzelfde als die van km 6,8-7,1. Met de metingen op deze locatie kunnen de metingen op km 6,8 – 7,1 worden gekalibreerd.

3.3 Temperatuurmetingen gecombineerd met waterspanningen

Eerder is al genoemd dat het nuttig is om meetraaien met waterspanningsmeters te installeren op locatie km 2,3-2,5 om de metingen met de waterspanningsmeters op locatie km 6,78- 7,1 te kunnen kalibreren. Om de beweging van de grondwaterstroming nog beter in beeld te brengen zijn temperatuurmetingen gewenst. Deze kunnen in één instrument gecombineerd worden met waterspanningsmeters wat geen of nauwelijks extra kosten met zich mee brengt.

In tegenstelling tot de infrarood camera (zie paragraaf 3.5) wordt op deze manier de temperatuur verkregen onder de dijk in plaats van alleen te kijken naar uittredend grondwater waarvan het risico is dat er geen sprake is van uittredend grondwater. Zo kan mogelijk de grondwaterstroming nog beter in beeld worden gebracht.

Een tweetal meetraaien wordt aangeraden omdat de instrumenten kunnen uitvallen, zoals al gebleken is op de primaire meetlocatie (en dit kan met innovatieve instrumenten evengoed gebeuren) en er zo geen meetdata op de betreffende locatie zouden zijn.

3.4 Grondradar

3.4.1 Algemeen

De grondradar kan in deze situatie gebruikt worden om de elektrische weerstand van de klei en zandlagen te meten en zo via analyse een meer gedetailleerder beeld geven van de aan en afwezigheid van de kleilagen tussen het zand op het gewenste traject.

Op het traject km 6,8 – 7,1 bevinden zich geen kabels en leidingen in de grond, waardoor de grondradarmetingen verstoord zouden kunnen worden.

Op het traject km 2,3 tot 2,5 moet dit nog uitgezocht worden.

3.4.2 Werking grondradar

Het radar systeem kan worden gemonteerd op een karretje dat voort kan worden getrokken door een op afstand bestuurd wagentje met rupsbanden. De antenne van de grondradar is voorzien van een zender en ontvanger. De zender zendt een radio signaal in een grootte van 100 Mhz in de grond. Dit signaal wordt weerkaatst door voorwerpen of bodemlagen met een verschillende di-elektrische constante (bijvoorbeeld zand en klei).

Het teruggekaatste signaal wordt vervolgens geanalyseerd en visueel weergegeven. Om de diepte te kunnen onderscheiden wordt de tijd geregistreerd die het signaal aflegt. Zo wordt weergegeven op welke diepte de zand- of kleilagen zich bevinden.

De penetratiediepte van het signaal is afhankelijk van de signaalfrequentie, signaaldemping van de ondergrond en de elektrische weerstand van de ondergrond. Zo heeft een lage frequentie een hoog penetratievermogen.

3.4.3 Ohmmapper

3.4.3.1 Algemeen

Met de Ohmmapper wordt de weerstand gemeten van de ondergrond als weerstand tussen twee platen. Met deze methode kan aanvullende informatie over de ondergrond, ten opzichte van de grondradar metingen, worden verkregen. Mogelijk zijn holle ruimten met deze methode beter te detecteren dan met de grondradar. Ook heeft de Ohmmapper een betere doordringing in kleilagen dan de grondradar, een nadeel hiervan is dat het onnauwkeuriger is. Bij voorkeur zou deze methode naast de grondradar kunnen worden toegepast. Beide meetsystemen kunnen elkaar dan aanvullen.

3.4.3.2 Werking Ohmmapper

Het Ohmmapper meetsysteem wordt over de grond gesleept met een snelheid van 5 tot 8 km/u. De zender is opgebouwd uit een geleiderplaat en een isolatieplaat. Deze isolatieplaat ligt op het maaiveld. Zo vormen het maaiveld, isolatieplaat en geleider een condensator. Door spanning op deze condensator te zetten wordt er een potentiaal opgebouwd, die tenslotte hoog genoeg is om een stroom door het isolatiemateriaal en de ondergrond te sturen.

Deze stroom wordt ontvangen door de ontvanger, die volgens hetzelfde principe is opgebouwd als de zender. De stroom die gemeten wordt is afhankelijk van de weerstand van de ondergrond.

3.5 Temperatuurmetingen d.m.v. infraroodcamera

3.5.1 Algemeen

Temperatuur van de ondergrond kan op verschillende manieren worden gemeten. Zo zijn er verschillende meettechnieken en voor dit project is gekozen voor de infraroodcamera.

De infraroodcamera kan op twee verschillende manieren worden gebruikt: een permanente opstelling met meettorren, waarop de camera geplaatst kan worden en zo continue metingen kunnen worden gedaan. Daarnaast kan de camera op een mobiele opstelling worden vastgezet, waarna die over een afstand wordt gesleept en zo eenmalig metingen uitvoert. Dit kan enkele keren worden herhaald in de periode van 2013-2014.

De laatste manier is kostenbesparend ten opzichte van de eerste manier.

3.5.2 Werking infrarood camera

Een of meerdere hoog resolutie infrarood sensor systeem (camera) worden geplaatst op een telescoopmast. Deze telescoopmast kan op een voertuig gezet worden, voorzien van een stabilisatiesysteem en een eigen stroom voorziening, draadloos internetverbinding, weerstation en computerservers voor data opslag en processing.

De infrarood camera meet op afstand de uitstraling van infrarood (met long wave) en een thermische gevoeligheid van 0,05 graad. Dit houdt in dat de veranderingen in temperatuur zichtbaar worden door middel van de camera. De veranderingen in temperatuur kunnen ter

plaatse ontstaan door uittredend grondwater dat in de winter duidelijk warmer is dan de omgevingstemperatuur.

4 Plaatsing instrumentatie

4.1 Temperatuur- en waterspanningsmetingen

4.1.1 Tijdstip metingen

De installatie van deze gecombineerde temperatuur en waterspanningsmeters dient zo snel mogelijk te gebeuren in 2013, zodat de metingen nog tijdens het stormseizoen 2012/2013 kunnen worden gestart. De metingen moeten doorlopen tot juni 2014.

4.1.2 Locatie

Twee meetraaien worden aanbevolen, met elk vijf gecombineerde temperatuur en waterspanningsmeters. In totaal gaat het om 10 waterspanningsmeters, op traject km 2,3-2,5. De twee meetraaien dienen parallel van elkaar te liggen, dwars op de dijk.

Deze meetraaien worden aanbevolen met dezelfde plaatsingslocatie ten opzichte van het dwarsprofiel als op km 6,8 – 7,1, dat wil zeggen, een in de buitenteen (wat op km 6,8 – 7,1 niet is gedaan, maar wel noodzakelijk), een in de buitenkruin, een in de binnenkruin en een in de binnenteen en de laatste in het achterland. De buitenwaterstand wordt door Rijkswaterstaat gemeten, echter op een locatie die te ver ligt van Ameland om een duidelijke kloppende extrapolatie te kunnen maken. Om deze reden wordt de vijfde waterspanningsmeterlocatie, die in de buitenteen, (zo ver mogelijk van de buitenkruin vandaan) aanbevolen.

Deze gecombineerde temperatuur- en waterspanningsmeters moeten vlak onder de tussenliggende kleilaag worden geïnstalleerd. Dit houdt in dat deze op een diepte van NAP - 3 m moeten komen.

4.1.3 Aandachtspunten

Ter vergelijking van de waterspanningen die geplaatst zijn op traject km 6,8 tot 7,1, zijn zogenaamde nulmetingen nodig op een locatie met dezelfde bodemopbouw en waar zich geen geul bevindt. De gevoeligheid van de waterspanningsmeters moet bekend zijn en in de orde van 0,01 kPa relatieve nauwkeurigheid liggen. De absolute nauwkeurigheid van de meters in de orde van 0,1 kPa is voldoende voor deze toepassing. Een lagere waarde is toegestaan. De metingen hoeven dan niet met precies dezelfde soort waterspanningsmeters als op traject km 6,8 – 7,1 worden uitgevoerd. Aanbevolen wordt om een type te kiezen die ook temperatuurdata kan weergeven. Om meer bekendheid te krijgen met innovatieve waterspanningsmeters gecombineerd met temperatuurmetingen zouden de GeoBeads kunnen worden gebruikt, mits zo uitgevoerd dat deze de temperatuur ook meten.

Binnen het versterkingsproject Waddenzeedijk Ameland, dat door Witteveen en Bos wordt uitgevoerd, heeft Fugro Noord Nederland de waterspanningsmeters geïnstalleerd (en hier is ook gedetailleerde informatie verkrijgbaar).

4.2 Grondradar

4.2.1 Tijdstip metingen

Met de grondradar is het advies drie à vier keer metingen te uitvoeren. Dit op de volgende tijdstippen:

- In februari/maart een nulmeting gedurende hetzelfde getijcyclus (van 13 uur) op beide trajecten (km 6,8 – 7,1 en km 2,3 – 2,5).
- In stormseizoen 2013/2014 een keer direct na of tijdens een heftige (NW) storm, op beide trajecten (het liefst tegelijkertijd).
- De laatste meting kan plaatsvinden in juni 2014, op beide trajecten.

De vierde en reservemeting is onder voorbehoud, mocht een meting niet goed zijn uitgevoerd of de data niet voldoende informatie leveren.

4.2.2 Profielen

Geadviseerd wordt bij de nulmeting naast een lengteprofiel enkele dwarsprofielen te meten, aangezien bij alleen een profiel in de lengterichting, een gebied van ongeveer 2 m breed wordt gemeten en zo geen duidelijk 3-D beeld van de ondergrond wordt verkregen. Met dwarsprofielen gaat dit wel lukken. Het doel om de bodemopbouw van de ondergrond gedetailleerder te weergeven op beide trajecten wordt hiermee bereikt. Deze metingen op 1 traject zullen circa 2 à 3 uur in beslag nemen, inclusief de dwarsprofielen.

Bij de meting in stormseizoen 2013/2014 tijdens een NW storm zou het kunnen gebeuren dat het waterniveau hoog genoeg ligt om (theoretisch) de groei van pipingkanaaltjes te kunnen laten ontstaan. Daarom wordt geadviseerd om alleen metingen tijdens of vlak na een 'heftige' NW storm te uitvoeren. Bij een ZO storm zal het waterniveau lager liggen dan tijdens een NW storm. De voorkeur gaat daarom uit naar een NW storm.

Geadviseerd wordt om tijdens deze meting alleen twee lengteprofielen te meten, een op de kruin en een tussen de binnenteen en de sloot (indringingsdiepte groter) op beide trajecten. Het is niet noodzakelijk dat de metingen op hetzelfde tijdstip plaatsvinden, maar wel op dezelfde dag of een dag ervoor/erna.

Bij de laatste meting in juni 2014 wordt geadviseerd twee lengteprofielen te maken op dezelfde manier en plaats als bij de meting in stormseizoen 2013/2014.

4.2.3 Aandachtspunten

Deltares zal de weersvoorspelling in de gaten houden en de geselecteerde meetpartij van advies voorzien en wanneer er gemeten kan worden.

Er zal rekening moeten worden gehouden met de beperkte veerdienst naar Ameland tijdens storm.

Een meetpartij die deze metingen kan uitvoeren en waar ervaring mee is opgedaan op de IJkdijk is Empec b.v.

Holtes kunnen wellicht ook met deze methode worden gedetecteerd. Zeker is dit niet en daarom wordt aanbevolen gebruik te maken van de Ohmmapper (zie volgend paragraaf).

4.3 Ohmmapper

4.3.1 Tijdstip metingen
Zie paragraaf 4.2.

4.3.2 Locatie/profielen
Zie paragraaf 4.2, het gaat met name om lengteprofielen.

4.3.3 Aandachtspunten
Gedurende de grondradarmetingen kunnen de Ohmmapper metingen uitgevoerd worden door dezelfde meetpartij. Dit werkt kostenbesparend.

De Ohmmapper metingen zijn bedoeld om de holle ruimten beter te kunnen detecteren. De Ohmmapper heeft een betere doordringing in de kleilagen dan de grondradar, echter een nadeel is dat het onnauwkeuriger is dan de grondradar. Deze methoden moeten dus naast elkaar worden gebruikt en kunnen niet onafhankelijk van elkaar gebruikt worden.

Bij voorkeur zou de Ohmmapper ingezet moeten worden tijdens dezelfde periode en dezelfde manier, op beide trajecten als de grondradar (zie paragraaf 4.2).

Een meetpartij die deze metingen kan uitvoeren is Empec b.v. Het werkt kostenbesparend als een meetpartij zowel de grondradar als de ohmmapper kan uitvoeren.

4.4 Infrarood camera

4.4.1 Tijdstip metingen
De eisen zijn dat op drie tijdstippen gedurende de periode van februari 2013 t/m juni 2014 metingen worden uitgevoerd, of continue monitoring plaatsvindt. Het is belangrijk dat de metingen gedurende een getijdencyclus worden uitgevoerd, van begin t/m einde, vanwege de mogelijk vertraagde reactie van grondwaterstroming. Het liefst moeten beide trajecten tegelijkertijd worden gemonitord.

De drie tijdstippen zijn:

1. gedurende getijdencyclus (13 uur) in februari 2013 op trajecten km 6,8 tot 7,1 en km 2,3 tot 2,5
2. gedurende getijdencyclus (13 uur) bij een NW storm op beide trajecten in stormseizoen 2013/2014
3. gedurende getijdencyclus (13 uur) in juni 2014 op beide trajecten
4. eventuele reservemeting gedurende getijdencyclus (13 uur) bij een NW storm op beide trajecten in stormseizoen 2013/2014

4.4.2 Locatie
Het gehele traject zal in beeld moeten worden gebracht, inclusief de sloot. Verwacht kan worden, indien grondwater uittreedt, dat dit in de sloot plaatsvindt.
Bij voorkeur op beide trajecten, op km 2,3-2,5 en km 6,8-7,1.

4.4.3 Aandachtspunten
De infraroodcamera (temperatuurmetingen) kunnen op twee manieren plaatsvinden, afhankelijk van het budget en de combinatiemogelijkheid met andere Livedijk-projecten.

De eisen zijn:

Een instrument nauwkeurigheid in orde van 0,05 graad Celsius of Kelvin, relatief gezien is gewenst of lager. De absolute nauwkeurigheid in de orde van 0,5 graden Celsius of Kelvin zal voldoen voor deze toepassing.

Deltares zal advies geven welke NW storm geschikt is en houdt dit in de gaten door middel van weersvoorspellingen (1 a 2 dagen van tevoren).

Afstemming zal door de meetpartijen zelf plaats moeten vinden, of door de opdrachtgever, zodat de metingen elkaar niet overlappen (omdat op hetzelfde traject gemeten moet worden met andere meettechnieken).

Bij continue monitoring zal de semi-permanente opstelling met meettoren met 2 camera's geadviseerd worden, zodat beide trajecten gelijktijdig gemonitord worden. Uitgezocht zal moeten worden door de meetpartij of dit daadwerkelijk uitvoerbaar is i.v.m. toestemming bouw toren, geschikte locatie en toestemming op het terrein, data transport e.d.

Bij niet continue monitoring zal rekening moeten worden gehouden met de beperkte veerdienst naar Ameland. De keuze hangt af van het budget dat beschikbaar is.

Een meetpartij die deze metingen kan uitvoeren is bijvoorbeeld Intech, die onder andere bij de IJkdijk experimenten en bij Livedijk Noorderzijlvest actief was en is.

5 Literatuur

[1] Veiligheidsbeoordeling Waddenzeedijk Ameland (dec 2003). Deltares. Projectnr. CO-376710-0482.

[2] Toetsing Waddenzeedijk Ameland, Gedetailleerde toets Piping en Microstabiliteit (nov 2003). Deltares. Projectnr CO-376710-484.

[3] Toetsing vigerende en nieuwe pipingregel op Ameland (2011). Deltares. Kenmerk 1204707-000-GEO-0007.

[4] Geotechnisch onderzoek langs de dijk nabij Nes (Ameland). Fugro GeoServices B.V. Geo Advies Noord Nederland. Opdrachtnummer: 5011-0275-000