

Haalbaarheidsstudie Geofysische Karteringstechnieken



ir. J.G. Rinsema, ir. S.W. Bakkenist MBA, ing. W.S. Zomer MSc (BZ Ingenieurs en Managers)
dr. ir. A. R. Koelewijn, drs. I. L. Ritsema (Deltares)

Project: Haalbaarheidsstudie Geofysische Karteringstechnieken
Document: Eindrapport
Status: Definitief
Datum: 7 juni 2018
Referentie: BZ139.180109.01

Opdrachtgever: POV Piping
Projectcode: BZ139

Auteurs): ir. J.G. Rinsema (BZIM)
ir. S.W. Bakkenist MBA (BZIM)
ir. W.S. Zomer MSc (BZIM)

Concept gecontroleerd door: dr. ir. A.R. Koelewijn (Deltares)
drs. I. L. Ritsema (Deltares)

Adres: BZ Ingenieurs en Managers BV
Zutphenseweg 51
Postbus 445
7400 AK Deventer

Contact: +31 (0)570 645 811
info@bzim.nl
www.bzim.nl

Samenvatting

Deze notitie verkent de toepasbaarheid van geofysische karteringstechnieken voor het domein dijken en doet aanbevelingen voor verbetering.

Op basis van een uitgevoerde deskstudie worden de relevante technieken besproken en de kenmerken die relevant zijn bij toepassing benoemd. Er wordt geconcludeerd dat toepassing van geofysische technieken veelbelovend is met duidelijke voordelen voor het snel en compleet in beeld brengen van de ondergrond. Tegelijkertijd blijken de resultaten bij feitelijke toepassing wisselvallig. Deels is dit terug te voeren op onbekendheid van de technieken maar ook de onvolledigheid in de vraagstelling en verwachtingen vooraf spelen mee. Dit staat grootschaligere toepassing vooralsnog in de weg.

Er wordt aanbevolen de inzet van geofysische karteringstechnieken steeds vooraf goed te doordenken met een duidelijke informatievraag en realistische verwachtingen ten aanzien van de resultaten aan de hand van een informatiestrategie. Dit draagt bij aan versterkt begrip tussen kennisdragers (aanbieders) en eindgebruikers (beheerders).

Ook wordt aanbevolen om tot een completere beschrijving van praktijkvoorbeelden en vastlegging van omstandigheden, vanuit het perspectief van de beheerder, te komen. Hiermee wordt ook de ontwikkeling van een productwijzer haalbaar en nuttig geacht.

Inhoudsopgave

Samenvatting.....	3
1. Inleiding	6
1.1. Aanleiding	6
1.2. Opdracht	6
1.3. Doelstellingen.....	6
1.4. Scope en afbakening	7
1.5. Leeswijzer	7
2. Geofysisch karteren.....	8
2.1. Elektromagnetische methoden.....	8
2.1.1. Frequentie Domein Elektromagnetisme (FDEM)	8
2.1.2. Grondradar	10
2.2. Elektrische methoden.....	11
2.2.1. Verticale elektrische sondering (VES en ERT)	11
2.2.2. Spontane potentiaal methode (SP methods)	12
2.3. Seismiek.....	13
2.3.1. Reflectie seismiek.....	13
2.3.2. Multichannel analysis of surface waves (MASW).....	15
2.4. Toplaag metingen	16
2.4.1. Gammastralingssensor.....	16
2.4.2. Passieve microgolf radiometrie.....	17
2.5. Niet-geofysische methoden.....	18
2.5.1. Infrarood	18
2.5.2. Glasvezel.....	20
2.6. Onderlinge samenhang.....	22
2.7. Samenvattende tabel	22
3. Geofysisch karteren in de beheerpraktijk.....	23
3.1. Toepassen bij versterking en beoordeling.....	23
3.1.1. Inventariseer afwijkende plekken	23
3.1.2. Uitsluiten en detailleren van ondergrondscenario's	24
3.2. Inventarisatie praktijk toepassingen	24
4. Discussie, Conclusies en aanbevelingen.....	26
4.1. Scherper ontwerpen, beter beoordelen als belofte.....	26
4.2. Praktijktoepassing levert wisselende resultaten	26
4.3. Aanbevelingen	27
4.3.1. Gecombineerde inzet van technieken is steeds nodig.....	27

4.3.2.	Kies meetstrategie als startpunt.....	27
4.3.3.	Doorontwikkeling van een productwijzer geofysica.....	27
4.3.4.	Opleiding organiseren.....	28
4.3.5.	Vervolgonderzoek.....	29
	Bibliografie.....	30
	Bijlage I. Interview vragen Productwijzer	32
	34

1. Inleiding

1.1. Aanleiding

De sterkte van een dijk is in grote mate afhankelijk van de opbouw van de dijk en de ondergrond waar de dijk op is gebouwd. Een traditionele manier om de opbouw van een dijk en de ondergrond in kaart te brengen voor de beoordeling en het ontwerp is het uitvoeren van boringen en sonderingen. Voor lokaal optredende faalmechanismen, zoals bijvoorbeeld piping, geeft dit echter nog steeds veel onzekerheid over de opbouw van het niet gemeten deel van de dijk en de omgeving van de dijk, voor zover van belang voor de faalmechanismen. Om de mate van onzekerheid te verkleinen en meer inzicht te verkrijgen in de werkelijke pipinggevoeligheid van dijken, kunnen geofysische karteringstechnieken worden toegepast.

Geofysische karteringstechnieken zijn technieken die de ondergrond vlak- of volumedekkend in kaart kunnen brengen door toepassing van verschillende soorten meetinstrumenten. Zij verzamelen daardoor informatie over de gehele ondergrond, in vlak- en volumedekkend opzicht. Het in kaart brengen kan door een geofysische meetcampagne te doen waaruit relevante geometrieën en eigenschappen van de ondergrond bepaald kunnen worden en door geofysisch te monitoren waaruit op basis van de gemeten procesdynamiek relevante geometrieën en grondeigenschappen bepaald kunnen worden.

De POV piping heeft een marktconsultatie gedaan om innovatieve methoden in beeld te brengen waarmee piping beter kan worden onderzocht of berekend, en daarmee de beoordeling van piping gedetailleerder te kunnen doen. Een aantal van deze methoden zijn geschaard onder *geofysische karteringstechnieken* en zijn in deze studie op praktische toepasbaarheid verder onderzocht.

1.2. Opdracht

Van de POV Piping heeft BZ Ingenieurs en Managers de opdracht ontvangen om een haalbaarheidsstudie uit te voeren naar geofysische karteringstechnieken. Daarvoor is in samenwerking met Deltares gewerkt aan de totstandkoming van deze notitie. Deze notitie kent de volgende onderdelen:

1. Deskstudie naar operationeel inzetbare geofysische karteringstechnieken
2. Haalbaarheid van een productwijzer in geofysische karteringstechnieken

Een ander onderdeel van de verkregen opdracht omvat het organiseren van een aantal werkplaatsessies om te komen tot een meetstrategie voor piping. Hiervoor is samengewerkt met de heer Geldof, Deltares en betrokkenen uit de sector middels diepte interviews. Deze onderdelen zijn in een separate notitie verwoord, te weten:

3. Verwerking van de resultaten van een markthaalbaarheidsstudie innovatieve monitoringstechnieken
4. Werkplaats meetstrategie 'op weg naar een meetstrategie voor piping'
5. Formulering van een meetstrategie

1.3. Doelstellingen

De doelstelling van deze haalbaarheidsstudie is het leveren van praktische handvatten over de operationele inzetbaarheid van geofysische karteringstechnieken voor het zicht krijgen op de lokale ondergrond situatie rondom en in een waterkering en het identificeren van tekortkomingen hierbij. De doelgroep daarbij zijn de beheerders van waterkeringen bij waterschappen en andere overheidsinstellingen en haar adviseurs vanuit de ingenieursbureaus.

Ten slotte wordt de haalbaarheid van een productwijzer beoordeeld, naar idee van Acacia Water. In het voorstel wordt ook al een eerste voorbeeld gegeven hoe de productwijzer voor een beheersvraag kan worden uitgewerkt.

1.4. Scope en afbakening

De definitie van geofysische karteringstechnieken die in deze studie is gehanteerd is:

'Het niet invasief, vlak- of volumedekkend in kaart brengen van de ondergrond opbouw.

De geofysische technieken worden in deze studie primair beoordeeld in relatie tot het faalmechanisme piping. Veelal levert toepassing ook informatie voor andere faalmechanismen op, zoals macrostabiliteit.

De geofysische methoden die zijn meegenomen zijn breder inzetbaar dan beschouwd in deze rapportage. De rapportage is gericht op het faalmechanisme piping. Overige factoren die een vergroot risico kunnen vormen voor piping, zoals kabels en leidingen, en die gedetecteerd kunnen worden met de geofysische technieken zijn daarin niet meegenomen.

Een methode die wel wordt meegenomen, maar niet volledig aan deze definitie voldoet is de implementatie van glasvezelsensoren in de dijk. De glasvezelsensoren worden namelijk ingebracht en daarmee wordt de grond beroerd. Door de potentiële toegevoegde waarde die glasvezelsensoren hebben worden deze toch meegenomen in de studie.

Als laatste wordt beoordeeld of het uitwerken van een productwijzer geofysica haalbaar is. Door een beperkt hoeveelheid budget en tijd is geen invulling gegeven aan de verdere uitwerking van een productwijzer. Indien een dergelijke productwijzer haalbaar wordt geacht, betreft het een aanbeveling voor een vervolg.

1.5. Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt een aantal geofysische karteringstechnieken besproken op basis van deskstudie en gebruikmakend van diepte interviews met kennisdragers uit de werkpraktijk. In hoofdstuk 3 wordt een aantal voorbeelden gegeven waarin geofysische karteringstechnieken zijn toegepast in de beoordeling en/of ontwerp. In hoofdstuk 4 worden tenslotte de conclusies en aanbevelingen voor verder onderzoek gegeven.

2. Geofysisch karteren

Onder geofysische karteringstechnieken wordt verstaan dat de ondergrond met niet-invasief onderzoek, vlak- of volumedekkend wordt gekarteerd. Geofysische technieken geven informatie over de grondopbouw. Deze informatie levert de keringbeheerder een basis voor het plaatsen van grondonderzoek en levert de keringbeheerder inzicht in en begrip van zijn dijk.

Geofysische technieken leveren geen bodemparameters. Geofysische technieken geven inzicht in de (onder)grond en opbouw hiervan. Wanneer deze metingen worden gecombineerd met boringen en sonderingen kunnen puntmetingen worden vertaald naar grondlagen in de bodem. Inmeting van de freatische lijn en onderzoek naar de elektrische geleidbaarheid van het grondwater kan daarbij ook nuttig of nodig zijn. Hoe loopt de zandlaag die ik in mijn boring aantrof bijvoorbeeld door in zijn omgeving en wat is het driedimensionale beeld van de ondergrond? Hoe dik is mijn deklaag en zijn er op de dunne locaties wellicht zandbanen aangetroffen?

De ervaring leert dat ook de kwaliteit van de ingezette apparatuur en de kundigheid van diegene die de interpretatie uitvoeren van belang zijn voor het resultaat.

In plaats van het uitvoeren van bodemonderzoek op basis van lokale/punt-informatie, wordt met geofysische technieken invulling gegeven aan het ruimtelijk inzicht in de bodem. Geofysische metingen leveren kwalitatieve informatie op over de bodemopbouw die met boringen en sonderingen moet worden gekwantificeerd.

De categorieën geofysische technieken zijn elektromagnetisme, elektrische methoden, seismische methoden en toplaag methoden. De beschrijving van de elektromagnetische, elektrische en seismische methoden zijn primair gebaseerd op de beschrijving van Zuada Coelho et al. (2015). De bron van de overige methoden is genoemd bij de beschrijving van de technieken.

Dit betekent dat geofysische technieken die informatie geven over de hoogte van de kering/het achterland (radar, laseraltimetrie) of informatie over de bathymetrie (sonar, SAR) buiten beschouwing zijn gelaten. Tevens zijn magnetische methoden buiten beschouwing gelaten, omdat deze voornamelijk worden ingezet voor het opsporen van verstoringen in de ondergrond (Depreiter & van Looveren, 2010; Zuada Coelho, Diaferia, G., Kruiver, & Venmans, 2015).

Aanvullend op de inventarisatie is er een tweetal technieken opgenomen die een bijdrage aan de meetstrategie kunnen leveren, omdat deze technieken relevante informatie verzamelen over de actuele toestand van de kering. Deze technieken zijn samengevat onder het kopje 'niet-geofysische karteringstechnieken'.

Met nadruk wordt gesteld dat in deze haalbaarheidsstudie niet getracht is om een uitputtend overzicht te creëren van beschikbare geofysische technieken. Deltares, TNO en de universiteiten en het bedrijfsleven hebben hier veel onderzoek naar uitgevoerd en een zeer groot scala aan technieken beschikbaar. Bij bespreking van de technieken wordt veelvuldig verwezen naar aanvullende bronnen.

2.1. Elektromagnetische methoden

Deze technieken meten de opbouw van de ondergrond. Een nulmeting is niet vereist bij deze technieken. Wel moeten de resultaten gevalideerd worden op basis van traditionele boringen en/of sonderingen.

2.1.1. Frequentie Domein Elektromagnetisme (FDEM)

Methode

Bij elektromagnetische meting wordt een constante puls opgewekt door een zendspoel en vervolgens weer opgevangen door een ontvanger. De ondergrond creëert een secundair veld. Het totale veld wordt opgenomen door de ontvangspoel. De eigenschappen van het secundaire veld zijn afhankelijk van de schijnbare bodemweerstand (gemiddelde bodemweerstand over de diepte). De wijze waarop het veld verandert levert informatie op over de ondergrond. Met behulp van een elektrisch weerstandsmodel wordt vervolgens de lokale ondergrond gegenereerd.

Een bekende FDEM techniek die wordt gebruikt is de EM34 (Ritsema, TNO OS 84-23, 1984) en EM31 methode, voor de opsporing van zandbanen (Vincke, Peeters, Depreiter, Van Looveren, & Luyten, 2011). Dualim421 techniek is in recente cases toegepast.

Relatie met meettechniek

Type: Elektromagnetische methode
 Meet: De overgang van type ondergrond in de deklaag
 Beperking: Ruis door kabels en leidingen en van hoogspanningskabels

Toepassing

Soort meting: lijnmeting
 Dieptebereik: 3 – 6 meter

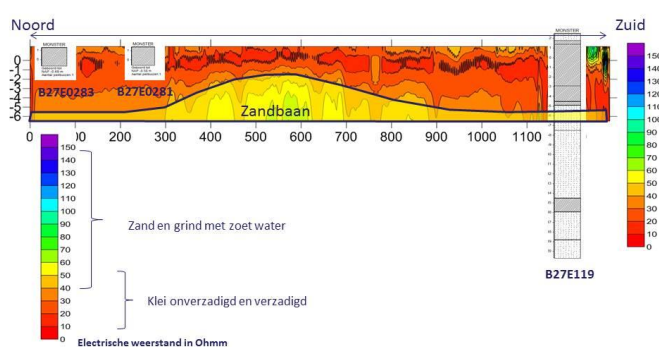
Resolutie dieptebereik

De resolutie en dieptebereik van de FDEM metingen zijn afhankelijk van de afstand tussen de spoelen, de oriëntatie ervan en de gebruikte frequenties.

Uitvoering

Nulmeting: niet van toepassing
 Validatiemeting: boringen en sonderingen, grondwater-geleidbaarheid
 Herhaling: niet van toepassing
 Meetsnelheid: afhankelijk van gewenste resolutie

Voorbeeld resultaat



Figuur 1 - schematische weergave FDEM (Dualim421; Acacia 2016)

Opmerkingen

De EM metingen worden vanuit verschillende platformen gedaan, bijvoorbeeld rijdend, lopend of vanuit de lucht. De resolutie wordt mede bepaald door het gebruikte platform.

In een variant wordt na het uitzenden van een puls gekeken naar de uitdoving van het signaal (zogenoemde TimeDomain Electromagnetic Method, ofwel TDEM). Deze methode meet voornamelijk over

grote diepten (>50-100 meter). Deze informatie is niet relevant voor de beoordeling of ontwerp van een kering en daarom wordt TDEM hier niet verder besproken.

Ervaringen

FDEM (oftewel EM31 en EM34 of Dualim) zijn al veelvuldig toegepast met wisselend succes. Er zijn veelvuldige projecten geweest waarin EM metingen als waardevol zijn bevonden. Er zijn echter ook projecten bekend waar een eenduidige interpretatie niet of niet goed mogelijk bleek te zijn. Een aantal recente voorbeelden is beschreven in paragraaf 3.2

2.1.2. Grondradar

Methode

Bij grondradar worden elektromagnetische pulsen in de grond gestuurd. De frequentie van de grondradar kan variëren tussen 50-2000 MHz. Door de uiteenlopende frequenties wordt er ook onderscheid gemaakt tussen laagfrequente grondradar en hoogfrequente grondradar. De pulsen worden gereflecteerd door structuren in de ondergrond. Hoogfrequente metingen zijn direct toepasbaar, terwijl laag frequente niet wordt aanbevolen (Vincke, Peeters, Depreiter, Van Looveren, & Luyten, 2011).

De grondradar bestaat uit een zendantenne en een ontvangstantenne. De reflectie in de grond wordt veroorzaakt door de mate waarin het medium elektrische lading kan vasthouden. Het resultaat is een constante die varieert op basis van het type ondergrond en het vochtgehalte.

Relatie met meettechniek

Type:	Elektromagnetische methode
Meet:	Dikte van de deklaag
Beperking:	Metingen in een zoute omgeving of met zout en brak grondwater dempen het signaal erg sterk. Tevens dempt klei het signaal sterk.

Toepassing

Soort meting:	lijnmeting
---------------	------------

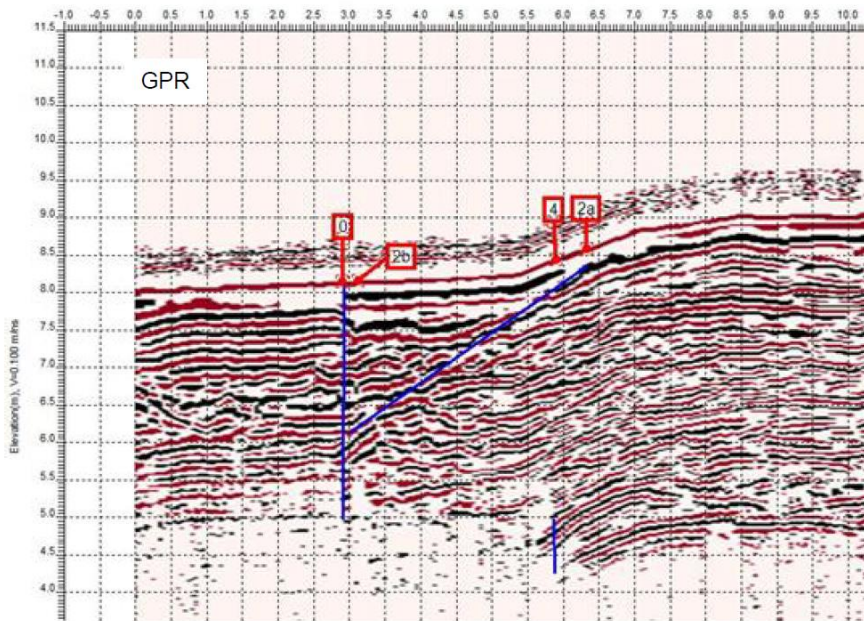
Resolutie dieptebereik

De resolutie van grondradar geeft goede en bruikbare informatie over de bovenste 1-1,5 meter, zeker als de bodem uit zand bestaat. Op locaties waar de kleidikte groter is dan circa 1 meter, werkt de grondradar slechter en zijn de conclusies uit de data minder goed bruikbaar (Huizenga, de Vries, & Veldhuis, 2015).

Uitvoering

Nulmeting:	niet nodig
Validatiemeting:	Boringen
Herhaling:	niet nodig bij veranderende omstandigheden
Meetsnelheid:	paar honderd meter tot 10 km per uur

Voorbeeld resultaat



Figuur 2 - Grondradar resultaat (Zuada Coelho, Diaferia, G., Kruiver, & Venmans, 2015)

Ervaring

Er zijn al veel toepassingen met grondradar bekend. Bij een diepte resolutie tot 6m-MV worden afwijkingen geregistreerd. GPR levert inzicht in patronen maar is niet exact. Het wordt toegepast in combinatie met bijvoorbeeld FDEM. Bij klei op zand gaf dit goede resultaten bij Mastenbroek (Huizenga, de Vries, & Veldhuis, 2015), maar in zoute omstandigheden met zand met kleilensjes en 2 meter dikke deklaag van klei en veen op zand waren de resultaten matig.

2.2. Elektrische methoden

2.2.1. Verticale elektrische sondering (VES en ERT)

Methoden

Bij verticale elektrische sondering wordt stroom in de grond gebracht en het potentiaalverschil tussen twee elektroden gemeten. Het potentiaalverschil is een maat voor de weerstand. De weerstand is afhankelijk van de grondsoort en condities zoals verzilting.

Tevens wordt de verticaal elektrische sondering toegepast in de vorm van Elektrische weerstandstomografie (ERT), daarom worden deze methoden hier gezamenlijk benoemd.

De elektroden zitten bevestigd aan een kabel die over de ondergrond wordt uitgerold. Vervolgens worden de elektroden (ondiep) in de grond gestoken, omdat de elektroden voldoende contact moeten maken met de ondergrond. Er zijn twee elektroden die stroom uitzenden. De overige elektroden vangen het signaal op.

Indien de VES meting continu wordt gedaan wordt het CVES genoemd.

Relatie met meettechniek

Type:	Elektrische methode
Meet:	de overgang van type ondergrond, grondwaterverzadiging en -kwaliteit
Nabewerking:	Vertaling van het gemeten resultaat is nodig

Toepassing

Soort meting: lijnmeting

Resolutie dieptebereik

Resolutie dieptebereik is circa 10-25% van de elektrodeafstand.

Uitvoering

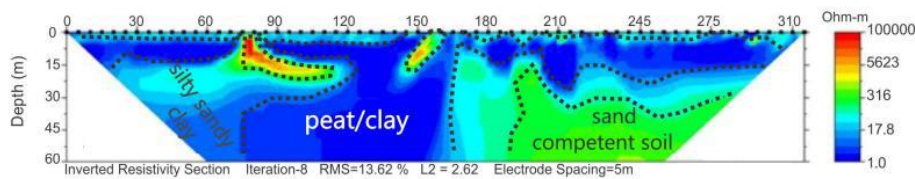
Nulmeting: niet nodig

Validatiemeting: boringen

Herhaling: niet nodig bij veranderende omstandigheden

Meetsnelheid: 10 – 20 VES metingen per dag

Voorbeeld resultaat



Figuur 3 - Resultaat ERT meting (Ayolabi Elijah, Folorunso Adetayo, & Jegede Olubunmi, 2012)

Opmerkingen

(C)VES wordt voornamelijk gebruikt in de opsporing van verzilting van het grondwater. VES wordt echter voor grotere diepten ingezet (tot 100 m) en ERT tot 20 m beneden maaiveld.

Ervaring

ERT geeft de gelaagdheid gedetailleerd weer met een goede resolutie, waarmee de toepassing van ERT erg geschikt is voor het opsporen van verontreiniging in de ondergrond (Perri, et al., 2014). Toepassingen voor inventarisatie van de ondergrondlagen in Nederland zijn niet gevonden in deze deskstudie.

2.2.2. Spontane potentiaal methode (SP methods)

Methode

SP is een passieve elektrische methode. Stromend water veroorzaakt kleine verschuivingen van ionen in het grondwater. De verschuiving van de ionen veroorzaakt potentiaalverschillen van millivolts (mV). Ook chemisch potentiaal of temperatuurverschillen kunnen elektrische stroom opwekken in de ondergrond. De potentiaalverschillen worden gemeten met speciale elektroden.

SP kan worden gebruikt om anomalieën te vinden in stroming van water en lekkages in dijken of dammen. De elektroden worden met behulp van een lijn voortbewogen over het meetgebied.

Relatie met meettechniek

Type: Elektrische methode

Meet: Grondwaterstroming

Beperking: Ruisbronnen zijn temperatuurwisselingen, grondbewegingen, UV licht en drift van het meetinstrument. De data wordt gecorrigeerd voor deze ruis.

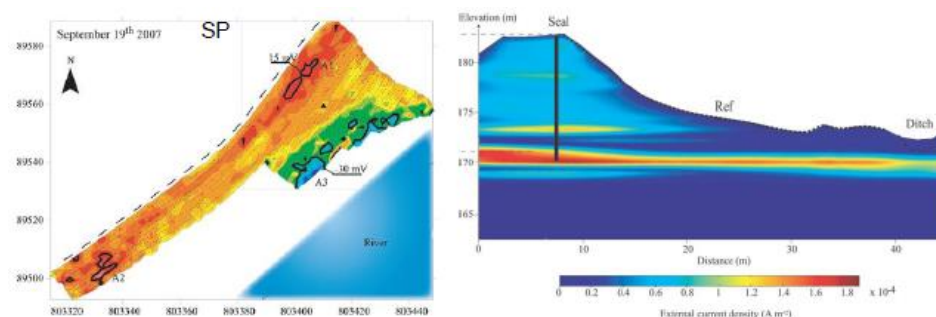
Toepassing

Soort meting: lijnmeting

Uitvoering

Nulmeting: niet nodig
 Validatiemeting: boringen:
 Herhaling: niet nodig bij veranderende omstandigheden
 Meetsnelheid: circa 40 km per uur

Voorbeeld resultaat



Figuur 4 - Dijk langs de Rhône, overgenomen van Zuada Coelho et al. (2015), origineel uit Bolève et al. (2009). Links de SP meting, rechts de gecombineerde SP meting met ERT.

Ervaring

De metingen met behulp van SP zijn erg gevoelig voor de lokale omstandigheden en tevens voor het moment van meten (Depreiter & van Looveren, 2010). Kleine variaties in gemeten ampère kunnen al een verschillende interpretatie geven. De beste resultaten worden dan ook verkregen op het moment dat er relevante grondwaterstroming te detecteren valt, dus in geval van hoogwater. Deze metingen kunnen vervolgens worden gecombineerd met andere geofysische methoden (zoals bijvoorbeeld ERT) om watervoerende lagen op te sporen (Zuada Coelho, Diaferia, G., Kruiver, & Venmans, 2015).

2.3. Seismiek

Er bestaan verschillende seismische methoden. Bij de seismische methoden kan gebruik worden gemaakt van verschillende golven, zogenaamde S-golven of P-golven. Vanuit eerdere praktijkproeven blijken de S-golven minder bruikbaar (Depreiter & van Looveren, 2010).

In onderstaande stuk wordt alleen reflectie seismiek beschreven. Refractie seismiek wordt onvoldoende ontwikkeld beschouwd (Depreiter & van Looveren, 2010).

Tevens is een cross-hole methode ontwikkeld, waarbij de verzender invasief wordt toegepast. Tevens is het dieptebereik of resolutie niet verschillend van de hieronder besproken seismische methoden.

2.3.1. Reflectie seismiek

Methode

Een trilling wordt opgewekt door een seismische bron. Deze golf plant zich voort in alle richtingen. De snelheid en demping van de voortplanting van schuifgolven en compressiegolven is afhankelijk van de akoestische eigenschappen van het medium.

Bij een overgang in de ondergrond wordt een deel van de seismische energie gereflecteerd. De terugkaatsing wordt opgevangen met gefoons. Een ander deel van de energie gaat dieper in de ondergrond. De informatie in tijd (tijd van het opvangen van de respons) wordt omgezet in een diepteprofiel. Vertical Seismic Profile meting is een validatie.

De laagovergang moet gevalideerd worden. Daarmee kan alleen de ligging van de laag bepaald worden. Bij reflectie wordt bij de overgang van een grondlaag een deel van de trilling weerkaatst. Het overige deel plant zicht voort naar beneden. De gereflecteerde trilling wordt opgevangen door een gefoon.

Relatie met meettechniek

Type: seismische methode
 Meet: de overgang van type ondergrond, voornamelijk de locatie van het fijne zand in de diepe ondergrond (Pleistoceen)
 Beperking: Enige ruis bij verkeersbelasting (auto, metro, tram), industriële ruis, wind, regen, 50 Hz stroomnet en zee.

Toepassing

Soort meting: lijnmeting

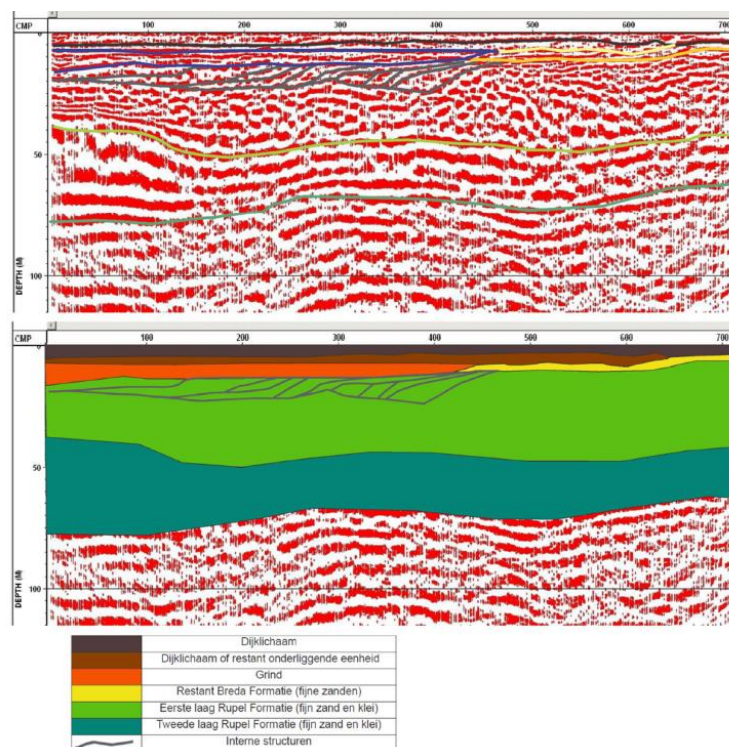
Resolutie dieptebereik

Dieptebereik: tientallen meters
 Resolutie: 10 – 20 % van de diepte.

Uitvoering

Nulmeting: niet van toepassing
 Validatiemeting: boringen of sondering
 Herhaling: niet van toepassing

Voorbeeld resultaat



Figuur 5 - Voorbeeld van reflectie seismiek voor het Julianakanaal (de Kleine, Koelewijn, & Venmans, 2015). Bovenste paneel geeft de meest relevante reflecties weer, het onderste paneel de indeling van de ondergrond in eenheden.

Ervaring

In het pilotproject Julianakanaal zijn de resultaten van de reflectie-seismiek tot 75 meter goed (de Kleine, Koelewijn, & Venmans, 2015). De overgang van de kering naar de ondergrond is goed zichtbaar, er zijn alleen geen structuren te zien in de kering. Het is onbekend of dit komt door de matige resolutie of omdat er geen structuren aanwezig zijn.

2.3.2. Multichannel analysis of surface waves (MASW)

Methode

MSAW maakt gebruik van oppervlaktegolven. De oppervlaktegolven reizen op het lucht-grond oppervlak of langs de waterbodem. Uit de relatie tussen de frequentie van de golven en de snelheden waarmee deze reizen, kan met behulp van inversie een verticaal profiel worden afgeleid van de schuifgolfsnelheid. Voor een bepaalde verdeling van dichtheden en snelheden in de ondergrond kan een theoretische dispersiecurve worden berekend. Deze wordt vergeleken met de gemeten dispersiecurve. De kleinste afwijking tussen de berekende en gemeten dispersiecurve geeft een 1D ondergrondopbouw.

Relatie met meettechniek

Type: seismische methode
Meet: de overgang van type ondergrond, (inschatting van) stijfheidsmodulus
Beperking: enige ruis bij verkeersbelasting, (auto, metro, tram), industriële ruis, wind, regen, 50 Hz stroomnet en zee.

Toepassing

Soort methode: Seismiek
Soort meting: lijnmeting (niet per se)

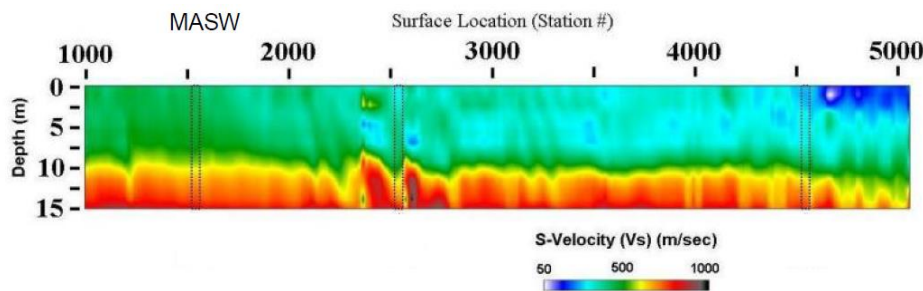
Resolutie dieptebereik

Dieptebereik: 30 meter
Resolutie diepte: 10% tot 20% van de diepte

Uitvoering

Nulmeting: niet van toepassing
Validatiemeting: sondering/boring
Herhaling: niet van toepassing

Voorbeeld resultaat



Figuur 6 - Voorbeeld MASW meting, waarin de rode kleur zand indiceert (Zuada Coelho, Diaferia, G., Kruiver, & Venmans, 2015)

Opmerkingen

De methode is grof, omdat de verticale resolutie 10/20% van het dieptebereik is. Dat betekent voor bijvoorbeeld een dieptebereik van 30 meter, dat alleen lagen met een minimale dikte van 3-6 meter worden onderscheiden. Tevens zijn kleine verschillen niet meetbaar omdat er een getal wordt gemeten voor een diepte, dit is dus een gemiddelde die later wordt vertaald naar een opbouw.

Ervaring

De MSAW is voornamelijk ingezet voor diepe ondergrond vanaf 20 meter (Ivanov, Miller, Dunbar, Lande, & Smullen, 2007). Door de matige resolutie is ook het uiteindelijke resultaat matig tot slecht voor de

ondiepere lagen (Depreiter & van Looveren, 2010). Door de indirecte vertalingslag die wordt gemaakt van de ruwe data naar geïnterpreteerde data, is de kwaliteit van de informatie ook erg afhankelijk van de vertaling.

2.4. Toplaag metingen

De gammastralingssensor is onder andere getest in het POV project proeftuin Mastenbroek (Huizenga, de Vries, & Veldhuis, 2015). De methode passieve microgolf radiometrie komt uit de marktconsultatie van de POV.

2.4.1. Gammastralingssensor

Methode

Elke grondlaag heeft een natuurlijke radioactiviteit. De gammastralingssensor meet deze natuurlijke radioactiviteit en vertaalt het naar een samenstelling, daarmee is de meting passief. De variabelen die worden gemeten zijn ^{40}K , ^{232}Th , ^{238}U en – soms – ^{137}Cs . Met behulp van referentiemonsters wordt de radioactiviteit bepaald alsmede de textuur (korrelgroottefracties, zandgehalte, organische stof). Op deze manier wordt de radioactiviteit aan een bodemsamenstelling gekoppeld.

Relatie met meettechniek

Meet: samenstelling van de toplaag

Toepassing

Soort meting: oppervlak

Ruimtelijke resolutie: raai breedte van zo'n 10 meter

Resolutie dieptebereik

Resolutie dieptebereik is 0,3 tot 0,5 meter.

Uitvoering

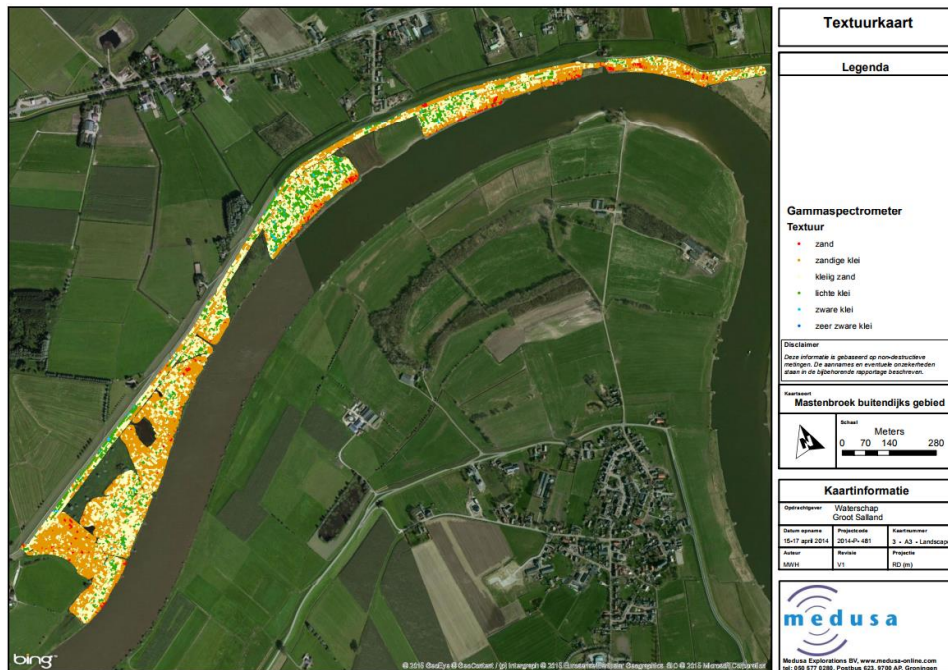
Nulmeting: N.v.t.

Validatiemeting: (hand)boringen van de toplaag om de samenstelling te kunnen valideren

Herhaling: door het herhalen van passieve microgolf radiometrie metingen onder verschillende omstandigheden wordt meer informatie verkregen voor de verschillende omstandigheden.

Meetsnelheid: 60 km lengte met een breedte van 10 meter

Voorbeeld resultaat



Figuur 7 - Resultaat Gammaspectrometer Proeftuin Mastenbroek (Huizenga, de Vries, & Veldhuis, 2015)

Opmerkingen

De sensor wordt aan een platform bevestigd, bijvoorbeeld een quad, tractor of auto afhankelijk van de terreinomstandigheden.

Ervaring

Voor zover bekend is de gammastraling alleen toegepast in de pilotproef bij Mastenbroek (Huizenga, de Vries, & Veldhuis, 2015). In deze proef is de gammaspectrometer ingezet om de deklaag te kwantificeren die in GPR metingen werd geconstateerd. Dit zou daarmee een validatiemeting kunnen zijn voor GPR.

2.4.2. Passieve microgolf radiometrie

Methode

De aarde zendt van nature radiostraling uit. De uitgezonden frequentie wordt bepaald door een combinatie van grondsoort en vochtigheid. Er wordt een constante gemeten (di-elektrische constante) die vervolgens wordt terug vertaald naar een grondsoort en vochtigheid.

Relatie met meettechniek

Meet: het vochtgehalte van de toplaag
Beperking: veranderende weersomstandigheden beïnvloeden de meting.

Toepassing

Soort meting: Oppervlak

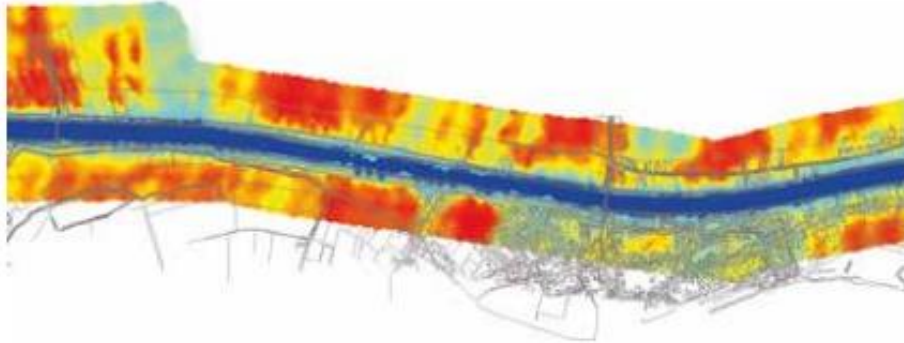
Resolutie dieptebereik

Ruimtelijke resolutie: 5 meter
Resolutie dieptebereik: 0.5 meter

Uitvoering

- Nulmeting: om de kwelplekken door hoogwater te kunnen detecteren is een nulmeting onder droge omstandigheden gewenst.
- Validatiemeting: (hand)boringen van de toplaag
- Herhaling: het herhalen van passieve microgolf radiometrie metingen onder verschillende omstandigheden wordt meer informatie verkregen voor de verschillende omstandigheden.

Voorbeeld resultaat



Figuur 8 - Resultaat Passieve microgolf radiometrie, waarin de rode plekken vernatting laten zien (Miramap, 2017)

Opmerkingen

Passieve microgolf radiometrie is mogelijk vanaf meerdere platformen, onder andere quad, vliegtuig of satelliet. Voor het faalmechanisme piping wordt de quad aanbevolen, omdat dit de meest gedetailleerde ruimtelijke resolutie oplevert.

Ervaring

Passieve microgolf radiometrie is goed in staat om de vochtigheid van de ondergrond te meten in het achterland van de kering (Miramap, 2017). Tevens is in de techniek ingezet voor verdroging van de kade waarin de verdroging (en dus vernatting) goed is te zien (Koelewijn, Bakkenist, & Stoorvogel-van der Horst, 2016).

2.5. Niet-geofysische methoden

Naast geofysische technieken zijn er nog een aantal technieken die interessant zijn om in de meetstrategie te overwegen, omdat ze eigenschappen hebben die de genoemde geofysische methoden niet hebben. Het betreft Infrarood metingen en glasvezel.

2.5.1. Infrarood

Methode

De infrarood camera in het thermisch infrarode gebied (780 μm tot 2526 μm) meet temperatuurverschillen van objecten. Het uittredende kwelwater heeft andere temperatuur in vergelijking met de omgeving. Door de temperatuur van het uittredende water te vergelijken met de omgeving en de temperatuur van de bron (rivier) kan worden vastgesteld of de gemeten vernatting door kwelwater wordt geïnitieerd.

Relatie met meettechniek

- Meet: de temperatuur van uittredend water
- Beperking: de hoek van de camera op het talud, reflectie van het zonlicht, een hoogwatersituatie geeft de meeste informatie.

Toepassing

Soort meting: vlakdekkend (fotometing)
Gebied: (plaatje)

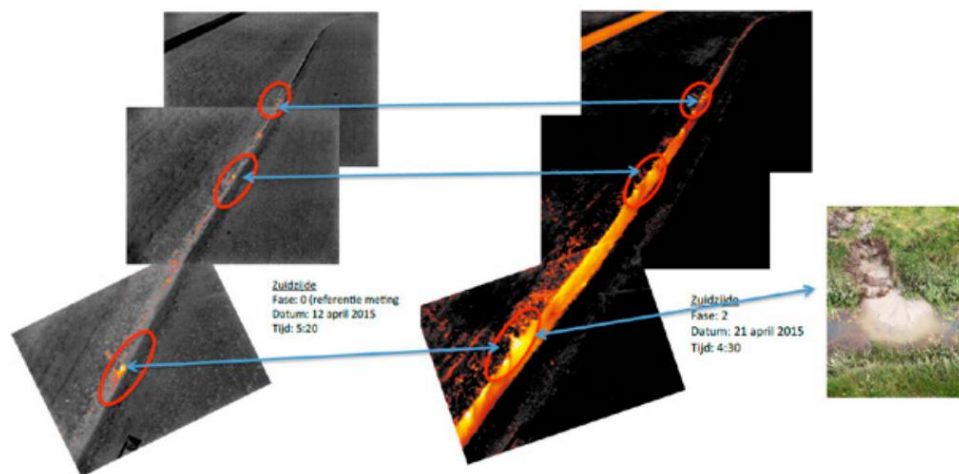
Resolutie dieptebereik

Resolutie dieptebereik van de meting hangt af van de resolutie van de camera.
De resolutie van de temperatuur is 0,01-0,08 graad bij het object.

Uitvoering

Nulmeting: noodzakelijk voor het detecteren van wellen veroorzaakt door hoog water
Validatiemeting: wordt in situ gedaan
Herhaling: door bij meerdere waterstanden te meten wordt er meer inzicht verkregen

Voorbeeld resultaat



Figuur 9 - Resultaat IR meting (midden) met de nulmeting (links) en de validatie in het veld (rechts) (Nieuwenhuis, et al., 2016)

Opmerkingen

De kwaliteit van de infraroodcamera is bepalend in de kwaliteit van het resultaat. De camera moet voldoende gevoeligheid hebben om temperatuurverschillen te detecteren.

De camera kan onder verschillende platformen worden bevestigd zoals beschreven in de haalbaarheidsstudie Infrarood (Rösingh, Groenouwe, Reichart, & Zomer, in prep).

Ervaring

Infrarood is reeds meerdere malen bij een waterkeringbeheerder ingezet waarbij kwelplekken duidelijk zichtbaar waren zowel in een gecontroleerde omgeving (de Vries et al., 2013) als in de relevante omgeving (Wildemeersch, et al., 2014; Nieuwenhuis, et al., 2016). Een uitgebreide beschouwing met meerdere cases en de inpassing is te vinden in de haalbaarheidsstudie Infrarood (Rösingh, Groenouwe, Reichart, & Zomer, in prep).

2.5.2. Glasvezel

Met behulp van glasvezel kunnen er drie variabelen worden gemeten die informatie geven over de toestand van de dijk. De variabelen zijn:

1. Trillingen
2. Vervormingen
3. Temperatuur

Indien glasvezel de temperatuur meet, kan een mogelijke kwelplek vroeg in het proces gedetecteerd worden. In onderstaande stuk wordt daarom glasvezel als distributed temperature sensor (DTS) besproken.

Methode

Glasvezel (fiber optics) van ongeveer 0,1 millimeter worden ingebracht in een dijk op de gewenste monitoringsdiepte. De glasvezel sensoren meten vervolgens continu vervorming of temperatuur. In relatie tot piping detecteren de glasvezelsensoren de (k)welstroom. De sensoren waar het (k)welwater langs stroomt meten eerder een andere temperatuur van de waterkering dan de sensoren waar het (k)welwater niet langs stroomt.

Relatie met meettechniek

Meet: de temperatuur van uitdredend water

Toepassing

Soort meting: lijnmeting

Resolutie dieptebereik

De resolutie van de techniek wordt bepaald door de fijnmazigheid van het meetnet. De sensoren worden doorgaans geïnstalleerd over een afstand van 0,5 - 1 meter. De vereiste nauwkeurigheid bedraagt 0,1 graad Celcius, bij voorkeur een orde nauwkeuriger (0,01 graad Celcius; door de meeste serieuze spelers op de Europese markt wordt dit wel geleverd).

Voor nadere informatie wordt verwezen naar Koelewijn & van der Meer, in prep.

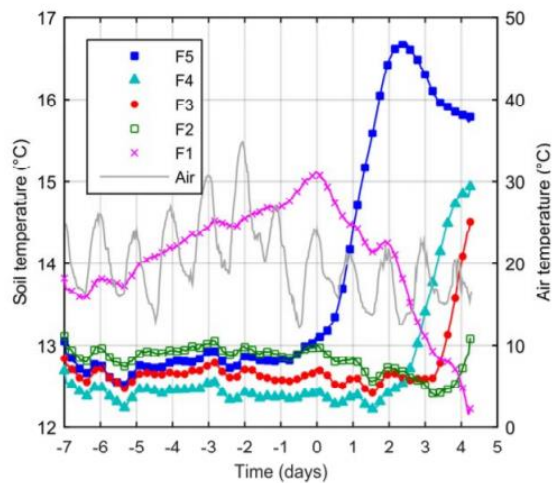
Uitvoering

Nulmeting: niet van toepassing

Validatiemeting: niet van toepassing

Herhaling: de meting is continu in tijd

Voorbeeld resultaat



Figuur 10 - Gemeten temperatuur in tijd (dagen) voor verschillende sensoren (F1 t/m F5, tussenafstand van 10 meter) (Bersan, Koelewijn, & Simonini, 2017)

Opmerkingen

Glasvezel lijkt effectief voor delen waar er regelmatig (k)wel wordt geconstateerd, of die potentieel opbarsten.

Voor installatie van het glasvezel op de juiste diepte (bovenin de piping gevoelige zandlaag) moeten de lokale omstandigheden goed in beeld worden gebracht.

Ervaring

Glasvezel is voornamelijk getest in een gecontroleerde omgeving, waar het ontstaan van kwel op de temperatuurmeting te detecteren is (Bersan & Koelewijn, 2015). In de praktijk is deze toepassing echter nog niet getest.

2.6. Onderlinge samenhang

De beschouwde geofysische metingen zijn niet in samenhang beoordeeld. Voor een volledig beeld is het mogelijk om bijvoorbeeld GPR en FDEM samen te gebruiken, waardoor een goed beeld van de deklaag en de ondergrond tot -6 meter wordt verkregen.

In het separate rapport 'Op weg naar een meetstrategie' (Rinsema, Bakkenist, & Zomer, 2017) is een aanzet voor een meetstrategie voor piping gegeven. Op basis van de informatiebehoefte kan tevens gekozen worden om meerdere technieken te gebruiken.

2.7. Samenvattende tabel

De opsomming van bovenstaande technieken is samengevat in onderstaande tabel voor de technische eigenschappen en de ervaring op basis van beschikbare rapporten.

Naast de samenvatting van de bovenstaande technieken is er tevens een kwalitatieve inschatting gemaakt van de kosten, op basis van de openbare data van de website bodemrichtlijn (Rijksoverheid, 2017).

Tabel 1 - Samenvatting Geofysische karteringstechnieken

	FDEM	GPR	VES/ERT	SP	R Seis	MSAW
<i>Dieptebereik</i>	3-6 m	1-2 m	20 m	nvt	> 50 m	>50 m
<i>Resolutie</i>	+	+	+/-	+	-	-
<i>Soort informatie</i>	Dikte deklaag	Dikte deklaag	Gelaagdheid	Vochtgehalte	Gelaagdheid	Gelaagdheid
<i>Snelheid meten</i>	+	+	-	-	-	-
<i>Vertaling naar informatie</i>	+	+	+	-	+/-	+/-
<i>Interpretatie</i>	+/-	+/-	+	+	+	+
<i>Meerdere metingen nodig?</i>	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee
<i>Kosten</i>	€	€	€€€	€	€€€	€€€
	Gamma	Radiometrie	IR	Glasvezel		
<i>Dieptebereik</i>	0.5 m	0.5 m	nvt	nvt		
<i>Resolutie</i>	+	+	+	+		
<i>Soort informatie</i>	Type deklaag	Vochtgehalte	Locatie kwelplek	Locatie kwelplek		
<i>Snelheid meten</i>	+	+	+	nvt		
<i>Vertaling naar informatie</i>	+	+	+/-	+		
<i>Interpretatie</i>	+	+	+	+		
<i>Meerdere metingen nodig?</i>	Nee	Ja	Ja	Nee		
<i>Kosten</i>	€€€	€€	€	€€€		

3. Geofysisch karteren in de beheerpraktijk

3.1. Toepassen bij versterking en beoordeling

Om de vraag te beantwoorden of een dijk gevoelig is voor het faalmechanisme piping is voldoende gedetailleerd inzicht nodig in:

1. **Bodemopbouw** (ondergrondschematisatie). Het betreft hier statische informatie waarover data en informatie met metingen te verkrijgen zijn met geofysische surveytechnieken gecombineerd met boringen en sonderingen. Het gaat hierbij om (1) dikte deklaag binnen- en buitendijks, (2) zwakste zones in deze deklaag (dun, kwel, verstoring menselijke ingreep) en effectieve doorlatendheid van de buitendijkse deklaag, en de bergingscapaciteit van de deklaag, (3) De aanwezigheid/afwezigheid van zandbanen in de deklaag en daaronder en de korrelgrootte daarvan.
2. **Bodemprocessen** (grondwater en geotechnische dynamiek van de ondergrond), zoals de effecten van waterspanningen in de ondergrond en aan de oppervlakte van en nabij de dijk. Het betreft hier de effecten van een dynamische belasting waarover data en informatie middels monitoring te verkrijgen is.

Juist de te verkrijgen dynamische informatie, dient ingewonnen te worden tijdens verschillende hydraulische maar ook geotechnische (gewicht) belastingen in de levenscyclus van de dijk. Verschillende hydraulische belastingen zijn bijvoorbeeld droogte, hoogwater, extreme omstandigheden, (nabij) calamiteuze situaties, etc. De verkregen informatie over dynamische gebeurtenissen kunnen worden gecombineerd met de statische informatie van de opbouw van de dijk om gebeurtenissen en hun effecten te verklaren, bodemparameters beter in te kunnen schatten en pipinggevoeligheid beter te kunnen bepalen.

Geofysische methoden kunnen aanvullende informatie verzamelen over de bodemopbouw en het gedrag van de kering onder verschillende omstandigheden, zoals bijvoorbeeld de locaties van (k)wel. Deze informatie geeft indirecte informatie over de dynamische processen van de kering. Het verkrijgen van informatie over de bodemprocessen en daarmee de dynamische belasting karteren is niet mogelijk. In deze paragraaf wordt verkend hoe geofysische karteringstechnieken worden ingezet bij het verzamelen van gegevens over de ondergrond. Dit kan door afwijkende plekken te identificeren en scenario's van het grondonderzoek nader te detailleren of uit te sluiten.

3.1.1. Inventariseer afwijkende plekken

Door de afwijkende plekken in het areaal te identificeren, wordt informatie verkregen waar bodemonderzoek en sonderingen mogelijk moeten worden uitgevoerd om de lokale bodemparameters te bepalen. Dit kan leiden tot aanvullend inzicht over de eigenschappen van de kering op basis waarvan bijvoorbeeld de pipinggevoeligheid wordt herzien. Dit kan uiteindelijk leiden tot herziening van de vakindeling, uit te voeren onderzoek en modelberekeningen.

Nuttige informatiebronnen voor het bepalen van pipinggevoelige locaties:

1. **Zandbanen/-lenzen detecteren**
In de ondiepe ondergrond kunnen er locaties zijn waar de deklaag dun is. De locaties waar met de ondiepe technieken al kan worden vastgesteld dat er zandplekken aanwezig zijn, zijn belangrijk voor vervolgonderzoek.
Voor de vochtgehalte metingen zijn ter validatie handboringen nodig.
2. **Vochtgehalte deklaag monitoren**
Door het bodemvochtgehalte te monitoren in de deklaag worden structureel natte en droge plekken geïdentificeerd. Voor piping is het relevant om de natte plekken achter de kering te identificeren omdat deze kunnen wijzen op mogelijk pipinggevoelige locaties waar zandmeevoerende wellen kunnen optreden. Afhankelijk van het grondwaterregime kunnen zandige plekken overigens ook juist relatief droog zijn, indien er geen hoogwater is.
3. **Kweldetectie met temperatuurmetingen**
Met temperatuurmetingen wordt waargenomen waar kwel uittreedt. Het voordeel van temperatuurmetingen is de validatie in het veld. De opgenomen beelden kunnen direct in het veld

uitgelezen worden. Bij calamiteuze situaties kunnen eventueel direct (nood)maatregelen worden ingezet indien dit nodig wordt geacht.

4. Wellenkaarten van de keringbeheerders

Tijdens hoogwater inspecteren dijkinspecteurs de dijken. Als (zandmeevoerende) wellen worden waargenomen wordt de locatie hiervan vastgelegd. Deze locaties zijn mogelijk pipinggevoelig.

Voor de vocht- en temperatuurmetingen geldt dat informatie over pipinggevoeligheid wordt verkregen door meerdere meetperioden te vergelijken. Door de hoogwatersituatie te vergelijken met droge omstandigheden worden de wellen door toedoen van hoogwater geïdentificeerd. Overigens moet daarbij wel bedacht worden dat bij een hogere waterstand nog weer nieuwe wellen kunnen ontstaan.

3.1.2. Uitsluiten en detailleren van ondergrondscenario's

Het uitsluiten van ondergrondscenario's is gericht op het verkrijgen van meer zekerheid over de opbouw van de ondergrond. Door een beter beeld te hebben wat de opbouw van de ondergrond is, kan er tevens een beter oordeel worden gegeven over het risico op piping.

In relatie tot piping is er de mogelijkheid om de volgende gegevens over opbouw te bepalen:

1. Opsporen van (diepe) zandbanen

Indien uit de ondergrondschematisering blijkt dat er teveel onzekerheid bestaat over de locatie van de zandbanen, kan deze in meer detail worden onderzocht. Meer inzicht in de locatie en lengte, breedte en diepte van de (watervoerende) zandbanen leidt tot een betere beoordeling en eventueel een beter ontwerp.

2. Klasse en heterogeniteit zandlagen

In de methode volgens de analytische rekenregel Sellmeijer wordt uitgegaan van een homogene ondergrond waardoor er een pipe onder de dijk kan ontstaan met een korte kwelweglengte. In de praktijk is altijd sprake van een heterogene situatie die een grotere weerstand zal kennen. Dit kan voor een zandige ondergrond enigermate worden gekwantificeerd met DGFlow (nog niet met DGeoFlow). Voor een situatie met bijvoorbeeld een schuin verloop van de zandbaan (ingekaderd door kleiafzettingen) is ook sprake van een langere kwelweglengte. Dit zijn aspecten die momenteel nog niet vaststaan, of aangetoond kunnen worden. Onderzoek in de toekomst kan dit wellicht veranderen.

3. Dikte waterbodemaag tot zandbaan, Locatie intredepunt

De locatie van het intredepunt in het voorland/de waterstroom bepaalt mede de kwelweglengte.

4. Dikte deklaag en locatie uitredepunt

De locatie van het uitredepunt is waar de combinatie belasting van de stijghoogte versus weerstand van de dikte van de deklaag en het volumegewicht van de deklaag het zwakste is. Door de locatie van het mogelijke uitredepunt nauwkeuriger te bepalen met bijvoorbeeld Passieve microgolf radiometrie of Infrarood, wordt de mogelijke kwelweglengte gevalideerd.

Voor de geofysische methoden zijn validatieboringen nodig voor een juiste interpretatie. De boringen en sonderingen uit stap 2 worden gebruikt voor de validatie van de geofysische karteringstechnieken, mits deze op de hiervoor bruikbare en relevante plekken zijn genomen.

3.2. Inventarisatie praktijk toepassingen

Recente beheertoepassingen zijn geïnventariseerd als onderdeel van een uit te brengen voorbeeldenboek voor WBI beoordelingen in opdracht van Rijkswaterstaat. Een aantal voorbeelden worden hier beknopt besproken. Voor een uitgebreide beschrijving wordt verwezen naar *Voorbeeldenboek Geofysische technieken voor het WBI (in redactie)*:

1. **Toepassen van EM metingen en grondradar langs oevers Overijsselse Vecht en Zwarte water in opdracht van waterschap Drents Overijsselse Delta.** Doelstelling was het verfijnder in kaart brengen van de ondergrondopbouw rondom de waterkeringen langs genoemde wateren. Over een totale lengte van 40,5 km is gemeten, met metingen in de lengte richting van de dijk. Er zijn bijna 14000 meetpunten verzameld met een gemiddelde afstand van ca 3m. Resultaten zijn per profiel gepresenteerd. Gecombineerd met handboringen en sonderingen is de dikte van de deklaag bepaald.

2. **Toepassen van EM metingen (Dualim) en 3D-grondradarnetings op voorland van een waterkering langs Pannerdensch kanaal in opdracht van waterschap Rijn en IJssel.**
Opname in 2017. Ook hier was het doel om vlakdekkend de geologische opbouw in kaart te brengen met accent op de dikte van deklaag bestaande uit holocene klei en leem. De resolutie reikt tot ca MV-6m. Uit de radarmetingen worden objecten in de ondergrond geïnventariseerd. In deze casus wordt geconcludeerd dat minder sonderingen en boringen nodig zijn in combinatie met de geofysische technieken. Er wordt opgemerkt dat specialistische kennis nodig is voor zinvolle interpretatie, deze is uitgevoerd door de ingehuurde marktpartij.
3. **Geofysisch onderzoek naar de opbouw en ondergrond van dijklighamen van waterkeringen langs de Gelderse IJssel nabij Zwolle in opdracht van waterschap Drents Overijsselse Delta.** Metingen zijn uitgevoerd in 2016 over lengte van 8km om de dikte van de deklaag en het materiaal daaronder te karakteriseren ten behoeve van schematisatie voor faalmechanismen piping en macrostabiliteit. Er is gekeken naar dijkvakken met naar verwachting dunne deklaag ter bepaling van het uitredpunt. Uit de metingen wordt geconcludeerd dat een beperkt areaal een kritiek dunne deklaag kent. Er wordt opgemerkt dat specialistische kennis nodig is voor zinvolle interpretatie, deze is uitgevoerd door de ingehuurde marktpartij. Validatie met veldmetingen is nog nodig.
4. **Geofysisch onderzoek langs Maas-oever ten zuiden van Ohe in opdracht van waterschap Roer en Overmaas.** Ook hier zijn de Dualim421 metingen (EM metingen) toegepast. Handboringen zijn gebruikt ter validatie. Er zijn scherpe overgangen in de grondopbouw waarneembaar.
5. **Toepassen van passieve microgolf radiometrie langs oever van het Julianakanaal in opdracht van Rijkswaterstaat.** Metingen zijn uitgevoerd in 2007 met het oogmerk om detectie van lekkages (kwelzones) te identificeren. Er zijn vanuit een vliegtuig opnamen gemaakt. In korte tijd kon een groot oppervlak worden bemeaten.

4. Discussie, Conclusies en aanbevelingen

4.1. Scherper ontwerpen, beter beoordelen als belofte

Meer informatie over de ondergrond maakt het mogelijk om scherper te ontwerpen en nauwkeuriger te beoordelen. Waar grondboringen en sonderingen per definitie een puntmeting zijn, kunnen vlak- of lijndeekkende waarnemingstechnieken de tussenliggende delen in kaart brengen. Met meer informatie is er minder onbekend over de laagopbouw in de grond. Dit vertaalt zich in nauwere bandbreedtes voor gekozen modelparameters bij bepaling van de pipinggevoeligheid volgens de rekenregels van het WBI en OI. Potentieel verkleint dit de versterkingsopgave en voorkomt afkeuring bij beoordelen. Omdat de kosten van versterken groot zijn, valt de kosten-baten analyse voor nadere informatie-inwinning vrijwel altijd positief uit. Dit is de grote belofte van de inzet van geofysische karteringstechnieken.

Dit sluit tevens aan bij het thema advies 'Beter leren keren uit veldmetingen en monitoring' (ENW, 2017). Hierin wordt bepleit bepaalde proefvakken te definiëren waar nader en langdurig onderzoek wordt gedaan naar het fysisch- systeemgedrag. Met behulp van geofysica kan er een vlakdekkend beeld worden verkregen van de ondergrond. Hiermee kan gedetailleerd inzicht worden verkregen in het gedrag, en uiteindelijk scherper worden ontworpen.

Het verkleinen van de banbreedte kan bijvoorbeeld worden gedaan door een lagere schematiseringsfactor aan te nemen voor de versterkingsopgave. Hoe de schematiseringsfactor aangepast kan worden is niet nader onderzocht.

4.2. Praktijktoeepassing levert wisselende resultaten

In dit rapport zijn de technieken die voor het domein dijken van betekenis kunnen zijn beschreven op basis van literatuurstudie. De beschouwde technieken geven informatie over de dikte van de deklaag (FDEM en GPR), de ondergrond opbouw (VES/ERT, Reflectie Seismiek en MASW), type deklaag (Gammaray) of kwellocaties (SP, passieve microgolf radiometrie, infrarood en glasvezel).

Er is een veelheid aan verschillende geofysische toepassingen getest in field-trials. Een aantal recente voorbeelden zijn eerder genoemd. Veel van de technieken zijn oorspronkelijk ontworpen voor een aanpalend vakgebied (geologie, geodesie) en vaak is de geofysische kartering uitgevoerd als onderdeel van een academisch studie. De toepassing naar het dijkenstelsel (ondiep, heterogeen) is niet altijd 1-op-1 te maken. Dit leidt tot een gevarieerd beeld van positieve ervaringen van gebruikers, maar ook nog tot veel onbekendheid wat betreft de waarde van de toepassing van de technieken.

Belangrijkste bevindingen zijn daarbij:

1. Voor EM/GPR is er voldoende resolutie in de ondiepe grondlagen, deze technieken kennen meerdere toepassingen. Voor veel van de andere technieken is er nog beperkte ervaring bij de dijkbeheerder over nuttige toepassing van de technologie.
2. Er is onvoldoende kennis bij de waterschappen ten aanzien van de geofysische karteringstechnieken. Er is specialistische kennis nodig voor interpretatie en duiding die niet standaard bij het waterschap aanwezig is. Anderzijds is de uiteindelijke toepassing van belang voor de specialist van het in te zetten bureau/bedrijf om goed duiding te geven aan de ingewonnen geofysische data. Dit vereist een goede afstemming vooraf en achteraf.
3. Inpassen van de verkregen informatie vraagt aandacht omdat het hier gaat om andersoortige informatie. Om deze nuttig te gebruiken is inpassing binnen een methodisch raamwerk als WBI en OI van belang.
4. Interpretatie van gegevens voor het achterliggend vraagstuk wordt vaak beperkt uitgevoerd. Hierdoor is de herbruikbaarheid van de analyse op een later tijdstip beperkt mogelijk.
5. Een combinatie van goede apparatuur en voldoende kennis bij de interpretatie is nodig, evenals voldoende kennis over toepassingsgebieden, beperkingen en benodigde aanvullende onderzoeken.

Belangrijk bij het succes van geofysisch meten is de kwaliteit van de meting en de deskundigheid van de metende partij. Een goede partij weet tevens een realistisch beeld te schetsen wat wel en niet mogelijk is met geofysica.

Naast de kundigheid van de aannemer is het tevens belangrijk om de vraag duidelijk aan de voorkant van het project te specificeren bij de uitvraag. Het is belangrijk het gestelde doel functioneel uit te vragen, waarbij de benodigde ondersteuning en interpretatie voor de beheerder wordt geleverd.

4.3. Aanbevelingen

4.3.1. Gecombineerde inzet van technieken is steeds nodig

De inzet van één enkele meettechniek levert geen uitsluitsel over de feitelijke veldsituatie. Er is steeds een vergelijk met andere metingen en meetsystemen nodig om tot een uitspraak over de in-situ toestand te komen. Dit leidt tot de aanbeveling dat de toepassing van geofysica in het domein dijken steeds in samenhang met grondonderzoek en andere inwintechnieken wordt uitgevoerd. Wees realistisch in de mogelijkheden en beperkingen van de inzet van geofysische technieken.

4.3.2. Kies meetstrategie als startpunt

Een goed plan vooraf leidt tot betere resultaten achteraf. Door vooraf na te denken welke informatie nodig is voor het betreffende vraagstuk en in welke vorm deze informatie nodig is kan gericht worden geselecteerd in welke meettechnieken inzetbaar zijn in onderhavige casus en in welke vorm de data aangeleverd moet worden om bruikbaar en herbruikbaar te zijn. Het gebruik van een meetstrategie om deze afweging op een gestructureerde manier te kunnen maken wordt aanbevolen.

Parallel aan deze studie is in een aantal sessies met stakeholders een meetstrategie opgesteld voor het faalmechanisme piping, waar geofysische karteringstechnieken integraal onderdeel van zijn. De verdere toepassing van de meetstrategie op andere praktijkcasussen wordt aanbevolen om tot een voldoende grote set van nauwkeurig beschreven situaties, vraagstellingen en bijbehorende meetaanpakken te komen. De verwachting is dat hiermee een belangrijke bijdrage wordt geleverd aan de voorspelbaarheid van de meetresultaten van geofysische meettechnieken.

4.3.3. Doorontwikkeling van een productwijzer geofysica

Het concept van de productwijzer is een beslissingsboom die de dijkbeheerder ondersteunt in het maken van een keuze tussen geofysische karteringstechnieken.

De beslisboom is een methode dat door relevante vragen een advies geeft. Vragen voor de productwijzer geofysische karteringstechnieken voor piping zijn bijvoorbeeld het doel van de gewenste informatie of de lengte van het te onderzoeken traject. Door antwoorden op de vragen kunnen methoden worden uitgesloten omdat ze niet aan de voorwaarden voldoen. Een voorstel voor een productwijzer is ingediend door Acacia Water, met als contactpersoon Koos Groen.

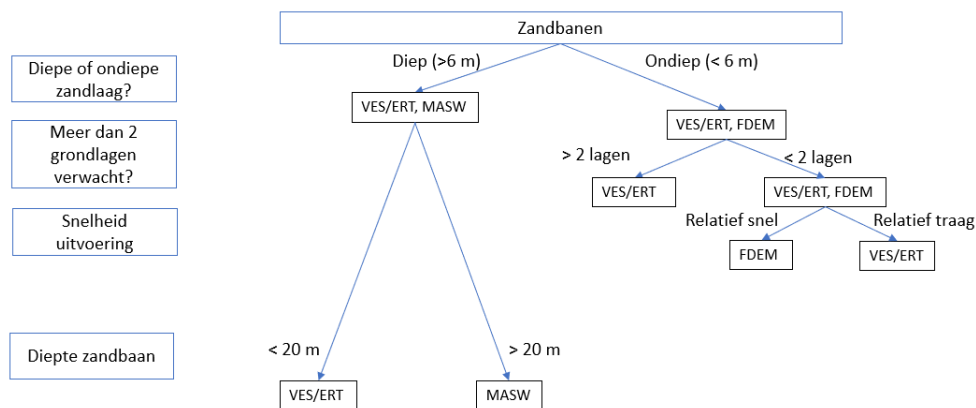
Het realiseren van een productwijzer wordt haalbaar geacht, als bij de ontwikkeling de volgende uitgangspunten worden gehanteerd:

1. De productwijzer richt zich niet specifiek op piping, maar op alle faalmechanismen in de ondergrond. Daarmee wordt aangesloten op de beheerpraktijk waarbij kartering wordt uitgevraagd vanuit een breder vraagperspectief.
2. De productwijzer is gebaseerd op een uniforme beschrijving van bestaande toepassingen voor dijken en met een beheerdersperspectief geschreven met nadruk op beheerdersvraag en informatiebehoefte; deze beschrijvingen moeten als onderdeel van de productwijzer worden opgesteld
3. Door de hoeveelheid van beschikbare rapportages over meettechnieken (Bakkenist & Zomer, 2010; Zuada Coelho, Diaferia, G., Kruiver, & Venmans, 2015; Simons & Droogers, 2016; Moser &

Zomer, 2006) heeft een centrale online locatie met een beschrijving van de beschikbare technieken en de mogelijkheden daarvan meerwaarde voor beheerders.

4. Resultaten van Geofysische karteringstechnieken kunnen worden ingepast bij beoordelingen en ontwerpvragestukken. Door in de productwijzer een toevoeging op te nemen hoe de betreffende techniek binnen bestaand instrumentarium kan worden toegepast, wordt de productwijzer een praktische tool die het waterschap overzicht geeft in de soorten en de toepassingen van de geofysische karteringstechnieken. Voor de realisatie van een productwijzer kan worden aangesloten op bijvoorbeeld de inspectiewijzer van STOWA (Bakkenist, van Dam, van der Nat, Thijs, & de Vries, 2012), www.dijkmonitoring.nl en/of het Netwerk Dijkmonitoring. Een voorbeeld van de productwijzer is een beslisboom.
5. De productwijzer geeft niet alleen technische informatie maar betreft ook organisatorische aspecten als doorlooptijd, locatiekenmerken en vereiste voorkennis voor toepassing
6. De productwijzer is gebaseerd op uniforme beschrijving van toepassing casussen aan de hand van een meetstrategie (vraagstellingen, omstandigheid, toegepaste techniek, resultaat)
7. De productwijzer moet worden aangevuld met aanwijzingen over gebruik, interpretatie, toepassingsgebied, etc.

Als richtinggevend voorbeeld is voor de productwijzer een beslisboom voor de opsporing van zandbanen opgesteld, zie **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden..** De methoden die toepasbaar zijn voor het opsporen van zandbanen zijn FDEM, VES/ERT en MASW. Reflectie seismiek is niet meegenomen, omdat deze techniek vergelijkbaar is met MASW, maar minder is toegepast voor dijken.



Figuur 11 - Voorbeeld beslisboom voor opsporen zandbanen

4.3.4. Opleiding organiseren

Om de kennis rondom toepassen van geofysische karteringstechnieken te verbreden wordt aanbevolen om een 1- of meerdaagse training te ontwikkelen waarin goede praktijksituaties door ervaringsdeskundigen worden toegelicht en de inzet van technieken wordt uitgelegd door experts.

In de opleiding kan tevens aandacht worden besteed aan de interpretatie van de resultaten. Een juiste interpretatie leidt tot een verhoging van het gebruik van de resultaten. In het rapport is geen nadere invulling gegeven aan de dataprocessing. Dit is een belangrijk onderdeel, maar is alleen mogelijk met de benodigde kennis.

De doelgroep van de cursus valt samen met de doelgroep van deze studie. Er is hiervoor een verkennend overleg geweest met Wateropleidingen. Eerder is met hen al een bredere monitoringscursus ontwikkeld. In het INNW programma wordt in opdracht van STOWA/Rijkswaterstaat een reeks cursussen ontwikkeld gericht op kennisverspreiding voor praktische toepassing van de nieuwe normeringen waterkeringen en de WBI systematiek.

4.3.5. Vervolgonderzoek

De gegeven lijst van geofysische karteringsmethoden is niet volledig door een beperking in tijd en budget. Een interessante techniek die bijvoorbeeld niet in de opsomming is meegenomen is zogenoemde micro zwaartekracht (micro-gravity) metingen. Aanvullend onderzoek naar een volledige lijst van geofysische karteringstechnieken op dit moment helpt tevens in het ontwikkelen van een volledige productwijzer. Zoals reeds eerder aangegeven is de relatie tussen de schematiseringsfactor en geofysische meting niet verder onderzocht. Het is aan te bevelen deze relatie verder te onderzoeken, zodat het ook voor de beheerder sneller loont in versterkingsopgave om aanvullend geofysisch onderzoek uit te voeren door de verkregen reductie in onzekerheid.

In deze haalbaarheidsstudie is geen ruimte geweest om de ervaringen vanuit de beheerder mee te nemen. Het verdient aanvullend onderzoek om dit te onderzoeken. Door de huidige ervaring te verzamelen kunnen ook eventuele bestaande twijfels weggenomen of bevestigd worden.

Bibliografie

- Ayolabi Elijah, A., Folorunso Adetayo, F., & Jegede Olubunmi, E. (2012). An application of 2D electrical resistivity tomography in geotechnical investigations of foundation defects: A case study. *Journal of Geology and Mining Research Vol. 3 (12)*, 142-151.
- Bakkenist, S. W., & Zomer, W. S. (2010). *Inspectie van waterkeringen - een overzicht van meettechnieken*. Amersfoort: STOWA.
- Bakkenist, S., van Dam, O., van der Nat, A., Thijs, F., & de Vries, W. (2012). *Handreiking inspecties waterkeringen*. Amersfoort: STOWA.
- Bersan, S., & Koelewijn, A. R. (2015). Temperature Monitoring in Piping - Prone Hydraulic Structures. *Engineering Geology for Society and Territory - Volume 2*, 1409-1413.
- Bersan, S., Koelewijn, A. R., & Simonini, P. (2017). Effectiveness of distributed temperature measurements for early detection of piping in river embankments. *Hydrology and Earth Systems*.
- Bolève, A., Revil, A., Janod, F., Mattuizzo, J. L., & Fry, J. J. (2009). Preferential fluid flow pathways in embankment dams imaged by self-potential tomography. *Near Surface Geophysics*, 447-462.
- Cohen, K., Stouthamer, E., Hoek, W., Berendsen, H., & Kempen, H. (2009). *Zand in banaan - Zanddiepte kaarten van het Rivierengebied en het IJsseldal in de provincies Gelderland en Overijssel*. Arnhem: Provincie Gelderland.
- Culbertson, C., Huntington, T., Caldwell, J., & O'Donnel, C. (2013). *Evaluation of Aerial Thermal Infrared Remote Sensing to Identify Groundwater-Discharge Zones in the Meduxnekeag, Houlton, Maine*. Maine: U.S. Geological Survey.
- de Kleine, M., Koelewijn, A., & Venmans, A. (2015). *Geo-impuls Pilot Julianakanaal*. Delft: Deltares.
- de Vries, G., ter Brake, C., de Bruijn, H., Koelewijn, A., van Lottum, H., Langius, E., & Zomer, W. (2013). *Dijkmonitoring: beoordeling van meettechnieken en visualisatiesystemen - Eindrapport All-in-one Sensor Validatie Test*. Amersfoort: STOWA/Stichting IJkdijk.
- Depreiter, D., & van Looveren, R. (2010). *Evaluatie niet-destructieve methoden, in het bijzonder geofysische methoden voor onderzoek van bresgevoeligheid van Vlaamse dijken langs de waterwegen - Deelopdracht 2: Evaluatie bruikbaarheid en betrouwbaarheid niet-destructieve methoden*. Deinze: G-TEC Marine Environment.
- Di Prinzio, M., Bittelli, M., Castellarin, A., & Pisa, P. (2010). Application of GPR to the monitoring of river embankments. *Journal of Applied Geophysics*, 53-61.
- Dijkmonitoring, K. (2017, 7 20). *Meettechnieken*. Opgehaald van Kennisplatform Dijkmonitoring: <http://www.dijkmonitoring.nl/technieken/meettechnieken/>
- ENW. (2017). *Beter leren keren uit veldmetingen en monitoring*. Utrecht: ENW.
- European Commission. (2017, 4 1). *Research & Innovation, Participant Portal*. Opgehaald van Europese Commissie: https://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/wp/2014_2015/annexes/h2020-wp1415-annex-g-trl_en.pdf
- FloodControl IJkdijk. (2017, 07 28). *DDSC*. Opgehaald van OpenDDSC: <http://www.openddsc.nl/nl/>
- Haarbrink, R., Provoost, Y., de Jeu, R., & Parinussa, R. (2010). *Determinatie van interne variaties in de Dijkbekleding bij Sint Philipsland met behulp van Passieve Mecrogolven Radiometrie*. Culemborg: Miramap/Rijkswaterstaat/VU.
- Handcock, R., Torgersen, C., Cherkauer, K., Gillespie, A., Tockner, K., Faux, R., & Tan, J. (2012). Thermal Infrared Remote Sensing of Water Temperature in Riverine Landscapes. In *Fluvial Remote Sensing for Science and Management* (pp. 85-113). John Wiley & Sons, Ltd.
- Huizenga, M., de Vries, S., & Veldhuis, S. (2015). *Proeftuin Mastenbroek - Ontwikkeling van een meetmethode binnen POV Piping*. Groningen: Medusa Explorations BV.
- Ivanov, J., Miller, R., Dunbar, J., Lande, J., & Smullen, S. (2007). Interrogating levees in Texas, New Mexico, and New Orleans using various seismic methods. *Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems 2007*, 69-81.

- Koelewijn, A. K., Bakkenist, S., & Stoorvogel-van der Horst, S. (2016). *Best Practices Stichting FloodControl IJkdijk*. Leek: Stichting FloodControl IJkdijk.
- Koelewijn, A. R., & van der Meer, M. (in prep). *Handreiking Life Cycle Monitoring*. POV Macrostablieit.
- Li, Z., Deen, J. M., Kumar, S., & Selvaganapathy, P. R. (2014). Raman Spectroscopy for In-Line Water Quality monitoring - Instrumentation and Potential. *Sensors*, 17275-17303.
- Miramap. (2017, 7 28). *Productblad Dijkscan*. Opgehaald van Miramap: http://dijkscan.nl/userfiles/image/mir%20productblad%20dijkscan%20veenkaden%20web_klein.pdf
- Moser, G., & Zomer, W. (2006). *Inspectie van waterkeringen*. Amersfoort: STOWA/DWW.
- Nieuwenhuis, J. W., & Bakkenist, S. (2015). *Dijkmonitoring met het DDSC*. Leek: Stichting IJkdijk.
- Nieuwenhuis, J., van der Meer, M., Bakkenist, S., Pluijmers, Y., Celemens, R., & Zomer, W. (2016). *LiveDijk XL Noorderzijlvest - State of the Art 2015*. Stichting Floodcontrol IJkdijk.
- Perri, M., Boaga, J., Bersan, S., Cassiani, G., Cola, S., Deiana, R., . . . Salvatore, P. (2014). River embankment characterization: The joint use of geophysical en geotechnical techniques. *Journal of Applied Geophysics*, 5-22.
- Rijksoverheid. (2017, 7 28). *Onderzoekstechnieken*. Opgehaald van Bodemrichtlijn: <https://www.bodemrichtlijn.nl/Bibliotheek/bodemonderzoek/onderzoekstechnieken>
- Rijkswaterstaat, Water Verkeer en Leefomgeving. (2016). *Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Bijlage III Sterkte en veiligheid*. Den Haag: Ministerie van Infrastructuur en Milieu.
- Rijkswaterstaat, Water Verkeer en leefomgeving. (2017). *Schematiseringshandleiding piping*. Den Haag: Ministerie van Infrastructuur en Milieu.
- Rinsema, J. G., Bakkenist, S., & Zomer, W. S. (2017). *Op weg naar een meetstrategie*. Deventer: BZ Ingenieurs & Managers.
- Rösingh, H. O., Groenouwe, I., Reichart, N., & Zomer, W. S. (in prep). *Infraroodmeting bij dijken*. Haarlem: Dijkmonitoring Nederland.
- Simons, G., & Droogers, P. (2016). *Verkenning Remote Sensing Producten voor het Waterbeheer*. Amersfoort: STOWA.
- van Beek, V. (2016). *Handreiking voor het opstellen van een monitoringsplan t.b.v. piping*. Delft: Deltares.
- van den Berg, F., & Koelewijn, A. (2014). Monitoringsfilosofie voor de Nederlandse waterkeringen. *Geotechniek*, 34-38.
- Vincke, L., Peeters, P., Depreiter, D., Van Looveren, R., & Luyten, M. (2011). Inpassen van geofysische methoden in de evaluatie van de gevoeligheid voor falen van de Vlaamse dijk. *Geotechniek*, pp. 38-42.
- Wildemeersch, K. (2014). *Smart detection of seepage in river dikes based on thermal infrared images*. Leuven: KU Leuven.
- Wildemeersch, K., Visster, K. P., Van Hoestenbergh, T., Vincke, L., Peeters, P., & Mostaert, F. (2014). *Evaluatie (potentiële) dijkmonitoringstechnieken - Detectie kwel/lekkage onder en/of doorheen dijken*. Antwerpen: Waterbouwkundig Laboratorium.
- Zuada Coelho, B., Diaferia, G., Kruiver, P., & Venmans, A. (2015). *Geofysische methoden - voor geotechnisch ingenieurs*. Delft: Deltares/Geoimpuls.

Bijlage I. Interview vragen Productwijzer

De POV piping is op zoek naar innovatieve geofysische karteringstechnieken in de haalbaarheidsstudie. Om deze karteringstechnieken ook in de praktijk te kunnen brengen worden ook meetstrategieën geformuleerd. Uw productenwijzer kan een praktische tool zijn voor de waterkeringbeheerders bij het kiezen van toe te passen meettechnieken in relatie tot de te formuleren meetstrategieën. Middels de onderstaande interviewvragen willen wij de haalbaarheid en toegevoegde waarde bepalen van uw ingediende innovatie. De vragen zijn onderverdeeld in de categorieën Meegenomen technieken, Methode, Gebruiksvriendelijkheid, Toegevoegde waarde en overige.

Meegenomen technieken

Om de haalbaarheid te bepalen is het eerste onderdeel te bepalen hoe compleet/ volledig beeld de productwijzer geeft van de geofysische karteringstechnieken.

1. Hoeveel Geofysische Karteringstechnieken kunnen worden meegenomen in de Productwijzer?
2. Hoe gaat u om met andersoortige producten (anders dan geofysisch) in uw productwijzer?
3. Op basis van welke criteria wordt een karteringstechniek wel of niet opgenomen in de Productwijzer? Worden alle technieken die onder geofysische karteringstechnieken vallen meegenomen? Of wordt er nog een selectie gemaakt?
4. Hoe kunnen innovatieve technieken in de toekomst worden opgenomen in de Productwijzer? Worden nieuwe innovaties direct opgenomen in de Productenwijzer of moeten ze aan een aantal criteria voldoen?

Methode

Om de haalbaarheid van de Productwijzer te kunnen bepalen is het belangrijk om vast te stellen op basis van welke methode de Productwijzer tot een oordeel komt.

5. Welke eigenschappen van de Geofysische karteringstechnieken worden opgenomen in de Productwijzer?
6. Wat wordt er gedaan met een eigenschap als deze niet beschikbaar is voor een (aantal) karteringstechniek(en)?
7. Wat is de input die de gebruiker in de Productwijzer moet invoeren, om te bepalen wat de beste techniek voor het gewenste resultaat is? Is dit bijvoorbeeld het te beoordelen faalmechanisme, aantal te beoordelen kilometers, budget, etc.
8. Wat is het afwegingsmechanisme om te komen tot een aanbevolen karteringstechniek? Welke input en welke eigenschappen worden hierin meegenomen?
9. Wat voor soort adviezen worden er door de Productwijzer gegeven? Bestaat dit alleen uit de te gebruiken strategie? Of bestaat dit uit een gehele meetstrategie?
10. Wordt er als resultaat altijd 1 karteringstechniek geadviseerd? Of kunnen er ook combinaties van karteringstechnieken worden geadviseerd?
11. Hoe gaat u om met concurrerende meettechnieken binnen uw productwijzer?
12. Wat ziet u als grootste risico of nadeel bij de afwegingsmethode die u voorstelt?
13. Hoe stelt u voor met dit risico of nadeel om te gaan?

Gebruiksvriendelijkheid

Voor het succes van een Productenwijzer is het van belang dat het een gebruiksvriendelijk product is wat makkelijk gebruikt kan worden. De volgende vragen gaan over het gebruik van de Productwijzer.

14. Wat wordt de interface van de Productwijzer? Denk bijvoorbeeld aan een app, een software pakket, een website of iets dergelijks.
15. Hoe kunnen geïnteresseerden gebruik maken van de Productwijzer? Moeten ze een abonnement afsluiten, is het een eenmalige aanschaf of betaling per gebruik?
16. Wat verwacht u voor kosten in orde grootte in relatie tot vraag 10 voor de gebruiker? Zijn dat tientallen of honderden euro's etc.

Toegevoegde waarde

Voor het meenemen van de productenwijzer in eventuele meetstrategieën moet bepaald worden in hoeverre uw idee daar een bijdrage aan kan leveren.

17. Wordt de productenwijzer al in een andere vorm of een andere doelgroep succesvol toegepast door Acacia Water? Of zijn er relevante voorbeelden die succesvol zijn?
18. Waarom denkt u dat de Productenwijzer een toegevoegde waarde is voor de waterschappen om te komen tot een meetstrategie? Er is bijvoorbeeld al een handreiking inspectie watertechnieken van de STOWA.
19. Waar ziet u mogelijkheden voor samenwerking met overige partijen? Dit kunnen soortgelijke ideeën zijn met een andere focus, of partijen die u verder kunnen helpen in de ontwikkeling van de Productwijzer.

Overige

20. Hoe gaat u om met concurrentie op uw productwijzer?
21. Heeft u nog relevante literatuur of artikelen?
 - a. Graag aanleveren



is onderdeel van het
Hoogwaterbeschermingsprogramma

Dokter van Thienenweg 1,
8025 AL Zwolle
Postbus 60,
8000 AB Zwolle
Tel. 038 455 72 00
Fax. 038 453 01 11