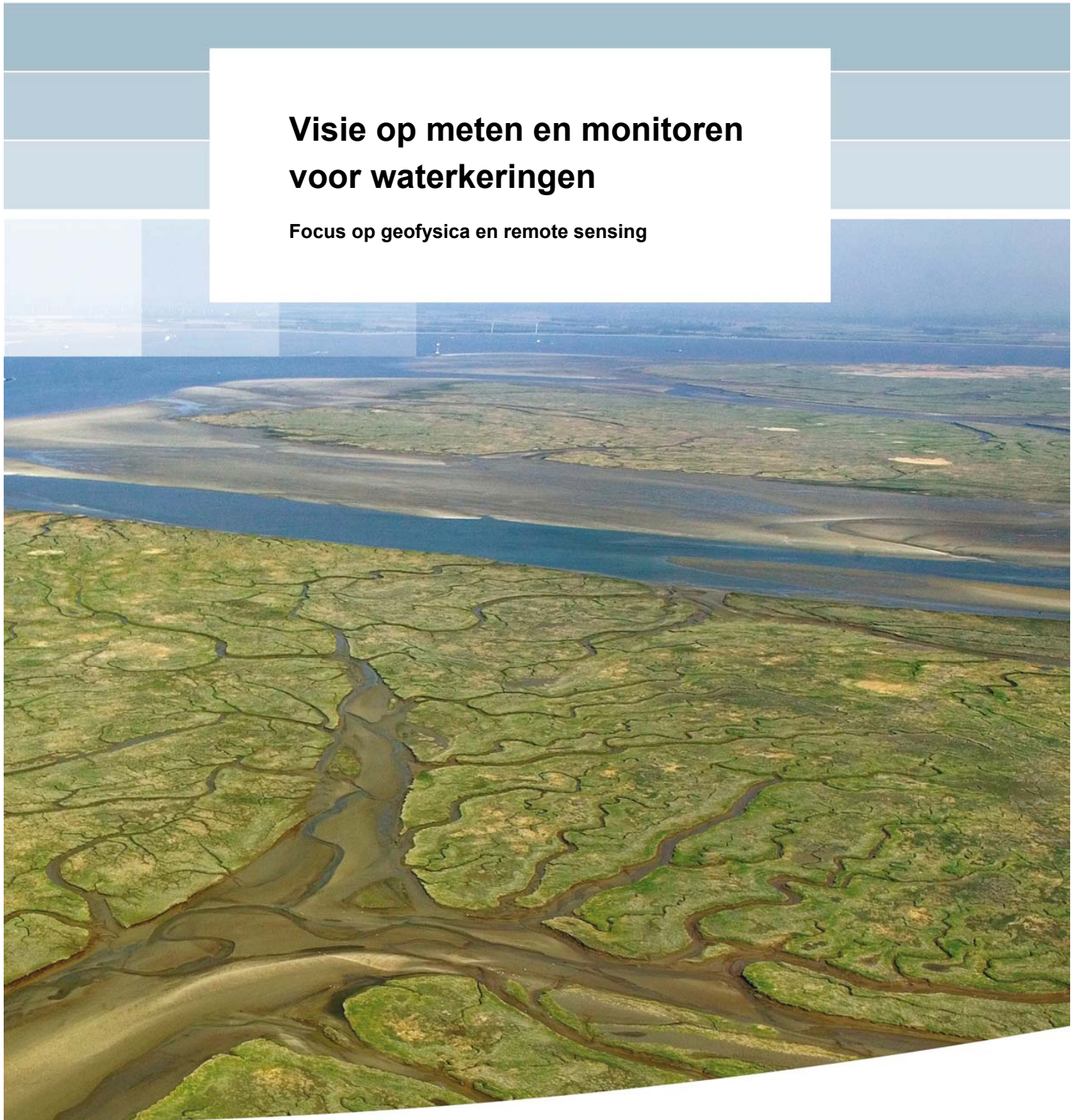


Visie op meten en monitoren voor waterkeringen

Focus op geofysica en remote sensing



Visie op meten en monitoren voor waterkeringen

Focus op geofysica en remote sensing

Ipo Ritsema (Deltares)
Marco de Kleine (Deltares)
Martin van der Meer (Fugro)
Sander Bakkenist (BZIM)
Kees Jan Leuvenink (Waterschap Aa en Maas)

Titel
Visie op meten en monitoren voor waterkeringen

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
POV Macrostabieliteit cluster Monitoring	1230123-010	1230123-010-GEO-0007	22

Trefwoorden
Waterkeringen, dijken, grondonderzoek, geofysica, remote sensing, meten, monitoren

Samenvatting
Dit rapport is een visie op het realiseren van meerwaarde in waterkeringenbeheer door middel van de verankering en adoptie van beproefde lijn- en vlakdekkende geofysische en remote sensing meet- en monitortechnieken.

De nieuwe waterveiligheidsbenadering maakt het mogelijk om onzekerheden in parameterkeuze te kwantificeren en mee te laten wegen bij de bepaling van de actuele faalkansen. Lijn- en vlakdekkende meetdata aan het oppervlakte en van verschillende diepten maken het mogelijk om ruimtelijke onzekerheden sterk te reduceren. Lijn- en vlakdekkende monitordata maken het mogelijk hetzelfde te doen voor de temporele onzekerheden.

Geofysische en remote sensing technieken zijn methoden die lijn- en vlakdekkende informatie kunnen leveren. De inzet van deze methoden is op dit moment zeer beperkt in het toepassingsgebied waterkeringen in Nederland, deels door onbekendheid over de werking en deels omdat de kwaliteit of het nut ter discussie staat.

Dit rapport bevat een analyse van de volwassenheid van geofysische en remote sensing technieken voor de toepassing bij waterkeringen en de mogelijke meerwaarde in het reduceren van onzekerheden in de bepaling van faalkansen van geotechnische en geohydrologische faalmechanismen.

Op basis van de analyse is een zestal ontwikkelsporen gedefinieerd om geofysische en remote sensing methoden robuust(er) en geaccepteerd(er) te krijgen waar dat meerwaarde heeft en daarmee bij te dragen aan het aanscherpen van de huidige praktijk van toetsen, versterken, zorgplicht en waarschuwingssystemen.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
1.0	feb. 2019	Ipo Ritsema Marco de Kleine Martin van der Meer Sander Bakkenist Kees Jan Leuvenink	<i>IR</i>	André Koelewijn	<i>AK</i>	Leo Voogt	<i>LV</i>

Status
definitief

Inhoud

1 Aanleiding visie op meten en monitoren waterkeringen	1
1.1 Waterveiligheidsbenadering vraagt om meten en monitoren	1
1.2 Achtergrond van dit project	1
1.3 Opzet rapportage, leeswijzer	2
2 Aanpak en opzet	3
2.1 Aanloop	3
2.2 Traject van werksessies	3
2.3 Synthese	4
3 Potentiele meerwaarde geofysica en remote sensing voor het waterkeringenbeheer	5
3.1 Meerwaarde in meerdere taken	5
3.2 Meerwaarde met kwaliteitsborging	6
3.3 Meerwaarde in schematiseringen	6
3.4 Meerwaarde in optimalisatie meetstrategie	7
4 Volwassenheid geofysische en remote sensingtechnieken	8
4.1 Welke geofysische en remote sensingtechnieken gaat het om?	8
4.1.1 Combinaties van sensors en platforms	8
4.1.2 Elektromagnetische meet- en monitortechnieken	8
4.1.3 Akoestisch-mechanische meet- en monitortechnieken	10
4.2 Kaders voor bepaling van volwassenheid van technieken	11
4.2.1 Technology Readiness Level (TRL)	11
4.2.2 Application Readiness Level (ARL)	12
5 Huidige praktijk in Nederland en internationale ontwikkelingen	13
5.1 Waterkeringen, wat willen we precies weten?	13
5.2 Huidige praktijk in Nederland	13
5.2.1 WBI-beoordeling en ontwerpen dijkversterkingen	13
5.2.2 Inspectie en calamiteitenmonitoring	15
5.3 Internationale en nieuwe ontwikkelingen	15
5.4 Samenvatting: de basis voor de ontwikkelsporen	16
6 Ontwikkelsporen geofysica en remote sensing	18
6.1 Leidraden voor volwassen (elektromagnetische) technieken (ARL8-9)	18
6.2 Pilots voor minder volwassen, maar kansrijke technieken (ARL6-7)	18
6.3 Innovatief onderzoek naar onvolwassen technieken (ARL1-5)	19
6.4 Informatiebeheer van geofysische en remote sensingdata	19
6.5 Meet- en monitorontwerp en dataverwerkingsstrategieën	20
6.6 Best practice platforms meten en monitoren van waterkeringen	21
7 Referenties en afkortingen	21

Bijlage(n)

A Handreiking praktische inzet elektromagnetische meettechnieken voor waterkeringen, Plan van aanpak	A-1
A.1 Inleiding	A-1
A.2 Aanpak	A-2
A.3 Organisatie en financiering	A-4
B Verslagen van de bijeenkomsten	B-1
B.1 Verslaglegging Bijeenkomst met Waterschappen	B-1
B.1.1 Thema A: Over toepassing in het werk, de praktijk:	B-2
B.1.2 Thema B: Over te de technieken:	B-3
B.1.3 Thema C: Over de handreiking geofysische karteringstechnieken:	B-4
B.1.4 Hoe verder	B-4
B.2 Verslaglegging Bijeenkomst met Marktpartijen	B-4
B.2.1 Thema A: Over toepassing in het werk:	B-5
B.2.2 Thema B: Over de technieken:	B-7
B.2.3 Thema C: Over de handreiking:	B-8
B.2.4 Hoe verder	B-9
B.3 Verslag bijeenkomst Kennis d.d. 26 nov 2018 te Delft	B-9
B.3.1 Thema A: Over toepassing in het werk.	B-10
B.3.2 Thema B: Over de technieken	B-11
B.3.3 Thema C: Over de handreiking	B-12
B.3.4 Hoe verder	B-12
C WBI fact sheets en meet- en monitoring technieken	C-1
C.1 Hoogte	C-1
C.2 Asfaltbekleding Golfklap (AGK)	C-1
C.3 Afschuiving bekleding buitentalud (GABU) en bekleding binnentalud(GABI)	C-2
C.4 Erosie kruin en binnentalud (GEKB) en buitentalud (GEBU)	C-2
C.5 Macrostabieliteit buitenwaarts (STBU) en binnenwaarts (STBI)	C-2
C.6 Afschuiving voorland (VLAF) en Zettingsvloeiing (VLZV)	C-2
C.7 Opdrukken asfalt (AWO), Microstabieliteit (STMI) en Piping (STPH)	C-3
D Relevante Normen Meten en monitoring	D-1
E Overzichtstabel van de volwassenheid van geofysische en remote sensing technieken voor waterkeringen in termen van Application Readiness Level (ARL)	E-1

1 Aanleiding visie op meten en monitoren waterkeringen

1.1 Waterveiligheidsbenadering vraagt om meten en monitoren

Observatietechnieken (in situ grondonderzoek en geofysisch/remote sensing methoden) worden al decennia toegepast in beheer van waterkeringen. In de praktijk wordt een vast, beperkt arsenaal van meet- en monitoringstechnieken ingezet. Hierbij worden in de praktijk meestal meer 'in situ' grondonderzoek (boringen, sondering, laboratoriumtesten) ingezet dan vlak- of volumedekkende geofysische of remote sensing methoden. Hierdoor blijven grote onzekerheden over de opbouw, sterkte en toestand van dijk en ondergrond een belangrijke rol spelen bij toetsen, ontwerpen, zorgplicht en calamiteitensituaties.

Sinds 1 januari 2017 is de waterveiligheidsbenadering gewijzigd van overschrijdingskans (van een bepaalde waterstand) naar de overstromingskans. Door deze wijziging worden onzekerheden niet meer afgedekt door conservatieve aannames of uitgangspunten (veiligheidsmarges), maar moeten onzekerheden expliciet worden gekwantificeerd en in de sterktebeoordeling worden meegenomen.

Dit vraagt om betere (mogelijk additionele) en gedetailleerdere meet- en monitorgegevens dan nu gebruikt worden om de onzekerheden in geotechnische en geohydrologische parameters goed te kwantificeren en meet- en monitorstrategieën om die onzekerheden te verkleinen en direct te benutten voor een nauwkeuriger faalkansbenadering, zowel voor toetsen/ontwerpen als voor zorgplicht/calamiteiten. De grootste onzekerheden betreffen de opbouw en samenstelling de ondergrond naast en onder de dijk en de opbouw en samenstelling van het dijklichaam zelf.

De publicatie van het ExpertiseNetwerk Waterkeringen 'Beter leren Keren, c.q. veldmetingen en monitoring' onderschrijft dat er onbenutte kansen liggen om door meer, beter en innovatiever te meten en monitoren, zo beter en goedkoper onderhoud en inspectie van dijken en/of betere en goedkopere versterkingsmaatregelen op maat te kunnen bereiken. ENW adviseert dan ook om meten en monitoren structureel een plaats te geven in de keten van veiligheid en daarmee projectoverstijgend en desgewenst internationaal mee aan de slag te gaan.

1.2 Achtergrond van dit project

Concreet bestaat er bij waterschappen, marktpartijen en kennisinstellingen hernieuwde belangstelling om de geofysische en remote sensing meten en monitoren methoden van dijken qua inzet en kwaliteitsborging op een hoger plan te brengen. Deze zijn minder ver in leidraden en normen uitontwikkeld in vergelijking met de in situ technieken als sonderen, boren, grondwaterpeilingen en laboratoriumtesten.

Met financiële steun van de PoV Macrostabieleit is door vertegenwoordigers van een bedrijfsleven (Fugro, BZIM), waterschappen (Aa en Maas) en kennisinstellingen (Deltares) het initiatief genomen om deze visie op te stellen. Aan het traject hebben naast de initiatiefnemers meerdere partijen vanuit elke bloedgroep bijgedragen. Het resultaat, de visie beperkt zich niet tot de toepassing van geofysica en remote sensing voor macrostabieleit maar voor alle faalmechanismen.

1.3 Opzet rapportage, leeswijzer

In dit visierapport meten en monitoren voor waterkeringen komen aan de orde:

- De aanpak, die gevolgd is, en de betrokkenen in het proces (Hfst. 2)
- Potentiele meerwaarde geofysica en remote sensing in waterkeringenbeheer (Hfst. 3)
- Overzicht geofysische en remote sensing technieken en volwassenheid van technieken (TRL) en toepassingen in waterkeringenbeheer (ARL) (Hfst. 4)
- Huidige (WBI-)praktijk in Nederland, internationale ontwikkelingen en kansen (Hfst. 5)
- De aanbevolen ontwikkelsporen (Hfst. 6)

Dit visiedocument beoogt een gezamenlijk kader en een nieuw ijkpunt te zijn om met alle stakeholders gezamenlijk een breed scala van projecten op het gebied van meten en monitoren met behulp van geofysische en remote sensing methoden voor dijken doelgericht en gecoördineerd uit te kunnen voeren en het effect te monitoren.

2 Aanpak en opzet

2.1 Aanloop

In de afgelopen jaren zijn er diverse initiatieven ontplooid om geofysische en remote sensing meet- en vooral monitortechnieken te introduceren, te ontwikkelen, te demonstreren en uit te rollen. In het Floodcontrol IJkdijk innovatieprogramma zijn tussen 2008-2016 diverse meet- en monitoring technieken getest, vergeleken en op waarde beoordeeld (zie refs.). In dit programma zijn meetsystemen op de experimentele testdijken, maar ook op waterkeringen in stresstesten ingezet.

In dit innovatieprogramma is ook een eerste Dijk Data Service Centrum (DDSC) ontwikkeld, waar data toegankelijk gemaakt zijn. Parallel hieraan en voortbouwend op Dinoloket is de Basisregistratie ondergrond (BRO) begonnen met het (opnieuw) landelijk dekkend opnemen en ontsluiten van 'in situ grondonderzoek' gegevens (sonderingen en boringen en grondwatergegevens). Geofysische en remote sensing meet- en monitorgegevens vallen ook onder de BRO, maar de uitwerking hiervan is op korte termijn nog niet ingepland om te worden opgenomen.

Tussen 2016 en 2019 zijn in het kader van het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP) diverse geofysische en remote sensing methoden gedemonstreerd in verschillende projecten van de Project overschrijdende Verkenningen Piping, Macrostabieleit, Vooroever (zie refs.). Ook vonden pilots plaats met nieuwe 'airborne' platforms (o.a. drones).

Tijdens de Dijkinspectiedagen en in het Dijkmonitoringnetwerk worden de verkregen inzichten regelmatig met elkaar gedeeld. Al deze trajecten tezamen hebben echter volgens benaderde stakeholders nog niet geleid tot een volwaardige en eenduidige inzet van geofysische en remote sensing methoden voor een betere bepaling van relevante geotechnische en geohydrologische parameters, die nodig zijn in de toetsing, het ontwerp van versterkingen, de zorgplicht/inspectie en waarschuwingssystemen op het gebied van de sterkte van waterkeringen.

2.2 Traject van werksessies

Het proces van deze visievorming begon met het (beperkte) doel om een concreet projectvoorstel op te stellen voor een leidraad voor regelmatig toegepaste geofysische (ERT/EM/GPR) en remote sensing (SAR, IR, LiDAR) vlakdekkende meet- en monitormethoden. In de periode oktober – december 2018 is gewerkt aan het concretiseren van dat voorstel. Het voorstel voor deze handreiking is te vinden in Bijlage A.

De inbreng van de stakeholders (beheerders waterschappen, markt en kennisdragers) was een belangrijke stap in de aanpak, waarmee het voorstel beter zou gaan aansluiten bij de huidige praktijk en de vraagstelling van de stakeholders. Daarmee komt het mogelijk makkelijker voor financiering in aanmerking.

Drie teams van vertegenwoordigers van de belangrijkste stakeholdergroepen hebben met de initiatiefnemers een aantal werksessies gehouden (zie onderstaande tabel en bijlage B voor de verslagen).

Activiteit	Wat	Wie
Startoverleg op 15/10/2018 te Utrecht	Vaststellen scope en werkwijze, taakverdeling, afspraken maken	Kernteam: Ipo Ritsema (Deltares), Kees-Jan Leuvenink (Waterschap AA en Maas), Martin van der Meer (Fugro), Sander Bakkenist (BZIM)
Sessie 1 – 10 november 2019, Utrecht	Welke ervaringen/behoefte/vraagstelling komt er vanuit de waterschappen? <ul style="list-style-type: none"> - ervaringen met uitvraag en inkoop - ervaringen met resultaten gedane metingen - ervaring met gebruik resultaten 	Vertegenwoordigers waterschappen (3 verhinderd): <ul style="list-style-type: none"> - Kees-Jan Leuvenink (WS Aa&Maas) - Bastiaan Los (WS Hollandse Delta) - Philippe Schoonen (WS Drentse Overijsselse Delta) - Sander Kapinga (WS Rivierenland) - Gert de Jonge (WS Rijn en IJssel) - Kees Dorst (WS Limburg)
Sessie 2 – 23 november 2018, Utrecht	Welke ervaringen/behoefte/ vraagstellingen komt er vanuit de markt? <ul style="list-style-type: none"> - ervaringen geofysisch meten aan waterkeringen? - ervaringen werken voor Waterschappen - werken aan kwaliteit, naar standaard wijze van werken - wat helpt om in handreiking op te nemen? 	4 vertegenwoordigers Bedrijfsleven (1 verhinderd): <ul style="list-style-type: none"> - Martin van der Meer (Fugro) - Koos Groen (Acacia Water) - Kees van de Made (Wiertsema & partners) - Ronald Koomans (Medusa)
Sessie 3 – 26 november 2018, Delft	Welke ervaringen/kansen/innovaties vraagstellingen komt er vanuit de kennisinstellingen? <ul style="list-style-type: none"> - Innovaties geofysisch en remote sensing meten aan waterkeringen? - ervaringen andere sectoren, internationaal werken aan benchmarks, kwaliteit, naar standaard wijze van werken - wat helpt om in handreiking op te nemen? 	5 vertegenwoordigers van kennisinstellingen (3 verhinderd) <ul style="list-style-type: none"> - Marco de Kleine (Deltares) - Ramon Hanssen (TUDelft) - Guy Drijkoningen (TUDelft) - Steven de Jong (Universiteit Utrecht) - Philippe Versteeg (TNO) - Jan Brouwer (TNO)
Definitief plan Januari 2019	Gezamenlijke synthese Bespreken concept plan van aanpak Finale redactieslag	Kernteam (zie boven)

In de drie werksessies bleek dat het opstellen van een leidraad geofysica- en remote sensing-methoden op zich voor een aantal technieken als een nuttige stap gezien wordt. Een leidraad voor deze technieken dient wel voort te bouwen op en te refereren naar eerdere inventarisaties en haalbaarheidsstudies naar de toepassing van geofysische en remote sensing methoden. Ook aansluiting aan de handreiking Life-cycle monitoring ontwikkeld in de PoV Macrostabiteit wordt wenselijk geacht.

2.3 Synthese

In het proces werd ook duidelijk dat er een breder kader en visie op meet- en monitormethoden ontbreekt. Een visie die relatie van meet- en monitordata met de veiligheidsbenadering (en specifiek voor WBI-toetsen, het ontwerpen van versterkingen en inspectie/dijkwacht voor de zorgplicht) op systematische wijze meeneemt. De kerngroep heeft met de input uit de werksessies en een korte scan op de WBI factsheets deze visie opgesteld met als aanbeveling een aantal ontwikkelsporen waarlangs met de praktijkvoortgang gemaakt kan worden. De eerste no-regret stappen in elk ontwikkelspoor zijn concreet benoemd.

3 Potentiele meerwaarde geofysica en remote sensing voor het waterkeringenbeheer

3.1 Meerwaarde in meerdere taken

Metten en monitoren levert informatie op voor vier verschillende taken van de dijkbeheerder, zie onderstaande figuur.



Figuur 3.1 . Monitoring voor verschillende taken van de waterkering beheerder.

Lijn- en vlakdekkende geofysische en remote sensing meet- en monitortechieken zijn gericht op het 'beter' kunnen bepalen van de huidige gemeten en verwachte berekende sterkte onder huidige en toekomstige belastingen en condities dan alleen met puntmetingen (cpt's, boringen, peilputten, etc.) bereikt kan worden. Waarbij met 'beter' vooral bedoeld wordt op meer plaatsen en tijdstippen de fysische toestand meten, waardoor de ruimtelijke en temporele onzekerheden afnemen.

Net als informatie uit puntmetingen is de lijn- en vlakdekkende informatie herbruikbaar in verschillende taken van de waterkeringbeheerder. In het (dagelijks) beheer van de waterkering helpt vlakdekkende informatie bij het optimaliseren van het onderhoud en het gericht inzetten van dijkwachters. In de uitvoering van versterkingsmaatregelen kan de vlakdekkende informatie bijdragen aan een reductie van bouwkosten en faalkosten. Om risico's tijdig te signaleren bij bijzondere situaties worden er inspecties uitgevoerd (hoog water, droogte). Ook hiervoor kan ook gebruik gemaakt zou kunnen worden van lijn- of vlakdekkende geofysische of remote sensing data.

Twee belangrijke randvoorwaarden zijn in de werksessies geformuleerd:

- De vlakdekkende meet- en monitor data dient (her)bruikbaar, kwalitatief goed, reproduceerbaar en betrouwbaar te zijn.
- De data dienen benut te kunnen worden in schematisaties en modelberekeningen bij toetsing, ontwerp, beheer en calamiteiten.
- Best practices moeten met elkaar gedeeld kunnen worden, zoals nu o.a. bij WBI in de helpdesk water gebeurd.
- De vlakdekkende meet- en monitor data en afgeleide informatie moet eenduidigheid gedefinieerd zijn met heldere service level agreements (SLA's) die verschillende partijen

in de informatieketen kunnen hanteren en aanbieden. Bijv. SLA-meet(net)projecten, SLA-parameter/schematisatie projecten, SLA-toetsrapportages en SLA-inspecties, etc.

3.2 Meerwaarde met kwaliteitsborging

Te weinig, verkeerde en kwalitatief slechte informatie zal de omvang, kosten en timing van versterkingen, onderhoud en noodmaatregelen negatief beïnvloeden. Immers, er blijven dan grote onzekerheden bestaan, die kunnen resulteren in relatief hoge veiligheidsfactoren of juist het tegenovergestelde: een onveilige kering met mogelijk een dijkdoorbraak tot gevolg.

Het goed vastleggen, op kwaliteit borgen en toegankelijk maken van meet- en monitoringsdata maakt hergebruik mogelijk, waarmee gedurende de levenscyclus, zoals geschetst in figuur 1, kosten bespaard worden en beter inzicht in langzame verouderingstrends geïdentificeerd kan worden.

De meerwaarde van verhoogde kwaliteit van geofysica en remote sensing kan volgens deelnemers in de werksessies bereikt worden door:

1. Kwaliteitsborging, die de risico's en kosten in de uitvoering verlaagt en de efficiëntie vergroot. Het ondersteunen met gedeelde best practices of – nog ontbrekende - *leidraden en normen* waarin de technische volwassenheid, de juiste condities, kalibratie en kwaliteit van meet- en monitormethoden beschreven worden dragen hieraan bij.
2. Het zo snel mogelijk *digitaal archiveren en toegankelijk maken* van meet- en monitorgegevens maakt hergebruik in de levenscyclus van waterkeringen (met toegang tot DDSC, Dinoloket/BRO en remote sensing voorzieningen) mogelijk en vermijdt extra meet- en monitorkosten.

Voor elke te gebruiken of ontwikkelen geofysische en remote sensingtechniek is dit van toepassing en dit dient in de ontwikkelsporen meegenomen worden.

3.3 Meerwaarde in schematiseringen

De belangrijkste meerwaarde van meet- en monitorgegevens (grondonderzoek en dus ook geofysica en remote sensing) wordt bepaald door de data te gebruiken in de geotechnische en geohydrologische analyses. Het verkrijgen van kwantitatieve gegevens over de huidige ligging (geometrie, opbouw) en de waarden en ontwikkeling in de tijd van kritische geotechnische (spanning en deformatie) en geohydrologische (waterstroming en erosie) parameters ten behoeve van berekeningen van faalkansen en de sterktebeoordeling onder maatgevende omstandigheden zijn hierbij essentieel.

De baten van meten en monitorinformatie moeten opwegen tegen de kosten van de meet- en monitoringspanning. Dit noemen we de waarde van deze informatie (value of information). De grootste waarde is daar waar een betere of nauwkeuriger schematisering leidt tot een goedkopere versterkingsopgave of dijkonderhoud (bijv. is er wel of geen zandbaan met risico op piping).

Meer specifiek gaat het om het kunnen reduceren van die onzekerheden in de schematisering en de parameters die grote invloed hebben op het berekeningsresultaat van het gehanteerde model (bijv. de deklaagdikte en de 'doorlatendheid' ervan bepalen in grote mate de kans dat de deklaag bestand is tegen piping).

Een aandachtspunt is dat de geofysische en remote sensing metingen indirect via een andere fysische parameter (bijv. elektrische weerstand of golfsnelheid van de grond) de geotechnische en geohydrologische input- en kalibratieparameters bepalen van de modellen .

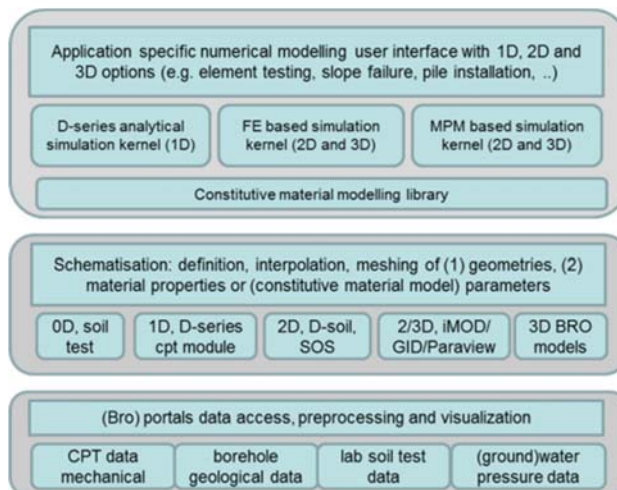
Deelnemers in de werksessies geven aan dat er meerwaarde aangetoond kan worden en vooral ontstaat door:

1. Het kunnen - indien van toepassing – *eliminieren van meerdere SOS-scenario's* tot 1 scenario voor de laagopbouw van de ondergrond en de dijkopbouw.
2. Het vlakdekkend kunnen *verkleinen van de onzekerheden* in de geometrie (x, y, z, h, d, ..) en in de geotechnische (c, ϕ , ..) en geohydrologische (k, D, ..) eigenschappen van (elementen van) de ondergrond en waterkering.
3. Het maken heldere protocollen voor het afleiden van geometrie en geotechnische en geohydrologische schematiseringsparameters is essentieel. Bijv. de WBI-*schematiseringshandleiding* laat nog veel onuitgewerkt (van bijv. van ERT/EM/GPR weerstanden naar deklaagdikte en –kleigehalte), Hierdoor kan de aanpak en uitkomst sterk variëren afhankelijk van de uitvoerder.

Het met geofysische en remote sensingtechnieken vlakdekkend meten en monitoren en met de verkregen informatie via robuuste schematiseringen reduceren van scenario's en onzekerheden van ondergrond en waterkering in de veiligheidsketen is de sleutel. Alleen wanneer geofysische en remote sensinggegevens meerwaarde (kunnen) hebben zijn ontwikkelsporen zinvol.

3.4 Meerwaarde in optimalisatie meetstrategie

Elke faalmechaneberekening is gebaat bij een eigen combinatie van meet- en monitoringsgegevens. Tegelijkertijd zijn meet- en monitorgegevens bruikbaar voor verschillende faalkansberekeningen. Dit betekent dat alle doelen (welke SOS-scenario's elimineren, welke parameteronzekerheden reduceren) bekend moet zijn om een optimale



meet- en monitorstrategie te ontwerpen. De afweging tussen 'invasief' grondonderzoek door middel van sonderingen, boringen en proeven versus 'niet-invasief' grondonderzoek met geofysische en remote sensingtechnieken moet voor een optimale meetstrategie in samenhang bekeken worden, wat nog niet altijd gebeurt. De 'invasieve' metingen kalibreren immers de geofysische en remote sensingdata en andersom helpen deze weer om efficiënt om te gaan met 'invasief' grondonderzoek (minder puntmetingen op bovendien betere locaties).

Figuur 3.2 . Werkprocesschema van dataverwerking, schematisatie en berekeningstappen.

De werksessies onderstrepen dat grote meerwaarde van meet- en monitorgegevens verkregen kan worden door:

1. Het *ontwerpen van gebalanceerde meetstrategieën*, inclusief de inzet van (innovatieve) geofysica en remote sensingtechnieken goed rekening houdend met de omstandigheden waarbij deze methoden goed en minder goed werken
2. Het vooraf doen van *geofysische en remote sensing responseberekeningen* met modellen gericht op vinden van de beste technieken en configuraties om SOS-scenario's te elimineren en onzekerheden te verkleinen.

Een ontwikkelspoor op dit gebied en training van de sector werd in de werksessies aanbevolen.

4 Volwassenheid geofysische en remote sensingtechnieken

4.1 Welke geofysische en remote sensingtechnieken gaat het om?

In dit rapport wordt – afgeleid van de definitie gehanteerd in Aardobservatie op de kaart (ref. HCSS) - onder aardobservatie waterkeringen verstaan:

- *Metingen van de fysieke, chemische en biologische aspecten van de waterkeringen afkomstig van al dan niet met elkaar verbonden 'in situ' en 'remote sensing' systemen.*

De 'in situ' metingen zijn in dit kader de niet invasieve geofysische metingen op en naast de waterkering of het naastgelegen water. De remote sensingmetingen zijn satellietgegevens, maar ook de metingen vanuit de lucht of drone.

4.1.1 Combinaties van sensors en platforms

Niet invasieve (remote sensing) platforms zijn er op verschillende hoogten in de lucht (zoals satellieten, vliegtuigen/helikopters, drones). Niet invasieve (hydrografische/geofysische) platforms zijn er op en in het water (zoals schepen, varende drones en submersibles) en op de grond (wagens, robots en mensen). Invasieve platforms staan in de grond of het water (zoals sonderingen, boorgatmetingen en peilbuizen, glasvezelmeetkabels).

Er is een trend dat data vanuit de lucht, water en land met steeds hogere resolutie iteratief ingevlogen/gevaren kunnen worden en schaalbaar gecombineerd kunnen worden.

Sensors zijn gebaseerd op fysische meettechnieken. Deze vallen in twee categorieën uiteen: sensors op basis van het elektromagnetisch spectrum en eigenschappen (zoals elektrische weerstand of geleiding), dielectriche capaciteit en magnetische susceptibiliteit) en sensors op basis van het akoestisch-mechanische spectrum en eigenschappen (zoals dichtheid, compressibiliteit, akoestische golfsnelheden). Dezelfde sensor kan (in principe) op verschillende platforms ingezet worden en bereikt afhankelijk van de afstand tot het meetdoel een grovere of fijnere resolutie.

Er is wat betreft de sensors een trend om steeds vaker een combinatie van sensors te gebruiken om betere interpretaties (schematiseringen) mogelijk te maken (datafusie).

Hierna wordt een kort overzicht gegeven van de relevante geofysische en remote sensingtechnieken.

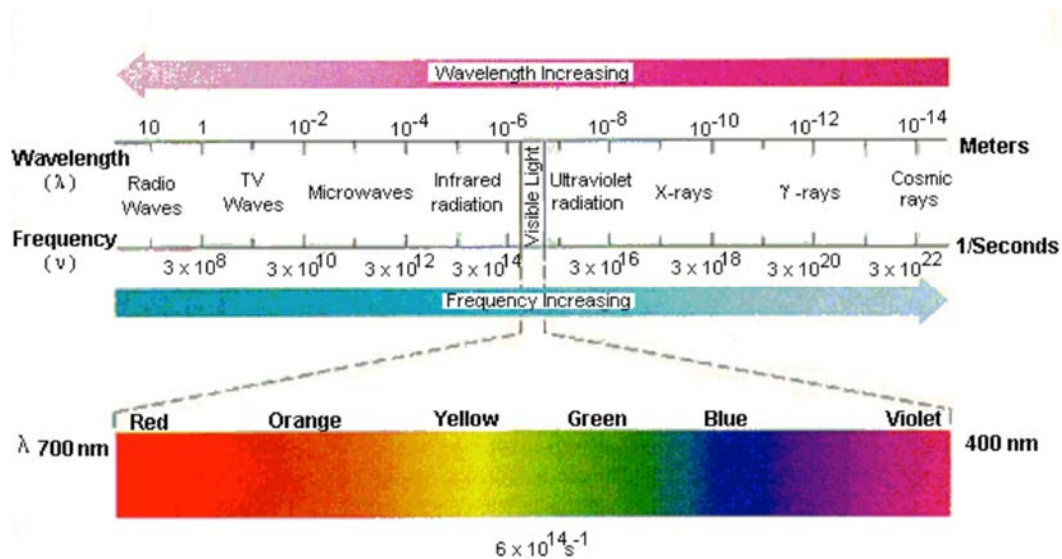
4.1.2 Elektromagnetische meet- en monitortechnieken

Er is een scala aan technieken in het elektromagnetische spectrum. De technieken maken gebruik van een range van statische, laagfrequente (en langgolvlige) naar hoogfrequente elektromagnetische (en kortgolvlige methoden): de magnetische/elektrische technieken, zoals ERT (<30Hz), de radiogolf inductietechnieken, zoals FEM/TDEM/NMR (30Hz-300MHz), de microgolf of radartechnieken zoals grondradar, satelliet radar (300MHz-30THz), de op licht gebaseerde technieken zoals infrarood, optisch (zichtbaar licht), laser, spectraal beelden (30THz-30PHz) naar gamma en x-ray straling technieken (>30PHz), zie ook de navolgende figuur.

Twee typen meetopstellingen worden onderkend:

- Actieve statische (VES/ERT), inductie (EM), golfpatroon (SAR, licht) metingen van elektromagnetische energie waarbij actieve bronnen gebruikt worden. Deze methoden vereisen naast een ontvanger een (zware) energiebron met een bepaalde frequentie in het elektromagnetische spectrum.

- Passieve statische (SP/Mag), inductie (VLF), golfpatroon (IR, Spectraal licht) en deeltjes (gamma) metingen, waarbij de 'natuurlijk' aanwezige (temperatuurafhankelijke) straling gebruikt wordt. Deze methoden hebben alleen een ontvanger.



Figuur 4.1 Elektromagnetische spectrum (ref. NASA, <https://imagine.gsfc.nasa.gov/science/toolbox/emspectrum2.html>)

Deze range correspondeert met een olopend frequentiespectrum, waarvan de golven steeds minder diep in de grond (of: de waterkering) kunnen dringen. De laagfrequente methoden dringen - mede afhankelijk van sterkte van de bron en dempende eigenschappen van het medium - dieper (centimeters tot tientallen meters) de grond in (groen in onderstaande tabel). De hoogfrequente technieken dragen ver door de lucht maar dringen niet of nauwelijks in de grond (of: de waterkering) (<1 cm.), onafhankelijk van de sterkte van de bron (rood in de tabel).

Elektromagnetisch methoden (instrumenten)

- Self potentiaal, elektrische (SP), Magnetisch veldmetingen
- ERT / VES, actieve elektrische metingen
- EM/FDEM metingen, m.b.v. spoelmetingen (EM31, EM34, Dualem 421, VLF, etc.)
- Magnetische resonantie (NMR)
- Grondradar / Radar, m.b.v. beelden met actief, passief systeem (GPR, Miramap)
- SAR / InSar, m.b.v. satellietstelsel
- Infrarood (IR) metingen m.b.v. thermische beeldcamera's (TIR en satelliet)
- Laserscanning, Laser line scanning systemen (LiDAR)
- Foto/video camerabeelden (optische camera's) en satelliet
- Spectraal metingen (hyperspectraal camera's en satelliet)
- Natuurlijke radioactiviteit (gammastralingmeter, Geigerteller)

De resolutie van de lijn- en vlakdekkende opnamen worden vooral door de afstand tot het meetdoel bepaald (satelliet heeft minder resolutie dan metingen aan de grond) en de overlap in opnamen waarmee de signaal-ruisverhouding verbeterd kan worden.

Sommige van deze methoden zijn gevoelig voor bepaalde storingen. De laagfrequente elektromagnetische methoden werken minder goed wanneer er geleidende kabels, leidingen

en hekwerken in de buurt zijn. Daarnaast wordt de indringingsdiepte sterk negatief beïnvloed door de aanwezigheid van zout grondwater, die de energie verstrooit en dempt. Verder kunnen de hoogfrequente methoden toegepast vanuit satellieten last hebben van verstoringen in de atmosfeer.

In de huidige praktijk van de waterkeringen in Nederland worden volgens de experts alleen de volgende geofysische en remote sensingmethoden op basis van elektromagnetische principes gebruikt:

- ERT/VES metingen voor de bepaling van de opbouw van de deklaag
- EM (FEM/TDEM) metingen voor de bepaling van de opbouw van de deklaag
- Radar en Infrarood – voor de bepaling van kwellocaties
- Laser (LiDAR) beelden voor het inmeten van de hoogte
- Optische beelden voor vegetatie en ligging van de bekleding

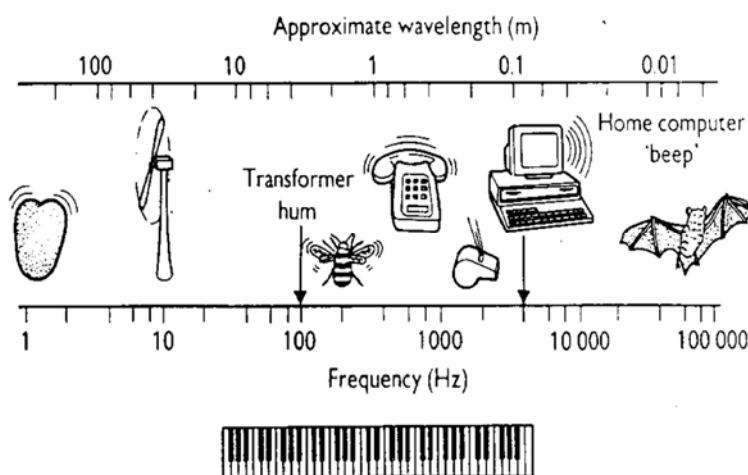
Er worden hierbij geen leidraden of normen gehanteerd, hetgeen (mede) tot wisselende resultaten leidt.

4.1.3 Akoestisch-mechanische meet- en monitortechnieken

Er is een scala aan technieken in het akoestisch-mechanische spectrum. De technieken maken gebruik van een range van statische, laagfrequente (en langgolvlige) naar hoogfrequente (en kortgolvlige) methoden: deformatie/seismologisch/zwaartekracht technieken (<30Hz), laagfrequente seismische technieken (30-300Hz), hoogfrequente seismische technieken (300-30.000Hz), sonar sidescan en multibeam echo technieken in water (30kHz-30MHz) en ultrasone methoden (>40MHz).

Twee typen meetopstellingen worden onderkend:

- Actieve statische (stress testen), en golfpatroon metingen van akoestisch-mechanische energie (seismisch en sonar reflecties, refracties en oppervlakte golven) waarbij actieve bronnen gebruikt worden. Deze methoden vereisen naast een ontvanger een (zware) energiebron met een bepaalde frequentie in het spectrum.
- Passieve statische (geodesie, gravimetrie), en golfpatroon (seismologie, seismiek, sonar)



metingen, waarbij de 'natuurlijk' aanwezige (temperatuur afhankelijke) massabewegingen gebruikt wordt. Deze methoden hebben alleen een ontvanger.

Figuur 4.2
Akoestisch spectrum met niet geofysische systemen (ref.)

<http://www.sengpielaudio.com/calculator-wavelength.htm>)

Deze range correspondeert met een oplopend frequentiespectrum, waarvan de golven steeds minder diep in de grond (of: de waterkering) kunnen dringen. De laagfrequente methoden

dringen - mede afhankelijk van sterkte van de bron en dempende eigenschappen van het medium - dieper (meters tot tientallen meters) de grond in (groen in onderstaande tabel). De hoogfrequente technieken dragen ver door de lucht maar dringen niet of nauwelijks in de grond of de waterkering in (<1 m.), onafhankelijke van de sterkte van de bron (rood in de tabel).

Seismisch

- Zwaartekrachtmetingen, voor het detecteren van ontbrekende massa's
- Geodetische metingen voor bepaling van de hoogteprofielen
- Verplaatsing- en tilt-metingen voor gronddeformatie
- Waterniveaumetingen voor waterstanden
- (Micro)seismologie, versnellingsmeters voor bepalingen van geluidsbronnen, bewegingen
- Reflectie seismiek voor kartering structuren inde ondergrond
- Refractieseismiek en oppervlaktegolventechnieken (VDG, MASW, consolitest) – voor dikte en seismisch snelheden media (asfalt, deklaag)
- Sonar systemen – voor waterbodemdikte, lagen en objecten in de ondiepe waterbodem
- Ultrasoon – voor constructie, laboratorium onderzoek en medische toepassingen

De resolutie van de lijn- en vlakdekkende opnamen worden vooral door de frequentie en afstand tot het meetdoel bepaald (waarbij op dit moment geluid of infrasond metingen vanuit de lucht niet benut worden) en de overlap in opnamen waarmee de signaal-ruisverhouding verbeterd kan worden.

De indringingsdiepte wordt sterk negatief beïnvloed door de aanwezigheid van storende trillingen, die de te meten energie verhoud. Ook verstoort de aanwezigheid van gas in water en grond sommige van deze meettechnieken.

In de praktijk van de waterkeringen in Nederland worden volgens de experts alleen de volgende geofysische en remote sensingtechnieken op basis van akoestisch-mechanische principes methoden gebruikt:

- Deformatiemetingen en waterpeilmetingen
- VDG metingen voor bepaling van de dikte en kwaliteit van de deklaag

Er worden hierbij geen leidraden of normen gehanteerd, hetgeen (mede) tot wisselende resultaten leidt.

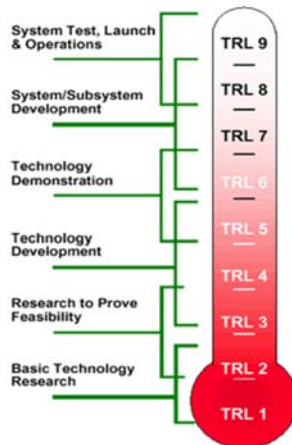
4.2 Kaders voor bepaling van volwassenheid van technieken

4.2.1 Technology Readiness Level (TRL)

Een helder kader voor volwassenheid van de meettechnieken (TRL) en de volwassenheid van de toepassing ervan op waterkeringen (Application Readiness Level - ARL) helpt om met inzicht en overzicht methoden te duiden, te waarderen en op inzetbaarheid te beoordelen.

Wat betreft volwassenheid van de meet- en monitor methoden hanteren we wat betreft de meettechnieken *an sich* de 'Technology Readiness Level' meetlat:

Met de Technology readiness level wordt de mate van volwassenheid van een geofysische of remote sensingmeettechniek aangeduid. Dit kan voor ander toepassingsgebied dan waterkeringen getest en aangetoond zijn. Alle in vorige paragraaf genoemde geofysische en remote sensingmethoden hebben wat betreft de **signaalbronnen en -sensors** een technology readiness level dat hoog is. De methoden zijn vaak voor andere toepassingen ontwikkeld en worden daarvoor ook gebruikt. Wat betreft de meeste **meetplatforms** is de TRL ook hoog (satellieten, airborne, meten op land en met schepen op water), met uitzondering van



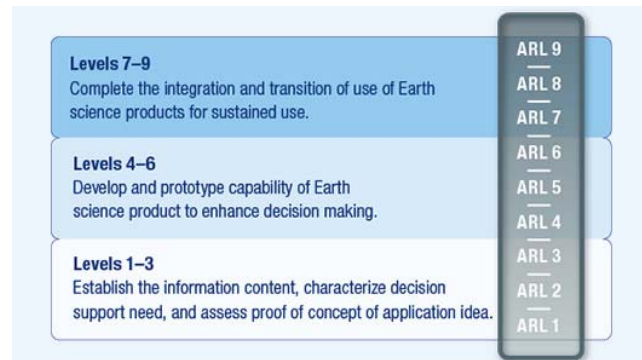
onbemande drones, die nog sterk in opmars zijn. Alle in dit rapport genoemde geofysische en remote sensingmeet- en monitortechnieken hebben het hoogste niveau TRL9). Vaak bestaan er ook normen voor de uitvoering van elke methode waarnaar verwezen kan worden (zie ook bijlage E). Uitzonderingen zijn nieuwe sensor-platform combinaties, zoals potentieel de combinatie EM-Drones. In de wereld van de waterkeringen zijn deze onbekend of soms niet direct toepasbaar aangezien ze opgezet zijn om andere toepassingen te ondersteunen.

Figuur 4.3 Technologievolwassenheid schaal.

4.2.2 Application Readiness Level (ARL)

Wat betreft de volwassenheid van de toepassing van geofysische en remote sensing technieken voor het meten en monitoren aan waterkeringen kan de 'Application Readiness Level' schaal gebruikt worden.

Deze maat geeft aan hoe volwassen de toepassing van deze techniek in de dijkencontext is, nationaal of internationaal. De application readiness level (ARL) van verschillende geofysische en remote sensingmethoden (sensors + platform) voor waterkeringen technieken varieert. Sommige methoden hebben zich bewezen en worden breed toegepast, sommige worden alleen in het buitenland breed toegepast en niet in Nederland, andere methoden hebben wel potentie volgens wetenschappelijke referenties, maar worden door waterschappen nog als risicovol ingeschat.



Figuur 4.4 Toepassingvolwassenheid schaal.

Er blijken binnen Nederland veel minder technieken volwassen beschouwd te worden dan men internationaal als volwassen beschouwd.

Volwassenheid van het meenemen van beschikbare geofysische en remote sensingdata en de integratie in de workflow om tot schematiseringen te komen is nog laag.

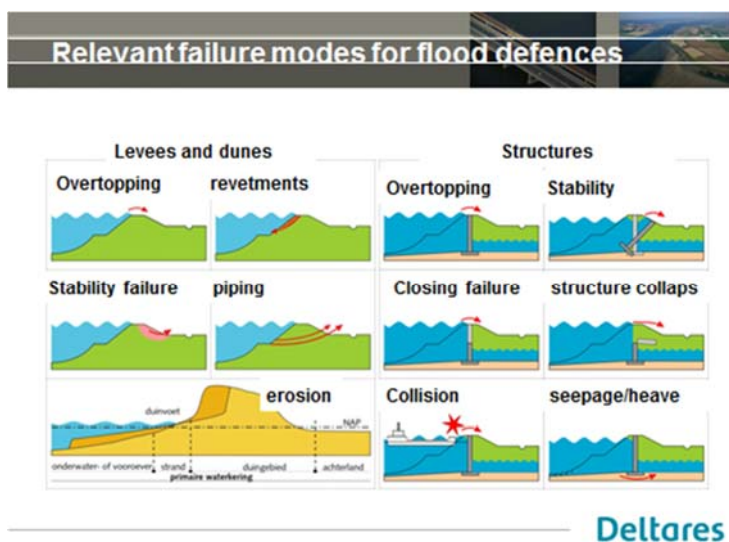
Op dit moment worden er wel methoden ingezet maar is er geen best practice en is elke toepassing nog maatwerk. Er is ook maar zeer beperkt best practice informatie beschikbaar.

5 Huidige praktijk in Nederland en internationale ontwikkelingen

5.1 Waterkeringen, wat willen we precies weten?

Onder een (dijk/duin?) waterkering wordt verstaan het geheel van vooroever, waterkerend lichaam zelf, achterland en ondergrond (zie figuur, opgenomen uit een schematiseringshandleiding).

De conditie en de **statische schematisering** van de waterkering berust conform het WBI op informatie over verschillende faalmechanismen: Hoogte, Bekleding (asfaltbekleding golfklap, afschuiving binnentalud en buitentalud), Erosie (kruin en binnentalud, buitentalud), Stabiliteit (macrostabiliteit binnenwaarts en buitenwaarts, afschuiven voorland en zettingsvloeiing) en Grondwaterdruk (opdrukken asfalt door wateroverdruk, microstabiliteit, hydraulische condities bij dijkteen en piping).



waarin de benodigde parameters gedefinieerd zijn, en suggesties gegeven worden voor de te gebruiken observatiedata. Er ontbreekt een handleiding om tot een optimale meet- en monitorstrategie te komen. Dit geldt ook, maar in mindere mate voor het ontwerpen van dijkversterkingen, waar meer maatwerk gehanteerd wordt en meer geavanceerd gerekend wordt.

monitoren faalmechanismen

Figuur 5.1 De te bemeten en

5.2 Huidige praktijk in Nederland

De aanleiding voor deze visie op meten en monitoren van waterkeringen is de constatering dat waterkeringbeheerders regelmatig concreet worstelen met het gebruiken van beschikbare remote sensing-observatiedata en/of het (laten) inwinnen van geofysische observatiedata. De wijze van vaststellen van de conditie van de waterkeringen en ondergrond in combinatie met grondonderzoek door middel van sonderingen, boringen en laboratoriumtesten, verschilt van waterschap tot waterschap. Deels is dit ook gebiedsafhankelijk, maar voor het overige zou een leidraad of wellicht een norm waar in de uitbesteding naar kan worden verwezen kunnen helpen.

5.2.1 WBI-beoordeling en ontwerpen dijkversterkingen

Voor het WBI-beoordelingsproces en voor het ontwerpen van waterkeringen is kennis over de **'statische' opbouw van de waterkering en de ondergrond en de variatie in 'dynamische' parameters** onontbeerlijk. Bij voorkeur zijn de data continu, dat wil zeggen lijn- en vlakdekkend voor de ruimtelijk variërende parameters en wordt er voldoende vaak gemonitord om temporeel

variërende parameters te volgen en variaties vast te stellen. Waterschappen besteden grondonderzoek (sonderingen, boringen en soms geofysische en remote sensing onderzoek) uit om de condities van waterkeringen te (laten) bepalen.

Voor de WBI-beoordeling worden voor elk faalmechanisme in de factsheets de gewenste databronnen (en data-acquisitie) genoemd. Verwezen wordt naar:

- Documenten uit het verleden (bestek, as-built tekeningen, opleveringskeuringen, inspecties).
- Grondonderzoek met boringen, sonderingen, kernen/monsters, laboratoriumonderzoek, peilbuizen en pompproeven, ...), zogenaamde 'invasieve methoden, die de grond of dijk indringen.
- Grondonderzoek met geofysische (VDG, EM/ERT, MASW) en remote sensing metingen (LiDAR (FLI-map), IR, Spectraal, ..), zogenaamde 'niet invasieve' methoden, die erop of op afstand meten.

Voor het WBI is een korte scan gedaan van de huidige praktijk op basis van de factsheets, waarin de benodigde parameters en daarvoor geadviseerde databronnen vermeld zijn. Het resultaat is te vinden in bijlage D. Hier volgen als voorbeeld eerst de conclusies voor enkele factsheets en geotechnische en geohydrologische parameters met de daarvoor **in de factsheets geadviseerde** databronnen en de *volgens de werksessies mogelijke* in te zetten geofysische en remote sensing als databron.

Factsheet Hoogte(profiel) :

- Hoogteprofiel dijk: **as-built tekeningen, AHN, FLI-MAP**, *mogelijk InSAR, drone LiDAR*)
- Ruwheid van de profielen: **inspecties, opleveringskeuring**, *mogelijk LiDAR, Spectraal*)
- Oriëntatie dijknormaal: **AHN, FLI-MAP, Basisbestanden keringen**, *mogelijk InSAR, drone-Lidar*)

Bijvoorbeeld Factsheet Piping:

- Geometrie waterkering: **as built tekeningen, AHN, airborne LiDAR**, *mogelijk InSAR, drone LiDAR*)
- Geometrie voor- en achterland: **AHN. Airborne LiDAR**, *mogelijk InSAR, drone LiDAR*)
- Dijkte deklaag: **sonderingen, boringen, WBI-SOS, Dino loket**, *mogelijk EM/ERT, soms wel gebruikt*)
- Lutumgehalte & zandgehalte deklaag voorland: **boringen, laboratoriumonderzoek**, *geen Spectraal of Radarmetingen of EM/ERT*)
- Grondwaterstand: **slootpeil, peilbuismetingen**, *mogelijk ERT of glasvezel DTS-metingen*)

De 10 andere factsheets geven eenzelfde beeld. In bijlage D zijn alle resultaten van de factsheet scans te vinden, waarin ook uitgezocht is welke geofysische methoden in de praktijk in WBI aanbevolen worden of regelmatig gebruikt worden (volwassen zijn, ARL9) en de technieken die volgens de werksessies kansrijk zijn (ARL5-8) en welke nog in het stadium van onderzoek bevinden (ARL<5).

De voornaamste redenen die door waterschappen genoemd worden dat de volwassenheid nog onvoldoende is, zijn onder andere:

- de kwaliteit van de resultaten van geaccepteerde methoden is onvoldoende gedefinieerd en stabiel;
- het ontbreken of niet op de hoogte zijn van leidraden of normen;
- het niet voorzien of niet goed omgaan met verstoringen in metingen vanwege lokale condities (bijvoorbeeld kabels en leidingen of overmatige trillingen bij spoor) leidt tot hiaten in de vlakdekkende metingen, die beloofd waren;
- de kennis van de mogelijkheden op het gebied van aanbesteden ontbreekt bij waterschappen;
- de aanbieders tonen niet aan wat de relatieve meerwaarde van de verschillende methoden zijn (de eigen methode heeft daarbij telkens de voorkeur);

5.2.2 Inspectie en calamiteitenmonitoring

Naast WBI (statische) schematisering is het voor de zorgplicht/inspectie en calamiteiten-beheer van belang om veranderingen in deze schematisering te monitoren en de verandering in faalkansen te signaleren. Dit betekent dat met een '**dynamische schematisering**' centraal staat, die telkens bijgesteld wordt op basis van reeksen van metingen en daarvan afgeleide geotechnische en geohydrologische dynamische parameters. Kortom: dijkmonitoring.

Ook hier ontbreekt een geaccepteerde analyse welke parameters en meet- en monitordata de meeste waarde hebben in verhouding tot de kosten in het tijdig signaleren van veranderingen of het overschrijden van veilige grenswaarden bij calamiteiten.

Dijkinspecties en dijkmonitoringsystemen zijn hier de kern voor het volgen van kritieke (gedeelten) van waterkeringen. Het ondersteunen van de dijkinspecteurs met geofysische en remote sensingtechnieken is net als voor de beoordelings- en versterkingstaken geen gemeengoed en staat wellicht nog meer in de kinderschoenen. In de werksessies is aangegeven dat het nuttig zou ook hiervoor systematisch te onderzoeken hoe en met welke geofysische en remote sensingtechnieken de praktijk van dijkinspecties en dijkmonitoring verrijkt kan worden.

5.3 Internationale en nieuwe ontwikkelingen

In afgelopen jaren zijn er diverse rapporten verschenen die de mogelijke meerwaarde voor waterkeringenbeheer van nieuwe of buiten Nederland al toepaste observatiemethoden aangeven.

Er zijn overzichtsrapporten over geofysische technieken (ref. van Deen, Kruijver et al., PoV rapporten) waarin veel meer meet- en monitortechnieken beschreven zijn dan in de huidige praktijk van waterkeringen ingezet worden. Daarnaast zijn er vele pilots met (nog) niet toegepaste technieken geweest of nog gaande, o.a. met remote sensing, drone en glasvezeltechnieken (ref. Stowa rapporten) technieken.

Ook in EU-projecten (Floodprobe) en ICOLD (refs.) zijn er voorbeelden van technieken die in Nederland (nog) niet gangbaar zijn. Vaak worden deze elders wel bij dammen ingezet. Uit de internationale literatuur blijkt dat in sommige landen veel meer gebruik gemaakt wordt van geofysische en remote sensing technieken. Bijvoorbeeld in Frankrijk, USA. Daarnaast worden bij dammen veelvuldig monitorsystemen ingezet, steeds meer gebruikmakend van remote sensing.

Deze informatie en ervaringen zijn gebruikt om in te schatten welke geofysische en remote sensing meet- en monitortechnieken zo volwassen zijn dat deze in Nederland snel in de praktijk

ingezet zouden kunnen worden en welke technieken nog niet direct rijp zijn voor toepassingen in waterkeringenbeheer.

5.4 **Samenvatting: de basis voor de ontwikkelporen**

Op basis van de analyse van WBI factsheets, alle input uit de drie werksessies en de ervaringen uit het buitenland is een overzichtstabel gemaakt waarin de geotechnische en geohydrologische parameters (uit de WBI-factsheets) afgezet zijn tegen alle geofysische en remote sensing technieken met TRL 9 (zie hoofdstuk 4).

Met verschillende kleuren is aangegeven wat de inschatting is van de relevantie en toepassingsvolwassenheid van een geofysische of remote sensing techniek is voor het meten of monitoren van waterkeringen. Waar technieken irrelevant zijn voor een geotechnische of geohydrologische parameter zijn deze combinaties grijs gemaakt. Waar de technieken wel relevant kunnen zijn is in vier klassen aangegeven wat de volwassenheid is:

- Groen betekent een volwassen techniek (ARL9), die standaard in de praktijk door waterkeringenbeheerders wordt toegepast.
- Oranje betekent een bijna volwassen techniek (ARL7-8), die Internationaal wel toegepast wordt, maar in Nederland met wisselend succes in de praktijk gebracht wordt, o.a. door het ontbreken van een leidraad of norm en verwijzing vanuit WBI factsheets.
- Geel betekent een bijna volwassen techniek (ARL5-6), die wel internationaal toegepast wordt, maar in Nederland nog niet in de praktijk is gebracht.
- Blauw zijn de nog onvolwassen technieken (ARL<5), die in theorie kunnen werken maar zowel in het buitenland als in Nederland nog niet getest zijn.

Volwassenheid meetschakelen voor geotechnische en geohydrologische parameters	Systeem	Parameter	Eenheden	Dynamiek	Methode																	Schematische vorm referentie																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
					Methode		Electromagnetisch					Acoustisch				In situ, destructief							Document																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
					Mag	ERT	FEM/TO	GPR	InSAR	EPS	Basir	Spectra	Mt. resp.	LV	Gamma	Li-Ray	Geo-terrest	Grav-terrest	Grav-geosch	VDS	Sonar			Prisma	Sein-Boeing	In situ, destructief	Soil test	Pen-Beak	Water-test	Docu-ment																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Overig over	Hoogte	meter	g	Statische	0-2	0-3	3-6	6-9	9-12	12-15	15-18	18-21	21-24	24-27	27-30	30-33	33-36	36-39	39-42	42-45	45-48	48-51	51-54	54-57	57-60	60-63	63-66	66-69	69-72	72-75	75-78	78-81	81-84	84-87	87-90	90-93	93-96	96-99	99-102	102-105	105-108	108-111	111-114	114-117	117-120	120-123	123-126	126-129	129-132	132-135	135-138	138-141	141-144	144-147	147-150	150-153	153-156	156-159	159-162	162-165	165-168	168-171	171-174	174-177	177-180	180-183	183-186	186-189	189-192	192-195	195-198	198-201	201-204	204-207	207-210	210-213	213-216	216-219	219-222	222-225	225-228	228-231	231-234	234-237	237-240	240-243	243-246	246-249	249-252	252-255	255-258	258-261	261-264	264-267	267-270	270-273	273-276	276-279	279-282	282-285	285-288	288-291	291-294	294-297	297-300	300-303	303-306	306-309	309-312	312-315	315-318	318-321	321-324	324-327	327-330	330-333	333-336	336-339	339-342	342-345	345-348	348-351	351-354	354-357	357-360	360-363	363-366	366-369	369-372	372-375	375-378	378-381	381-384	384-387	387-390	390-393	393-396	396-399	399-402	402-405	405-408	408-411	411-414	414-417	417-420	420-423	423-426	426-429	429-432	432-435	435-438	438-441	441-444	444-447	447-450	450-453	453-456	456-459	459-462	462-465	465-468	468-471	471-474	474-477	477-480	480-483	483-486	486-489	489-492	492-495	495-498	498-501	501-504	504-507	507-510	510-513	513-516	516-519	519-522	522-525	525-528	528-531	531-534	534-537	537-540	540-543	543-546	546-549	549-552	552-555	555-558	558-561	561-564	564-567	567-570	570-573	573-576	576-579	579-582	582-585	585-588	588-591	591-594	594-597	597-600	600-603	603-606	606-609	609-612	612-615	615-618	618-621	621-624	624-627	627-630	630-633	633-636	636-639	639-642	642-645	645-648	648-651	651-654	654-657	657-660	660-663	663-666	666-669	669-672	672-675	675-678	678-681	681-684	684-687	687-690	690-693	693-696	696-699	699-702	702-705	705-708	708-711	711-714	714-717	717-720	720-723	723-726	726-729	729-732	732-735	735-738	738-741	741-744	744-747	747-750	750-753	753-756	756-759	759-762	762-765	765-768	768-771	771-774	774-777	777-780	780-783	783-786	786-789	789-792	792-795	795-798	798-801	801-804	804-807	807-810	810-813	813-816	816-819	819-822	822-825	825-828	828-831	831-834	834-837	837-840	840-843	843-846	846-849	849-852	852-855	855-858	858-861	861-864	864-867	867-870	870-873	873-876	876-879	879-882	882-885	885-888	888-891	891-894	894-897	897-900	900-903	903-906	906-909	909-912	912-915	915-918	918-921	921-924	924-927	927-930	930-933	933-936	936-939	939-942	942-945	945-948	948-951	951-954	954-957	957-960	960-963	963-966	966-969	969-972	972-975	975-978	978-981	981-984	984-987	987-990	990-993	993-996	996-999	1000-1003	1003-1006	1006-1009	1009-1012	1012-1015	1015-1018	1018-1021	1021-1024	1024-1027	1027-1030	1030-1033	1033-1036	1036-1039	1039-1042	1042-1045	1045-1048	1048-1051	1051-1054	1054-1057	1057-1060	1060-1063	1063-1066	1066-1069	1069-1072	1072-1075	1075-1078	1078-1081	1081-1084	1084-1087	1087-1090	1090-1093	1093-1096	1096-1099	1100-1103	1103-1106	1106-1109	1109-1112	1112-1115	1115-1118	1118-1121	1121-1124	1124-1127	1127-1130	1130-1133	1133-1136	1136-1139	1139-1142	1142-1145	1145-1148	1148-1151	1151-1154	1154-1157	1157-1160	1160-1163	1163-1166	1166-1169	1169-1172	1172-1175	1175-1178	1178-1181	1181-1184	1184-1187	1187-1190	1190-1193	1193-1196	1196-1199	1200-1203	1203-1206	1206-1209	1209-1212	1212-1215	1215-1218	1218-1221	1221-1224	1224-1227	1227-1230	1230-1233	1233-1236	1236-1239	1239-1242	1242-1245	1245-1248	1248-1251	1251-1254	1254-1257	1257-1260	1260-1263	1263-1266	1266-1269	1269-1272	1272-1275	1275-1278	1278-1281	1281-1284	1284-1287	1287-1290	1290-1293	1293-1296	1296-1299	1300-1303	1303-1306	1306-1309	1309-1312	1312-1315	1315-1318	1318-1321	1321-1324	1324-1327	1327-1330	1330-1333	1333-1336	1336-1339	1339-1342	1342-1345	1345-1348	1348-1351	1351-1354	1354-1357	1357-1360	1360-1363	1363-1366	1366-1369	1369-1372	1372-1375	1375-1378	1378-1381	1381-1384	1384-1387	1387-1390	1390-1393	1393-1396	1396-1399	1400-1403	1403-1406	1406-1409	1409-1412	1412-1415	1415-1418	1418-1421	1421-1424	1424-1427	1427-1430	1430-1433	1433-1436	1436-1439	1439-1442	1442-1445	1445-1448	1448-1451	1451-1454	1454-1457	1457-1460	1460-1463	1463-1466	1466-1469	1469-1472	1472-1475	1475-1478	1478-1481	1481-1484	1484-1487	1487-1490	1490-1493	1493-1496	1496-1499	1500-1503	1503-1506	1506-1509	1509-1512	1512-1515	1515-1518	1518-1521	1521-1524	1524-1527	1527-1530	1530-1533	1533-1536	1536-1539	1539-1542	1542-1545	1545-1548	1548-1551	1551-1554	1554-1557	1557-1560	1560-1563	1563-1566	1566-1569	1569-1572	1572-1575	1575-1578	1578-1581	1581-1584	1584-1587	1587-1590	1590-1593	1593-1596	1596-1599	1600-1603	1603-1606	1606-1609	1609-1612	1612-1615	1615-1618	1618-1621	1621-1624	1624-1627	1627-1630	1630-1633	1633-1636	1636-1639	1639-1642	1642-1645	1645-1648	1648-1651	1651-1654	1654-1657	1657-1660	1660-1663	1663-1666	1666-1669	1669-1672	1672-1675	1675-1678	1678-1681	1681-1684	1684-1687	1687-1690	1690-1693	1693-1696	1696-1699	1700-1703	1703-1706	1706-1709	1709-1712	1712-1715	1715-1718	1718-1721	1721-1724	1724-1727	1727-1730	1730-1733	1733-1736	1736-1739	1739-1742	1742-1745	1745-1748	1748-1751	1751-1754	1754-1757	1757-1760	1760-1763	1763-1766	1766-1769	1769-1772	1772-1775	1775-1778	1778-1781	1781-1784	1784-1787	1787-1790	1790-1793	1793-1796	1796-1799	1800-1803	1803-1806	1806-1809	1809-1812	1812-1815	1815-1818	1818-1821	1821-1824	1824-1827	1827-1830	1830-1833	1833-1836	1836-1839	1839-1842	1842-1845	1845-1848	1848-1851	1851-1854	1854-1857	1857-1860	1860-1863	1863-1866	1866-1869	1869-1872	1872-1875	1875-1878	1878-1881	1881-1884	1884-1887	1887-1890	1890-1893	1893-1896	1896-1899	1900-1903	1903-1906	1906-1909	1909-1912	1912-1915	1915-1918	1918-1921	1921-1924	1924-1927	1927-1930	1930-1933	1933-1936	1936-1939	1939-1942	1942-1945	1945-1948	1948-1951	1951-1954	1954-1957	1957-1960	1960-1963	1963-1966	1966-1969	1969-1972	1972-1975	1975-1978	1978-1981	1981-1984	1984-1987	1987-1990	1990-1993	1993-1996	1996-1999	2000-2003	2003-2006	2006-2009	2009-2012	2012-2015	2015-2018	2018-2021	2021-2024	2024-2027	2027-2030	2030-2033	2033-2036	2036-2039	2039-2042	2042-2045	2045-2048	2048-2051	2051-2054	2054-2057	2057-2060	2060-2063	2063-2066	2066-2069	2069-2072	2072-2075	2075-2078	2078-2081	2081-2084	2084-2087	2087-2090	2090-2093	2093-2096	2096-2099	2100-2103	2103-2106	2106-2109	2109-2112	2112-2115	2115-2118	2118-2121	2121-2124	2124-2127	2127-2130	2130-2133	2133-2136	2136-2139	2139-2142	2142-2145	2145-2148	2148-2151	2151-2154	2154-2157	2157-2160	2160-2163	2163-2166	2166-2169	2169-2172	2172-2175	2175-2178	2178-2181	2181-2184	2184-2187	2187-2190	2190-2193	2193-2196	2196-2199	2200-2203	2203-2206	2206-2209	2209-2212	2212-2215	2215-2218	2218-2221	2221-2224	2224-2227	2227-2230	2230-2233	2233-2236	2236-2239	2239-2242	2242-2245	2245-2248	2248-2251	2251-2254	2254-2257	2257-2260	2260-2263	2263-2266	2266-2269	2269-2272	2272-2275	2275-2278	2278-2281	2281-2284	2284-2287	2287-2290	2290-2293	2293-2296	2296-2299	2300-2303	2303-2306	2306-2309	2309-2312	2312-2315	2315-2318	2318-2321	2321-2324	2324-2327	2327-2330	2330-2333	2333-2336	2336-2339	2339-2342	2342-2345	2345-2348	2348-2351	2351-2354	2354-2357	2357-2360	2360-2363	2363-2366	2366-2369	2369-2372	2372-2375	2375-2378	2378-2381	2381-2384	2384-2387	2387-2390	2390-2393	2393-2396	2396-2399

Uit de tabel is af te leiden dat voor:

- Hoogtebepaling van een waterkering m.b.v. land geodetisch, GPS, airborne LiDAR methoden volwassen zijn (ARL9, groen); InSAR is nog beperkt want resolutie of dekking is nog te laag maar snel groeiend (ARL7-8, oranje).
- Hoogte/diepte waterbodem m.b.v. sonar en multibeamtechnieken is volwassen (ARL9, groen), deze metingen zijn echter nog lastig dichtbij de oevers en hebben misschien baat bij een ander platform (ARL8-9).
- Dikte deklaag m.b.v. ERT, EM (GPR) zijn bijna volwassen (ARL7-8, oranje), maar Nederlandse leidraad of standaards ontbreken.
- Samenstelling asfalt met VDG is volwassen (ARL9, groen) maar dikte en sterkte bepaling met MASW niet (ARL7-8).
- Kwelbepaling met infrarood en spectraal metingen is bijna volwassen (ARL7-8, oranje), maar geen leidraad.
- Etc.

NB. In deze analyse is de kosten-batenkant door expert judgement meegewogen, maar een nadere beschouwing kan ertoe leiden dat sommige technieken die nu nog als niet of bijna volwassen gelden, irrelevant worden en vice versa.

.

6 Ontwikkelsporen geofysica en remote sensing

Op basis van de analyse van toepassingsvolwassenheid (ARL) van de verschillende geofysische en remote sensing meet- en monitormethoden voor waterkeringen zijn er drie ontwikkelsporen gedefinieerd (zie paragrafen 6.1-6.3).

Daarnaast zijn er ook drie ontwikkelsporen gedefinieerd, die de individuele meetmethoden overstijgen en gericht zijn op meerwaarde uit databeschikbaarheid/ hergebruik, vlakdekkende data-integratie/verwerking en samenwerking/best practices (zie paragrafen 6.4-6.6).

6.1 Leidraden voor volwassen (elektromagnetische) technieken (ARL8-9)

Het doel van dit ontwikkelspoor is het verankeren van de kwaliteit van en vergroten van het vertrouwen in geofysische en remote sensingmethoden, die al in de praktijk in Nederland worden gebruikt. Het betreft meet- en monitormethoden die gebruik maken van elektromagnetische technieken op de grond en vanuit satellieten.

Op basis van ervaringen van waterschappen kunnen specifieke leidraden of meetprotocollen (normen) de lijn- en vlakdekkende technieken worden opgesteld. Dit kan deels door het verwijzen naar of overnemen van bestaande Nederlandse of Internationale normen (no regret). Van belang is daarbij goed aan te geven waar en hoe deze methoden vooral niet of met beleid ingezet moeten worden vanwege de lokale condities (zoals een zoute omgeving of aanwezige kabels en leidingen).

Hieronder volgen de specifieke methoden, die als eerste in aanmerking zouden komen :

- I. EM /ERT-technieken – t.b.v. dikte en lithologie deklaag.
- II. EM/GPR-technieken – t.b.v. dikte en kwaliteit bekleding.
- III. IR/Passieve radar – t.b.v. het detecteren van kwel.
- IV. Lidar – t.b.v. hoogte- en vegetatiemetingen.

Er is al een voorstel gemaakt voor het ontwikkelen hiervan (zie bijlage A). Hierin zou meegenomen moeten worden hoe de meetinformatie te 'vertalen' naar geotechnische en geohydrologische parameters die in modellen voor het WBI gebruikt worden. Er zou ook een verwijzing vanuit de WBI-factsheets naar deze technieken toegevoegd kunnen worden.

6.2 Pilots voor minder volwassen, maar kansrijke technieken (ARL6-7)

Het is aan te bevelen om in Nederland pilots, benchmarks en demonstraties te gaan doen voor veelbelovende akoestisch-mechanische technieken die in het buitenland wel ingezet worden. Het is verstandig om in deze pilots meerdere methoden tegelijk te beproeven om de relatieve en absolute kwaliteit van de metingen te kunnen duiden (kalibratie, eventueel ook met ARL9-methoden) en om tot een beter inzicht in de kosten-baten informatie te komen. Van belang is daarbij ook te testen waar deze methoden vooral niet of met beleid ingezet moeten worden vanwege de lokale condities (zoals onverzadigde ondergrond en/of akoestische omgevingsruis).

Afgezien van geodetische metingen en de VDG-methode worden geen akoestisch-mechanische methoden in Nederland ingezet in de huidige praktijk. Hieronder volgen de (akoestisch mechanische) meet en monitormethoden, die als eerste in aanmerking zouden kunnen komen om van ARL5-6 naar ARL9 te brengen (of om deze met reden irrelevant te verklaren):

- I. Sonar-Multibeam – t.b.v. diepteligging vooroever (met varende drone?)
- II. VDG/MASW – t.b.v. sterktebepaling bekleding en dijk kern.
- III. MASW – t.b.v. sterktebepaling van de deklaag naast of onder de dijk.

Naast de akoestisch-mechanische methoden is het aan te bevelen een aantal elektromagnetische metingen vanuit de satellieten beter te benutten of vanuit onbemande platforms (drones) te laten plaatsvinden.

- I. InSar satelliet data – t.b.v. van hoogte waterkeringen.
- II. Spectraal/IR/SAR vanuit drones – t.b.v. kwel en vegetaties.
- III. EM metingen vanuit de lucht en drones – t.b.v. dikte bekleding en deklaag

In dit ontwikkelspoor passen projectinitiatieven met demonstratie en publicaties zoals eerder plaatsvonden in het kader van het IJkdijk programma en verschillende PoV's.

Concreet wordt voorgesteld om de **Bresproeven Hedwigespolder** en/of **CT-scan initiatieven** hiervoor goed te benutten.

Dit ontwikkelspoor blijft zich vernieuwen en onderstreept daarom de noodzaak voor verschillende **pilot/benchmark testlocaties** waar bedrijven en kennisinstellingen de kwaliteit van – in principe – geaccepteerde bestaande en nieuwe methoden te kunnen blijven verifiëren en borgen.

6.3 Innovatief onderzoek naar onvolwassen technieken (ARL1-5)

Zoals in de samenvattende tabel (Bijlage E) te zien is zijn er ook diverse geofysisch en remote sensing meet- en monitorsystemen die nog niet uitontwikkeld (TRL5-9) of niet geprobeerd zijn voor waterkeringen (ARL1-5). Het betreft hier vooral meet- en monitortechnieken waarmee continue data-gedreven monitoring en waarschuwingssystemen opgezet kunnen worden.

Voorbeelden hiervan zouden kunnen zijn:

- I. Glasvezel monitortechnieken i.p.v. conventionele sensors –
 - a. DTS voor temperatuur (IR) metingen.
 - b. DSS voor bewegingsmetingen
 - c. iDAS – voor akoestische metingen (passief seismisch).
- II. Mobiele sensors in smartphones, (on)bemande platforms
- III. Dijkinspecteurs – uitbreiding huidige data-acquisitie.
 - a. Publiek – publieke data-acquisitie.

De experimenten en verkenningen vinden voornamelijk bij universiteiten, kennisinstellingen en innovatieve bedrijven plaats. Het is van belang deze te stimuleren, te volgen en jaarlijks opnieuw op waarde te schatten in een bredere verkenning (**Technoscan**).

6.4 Informatiebeheer van geofysische en remote sensingdata

In de werksessies in herhaaldelijk aangedrongen op het aspect van het (gestandaardiseerd) bewaren en ontsluiten van geofysische en remote sensinggegevens. De grootste meerwaarde is dat dit vanwege hergebruik efficiënt en kwaliteitverhogend is.

Dit ontwikkelspoor is belangrijk, maar nog niet afdoende uitgewerkt. De intentie is dat dit tot een voor de waterschappen betere prioritering en mogelijk efficiëntere implementatie van lopende basisregistratietrajecten oplevert.

Hieronder vallen sporen voor:

- De basisregistratie ondergrond BRO. Volgens de huidige planning worden geofysische data niet eerder dan in 2023 in de BRO meegenomen.
- Satelliet, airborne, drone remote sensing data vallen vooralsnog buiten de BRO. Het is onduidelijk hoe deze remote sensing data van satellieten, airborne, drone in een basisregistratie of een landelijke voorziening ondergebracht gaan worden.
- Verder komt er een groeiend aantal monitoringdata rondom dijken beschikbaar, die soms wel of niet onder de BRO of remote sensing vallen zoals glasvezelmetingen, die ook in het DDSC meegenomen worden.

Dit verdient aandacht met goede kaders over welke data waar bewaard en toegankelijk gemaakt worden.

6.5 Meet- en monitorontwerp en dataverwerkingsstrategieën

Voor beoordelen, ontwerpen, inspectie, calamiteiten (zie hoofdstuk 3), kan een best practice voor het maken van de meetstrategie opgezet worden. De wijze waarop de meetstrategie ontworpen en opgezet wordt gebeurt in een vijftal 'stappen', die (deels) identiek kunnen zijn voor elk van de verschillende toepassingssporen:

- 1 Voor elk faalmechanisme de kritische geotechnische en geohydrologische parameters (modelinput) bepalen voor elk van de 4 toepassingen (cf.WBI).
- 2 Voor elk van de geotechnische en geohydrologische parameters een geschikte combinatie van geofysische en remote sensing databronnen, fysische parameters en parameterconversiemethode bepalen (bijv. van geleidbaarheid naar lithologie).
- 3 Voor elk van de geofysische en remote sensingmethoden de kwaliteit, de ruimtelijke en temporele dekking en nauwkeurigheid van de te verwachten data met behulp van TRL en vooral ARL vast te stellen, nu en komende vijf jaar (in NL en Internationaal).
- 4 De ongunstige invloed van omgevingscondities voor elke methode in Nederland definiëren, met name specifieke condities in de ondergrond, dijk (zout water, geen fysische contrasten, etc.) of verstoringen en ruis in omgeving (kabels, leidingen, geluidsbronnen, etc.). Daarmee aanduiden van gebieden waar methoden niet of moeilijk inzetbaar zijn.
- 5 Van de geofysische en remote sensing meet- en monitorsystemen (apparatuur) de specificaties vastleggen (penetratie, resolutie, kosten, betrouwbaarheid, etc.).
- 6

Als al deze informatie beschikbaar is het voor waterschappen makkelijker om veldwerk aan te besteden en voor aanbieders eenvoudiger om aan te bieden.

De praktijk zou baat kunnen hebben bij een aantal gezamenlijk ontwikkelde **tools** om geïntegreerde meet- en **monitorstrategieën te ontwerpen** met daarin de mogelijkheden om:

- De verwachte response van diverse in situ en geofysische en remote sensingmethoden vooraf te berekenen en te combineren, zodanig dat ze elkaar versterken en valideren. Dit leidt dan tot de optimale balans tussen 'invasieve' metingen (cpt's, boringen, etc.) enerzijds en geofysische en remote sensingmetingen anderzijds.
- Het automatiseren van het uit geofysische en remote sensingmetingen bepalen van geotechnische en geohydrologische parameters en het 2D of **3D schematiseren**, waarbij modelscenario's en onzekerheden inzichtelijk blijven (bijvoorbeeld op basis van de schematiseringshandleiding WBI)

6.6 Best practice platforms meten en monitoren van waterkeringen

Voor het uitwisselen van informatie worden de volgende suggesties gedaan:

- Uitwisseling van ervaringen met behulp van geofysische en remote sensingmethoden meenemen in het Dijkmonitoring netwerk (hier ligt eventueel een link met de VOTB).
- Met deze visie en best practices blijven bijdragen aan de Inspectiedagen (delen van ambities en aanbevelingen uit deze visie).
- Gezamenlijk standpunt m.b.t. het opnemen van geofysische en remote sensing data in landelijke voorzieningen, zoals de basisregistratie ondergrond (BRO).
- Contactpunt (helpdesk water, onderwerp WBI-factsheets, ondersteunen met meer voorbeelden van inzet van geofysica en remote sensing voor waterkeringen).

Met deze acties worden de geofysische en remote sensingexpertises beter aangesloten op de huidige praktijk.

7 Referenties en afkortingen

Chronologische referenties

- Van Deen et al, Geofysische technieken voor grondonderzoek, CUR, 1997, Geofysische technieken te water, CUR.
- TAW, 2001, Technisch rapport waterkerende constructies, geotechnische aspecten van dijken, dammen en boezemkades, Technische adviescommissie waterkeringen.
- Vincke, L., Looveren van, R, Peeters, P., Luyten, M., Depreiter, D. 2011, Inpassen van geofysische methoden in de evaluatie van de gevoeligheid voor falen van de Vlaamse dijken, Geotechniek. Geofysische methoden overzichten.
- Technologies for flood protection of the built environment (chapter on (in situ and geophysical analysis methods), 2014, EU Floodprobe en Safe Levee rapportages.
- Koelewijn, et. al., 2014, IJkdijk all-in one sensor validation (stress) tests, FloodcontrolIJkdijk resultaten en rapporten.
- Zuada Coelho, C.B., Diaferia, B., Kruiver, P. Venmans, A., 2015, Geofysische methoden voor geotechnische ingenieurs, Geo-impuls, Deltares 1202416-008.
- HCCS, 2016, Aardobservatie op de kaart, The Hague centre for Strategic Studies.
- Van der Meer, M.T., Koelewijn, A.R., Wijenburg, A. Konstantinou, M., 2016, Handreiking Lifecycle monitoring, Fase 1 en fase 2, PoV Macrostablieit.
- Expertisenetwerk Waterkeringen, 2017, Beter leren keren, veldmetingen en monitoring, Strategisch ENW advies.
- Beek van, V.M., 2017, Handreiking voor het opstellen van een monitoringsplan t.b.v. piping, Deltares 1221356-000.
- Rinsema, J.G., Bakkenist, S.W., Zomer, W.S., Koelewijn, A.R., Ritsema, I.L., 2018, Haalbaarheid geofysische karteermethoden voor piping, HWBP-PoV Piping.

Websites:

- Floodcontrolijkdijk, onderzoek innovatieve meettechnieken (www.floodcontrolijkdijk.nl)
- Helpdesk water, WBI-schematiseringshandleiding (www.helpdeskwater.nl)

- Bodemrichtlijn, bodemonderzoek, onderzoekstechnieken (www.bodeminfo.nl)
- Dinoloket en BRO, grondonderzoek en geofysica (www.dinoloket.nl en www.basisregistratieondergrond.nl)

Lijst van afkortingen

- ARL Application Readiness Level (Toepassing volwassenheidsniveau).
- BRO Basisregistratie ondergrond.
- DTS Distributed temperature sensing.
- DSS Distributed strain sensing.
- DAS Distributed acoustic sensing.
- EM Elektromagnetische methode.
- ENW Expertise netwerk waterkeringen.
- ERT Elektrische weerstand tomografie.
- EU European Union.
- FEM Frequentiedomein elektromagnetische methode.
- GPR Grond penetrating radar.
- HLCM Handreiking Lifecycle monitoring.
- HWBP Hoogwater beschermingsprogramma.
- ICOLD International commission of large dams.
- Insar Interferometric SAR.
- IR Infrarood licht methode.
- ISO Internationale standaardisatieorganisatie.
- LiDAR Light detecting and ranging (laserbeelden).
- MASW Multichannel analysis of Surface Waves (seismiek).
- NEN Nederlandse normalisatieorganisatie.
- PoV Project overschrijdende verkenning HWBP.
- SAR Synthetic aperture radar (radarbeelden).
- SLA Service Level Agreement (Dienstenniveau afspraak).
- SOS Stochastische ondergrond schematisatie.
- TDEM Tijddomain elektromagnetische methode.
- TIR Terrestrische infrarood methode.
- TRL Technology Readiness Level (Technologie volwassenheidsniveau).
- VDG Valgewicht detectie methode.

A Handreiking praktische inzet elektromagnetische meettechnieken voor waterkeringen, Plan van aanpak

A.1 Inleiding

Aanleiding

Geofysische observatietechnieken kennen al een decennialang een toepassing. Meer recentelijk is er een hernieuwde belangstelling voor toepassing voor ondiepe ondergrond onder waterkeringen en materiaal in waterkeringen. Deze is mede ingegeven door de beoordeling en ontwerpogave van de waterkeringen aan de hand van nieuwe normen en instrumenten (WBI). In het WBI heeft de informatiepositie over de ondergrond en dijklichaam een belangrijke invloed op het toetsoordeel en/of de uiteindelijke ontwerpogave. Bovendien heeft de inzet van geofysica als voordeel dat er een vlakdekkende meting wordt verricht die aanvullend is op de puntmetingen door middel van sonderingen en boringen.

Uit een inventarisatie uitgevoerd in opdracht van de POV Piping (2017) blijkt dat de resultaten verkregen uit de inzet van geofysische technieken is in de praktijk sterk wisselend zijn. Er worden daarvoor een aantal factoren benoemd:

- Er een veelheid aan factoren van invloed zijn die het uiteindelijke meetresultaat bepalen: o.a. bodemopbouw, zout- en vochtgehalte, ligging kabels en leidingen, rijdend/stilstaande meting, type apparatuur, combinatie van inzet technieken.
- Er is geen eenduidige werkwijze vastgelegd (bv nen-norm) waarmee geofysische metingen worden uitgevoerd.

In de periode oktober – december 2018 in opdracht van POV Macrostabieleit een nadere stakeholder analyse uitgevoerd naar de mogelijkheden om geofysica beter in te zetten voor waterkeringen. Hiervoor is in een 3-tal workshops verkend wat de issues en wensen zijn van de waterkeringenbeheerders (behoefteestellers), marktpartijen (aanbieders) en kennispartijen (kwaliteitsborging, ontwikkeling). Daaruit zijn de volgende aanvullende bevindingen gekomen:

- De kennis over de werking van de technieken bij de eindgebruiker is beperkt. Dit leidt tot onvolledige uitvragen naar de markt en bemoeilijkt de onderlinge communicatie.
- Er is behoefte aan ordening over toepassing, techniek en benodigde kwaliteit.
- Scheppen van de juiste verwachtingen van belang.
- Ontwikkelingspotentieel ligt bij seismische toepassingen.
- Er is behoefte aan een standaardmodel werkwijze te voegen bij uitvragen naar de markt.

De bevindingen van deze rondgang zijn samengebracht in het rapport *Visie meten en monitoring waterkeringen, focus geofysica en remote sensing* (Deltares, 2019), hierna te noemen *rapport visie*.

In onderhavig voorstel willen we werken aan een eerste uitwerking van de aanbevelingen in de visie, te weten de realisatie van een handreiking geofysica voor waterkeringen. Met deze handreiking willen we invulling geven aan geïdentificeerde behoeften invulling geven.

Doelstelling

Doel van de handreiking is daarmee als volgt:

1. Aanreiken van kennis over aard van geofysische karteringstechnieken en haar praktische toepassingsmogelijkheden zodat de beheerder voldoende is toegerust als gesprekspartner voor de geofysicus.
2. Bieden van handvatten om een juiste keuze te maken voor inzet van techniek en toepassing.
3. Bieden van een voorschrift dat als standaard verwachte werkwijze bij aanbestedingen kan worden gebruikt.

Doelgroep

De doelgroep voor de handreiking bestaat uit waterkeringbeheerders betrokken bij beheer, versterking en beoordeling van waterkeringen en haar adviseurs.

Afbakening

Er zijn veel verschillende soorten geofysische meettechnieken beschikbaar. Voor de handreiking richten we ons alleen richten op toepassingen die al een 'track-record' hebben.

Hierbij maken we gebruik van de methodiek om TRL-levels (technology ready-ness levels) toe te kennen voor de techniek op basis van referentie op een schaal 1-9. Om de toepasbaarheid voor de werkpraktijk te benadrukken hanteren we de ARL-levels: applicatie readiness levels, ARL1-9). In deze handreiking richten we ons op technologie met een ARL van 6 en hoger.

Deze technieken zijn:

- I. EM/ERT – deklaag.
- II. EM/GPR – bekleding.
- III. IR/Passive radar – seepage.
- IV. LiDAR hoogte.

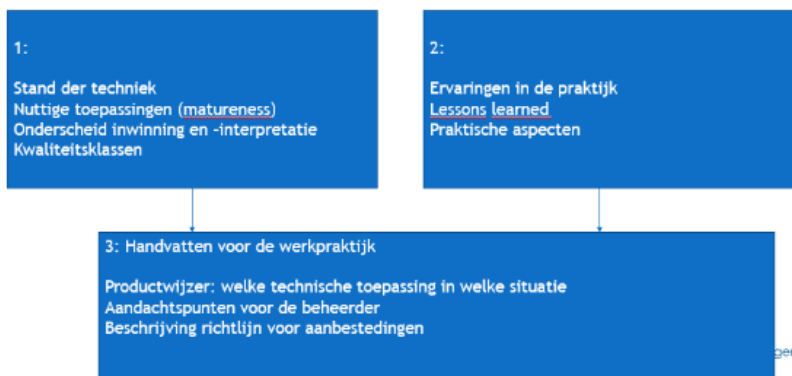
A.2 Aanpak

Handreiking

De handreiking kan worden opgedeeld in de 3 samenhangende onderdelen:

1. Technische specificaties geofysische technieken op basis van referenties.
2. Praktijkervaringen en leerpunten (best practice basis).
3. Handvatten voor praktijktoepassing.

Vertaling naar opzet handreiking



Onderdeel 1: Technische specificaties geofysische technieken

Voor het vergroten van kennis over de werking van de techniek en haar toepassingen wordt de technische achtergrond van geofysische technieken beschreven. Doelgroep is hierbij de waterkeringbeheerder en haar adviseurs.

In dit deel komen de volgende zaken aanbod:

- Systematische, methodische uitleg van werking van de technieken en referenties.
 - Zowel seismische en elektromagnetische metingen.
 - Samenhang met aanvullende technieken voor grondonderzoek.
 - Verbinding tussen geofysische parameters en geotechnische parameters.
- Classificatie van toepassing en technieken naar mate van volwassenheid (zie bijlage 2).
- Uitwerken van kwaliteitsklassen voor techniek en toepassing.
 - Hierbij maken we gebruik van de HLCM methodiek (*ref. HCLM, 2018*).

Betrokken stakeholders: Deltares, marktpartijen

Onderdeel 2: Praktijkcases: huidige ervaringen en leerpunten

In 2016/2017 zijn als onderdeel van de beoordeling van primaire keringen een verschillende dijktrajecten met geofysische technieken bemeten. De uitvragen hiervoor zijn door de betrokken waterschappen middels openbare aanbesteding op de markt gezet.

De meetresultaten worden inhoudelijk beschouwd. Welke data zijn gebruikt? Hoe zijn deze geanalyseerd en gecontroleerd op juistheid? Op welke wijze is de verkregen data geïntegreerd met andere ruimtelijke informatie over bijvoorbeeld de bodemopbouw? Hoe vond de integratie, databorging en verder gebruik plaats binnen het waterschap en zijn data-omgeving?

Cases die waarvan op dit moment wordt verwacht dat deze een rol kunnen spelen in de totstandkoming van de handreiking zijn:

- Rijn/Schelde/IJssel – 60km.
- Limburg 35 km.
- Aa en Maas 25 km.
- Vallei en Veluwe 80km.
- HDSR 20+ km.

Onderdeel 3. Handvatten voor praktijktoepassing

In het Deel 3 van de handreiking worden de resultaten van deel 1 en deel 2 samengebracht in een **productwijzer** voor praktisch inzetbare geofysische technieken (ARK 9-10) en volgt een uitwerking voor het **maken van een goede uitvraag** naar de markt.

De productwijzer krijgt de vorm van een beslisboom waarbij voor de beheerder relevante werkprocessen: beheer, beoordelen, versterken, calamiteiten worden onderscheiden en binnen deze werkprocessen relevante vraagstellingen leiden tot selectie van geschikte geofysische technieken.

Voor het opmaken van een **uitvraag naar de markt** wordt hier een aantal aanbevelingen gedaan en aangevuld met een andere specificatie van een uitvraag. Deze wordt opgesteld naar analogie van de specificatie van het grondonderzoek in de *schematisatiehandleiding macrostabiliteit* (WBI, 2016). Deze specificatie geldt als voorbeeld van 'good-practice' en kan worden gebruikt door de waterschapsbeheerder om een goede werkwijze door de aanbieder te borgen.

A.3 Organisatie en financiering

Deze handreiking komt tot stand in een samenwerking van kennisinstelling Deltares, marktpartijen actief in het geofysisch werkveld en de waterkering beheerder. Voor elk onderdeel van de handreiking wordt een auteursteam en een review-team samengesteld. De eindredactie en borgen van de samenhang tussen de onderdelen wordt verzorgd door een kernteam. Ontwikkeling van een 1-daagse PAO cursus vormt onderdeel van het eindproduct.

De kosten voor de realisatie van de handreiking bedraagt 100kEuro ex. btw.

De financiering wordt gezocht door het aan haken bij (pre-)verkenningen van lopende dijkversterkingen en de POV macrostabiliteit en piping. Mogelijk is ook een bijdrage te verkrijgen bij HWBP en STOWA.

B Verslagen van de bijeenkomsten

De verslagen van de drie werksessies met:

1. Waterschappen.
2. Bedrijfsleven.
3. Kennisinstellingen.

B.1 Verslaglegging Bijeenkomst met Waterschappen

Datum: 13 november 2018, te Deltares, Utrecht

Aanwezig: Philippe Schoonen (DOD), Bastiaan Los (WSHD), Kees Jan Leuvenink (AA en Maas), Ipo Ritsema, Marco de Kleine (Deltares)

Tijdens de bijeenkomst verkennen we langs 3 thema's de behoeftes voor een handreiking geofysische karteringstechnieken. Hieruit is de navolgende narrative beschreven:

“De behoefte bij de aanwezigen van de waterschappen is overlappend. De reguliere toepassing beperkt zich tot meten van deklagen. Door meer te weten over de techniek en haar toepassing kan er gericht worden uitgevraagd aan meetpartijen. De gewenste uitleg omvat fysische uitleg over de techniek, over waar wel/waar niet toe te passen en ook praktische handreikingen. Door meer kennis is de opdrachtgever (waterschap) een betere gesprekspartner voor de opdrachtnemer (meetpartij).

Inhoudelijke kennis van de verschillende technieken zijn veelal onbekend. Geofysica is een container begrip. De toepassing van akoestische metingen is nog niet gekend.

Er wordt geopperd dat er in de handreiking een kaart is opgenomen waarin lands-breed vooraf is aangegeven welke plekken zich lenen voor inzet van een techniek, en waar niet. De kaart omvat dan de primaire en regionale keringen. Bijvoorbeeld: de inzet van grondradar is niet nuttig in zoute/brakke milieus. Door dit op kaart weer te geven kan er gericht worden beslist welke technieken worden uitgevraagd.

In de handreiking is aandacht op het niveau van geofysische parameter en de techniek

Het kennisbehoefte over de geofysische technieken en haar toepassing is voor de waterkeringbeheerder beperkt tot de hoofdlijn, doel is om goede gesprekspartner zijn en meest voorkomende valkuilen te ontlopen. Belangrijker voor de handreiking is dat ze als standaard voorbeeld kan dienen bij uitvragen. De handreiking beschrijft daarvoor standaard werkwijzen ten aanzien van keuze techniek inzet, wijze van voorbereiding en uitvoering en wijze van rapportage en oplevering van uitkomsten en bronbestanden. Idealiter kan er in aanvragen naar de markt verwezen worden naar (een bijlage) van de handreiking waarin gewenste uitvoering is voorgeschreven. Vergelijk dit met de wijze van uitvraag van laboratorium onderzoek zoals beschreven in de schematiseringshandreiking macrostabiliteit. Deze bijlage dient als standaard opgave voor uitbestedingen vanuit waterschappen bij het uitvragen van grondonderzoek.

Een PAO cursus ontwikkelen, gekoppeld aan de handreiking lijkt waardevol; tijdens de cursus worden de onderwerpen van de handreiking besproken.”

Hieronder zijn de aantekeningen van de discussie uit de werksessie te vinden.

B.1.1 Thema A: Over toepassing in het werk, de praktijk:

- **Welke gebruiksdoelen voor geofysica en remote sensing onderkent u in het werk op gebied van waterkeringen?**
- **Kunt u hierbij onderscheid maken naar de levensfase van de kering: zorgplicht, beoordeling, verkenning, ontwerp en uitvoering?**
- **Welke ervaring heeft u met het (grootschalig) toepassen van geofysische technieken voor de waterkeringen?**
- **Kunt u uitleggen hoe u de uitkomsten concreet hebt kunnen gebruiken ('hoe stop ik het in mijn som?').**
- **Hoe ervaart u vraagstelling/uitvraag van inzet van geofysica op de markt en de aanbidding en meetresultaten door meetpartijen?**
- **Wat kan er worden verbeterd?**

DOD

- 80 km, vervroegde verkenningen, alle projecten versneld verkenningen toe, standaard grondonderzoek, ook geofysisch onderzoek – grondradar – EM , vaak of.
- 2-ledig doel: aan/afwezigheid van deklaag > 1 m; als deze dikte als er voldoende kans op piping, vlakdekkend beeld, vooral op voorland, hier en daar achterland, bij dikke deklagen in achterland -> opbarsting berekeningen.
- Op advies van bedrijven; soms van EM naar radar metingen i.v.m. dikte tot 3m-mv; opnemen in scenario's van voorkomen.
- Onregelmatigheden in de bodemopbouw; alleen als eerste check – dan extra boren.
- Voor de doelen is toepassing toereikend gebleken – EM bij dikkere deklagen.
- Uit de evaluatie: tevreden over uitkomsten, anomalie bleek terug te vinden.
- Opgenomen als raamcontract – niet veel eisen gesteld – WAP, Medusa, Fugro.
- Kwaliteitseisen hangen samen met gebruiksdoel – alle partijen kunnen die leveren, geofysica is hulpmiddel.
- Ook IR toegepast bij wellen detectie.
- Geleidbaarheidsmetingen: als ijkpunt d.m.v. sonderen; apart meten van grondwater.
- Interpretatie door bureau's.

AA en Maas:

- geofysica ism boringen, gebruik voor deklaag in voor/achterland, scheiding tussen klei/zand overgang, hoe dik is deklaag.
- Bij locaties waar veel kabels/leidingen lopen kan niet gemeten worden, grote stukken binnendijks waren dan onbetrouwbaar, over het algemeen goede match,
- Iedere 30m uit de dijk bekend hoe opbouw was; daarbuiten niet, daar geofysica toegepast, is er een deklaag (bepaling kwelweglengte)
- WAP en Fugro kwamen langs, wilden EM toepassen in combinatie met Grondradar. Veel verschil in analysekosten. Kaartbeelden ruw niet gevaagd maar geïnterpreteerd. Bestaand grondonderzoek is aangeleverd, bureau doet analyse. Tip: geef betrouwbaarheid uit aan het resultaat; kun je dat duiden in resultaat.
- Als EM geen resultaat kan geven dan weer handboren. Welke nauwkeurigheid is relevant:
- Onder de sloot is lastig meten, daarom naast de sloot meten.
- Bij bepaling van geleidbaarheid, niet direct na uitrijden van de mest.

WSHD:

- meten op km 20 met EM metingen. Als doel dikte deklaag, locatie zandbanen, nader specificeren van grondonderzoek, risico-analyse.
- EM/IR/Passieve Radiometrie toepassen, ook vergelijk. Vergelijken van de metingen op 10 dec. Potentiële opbarst locaties, deklaag. IR/PMR ondiep (vochtgehalte toplaag). Ir is oppervlakte scan.
- Doel is maken van factsheet, wat beter doen.

Andere vragen:

- Toepassing: ook oude gegevens eraan toevoegen. Koppeling met het beheerregister. Alles in GIS. Zou nuttig zijn om in BRO op te leggen – standaardisatie. Kan bewaard worden.
- Ook ruwe data vastleggen. Waar zit expertise: zit bij het bureau -> dataset meegeven. Lijkt nuttig.
- Experts met 2 petten
- Discussie met de partijen over vergelijk met geotechnisch lengte profiel, hoe ga je om met onzekerheid, vergelijk met geologische kaart, gelijk
- Selectie van partijen: kunnen we ook buiten de geotechnische bureaus toepassen. Hoe ga je om met de eisen – opgave van horizontale/ verticale resolutie.
- Vanuit de waterschappen wordt de vraag voor inzet van geofysische metingen aan de op dat moment bekend en geschikt bevonden partijen voorgelegd
- Hoe komen nieuwe partijen er nu tussen? – proeflocatie – In Denemarken is er een referentiesite. Kunnen we in NL zo'n plek vinden?

B.1.2 Thema B: Over te de technieken:

- **Welke technieken zijn relevant (geschikt en praktisch inzetbaar) voor welke toepassing?**
- **Welke 'mate van volwassenheid' hebben deze technieken (variërend van volstrekt normaal en duidelijk tot experimenteel) voor welke toepassing?**
- **Welke technieken moeten we als eerste verduidelijken in de handreiking? Waarom?**
- **Welke aspecten en kwaliteitsindicatoren moeten we zeker meenemen?**

Techniek:

- Keuzes in EM, specifieker voor de vraag.
- Ruimtelijke spreiding van doorlatendheid -> via geleidbaarheid -?
- Akoestische methoden: kunnen sterkte parameters bepalen (via dichtheid, snelheid seismische golven).
- Akoestische metingen vanuit Fugro – je moet er om vragen/ andere contactpersonen.
- Is de som er voor ontvankelijk.
- Waar zitten de afwijkingen -> dan weer labonderzoek.
- Ook meerdere toepassingen laten zien.

Aanbesteding:

- Onbekendheid, prijs evt. Langere periode van geen activiteit, nu weer actueel.
- Verandering van protocol -> houdt extra uitbreiding van lab. zaken tegen.
- Conjunctuur gevoeligheid in de markt – minder pieken/dalen > betere kwaliteit

- Uitvraag gericht op doel, niet op techniekniveau.

B.1.3 Thema C: Over de handreiking geofysische karteringstechnieken:

- 1. Waar heb je behoefte aan als hulpmiddel bij het toepassen van geofysica bij waterkeringen?**
- 2. Hoe kan een handreiking helpen bij geconstateerde omissies?**
- 3. Welke wensen heb je ten aanzien van de voorgenomen handreiking? (vorm/inhoud).**

Kennis delen, randvoorwaarden:

- Uitleg van de techniek, consequenties/benodigdheden vanuit techniek, randvoorwaarden.
- Waar kan je wel/niet zinvol grondradar doen?
- Standaard aanpak: kijk naar je gebied, bepaal, etc.
- Vlakdekkende methode i.p.v. puntmeting.

Handreikingen:

- Op welke niveau stel je de handreiking op: geotechnische parameter vs techniek, waar wel/niet, hoe borg je nu dat je kwaliteit: waar wel/niet, wat is resolutie/nauwkeurigheid, standaard voor uitvraag.
- Handreiking richt de markt, dit heb ik nodig – Vgl. protocol voor labonderzoek.
- Handreiking als standaard neerzetten, dat wil je als goed voorbeeld bijvoegen.
- Voor de vlakdekkende metingen: EMVI aanbesteding, vraag om validatieplan, beoordeel op kwaliteit.
- Praktijk richtlijn; moet wel iets opvallen; PAO cursus.
- Certificering van bedrijf; kent ook keerzijde – vraag voor de marktkant.

Toepassingen:

- Vooral toepassing voor piping, hoe zit dat met andere faalmechanismen POV2.0 als optie. Support vanuit de waterschappen om dit op de agenda te krijgen. Er we inhangen. Alternatief is TKI financiering mogelijk?
- Match tussen geotechnische/geohydrologische parameters / en geofysische en remote sensing parameters

B.1.4 Hoe verder

- Plan maken HWBP projectenboek – aankoppelen aan een project:
 - Verkenning WSHD
 - Voorverkenning Aa En Maas

B.2 Verslaglegging Bijeenkomst met Marktpartijen

Datum: 23 november 2018, te Deltares, Utrecht

Aanwezig: Johan Hocks (Fugro), Cees Jan van der Made (WAP), Martin van der Meer (Fugro), Ipo Ritsema (Deltares), Sander Bakkenist (BZIM)

Tijdens de bijeenkomst verkennen we langs 3 thema's de behoeftes voor een handreiking geofysische karteringstechnieken. Hieruit is de navolgende narrative beschreven:

"Tijdens deze bijeenkomst zijn er 3 vertegenwoordigers van de markt aanwezig. Gezamenlijk constateren we dat de geofysica nog voor beperkte functies wordt ingezet. Wel is er een

hernieuwde belangstelling voor inzet van geofysica met name door de grootschalige dijkversterkingen.

De toepassing van geofysica voor de waterschappen is vooral gericht op het detecteren van een deklaag en het opsporen van objecten. Gezamenlijk komen we tot een uitgebreidere set van toepassingsmogelijkheden: 1) optimalisatie van positionering van boringen en sonderingen 2) schematiseringsscenario bijstellen 3) parameterbepaling k,D , 4) samenstelling van grondlagen met variatie bodemvocht, zout/zoet, structuur en temperatuur 5) anomalie detectie 6) detectie extreme situaties. Deze toepassingen een rol spelen bij beoordeling, dijktoetsing en het beheer.

Belangrijk aandachtspunt is het scheppen van goede verwachtingen: geef aan waar wel en niet in te zetten en schep de juiste verwachting ten aanzien van het resultaat. In het verleden werd er wel eens te veel beloofd. Uitgangspunt is dat geofysica altijd in samenhang met nadere gegevens moet worden gezien.

Ook is meer eenduidigheid in werkwijze en aanpak gewenst om tot meer uniforme resultaten te komen. Hiervoor is er het voornemen om als annex bij de Euro7 code te komen tot uitwerking voor geofysische technieken. Daarnaast kan het meetbaar maken van kwaliteit aangewezen. Hiervoor is het zinvol om kwaliteitsklassen te definiëren met een verband tussen nauwkeurigheid en betrouwbaarheid en de kosten. De toepassing van het raamwerk uit de HLCM handreiking biedt hiervoor handvatten. Het onderscheid tussen inwinning en interpretatie is hierbij nuttig.

Bij de uitvragen op de markt wordt beperkte kennis en inzicht van de technologie bij de waterschappen geconstateerd. Veel wordt daarbij overgelaten aan de betreffende opdrachtnemer. Dit draagt bij aan de verschillen in de resultaten. Het streven moet niet zijn om alle kennis bij de opdrachtgever te verwachten, toepassen van geofysica is een specialistische 'skil'. Door te werken met een meer standaard werkgave kan er tot verbetering in wederzijds begrip worden gekomen.

De handreiking kan een nuttige bijdrage leveren aan het vergroten van de aanwezige kennis bij de opdrachtgever en de juiste verwachtingen. Daarnaast heeft deze een functie om de verder mogelijkheden van toepassing onder de aandacht te brengen. Daarbij wordt het werkproces van de beheerder, beoordelaar en ontwerper als vertrekpunt gekozen. De opsomming van toepassingen verdienen een plek in de handreiking. Ook is het zinvol om een lijst met beschikbare technieken, volwassenheid per techniek en passende toepassing op te nemen.

Tenslotte spreken we over de stip op de horizon, over de potentie van het toepassen van geofysica voor waterkeringen: de waterkering beheerder ontwikkelt zich hierbij van opsporingsambtenaar naar gedragswetenschapper."

Hierna volgende de aantekeningen bij de workshop.

B.2.1 Thema A: Over toepassing in het werk:

1. Welke gebruiksdoelen voor geofysica onderkent u in het werk op gebied van waterkeringen? Kunt u hierbij onderscheid maken naar de levensfase van de kering: zorgplicht, beoordeling, verkenning, ontwerp en uitvoering?

Geofysica is onderbenut, kennis, kwaliteit.

Gebruiksdoelen: gericht – volgen van proces van de toetser.

1) *Geofysica: voor positionering van boringen en sonderingen, optimaliseren.*

Vooraf: dan zie je variatie in de ondergrond.

CASE: zit de dikte van mijn deklaag er goed in.

2) *Schematiseringsscenario's reduceren.*

Is de meting onderscheidend om het maatgeven scenario te inventariseren?

Doel: uitsluiten en afbakenen.

Factor 1,1 naar 1,3 – ontwerp, niet bij beoordelen, hangt af van faalmechanisme,

3) *Parameterbepaling: k, D*

Kies je methode afhankelijk van je probleem.

Itereren, dan verder.

Is het een belofte of een realiteit?

4) *Geofysica: positionering van boringen en sonderingen, optimaliseren*

Vooraf: dan zie je variatie in de ondergrond.

CASE: zit de dikte van m'n deklaag er goed in.

5) *Schematiseringsscenario*

Is de meting onderscheidend om het maatgeven scenario te inventariseren?

Doel: uitsluiten en afbakenen.

Factor 1,1 naar 1,3 – ontwerp, niet bij beoordelen, hangt af van faalmechanisme,

6) *Parameterbepaling: k, D*

Kies je methode afhankelijk van je probleem.

Itereren, dan verder. Is het een belofte of een realiteit?

Proces van de bouwer/ontwerper:

- Scope verkleining = toetsing
- Wat is de kwaliteit van m'n deklaag; hoeveel klei heb ik dan, volume gebiedseigen grond.
- Heterogeniteit: te veel zandgehalte – zuinig op de klei, vormvastheid, ondoorlatendheid.
- Grondstoffenbalans; scherpere aanbieding.
- Vergelijk aanpak lagen opbouw.
- Echte zwakte zit in de dijk; zwakte zit in de dijk, vorige dijkversterking.
- Uitkarteren van volumes; kwaliteiten ook haalbaar?

Zijn de weerstanden van verschillende kleisoorten al bekend? Zover is de kennis nog niet; inventariseer elektrische geleidbaarheid, zoutgehalte, vochtgehalte nauwkeurig bekend zijn. Wat is de geschiedenis van de aanvoer van materialen.

- vergelijk grondkennis bank WUR.

6) *Anomalie detectie leidingen:*

- Risico op uitdroging – beheren van kleilaag door verdroging, anti-verouderingscrème voor deklagen
- Zie ik veroudering, herhalingsmetingen – aging van de dijk. Doorbraakvrije dijk.
- Variatie bodemvocht, zoet/zout, structuur, temperatuur.
- Meerdere metingen op gelijke plek

7) *Toepassen bij extreme situaties – droogte bij veen?*

8) *Toepassen voor beheer.*

Andere toepassing: dikte deklaag, selecteer techniek, mitsen en maren.

- 2. Welke ervaring heeft u met het toepassen van geofysische technieken voor de waterkeringen? Kunt u uitleggen waarom? Kunt u uitleggen hoe u de uitkomsten concreet hebt kunnen gebruiken ('hoe stop ik het in mijn som?').**

Geofysica kan alleen maar gebruikt worden in samenhang met andere gegevens, cross check. Je kunt op voorhand al aangeven waar ik mee te doen heb, daarna met cross checks nader controleren.

3. Hoe ervaart u vraagstelling/uitvraag van inzet van geofysica op de markt en de aanbidding en meetresultaten door meetpartijen? Wat kan er worden verbeterd?

Uitvraag is niet best, pas op met te weinig resultaten.

Link met BRO: geen afspraken voor geofysica, klankbordgroep, standaard definiëren.

Past de aanpak van POVM hier op goede manier in?

Koppeling Europese/NL technieken.

Eurocode7, bijzondere technieken, nog geen invulling gegeven – past hier de geofysica.

Nader uitwerken in nationale annex; WAP/Fugro zien hier aanknopingspunten.

Toepassing in het verleden: te veel beloofd, geef duidelijkheid en eerlijkheid, controleerbare betrouwbaarheid door gebruiker.

Wie interpreteert?

Gebruiksdoelen: gericht – volgen van proces van de toetsers.

B.2.2 Thema B: Over de technieken:

- 1. Welke technieken zijn relevant (geschikt en praktisch inzetbaar) voor welke toepassing? Welke ‘mate van volwassenheid’ hebben deze technieken (variërend van volstrekt normaal en duidelijk tot experimenteel) voor welke toepassing?**
- 2. Welke technieken moeten we als eerste verduidelijken in de handreiking? Waarom? Welke aspecten en kwaliteitsindicatoren moeten we zeker meenemen?**
- 3. Hoe specificeer ik per techniek geschiktheid en kwaliteit in termen van het meetresultaat: hoe noteer ik de onzekerheid van de gepresenteerde data? Hoe maak ik daarin onderscheid naar meetonzekerheid (reproduceerbaarheid/ruis in de data) en interpretatie-onzekerheid (de vertaling naar bv laagopbouw, dus de uit de data gedestilleerde informatie)?**
- 4. Welke meta-data moet bekend zijn voor de gebruiker?**

Technieken lijst:

- (Matrix toepassing voor dijken).
- Matureness toevoegen, volwassenheid TRL, ARL.
- Nader uitzoeken: wat zijn de dominante technieken; laten zien wat het stramien is van het de tabel – is deel van het werk.
- Omgaan met verschillen in kwaliteit, handen en voeten geven aan kwaliteit
- Hoe ga je om met verschillen? Hoe pak je dat beet?
- Geofysica is een skill.
- Misvatting; grondradar – zout/brak grondwater dempt.
- Weet de klant genoeg om de goede uitvraag te maken.
- Kwaliteit is: - beginnen bij het doel, kan ik tot goede interpretatie komen, hoe ga ik om met onvoorziene omstandigheden (pi-factor).
- Kwaliteit, geld, tijd

Geofysica is optimalisatie van andere deklaag; er is controle mechanisme nodig

Klassen maken: nauwkeurigheid +/- m, dm, cm.

Er is logische volgorde der dingen – eerst basis opbouw, dan anomalie, dan beter uitzetten grondonderzoek.

- Hoe krijgt je goede metingen als je strategie deugt.
- Hoe indelen van klassen? Kwaliteitsklassen definiëren.
- Bepalend is sensor + operator (minimale eisen stellen) + data-interpretatie.
- Er moet in van instapniveau, verdiept, geavanceerd worden.
- HLCM: aantoonbare kwaliteit, objectief.
- Realiteitszin erin brengen.
- Aantoonbaarheid van kwaliteit zit achteraf. Achteraf kan je verbeteren.
- Door iteratie wordt het resultaat beter, kwaliteit wordt groter.
- Opbouwen van het beeld, iets draagt bij - > moet bijdragen aan BRO.
- Bandbreedte van het getal.
- Onderscheid betrouwbaarheid van data en interpretatie.
- Als je data opneemt in het BRO dan moet je van zekere kwaliteit kunnen uitgaan om data nauwkeurigheid te krijgen.

B.2.3 Thema C: Over de handreiking:

- 1. Waar heb je behoefte aan als hulpmiddel bij het toepassen van geofysica bij waterkeringen?**
- 2. Hoe kan een handreiking helpen bij geconstateerde omissies? Welke wensen heb je ten aanzien van de voorgenomen handreiking? (vorm/inhoud)**
- 3. Kwaliteitsbeoordelingsmatrices opstellen zoals bij HLCM?**
- 4. Overzichtsmatrix met Technieken en Toepassingen, met in elke cel de beperkingen en ervaringen?**
- 5. Overzicht bruikbare brondocumenten?**

Wat is de bijdrage van de markt – als markt een protocol maken, toetsen door Deltares, standaardisatie in data-uitwisseling, aansluiten op EU ontwikkelingen. Borging in kwaliteitszorg systeem (ISO, NEN)

Meerdere deliverables:

- Cases.
- Boekje met protocol.
- ISO standaardisatie.

- Aanhaken bij een vakvereniging; bv VTOB – werkgroep maken? – houd het klein.
- Of in de vorm van een netwerk omgeving (vgl. dijkmonitoring).
- Invulling geven aan de netwerkbijeenkomsten.

Wat is de stip op de horizon – de waterkering beheerder is minder vaak verrast, efficiënter waterveiligheid regelen.

Statisch overzicht en dynamiek.

Stip op de horizon: Toetser wordt Van opsporingsambtenaar naar gedragswetenschapper
Hoe gaan we naar het doen: niet alleen boekje maar ook de cases – wat is het loket. Indienen bij POV 2.0. Dijkversterking en zorgplicht. Zorgplicht levert meeste aanknopingspunten voor geofysica. Middelen voor versterken zijn ruimtelijker. Ondersteuning vanuit waterschappen zijn nodig – leuren, trekken, hoe schakel je door naar bestuurlijke. Terug leggen naar WS

B.2.4 Hoe verder

Aanknopingspunten bij andere projecten:

- Deltares – TKI.
- Markt – inkind.
- STOWA – bijdrage.
- WS: cases, doe geld, projecten.
- Scope verkleining – actie uitstel piping bermen – projecten op een rij – nauwelijks benut traject.

Resterende vragen:

- Wat is internationale kennis? Wat missen we hier?
 - Wat is de Europese aansluiting – AllRisk, SafeLevees.
- We informeren de betrokkenen.

B.3 Verslag bijeenkomst Kennis d.d. 26 nov 2018 te Delft

Datum: 26 november 2018, te Deltares, Delft

Ramon Hanssen (TU Delft geodesie / aardobservatie / radar interferometrie / SkyGeo)

Philippe Steeghs (TNO; afd. hoofd applied geosciences, radar RS, airborne interferometrie)

Marco de Kleine (Deltares), Ipo Ritsema (Deltares), Sander Bakkenist (BZIM)

Tijdens de bijeenkomst verkennen we langs 3 thema's de behoeftes voor een handreiking geofysische karteringstechnieken. Hieruit is de navolgende narrative beschreven:

“De toepassing van geofysica is een niche. Veel metingen zijn eenmalig, terwijl er veel te winnen is als de inzet onderdeel zou worden van de systematische kartering van Nederland. Zeker in gebieden met hoge variabiliteit is er meerwaarde. Door herhaald gebruik kan er steeds verder worden verfijnd. Een mogelijke toepassing is de voorspelling van bijvoorbeeld bodemdaling.

Er zijn voor de geofysica altijd contextuele data nodig (boringen, sonderingen) om tot goede calibratie en interpretatie te komen. Hier is de ontwikkeling relevant dat er steeds meer van deze gegevens beschikbaar komen uit andere bronnen. Dit biedt mogelijkheden voor analyse technieken gericht op correlatie en patroonherkenning. Deze ontwikkeling vraagt vakkennis (naar analogie met de dokter die getraind is om diagnose te stellen) en om een dataplatform dat verschillende typen gegevens goed kan vastleggen.

Bewustwording van de beschikbaarheid en mogelijkheden van de inzet van geofysische technieken is een belangrijk aandachtspunt. Door onderscheid te maken naar verschillend typen data soorten kan hier een duw in de goede richting worden gegeven: onderken naast statische en dynamische data ook het type van de opportunistische data (bv satellietwaarneming, social media). De beheerder kan deze data oproepen, hoeft niet apart ingewonnen te worden. Dit vereist een gedragsverandering en dat is durende opgave.

We stellen een lijst op met geofysische technieken geordend naar oplopende frequentie met onderscheid van geofysische technieken naar elektromagnetische meettechnieken en seismische technieken. Met name de seismische technieken bevinden zich nog in de onderzoeksfase voor toepassing in de ondiepe ondergrond <30m. Toepassing blijkt nu nog vaak te duur voor beheerderstoepassing. Da aantekeningen in de workshop zijn hieronder uitgewerkt.”

B.3.1 Thema A: Over toepassing in het werk.

- **Welke gebruiksdoelen voor geofysica onderkent u in het werk op gebied van waterkeringen?**
- **Kunt u hierbij onderscheid maken naar de levensfase van de kering: zorgplicht, beoordeling, verkenning, ontwerp en uitvoering?**
- **Welke ervaring heeft u met het (grootschalig) toepassen van geofysische technieken voor de waterkeringen?**
- **Kunt u uitleggen hoe u de uitkomsten concreet hebt kunnen gebruiken ('hoe stop ik het in mijn som?').**
- **Hoe ervaart u vraagstelling/uitvraag van inzet van geofysica op de markt en de aanbidding en meetresultaten door meetpartijen?**
- **Wat kan er worden verbeterd?**

Aanpak

- Moeilijkheid: opportunistische techniek blijft lastig toepassen, nooit op de goede plek. Waarom lukt het wel bij man die hond uitlaat? Omgekeerde methode: metingen zijn gedaan, waarom kijk je wel/niet. Locaties wel/weinig informatie. Mix van verschillende technieken nodig.
- Hoe inbedden geofysica in de systematische kartering. Toepassen bij hoge variabiliteit. Hoe gebruik maken van eerdere resultaten? Wat is nodig om forecasting te doen rondom bodemdaling bv. Ondiep tot 30m.
- Onderscheid dijklichaam / dijkondergrond
- Hoe passen geofysische metingen in de modellen; data van geofysica moet geaccepteerd.
- Deels onwetendheid, deels omdat het niet is voorgeschreven
- Hoe voorkomen we dat er na het meten weer teleurstelling ontstaat?
- Deel is er een opgave om vertaling te maken van gemeten waarde naar benodigd model
- Van elektrische weerstand -> lithologie -> sterkte; kan dat?
- Het kalibreren van deze stappen is nog geen gemeen goed; er zijn cases beschikbaar waarbij dat gelukt is; bv: Seismische snelheden -> sterkte. Maar nog niet generaal toepasbaar. Dit vraag toepassingsgericht onderzoek
- Hoe betrouwbare gegevens verkrijgen: opleveren van meten en interpretatie met boringen/sonderingen. Ook rol duidelijk maken

BIG data

- Toepassing BIG (remote sensing) data: er is een enorme dataset – bij alle klimatologische omstandigheden – natural lab – hoe reageert dijklichaam om klimatologische omstandigheid – vastleggen grenstoestand – geeft nieuw treshhold aan; analyse op de data die er al is.
- Hoe kan je de technieken classificeren:
 - In situ / statisch – minder veranderlijk.
 - Andere parameters snel veranderlijk.
 - Opportunistische data – als aparte klasse; er is een klasse van data die met sociale media beschikbaar – hoe systematisch inbedden – vgl. Bellingcat gegevens.
 - Systematische parameters

Context

- Je hebt contextuele data nodig om geofysica te kunnen duiden (sondering, boringen). Welke data moeten er gebruikt worden: match per techniek wat er aan kalibratie nodig is. Door de grote hoeveelheid van data kun je niet meer kalibreren in de smalle kant. Er is meer combinatie met context informatie nodig. Je hebt interpretatie nodig (vgl. dokter). Dit vereist vakkennis. Vgl. natte dijk i.r.t. InSar data.
- Onderscheid kalibratie om tot goede interpretatie te komen, andere calibratie om ruis/signaal te duiden. Correlatie (tijd/plaats). Contextuele informatie is nodig.
- Bij waterschap kan dat ook; kijk eens mee naar bedrijven.

Diversen

- Tool -> wat is het platform waarin dat past?
- Bij monitoring: wil je graag anomalie zien. De assetmanager moet vooral de significantie niveaus instellen. Deze beslissing kan de monitoringsexpert niet maken; dit moet de AM doen. Hoe ga je daar mee om?
- De bouw: bezwijkwaarde, (als het zover is dan is het mis), signaal waarde 75% van bezwijkwaarde – monitoring) interventiewaarde (90% wanneer ga je wat doen).
- Nationaal modellen centrum.
- De resolutie vereist dat je op de dijk de meting doet. Glasvezel kan dat voordelig maken. Deels onbekend, deels kostbaar, biedt kansen om sterkte parameters te meten. Actieve seismische technieken zijn vaak te duur. Wel toegepast in buitenland (Japan, Italië).

B.3.2 Thema B: Over de technieken

- 5. Welke technieken zijn relevant (geschikt en praktisch inzetbaar) voor welke toepassing? Welke 'mate van volwassenheid' hebben deze technieken (variërend van volstrekt normaal en duidelijk tot experimenteel) voor welke toepassing?**
- 6. Welke technieken moeten we als eerste verduidelijken in de handreiking? Waarom? Welke aspecten en kwaliteitsindicatoren moeten we zeker meenemen?**
- 7. Hoe specificeer ik per techniek geschiktheid en kwaliteit in termen van het meetresultaat: hoe noteer ik de onzekerheid van de gepresenteerde data? Hoe maak ik daarin onderscheid naar meetonzekerheid (reproduceerbaarheid/ruis in de data) en interpretatie-onzekerheid (de vertaling naar bv laagopbouw, dus de uit de data gedestilleerde informatie)?**
- 8. Welke meta-data moet bekend zijn voor de gebruiker?**

Meerdere technieken is nodig; pas effectief voor anomalie detectie.

Welke technieken zijn hierin relevant. Er wordt een lijst geordend naar oplopende frequentie met onderscheid van geofysische technieken naar elektromagnetische meettechnieken en seismische technieken:

Elektromagnetisch	Seismisch
<ul style="list-style-type: none"> • Self potentialen, Magnetisch veldmetingen • ERT / VES • EM/FDEM metingen (EM31, EM34, Dualim 421) • Grondradar / InSar • Passieve microgolf radiometrie • Magnetische resonantie • IR metingen • Laserscanning 	<ul style="list-style-type: none"> • Zwaartekrachtmetingen • Geodetische metingen • Deformatiemetingen • Seismologie • Reflectie seismiek • Refractie seismiek • MASW (consolitest) • Sonar - waterdiepte • HF Sonar

• Natuurlijke radioactiviteit	
-------------------------------	--

Maak onderscheid tussen TRL: hoe zit het met de eenduidigheid van interpretatie. Maak ook onderscheid tussen volwassenheid en acceptatie

B.3.3 Thema C: Over de handreiking

- 6. Waar heb je behoefte aan als hulpmiddel bij het toepassen van geofysica bij waterkeringen?**
- 7. Hoe kan een handreiking helpen bij geconstateerde omissies? Welke wensen heb je ten aanzien van de voorgenomen handreiking? (vorm/inhoud)**
- 8. Kwaliteitsbeoordelingsmatrices opstellen zoals bij HLCM?**
- 9. Overzichtsmatrix met Technieken en Toepassingen, met in elke cel de beperkingen en ervaringen?**
- 10. Overzicht bruikbare brondocumenten?**

Hier gaan we beperkt op in

Bij technologie vernieuwing: maak duidelijk wat de specs zijn – Vereist interactie tussen aanbieden en vragers.

B.3.4 Hoe verder

Aanknopingen bij andere projecten:

- HWBP.
- TKI financiering.
- TKI ook voor TNO- rondom bodemdaling.

Hoe kan je de data koppeling maken van verschillende databronnen.

C WBI fact sheets en meet- en monitoring technieken

Alle databronnen genoemd in de WBI factsheets (in groen). Hieronder vallen enkele geofysische en remote sensing technieken (ARL9). In oranje zijn potentiële technieken aangegeven (ARL6-8)

C.1 Hoogte

Toetsen	Benodigde data voor WBI	Factsheet Hoogte																	
		Documenten						Testing				Data Bronnen							
		Bestek	As built tekeningen	Opleveringskeuring	Nationale Basisbestanden primaire keringen	Inspecties	Boring	CPT	Pompproef	Labtest	VDG	MASW	Single beam multibeam	Remote sensing en geofysica	AHN	LI-MAP, lidar	EM/ERT	InSar	Spectral Foto's
Algemeen	Hoogteprofiel																		
	Ruimteprofiel																		
Eenvoudige toets	Nvt																		
	Dwarsprofiel waterkeringen																		
Gedetailleerde toets	Ruimteprofiel																		
	Type bekleding																		

C.2 Asfaltbekleding Golfklap (AGK)

Toetsen	Benodigde data voor WBI	Factsheet Asfaltbekleding golfklap (AGK)																	
		Documenten						Testing				Data Bronnen							
		Bestek	As built tekeningen	Opleveringskeuring	Nationale Basisbestanden primaire keringen	Inspecties	Boorkern	CPT	Pompproef	Labtest	VDG meting	MASW	Single beam multibeam	Remote sensing en geofysica	AHN	LI-MAP	EM/ERT/GPR	InSar	Spectral Foto's
Algemeen	Geometrie dijkgroef																		
	Locatie asfaltbekleding																		
	Eigenschappen asfaltbekleding																		
	Hydraulische randvoorwaarden																		
	Niveau boven/onder asfaltbekleding																		
Eenvoudige toets	Waterstand bij norm																		
	Golfhoogte																		
	Aanwezigheid van gepen. Breuksteen																		
	Significante golfhoogte																		
Gedetailleerde toets	Laagdikte																		
	Steensoortering																		
	Steendiameter																		
	Dwarsprofiel waterkeringen																		
	Helling buitentaluud																		
	Niveau boven/onder asfaltbekleding																		
	Taludhelling																		
	Hydraulische randvoorwaarden																		
	Type asfaltbekleding																		
	Samenstelling asfalt																		
	Asfaltdikte																		
	Type filterlaag																		
Kwaliteit asfaltbekleding	Steendiameter																		
	Type ondergrond																		
	Nivo grondwaterstand																		
	Constructieopbouw, bitumen...																		
Kwaliteit asfaltbekleding	Holle ruimte percentage																		
	Leefijd van de bekleding op peildatum																		
	Dikte asfalt topklaag en tweede laag																		
	Stijfheidsmodulus asfaltpklaag																		
Kwaliteit asfaltbekleding	Sterkte asfalt topklaag en tweede laag																		
	Buigsterkte, Vcoeff., vermoeingsparameters																		

C.3 Afschuiving bekleding buitentalud (GABU) en bekleding binnentalud(GABI)

Factsheet Afschuiving bekleding buitentalud (GABU)																					
Toetsen		Benodigde data voor WBI	Documenten							Data Bronnen				Remote sensing en geofysica							
			Bestek	As built tekeningen	Opleveringskeuring	Nationale Basisbestanden primaire keringen	Inspecties	Boorkern	CPT	Pomproef	Labtest	VDG meting	MASW	Single beam, multibeam	AHN	FLI-MAP	EM/ERT/GPR	Lidar	InSar	Spectral, foto's	
Algemeen		Dijkopbouw																			
		Dikte kleibekleding																			
		Golfhoogte																			
Eenvoudige toets	Kernmateriaal waterkering	Dijkopbouw																			
		Verhuiding																			
Gedetailleerde toets	Geometrie van de waterkering	Dikte kleibekleding																			
		Golfhoogte																			
		Dwarsprofiel waterkeringen																			
		Dwarsprofiel voorland																			
		Geometrie dam																			
	Eigenschappen bekleding buitentalud	Helling buitentalud																			
		Type en ruwheid bekleding																			
		Dijkorientatie																			
		Dikte bekleding buitentalud																			
		Onderwater gewicht kleibekleding																			

Factsheet Afschuiving golfkap (AGK)																						
Toetsen		Benodigde data voor WBI	Documenten							Data Bronnen				Remote sensing en geofysica								
			Bestek	As built tekeningen	Opleveringskeuring	Nationale Basisbestanden primaire keringen	Inspecties	Boorkern	CPT	Peilbuis meting	Pomproef	Labtest	VDG meting	MASW	Single beam, multibeam	AHN	FLI-MAP	EM/ERT/GPR	Lidar	InSar	Spectral, foto's	
Algemeen	Opstellen vakindeling	Dijkopbouw																				
		Dikte kleibekleding																				
		Golfoverslagdebiet																				
		Talud helling																				
Eenvoudige toets	Eenvoudige kenmerken bekleding	Talud helling																				
		Plasticiteitsindex vloeigrans klei																				
		Zandgehalte kleilaag																				
		Aanwezigheid drainage																				
		Golfoverslagdebiet																				
Gedetailleerde toets	Geometrie van de waterkering	Dwarsprofiel waterkeringen																				
		Langte voorland																				
		Geometrie dam																				
	Grondeigenschappen zand en klei	Volume gewicht klei																				
		Cohesie en inwendige w.hoek klei en zand																				
	Freatische lijn	Waterspanning in ww lagen																				
		Grondwaterstand binnedijks																				
		Doorlatendheid waterw. Lag																				
		Hoogteniveau waterpakketten																				
		Dikte deklaag voor/achterland																				
Doorlatendheid deklaag																						
Doorlatendheid dijkkern																						
Dikte kleibekleding	Dikte kleibekleding																					
	Doorlatendheid kleibekleding																					
	Golfoverslagdebiet																					

C.4 Erosie kruin en binnentalud (GEKB) en buitentalud (GEBU)

C.5 Macrostabieliteit buitenwaarts (STBU) en binnenwaarts (STBI)

C.6 Afschuiving voorland (VLAF) en Zettingsvloeiing (VLZV)

C.7 Opdrukken asfalt (AWO), Microstabiliteit (STMI) en Piping (STPH)

D Relevante Normen Meten en monitoring

De relevante Nederlandse normen.

- [NPR 5741](#) Bodem - Richtlijn voor de keuze en toepassing van boorsystemen en monsternemingstoestellen voor grond, sediment en grondwater bij bodemverontreinigingsonderzoek.
- [NTA 5727](#) Bodem - Monsterneming en analyse van asbest in waterbodem en baggerspecie.
- [NTA 5755](#) Bodem - Landbodem - Strategie voor het uitvoeren van nader onderzoek - Onderzoek naar de aard en omvang van bodemverontreiniging.
- [NEN 5104](#) Geotechniek - Classificatie van onverharde grondmonsters.
- [NEN 5707](#) Bodem - Inspectie, monsterneming en analyse van asbest in bodem.
- [NEN 5709](#) Bodem - Monstervoorbehandeling voor de bepaling van organische en anorganische parameters in grond.
- [NEN 5717](#) Bodem - Waterbodem - Strategie voor het uitvoeren van vooronderzoek bij verkennend en nader onderzoek.
- [NEN 5720](#) Bodem - Waterbodem - Strategie voor het uitvoeren van verkennend onderzoek - Onderzoek naar de milieu hygiënische kwaliteit van waterbodem en baggerspecie.
- [NEN 5725](#) Bodem - Landbodem - Strategie voor het uitvoeren van vooronderzoek bij verkennend en nader onderzoek.
- [NEN 5740](#) Bodem - Landbodem - Strategie voor het uitvoeren van verkennend bodemonderzoek - Onderzoek naar de milieu hygiënische kwaliteit van bodem en grond.
- [NEN 5742](#) Bodem - Monsterneming van grond en sediment ten behoeve van de bepaling van metalen, anorganische verbindingen, matig-vluchtige organische verbindingen en fysisch-chemische bodemkenmerken.
- [NEN 5744](#) Bodem - Monsterneming van grondwater.
- [NEN 5766](#) Bodem - Plaatsing van peilbuizen ten behoeve van milieukundig bodemonderzoek.
- [NEN 5773](#), Bepaling van de soortelijke weerstand met behulp van GEO-elektrische metingen.
- [NEN 5774](#), Bepaling van de soortelijke weerstand met behulp van elektromagnetische weerstandmetingen.
- [NEN-EN 1997-1](#) Eurocode 7: Geotechnisch ontwerp - Deel 1: Algemene regels.
- [NEN-EN-ISO 5667-3](#) Water - Monsterneming - Deel 3: Richtlijn voor de conservering en behandeling van watermonsters.
- [NEN-ISO 31000](#) Risicomanagement - Principes en richtlijnen.

De lijst met internationale normen was te groot om uit te zoeken en hier op kunnen te nemen.

E Overzichtstabel van de volwassenheid van geofysische en remote sensing technieken voor waterkeringen in termen van Application Readiness Level (ARL)

