

# Netwerk Dijkmonitoring

Workshop Geofysica in de praktijk

Op 2 april vond in Roermond bij het Waterschap Limburg de workshop Geofysica in de praktijk plaats. In deze workshop is een vergelijkend onderzoek tussen aanbieders van het Waterschap Limburg gepresenteerd, is de werking van geofysische metingen besproken, is een visie gepresenteerd op geofysica in de toekomst en is aan de hand van die presentatie gediscussieerd over wat nodig is om geofysica in de toekomst meer en beter toe te kunnen passen. In dit verslag wordt teruggeblikt op de workshop en zijn de resultaten op hoofdlijnen gerapporteerd.

## Welkom en introductie

Iedereen wordt welkom geheten door Sander Bakkenist. Hij vertelt kort wat het Netwerk Dijkmonitoring doet. Het netwerk werkt faciliterend en agenderend, onder andere door bijeenkomsten als deze te organiseren. Er wordt daarbij gestreefd naar ongeveer 8 van dergelijke bijeenkomsten per jaar met telkens een ander onderwerp. Zo staat op 16 april de volgende workshop al gepland met als onderwerp Dijkmonitoring met Satelliet INSAR. Vervolgens wordt het programma voor de middag gepresenteerd.

13:00 uur	Ontvangst bij Waterschap Limburg (Maria Theresialaan 99, Roermond)
13:15 – 13:30 uur	Welkom en presentatie programma <i>door Sander Bakkenist</i>
13:30 – 14:15 uur	Presentatie vergelijking geofysische metingen <i>door Kees Dorst en Michel Groen</i>
14:15 – 14:30 uur	Pauze
14:30 – 15:15 uur	Presentatie visie en handreiking geofysica <i>door Ipo Ritsema</i>
15:15 – 16:15 uur	Case ontwerp een proeftuin voor geofysische metingen <i>door Sander Bakkenist</i>
16:15 uur	Afsluiting en borrel

## Vergelijkingen geofysische metingen

Het Waterschap Limburg heeft een opgave om 40 km dijk te versterken. Daarbij is met name piping een probleem. Voor de versterking moet eerst nader onderzoek gedaan worden. Door daarbij gebruik te maken van geofysica kan geld bespaard worden en kan het geotechnisch grondonderzoek met sonderingen en proeven gericht uitgevoerd worden. Voor geofysica op de volledige 40 km dijk wordt uitgevoerd heeft het Waterschap Limburg besloten om een preselectie uit te voeren. Daarvoor zijn 5 partijen uitgenodigd om een offerte te maken voor de volledige 40 km. Een van de EMVI-criteria was vervolgens dat de partijen op een proefstuk moesten laten zien of ze ook waar konden maken wat zij beloofden. Daaruit hoopte het Waterschap te kunnen bepalen welke techniek het beste is. Het gekozen proefvak was een vak met veel variatie, en waar veel (niet-openbare) informatie over is. Daardoor kunnen de inschrijvers de resultaten niet zo manipuleren dat ze overeenkomen met eerdere metingen.



Bij de beoordeling van de resultaten zijn ook externe experts van andere waterschappen en Deltares betrokken. Daarnaast is de mogelijkheid gegeven aan de verschillende partijen om de rapportages mondeling toe te lichten. Er bleek namelijk dat hier veel behoefte aan was.

De vraagstelling die het Waterschap had uitgezet was vrij breed. Het Waterschap wil inzicht in de ondergrond (de deklaag en objecten) en wil daarnaast weten wat de beperkingen van de gebruikte techniek zijn.

De offertes zijn beoordeeld op de compleetheid en kwaliteit van het PvA, op de prijs en op de kwaliteit van de uitgevoerde proefmetingen. De kwaliteit van de proefmetingen is gecontroleerd door deze resultaten te vergelijken met de resultaten van het geotechnische onderzoek.

### Observaties van de kant van de opdrachtgever

Bij de beoordeling is gebleken dat de PvA's van de verschillende partijen moeilijk te vergelijken zijn. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt doordat elke partij een andere focus heeft gekozen en dat in elk PvA verschillende onderdelen ontbreken.

Daarnaast zijn er verschillen in de resultaten van de geofysische metingen. In sommige gebieden geeft de een aan dat klei aanwezig is, en geeft de ander aan dat daar zand aanwezig is, in weer andere gebieden is er overeenstemming. In Limburg is deze scheiding moeilijk te maken doordat op veel plaatsen kleilig zand (of zandig klei) aanwezig is. Een eenduidig criterium ontbreekt.

Naast een verschil in meetmethode en meetapparatuur blijkt ook dat een groot deel van de verschillen veroorzaakt wordt door de interpretatie van de data. Dit blijft mensenwerk, waardoor hier verschillen ontstaan tussen de verschillende partijen.

Daarnaast zijn niet alle metingen vlakdekkend. Alle partijen zijn er wel van overtuigd dat hun resultaten kloppen.

Wat opviel was dat het geofysisch onderzoek over het algemeen niet was toegespitst op de ontwerp vragen en benodigde ontwerpparameters en resolutie van het Waterschap. Daaruit volgt ook de aanbeveling dat het belangrijk is om samen de resultaten te interpreteren (de geofysicus en de geotechnicus) en de beheerder. De kennis van het gebied is namelijk erg waardevol voor de interpretatie.

Voor vervolgonderzoek zijn ook een aantal aanbevelingen gedaan:

- Opdracht helder formuleren welke informatie en nauwkeurigheid gevraagd wordt en gebruikt zal worden en waarvoor het nodig is
- Er moet door opdrachtgever en opdrachtnemer samen gekeken worden naar optimalisatie van de methode en apparatuur voor de gestelde onderzoeksvraag
- De verificatie van de resultaten moet aantoonbaar zijn en de onzekerheden aangegeven
- Van tevoren moet afgesproken worden in welke formats een en ander opgeleverd wordt. Hierbij zou een standaardisatie kunnen helpen

In de resultaten werden de onzekerheden niet specifiek benoemd. Iedere partij was overtuigd van zijn eigen gelijk. Daaruit blijkt dat verificatie en kalibratie erg belangrijke onderdelen zijn. Daarnaast is gebleken dat meten op het talud van een dijk erg lastig is en dat hier verschillende interpretaties van bestaan hoe dit het beste gedaan kan worden.

Een andere conclusie van de preselectie is dat geofysica vooral gebruikt moet worden om zeker te zijn over het gebied tussen de geotechnische onderzoekspunten, om meer vlakdekkende kennis van



de ondergrond te krijgen en om anomalieën in beeld te brengen zodat daarmee het geotechnisch onderzoek gerichter en beter uitgevoerd worden.

Uiteindelijk is door Waterschap Limburg een onderscheid gemaakt op basis van de vooraf bepaalde EMVI criteria. Er is door de overige deelnemers een paar suggesties voor acties gedaan om verder te komen:

1. Een idee om de verschillen te duiden is om de verschillende partijen in een werksessie samen de resultaten te laten interpreteren en te leren van elkaar. De keuzes die gemaakt worden in de interpretatie blijken erg belangrijk te zijn.
2. Daarnaast is standaardiseren een optie. Er komt een nieuwe Europese norm aan waarbij aan het eind van al het grondonderzoek een grondmodel moet worden opgeleverd. Aan de hand van die norm zouden we in Nederland ook meer naar een standaard toe kunnen. Belangrijke vragen daarbij zijn: welke betrouwbaarheid wil de opdrachtgever? Hoe toon je die betrouwbaarheid aan? Gaat het daarbij om de betrouwbaarheid van de interpretatie of de betrouwbaarheid van de meting?
3. De definitie van grondsoorten en hun fysische eigenschappen is ook erg belangrijk: wat zien we als klei? En wat als zand? Momenteel zijn er veel schijnnaauwkeurigheden aanwezig in de resultaten. Belangrijk is om dit samen te uniformeren en standaardiseren.

Een belangrijke vraag die vanuit het publiek gesteld werd was of het duidelijk is geworden welke uitwerking het beste de werkelijkheid benaderde. De gekozen partij voldeed het beste aan de EMVI criteria waaronder de kwaliteit.

### Observaties van de kant van de opdrachtnemer

Met verschillende geofysische metingen, zoals EM en ERT, wordt de schijnbare weerstand in de ondergrond gemeten. Daarbij wordt de totale weerstand die de sensor opvangt gemeten over de diepte. Daarmee zijn dus nog geen laagscheidingen te onderscheiden. Laagscheidingen kunnen worden gegeven door de toepassing van een zogenaamde inversie op de data. Dit heeft alleen zin als er voldoende meetpunten met diepte zijn gemeten (bij FDEM wordt dit bepaald door het aantal spoelen en spoel oriëntaties en hun onderlinge afstand). Een profiel lijn geeft een 2D beeld, meerdere profiel lijnen evenwijdig geeft een 3D beeld. Met name bij 3D is de topografie van belang omdat het bij EM om relatief ondiepe metingen gaat (6 m).

Naast de gekozen parameter is het meetprincipe, het gebruikte instrument en de wijze van meten erg belangrijk voor wat je wil meten, maar ook voor de gewenste betrouwbaarheid. Verschillende EM-systemen hebben verschillende resoluties en betrouwbaarheid van de resultaten. Daarnaast is de manier van meten ook erg belangrijk. Ga je bij elke meting stilstaan, of loop je snel over de dijk met de sensoren. Wanneer bij elke meting stil wordt gestaan kan nauwkeuriger gemeten worden, maar dit duurt ook langer. Bij weinig contrast is dit van groot belang. Wordt er met beperkte resolutie gemeten dan is de inversie (lagenmodel) onbetrouwbaar en daarmee ook de vertaling naar de lithologie.

Ook het ijkken van de geofysische metingen met boringen, sonderingen en EC-metingen (geleidbaarheidsmetingen) van het grondwater is erg belangrijk. Daarbij moet nog opgemerkt worden dat niet alle sondeerconussen gelijk zijn en dat boorbeschrijvingen af kunnen hangen van de desbetreffende boormeester en dat hierdoor ook verschillen in de resultaten kunnen ontstaan. Ook de resolutie verschillen tussen boringen/sonderingen en EM metingen zijn groot. Een sondering meet met een resolutie van ca. 5 cm in de verticaal met een indringen van enkele cm. horizontaal. FDEM metingen meten doorgaans het gemiddelde over meerdere meters horizontaal en decimeters tot



meters verticaal (afnemend met diepte). Uiteindelijk zijn vaak ook laboratorium proeven nodig om de eigenschappen te bepalen die nodig zijn in de berekeningen bijvoorbeeld bij Piping. Ook de grondwaterkwaliteit en de diepte van de grondwaterspiegel is bepalend voor de gemeten geleidbaarheid en daarmee de interpretatie naar lithologie. In gebieden met brak grondwater kan de geleidbaarheid van zand met dit water dezelfde waarde hebben als klei.

Het blijkt dat er altijd een vertalingsprobleem zit tussen de geofysica en geotechnische metingen. Daarnaast is de uitvraag niet altijd duidelijk en dat is ook niet altijd mogelijk. Het is daarom belangrijk dat opdrachtgever en opdrachtnemer samen om de tafel gaan zitten en naar elkaar verwachtingen uitspreken en elkaars verwachtingen ook begrijpen en de beperkingen. Bovendien is het belangrijk vooraf definities vast te stellen. Wat wordt bijvoorbeeld verstaan onder de deklaag? En wat verstaan we onder zand, klei, etc.?

Geofysica moet vooral gebruikt worden als aanvulling op geotechnische metingen om anomalieën te vinden tussen boringen en sonderingen en om aanvullende boringen en sonderingen gericht in te kunnen zetten. Het zal, mits correct uitgevoerd met de juiste (gebiedsafhankelijke) instrumentatie meer zekerheid geven in het antwoord op de vraag of er niet nog iets gemist is. Daarbij kan dan maatwerk uitgevoerd worden op de plekken waar anomalieën aanwezig zijn. De werkelijke besparing zal te vinden zijn in maatwerk op de gebieden waar uiteindelijk versterking nodig is. Geofysische metingen zul je altijd moeten combineren met andere metingen en specialistische kennis om een goed beeld te kunnen krijgen. Maar is mits op de juiste wijze uitgevoerd zeer waardevol gebleken. De betrouwbaarheid van het grond onderzoek, in welke mate deze representatief voor het gebied zal sterk toenemen.

Voor de resultaten van de metingen heeft het een hele grote meerwaarde als de klant meedenkt. De klant kent namelijk het te bemeten stuk het beste en kent ook de interessante locaties en eigenaardigheden van het te bemeten traject.

De verwachtingen en eisen aan het resultaat van het onderzoek en de nauwkeurigheid daarvan moeten realistisch zijn. Aan de hand daarvan kan de techniek gekozen worden, de opzet van het onderzoek bepaald worden, de resultaten verwerkt worden en de onzekerheden in beeld gebracht worden. Opdrachtnemers zouden ook graag in gesprek willen blijven met de opdrachtgever na uitvoering van de metingen. Op die manier kan achterhaald worden of de metingen die gedaan zijn inderdaad kloppen. Hier kan vervolgens van geleerd worden om een en ander te verbeteren. Die terugkoppeling ontbreekt nu nog vaak.

N.a.v. de vorige spreker is opgemerkt dat er uiteindelijk wellicht gekozen is in de pilot voor de goedkoopste aanbieder omdat de verschillen kennelijk groot waren zonder aan te geven welke aanbieder het dichtst bij de werkelijke situatie was gekomen ondanks de vraag vanuit de aanwezigen. Een wijze van meten waarbij het slechts op een zo goedkoop mogelijke manier tot anomalieën jagen is verworpen is niet de juiste aanpak en zelfs een gevaarlijke. Zeker als dit alleen met schijnbare weerstand wordt gedaan met bijvoorbeeld slechts 3 sensoren, ook nog een achter een quad met hoge snelheid. Zo zijn in het proefgebied kleine weerstandverschillen geconstateerd. Het is dan niet duidelijk waar de anomalieën door veroorzaakt worden (van boven of onderin het profiel of zelfs van artefacten). Op dit soort metingen zijn geen goede inversies mogelijk en kan leiden tot verkeerde interpretaties. Er is daarom in deze pilot op de verkeerde manier resultaten vergeleken met daaraan verbonden mogelijk de verkeerde conclusies.



## Visie en handreiking geofysica

Door een werkgroep is een visie en handreiking met betrekking tot geofysica (en remote sensing) opgesteld. Met dit rapport is geprobeerd een indicatie te maken van de verschillende technieken en welke fysische parameter met die techniek beter in beeld gebracht kan worden.

Opmerking van een van de aanwezige is dat het vergelijk vooral in gaat op de parameter (Seismiek, EM, etc.) maar niet op het niveau van instrumentele opties en configuraties. Verschillende instrumenten geven al een zeer verschillend resultaat in resolutie en sommige instrumenten kunnen in verschillende configuraties, meetopstellingen, ingezet worden.

Er zit een verschil tussen meten en monitoren. Vaak wordt maar een keer gemeten waarmee niet of langzaam veranderende parameter bepaald kunnen worden (bijv. laagdikte). Wanneer er een dynamische situatie is en veranderende parameters gevolgd worden spreekt men over monitoring. Deze metingen zijn niet alleen van belang in de beoordeling, maar over de hele levenscyclus van de dijk. Daarom is het ook belangrijk de ingewonnen gegevens zo op te slaan dat ze eenvoudig terug te vinden en te herleiden zijn.

Door middel van metingen kunnen ondergrondscenario's zoals gebruikt in de WBI methodiek geëlimineerd worden. Dit zorgt ervoor dat de onzekerheden afnemen en berekeningen nauwkeuriger worden. Wel zit er nu nog een mismatch tussen de metingen en de input voor de sterktesommen en is er een conversie nodig van een fysische parameter (elektrische weerstand of schuifgolfsnelheid) naar een geotechnische of geohydrologische parameter (sterkte, doorlatendheid), die niet (altijd) direct gemeten kunnen worden. De parameterbepaling is daarmee erg gevoelig voor de wijze van interpretatie.

De kwaliteit van het meet- en monitoringsproces bepaald mede de waarde van de uiteindelijke resultaten. Een goed uitgevoerde meet- en monitoringscampagne leidt tot minder kosten en/of minder risico door beter inzicht.

Van verschillende technieken is de volwassenheid bepaald voor het meten van verschillende parameters en van de volwassenheid in het gebruiken ervan. De resultaten daarvan zijn terug te vinden in de uitgekomen rapportage. Daarbij is niet alleen naar de volwassenheid van de techniek (technology readiness level algemeen) gekeken, maar ook naar de volwassenheid van de toepassing in Nederland (application readiness level voor dijken).

Van de toegepaste geofysische meetmethoden zijn veruit de meeste elektromagnetisch van aard. Mechanisch-akoestische methoden worden in Nederland vrijwel niet toegepast op de valgewicht deflectie metingen (VGD) op asfalt na. Mechanisch-akoestische methoden, zoals MASW, zijn over het algemeen wel duurder, deze kunnen hele waardevolle informatie opleveren. Bij dergelijke technieken moet je echter wel goed weten hoe en waar toe te passen om goede resultaten te behalen. Naar aanleiding van een vraag vanuit de aanwezige werd het niet duidelijk of de akoestische technieken de juiste resolutie hebben voor de vraagstelling. Dit moet nog worden uitgezocht.

Bij de keuze voor een bepaalde meetmethodiek is het van belang te weten welke parameter men relevant voor een bepaald faalmechanisme acht. Niet elke techniek is geschikt voor elke parameter. In de rapportage is daartoe een indeling gemaakt naar welke techniek voor welke faalmechanisme en parameter geschikt is. Daarbij is onderscheid gemaakt in drie categorieën:

1. Volwassen technieken waarbij voornamelijk in de praktijk geoefend en toegepast moet worden



2. Technieken die meer volwassenheid en bekendheid nodig hebben en waarmee in de praktijk beproefd en geleerd moet worden
3. 'Exotische' technieken, die nog niet volwassen zijn

Een echte meetcampagne zou ook niet per se vanuit één faalmechanisme ontworpen en uitgevoerd moeten worden, maar vanuit de dijk met al zijn mechanismen. Metingen kunnen immers bijdragen aan de het nauwkeuriger bepalen van verschillende faalmechanismen.

Uiteindelijk is ook de opslag van de data erg belangrijk in verband met hergebruik van die data.

### Case: ontwerp een proeftuin voor geofysische metingen

Na de presentatie wordt aan de aanwezigen gevraagd in groepjes na te denken over een proeftuin aan de hand van een aantal vragen, onder andere: Welke vragen wil je in de proeftuin beantwoord zien? Wat is nodig in een dergelijke proeftuin? Welke locatie zou hiervoor geschikt zijn?

Onderstaand zijn de resultaten hiervan weergegeven.

#### Groep 1:

- Protocollen, leidraden, opleiding, gezamenlijk raamwerk, definities
  - o Markt, waterschap, kennisinstellingen samen
  - o Aansluiten op Eurocodes en ontwikkelingen aldaar
- Follow-up vergelijking Limburg (gevoeligheid voor verschillen) om inzicht compleet te maken
  - o Gemeten geofysische data vergelijken
  - o Kalibratie aanpak en resultaten
  - o Interpretatie vergelijken
  - o Effect op Sterktesom van de verschillen nagaan
- Mechanisch-akoestisch (nieuwe benchmarks)
  - o Gemeten data
  - o Interpretatie

#### Groep 2:

- Elkaars randvoorwaarden kennen, elkaars taal spreken
  - o Berekening
  - o Parameters
  - o Resolutie
  - o Verwachting
  - o Onzekerheid
  - o Methode
  - o Kosten
- Proeftuin aan de hand van bestaande data (zo nodig verbeteren) er zijn meerdere pilots gedaan onder verschillende aanbieders laten we eerst die resultaten uitwerken en vergelijken.
  - o Voorkom discussie over locatie, gebruik bestaande data → is er meer dan genoeg
- Welke data zet je in de BRO/DINO? En op welke manier? Ruwe data, inversie, parameters?
- Daarna eventueel nieuwe technieken in fysieke proeftuin

#### Groep 3:

- Kijk naar de driehoek waterschappen, adviesbureaus en onderzoeksbureaus
  - o Communicatie/overleggen tussen meetploeg opdrachtgever en rekenaars



- Hoe kom je van profielen naar rekenparameters
- Combinatie maken van bestaande, nieuwe en historische data

**Groep 4:**

- Uitvraag beter (samenwerking)
- Interpretatie uitvoering & uniforme data levering
- Interpretatie multidisciplinair (geofysicus, geotechnicus en beheerder)
  - Opleiding voor alle partijen
- Combineren van alle interpretaties van alle beschikbare data
- Verwachtingen naar elkaar verbeteren
- Normen voor interpretatie
- Definitie betrouwbaarheid grondmodel en hoe die eenduidig aan te tonen is op basis van alle beschikbare info (boringen, sonderingen, labonderzoek, geofysica, stijghoogte meetreeksen, etc.)

## Afsluiting

Na het verzamelen van de resultaten van de case worden de sprekers bedankt en is er nog tijd om na te praten onder het genot van een hapje en een drankje. De volgende workshop vindt plaats op 16 april bij Deltares in Delft en heeft als onderwerp 'Dijkmonitoring met Satelliet INSAR'.