

Voorbeeld Toepassing Geofysica voor onderzoek waterkeringen

Titel

Geofysische onderzoek naar de opbouw ondergrond en dijklichamen van de waterkeringen langs de Maas in het beheersgebied van waterschap Roer en Overmaas.

Keywords

Ondergrondschematisatie, piping, beoordeling

Indiener

Acacia Water

Contactpersoon indiener

Koos Groen

Opdrachtgever

Waterschap Limburg

Contactpersoon opdrachtgever

Rinus Potter

Beoordeeld door

WVL Robert Slomp en Jan Jaap Heerema in overleg met POV piping

Aanleiding onderzoek

Voor de waterkeringen nabij de dorpen Ohé en Laak en Brandt bij Stevensweert is het beheersgebied van het waterschap Roer en Maas. In een eerder stadium is geotechnisch onderzoek uitgevoerd bij de Maaskering door voornamelijk handboringen, om de ondergrond in beeld te brengen. Op basis van deze boringen is een gedifferentieerd beeld ontstaan. Er zijn locaties waar de diepere ondergrond bestaat uit mijnsteen (dit komt overeen met de ontstaansgeschiedenis van het gebied), terwijl op andere locaties zand is aangetroffen. Om de locaties precies in kaart te brengen wordt geofysisch onderzoek uitgevoerd.

Met vlakdekkend onderzoek kan de onzekerheid in de aanname van de deklaag worden verkleind. Dit reduceert de onzekerheid over de aanwezige ondergrondlagen voor het vervolgtraject.

Probleemstelling

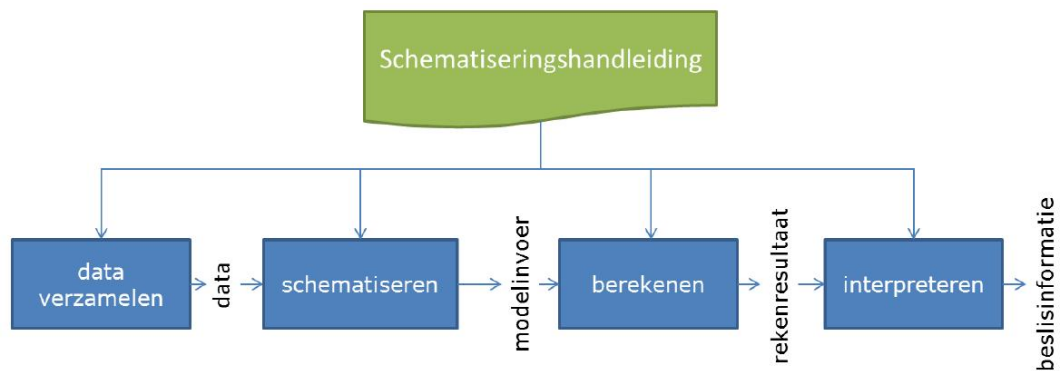
Het doel van het onderzoek is tweeledig:

1. Het vlakdekkend in kaart brengen van de dikte van de deklaag
2. Het vlakdekkend in beeld brengen van de diepere ondergrond

Type voorbeeld

Met deze metingen kon informatie worden verkregen waarmee een bijdrage kon worden geleverd om de gevoeligheid van de dijk voor de faalmechanismen piping, macrostabiliteit en microstabiliteit nauwkeuriger en betrouwbaarder te bepalen. Onderzoek naar het faalmechanisme zelf, oftewel de beoordeling van de waterkering zelf maakte geen deel uit van de opdracht.

Het onderzoek heeft betrekking op de eerste twee stappen van de schematiseringshandleiding piping en macrostabiliteit (Figuur 1).



Figuur 1 Stappenplan voor elke beoordeling (schematiseringshandleiding piping)

Het onderzoek betrof hier onderzoek dat als onderdeel van een Gedetailleerde Toets en/of Toets op Maat kan worden toegepast. Het onderzoek spitste zich toe op specifieke dijkvakken, waar het vermoeden bestond dat de deklaag dun was of dat er mijnsteen was gestort in de ondergrond en in het dijklichaam.

Status voorbeeld

Status onbekend. Het waterschap heeft het onderzoek laten uitvoeren langs specifieke dijktracés, waar men van tevoren al het vermoeden had dat daar extra informatie nodig was met het oog op de beoordeling (Toets op Maat) en mogelijke dijkversterkingsmaatregelen.

Casebeschrijving

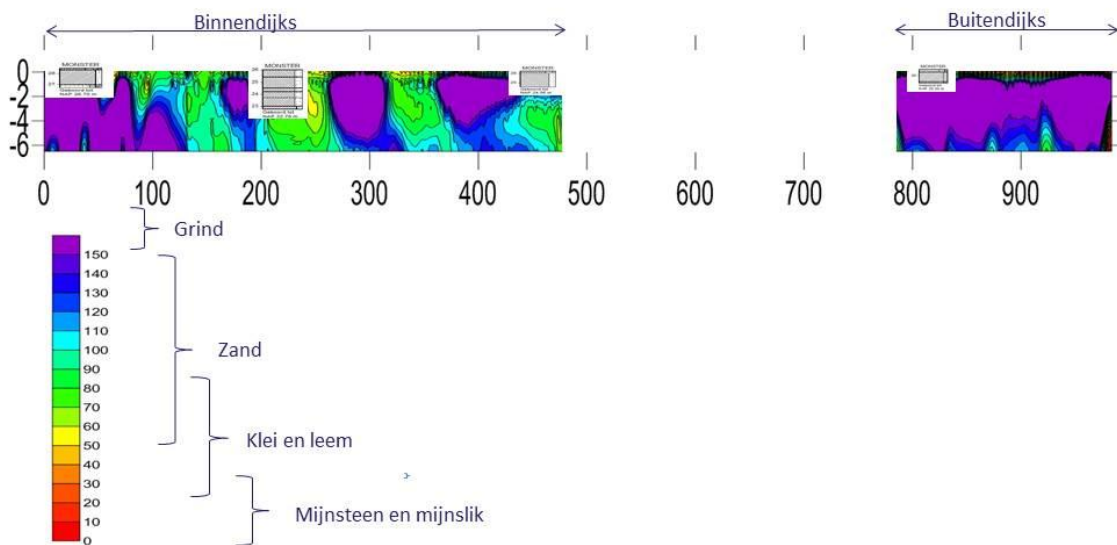
De case wordt apart beschreven voor de twee onderzoeksgebieden. Het eerste deel betreft het onderzoek bij de dorpen Ohé en Laak. Het tweede deel betreft het onderzoek bij het dorp Brandt.

Ohé en Laak

De onderstaande figuur 2 toont de ligging van twee profielen: het westelijke binnendijkse profiel loopt langs de teen van de waterkering op ongeveer 10 m afstand; het oostelijk profiel ligt buitendijks ook op ca 10 m afstand van de waterkering. In Figuur 2 worden ook de locaties van een groot aantal boringen weergegeven, afkomstig uit Dinoloket. De meesten zijn heel ondiepe handboringen, die zijn gestopt nadat het grind was bereikt.



Figuur 2. Ligging van geofysisch profiel langs Maas ten zuiden van Ohé.



Figuur 3. Profiel van elektrische weerstanden gemeten met DUALEM 421 langs de Maasdijk ten zuiden van Ohé

De elektromagnetische metingen met de DUALEM 421 laten een tweedimensionaal beeld zien van de weerstand van de ondergrond tot een diepte van 6 m (Figuur 3). Door bestaande boringen en sonderingen te vergelijken met metingen konden relaties tussen grondsoorten en elektrische weerstanden worden gelegd. Deze worden weergegeven in Figuur 3.

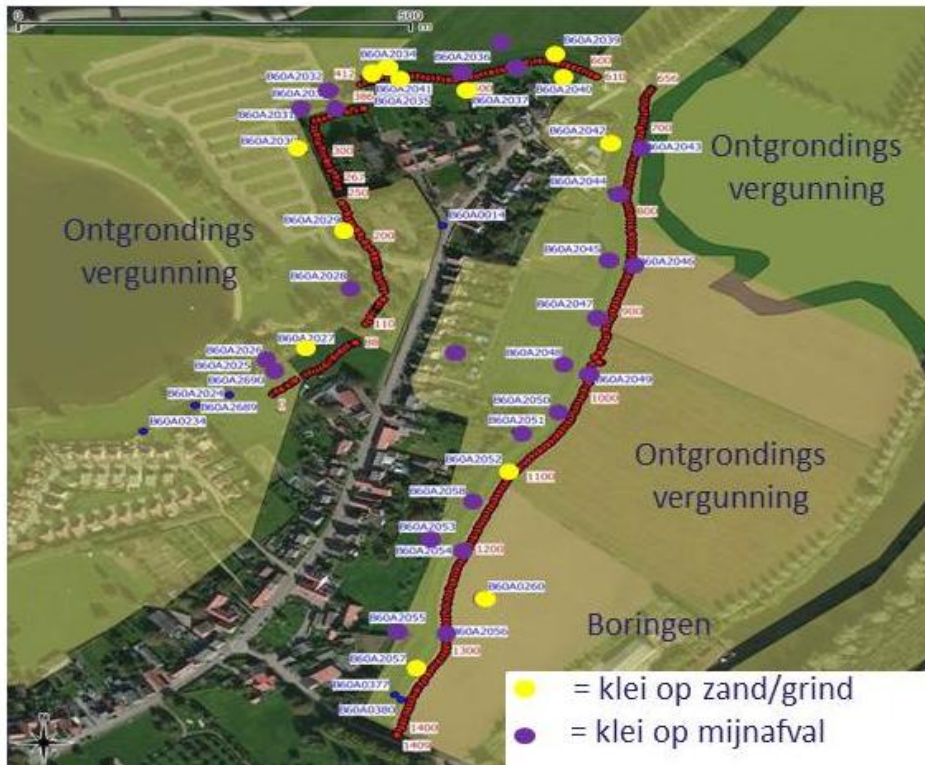
Er is een vrij grote variatie in weerstand per grondsoort, die te maken heeft met korrelgrootte, de mate van verzadiging met water en het zoutgehalte van het grondwater of bodemvocht. Weerstanden hoger dan 150 Ohmm zijn kenmerkend voor grind (paars), 50 tot 150 Ohmm is kenmerkend voor zand (groen tot blauw) en 20 tot 90 Ohmm voor klei of leem (oranje, geel en groen). Deze ranges geven aan dat er overlappen zijn en er geen unieke relatie bestaat tussen weerstand en grondsoort. Toch kunnen er op basis van de patronen in Figuur 3, de boringen en de algemene kennis van de geologie conclusies worden getrokken. De grondwaterstand is ongeveer op 3 m diepte gelegen. De deklaag van klei en leem, die veelal onverzadigd is heeft daarom een relatief hoge weerstand. Op de meeste plaatsen is deze deklaag dun met daaronder op enkele decimeters al grind of zand. Hier en daar kan de deklaag dikker zijn en oplopen tot 2 m. De grindlagen vormen oude stroomgeulen van de Maas of zijtakken van de Maas (paarse zones in Figuur 3). Op topografische en hoogtekaarten zijn de liggingen van die stroomgeulen te herkennen.

Voor dit onderzoek is geen beoordeling uitgevoerd. Toch kunnen kwalitatieve conclusies worden getrokken ten aanzien van piping. Een dunne deklaag van minder dan 1.5 m betekent dat het intredepunt buitendijks dicht bij de kering is gelegen. Binnendijks kunnen in principe op veel plaatsen wellen ontstaan vanwege de geringe dikte, waardoor het opbarst- en heavecriterium wordt overschreden. Echter piping zal niet optreden waar zich grind onder de deklaag bevindt. Er zal daar wel wateroverlast kunnen ontstaan door welvorming. Daar waar zich onder de deklaag een zandige laag bevindt zoals ter hoogte van 150, 250 en 350 m op het profiel (Figuur 3), bestaat wel een risico op piping.

Brandt

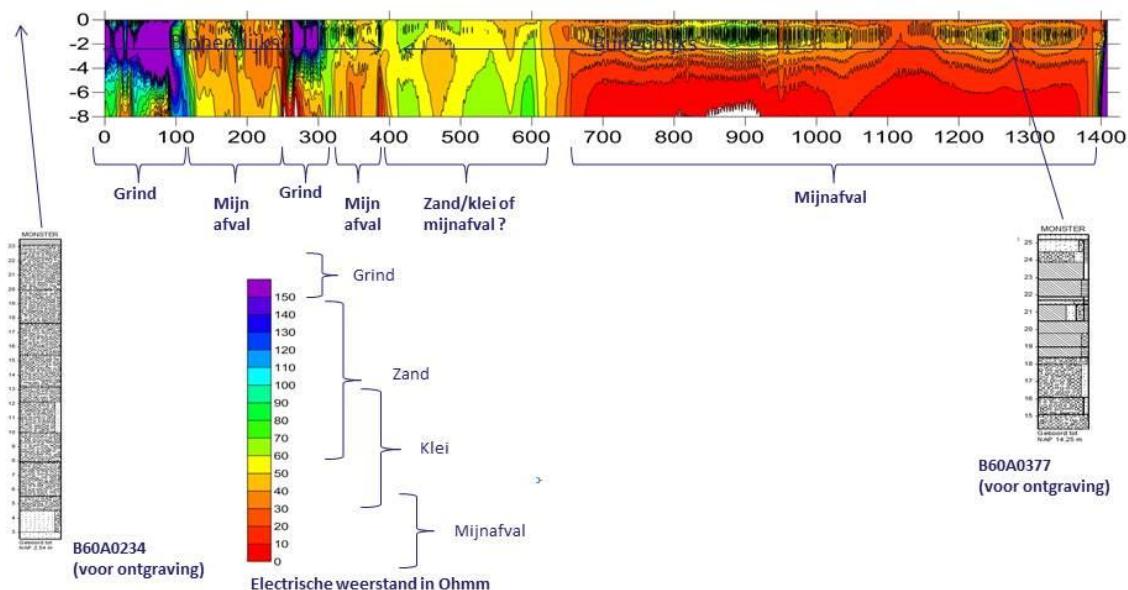
Enkele kilometers ten noorden van Ohé rond het dorp Brandt zijn ook elektromagnetische profielmetingen uitgevoerd met de DUALEM 421 langs de keringen van de Maas (Figuur 4). De eerste 400 m van het profiel aan de noordwestzijde van het dorp loopt binnendijks op ca 10 m vanaf de waterkering (zie Figuur 4). De rest ten noorden en oosten van het

dorp loopt buitendijks ook ca 10 m vanaf de kering. Er waren al een groot aantal ondiepe handboringen uitgevoerd langs de kering tijdens een eerder uitgevoerd geotechnisch onderzoek. Net als bij Ohé is ook hier de deklaag heel dun, meestal dunner dan 1.5 m.



Figuur 4. Ligging geofysische profiel langs de Maasdijk rond het dorp Brandt met locaties boringen

De metingen geven aan dat er onder de deklaag hoge weerstanden voorkomen die duiden op grind en zand, maar ook heel lage weerstanden van minder dan 30 Ohmm (Figuur 5). Na vergelijking met de boringen kon worden geconcludeerd dat deze lage weerstanden betrekking hebben op het voorkomen van zwart mijnafval van allerlei soort, van stenen tot een soort klei. De mijnsteen is gebruikt om de voormalige putten voor de grindwinningen op te vullen. Die lage elektrische weerstand is het gevolg van het organisch koolstof gehalte in het mijnafval en de uitloging van mineralen uit het mijnafval. Hierdoor is ook het grondwater brak geworden en soms verontreinigd met zware metalen.



Figuur 5. Profiel van elektrische weerstanden gemeten met DUALEM 421 langs de Maasdijk rond het dorp Brandt

Het profiel in Figuur 5 laat scherpe overgangen zien in weerstanden en dus ook grondsoorten. Op circa 650 m afstand is er de scherpe overgang te zien van hogere weerstanden naar de lage weerstanden van de mijnsteen, die in het voorland van het gehele oostelijk deel van de kering aangetroffen. Dit komt overeen met het gebied waar grind is gewonnen volgens de vergunningskaart (Figuur 4). In het westelijk en noordelijk deel is het beeld complexer. Hier loopt het profiel af en toe door zones waar grind is gewonnen. De hoge weerstanden tussen 0 en 100 m en die van 250 tot 300 m duiden op een ongestoorde opbouw met grind onder een dunne deklaag. Tussen 100 en 250 m en van 300 tot 400 m is er sprake van mijnafval. De zone tussen 400 en 600 lijkt vooral uit zand en leem te bestaan. Het voorkomen van de mijnsteen langs het profiel komt redelijk goed overeen met de vergunningenkaart voor de grindwinning, hoewel het hier en daar duidelijk afwijkt van de vergunningsgrenzen.

De waterkeringen zijn recent voor het onderzoek aangelegd. Ze lopen door het gebied waar grind werd gewonnen in de tweede helft van de vorige eeuw. Uit enkele profielen en boringen die bovenop de dijken zijn uitgevoerd blijkt dat dijklichamen over grote lengtes uit mijnafval bestaan.

De bestaande boringen, meestal handboringen, geven aan waar grind en mijnsteen zijn aangetroffen (Figuur 4). Deze indicatie is niet altijd duidelijk, omdat de boringen vrij ondiep zijn en steeds werden gestaakt, als op grind dan wel mijnsteen werd gestuit. De twee boringen in Figuur 5 dateren van voor de grindwinning.

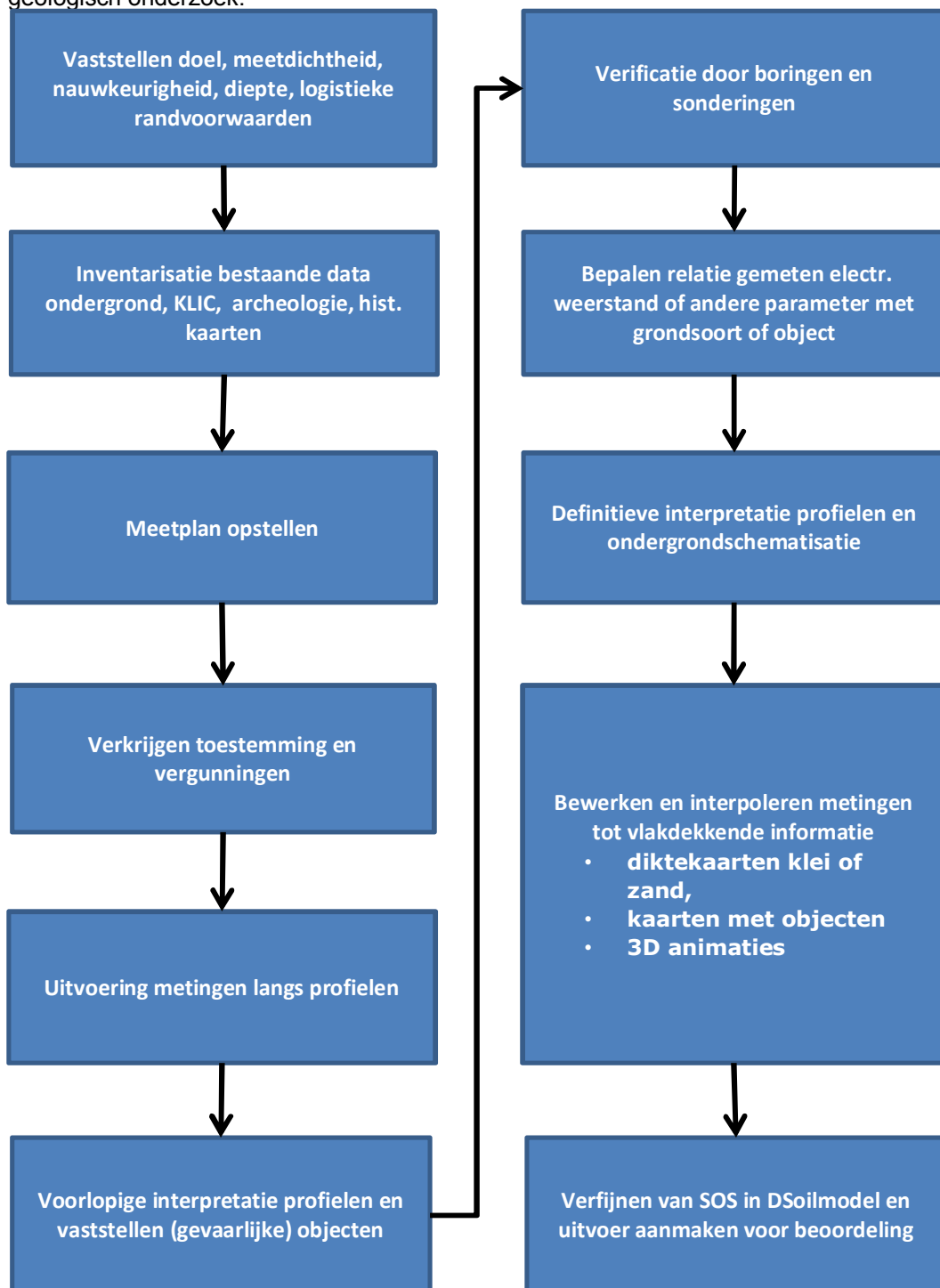
Het gedrag van de mijnsteen in en rond de keringen is een punt van zorg. Het is onduidelijk hoe die zich gedraagt bij belasting tijdens hoogwater ten aanzien van piping en overlast van verontreinigd grondwater.

Beslisproces en uitvoeringsschema

Het onderzoek maakt geen deel uit van het beslisproces van de beoordeling. De beoordeling zelf is namelijk niet uitgevoerd in dit onderzoek. In Figuur 6 wordt weergegeven welke stappen moeten worden gevolgd om te komen tot een goede interpretatie van de geofysische metingen en ook boringen en sonderingen en daarmee

een goede ondergrondschematisatie. De verwerking van de uitkomst in een lokale SOS in het DSoilmodel model is bewust opgenomen als laatste stap in het onderzoekschema van het geofysisch en geologisch onderzoek (Figuur 6).

De onderzoeker, die kennis van de ondergrond heeft opgedaan tijdens de voorbereiding, de metingen en de interpretatie, is het best in staat om de algemene SOS te verfijnen tot een lokale SOS. De SOS is dan eigenlijk het eindproduct van het geofysisch en geologisch onderzoek.



Figuur 6. Schema voor geofysische en geologisch onderzoek langs waterkeringen

Dieptebereik en resolutie

Het dieptebereik van de elektromagnetische DUALEM 421 metingen is 6 m. De resolutie, waarmee in weerstand contrasterende lagen kunnen worden onderscheiden neemt af met de diepte. Als vuistregel hanteren we 10 a 20 %. Dat wil zeggen dat lagen met een dikte van 0.5 m tot 1 m kunnen worden onderscheiden op diepten van 5 m; op 2 m is dat 0.2 tot 0.4 m. Hoe de resolutie precies is hangt af van het contrast. Hoe hoger het contrast in weerstand hoe beter de resolutie. Verder moet worden opgemerkt dat de laaggrenzen tussen verschillende grondsoorten in werkelijkheid scherper zijn dan de weerstanden doen vermoeden. De grenzen worden als het ware een beetje uitgesmeerd

Benodigde kennis

De interpretatie van de veldmetingen tot de weerstandsprofielen en de verificatie daarvan vergt specialistische geofysische en geologische kennis van het bureau, dat de metingen heeft uitgevoerd.

De afgeleide dikte- en verbreidingskaarten en profielen kunnen door de beheerders van de keringen worden gebruikt en opgenomen in hun GIS- en databestanden. Voor de opdracht moet de opdrachtgever duidelijk specificeren aan welke eisen en vragen het product dient te voldoen.

Het bureau op zijn beurt moet duidelijk aangeven wat de onzekerheden zijn met betrekking tot de grondsoorten, de objecten en de begrenzingen.

Kosten en Baten

De baten van een geofysisch onderzoek als hier beschreven is dat het voorkomen van bepaalde grondsoorten, qua dikte en verbreiding, lijn- en vlakdekkend in beeld wordt gebracht. Ondanks de onzekerheid of de "zachtheid" komen duidelijke patronen naar voren. Op basis hiervan kunnen puntmetingen (boringen, sonderingen en analyses) veel beter worden geïnterpoleerd. Ook zijn er minder puntmetingen nodig om het beeld te complementeren. Het voordeel is dat geofysisch onderzoek mogelijk leidt tot kostenbesparing, maar in ieder geval leidt tot kwaliteitsverbetering van het uiteindelijke product. Dat product kan, zoals in dit geval, bestaan uit inzicht in de ondergrond of de schematisatie van de ondergrond ten behoeve van de reguliere beoordeling van lange dijktracés. Het kan ook gaan om gedetailleerd inzicht in bepaalde stukken langs de waterkering, waar Toets op Maat nodig is of waar tijdens uitvoering van dijkversterking of onderhoud meer inzicht is vereist.

De all-in kosten van geofysisch onderzoek met de DUALEM 421, inclusief voorbereiding, uitvoering en verificatie met (hand) boringen en sonderingen bedragen ca 800 tot 1400 euro per km gemeten profiel excl. BTW. Dit is afhankelijk van de projectomvang, die kan variëren van respectievelijk honderden kilometers tot 5 km profiel. Opgemerkt wordt dat er al snel 3 parallelle profielen nodig zijn voor een onderzoek in het voor- of achterland van een kering.

Dilemma's en gevoeligheidsanalyses

De metingen maakten geen deel uit van een beslisproces.

Verificatie

De gevoeligheid en resolutie van de metingen en de relatie tussen weerstand en grondsoort moet worden onderzocht aan de hand van bestaande boringen en sonderingen. Er wordt dan bewust gemeten op de locaties van die boringen en sonderingen. Vaak zijn die er niet of niet in voldoende mate. Dan moeten verificatiemetingen worden uitgevoerd. Voor dit doel zijn geleidbaarheid sonderingen zeer geëigend. Daarmee kan nauwkeurig de relatie tussen weerstand en grondsoort (o.b.v. conus en wrijvingsweerstand) worden bepaald. Boringen zijn nodig om de grondsoort te beschrijven en peilbuizen te plaatsen om grondwaterstand en -kwaliteit te bepalen. Deze zijn in het kader van dit onderzoek niet uitgevoerd.

Rekenfiles en documentatie

Alle 2D en 3D figuren worden beschikbaar gesteld als JPG-bestanden. Alle kaarten worden opgeleverd als SHP-files ten behoeve van GIS-dataopslag. Interpretatiemodellen en bewerkingsroutines en uitvoerbestanden van deze programma's zijn specialistisch en zijn niet zinvol als eindproduct. Wel kunnen de metingen als databestanden opgeleverd worden als CSV-files met de positie (x- en y-waarden in Amersfoort RD New; z-waarden in hoogten NAP en weerstanden in Ohmm).