

Voorbeeld Toepassing Geofysica voor onderzoek waterkeringen

Titel

Geofysisch onderzoek naar de opbouw van de ondergrond en dijklichamen van de waterkeringen langs de Gelderse IJssel in het beheersgebied van waterschap Drents Overijsselse Delta.

Keywords

Ondergrondschematisatie, piping, beoordeling

Indiener

Acacia Water en Wiertsema & Partners

Contact

Koos Groen (Acacia Water)
Kees Jan van der Made (Wiertsema & Partners)

beheerder

waterschap Drents Overijsselse Delta.

beoordeeld door

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

Aanleiding

De IJsseldijk is ten dele afgekeurd en daarom onderdeel van het HWBP. Voor de projecten binnen het HWPB is nadere analyse van het probleem gewenst. Voor het betreffende traject ten zuiden van Zwolle bestond het vermoeden dat voor sommige stukken een dunne deklaag aanwezig was.

In het kader van de verkenning is in opdracht van waterschap Drents Overijsselse Delta geofysisch onderzoek uitgevoerd in 2016 om de dikte van de deklaag op te sporen, en mogelijke zandbanen nauwkeuriger in beeld te brengen.

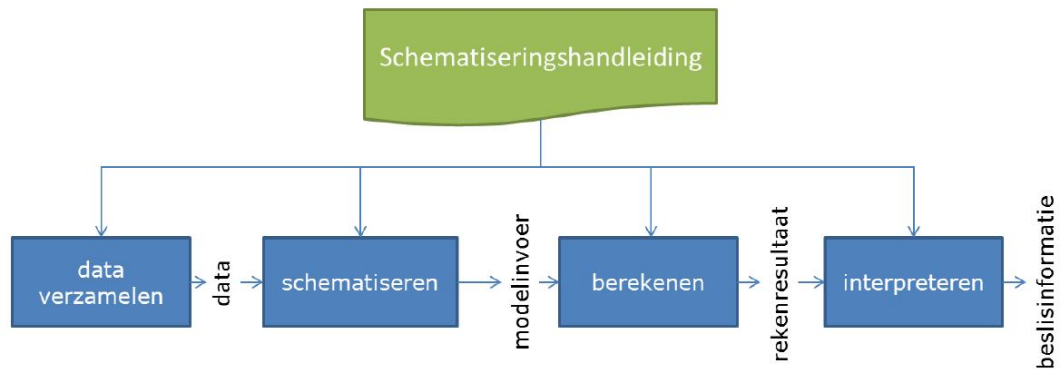
Doelstelling

Het doel van de metingen was om de dikte van deklaag en het materiaal onder de deklaag in kaart te brengen. Met het in kaart brengen van de dikte van de deklaag wordt een belangrijke parameter verkregen voor de beoordeling van de dijk op het faalmechanisme piping.

Type voorbeeld

Met de geofysische metingen kon een bijdrage worden geleverd aan het beoordelen van de dijk voor de faalmechanismen piping en macrostabiliteit. Onderzoek naar het faalmechanisme zelf of 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 gekenschetst. Het onderzoek spitte zich toe op specifieke dijkvakken, waar het vermoeden bestond dat de deklaag dun was. De data kan gebruikt worden voor de parameter dikte van de deklaag bij het uittredepunt. Tevens kan de ingewonnen data gebruikt worden voor de ondergrondschematisatie, die met het DSoilmodel programma wordt bepaald.

Status voorbeeld

Onderzoek is uitgevoerd in het kader van een Gedetailleerde Toets van de dijktracés langs de IJssel binnen het beheersgebied van Waterschap Drents Overijsselse Delta in het kader van versterkingsprojecten van het HWBP.

Casebeschrijving

De hieronder getoonde meting maakt deel uit van een geofysisch onderzoek. De hier getoonde meting betreft een profiel langs de binnenteen van de waterkering op de rechteroever van de IJssel 8 km ten zuiden van Zwolle (Figuur 2).

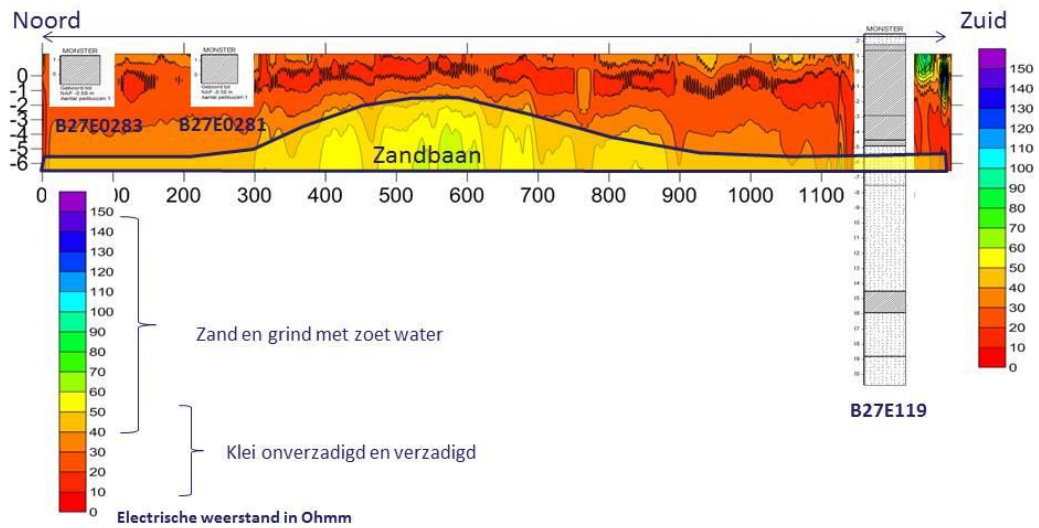


Figuur 2. Locatie van electromagnetische metingen met de DUALEM 421 langs de binnenteen van de waterkering van de IJssel, 8 km ten zuiden van Zwolle

De elektromagnetische meting met de DUALEM 421 laat een tweedimensionaal beeld zien van de weerstand van de ondergrond tot een diepte van 6 m (Figuur 3). De relatie tussen de gemeten elektrische weerstand en grondsoort is niet uniek. In principe is er een zekere variatie in weerstand van grondsoort, die te maken heeft met korrelgrootte, mate van verzadiging met water en het zoutgehalte van het grondwater of bodemvocht. Het grondwater staat op 1 a 1.5 m. De kleilaag heeft daarom een redelijk hoog vochtgehalte. Grondwater met hoge zoutgehalten komt hier niet voor. De variaties in weerstand zijn derhalve praktisch geheel toe te schrijven aan variaties in grondsoort.

De geologische opbouw is vrij simpel in dit gebied. Er bevindt zich een deklaag van ca 5 a 6 m Holocene klei op Pleistoceen zand. Er komen echter ook zandbanen voor. Dat zijn oude Holocene stroomgeulen.

Uit literatuur en uit vergelijkingen van de gemeten weerstanden met bestaande boringen en sonderingen blijkt dat de weerstanden lager dan 50 Ohmm (oranjerood) overeenkomen met de deklaag, die voornamelijk uit klei bestaat. Zand van de Holocene zandbanen en het Pleistocene zand heeft een hogere weerstand van meer dan 40 Ohmm.

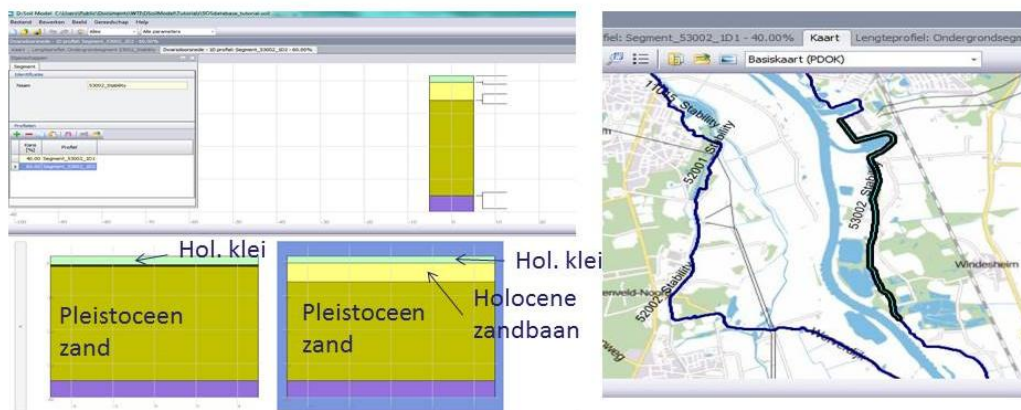


Figuur 3. Tweedimensionaal beeld van de elektrische weerstanden gemeten met de DUALEM 421 langs de IJssel. De opduiking van hoge weerstanden (geel en groen) tussen 300 en 800 m vertegenwoordigen een lokale fluviatile stroomgeulafzetting uit het Holocene bestaande uit zand. De lage weerstanden (oranje en rood) in het bovenste deel hebben betrekking op Holocene rivierklei.

In het tweedimensionale weerstandsbeeld is goed te zien dat zich een zandbaan bevindt in het tracé tussen 300 en 800 m. Op de top van die zandbaan tussen 450 en 650 m is de dikte van de kleilaag relatief gering, namelijk 1.5 m. Dat is een kritische dikte die kan impliceren dat aan het opbarst- en “heave” criterium wordt voldaan. Buitendijks betekent een dunne kleilaag (< 1.5 m) dat het intredepunt voor het bepalen van de hydraulische gradiënt dicht bij de kering is gelegen. Op basis van de bestaande boringen zou de zandbaan zijn gemist.

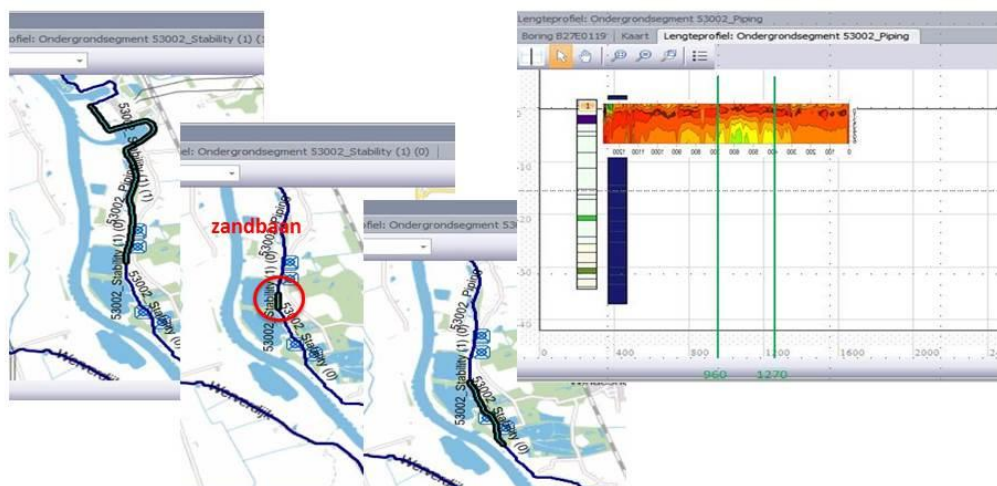
Lijndekkende geofysische metingen zoals deze kunnen worden gebruikt om de beoordeling te verfijnen met behulp van het WBI2017 instrumentarium. Het gaat dan specifiek om het programma onderdeel DSoilmodel. Dit programma levert als uitvoer een stochastische ondergrondschematisatie (SOS) voor een bepaald dijksegment. Die uitvoer wordt in andere delen van het instrumentarium gebruikt voor de beoordeling op faalmechanismen zoals piping en macrostabiliteit. DSoilmodel maakt gebruik van basisscenario's voor de ondergrondschematisatie. Deze zijn opgesteld voor alle primaire keringen in Nederland aan de hand van bestaande geologische informatie.

Een bepaald dijksegment, dat gewoonlijk een lengte heeft in de orde van enkele kilometers, kent meestal meerdere scenario's met een verschillende geologische lagenopbouw. Elk scenario heeft een bepaalde kans op voorkomen in het segment. Verder kent elk scenario ook weer een bepaalde bandbreedte voor de diepten van de laagscheidingen. De basis SOS kent dus een grote mate van onzekerheid, die bij beoordeling mogelijk kan leiden tot afkeuring van veel dijkvakken. Met DSoilmodel kan de SOS worden verfijnd tot een lokale SOS aan de hand van boringen, sonderingen en, zoals hier wordt aangetoond, geofysische metingen.



Figuur 4. Stochastisch ondergrondmodel (SOS) van dijksegment langs de IJssel ten zuiden van Zwolle. Het SOS heeft twee scenario's: een zonder zandbaan en een met zandbaan. Kans op voorkomen is respectievelijk 40 en 60 %.

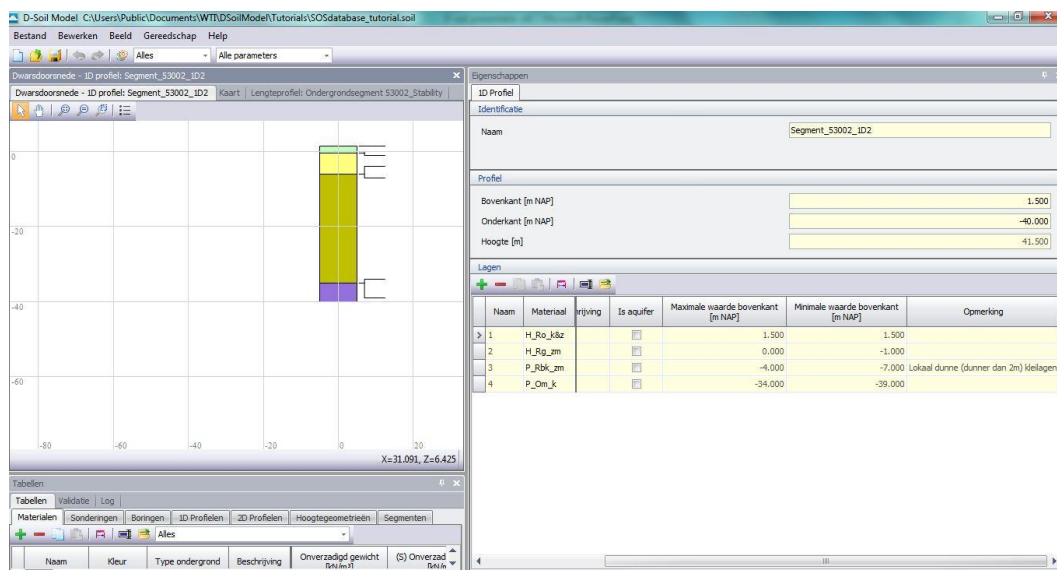
Figuur 4 toont een dijksegment in DSoilmodel van het traject bij Zwolle. De algemene SOS bestaat uit twee scenario's: een met Holocene klei met een dikte variërend van 2.5 tot 4.5 m op Pleistoceen zand; het andere scenario heeft een opbouw van Holocene klei met daaronder Holocene zand op Pleistoceen zand. De kleilaag varieert in dikte van 1.5 tot 2.5 m. Het tweede scenario representeert dus eigenlijk een zandbaan. De beide scenario's hebben een kans op voorkomen van respectievelijk 40 en 60 %. Als deze SOS wordt gehandhaafd in DSoilmodel en wordt ingevoerd in de beoordelingsroutines van het WBI2017 instrumentarium, dan is het waarschijnlijk dat vanwege de ongunstige ondergrond van het zandbaanscenario het dijksegment zal worden afgekeurd voor het faalmechanisme piping.



Figuur 5. Splitsing van dijksegment in DSoilmodel in deelsegmenten met en zonder zandbaan.

Aan de hand van het geofysische profiel kan het dijksegment in het DSoilmodel programma worden gesplitst in delen zonder zandbaanscenario en delen met alleen een zandbaanscenario. Dat wordt getoond in Figuur 5. Het oorspronkelijk dijksegment is nu gesplitst in drie segmenten. De deelsegmenten kennen nu slechts een scenario (dus met een kans op voorkomen 100 %). De bandbreedte van de laagscheidingen van de scenario's (Figuur 6) kan ook worden verkleind aan de hand van de geofysische

profielmeting.

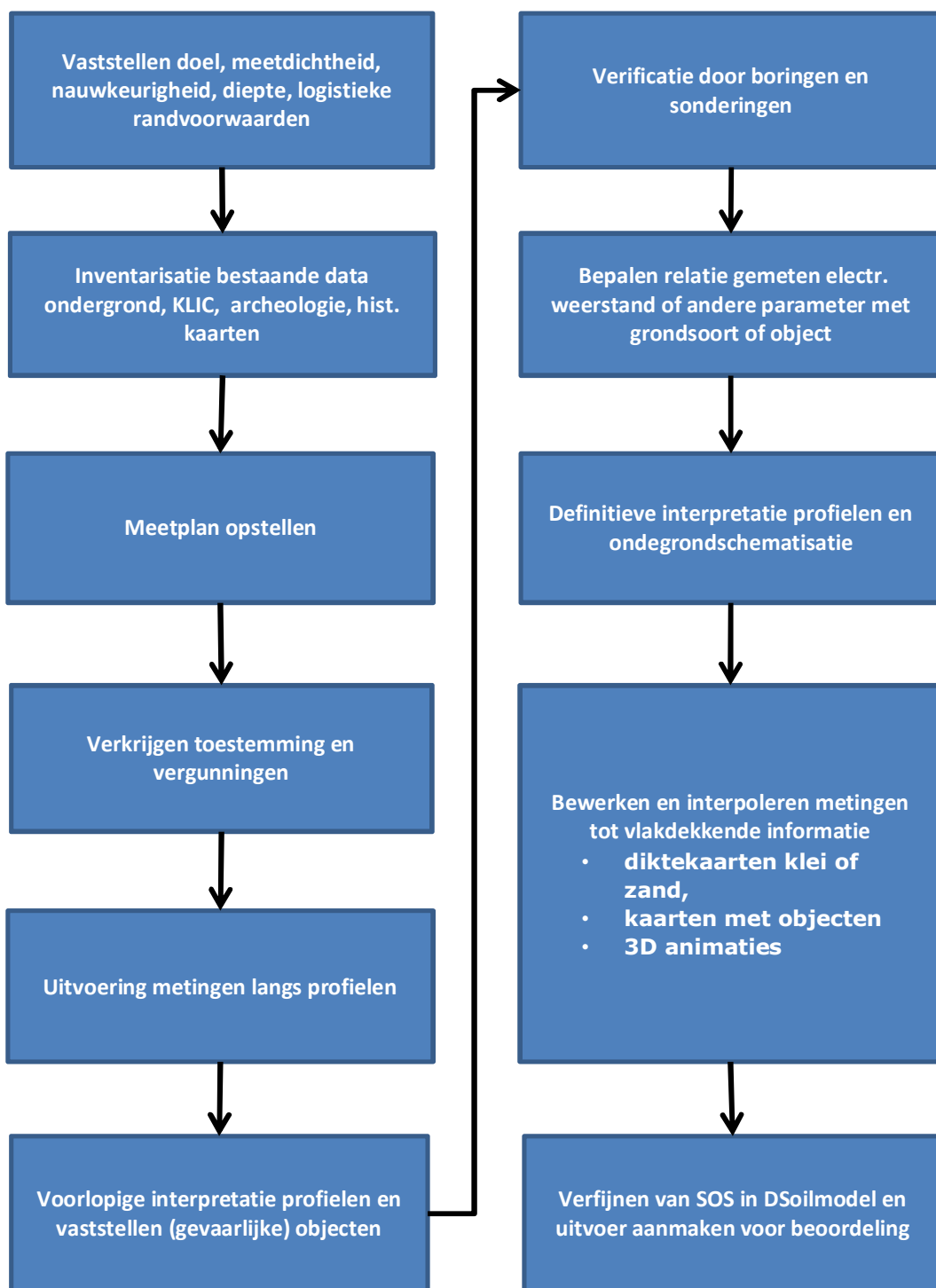


Figuur 6. Scenario van een SOS met bandbreedte van de diepte van de laagscheidingen.

Na deze bewerkingen wordt de SOS voor het dijksegment opnieuw bepaald en in een uitvoerfile vastgelegd. Na beoordeling met de routines van WBI2017 zal blijken dat nu alleen de gedeeltes met het zandbaanscenario mogelijk worden afgekeurd op piping. Als we aannemen dat het geofysisch gemeten profiel representatief is voor het hele segment, dan zal slechts 20 % van het dijksegment werkelijk kritisch zijn en worden afgekeurd.

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 7 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 is bewust opgenomen als laatste stap in het onderzoekschema van het geofysisch en geologisch onderzoek (Figuur 7). 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 7. Onderzoekschema van geofysisch metingen ten boeëve van 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. Zoals hierboven aangegeven, kunnen de onzekerheden worden verwerkt in de lokale SOS van het onderzochte dijksegment, indien de opdrachtgever gebruik wil maken van het WBI2017 instrumentarium

Kosten en Baten

De baten van een geofysisch onderzoek als hier beschreven is dat het voorkomen van bepaalde grondsoorten, qua dikte en verbreiding, lijndekkend 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 completeren. In dit geval gaat het om een vrij brede zandbaan die in principe ook met sonderingen en boringen op afstanden van 50 m kan worden gedetecteerd. Maar door eerst een dergelijk profiel te meten kan het aantal sonderingen en boringen worden verminderd of de dichtheid daarvan kan lokaal worden aangepast. 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 dijk tracés. 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 (excl. BTW) per km gemeten profiel. Dit is afhankelijk van de projectomvang, die kan variëren van respectievelijk honderden kilometers tot 5 km profiel. Voor detailonderzoeken voor nog kleinere dijk tracés, waarbij gedurende 1 dag wordt gemeten inclusief enkele handboringen en rapportage, moet rekening worden gehouden met basiskosten in de orde van 5000 euro (excl. BTW). Opgemerkt wordt dat er voor een vlakdekkend onderzoek al gauw 3 parallelle profielen nodig zijn voor een onderzoek in het voor- of achterland van een kering.

Dilemma's en gevoeligheidsanalyses

Het onderzoek maakte geen deel uit van het beslisproces van de opdrachtgever waarin de opdracht is gegeven tot onderzoek, of waarin de bruikbaarheid van de resultaten zitten.

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

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