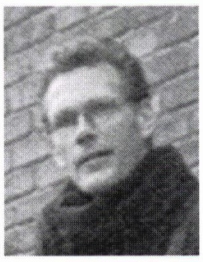
In het kader van een Stichting Kennisontwikkeling en Kennisoverdracht Bodem (SKB) project[1] zijn op verontreinigde locaties in Utrecht en Drenthe geo-elektrische metingen uitgevoerd van boorgat naar boorgat (ERT). De techniek is ingezet om zaklagen met gechloreerde koolwaterstoffen op te sporen. De dunne zaklagen liggen vaak op slecht doorlatende sedimenten en zijn lastig met conventionele puntmetingen zoals grondwater- en bodemmonsters op te sporen. Het onderzoek laat zien dat de verontreiniging met ERT semi-3D gekarteerd kan worden waardoor de reiniging en/of ontgraving van de zaklagen heel gericht kan worden uitgevoerd. ERT zal in de praktijk met name interessant zijn op locaties waar zaklagen aanwezig kunnen zijn en waar sprake is van een saneringsnoodzaak.

Elektrische weerstands-tomografie spoort zaklagen op

Bart Goes, Sjef Meekes en Paul Verhaagen

Drs. B.J.M. Goes
is toegepast geofysicus en hydrogeoloog bij TNO-NITG te Utrecht. e-mail: b.goes@nitg.tno.nl



Dr. J.A.C. Meekes
is senior geofysicus bij TNO-NITG te Utrecht

Drs. P.A.A. Verhaagen
is senior adviseur bodem bij Grontmij Advies & Techniek bv te Houten. e-mail: paul.verhaagen@grontmij.com

VERONTREINIGINGEN EN ZAKLAGEN

In het bodembeleid wordt steeds meer uitgegaan van het zo veel mogelijk verwijderen van de verontreinigingsbronnen in combinatie met een extensieve aanpak van de pluim. Randvoorwaarde bij een succesvolle invulling van dit beleid is het krijgen van een nauwkeurig inzicht waar bronnen op een locatie in de bodem aanwezig zijn. Bij locaties die zijn verontreinigd met stoffen die zaklagen kunnen vormen is dit problematisch met bestaande bodemonderzoekstechnieken. Conventionele onderzoekstechnieken, zoals peilbuizen en bodemmonsters, betreffen meestal puntmetingen die een ruimtelijke interpretatie van de data moeilijk maken. Bovendien is de omvang van zaklagen meestal gering waardoor de kans dat ze opgespoord kunnen worden met conventionele technieken beperkt is.

Bekende voorbeelden van Dense Non-Aqueous Phase Liquids (DNAPL's) die zaklagen vormen zijn: gechloreerde koolwaterstoffen (VOCl), zoals PER en TRI, en koolteer. DNAPL's zijn meestal toxische vloeistoffen met een geringe oplosbaarheid en een dichtheid die groter is dan water. Als gevolg van de hoge dichtheid kunnen bepaalde DNAPL's zich onder invloed van de zwaartekracht snel (verticaal) verspreiden in de bodem. De verspreiding wordt afgeremd bij het tegenkomen van een minder goed doorlatende laag. Op deze laag ontwikkelt zich dan een zaklaag met verontreinigingen. De zaklaag ligt niet per definitie onder in een zandpakket en bovenop een klei of veenlaag. Contrasten in pakking en/of korrelgrootte binnen een zandpakket kunnen al leiden tot het ontstaan van een (tijdelijke) zaklaag.

Op basis van het bodemonderzoek worden echter wel beslissingen genomen over de noodzaak en de urgentie van bodemsaneringen. Het resultaat van de bodemsaneringen is in veel gevallen teleurstellend. Saneringsdoelstellingen worden niet bereikt en er is regelmatig sprake van kostenoverschrijdingen. Een belangrijke oorzaak hiervoor is een verkeerd ontwerp van de saneringsmaatregelen, door onbekendheid van de locatie van de verontreinigingsbronnen.

'Electrical Resistivity Tomography' (ERT; geo-elektrische metingen tussen boorgaten) is een nieuwe met name in de Verenigde Staten ontwikkelde meetmethodiek[2] die het mogelijk maakt zaklagen ruimtelijk te detecteren en te monitoren in de ondergrond. De toepassing van deze techniek is gebaseerd op de zeer hoge geoelektrische weerstand van zaklagen. Om deze techniek verder te ontwikkelen en te beproeven in de Nederlandse situatie is het project 'ERT voor het opsporen van

FIGUUR 2: EEN ERT-METING TUSSEN TWEE BOORGATEN (EVENEENS OP FOTO DE DRIE AUTEURS).

DNAPL's' uitgevoerd. De belangrijkste doelstelling van dit project is: de haalbaarheid van ERT voor het lokaliseren van zaklagen aantonen onder typische Nederlandse omstandigheden door op twee verschillende locaties (Utrecht en Drenthe) ERT-metingen uit te voeren. Dit artikel presenteert de belangrijkste resultaten van dit project.[1]

Het project is uitgevoerd door vier partners. Eén partner bezit geo-elektrische apparatuur en kennis van geofysische technieken (TNO-NITG), één partner heeft boortechnieken, monstertechnieken en veel ervaring met bodemsaneringen (Grontmij) en twee partners hebben verontreinigde locaties binnen hun grenzen (gemeente Utrecht en provincie Drenthe).

ELEKTRISCHE WEERSTANDS-TOMOGRAFIE

Bij een geo-elektrische meting wordt met behulp van een accu en twee stroomelektrodes een stroom in de grond gebracht waarna het potentiaalverschil over twee potentiaalelektrodes wordt gemeten. ERT-metingen zijn geo-elektrische metingen tussen boorgaten waarin kabels met ieder 24 elektrodes zijn aangebracht. Figuur 1 geeft een geschematiseerd profiel van een ERT-opstelling. De figuur laat twee actieve stroomelektrodes zien terwijl tegelijkertijd het potentiaalverschil over steeds een ander elektrodepaar wordt gemeten. Alle elektroden in de kabel worden afwisselend geactiveerd. Een verzameling spannings- en stroommetingen kan vervolgens worden omgerekend (geïnverteerd) naar elektrische weerstanden van de bodem. Het resultaat is een 2D-profiel met de elektrische weerstand van de ondergrond tussen de twee boorgaten over het dieptetraject waar de elektrodes hangen. Indien er zaklagen in de ondergrond aanwezig zijn dan zal de elektrische weerstand van de ondergrond op deze plek(ken) verhoogd zijn. Met ERT kunnen deze plekken met een hoge weerstand opgespoord worden. Plekken met een hoge weerstand kunnen ook nog andere oorzaken hebben zoals massieve bouwresten. Grondwatermonsters zijn daarom gebruikt om te verifiëren of de hoge weerstanden inderdaad zijn veroorzaakt door zaklagen.

DEMONSTRATIEMETINGEN UTRECHT

Locatie Utrecht is een parkeerplaats die in het verleden is gebruikt door een groothandel in chemische producten. Op het terrein waren bovengrondse opslagtanks aanwezig voor PER, TRI en methyleenchloride. Op de locatie zijn vijf boorgaten gezet voor het uitvoeren van ERT-metingen. In figuur 3 staan vier van de zeven 2D-profielen met hierin de geo-elektrische weerstand en referentie grondwatermonsters. In de ERT profielen op locatie Utrecht zijn één grote en één kleine zone gevonden met een weerstand die duidelijk verhoogd (dikomlijnde in figuur 3). Grondwatermonsters hebben aangetoond dat de grote zone (4.9-5.8 m-mv nabij boorgat B) is veroorzaakt door zaklagen. De kleine zone (~2.6 m-mv, naast boorgat E) heeft een andere oorzaak. De zaklaag ligt niet, zoals van tevoren verwacht werd, bovenop de slecht doorlatende klei/veen laag (2.8-4.7 m-mv) maar in een goed doorlatend zandpakket, net onder de slecht doorlatende laag (4.8-5.8 mv). Bij de op handen zijnde sanering van de locatie zijn de gegevens gebruikt voor het aanpassen van de geplande onttrekking-systemen.

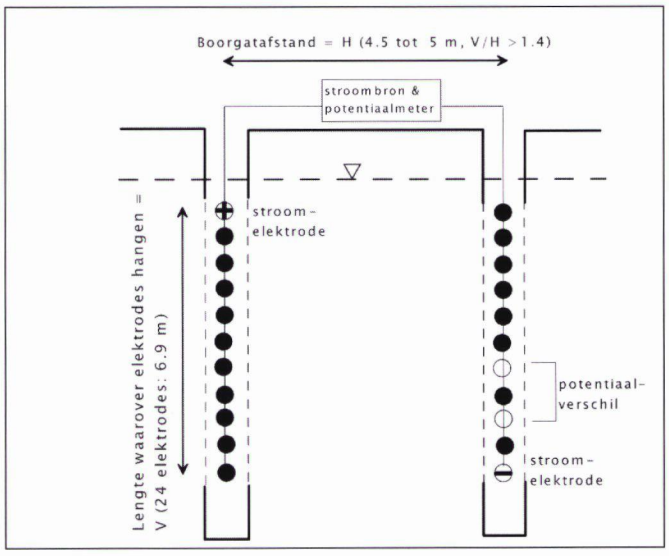
DEMONSTRATIEMETINGEN DRENTHE

Locatie Drenthe is een leegstaande fabriekshal die in het verleden door een galvaniseerbedrijf is gebruikt. Op figuur 4 staan de vijf ERT-boorgaten aangegeven.

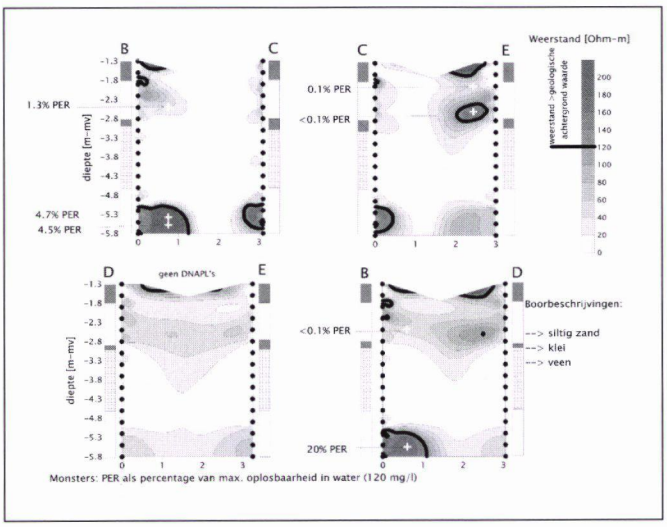
In figuur 5 staat een semi 3D-afbeelding van de elektrische weerstand van de ondergrond tussen de 5 boorgaten. In het figuur zijn drie zones met een hoge weerstand te zien die zijn geïnterpreteerd als zaklagen. Dit is bevestigd met grondwatermonsters. Alle grondwatermonsters op de locatie blijken zeer sterk verontreinigd, echter de monsters met extreem hoge PER-percentages (>100% van de maximale oplosbaarheid in water) komen uit (3 van de 4) of net onderuit (1 van de 4) de hoge weerstandszones.

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

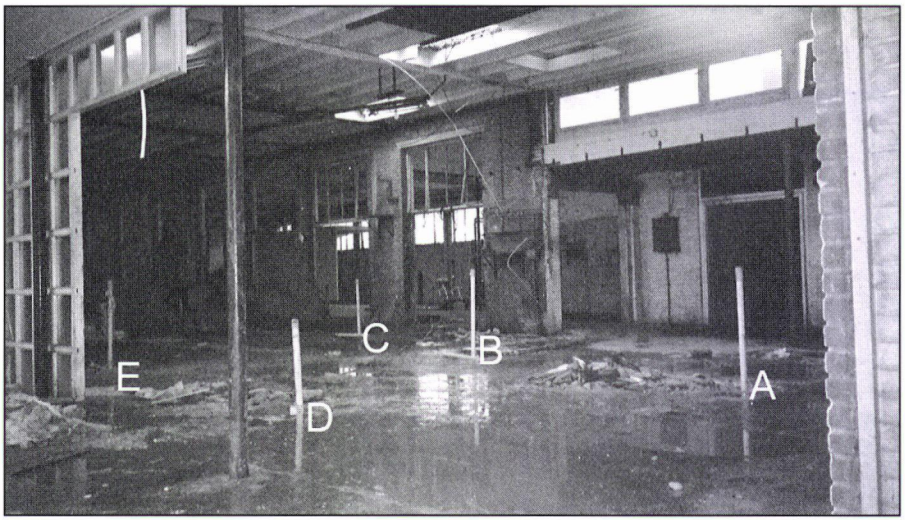
Er is aangetoond dat ERT goed werkt voor de opsporing van zaklagen in veel voorkomende typen Nederlandse ondergrond.



FIGUUR1: PROFIEL MET EEN SCHEMATISCHE ERT-OPSTELLING IN TWEE BOORGATEN.

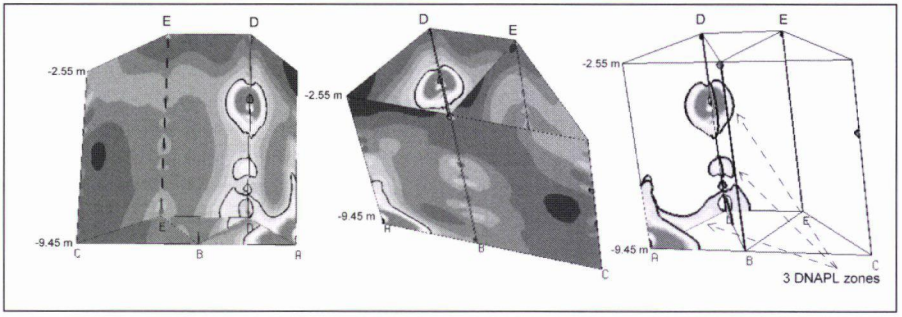


FIGUUR 3. DE ERT-PROFIELEN (4 VAN DE 7) OP LOCATIE UTRECHT MET DE GRONDWATERMONSTERS.



FIGUUR 4: DE FABRIEKSHAL IN DRENTHE MET DE VIJF ERT- BOORGATEN.

De methode is gebruikt in combinatie met grondwatermonsters om uit te sluiten dat de hoge weerstanden in de opgespoorde zones een andere oorzaak hebben. Ook onder verontreinigde locaties met een toplaag met veel infrastructuur (leidingen, kabels, beton, kelders, etc.) werkt ERT goed. In de nabije toekomst blijft de optimalisering van de ERT-metingen (resolutie, aanbrengen kabels, kosten) een aandachtspunt. Op locaties met sediment met een hoge elektrische weerstand (bijvoorbeeld sterk grindig sediment) of waar gebiedsvreemde objecten (bijvoorbeeld vaten) op dezelfde diepte zitten als de meetkabels zal ERT niet goed werken. Bij de voor dit onderzoek gebruikte elektrodeafstand van 0.3 m varieert de detecteerbaarheid van ~0.1 m bij de boorgaten tot ~0.3 m midden tussen de boorgaten. De resultaten van de ERT-metingen zijn zeer belangrijk gebleken voor het goed dimensioneren van de in-situ-saneringsmaatregelen op de locatie te Utrecht. De dimensionering van persluchtinjectie op locatie Drenthe wordt aangepast naar aanleiding van de resultaten van de ERT-metingen.



FIGUUR 5: SEMI- 3- AFBEELDING VAN DE ZEVEN ERT MEETVLAKKEN (2.55-9.45 M-MV) TUSSEN BOORGATEN A T/M E. DE ZONES IN HET RECHTSE PLAATJE HEBBEN EEN HOGE ELEKTRISCHE WEERSTAND (> 150 OHM-M) EN ZIJN GEÏNTERPRETEERD ALS ZAKLAGEN.

In de huidige situatie kan ERT niet financieel concurreren met een conventioneel bodemonderzoek dat tot doel heeft de omvang van de verontreiniging te bepalen. ERT wordt interessant wanneer uit eerder onderzoek is gebleken dat er sprake is van een saneringsnoodzaak en wanneer er zaklagen aanwezig kunnen zijn. De inzet van ERT kan eenvoudig worden gespiegeld aan een reductie van de saneringskosten die worden bereikt. Met name op locaties waar zaklagen zich relatief ongehinderd verticaal kunnen verspreiden is de meerwaarde van ERT groot. Wanneer sprake is van een heterogene bodemopbouw zoals tijdens dit project op locatie Utrecht, kan ERT ook een meerwaarde hebben.

Wanneer zaklagen in-situ gesaneerd worden dan kunnen met behulp van ERT-verschilmetingen de afname in de elektrische weerstand, en hiermee de afname van de omvang van de zaklaag gedurende de sanering bepaald worden.

LITERATUUR

1. B.J.M. Goes, J.A.C. Meekes, P.A.A. Verhaagen, H. Booi en M. Stolzenburg, 2003. Elektrische weerstandstomografie voor het opsporen van DNAPL's. SKB-rapport SV-416.
2. Newark, R.L., W.D. Daily, K.R. Kyle and A.L. Raminez (1998). Monitoring DNAPL pumping using integrated geophysical techniques. Journal of Environmental and Engineering Geophysics, V3, 1, p.7-13.