

# Ondiepe geofysica; op zoek naar detail

*Door de intensivering van het gebruik van de ondiepe ondergrond neemt de behoefte aan gedetailleerde informatie hierover steeds verder toe. Toch zijn technieken die voldoende informatie geven niet zonder meer voor handen. Hoe kan het nu dat in de koolwaterstofsector 'in detail' wordt gekeken naar reservoirs op kilometers diepte, terwijl voor de ondiepe verkenning het nog steeds behelpen is?*

*Voor toepassingen in de ondiepe ondergrondverkenning valt veel te leren van de reflectie-seismiek zoals die gebruikt wordt in de olie en gas sector. De seismische reflectie is voor ondiepe toepassingen met name geschikt voor gedetailleerd, eventueel 3-dimensioneel, onderzoek. Ook de grondradar is goed inzetbaar voor gedetailleerd onderzoek. Voor een meer globale verkenning van de ondergrond, bijvoorbeeld voor lijninfrastructuur zoals dijken, kabels en wegen, zijn geo-elektrische en/of elektromagnetische technieken meer geschikt. Deze zijn goedkoper, maar geven dan ook minder detail.*

*Voor het bepalen van de heterogeniteit van de ondergrond is geofysisch onderzoek zinvol en kan derhalve als gids worden gebruikt alvorens met ondergrondse activiteiten wordt begonnen.*

Het is niet eenvoudig vast te stellen hoe de ondergrond is opgebouwd. Met veel gebruikte technieken zoals boringen en sonderingen kan men wel een indruk krijgen van de ondergrond, een nadeel is echter dat een eind verderop de opbouw weer geheel anders kan zijn dan op de plaats van de boring. Als voorbeeld voor dit heterogene karakter is het resultaat van de bodemverkenning ten behoeve van de Heinenoord tunnel weergegeven (figuur 2).

Vaak is er behoefte aan een betere beschrijving van de ondergrond. Dit geldt voor bijvoorbeeld de olie- en gasindustrie, de mijnbouw, het grondwaterbeheer en ook voor de civiele en de bodemsanerings-sector. Voor de verschillende toepassingen zijn bodemverkenningstechnieken ontwikkeld die vanaf het oppervlak of vanuit boorgaten kunnen worden toegepast. Enkele van deze zogenaamde geofysische technieken zijn: reflectie-seismiek, zwaartekrachtmetingen, grondradar, geo-elektrische en elektromagnetische metingen.

In dit artikel wordt naar de technieken gekeken die voor de verkenning van de ondiepe ondergrond (tot ca. 100 m) worden toegepast. Verder wordt ingegaan op de mogelijkheden om de kennis en ervaring opgedaan met de diepe verkenningstechnieken te gebruiken voor ondiepe toepassingen. Voor een beschouwing van de verkenningstechnieken voor de diepe ondergrond wordt verwezen naar het artikel 'De diepe ondergrond in beeld' elders in dit blad.

Sjef Meekes en Henk Cox

**Figuur 1: Voorbeeld van een standaard 2D seismische sectie.**  
(Uit: A.W. Bally Seismic Expression of Structural Styles).

## Over de auteurs



### Drs. J.A.C. Meekes

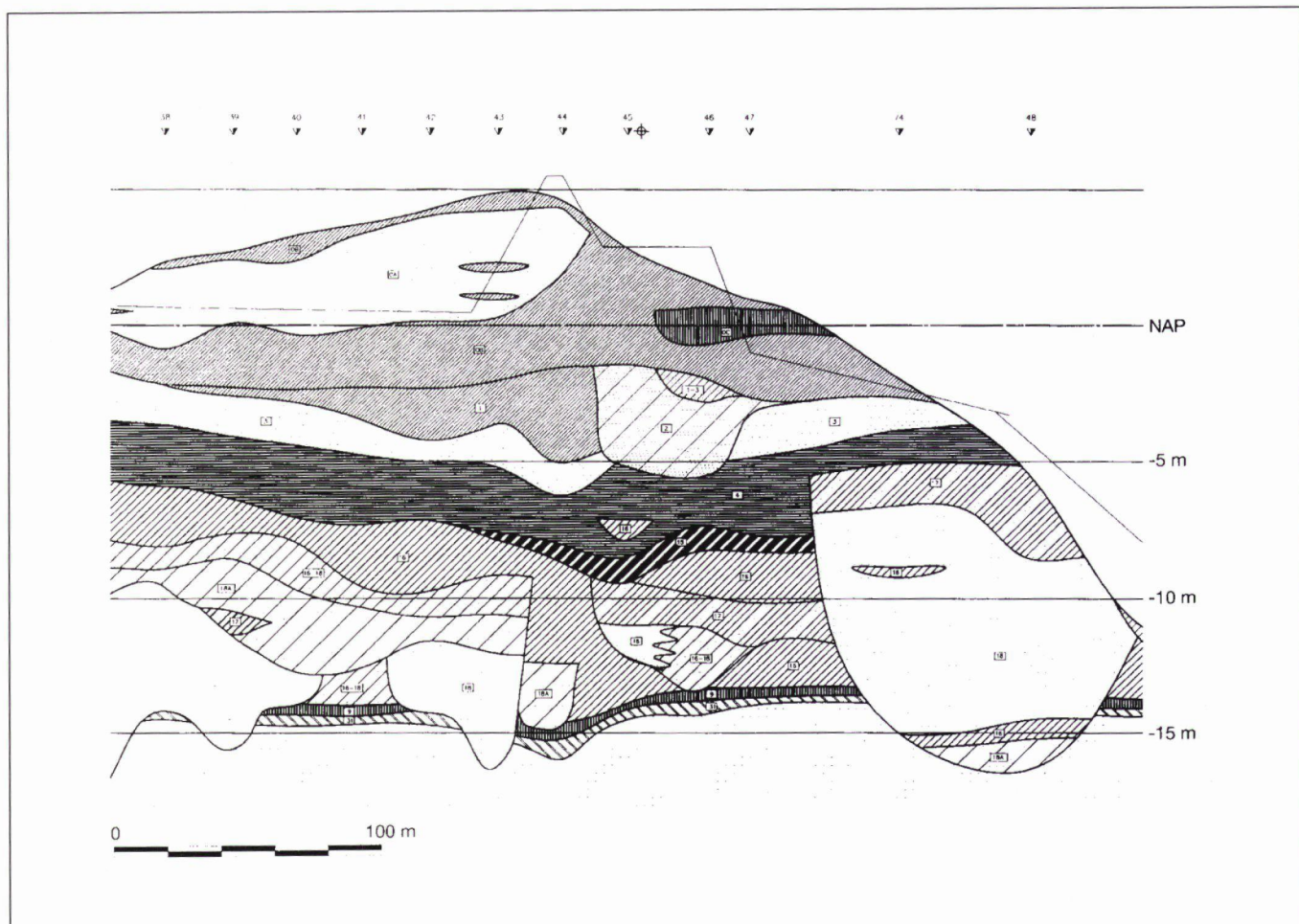
is hoofd van de sectie Geofysica in de afdeling Geo-Energie van TNO Grondwater en Geo-Energie



### Dr. ir. H.L.H. Cox

is geofysicus in de sectie Geofysica in de afdeling Geo-Energie van TNO Grondwater en Geo-Energie





Figuur 2: Deel van een bodemprofiel van de te boren tweede Heinenoord tunnel.

### Verkenning van de ondiepe ondergrond

Voor verkenning van de ondiepe ondergrond wordt vaak gewerkt met boringen en/of sonderingen. Hierbij wordt de ondergrond tamelijk homogeen voorgesteld en vertrouwt men op de gegevens van de enkele beschikbare metingen. Door het toenemend gebruik van de ondiepe ondergrond, neemt ook de behoefte aan gedetailleerde informatie sterk toe.

Technieken die meer gedetailleerde informatie kunnen verschaffen maken het bijvoorbeeld mogelijk om te anticiperen op onvoorziene obstakels waardoor de kosten van het betreffende werk beter zijn te beheersen. Zo kost bijvoorbeeld het onderbreken van het boorproces van een spoorwegtunnel, door de aanwezigheid van een obstakel, handen vol geld. Zo ook is gedetailleerde kennis over de ligging van meer of minder permeabele lagen van essentieel belang voor het kunnen beheren van verontreinigingen in de ondergrond.

Toch zijn technieken die voldoende informatie geven over de ondiepe ondergrond niet zonder meer voor handen. Hoe kan het nu dat in de koolwaterstofsector 'in detail' wordt gekeken naar reservoirs op kilometers diepte, terwijl voor de ondiepe verkenning het nog steeds behelpen is?

De prijs die de geofysische verkenning mag kosten speelt hierbij een belangrijke rol.

Voor de diepe ondergrond mag de prijs veel hoger zijn dan ondiep vanwege de enorme investeringen die gepaard gaan met exploratieboringen en de exploitatie van koolwaterstofreserves. Uitvoering van seismiek is hierbij onontbeerlijk voor een nauwkeurige afbeelding van de ondergrond. Hierdoor wordt een continue ontwikkeling van deze techniek gewaarborgd.

Voor de verkenning van de ondiepe ondergrond is veel minder geld beschikbaar dan voor de verkenning van de diepe ondergrond. Hierdoor is er een gebrek aan innovatie binnen de traditionele technieken.

Een traditionele techniek voor de verkenning van de ondiepe ondergrond is bijvoorbeeld de geo-elektrische. In essentie is de huidige techniek gelijk aan die van decennia geleden.

### Geo-elektrische en elektromagnetische methoden

De technieken die de elektrische weerstand van de ondergrond in kaart brengen zijn de geo-elektrische (GE) en de elektromagnetische (EM) techniek. Het eindresultaat van beide technieken is een afbeelding van de verdeling van de elektrische weerstand in de ondergrond.

De elektrische weerstand is gerelateerd aan zand- en kleiverdelingen en aan het gehalte opgeloste stoffen in het water in de poriën. In tegenstelling tot de reflectie technieken, die gevoelig zijn voor een laagovergang, wordt bij deze technieken de eigenschap van een bepaald deel van de ondergrond als volume eigenschap gemeten.



Beide technieken geven hierdoor een veel globaler beeld van de ondergrond dan de (hierna beschreven) reflektieseismiek en grondradar. Een fundamenteel probleem is verder dat er meerdere ondergrondmodellen mogelijk zijn die de metingen verklaren. Aan een reductie van dit probleem wordt nauwelijks gewerkt. Aan de andere kant zijn ondiep vaak sonderingen beschikbaar zodat integratie van de gegevens toch zeer nuttige informatie over laterale veranderingen kan opleveren.

In de geo-elektriek wordt met elektroden gewerkt die in de bodem worden aangebracht. Bij de elektromagnetische technieken worden zender en ontvanger boven het aardoppervlak voortbewogen. Dit laatste heeft voordelen in de snelheid waarmee in het veld de data kunnen worden verkregen. Een nadeel is dat alle geleidende objecten in de buurt van de meetopstelling bijdragen leveren aan het gemeten veld en aanzienlijke storing kunnen opleveren. Op een fabrieksterrein is de toepassing van elektromagnetische technieken daarom niet eenvoudig door aanwezigheid van bijvoorbeeld bovengrondse tanks en metalen leidingen.

## Grondradar

In de laatste jaren is er veel ontwikkeling geweest op het gebied van de grondradar. Het is een techniek die met name zeer ondiep (afhankelijk van de omstandigheden 1 - 40 m) goed werkt. Grondradar is een reflectie techniek. Aan grenzen van lagen met verschillende permittiviteit (een maat voor de hoeveelheid elektrische lading die kan worden opgeslagen) wordt een deel van het elektromagnetische veld dat door een zender de grond in wordt gestuurd, gereflekteerd. Bij grondradar wordt evenwel, in tegenstelling tot de reflektieseismiek, nauwelijks met meerdere ontvangers gewerkt. Mede door het gebruik van slechts één ontvanger, maar ook omdat niet geboord hoeft te worden, is de grondradar in het veld efficiënter dan de hoge resolutie seismiek. De belangrijkste beperking voor een brede toepassing van grondradar ligt in het feit dat radargolven gedempt worden in een medium met een relatief hoge elektrische geleiding. De ondergrond is vaak dermate geleidend, met name onder de grondwater-spiegel, dat de radargolven nauwelijks penetreren beneden het grondwaterniveau.

## Hoge Resolutie Seismiek

De in de diepe verkenning succesvolle reflektieseismiek (*figuur 1*), waarbij gekeken wordt naar fenomenen met afmetingen van tientallen meters, wordt steeds vaker toegepast voor ondiepe toepassingen. Hierbij wordt de term hoge resolutie seismiek (HRS) gebruikt, aangezien voor ondiepe toepassingen een hogere resolutie dient te worden verkregen, soms in de orde van decimeters. Dit wordt bereikt door geluidsgolven met hogere frequenties te gebruiken. Voor het opwekken van hoogfrequentie golven is het beter een explosieve lading te gebruiken die wordt afgevuurd onder het grondwaterniveau of in relatief vast materiaal. Voor het verkrijgen van goede resultaten is het maken van kleine boorgaten tot in een dergelijke laag derhalve bijna een must. Verder is het zo dat het registreren van reflecties van ondiepe laaggrenzen kleine afstanden tussen de ontvangers en de verschillende schotposities impliceert. Daarmee wordt de techniek arbeidsintensief omdat door de kleine afstanden tussen de schotposities vele gaten op kleine afstanden (enkele meters) geboord dienen te worden. Ook blijkt het om verschillende

redenen moeilijk goede reflecties van zeer ondiepe lagen te registreren. Toch is reflektieseismiek een interessante techniek voor de verkenning van de ondiepe ondergrond omdat in de meeste gevallen het in principe mogelijk is goede signalen op te nemen. Ook biedt seismiek de mogelijkheid om een 3-dimensioneel beeld van de ondergrond te maken. Wat betreft de inzet mogelijkheden zijn grondradar (zeer ondiep) en HRS (iets dieper tot grote dieptes) complementair.

Op termijn zal voor de ondiepe verkenning een verschuiving plaats moeten vinden van 2D naar 3D onderzoek. De ondergrond is nu eenmaal 3D, en de 3D eigenschappen beïnvloeden de '2D' gegevens. Hiermee wordt momenteel in de 2D interpretatie geen rekening gehouden.

## Samenvatting

Tot slot zijn in *tabel 1* de karakteristieken weergegeven van de verschillende beschreven technieken.

**Tabel 1: Overzicht van een aantal karakteristieken van geofysische verkenningstechnieken die genoemd worden.**

Techniek	GE	EM	Grondradar	HRS
Bodem parameter die de respons bepaalt	elektrische geleiding	elektrische geleiding	permittiviteit	elastische impedantie
Type techniek	meting van gemiddelde eigenschap over volume		reflektietechniek	
Resolutie en nauwkeurigheid	neemt sterk af met diepte globale verkenning		neemt weinig af met diepte gedetailleerde verkenning	
Dieptebereik	tot enkele honderden meters		tot ca 40 m	5 m-enkele honderden meters
Toepassingsgebied	bepaling zoutgehalte struktuurbepaling vervuiling detectie (metalen) objecten		detectie van objecten en holle ruimten vochtgehalte onverzadigde laag	gedetailleerde verkenning breukdetectie struktuurbepaling