

Onderzoek rond structuren Urk

Een motteburcht gevonden? en misschien ook een nederzetting uit de steentijd?



Afbeelding 1: (Topotijdreis afbeeldingen)

Administratieve gegevens

Projectnaam:	Natuur of Motte
Projectcode:	URK-26
Gemeente:	Urk
Toponiem:	Mogelijke Motte
Werkgebied:	Vormtweg
Kadasterkaart:	Ruud Raats
RD-centraal-coördinaten:	x171390 y521400
Periode onderzoek:	14 april 2026
Vooronderzoek:	Ruud Raats
Auteurs:	Henk Burgers/Gerrit de Groot, namens de Werkgroepsleden
Zoompresentatie:	Peter Seinen
Rapportnummer:	WGMA-Rapport-URK-26-Versie-3
Rapportdatum:	11 juli 2026



Afbeelding 2: Locatie (Ruud Raats)

Verzendlijst

Werkgroep voor Geofysische Meettechnieken in de Archeologie
Werkgroepsleden

Aanvrager:
AWN Flevoland, contactpersoon Archie Ermans.

Andere betrokkenen
Gemeente Urk, Provincie Flevoland.



Colofon

Coördinatie werkgroep:

GIS en vooronderzoek:

Archeologie:

Radartechniek, uitwerking en rapportage:

Wim 't Hart

Ruud Raats

Channa Cohen Stuart

Henk Burgers/Gerrit de Groot



WERKGROEP ARCHEOLOGISCHE GEOFYSICA

Inhoudsopgave

1	SAMENVATTING, CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	5
2	DOEL INZET WGMA EN ONDERZOEKSVRAAG	6
3	EERDER UITGEVOERD ONDERZOEK	7
3.1.	ACHTERGROND	7
3.2.	LOCATIE	8
3.3.	GEOLOGISCHE EN GEOMORFOLOGISCHE CONTEXT	9
3.4.	MEETVLAKKEN EN ADVIES	11
3.5.	VELDSITUATIE	12
4	RESULTATEN VAN HET ONDERZOEK	13
4.1.	ARCHEOLOGISCHE INTERPRETATIE VAN DE METINGEN	13
5	LITERATUUR.....	16
6	BIJLAGE 1 SCANRESULTATEN	17
7	BIJLAGE 2 ONDERZOEKSMETHODEN EN TECHNIEKEN	30
7.1.	HET FYSISCH PRINCIPE VAN BODEMRADAR.....	30
7.2.	HET FYSISCH PRINCIPE VAN DE ELEKTRISCHE WEERSTANDSMETING.....	33
8	BIJLAGE 3 DE PROCEDURE VOOR HET UITWERKEN.....	36
9	BIJLAGE 4 TECHNISCHE SPECIFICATIES APPARATUUR EN SOFTWARE.....	38
10	BIJLAGE 5: ADVIES EN EXTRA INFORMATIE	40

1 Samenvatting, conclusies en aanbevelingen

Op 14 april 2026 is op aanvraag van de afdeling Flevoland van de AWN door de Werkgroep Geofysische Onderzoekstechnieken in de Archeologie (WGMA) een bodemonderzoek uitgevoerd nabij de Vormtweg te Urk. Aanleiding hiervoor waren ringvormige beelden, die zichtbaar waren op luchtfoto's van de RAF uit 1944. De vraag was of hier wellicht sprake was van een motte of ringwalburcht, die hier ooit gelegen kon hebben.

De bodemopbouw blijkt volgens het door Ruud Raats uitgevoerde vooronderzoek te bestaan uit een laag ziltig zand van ca. een meter diepte, gelegen op klei- op veenlagen.

Gekozen is voor onderzoek met de bodemradar, mede ook door de aanmerkelijke grootte van het te onderzoeken vlak, ca. 300 x 100 m., waardoor ook de inzet van mechanische tractie noodzakelijk was.

De reflecties geven inderdaad een of meer ringvormige tekeningen weer met een scherpe afscheiding tussen sterke en zwakke reflecties, die het beeld geven van halve concentrische cirkels, die tot twee meter diepte zichtbaar blijven (zie bijlage 1 over de betekenis van de reflectiekleuren). Aan de zuidelijke kant bestaat de begrenzing uit een pad waarachter zich een bos bevindt. Het is te verwachten dat de andere helft van de cirkelvormen zich daar bevindt.

Meer oostelijk op het onderzoeksvlak zijn veel reflecties zichtbaar die onderling niet veel samenhang hebben vooral ook doordat het vlak daar niet in zijn geheel kon worden gescand. Voorlopig zou er hier sprake kunnen zijn van ankersporen.

Aan de westelijke kant van het onderzoeksvlak is op foto's een langwerpige donkere verkleuring te zien, die zich aftekent van NW naar ZO. De reflecties daar laten een scherpe afscheiding zien tussen sterk en zwak langs de ZW lijn van het donkere stuk. Daar op de plek van de sterke reflecties ook veel vuursteenvondsten gedaan zijn ontstaat het vermoeden van een beekloop waarvan op de oever activiteit met vuursteenbewerking heeft plaatsgevonden. Deze beekloop zet zich mogelijk voort naar het middenstuk van het onderzoeksveld, waar eveneens een scherpe scheidingslijn te zien is tussen sterk en zwak reflecterend materiaal.

We kunnen concluderen dat het onderzoek een ringconstructie met concentrische cirkels heeft aangetoond en daarnaast ook een vroegere beekloop met scherp afgescheiden reflecties waar ook vuursteenvondsten zijn gedaan.

Aanbeveling:

1. Middels boringen meer duidelijkheid zoeken over strekking van de beekloop en de aard van de reflecties daarlangs.
2. De ringstructuur nogmaals scannen over een breder vlak en indien mogelijk ook de bodem in het bos onderzoeken.
3. Zie bijlage 5 voor verdere onderzoekgebieden

2 Doel inzet WGMA en onderzoeksvraag

Doel inzet WGMA

Het doel van de inzet van geofysisch onderzoek door de WGMA is om het bestaan van een motte op deze locatie aan te tonen dan wel te ontkrachten.

Vraagstelling

Kunnen we met behulp van geofysisch onderzoek het bestaan van een motte op deze locatie aantonen?

3 Eerder uitgevoerd onderzoek

3.1. Achtergrond

Een luchtfoto uit 1944 (RAF) toont diverse structuren in het landschap ten noordoosten van Urk. Sommige structuren lijken parallelle lijnen. Zijn het natuurlijke landschappelijke vormen, wegen of voormalige grachten rondom een motte?



Afbeelding 3: Luchtfoto RAF (1944) met binnen de rode cirkel de concentrische lijnen.

3.2. Locatie



Afbeelding 4: Locatie overzicht (PDOC)

3.3. Geologische en geomorfologische context

Om eventuele fysieke structuren in de ondergrond te kunnen „zien“, moeten we vooraf weten met welke bodemsoort we te maken krijgen. Interpretatie van bodemradargegevens of mogelijke weerstandsmetingen kunnen hierop invloed hebben. De geomorfologische kaart van Nederland helpt ons hierbij, in combinatie met de grondboringen van Data en Informatie van de Nederlandse Ondergrond (DINO).¹ (afbeeldingen 5 t/m 8)

De geomorfologie in dit deel is M53 (Vlakte van ten dele verspoelde dekzanden of löss). De definitie volgens <https://legendageomorfologie.wur.nl/?eenheid=M53> luidt:

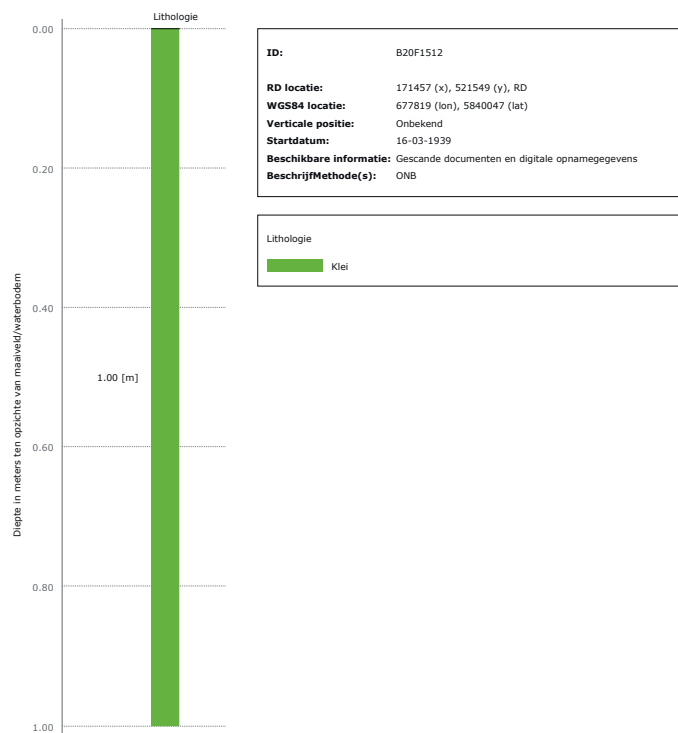
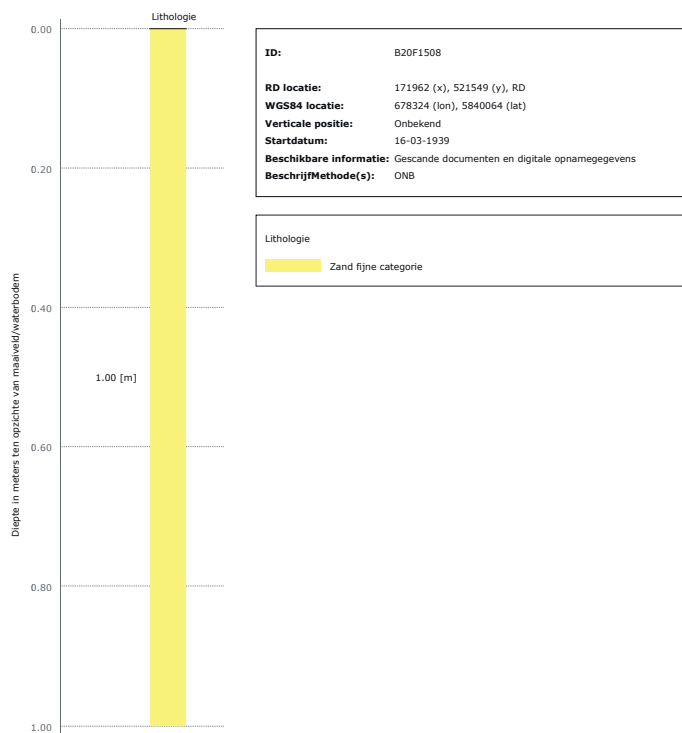
“Het water van de in het voorjaar smeltende sneeuwmassa's heeft eertijds in sommige terreingedeelten vrij veel dekzand opgenomen en in lage gebieden weer afgezet, waar vervolgens soms weer geringe verstuiwing plaats vond. Het betreft hier vormsubgroep M53, die o.a. voorkomt in de Geldersche Vallei. Niet alleen zand, maar ook de door de wind onder arctische omstandigheden afgezette löss is op vele plaatsen nadien door water verplaatst. Het op deze wijze afgezette materiaal ligt zowel relatief laag als relatief hoog. Dergelijke vormen zijn o.a. nabij Boxtel te vinden.”

De bovenste lag (tot ± 1 meter Mv) bestaat uit zand of ziltig zand. Daaronder is de kans groot dat het klei-op-veen-lagen betreft (zoals bij boring B20F0808).

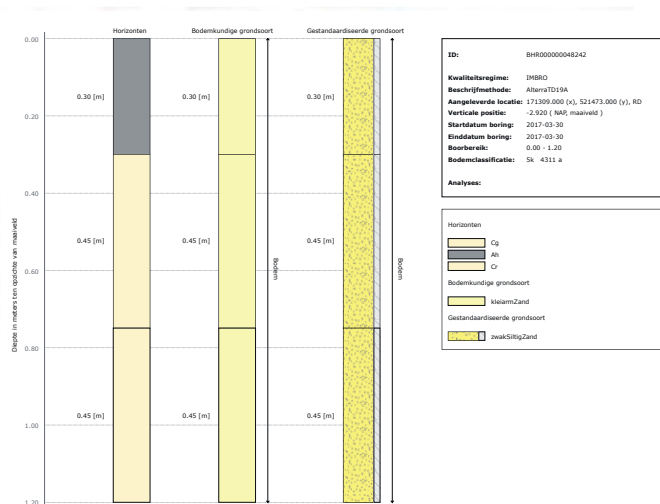


Afbeelding 4: DINO-booronderzoek (gecombineerd)

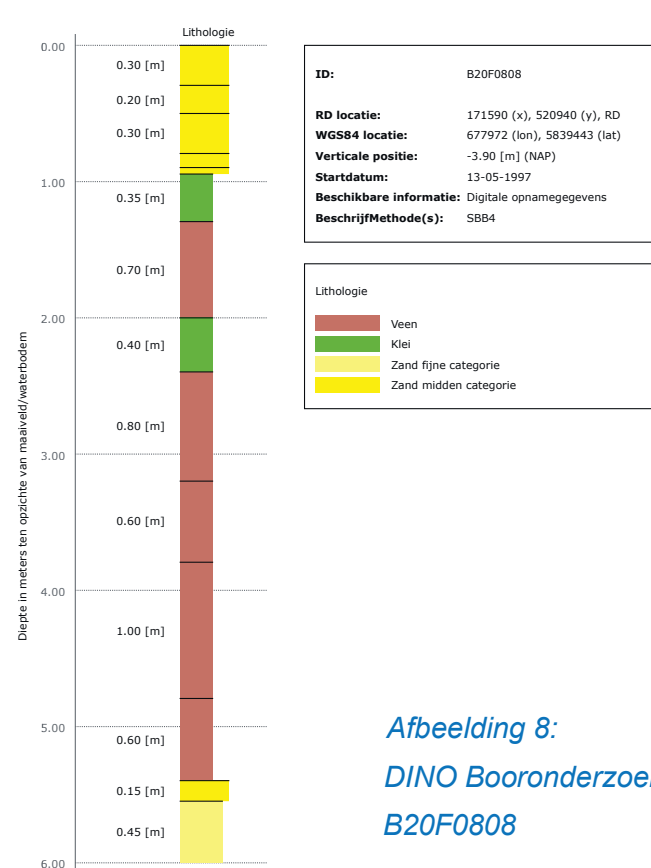
¹ <https://www.dinoloket.nl/ondergrondgegevens>



Afbeelding 5: DINO booronderzoek B20F1508 Afbeelding 6: DINO Booronderzoek B20F1512



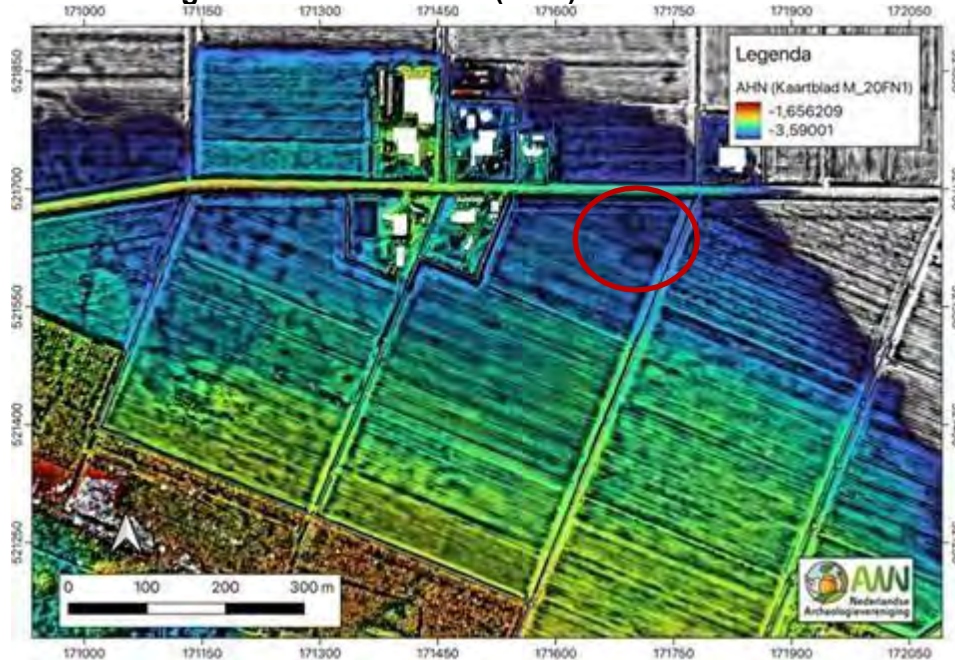
Afbeelding 7:
DINO Booronderzoek BHR0000D0048242



Afbeelding 8:
DINO Booronderzoek
B20F0808

3.4. Meetvlakken en Advies

Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN)



Afbeelding 9: AHN

Structuren



Afbeelding 10: Structuren, Archis Vondstmeldingen, Meetvlak

Advies

Gezien het grote oppervlak ruim 4 hectare (meetvlak, zie afbeeldingen 4 en 10) is dit zonder mechanische ondersteuning niet in het voorgeschreven tijdsbestek uitvoerbaar

3.5. Veldsituatie

De scan op Urk heeft plaats gevonden in een veld waar het afgelopen jaar mais heeft gestaan wat in het najaar is geoogst.

Om de scan mogelijk te maken is het veld niet bewerkt (ploegen) waardoor de stoppels er nog opstonden.

Om zoveel als mogelijk oppervlakte te kunnen scannen is door de aanvrager een 4-wiel drive quad gehuurd.



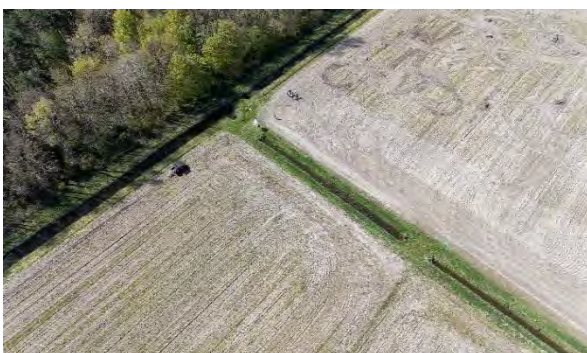
Dit werkte goed daar de quad niet al te zwaar was maar het oneffen terrein stond hoge rijsnelheden niet en in een aantal gevallen was de 4-wiel drive noodzakelijk.

Het werkt wel een stuk aangenamer en minder inspannend.

De bodemradar stond op de slee en had behoorlijk last van de oneffenheden in het terrein naarmate uitwerking is niet gebleken dat dit negatief heeft uitgewerkt op de kwaliteit van de scan.

Afbeelding 11: de scan

Er was ruim gelegenheid om vuursteen te zoeken door de deelnemers.



Afbeelding 12: Luchtfoto 's en veldsituatie

4 Resultaten van het onderzoek

De resultaten worden in twee aparte delen gepresenteerd:

- De geofysische interpretatie, die de reflecties vertaalt naar mogelijk antropogene structuren. Hierbij wordt een aantal reflectiepatronen voor verschillende dieptes geselecteerd en weergegeven als aanzet tot de discussie over de archeologische interpretatie. Tijdens de discussie over de archeologische interpretatie wordt met behulp van het programma Voxler © het 3D model voor meerdere dieptes bekeken en besproken.
- De archeologische interpretatie die de structuren uit de geofysische interpretatie vertaalt naar archeologische structuren. De interpretatie is een resultaat van discussies tussen de opstellers van de geofysische interpretatie, de aanvrager en deskundige(n).

4.1. Archeologische interpretatie van de metingen

Samen met de opdrachtgever(s)

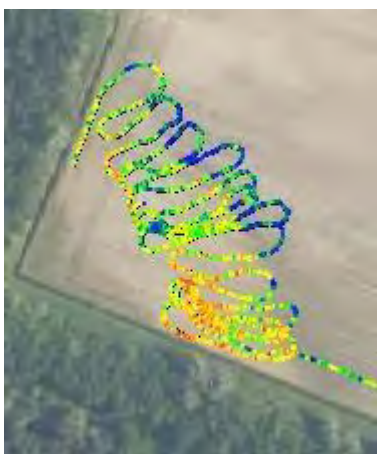
Het resultaat van de scan is opmerkelijk. Aan de westzijde van het vlak was een mooi grensvlak zichtbaar wat leek op misschien een oude beekstroom, afbeelding 15 gaat daar verder op in. Opvallend is dat de scheidingslijn van de reflecties scherp samenvalt met het donkere vlak dat op de luchtfoto zichtbaar is. Op het terrein met de groene en gele reflecties zijn vuursteenvondsten gedaan. Ook in het middenvlak is een scherpe scheiding zichtbaar, wat doet vermoeden dat ook hier in postglaciale periodes een oever van de beekloop geweest is. Boringen kunnen meer helderheid geven over wat hier aan de hand is.

Ook het middengedeelte is bijzonder, een halve cirkelvormige structuur met een doorsnede van 60 a 80 m, die een indruk geeft van een motte (afb. 16). De reflecties blijven tot 2 meter diepte zichtbaar. Voor meer duidelijkheid over de omvang en het aantal concentrische cirkels zou een groter vlak gescand moeten worden.

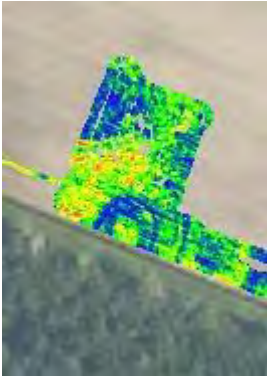
De rechterzijde was nog te fragmentarisch voor een beter beoordeling (afbeelding 17). Hier kan evenwel sprake zijn van ankersporen.



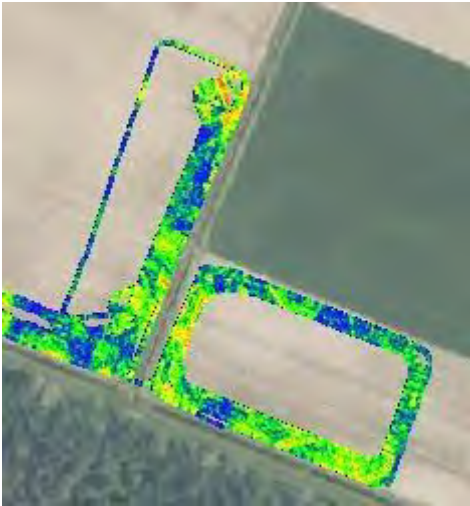
Afbeelding 14: Plot van de scan ca 100cm diepte



Afbeelding 15: deelPlot van de scan ca 100cm diepte



Afbeelding 16: deelPlot van de scan ca 100cm diepte



Afbeelding 17: deelPlot van de scan ca 100cm diepte

5 Literatuur

Conyers, L.B., 2012, Interpreting Ground-penetrating Radar for Archaeology, Left Coast Press, Walnut Creek California.

Verbeek B., Seinen, P.A., Hemelaar, R., 2018, Echo's uit het verleden, bodemradar in de archeologie: toverij of wetenschap, Boekscout.

6 Bijlage 1 Scanresultaten

Verklaring van de kleuren in de afbeeldingen.

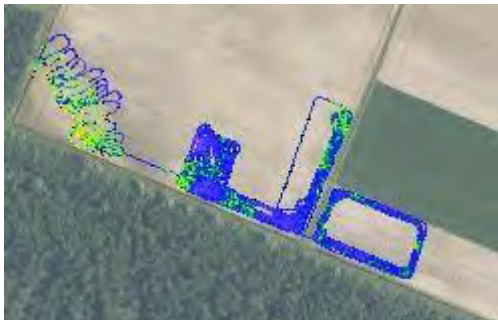
Bij geofysisch grondradaronderzoek wordt een radarsignaal de grond ingestuurd. Dit radarsignaal kan weerkaatsen op objecten of op overgangen in bodemlagen in de ondergrond. Het terugkaatsende radarsignaal wordt opgevangen, gemeten en opgeslagen. Voor succesvol gebruik bij archeologisch veldwerk moeten de archeo-logische resten dus een weerkaatsend vermogen hebben.

De teruggekaatste radarsignalen (reflecties) worden verwerkt in kleuren. De lage reflecties zijn blauw (links van de regenboog kleur zie afbeelding A). Hoe hogere reflecties krijgen de kleuren naar rechts zoals zichtbaar in afbeelding A.

De gebruikte aangepaste kleurinstelling is zichtbaar in afbeelding B.

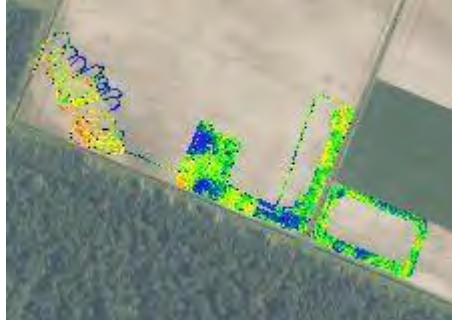
Rainbow

Afbeelding A



Custom

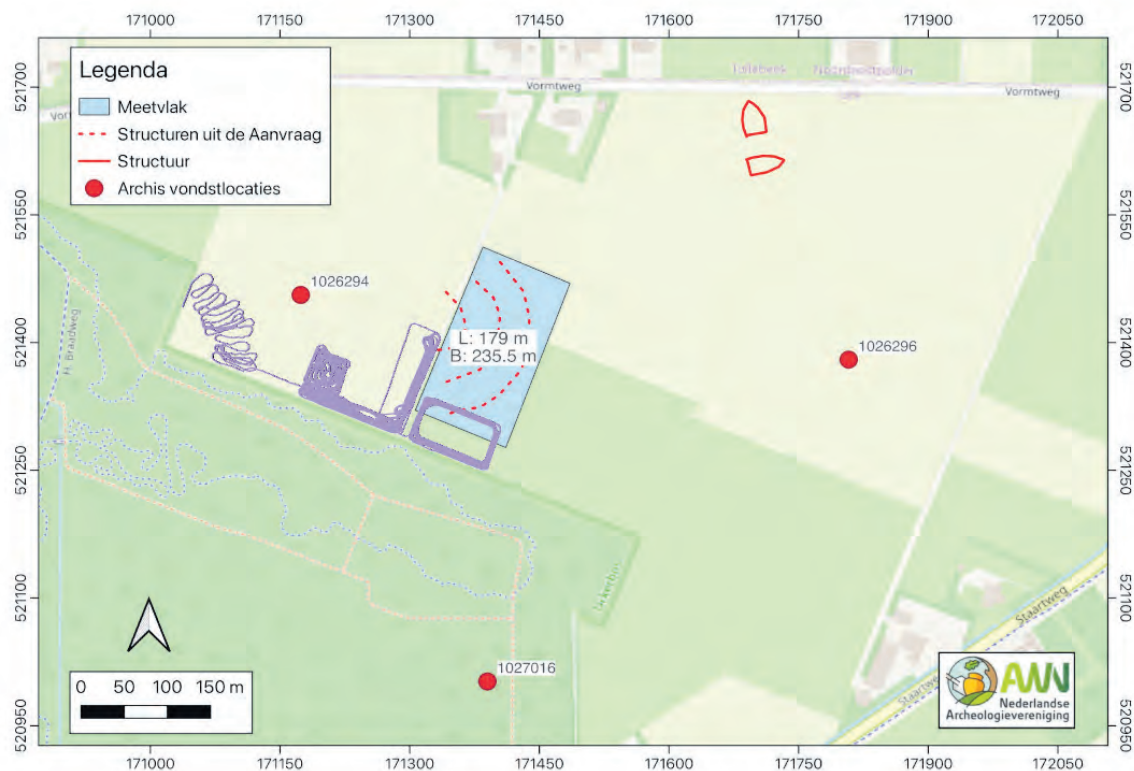
Afbeelding B



De reflecties op ca 85cm diepte. Links de standaard instelling en rechts de custom instelling



Afbeelding 1.1: De reflecties op maaiveld (PDOK 2022)



Afbeelding 1.2: De reflecties op maaiveld structuren (R.Raats)



Afbeelding 1.3: De reflecties op maaiveld (1.1 plus 1.2)



Afbeelding 2: De reflecties op ca 10cm diepte



Afbeelding 3: De reflecties op ca 20cm diepte



Afbeelding 4: De reflecties op ca 30cm diepte



Afbeelding 5: De reflecties op ca 40cm diepte



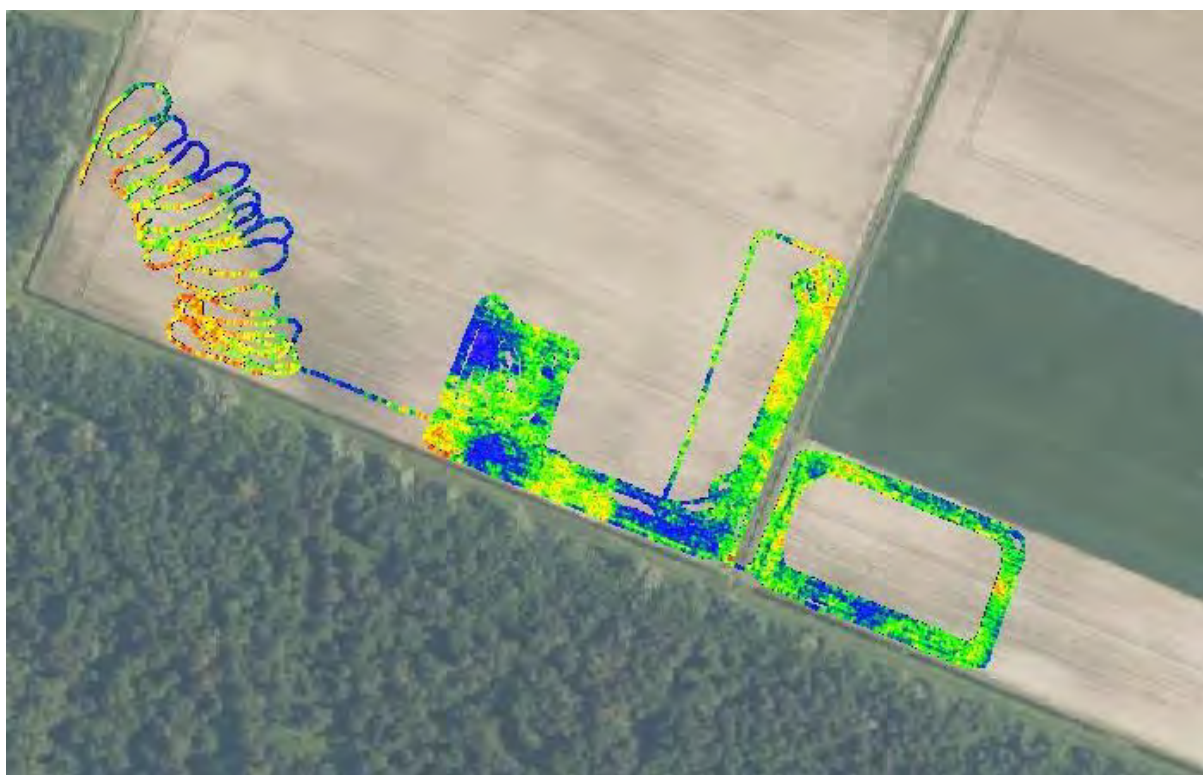
Afbeelding 6: De reflecties op ca 50cm diepte



Afbeelding 7: De reflecties op ca 60cm diepte



Afbeelding 8: De reflecties op ca 70cm diepte



Afbeelding 9: De reflecties op ca 80cm diepte



Afbeelding 10: De reflecties op ca 90cm diepte



Afbeelding 11: De reflecties op ca 100cm diepte



Afbeelding 12: De reflecties op ca 110cm diepte



Afbeelding 13: De reflecties op ca 120cm diepte



Afbeelding 14: De reflecties op ca 130cm diepte



Afbeelding 15: De reflecties op ca 140cm diepte



Afbeelding 16: De reflecties op ca 150cm diepte



Afbeelding 17: De reflecties op ca 160cm diepte



Afbeelding 18: De reflecties op ca 170cm diepte



Afbeelding 19: De reflecties op ca 180cm diepte



Afbeelding 20: De reflecties op ca 190cm diepte



Afbeelding 21: De reflecties op ca 200cm diepte



Afbeelding 22: De reflecties op maximale diepte

7 Bijlage 2 Onderzoeksmethoden en technieken

De werkgroep gebruikt momenteel twee soorten geofysische technieken: de bodemradar en de elektrische weerstandsmeting. In dit hoofdstuk worden de globale fysische principes besproken, die nuttig kunnen zijn om de resultaten beter te kunnen interpreteren.

Voor dit specifieke onderzoek werd alleen de bodemradar ingezet.

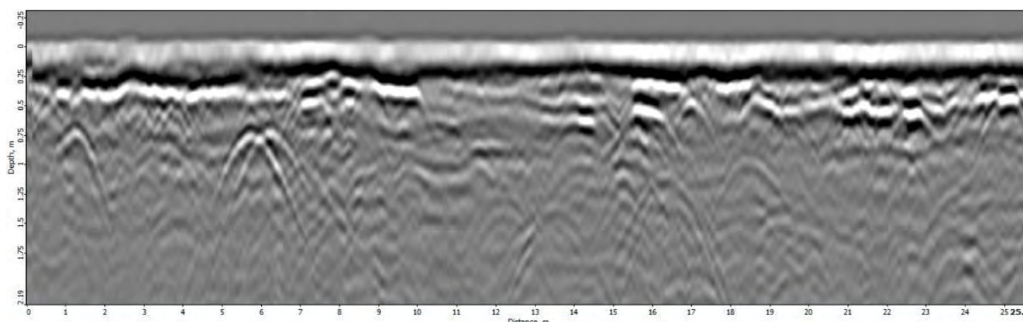
7.1. Het fysisch principe van bodemradar

Archeologie bestaat doorgaans uit structuren en artefacten die vaak uit materialen bestaan met een andere samenstelling dan de bodemmatrix. De grensvlakken tussen die materialen en de bodemmatrix kunnen reflecties van radarstraling geven, zoals zichtbaar licht op het grensvlak van lucht en water een reflectie geeft. Door pulsen radarstraling de bodem in te sturen en de reflecties te meten, kunnen die grensvlakken in kaart worden gebracht. Die geven dan informatie over de locatie en vorm van de structuren in de bodem.

De apparatuur en uitvoering

De bodemradar bestaat uit twee antennes. De ene antenne kan radarpulsen de bodem inzenden en de andere kan de reflecties ontvangen. Met een GPS antenne wordt de positie van de bodemradar geregistreerd. Voor locaties waar geen betrouwbaar GPS beschikbaar is, wordt handmatig met een odometer gemeten. Deze methode wordt omwille van specifieke voordelen (Bijlage 4)² steeds vaker toegepast, ook als GPS in principe wel beschikbaar is.

Tijdens de meting zendt de ene antenne een radarpuls de bodem in. Op ieder grensvlak wordt een deel van de straling gereflecteerd en dringt de rest dieper in de bodem door, tot het volgende grensvlak dat ook weer een deel reflecteert. Uit de gemeten tijdsduur tussen het uitzenden en ontvangen van de reflectie kan de diepte, waarvan deze afkomstig is, worden berekend. Door de bodemradar voort te bewegen wordt een bodemscan in het verticale vlak verkregen. Dit wordt een radargram genoemd en laat in een wit-zwart zebrapatroon de golven van gereflecteerde radarstraling zien (Afbeelding 1).

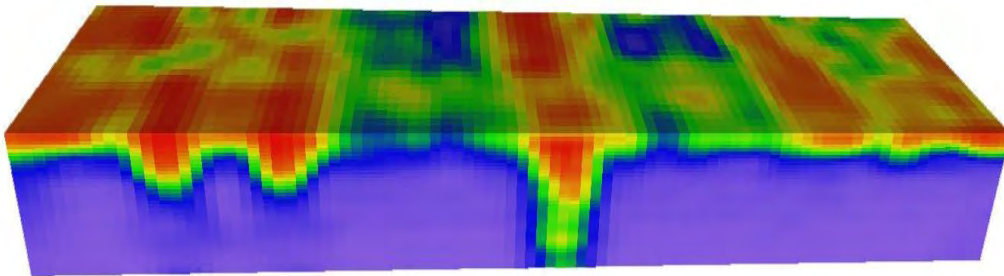


Afbeelding 1: Een voorbeeld van een radardiagram (Peter Seinen).

² Ludwig Boltzmann Institut für Archäologische Prospektion und Virtuelle Archäologie
<https://archpro.lbg.ac.at/>

Door meerdere parallelle scans (raaien) te maken en die met gespecialiseerde software aan elkaar te knopen, wordt een 3D-model (Afbeelding 2) verkregen met de posities van de grensvlakken en dus van de structuren³. De rode en blauwe kleuren geven respectievelijk sterke en zwakke reflecties weer.

De uitwerkingsprocedure en de daarvoor gebruikte specifieke parameters voor de modellering worden gegeven in Bijlagen 4 en 5.



Afbeelding 2: Een voorbeeld van een 3D-model met sterke (rood) en zwakke (blauw) reflecties (Peter Seinen).

Omdat de meetdichtheid, en daarmee de detaillering waarmee de structuren kunnen worden weergegeven in de scanrichting (2 cm per meting) veel groter is dan de richting loodrecht daarop (50- 100 cm per meting), verdient het de aanbeveling om in twee meetsessies beide richtingen (orthogonaal) te scannen. Voor dit project hebben we gekozen voor een raaienafstand van 25 cm, waardoor de orthogonaal meting overbodig wordt⁴.

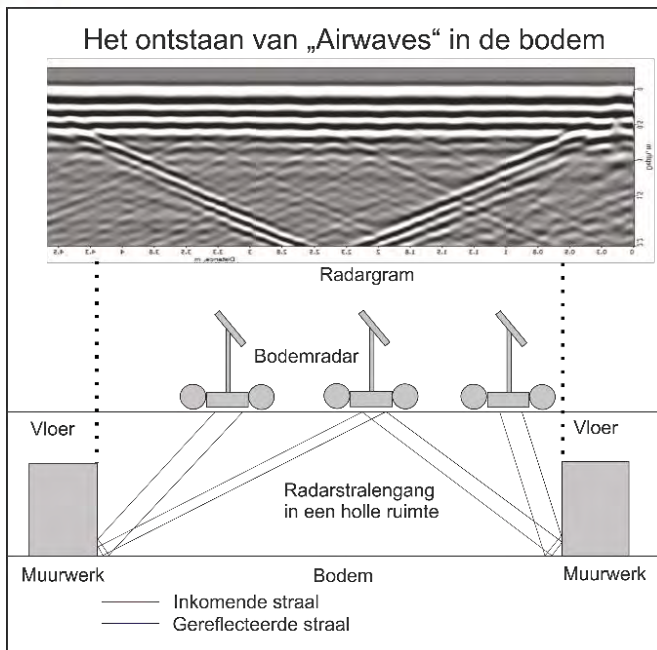
In speciale gevallen, zoals het optreden van holle ruimtes of het voorkomen van metalen in de bodem, geven de radargrammen extra informatie in de vorm van specifieke patronen die zichtbaar worden in het radargram. Deze patronen staan bekend met de begrippen “airwaves” en “ringing”.

Airwaves worden veroorzaakt door reflecties met rechte hoeken. Dit zijn vaak bovengrondse reflecties als gevolg van slechte afscherming van de radarantenne, waardoor straling weglekt. Airwaves kunnen echter ook in de ondergrond ontstaan (Afbeelding 3a).

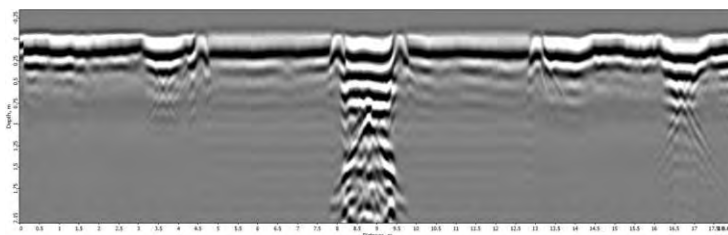
Ringings wordt veroorzaakt door de interactie van de radarzendantenne met een metalen oppervlak (Afbeelding 3b).

³ Verbeek, 2019.

⁴ Ludwig Boltzmann Institut für Archäologische Prospektion und Virtuelle Archäologie



Afbeelding 3a: Het patroon van “airwaves” en hun ontstaan (Peter Seinen).



Afbeelding 3b: Het patroon van “ringing” (Peter Seinen).

Beperkingen

Zoals alle meettechnieken, kent ook bodemradar haar beperkingen. Om te beginnen is transparantie van bodemmateriaal sterk wisselend. Zand is goed transparant en klei is slecht transparant. Zelfs bij een goede transparantie neemt de intensiteit van de reflecties, door absorptie, verstrooiing en uitwaaiing, steeds verder af naarmate de radarstraling dieper in de bodem doordringt. Daarnaast geven niet alle grensvlakken een even sterke reflectie. Als de fysische eigenschappen van het materiaal waaruit de structuur en bodemmatrix bestaan weinig verschillen, kan de reflectie onmeetbaar klein zijn. Anderzijds kunnen reflecties ook door echo's of storingen van de apparatuur veroorzaakt worden. Tenslotte is het de kunst om reflecties van archeologische structuren te onderscheiden van die van geologische en biologische structuren of moderne verstoringen, zoals kabels en leidingen. Met bodemradarmetingen krijg je vrijwel altijd meer reflecties te zien dan die relevant zijn voor de vraagstelling.

Ook de opgegeven diepte is onzeker, omdat deze berekend wordt op basis van een vaak onbekende bodemsamenstelling. Er moet rekening gehouden worden met een marge van plusminus dertig centimeter.

Het devies van bodemradar voor toepassing in de archeologie is dan ook dat conclusies onzeker zijn. Het niet optreden van reflecties betekent niet dat er geen structuren in de bodem zitten. Andersom betekent waarneming van reflecties niet dat die altijd door archeologie veroorzaakt worden.

Er blijft altijd ruimte voor twijfel en het is belangrijk om dat te beseffen.

De bodemmatrix en de eventuele archeologische sporen of objecten moeten wel een voldoende groot verschil in elektrische geleiding hebben.

Hoewel de informatie uit de meetresultaten wel uit de diepte komt, geeft de techniek geen informatie over verschillen in de elektrische geleidbaarheid op verschillende dieptes, zoals dat bij bodemradar wel het geval is. Het resultaat is niet een 3D model van de bodem waaruit doorsnedes op verschillende dieptes genomen kunnen worden, maar is een soort gemiddelde van structuren in de bodem op verschillende dieptes. Hierbij neemt de bijdrage aan de weerstand met toenemende diepte af.

Meer details over de uitwerking van de meetgegevens staan in Bijlagen 4 en 5.

7.2. Het fysisch principe van de elektrische weerstandsmeting

Introductie⁵

Tijdens elektrisch weerstandsonderzoek wordt stroom vanaf het oppervlak door middel van elektroden de grond ingestuurd en wordt de weerstand van de bodem gemeten. Elektrisch weerstandsonderzoek wordt vooral in de karterende fase en de waarderende fase van het Inventariserend Veldonderzoek (IVO) ingezet voor het toetsen en aanvullen van de gespecificeerde archeologische verwachting.

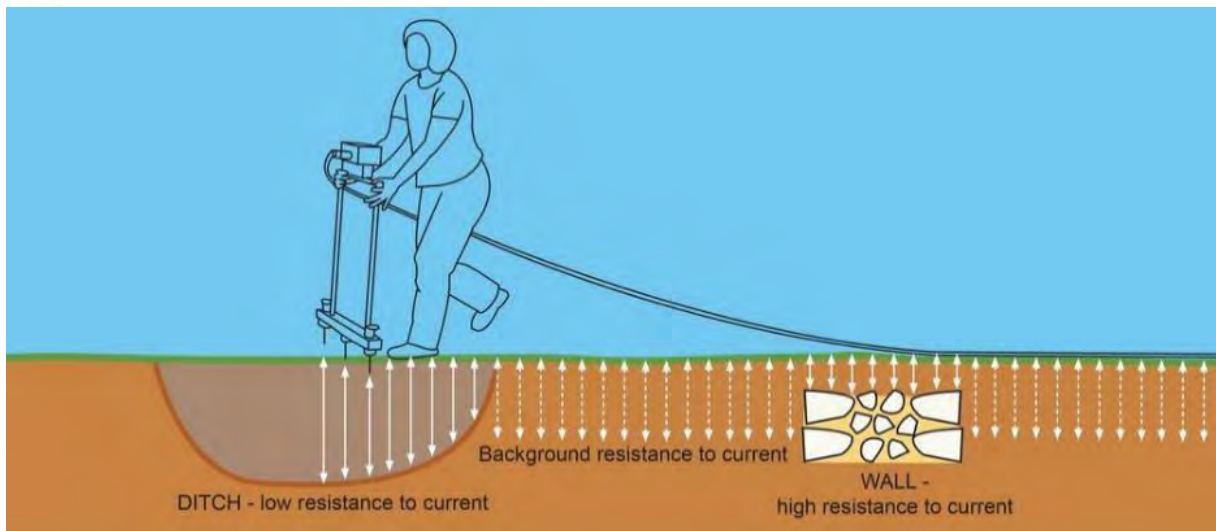
Algemeen

Grachtvullingen hebben gewoonlijk een lagere weerstandswaarde dan de omliggende, natuurlijke bodem. Funderingen van natuursteen, baksteen of beton (bijv. bunkers), uitbraaksleuven, puinlagen en ophoogpakketten (bijv. wallen van schansen) hebben juist een hogere weerstandswaarde. De techniek levert in ideale omstandigheden scherpe beelden op die zeer goed zijn te interpreteren. Vooral muurwerk, diep ingegraven en/of met puin gevulde kuilen, grachten en greppels kunnen zich duidelijk manifesteren in de meetresultaten als scherp begrensde structuren.

Techniek

De weerstandsmeter bestaat uit een looprekje met metalen pinnen die handmatig in de grond worden gestoken. Het looprekje is via een lange elektriciteitskabel verbonden met twee extra pinnen buiten het te onderzoeken gebied. Elektrisch weerstandsonderzoek wordt in principe lopend verricht, er wordt niet met voertuigen over het land gereden. De meetdiepte wordt bepaald door de afstand tussen de elektroden. Alle structuren worden vanaf het oppervlak tot de ingestelde meetdiepte geregistreerd, mits er sprake is van verschillen in weerstandswaarde. Afhankelijk van de diepteligging van de verwachte archeologische resten verdient de diepte-instellingen van de meetapparatuur bijzondere aandacht.

⁵ https://kennis.cultureelerfgoed.nl/index.php/Geofysisch_onderzoek_-_elektrisch_weerstandsonderzoek



Afbeelding: Onderzoek met een weerstandsmeter. Afbeelding door Hampshire Cultural Trust, 2020.

Strategie

De metingen worden in een regelmatig raster verricht. Voor het in kaart brengen van de ondergrondse restanten van een kasteel of klooster volstaat een 1 x 1 m meetraster waarmee maximaal 0,5 ha op een dag kan worden onderzocht. Voor kleinere structuren, zoals greppels en begravingen, wordt een 0,5 x 0,5 m meetraster aanbevolen. Hiermee kan ca. 0,15 ha per dag worden onderzocht. De meetsnelheid is sterk afhankelijk van obstakels in het veld, zoals sloten, bomen, struiken, enz. Ook het grondgebruik bepaalt de snelheid. Een grasveld is makkelijker te meten dan een veld met maïsstoppels waarachter de kabels kunnen blijven haken. Dit kan de snelheid van het onderzoek vertragen.

Welke typen archeologische materialen/landschappen

Elektrisch weerstandsonderzoek is inzetbaar in alle omstandigheden waarin het aannemelijk is dat er vochtverschillen waarneembaar kunnen zijn tussen archeologische sporen en de bodem. Of de verschillen kunnen worden waargenomen is sterk afhankelijk van de lokale omstandigheden en de aard van de archeologische sporen (zie tabel).

Hoge weerstandsafwijkingen	Lage weerstandsafwijkingen
Muren, funderingen	(Kring)greppels
Puin(lagen), uitbraaksleuven, opgravingsputten	Sloten, geulen, grachten
Aangelegde oppervlaktes, ophoogpakketten (bijv. vloeren of dijken)	(Paal)kuilen
Wegen, paden	(Vlak)graven, bijzettingen
Stenen doodskisten, grafstenen	Metalen pijpen, buizen, drains

Tabel: Overzicht van algemene afwijkingen in elektrisch weerstandsonderzoek (Bron: Jelsma & Verschoof-van der Vaart, 2021).

Bijzondere zaken

Tijdens elektrisch weerstandsonderzoek wordt contact met de bodem gemaakt. Meten op bestrating is niet mogelijk.

Weerstandsonderzoek functioneert alleen als er vocht in de bodem aanwezig is. Om deze reden zijn perioden van (langdurige) vorst en droogte niet geschikt voor elektrisch weerstandsonderzoek. De vorst dient geheel uit de grond te zijn, niet alleen aan het oppervlak maar ook dieper in de bodem om te voorkomen dat de weerstandsmeter vorstlenzen registreert. Droogte is vooral een probleem bij het uitvoeren van metingen op snel ontwaterende zandgronden (bijv. duingronden), maar ook op andere bodemsoorten in perioden van extreme droogte.

Beperkingen

De bodemmatrix en de eventuele archeologische sporen of objecten moeten wel een voldoende groot verschil in elektrische geleiding hebben.

Hoewel de informatie uit de meetresultaten wel uit de diepte komt, geeft de techniek geen informatie over verschillen in de elektrische geleidbaarheid op verschillende dieptes, zoals dat bij bodemradar wel het geval is. Het resultaat is niet een 3D model van de bodem waaruit doorsnedes op verschillende dieptes genomen kunnen worden, maar is een soort gemiddelde van structuren in de bodem op verschillende dieptes. Hierbij neemt de bijdrage aan de weerstand met toenemende diepte af

8 Bijlage 3 De procedure voor het uitwerken.

De procedure voor het uitwerken van de meetgegevens kan de procedure zoals beschreven in de handleiding worden gevolgd (WGMA-HAN-GPR-2 Versie-2).

Omdat metingen met of zonder GPS positiebepaling kunnen worden uitgevoerd, valt ook het proces voor de meting en uitwerking uiteen in twee procedures.

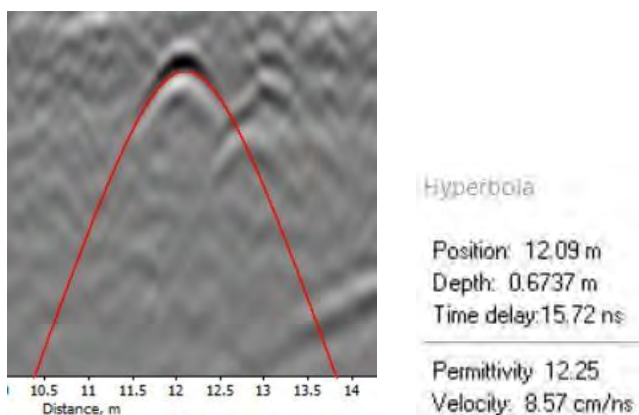
Bij de metingen met inzet van GPS worden tijdens de meting de posities van alle metingen in de meetfile opgeslagen. Hierdoor hoeft in het veld alleen maar een globaal meetvlak te worden uitgezet, dat de te onderzoeken structuren goed afdekt. Bij de uitwerking wordt de instelling van de geometrie (spacing) niet afgestemd op de ware meetdichtheid, maar vastgezet op 0.25 m voor de x- en y-richting en 0.05 m voor de z-richting (diepte).

Bij metingen zonder inzet van GPS worden de metingen opgeslagen in losse delen die corresponderen met de gemeten raaien. De odometer legt de afgelegde afstanden vast. Bij de uitwerking wordt de instelling van de geometrie (spacing) van het raster van de meetdata afgestemd op de ware meetdichtheden van de drie dimensies (looprichting 0.05 m, raaienbreedte 0.25 m en diepte 0.05 m). Hierdoor gaat er vergeleken met de methode die bij GPS-positiebepaling, iets minder informatie verloren. De posities van de meetvlakken, ten opzichte waarvan de raaien gelopen werden, moeten apart met behulp van GPS of ten opzichte van structuren in de omgeving worden vastgelegd. Bij de uitwerking worden losse raaien van de bijbehorende Y-coördinaat voorzien. Voor de huidige raaienbreedte loopt die steeds met 0.25 m op. Omdat gemeten wordt volgens de boustrofedon methode (Grieks voor "zoals een boer ploegt": βουστρουγδόν), moet de meetvolgorde van de even raaien (de 2^{de}, 4^{de}, et cetera) worden omgekeerd. Dit wordt na een van de laatste stappen gedaan door de tekstfiles in te lezen in EXCEL en de volgorde van de X-coördinaten aan te passen en weer weg te schrijven als tekstfile.

De overige bewerkingsstappen, die voor beide procedures uitgevoerd worden, behelzen:

- Het instellen van de zogenaamde RDP waarde
- Het filteren van de ruwe meetdata
- Het versterken van het gemeten signaal op grotere diepte (om absorptie- en verstrooiing-verliezen te compenseren)
- Het omzetten van de gemeten amplitudes van de golven in (reflectie) intensiteiten.

Voor de afschatting van de diepte waarvandaan de reflecties afkomstig zijn, is een zo goed mogelijke afschatting van de zogenaamde RDP waarde nodig. Zonder verdere gegevens wordt deze geschat op 9, maar als de meetdata geschikte hyperbool reflecties bevatten, kan met behulp van hyperbool-fitting een meer realistische schatting verkregen worden.



Hyperboolfitting wordt uitgevoerd met behulp van een functie in het programma Prism2 © en levert een geschatte RDP op waarmee de geschatte diepte van de reflectie kan worden berekend.

De exacte procedure voor het uitwerken met beide technieken met het programma Prism2 © en Voxler-4 © staat punt voor punt beschreven in de WGMA handleiding met documentnummer: WGMA-HAN-GPR-2-Versie-2.

9 Bijlage 4 Technische specificaties apparatuur en software.

Ground Penetrating Radar (GPR):

Fabrikant: GT-Eclipse B.V. en Radar Systems INC.
Radar: Tracer 900
Antenne type: InfraRadar M ZOND

Specificaties:

Frequentie: Single channel 500 MHz gemiddeld (Effectief 250 MHz)
Transmit rate: 115 KHz
Scan rate: Maximaal 56 scans per seconds
Time Range window: 50 ns
Antenne afstand: 30 cm

Global Positioning System (RTK GNSS):

Fabrikant: Radar Systems INC.
Type: z-BELL

Specificaties:

GNSS Technology: 184 channels GPS L1C/A L2C, GLONASS L1OF L2OF, Galileo E1B/C E5b, BeiDou B1I B2I, QZSS L1C/A L1S L2C, SBAS L1C/A
Real-Time Accuracy: RMS Horizontal: 10 mm + 1 ppm, Vertical: 15 mm + 1 ppm
Performance: IP67

Correctiefactoren: 06-GPS met KPN m2m simm

Radar Software:

Fabrikant: GT Eclipse B.V. / Radar Systems INC.
Opname software: Prism2 ©

Processing Software:

Basic Postprocessing:	Prism2 ©
Processing ruwe data:	Trac ©
Conversie ruwe meetdata naar data-file:	Prism2 ©
Geavanceerde Postprocessing:	Prism2 ©

Presentatie en 3D modelling software:

Fabrikant:	Golden Software
3D Modelling:	Voxler-4 ©
Final charting and mapping:	Surfer ©

Parameters dataverwerking

RDP bodemmatrix: 9
Signaalversterking (Prism2): 20 / 30 / 40 / 50 / 55 / 60 dB
Radius: 1.0 m
Grid spacing (x / y / z): 0.25 / 0.25 / 0.05 m
Kernel-size: 3
Filtervorm: Gauss
Kleurverdeling: Rainbow

10 Bijlage 5: Advies en extra informatie

Na het scannen van een aantal veldonderdelen, blijken een aantal hiaten. Voor een completer beeld zouden onderstaande velden verder kunnen word onderzocht



Afbeelding 5.1: Advies mogelijk te scannen onderdelen



Afbeelding 5.2: Scan geprojecteerd op topotijdreis 1843