Bodemonderzoek naar Huis Laar (Dtl).



Afbeelding 1: Vooroverleg in de tent

Administratieve gegevens

Projectnaam:	Kasteel Laar
Projectcode:	LAR-25
Gemeente:	Laar (Duitsland)
Toponiem:	Heesterkante
Werkgebied:	Vechtetalstrasse Laar (Duitsland)
Kadasterkaart:	Ruud Raats
RD-centraal-coördinaten:	52.6038, 6.7385
Periode onderzoek:	30 mei 2026
Vooronderzoek	Ruud Raats
Auteurs:	Henk Burgers/Gerrit de Groot, namens de Werkgroepsleden
Zoompresentatie	Peter Seinen
Rapportnummer:	WGMA-Rapport-LAR-26-Versie-5
Rapportdatum:	02-09-2026

Verzendlijst

Werkgroep voor Geofysische Meettechnieken in de Archeologie
Werkgroepsleden

Aanvrager:
Verein zur Erhaltung der Windmühle Laar/Vechte e.V. namens deze: Heinrich Lichtenborg

Andere betrokkenen

- Gemeente Laar,
- Stichting Overstichtse oorlogen,
- Denkmalpfege Niedersachsen,
- Bert Terlouw.

Colofon

Coördinatie werkgroep:	Wim ’t Hart
GIS en vooronderzoek:	Ruud Raats
Archeologie:	Channa Cohen Stuart
Radartechniek, uitwerking en rapportage:	Henk Burgers/Gerrit de Groot

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 EN STRUCTUREN 8
3.3. GEOLOGISCHE EN GEOMORFOLOGISCHE CONTEXT 9
3.4. MEETVLAKKEN EN ADVIES 10
3.5. VELDSITUATIE 11

4 RESULTATEN VAN HET ONDERZOEK 12

4.1. ARCHEOLOGISCHE INTERPRETATIE VAN DE METINGEN 12
4.2. VELDONDERZOEK, GEVONDEN SCHERVEN. 17
4.3. HET ONDERZOEKSVLAK, GELAAGD. 19

5 LITERATUUR 21

6 BIJLAGE 1 SCANRESULTATEN 22

7 BIJLAGE 2 RESULTATEN WEERSTANDSMETING 32

8 BIJLAGE 3 ONDERZOEKSMETHODEN EN TECHNIEKEN. 33

8.1. HET FYSISCH PRINCIPE VAN BODEMRADAR 33
8.2. HET FYSISCH PRINCIPE VAN DE ELEKTRISCHE WEERSTANDSMETING 36

9 BIJLAGE 4 DE PROCEDURE VOOR HET UITWERKEN. 39

10 BIJLAGE 5 TECHNISCHE SPECIFICATIES APPARATUUR EN SOFTWARE. 41

11 BIJLAGE 6: DRONE FOTO'S 43

1 Samenvatting, conclusies en aanbevelingen.

Op 30 mei 2026 heeft de WGMA op aanvraag van de Verein zur Erhaltung der Windmühle Laar/Vechte e.V. een bodemonderzoek uitgevoerd in Heesterkante (gemeente Laar) op de plek waar op luchtfoto's uitgebreide cropmarks te zien zijn die het vermoeden geven dat hier ooit een burcht gestaan heeft, mogelijk het Huis Laar, een kasteel dat in het toenmalige Oversticht gelegen moet hebben en dat begin 13^{e} eeuw door de bisschop van Utrecht verwoest is als represaille na de slag bij Ane.
Om iets meer te weten te komen is een geofysisch onderzoek een belangrijke vervolgstap.
Het onderzoek is uitgevoerd op een vlak van 90 bij 150 m. gelegen op een akker. De grenzen van het vlak werden bepaald door uitstaande gewassen en een houtwal. Coördinaten zijn 52.6038 en 6.7385.

Er is gebruik gemaakt van een bodemradar die mechanisch kon worden voortgetrokken en een weerstandsmeter, de laatste specifiek voor een vermoede prehistorische begraving.
De bodemradar heeft twee structuren aangetoond. Een cirkelvormige structuur aan de westelijke zijde en een D-vormige structuur aan de oostzijde van het onderzoeksvlak. Opvallend was dat de cirkelvormige structuur beduidend dieper lag dan de andere, D-vormige structuur, die op een plek ligt, die lokaal bekend staat als "Het Kamp".
Bij de cirkelstructuur kan worden aangenomen dat daar sprake was van een of wellicht twee grachten die doen denken aan een ringwalburcht zoals die in de regio vaker worden aangetroffen. Het is mogelijk dat er een tijdsverschil is: dat er een oudere ringwalburcht lag en een op "Het Kamp" een burcht van later datum. Ook is het goed mogelijk dat we hier te maken hebben met een constructie bestaande uit een voorburcht -de westelijke cirkelvorm- en een hoofdburcht, de oostelijk gelegen D-structuur. Dat die laatste hoger was geplaatst dan de voorburcht kan voortgekomen zijn uit strategische overwegingen.
Binnen de D-structuur zijn verder sterke reflecties zichtbaar die een rechthoekige tekening weergeven.
Tenslotte is aan de noordzijde van de D-vorm mogelijk sprake van een prehistorische begraving blijkens de resultaten van de weerstandsmeting.

Aanbevelingen:

- Omdat er geen duidelijkheid is van de invloed, die het stroomgebied van de IJssel heeft gehad op het landschap en dus ook mogelijk op de vorming van de aangetroffen constructies de bodemstructuur middels boringen onderzoeken.
- De aard van de vierkante structuur binnen de D-vormige constructie eveneens middels boringen onderzoeken, en desgewenst ook de plekken waar grachten worden vermoed.
- De mogelijke prehistorische gegraving nader onderzoeken middels een proefsleuf.

2 Doel inzet WGMA en onderzoeksvraag.

In oktober 2020 zijn door Bert Terlouw cropmarkbeelden gevonden in Heesterkante onder Laar in Duitsland, die doen vermoeden dat op die plek ooit een groot bouwwerk gestaan heeft.
Deze beelden zijn door meerdere partijen (Dr. Diana Spiekhout, RuG, RCE en KNA archeoloog Kasper van den Berghe en anderen) geïnterpreteerd als kasteelterrein. De locatie past prima in de omgeving van het door de bisschop van Utrecht verwoest kasteel, zoals die in de Narratio van 1233 vermeld wordt.

De locatie Heesterkante ligt op de grens van het voormalig Oversticht (NB: een klein deel van het huidige Duitsland viel in de 13^{e} eeuw onder het Oversticht). De totale omvang van het beoogde terrein meet ca 150 bij 100 meter. Hierop bevindt zich aldus Kasper van den Berghe hoogstwaarschijnlijk een vierhoekige hoofdburcht aan de westkant en een D vormige voorburcht aan de oostkant. Mogelijk ligt dat alles binnen een acht-vormige gracht.
Verder is er een cirkel met doorsnede van 10 meter zichtbaar op de voorburcht (westkant).

De vraagstelling aan de WGMA was een scan uit te voeren die meer helderheid geeft van de structuren en grachten die zichtbaar zijn in cropmark en de omvang ervan.

Een tweede vraagstelling was een bevestiging te geven van de cropmarkbeelden en hoogtebeelden, de omvang ervan vast te stellen en verder gericht onderzoek te doen naar een zeer opvallende taps-lopende cropmarkstructuur op de hoofdburchtkant. Mogelijk is dit een gebouw is geweest met een tweede gebouw ernaast.

3 Eerder uitgevoerd onderzoek.

3.1. Achtergrond.

Naar aanleiding van de aanvraag hebben wij een bureauonderzoek uitgevoerd waarin wij het volgende constateren.

Na het verschijnen van het proefschrift van D. Spiekhout (2020)[1] ontdekte Bert Terlouw via luchtbeelden een omvangrijk kasteelterrein net over de Duitse grens, nabij Laar. Deze vondst kon niet meer in het proefschrift worden meegenomen. Spiekhout bespreekt daarin het problematische karakter van het in bronnen genoemde kasteel Laar, dat volgens de Narracio in 1227 na de overgave van de Van Coevordens door de bisschop van Utrecht werd gesloopt. Over de ligging bestaan uiteenlopende opvattingen: zowel Van Rij als Von Bruch lokaliseerden het kasteel tussen Gramsbergen en Emlichheim in het graafschap Bentheim, maar zonder overtuigend bewijs. Spiekhout concludeert daarom dat de exacte locatie met de toenmalige kennis niet vast te stellen was.
De door Terlouw geïdentificeerde locatie blijkt echter precies in het door Van Rij en Von Bruch veronderstelde gebied te liggen (NOOT; Terlouw, B. 2026 pp 168-169). Ten tijde van zijn ontdekking was Terlouw niet bekend met hun interpretaties. Het terrein is gemeld bij zowel de Duitse autoriteiten als de Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed.

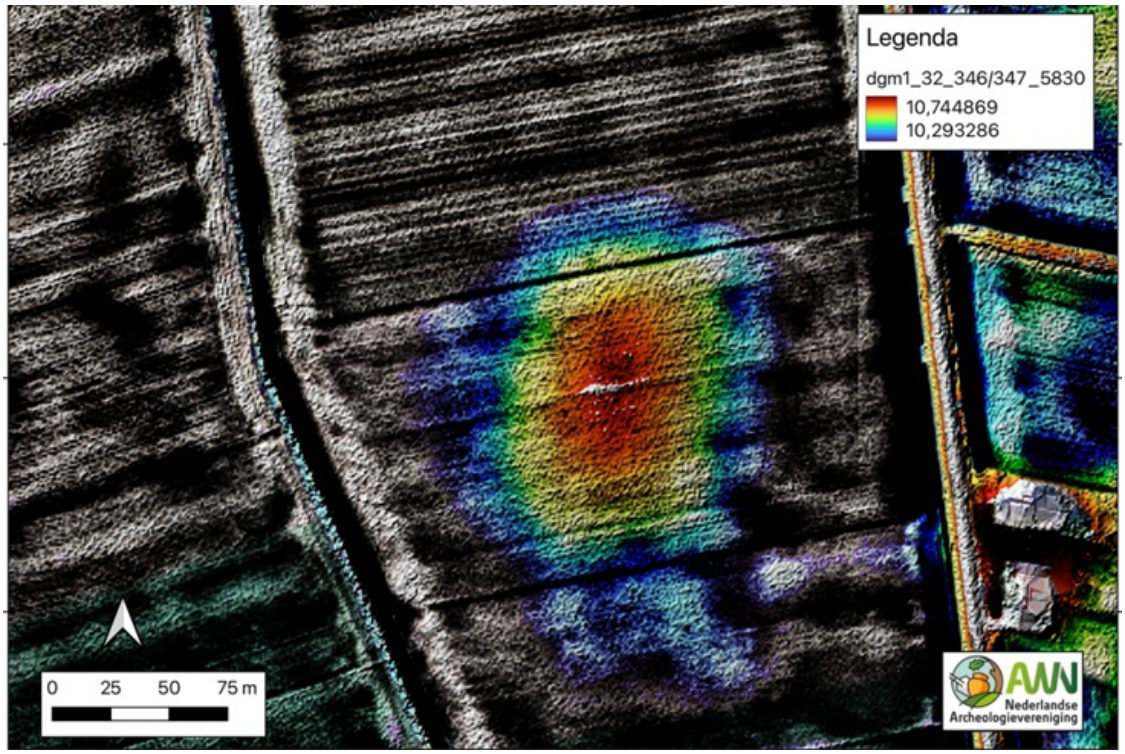
Hoewel het huidige grondgebied Duits is, lag deze plek in 1227 op slechts 15 kilometer van de oostgrens van het middeleeuwse Bisdom Utrecht. Het terrein is strategisch gesitueerd langs een oude Vechtarm. Aanvullend Duits historisch onderzoek wees op een verdwenen weg die pal langs het terrein liep, als verbinding tussen de Vechttalstraße en de Harderberger Diek (Gramsbergen–Emlichheim). Dit ondersteunt de historische lokalisering en versterkt de hypothese dat hier mogelijk het in 1227 gesloopte kasteel Laar heeft gelegen (zie ook afbeeldingen 14 en 15).

[1] Spiekhout 2020, pagina 508.

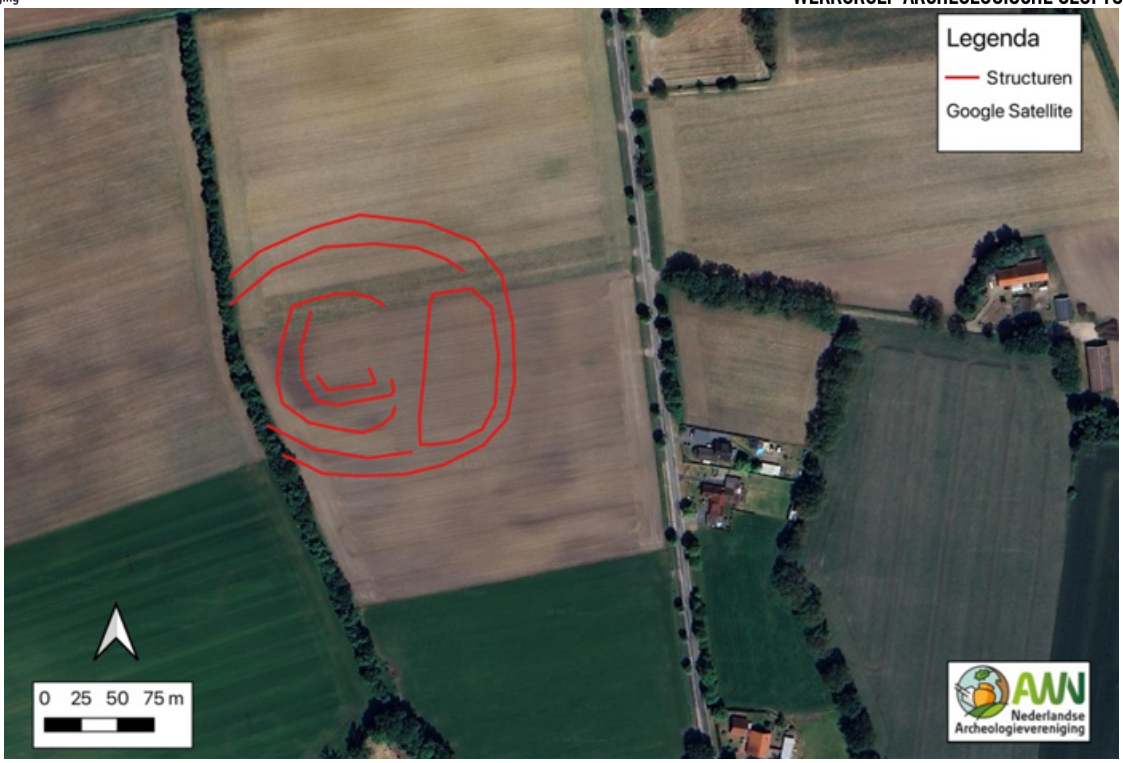
3.2. Locatie en structuren



Afbeelding 2: Locatieaanduiding (Ruud Raats)



Afbeelding 3: Lidar (Kaartbladen dgm1_32_346_5830_1_ni_2017, dgm1_32_347_5830_1_ni_2017)



Afbeelding 4: Structuren weergegeven op Google Maps

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 bodemradar-gegevens of mogelijke weerstandsmetingen kunnen hierop invloed hebben. Normaal gesproken raadplegen wij daarbij het DINO-loket (DINO staat voor Data en Informatie van de Nederlandse Ondergrond) Helaas hebben we van dit gebied, dat immers niet in Nederland ligt, geen data.

3.4. Meetvlakken en Advies

Het meetvlak is, om het geheel te kunnen meten, erg groot: 260x260 meter. Zonder hulp van mechanische ondersteuning is dit niet binnen één dag te onderzoeken. Wellicht kan ter plaatse worden gekozen voor een deelmeting (gekruist) om een inzicht te krijgen van de onderliggende reflecties.



Afbeelding 5: Meetvlak en structuren (Ruud Raats)

3.5. Veldsituatie

Het weiland was mooi droog en voor weilandbegrip vlak. In met name de Oost-Westrichting waren sporen van aalt-injectie.
Er waren gelukkig twee grasmachines en een Quad (niet gebruikt i.v.m. mogelijke oververhitting) beschikbaar en daarmee is circa 2ha (20.000m2) gescanned.
Zoals gesteld het veld was voor weilandbegrip glad en door de beperkte vering grasmachines was het toch erg hobbelen. Met een redelijke snelheid kon worden gereden en het beschikbare gebied kon vrijwel geheel worden gescanned.



Afbeelding 6: Veld met giersporen (Gerrit de Groot)





Afbeelding 7 en 8: Aktiefoto's (Henk Burgers)

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

Bij het onderzoek hebben we gebruik gemaakt van een bodemradar en een weerstandsmeter. Gezien de grootte van het te onderzoeken vlak (ca. 100 bij 150 m.) hebben we gebruik gemaakt van een mechanische trekker, die ons door de aanvrager beschikbaar was gesteld. Het terrein werd aan de Noord- en de Oostzijde begrensd door begroeiing met gewas en aan de Westzijde door een houtwal. De grens aan de Zuidzijde is bepaald door een inschatting van de uiterste grens van de cropmarks. Zoals op afbeelding 9 te zien is, konden we vanwege de begroeiing niet alle cropmarks onderzoeken.



Afbeelding 9: Scan, structuren en scangebied

Uit de scanbeelden komt duidelijk naar voren dat de radarreflecties de cropmarks volgen waardoor er aan de Oostzijde van het onderzoeksvlak een D-vormige structuur zichtbaar wordt met afmetingen van 70 bij 100 m. die vanaf 70 cm diepte tot ca. 1,5 m. diepte duidelijk aanwezig is en die daarna begint te vervagen (afb 10, en afb. 8 t/m 16 in bijlage 1).
Aan de Westzijde komt vanaf 1,5 m. diepte juist een cirkelvormige structuur met een diameter van 75 m. naar voren die zich voortzet naar grotere diepte. Dat zou betekenen dat die cirkelvorm daarmee ouder is dan de D-vorm (afb 11 en afb. 15 t/m 20 in bijlage 1).

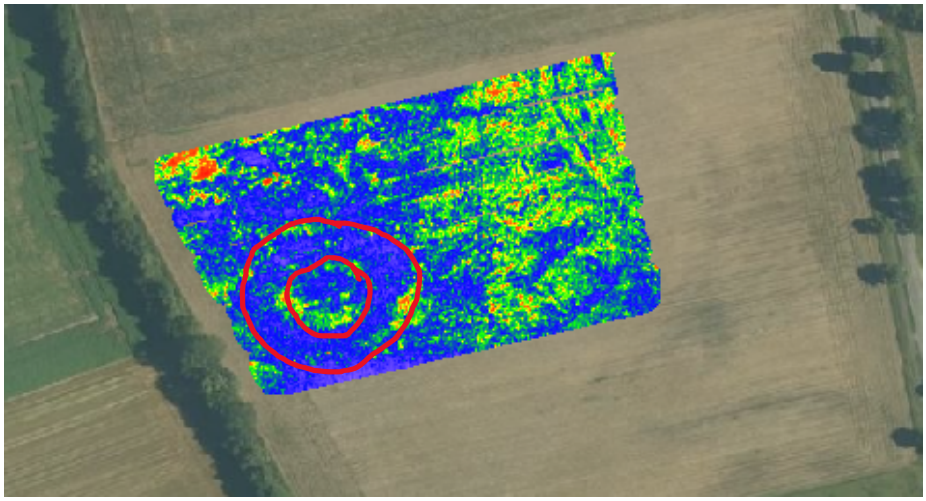


Afbeelding 10: Scan ca 80cm diep geplot in scangebied. De D-vormige structuur.



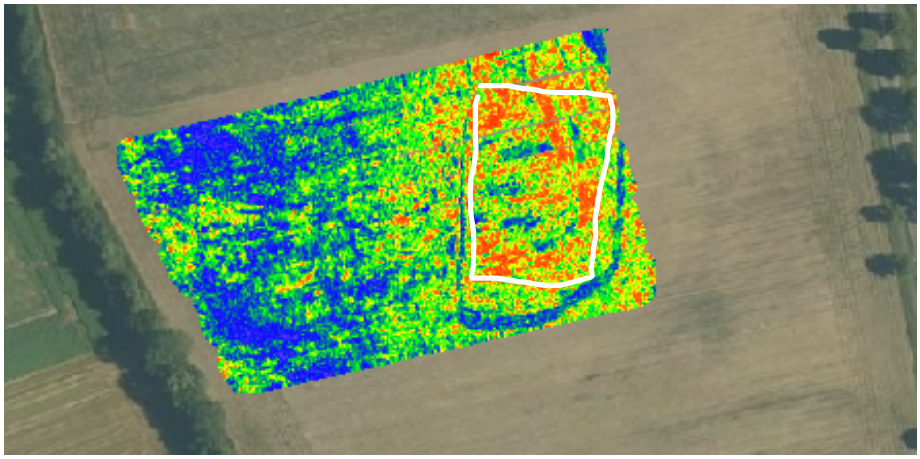
Afbeelding 11. Ringvormige structuur.

Wat blijkt verder uit de reflecties?
De afbeeldingen zoals die ook zijn weergegeven in bijlage 1 zijn op 24 augustus in een gezamenlijke online sessie met de aanvragers uitvoerig verkend en archeologisch geïnterpreteerd.
De ronde structuur in het westelijk deel geeft de indruk van een omgracht geheel, een of misschien twee grachten (afb 12). De eigenaar van de grond heeft altijd gemerkt dat de grond rechts harder is dan aan de linkerkant, waar de grond duidelijk een lossere structuur heeft.



Afbeelding 12: mogelijk en of twee cirkelvormige grachten. 160 cm diepte.

De D-vormige structuur aan de oostelijke kant -welk stuk land “Het Kamp” genoemd wordt. Binnen deze vorm kan uit de reflecties een vierkante structuur worden herkend (afb. 13). Kasper van den Berghe (KNA archeoloog) zag in de beelden op de luchtfoto’s een kasteel met een voorburcht aan de westkant en een hoofdburcht aan de oostkant. Wellicht kan dit beeld ook worden opgemaakt uit de radarreflecties. Niet uit te sluiten valt dat de “voorburcht” een oudere versie van het kasteel was in de vorm van een motteburcht, ook gezien het feit, dat hij dieper ligt dan de D-vormige structuur.



Afb. 13: D-vormige vorm met vierkante structuur daarin. Ca. 100 cm diepte.

Volgens mededeling van de grondeigenaar Gerwin Spieker moet er ooit een weg hebben gelopen in een ZW – NO richting langs het kasteelterrein -en mogelijk dus ook langs een vroeger kasteel. Uit de resultaten van het onderzoek is dit niet op te maken daar de “weg” langs het onderzoeksterrein zou hebben gelopen, maar op dronebeelden en luchtfoto’s is wel degelijk het tracé van een weg duidelijk te zien (afb 14 en 15).



Afb. 14. Rechts van het midden een cropmark van een vroegere weg over de akker van een buurman. Het onderzoeksvlak ligt direct zuidelijk van de houtwal.

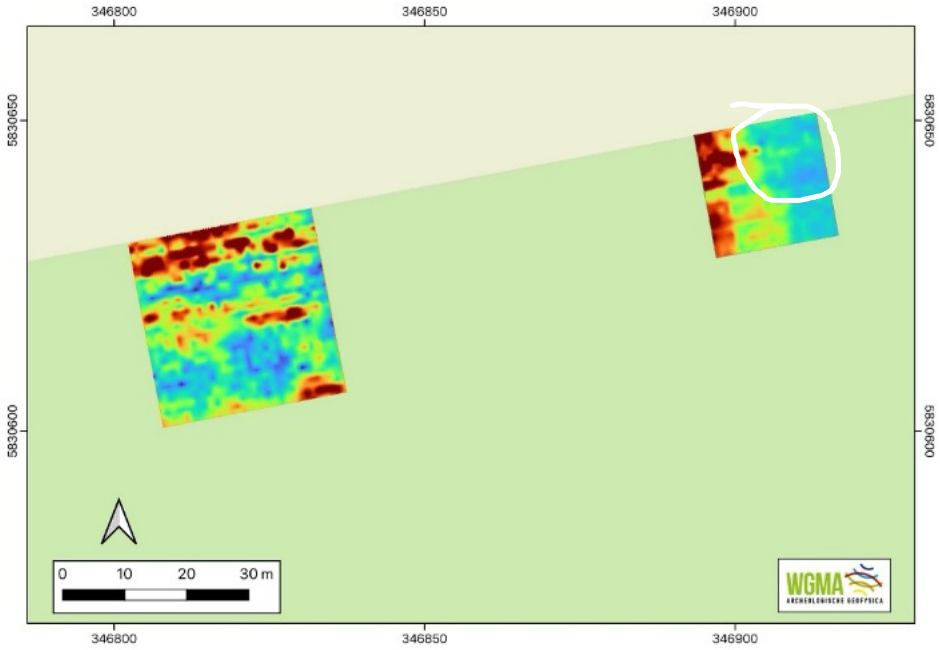


Afbeelding 15: “Weg” vaag zichtbaar binnen rood kader.

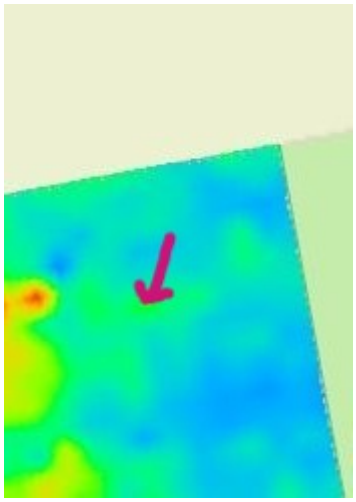
De weerstandsmeting. Weerstandsmeting werkt anders dan bodemradar. De radar zendt een signaal de bodem in, dat wordt gereflecteerd op plekken waar zich grensvlakken in de bodemstructuur bevinden; de weerstandsmeter creëert een elektrisch veld waarin afwijkingen in de weerstand zichtbaar gemaakt worden. Met name objecten als baksteen kunnen een hoge weerstand geven. De grond moet echter vochtig genoeg zijn om een goed resultaat te geven. Het onderzoeksvlak was behoorlijk droog, maar desondanks is er toch een redelijk resultaat opgeleverd. Onderwerp van onderzoek met de weerstandsmeter was een stukje van circa 10 bij 10 meter waar een prehistorische begraving vermoed werd. Deze plek is op een luchtfoto (afb. 16) vaag zichtbaar. De weerstandsmeting bevestigt het beeld van een cirkel op de luchtfoto mogelijk een urn of begraving (afb. 17).



Afbeelding 16. Plek van onderzoek binnen rode cirkel: grafheuvel of begraving.



Afb. 17: Reflecties weerstandsmeting met rechts een stuk van de grafheuvel met mogelijke begraving. Wit omlijnd is een cirkelvorm in het blauwe gedeelte te herkennen.



Afbeelding 18: De cirkelvorm uitvergroot. De pijl wijst op een plek in het centrum met andere weerstand, een begraving?

4.2. Veldonderzoek, gevonden scherven.

Rond die plek zijn ook bij een klein veldonderzoek scherven gevonden, zoals steengoed, maar ook scherven van duidelijk hogere ouderdom. Deze laatste zijn opvallend genoeg uitsluitend gevonden in de akker aan de noordzijde van de cirkel, verder nergens. Die oudere scherven met duidelijke magering zijn aangeboden ter determinatie. Dit is op 11 juni 2026 uitgevoerd door archeoloog Ivo Hermsen (Deventer). Hij kwam tot de volgende bevindingen (afb 19).

Zwarte scherven (inclusief randscherfje):
Datering: Grof: van IJzertijd – Vroege middeleeuwen.
Ofwel eerste helft ijzertijd of Vroege Middeleeuwen (in dat laatste geval kan het eventueel Hessens-schottens aardewerk zijn.
Gepolijst aan zowel buiten als binnenkant. Dan zal het mogelijk eerste helft ijzertijd kunnen zijn.
Magering: granietgruis.

Lichte scherven:
De lichtere scherven zijn hoe dan ook kogelpot aardewerk, dus middeleeuws.
Er is een 50% kans dat het Romeins is aangezien er plantaardige bijmenging in zit.
Op basis van het baksel is de inschatting in ieder geval vóór de 12^{e} eeuw. Hoogstwaarschijnlijk tussen 800 en 1100.




Afbeelding 19: gevonden scherven in de akker noordelijk van de begraving.



Afb 20: randscherf ijzertijd-vroege ME.



Afb 21: magering.

4.3. Het onderzoeksvlak, gelaagd.

Tenslotte laten we hier een gelaagde afbeelding zien van luchtfoto, bodemscan (80 cm diep) en weerstandsmeting waarop zichtbaar is dat de gescande structuur mooi samenvalt met de cropmarks op de luchtfoto.
Het geheel is vermoedelijk wat groter is geweest dan het gescande gebied. Mogelijk heeft er namelijk een grote gracht helemaal om dat complex heen gelegen. Dat was destijds de indruk van Kasper vd Berghe. Met name is dat goed te zien aan de extra ronding aan de zuidoost kant. In cropmarkbeeld loopt dat “buitenste deel wal/gracht” dan ook zichtbaar door in de akker aan de noordkant van het gescande perceel.



Afb 22: het onderzoeksgebied met cropmarks van omwallingen.



Afb 23: Idem dito uit satellietdataportaal.

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.

Spiekhout, D. (2020). Het middeleeuwse kastelenlandschap van het Oversticht: *De ontwikkeling van landsheerlijke burchten, adellijke huizen en versterkingen in relatie tot het landschap en de samenleving in Noordoost-Nederland tussen 1050-1450*.

Terlouw, B. (2026). Ridders van Ramelo: *Sallandse adel en macht in het Nedersaksische grensgebied (1100–1300).* Nedersaksische Uitgeverij.

Bruch, vom, R (1962). Die Rittersitze des Emslandes (Münster: Aschendorff, 1962)

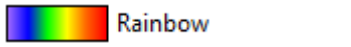
Van Rij, H. (red. en vert.). (1989). *Quedam narratio de Groninghe, de Thrente, de Covordia et de diversis aliis sub diversis episcopis Traiectensibus*. / Een verhaal over Groningen, Drenthe en Coevorden en over allerlei gebeurtenissen onder verschillende Utrechtse bisschoppen. Uitgeverij Verloren.

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.

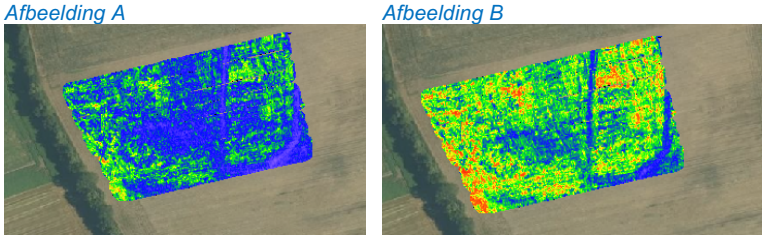
De teruggekaatste radarsignalen (reflecties)worden verwerkt in kleuren. De lage reflecties zijn blauw (links van de regenboog kleur zie afbeelding A). Hoe hogere reflecties krijgen de kleuren naar rechts zoals zichtbaar in afbeelding A.
De gebruikte aangepaste kleurinstelling is zichtbaar in afbeelding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



Afbeelding A



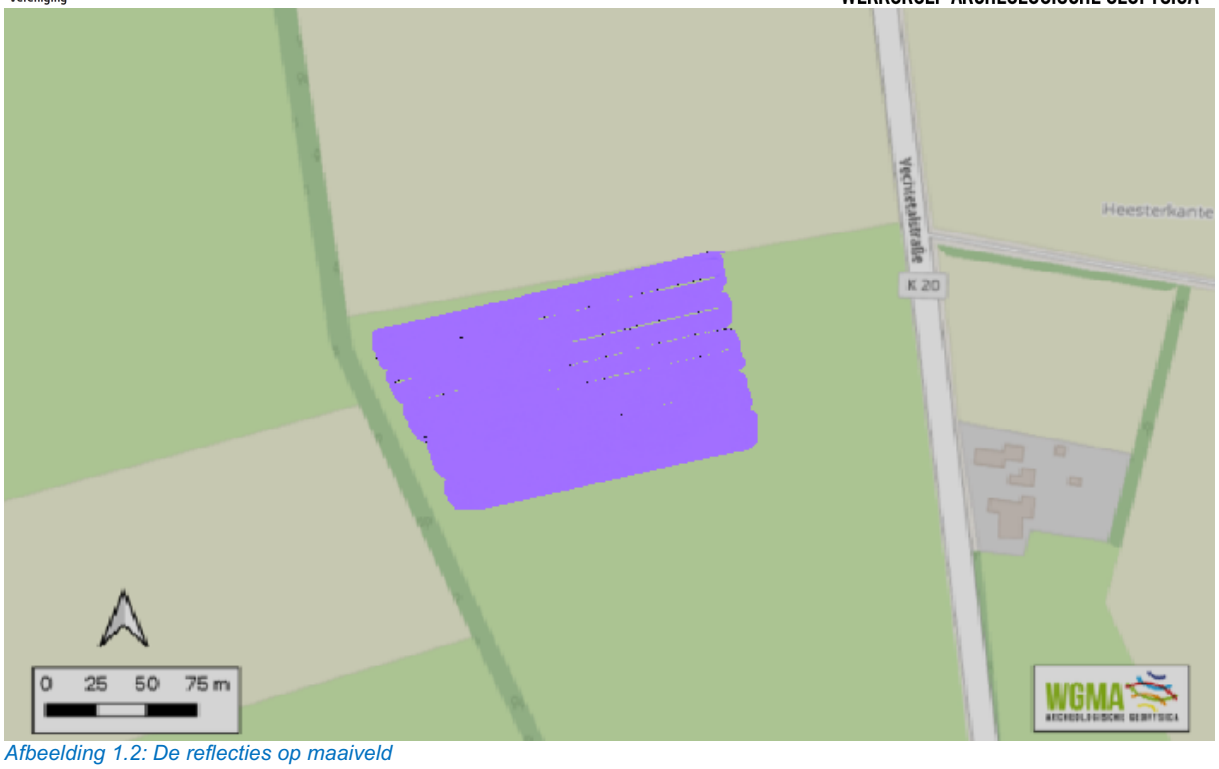
Afbeelding B



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



Afbeelding 1.1: De reflecties op maaiveld (PDOK)



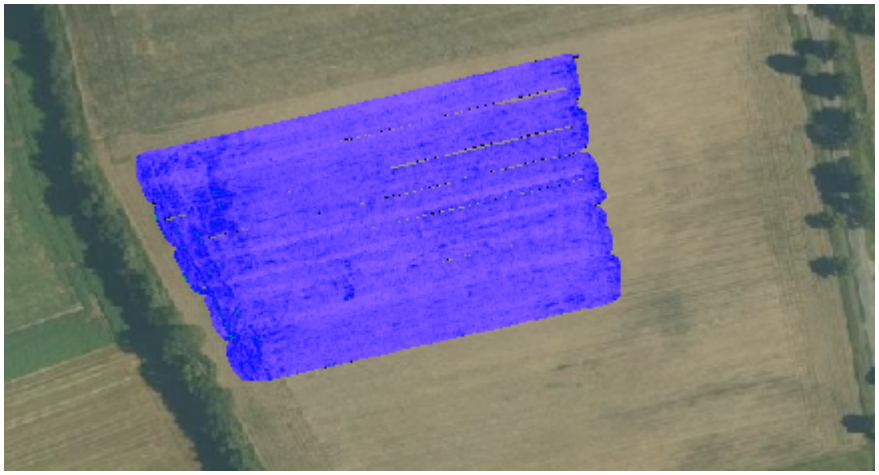
Afbeelding 1.2: De reflecties op maaiveld



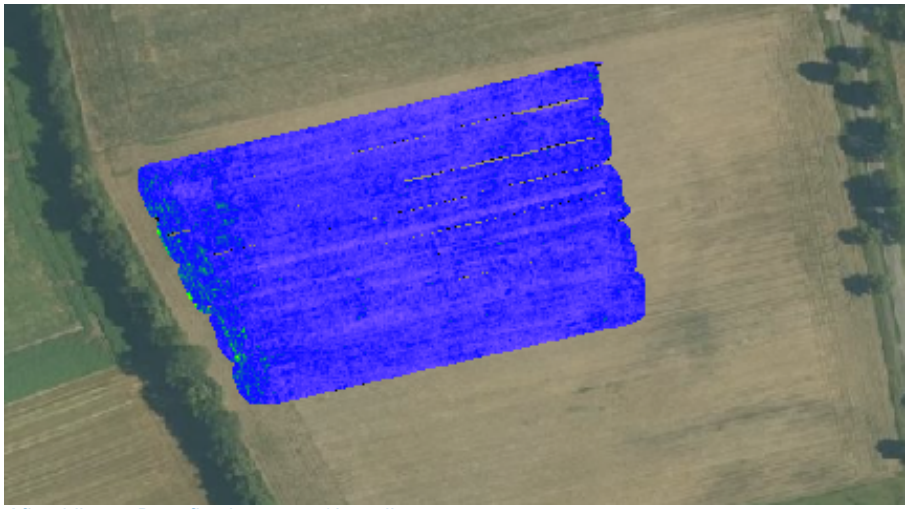
Afbeelding 2: De reflecties op ca 10cm diepte



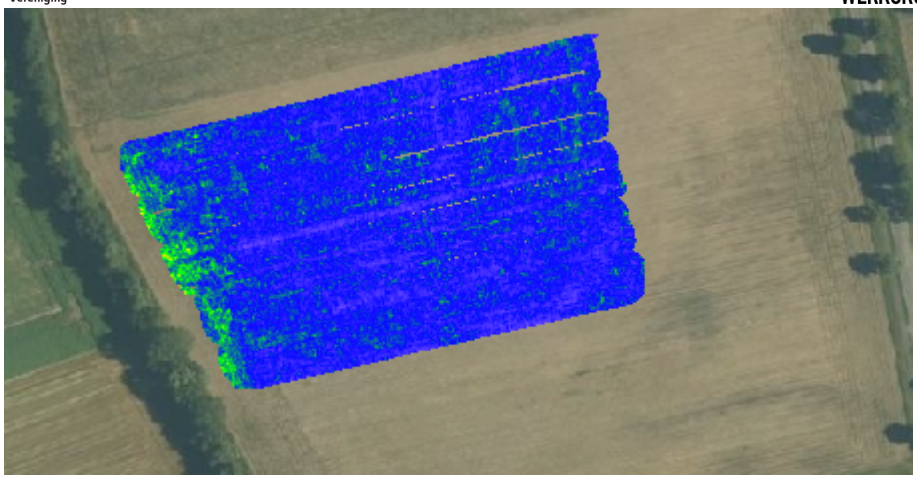
Afbeelding 3: De reflecties op ca 20cm diepte



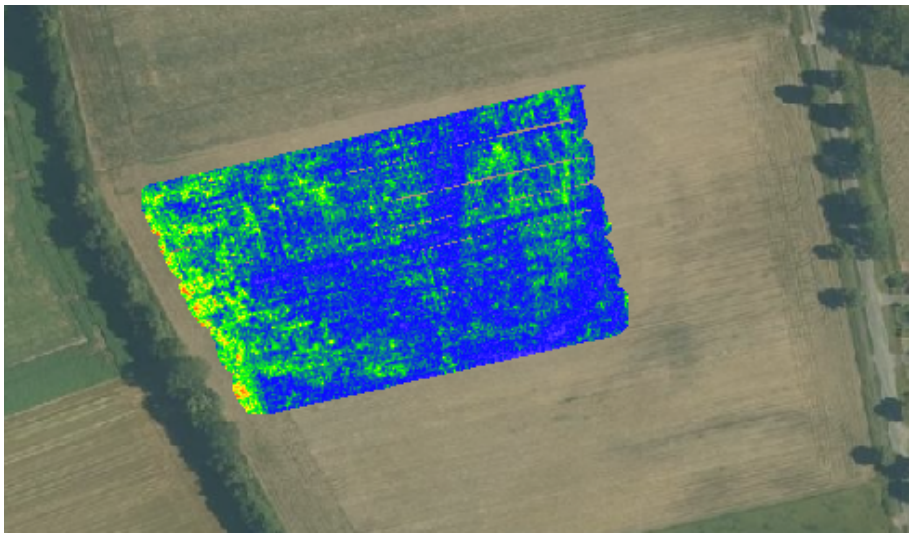
Afbeelding 4: De reflecties op ca 30cm diepte



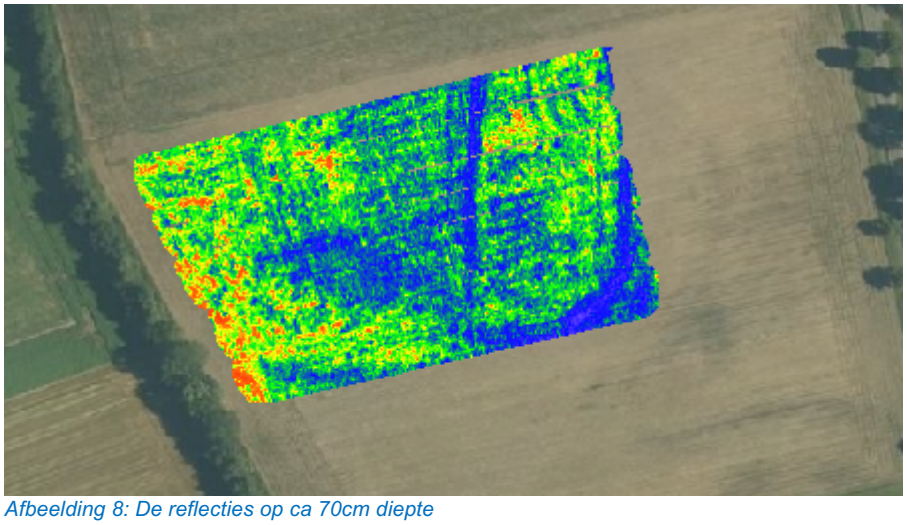
Afbeelding 5: De reflecties op ca 40cm diepte



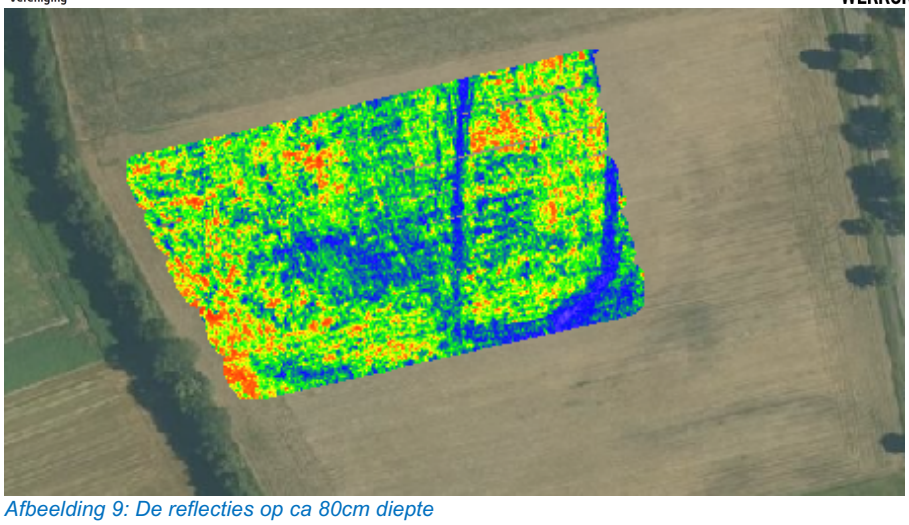
Afbeelding 6: De reflecties op ca 50cm diepte



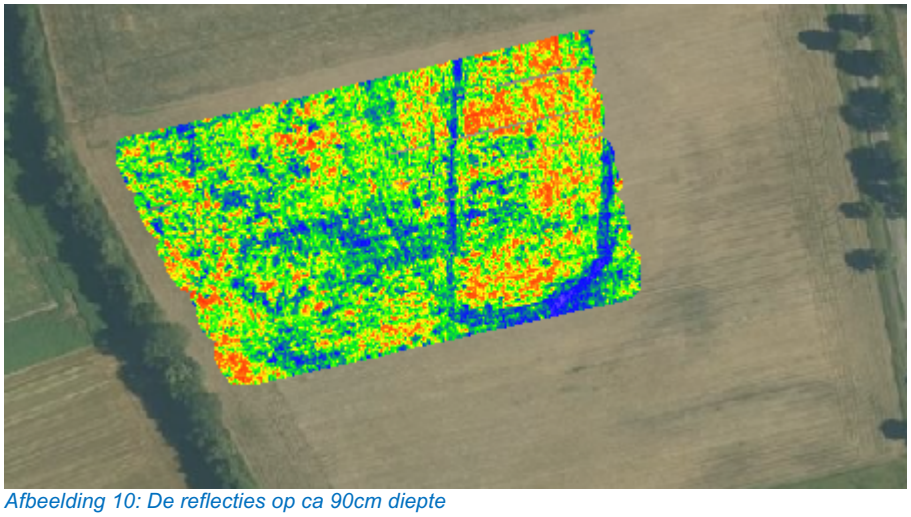
Afbeelding 7: De reflecties op ca 60cm diepte



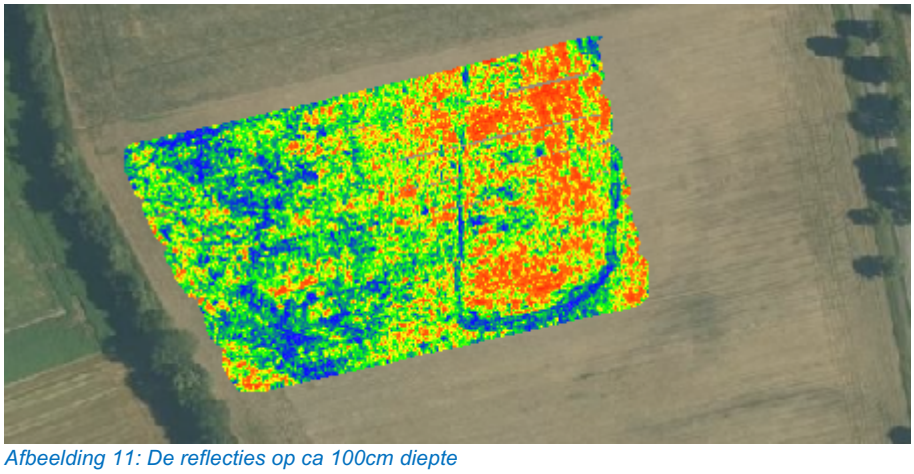
Afbeelding 8: De reflecties op ca 70cm diepte



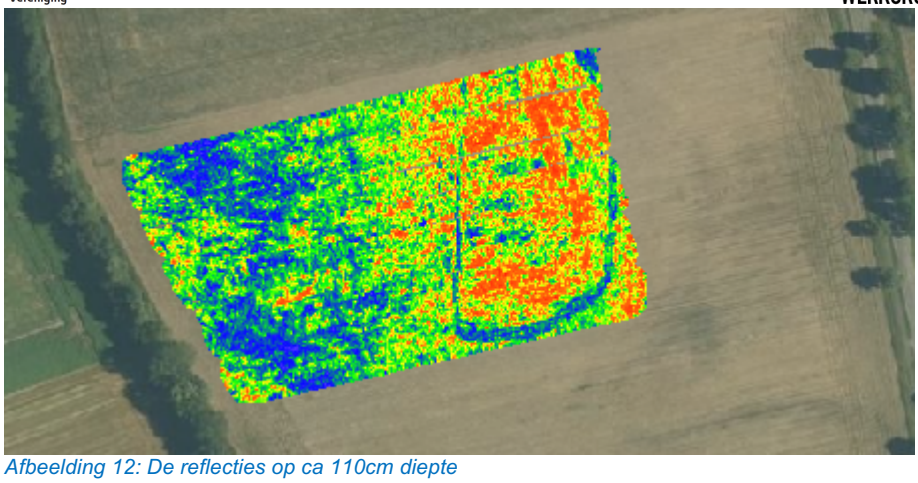
Afbeelding 9: De reflecties op ca 80cm diepte



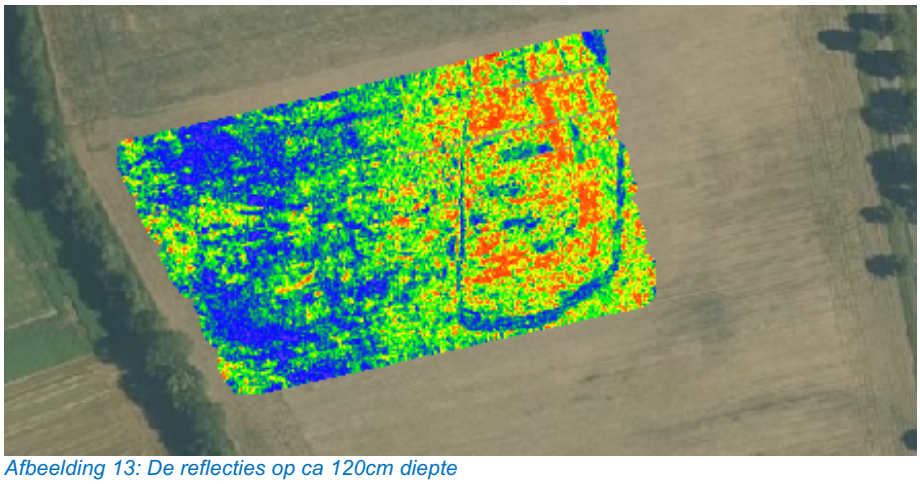
Afbeelding 10: De reflecties op ca 90cm diepte



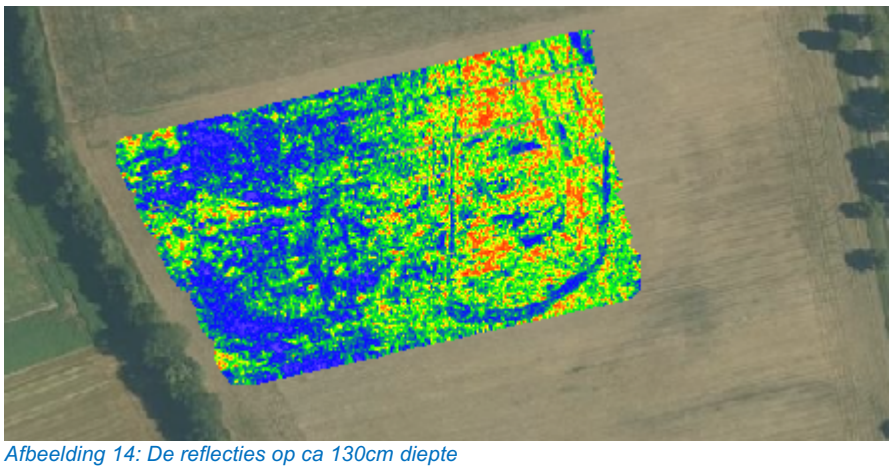
Afbeelding 11: De reflecties op ca 100cm diepte



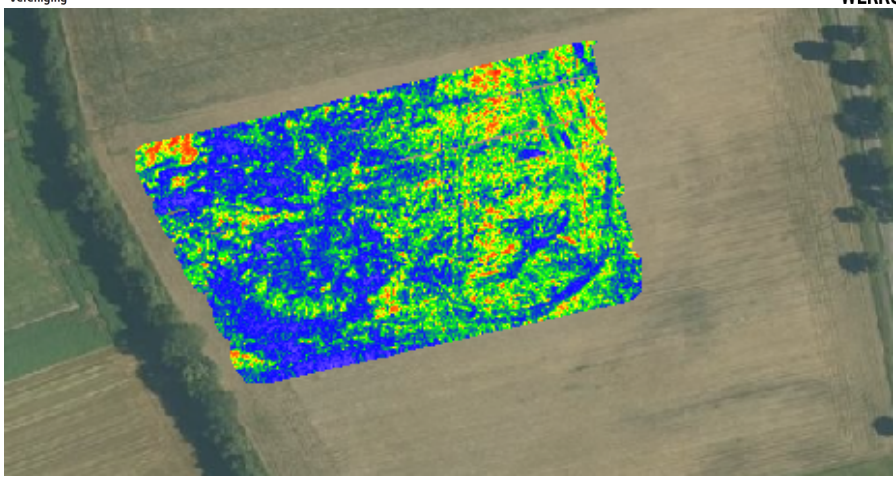
Afbeelding 12: De reflecties op ca 110cm diepte



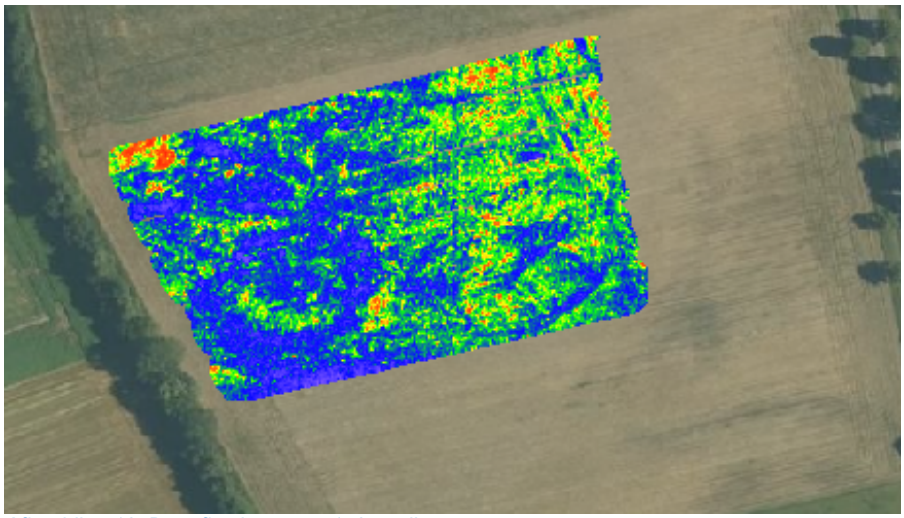
Afbeelding 13: De reflecties op ca 120cm diepte



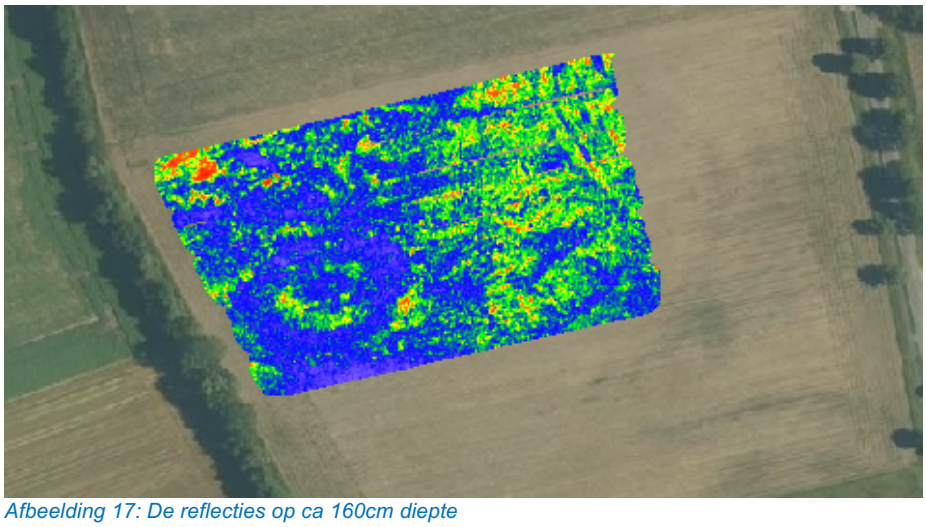
Afbeelding 14: De reflecties op ca 130cm diepte



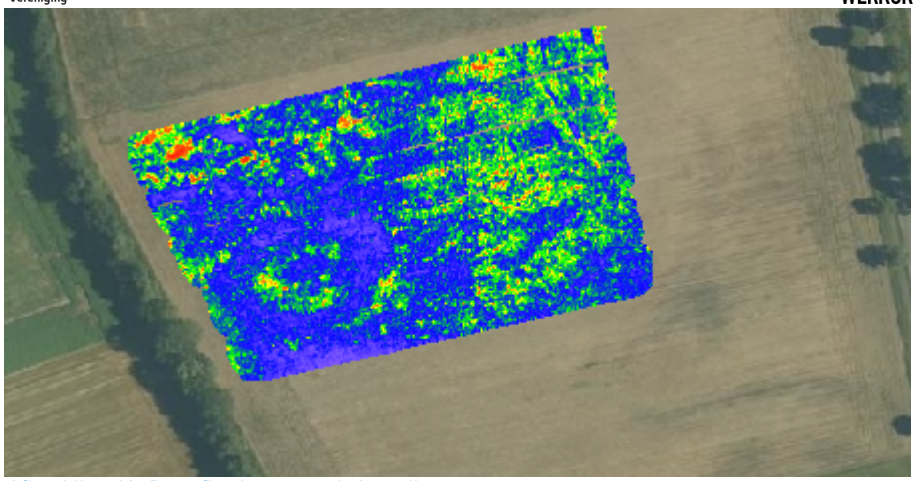
Afbeelding 15: De reflecties op ca 140cm diepte



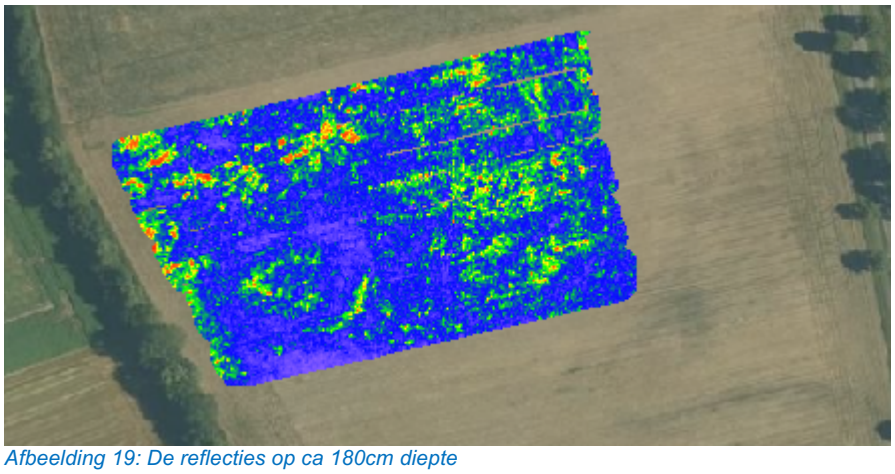
Afbeelding 16: De reflecties op ca 150cm diepte



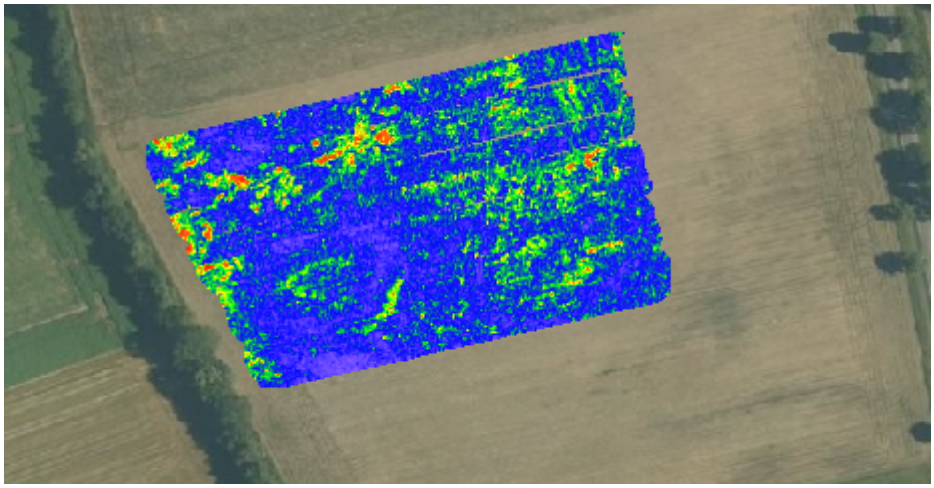
Afbeelding 17: De reflecties op ca 160cm diepte



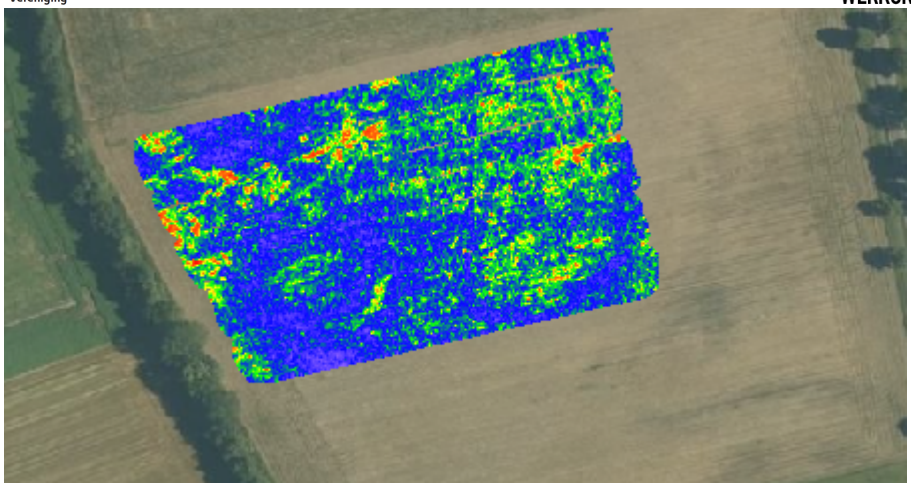
Afbeelding 18: De reflecties op ca 170cm diepte



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



Afbeelding 23: De reflecties op maximale diepte (andere kleurinstelling)

7 Bijlage 2 Resultaten weerstandsmeting

Afbeelding 1: Reflecties waarstandsmeting (Ruud Raats)



Afbeelding 2: Reflecties weerstandsmeting, scan ca 80cm diepte en PDOK 2019

8 Bijlage 3 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.

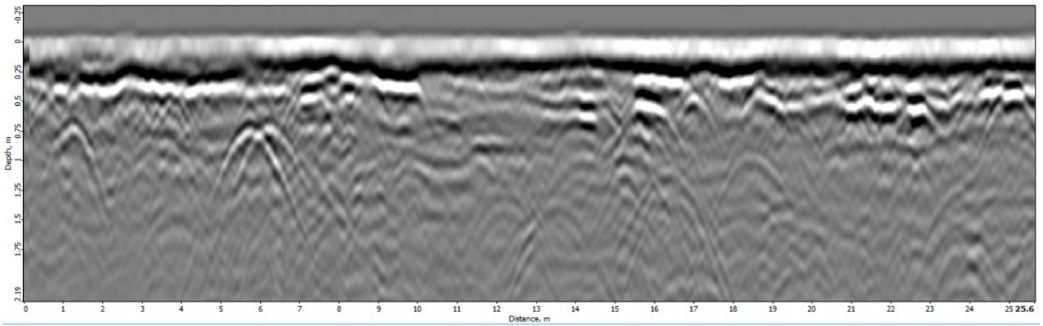
8.1. Het fysisch principe van bodemradar

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).



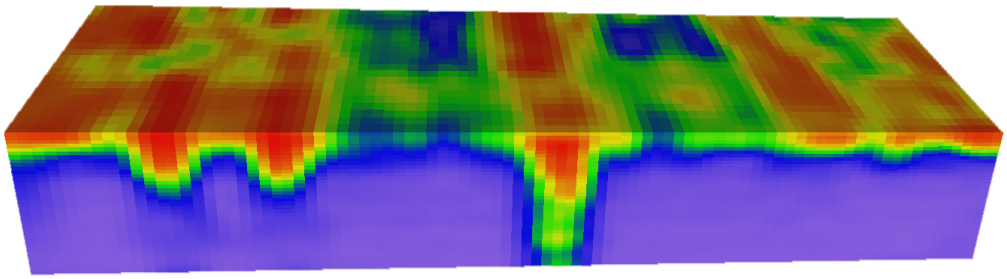
Afbeelding 1: Een voorbeeld van een radardiagram (Peter Seinen).

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

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

grensvlakken en dus van de structuren[3]. De rode en blauwe kleuren geven respectievelijk sterke en zwakke reflecties weer.

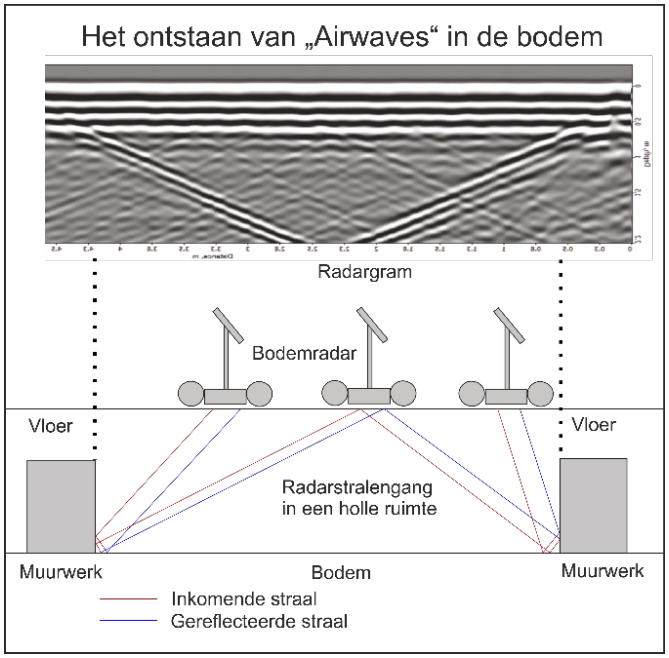
De uitwerkingsprocedure en de daarvoor gebruikte specifieke parameters voor de modellering worden gegeven in Bijlagen 4 en 5.



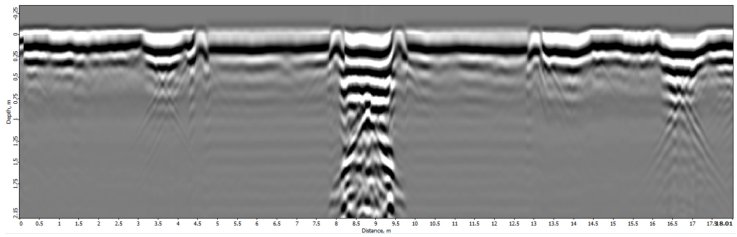
Afbeelding 2: Een voorbeeld van een 3D-model met sterke (rood) en zwakke (blauw) reflecties (Peter Seinen).

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 wordt[4].
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).
Ringing 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 uitwaaiering, 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.

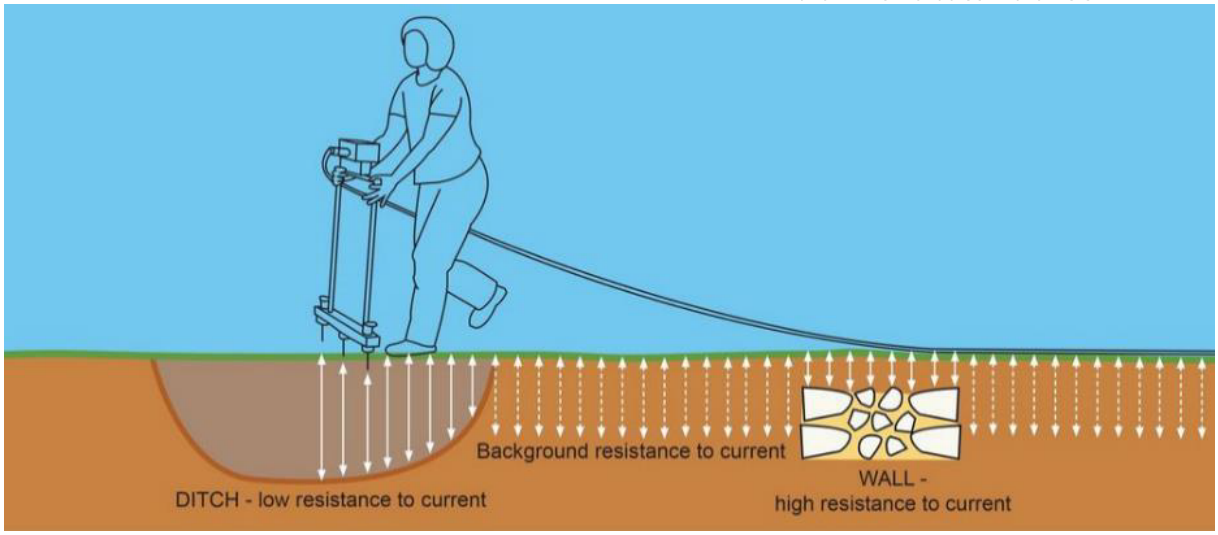
8.2. Het fysisch principe van de elektrische weerstandsmeting

Introductie[5]
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 maisstoppels 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.

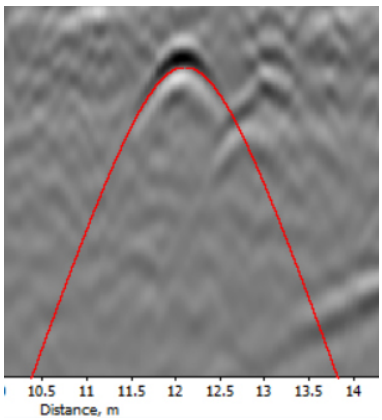
9 Bijlage 4 De procedure voor het uitwerken.

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”: βουστροφηδόν), moet de meetvolgorde van de even raaien (de 2de, 4de, 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.



Hyperbola

Position: 12.09 m
Depth: 0.6737 m
Time delay:15.72 ns

Permittivity 12.25
Velocity: 8.57 cm/ns

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.

10 Bijlage 5 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:

Freqentie:	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

11 Bijlage 6: Drone foto’s



Afbeelding 1: Overzichtsfoto met duidelijk een anders drogende plek in de “D” (Albert Speelman)



Afbeelding 2: Detailfoto (Albert Speelman)