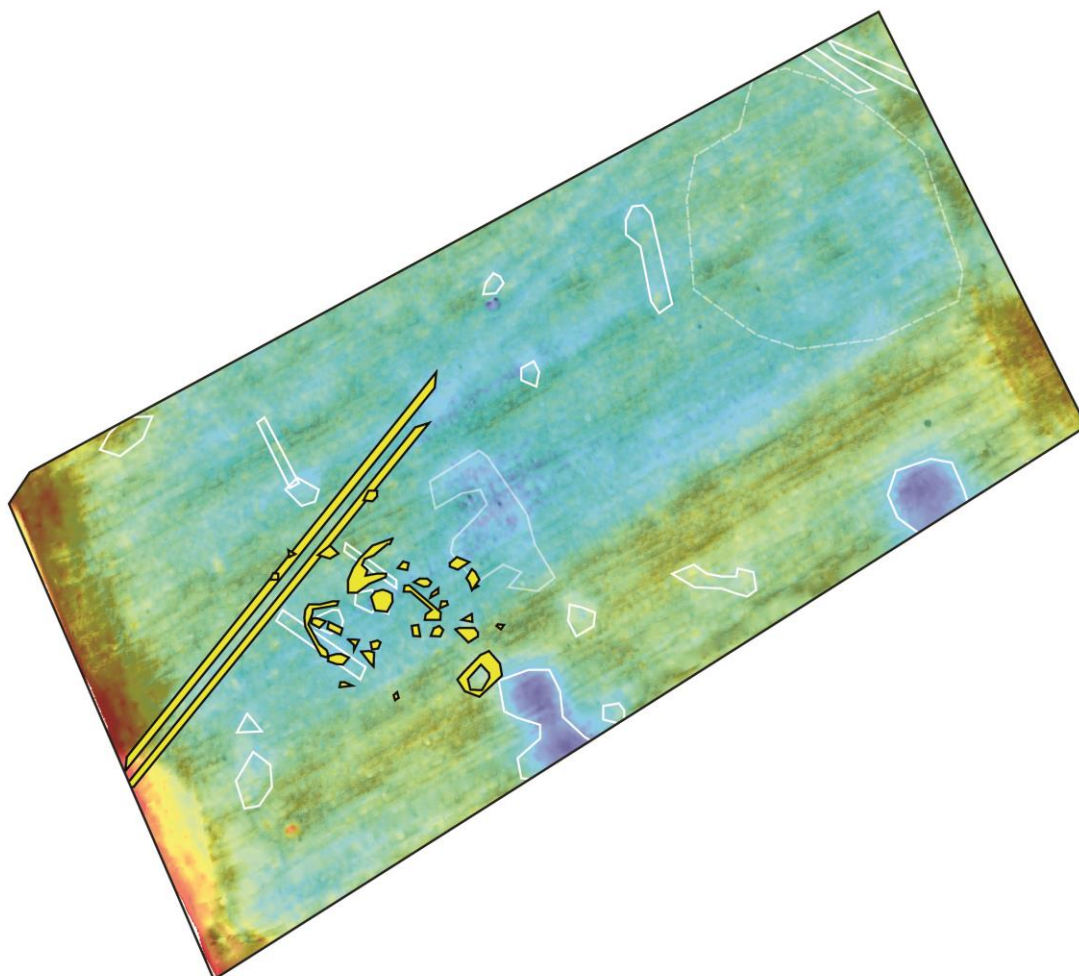


Geofysische haalbaarheidsstudie: Ninove, Hof Ter Groeningen



13 oktober 2016

In opdracht van SOLVA – dienst archeologie

Onderzoeksgroep Ruimtelijke Bodeminformatietechnieken (ORBit)

Vakgroep Bodembeheer

Universiteit Gent

Verslag

Project:

Geofysische haalbaarheidsstudie – Hof ter Groeningen, Ninove

Projectcode: 2016G80

Adres en contactpersoon:

Bart Cherretté, Archeoloog

SOLVA – Dienst Archeologie

T: 053/64 65 36

E: bart.cherrette@so-lva.be

Uitvoering:

Onderzoeksgroep Ruimtelijke Bodeminventarisatie (ORBit)

Faculteit Bio-Ingenieurswetenschappen

Universiteit Gent

Uitvoering veldwerk, dataverwerking en interpretatie:

Philippe De Smedt (*projectleiding -- bodembeheer & geofysische prospectie, archeoloog*)

Valentijn Van Parys (*technisch assistent*)

Contactgegevens:

ORBit

Vakgroep Bodembeheer, Universiteit Gent

Coupure Links 653

9000 Gent

Mail: orbit@ugent.be

Web: www.orbit.ugent.be

Prof. dr. ir. Marc Van Meirvenne

Vakgroep Bodembeheer, UGent

Coupure Links 653

9000 Gent

Tel: +32(0)9246.60.56

Mail: Marc.VanMeirvenne@ugent.be

Datum rapportage:

Aanlevering ruwe data en voorlopige rapportering op 8 juli 2016

Interim: 15 september 2016.

Finaal: 13 oktober 2016

Afbeelding voorpagina:

Composietbeeld ECa data 2 m HCP en 2.1 m PRP met gestyleerde weergave sporen

1. Doelstellingen en studiegebied

Om verder archeologisch (voor-)onderzoek te sturen werd een studiegebied binnen de projectzone 'Hof ter Groeninge' onderworpen aan een geofysische haalbaarheidsstudie. De voornaamste doelstelling hiervan was het bepalen of geofysische technieken binnen de projectzone efficiënt kunnen ingezet worden in het kader archeologisch vooronderzoek. Meer specifiek dient het onderzoek, zoals geformuleerd in de offertevraag, inzicht te geven in:

- De haalbaarheid en het archeologisch interpretatiepotentieel van geofysisch bodemonderzoek voor de projectzone, en, indien van toepassing;
- welke geofysische techniek(-en) gezien de bodemgesteldheid en specifieke antropogene verstoringen binnen de projectzone, meest geschikt zijn om te kunnen bijdragen aan een efficiënte archeologische evaluatie.

Er werd een studiegebied afgebakend van 2.8 ha binnen de projectzone (Fig. 1). Dit studiegebied wordt als representatief gezien voor het groter projectgebied, dat een totaaloppervlakte heeft van ca. 24 ha. Bodemkundig wordt het studiegebied gekarakteriseerd door droge leemgrond met voornamelijk dunne en dikke (>40 cm) A-horizont met textuur B-horizont Aba(1&0) (Louis, 1962).

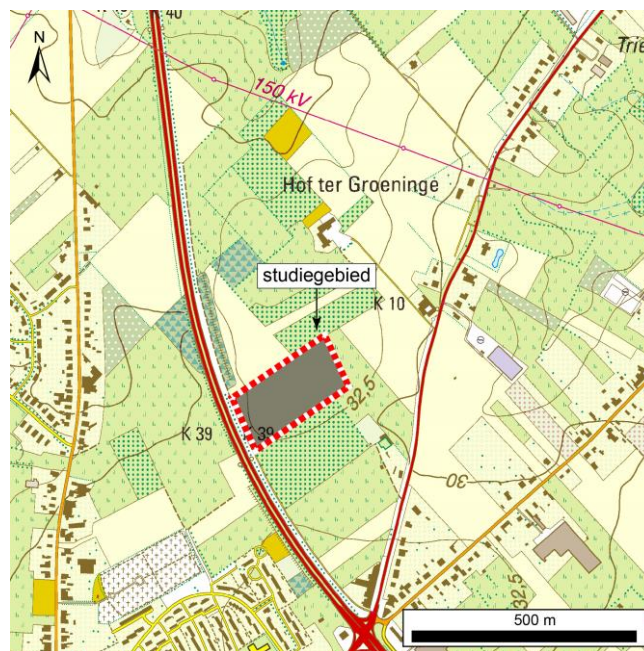


Fig. 1: Topografische kaart (bron: NGI) van het projectgebied met duiding van het studiegebied geselecteerd voor de haalbaarheidsstudie.

2. Methodiek

Voor de vooropgestelde haalbaarheidsstudie werd een geofysische terreinkarakterisatie uitgevoerd. Deze bestond uit twee delen; een eerste niet-invasief deel en een tweede invasief luik. Resultaten van beide delen werden vervolgens iteratief geïnterpreteerd.

2.1 Invasieve karakterisatie: elektromagnetisch booronderzoek

Om onafhankelijk inzicht te krijgen in de geofysische bodemeigenschappen in het studiegebied werd elektromagnetisch booronderzoek uitgevoerd. Hierbij werden, naast algemeen beschrijvende boringen, elektrische en magnetische sonderingen uitgevoerd. Deze hebben tot doel om, los van de niet-invasieve survey, na te gaan of elektrische en magnetische bodemvariaties kunnen worden vastgesteld, lateraal en in de diepte. Ongeacht de aan- of afwezigheid van antropogene, en eventueel archeologische, bodemverstoringen kan op die manier worden aangegeven wat het potentieel is van geofysische methodes binnen het studiegebied. Onafhankelijk van de vlakdekkende elektromagnetische inductie (EMI) survey werden 20 staalnamelocaties geselecteerd voor deze sonderingen (Fig. 3). Hiervan werden er 11 uitgezet volgens een regelmatig grid van 50 m x 50 m (punten 1 -11 op Fig.3), samen met 11 locaties die random werden geselecteerd (punten 901 – 911 op Fig. 3).

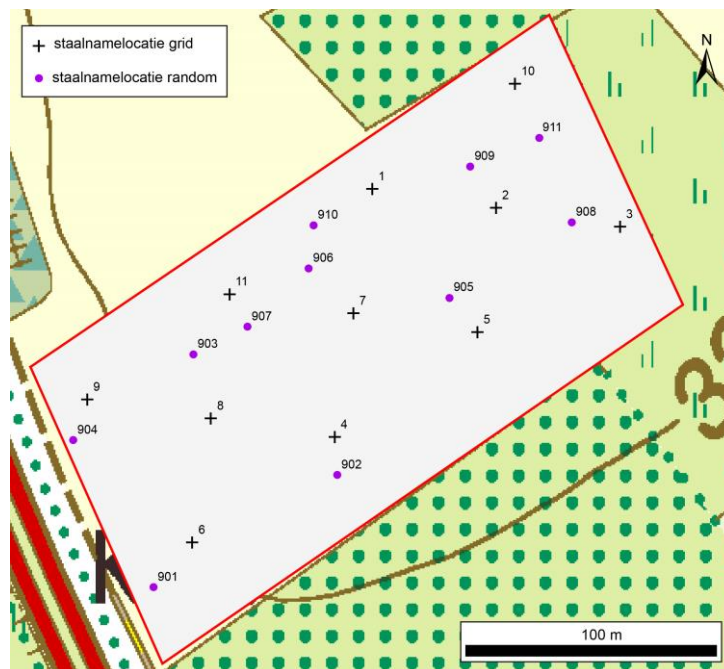


Fig. 2: staalnamelocaties voor elektromagnetische sonderingen

2.1.1 Elektrische en magnetische sonderingen

Elektrische sonderingen (EC-sonderingen) werden uitgevoerd met een Eijkelkamp EC-probe. Hierbij werd in intervallen van 10 cm de elektrische geleidbaarheid van het bodemprofiel opgemeten op elk van de staalnamelocaties. De opgemeten waarden werden gecorrigeerd voor temperatuursinvloeden om accuraat de bodemgeleidbaarheid (EC) weer te geven.

Magnetische sonderingen werden uitgevoerd met een Bartington MS2H probe met bijhorende MS2 module (Dearing, 1994). Analoog met de EC-sonderingen werden metingen van de bodemmagnetische susceptibiliteit opgemeten in diepteintervallen van 10 cm op elke staalnamelocatie.

Voor beide parameters werden diepteprofielen opgemaakt per staalnamelocatie, en werd voor elke diepte een kaart opgemaakt van de EC en MS variaties zoals geregistreerd via de sonderingen.

2.2 Niet-invasieve karakterisatie: EMI-survey

Gezien de verwachte elektrische geleidbaarheid binnen het studiegebied (vermoedelijk gemiddeld ca. 10-20 mS/m), valt te verwachten dat grondradar een minder gepaste prospectietechniek is. Verhoogde bodemgeleidbaarheid verhoudt zich immers omgekeerd evenredig met de inzetbaarheid van grondradar. Dit is daarentegen opportuun voor elektrische prospectiemethodes (elektrische weerstandsmetingen en EMI), die optimaal inzetbaar zijn bij deze bodemgeleidbaarheden.

Gezien de magnetisch stabiele achtergrond (lössleem), is de slaagkans van magnetische methoden hoog. Het is echter moeilijk te voorspellen of binnen het studiegebied magnetische bodemsporen aanwezig zijn.

Op basis van voorgaande argumenten werd uiteindelijk geopteerd voor elektromagnetische inductie (EMI) survey. Als voordeel tegenover elektrische weerstandsmeting en magnetometrie heeft EMI dat toelaat gelijktijdig elektrische en magnetische bodemkenmerken te evalueren wanneer in niet-saliene condities (zoals deze in het studiegebied) wordt gewerkt. Het grootste nadeel van de methode is de verminderde ruimtelijke resolutie tegenover voorgenoemde methodes. In het kader van archeologische terreinevaluatie heeft deze verminderde resolutie echter slechts een beperkte invloed op de interpreteerbaarheid van de resultaten. Dit nadeel kan verder worden ingeperkt door gebruik te maken van een aangepaste surveysetup en adequate staalnameresolutie.

2.2.1 Werkingsprincipe EMI

De toegepaste geofysische prospectietechniek maakt gebruik van EMI en is gebaseerd op de respons van de bodem op elektromagnetische golven (Reynolds, 1997). Bij EMI wordt in een zendspoel een magnetisch veld opgewekt (het primaire magnetische veld H_p) waardoor in de bodem elektrische stroompjes ontstaan die op hun beurt een eigen magnetische veld opwekken (H_s). Dit opgewekte (geïnduceerde) veld is uit-fase met het primaire magnetische veld.

Een fractie van zowel het primaire magnetische veld als het geïnduceerde, of secundaire, veld wordt vervolgens opgevangen door een ontvangstspoel waarna het signaal versterkt wordt en wordt uitgedrukt in output-voltage. Dit voltage staat in lineair verband tot de elektrische conductiviteit/geleidbaarheid (EC) van de bodem. Het primaire magnetische veld werkt ook in op de magnetische kenmerken van de bodem. Dit laat toe om de magnetische gevoeligheid of susceptibiliteit (MS) op te meten als de in-fase respons. Eenvoudig gesteld geeft deze magnetische susceptibiliteit weer in welke mate een materiaal kan worden aangetrokken door een magneet. De meting van de bodem is een integratie van deze parameters over een bodemvolume onder het instrument, bijgevolg worden de waarden uitgedrukt in 'schijnbare' EC (ECa) en MS (MSa).

2.2.2 Instrumentarium

De metingen werden uitgevoerd met een meerspoelige elektromagnetische inductiesensor van het type Dualem-21HS. Deze sensor maakt het mogelijk om gelijktijdig ECa en MSa op te meten in zes ontvangstspoelen die zich op een verschillende afstand van de zendspoel bevinden. De ontvangstspoelen hebben daarnaast een wisselende oriëntatie (horizontaal (HCP) of loodrecht (PRP)) ten opzichte van het bodemoppervlak. Er zijn dus twee spoeloriëntaties op zes verschillende spoelafstanden (0.5 of 0.6 m, 1 of 1.1 m en 2 of 2.1 m). Door deze configuratie worden zes ECa en zes MSa signalen gelijktijdig gemeten met een verschillende dieptegevoeligheid.

De dieptegevoeligheid van de spoelconfiguraties wordt standaard gezien als de diepte waarbij 70% van het totale gemeten signaal afkomstig is van het bodemvolume boven deze diepte. Voor de vier ECa metingen de

dieptes van dominante respons variëren van 0,3 m (0.6 m PRP) en 0,5 m (1.1 m PRP), over 1.0 m (2.1 m PRP) en 1.5 m (1.1 m HCP), tot 3.2 m (2.1 m HCP) onder de sensor. Eenvoudig gesteld wordt zo informatie verzameld over de elektrische en magnetische karakteristieken van zowel oppervlakkige als diepere bodemlagen tot op een diepte van ongeveer 3 m onder het maaiveld.

2.2.3 Meetconfiguratie en -strategie

De sensor werd in een parallelle slede achter een quad (zie Fig. 3) gesleept tegen een gemiddelde snelheid van 7.5 km/u. Een dGPS werd gebruikt om de metingen te lokaliseren met een horizontale fout in de orde van 10 cm. Het studiegebied werd opgemeten in parallelle rijen die 1.00 m uit elkaar lagen. Aan een meetfrequentie van 8Hz werden hierbij per seconde zes ECa en zes MSa metingen samen met één GPS meting digitaal opgeslagen in een veldcomputer. Hierdoor lag het staalname-interval op 0.25 m in de rij.



Fig. 3: Mobiele veldsetup gebruikt bij de survey te Ninove ©ORBit

Tijdens de terreinopnames waren de veldcondities optimaal voor het uitvoeren van EMI survey. Het bodemoppervlak was droog en effen.

2.2.4 Dataverwerking

Na het uitvoeren van de metingen werden de data overgebracht van de veldcomputer naar een desktop-PC. Hier werd elke sensormeting geïnterpolleerd door lineaire interpolatie en gecorrigeerd voor de afstand tussen de GPS antenne en het middelpunt tussen zend- en ontvangspoel. Vervolgens werden de data gecorrigeerd voor instrumentele drift. Verder werden de meetpunten geïnterpoleerd naar een grid van 0,25 bij 0,25 m (zie tevens Delefortrie et al. 2014).

3. Resultaten

3.1 Resultaten elektromagnetisch booronderzoek

Zowel de elektrische als magnetische sonderingen duiden op een sterke variabiliteit (tabel 1). Beide bodemparameters verschillen sterk over de gehele oppervlakte van het terrein, zowel lateraal als in de diepte. De elektrische geleidbaarheid (EC) ligt zoals verzacht rond de 20 mS/m. Het gehele bereik, samen met de maximumwaarde, doet echter vermoeden dat naast lemige fractie een beperkt kleipercantage zorgt voor verhoogde EC in bepaalde zones en/of op bepaalde dieptes. De laagste waarden (minimum 1.86 mS/m en verder schommelend tussen 2 – 10 mS/m) wijzen tevens op een zekere zandfractie. Dit dient echter te worden bevestigd via textuuranalyses. Het bereik van de magnetische susceptibiliteit (MS) ligt enerzijds tevens binnen de verwachtingen van de natuurlijke bodemgesteldheid (een minimumwaarde van 18×10^{-5}), terwijl het bereik samen met de mediaan en hoogste MS-waarde duiden op een sterke antropogene invloed.

	EC (mS/m)	MS (SI x 10 ⁻⁵)
minimum	1.86	18
maximum	51.57	226
bereik	49.71	208
mediaan	19.48	40
interkwartielafstand	20.95	28

Tabel 1: Beschrijvende statistieken van EC en MS sonderingen

Wanneer de EC variatie in de ploeglaag wordt bekeken, wordt een sterke trend in noordoostelijk – zuidwestelijke trend waargenomen. Dit is, zeker gezien de analoge hoogtevariatie, mogelijk een gevolg van de vochthuishouding op het terrein. Naast deze trend zijn ook meer abrupte lokale variaties aanwezig centraal binnen het terrein. Voor de MS is een algemene trend afwezig, maar valt vooral de zeer hoge bodemmagnetisatie op in het zuidwestelijke deel van het studiegebied. Gezien de achtergrondwaarde in het gebied, wordt hier een sterke antropogene versterking vermoed.

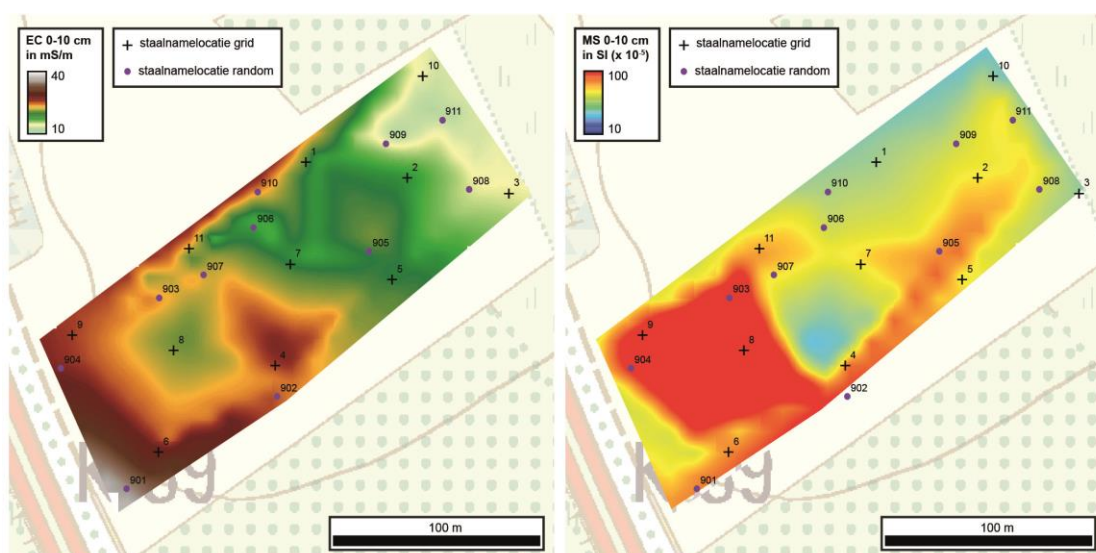


Fig. 4: overzicht EC (links) en MS (rechts) sonderingsdata in ploeglaag.

In de diepte wordt zowel voor EC als voor MS een duidelijk contrast waargenomen tussen de ondiepe en diepere bodemlagen. Wanneer de bovenste 40 cm voor beide parameters wordt vergeleken met de onderliggende lagen, komt dit verschil sterk naar voren. Voor EC geeft de ploeglaag (gelijkgesteld met een diepte tussen 0 – 40 cm) een mediaan van 16,97 mS/m, terwijl de geleidbaarheid stijgt naar een mediaan van 30,73 tussen 50 en 100 cm onder het maaiveld. Magnetisch geeft de ploeglaag een mediaan van $63 \text{ SI} \times 10^{-5}$, terwijl dit beneden de 50 cm zakt naar $34.25 \text{ SI} \times 10^{-5}$. Wat de hierboven beschreven laterale en verticale variatie in EC en MS aangeeft, is dat binnen het studiegebied recente, subrecente en historische bodemingrepen beide parameters beïnvloeden. De geregistreerde EC variatie toont dat bodemverschillen aanwezig zijn die voor een variabele geleidbaarheid in de bodem zorgen. De sterke correlatie tussen de laterale EC en de hoogtevariatie toont tevens een grote invloed van bodemvocht op de geleidbaarheid aan. Gezien slechts beperkte textuurverschillen worden verwacht binnen het studiegebied, kan hierdoor een sterke invloed worden verwacht van ‘seizoenaliteit’ op detailkartering van elektrische bodemvariatie. Wanneer als referentie de sondering op locatie 7 wordt bekeken (Fig. 5), zien we hoe deze variatie zich verticaal voordoet; een zeer lage EC in de ploeglaag, die meest gevoelig is voor vochtverschillen en invloed van het weer, terwijl onder de ploeglaag het vochtgehalte verandert en de EC stijgt. Eenvoudig gesteld zullen sommige sporen duidelijker elektrisch afgetekend worden in natte omstandigheden dan in droge condities. Het kan dus mogelijk zijn dat sommige sporen, die zich door lichte textuurverschillen of verschillen in organisch materiaal laten opmeten, elektrisch onzichtbaar blijven wanneer in droge omstandigheden de bodemgeleidbaarheid wordt opgemeten.

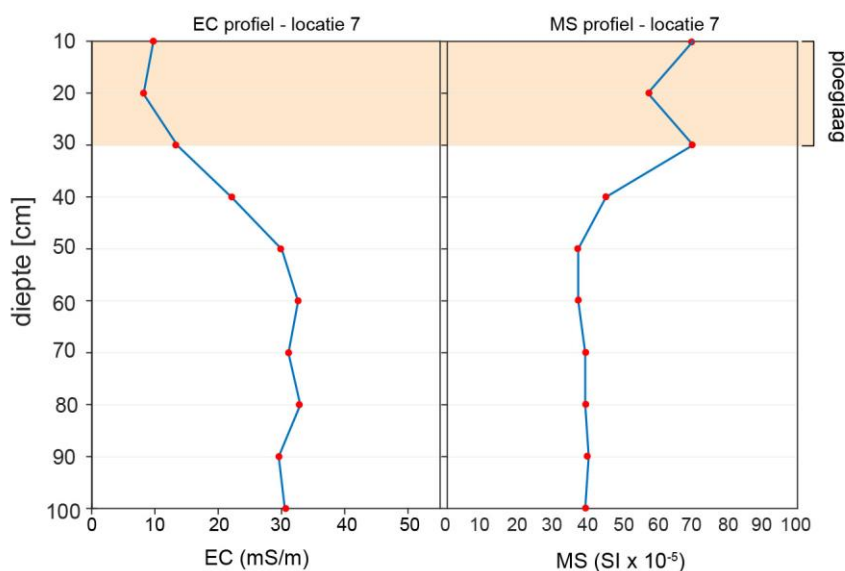


Fig. 5: Referentieprofiel EC (links) en MS (rechts) op staalnamelocatie 7, in vermoedelijk archeologisch spoor.

Terwijl de lemige bodemgesteldheid een laag bodemmagnetisme doet vermoeden, tonen de magnetische profielen een relatief hoge magnetische achtergrondwaarde (met een mediaan van $34.25 \text{ SI} \times 10^{-5}$ voor bodemlagen dieper dan 40 cm). Gecombineerd met de sterke magnetische aanrijking in de ploeglaag, opnieuw duidelijk zichtbaar in de referentiesondering (Fig. 5, rechts), is er eveneens magnetisch detectiepotentieel voor menselijke bodemverstoringen. Dit wordt verder bevestigd door de aanwezigheid van een sterk magnetisch verstoorte zone in het westen het terrein, waarbij in het bijzonder boring 8 menselijke verstoring en invloed op bodemmagnetisme doet vermoeden. Hier wordt immers op 90 cm diepte een waarde van $98 \text{ SI} \times 10^{-5}$ geregistreerd, dewelke sterk afwijkt van de vooropgestelde natuurlijke achtergrond (zie ook verder).

3.2 Resultaten EMI-survey

Analoog met de sonderingen, tonen de EMI-data een sterke elektrische en magnetische bodemvariatie. Terwijl uit de MS-sonderingen reeds de aanwezigheid van diepte antropogene verstoringen kon afgeleid worden, tonen de EMI data duidelijk verschillende antropogene bodemverstoringen die mogelijk archeologisch van aard zijn. Het sterkst komen deze sporen naar voor in de MSa – datalagen (Fig. 6, links). Deze wijzen op de aanwezigheid van verschillende magnetische structuren in de zuidwestelijke helft van het terrein. Gezien deze sporen vooral aanwezig zijn in de diepere datalagen (2 m HCP – MSa), lijken ze vooral prominent op dieptes meer dan 50 cm onder het oppervlak. Dit is vermoedelijk het gevolg van landbewerking, die ervoor zorgt dat in de eerste 50 cm onder het bodemoppervlak aanwezige archeologische sporen zijn vernietigd.

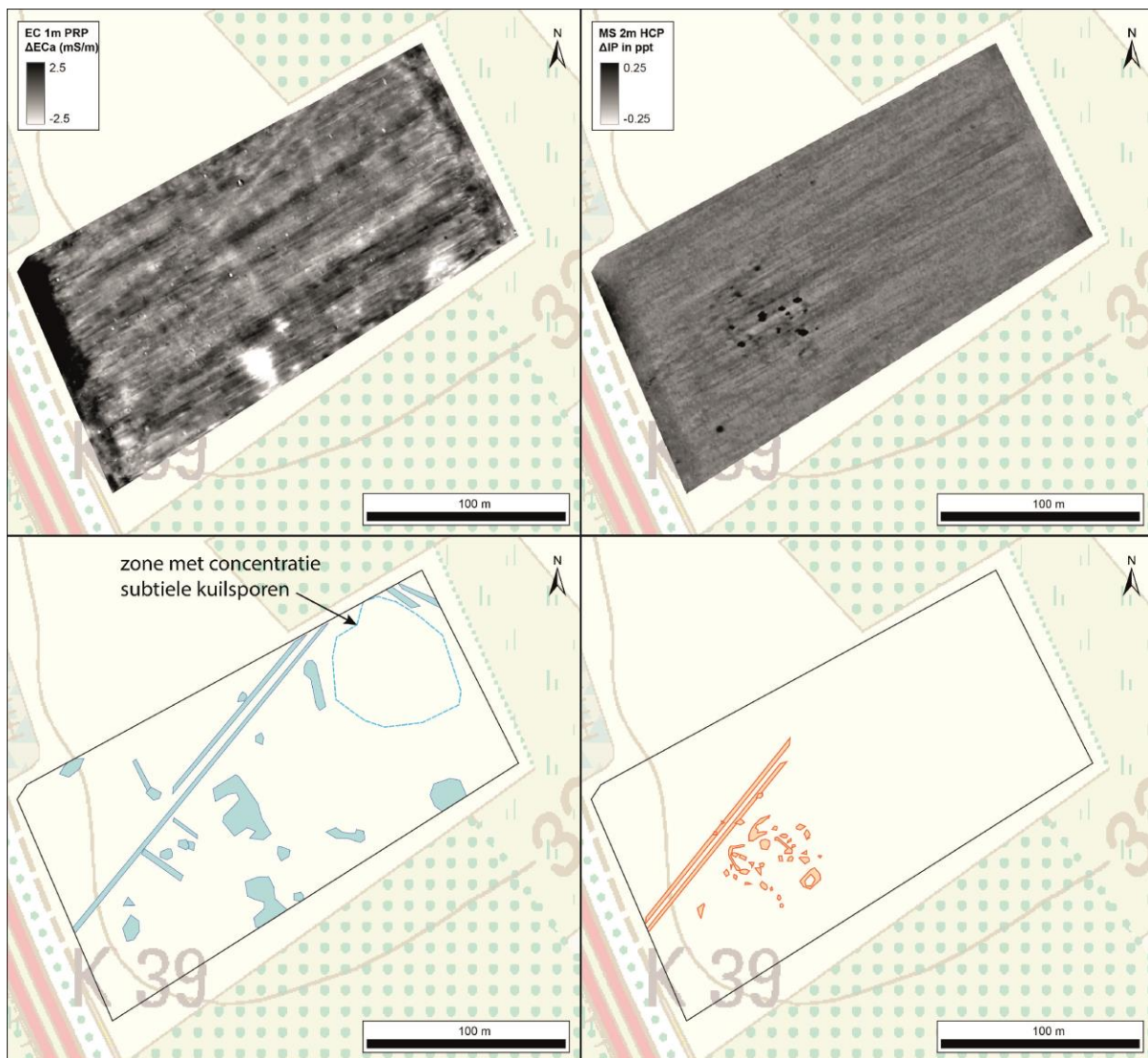


Fig. 6: Gefilterde ECa (linksboven) en IP-MS (rechtsboven) data van de meest representatieve datalagen, weergegeven op topografische kaart (1:10000, bron: NGI). Onderaan worden voor de bovenstaande datalagen de meest karakteristieke sporen schematisch weergegeven.

De ECa data bevestigen deels de sporen in de MSa data, en vullen ze verder aan met bijhorende, meer subtiële structuren. Opmerkelijk zijn subtiële sporen in diepere ECa data, die mogelijk op een concentratie aan sporen (kuilen) wijzen in het noordelijke deel van het terrein. Of deze te wijten zijn aan recente of oudere bodemingrepen, is niet te duiden aangezien naast het aangeven van een ondiepe situering van de sporen

(tussen 0-1 m onder het maaiveld), geen verdere karakterisatie mogelijk is op basis van de beschikbare gegevens.

3.3 Validatie

Ter validatie van de EMI resultaten werden 5 boorlocaties geselecteerd; 8, 102, 103, 902 en 907 (Fig. 7). Hierbij werd hoofdzakelijk nagegaan welke elektrische en magnetische contrasten zich op welke diepte in de bodem voordeden. Hierbij werd tevens geëvalueerd of bij de sonderingen archeologische sporen visueel konden worden waargenomen. De verschillende profielen worden hieronder met verschillend geschaalde x-as weergegeven, maar zijn in appendices zowel met aangepasten als met uniforme schaal meegegeven.

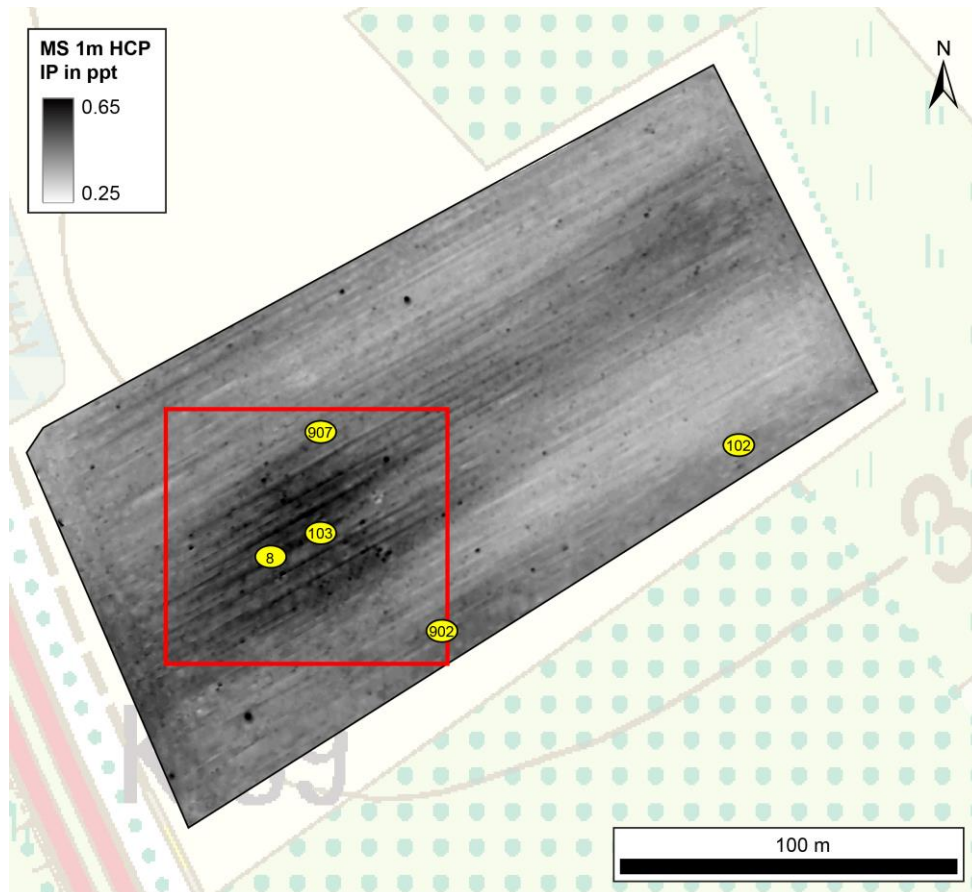


Fig. 7: IP-MS data van de 1 m HCP spoelconfiguratie. Gele iconen duiden staalnamepunten waarvan data werd weerhouden als validatie. De zone binnen het rode kader toont een abnormale verhoging van de MS van de bovenste bodemlagen.

Locatie 8.

Op deze locatie werd een zeer hoge MS waargenomen in de ploeglaag (Fig. 8). Hoewel vanaf 30 cm onder het bodemoppervlak een sterke daling van de susceptibiliteit wordt waargenomen, die samenhangt met de dikte van de ploeglaag, wordt doorheen het verdere profiel wordt een licht verhoogde susceptibiliteit waargenomen. Meest opvallend in het profiel is de sterk verhoogde susceptibiliteit op een diepte van 90 cm. In de gutsboring die de magnetische sondering voorafging werden subtiele sporen van verhit bodemmateriaal waargenomen, dewelke mogelijk het verhoogde magnetisme hier lokaal veroorzaakt.

Vergeleken met de EMI data verklaart het profiel hier de sporen die meest naar voor komen in de 1 m en 2 m HCP IP-MS data (respectievelijk Fig 7 en 6). De verhoogde magnetische susceptibiliteit die wordt waargenomen in de IP-MS data van de 1 m HCP spoelconfiguratie kan worden toegeschreven aan de sterk verhoogde MS van de ploeglaag. Waarschijnlijk werden sterk magnetische sporen weggeploegd en vervolgens 'uitgesmeerd' over ploeglaag in de wijdere omgeving. Bij uitbreiding kan de vlek met hoge magnetische susceptibiliteit in de 1 m HCP data (in rood afgebakend op Fig. 7) gezien worden als restant van vernielde, sterk magnetische archeologische sporen.

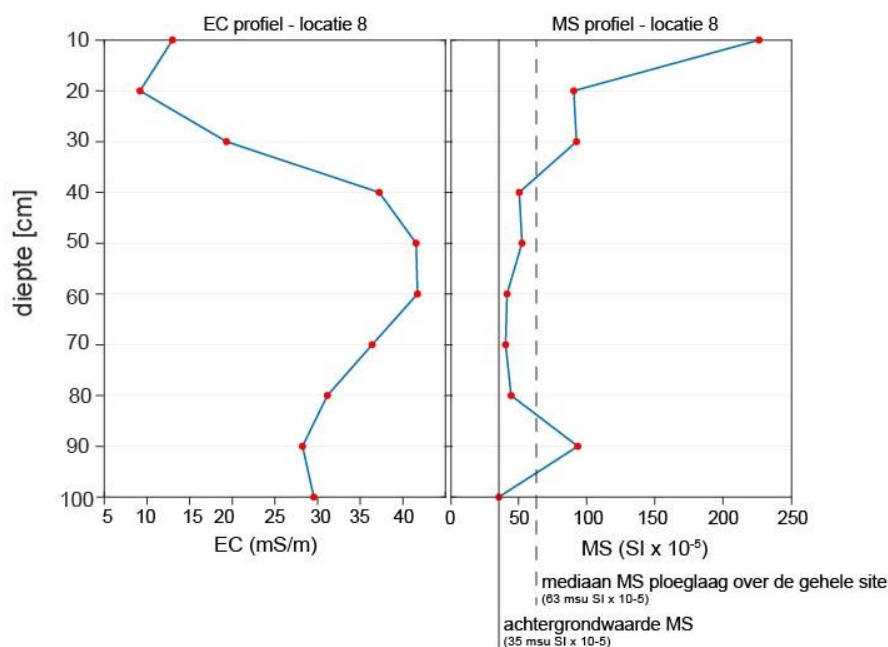


Fig. 8: EC (links) en MS (rechts) profiel op staalnamelocatie 8.

De verhoogde susceptibiliteit die dieper in het profiel wordt waargenomen, voornamelijk op 90 cm diepte, correleert met de verhoogde IP-MS die in de 2 m HCP data kan worden waargenomen. Dit zijn waarschijnlijk de bewaarde restanten van de magnetische sporen die voorheen reeds in een diepte van 0-30 cm onder het bodemoppervlak aanwezig waren, maar zijn weggeploegd.

Locatie 103.

Ter verdere validatie van de magnetische sporen centraal op het terrein, zoals ook aangeboord op locatie 8, werd een extra boring uitgezet. Naast dezelfde verhoogde susceptibiliteit in de ploeglaag werd op deze locatie doorheen het gehele profiel sterk verhoogd magnetisme geregistreerd. Dit bevestigt de aanwezigheid van een antropogene bodemverstoring die een zeer sterk geofysisch gevolg heeft. Er werden geen structurele elementen aangetroffen in de sondering (baksteen funderingen of soortgelijke), maar wel kleine baksteenfragmenten, houtskoolspikkels, en verhit bodemmateriaal.

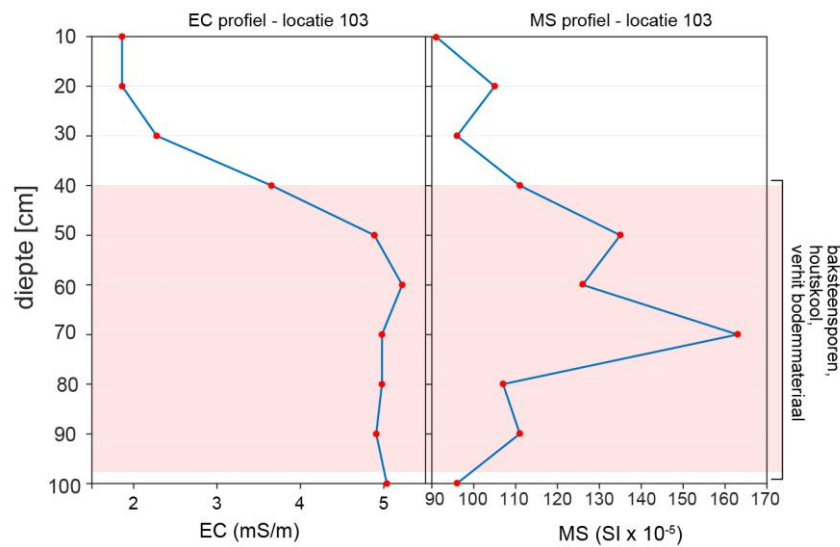


Fig. 9: EC (links) en MS (rechts) profiel op staalnamelocatie 103, in vermoedelijk archeologisch spoor. Rechts van de plots staat aangegeven waar antropogeen materiaal werden aangetroffen in de boring.

De EC sondering toont een zeer lage EC op deze locatie (maximum van 5.22 mS/m en mediaan van 4.90 mS/m tegenover de mediaan van 19.48 mS/m voor het gehele studiegebied). Dit is waarschijnlijk toe te schrijven aan een grovere bodemtextuur, hoewel dit bevestigd dient te worden door textuuranalyses, of de aanwezigheid van minder geleidend materiaal. De lokaal vastgestelde lagere ECa in de EMI data (Fig. 9) wijst erop dat de daling in EC te wijten is aan het antropogene/archeologische bodemspoor. Dit doet vermoeden dat de daling in EC te wijten is aan de aanwezigheid van minder geleidend materiaal van antropogene oorsprong (verhitte bodem, baksteenresten, kalkmortel, ...).

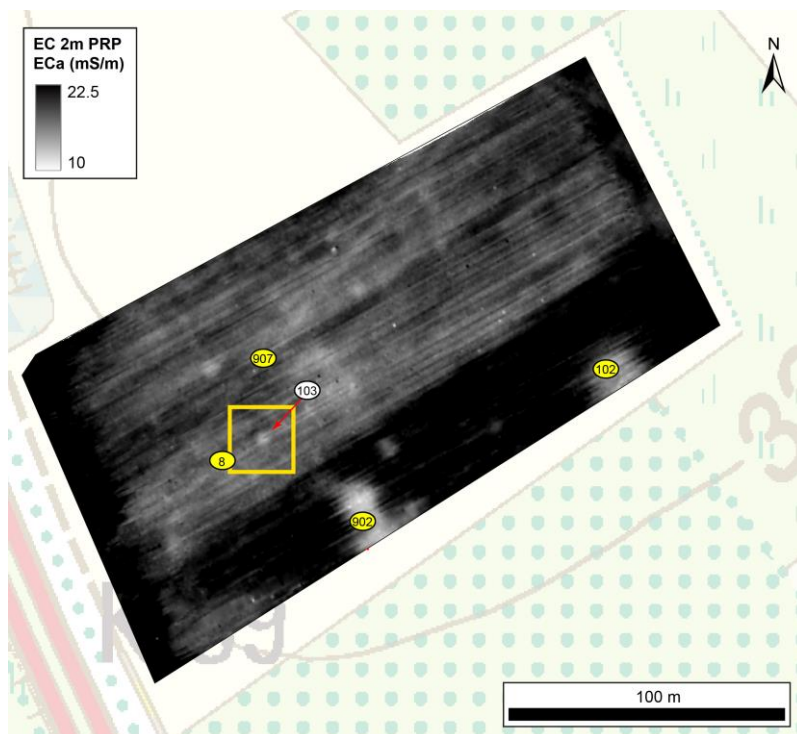


Fig. 10: ECa data van de 2 m PRP. Het spoor, aangeboord in boring 103, ligt centraal in het gele vierkant. De validatiepunten staan opnieuw aangeduid, enkel het label van punt 103 is verplaatst om de ECa variatie duidelijk te visualiseren.

Locatie 102 en 902

Boring 102 werd uitgezet ter validatie van de sterk verlaagde ECa in de omringende zone (zie Fig. 6 en 9). De sondering toonde enkel de lokale verlaging in EC aan, met waarden analoog aan deze geregistreerd op locatie 103. Er werden echter geen antropogeen materiaal aangetroffen in de sondering. Tegelijk werd ook geen abnormale verhoging van het bodemmagnetisme vastgesteld. Het verhoogde magnetisme in de ploeglaag wordt toegeschreven aan de algemene verhoging van ploeglaagmagnetisme. In de boring werd verder visueel geen bodemverstoring vastgesteld. Deze anomalie, die enkel elektrisch werd waargenomen, kon dan ook niet aan menselijke activiteit worden gekoppeld.

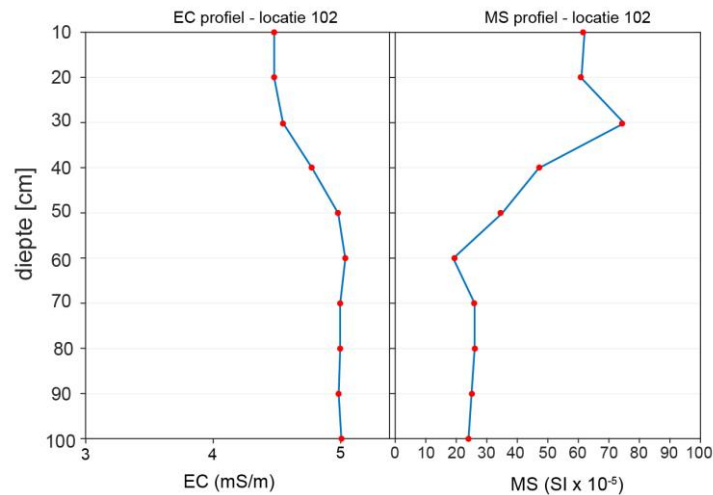


Fig. 11: EC (links) en MS (rechts) profiel op staalnamelocatie 102.

Ter bevestiging van de interpretatie van de sondering te locatie 102 werd een soortgelijke anomalie aangeboord op locatie 902 (Fig. 12). Ook hier werd over de gehele diepte van het profiel een verlaging in EC aangetroffen. De MS vertoonde hier opnieuw een normaal verloop; verhoging in de ploeglaag en verlaging op dieptes onder 40 cm beneden het maaiveld. Samen met ook hier het ontbreken van enig spoor van antropogene bodemverstoring, wordt ook deze anomalie als mogelijk natuurlijk bestempeld.

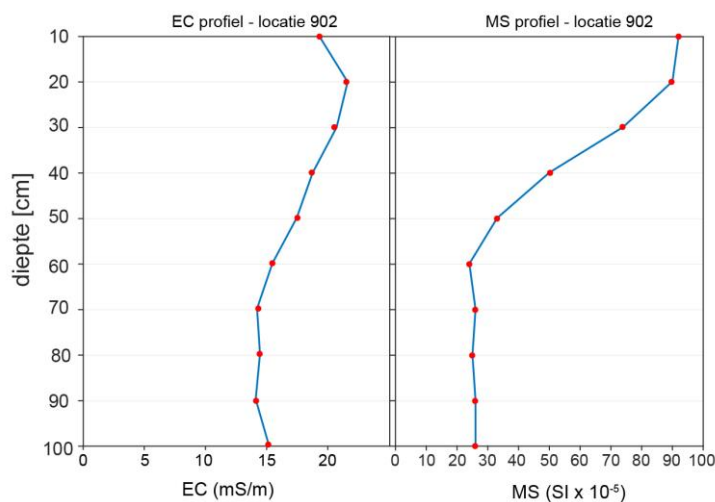


Fig. 12: EC (links) en MS (rechts) profiel op staalnamelocatie 902.

Locatie 907

Op locatie 907 werd in de EMI data zowel een lichte verlaging van de elektrische geleidbaarheid vastgesteld, als een verhoging van het bodemmagnetisme. De sonderingen bevestigen dit patroon, en plaatsen de voornaamste variatie hier in de eerste 70 cm onder het maaiveld. Doorheen dit diepteinterval werd tevens visueel een antropogene bodemverstoring vastgesteld, waarbij houtskoolspikkels en baksteenstukjes werden aangetroffen.

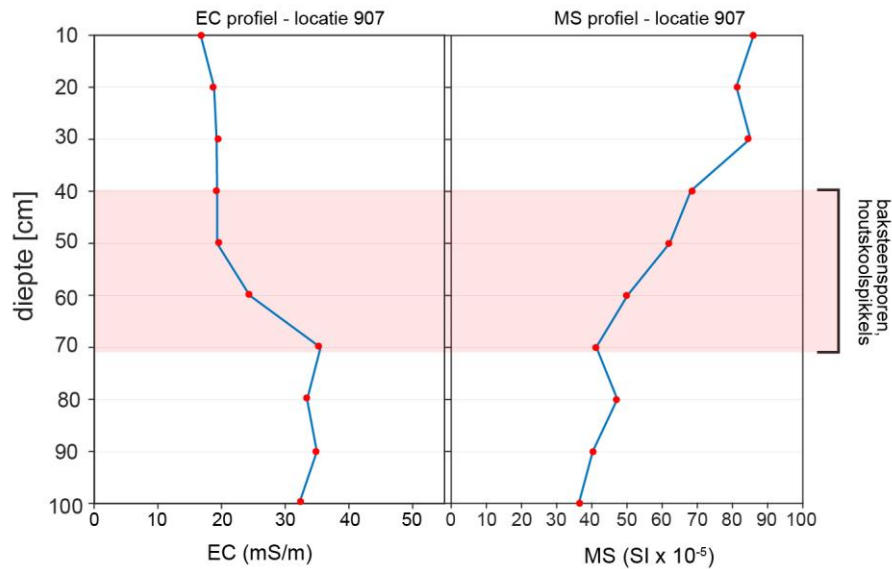


Fig. 13: EC (links) en MS (rechts) profiel op staalnamelocatie 907.

4. Interpretatie en aanbevelingen voor verder onderzoek

4.1 Geofysische contrasten via sonderingen.

De sterke variatie in magnetische contrasten die worden waargenomen in het studiegebied, samen met de lage achtergrondwaarden die aan de natuurlijke bodemopbouw kunnen toegeschreven worden, duiden op een groot potentieel voor vlakdekkende metingen van magnetische bodemvariaties. Zowel magnetometrie als EMI waarbij de in-fase (IP-MS) component van het electromagnetische veld wordt geregistreerd kunnen hierbij van dienst zijn. Bij de keuze tussen beide technieken dient hier vooral de meerwaarde van de hogere resolutie die bij magnetometrie kan worden verkregen in beschouwing worden gebracht, tegenover het potentieel van EMI om naast IP-MS ook elektrische bodemvariaties op te meten. Er dient echter wel rekening te worden gehouden met verminderde magnetische zichtbaarheid voor, in het bijzonder oudere (bijvoorbeeld prehistorische), sporen die niet aan actieve magnetische aanrijking zijn blootgesteld. Dit zijn, bijvoorbeeld, kuilen of grachten die zich niet onder invloed staan van de magnetische ploeglaag en waar geen verhitte bodemmateriaal heeft plaatsgevonden.

Elektrisch gaat kan het studiegebied worden beschreven als een matig conductieve bodem, met een mediaan van 19.48 mS/m en interkwartielafstand van 20.95 mS/m. Doorheen de verschillende profielen werd vaak een variatie waargenomen van meer dan 10 mS/m, waardoor van een sterke EC variatie kan worden gesproken binnen het studiegebied. Dit duidt op een groot potentieel voor elektrische detectiemethodes; elektrische weerstandsmeting en EMI. Voor EMI zorgt de matige conductiviteit tevens voor de mogelijkheid om zuivere IP-MS metingen te verzamelen, die representatief zijn voor de werkelijke magnetische bodemvariatie. Bij te hoge conductiviteit (bijvoorbeeld boven 100 mS/m) wordt de invloed van de elektrische bodemgeleidbaarheid echter te groot op de in-fase component en wordt het moeilijker om relevante magnetische data te verzamelen. Dit is binnen het studiegebied niet het geval.

Zeker wanneer de resultaten van de validatiesonderingen (sectie 3.3) worden beschouwd, kan in het studiegebied een sterke correlatie worden vastgesteld tussen antropogene (bij uitbreiding mogelijk archeologische) sporen en zowel elektrische als magnetische bodemvariaties. Geofysische bodemkartering kan binnen het studiegebied als een valabele methode beschouwd worden voor de detectie van mogelijk archeologische sporen.

Op basis van de sonderingen kan verder een evaluatie worden opgemaakt van de methodes die binnen het studiegebied het hoogste detectiepotentieel opleveren. Hierbij suggereert de relatief hoge bodemconductiviteit een eerder laag slaagpercentage voor grondradar (GPR). Gezien deze relatief hoge EC, wordt een te hoog dielectrisch verlies (of te hoge attenuatie) verwacht om een optimale GPR-survey te verzekeren. De haalbaarheid van GPR-survey wordt in zulke omstandigheden laag ingeschat.

Als dusdanig kunnen binnen het studiegebied magnetometrie, elektrische weerstandsmeting en EMI als meest relevante methodes worden aangeduid. Om het hoogste slaagpotentieel te bekomen, wordt een gecombineerde registratie van de elektrische en magnetische bodemkenmerken voorgesteld; enerzijds een combinatie van magnetometrie en weerstandsmeting, of een EMI survey met toestel dat toelaat om zowel elektrische als magnetische bodemvariaties te registreren. Bij de eerste mogelijkheid wordt de hoogste resolutie verkregen, maar dienen twee aparte surveys te worden uitgevoerd. Bij EMI survey is een lagere resolutie inherent, maar dient slechts 1 maal te worden gemeten. Van verder belang bij EMI survey is het inzetten van de juiste spoelconfiguratie, of combinatie van de spoelconfiguraties die voornamelijk focussen op de eerste meter onder het bodemoppervlak, en tegelijk rekening houden met een gehomogeniseerde ploeglaag waar weinig of geen discrete sporen in te onderscheiden zijn.

4.2 Archeologisch potentieel aangegeven door EMI survey

Zowel de elektrische als magnetische variaties geregistreerd met de EMI sensor tonen duidelijk antropogene bodemverstoringen aan onder de ploeglaag. In combinatie met de sonderingsdata, kan worden gesteld dat het hier om archeologische fenomenen gaat, die onder de ploeglaag bewaard zijn gebleven. Het erkennen en aanduiden van de voornaamste sporen die in deze data werden aangetroffen, sluit echter niet uit dat nog bijkomende sporen aanwezig zijn op het terrein. Bijgevolg dient bij verdere invasieve validatie van de EMI gegevens bijzondere aandacht te worden besteed aan de 'lege' zones, zones zonder duidelijke sporen in de geofysische data, om na te gaan welke de mogelijke archeologische 'blinde vlekken' zijn voor geofysische survey binnen het onderzoeksgebied.

Onder de gedetecteerde sporen dienen in hoofdzaak de aangeduide elektrische en magnetische anomalieën te worden gevalideerd en afgetoetst met resultaten van opvolgend invasief onderzoek. Hoewel reeds een deel van de gedetecteerde sporen via de sonderingen kon worden gevalideerd, blijft een gedegen interpretatie van het archeologisch potentieel van het studiegebied en de aangetroffen sporen afhankelijk van evaluatie via sleuven en/of testputten.

5. Verklaring van schadeloosstelling

De geofysische metingen gebruikt in deze studie werden uitgevoerd in een configuratie om potentiële archeologische sporen te detecteren. Ook de verwerking gebeurde met het oog hierop. Ondanks deze kwaliteitsbetrachting is geen enkele, en daarom ook niet de hier toegepaste, geofysische techniek in staat alle fenomenen in de ondergrond te detecteren.

De interpretatie van de metingen is gebaseerd op uitgebreide theoretische wetenschappelijke kennis, gecombineerd met praktische terreinervaring. Desondanks stellen de uitvoerders zich niet aansprakelijk voor het niet-detecteren van structuren en sporen in de bodem, of voor een afwijkende interpretatie van de sensor-anomalieën.

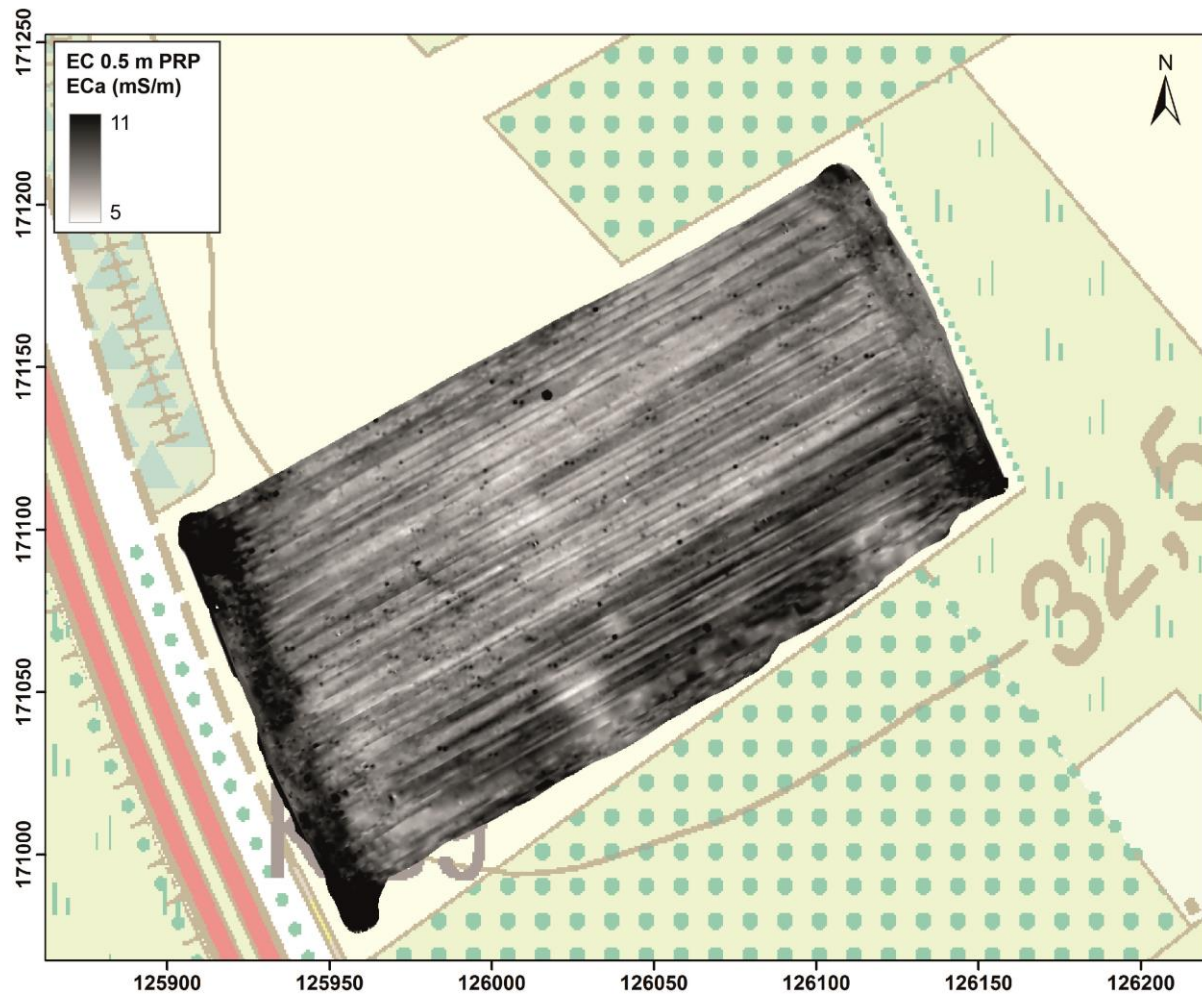
6. Referenties

- Delefortrie, S., De Smedt, P., Saey, T., Van De Vijver, E. & Van Meirvenne, M., 2014. An efficient calibration procedure for correction of drift in EMI survey data, *Journal of Applied Geophysics*, 110, 115-125.
- Dearing, J.A., 1994. Environmental Magnetic Susceptibility. Using the Bartington MS2 system.
- Louis, A., 1962. Verklarende tekst bij het kaartblad Ninove 86 E. in *Bodemkaart van België*, LWONL. Gent.
- Reynolds, J.M., 1997. *An introduction to applied and environmental geophysics*, Vol., pp. Pages, Wiley & Sons, New York.

7. Appendix

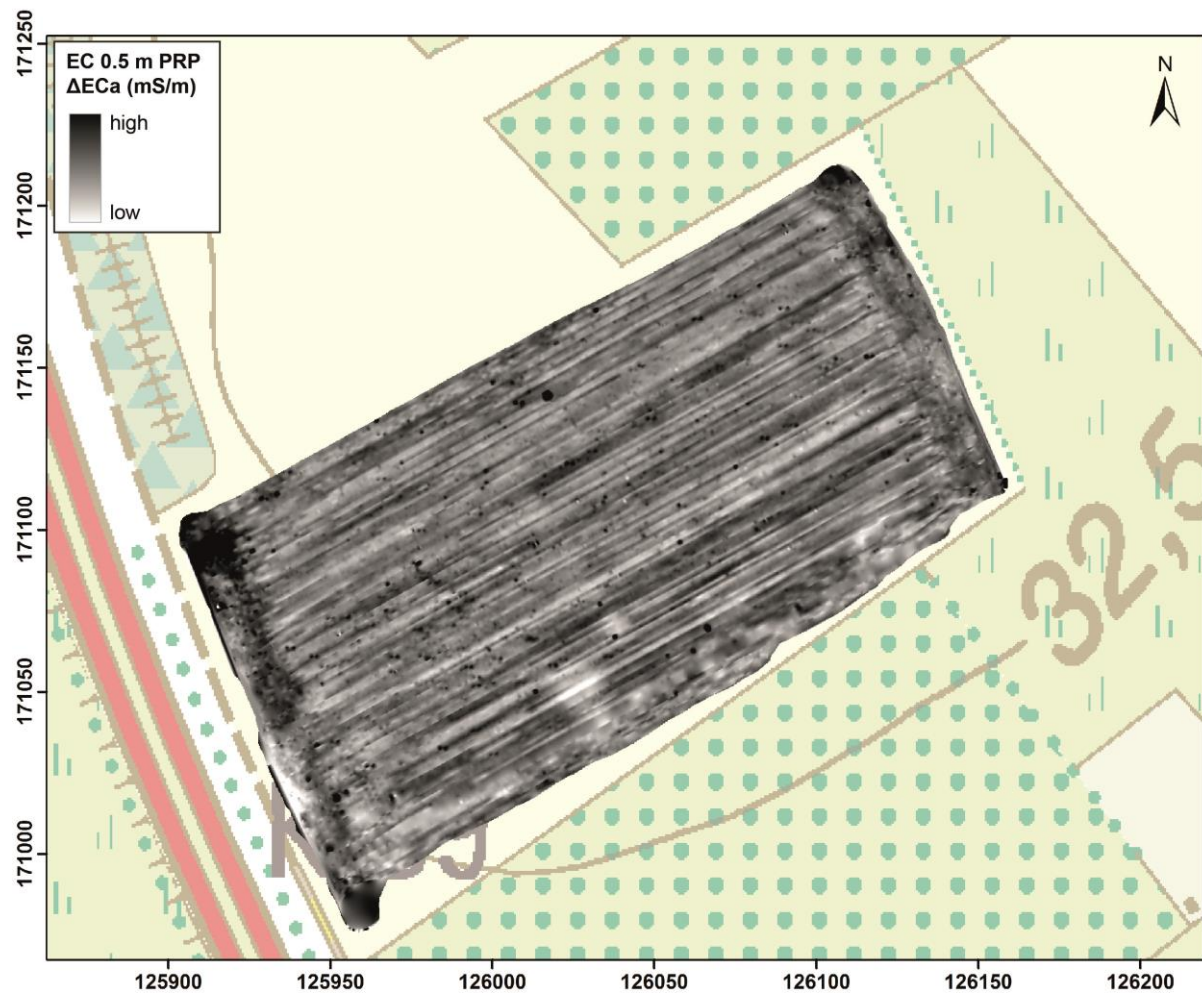
In deze appendix staan alle datalagen die met de EMI sensor werden verzameld weergegeven. Alle data zijn weergegeven in grijsschaal waarbij de donkere waarden telkens hoge elektrische geleidbaarheid of hoge magnetische susceptibiliteit voorstellen, terwijl de lichte waarden lage elektrische geleidbaarheid of laag bodemmagnetisme aanduiden. Datalagen die zich hiertoe het best leenden, zijn tevens gefilterd weergegeven waarbij via high-pass filtering wordt gefocust op de lokale variabiliteit en discrete fenomenen. Als referentie zijn tevens de relevante sporen, zichtbaar in de elektrische en magnetische datalagen, aangeduid. Alle hieronder gepresenteerde datalagen zijn digitaal bij dit rapport beschikbaar gemaakt.

1. Elektrische geleidbaarheid 0.6 m PRP



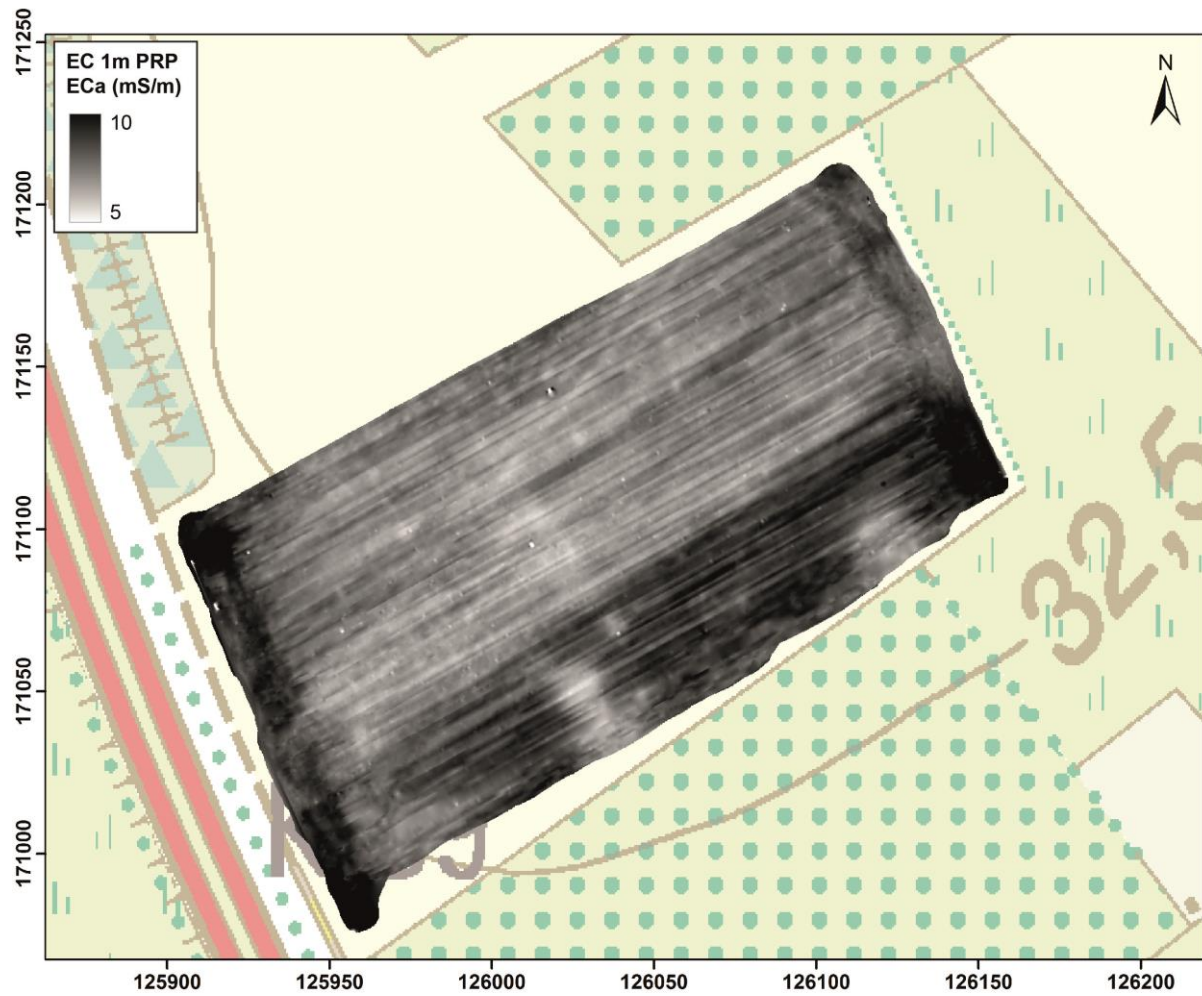
App. 1: Elektrische geleidbaarheid 0.6 m PRP spoelconfiguratie, representatief voor een bodemvolume tot ongeveer 0.3 m onder de sensor.

2. High-pass gefilterde elektrische geleidbaarheid 0.6 m PRP



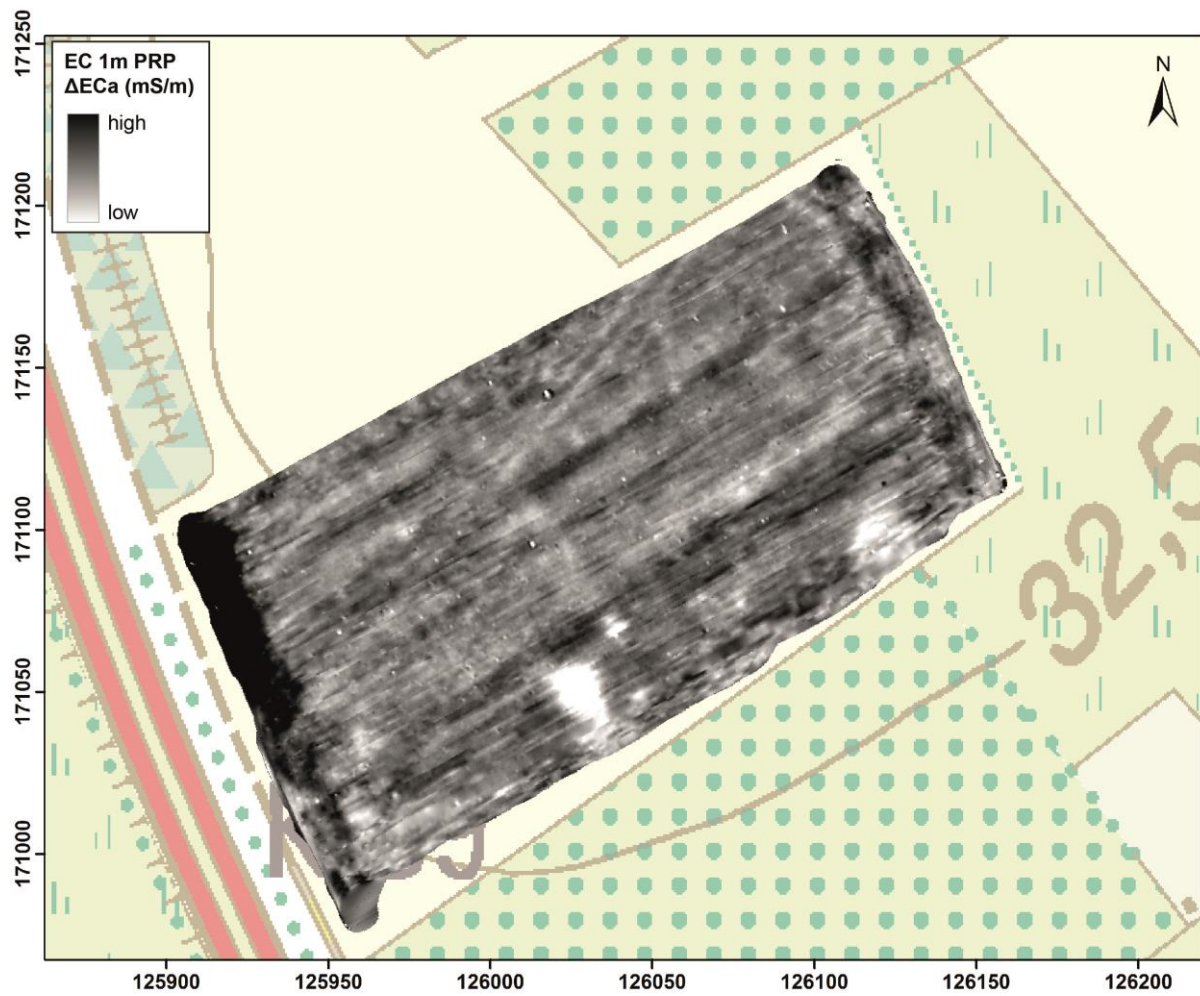
App. 2: High-pass gefilterde elektrische geleidbaarheid 0.6 m PRP spoelconfiguratie, representatief voor een bodemvolume tot ongeveer 0.3 m onder de sensor.

3. Elektrische geleidbaarheid 1.1 m PRP



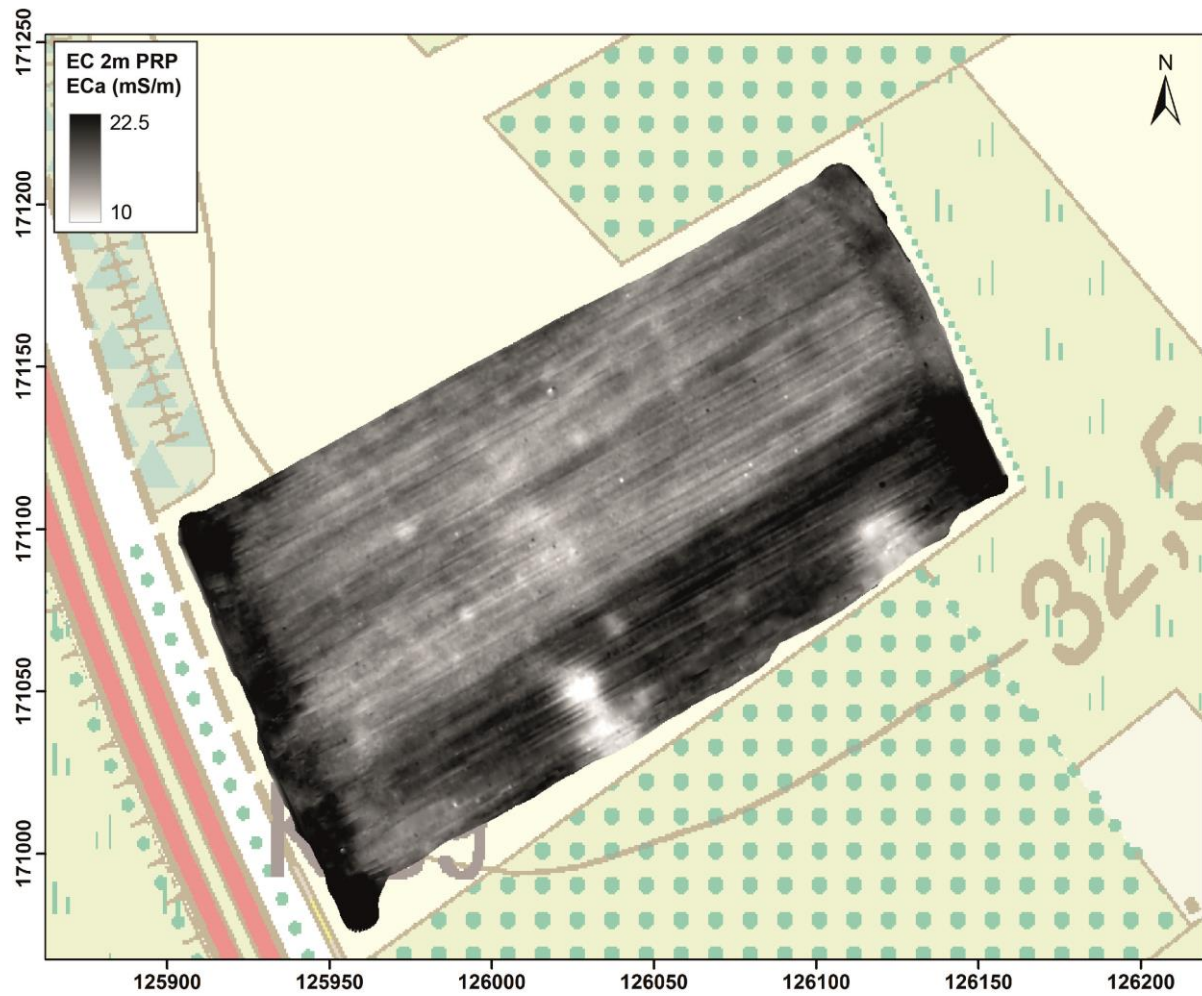
App. 3: Elektrische geleidbaarheid 1.5 m PRP spoelconfiguratie, representatief voor een bodemvolume tot ongeveer 0.5 m onder de sensor.

4. High-pass gefilterde elektrische geleidbaarheid 1.1 m PRP



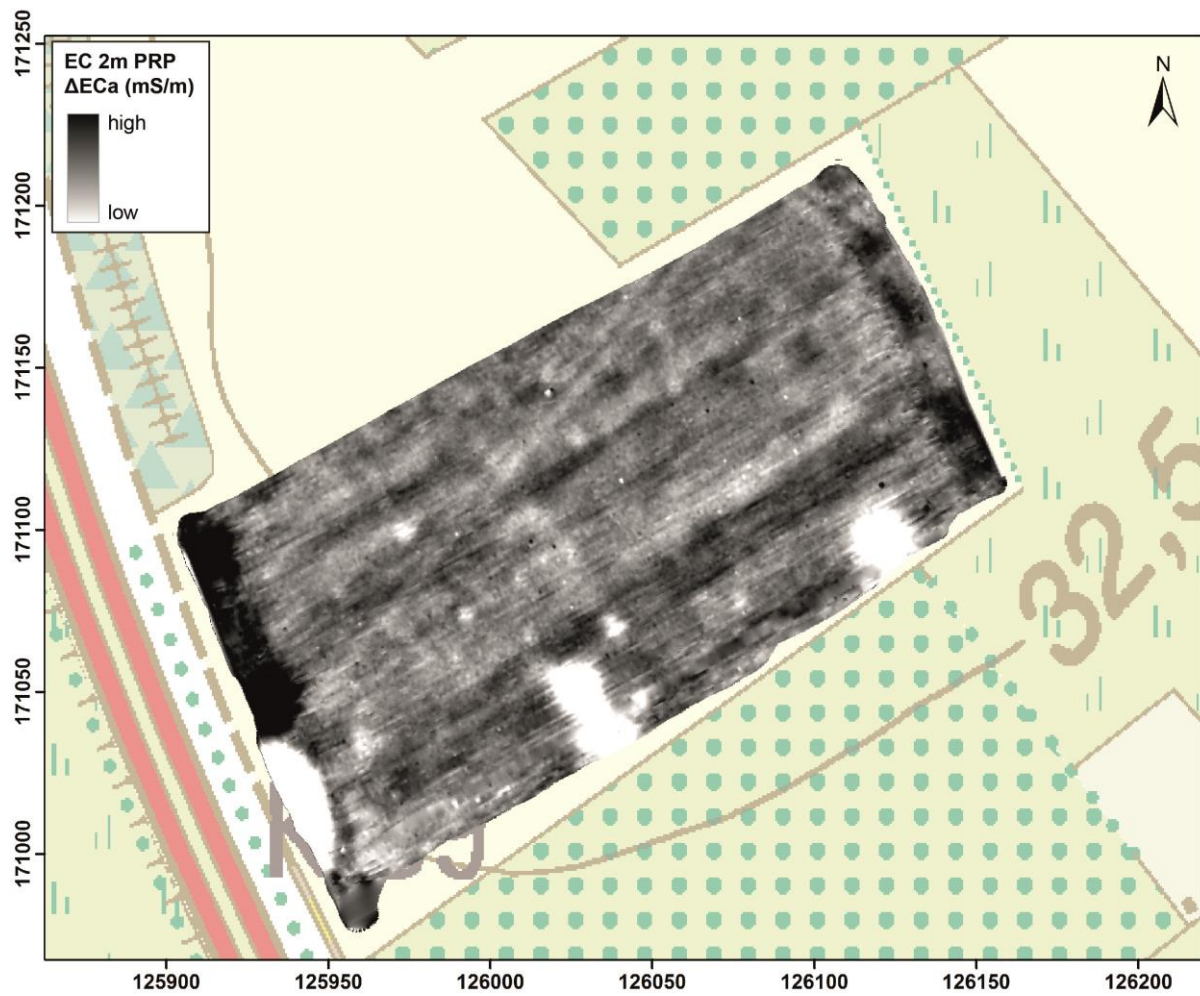
App. 4: High-pass gefilterde elektrische geleidbaarheid 1.1 m PRP spoelconfiguratie, representatief voor een bodemvolume tot ongeveer 0.5 m onder de sensor.

5. Elektrische geleidbaarheid 2.1 m PRP



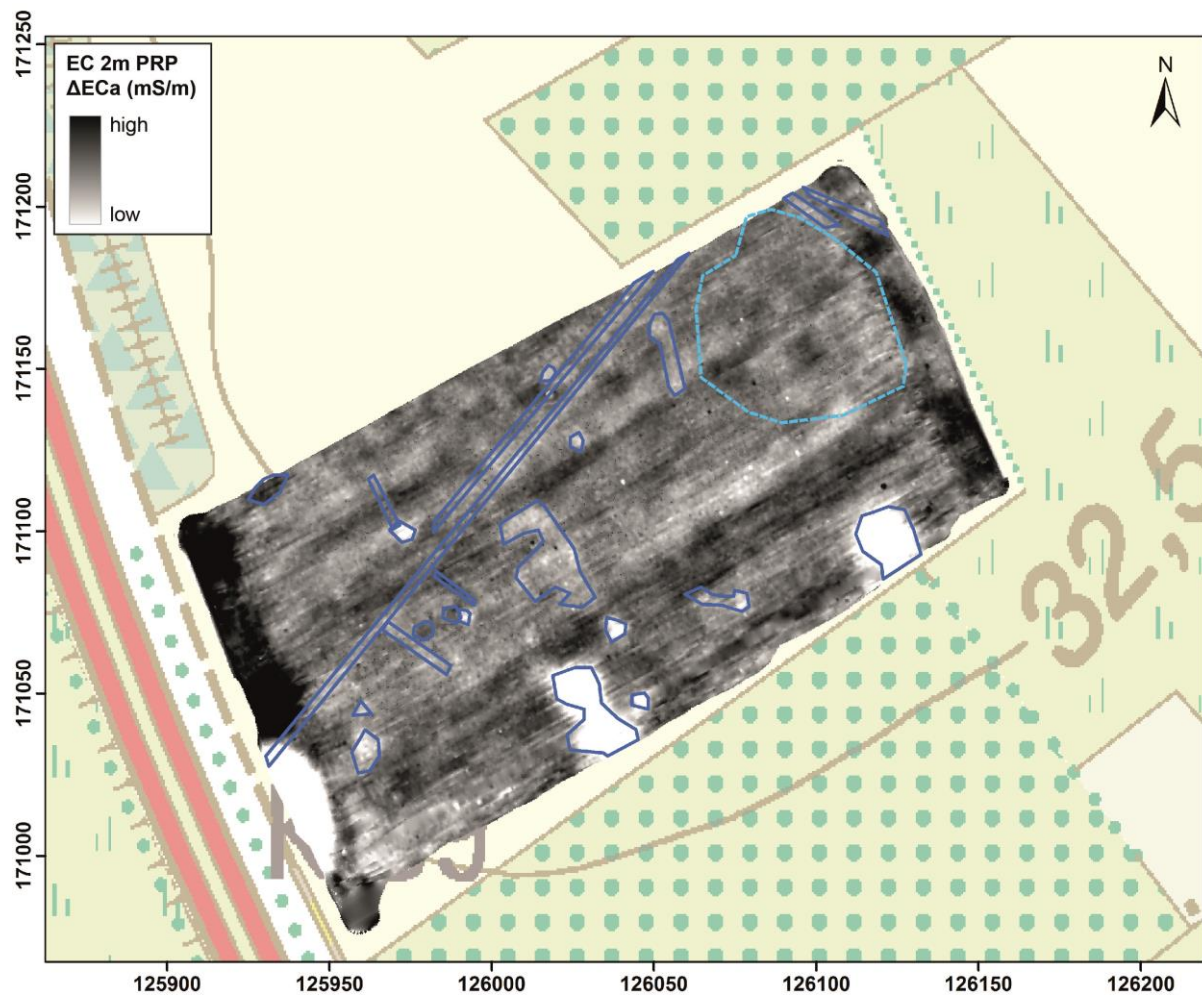
App. 5: Elektrische geleidbaarheid 2.1 m PRP spoelconfiguratie, representatief voor een bodemvolume tot ongeveer 1 m onder de sensor.

6. Elektrische geleidbaarheid 2.1 m PRP



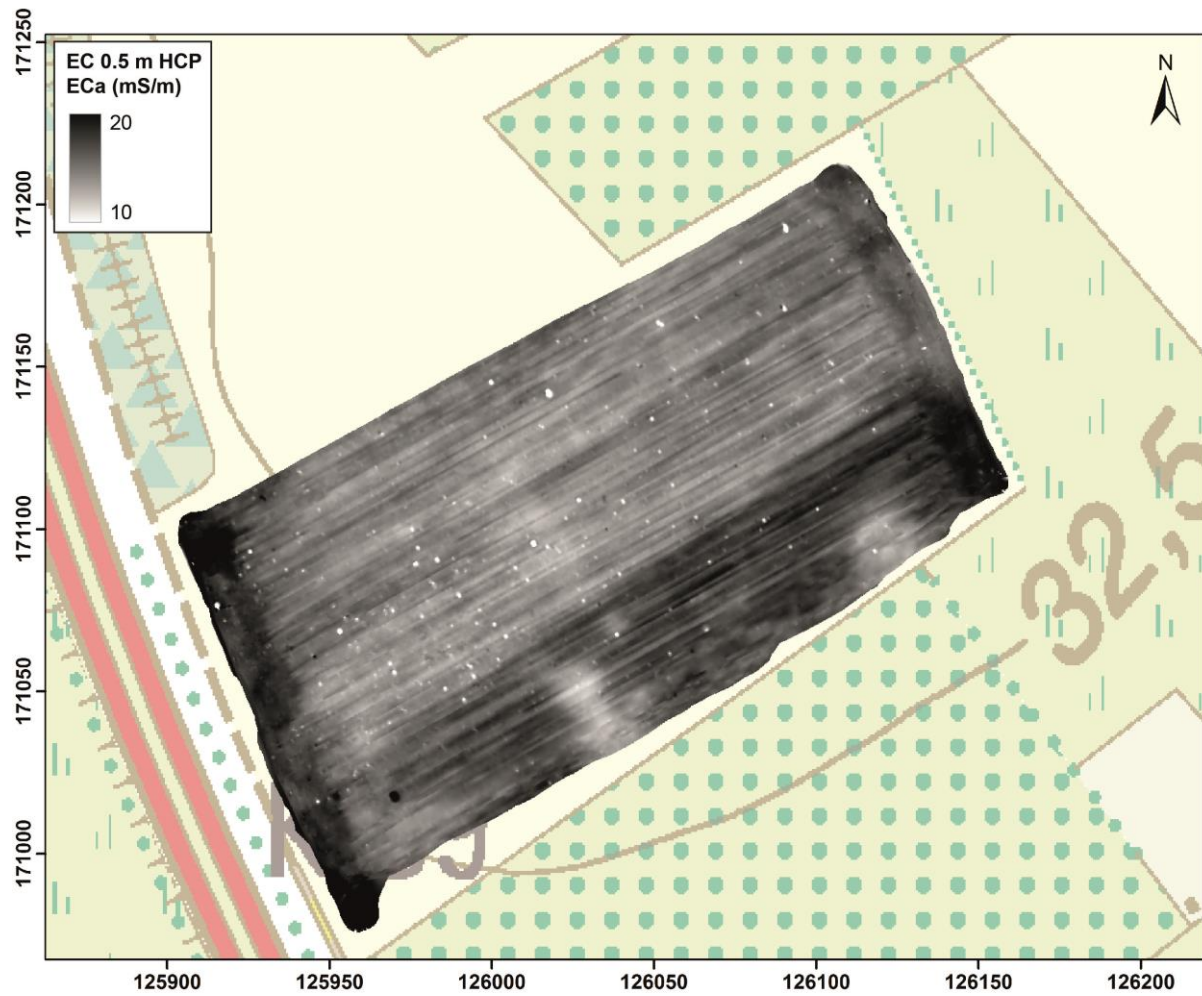
App. 6: High-pass gefilterde elektrische geleidbaarheid 2.1 m PRP spoelconfiguratie, representatief voor een bodemvolume tot ongeveer 0.3 m onder de sensor.

7. High-pass gefilterde elektrische geleidbaarheid 2.1 m PRP met aanduiding sporen



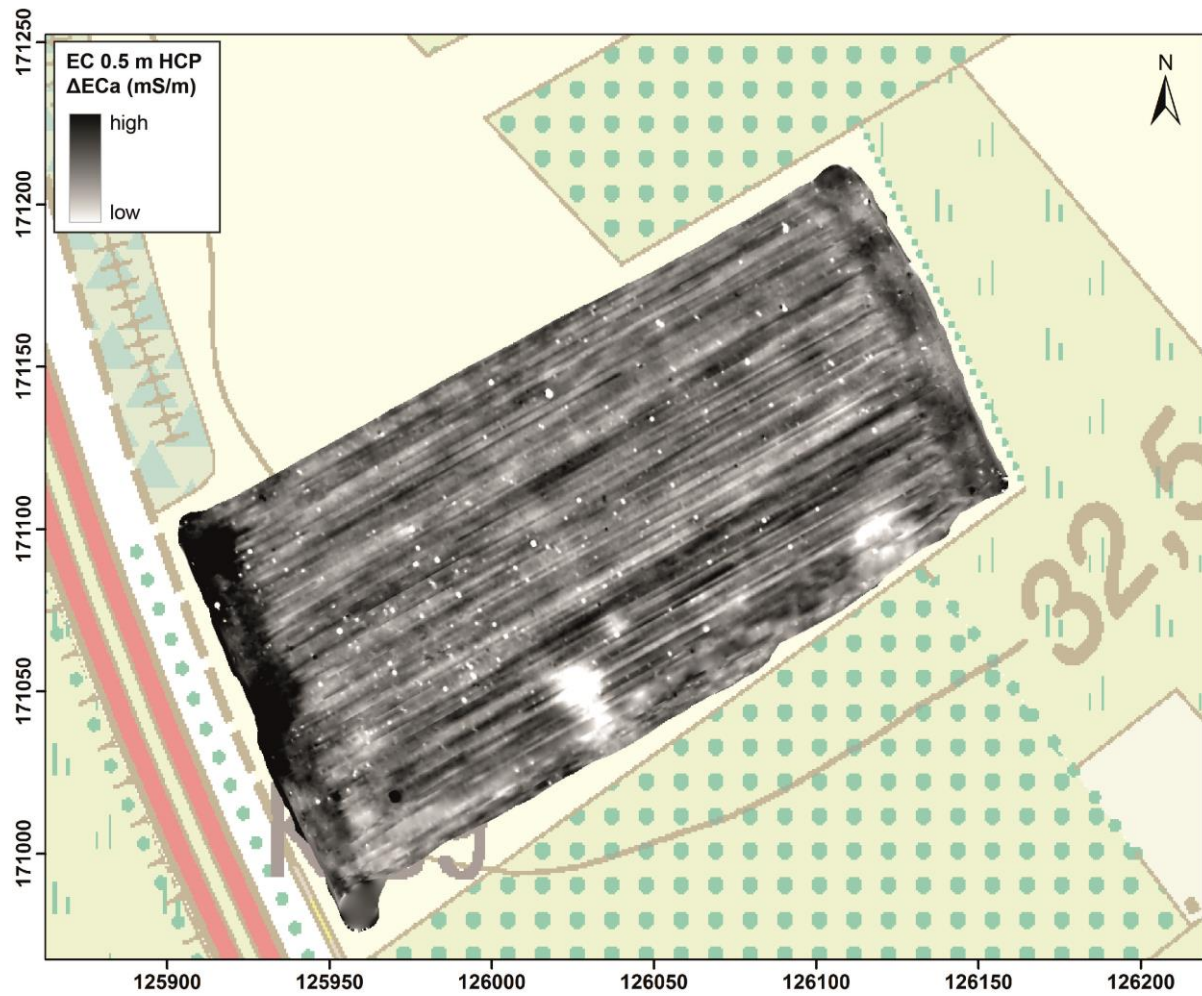
App. 7: High-pass gefilterde elektrische geleidbaarheid 2.1 m PRP spoelconfiguratie, representatief voor een bodemvolume tot ongeveer 1 m onder de sensor, met aanduiding van de duidelijke sporen in de elektrische geleidbaarheidsdata (zie tevens Fig. 6 in de hoofdtypekst)

8. Elektrische geleidbaarheid 0.5 m HCP



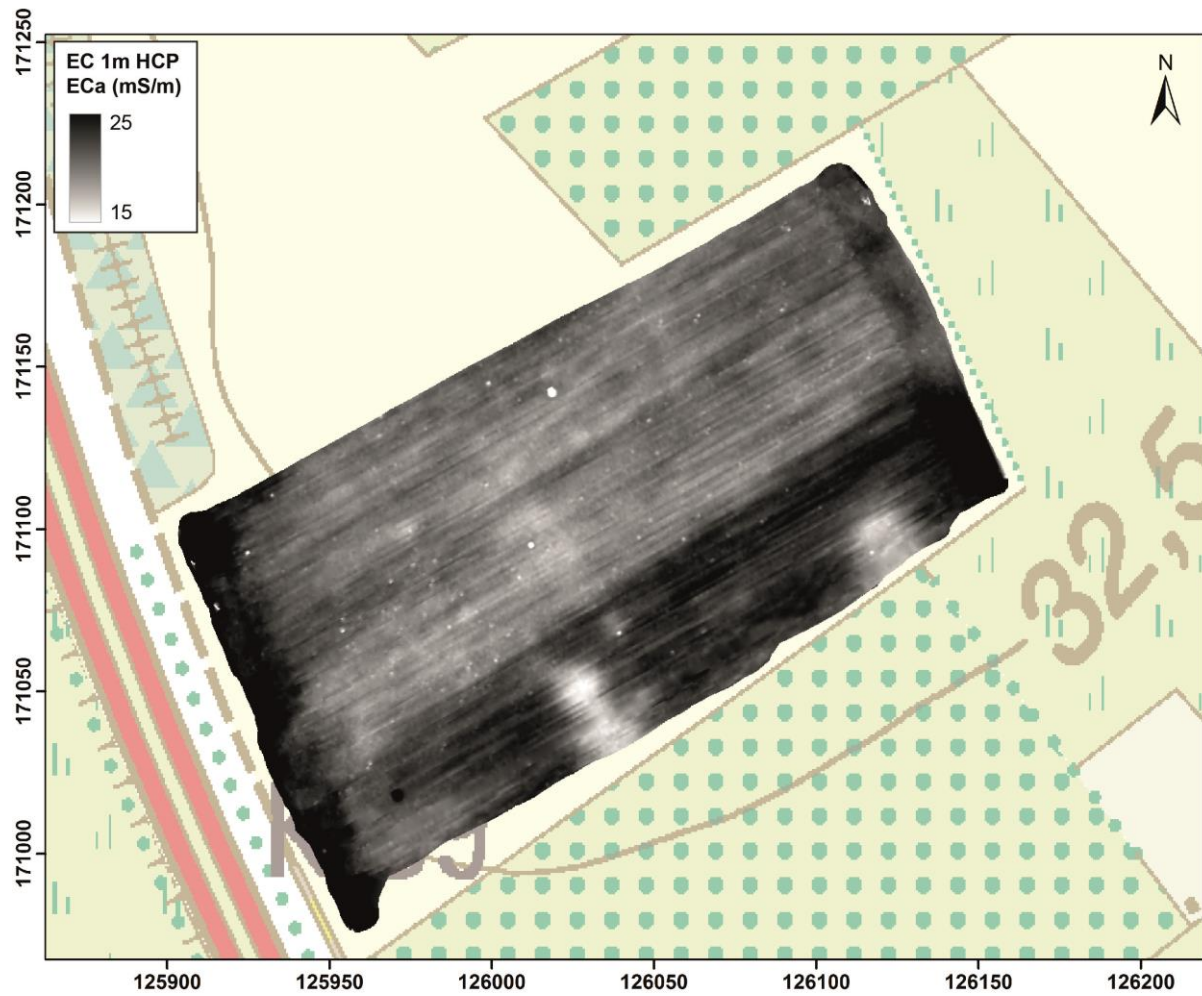
App. 8: Elektrische geleidbaarheid 0.5 m HCP spoelconfiguratie, representatief voor een bodemvolume tot ongeveer 0.6 m onder de sensor.

9. High-pass gefilterde elektrische geleidbaarheid 0.5 m HCP



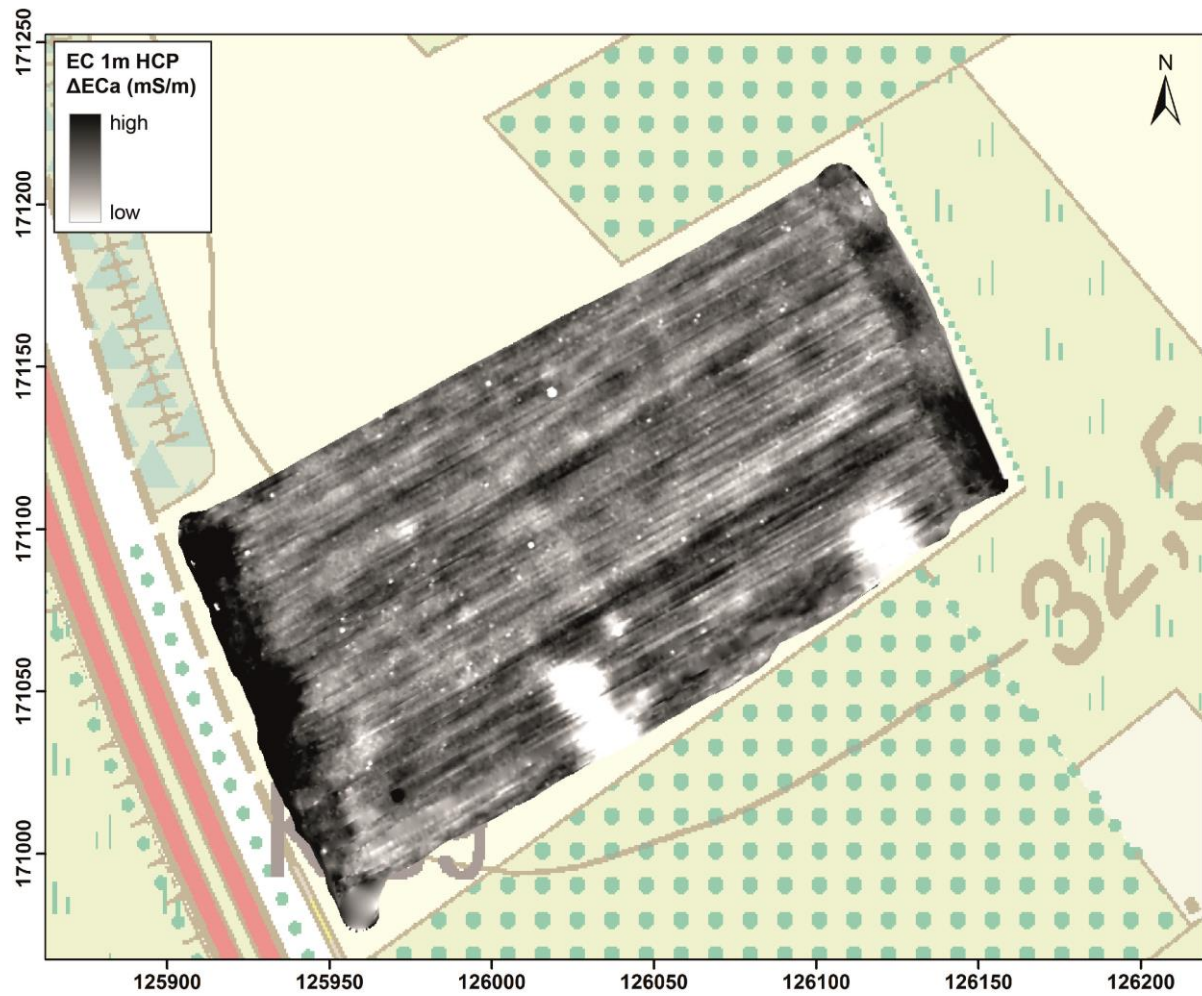
App. 9: Elektrische geleidbaarheid 0.5 m HCP spoelconfiguratie, representatief voor een bodemvolume tot ongeveer 0.6 m onder de sensor.

10. Elektrische geleidbaarheid 1 m HCP



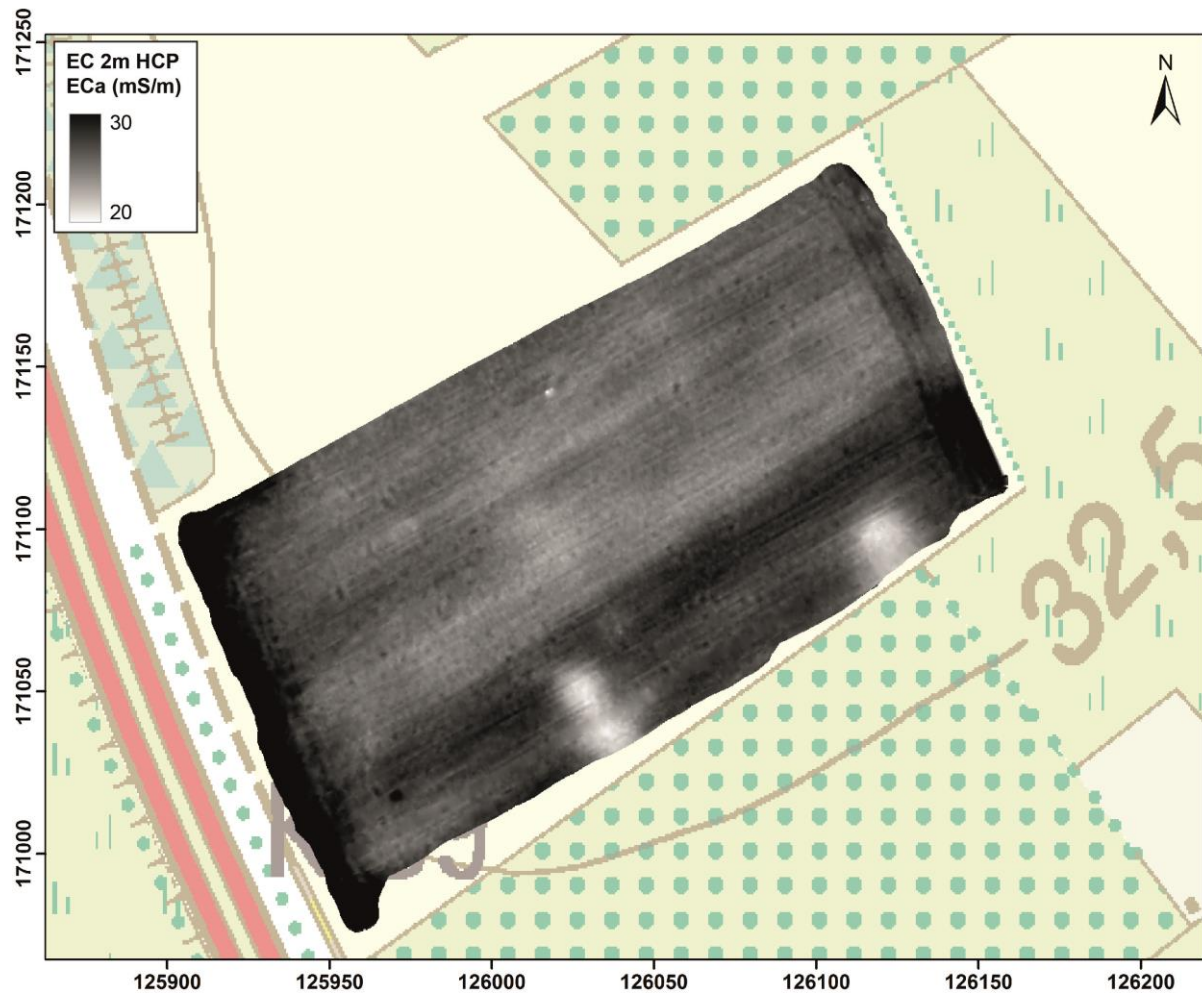
App. 10: Elektrische geleidbaarheid 1 m HCP spoelconfiguratie, representatief voor een bodemvolume tot ongeveer 1.5 m onder de sensor.

11. Elektrische geleidbaarheid 1 m HCP



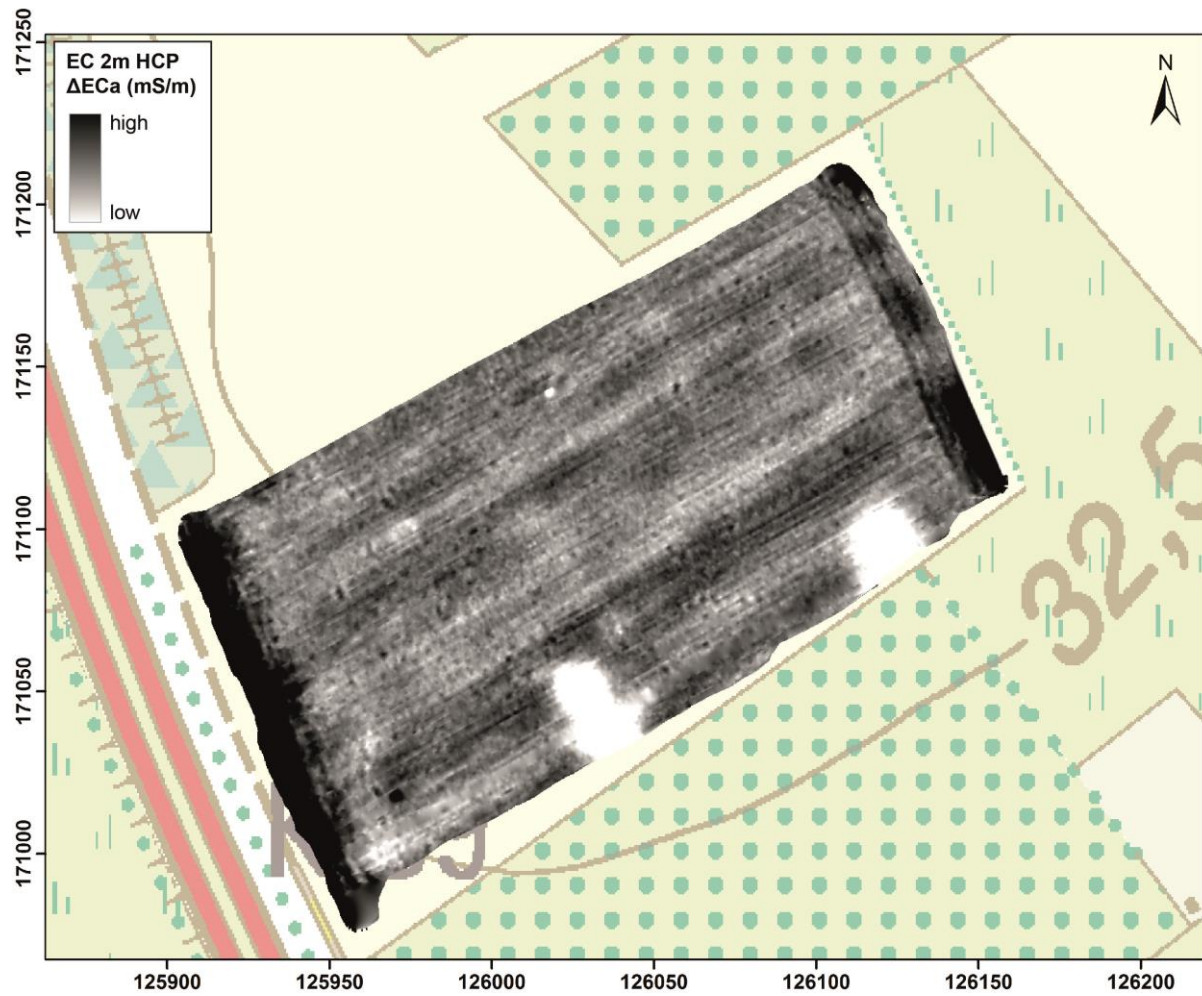
App. 11: Elektrische geleidbaarheid 1 m HCP spoelconfiguratie, representatief voor een bodemvolume tot ongeveer 1.5 m onder de sensor.

12. Elektrische geleidbaarheid 2 m HCP



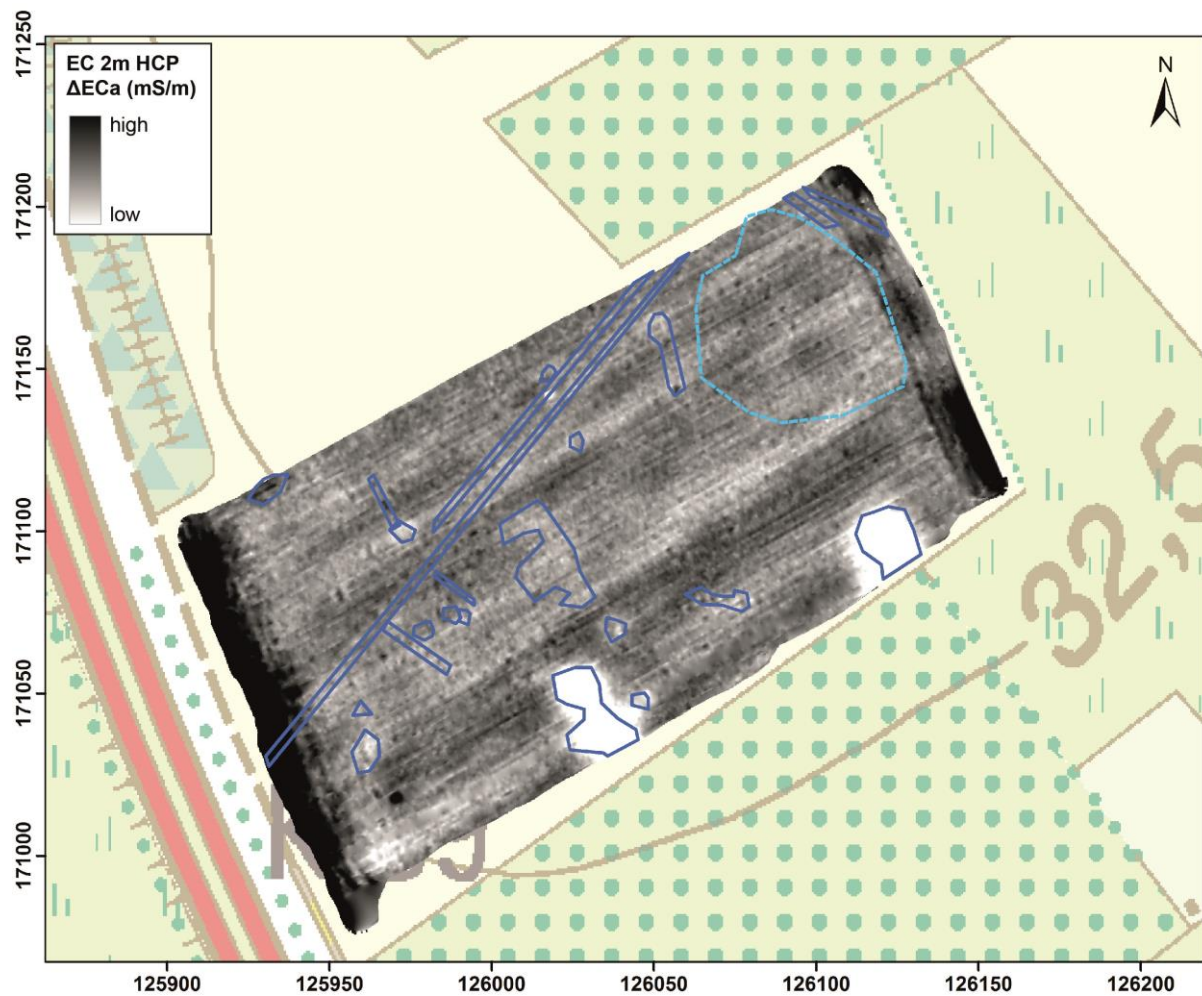
App. 12: Elektrische geleidbaarheid 2 m HCP spoelconfiguratie, representatief voor een bodemvolume tot ongeveer 3 m onder de sensor.

13. Elektrische geleidbaarheid 2 m HCP



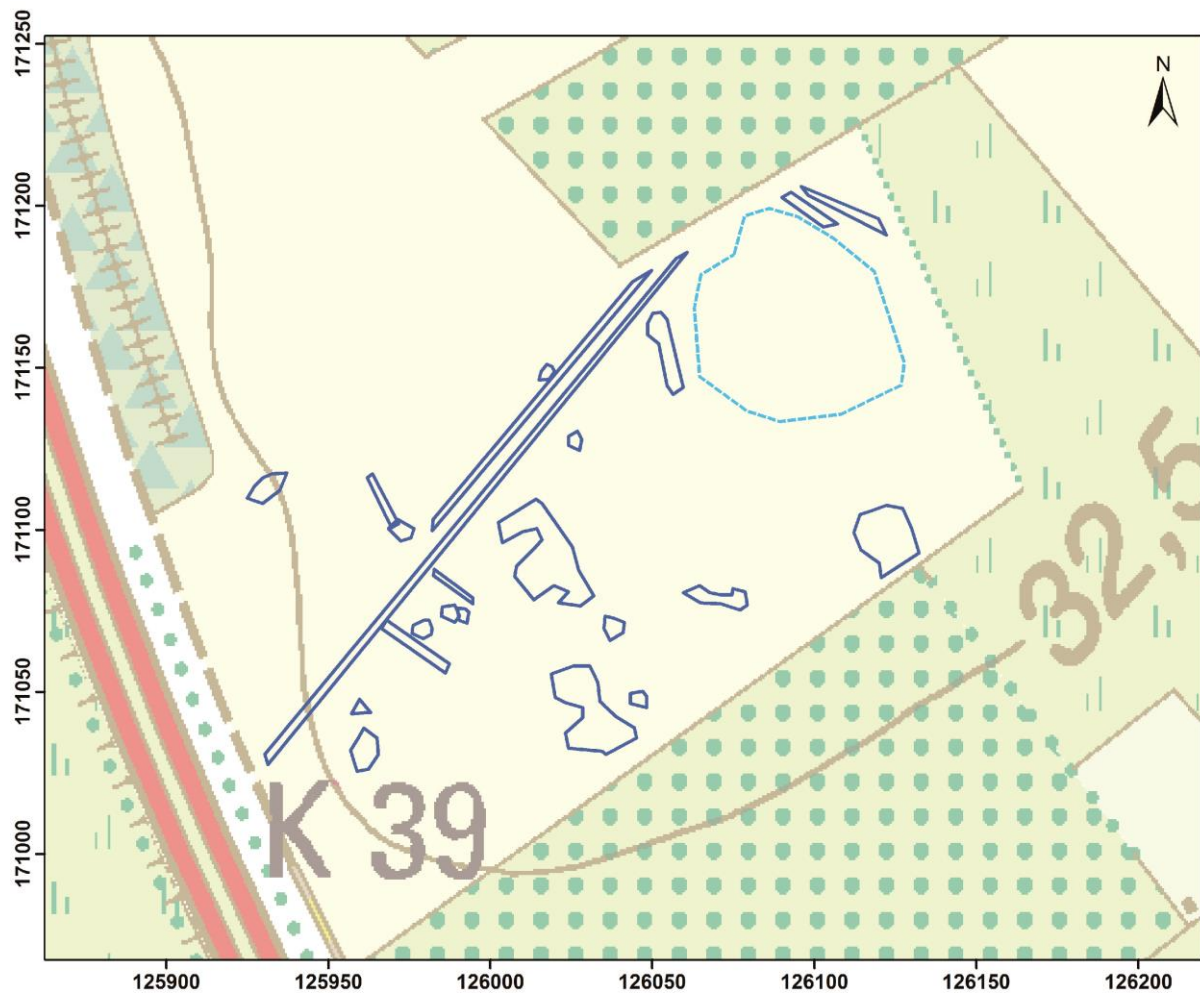
App. 13: Elektrische geleidbaarheid 2 m HCP spoelconfiguratie, representatief voor een bodemvolume tot ongeveer 3 m onder de sensor.

14. High-pass gefilterde elektrische geleidbaarheid 2 m HCP met duiding van sporen



App. 14: High-pass gefilterde elektrische geleidbaarheid 2 m HCP spoelconfiguratie, representatief voor een bodemvolume tot ongeveer 3 m onder de sensor, met aanduiding van de duidelijke sporen in de elektrische geleidbaarheidsdata (zie tevens Fig. 6 in de hoofdtypekst)

15. Sporen elektrische geleidbaarheid (cf. Fig. 6)



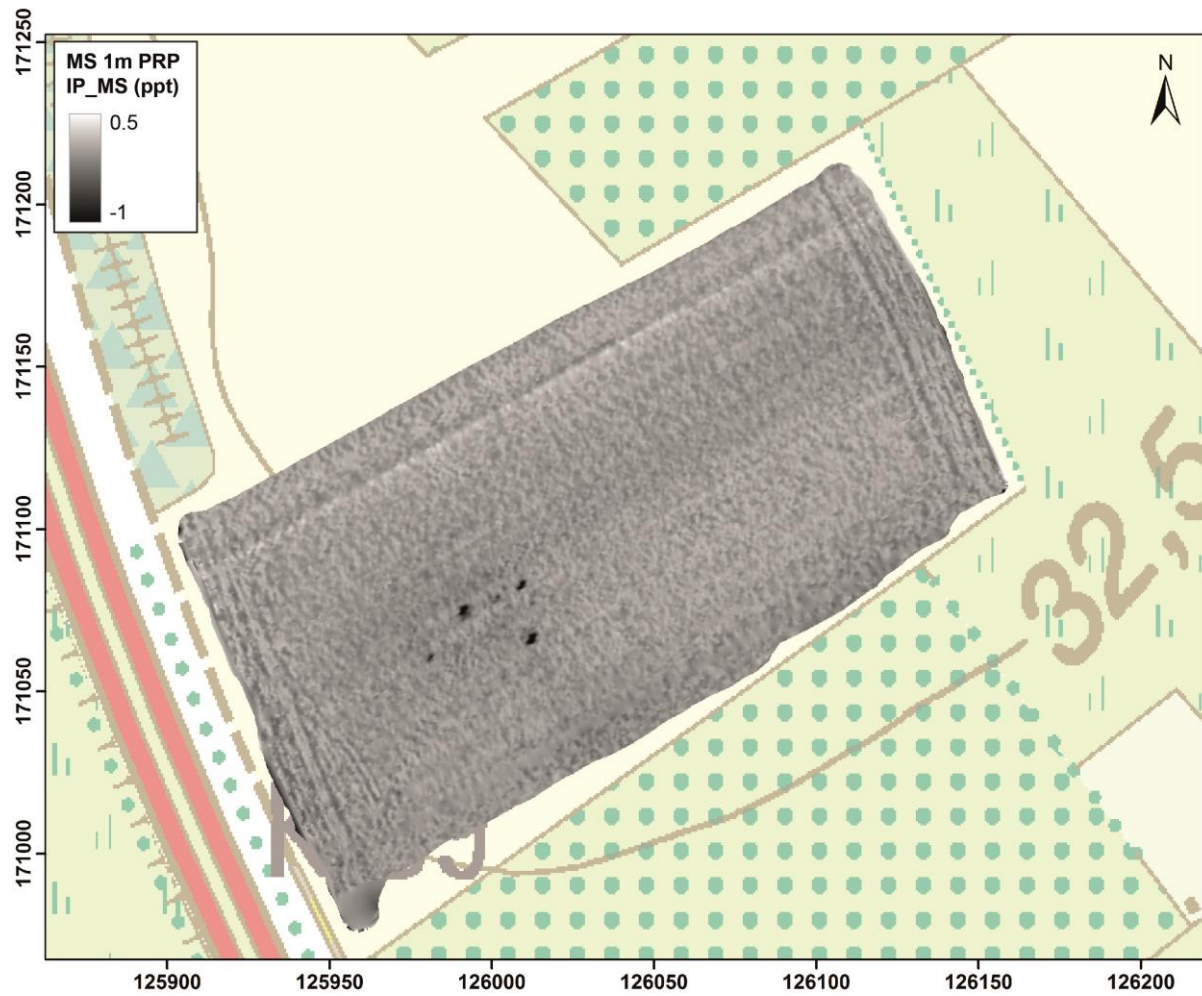
App. 15: Sporen in de elektrische geleidbaarheidsdata (zie tevens Fig. 6 in de hoofdtypekst).

16. In-fase magnetische susceptibiliteit 0.6 m PRP



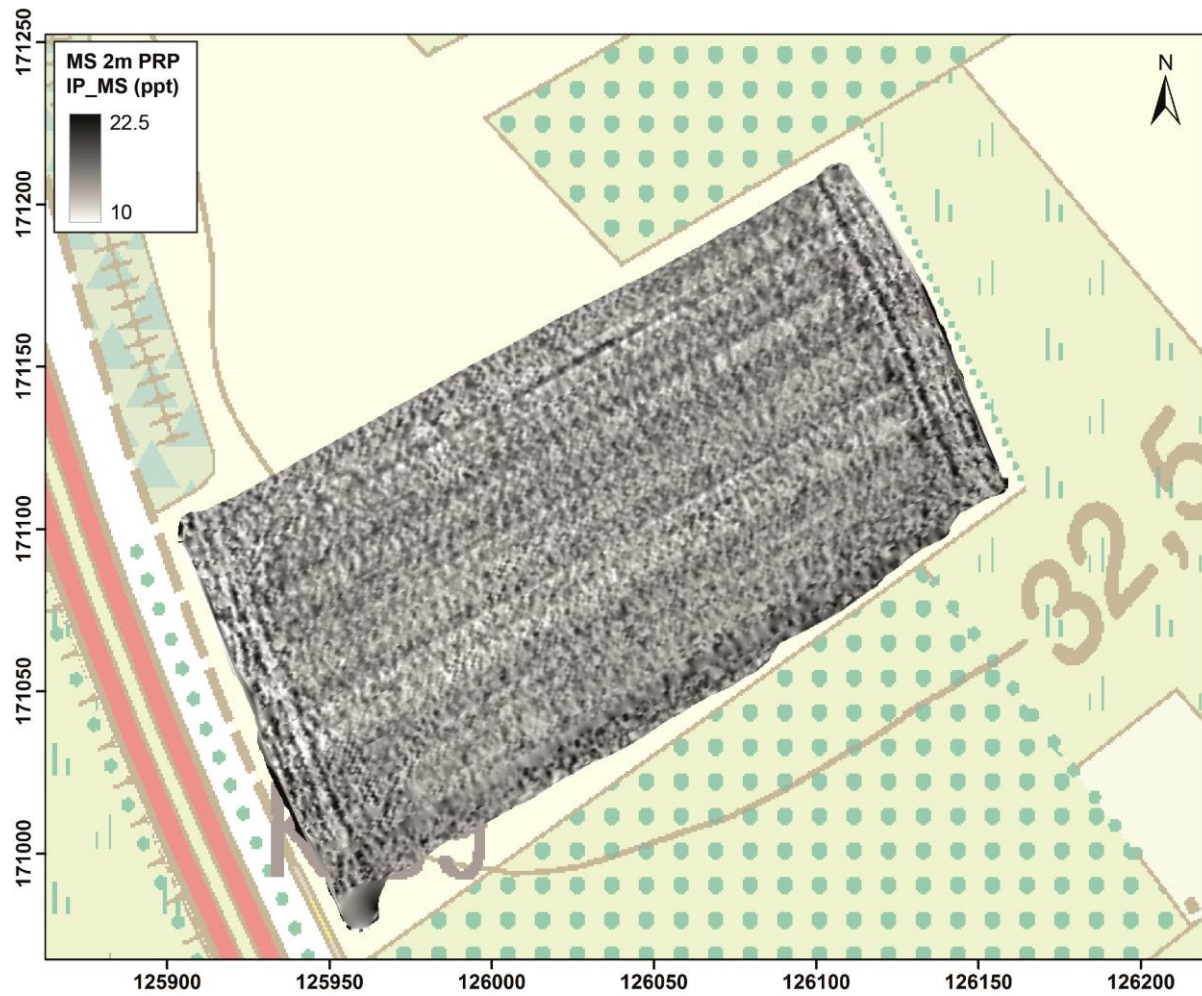
App. 16: In-fase magnetische susceptibiliteit voor de 0.6 m PRP spoelconfiguratie, representatief voor een bodemvolume tot ongeveer 0.3 m onder de sensor.

17. In-fase magnetische susceptibiliteit 1.1 m PRP



App. 17: In-fase magnetische susceptibiliteit voor de 0.6 m PRP spoelconfiguratie, representatief voor een bodemvolume tot ongeveer 0.5 m onder de sensor.

18. In-fase magnetische susceptibiliteit 2.1 m PRP



App. 18: In-fase magnetische susceptibiliteit voor de 2.1 m PRP spoelconfiguratie, representatief voor een bodemvolume tot ongeveer 1 m onder de sensor.

19. In-fase magnetische susceptibiliteit 0.5 m HCP



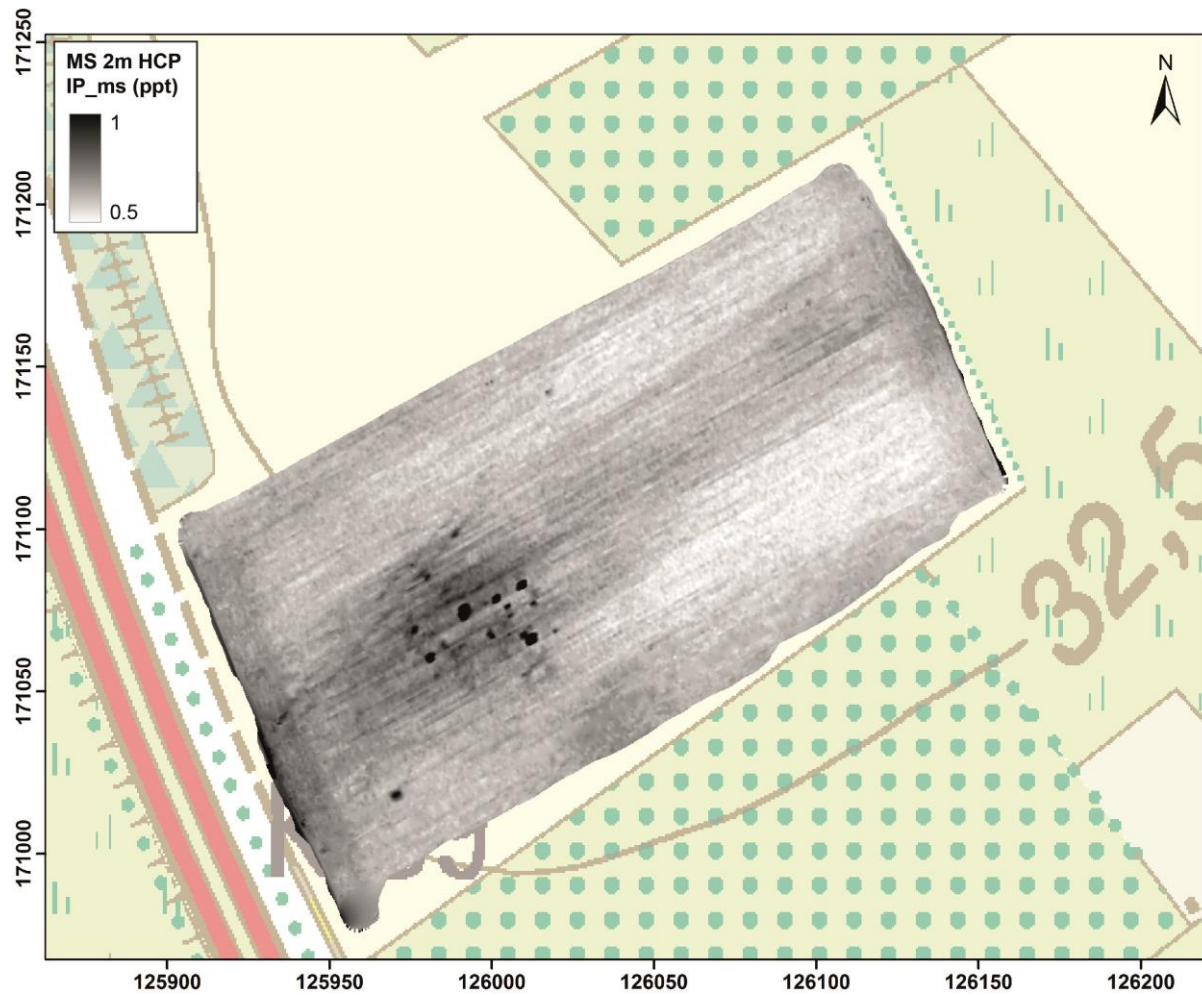
App. 19: In-fase magnetische susceptibiliteit voor de 0.5 m HCP spoelconfiguratie, representatief voor een bodemvolume tot ongeveer 0.5 m onder de sensor.

20. In-fase magnetische susceptibiliteit 1 m HCP



App. 20: In-fase magnetische susceptibiliteit voor de 1 m HCP spoelconfiguratie, representatief voor een bodemvolume tot ongeveer 0.75 m onder de sensor.

21. In-fase magnetische susceptibiliteit 2 m HCP



App. 21: In-fase magnetische susceptibiliteit voor de 2 m HCP spoelconfiguratie, representatief voor een bodemvolume tot ongeveer 1.5 m onder de sensor.

22. High-pass gefilterde in-fase magnetische susceptibiliteit 2 m HCP



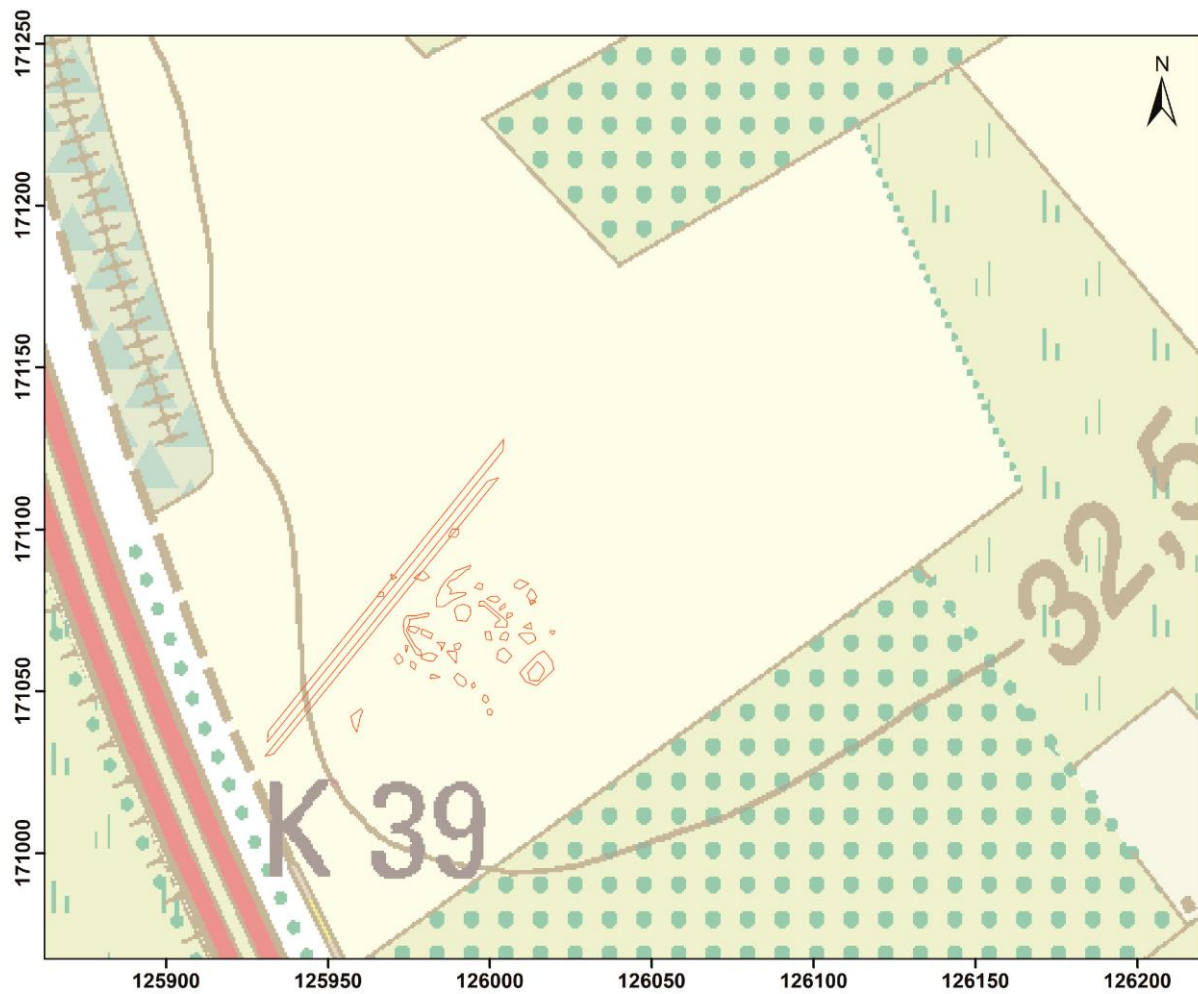
App. 22: High-pass gefilterde in-fase magnetische susceptibiliteit voor de 2 m HCP spoelconfiguratie, representatief voor een bodemvolume tot ongeveer 1.5 m onder de sensor.

23. High-pass gefilterde in-fase magnetische susceptibiliteit 2 m HCP met sporen



App. 23: High-pass gefilterde in-fase magnetische susceptibiliteit voor de 2 m HCP spoelconfiguratie, representatief voor een bodemvolume tot ongeveer 1.5 m onder de sensor, met aanduiding van de duidelijke sporen in de magnetische data (zie tevens Fig. 6 in de hoofdtypekst)

24. High-pass gefilterde in-fase magnetische susceptibiliteit 2 m HCP met sporen



App. 24: Sporen in de magnetische data (zie tevens Fig. 6 in de hoofdtekst)