

Titel : Flankenonderzoek A1-A6  
Pilot geofysische meetmethoden

Project : SAA A1/A6 Diemen – Almere  
Havendreef

Projectnummer : 31037519

Documentnr. : SAAONE-OGW-RAP-100001  
Revisie : 1.0  
Status : Definitief  
Datum : 8 juli 2014

Objectnr. : 0.01.01.01  
Werkpakketnr. : WP-00010  
Activiteitnr. : PAM-PRO-10-5  
Fase : DO





Project	:	A1/A6 Diemen – Almere Havendreef
Objectnummer	:	0.01.01.01
Titel	:	Flankenonderzoek A1-A6
	:	Pilot geofysische meetmethoden
Documentnummer	:	SAAONE-OGW-RAP-100001
Revisie	:	1.0
Pagina	:	2 van 14



Project	:	A1/A6 Diemen – Almere Havendreef
Objectnummer	:	0.01.01.01
Titel	:	Flankenonderzoek A1-A6
Documentnummer	:	SAAONE-OGW-RAP-100001
Revisie	:	1.0

## INHOUDSOPGAVE

<b>1</b>	<b>INLEIDING</b>	<b>4</b>
1.1	Project	4
1.2	Geotechnische ontwerprisico flanken en onderzoek	4
1.2.1	Inzet geofysische meettechnieken	4
1.2.2	Relatie tot Geo-Impuls	5
1.2.3	Uitvoering en rapportage	6
1.3	Doel document	6
<b>2</b>	<b>LEESWIJZER</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>REFERENTIES</b>	<b>8</b>
<b>4</b>	<b>BEOORDELING SAAONE EN CONCLUSIE</b>	<b>9</b>

## BIJLAGEN

**BIJLAGE A RAPPORTAGE DELTARES D.D. MAART 2014**

**BIJLAGE B RAPPORTAGE FUGRO GEOSERVICES D.D. 6 MEI 2014**



Project	:	A1/A6 Diemen – Almere Havendreef
Objectnummer	:	0.01.01.01
Titel	:	Flankenonderzoek A1-A6
Documentnummer	:	SAAONE-OGW-RAP-100001
Revisie	:	1.0

## 1 INLEIDING

### 1.1 Project

Het project SAA (Schiphol-Amsterdam-Almere) omvat het verbreden en deels vernieuwen van de snelwegen A9, A10, A1 en A6 tussen Schiphol, Amsterdam en Almere.

Het project is opgesplitst in een aantal deelprojecten:

- A9: knooppunt Badhoevedorp - Holendrecht
- A9 Gaasperdammerweg: knooppunt Holendrecht - Diemen
- A10 oost/A1: knooppunt Amstel – Watergraafsmeer - Diemen
- A1/A6: knooppunt Diemen – Muiderberg – aansluiting Almere Havendreef
- A6: Hoge Ring – Almere Buiten-Oost

Het deelproject A1/A6 betreft de A9 vanaf de Gaasp tot knooppunt Diemen, de A1 vanaf knooppunt Diemen tot knooppunt Muiderberg en de A6 vanaf knooppunt Muiderberg tot de aansluiting Havendreef in Almere. Dit deelproject is als een DBFM (Design Build Finance Maintenance) aanbesteed. In het kader van het verbreden van dit deeltracé zullen er kunstwerken worden verbreed en/of nieuw worden gebouwd. Het project kan worden verdeeld in twee fasen: de Realisatiefase, oftewel de bouwperiode en de Exploitatiefase oftewel de onderhoudsperiode. De Realisatiefase is circa 5 jaar en de Exploitatiefase is exact 25 jaar. Dat betekent dat de geplande Einddatum van het project pas in 2042 is.

Voor een overzicht van de geïdentificeerde (ontwerp-)risico's, raakvlakken eisen en veiligheid wordt verwezen naar de ontwerpnota van Geotechniek GWW onder documentnummer SAAONE-OGW-ONO-300004 (UO Aardenbaan Cluster 1) en VISE.

### 1.2 Geotechnische ontwerprisico flanken en onderzoek

Op basis van de door Rijkswaterstaat gekozen contractvorm, DBFM, is het risico van de ondergrond vrijwel volledig het risico van de aannemer SAAone. In de tenderfase van het project heeft het ondergrond risico dan ook veel aandacht gekregen van het ontwerpteam en is de overgang van de bestaande aardebanen naar nieuw aan te leggen aardebanen als kritisch aangemerkt. Aanvullend grondonderzoek op de zogenaamde “flanken” dient het risico op verschuivingen ter plaatse van deze overgangen nader te kwantificeren zodat hier in de uitvoering de juiste maatregelen kunnen worden genomen.

De invulling van het flankenonderzoek heeft in de tenderfase bestaan uit het plannen van sonderingen en boringen, haaks op de bestaande wegen, in raaien met een hart op hart afstand van circa 75 m. Aangezien in het project sprake is van circa 6,7 km “flanken” betekende dit een onderzoeksomvang van ruim 560 locaties van vooral sonderingen.

Hoe uitgebreid dit onderzoek ook is voorzien, het blijven puntwaarnemingen waarbij niet kan worden uitgesloten dat belangrijke afwijkingen in de ondergrond worden gemist. Als toelichting hierop kan nog worden gemeld dat de bestaande aardebanen in leeftijd variëren van meer dan 80 jaar (de eerste aanzet van Rijksweg 1) tot enkele jaren aangezien de A1 rond 2010 nog voorzien is van spitsstroken. De methoden die zijn gebruikt bij de aanleg zijn divers, van cunetten met grootschalige grondvervanging tot aan ondiepe aanaardingen. De natuurlijke ondergrond varieert van 6 m veen in de Bloemendalerpolder, circa 4 m slappe kleilagen in Flevoland tot een ligging op de zandige uitlopers van de Utrechtse heuvelrug bij Muiderberg.

#### 1.2.1 Inzet geofysische meettechnieken

Al in de tenderfase is de mogelijkheid van geofysisch onderzoek naar voren gebracht om de flanken van de bestaande rijkswegen op een alternatieve wijze te onderzoeken. Indien succesvol is het met



geofysische onderzoekstechnieken mogelijk een continu beeld van de ondergrond ter plaatse van de flanken te verkrijgen, zodat de maatregelen in de uitvoeringsfase noodzakelijk om restzettingsverschillen te beperken, kunnen worden geoptimaliseerd. De veronderstelde beperkte nauwkeurigheid van de beschikbare technieken en de potentieel negatieve invloed van de omgeving (verkeer, kabels en leidingen, hoge grondwaterstand in de polders) zijn echter keerzijden van de techniek.

Na gunning is besloten om bij de uitvraag (vanuit SAAone) voor het aanvullend geotechnisch onderzoek de onderzoeksbedrijven de mogelijkheid te bieden om met een alternatieve aanbieding voor het flankenonderzoek te komen. Op basis van het voorstel dat Fugro hiervoor gedaan heeft en de mogelijkheden die Deltares zag voor de toepassing van geofysische meettechnieken is SAAone met deze partijen in overleg getreden.

Het overleg heeft geleid tot een voorstel voor het uitvoeren van een pilot, een zogenaamde signaaltest op een locatie ten noordoosten van de Gaasp langs rijksweg 9. Ter plaatse zal de bestaande hooggelegen aardebaan moeten worden verbreed van 2 x 2 rijstroken naar 2 x 5 rijstroken en een uit 2 rijstroken bestaande wisselstrook. De locatie heeft als belangrijk voordeel dat deze eenvoudig bereikbaar en toegankelijk is. Zowel Fugro als Deltares onderstrepen het belang van het uitvoeren van een pilot om te bepalen welke geofysische techniek de meeste kans van slagen heeft voor dit project. Naast geofysische metingen maken ook sonderingen (ter verificatie en ijking) deel uit van de onderzoeksopzet.

### 1.2.2 Relatie tot Geo-Impuls

Het budget van SAAone voor het uitvoeren van de pilot en het uitvoeren van metingen voor het gehele project ligt vast vanuit de tender en is in principe niet toereikend om alle mogelijke technieken te faciliteren en extra inspanningen in de interpretatie van de meetresultaten te vergoeden. Aangezien de toepassing van geofysische meettechnieken voor dit doel een groter belang heeft dan uitsluitend het project A1-A6 is contact gezocht met werkgroep 8 van Geo-Impuls (zie kader). Deze werkgroep houdt zich actief bezig met de promotie van geofysische meettechnieken om beter inzicht te verkrijgen in de ondergrond en een betere modelvorming mogelijk te maken.



In 2009 is door opdrachtgevers, opdrachtnemers, kennisinstellingen en ingenieursbureaus uit de gww sector het programma Geo-Impuls gestart dat de geotechnische faalkosten in het jaar 2015 met 50% moet reduceren. Het Geo-Impuls programma is een initiatief van Rijkswaterstaat, Dienst Infrastructuur (RWS-DI). Uit een interne analyse was gebleken dat de faalkosten verbonden aan projecten in veel gevallen waren terug te voeren op de ondergrond. Verschillende schattingen (SBR, NVAf, TNO) liggen in de orde van 10 tot 20 procent van de totale bouwkosten.

Tijd voor verandering dus, tijd voor een Geo-Impuls. Daarom zijn ruim 200 professionals uit bijna 40 organisaties in 2009 het programma gestart. Geotechnisch falen ontstaat deels door een gebrek aan goed risicomanagement. Het programma richt zich dan ook naast de ontwikkeling van nieuwe kennis en instrumenten, vooral ook op de toepassing van bestaande kennis en instrumenten op het juiste moment binnen projecten centraal. Daartoe is in 2011 GeoRisicomanagement (GeoRM) als werkwijze omarmt.



Project	:	A1/A6 Diemen – Almere Havendreef
Objectnummer	:	0.01.01.01
Titel	:	Flankenonderzoek A1-A6
Documentnummer	:	SAAONE-OGW-RAP-100001
Revisie	:	1.0

Deltares en Fugro nemen evenals de SAAone partijen Boskalis en VolkerWessels actief deel aan Geo-Impuls. Vanuit deze partijen is dan ook aangegeven dat de extra werkzaamheden bedoeld voor het realiseren van een optimale pilot deels gefinancierd kunnen worden vanuit door hun toegezegde gelden aan Geo-Impuls, waarbij de resultaten dan ook gedeeld worden met werkgroep 8 en vervolgens met alle andere geïnteresseerden.

Bij een positief resultaat van de pilot komt voor het project een techniek beschikbaar die de ondergrond risico's voor de aanleg ter plaatse van de flanken beheersbaar maakt, waarbij deze techniek tevens beschikbaar zal komen voor de markt als totaal. Indien de toepassing van geofysische meettechnieken niet succesvol zijn dan zal het project terugvallen op het scenario van het uitvoeren van sonderingen in raaien.

### **1.2.3 Uitvoering en rapportage**

De uitvoering van het geofysisch onderzoek (pilot) heeft plaats gevonden in april 2013. Ten behoeve van de interpretatie (ijking) van de meetresultaten zijn in juni 2013 aanvullend sonderingen uitgevoerd. In de bijlagen A en B van dit rapport zijn de rapportages opgenomen zoals deze door Deltares en Fugro GeoServices zijn uitgebracht.

### **1.3 Doel document**

Dit document bevat naast de rapportages van Deltares en Fugro GeoServices ook de beoordeling van de effectiviteit van de ingezette geofysische meetmethoden door de aannemer (eindgebruiker). Dit document is tevens ook de basis voor de rapportage in Geo-Impuls verband.



Project	:	A1/A6 Diemen – Almere Havendreef
Objectnummer	:	0.01.01.01
Titel	:	Flankenonderzoek A1-A6
Documentnummer	:	SAAONE-OGW-RAP-100001
Revisie	:	1.0

## 2 LEESWIJZER

In Tabel 2-1 is de leeswijzer gepresenteerd.

**Tabel 2-1: Leeswijzer**

Hoofdstuk	Onderwerp
1	Inleiding
2	Leeswijzer
3	Referenties
4	Beoordeling onderzoek SAAone en vervolg



Project	:	A1/A6 Diemen – Almere Havendreef
Objectnummer	:	0.01.01.01
Titel	:	Flankenonderzoek A1-A6
Documentnummer	:	SAAONE-OGW-RAP-100001
Revisie	:	1.0

### 3 REFERENTIES

In Tabel 3-1 zijn de gehanteerde referenties voor dit rapport weergegeven.

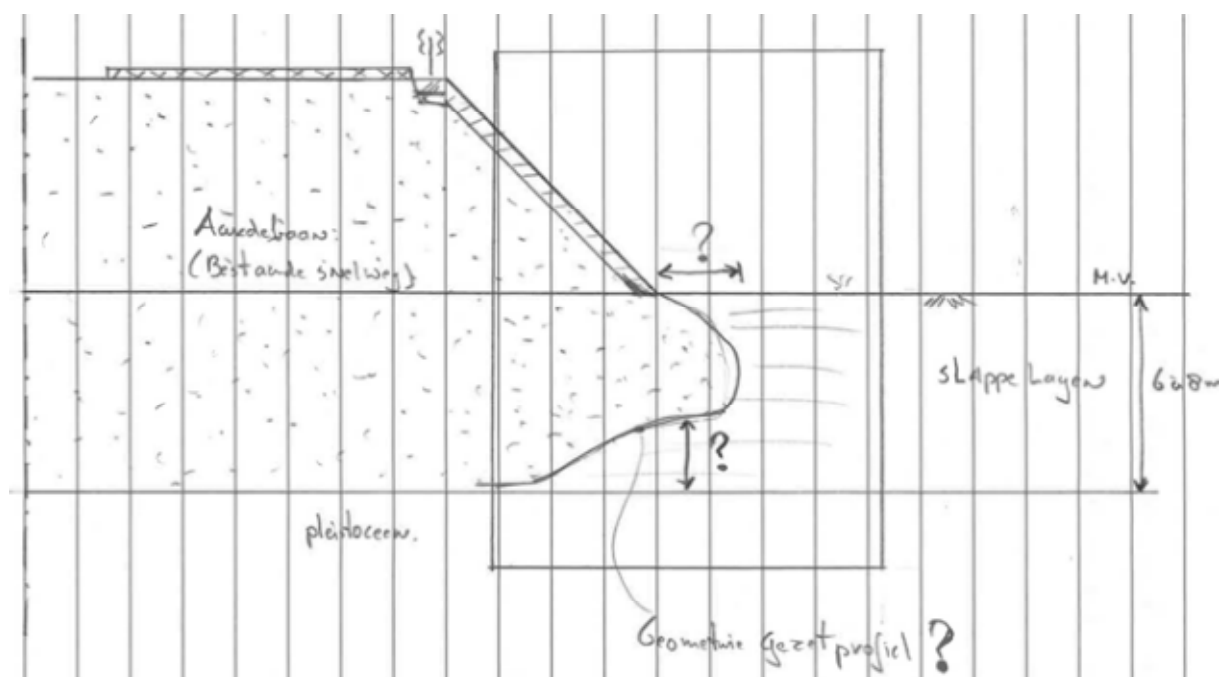
**Tabel 3-1 Referenties ontwerpnota:**

Ref.	Document (D) / Tekening (T) / Grondonderzoek (G)	Nr.	Versie	Datum
[1]	T Grondonderzoek – overzicht t.p.v. K043 “SAA - A1 - A6 Diemen - Almere”	SAAone-OWM-TEK-000013 blad 8	1	
[2]	G Tendergrondonderzoek – overzicht t.p.v. K043 “SAA deelproject A1 A6 Diemen – Almere”	7010-0439-000	R02v04	30-06-2011
[3]	G Aanvullend grondonderzoek SAA1	1204091	In uitvoering	In uitvoering
[4]	D Ontwerpnota UO Aardenbaan Cluster 1	SAAONE-OGR-ONO- 300004-1.0	0.1	18-4-2014
[5]	D Ontwerpnota UO Aardenbaan Cluster 2	SAAONE-OGR-ONO- 300005-1.0	0.1	21-5-2014

## 4 BEOORDELING SAAONE EN CONCLUSIE

Een eerste terugkoppeling van de meetresultaten is aan SAAone gepresenteerd in juni 2013. Op dat moment bleek het lastig om de concrete vraag vanuit SAAone te beantwoorden op basis van de eerste interpretaties door Fugro en Deltares.

Vanuit SAAone is vervolgens onderstaande figuur verstrekt om te benadrukken dat het doel van het onderzoek vooral het bepalen van de geometrie van het gezette wegprofiel is. Ten aanzien van de samenstelling en de eigenschappen van het cunetzand en de van nature aanwezige bodemlagen hoeft het geofysisch onderzoek geen informatie te geven. Die gegevens kunnen immers betrouwbaar aan de puntwaarnemingen (sonderingen, boringen en laboratoriumonderzoek) worden ontleend.



Figuur 1: Vraagstelling SAAone

Op basis van de resultaten van de metingen was het de verwachting dat dit profiel met geofysische methoden goed te bepalen is wanneer er een duidelijk onderscheid aanwezig is tussen slappe veen- en kleilagen en het zand van de aardebaan. Wanneer de omliggende lagen uit grotendeels uit zand bestaan in het bepalen van de grensvlakken met geofysische methoden lastig.

Samengevat blijkt uit het proefonderzoek dat Elektromagnetisch (EM) onderzoek een snelle manier is om de laterale uitbreiding van het zandcunet in kaart te brengen, waarna met Grondradar (GPR) de bovenste meters van de bodemopbouw gedetailleerd gekarteerd kunnen worden en met de Ohmmapper (GE) de diepere bodemopbouw op de taluds in beeld gebracht kan worden. Voor de resultaten wordt verwezen naar de bijlagen A en B.

In vervolg op de pilot is in overleg met Fugro en Deltares gekeken naar de mogelijke toepassingen op de overige flanken, waarbij met name ook de omgevingsbeperkende invloeden in relatie tot de geselecteerde technieken is beschouwd, zie de tabellen 1 en 2.

Tabel 1: meetgebieden langs A9, A1 en A6

vak	km		lengte	breedte	oppervlak	Opmerking, ligging in relatie tot bestaande situatie
	van	tot	[m]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	
1	5.9	6.7	800	9	7200	Ligt aan westkant van A9 t.o. proefvak
3a	0.1	0.2	100	6	600	Knooppunt Diemen (A1 & A9), zuidkant zuidelijke afrit A1 > A9
3b	7.4	8.55	1150	11	12650	Knooppunt Diemen (A1 & A9), zuidkant A1
3c	7.4	7.9	500	9	4500	Knooppunt Diemen (A1 & A9), noordkant A1
3d	0.25	0.4	150	6	900	Knooppunt Diemen (A1 & A9), oostkant westelijke oprit A1 > A9
3e	0.25	0.5	250	4	1000	Knooppunt Diemen (A1 & A9), oostkant A9
4	8.9	9.5	600	15	9000	Ligt aan zuidkant van A1
5	9.5	9.8	300	15	4500	Ligt aan zuidkant van A1
6	9.8	10	200	15	3000	Ligt aan zuidkant van A1
6b	14.15	14.95	800	14	11200	Knooppunt Muiderberg (A1 & A6), noordkant A1
7b	14	15.1	1100	11	12100	Knooppunt Muiderberg (A1 & A6), zuidkant A1
20	47.6	48	400	23	9200	Ligt aan oostkant van A6, afrit 3, Almere stad west

Per gebied is gekeken welke methode toepasbaar is. In tabel 2 is per gebied aangegeven welke methode kan worden toegepast, inclusief een globale omschrijving van de toegankelijkheid van het gebied.

Tabel 2: Toepassing geofysica per meetgebied

vak	EM	GE *	GPR	Opmerking
1	ja	nee	ja	Goed toegankelijk, vlak open gebied, geen verstoringen, alleen vangrail
3a	ja	nee	ja	Redelijk vlak, enkele struiken, alleen vangrail
3b	ja	nee	ja	Westelijk deel toegankelijk, oostelijk deel moeilijk toegankelijk tussen op- en afrit
3c	ja	nee	ja	Westelijk deel toegankelijk, oostelijk deel moeilijk toegankelijk
3d	ja	nee	ja	Moeilijk toegankelijk tussen A9 en oprit
3e	ja	nee	ja	Redelijk goed toegankelijk, vangrail
4	ja	nee	ja	Moeilijk toegankelijk door begroeiing
5	nee	ja	ja	Goed toegankelijk, bestrating, boerderijen, hoogspanningsleiding, stalen damwand
6	nee	ja	ja	Goed toegankelijk, bestrating, boerderijen, stalen damwand
6b	ja	nee	ja	Goed toegankelijk, vlak open gebied, asfaltweg
7b	ja	nee	ja	Westelijk deel toegankelijk, oostelijk deel moeilijk toegankelijk tussen op- en afrit
20	ja	nee	ja	Goed toegankelijk, vlak open gebied, geen verstoringen, alleen vangrail

\*) Op hoge taluds GE inzetten.

## SAAONE review meetdata

Doel van de geofysische metingen was het vaststellen van risico-locaties met betrekking tot de langsvlakheid. De metingen waren onderdeel van een uitgebreid aanvullend grondonderzoek na aanbesteding en zouden in het geotechnisch ontwerp kunnen worden gebruikt om ontwerpkeuzes te kunnen maken (grondverbetering of voorbelasten met drains).

Op basis van de uitgevoerde sonderingen en boringen was al duidelijk dat verschillen in bodemopbouw parallel aan de weg niet waarschijnlijk waren. De aardebaan van de A9 gaat op veel plekken over in het Pleistocene zand met slechts een aantal dunne stoorlagen ertussen. Dwars op de



Project	:	A1/A6 Diemen – Almere Havendreef
Objectnummer	:	0.01.01.01
Titel	:	Flankenonderzoek A1-A6
Documentnummer	:	SAAONE-OGW-RAP-100001
Revisie	:	1.0

weg gaat de zandbaan echter over in een veengebied, wat met de geofysische surveys te zien moet zijn. De meeste geanalyseerde data komt (vanwege de lengte) echter uit de langsraaien en niet uit de dwarsraaien.

In onderstaande paragrafen worden de resultaten van de verschillende meettechnieken voor SAAONE kort besproken.

#### *Resultaten EM metingen*

De EM metingen geven een globaal beeld van wisselingen in de ondergrond. Om de resultaten van de metingen goed te kunnen interpreteren is vergelijking met de uitgevoerde sonderingen en boringen nodig. Hieruit blijkt dan wel dat de methode in staat is om globale wijzigingen in grondopbouw te kunnen volgen.

Zo is in de EM-metingen vanaf circa 3 m onder maaiveld een verschil in signaal waarneembaar tussen het noordelijke en zuidelijke deel van het proefgebied. Dit komt overeen met een verschil in zanddikte tussen deze twee gebieden, zoals in de sonderingen is gevonden. Ook dwars op de baan is een signaalverschil te zien, die overeenkomt met een toenemende zanddikte onder de bestaande A9. De verschillen zijn ook goed zichtbaar in de tot 2 grondsoorten (zand / slap) gefilterde data in Bijlage 3 van de Fugro rapportage. Zonder de sonderingen zijn de metingen echter vrijwel niet te interpreteren. De dieptebepaling van de EM meting is daarbij niet nauwkeurig genoeg voor de gewenste toepassing.

Met de EM methode kan in combinatie met al beschikbare sonderingen snel een globaal beeld worden verkregen van wisselingen in grondopbouw, waarna in vervolgonderzoek gericht kan worden gesondeerd.

#### *Resultaten ERT metingen*

De weerstandsmetingen in lengterichting met vaste elektroden (zie CVES metingen in Bijlage 4 Fugro) geven een redelijk gedetailleerd beeld van de opbouw van de ondergrond. Lijnen CVES 1, 2 en 3 (zie Bijlage 4 Fugro rapport) laten duidelijk overeenstemming zien met de sondeerdata. Merk op dat het donkerblauwe oppervlak in deze lengteprofielen het zand vertegenwoordigt.

Vooraf in lijn CVES 2, die op wat grotere afstand van de A9 is genomen, is goed te zien dat de zanddikte hier veel kleiner is dan in de andere 2 lijnen dichtbij de A9. De gevonden dikte van ca 2 m komt goed overeen met de sonderingen. Van alle geteste methoden was de ERT meting het beste in staat om het gezochte grensvlak te benaderen. De resolutie van de data is hoog.

De Ohmmapper werkt met een vergelijkbaar principe, en leidt dus ook tot vergelijkbare resultaten. Zo is in de drie parallel aan de A9 gelopen lijnen een afname in zanddikte waarneembaar (zie figuur 5.10 in de rapportage) die overeenstemt met de sondeergegevens. Het detailniveau is in deze meetserie minder hoog dan met de klassieke opstelling maar dit zou kunnen worden verbeterd door verschillende ontvanger – receiver afstanden toe te passen.

#### *Resultaten GPR georadar*

De georadar metingen geven duidelijk het hoogste detailniveau, alhoewel het signaal gevoelig is voor ruis. Tijdens het opnemen van de data waren er verschillende problemen met de georadar. Dit kwam deels doordat de georadar op veel meer locaties toe werd gepast dan de andere technieken. De aanvullende meetlocaties waren soms lastig bereikbaar en kenden een zeer grillige grondopbouw.

De georadar moet contact maken met de bodem om een goed signaal in de ondergrond te kunnen brengen. Wanneer er bijvoorbeeld hoog gras en onkruid aanwezig is en er niet vooraf wordt gemaaid en opgeschoond, zweeft de slede bij het meten net boven de grond over het gemaaid of platgedrukte gras. Dit levert veel signaalverlies op en moet dus worden voorkomen.



Project	:	A1/A6 Diemen – Almere Havendreef
Objectnummer	:	0.01.01.01
Titel	:	Flankenonderzoek A1-A6
Documentnummer	:	SAAONE-OGW-RAP-100001
Revisie	:	1.0

De georadartechniek is, vooral bij een onbeschermd antenne, zeer gevoelig voor beïnvloeding door bijvoorbeeld hoogspanningsleidingen of nabije metalen objecten. Deze verstoringen kunnen zoveel ruis opleveren dat het werkelijk gezochte signaal er niet meer uit te filteren is.

In de metingen langs de A9 waren structuren te zien die konden worden gerelateerd aan bouwactiviteiten uit het verleden, waarbij de snelweg was verbreed, zie ook figuur 5.3 in de rapportage. Dit beeld zou met sonderingen vrijwel onhaalbaar zijn geweest, zelfs bij een dicht grid van sonderingen. Het is wel de vraag wat een dergelijk hoog detailniveau toevoegt aan het ontwerp; meestal is men vanuit het ontwerp alleen geïnteresseerd in de belangrijkste laagscheiding zand – klei/veen.

Het bleek niet goed mogelijk om de onderzijde van de zandbaan in beeld te brengen, doordat de dikte van het zandpakket te groot was. De dwarsraaien zijn gemeten met een 250 MHz antenne, mogelijk zouden met de 100 MHz antenne betere resultaten zijn verkregen. Op andere locaties waren er veel verstoringen door hoogspanningsmasten, nabije vangrails, oude puin- en asfaltlagen en steile taluds, waardoor ook hier de onderzijde van het geplaatste zandpakket niet goed te zien was. Daarbij moet wel worden gezegd dat ook in de sonderingen soms alleen nog dunne lenzen tussen baan en Pleistoceen te zien waren. Een goed signaalcontrast was dus mogelijk niet aanwezig.

Op basis van de verkregen data kon een vermoede begrenzing van het zandcunet aan worden gegeven. Deze grens kon als KML en SHP file in Google Earth en de GIS systemen worden verwerkt.

## Conclusie SAAONE

De geofysische methoden bieden in principe de mogelijkheid om een gebiedsdekkend beeld van de ondergrond te verkrijgen. Dit zou een groot voordeel bieden ten opzichte van de conventionele puntmetingen met sonderingen, en kunnen worden gebruikt voor optimalisaties in het geotechnisch ontwerp en verdere risicobeheersing. Daarbij zal er echter wel altijd een combinatie van beide methoden nodig zijn; voor de geofysische methoden geldt dat er altijd een ijkings van de data nodig is met boringen of sonderingen.

Het resultaat van een geofysische meting zit voor een groot deel in de verwerking van de data; dit is zeer tijdrovend. Het is van groot belang dat degene die de data bewerkt precies weet wat de te beantwoorden vraag is, zodat men een onderscheid kan maken tussen meer en minder relevante details in de data.

De GPR (georadar) is potentieel zeer krachtig maar misschien juist wel te gedetailleerd voor geotechnische toepassingen. Het hoge detailniveau van de data vraagt veel filtering om alleen de relevante data te kunnen laten zien.

Op basis van de meetresultaten op SAAONE lijkt de ERT-meting (klassiek of met Ohmmapper) de meest bruikbare methode te zijn. Het beste meetresultaat werd bereikt met de klassieke opstelling. Voor het inmeten van grotere gebieden lijkt de Ohmmapper echter praktischer; daarbij zou men moeten streven naar het detailniveau en de dieptewerking van de vaste opstelling als referentie.

Er is aangetoond dat met de metingen een veel hoger detailniveau kan worden bereikt dan met het conventionele grid van sonderingen en boringen. Een sterk heterogene opbouw (bijvoorbeeld kleilenzen in een zandpakket, of oude asfaltlagen) leidt echter tot moeilijk te interpreteren meetresultaten.

Mede op basis van de data uit het proefvak is door SAAONE gekozen voor een oplossing die gedeeltelijk bestaat uit grondverbeteringen en gedeeltelijk uit verticale drains met voorbelasting.





Project	:	A1/A6 Diemen – Almere Havendreef
Objectnummer	:	0.01.01.01
Titel	:	Flankenonderzoek A1-A6
Documentnummer	:	SAAONE-OGW-RAP-100001
Revisie	:	1.0

## **BIJLAGE A RAPPORTAGE DELTARES D.D. MAART 2014**

**Feasibility study of  
geophysical techniques along  
a highway (A9)**

Ground penetrating radar and capacitive resistivity

draft

An aerial photograph of a river delta, showing a complex network of channels and distributaries. The water is a deep blue, while the surrounding land is a lighter, textured blue-grey. The channels meander and branch out across the landscape, creating a highly detailed and intricate pattern. The overall tone is cool and professional, suitable for a technical report cover.



# **Feasibility study of geophysical techniques along a highway (A9)**

**Ground penetrating radar and capacitive resistivity survey**

Laura Vonhögen - Peeters  
Pauline Kruiver  
Giovanni Diaferia  
Marco de Kleine

1208192-000



## Title

Feasibility study of geophysical techniques along a highway (A9)

## Client

SAAone

## Project

1208192-000

## Reference

1208192-000-BGS-0005

## Pages

47

## Keywords

GPR, electrical resistivity tomography, capacitive electrodes, highway, peat, clay, sand

## Summary

For investigations of the extent of the sand body next to several highways (A1, A6 and A9) a pilot was performed along the highway A9 (municipality of Diemen, the Netherlands). The goal was to identify the combination of geophysical methods that provides information on the shape, depth and extent of the sand wedge next to the highway. This information is needed in the design phase of highway reconstruction (adding more lanes). Deltares tested ground penetrating radar (GPR) with 100 and 250 MHz antennas and capacitive electrical resistivity tomography. Fugro tested electromagnetic measurements (EM) and classical electrical resistivity tomography (separate report, report nr. 1012-0303-001, June 2013).

This pilot study yielded useful information on the minimum thickness of the sand body used as foundation of the highway and lateral variations in sand composition (clean or mixed sand).

Based on the experiences of this pilot study, we recommend to continue with either GPR (100 and 250 MHz) and capacitive resistivity tomography or with GPR (100 and 250 MHz) and EM. In order to obtain higher quality data some additional recommendations are given.

## References

Geo-impuls: 1202415.051

SAAone: quote SAAone-IKM-CON-000079, 24 May 2013

Version	Date	Author	Initials	Review	Initials	Approval	Initials
2	March 2014	Laura Vonhögen - Peeters		Victor Hopman		Bob Hoogendoorn	
		Pauline Kruiver					
		Giovanni Diaferia					
		Marco de Kleine					

## State

draft

This is a draft report, intended for discussion purposes only. No part of this report may be relied upon by either principals or third parties.

**Title**  
Feasibility study of geophysical techniques along a highway (A9)

<b>Client</b>	<b>Project</b>	<b>Reference</b>	<b>Pages</b>
SAAone	1208192-000	1208192-000-BGS-0005	47

## Contents

<b>1 Introduction</b>	<b>1</b>
<b>2 Selection of survey methods</b>	<b>3</b>
2.1 Overview of available geophysical techniques on land	3
2.2 Geological setting	5
2.3 Selection of geophysical techniques for pilot study	6
<b>3 Survey description</b>	<b>9</b>
3.1 Survey area	9
3.2 Equipment	10
3.2.1 Ground Penetrating Radar	10
3.2.2 The capacitive resistivity tool Ohmmapper ®	11
3.2.3 EM and ERT	13
3.3 Survey setup	13
<b>4 Processing</b>	<b>15</b>
4.1 Processing GPR data	15
4.2 Processing Ohmmapper data	15
<b>5 Results</b>	<b>17</b>
5.1 GPR: understand the signal	17
5.2 GPR: thickness of the sand body	20
5.3 Ohmmapper	22
5.3.1 Pseudo-resistivity maps	23
5.3.2 Inverted resistivity profiles	24
5.4 Summary of EM measurements Fugro	25
5.5 Data integration and interpretation	26
<b>6 Conclusions and recommendations</b>	<b>29</b>
6.1 Conclusions	29
6.2 Applicability of GPR and capacitive resistivity tomography and recommendations	30
 <b>Appendices</b>	
<b>A Appendix – references</b>	<b>A-1</b>
<b>B Maps and results on A3</b>	<b>B-1</b>





## 1 Introduction

Between 2004 and 2011 Rijkswaterstaat, the executive body of the Dutch Ministry of Infrastructure and the Environment, has searched for the best solution to keep the area Schiphol, Amsterdam and Almere accessible for traffic in the future (the SAA-project). This route has to deal with increasing traffic. As part of the solution Rijkswaterstaat decided to broaden several busy highways on this route, including the A1, A6, A9 and A10 (Figure 1.1). Broadening these roads started in 2012.



Figure 1.1 Map of locations of highways A1, A6, A9 and A10, selected by Rijkswaterstaat voor broadening.

In order to do broaden the roads, the existing banks on which the highway is built have to be extended. The method used to extend these banks, depends on the design and actual engineering of the existing bank and the geological composition along the highway.

Normally, these parameters are investigated using a certain number of cone penetration tests (so-called CPTs), generally placed with a standard, fixed distance between them. A CPT is a quick and cheap method to determine the geotechnical engineering properties of soils. However, the disadvantage of CPTs is the fact that CPTs are point measurements; if the variation in the subsurface is large (heterogeneous), extra CPTs are necessary to characterize it. On the other hand, if the variation in the subsurface is small (homogenous), too many CPTs are performed. CPTs can therefore be used much more efficient if the homogenous and heterogeneous areas are known beforehand.

Geophysical techniques provide a means to visualize the subsurface and identify areas with homogeneous and more heterogeneous parts. These techniques give information on lines (2D) or area covering (3D). CPTs are still needed to characterize the measured units with actual soil properties. As geophysical techniques are not often used to determine the shape and extent of the existing bank alongside highways, an initial pilot study was performed near the A9 to show the value and use of such techniques.

The following report concerns the methodology and results of this particular pilot study, commissioned by the project bureau SAAone and in cooperation with Fugro and Geo-impuls. Chapter 2 gives an overview of potential techniques and the selection of techniques for this pilot study. In chapter 3, the survey setup is described. Chapter 4 summarises the processing needed to obtain the results shown in chapter 5. In this chapter, the results from different techniques are interpreted in a joint interpretation. Chapter 6 gives conclusions and recommendations.

## 2 Selection of survey methods

### 2.1 Overview of available geophysical techniques on land

Geophysical techniques provide spatial information on the distribution of layers and the composition of the subsurface. Geophysical techniques are non-destructive, meaning that the subsurface is not affected by the measurements. However, invasive techniques such as CPTs and borings are needed to validate the geophysical results.

The selection of geophysical techniques is based on a number of items, such as:

- The question at hand.
- The expected general composition of the subsurface (e.g. clay, peat, sand).
- The horizontal and vertical resolution.
- The depth range.
- Budget and time.

All geophysical techniques are based on measuring a contrast in physical parameters. For example, seismics is based on contrasts in acoustic impedances: differences in density and seismic velocities cause reflections of seismic energy that are measured at the surface. Often, different kinds of physical contrasts are present in the subsurface. Therefore, it is recommended to combine several techniques to obtain a full image of the subsurface.

An example of a successful combination of geophysical techniques is given for an industrial site that contained a complex subsurface with DNAPL pollution. High resolution S-wave seismics depicted the morphology of the aquitard. The 3D image of the aquitard reflector showed the presence of a channel structure. Additionally, geo-electrical resistivity measurements (ERT) showed the electrical resistivity distribution in the same depth range. Contrasts in electrical resistivity could be linked to DNAPL accumulation. Using this combined information, extraction filters could be placed on key locations to increase the efficiency of the remediation at that site.

Table 2.1 gives an overview of standard geophysical techniques available for measurements on land. The table is not all inclusive. Technical innovations, such as the development of advanced borehole techniques and expansion of fibre-optic application are not included in this table. Depth penetration and resolution generally depend on the source, the survey setup, level of noise and the subsurface. Therefore, the numbers provided only give indications. In order to obtain information on distributions of the sensitive parameter with depth, for several techniques inversion of the data is needed. In these cases, however, different subsurface model might fit the data equally well. This is called the equivalence problem or non-uniqueness. The level of non-uniqueness of the subsurface models can be reduced by adding constraints from e.g. borings or CPTs or results from other methods.

Table 2.1 Overview of standard geophysical techniques on land

Method	Parameter	Vertical resolution	Depth range	Type of result	Limitation
High resolution seismics (P-wave)	Boundaries between layers, based on impedance contrasts	< 1 m to 10 m (depends on source and on geology), 10% of depth	20 – 1000 m	Profile	Not for shallow subsurface
High resolution seismics (S-wave)			0 – 100 m	Profile	Sensitive to ambient noise
MASW	Boundaries between layers, based on stiffness and shear wave velocities	1 – 2 m	0 – 30 m	Profile	
Seismic refraction	Boundaries between layers, based on velocities	1 – 2 m	0 – 20 m	Velocity contour map	Thin layers and low velocity layers not detectable, ambient noise
Seismic tomography	Wave velocities and attenuation	Appr. 0.5 m	Equal to borehole depth	Contour map	Equivalence
Electrical resistivity tomography (ERT)	Electrical resistivity	Appr. 10-15% of depth range	0 – 100 m, depends on configuration	Contour map	Equivalence
Time domain Electro-magnetic sounding (TEM)	Electrical conductivity	Resolution decreases with depth	0 – 100 m	Profile/ contour map	Equivalence Not in urban areas Not in salt/ brackish ground water
Frequency domain Electro-magnetic Profiling (FDEM)	Electrical conductivity	Resolution decreases with depth	0 – 60 m	Profile/ contour map	Equivalence Not in urban areas Not in salt/ brackish ground water
Magnetometry	Magnetic field strength	–	Depends on size of object, larger objects at larger depths	contour map	Ferromagnetic object needed
Spontaneous Potential (SP)	Electric potential difference	–	0 – 5 to 10 m	Contour map	Suffers from cables, pipes and steel objects in vicinity
Ground Penetrating Radar (GPR)	Geometry of objects and layers	0.2 m to several m (depends on frequency)	0 – 20 m	Profile	Not in clay Not in salt/ brackish ground water

## 2.2 Geological setting

The highways are situated in a region with clay and peat layers on top of Pleistocene sand. In Figure 2.1 the general composition of the subsurface is visualised. Below a thin clay cover, a layer of peat is present with a thickness of approximately 4 m. Again a thin clay layer and from 7 to 8 m-NAP the Pleistocene sand is present. This general composition is confirmed by CPTs taken along the highway. A characteristic CPT with indicative composition is shown in Figure 2.2.

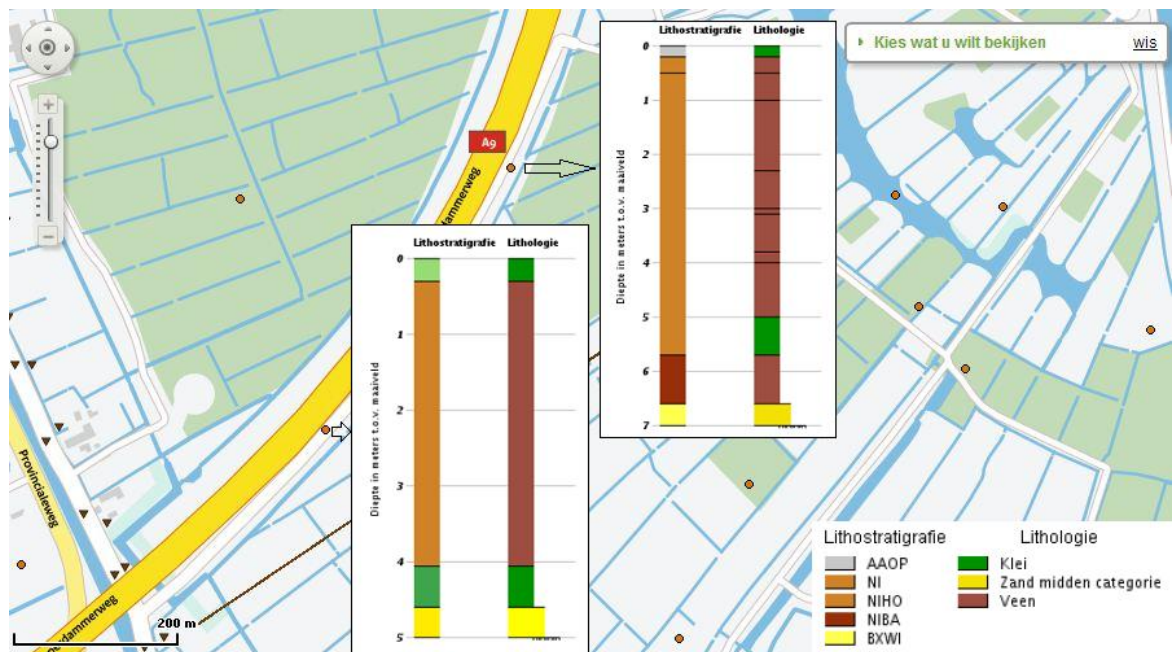


Figure 2.1 General composition of the subsurface, from Dinoloket (source [www.dinoloket.nl](http://www.dinoloket.nl)). Two borings are shown. For each, the left column shows the lithostratigraphy, the right column shows the lithology (green = clay, brown = peat, yellow = sand).

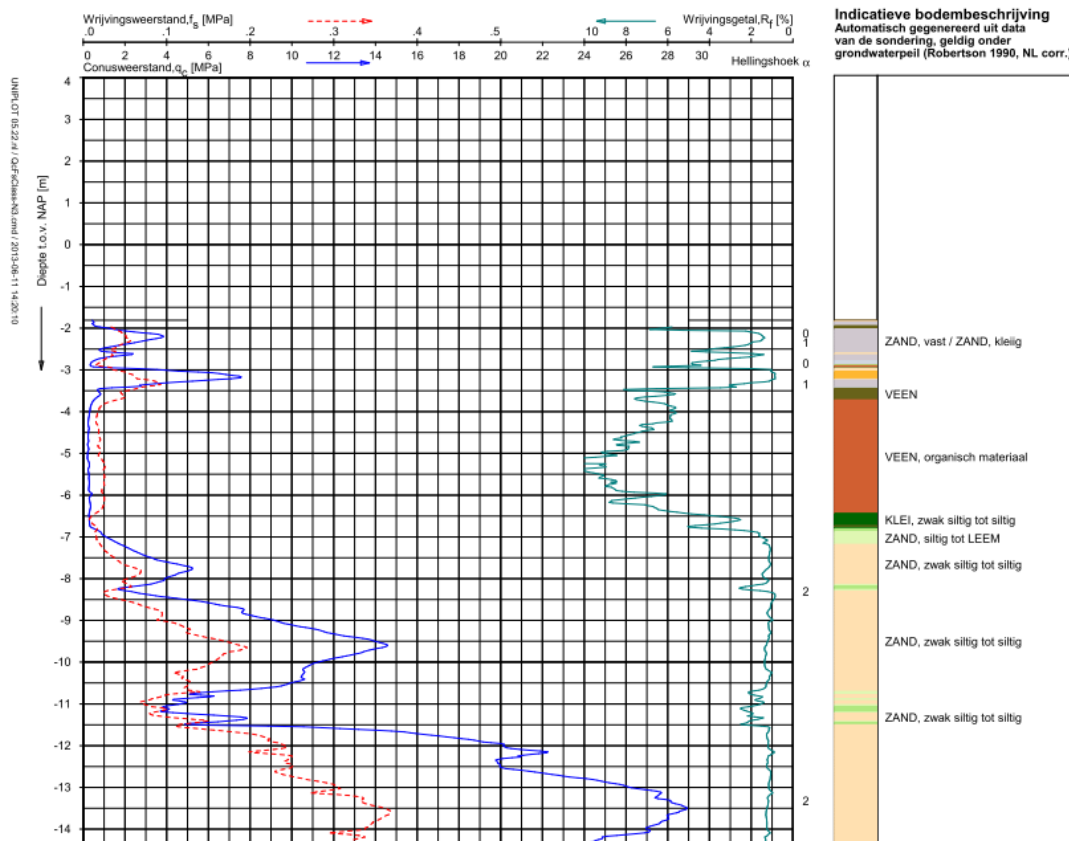


Figure 2.2 Characteristic CPT (DMK05) of undisturbed, original composition of the subsurface, location at the bottom of the slope. Cone resistance in blue, friction in red, friction ratio in green. The column represents an indicative description of composition (green = clay, brown = peat, peach = sand).

### 2.3 Selection of geophysical techniques for pilot study

As each geophysical technique has its specific strengths and weaknesses, at the start of each survey the most prospective techniques for measuring the intended objectives have to be determined.

The main research question in this pilot study was to determine the shape and extent of the highway foundation banks below the surface (Figure 2.3). In other words, to find the wedge of the sand next to the highway. Traditionally, mapping the sand body is done using CPTs. However, the expected heterogeneity of the edges of the sand body requires techniques that give continuous spatial information. The selection of suitable geophysical techniques is done based on:

- The question at hand: form and extent of sand body
- The expected general composition of the subsurface: parameter contrasts in sand of foundation body and clay/peat of original subsoil composition.
- Required vertical resolution of 0.5 m. The horizontal resolution was not specified.
- The depth range: up to 6-8 m below the surface.

Additional selection criteria were the speed of performing measurements and minimising inconveniences for users of the highway.

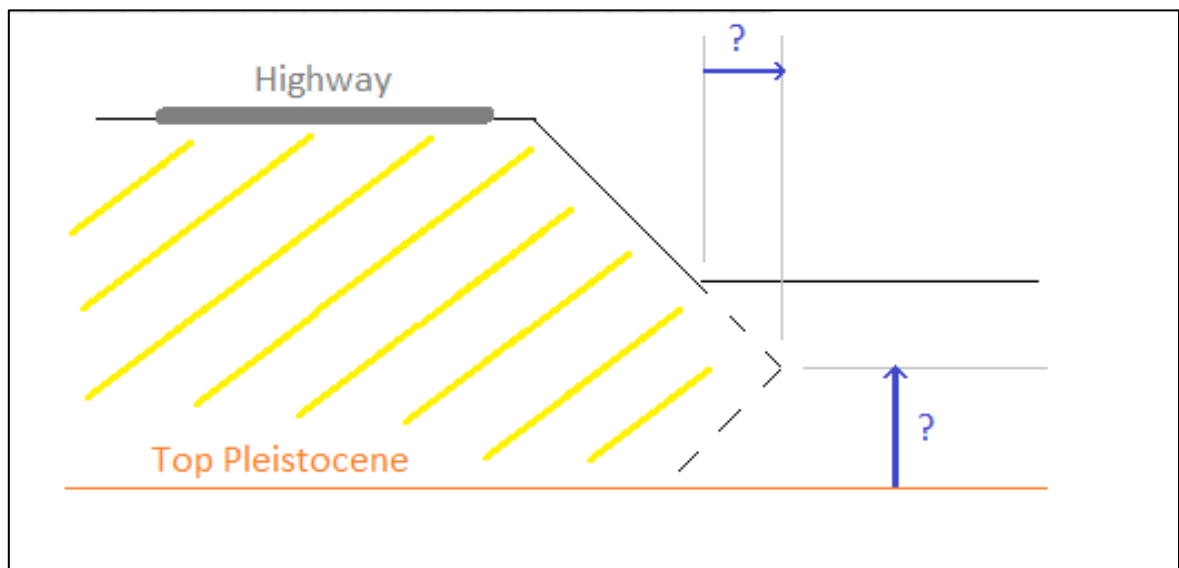


Figure 2.3 Schematic image of the subsurface below and next to the highway. The main unknowns are the shape and extent of the sand body forming the foundation of the highway.

The following four techniques were selected in this pilot:

- Electromagnetic sounding (EM): this is a fast method to depict the lateral extent of the sand body, based on contrasts in electrical resistivity (high for sand, low for clay and peat). An envelope of the electrical resistivity is obtained at the surface. A single EM measurement does not provide information on the depth distribution of electrical conductivity. Information for different depth ranges can be acquired using different frequencies and coil separations. The EM measurements were carried out by Fugro. Their instrument provides information up to approximately 6 – 7 m depth. The EM results are not described in detail in this report.
- Electrical resistivity tomography (ERT), classical method: this method gives information on the distribution of electrical resistivity with depth. Usually, ERT is obtained using steel electrodes that are inserted into the ground. This classical approach was carried out by Fugro and is not part of this report. The depth range of their configuration was approximately 25 m.
- ERT, using capacitive system: In this pilot, a new capacitive system (Ohmmapper®, produced by Geometrics) is used to insert electrical currents into the ground. This new method is fast, because the system is dragged behind the surveyor. No electrodes need to be inserted before and extracted after measurements. The depth range corresponding to the used configuration is approximately 4 m.
- Ground penetrating radar: to visualise layering in the shallow subsurface based on high frequency electromagnetic reflections. Two frequencies were used with overlapping expected depth ranges to approximately 3-5m and 5-10 m depth.

The profile from Figure 2.3 can be determined using the described geophysical methods, provided that a clear distinction is present between the peat and clay layers on one hand and the sand of the foundation body on the other hand. If the original subsurface composition consists of sand, determination of the boundaries between the foundation body and the original subsurface is probably not possible.





### 3 Survey description

#### 3.1 Survey area

The pilot area discussed in this report is positioned at the eastern side of the A9 highway, near exit Diemen (Figure 3.1). The area is approximately 600 metres long and 30 metres wide and is mainly covered in grass.

The pilot area was selected by the client, because of a priori information on the subsurface in this area.



Figure 3.1 Overview of the survey area (red) in the close vicinity of the A9 highway (municipality of Diemen, The Netherlands).

## 3.2 Equipment

For both GPR and Ohmmapper, choices in acquisition setup need to be made, affecting e.g. depth range of investigation. In the following sections, the choices will be substantiated.

### 3.2.1 Ground Penetrating Radar

A GPR instrument excites an electromagnetic pulse. The instrument measures the time between origin of the electromagnetic signal and the travel from the instrument to a reflecting layer or object in the subsurface and back (Figure 3.2). To convert this two-way travel time (TWT) to distances, the velocity of the signal in the subsurface is needed. This velocity can be obtained by manually fitting to the depth of for example the groundwater table, by analysis of the shape of diffraction hyperbolas analysis or by using average values for representative subsoil composition. Signal velocity in sandy materials is strongly related to the water content (see e.g. Nielsen et al., 2009).

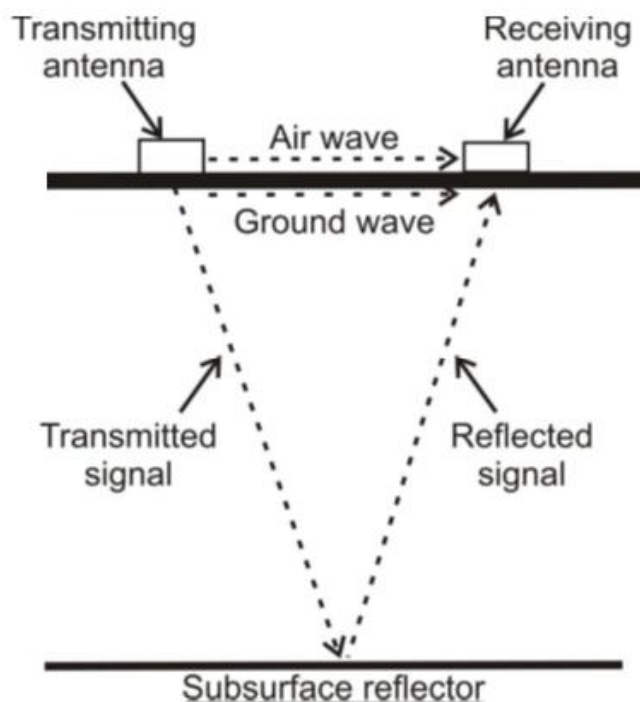


Figure 3.2 Principles of GPR. Subsurface features cause the transmitted signal to be reflected back to a receiver antenna. Movement of the antennas along transects makes it possible to image subsurface structures.

Penetration depth generally depends on the presence of peat or clay and the depth of the groundwater table. In very steep terrain, signal losses due to reflections on slopes limit the penetration depth. When processing radar data, topographic correction is needed to gain the right insights into the geometry and depth range of subsurface units. Position and elevation data are gathered by an RTK-GPS (real-time kinematic global positioning system) with cm-resolution.

GPR data were collected using PulseEKKO PRO equipment (Sensors & Software Inc.), using unshielded 100 MHz antenna and 250 MHz shielded antenna (Figure 3.3). An unshielded

antenna is sensitive to ambient electromagnetic noise, e.g. from passing cars, metal objects above ground and high voltage power cables. In a shielded antenna, the top side of the instrument is shielded from ambient electromagnetic fields. Using GPR there is always a trade-off between penetration depth and resolution. The results of the 100 MHz setup have less detail but a larger penetration depth, whereas the results of the 250 MHz setup have more detail but less penetration depth. The expected depth range for this survey location for the 100 MHz is approximately 5 to 10 m, for the 250 MHz setup approximately 3 to 5 m. Furthermore, the 250 MHz data are less sensitive to surrounding noise originating from for example metallic objects or cars as the antennae are shielded.



Figure 3.3 Unshielded 100 MHz antennae mounted on a cart (left) and 250 MHz shielded antennae in tow set-up (right).

### 3.2.2 The capacitive resistivity tool Ohmmapper®

The resistivity method is mostly employed with acquisition systems that require a direct (galvanic) contact of electrodes with the ground. This requirement leads to certain limitation of employability in certain conditions: the presence of highly resistive or hard surface (ice, cement, pavement etc.) does not allow the use of electrodes (Kuras et al., 2007). Moreover, inserting and removing the electrodes is a time-consuming job.

In the last decade, an innovative resistive method has been used increasingly in shallow subsurface characterization. It employs plates (or cables) in capacitive contact with the ground acting as receiver and transmitting dipoles. The method is demonstrated to give results comparable to those obtained with classical, galvanic contact with the ground (Kuras, 2002). Therefore, the same inversion algorithm and interpretation tool can be used with the retrieved resistivity data.

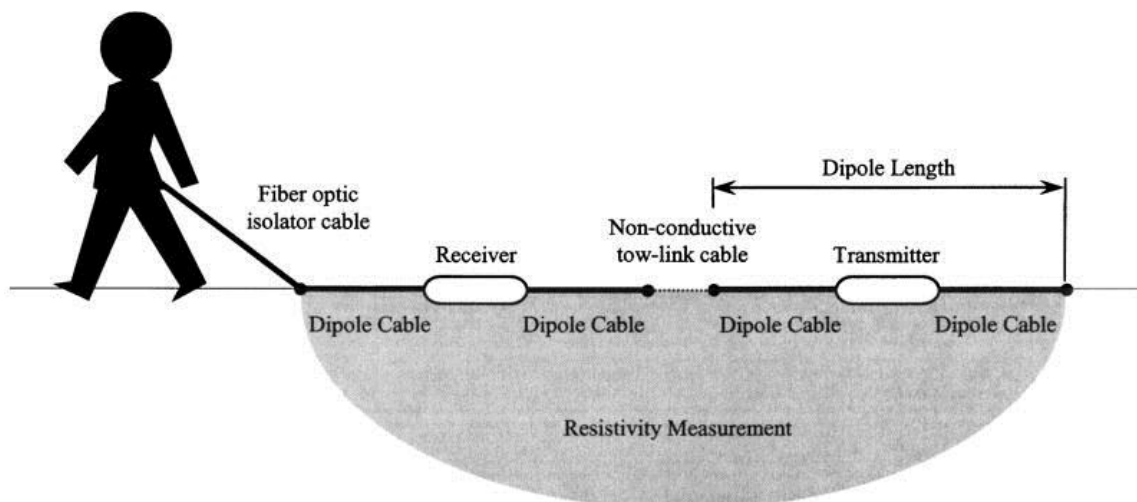


Figure 3.4 The Dipole-Dipole configuration. Current is injected by the transmitting dipole and the resulting current (dependent on the resistivity distribution in the subsurface) is recorded by the receiving (potential) dipole.

Beside the employability of this method with hard and highly resistive surfaces, a capacitive system allows an efficient and time effective acquisition of data on large areas. The system can be towed behind a vehicle or an operator and dragged along the survey area. The method usually employs frequencies in the 5-25 kHz range. Compared to the classical ERT, the capacitive method has limited receiver and transmitter configurations. Whereas classical ERT can be performed with e.g. Wenner, Schlumberger, dipole-dipole and various other configurations, the capacitive system is generally set up in a dipole-dipole configuration, because of the layout of the instrument (Figure 3.4).

#### Field set-up

The capacitive system used in the pilot study is the Ohmmapper. The system consists of a receiver cable and receiver, transmitter cable and transmitter, a console, and a rope (Figure 3.5). The transmitter sends the electric signal into the subsurface which is then recorded by the receiver. Both transmitter and receiver had attached 2 cables of 2.5 m each, for a total dipole length of 5 m each. Transmitter and receiver are not electrically coupled but just connected by a rope. It is possible to investigate different depth ranges by changing the length of the rope, thereby changing the distance between the source and the receiver. In the pilot study, rope lengths of 5 and 10 m were used (corresponding to the first and second dataset), corresponding to a depth range of 2 and 4 m. The console is used to input the geometry of the survey and to take the resistivity readings.

The whole system was clamped to the operator's waist and carried by the operator along the lines. Data were acquired in a discrete mode (one data point every 3 m) along the surveyed lines. A GPS position was carried out every 30 m along each line; the coordinates of the intermediate data points were determined by interpolation of the available GPS data. During this survey, the GPS accuracy was around 2 m.



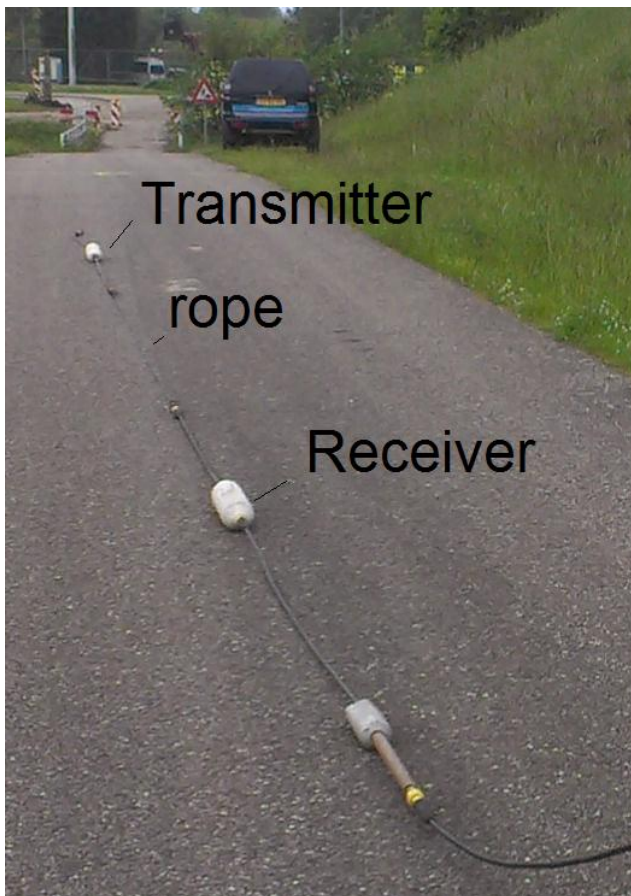


Figure 3.5 Layout of the employed Ohmmapper system.

### 3.2.3 EM and ERT

The electromagnetic (EM) measurements and classical electrical resistivity tomography (ERT) surveys were carried out by Fugro. For details on the equipment and survey set up the reader is referred to the Fugro report (Concept rapportage Flankenonderzoek (Proefvak) langs A9, reference: 1012-0303-001, date 18 June 2013). The EM measurements were reinterpreted to reduce the effect of ambient noise in the data in January 2014 (personal communication).

### 3.3 Survey setup

The GPR data were collected along 3 transects parallel to the highway and 9 transects perpendicular to the highway (cross sections). In this pilot, the cross sections were only measured using the 250 MHz antenna, the parallel transects were measured using both the 250 MHz and 100 MHz antennae. The parallel transects were positioned on the centre and sides of the secondary road (bike lane), and on the toe of the small bank. The survey lines are shown in Figure 5.1 and on A3 size in appendix B.

The Ohmmapper data consists of a total of 7 lines: 4 lines with 5 meter distance between the dipoles (1<sup>st</sup> dataset, depth range of approximately 2 m) and 3 lines with 10 meter distance between the dipoles (2<sup>nd</sup> dataset, depth range of approximately 4 m). The lines of the second dataset were positioned along the first 3 surveyed lines of the 1<sup>st</sup> dataset. The distance between the parallel lines was 4 m. In both datasets, the first line was measured along the

slope while the remaining lines are placed along the sides and at the centre of the secondary road. The survey lines are shown in Figure 5.8 and on A3 size in appendix B.

## 4 Processing

### 4.1 Processing GPR data

In order to do a correct interpretation of the depth levels determined by GPR, two processing steps are necessary:

- 1 Time to depth conversion.
- 2 Insert height profile.

For the time to depth conversion, a signal velocity of 0.1 m/ns was used. This is an average value of electromagnetic wave velocity in dry (0.15 m/ns) and wet sand (0.06 m/ns).

Without insertion of a height profile, the GPR software assumes that the profiles were gathered on a flat surface. In the case of the highway banks, a height difference of several meters was present on the profiles measured perpendicular to the highway. All profiles were corrected for the relief using the elevation data from RTK-GPS.

The processing software could not cope with negative depths, related to the fact that the ground surface on the survey location is below sea level. Therefore, all heights were corrected with 10 m which resulted in positive values. In all GPR figures, subtracting 10 m from the depth results in a depth relative to the Dutch datum NAP.

### 4.2 Processing Ohmmapper data

The processing of the Ohmmapper data consists of the following steps:

- 1 Tie measured data to GPS positioning, using MagMap 4.0 software (distributed with the equipment).
- 2 Despiking, using MagMap 4.0. Removal of skipes (outliers) in the data, either caused by noise or erroneous reading.
- 3 Production of apparent resistivity maps for each of the two dipole distances (referring to different depths). Raw dipole-dipole measurements produce apparent resistivity values. Therefore, the depth in the maps is not exact. Given the system set-up, the estimated penetration depth for 5 and 10 meter dipole distance is around 2 and 4 m according to a general rule of thumb.
- 4 Merging of survey lines measured with two different dipole distances (lines 1, 2 and 3).
- 5 Inversion using RES3DInv software to retrieve true resistivity values varying with depth. A least-square algorithm with lateral smoothing was employed for inversion.

The inversion process results in 3 resistivity sections:

- Line 1: along the slope.
- Line 2: at the left hand side of the road, looking towards north.
- Line 3: in the middle of the road.

The RMS error (root mean square error) for the inversion was always below 7-8%. Usually, this indicates good data quality. Nevertheless, a low RMS value can also be caused by low data density, as was the case in this survey.





## 5 Results

### 5.1 GPR: understand the signal

The location of the GPR lines and the CPTs are shown in Figure 5.1 (see appendix for figure on A3 size). There is a marked difference in appearance of the GPR profiles in the south and in the north of the survey location. Two characteristic profiles are shown in Figure 5.2 and Figure 5.3 (see appendix B for figures on A3 size).

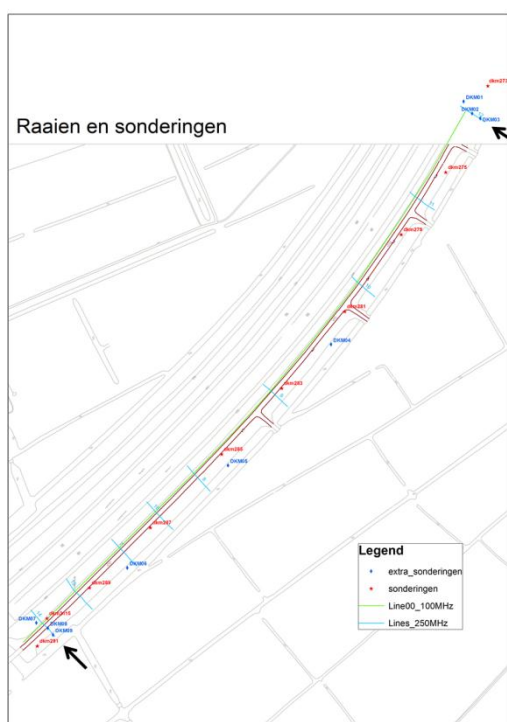


Figure 5.1 Location of the GPR lines (green = 100 MHz parallel to highway, blue = 250 MHz cross sections perpendicular to highway) and CPTs (blue and red dots and codes). In appendix B the picture is shown on A3 size. The arrows refer to characteristic GPR cross sections (Figure 5.2 and Figure 5.3).

The radargram of the GPR line in the south of the survey location shows smooth reflectors and parallel lines (Figure 5.2). In CPT 09, at the left side of the radargram, it is clear that the original clay cover has been removed. Additionally in CPT 09, we observe the transition between peat and sand at 4.5 m-NAP. In the radargram, we expect this transition at 5.5 m (because of the 10 shift in datum). At this depth, however, the penetration of the GPR signal is at its limit. This means that either penetration is lost in the peat or not sufficiently deep through the sand.

CPT 08, at the centre of the radargram, just next to the bike lane plateau, looks similar to CPT 09. The peak in cone resistance between the surface and 4 m-NAP, related to clean building sand, is more pronounced than in CPT 09. There seems to be no mixing of sand with clay or peat. Internal structures in the radargram are probably related to building phases of deposition of the building sand. The transition in CPT 08 at 8 m-NAP is related to the original Pleistocene sand. This level is too deep for 250 MHz GPR, since no signal reaches further than approximately 4 m-NAP.

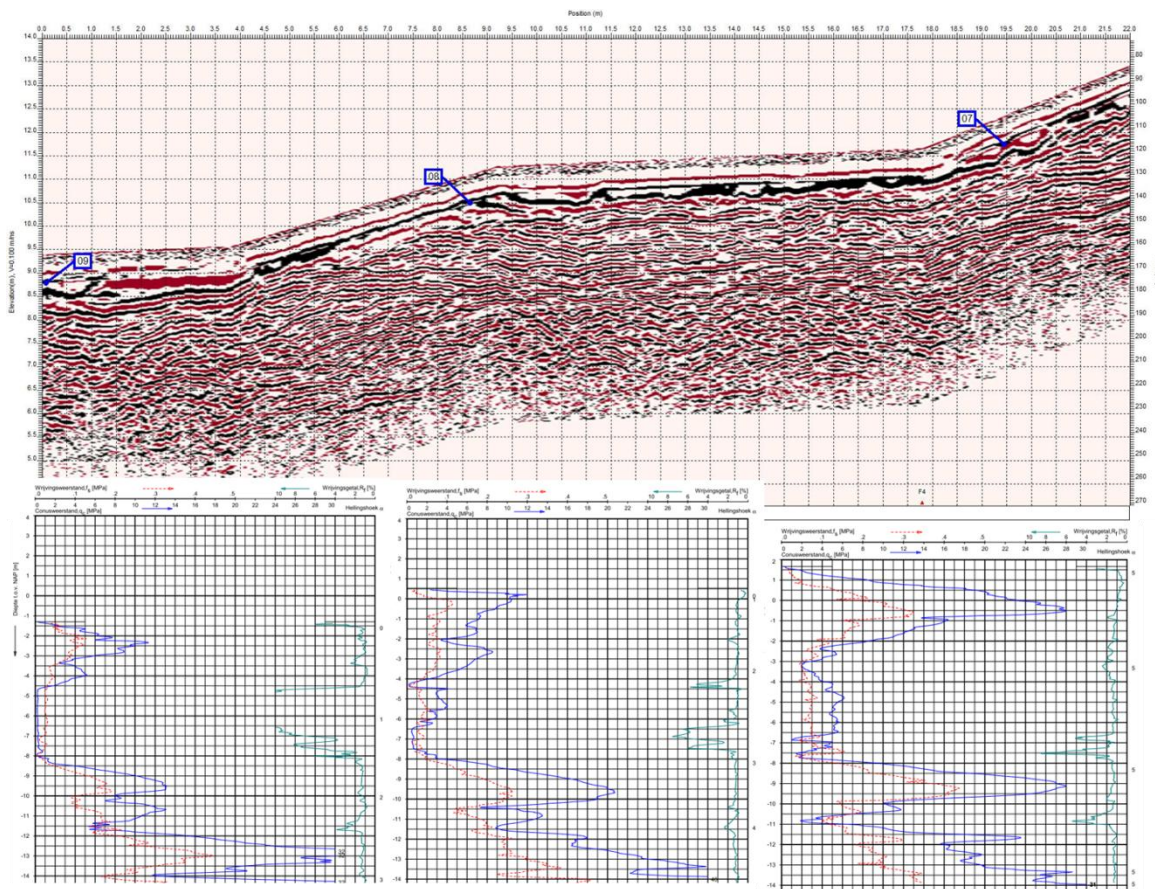


Figure 5.2 Top: Characteristic GPR profile (250 MHz) in the south of the survey location, corrected for height (relative datum is 10 m above NAP). Bottom: From left to right CPT of original subsurface (09), at the bike lane plateau (08) and in the highway slope (07). Cone resistance in blue, friction in red, friction ratio in green. In appendix B the picture is shown on A3 size.

At CPT 07, at the right side of the radargram in the slope of the highway (Figure 5.2), clean building sand is observed as well. Again, no mixing seems to be present of sand with clay and peat. This means that for the construction of the highway at this location, almost the entire, original subsurface of clay and peat has been excavated, removed and replaced by clean building sand.

Figure 5.3 shows a characteristic radargram and CPTs for a location in the north of the survey location. The general image is different from the south. In the north, the radargram looks irregular, suggesting disturbance of the layering. At CPT 03, at the left side of the radargram, from bottom to top we infer Pleistocene sand (at 8 m-NAP), peat between 5.5 and 8 m-NAP, sand of approximately 2.5 m and on top organic / clayey sand. This top layer can be recognised in the radargram between the surface and the pale blue line. Below the pale blue line, the clean building sand seems to be present.

CPT 02, at the centre of the radargram, just next to the bike lane plateau, sand is present in the top meters. Below that, there is peat and the original Pleistocene sand at 8 m-NAP. In the radargram, we observe a slant reflector (second pale blue line). It's unlikely that the peat shown in the CPT is original, as original peat is not expected to be deposited in a slant way. Most likely, the original soil has been excavated, mixed with building sand and placed back. This might also explain the irregular reflectors of this radargram.



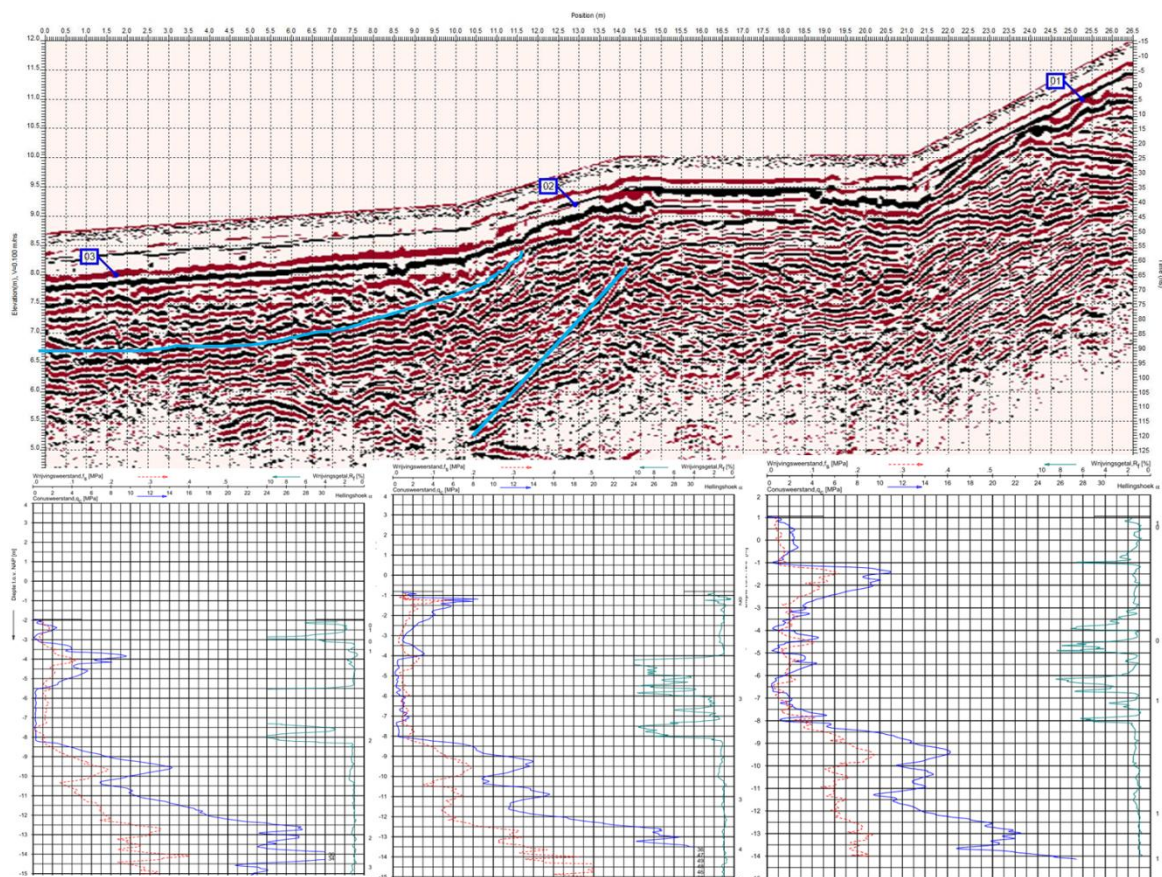


Figure 5.3 Top: Characteristic GPR profile (250 MHz) in the north of the survey location, corrected for height (relative datum is 10 m above NAP). Blue lines are interpretation of mixed composition. Bottom .From left to right CPT of original subsurface (03), at the bike lane plateau (02) and in the highway slope (01). Cone resistance in blue, friction in red, friction ratio in green. In appendix B the picture is shown on A3 size.

In CPT 01, at the right side of the radargram, the top layer consists of sand, peat and clay mixed together, giving rise in multiples peaks in cone resistance. In the GPR, this mixed layer results in a muddled image, with irregular reflections.

The original question for the survey was to identify the wedge of sand next to the highway (Figure 2.3). The 250 MHz GPR antenna, however, does not have sufficient penetration to find the bottom of the wedge. It is recommended to use a 100 MHz GPR antenna in cross sections for the following survey.

Although the cross sections had limited penetration depth, they provide a means to understand the GPR signal. Moreover, when combined with CPTs they give information on the mixing of the sand in the shallow subsurface.

In summary, at the south side, the excavation of the original clay and peat and the deposition of building sand seems to be performed neatly, while at the north side mixing took place between the original soil and the building sand. After excavation and filling up with building sand, some of the original soil seemed to be left over. Possibly, this was mixed with building sand and placed next to the highway.

## 5.2 GPR: thickness of the sand body

In order to determine the maximum thickness of the sand deposit next to the highway, penetration of the GPR signal to greater depths is needed. To obtain an image from deeper part, a 100 HMZ GPR antenna was used. Profiles were measured parallel to the highway. Two profiles were measured on either side of the bike lane plateau. These parallel lines show similar characteristics, except at small side-roads. The line closest to the highway is shown in Figure 5.4 (see appendix B for figures on A3 size).

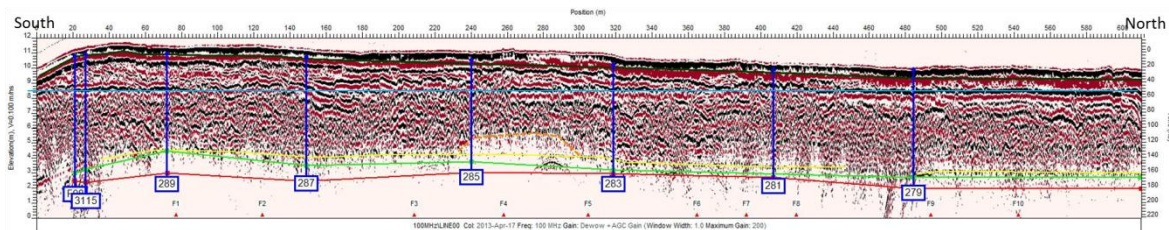


Figure 5.4 GPR profile (100 MHz) parallel to the highway. Left side is south, right side is north. Relative datum is 10 m above NAP. CPTs located within 6 m from the GPR line are indicated in the radargram. Interpretation lines are: yellow line = maximum GPR penetration, green line = original profile as inferred from CPTs, red-brown line = top Pleistocene sand as inferred from CPTs. In appendix B the picture is shown on A3 size.

The top of the Pleistocene sand is inferred from CPTs located on or close to (< 6 m) the GPR line. This level is depicted as a red/brown line in Figure 5.4, interpolated between CPTs. In general, on top of the Pleistocene sand, there is a thin layer of original peat. The top of this original material is shown as green line, also interpolated between CPTs. The maximum depth of penetration of the GPR signal is interpreted continuously along the profile and shown as a yellow line. The difference in depth between the maximum depth of GPR penetration and the original profile is 0.5 m at the most. The difference becomes even smaller for a slightly different GPR velocity. Therefore, we interpret the yellow line as the minimum thickness of the sand body.

In the cross sections, a difference between the northern and the southern part of the survey location was observed. The lines parallel to the highway potentially provide information on the lateral changes along the highway. In these parallel lines, the difference between the northern and the southern part of the survey location is clear as well. Figure 5.5 shows a zoom in on the southern part of the GPR profile (see appendix B for figure on A3 size). It shows clear, parallel reflectors that can be followed over space. The area containing these types of reflections is indicated in the purple rectangle in Figure 5.7.

In the northern part (Figure 5.6), the reflectors are muddled. Moreover, hyperbolas appear in the radargram, suggesting that chunks of clay and/or peat are present within the sand body. In the northern part, the sand body seems to be thinner. The patterns of the top of the original layer (green line) and the maximum penetration depth (yellow line) follow each other closely. Therefore, this seems to be real and not an artefact of the GPR.



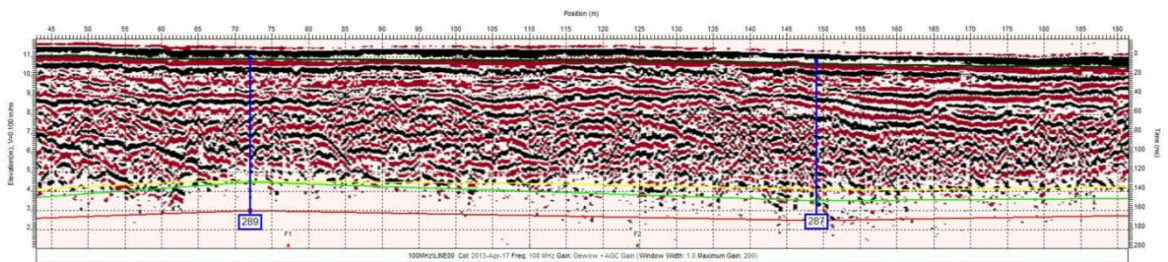


Figure 5.5 Zoom in of GPR profile (100 MHz) parallel to the highway of southern part of the survey location. Left side is south, right side is north. Relative datum is 10 m above NAP. CPTs located within 6 m from the GPR line are indicated in the radargram. Interpretation lines are: yellow line = maximum GPR penetration, green line = original profile as inferred from CPTs, red-brown line = top Pleistocene sand as inferred from CTPs. In appendix B the picture is shown on A3 size.

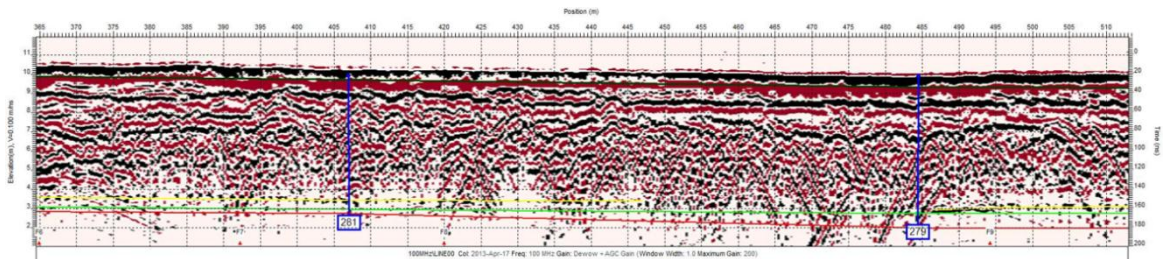


Figure 5.6 Zoom in of GPR profile (100 MHz) parallel to the highway of northern part of the survey location. Left side is south, right side is north. Relative datum is 10 m above NAP. CPTs located within 6 m from the GPR line are indicated in the radargram. Interpretation lines are: yellow line = maximum GPR penetration, green line = original profile as inferred from CPTs, red-brown line = top Pleistocene sand as inferred from CTPs. In appendix B the picture is shown on A3 size.

In the centre of the GPR line parallel to the highway, there is an anomalous region. This region is situated between CPTs 285 and 283. There is a marked decrease in GPR penetration depth. In Figure 5.4, this decreased penetration depth is depicted with an orange line. This coincides with the region of low electrical resistivity in the capacitive ERT measurements (section 5.3) and high conductance in the EM measurements (Fugro report and Figure 5.11). The joint interpretation is discussed in section 5.5.

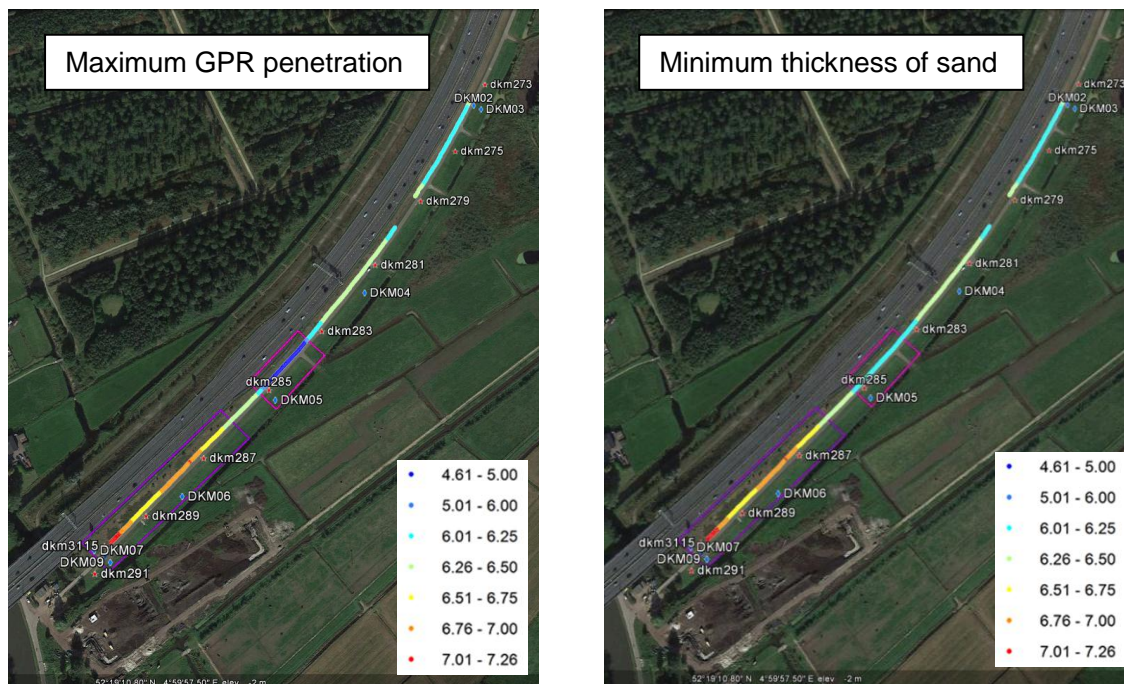


Figure 5.7 Left: maximum penetration depth as inferred from 100 MHz GPR lines parallel to the highway (yellow line in Figure 5.4). In general, this coincides with the maximum thickness, except for the location marked by the pink box. There, the penetration is limited due to clay in the shallow subsurface (orange line in Figure 5.4). Maximum penetration is color coded. Right: minimum thickness of the sand body as inferred from GPR and interpolated between CTPs in the pink box due to limitations in penetration depth that is not related to the sand body. The minimum thickness is color coded. In both figures, the purple box in the south indicates the area of smooth radargrams. The figures are included on A3 in appendix B.

The spatial distribution of the minimum thickness of the sand is shown in Figure 5.7 (see appendix B for figure on A3 size). The left panel shows the maximum penetration of the GPR signal. In general, this is interpreted as the minimum thickness of the sand body. The area in the pink box forms an exception. There, the penetration is markedly less (see orange line in Figure 5.4). This limited penetration is linked to the presence of clay and organic material in the shallow subsurface causing loss of GPR signal due to attenuation. This will be discussed in section 5.5.

The most likely thickness of the sand body in the pink box is inferred from CPTs by simple linear interpolation between CPTs 285 and 283. The resulting minimum thickness of the sand body from GPR and CPT is shown in the right panel of Figure 5.7. In general, there is an increase in thickness of the sand body from north to south.

### 5.3 Ohmmapper

The results of this Ohmmapper resistivity survey are presented as:

- Pseudo-resistivity map, section 5.3.1.
- Inverted resistivity profiles, section 5.3.2.

The location of the survey lines are shown in Figure 5.8 (see appendix B for figures on A3 size).



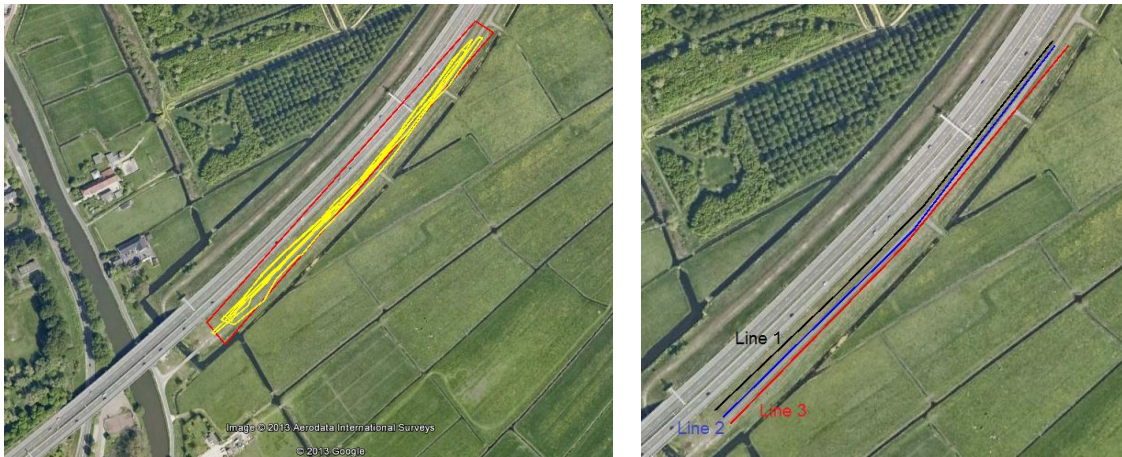


Figure 5.8 Left: Location of Ohmmapper survey lines (yellow). Right: location of inverted lines. See appendix B for figures on A3 size.

### 5.3.1 Pseudo-resistivity maps

Pseudo-resistivity maps are obtained by plotting all apparent resistivity values referred to the same depth (acquired with the same dipole distance) on a map. The apparent resistivity values are not the true ground resistivity values, therefore the prefix 'pseudo'. The spatial distribution of apparent resistivity values gives some insight in the subsurface characteristics.

In Figure 5.9, the pseudo-resistivity maps are given. The left panel corresponds to a transmitter-receiver distance of 5 meter is given. With this transmitter-receiver distance, the signal is sensitive to a depth range of approximately 2 m. However, some signal will be measured from larger depths, but the accuracy decreases rapidly with depth. Also, the depth range depends on the soil composition. In Figure 5.9, right panel, the pseudo-resistivity map corresponding to a transmitter-receiver distance of 10 meter is presented. These measurements are sensitive to approximately 4 m depth. See appendix B for figures on A3 size.

From Figure 5.9 (left panel) it is clear that the apparent resistivity values are rather high in the depth range of 2 m below the surface. Values up to 1000 Ohm\*m are measured, especially in the southern part of the survey area. The high values are usually interpreted as dry, coarse grained soil (sand, gravel etc.). Lower resistivity values are encountered in the middle part and northern part of the survey area and can be interpreted as more conductive, fine grained soil (clay and clayey sand).

Figure 5.9 (right panel) shows that the apparent resistivity values for the depth range of approximately 4 m are much lower than for 2 m (Figure 5.9, left panel). In the southern part of the survey area, high resistivity value are found, while in the central and northern part lower resistivity values (< 200 Ohm\*m) are encountered.



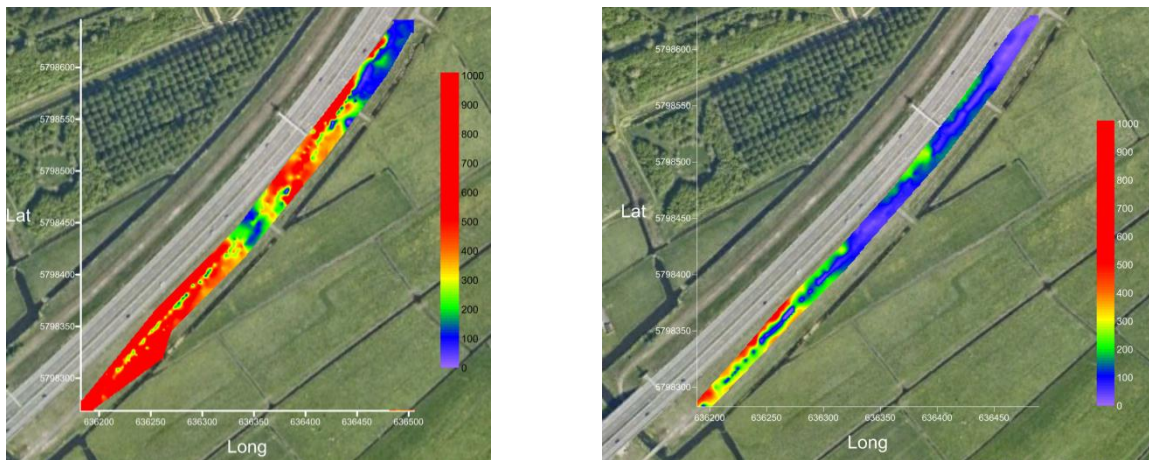


Figure 5.9 Map of apparent resistivity measured by Ohmmapper Resistivity is expressed in  $\text{Ohm} \cdot \text{m}$ . Latitude and longitude are given according to the UTM coordinate system. Left: with a transmitter-receiver distance of 5 meter (sensitive to depth of approximately 2 m). Right: with a transmitter-receiver distance of 10 meter (sensitive to depth of approximately 4 m). See Appendix B for figures on A3.

## 5.3.2 Inverted resistivity profiles

The inverted resistivity profiles are obtained combining the surveyed lines having different dipole distances and inverting them to retrieve the true resistivity model of the subsurface. In the pilot study, three of the seven survey lines were measured using both 5 and 10 m dipole distance. The inverted profiles show the real depth and true ground resistivity values. However, due to inversion the result is non-unique.

The three inverted resistivity profiles are given in Figure 5.10 (see appendix B for figures on A3). For improved interpretation and visualization, resistivity values are expressed in a logarithmic scale. Values of logarithmic resistivity above 2.5-3 are indicative of sandy, dry soil, while lower value can be indicative of saturate sandy-clay/clay.

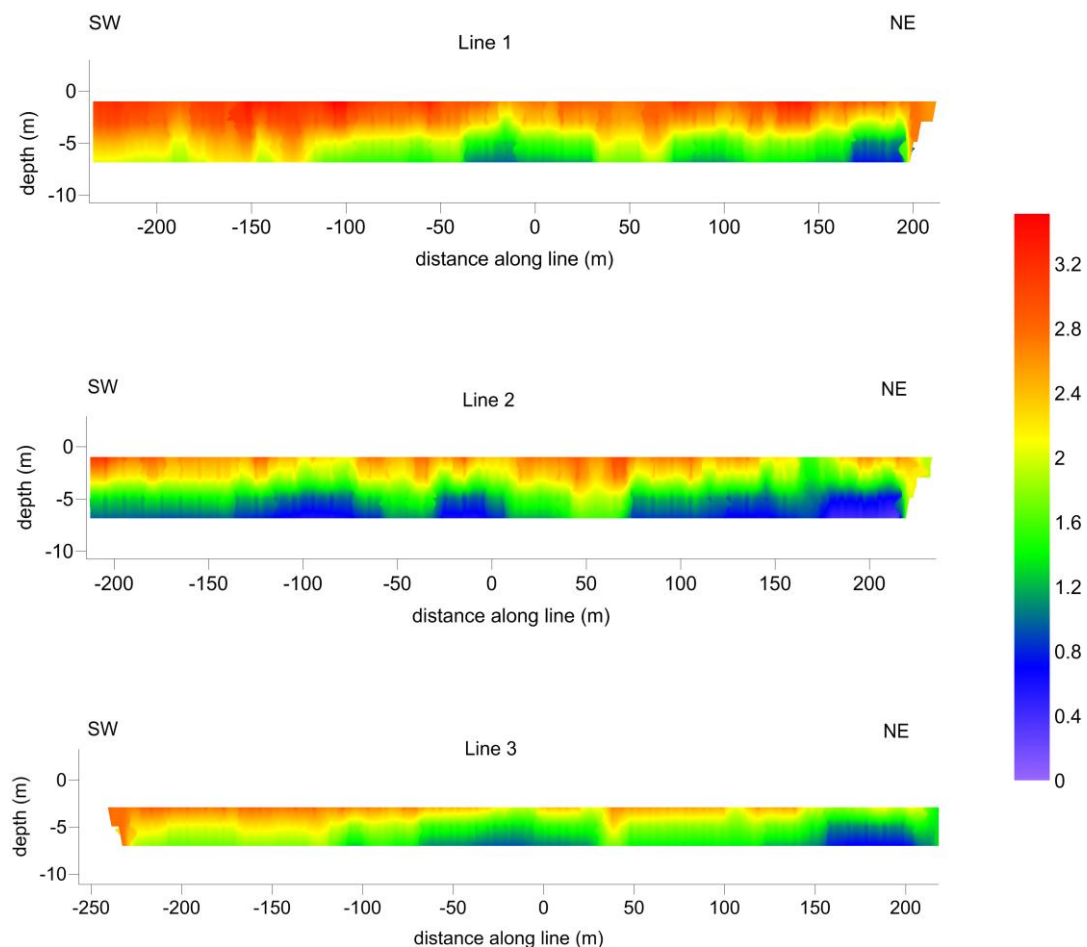


Figure 5.10 Inverted resistivity profile referred to line 1, 2 and 3 (positions given in Figure 5.8, right panel).

Resistivity values are given in logarithmic scale for better visualisation. Red indicates high resistivity values, blue low resistivity values.

Figure 5.10 shows that the high resistivity layer (indicated by red color) is usually found up to 4 meters below the surface (mbs) in lines 2 and 3. For line 1, however, situated on the side slope, the higher resistivity values are encountered at more than 5 m depth. This is possibly the result of a lower level of groundwater at that location compared to the other two lines. In general, there is an increase in the thickness of the high resistivity layer from north to south. This is in agreement with the GPR result.

The data presented in Figure 5.10 are based on only two transmitter-receiver distances. Therefore, the data have low lateral and vertical resolution. For an improved reliability of result and higher penetration, it is recommended to acquire data using different transmitter-receiver distances.

#### 5.4 Summary of EM measurements Fugro

The EM results of Fugro present useful information on the subsurface. Therefore, a summary is provided here. For the general description, the reader is referred to the Fugro report (reference 1012-0303-001). However, some of the figures have been updated to exclude data that had been contaminated by noise from the highway and its crash barrier. Two lines (out of four) were interpreted anew.

The distribution of the raw electromagnetic data of three intervals of increasing depths (0-2.2 mbs, 0-4.2 mbs and 0-6.7 mbs) is shown at the right side of Figure 5.11 (see appendix B for figures on A3). It shows an area of increased conductivity in the centre of the survey location. These three different depth ranges of EM data were classified by Fugro in terms of the presence or absence of sand at the maximum depth (see appendix B for all Fugro EM figures).

## 5.5 Data integration and interpretation

From the GPR penetration depth, the minimum thickness of the sand body was inferred. The EM data also give an indication of sand thicknesses by classifying the apparent conductivities in different depth ranges. The raw capacitive ERT measurements indicate areas of anomalous electrical resistivities. Since all methods are based on different geophysical principles, the results potentially give information on different issues of the subsurface. To obtain the most complete image of the subsurface, the three types of data can be combined.

In general, the GPR data indicate that the building sand was clean and placed neatly in the southern part of the survey location. In the northern part, the sand seems to be mixed with original soil (clay and peat). This is reflected in the capacitive ERT and EM as well. The capacitive ERT shows higher resistivities and the EM lower conductivities in the southern part both indicative of cleaner sand.

Using GPR, a region of anomalous penetration of the signal has been identified, shown in the pink box in Figure 5.11 (see Appendix B for figure on A3). The capacitive ERT measurements, especially the short electrode distance (sensitive to 2 mbs) shows a low resistivity anomaly in this region. The EM results show an increased conductivity in this region. Since resistivity and conductivity are inversely related, the capacitive ERT and EM data are in agreement. A possible explanation for the observed anomaly can be found in the corresponding CPT (Figure 5.12). In the top meters, the sand is mixed with organic and clayey material. This gives rise to high conductivity and low resistivity relative to clean sand. Moreover, part of the GPR signal is absorbed by the clay and organic material in the top sediments, causing a decrease in penetration depth. In this case, the GPR signal is attenuated before it reaches the top of the original soil. The GPR signal seems to be more sensitive to clay and peat in the top meters than in the same amount of clay and peat at larger depths.

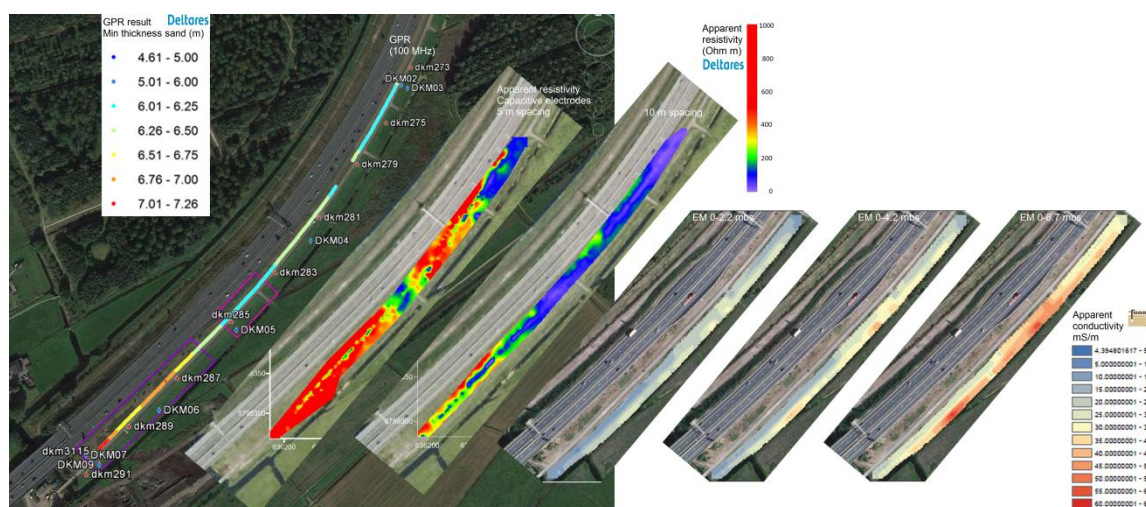


Figure 5.11 Comparison of the results from different geophysical methods, plotted in one figure for comparison. Results from left to right: GPR minimum thickness of sand layer, capacitive ERT measurements (raw data showing apparent resistivity values) with 5 and 10 m transmitter-receiver distance, EM measurements (raw data showing apparent conductivity values) in the depth range of 0-2.2 mbs (meters below the surface), 0-4.2 mbs and 0-6.7 mbs. GPR and capacitive ERT results from Deltares, EM results from Fugro. See Appendix B for figure on A3.

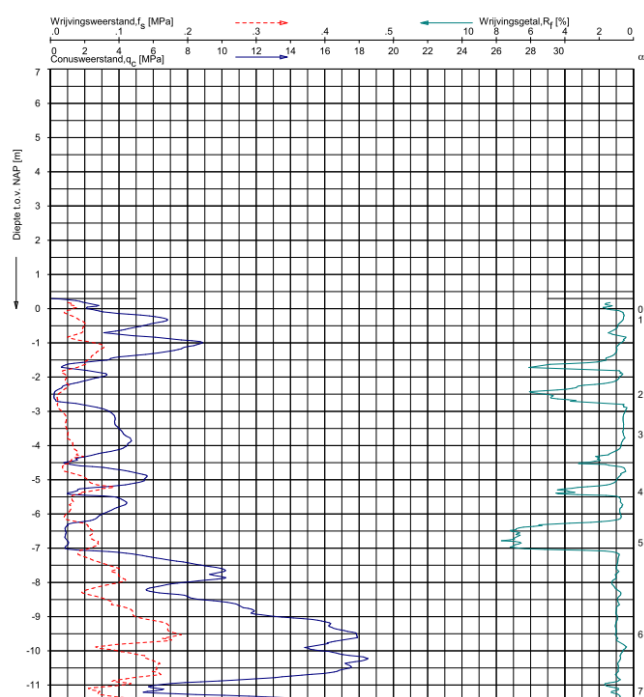


Figure 5.12 CPT corresponding to the anomalous subsurface composition as observed in anomalies in GPR, capacitive ERTR and EM data. Cone resistance in blue, friction in red, friction ratio in green.



## 6 Conclusions and recommendations

### 6.1 Conclusions

For the SAAone project, four geophysical techniques were evaluated in a pilot study out along the A9 highway in the municipality of Diemen, The Netherlands. The techniques were EM and classical electrical resistivity tomography (performed and reported by Fugro) and Ground Penetrating Radar (GPR) and capacitive resistivity tomography (performed by Deltares and reported here).

Combined analysis of cross sections of higher frequency GPR (250 MHz), parallel sections of lower frequency GPR (100 MHz) and CPTs near and on the GPR lines show that the maximum penetration depth of the GPR signal can be interpreted as the minimum depth of the sand body that was deposited for the construction of the highway. In general, the minimum thickness of the sand body increased from north to south.

Additionally, the GPR data in the southern part of the survey location show smooth radargrams with clear, continuous reflectors. This suggests that the building sand was placed neatly in the southern part. In the northern part of the survey location, however, the radargrams show irregular reflectors and hyperbolas. This suggests that the building sand was mixed with the original soil of peat and clay.

The capacitive resistivity data (Ohmmapper) show the distribution of the apparent resistivity. As employed here, information is acquired over two depth ranges. It shows an increase in apparent resistivities from north to south, reflecting the difference between mixed clean sand and clean sand. The inverted data show that the thickness of the low resistivity layer (i.e. sand) increases from north to south. However, these data have limited lateral and vertical resolution due to the fact that only two different electrode distances were used.

Combining GPR, capacitive resistivity and EM data (new interpretation by Fugro to reduce noise) shows that the data are mutually consistent. The decrease in GPR penetration depth in a specific region can be explained by mixing of the sand with peat and clay in the shallow subsurface. Additionally, the general increase in thickness of the sand body from north to south is observed in both GPR and inverted capacitive resistivity data.

This pilot study next to the A9 highway yielded information that is useful for the design phase of the highway reconstruction, that is the minimum thickness of the sand body and lateral changes in sand composition (clean or mixed sand).

The conditions at the other two highways to be investigated (A1 and A6) are slightly different. Effects of sheetpile walls and overhead power lines are to be expected for the EM, capacitive ERT and GPR measurements. The noise will be largest for EM measurements. For shielded GPR and capacitive ERT the noise will probably be smaller. Measurements very close to the sheet sheetpile walls need to be avoided. Ambient noise can be recognised in the data. Data interpretation should be performed with caution in these regions.

## 6.2 Applicability of GPR and capacitive resistivity tomography and recommendations

The advantages and disadvantages of the methods tested by Deltares (GPR and capacitive ERT) are summarised in Table 6.1.

Table 6.1 Summary of advantages and disadvantages of the methods tested by Deltares

Method	Advantage	Disadvantage
GPR – 250 MHz	Fast in acquisition	Limited depth penetration, sand wedge not detected
	Real depth information (when calibrated with velocity), no need for inversion, immediate image of subsurface	Need to combine with CPTs for full understanding of the signal
	Shielded antenna, less sensitive to ambient noise than 100 MHz unshielded antenna	Limited data quality near conductive obstacles
	Cross sections perpendicular to highway possible	
	Result provide insight in structure and composition of cross sections	
GPR – 100 MHz	Fast in acquisition	Need to combine with CPTs for full understanding of the signal
	Real depth information (when calibrated with velocity), no need for inversion, immediate image of subsurface	Limited data quality near conductive obstacles
	Sufficient depth penetration for this study	Unshielded antenna, more sensitive to ambient noise than 250 MHz shielded antenna
	Result provides information on the minimum thickness of the sand body with laterally continuous extent.	
	Identification of anomalies unnoticed in CPTs (point measurements).	
Capacitive resistivity tomography - Ohmmapper	Fast and efficient in data acquisition method. Much faster than classical ERT with electrodes pinned to the ground. Applicable on hard, highly resistive surfaces (not used in the pilot study).	Long electrode spread has to be pulled by a person. It can get stuck on obstacles or in long grass (site specific problem).
	Due to coupling with soil the measurements are less sensitive to noise from cars and other metal objects than EM.	Some sensitivity to ambient noise to be expected to e.g. high voltage power lines and sheetpile walls.
	More than one receiver can be used at the same time allowing the acquisition of data referred to different transmitter-receiver distances (not used in the pilot study).	Lack of information on data quality during the survey. No statistics on data error are provided (for Ohmmapper instrument).
	Inverted data gives laterally continuous information on the distribution of	Inversion needed to obtain information on resistivity distribution with depth.

	resistivities with depth.	Non-unique solution. In this case: limited lateral and vertical resolution due to use of only two transmitter-receiver distances.
--	---------------------------	---

Based on the experiences of this pilot study, we recommend the following for the next studies on the sand bodies near A1, A6 and A9:

- Use a combination of methods. This can be either GPR (both frequencies) and capacitive resistivity tomography or GPR and EM.
- For GPR: use of both 100 MHz and 250 MHz GPR antennas to measure both cross sections and parallel lines for required penetration depth. Since changes in the subsurface occur at different depths and different levels of ambient noise are present. 100 MHz is required to be able to detect the wedge of sand next to the highway in the cross sections. The 250 MHz is required to visualise the shallower parts and areas with noise sources (e.g sheetpile walls and overhead high voltage powerlines).
- For Ohmmapper:
  - Use 'continuous' recording mode.
  - Measure using at least three different dipole spacings, preferably using several receivers.
- For EM: Measure lines not too close to the highway because of noise from cars and crash barrier. Identify noisy lines and exclude them from interpretation.
- In general:
  - Use DGPS for accurate positioning.
  - Good notation of ambient noise sources in the field (sheetpile walls, overhead high voltage power lines, distance to crash barrier, light masts, fences, etc.) to recognise noise in the data.





## A Appendix – references

Kuras, O., Meldrum, P. I., Beamish, D., Ogilvy, R. D., & Lala, D. (2007). Capacitive resistivity imaging with towed arrays. *Journal of Environmental & Engineering Geophysics*, 12(3), 267-279.

Kuras, O. (2002). The capacitive resistivity technique for electrical imaging of the shallow subsurface (Doctoral dissertation, University of Nottingham).

Nielsen, L., Møller, I., L.H. Nielsen, P.N. Johannessen, M. Pejrup, T.J. Andersen & J.S. Korshøj (2009). Integrating ground-penetrating radar and borehole data from a Wadden Sea barrier island. *Journal of Applied Geophysics*, 68, 47-59.

Fugro (2013). Concept rapportage Flankenonderzoek (Proefvak) langs A9, reference: 1012-0303-001, date 18 June 2013.



**B   Maps and results on A3**

**GPR**

- Survey lines of GPR and location of CPTs
- Cross section GPR south (250 MHz), with 3 CPTs
- Cross section GPR north (250 MHz), with 3 CPTs
- Parallel section GPR (100 MHz)
- Zoom of parallel section GPR (100 MHz), south
- Zoom of parallel section GPR (100 MHz), north
- Map of maximum GPR penetration (100 MHz)
- Map of minimum thickness of the sand body

**Capacitive ERT (Ohmmapper)**

- Survey lines Ohmmapper, transmitter-receiver distance 5 m
- Survey lines Ohmmapper, transmitter-receiver distance 10 m
- Pseudo resistivities of Ohmmapper, transmitter-receiver distance 5 m
- Pseudo resistivities of Ohmmapper, transmitter-receiver distance 10 m
- Inverted lines of Ohmmapper

**Revised EM data Fugro**

- Raw EM data for depth ranges of 0-2.2 mbs, 0-4.2 mbs and 0-6.7 mbs
- Classified EM data indicating presence of sand for depth ranges 0-2.2 mbs, 0-4.2 mbs and 0-6.7 mbs

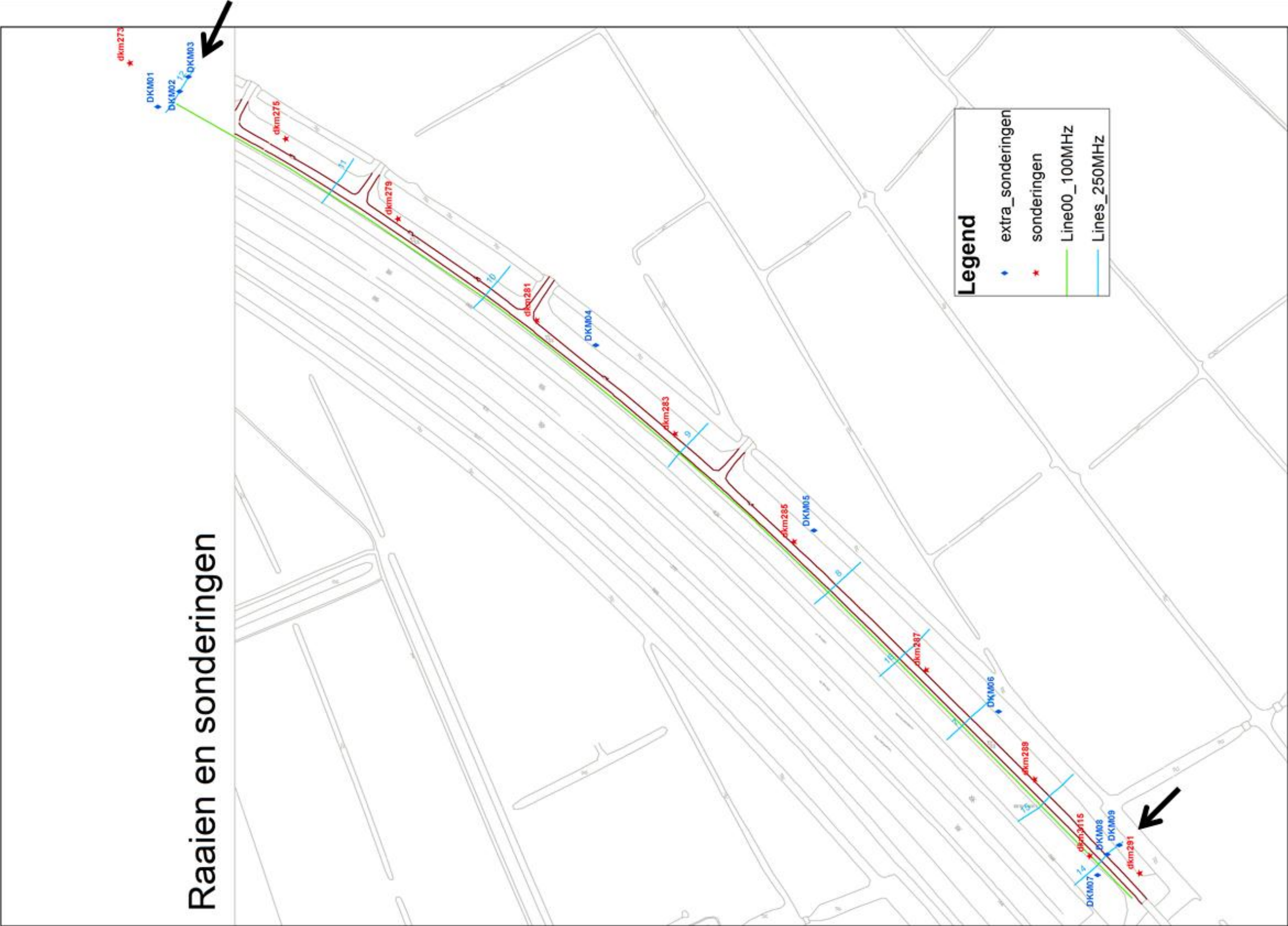


Figure B.1 Location of the GPR lines (green = 100 MHz parallel to highway, blue = 250 MHz cross sections perpendicular to highway) and CPTs (blue and red dots and codes). In appendix B the picture is shown on A3 size. The arrows refer to characteristic GPR cross sections (Figure 5.2 and Figure 5.3).



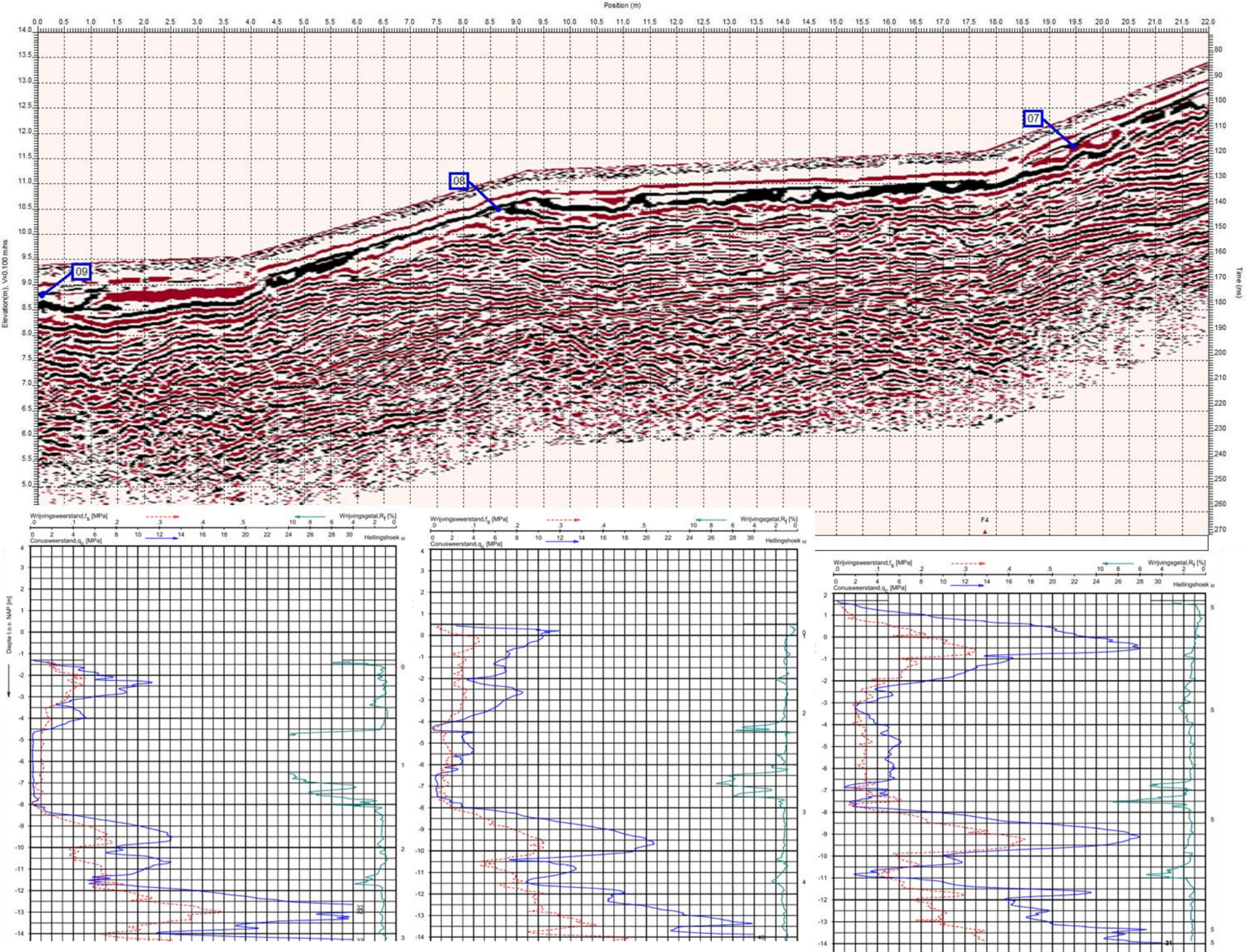


Figure B.2 Top: Characteristic GPR profile (250 MHz) in the south of the survey location, corrected for height (relative datum is 10 m above NAP). Bottom .From left to right CPT of original subsurface (09), at the bike lane plateau (08) and in the highway slope (07). Cone resistance in blue, friction in red, friction ratio in green.



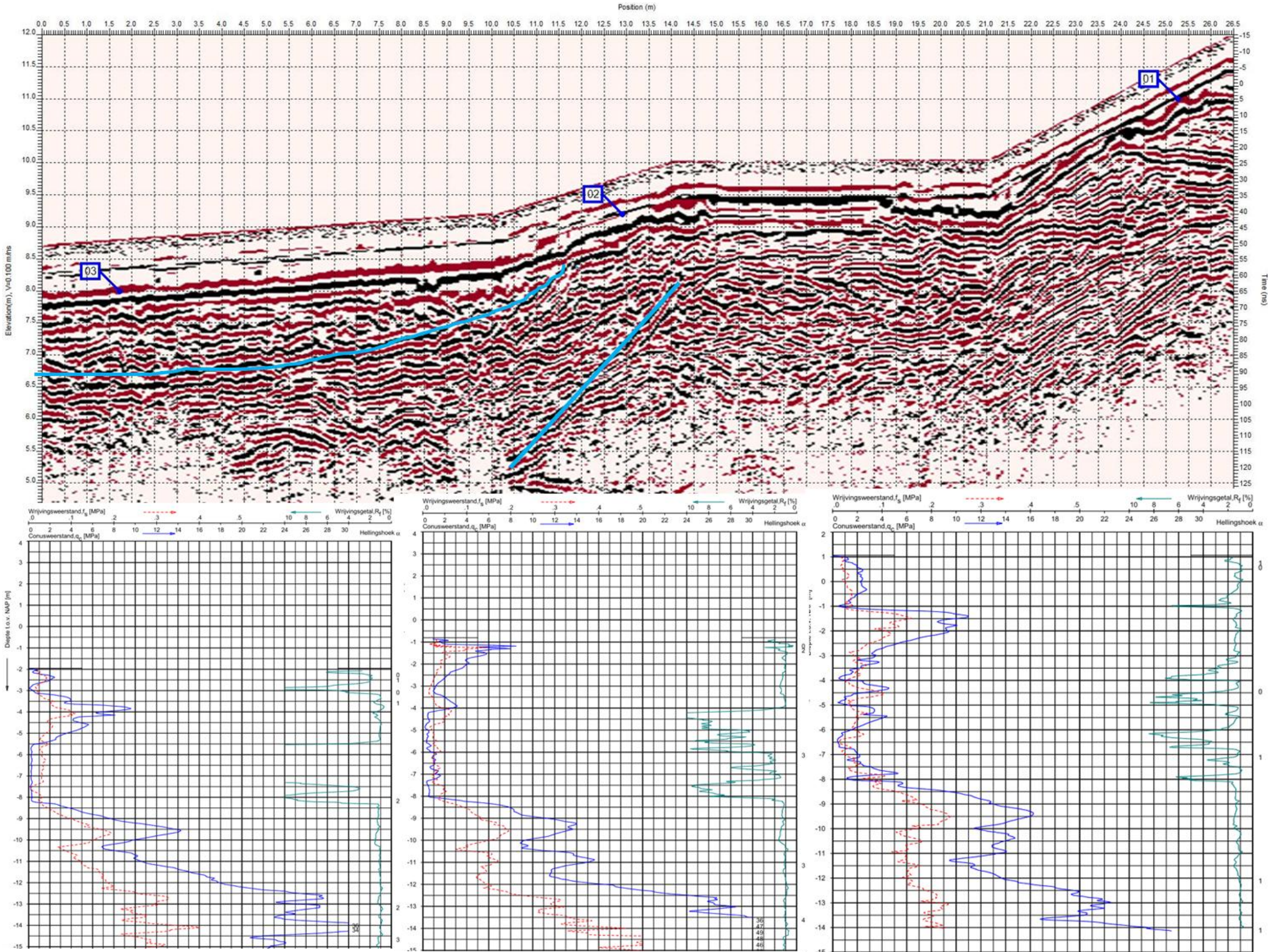


Figure B.3 Top: Characteristic GPR profile (250 MHz) in the north of the survey location, corrected for height (relative datum is 10 m above NAP). Blue lines are interpretation of mixed composition. Bottom .From left to right CPT of original subsurface (03), at the bike lane plateau (02) and in the highway slope (01). Cone resistance in blue, friction in red, friction ratio in green.



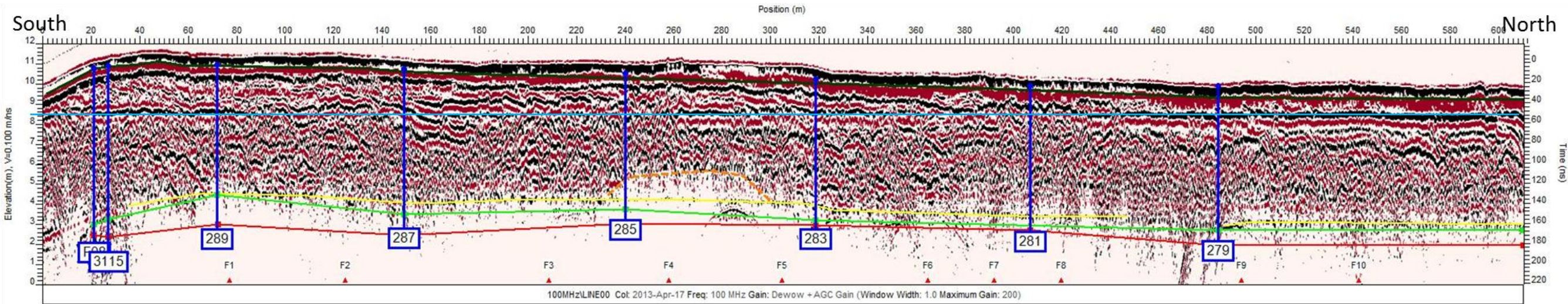


Figure B.4 GPR profile (100 MHz) parallel to the highway. Left side is south, right side is north. CPTs located within 6 m from the GPR line are indicated in the radargram. Relative datum is 10 m above NAP. Interpretation lines are: yellow line = maximum GPR penetration, green line = original profile as inferred from CPTs, red-brown line = top Pleistocene sand as inferred from CTPs.



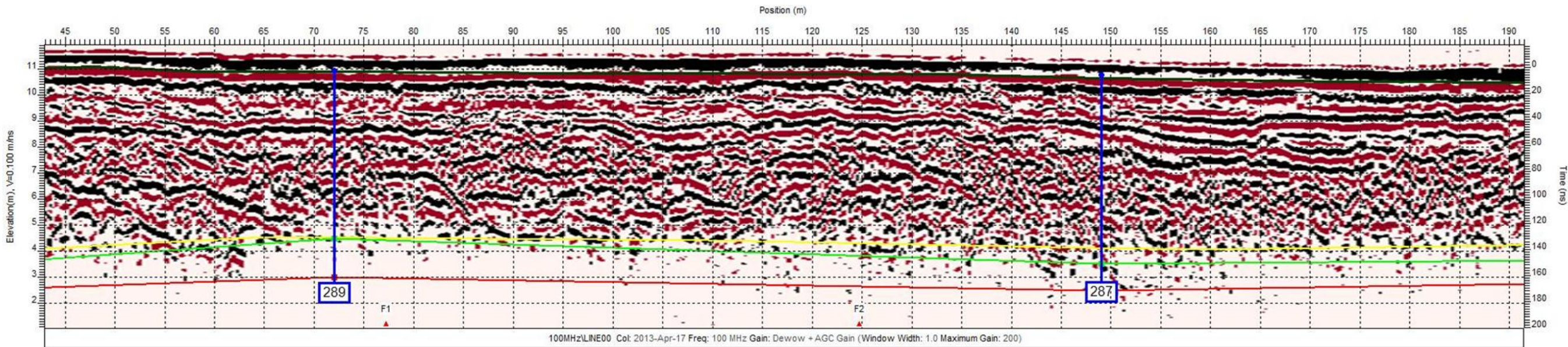


Figure B.5 Zoom in of GPR profile (100 MHz) parallel to the highway of southern part of the survey location.. Left side is south, right side is north. Relative datum is 10 m above NAP. CPTs located within 6 m from the GPR line are indicated in the radargram. Interpretation lines are: yellow line = maximum GPR penetration, green line = original profile as inferred from CPTs, red-brown line = top Pleistocene sand as inferred from CTPs.

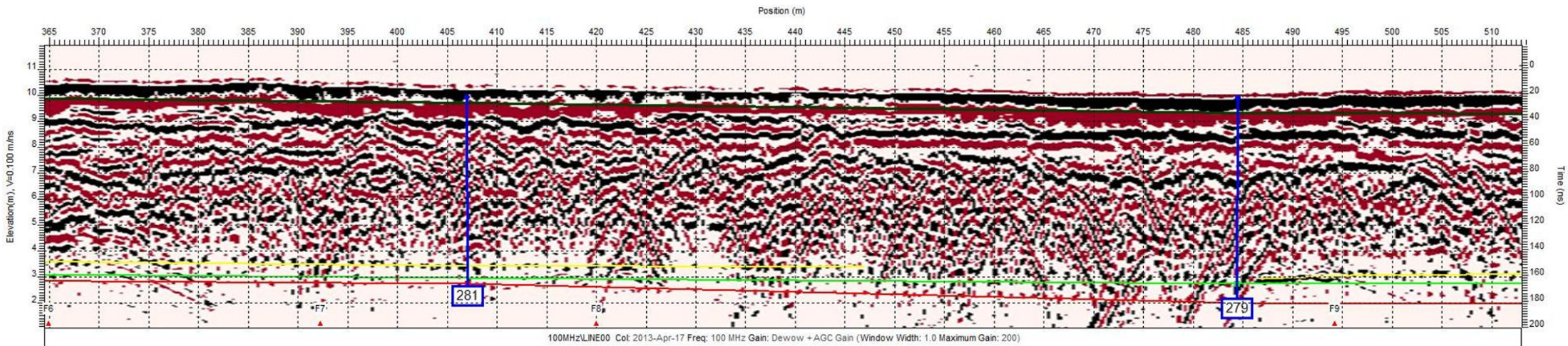


Figure B.6 Zoom in of GPR profile (100 MHz) parallel to the highway of northern part of the survey location.. Left side is south, right side is north. Relative datum is 10 m above NAP. CPTs located within 6 m from the GPR line are indicated in the radargram. Interpretation lines are: yellow line = maximum GPR penetration, green line = original profile as inferred from CPTs, red-brown line = top Pleistocene sand as inferred from CTPs.



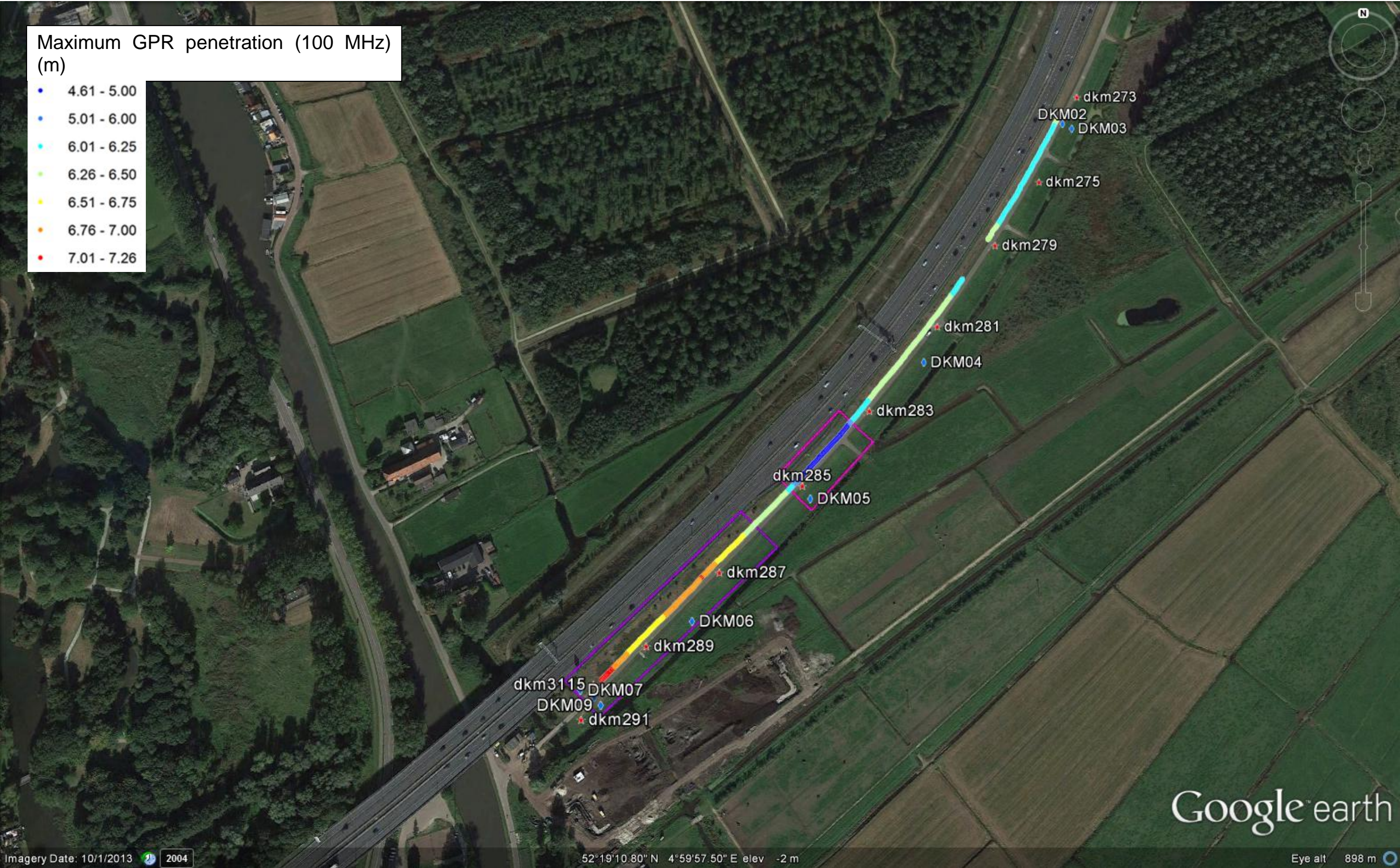


Figure B.7 Left: maximum penetration depth as inferred from 100 MHz GPR lines parallel to the highway (yellow line in Figure 5.4). In general, this coincides with the maximum thickness, except for the location marked by the red box. There, the penetration is limited due to clay in the shallow subsurface (orange line in Figure 5.4). Maximum penetration is color coded. Right: minimum thickness of the sand body as inferred from GPR and interpolated between CTPs in the red box due to limitations in penetration depth that is not related to the sand body.



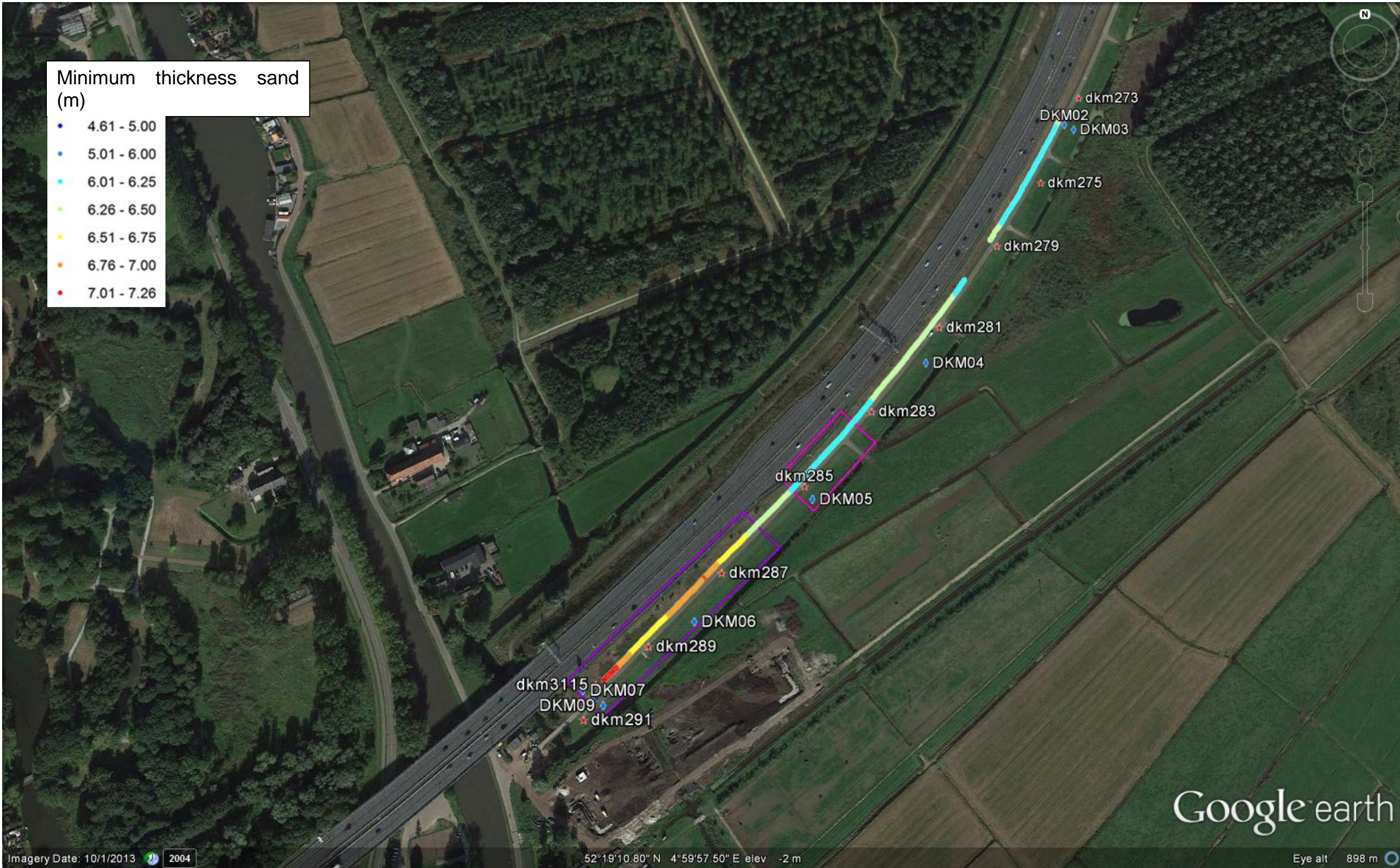


Figure B.8 Minimum thickness of the sand body as inferred from GPR and interpolated between CTPs in the red box due to limitation in penetration depth that is not related to the sand body. Minimum thickness is color coded





Figure B.9 Left: Location of Capacitive Resistivity Tomography survey lines using Ohmmapper (yellow lines). Right: location of inverted lines from Ohmmapper data.





Figure B.10 Apparent resistivity values for Ohmmapper with transmitter-receiver distance of 5 m (sensitive to approximately 2 m depth).



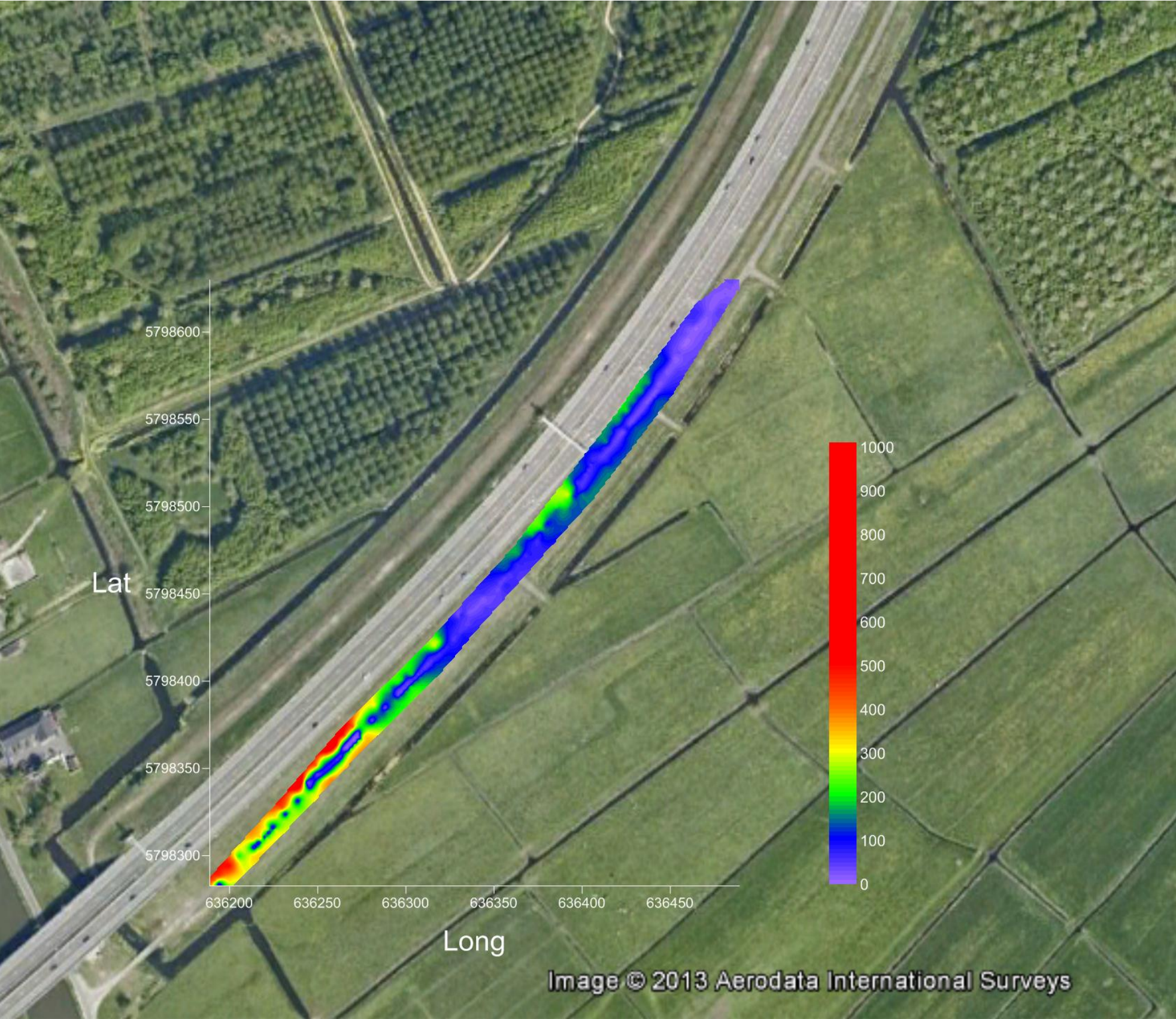


Figure B.11 Apparent resistivity values for Ohmmapper with transmitter-receiver distance of 10 m (sensitive to approximately 4 m depth).



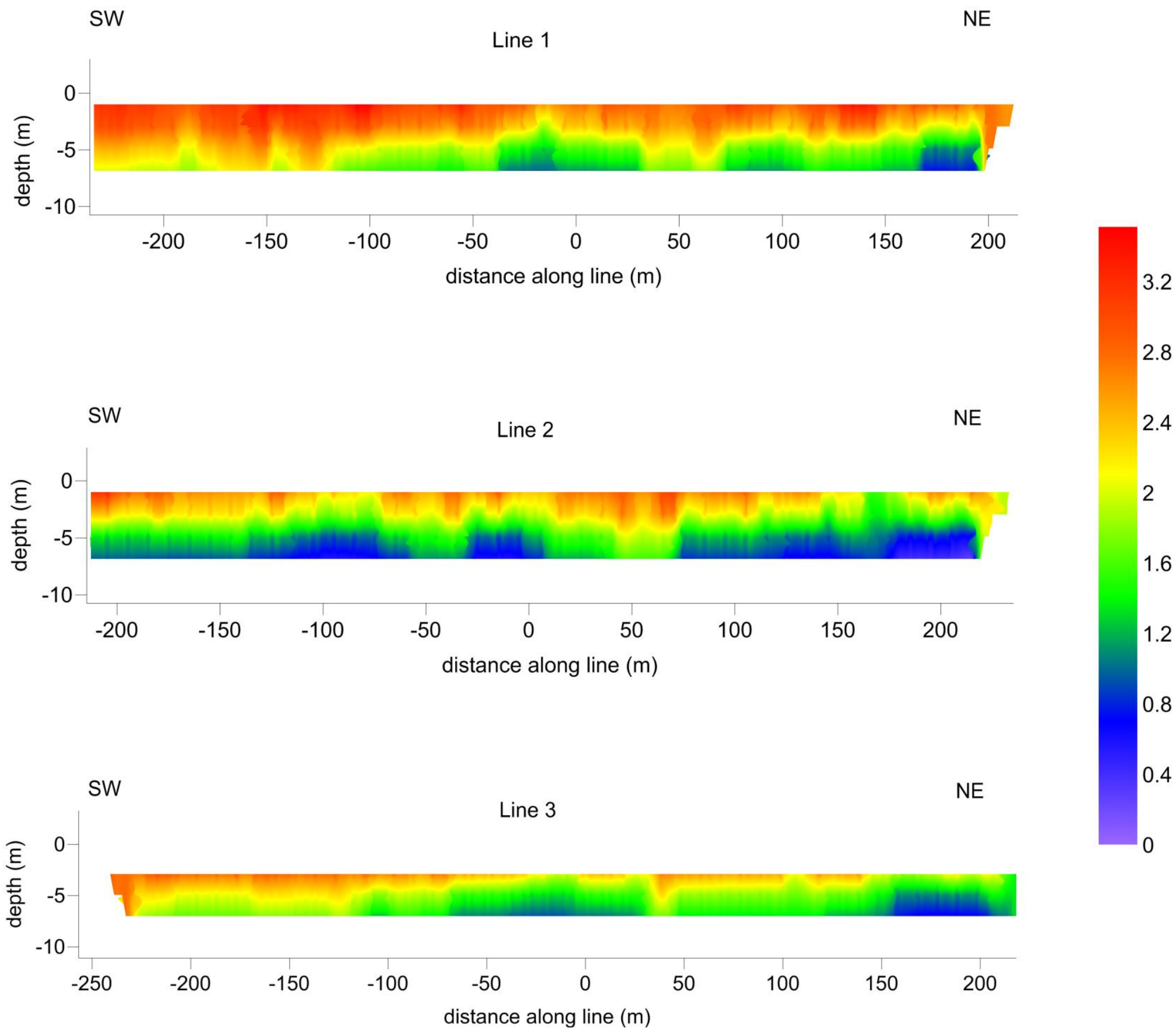


Figure B.12 Inverted resistivity profile referred to line 1, 2 and 3 (positions given in Figure B.9, right panel). Resistivity values are given in logarithmic scale.



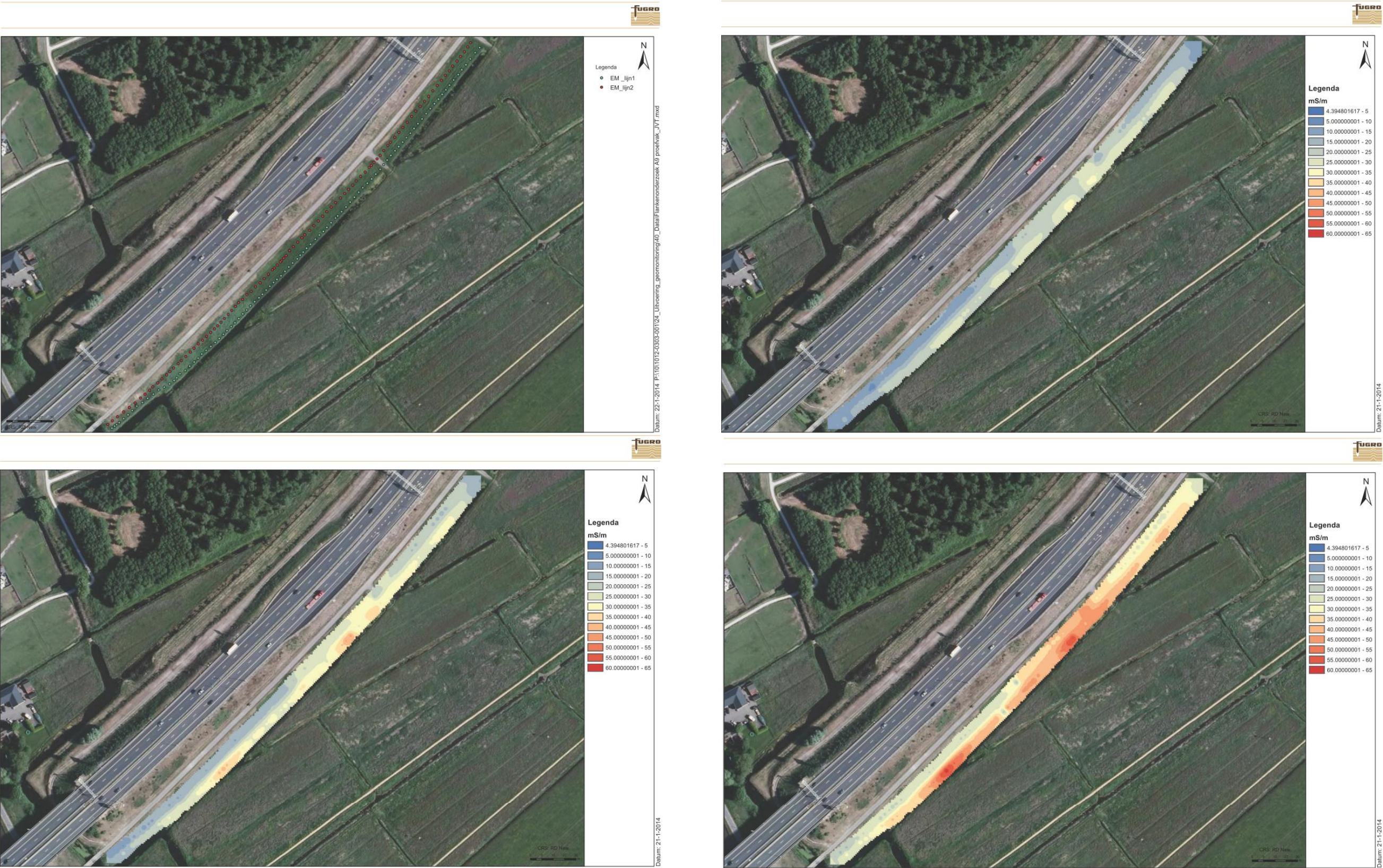


Figure B.13 Revised raw EM data from Fugro. Upper left: position of EM data points; upper right: raw EM data for depth range of 0-2.2 mbs; lower left: raw EM data for depth range of 0-4.2 mbs; lower right: raw EM data for depth range of 0-6.7 mbs.



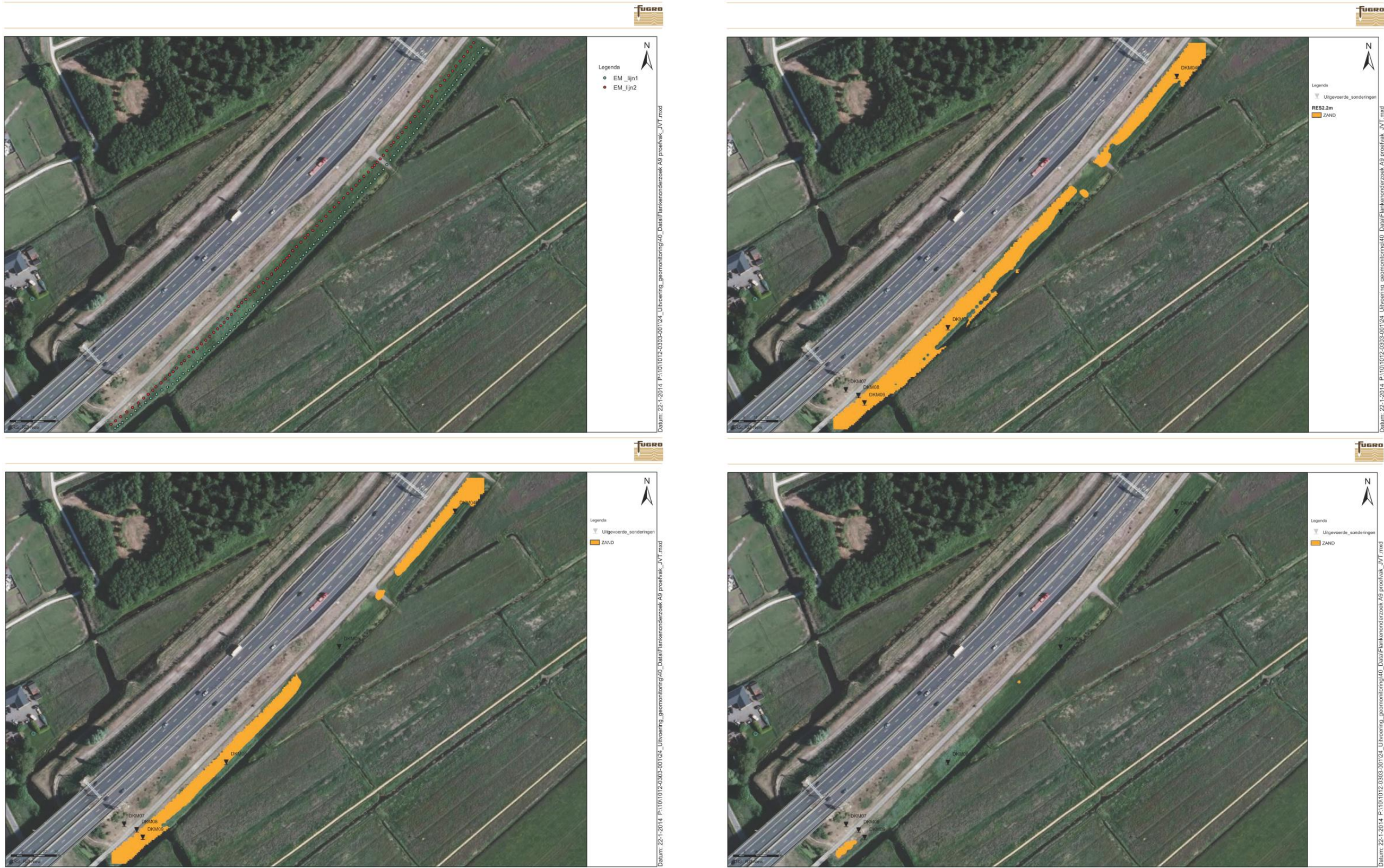


Figure B.14 Revised classified EM data from Fugro, indicating the presence of sand Upper left: position of EM data points; upper right: classified EM data for depth range of 0-2.2 mbs; lower left: classified EM data for depth range of 0-4.2 mbs; lower right: classified EM data for depth range of 0-6.7 mbs.







Project	:	A1/A6 Diemen – Almere Havendreef
Objectnummer	:	0.01.01.01
Titel	:	Flankenonderzoek A1-A6
	:	Pilot geofysische meetmethoden
Documentnummer	:	SAAONE-OGW-RAP-100001
Revisie	:	1.0
Pagina	:	14 van 14

**BIJLAGE B   RAPPORTAGE FUGRO GEOSERVICES D.D. 6 MEI  
2014**

GEOTECHNISCH ONDERZOEK  
betreffende  
**CONCEPT RAPPORTAGE**  
**FLANKENONDERZOEK (PROEFVAK)**  
**LANGS A9**

Opdrachtnummer: 1012-0303-001

Opdrachtgever : SAAone EPCM Bouwcombinatie V.O.F.  
Stammerhove 1  
1112 VA Diemen

Datum grondonderzoek : 18-19 april 2013 Geofysische veldwerk  
7 tot en met 13 juni 2013 Sondeerwerkzaamheden

Projectleider : ir. E. Alink  
Projectleider Geotechniek

Opgesteld door : ing. S.N. Elgün  
Adviseur Geofysica

Gecontroleerd door : drs. C. van Isselt  
Senior Adviseur Geofysica

VERSIE	DATUM	OMSCHRIJVING WIJZIGING	PARAAF PROJECTLEIDER
1	18 juni 2013	Concept rapport	CVI
2	6 mei 2014	Eindrapport	CVI

FILE: 1012-0303-001.R02 Op deze rapportage zijn de algemene leveringsvoorwaarden 2012 van toepassing die een aansprakelijkheidsbeperking bevatten

<u>INHOUDSOPGAVE</u>	<u>Blz.</u>
<b>1. INLEIDING</b>	<b>1</b>
<b>2. UITVOERING ELEKTROMAGNETISCHE ONDERZOEK</b>	<b>2</b>
<b>3. UITVOERING GEO-ELEKTRISCHE ONDERZOEK</b>	<b>4</b>
3.1. Continuous Vertical Electrical Sounding (CVES)	4
3.2. Vertical Electrical Sounding (VES)	5
<b>4. SONDEERWERKZAAMHEDEN</b>	<b>7</b>
4.1. Uitzetten en waterpassen	7
4.2. Sonderen	7
<b>5. TERREIN- EN BODEMGESTELDHEID</b>	<b>9</b>
<b>6. RESULTATEN ELEKTROMAGNETISCH ONDERZOEK</b>	<b>10</b>
<b>7. RESULTATEN GEO- ELEKTRISCHE ONDEROZEK</b>	<b>13</b>
7.1. Continuous Vertical Electrical Sounding (CVES)	13
7.2. Vertical Electrical Sounding (VES)	15
<b>8. CONCLUSIE</b>	<b>16</b>

<u>BIJLAGEN</u>	<u>Nr.</u>
- Situatietekening	1012-0303-001-1
- Ruwe elektromagnetische data	1012-0303-001-2
- Geclassificeerd elektromagnetische data	1012-0303-001-3
- Resultaten CVES metingen	1012-0303-001-4
- Resultaten VES metingen	1012-0303-001-5
- Sondeergrafieken	1012-0303-001-6
- Legenda Terreinproeven en Grondsoorten	1012-0303-001-7
- Continu Elektrisch Sonderen	1012-0303-001-8

---

## 1. INLEIDING

Op 28 mei 2013 ontving Fugro GeoServices B.V. te Leidschendam van SAAone EPCM Bouwcombinatie V.O.F. te Diemen, de opdracht voor het uitvoeren van een geofysische proefonderzoek ten behoeve van meer inzicht te krijgen in de diepte en verloop van het zandcunet langs de A9 in een traject van 360m lang tussen HP 6.45km en 6.8km ten noordoosten van de rivier De Gaasp.

Op 18 en 19 april 2013 heeft Fugro GeoServices B.V. een geofysisch onderzoek uitgevoerd met behulp van elektromagnetische (EM) en geo-elektrische (CVES en VES) metingen.

Op 7 juni tot en met 13 juni 2013 heeft Fugro GeoServices B.V. 9 stuks geotechnische sonderingen uitgevoerd ten behoeve van het ijken van de elektromagnetische en geo-elektrische data.



Figuur 1: Overzicht onderzoeklocatie aangegeven met rood markering langs A9 (Bron: Bing Maps)



## 2. UITVOERING ELEKTROMAGNETISCHE ONDERZOEK

De elektromagnetische metingen zijn op loopsnelheid uitgevoerd met een CMD Explorer van GF Instruments. Alle meetpunten zijn ingemeten met behulp van een 06- GPS in RD coördinaten.

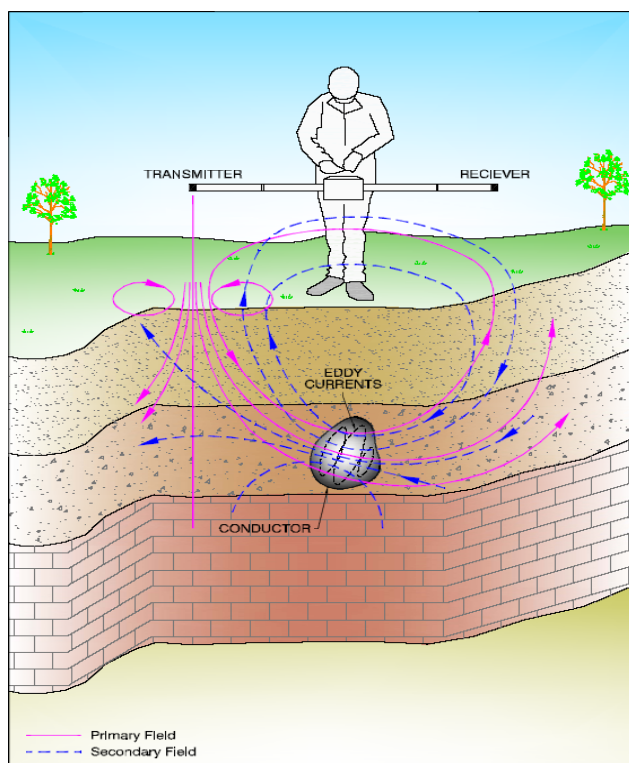
Alle gelopen meetlijnen (parallel en dwarslijnen) zijn aangegeven op de situatietekening in bijlage 1012-0303-001-1.

In totaal zijn 4 meetlijnen parallel aan het fietspad en 16 meetlijnen dwars op het fietspad gelopen met een totale lengte van is circa 2092m.

Bij het elektromagnetisch (EM) onderzoek wordt de elektrische geleidbaarheid van de ondergrond gemeten door middel van elektromagnetische inductie. Het apparaat bestaat uit zenders en ontvangers op een onderlinge afstand van respectievelijk 1,48 m, 2,82 m en 4,49 m, die tijdens de metingen op een gelijke afstand boven het maaiveld moet worden gehouden.

Door de zendspoel wordt een elektrische wisselstroom gestuurd, deze wekt een primair magnetisch veld ( $H_p$ ) op. Dit veld zal op zijn beurt elektrische stroompjes in de bodem induceren, welke een secundair magnetisch veld ( $H_s$ ) veroorzaken. In een ontvangspoel wordt de vectorsom van de velden  $H_p$  en  $H_s$  gemeten (zie Figuur 2).

Uit de verhouding  $H_s/H_p$  wordt het schijnbaar geleidingsvermogen van de ondergrond berekend. Deze schijnbare waarde representeert de werkelijke geleidbaarheid afhankelijk van de diepte van de lagen.



Figuur 2: Schematisch overzicht EM 31 onderzoek methode

Voor het elektrisch geleidingsvermogen zijn de goed geleidende mineralen zoals humus en vochtige klei in de bodem belangrijk, ook gestort vuilnis kan goed geleidende materialen bevatten. Grondwater, zowel qua samenstelling als hoeveelheid, speelt echter de belangrijkste rol in het geleidingsvermogen. Uit de metingen kan echter niet eenduidig de samenstelling van de ondergrond worden afgeleid, want het bereik van het geleidingsvermogen voor verschillende grondsoorten overlapt elkaar.

Over het algemeen zal het geleidingsvermogen van de bodem hoger zijn naarmate de korrelgrootte van het materiaal geringer is, maar ook zal, bij gelijkblijvende porositeit/permeabiliteit het geleidingsvermogen toenemen met het zoutgehalte (of vervuiling) van het grondwater. Veranderingen in het geleidingsvermogen kunnen dus zowel duiden op verandering van de bodemsamenstelling als op vervuiling. Daar de waarden van het geleidingsvermogen gebiedsgebonden zijn, blijft een aantal boringen altijd noodzakelijk voor een goede kalibratie van de gegevens. Het geleidingsvermogen van de bodem is zeer zwak in vergelijking met dat van metalen geleiders. Metalen buizen, kabels e.d. kunnen dan ook zeer sterke verstoringen in de metingen veroorzaken. Over een gebied met gestort vuil in de ondergrond zal het geleidingsvermogen grillig verlopen, terwijl het bij een meer natuurlijke ondergrond meestal geleidelijk verloopt.

In het algemeen heeft zand een aanzienlijk lager elektrisch geleidingsvermogen dan klei en veen. Externe factoren zoals bijvoorbeeld brak grondwater kunnen dit beeld echter vertroebelen. De variatie in dikte van een kleiige en/of venige toplaag op een zandpakket kan bijvoorbeeld worden aangetoond.

### 3. UITVOERING GEO-ELEKTRISCHE ONDERZOEK

#### 3.1. Continuous Vertical Electrical Sounding (CVES)

De CVES metingen zijn uitgevoerd met behulp van ABEM Lund ES 10 64 elektrode switcher in combinatie met SAS 4000 Terrameter.



Figuur 3: SAS 4000 Terrameter

Bij de Wenner opstelling zijn de afstanden tussen de stroom en potentiaal elektrodes gelijk. Dankzij het multi elektrode imaging systeem kunnen 60 elektrodes naast elkaar worden geplaatst en schakelt het systeem zelf tussen de elektrodes.

Met de CVES methode (continuous vertical electrical sounding) worden geo-elektrische weerstanden gemeten. Het is een zogenaamde DC (differential current) methode waar met behulp van 2 elektrode paren een spanning in de ondergrond wordt gegeneerd om zo met behulp van de gemeten waarden via de wet van Ohm ( $V=I \cdot R$ ) de weerstand van de ondergrond te berekenen.

Door met een groot aantal elektroden te werken (60) ontstaat er een 2 dimensionaal beeld. Klei en zand hebben verschillende weerstanden en kunnen op deze wijze worden onderscheiden. Wanneer zand verzadigd is met (grond)water is de weerstand ook afhankelijk van de kwaliteit van het grondwater.

De resolutie en de diepte waarop gemeten wordt is aan elkaar gekoppeld, naarmate je dieper wilt meten, worden de afstanden tussen de onderlinge elektroden groter en neemt de resolutie verder af. Met diepe metingen kun je relatief dunne lagen niet goed onderscheiden. Omdat je waarschijnlijk niet de dunne kleilagen kunt aantonen maar wel het grondwater erboven, gezien het te verwachten contrast tussen relatief droog zand en zand verzadigd met grondwater, zal een relatief hogere grondwater spiegel indicatief zijn voor de aanwezigheid van een kleilaag.

Indien de het geleidende vermogen van het grondwater bekend is, kan de weerstand van het zand met het grondwater berekend worden via de wet van Archie.

De test locaties zijn aangegeven op de situatietekening in bijlage 1012-0303-001-1.

### 3.2. Vertical Electrical Sounding (VES)

De elektrische weerstand van de bodem ten behoeve van in het kaart brengen van de diepte en het verloop van het zandcunet langs de A9 op het proefvak is tevens bepaald met behulp van VES metingen. De metingen zijn uitgevoerd met een SAS-300B Terrameter (Figuur 4.).



*Figuur 4: SAS 300B Terrameter*

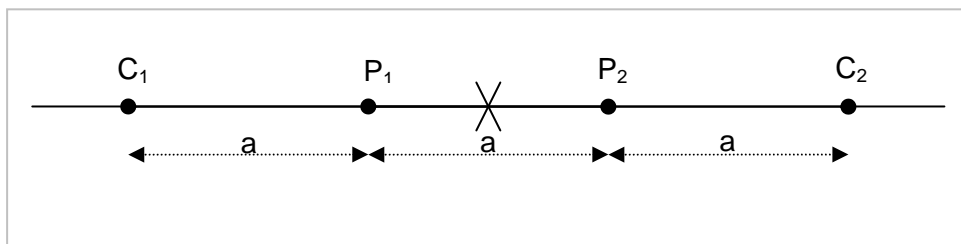
VES staat voor "Vertical Electrical Sounding". Volgens deze methode wordt in het midden van het profiel op één punt de schijnbare weerstanden berekend van de ondergrond bij het vergroten van de onderlinge afstand van de stroomelektroden. De schijnbare weerstand is een soort bulk weerstand van de ondergrond. Bij het toenemen van de afstand geeft de schijnbare weerstand informatie over de elektrische weerstand op steeds grotere diepte.

De interpretatie leidt tot een verticaal lagenmodel van de formatieweerstanden. De formatieweerstand geeft de weerstand weer van de ondergrond en het poriewater. In algemeen geldt dat een lage weerstand van de ondergrond overeenkomt met ofwel klei/veen, zout water of een combinatie hiervan. Een hoge weerstand komt overeen met zand, zoet water of een combinatie daarvan.

De VES metingen zijn uitgevoerd met 4 elektrodes en er is gebruik gemaakt van de Wenner opstelling. Met Wenner opstelling is de onderlinge afstand tussen de elektrodes gelijk.

Door middel van de buitenste twee stroom elektrode (C) wordt stroom in de ondergrond gestuurd en met behulp van de binnenste twee potentiaal elektrode (P) is de elektrische weerstand van de ondergrond gemeten. De gemeten weerstand waarden zijn uitgedrukt in Ohm-meter.

Figuur 5 toont een schematische opstelling van Wenner metingen. De test locaties worden aangeduid als VES1 – VES6 op de situatietekening 1012-0303-001-1.



Figuur 5: Wenner opstelling



## 4. SONDEERWERKZAAMHEDEN

Het grondonderzoek voor dit project heeft bestaan uit 9 geotechnische sonderingen tot een diepte van 15 á 20m –MV

### 4.1. Uitzetten en waterpassen

De onderzoekslocatie is door Fugro uitgezet en gewaterpast ten opzichte van NAP met behulp van een 06-GPS.

De hoogtebepaling van de onderzoekslocatie in het terrein is uitgevoerd met als doel de bodemopbouw te refereren aan een vaste referentiehoogte. De gerapporteerde hoogtes zijn niet geschikt voor andere doeleinden dan dit onderzoek.

Voor een verklaring van de op de situatietekening gebruikte tekens en symbolen wordt verwezen naar de bijlage "Legenda Terreinproeven en Grondsoorten".

### 4.2. Sonderen

De locaties van de sonderingen zijn bepaald aan de hand van de uitgevoerde elektromagnetische onderzoek. De uitgevoerde sonderingen zijn gebruikt tijdens de ijken en classificeren van de elektromagnetische data.

In onderstaande tabel 1 zijn de coördinaten en de NAP hoogtes van uitgevoerde sonderingen aangegeven.

*Tabel 1: De RD-coördinaten en NAP hoogtes van de uitgevoerde sonderingen in het proefvak langs de A9*

Sondeernummer	X coördinaten [m]	Y coördinaten [m]	Hoogte [m NAP]
DKM01	128844.95	481646.05	1.06
DKM02	128852.68	481635.34	-0.81
DKM03	128859.91	481630.92	-1.96
DKM04	128726.84	481428.73	-1.87
DKM05	128634.94	481320.50	-1.81
DKM06	128545.10	481228.85	-1.58
DKM07	128463.85	481179.57	1.67
DKM08	128474.11	481174.90	0.53
DKM09	128478.81	481168.92	-1.30

De sonderingen zijn uitgevoerd met de elektrische Fugro-kleefmantelconus conform norm NEN 5140, klasse 2. De conus is voorzien van een hellingmeter. In de sondeergrafieken is de diepte gecorrigeerd voor de gemeten afwijking van de verticaal.

De resultaten van de sonderingen zijn getekend op de grafieken DKM1 tot en met DKM9 waarop de diepte is uitgezet in meters ten opzichte van NAP. Alle uitgevoerde sonderingen zijn bijgevoegd in de bijlage 1012-0303-001-6.

Op de grafieken van de sonderingen is het wrijvingsgetal weergegeven. Dit is de verhouding tussen de plaatselijke wrijvingsweerstand en de conusweerstand. Empirisch is vastgesteld dat het wrijvingsgetal een nauwe relatie heeft met de grondsoort, zodat een goede indicatie van de laagopbouw is verkregen.

De sonderingen zijn uitgewerkt met een interpretatie van het wrijvingsgetal voor identificatie van de bodemlagen. De identificatie van de bodemlagen is uitgevoerd volgens Robertson (1990), die door Fugro is aangepast aan de Nederlandse omstandigheden.

Voor achtergronden en beperkingen wordt verwezen naar de bijlage "Continu Elektrisch Sonderen". De identificatie is indicatief en alleen geldig voor lagen onder de grondwaterstand. De resultaten dienen te worden geverifieerd met boringen of geologische informatie.

## 5. TERREIN- EN BODEMGESTELDHEID

Het maaiveld op de locatie van de sonderingen varieerde ten tijde van het bodemonderzoek van NAP +1.67 tot NAP -1.96m.

Op basis van het grondonderzoek kan de bodemgesteldheid globaal worden geschematiseerd zoals in tabel 2 is weergegeven.

*Tabel 2: Globale bodemgesteldheid*

Diepte bovenkant laag t.o.v. m - NAP	Bodembeschrijving
1.50 tot 4.50	ZAND zwak siltig tot siltig / grindig / vast
4.50 tot 7.50	Veen, organische materiaal / klei zwak siltig tot siltig
7.50 tot maximale diepte	ZAND, zwak siltig tot siltig

Tijdens de uitvoering van het onderzoek is de grondwaterstand niet gepeild.

## 6. RESULTATEN ELEKTROMAGNETISCH ONDERZOEK

Met de CMD Explorer van GF Instruments is de geleidbaarheid van de ondergrond op drie verschillende dieptes gemeten. De elektromagnetische (EM) data laat per meetpunt de waarden van drie verschillende dieptes zien. Dit zijn 2.2m-MV(short), 4.3m-MV(middel) en 6.7m-MV(long).



Figuur 6: Foto van een uitvoering van een elektromagnetisch onderzoek

Alle gemeten ruwe EM profielen zijn bijgevoegd in de bijlage 1012-0303-001-2.

Figuur 7 laat een voorbeeld zien van de ruwe gemeten EM data op de proefvak langs de A9 ten noordoosten van de rivier De Gaasp. Het contourbeeld stelt de verschillen in de elektrische geleidbaarheid van de ondergrond voor tot een diepte van circa 4.2m –MV. De rode kleuren geven hoge geleidbaarheid waardes aan en de blauwe kleuren geven de lage geleidbaarheid waardes aan.



Figuur 7: Voorbeeld van ruwe EM data tussen 4,2m en 6,7 m-mv op proefvak Flankenonderzoek langs de A9



Blauwe kleuren geven de hoge weerstand waarden aan, rood, geel en of oranje kleuren geven de lage weerstand waarden aan.

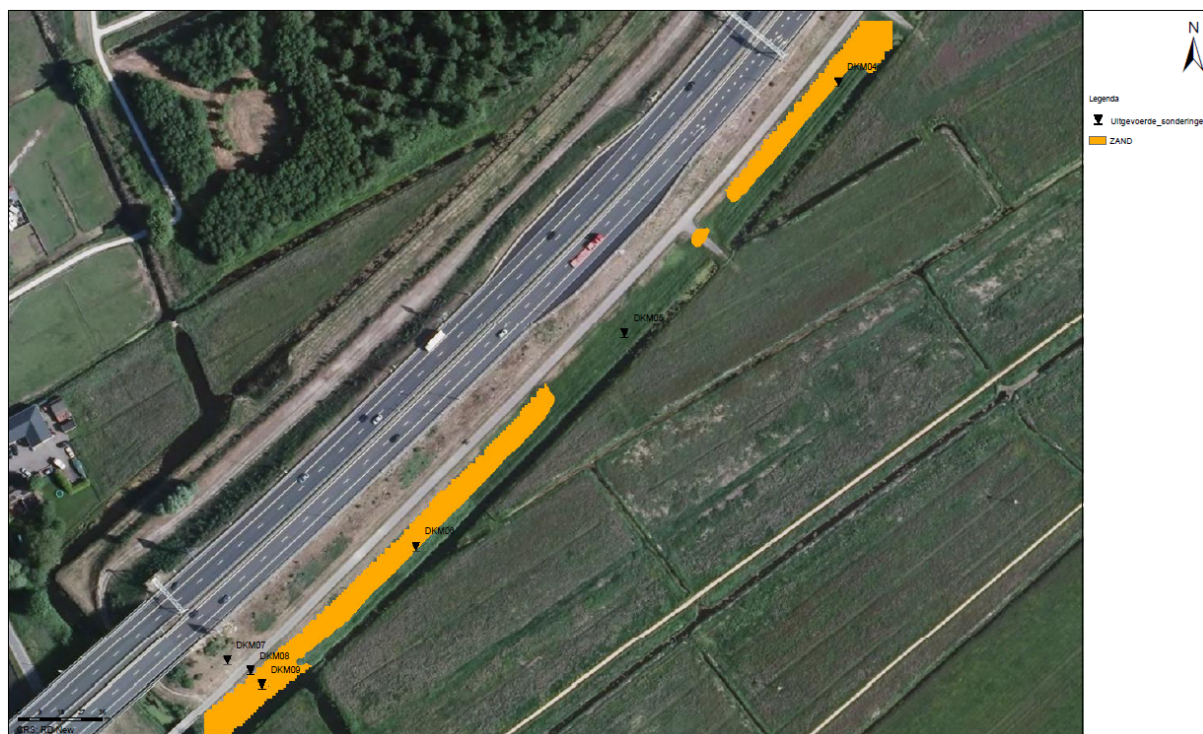
In figuur 7 van de ruwe EM data is zichtbaar dat in het oosten van het gebied (tegen de weilanden aan) een relatief hoge geleidbaarheid is gemeten. Deze hoge geleidbaarheid waarden worden veroorzaakt door de aanwezigheid van klei/veen op die diepte, er is hier bijna geen zand aanwezig.

Voor het classificeren van de EM data is gebruikt gemaakt van de relatief hoge geleidbaarheid voor klei/veen en de relatief lage geleidbaarheid voor zand. De gemeten EM waarden zijn omgerekend naar de elektrische weerstand in Ohm-m voor de classificatie van de grondsoorten.

Tijdens het classificeren van de EM data en voor kalibratie van de metingen is gebruik gemaakt van de uitgevoerde sonderingen. Ook is de EC waarde gemeten van het grondwater (hiervoor is gebruik gemaakt van de aanwezige peilbuizen in het gebied) waardoor met behulp van de wet van Archie de formatieweerstanden kunnen worden berekend voor het classificeren van de elektromagnetische data.

Figuur 8 laat een voorbeeld zien van geclassificeerde EM data op een diepte tussen 2,2 m en 4,2 m-mv. Hierin is te zien dat op een diepte tussen 2.2m en 4.2m-mv in het zuidwesten en in het noordoosten van het gebied een zandpakket aanwezig is. In het midden van dit gebied is op die diepte het zand nagenoeg afwezig.

Alle geclassificeerde EM profielen zijn bijgevoegd in bijlage 1012-0303-001-3.



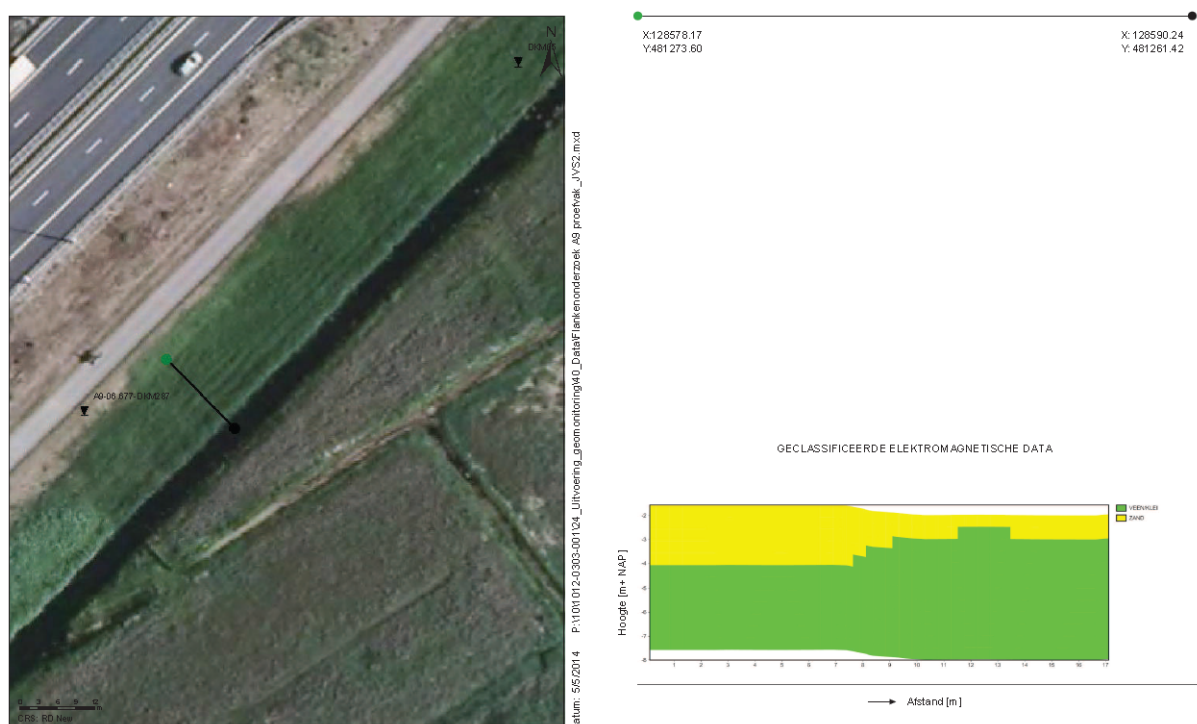
Figuur 8: Voorbeeld van geclassificeerde EM data op een diepte tussen 2.2 m en 4.2 m-mv.



Met behulp van Fugro EM cross-section tool zijn er circa om de 50m noordwest-zuidoost richting cross-section plaatjes gemaakt. Figuur 9. laat een voorbeeld zien van cross-section zien van de geclassificeerde EM data.

De start- en eindlocatie van de cross-section is aangegeven in het linker beeld met respectievelijk een groene en zwarte punt. Rechtsboven zijn de coördinaten van de begin- en eindpunten van de cross-section aangegeven. Rechtsonder is de geclassificeerde cross-section plaatje te zien. Met behulp van de Fugro cross-section tool is mogelijk om op een willekeurige locatie en in een willekeurige richting de cross-section plaatjes te genereren.

Alle cross-section plaatjes zijn bijgevoegd in bijlage 1012-0303-001-3-1.



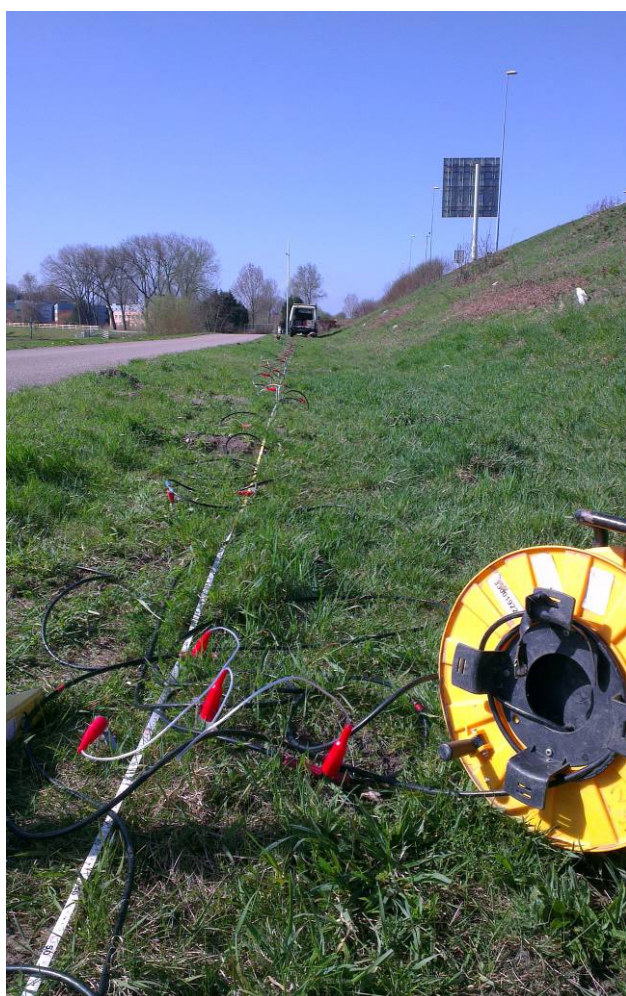
Figuur 9: Geclassificeerde cross-section proefvak –A9

## 7. RESULTATEN GEO- ELEKTRISCHE ONDEROZEK

### 7.1. Continous Vertical Electrical Sounding (CVES)

Ten behoeve van een bodemonderzoek zijn 6 CVES metingen uitgevoerd op het proefvak langs de A9 ten noordoosten van rivier De Gaasp. De bedoeling was om te onderzoeken of onder de gegeven terreinomstandigheden met behulp van de CVES methode een beeld te krijgen was van de diepte en het verloop van de grenzen van het bestaande zandcunet

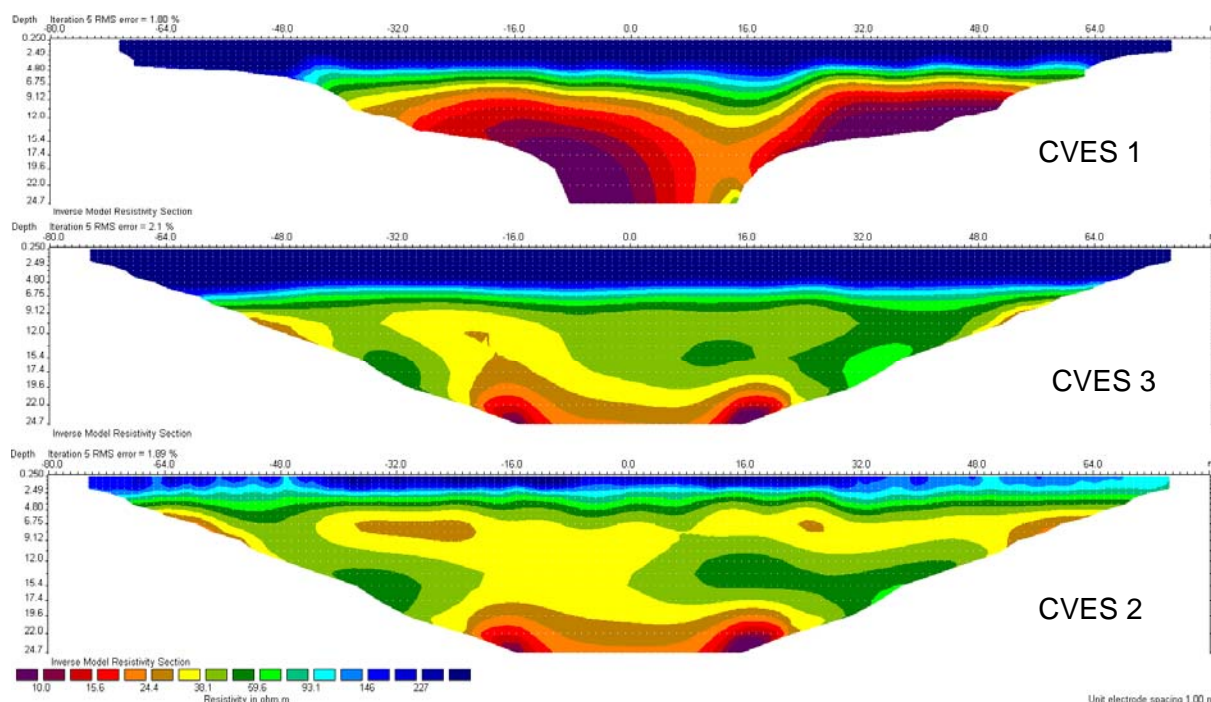
In totaal zijn drie CVES profielen uitgevoerd met een lengte van circa 160m en een gemiddelde onderzoekdiepte van circa 25m –MV.



*Figuur 10: Foto van de uitvoering van CVES metingen in het proefvak langs de A9*

Alle gemeten CVES profielen zijn bijgevoegd in bijlage 1012-0303-001-4.

Figuur 11 laat een beeld zien van de resultaten van uitgevoerde CVES metingen langs de A9 op het proefvak ten noordoosten van rivier De Gaasp.



Figuur 11: Beeld van de CVES profielen in het proefvak langs de A9

CVES 1 is uitgevoerd ten noordwesten van het fietspad. Tijdens de uitvoering van deze meting zijn er problemen ontstaan met het sturen van het stroom in de ondergrond door de aanwezigheid van de kabels en leidingen. Door de aanwezigheid van de kabels en leidingen ontstaat er een potentialenveld waardoor meetsignaal niet in de ondergrond kan penetreren. Daardoor op deze locatie gemeten weerstanden zijn niet representatief.

CVES 2 is uitgevoerd op de teen onder aan het fietspad.

CVES 3 is uitgevoerd ten zuidoosten van het fietspad.

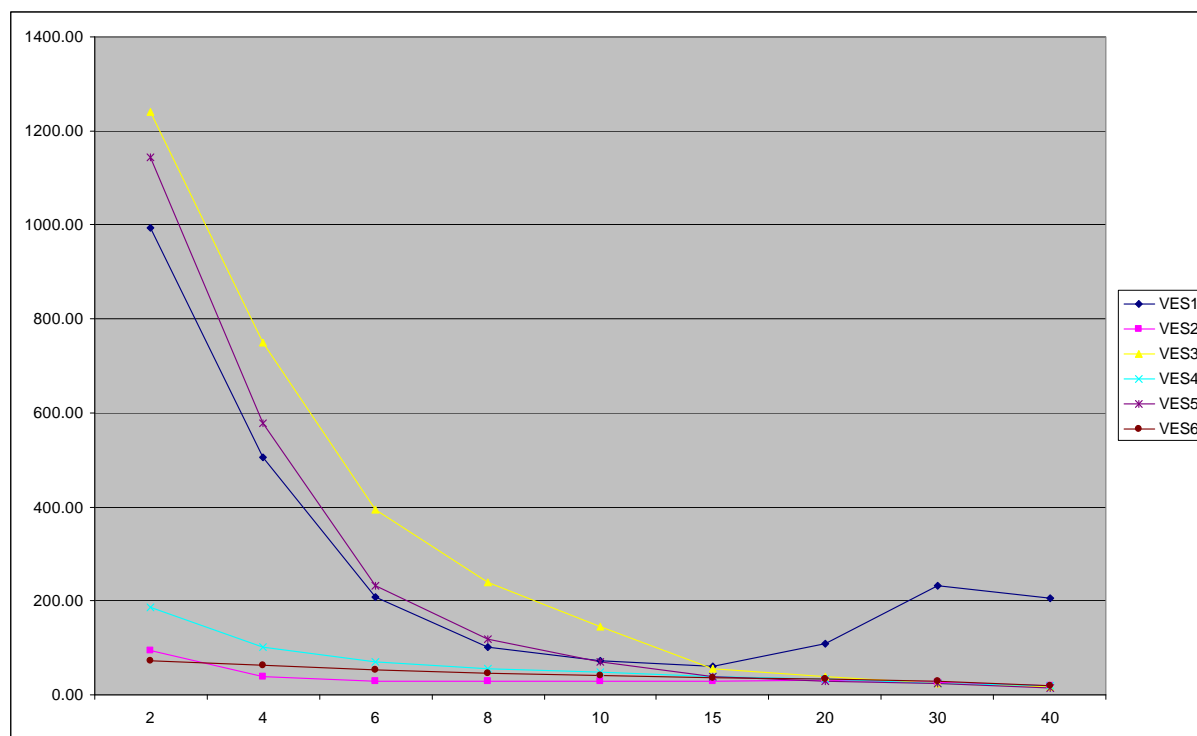
In bovenstaande inversie modellen van CVES profielen licht blauw en donker blauwe kleuren geven de hoge weerstand waardes, rood, oranje en geel kleuren geven de lage weerstand waardes aan. De hoge weerstand waardes (licht blauw / blauw) duiden de aanwezigheid van de zand laag aan en lage weerstand waardes (oranje / rood) duiden de aanwezigheid van klei / veen lagen aan.

Zoals te zien op de bovenstaande vergelijking beeld van CVES profielen geeft de CVES2 circa 5.5m dikke zandlaag aan ten zuidoosten van het fietspad. De CVES profiel CVES3 welke op het teen onder aan de fietspad is uitgevoerd, geeft een zandlaag dikte aan van circa 2.50m.

De rode zones op profiel CVES1 vermoedelijk veroorzaakt van de aanwezigheid van de kabels en leidingen waardoor de waardes op deze locatie niet representatief zijn.

## 7.2. Vertical Electrical Sounding (VES)

De VES metingen met een Wenner opstelling VES1 tot en met VES6 zijn uitgevoerd met 9 verschillende elektrode afstanden “a” tot een maximale “a” afstand van 40m tussen de elektroden. Figuur 12 toont de resultaten van VES metingen op het proefvak langs de A9.



Figuur 12: Resultaten Wenner metingen proefvak langs de A9

VES1, VES3 en VES5 zijn uitgevoerd ter hoogte van het fietspad en VES2, VES4 en VES6 zijn uitgevoerd onder aan de talud van het fietspad uitgevoerd. Zoals te zien in bovenstaande grafiek dat meetpunten VES1, VES3 en VES5 op de top lagen hoge weerstand waarden aangegeven welke zou afkomstig kunnen zijn van een droog zandige toplaag.

Alle meetpunten geven vanaf de elektrode afstand van 15m vergelijkbare waarden aan welke overheen komt met kleiig, leemig en of organische materiaal zoals veen.

Theoretisch de onderzoekdiepte van deze VES metingen is circa 20m –MV. Als de VES data wordt vergeleken met de sondeerdata dat de laagovergangen niet zo gedetailleerd uit gehaald kunnen worden met VES metingen.

Alle uitgevoerde VES metingen in een tabelvorm en gemaakte modellen met laagweerstand zijn aangegeven in bijlage 1012-0303-001-5.

## 8. CONCLUSIE

Op 18 en 19 juni 2013 heeft Fugro een geofysische onderzoek en op 7 juni tot en met 13 juni 2013 9 stuks geotechnische sonderingen uitgevoerd ten behoeve van in beeld brengen van de diepte en verloop van de zandcunet op een proefvak welk werd aangewezen door de opdrachtgever ten noordoosten van de rivier De Gaasp ten zuidoosten van A9.

Fugro heeft voor deze proefonderzoek twee verschillende geofysische technieken ingezet. Elektromagnetische onderzoek (CMD Explorer) en Geo-elektrische onderzoek (CVES en VES metingen).

Van de elektromagnetische meetgegevens zijn contourkaarten gemaakt van de elektrische geleidbaarheid van de ondergrond en contourkaarten van de geclassificeerde EM data met daarop aangegeven de ondiepe geologie. De resultaten van EM metingen laten zien dat in het zuidwesten en noordoosten van het gebied zandcunet grenzen duidelijker te zien is dan in het midden van het gebied. Het lijkt erop dat in het midden van het gebied zand gemengd is met veen en of klei waardoor de laagovergangen moeilijk te achterhalen zijn.

Ten zuidwesten en ten noordoosten van het gebied zijn de laagovergangen nog scherper dan in het midden van het gebied daardoor is beter vast te stellen wat de dikte van de zandlaag is. Ter hoogte van fietspad op het zuidwesten van het gebied heeft de zandlaag een dikte van 4.5 á 5m en noordoosten van het gebied heeft de zandlaag een dikte van circa 2 a 2.5m.

Aan de hand van de geo-elektrische onderzoek met behulp van CVES en VES metingen werden geo-elektrische modellen gegenereerd door het importeren van de data in een speciale modellering software. Voor beide metingen profielen gemaakt met laag weerstanden. De resultaten van CVES en VES metingen laten zien dat er onder een lage weerstand laag zoals veen en of klei laag een hoge weerstand laag zoals zandlaag moeilijk te meten is. Dunne tussen lagen zoals veen / klei en of gemengde zandlaag wordt met CVES en VES metingen niet gedetailleerd gemeten aangezien de uitgevoerde sonderingen op het gebied. Een globale informatie over ondiepe geologie is wel goed vaststellen met geo-elektrische onderzoek.

Aan de hand van de toegepaste geofysische technieken door Fugro op de proefvak flankenonderzoek langs de A9 om de diepte en de verloop van de zandcunet in beeld te brengen, beste methode volgens ons is elektromagnetische metingen. Er zijn aantal voordelen van elektromagnetische techniek zoals:

- Een EM onderzoek is qua uitvoering vele malen sneller vergelijken met een geo-elektrische onderzoek. Met de CMD Explorer kunnen wij per dag circa 5km profiel meten terwijl met een geo-elektrische onderzoek de te meten profiellengte niet meer dan 0.5km kan zijn.
- Als de elektromagnetische data wordt vergelijken met geo-elektrische data geven de EM metingen meer gedetailleerde informatie over de ondiepe geologie.
- De nog uit te voeren sonderingen welke ook worden gebruikt om de EM data te ijken kunnen doelgerichter geplaatst worden met behulp van de ruwe EM data.

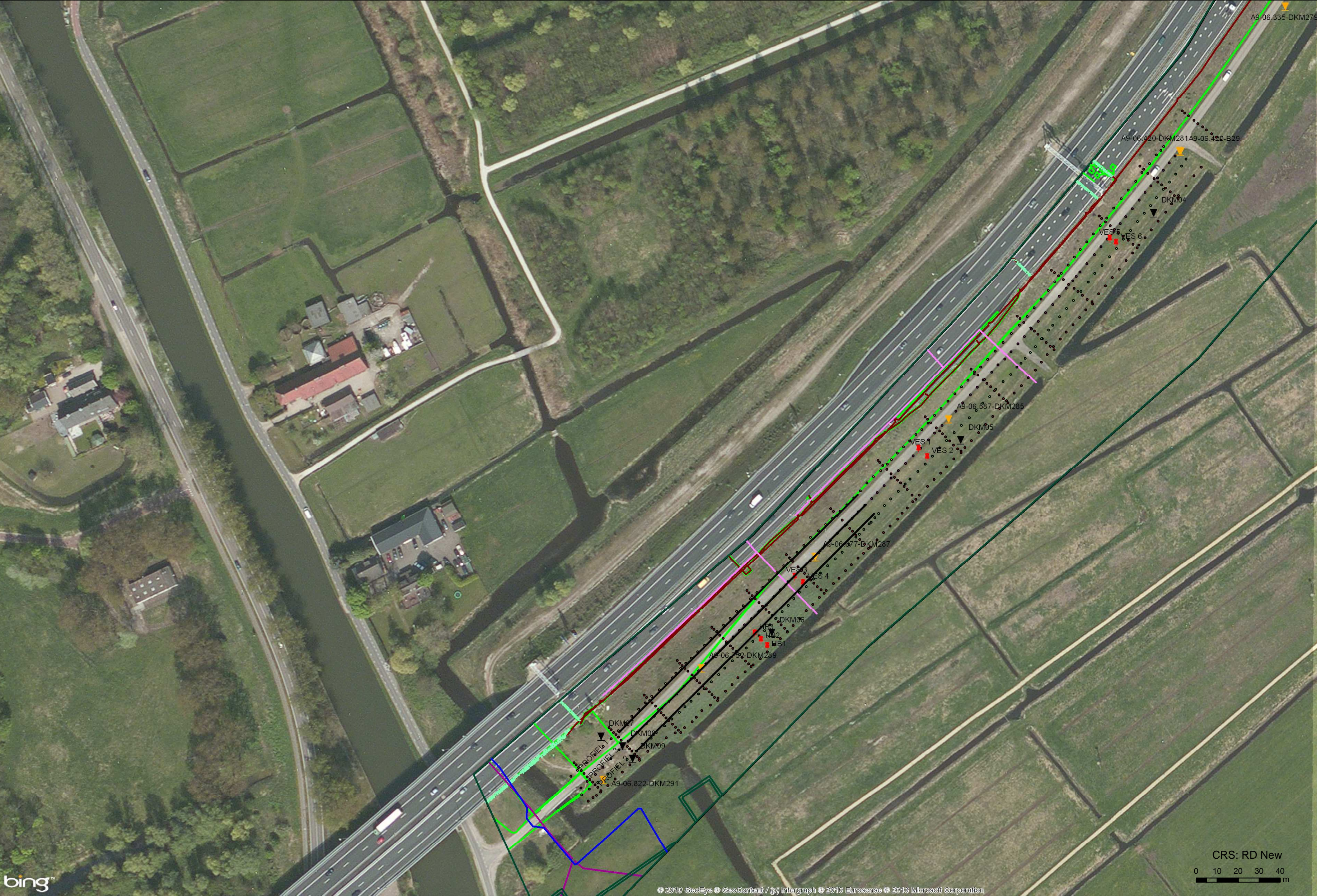


- EM metingen worden uitgevoerd met een 06-GPS waardoor meetpunten makkelijk terug te halen zijn en daardoor de uit te voeren sonderingen beter op coördinaten bepaald kunnen worden.
- Omdat EM een snelle techniek is qua uitvoering zal dit uiteindelijk ook een positief invloed hebben op het kostenplaatje van het gehele onderzoek.

Door de bovenstaande redenen stellen wij voor om de diepte en het verloop van de zandcunet op de rest van te onderzoeken gebieden uit te voeren met behulp van een elektromagnetische onderzoek.

# Bijlage 1





**Legenda**

▼ Uitgevoerde\_sonderingen

**ERT profielen.dwg Polyline**

— <all other values>

**Cad Renderer**

- Continuous, 7, 25
- Continuous, 8, 25
- Continuous, 12, 25
- Continuous, 1, 25
- Continuous, 41, 25
- Continuous, 3, 25
- Continuous, 5, 25
- Continuous, 211, 25
- Continuous, 40, 25
- Continuous, 14, 25
- Continuous, 126, 25
- Continuous, 212, 25
- Continuous, 111, 25
- Continuous, 20, 25

▼ Eerder\_uitgevoerd\_sonderingen

■ basis\_hb+VES\_punten

**130016016.dxf Polyline**

— <all other values>

**Cad Renderer**

- Continuous, 7, 53
- Continuous, 3, 53
- Continuous, 14, 53
- Continuous, 111, 53
- Continuous, 212, 53
- Continuous, 211, 53
- Continuous, 126, 53
- Continuous, 5, 53

Datum: 17-6-2013

FLANKENONDERZOEK (PROEFVAK)

SITUATIETEKENING  
CVES profielen + VES (wenner) punten + Uitgevoerde sonderingen en handboringen + EM profielen

Opdr.nr.: 1012-0303-001  
Bijlage : 1



# Bijlage 2





**ELEKTROMAGNETISCHE ONDERZOEK**

RUWE EM DATA 0\_00 tot 0\_50 m-MV

LANGS A9

Opdr.nr.: 1012-0303-001

Bijlage : Pilot





ELEKTROMAGNETISCHE ONDERZOEK

RUWE EM DATA 0\_50 tot 1\_00 m-MV

LANGS A9

Opdr.nr.: 1012-0303-001

Bijlage : Pilot





ELEKTROMAGNETISCHE ONDERZOEK

RUWE EM DATA 1\_00 tot 1\_50 m-MV

LANGS A9

Opdr.nr.: 1012-0303-001

Bijlage : Pilot





ELEKTROMAGNETISCHE ONDERZOEK

RUWE EM DATA 1\_50 tot 2\_00 m-MV

LANGS A9

Opdr.nr.: 1012-0303-001

Bijlage : Pilot





ELEKTROMAGNETISCHE ONDERZOEK

RUWE EM DATA 2\_00 tot 2\_50 m-MV

LANGS A9

Opdr.nr.: 1012-0303-001  
Bijlage : Pilot





ELEKTROMAGNETISCHE ONDERZOEK

RUWE EM DATA 2\_50 tot 3\_00 m-MV

LANGS A9

Opdr.nr.: 1012-0303-001

Bijlage : Pilot





ELEKTROMAGNETISCHE ONDERZOEK

RUWE EM DATA 3\_00 tot 3\_50 m-MV

LANGS A9

Opdr.nr.: 1012-0303-001

Bijlage : Pilot





ELEKTROMAGNETISCHE ONDERZOEK

RUWE EM DATA 3\_50 tot 4\_00 m-MV

LANGS A9

Opdr.nr.: 1012-0303-001

Bijlage : Pilot





ELEKTROMAGNETISCHE ONDERZOEK

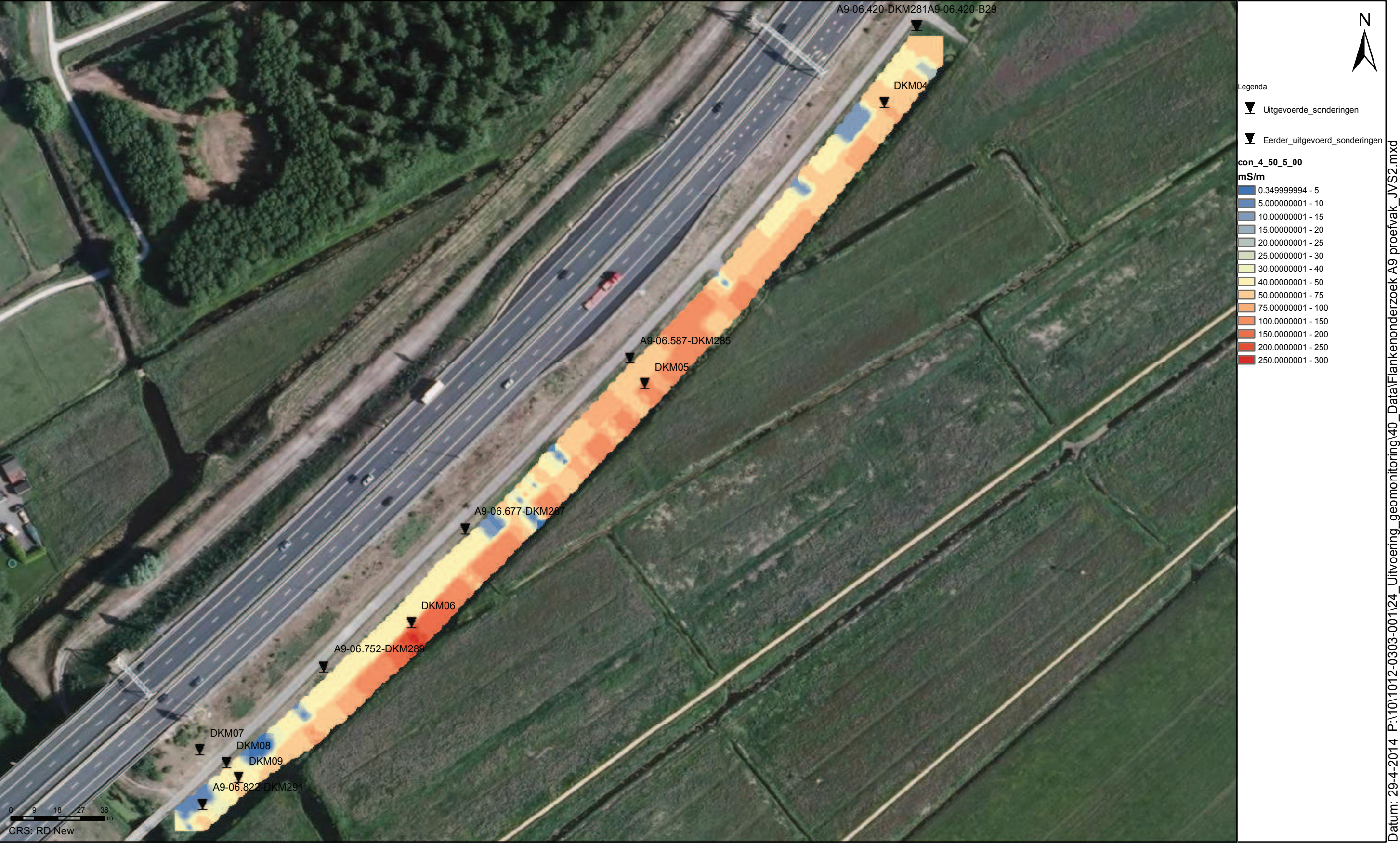
RUWE EM DATA 4\_00 tot 4\_50 m-MV

LANGS A9

Opdr.nr.: 1012-0303-001

Bijlage : Pilot





ELEKTROMAGNETISCHE ONDERZOEK

RUWE EM DATA 4\_50 tot 5\_00 m-MV

LANGS A9

Opdr.nr.: 1012-0303-001

Bijlage : Pilot





ELEKTROMAGNETISCHE ONDERZOEK

RUWE EM DATA 5\_00 tot 5\_50 m-MV

LANGS A9

Opdr.nr.: 1012-0303-001

Bijlage : Pilot





ELEKTROMAGNETISCHE ONDERZOEK

RUWE EM DATA 5\_50 tot 6\_00 m-MV

LANGS A9

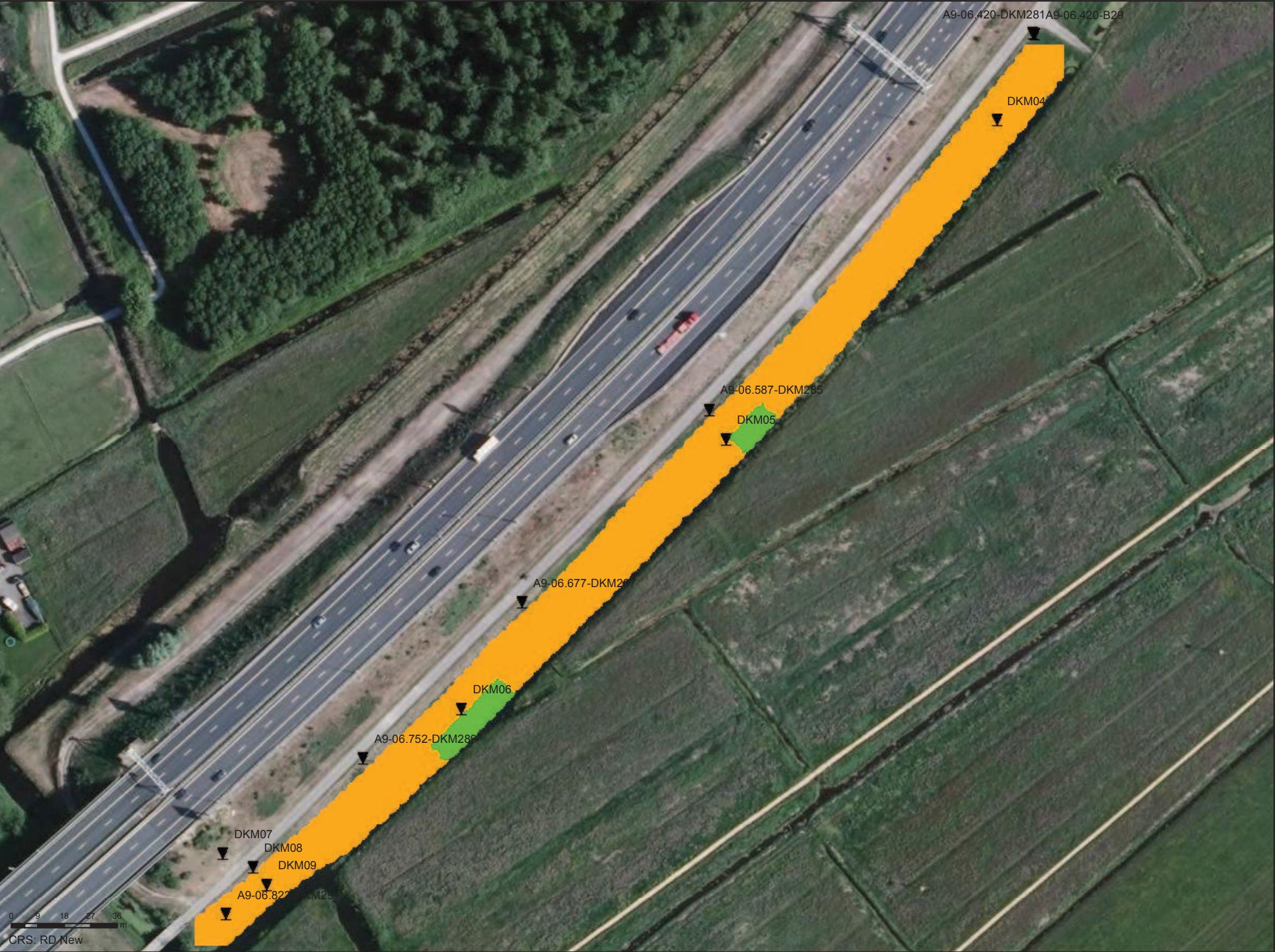
Opdr.nr.: 1012-0303-001

Bijlage : Pilot



# Bijlage 3





Legenda

- ▼ Uitgevoerde\_sonderingen
- ▼ Eerder\_uitgevoerd\_sonderingen
- veen/klei
- zand



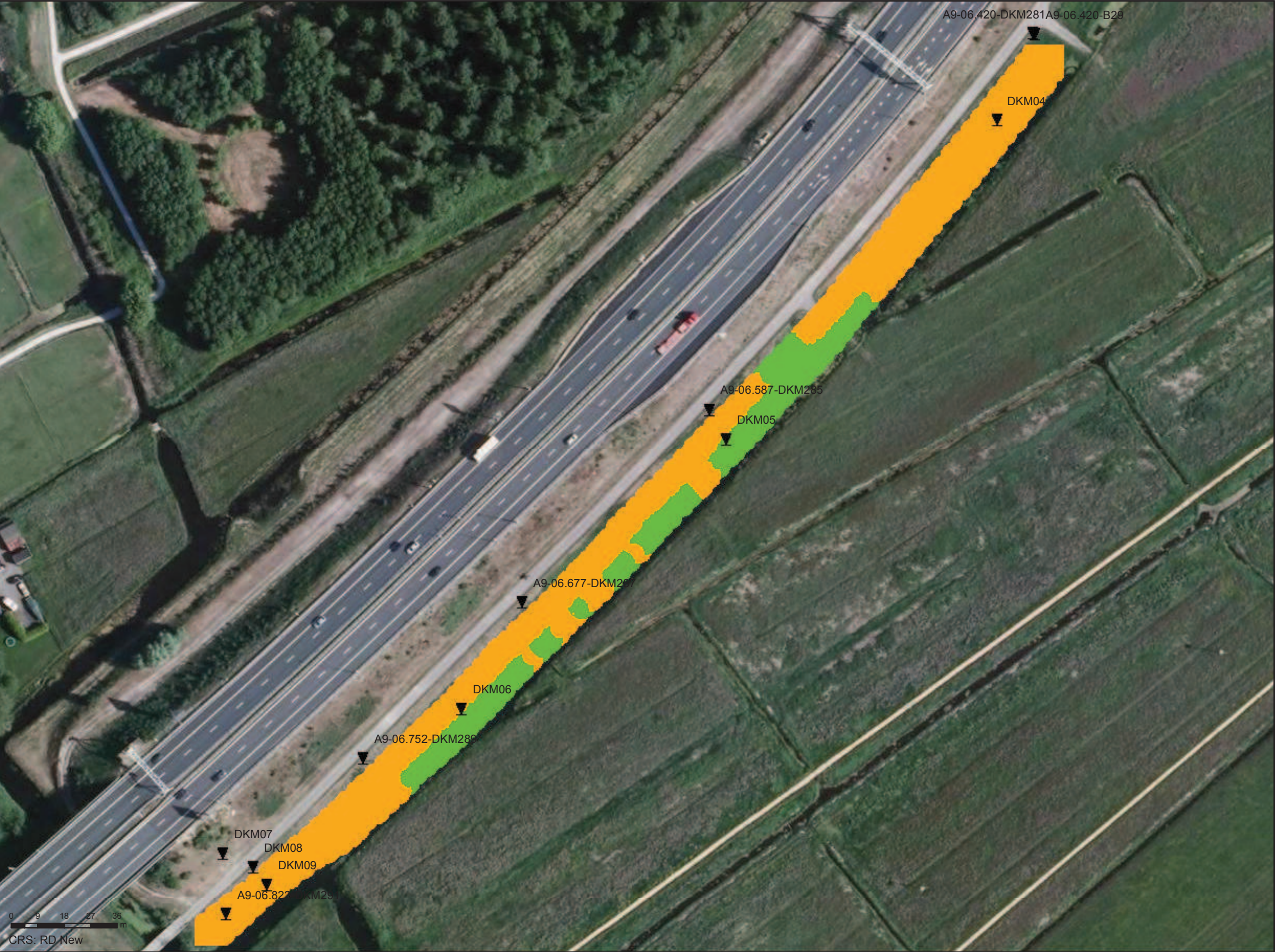
Datum: 5/5/2014 P:\10\1012-0303-001\24\_Uitvoering\_geomonitoring\40\_Data\Flankenonderzoek A9 proefvak\_JVS2.mxd

ELECTROMAGNETISCH ONDERZOEK

GECLASSIFICEERDE EM DATA 0\_00 tot 0\_50 m -MV  
Proefvak A9

Opdr.nr.: 1012-0303-001  
Bijlage : 3





Legenda

- ▼ Uitgevoerde\_sonderingen
- ▼ Eerder\_uitgevoerd\_sonderingen
- veen/klei
- zand



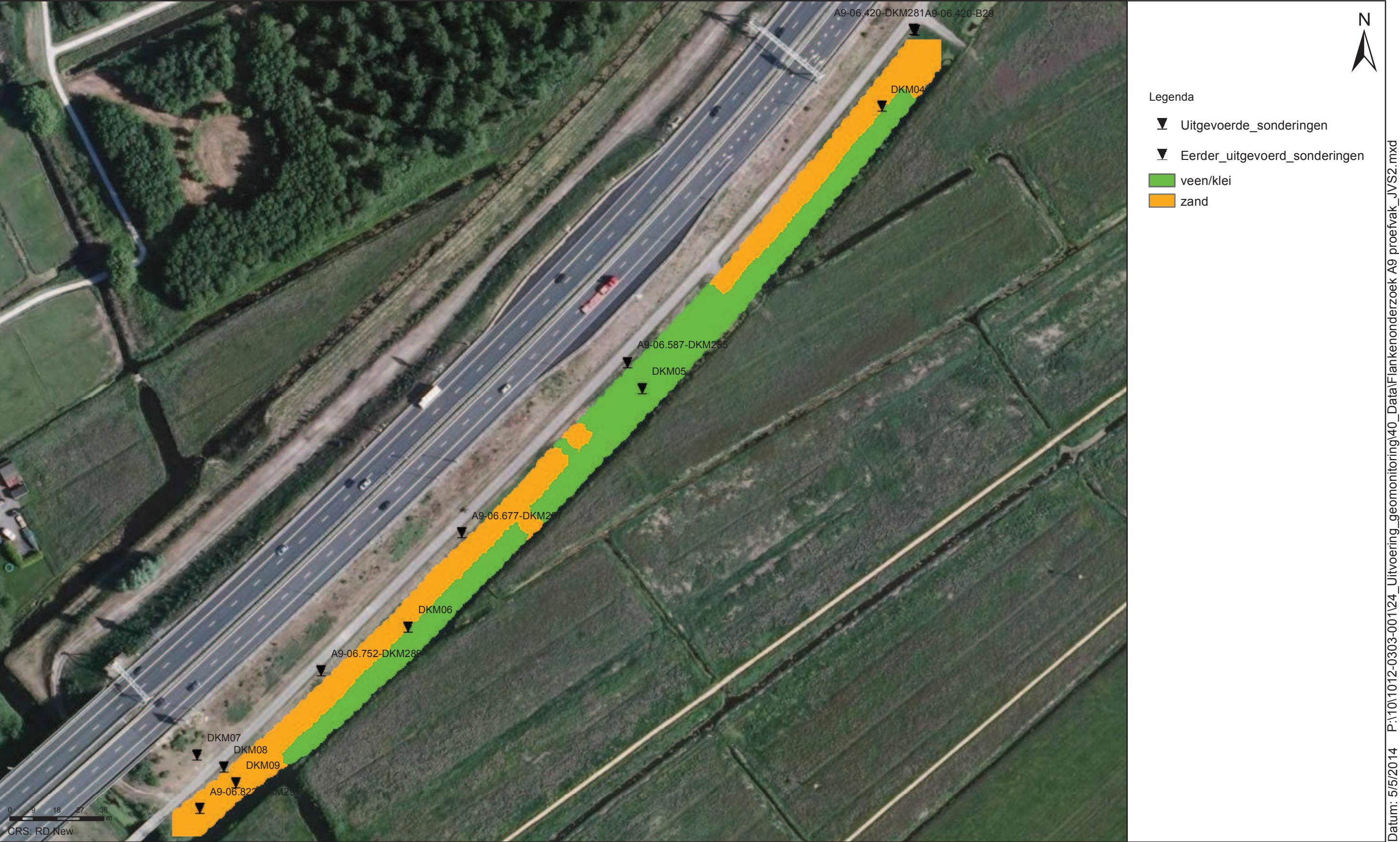
Datum: 5/5/2014 P:\10\1012-0303-001\24\_Uitvoering\_geomonitoring\40\_Data\Flankenonderzoek A9 proefvak\_JVS2.mxd

ELECTROMAGNETISCH ONDERZOEK

GECLASSIFICEERDE EM DATA 0\_50 tot 1\_00 m -MV  
Proefvak A9

Opdr.nr.: 1012-0303-001  
Bijlage : 3



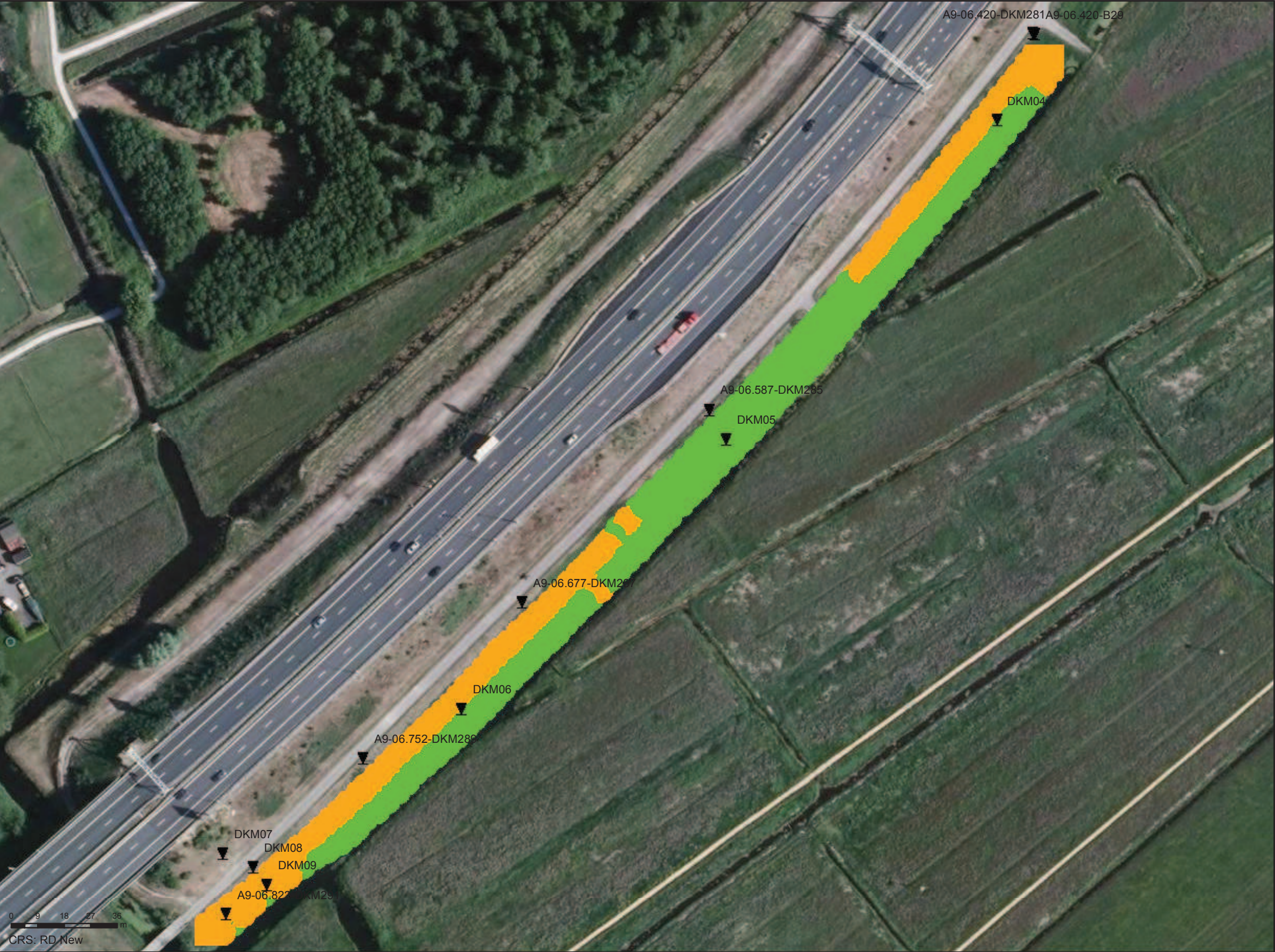


ELECTROMAGNETISCH ONDERZOEK

GECLASSIFICEERDE EM DATA 1\_00 tot 1\_50 m -MV  
Proefvak A9

Opdr.nr.: 1012-0303-001  
Bijlage : 3





Legenda

- ▼ Uitgevoerde\_sonderingen
- ▼ Eerder\_uitgevoerd\_sonderingen
- veen/klei
- zand



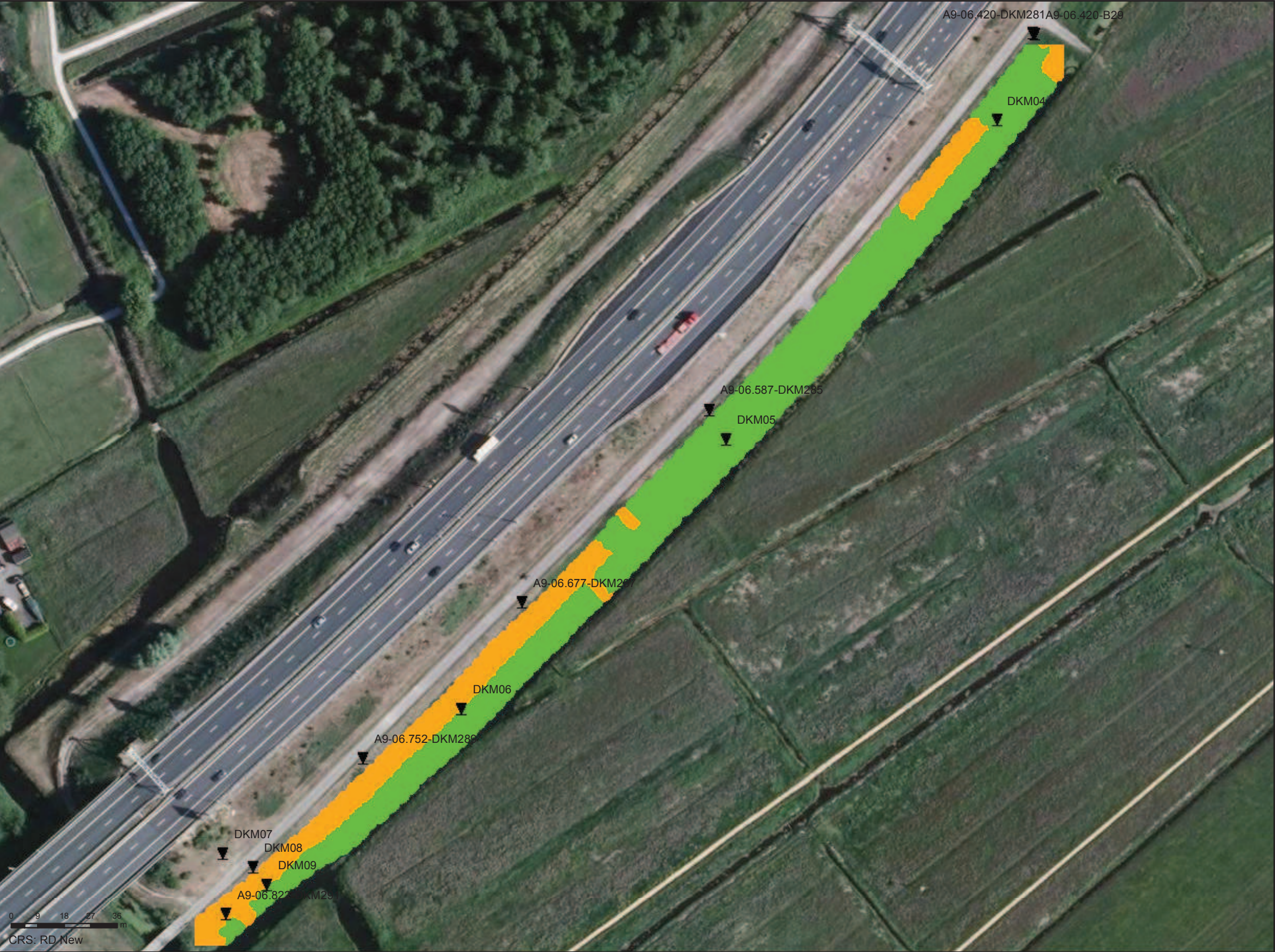
Datum: 5/5/2014 P:\10\1012-0303-001\24\_Uitvoering\_geomonitoring\40\_Data\Flankenonderzoek A9 proefvak\_JVS2.mxd

ELECTROMAGNETISCH ONDERZOEK

GECLASSIFICEERDE EM DATA 1\_50 tot 2\_00 m -MV  
 Proefvak A9

Opdr.nr.: 1012-0303-001  
 Bijlage : 3





Legenda

- ▼ Uitgevoerde\_sonderingen
- ▼ Eerder\_uitgevoerd\_sonderingen
- veen/klei
- zand



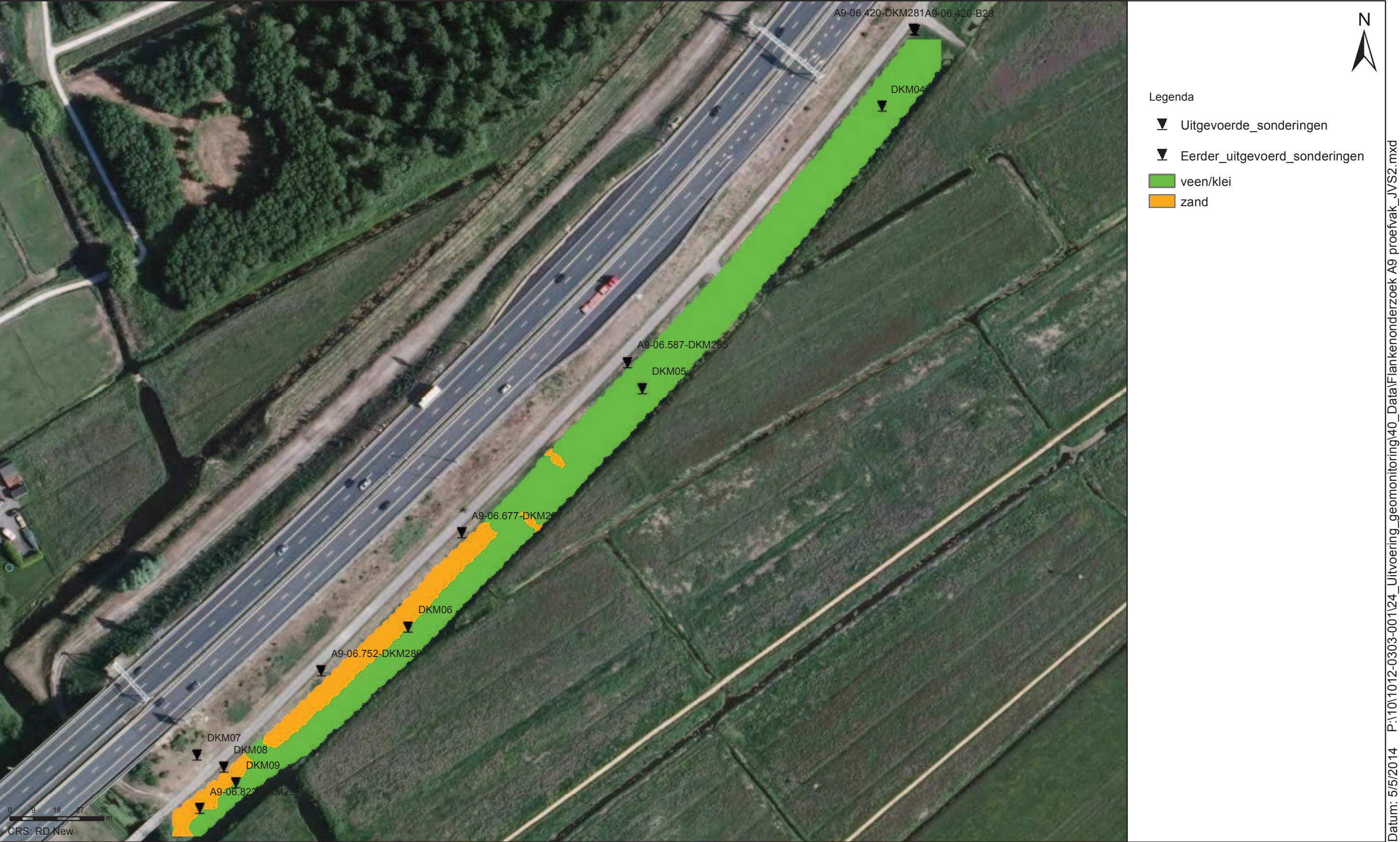
Datum: 5/5/2014 P:\10\1012-0303-001\24\_Uitvoering\_geomonitoring\40\_Data\Flankenonderzoek A9 proefvak\_JVS2.mxd

ELECTROMAGNETISCH ONDERZOEK

GECLASSIFICEERDE EM DATA 2\_00 tot 2\_50 m -MV  
Proefvak A9

Opdr.nr.: 1012-0303-001  
Bijlage : 3



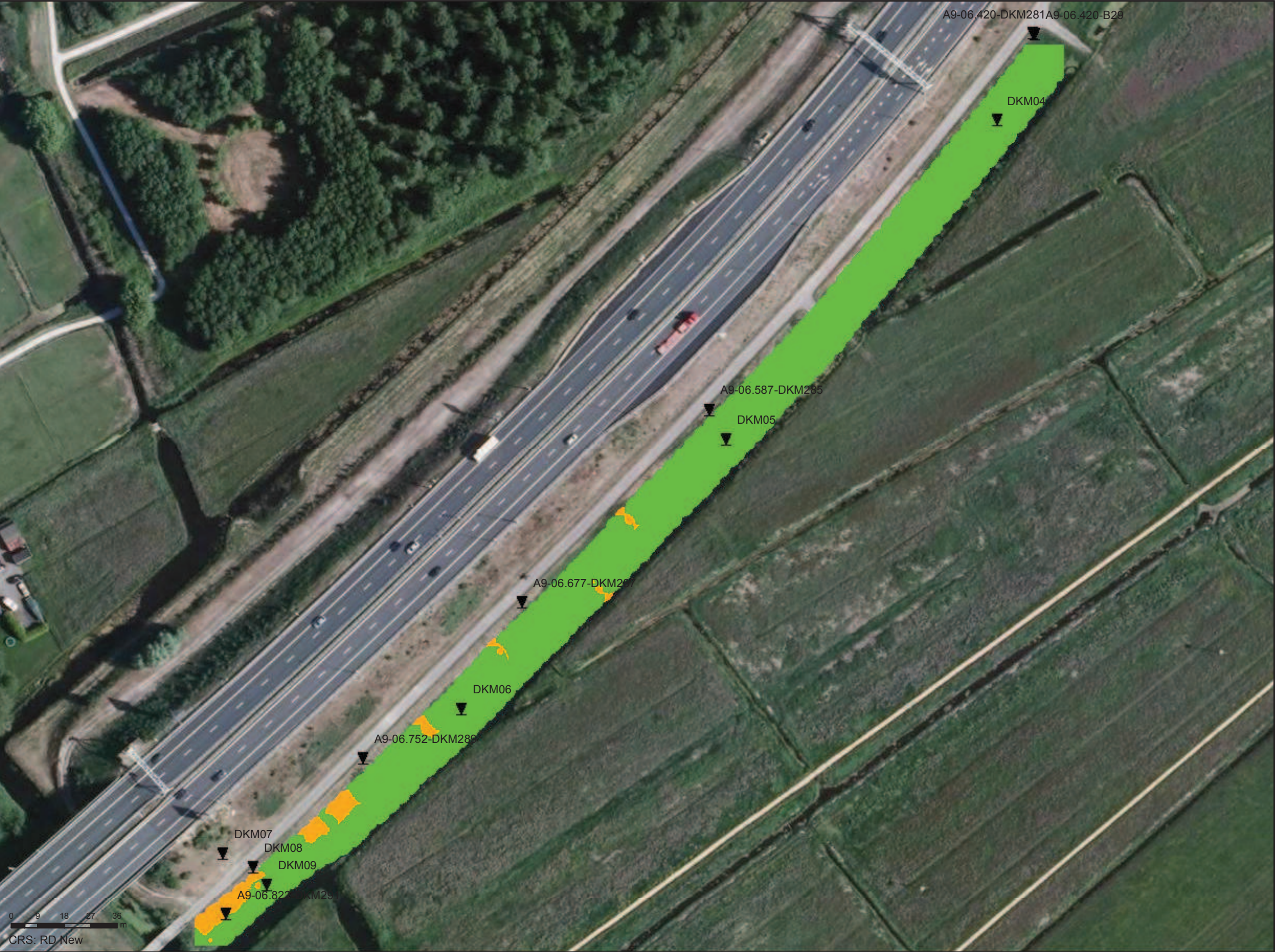


ELECTROMAGNETISCH ONDERZOEK

GECLASSIFICEERDE EM DATA 2\_50 tot 3\_00 m -MV  
Proefvak A9

Opdr.nr.: 1012-0303-001  
Bijlage : 3





Legenda

- ▼ Uitgevoerde\_sonderingen
- ▼ Eerder\_uitgevoerd\_sonderingen
- veen/klei
- zand



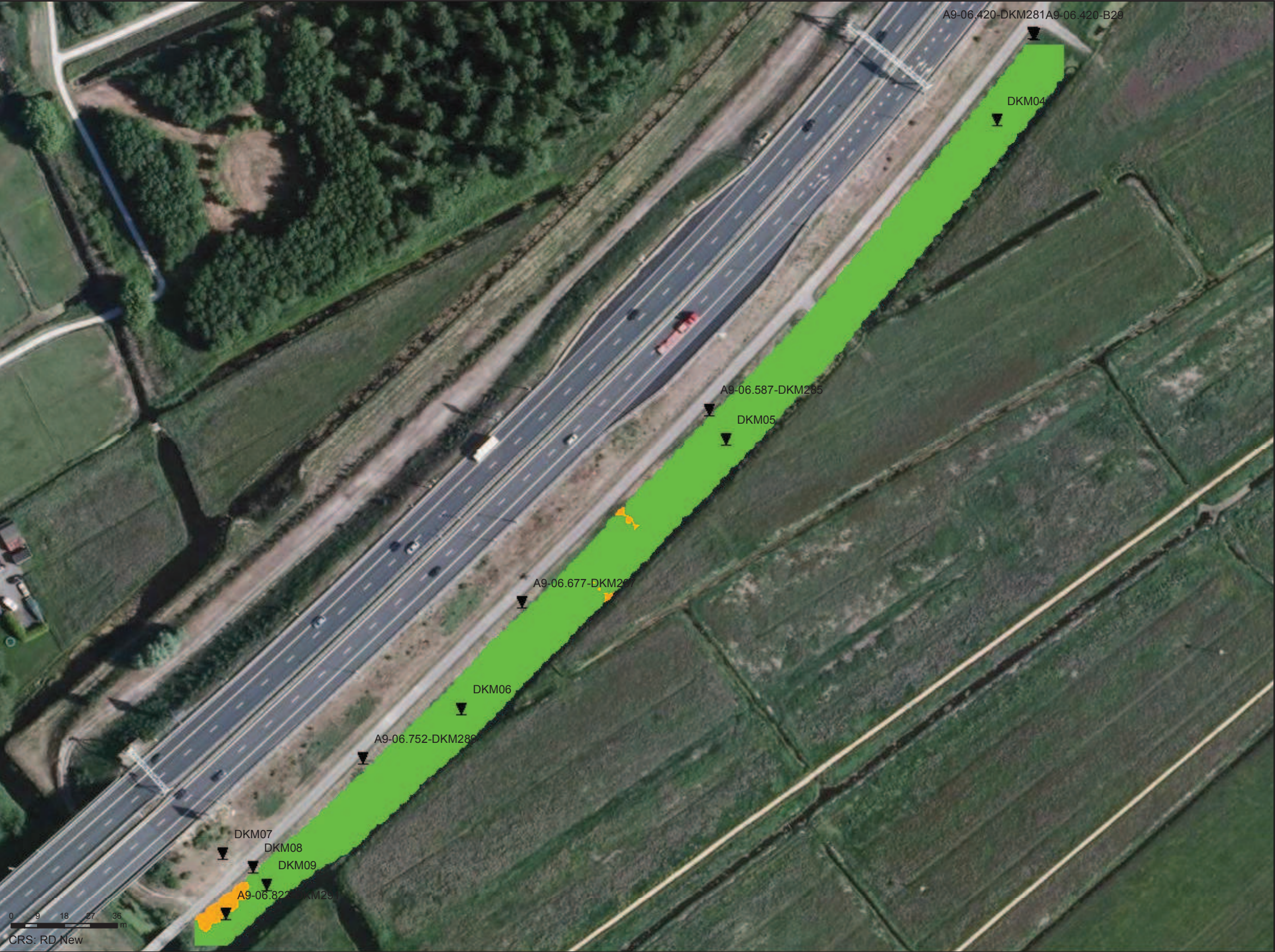
Datum: 5/5/2014 P:\10\1012-0303-001\24\_Uitvoering\_geomonitoring\40\_Data\Flankenonderzoek A9 proefvak\_JVS2.mxd

ELECTROMAGNETISCH ONDERZOEK

GECLASSIFICEERDE EM DATA 3\_00 tot 3\_50 m -MV  
Proefvak A9

Opdr.nr.: 1012-0303-001  
Bijlage : 3





Legenda

- ▼ Uitgevoerde\_sonderingen
- ▼ Eerder\_uitgevoerd\_sonderingen
- veen/klei
- zand



Datum: 5/5/2014 P:\10\1012-0303-001\24\_Uitvoering\_geomonitoring\40\_Data\Flankenonderzoek A9 proefvak\_JVS2.mxd

ELECTROMAGNETISCH ONDERZOEK

GECLASSIFICEERDE EM DATA 4\_50 tot 5\_00 m -MV  
 Proefvak A9

Opdr.nr.: 1012-0303-001  
 Bijlage : 3



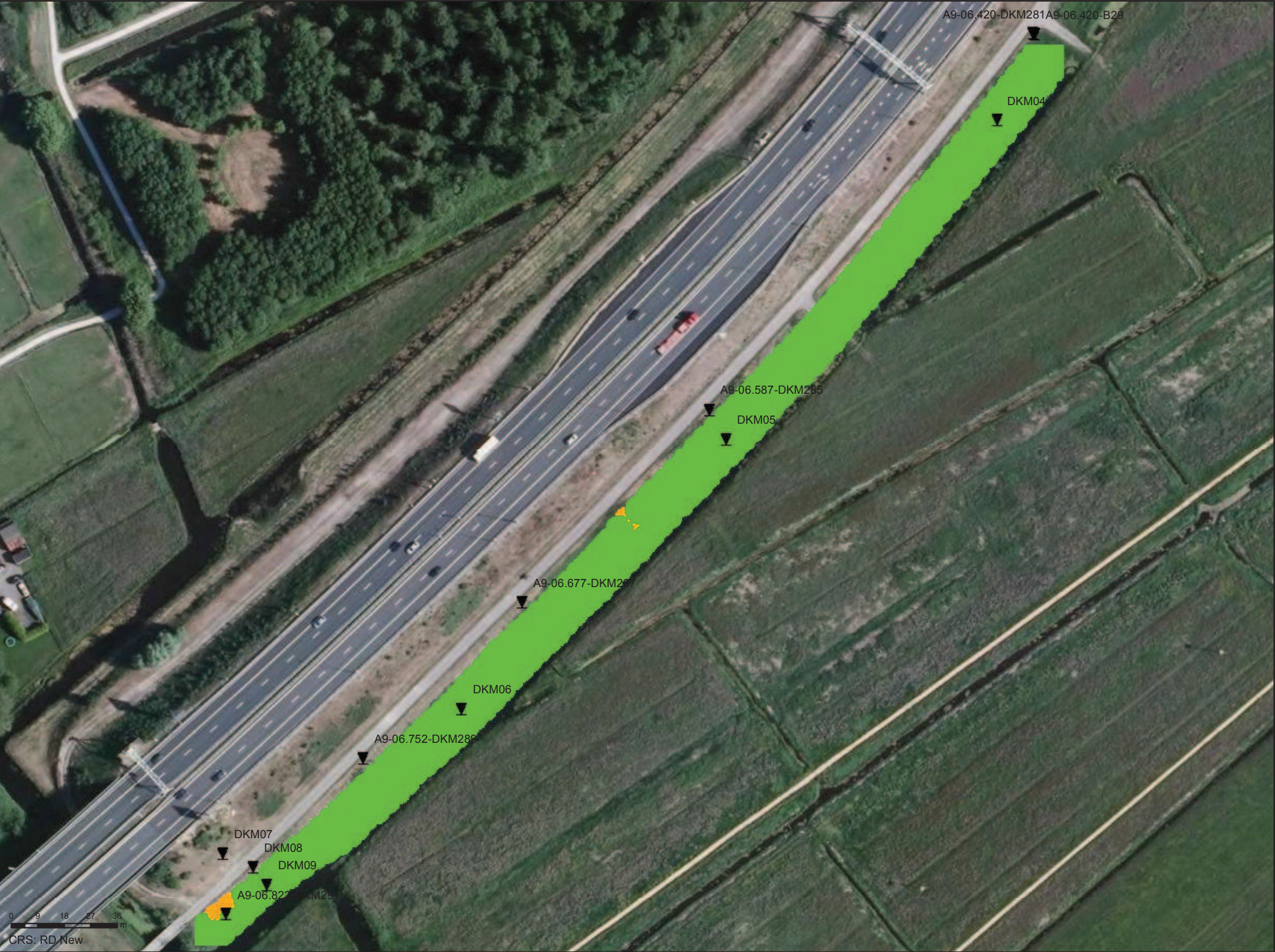


## ELECTROMAGNETISCH ONDERZOEK

GECLASSIFICEERDE EM DATA 4\_00 tot 4\_50 m -MV  
Proefvak A9

Opdr.nr.: 1012-0303-001  
Bijlage : 3





Legenda

- ▼ Uitgevoerde\_sonderingen
- ▼ Eerder\_uitgevoerd\_sonderingen
- veen/klei
- zand



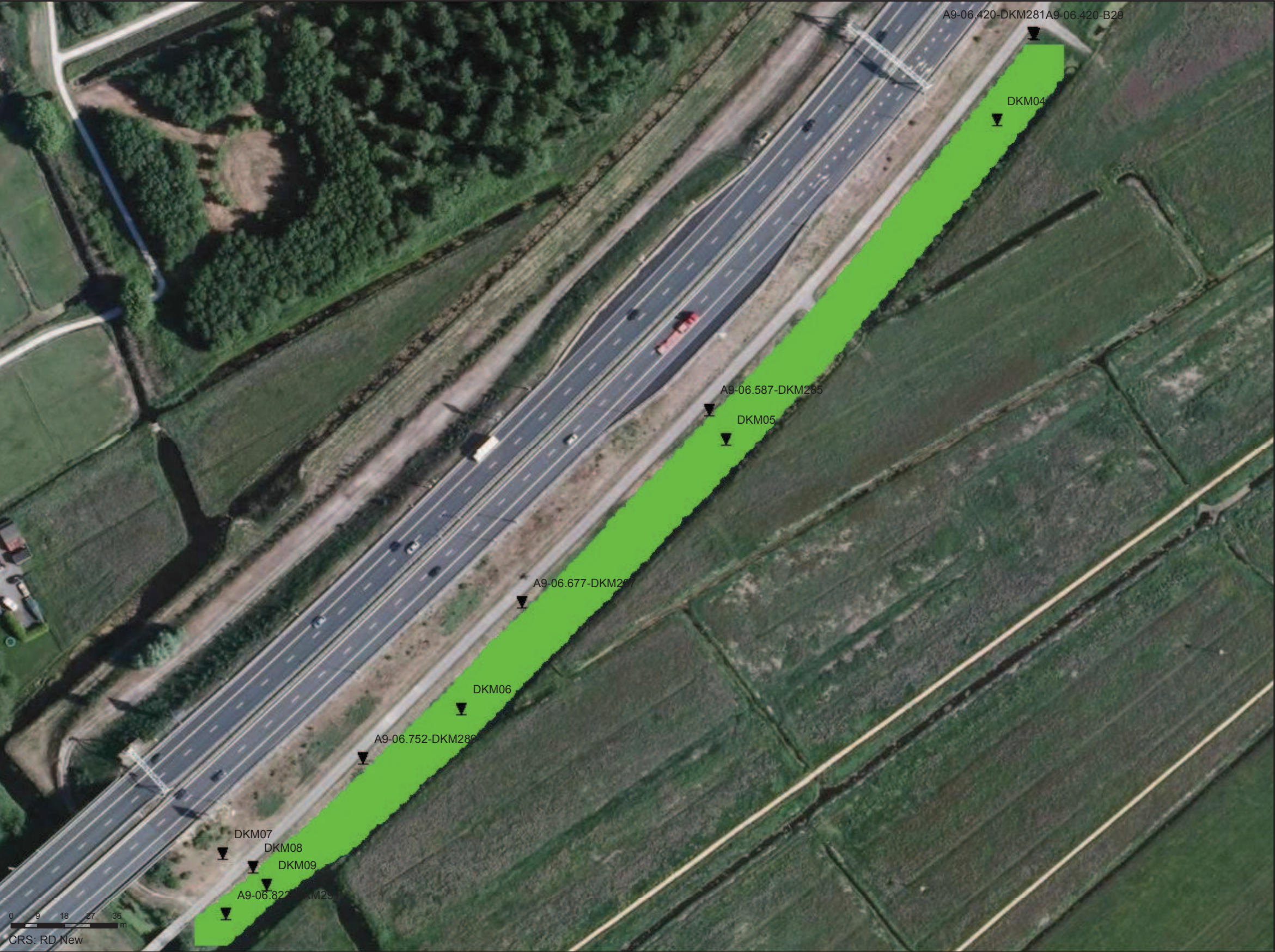
Datum: 5/5/2014 P:\10\1012-0303-001\24\_Uitvoering\_geomonitoring\40\_Data\Flankenonderzoek A9 proefvak\_JVS2.mxd

ELECTROMAGNETISCH ONDERZOEK

GECLASSIFICEERDE EM DATA 4\_50 tot 5\_00 m -MV  
Proefvak A9

Opdr.nr.: 1012-0303-001  
Bijlage : 3





Legenda

- ▼ Uitgevoerde\_sonderingen
- ▼ Eerder\_uitgevoerd\_sonderingen
- veen/klei
- zand



Datum: 5/5/2014 P:\10\1012-0303-001\24\_Uitvoering\_geomonitoring\40\_Data\Flankenonderzoek A9 proefvak\_JVS2.mxd

ELECTROMAGNETISCH ONDERZOEK

GECLASSIFICEERDE EM DATA 5\_00 tot 5\_50 m -MV  
Proefvak A9

Opdr.nr.: 1012-0303-001  
Bijlage : 3





ELECTROMAGNETISCH ONDERZOEK

GECLASSIFICEERDE EM DATA 5\_50 tot 6\_00 m -MV  
Proefvak A9

Opdr.nr.: 1012-0303-001  
Bijlage : 3



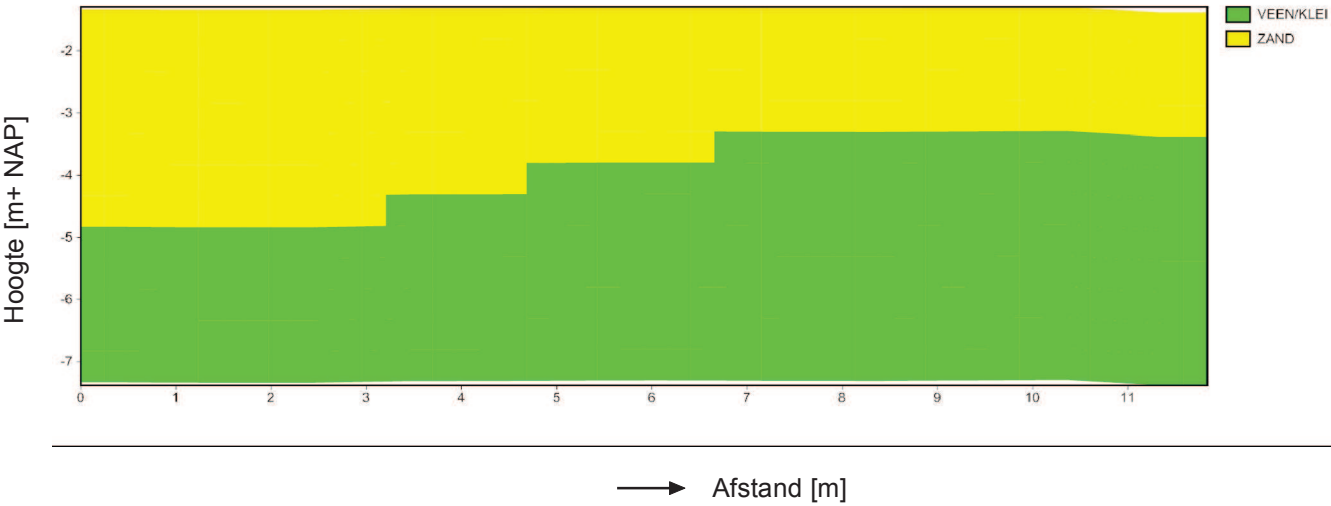
## **Bijlage 3-1**



X:128475.00  
Y:481172.77

X:128483.04  
Y:481164.09

GECLASSIFICEERDE ELEKTROMAGNETISCHE DATA



ELECTROMAGNETISCH ONDERZOEK

CROSS SECTION 1  
PROEFVAK A9

Opdr.nr.: 1012-0303-001  
Bijlage : 3-1

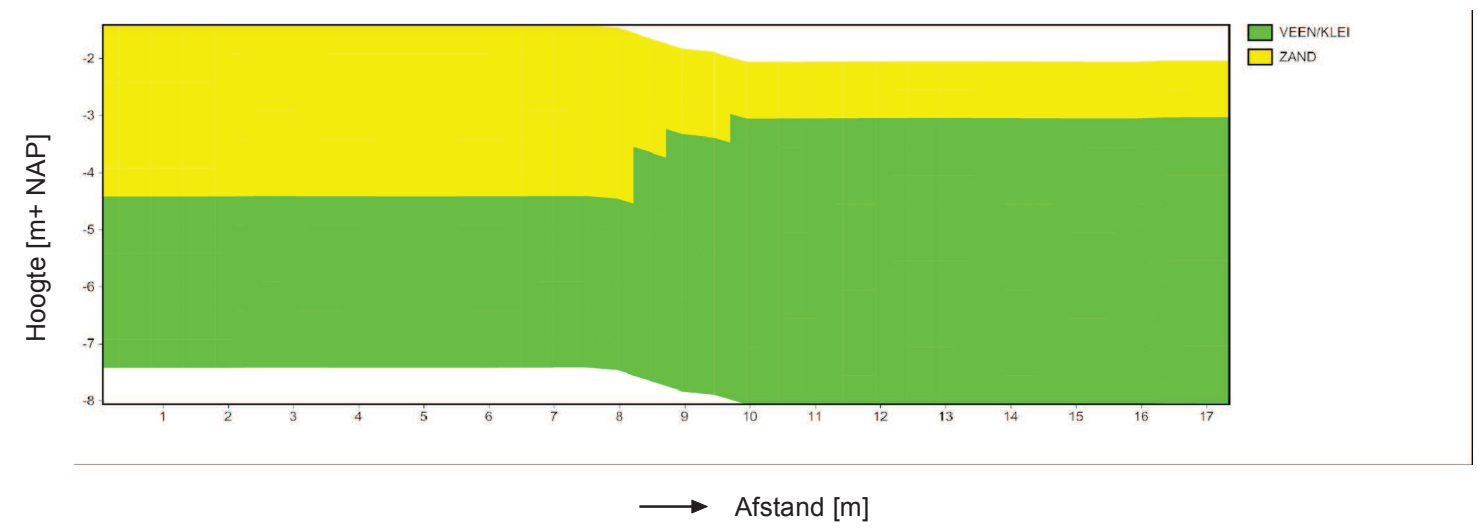




X:128512.44 Y:481208.19

X:128523.66 Y:481194.96

GECLASSIFICEERDE ELEKTROMAGNETISCHE DATA



ELECTROMAGNETISCH ONDERZOEK

CROSS SECTION 2  
PROEFVAK A9

Opdr.nr.: 1012-0303-001  
Bijlage : 3-1



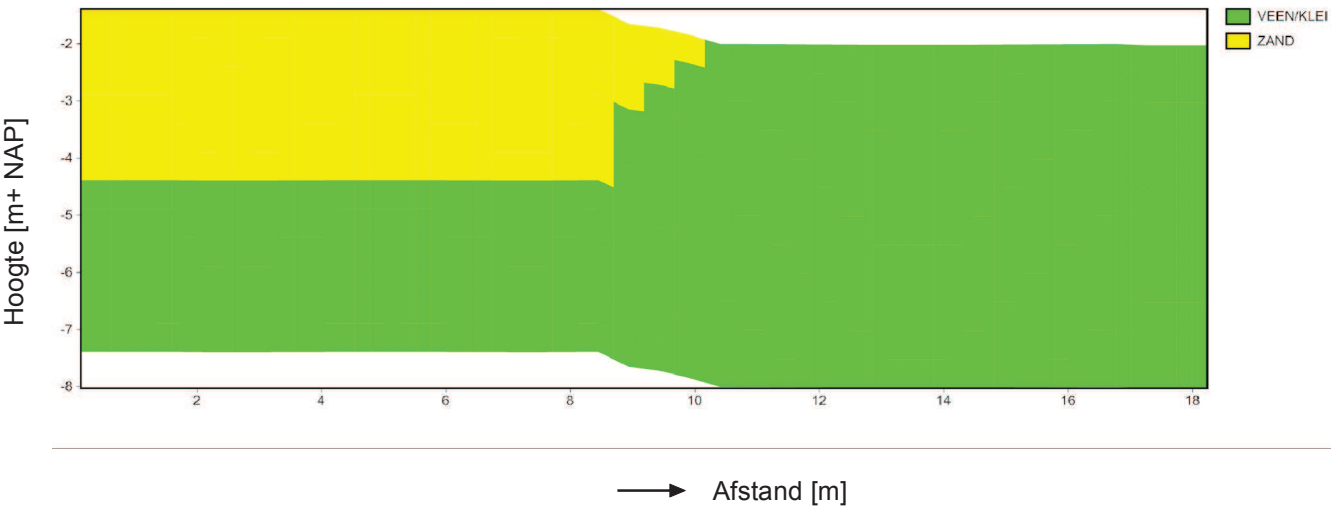


Datum: 5/5/2014 P:\10\1012-0303-001\24\_Uitvoering\_geomonitoring\40\_Data\Flankenonderzoek A9 proefvak\_JVS2.mxd

X:128546.65  
Y:481242.25

X:128559.40  
Y:481229.18

GECLASSIFICEERDE ELEKTROMAGNETISCHE DATA

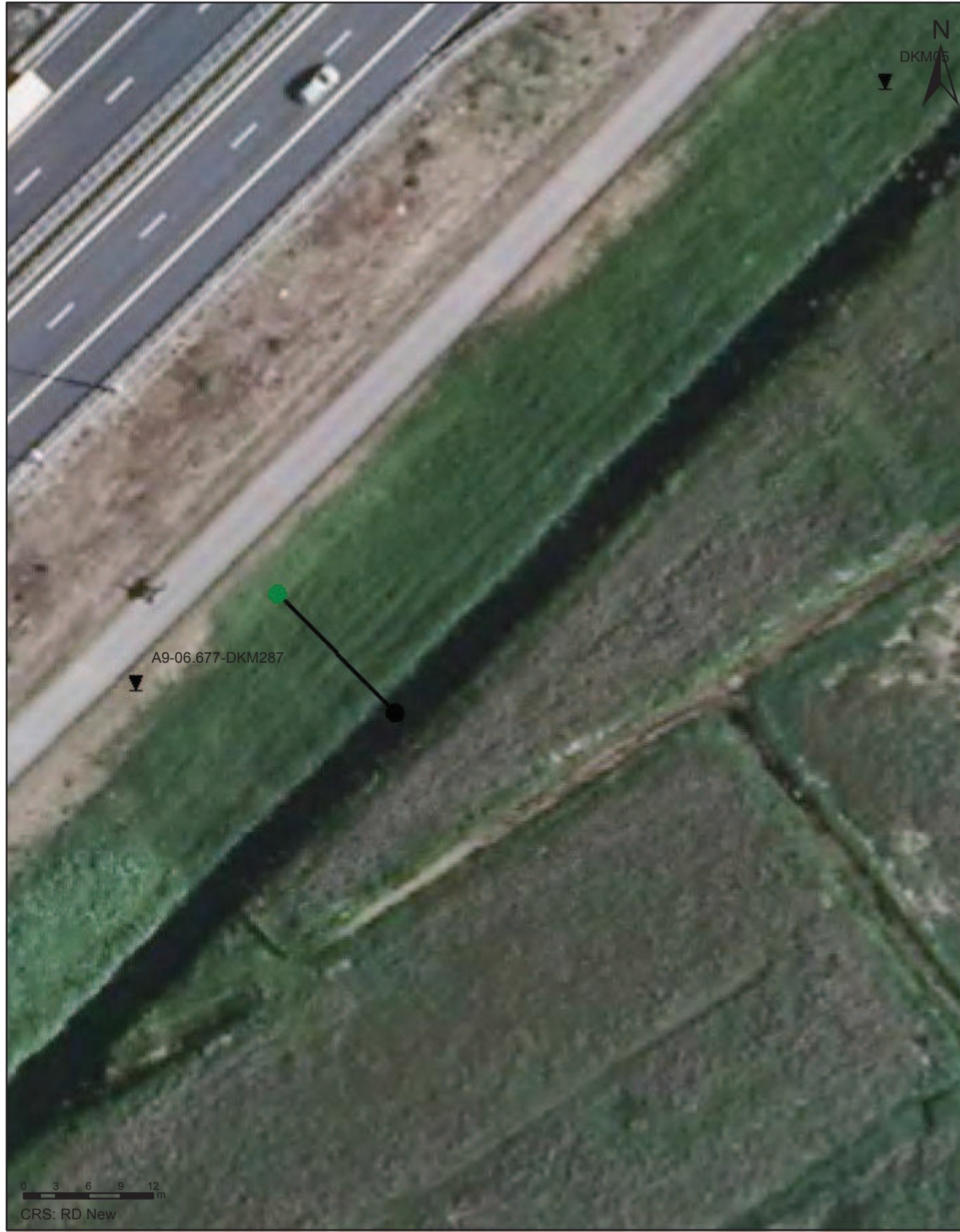


ELEKTROMAGNETISCH ONDERZOEK

CROSS SECTION 3  
PROEFVAK A9

Opdr.nr.: 1012-0303-001  
Bijlage : 3-1

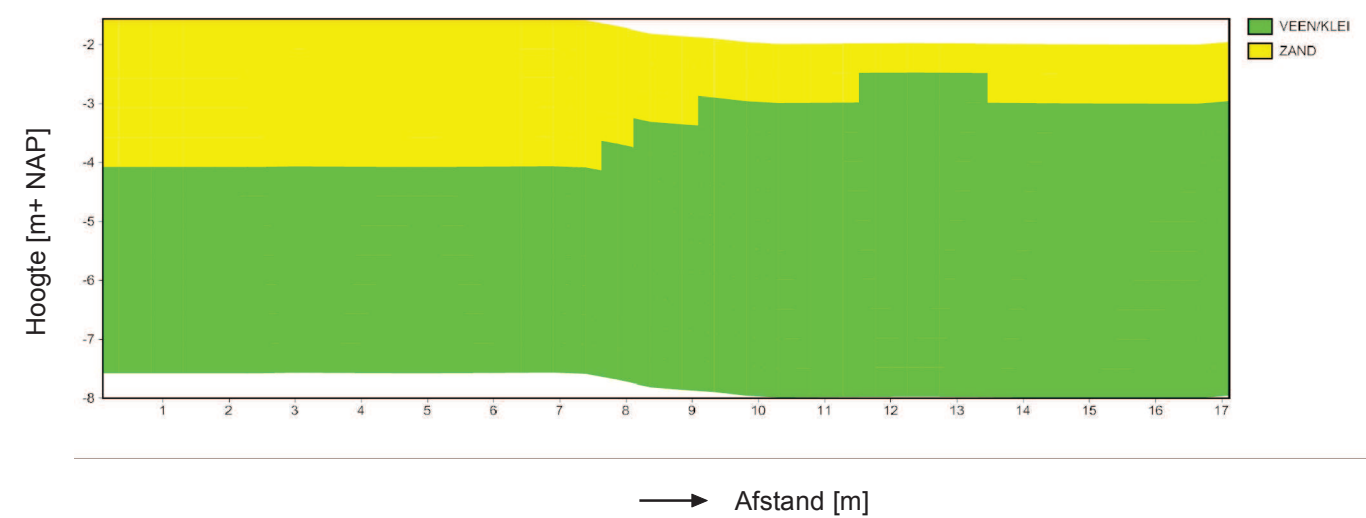




X:128578.17  
Y:481273.60

X:128590.24  
Y:481261.42

GECLASSIFICEERDE ELEKTROMAGNETISCHE DATA

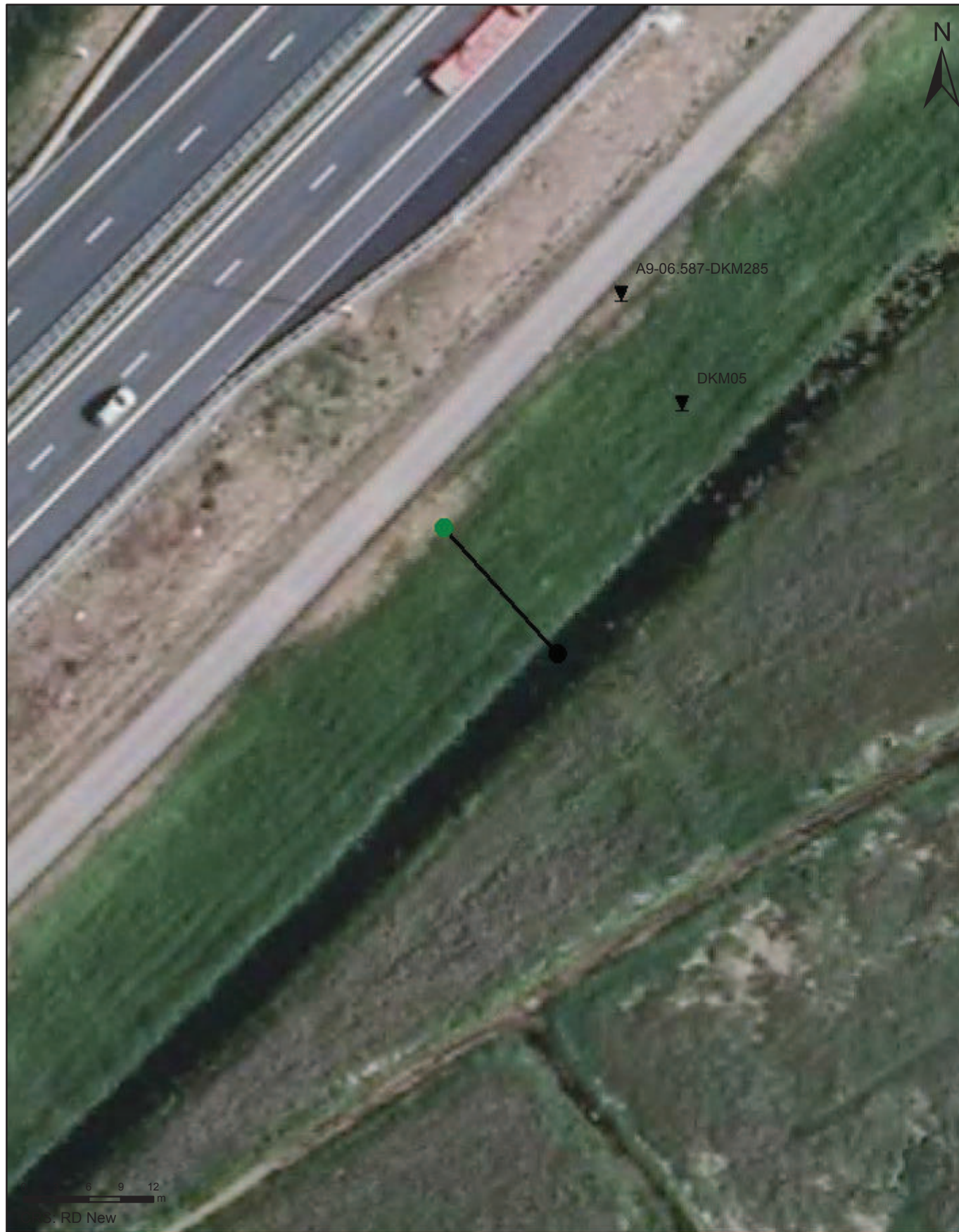


ELEKTROMAGNETISCH ONDERZOEK

CROSS SECTION 4  
PROEFVAK A9

Opdr.nr.: 1012-0303-001  
Bijlage : 3-1



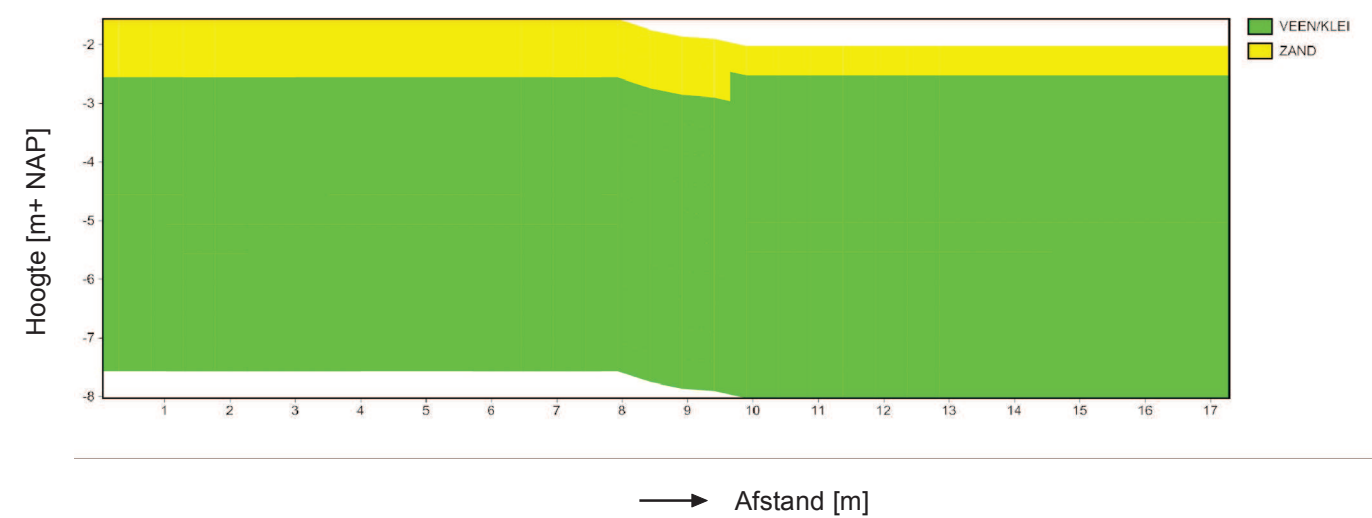


Datum: 5/5/2014 P:\10\1012-0303-001\24\_Uitvoering\_geomonitoring\40\_Data\Flankenonderzoek A9 proefvak\_JVS2.mxd

X:128612.31  
Y:481309.49

X:128623.95  
Y:481296.68

# GECLASSIFICEERDE ELEKTROMAGNETISCHE DATA

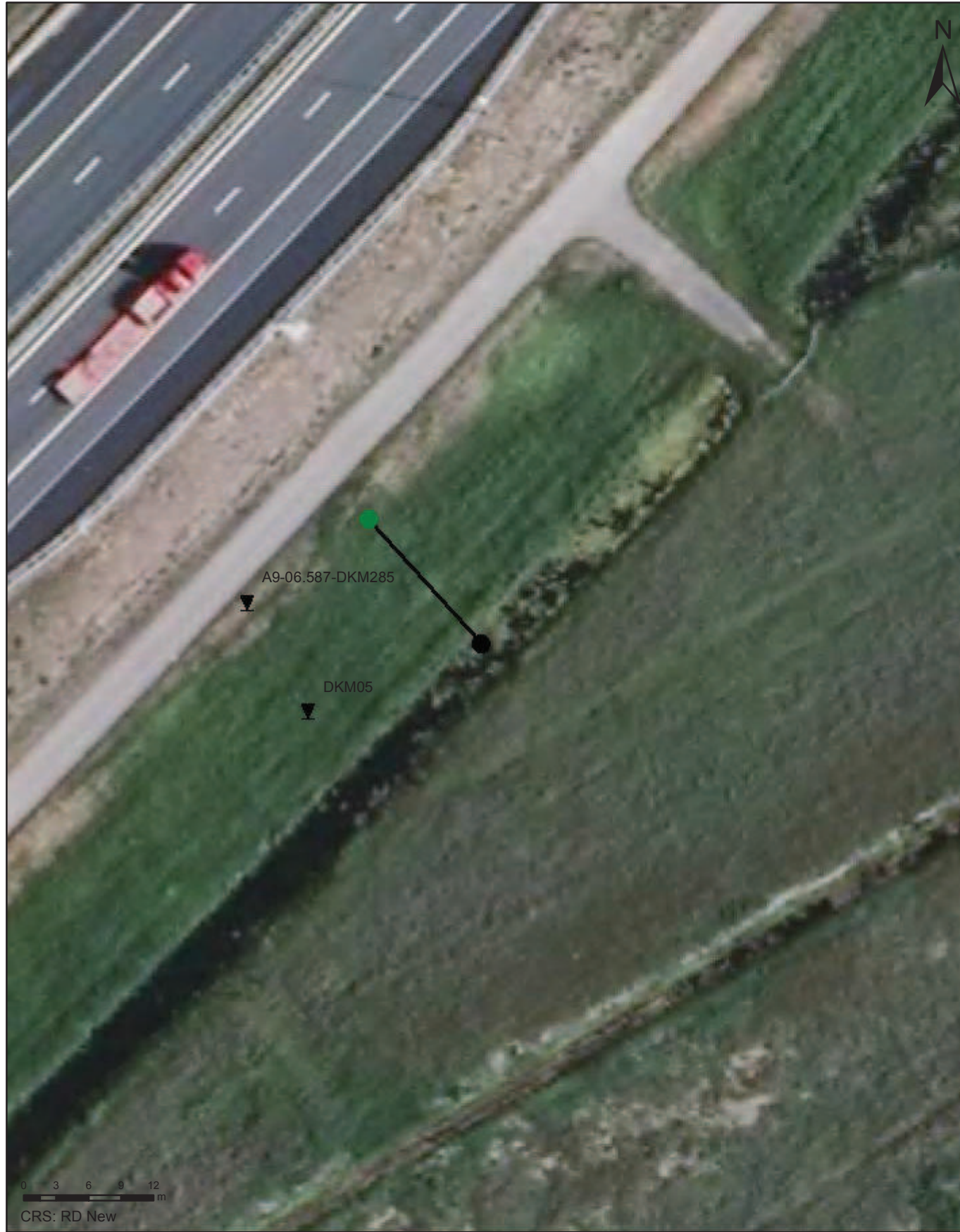


## ELEKTROMAGNETISCH ONDERZOEK

CROSS SECTION 5  
PROEFVAK A9

Opdr.nr.: 1012-0303-001  
Bijlage : 3-1



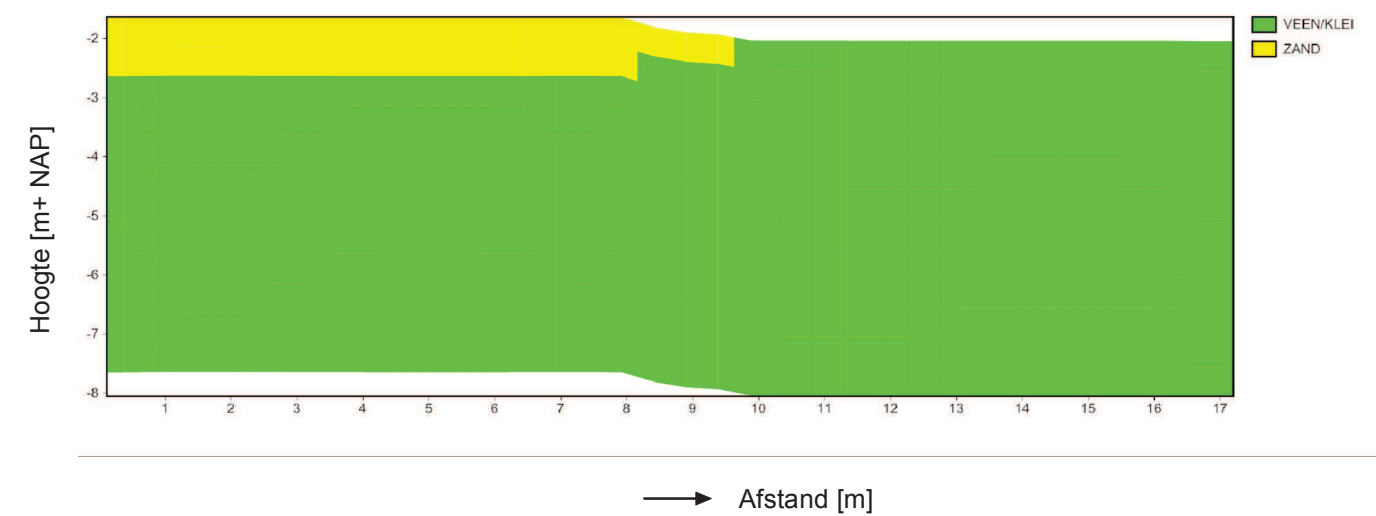


Datum: 5/5/2014 P:\10\1012-0303-001\24\_Uitvoering\_geomonitoring\40\_Data\Flankenonderzoek A9 proefvak\_JVS2.mxd

X:128639.93  
Y:481338.78

X:128651.47  
Y:481326.03

## GECLASSIFICEERDE ELEKTROMAGNETISCHE DATA

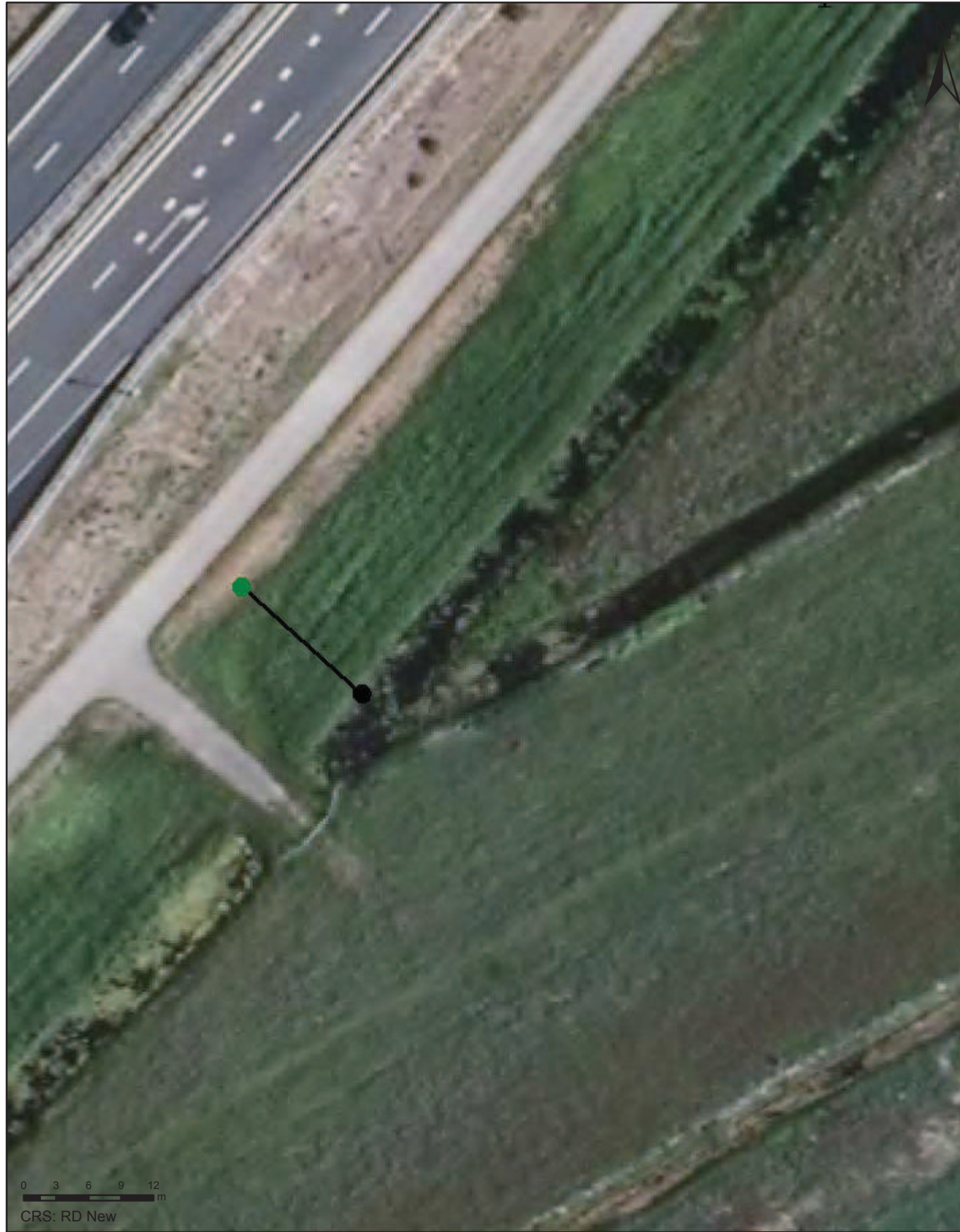


## ELEKTROMAGNETISCH ONDERZOEK

CROSS SECTION 6  
PROEFVAK A9

Opdr.nr.: 1012-0303-001  
Bijlage : 3-1



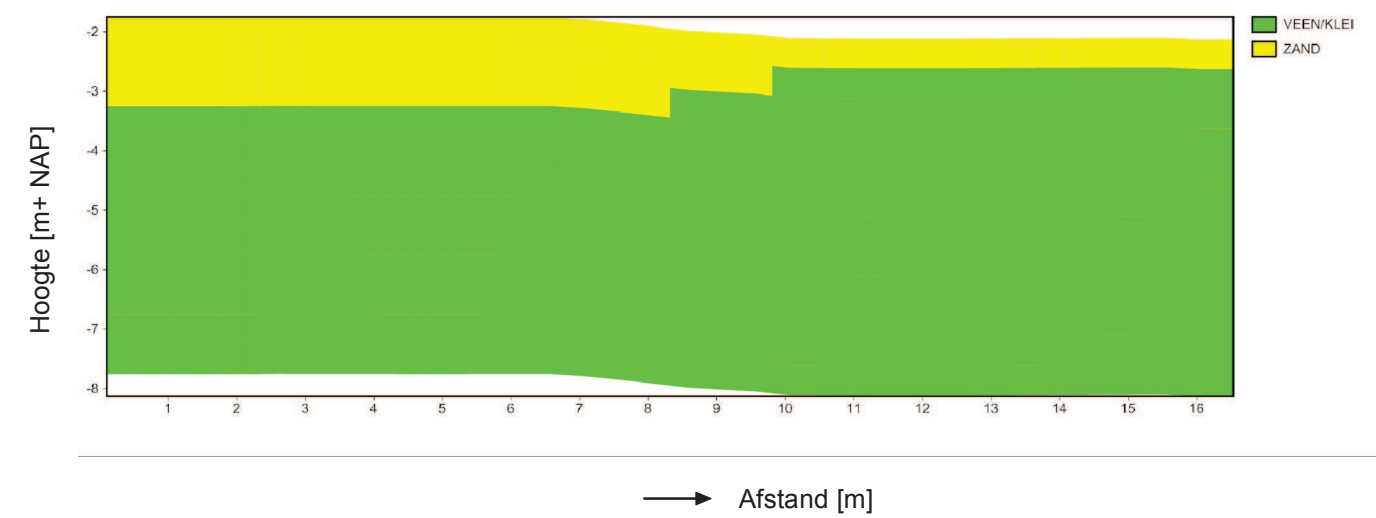


Datum: 5/5/2014 P:\10\1012-0303-001\24\_Uitvoering\_geomonitoring\40\_Data\Flankenonderzoek A9 proefvak\_JVS2.mxd

X:128672.41  
Y:481374.98

X:128684.74  
Y:481363.92

# GECLASSIFICEERDE ELEKTROMAGNETISCHE DATA

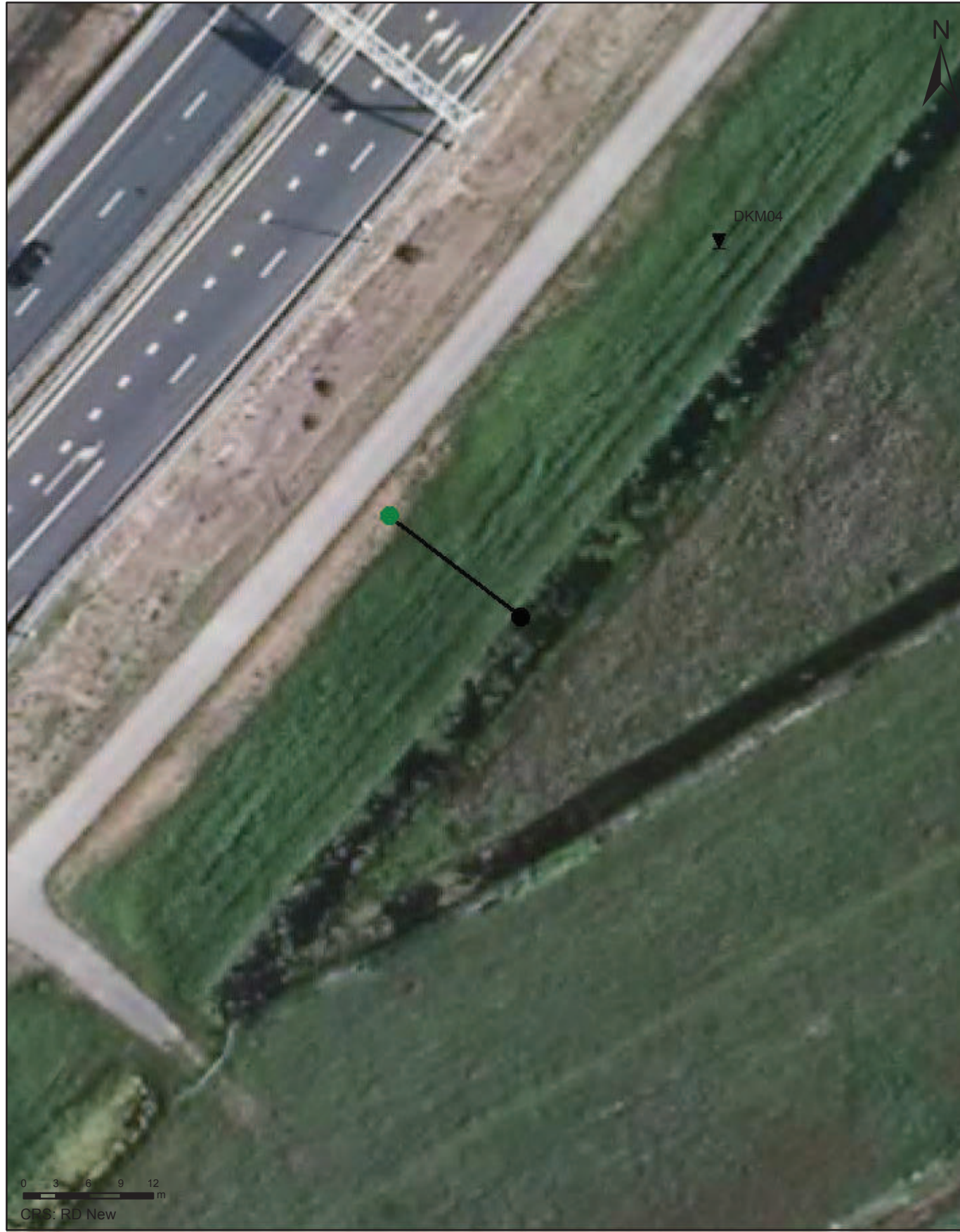


## ELEKTROMAGNETISCH ONDERZOEK

CROSS SECTION 7  
PROEFVAK A9

Opdr.nr.: 1012-0303-001  
Bijlage : 3-1

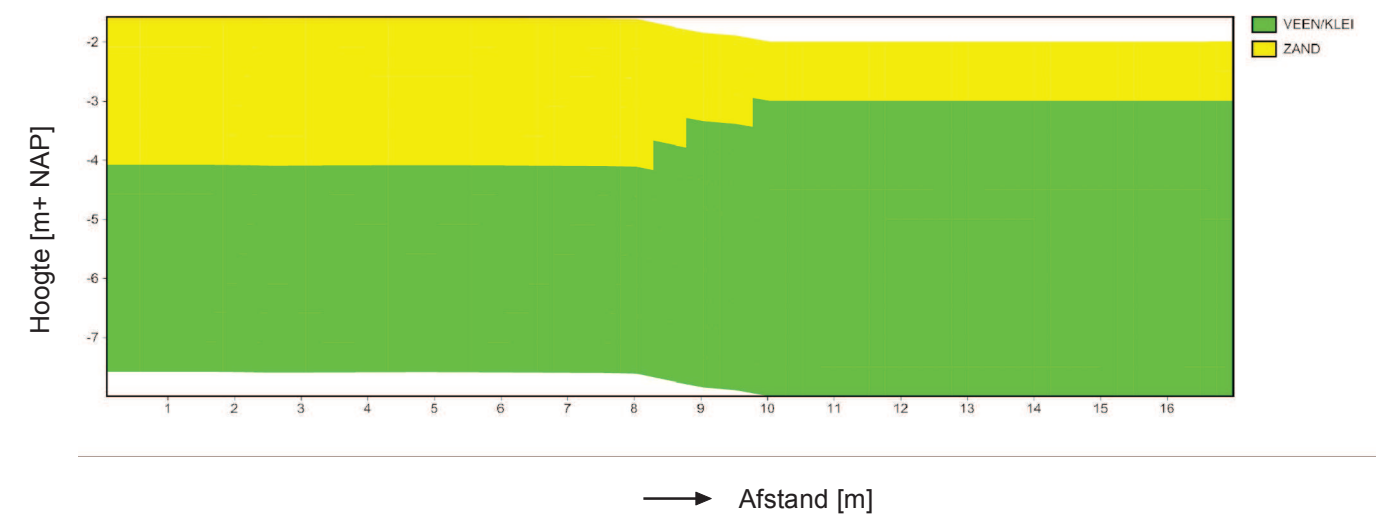




X:128695.67  
Y:481403.74

X:128709.22  
Y:481393.42

GECLASSIFICEERDE ELEKTROMAGNETISCHE DATA

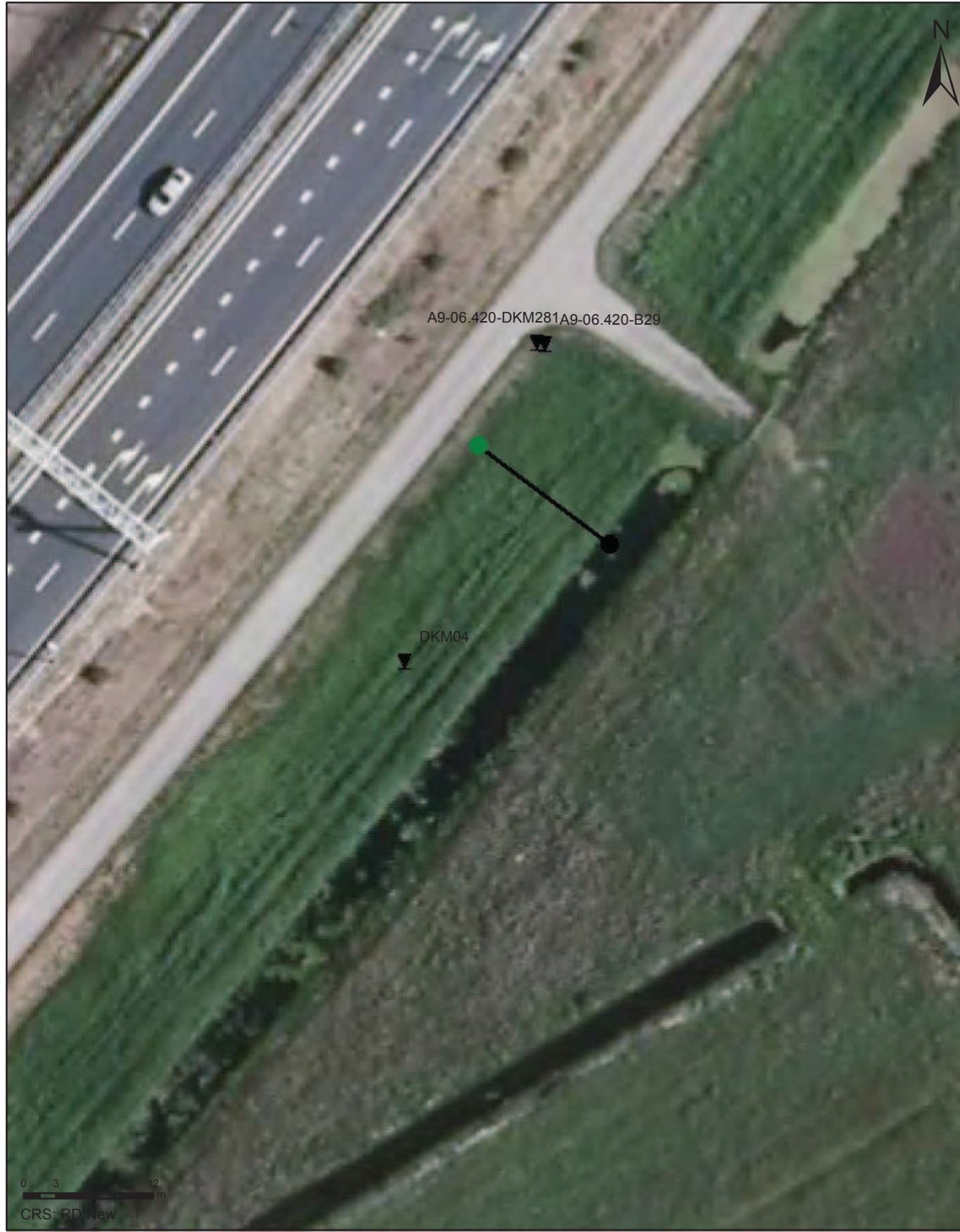


ELEKTROMAGNETISCH ONDERZOEK

CROSS SECTION 8  
PROEFVAK A9

Opdr.nr.: 1012-0303-001  
Bijlage : 3-1

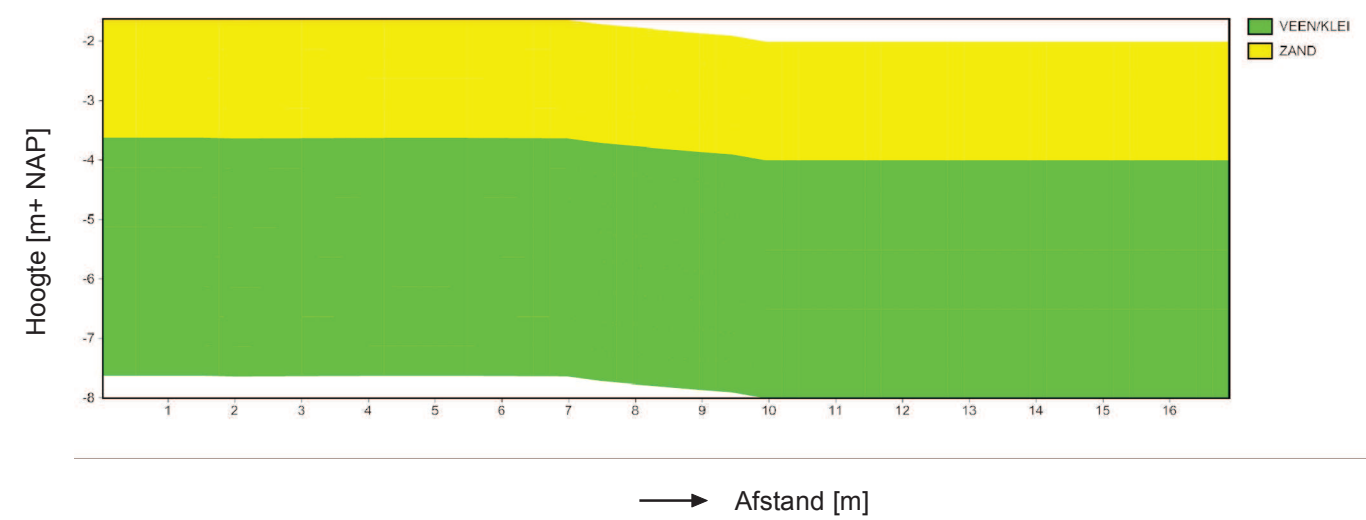




Datum: 5/5/2014 P:\10\1012-0303-001\24\_Uitvoering\_geomonitoring\40\_Data\Flankenonderzoek A9 proefvak\_JVS2.mxd

X:128732.97 Y:481449.14 X:128746.47 Y:481438.98

### GECLASSIFICEERDE ELEKTROMAGNETISCHE DATA



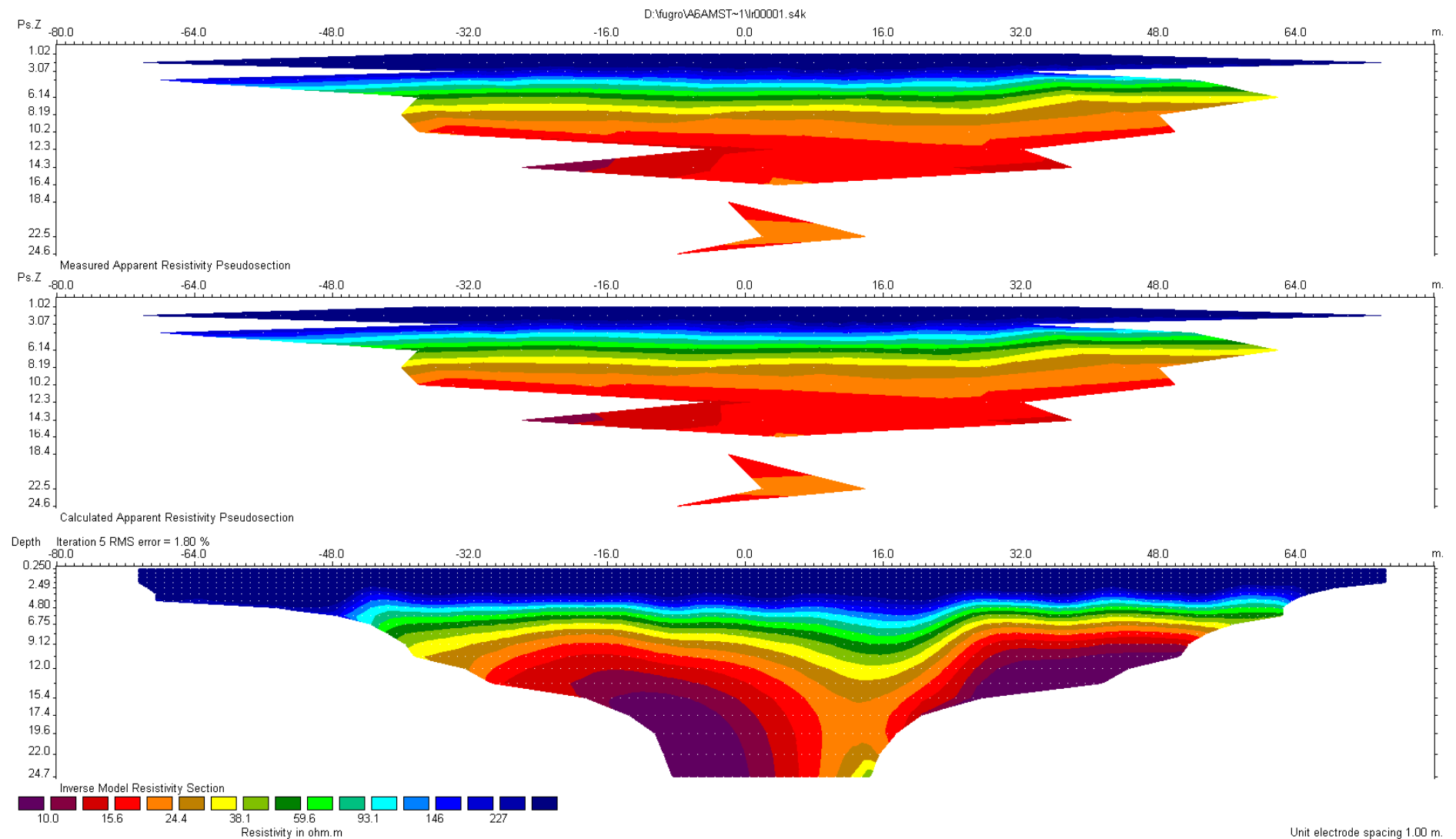
## ELEKTROMAGNETISCH ONDERZOEK

CROSS SECTION 9  
PROEFVAK A9

Opdr.nr.: 1012-0303-001  
Bijlage : 3-1



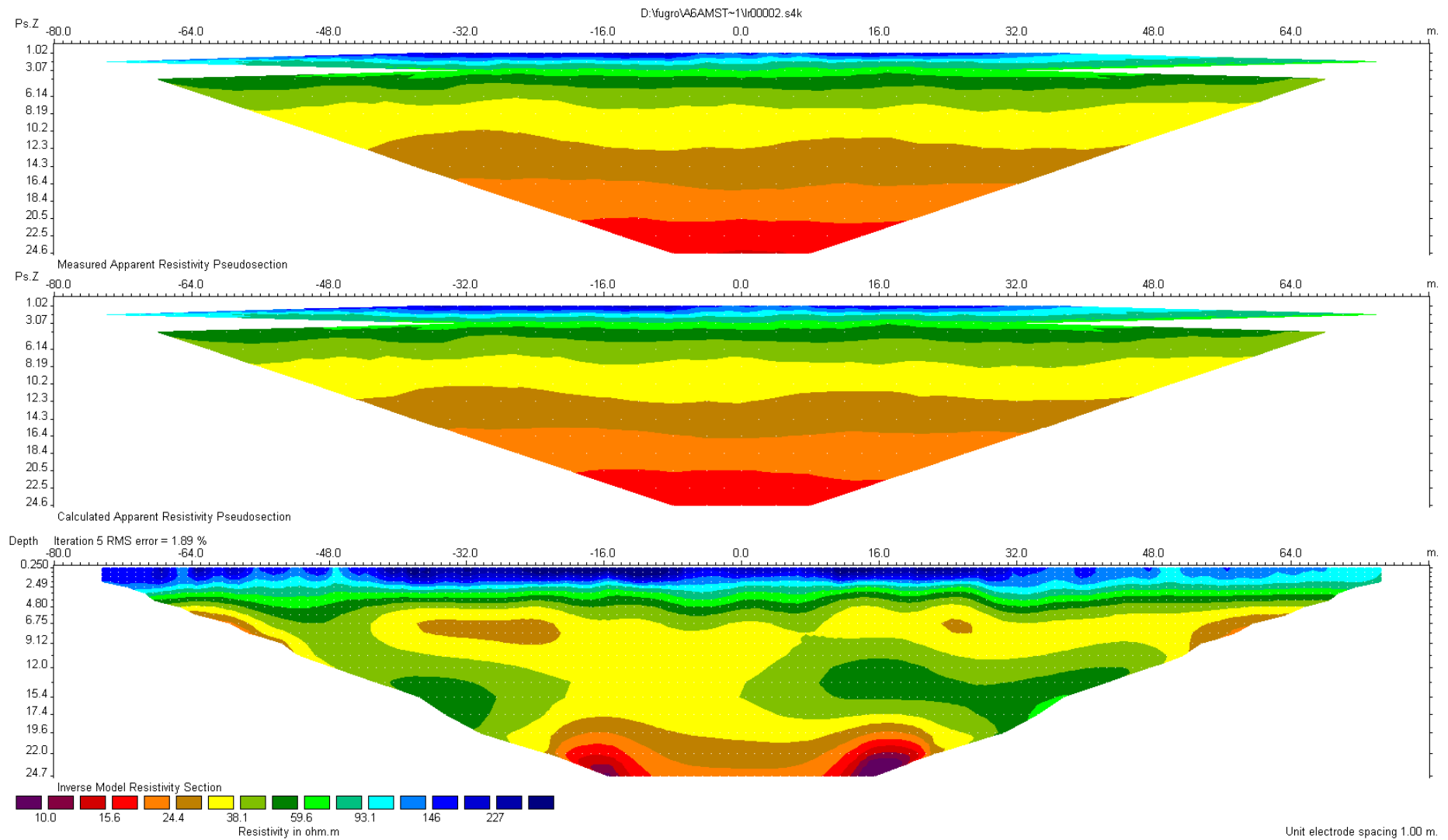
# Bijlage 4



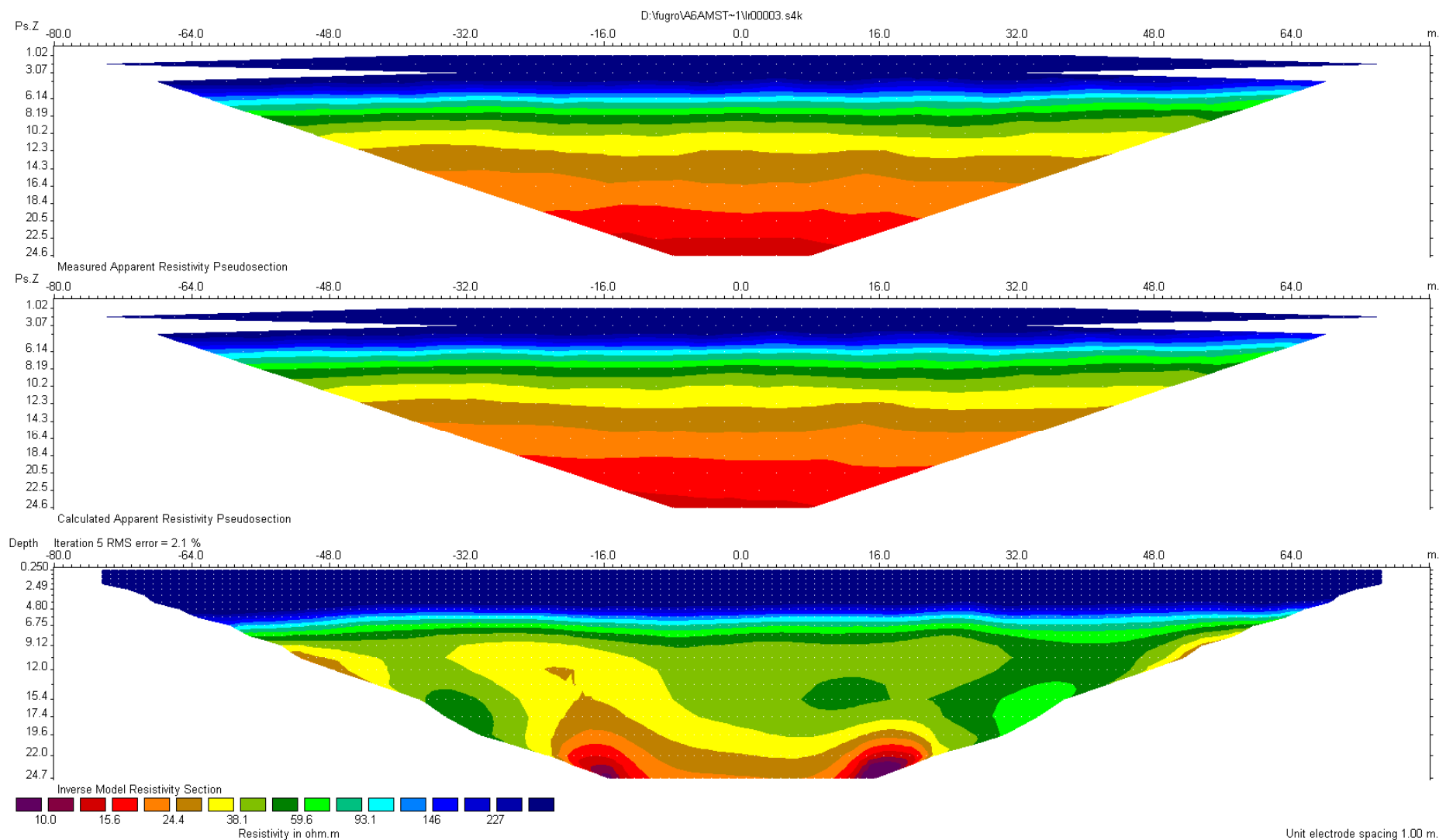
CVES 1

Opdr. : 1012-0303-001  
Bijlage : 4





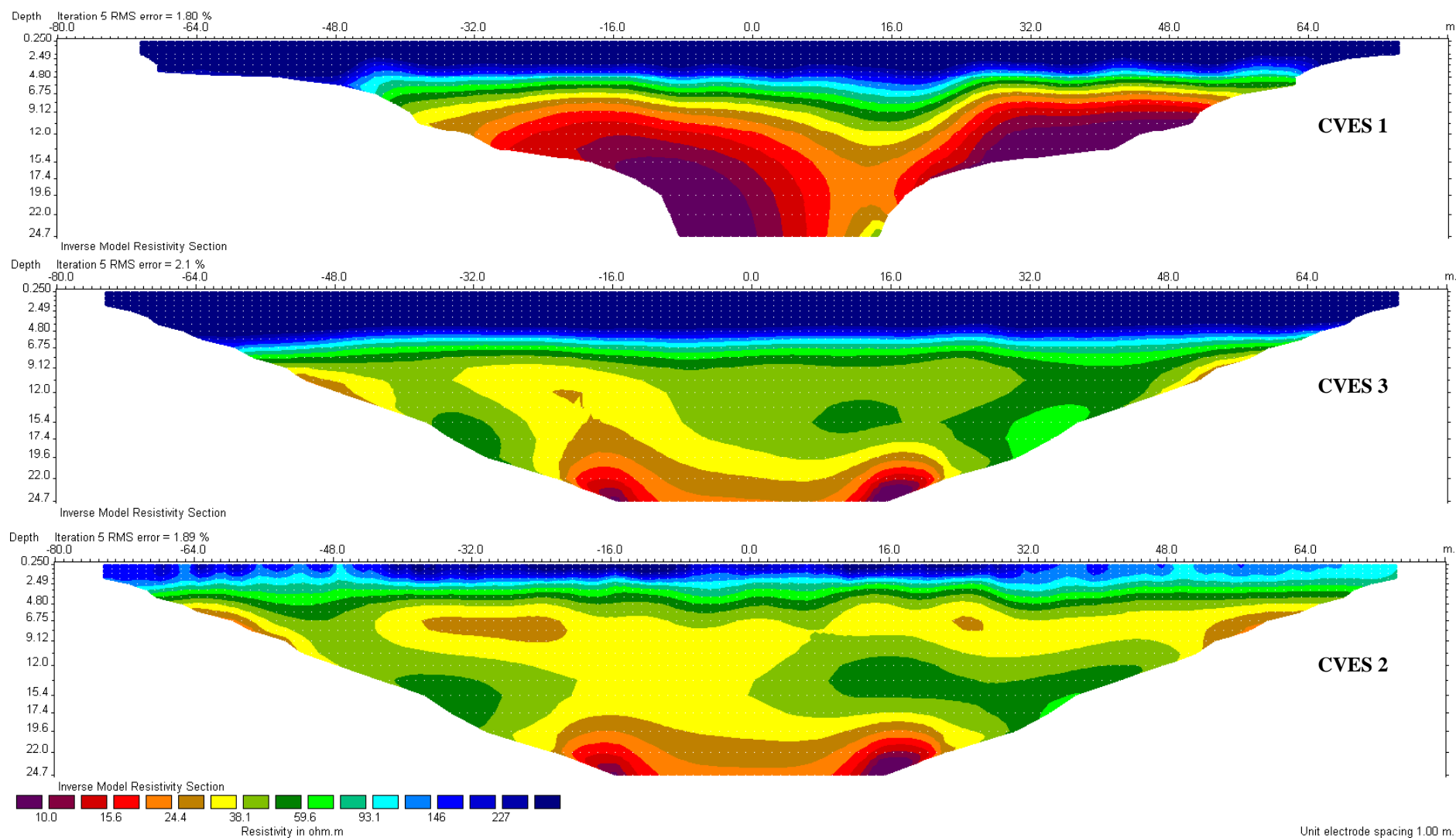
## CVES 2



## CVES 3

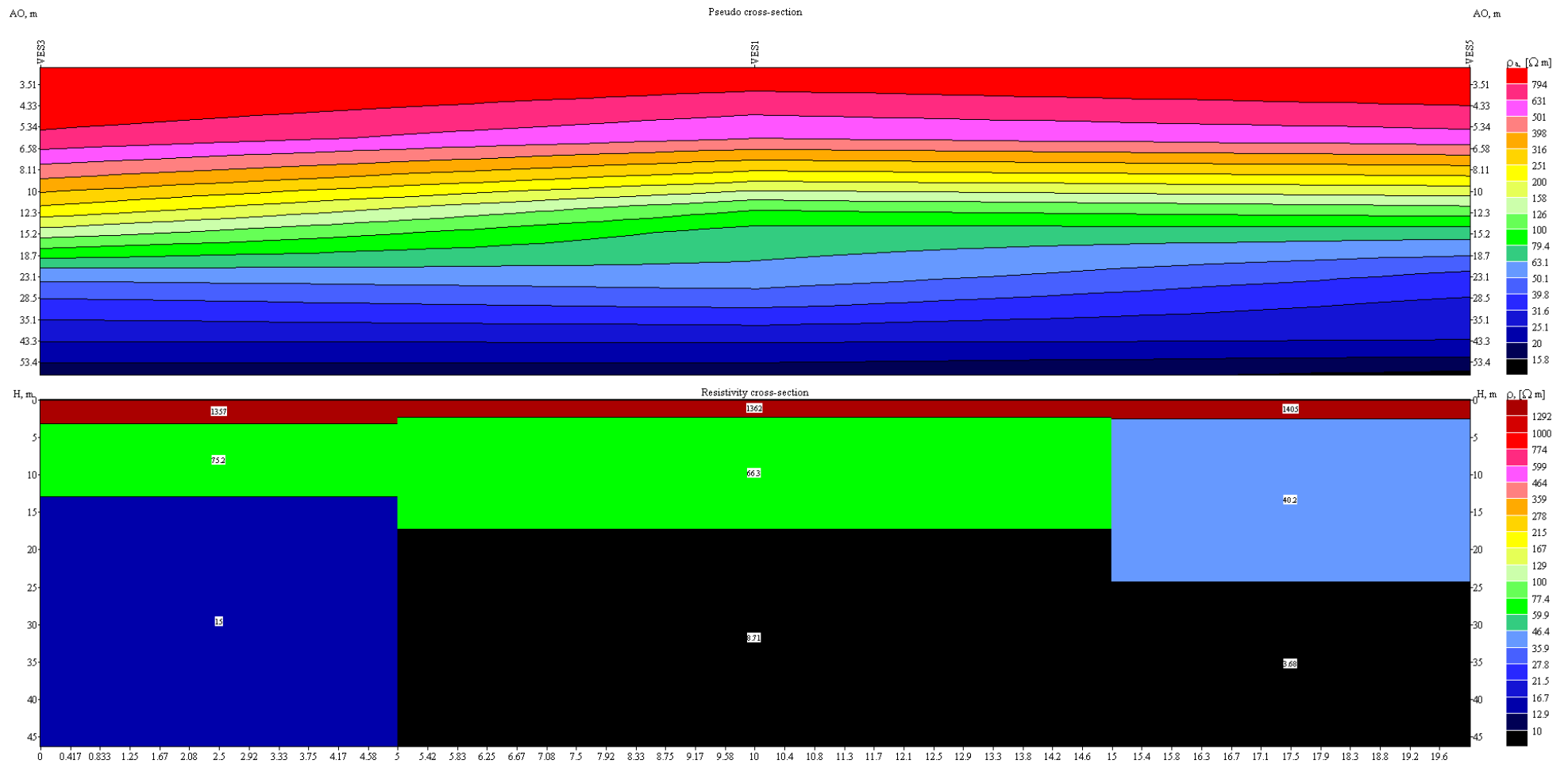
Opdr. : 1012-0303-001  
Bijlage : 4

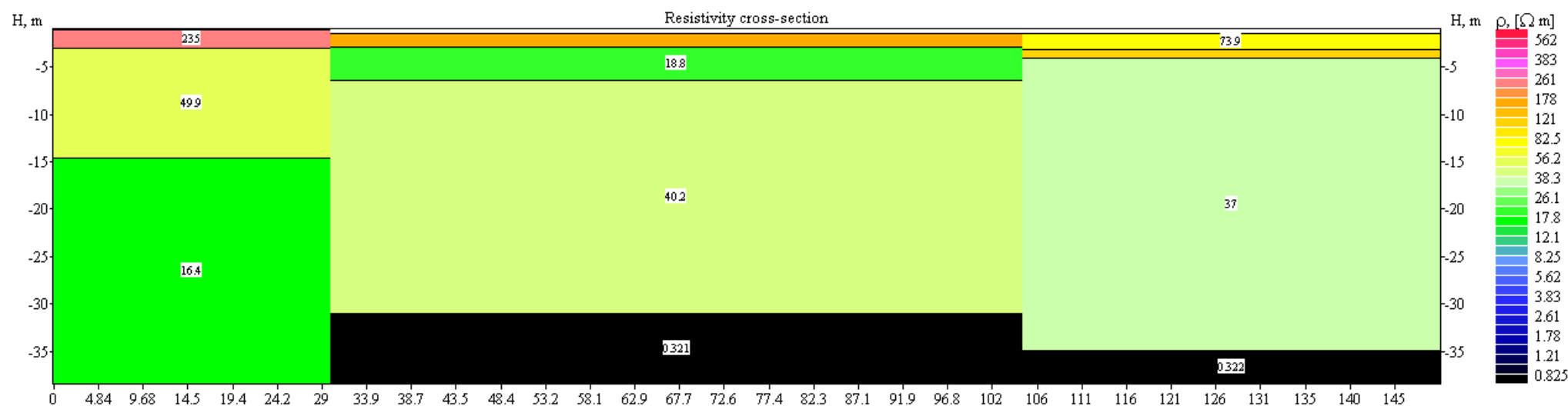
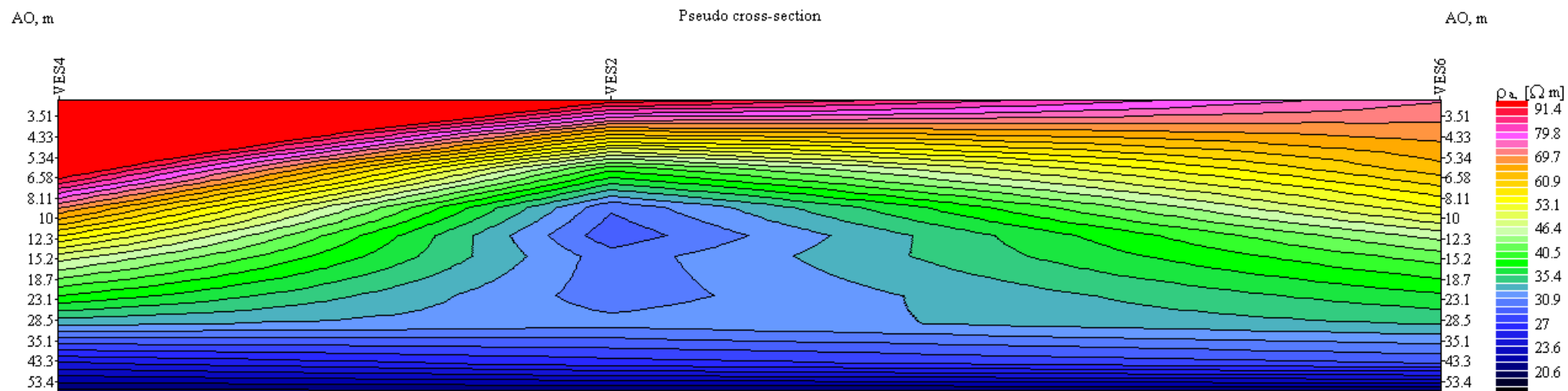




# Bijlage 5







1012-0303-001

VES-wenner 4-2-6



VES 1 elektrode afstand (m)	Resistance (Ohm)	Resistivity (Ohm-m)
2	79.1	994.00
4	20.1	505.17
6	5.53	208.48
8	2.03	102.04
10	1.15	72.26
15	0.63	59.38
20	0.86	108.07
30	1.23	231.85
40	0.82	206.09

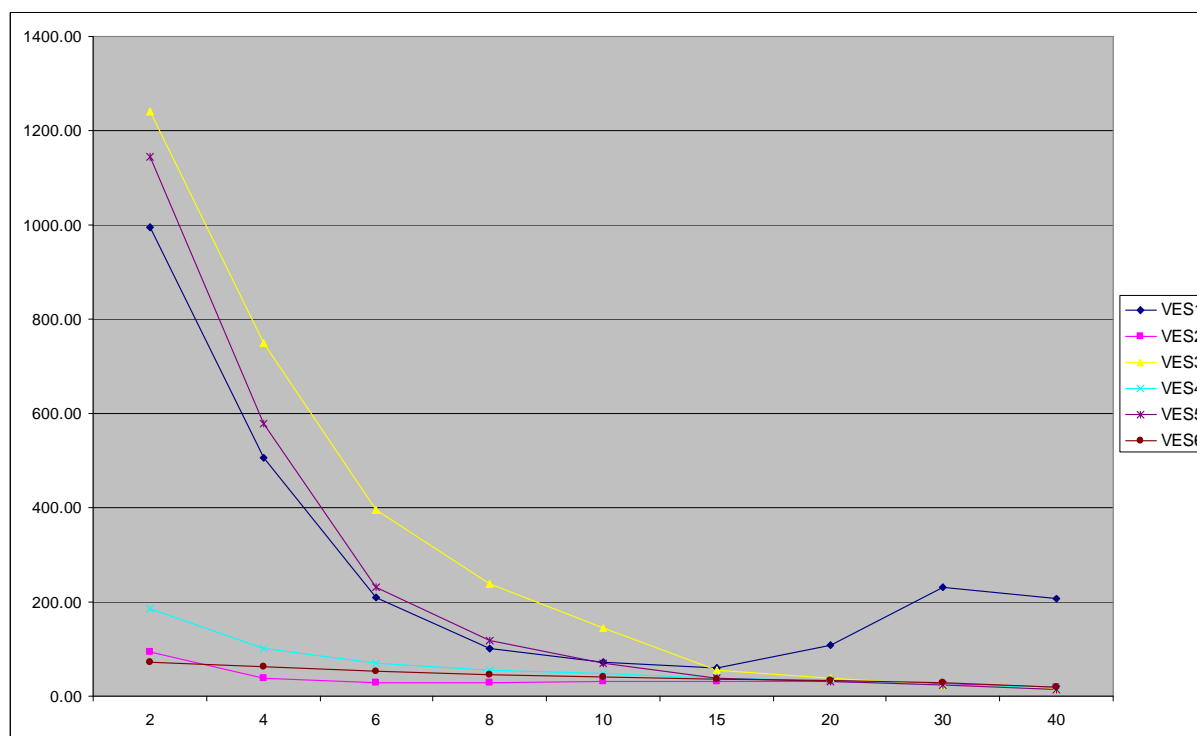
VES 2 elektrode afstand (m)	Resistance (Ohm)	Resistivity (Ohm-m)
2	7.55	94.88
4	1.58	39.71
6	0.79	29.78
8	0.57	28.65
10	0.48	30.16
15	0.32	30.16
20	0.25	31.42
30	0.14	26.39
40	0.08	20.11

VES 3 elektrode afstand (m)	Resistance (Ohm)	Resistivity (Ohm-m)
2	98.7	1240.30
4	29.8	748.96
6	10.47	394.71
8	4.76	239.26
10	2.29	143.88
15	0.59	55.61
20	0.30	37.70
30	0.13	24.50
40	0.07	17.59

VES 4 elektrode afstand (m)	Resistance (Ohm)	Resistivity (Ohm-m)
2	14.82	186.23
4	4.02	101.03
6	1.86	70.12
8	1.11	55.79
10	0.76	47.75
15	0.41	38.64
20	0.26	32.67
30	0.13	24.50
40	0.08	20.11

VES 5 elektrode afstand (m)	Resistance (Ohm)	Resistivity (Ohm-m)
2	91.1	1144.80
4	23.00	578.05
6	6.15	231.85
8	2.35	118.12
10	1.11	69.74
15	0.41	38.64
20	0.24	30.16
30	0.13	24.50
40	0.06	15.08

VES 6 elektrode afstand (m)	Resistance (Ohm)	Resistivity (Ohm-m)
2	5.83	73.26
4	2.50	62.83
6	1.41	53.16
8	0.90	45.24
10	0.66	41.47
15	0.39	36.76
20	0.27	33.93
30	0.15	28.27
40	0.08	20.11



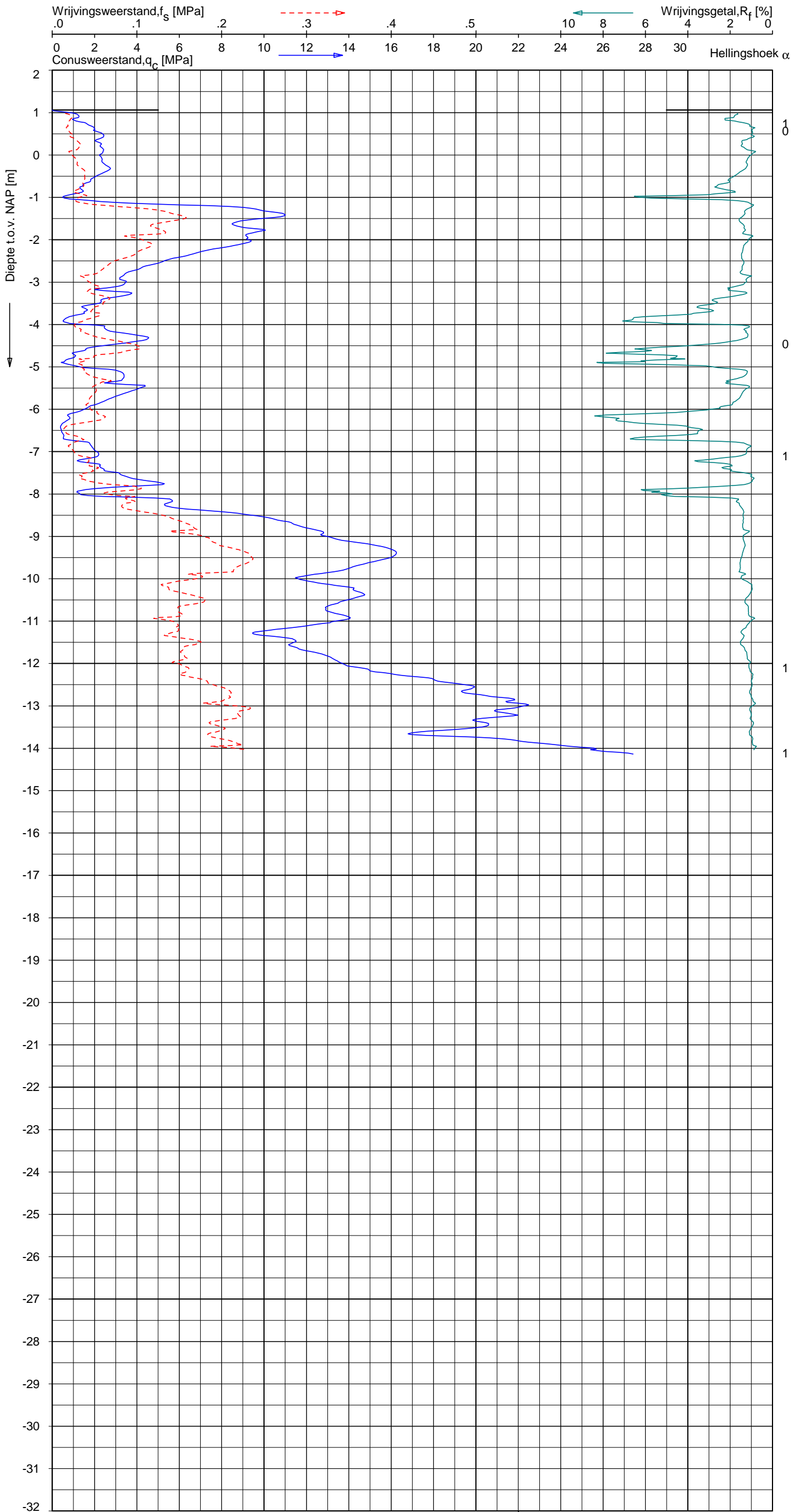


# Bijlage 6

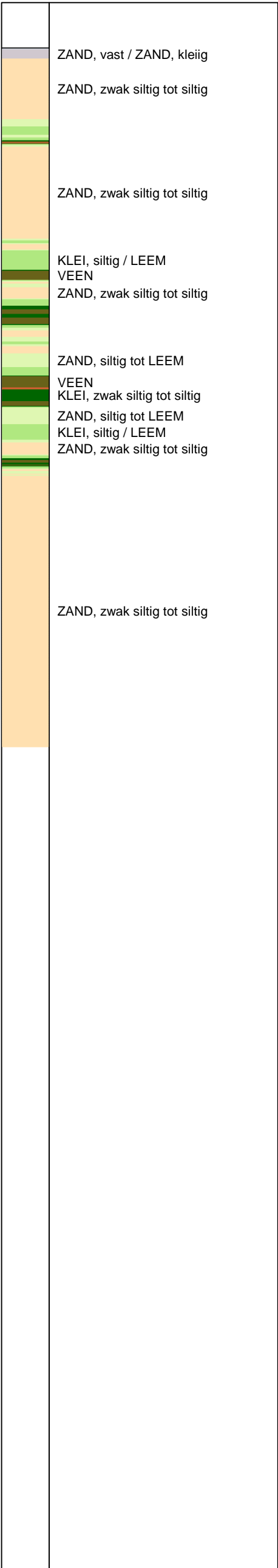
UNIPLOT 05.22.nl / QcfSClass-N3.cmd / 2013-06-14 16:51:50

1012-0303-001

DKM01 - 1



**Indicatieve bodembeschrijving**  
Automatisch gegenereerd uit data  
van de sondering, geldig onder  
grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



Opg. : JSL/DRD d.d. 13-jun-2013 Coord.: X=128845.0 m Y= 481646.1 m Systeem: RD Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1  
Get. : BOSCHG d.d. 14-jun-2013 MV = NAP +1.06 m Conus: F7.5CKE2HA/B 1701-2562 Toepassingsklasse 3. Test type TE1  
Conustype:  $A_c = 1500 \text{ mm}^2$ ;  $A_s = 19956 \text{ mm}^2$



SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

FLANKENONDERZOEK A1 - A6

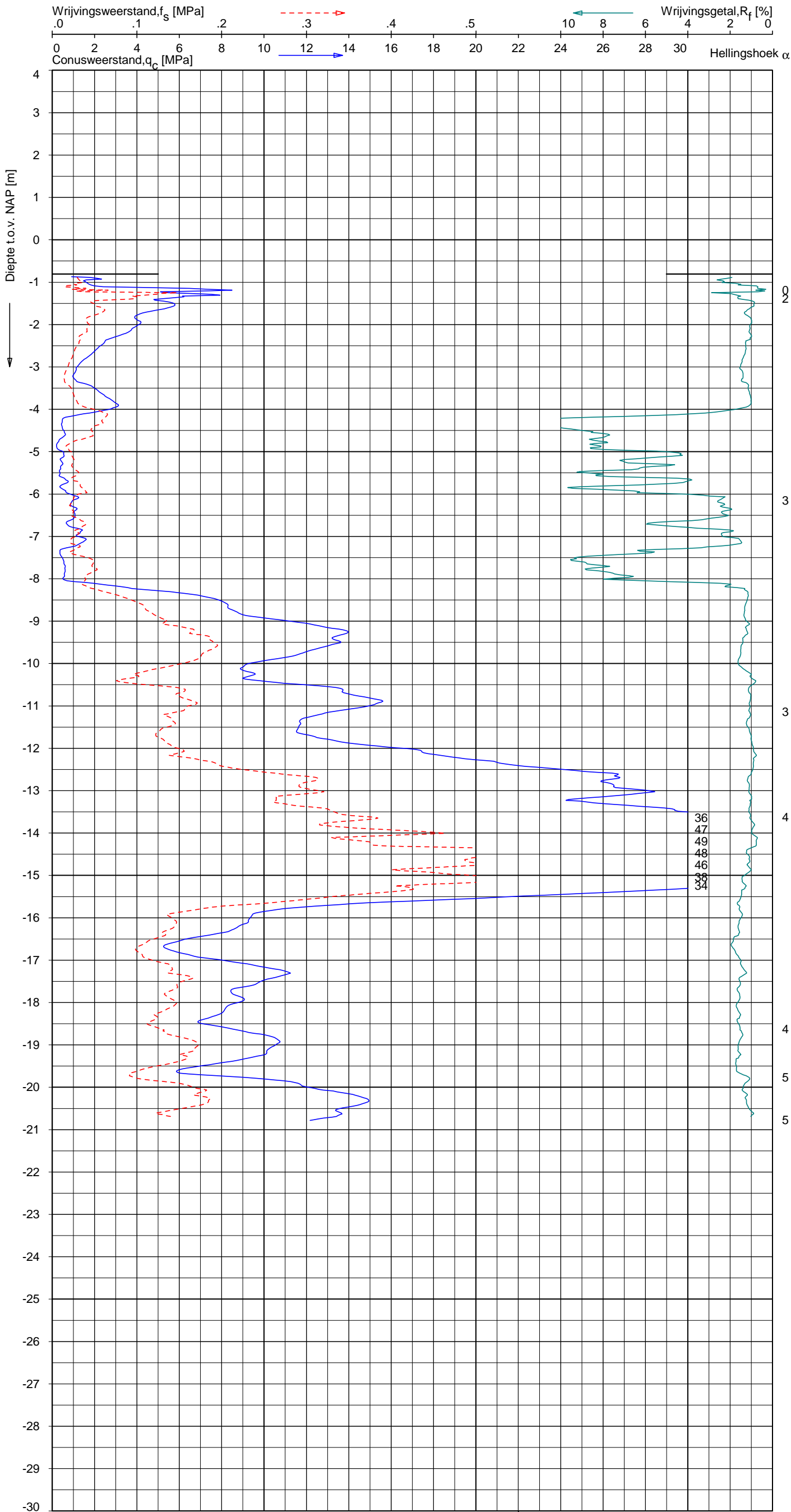
Opdr. 1012-0303-001  
Sond. DKM01



UNIPLOT 05.22.nl / QcfClass-N3.cmd / 2013-06-11 14:20:01

1012-0303-001

DKM02 - 1



**Indicatieve bodembeschrijving**  
Automatisch gegenereerd uit data  
van de sondering, geldig onder  
grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



Opg. : CM/MBV d.d. 07-jun-2013 Coord.: X=128852.7 m Y= 481635.3 m Systeem: RD Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1  
Get. : VALKF d.d. 11-jun-2013 MV = NAP -0.81 m Conus: F7.5CKE2HA/B 1701-2562 Toepassingsklasse 3. Test type TE1  
Conustype: A<sub>c</sub> = 1500 mm<sup>2</sup>; A<sub>s</sub> = 19956 mm<sup>2</sup>



SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

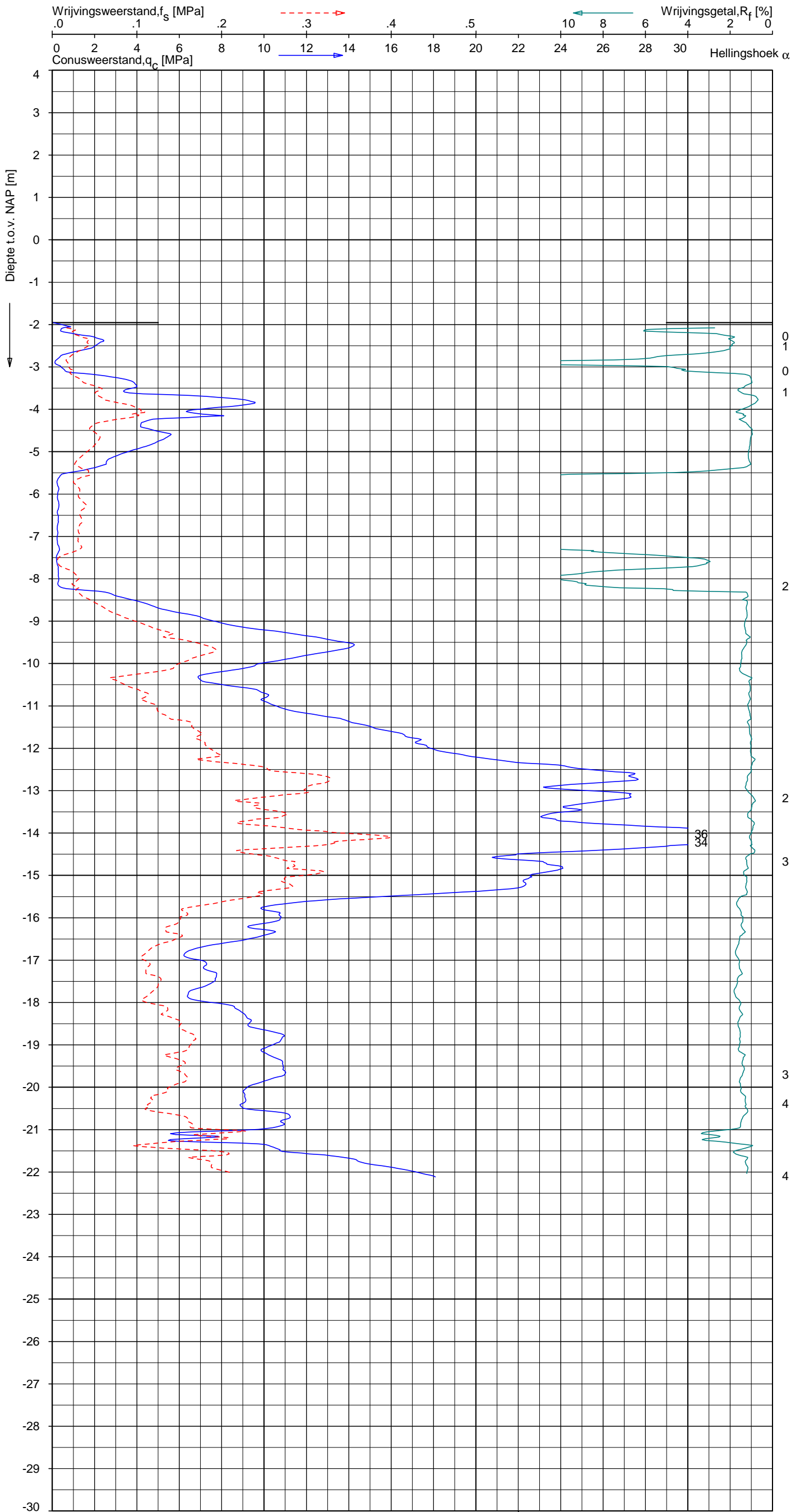
FLANKENONDERZOEK A1 - A6

Opdr. 1012-0303-001  
Sond. DKM02

UNIPLOT 05.22.nl / QcfClass-N3.cmd / 2013-06-11 14:20:04

1012-0303-001

DKM03 - 1



Indicatieve bodembeschrijving  
Automatisch gegenereerd uit data  
van de sondering, geldig onder  
grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



Opg. : CM/MBV d.d. 07-jun-2013 Coord.: X=128859.9m Y= 481630.9m Systeem: RD Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1  
Get. : VALKF d.d. 11-jun-2013 MV = NAP -1.96 m Conus: F7.5CKE2HA/B 1701-2562 Toepassingsklasse 3. Test type TE1  
Conustype: A<sub>c</sub> = 1500 mm<sup>2</sup>; A<sub>s</sub> = 19956 mm<sup>2</sup>

SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

FLANKENONDERZOEK A1 - A6

Opdr. 1012-0303-001  
Sond. DKM03

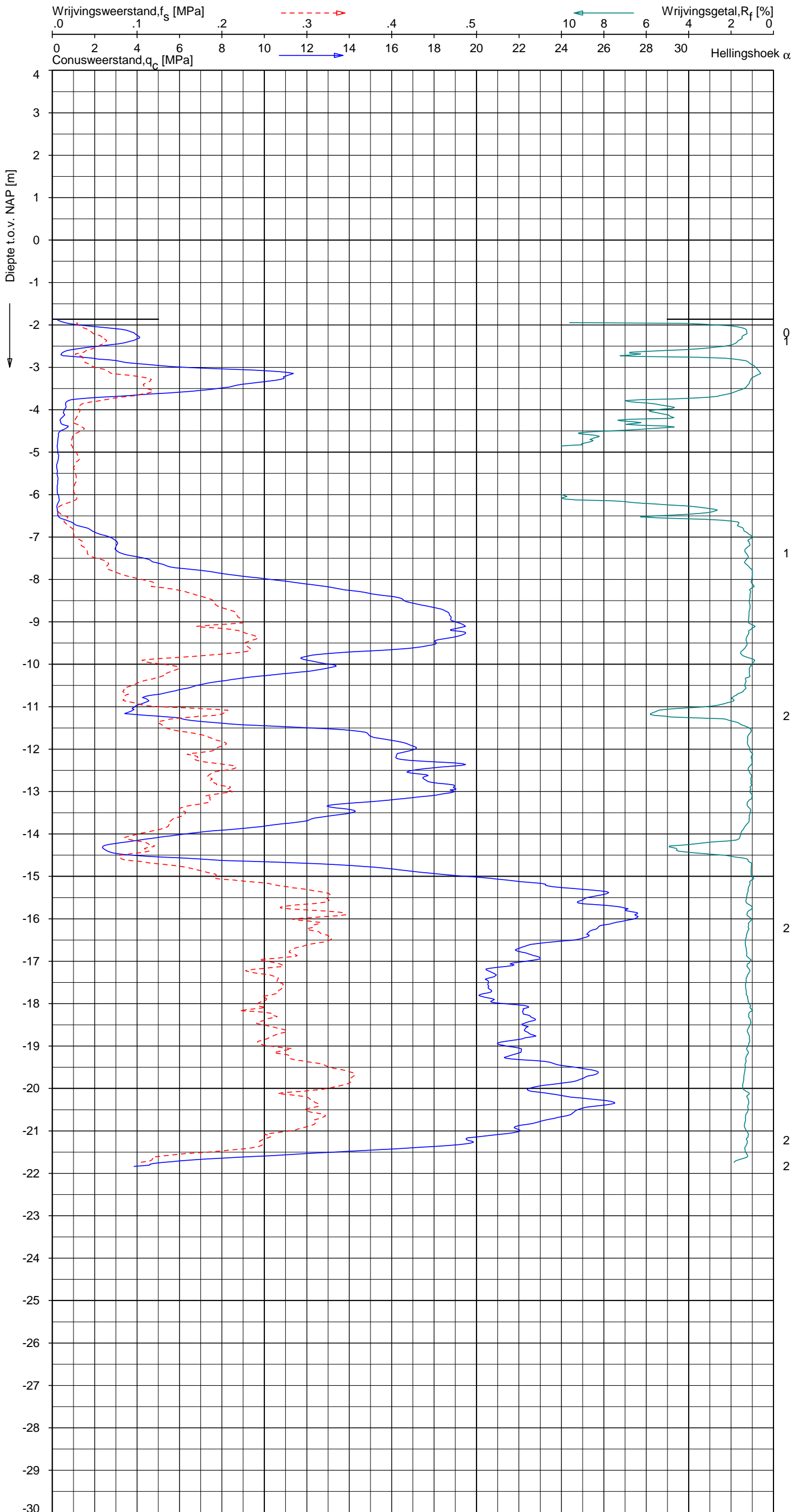




UNIPLOT 05.22.nl / QcfClass-N3.cmd / 2013-06-11 14:20:07

1012-0303-001

DKM04 - 1



Indicatieve bodembeschrijving  
Automatisch gegenereerd uit data  
van de sondering, geldig onder  
grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



Opg. : CM/MBV d.d. 07-jun-2013 Coord.: X=128726.8 m Y= 481428.7 m Systeem: RD Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1  
Get. : VALKF d.d. 11-jun-2013 MV = NAP -1.87 m Conus: F7.5CKE2HA/B 1701-2562 Toepassingsklasse 3. Test type TE1  
Conustype:  $A_c = 1500 \text{ mm}^2$ ;  $A_s = 19956 \text{ mm}^2$



SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

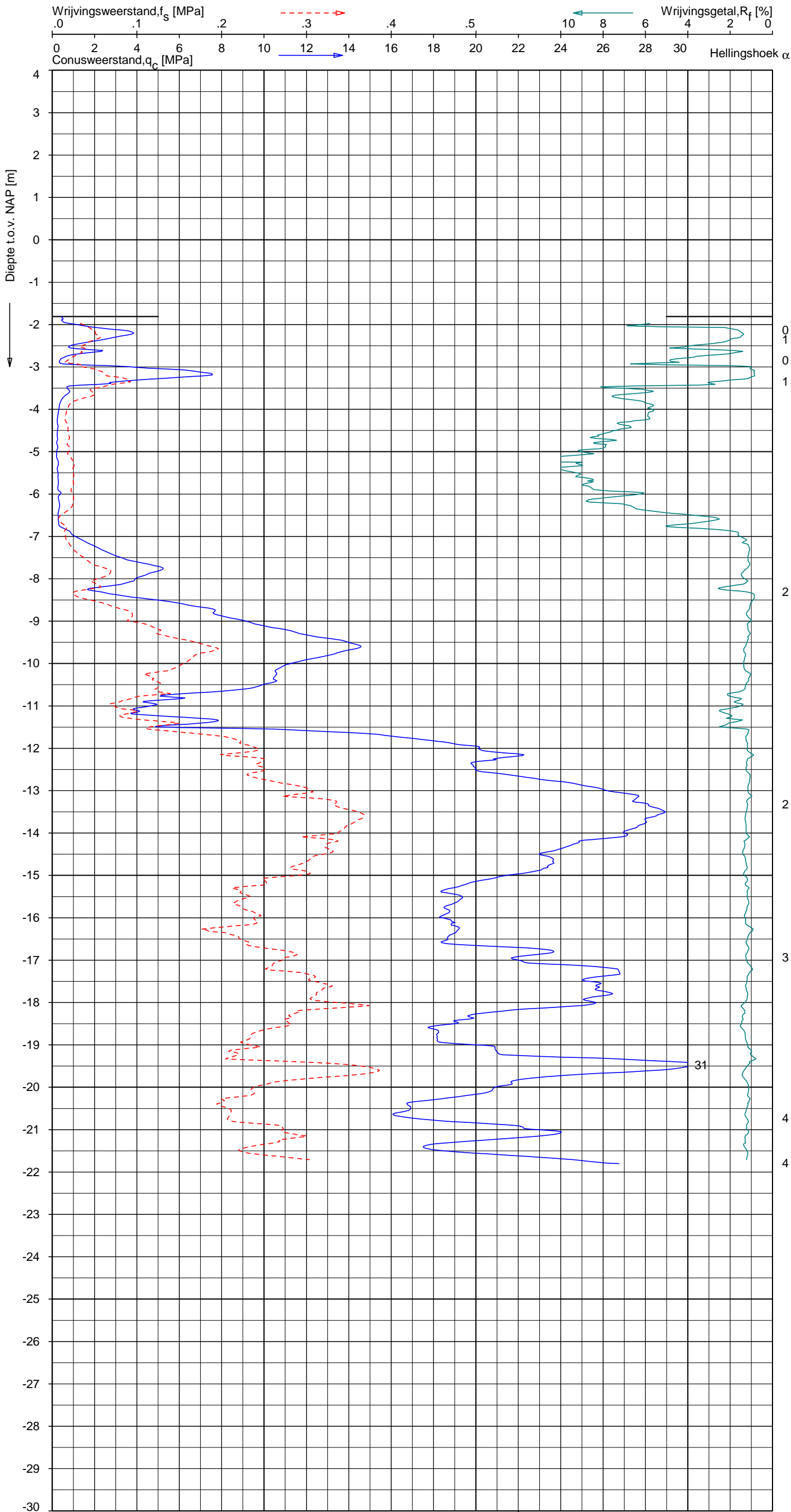
FLANKENONDERZOEK A1 - A6

Opdr. 1012-0303-001  
Sond. DKM04

UNIPLOT 05.22.nl / QcfClass-N3.cmd / 2013-06-11 14:20:10

1012-0303-001

DKM05 - 1



**Indicatieve bodembeschrijving**  
Automatisch gegenereerd uit data  
van de sondering, geldig onder  
grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



Opg. : CM/MBV      d.d. 07-jun-2013      Coord.: X=128634.9m      Y= 481320.5m      Systeem: RD      Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1  
Get. : VALKF      d.d. 11-jun-2013      MV = NAP      -1.81 m      Conus: F7.5CKE2HA/B      1701-2562      Toepassingsklasse 3.      Test type TE1  
Conustype:  $A_c = 1500 \text{ mm}^2$ ;       $A_s = 19956 \text{ mm}^2$



SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

FLANKENONDERZOEK A1 - A6

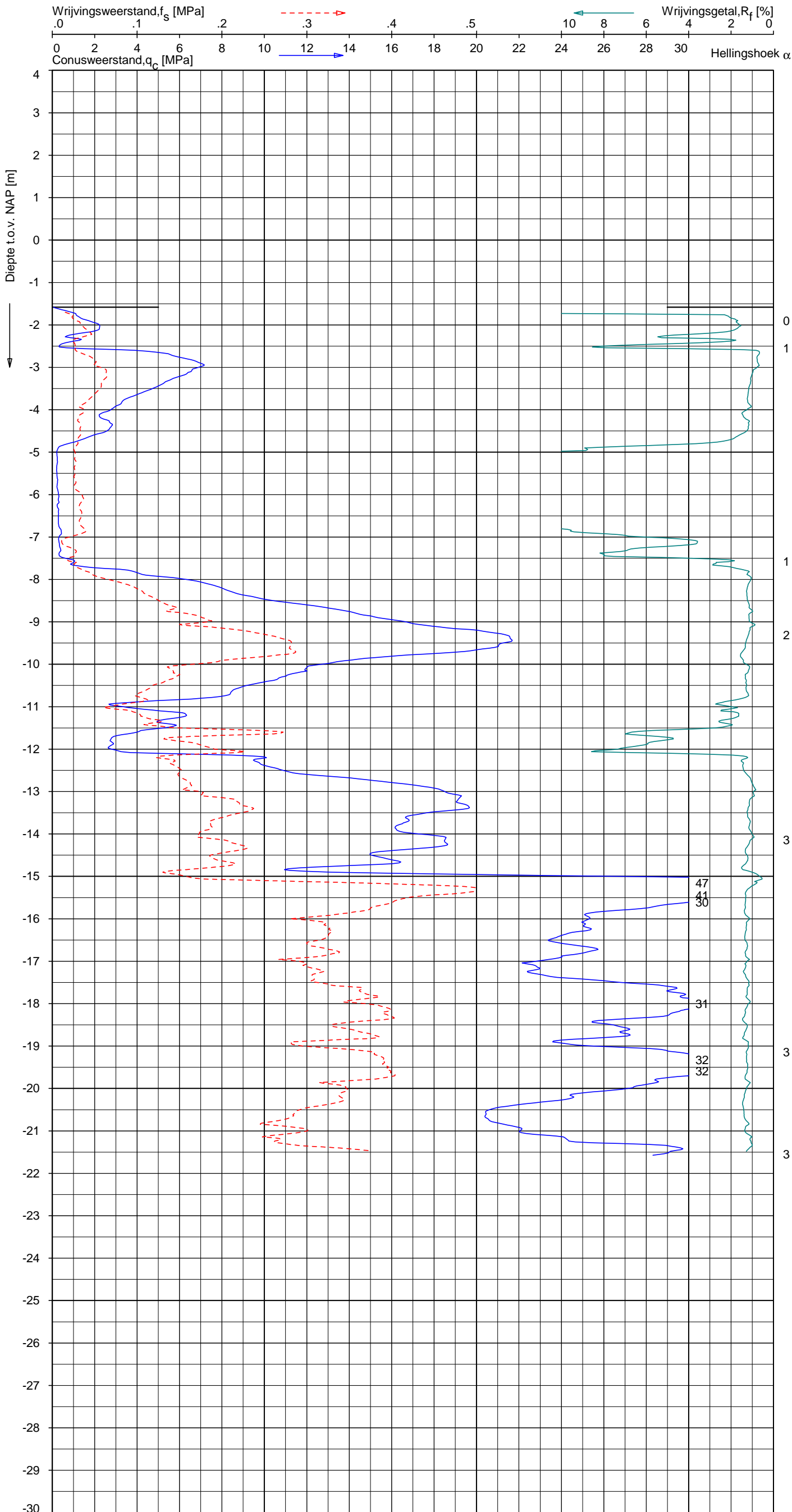
Opdr. 1012-0303-001  
Sond. DKM05



UNIPLOT 05.22.nl / QcfClass-N3.cmd / 2013-06-11 14:20:13

1012-0303-001

DKM06 - 1



**Indicatieve bodembeschrijving**  
Automatisch gegenereerd uit data  
van de sondering, geldig onder  
grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



Opg. : CMMV      d.d. 07-jun-2013      Coord.: X=128545.1 m      Y= 481228.8 m      Systeem: RD      Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1  
Get. : VALKF      d.d. 11-jun-2013      MV = NAP      -1.58 m      Conus: F7.5CKE2HA/B      1701-2562      Toepassingsklasse 3.      Test type TE1  
Conustype:  $A_c = 1500 \text{ mm}^2$ ;       $A_s = 19956 \text{ mm}^2$



SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

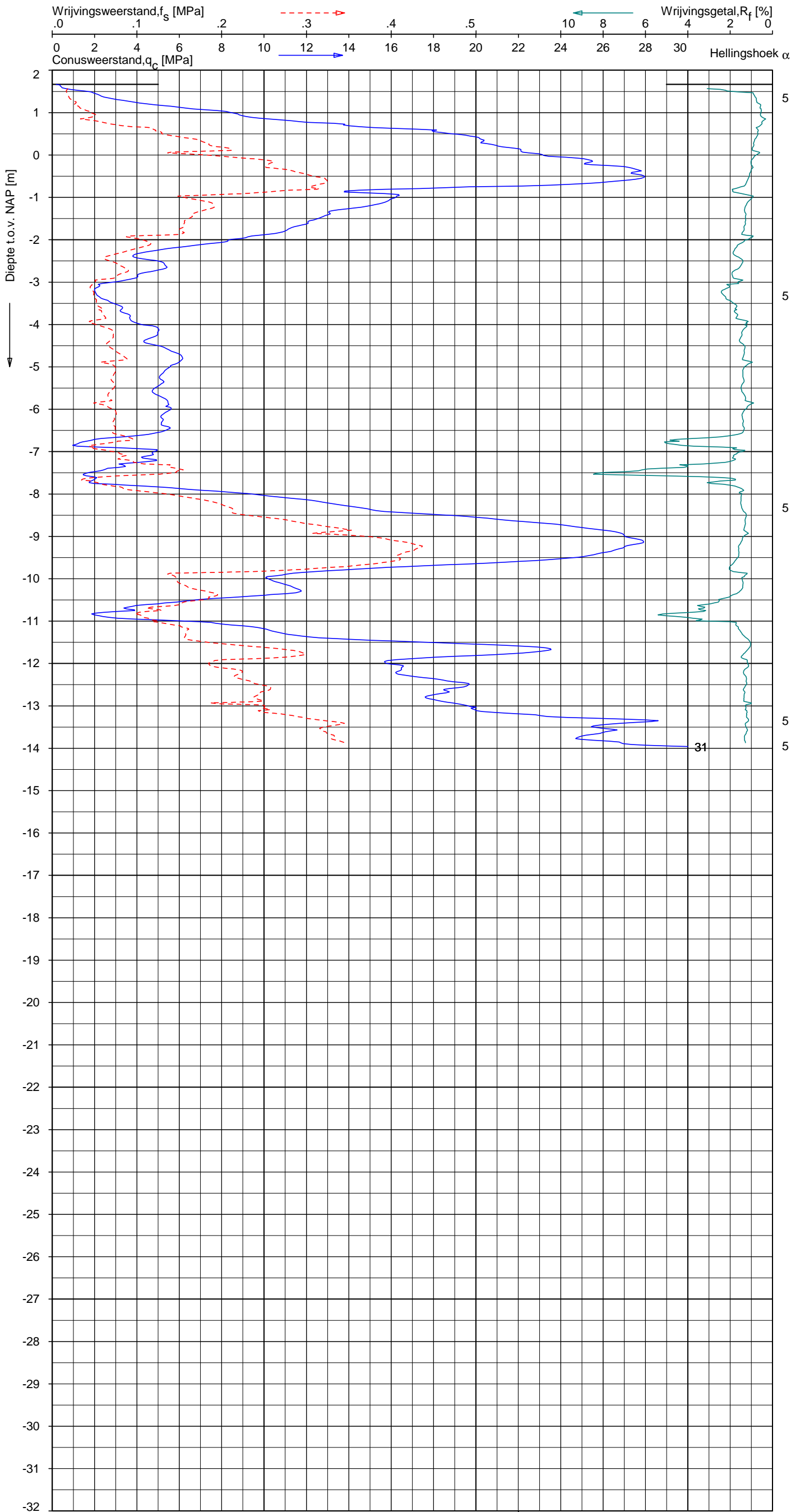
FLANKENONDERZOEK A1 - A6

Opdr. 1012-0303-001  
Sond. DKM06

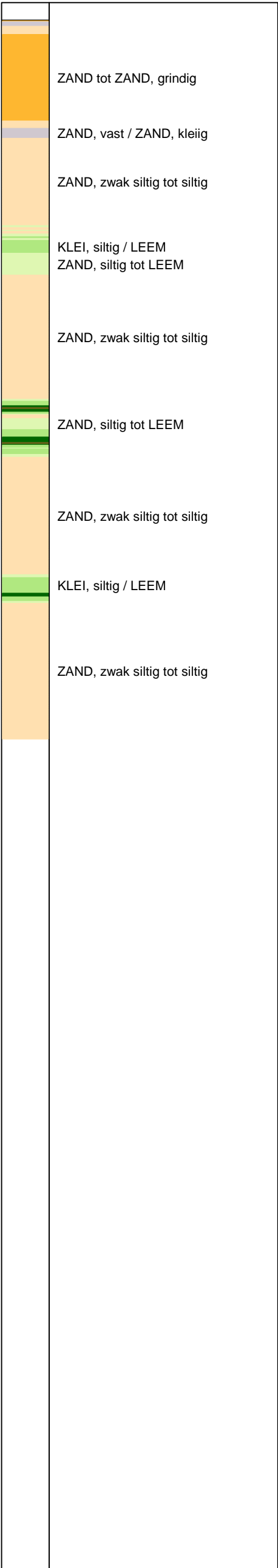
UNIPLOT 05.22.nl / QcfSClass-N3.cnd / 2013-06-14 16:51:53

1012-0303-001

DKM07 - 1



**Indicatieve bodembeschrijving**  
Automatisch gegenereerd uit data  
van de sondering, geldig onder  
grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



Opg. : JSL/DRD      d.d. 13-jun-2013      Coord.: X=128463.9m      Y= 481179.6m      Systeem: RD      Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1  
Get. : BOSCHG      d.d. 14-jun-2013      MV = NAP +1.67m      Conus: F7.5CKE2HA/B      1701-2562      Toepassingsklasse 3.      Test type TE1  
Conustype:  $A_c = 1500 \text{ mm}^2$ ;       $A_s = 19956 \text{ mm}^2$



SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

FLANKENONDERZOEK A1 - A6

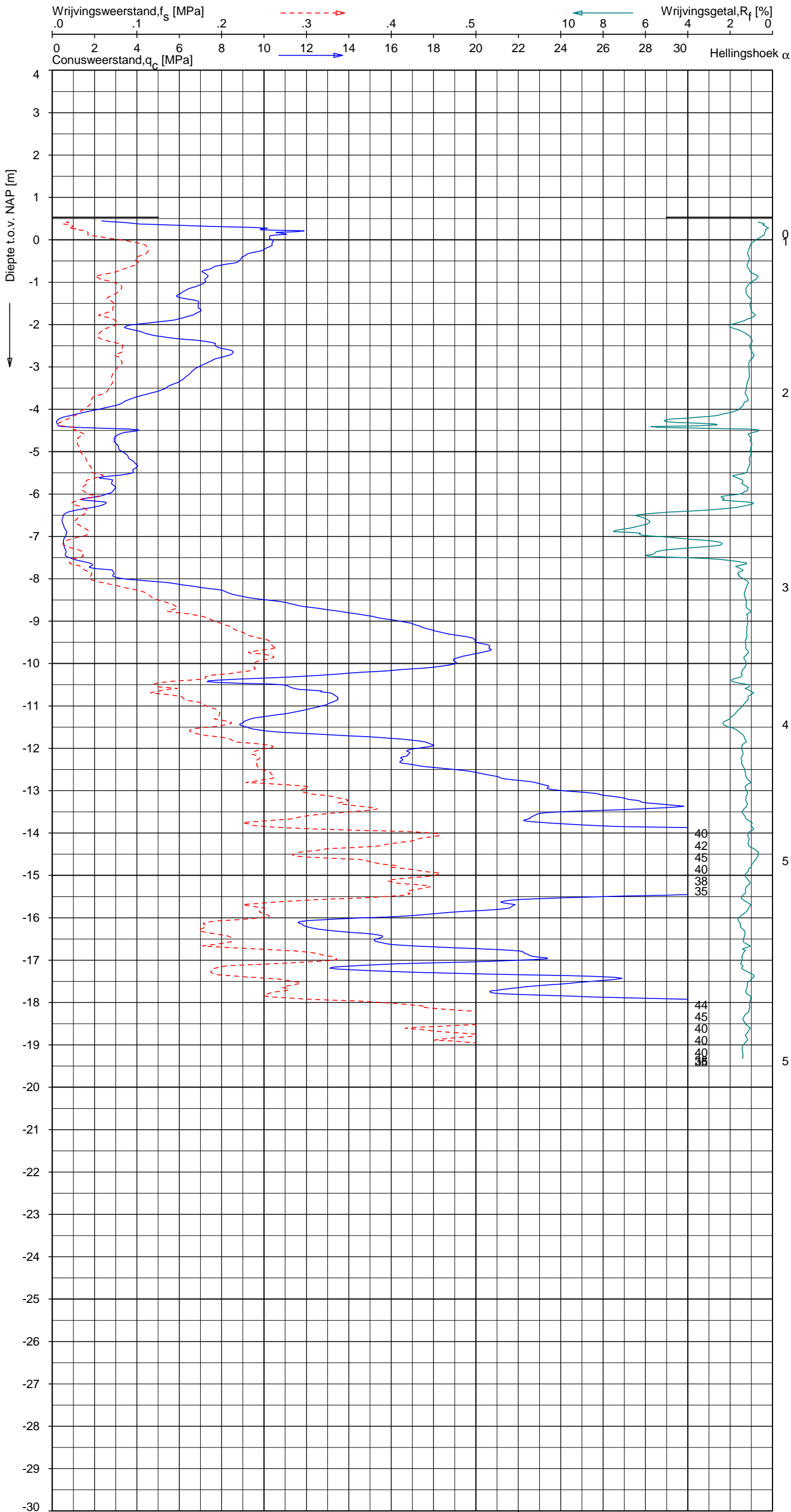
Opdr. 1012-0303-001  
Sond. DKM07



UNIPLOT 05.22.nl / QcfClass-N3.cmd / 2013-06-11 14:20:15

1012-0303-001

DKM08 - 1



**Indicatieve bodembeschrijving**  
Automatisch gegenereerd uit data  
van de sondering, geldig onder  
grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



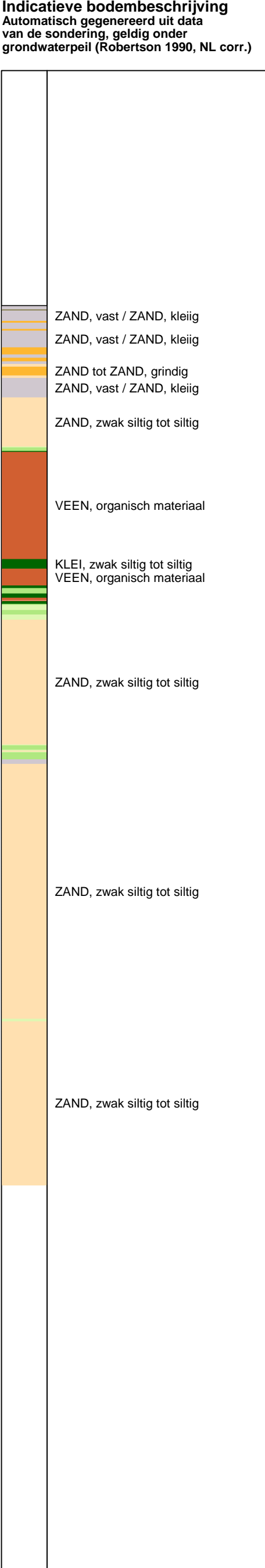
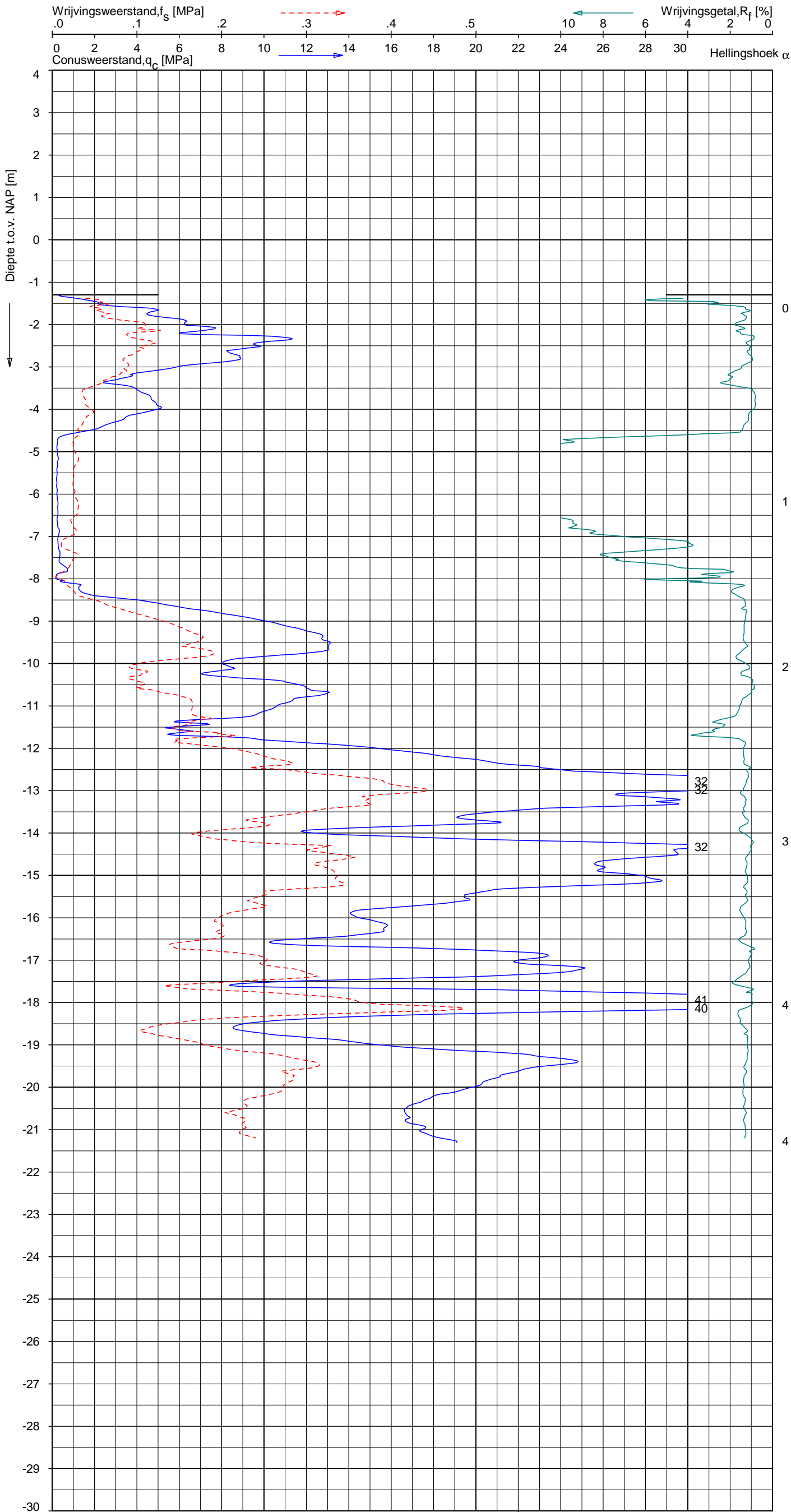
Opg. : CMMV d.d. 07-jun-2013 Coord.: X=128474.1 m Y= 481174.9 m Systeem: RD Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1  
Get. : VALKF d.d. 11-jun-2013 MV = NAP +0.53 m Conus: F7.5CKE2HA/B 1701-2562 Toepassingsklasse 3. Test type TE1  
Conustype:  $A_c = 1500 \text{ mm}^2$ ;  $A_s = 19956 \text{ mm}^2$



SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

FLANKENONDERZOEK A1 - A6

Opdr. 1012-0303-001  
Sond. DKM08



Opg. : CMMV d.d. 07-jun-2013 Coord.: X=128478.8m Y=481168.9m Systeem: RD Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1  
Get. : VALKF d.d. 11-jun-2013 MV = NAP -1.30m Conus: F7.5CKE2HA/B 1701-2562 Toepassingsklasse 3. Test type TE1  
Conustype:  $A_c = 1500 \text{ mm}^2$ ;  $A_s = 19956 \text{ mm}^2$



SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

FLANKENONDERZOEK A1 - A6

Opdr. 1012-0303-001  
Sond. DKM09






# LEGENDA TERREINPROEVEN EN GRONDSOORTEN

## BORINGEN / PEILBUIZEN

	mechanische boring (B)
	handboring (HB)
	niet uitgevoerde boring
	niet uitgevoerde handboring
	boring met peilbuis
	boring met peilbuis, ondiep en diep filter
	boring met peilbuis, ondiep, middeldiep en diep filter
	handboring met peilbuis
	hellingmeterbuis (HMB)
	gedrukte peilbuis (PB) / minifilter (MF)
	boring derden
	boring derden met peilbuis

## SONDERINGEN

	diep-/diepzware sondering
	middelzware sondering
	diep-/diepzware sondering met plaatselijke kleefmeting
	middelzware sondering met plaatselijke kleefmeting
	slagsondering
	niet uitgevoerde sondering
	waterspanningsmeter (WSM)
	sondering derden
	sondering derden met plaatselijke kleefmeting

## Type sonderingen






M	middelzware sondering
D	diepsondering
DZ	diepzware sondering
S	slagsondering

## Toegevoegde metingen






KM	meting van de plaatselijke kleef
P	meting van waterspanning
M	meting van de magnetische veldsterkte
G	meting van de geleidbaarheid
S	meting van de schuifgolfsnelheid (seismische meting)
T	meting van de temperatuur

## LEGENDA / TERMINOLOGIE

### grind

	Grind, siltig
	Grind, zwak zandig
	Grind, matig zandig
	Grind, sterk zandig
	Grind, uiterst zandig

### zand

	Zand, kleilig
	Zand, zwak siltig
	Zand, matig siltig
	Zand, sterk siltig
	Zand, uiterst siltig



### veen

	Veen, mineraalarm
	Veen, zwak kleilig
	Veen, sterk kleilig
	Veen, zwak zandig
	Veen, sterk zandig







### klei

	Klei, zwak siltig
	Klei, matig siltig
	Klei, sterk siltig
	Klei, uiterst siltig
	Klei, zwak zandig
	Klei, matig zandig
	Klei, sterk zandig

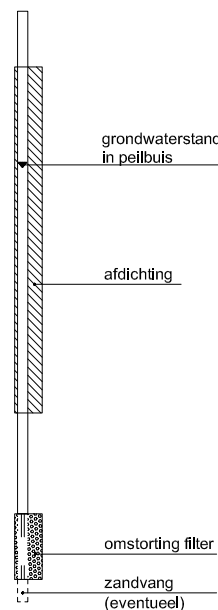
### leem

	Leem, zwak zandig
	Leem, sterk zandig



## Overige toevoegingen

	zwak humeus
	matig humeus
	sterk humeus
	zwak grindig
	matig grindig
	sterk grindig







## Peilbuis



## Monsters

	geroerd monster
	ongeroerd monster

## Overig

	gemiddeld hoogste grondwaterstand
	grondwaterstand
	gemiddeld laagste grondwaterstand
	slib
	verharding / kern / asfalt
	puin

# Bijlage 7



### Meettechniek

De standaard bij Fugro toegepaste conus is de “elektrische kleefmantelconus”, waarmee de conusweerstand, de plaatselijke wrijvingsweerstand en de helling gelijktijdig worden gemeten. Sinds februari 2013 is de nieuwe norm *NEN-EN-ISO 22476-1:2012/C1:2013 Geotechnisch onderzoek en beproeving - Veldproeven - Deel 1: Elektrische sondering met en zonder waterspanningsmeting* van toepassing als vervanging van NEN 5140, die is terug getrokken. In NEN 9997-1 wordt echter nog wel verwezen naar NEN 5140.

Bij het uitvoeren van een sondering conform *NEN-EN-ISO 22476-1:2012/C1:2013* wordt de puntweerstand gemeten, die moet worden overwonnen om een conus met een tophoek van  $60^\circ$  en een basisoppervlak van  $1000 \text{ mm}^2$  met een constante snelheid van ca  $20 \text{ mm/s}$  in de bodem te drukken. Voor de meting van de wrijvingsweerstand is een mantel met een oppervlak van  $15000 \text{ mm}^2$  boven de punt aangebracht. De druk op de conuspunt (conusweerstand in MPa) en de wrijving langs de kleefmantel (plaatselijke wrijvingsweerstand in MPa) worden door rekstroken in de conus continu digitaal gemeten. Volgens *NEN-EN-ISO 22476-1* mag het basisoppervlak van de conus tussen 500 en  $2000 \text{ mm}^2$  variëren zonder dat correctiefactoren op de meetresultaten moeten worden toegepast. Fugro sonderingen worden standaard uitgevoerd met een sondeerconus met een basisoppervlak van  $1500 \text{ mm}^2$  en een manteloppervlak van  $20000 \text{ mm}^2$ .

Veelal wordt gebruik gemaakt van een conus met een korter cilindrisch deel boven de conuspunt dan in *NEN-EN-ISO 22476-1* vermelde 400 mm voor een standaard conus. Het cilindrische deel vanaf de conuspunt van de standaard door Fugro gebruikte conussen een lengte heeft van 230 mm in plaats van de genormeerde lengte. Onderzoek<sup>1)</sup> heeft aangetoond, dat de invloed van de lengte van deze conus op het sondeerresultaat verwaarloosbaar is, terwijl met een kortere conus met minder risico een grotere sondeerdiepte kan worden bereikt.

De meetsignalen worden digitaal naar een elektrische meeteenheid gestuurd en samen met de diepte en de tijd opgeslagen. Definitieve verwerking vindt daarna op kantoor plaats, waarbij de gemeten parameters tegen de diepte in grafiekvorm worden uitgewerkt. Door continue registratie van de gemeten conus- en wrijvingsweerstand wordt een nauwkeurig beeld van de gelaagdheid en de vastheid van de bodem verkregen.

Afwijking van de conus met de verticaal worden continu geregistreerd, waarmee bij de uitwerking de diepte wordt gecorrigeerd en zo een onjuiste diepte-aanduiding als gevolg van “scheef sonderen” wordt voorkomen.

### Interpretatie van de sonderingen met plaatselijke wrijvingsweerstand

Meting van zowel de conusweerstand  $q_c$  als de plaatselijke wrijvingsweerstand  $f_s$  maakt het mogelijk het wrijvingsgetal  $R_f$  te berekenen. Het wrijvingsgetal wordt gedefinieerd als het quotiënt van de plaatselijke wrijving en de op gelijke diepte gemeten conusweerstand in procenten. Hierbij wordt rekening gehouden met laagscheidingen ter hoogte van de mantel.

Het wrijvingsgetal  $R_f$  geeft samen met de conusweerstand  $q_c$  een goed beeld van de bodemopbouw *beneden* de grondwaterspiegel. In de onderstaande tabel zijn enige kenmerkende waarden van het wrijvingsgetal aangegeven. *Met nadruk dient te worden gesteld dat deze waarden slechts indicatief zijn en getoetst dienen te worden aan boringen of lokale ervaring en uitsluitend gelden voor de cilindrische elektrische conus.*

grondsoort	wrijvingsgetal in %	grondsoort	Wrijvingsgetal in %
Grind, grof zand	0,2 – 0,6	Klei	3,0 – 5,0
Zand	0,6 – 1,2	Potklei	5,0 – 7,0
Silt, leem, löss	1,2 – 4,0	Veen	5,0 – 10,0

In geroerde grond en in grond boven de grondwaterspiegel kunnen grote afwijkingen ten opzichte van de genoemde waarden voorkomen en gelden deze waarden niet.

<sup>1)</sup> Lunne en Powell, A comparison of different sized piezocones in UK clays.

## Presentatie sondeergegevens

Sonderingen kunnen worden uitgewerkt met interpretatie van het wrijvingsgetal voor identificatie van de bodemlagen. De identificatie van de bodemlagen is dan uitgevoerd volgens Robertson [1990]<sup>2</sup>, die door Fugro is aangepast aan de Nederlandse omstandigheden. Bij deze interpretatie wordt uitgegaan van de genormaliseerde waarden van de conusweerstand  $nQ_c$  en wrijvingsgetal  $nR_f$  als ingangsparameters.

De genormaliseerde waarden van de conusweerstand  $nQ_c$  en wrijvingsgetal  $nR_f$  worden berekend, uit de gemeten wrijvingsweerstand  $f_s$  en conusweerstand  $q_c$ , indien mogelijk gecorrigeerd voor de waterspanning en de verticale effectieve - en totale grondspanning volgens de onderstaande formules.

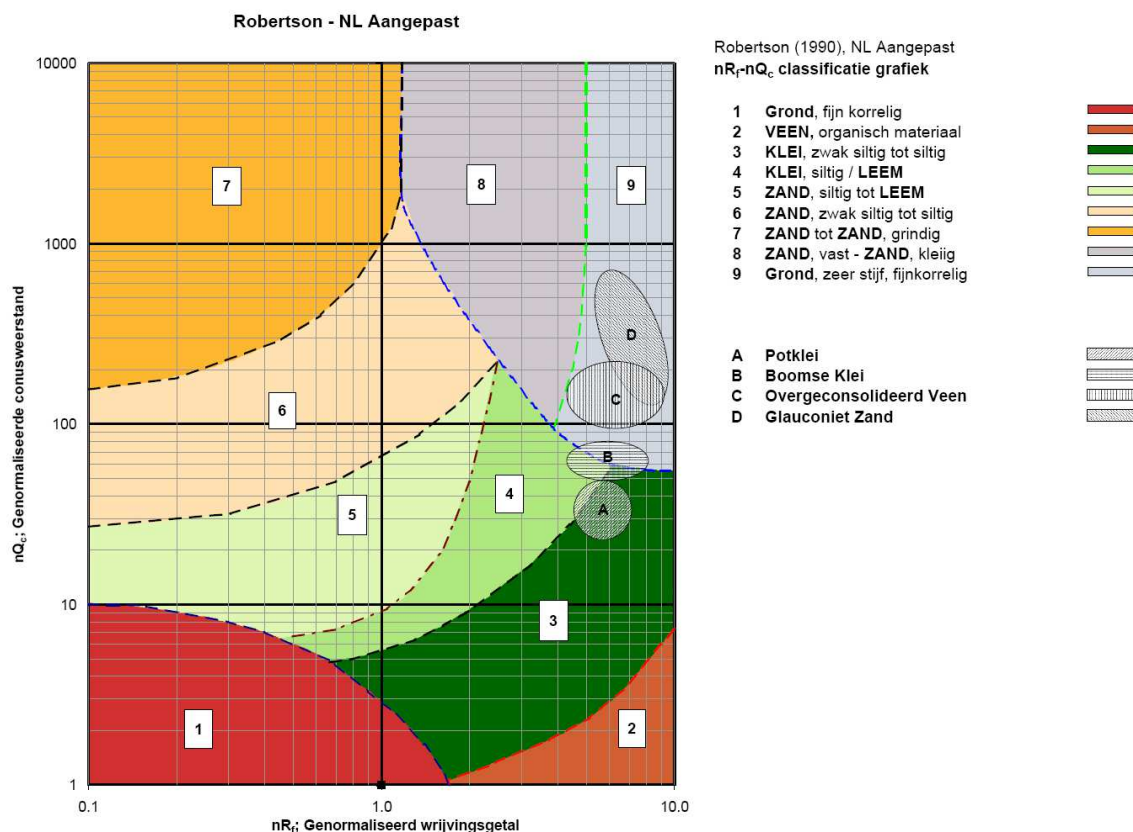
Genormaliseerde conusweerstand: 
$$nQ_c = \frac{q_t - \sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}}$$

Genormaliseerd wrijvingsgetal: 
$$nR_f = \frac{100 \cdot f_s}{q_t - \sigma_{v0}}$$

In geval er geen waterspanning is gemeten, wordt voor  $q_t$  de waarde van  $q_c$  gebruikt.

Voor de grondsoorten, die specifiek zijn voor de Nederlandse ondergrond condities, zijn in de Bodem Classificatiegrafiek van Robertson [1990] twee aanpassingen gedaan om de Nederlandse situatie beter te beschrijven:

- Gebieden 4 en 5 zijn anders ingedeeld, zodat losgepakte zanden en ondiepe kleilagen beter worden geïnterpreteerd. Deze aanpassingen zijn in onderstaande figuur weergegeven.
- Bovendien is een extra voorwaarde ingebracht om Holocene veenlagen goed te kunnen classificeren. Voor  $q_c < 1,5$  MPa en  $R_f > 5$  % wordt de grond als veen geclassificeerd.



<sup>2</sup> Robertson, P.K. [1990] "Soil Classification using the cone penetration test". Canadian Geotechnical Journal, 27(1), 151-8<sup>2</sup>



## CONTINU ELEKTRISCH SONDEREN

Voor een aantal specifieke grondtypen, zoals bijvoorbeeld Potklei, Boomse klei, overgeconsolideerd veen en glauconiethoudend zand is tevens het classificatie gebied aangegeven. Deze stemmen niet direct overeen met de benamingen van gebieden 1 tot en met 9.

De identificatie is indicatief en alleen geldig voor lagen onder de grondwaterstand. De resultaten dienen te worden geverifieerd met boringen of geologische informatie. Uitgedroogde cohesieve toplagen geven een te hoge waarde worden voor het wrijvingsgetal, waardoor bijvoorbeeld uitgedroogde kleilagen mogelijk onterecht worden geïnterpreteerd als veenlagen. Ook is de correlatie voor de toplagen minder betrouwbaar vanwege het lage effectieve spanningsniveau in deze lagen.

### Andere conustypen

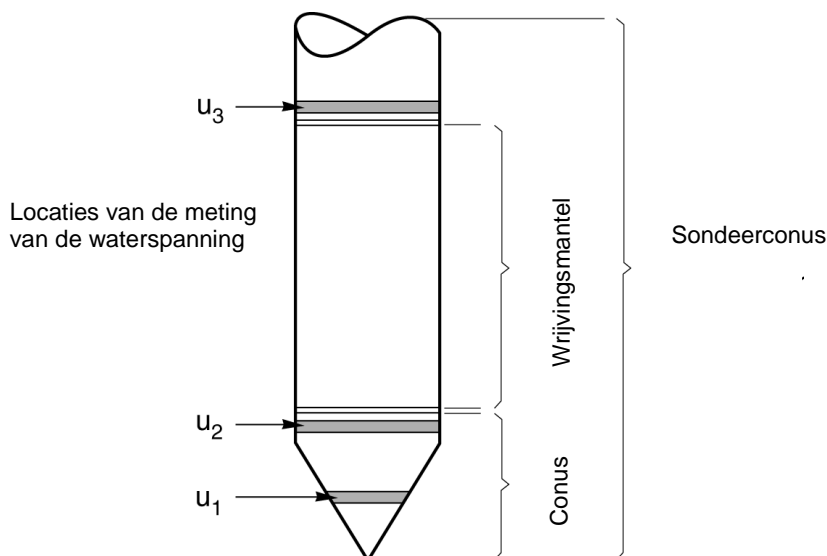
Naast de meting van conusweerstand en plaatselijke wrijving is het mogelijk extra (combinaties van)

type meting	Meetresultaten	toepassingsmogelijkheden
waterspanning	waterspanning ter plaatse van de punt	registreren waterremmende lagen indicatie stijghoogte grondwater classificatie / gelaagdheid bodem
magnetometer	Magnetische veldsterkte in 3 orthogonale richtingen (X,Y,Z)	Blindganger onderzoek, onderzoek ligging obstakels (stalen leidingen, grondankers), onderzoek paalpunt niveau / schoorstand funderingspalen, onderzoek ligging onderzijde stalen damwanden
geleidbaarheid	elektrische geleiding grond en grondwater	indicatie waterkwaliteit / zoet - zout water grens onderzoek verspreiding verontreiniging
temperatuur	temperatuurmeting op verschillende diepten	warmteoverdracht in de bodem bepaling temperatuurgradiënt
schuifgolfsnelheid (seismisch)	dynamische bodemparameters op verschillende diepten	machinefunderingen, windturbinefunderingen
versnelling	versnellingen op verschillende diepten	heitrillingen / verkeerstrillingen
MIP (membrane interface probe)	verticale verspreiding van vluchtige (gechloreerde) koolwaterstoffen	bestudering zak/drijfslagen en/of verontreinigingen met vluchtige (gechloreerde) koolwaterstoffen
ROST (rapid optical screening tool)	verticale verspreiding van (aromatische) koolwaterstoffen	bestudering zak/drijfslagen en/of verontreinigingen met (aromatische) koolwaterstoffen

metingen uit te voeren. In onderstaand schema zijn enkele mogelijkheden aangegeven. Indien gewenst kan nadere informatie over metingen en toepassingsmogelijkheden worden verschaft.

### Waterspanningssonderingen

Naast registratie van conusweerstand en plaatselijke wrijvingsweerstand wordt bij een groot deel van de sonderingen waterspanning geregistreerd. Een waterspanningsconus is voorzien van een ingebouwde druksensor, waarmee de waterdruk tijdens het sonderen wordt gemeten. Een filter voorkomt het contact van grond met de druksensor. De waterdruk kan op drie locaties in de conus worden gemeten waarbij de posities  $u_1$  en  $u_2$  veelvuldig voorkomen. Positie  $u_3$  wordt zelden toegepast. Slechts een kleine hoeveelheid water ( $0,2 \text{ mm}^3$ ) is nodig om een nauwkeurige waterdruk te meten. Het meetbereik kan worden gekozen afhankelijk van de te verwachten wateroverspanning. In stijve kleien kan deze oplopen tot meer dan 3 MPa.



*Figuur 1 Principe piëzo-conus*

### **Uitvoeringswijze**

Om een juiste meting van de waterspanning te verkrijgen, dient het gehele meetsysteem volledig ontlucht en gevuld te zijn met een weinig samendrukbare vloeistof. Om te voorkomen dat de vloeistof tijdens het sonderen in de onverzadigde lagen boven de grondwaterstand wegvloeit zijn een juiste keuze van vloeistof, het gebruik van een rubber membraan, een goede uitvoering en de poriëngrootte van het filter belangrijk.

Indien het grondwater relatief ondiep aanwezig is, wordt bij voorkeur voorgeboord tot het niveau van de grondwaterspiegel teneinde luchttoetreding te voorkomen. Hiermee wordt ook de kans op beschadiging en in de grond achterblijven van het rubber membraan verkleind.

### **Interpretatie**

De resultaten van de piëzo-sonderingen bestaan uit de gemeten conusweerstand ( $q_c$ ), de plaatselijke wrijvingsweerstand ( $f_s$ ), het wrijvingsgetal ( $R_f$ ), de gemeten waterspanning ( $u_1$  of  $u_2$  respectievelijk in de punt en achter de punt) en de wateroverspanningindex  $B_q$ .

De resultaten van de waterspanningsmeting tijdens het sonderen vormen uit grondmechanisch en geohydrologisch oogpunt een belangrijke extra informatiebron voor de interpretatie van de bodemopbouw. Door combinatie van de meting van de conusweerstand en de waterspanning, bij voorkeur samen met de plaatselijke wrijvingsweerstand, wordt optimaal gebruik gemaakt van de sondeertechniek en kan het benodigde aanvullend grondonderzoek efficiënter worden gepland.

Bij de interpretatie speelt met name de wateroverspanning een rol, dat wil zeggen de verhoging van de waterspanning die door het indrukken van de conus ontstaan is.

Dunne cohesieve laagjes in een zandpakket en dunne zandlaagjes in een kleipakket, die in de conusweerstand en de plaatselijke wrijvingsweerstand door uitmiddeling niet of slecht zichtbaar zijn, kunnen goed worden gedetecteerd aan de hand van de water(over)spanningen, die door het sonderen ontstaan. Deze laagjes kunnen van groot belang zijn voor het zettingsgedrag van funderingen en voor de verticale (on)doorlatendheid van de grond.

Verder kunnen met de piëzo-conus, met name via de  $u_1$ -meting, sterk gelaagde structuren van zand en klei onderscheiden worden van homogene lagen hetgeen op basis van conusweerstand en plaatselijke



wrijving in de meeste gevallen niet lukt. Aangetoond is dat het detectievermogen van de  $u_1$ -meting veel hoger is dan van de  $u_2$ -meting.

## Wateroverspanningindex $B_q$

Met de wateroverspanningindex  $B_q$  kan een meer nauwkeurige classificatie van de grondsoort worden verkregen. Deze index is de verhouding van de wateroverspanning en de netto conusweerstand  $q_{net}$ , zijnde de gemeten conusweerstand  $q_c$  gecorrigeerd voor de waterspanning op het netto oppervlak van de sondeerconus, rekeninghoudend met de heersende effectieve verticale spanning op het betreffende niveau. De wateroverspanningindex  $B_q$  wordt als volgt berekend:

$$B_q = \beta \cdot (u_1 - u_0) / q_{net} \quad \text{of} \quad B_q = (u_2 - u_0) / q_{net}$$

waarin:

- $\beta$  = factor voor de verschillende grondsoorten voor omrekening van  $u_1$  naar  $u_2$ ; standaard wordt hiervoor aangehouden 0,8, zijnde normaal geconsolideerde kleien (zie hierna volgende tabel);
- $q_{net}$  =  $q_t - \sigma_{v0}$  = netto conusweerstand;
- $q_t$  =  $q_c + (1-a) \cdot \{\beta \cdot (u_1 - u_0) + u_0\}$  voor een filter in de conuspunt;  
 =  $q_c + (1-a) \cdot u_2$  voor een filter direct achter de conuspunt;
- $\sigma_{v0}$  = de verticale grondspanning; standaard wordt hierbij uitgegaan van een gemiddeld volumiek gewicht van de bodemlagen van  $14 \text{ kN/m}^3$  en een grondwaterstand op 1 m beneden maaiveld;
- $a$  = netto oppervlakteverhoudingscoëfficiënt van de conus i.v.m. de spleet achter de conuspunt;
- $u_1$  = de gemeten waterdruk bij een filterplaatsing *in* de punt;
- $u_2$  = de gemeten waterdruk bij een filterplaatsing *achter* de punt;
- $u_0$  = de hydrostatische stijghoogte; standaard wordt hiervoor in de berekening een niveau uitgegaan van 1 m beneden maaiveld.

Voor andere grondsoorten zijn de  $\beta$ -factoren in onderstaande tabel gegeven.

Grond gedrag	$\beta$ -factor
Normaal geconsolideerde klei	0,6 - 0,8
Licht overgeconsolideerde klei	0,5 - 0,7
Sterk overgeconsolideerde klei	0 <sup>1)</sup> - 0,3
Leem samendrukbaar	0,5 - 0,6
Leem, vast en dillatant gedrag	0 <sup>1)</sup> - 0,2
Zand siltig, los gepakt	0,2 - 0,4

<sup>1)</sup> Bij meting van de waterspanning achter de conuspunt worden in bepaalde gevallen negatieve waterspanningen gemeten. Deze waarden geven nauwelijks een indicatie van de doorlatendheid, doch alleen over het materiaalgedrag.

## Dissipatietest

Het is ook mogelijk het sondeerproces op een bepaalde diepte tijdelijk te stoppen en de afname van de wateroverspanning (dissipatie) als functie van de tijd te registreren. Daarna kan het sondeerproces worden voortgezet.

In doorlatende gronden geeft de dissipatietest een goed beeld van de heersende hydrostatische waterspanning en daarmee van de stijghoogte. Het betreft slechts een indicatie aangezien de meetnauwkeurigheid beperkt is. Door het uitvoeren van meerdere metingen in een grondlaag en de gemiddelde waarde van de stijghoogte te bepalen kan een beduidend hogere nauwkeurigheid worden behaald. Ervaring leert dat de onnauwkeurigheid circa 0,5 m bedraagt.

Voor een meer nauwkeurige bepaling en de optredende fluctuaties zijn peilbuismetingen over een langere waarnemingsperiode nodig, afhankelijk van het doel.

In slecht doorlatende, cohesieve lagen kan met behulp van de dissipatietest een indicatie van de consolidatiecoëfficiënt en daarmee van de verticale (on)doorlatendheid worden verkregen. Hierbij dient

de dissipatietest te worden voortgezet totdat de wateroverspanning tenminste met 50 % is afgenomen. In de praktijk komt dat overeen met circa 1/2 uur à 3/4 uur.

Uit berekeningen en kwalitatieve vergelijking van de metingen wordt inzicht verkregen in het consolidatiegedrag van de grond.

Voor het vaststellen van de heersende hydrostatische waterspanning in kleilagen is de dissipatietest in de meeste gevallen weinig geschikt, vanwege de benodigde lange aanpassingstijd en de onnauwkeurigheid.

#### **Klassenindeling EN-ISO 22476-1**

Voorafgaand aan de uitvoering diende een keuze te worden gemaakt binnen welke kwaliteitsklasse met bijbehorende toelaatbare meetonzekerheid het werk minimaal uitgevoerd moet worden. De klassenindeling heeft voornamelijk betrekking op de nauwkeurigheid van de gemeten parameters.

Door invoering van de Eurocode is op Europees niveau de internationale sondeernorm EN-ISO 22476-1 "Electrical cone and piezocone testing" ontwikkeld, welke de oorspronkelijke NEN 5140 heeft vervangen. De nieuwe elektrische sondeernorm **EN-ISO 22476-1** is in opzet vergelijkbaar met de oude Nederlandse norm NEN 5140 voor elektrische sonderingen. Een verschil tussen norm **EN-ISO 22476-1** met NEN 5140 is dat in de nieuwe norm de nauwkeurigheid van de meetresultaten wordt gekoppeld aan het toepassingsgebied met bijbehorend bodemkenmerken / geschiktheid voor interpretatie en afleiding van bodemparameters. Verder is de meting van de waterspanning genormeerd.

In de Europese tabel van sondeerklassen worden de sondeerklassen ingedeeld naar de toepassing van de sondering, zie onderstaande tabel.



**Toepassing klassen volgens NEN-EN-ISO 22476-1:2012**

Toepassing Klasse	Test type	Gemeten parameter	Toegestane minimum nauwkeurigheid <sup>a</sup>	Maximum lengte tussen metingen	Gebruik	
					Grondsoort <sup>b</sup>	Interpretatie <sup>c</sup>
1	TE 2	Conus weerstand Mantel wrijving Waterspanning Helling Sondeerlengte	35 kPa of 5 % 5 kPa of 10 % 10kPa of 2 % 2° 0,1 m of 1%	20 mm	A	G, H
2	TE1 TE2	Conus weerstand Mantel wrijving Waterspanning Helling Sondeerlengte	100 kPa of 5 % 15 kPa of 15 % 25 kPa of 3 % 2° 0,1 m of 1 %	20 mm	A B C D	G, H* G, H G, H G, H
3	TE1 TE2	Conus weerstand Mantel wrijving Waterspanning <sup>d</sup> Helling Sondeerlengte	200 kPa of 5 % 25 kPa of 15 % 50 kPa of 5 % 5° 0,2 m of 2 %	50 mm	A B C D	G G, H* G, H G, H
4	TE1	Conus weerstand Mantel wrijving Sondeerlengte	500 kPa of 5 % 50 kPa of 20 % 0,2 m of 1 %	50 mm	A B C D	G* G* G* G*
NOOT 1     Richtlijnen voor gebruik van Tabel 2 zijn gegeven in bijlage F.						
NOOT 2     Voor uiterst slappe gronden maken soms nog hogere nauwkeurigheden noodzakelijk.						
<sup>a</sup> De toegestane minimum nauwkeurigheid van de gemeten parameters is de grootste van de twee genoemde. De relatieve nauwkeurigheid geldt voor de gemeten waarde en niet voor het meetbereik. <sup>b</sup> Volgens ISO 14688-2: A Homogene gronden bestaande uit zeer slappe tot stijve kleien (en silt) ( $q_c < 3$ MPa) B Gemengde bodemprofielen met slappe tot stijve kleien ( $q_c \leq 3$ MPa) en matig vaste tot vaste zanden (conusweerstand $5 \text{ MPa} \leq q_c < 10 \text{ MPa}$ ) C Gemengde bodemprofielen met stijve kleien (conusweerstand $1,5 \text{ MPa} \leq q_c < 3 \text{ MPa}$ ) en zeer dichte zanden ( $q_c > 20 \text{ MPa}$ ) D Zeer stijve tot harde kleien ( $q_c \geq 3 \text{ MPa}$ ) en zeer vaste grove gronden ( $q_c \geq 20 \text{ MPa}$ ) <sup>c</sup> G vaststelling bodemprofiel en bepaling van grondsoort met een laag niveau van onzekerheid G* indicatieve vaststelling bodemprofiel en bepaling van grondsoort met een hoog niveau van onzekerheid H interpretatie met betrekking tot ontwerp met een laag niveau van onzekerheid H* interpretatie met betrekking tot ontwerp met een hoog niveau van onzekerheid <sup>d</sup> Waterspanning kan alleen worden gemeten als TE2 wordt toegepast.						

Voor projecten, waarbij parameters op basis van Tabel 2.b NEN 9997-1 worden afgeleid, is een hoge nauwkeurigheidsklasse gewenst. Het is echter in een bodemgesteldheid met zowel zeer slappe grondlagen als zeer vaste zandlagen met hoge conusweerstand onmogelijk om aan de eisen van toepassing klasse 1 voldoen zoals ook blijkt uit de bovenstaande tabel. Het bij Fugro gehanteerde

## CONTINU ELEKTRISCH SONDEREN

meetsysteem voor sonderen is bijzonder nauwkeurig door toepassing van digitale conussen, strikte kwaliteitscontroles en calibraties. In de praktijk is gebleken dat standaard Fugro sonderingen in de nieuwe norm tenminste in toepassingsklasse 3 vallen en voor een groot deel binnen klasse 2. Sonderingen volgens toepassingsklasse 3 in de nieuwe norm zijn vergelijkbaar met sonderingen volgens klasse 2 van de oude NEN 5140.

Toepassingsklasse 1 sonderingen kunnen alleen met speciale gevoelige conussen met een beperkt meetbereik en een kleibodemprofiel met  $q_c < 3$  MPa worden bereikt. In bodemprofielen waarin zowel zeer slappe lagen als zeer vaste lagen voorkomen kan de hoogste meetnauwkeurigheid van klasse 1 enigszins worden benaderd door aanvullende maatregelen en procedures. Toepassingsklasse 2 sonderingen kunnen in bodemprofielen, waarin zowel zeer slappe lagen als zeer vaste lagen voorkomen, alleen worden verkregen door toepassing van digitale conussen met regelmatige calibraties, aanvullende uitvoeringsmaatregelen en kwaliteitscontroles. Toepassingsklasse 1 is in deze bodem niet haalbaar. De enige praktische indicatie over de bereikte sondeerklasse is controle van calibraties en 0-puntsverlopen tussen het begin en eind van de sondering.

In de praktijk komt het af en toe voor dat sonderingen worden uitgevoerd, waarbij door de opdrachtgever is aangegeven dat de maaiveldhoogte niet ten opzichte van een vast referentiepeil (NAP) hoeft te worden vastgelegd. Deze sonderingen voldoen derhalve op dit punt niet aan **EN-ISO 22476-1**.

### Klassenindeling NEN 5140

De norm NEN 5140 ging uit van vier kwaliteitsklassen. Voorafgaand aan de uitvoering diende een keuze te worden gemaakt binnen welke kwaliteitsklasse met bijbehorende toelaatbare meetonzekerheid het werk minimaal uitgevoerd moet worden. De klassenindeling heeft voornamelijk betrekking op de nauwkeurigheid van de gemeten conusweerstand, plaatselijke wrijvingsweerstand en diepte, zoals blijkt uit de onderstaande tabel.

klasse	Meetgrootheid	toelaatbare meetonzekerheid	meetinterval
1	Conusweerstand	0,05 MPa of 3%	20 mm
	Plaatselijke wrijvingsweerstand	0,01 MPa of 10%	
	Helling	2°	
	Sondeerdiepte	0,2 m of 1 %	
2	Conusweerstand	0,25 MPa of 5%	50 mm
	Plaatselijke wrijvingsweerstand	0,05 MPa of 15%	
	Helling	2°	
	Sondeerdiepte	0,2 m of 2 %	
3	Conusweerstand	0,5 MPa of 5%	100 mm
	Plaatselijke wrijvingsweerstand	0,05 MPa of 20%	
	Helling	5°	
	Sondeerdiepte	0,2 m of 2 %	
4	Conusweerstand	0,5 MPa of 5%	100 mm
	Plaatselijke wrijvingsweerstand	0,05 MPa of 20%	
	Sondeerlengte	0,1 m of 1%	
Opmerking: De toelaatbare meetonzekerheid is de grotere waarde van de absolute meetonzekerheid en de relatieve meetonzekerheid. De relatieve meetonzekerheid geldt voor de meetwaarde en niet voor het meetbereik.			

Vergelijking van de gespecificeerde nauwkeurigheden van de NEN 5140 en NEN-EN-ISO 22476-1 laat zien dat de nauwkeurigheid van de meest in NL gehanteerde sondeerklasse 2 volgens NEN 5140 iets hoger ligt dan die van de toepassingsklasse 3 volgens de ISO norm.