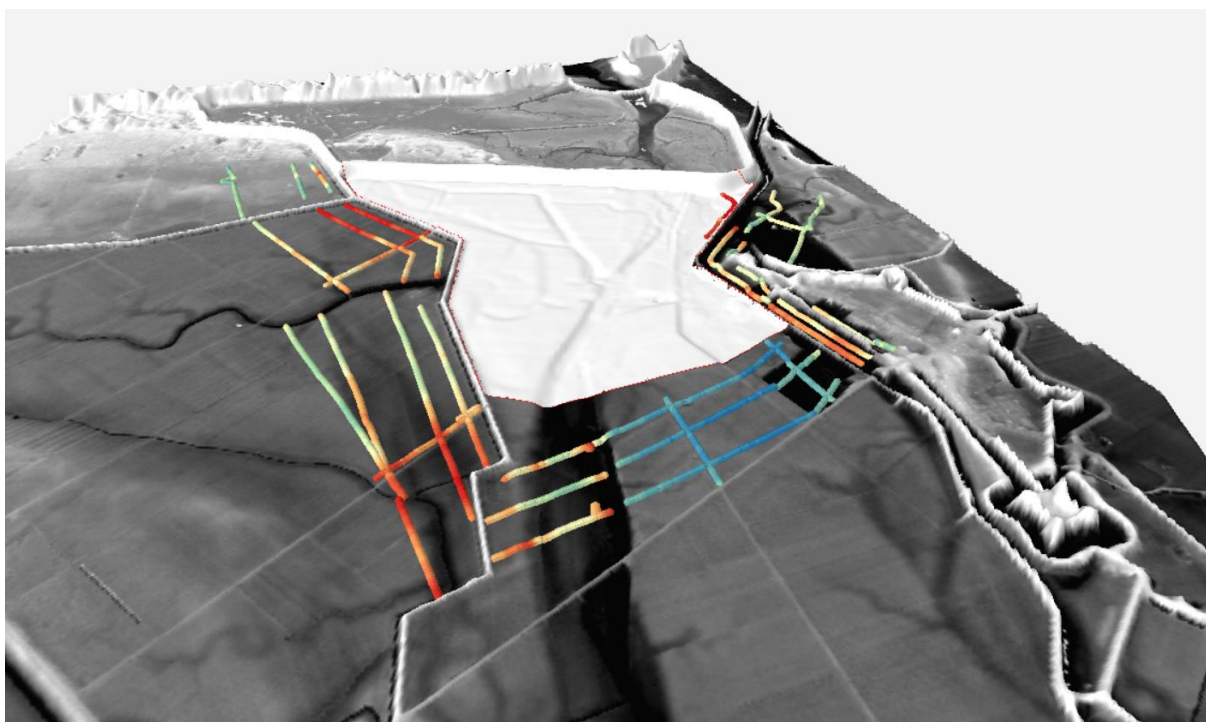


## Zwin uitbreiding

# T0-MONITORING GRONDWATERRESERVOIR

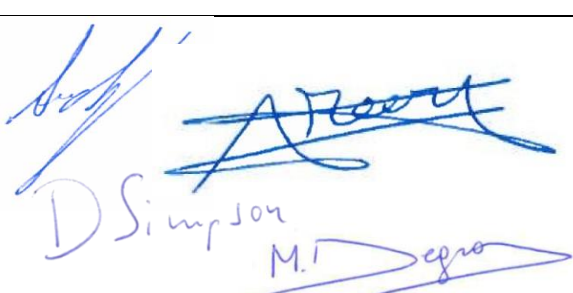
Eindrapport

16 maart 2017



Figuur 1: 3-D beeld van de EM31-metingen geprojecteerd op de Maaiveldhoogte.

## Colofon

Opdrachtgever:	Vlaams-Nederlandse Scheldecommissie (VNSC)	
Contactpersoon:	Elias Van Quickelborne	
Opdrachtnemer:	Envirosoil nv, Siemenslaan 13, B-8020 Oostkamp	
Contactpersoon:	ing. Andy Slabbinck & ing. Alexander Meerschaut	
Onderaannemer:	AGT nv, Kontichsesteenweg 38, B-2630 Aartselaar	
Contactpersoon:	Ir. David Simpson & Mathieu Degros	
Projecttitel:	Zwin uitbreiding	
Projectref ENVIROSOIL:	EB1510/011	
Projectref. AGT:	AGT1465	
Documenttitel:	T0-monitoring grondwaterreservoir	
Documenttype:	Eindrapport	
Documentreferentie:	2017 03 16-DSIM -AGT1465-Eindrapport-v2	
Datum:	16 maart 2017	
Versie:	2	
Status:	concept	
Auteur(s):	Handtekening(en):	Datum:
Ing. Andy Slabbinck Ing. Alexander Meerschaut Ir. David Simpson (AGT) Mathieu Degros (AGT)		16/3/2017

*Dit document is vertrouwelijk en mag enkel gebruikt worden door de opdrachtgever in functie van de vraagstelling waarvoor het document is opgesteld (beschreven in Hoofdstuk 1). Het document is als één geheel te beschouwen, delen van het document mogen niet los van het geheel worden gebruikt. Het document of onderdelen van het document mogen niet verspreid worden zonder toestemming van de opdrachtnemers.*

*De berekeningen in dit document zijn uitgevoerd volgens de huidige, gangbare codes van goede praktijk. De gehanteerde parameters in de berekeningen zijn geschatte waarden van de werkelijkheid op basis van metingen, literatuurwaarden en expertise. De opdrachtnemers kunnen niet aansprakelijk gesteld worden voor eventuele afwijkingen van de parameters ten opzichte van de werkelijke waarden of toekomstige veranderingen in de gangbare codes van goede praktijk.*

*Bij uitvoering van werken die gebaseerd zijn op dit document, kunnen de opdrachtnemers niet aansprakelijk gesteld worden voor materiële en immateriële schade. Het document heeft geen enkele juridische waarde en mag dus niet gebruikt worden in een rechtbank, tenzij de juridische waarde expliciet vermeld is door de opdrachtnemers.*

## Inhoudsopgave

1	Inleiding .....	1
1.1	Vraagstelling .....	1
1.2	Onderzoeksstrategie .....	1
1.3	Leeswijzer .....	3
2	Beschrijving van de individuele meetcampagnes .....	3
2.1	EM31-meting 1 in april 2014 .....	3
2.1.1	Principe van de elektromagnetische inductie meting in het frequentiedomein .....	3
2.1.2	Meetmethode .....	6
2.1.3	Gegevensverwerking .....	9
2.1.4	Meetresultaten .....	10
2.2	EM34-meting 1 in mei 2014 .....	12
2.2.1	Meetmethode .....	12
2.2.2	Gegevensverwerking .....	14
2.2.3	Meetresultaten .....	15
2.3	Prikstokmetingen test handtoestel in juli 2014 .....	17
2.3.1	Inleiding .....	17
2.3.2	Meetinstrument .....	17
2.3.3	Meetmethode .....	18
2.3.4	Verwerking van de metingen .....	19
2.3.5	Meetresultaten en verwerkte geleidbaarheidswaarden .....	19
2.3.6	Interpretaties en aanbevelingen .....	28
2.4	Plaatsing peilbuizen en boorgatmetingen in februari-april 2015 .....	28
2.4.1	Inleiding .....	28
2.4.2	Beschrijving van de veldmetingen .....	29
2.4.3	Resultaten en bespreking .....	35
2.4.4	Vergelijking met de oppervlakkige EM31 en EM34-metingen en de verziltingskaart .....	38
2.5	Monsternamen, analyse en peilmeting in december 2015 en juni/juli 2016 .....	43
2.5.1	Peilbuisbemonstering en analyse .....	43
2.5.2	Analyseresultaten .....	43
2.6	Prikstokmetingen met direct-push: meetrondes 1 en 2 in april en augustus 2016 .....	45
2.6.1	Meetmethode .....	45
2.6.2	Verwerking van de meetresultaten .....	47

2.6.3	Meetresultaten en interpretatie .....	47
2.7	EM-meting in de peilbuizen.....	55
2.7.1	Veldmetingen.....	55
2.7.2	Meetresultaten per peilbuis, in vergelijking met de meting in het voorjaar van 2015 ....	56
2.7.3	Vergelijking tussen de EC-profielen .....	58
2.8	EM31-meting 2 in augustus 2016.....	61
2.8.1	Meetmethode en verwerking.....	61
2.8.2	Meetresultaten .....	62
2.9	EM34-meting 2 in augustus 2016.....	63
2.9.1	Meetmethode en verwerking.....	63
2.9.2	Meetresultaten .....	63
2.10	Maandelijkse uitlezing van de grondwaterpeilen in de peilbuizen .....	64
2.10.1	Meetmethode.....	64
2.10.2	Verwerking van de gegevens .....	64
2.10.3	Meetresultaten .....	64
3	Besluiten.....	68
4	Voorstel voor monitoring in de nabije toekomst .....	69
5	Literatuur.....	70
6	Bijlagen.....	70

# 1 Inleiding

## 1.1 Vraagstelling

De uitbreiding van het Zwin-gebied heeft potentieel een impact op de grondwaterhuishouding in de polder. Het overstromen van de uitgebreide zone kan zowel verandering in de grondwaterpeilen teweegbrengen, als een wijziging van de zoet-zout grondwaterverdeling. Om deze effecten objectief te evalueren is het noodzakelijk om de huidige grondwaterpeilen en de zoet-zout grondwaterverdeling gedetailleerd te karteren. Deze huidige situatie wordt de tijdstip-nul of t0-situatie genoemd. Tijdens en na de uitvoeringswerken van de uitbreiding kan het zoet-zout waterevenwicht met deze t0-situatie vergeleken worden om na te gaan wat de effecten zijn op korte en lange termijn.

## 1.2 Onderzoeksstrategie

De t0-monitoring is gefocust op het gebied dat grenst aan de uitbreidingszone, aangezien daar de grootste veranderingen in de grondwaterhuishouding te verwachten zijn. De monitoring is een combinatie van puntmetingen en ruimtelijk dekkende metingen, om een zo volledig mogelijk beeld te krijgen van de zoet-zout verdeling en de grondwaterpeilen. Daarbij is ook op verschillende tijdstippen gemeten om de tijdsafhankelijke variatie in rekening te brengen. De volgende werkzaamheden werden uitgevoerd over de periode 2014-2016:

- Oppervlakte-dekkende elektromagnetische inductiemetingen, met de instrumenten EM31 (ondiep) en EM34 (diep). Deze metingen werden tweemaal uitgevoerd.
- Prikstokmetingen met een handbediend toestel. Deze meting bleek niet effectief te zijn, gezien de hoge conusweerstand van de grond.
- Plaatsing van bijkomende peilbuizen. Na de boring en voor de plaatsing van de peilbuizen werden geofysische boorgatmetingen uitgevoerd in het open boorgat.
- Geofysische EM-meting in de peilbuizen.
- Staalname en analyse van het grondwater in de peilbuizen, tweemaal.
- EC-Prikstokmetingen met behulp van een Geoprobe Direct-push boormachine. Deze metingen werden ook tweemaal uitgevoerd.
- Quasi-continue registratie van de grondwaterpeilen in de peilbuizen met automatische drukopnemers gedurende minstens één jaar.

Een tijdlijn van de uitgevoerde werkzaamheden is weergegeven in Tabel 2. Behalve de grondwaterpeilmetingen zijn al deze metingen gebaseerd op het principe dat bij toenemende zoutconcentraties de elektrische geleidbaarheid ("electrical conductivity" of EC) van water ook toeneemt. Door de EC te meten van het grondwater kan dus indirect het zoutgehalte worden bepaald. De relatie tussen het zoutgehalte uitgedrukt in Total Dissolved Solids en EC is weergegeven in Tabel 1.



Kwaliteitsklasse (De Moor & De Breuck, 1969)	TDS (mg/l) (De Moor & De Breuck, 1969)	Geleidbaarheid $\sigma$ (mS/m)
VF : zeer zoet	<200	> 5
F : zoet	200 - 400	5 - 10
MF : matig zoet	400 - 800	10 - 20
WF : zwak zoet	800 - 1600	20 - 40
MB : matig brak	1600 - 3200	40 - 80
B : brak	3200 - 6400	80 - 160
VB : zeer brak	6400 - 12800	160 - 320
MS : matig zout	12800 - 25600	320 - 640
S : zout	>25600	> 640

Tabel 2: tijdslijn van de uitgevoerde veldwerkzaamheden van 2014 tot 2016.

### 1.3 Leeswijzer

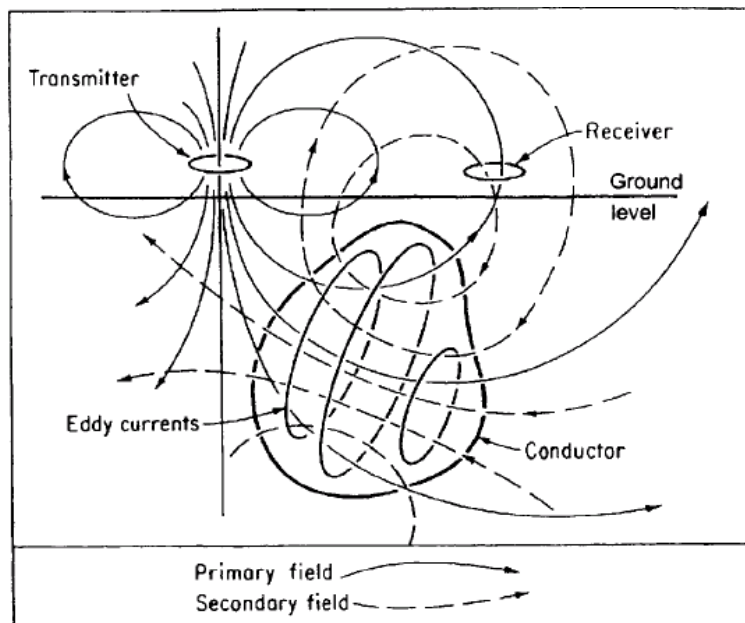
In de volgende hoofdstukken worden de meetcampagnes één voor één in chronologische volgorde van uitvoeren beschreven. De resultaten worden in hetzelfde hoofdstuk reeds voorgesteld en geïnterpreteerd. Daarbij worden de herhaalde metingen vergeleken met de voorgaande meetcampagnes en worden de metingen ook onderling vergeleken.

## 2 Beschrijving van de individuele meetcampagnes

### 2.1 EM31-meting 1 in april 2014

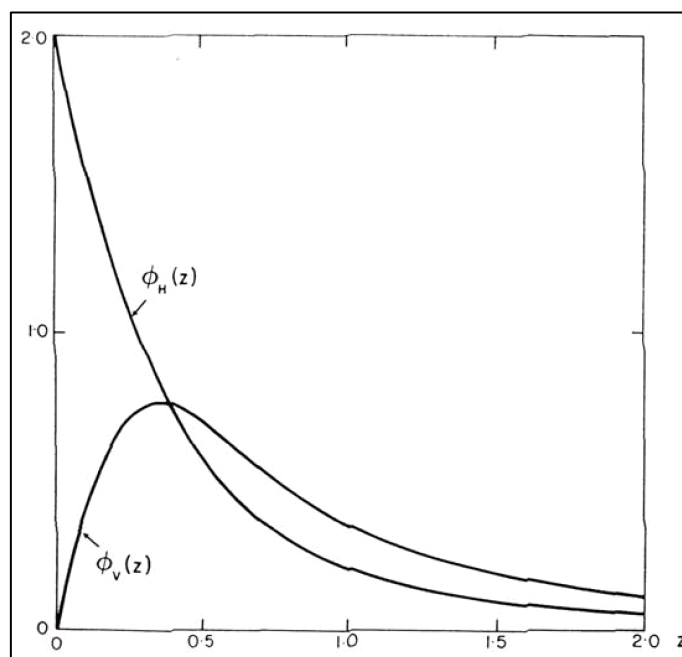
#### 2.1.1 Principe van de elektromagnetische inductie meting in het frequentiedomein

De EM31, EM34 en EM-metingen in de peilbuizen zijn allen gebaseerd op het principe van een elektromagnetische inductie meting in het frequentiedomein (Figuur 2). De sensor bestaat uit twee spoelen op een vaste afstand van elkaar, een zend- en een ontvangspoel. Doorheen de zendspoel wordt een wisselstroom gestuurd die een (elektro)magnetisch veld opwekt (het primaire veld). Dit magnetische veld induceert elektrische stromen in de ondergrond ("Eddy-currents"), volgens de vergelijking van Maxwell-Faraday. De elektrische stromen genereren op hun beurt een tweede (elektro)magnetisch veld (secundaire veld) volgens de vergelijking van Maxwell-Ampère. Zowel het primaire als het secundaire veld worden gemeten in de ontvangspoel. De elektrische geleidbaarheid van de ondergrond zal de sterkte van de elektrische stromen bepalen en dus ook de sterkte van het secundaire veld. Uit de verhouding tussen het secundaire en primaire veld kan daarom de elektrische geleidbaarheid van de ondergrond afgeleid worden. De meting kan zowel in het frequentiedomein als in het tijdsdomein worden uitgevoerd. Alle hier gebruikte sensoren zijn van het frequentiedomein-type. De helikopter EM-metingen die zijn uitgevoerd in dezelfde periode voor een ander project zijn tijdsdomein-type metingen.



Figuur 2: Principe van elektromagnetische inductiesensoren [3].

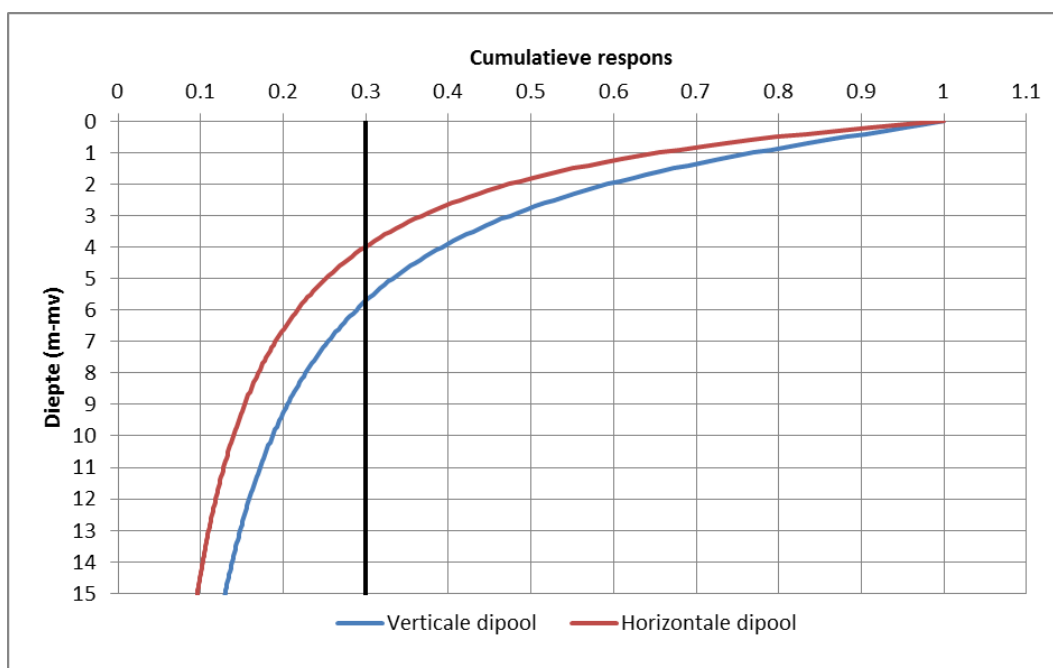
De afstand tussen de twee spoelen en de oriëntatie van de spoelen ten opzicht van elkaar en de ondergrond bepalen de dieptegevoeligheid van de sensor. Hoe groter de afstand, hoe groter het volume dat betrokken is bij de meting en dus hoe meer invloed van diepere grondlagen. Voor een horizontaal gelaagde ondergrond, kan onder bepaalde voorwaarden de dieptegevoeligheid worden uitgedrukt met analytische formules [1]. Zo kan een gevoeligheidsprofiel worden opgemaakt (Figuur 3) in functie van de diepte voor een spoelafstand van 1 m en verschillende spoeloriëntaties. Voor de andere spoelafstanden (EM31: 3,66 m; EM34: 10-20-40 m) geldt dezelfde grafiek als z vermenigvuldigd wordt met de spoelafstand.



Figuur 3: Relatieve gevoeligheid in functie van de diepte z, voor een spoelafstand van 1 m en de spoeloriëntaties horizontale dipool (H) en verticale dipool (V) [2].



Als de oppervlakte onder deze curve geïntegreerd wordt over de diepte, dan wordt de cumulatieve respons bekomen. Voor de EM31 is deze weergegeven in Figuur 4, rekening houdend met een luchtlaag van 1 m dik tussen de sensor en het maaiveld. De curve leest als volgt: op een diepte van 6 m-mv is 70 % (0,7) van de gemeten EC-waarde bepaald door de grondlagen boven 6 m-mv en 30 % (0,3) van de grondlagen die dieper liggen. Door een (arbitraire) grens te trekken van 70 %, kan een theoretische, maximale diepte worden afgeleid voor beide oriëntaties. Voor de horizontale dipooloriëntatie is dit ongeveer gelijk aan 4 m-mv en voor de verticale dipool 6 m-mv. Indien de sensor op de grond zou liggen is dit respectievelijk 3 en 6 m-mv (hierop is de maximale diepte uit de handleiding van de sensorproducent gebaseerd).



Figuur 4: Cumulatieve responscurves voor de beide sensororiëntaties.

Hierboven werd gesteld dat de meetwaarde van een elektromagnetische inductiesensor toeneemt met de geleidbaarheid van de ondergrond. Deze toename is lineair en kan gemakkelijk afgeleid worden onder voorwaarde van een lage geleidbaarheid. Bij hogere geleidbaarheden, voornamelijk boven de 100 mS/m, is deze relatie niet meer lineair en dienen de gemeten waarden naar boven aangepast te worden. Deze correctie is afhankelijk van de spoeloriëntatie, frequentie en spoelafstand en is gegeven door de complexe functies:

$$\left(\frac{H_s}{H_p}\right)_v = \frac{2}{(\gamma s)^2} \{9 - [9 + 9\gamma s + 4(\gamma s)^2 + (\gamma s)^3] e^{-\gamma s}\}$$

$$\left(\frac{H_s}{H_p}\right)_H = 2 \left[ 1 - \frac{3}{(\gamma s)^2} + [3 + 3\gamma s + (\gamma s)^2] \frac{e^{-\gamma s}}{(\gamma s)^2} \right]$$

where  $\gamma = \sqrt{i\omega\mu_0\sigma}$   
 $\omega = 2\pi f$   
 $f = \text{frequency (Hz)}$   
 $\mu_0 = \text{permeability of free space}$   
 $i = \sqrt{-1}$ .

Gezien zout grondwater aanleiding geeft tot een hoge geleidbaarheid, moeten de metingen dus ook gecorrigeerd worden door middel van deze functies. Verder heeft de temperatuur van de ondergrond

ook een invloed op de gemeten geleidbaarheid. Dit is vooral van belang voor ondiepe metingen, waarbij de temperatuur van de grond fluctueert in functie van de tijd.

De sensor meet een bulk volume van de ondergrond, dus zowel de vaste gronddeeltjes, het poriënwater en eventueel lucht (in de onverzadigde zone). De bulk elektrische geleidbaarheid wordt bepaald door de eigenschappen van deze drie fracties:

- Water is meer geleidend dan lucht, dus een onverzadigde grond is minder geleidbaar dan een verzadigde grond. Om dezelfde reden is een grondvolume met een hogere porositeit meer geleidend.
- Kleideeltjes adsorberen meer ionen dan zanddeeltjes, dus een kleigrond heeft een hogere geleidbaarheid dan een zandgrond.
- Opgeloste zouten verhogen sterk de geleidbaarheid van het poriënwater.

Voor de bepaling van de zoet-zout grondwaterverdeling wordt de derde factor gebruikt. Deze factor is ook de dominantste en geeft aanleiding tot veel hogere EC-waarden dan bekomen worden in zoete omstandigheden waar zelden hoger dan 150 mS/m wordt gemeten. Niettegenstaande de dominante invloed van zoutgehaltes, kunnen de andere factoren bij lage zoutgehaltes verstoringen werken voor de bepaling van de zoet-zoutverdeling.

Lokale artefacten kunnen ook een invloed hebben op de metingen, zoals prikkeldraad, metalen voorwerpen, microreliëf, wegverharding, nutsleidingen... Over het algemeen zijn deze verstoringen relatief weinig aanwezig op het gemeten terrein.

### 2.1.2 Meetmethode

De meting werd uitgevoerd met een EM31-MK2 meetinstrument geproduceerd door Geonics Ltd. (Figuur 5). Het toestel heeft een spoelafstand van 3,66 m en werd in zowel horizontale als verticale dipooloriëntatie gemeten (hiervoor wordt het instrument een kwartslag gedraaid over zijn lengteas).



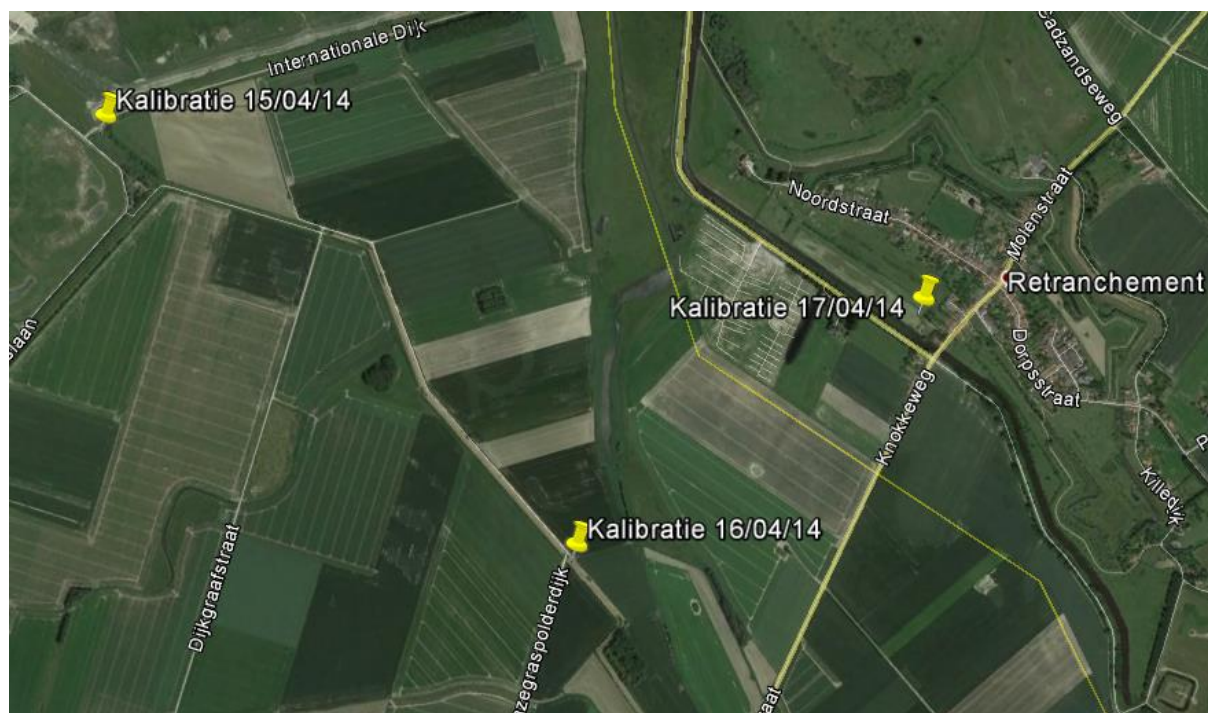
Figuur 5: Meting met een EM31-MK2 toestel op 17/04/2014 aan het Zwin.

In de praktijk wordt de meting als volgt uitgevoerd:

- Eén persoon houdt de sensor op heuphoogte en stapt over het terrein, langsheen vooraf uitgestippelde raaien;
- De sensor meet op iedere seconde de elektrische geleidbaarheid tijdens het afstappen;
- Tegelijk met de sensormetingen wordt ook de positie van de meting bepaald met een dGPS.

De meting gebeurt tweemaal over dezelfde raai in twee configuraties, waarbij de ene dipooloriëntatie (horizontaal) ondiep meet en de andere dipooloriëntatie (verticaal) dieper.

Op 15, 16 en 17 april 2014 zijn de EM31-metingen uitgevoerd door ir. David Simpson en Mathieu Degros (AGT) langsheen vooraf uitgestippelde raaien op de akkers en weiden rondom het natuurgebied Het Zwin. Iedere dag werd het EM31-MK2 toestel alvorens de start van de metingen gekalibreerd (Figuur 6 en Figuur 7). De metingen werden afwisselend uitgevoerd door twee personen (ir. David Simpson en Mathieu Degros). De kalibratieposities werden gemarkeerd met paaltjes (Figuur 7) en de posities geregistreerd met een GPS. Deze kalibratiepunten dienden als referentie voor de tweede meetcampagne. De eerste twee kalibratiepunten werden op een dijklichaam uitgevoerd, waar de invloed van het zout grondwater hoogstwaarschijnlijk minimaal is. Op dag 2 en 3 werd als eerste meting steeds een traject van de vorige dag deels opnieuw gemeten, om eventuele wijzingen in meetwaarden door de verschillende kalibraties aan te duiden. Verder werd de invloed van de verschillende positie van het toestel bij iedere persoon (heuphoogte) nagegaan door bij iedere afwisseling een uitgevoerd traject door de ene persoon deels opnieuw te laten meten door de andere persoon.



Figuur 6: kalibratieposities geprojecteerd op een satellietbeeld.



Figuur 7: aanduiding van de kalibratiepositie door paaltjes aan weerszijden van de sensor.

Door de zeer beperkte neerslag van de voorbije weken was het terreinoppervlak gedurende alle metingen erg droog. Er is ook geen neerslag voorgekomen gedurende het veldwerk.

Ten noorden van de noordwestelijke sectie was tijdens de metingen een filterbemaling actief ten behoeve van de bouw van het nieuwe ZWIN natuurcentrum (Figuur 8). Deze bemaling heeft mogelijk de nabije metingen beïnvloed.

Figuur 8: Zuigerpomp filterbemaling ter hoogte van het toekomstige ZWIN natuurcentrum.



Figuur 8: Zuigerpomp filterbemaling ter hoogte van het toekomstige ZWIN natuurcentrum.

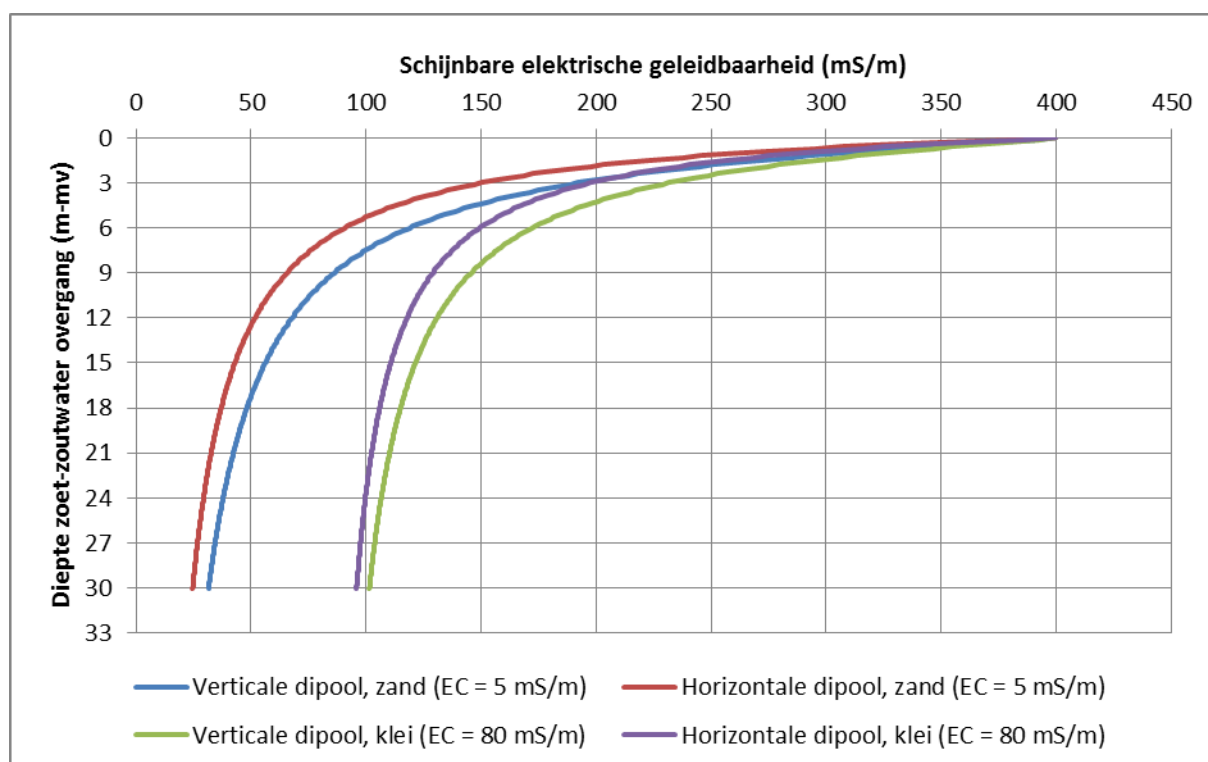
### 2.1.3 Gegevensverwerking

Eerste werden de dGPS-posities gekoppeld aan de sensormetingen om ze te georefereren. De lengte van elke raai werd berekend door de puntmetingen te verbinden. Zo kan de individuele lengte per raai en de totale lengte van alle raaien worden bepaald. De totale lengte van de raaien bedraagt 29,5 km, dus iets meer dan voorheen was ingeschat (27 km). De GPS-datapunten werden niet exact simultaan opgenomen met de EM31-metingen. Vandaar dat beide tijdreeksen geïntegreerd werden in één reeks, waarbij voor elke meetwaarde de positie werd bepaald.

Vervolgens werd de correctie doorgevoerd voor de niet-lineaire relatie tussen de gemeten waarden en de werkelijke EC, volgens de complexe vergelijkingen vermeld in 2.1.1.

Tot slot werden de metingen ook gecorrigeerd voor de luchtlaag tussen de sensor en het bodemoppervlak, aangezien de sensor op heuphoogte wordt gedragen. Uitgaande van een heuphoogte van 1 m, moet de gemeten waarde in de verticale spoeloriëntatie gedeeld worden door 0,878 en de horizontale door 0,593.

Na deze correcties doorgevoerd te hebben, kan de gemeten geleidbaarheid van de sensor voor verschillende dieptes van het zout grondwater theoretisch worden bepaald op basis van een homogeen grondvolume (klei of zand met een constante geleidbaarheid). Als voorbeeld wordt de theoretische meetwaarde bepaald voor zand met een EC van 5 mS/m en klei (EC = 80 mS/m), verzadigd met zout grondwater (EC = 400 mS/m). Een grafiek met de theoretische waarde voor klei en zand, in beide spoeloriëntaties is weergegeven in Figuur 9.



Figuur 9: theoretische meetwaarde voor een homogene bodem met een variërende diepte van de zoet-zout grondwater overgang.

Uit deze curves kunnen de volgende besluiten worden getrokken:

- De horizontale dipoolwaarde neemt initieel sterker af met de diepte dan de verticale.

- Theoretisch is de invloed van het zoute grondwater zelfs op 30 m diepte nog meetbaar. Het grootste effect op de meting wordt wel veroorzaakt door de eerste meters onder het maaiveld.
- De gemeten geleidbaarheid hangt sterk af van het bodemtype, dus er is geen éénduidige relatie te leggen tussen een bepaalde EC-waarde en de diepte van de zoet-zout overgang, zonder de EC van de bodem in zoetwateromstandigheden te kennen. In een heterogene bodem is deze relatie nog moeilijker vast te leggen.
- In dit theoretisch model is uitgegaan van een scherpe overgang tussen zoet en zout grondwater, in de praktijk neemt het zoutgehalte soms langzaam toe in de diepte.

#### 2.1.4 Meetresultaten

De statistieken van de metingen in beide oriëntaties zijn weergegeven in Tabel 3. De puntmetingen werden geprojecteerd op de terreinhoogte in Bijlage 1. De EC-metingen tonen zones met een lage en hoge elektrische geleidbaarheid. De zones met hoge geleidbaarheden komen hoogstwaarschijnlijk overeen met het voorkomen van ondiep zout water. Dit werd ook bevestigd door de metingen, verder beschreven in dit rapport. De EM31-metingen werden door VMM ook geprojecteerd op de nieuwe gegevens van de "Aerial Electromagnetic (AEM)" – prospectie (Figuur 10 en Figuur 11, [5]). Er is een duidelijke overeenkomst in patronen tussen beide metingen. Tot slot werden de schijnbare elektrische geleidbaarheidswaarden ingedeeld in drie klassen:

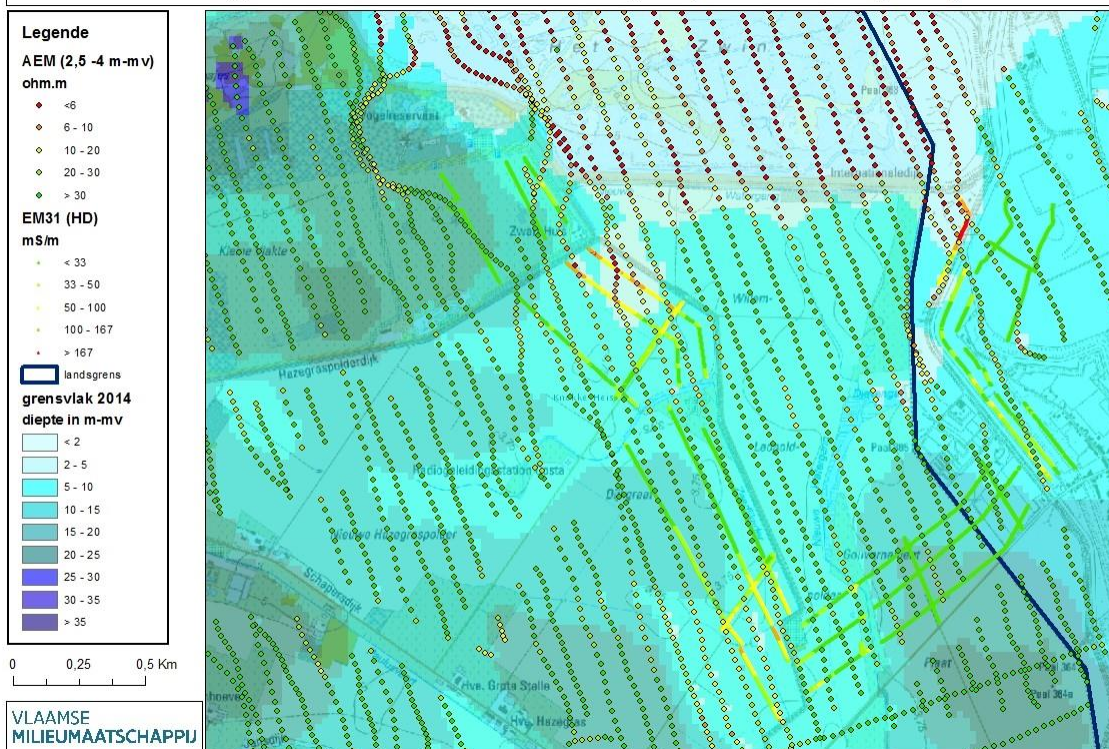
- Klasse 1: volgens theoretisch model zoet-zoutwatergrens onder 6 m-mv.
- Klasse 2: volgens theoretisch model zoet-zoutwatergrens tussen 3 en 6 m-mv.
- Klasse 3: volgens theoretisch model zoet-zoutwatergrens boven 3 m-mv.

De klassen zijn weergegeven in Bijlage 1. Op basis van deze klassering kon een beslissing genomen worden over waar het volgend onderzoek, de prikstokmetingen en de EM34-metingen diende uitgevoerd te worden. Er zijn duidelijk drie zones zichtbaar op de kaarten waar klasse 2 en 3 voorkomen: in het noordwesten en zuidwesten aan Belgische zijde en in het noordoosten aan Nederlandse zijde. Op die plaatsen is het aangewezen de ondiepe prikstokmetingen te concentreren. De andere zones komen eerder in aanmerking voor de diepere EM34 metingen.

Tabel 3 Statistieken van de puntmetingen, voor beide spoeloriëntaties.

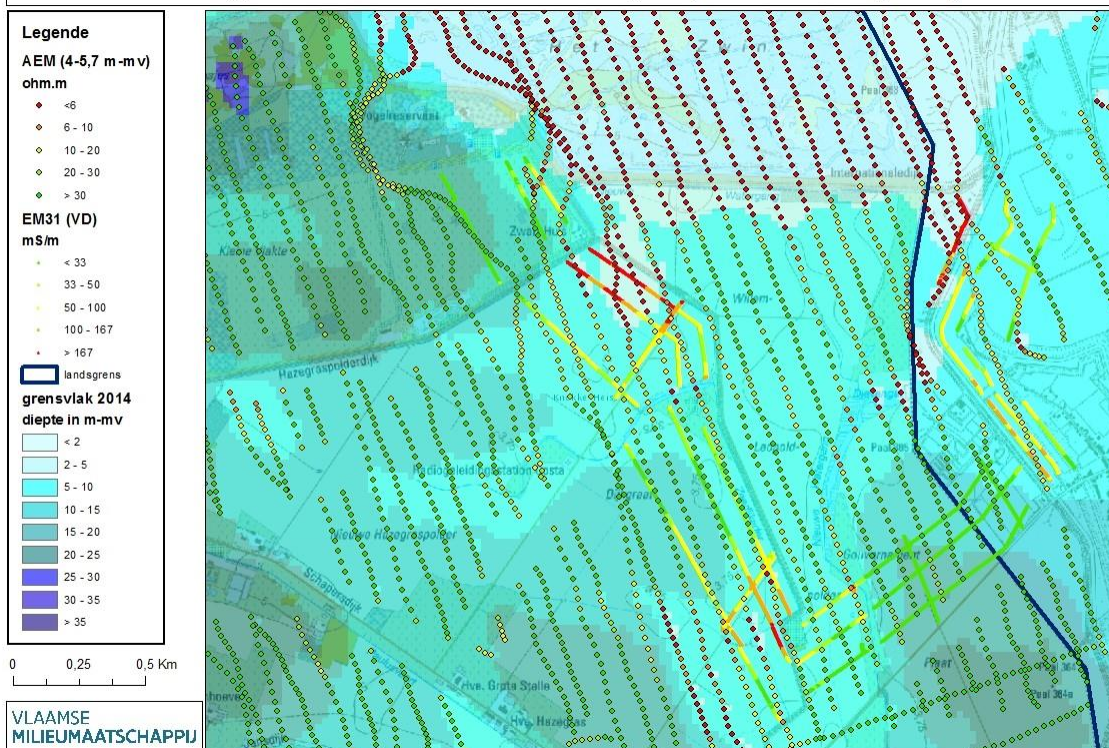
Oriëntatie	Minimum	Percentiel 10	Percentiel 25	Percentiel 50	Percentiel 75	Percentiel 90	Maximum
Horizontaal	5.2	11.8	27.0	44.2	72.5	116.0	426.2
Verticaal	0.1	14.2	29.7	52.9	90.1	163.5	421.2

**Elektromagnetisch onderzoek vanuit de lucht (AEM) voor het oostelijk kustgebied**



Figuur 10: Vergelijking tussen de EM31 metingen in horizontale dipooloriëntatie en de AEM-metingen.

**Elektromagnetisch onderzoek vanuit de lucht (AEM) voor het oostelijk kustgebied**



Figuur 11: Vergelijking tussen de EM31 metingen in verticale dipooloriëntatie en de AEM-metingen.

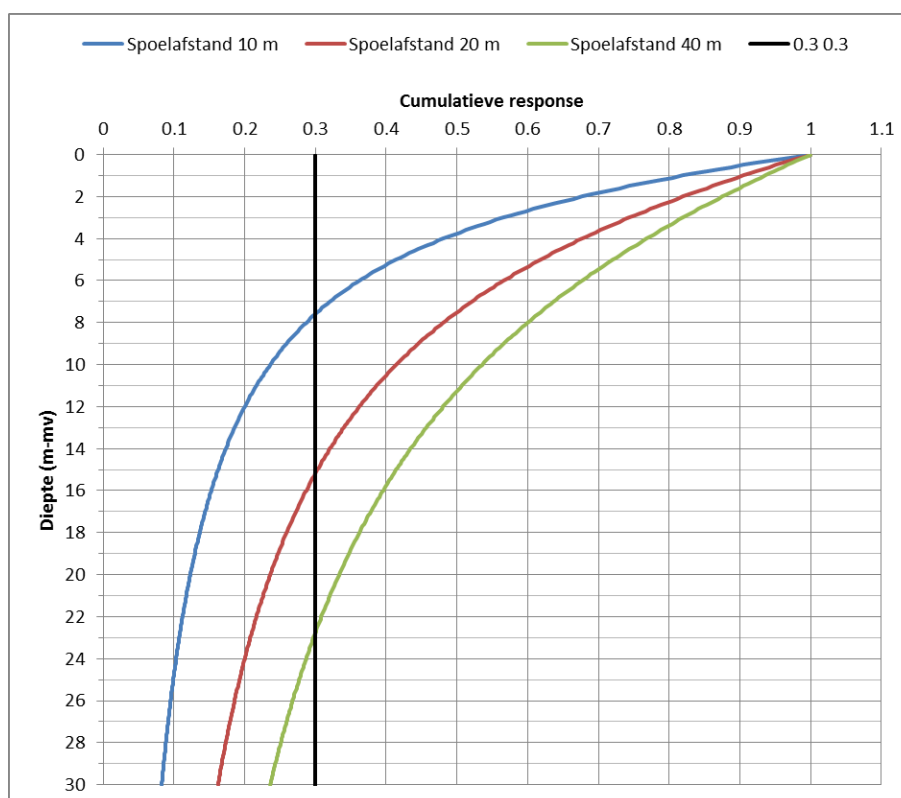
## 2.2 EM34-meting 1 in mei 2014

### 2.2.1 Meetmethode

Van 20 tot 26 mei 2014 zijn EM34-metingen uitgevoerd door ir. Ken Bergers en geoloog Wouter Vienne (AGT), onder begeleiding van ir. David Simpson (AGT). De metingen werden uitgevoerd op vooraf uitgezette raaien, gelegen op dezelfde raaien waar voorheen de EM31 metingen werden genomen. Daarvoor werd een Geonics EM34-3XL meettoestel gebruikt, waarvan de werking ook gebaseerd is op het principe van elektromagnetische inductie (zie hoofdstuk 2.1.1). De verschillen tussen de EM34 tegenover de EM31 zijn de volgende:

- De spoelen zijn groter en niet vast verbonden met een arm.
- De spoelafstanden kunnen vrij variëren, normaal gezien worden drie afstanden gemeten: 10, 20 en 40 m.
- Er werd enkel in één spoeloriëntatie gemeten: de horizontale dipool.

Met dezelfde analytische dieptegevoeligheidsvergelijkingen van [2] kan zo de grafiek in Figuur 12 worden gemaakt, waarbij de cumulatieve bijdrage van elke bodemlaag is uitgezet ten opzichte van de diepte voor de drie spoelafstanden.



Figuur 12: Cumulatieve response van de verschillende spoelafstanden op verschillende dieptes onder het maaiveld.

De grafiek leest als volgt: op een diepte van 12 m is 20 % van de meting in de 10 m spoelafstand afkomstig van bodemlagen onder 12 m en 80 % van de meting is bepaald door de bodemlagen boven 12 m. Omgekeerd kan gesteld worden dat 70 % van meting bepaald wordt door:

- De bodemlagen op minder dan 7,5 m diepte voor een spoelafstand van 10 m.



- De bodemlagen op minder dan 15 m diepte voor een spoelafstand van 20 m.
- De bodemlagen op minder dan 23 m diepte voor een spoelafstand van 40 m.

Daarbij moet ook opgemerkt worden dat de relatieve bijdrage van elke bodemlaag afneemt met de diepte. Dus een 1 m dikke kleilaag zal minder invloed hebben op 20 m diepte dan op 5 m diepte.

In de praktijk wordt de meting als volgt uitgevoerd (Figuur 13):

- Twee personen houden elk een spoel vast in horizontale dipool oriëntatie. De afstand tussen beide spoelen wordt constant gehouden door een draad te spannen tussen de spoelen.
- Beide personen stappen langsheen de raai met een constante snelheid, ervoor zorgend dat zowel de afstand als de oriëntatie van de spoelen gelijk blijft.
- De sensor meet op iedere seconde de elektrische geleidbaarheid tijdens het afstappen.
- Tegelijk met de sensormetingen wordt ook de positie van de meting bepaald met een dGPS.
- De meting gebeurt driemaal over dezelfde raai met elk een verschillende spoelafstand van 10, 20 en 40 m. Op die manier worden drie geleidbaarheidswaarden bekomen over verschillende diepte-intervallen.



Figuur 13: uitvoering van de EM34-metingen op 20/05/2014.

Iedere dag werd het EM34-3XL toestel alvorens de start van de metingen gekalibreerd. Daarbij werden de spoelen op de maximale afstand gelegd (40 m), en dat in verticale dipool-positie op het maaiveld. De kalibratiesite werd zo gekozen dat geen storende elementen in de buurt lagen, zoals metalen voorwerpen, elektriciteitsdraden en dergelijke, artefacten in de ondergrond en dergelijke. De kalibratie werd uitgevoerd volgens de handleiding van Geonics Ltd.

Tijdens de eerste veldwerkdagen was het terrein relatief droog, in de tweede helft van de campagne had het geregend, en was de bodem vochtiger en dus moeilijker begaanbaar.

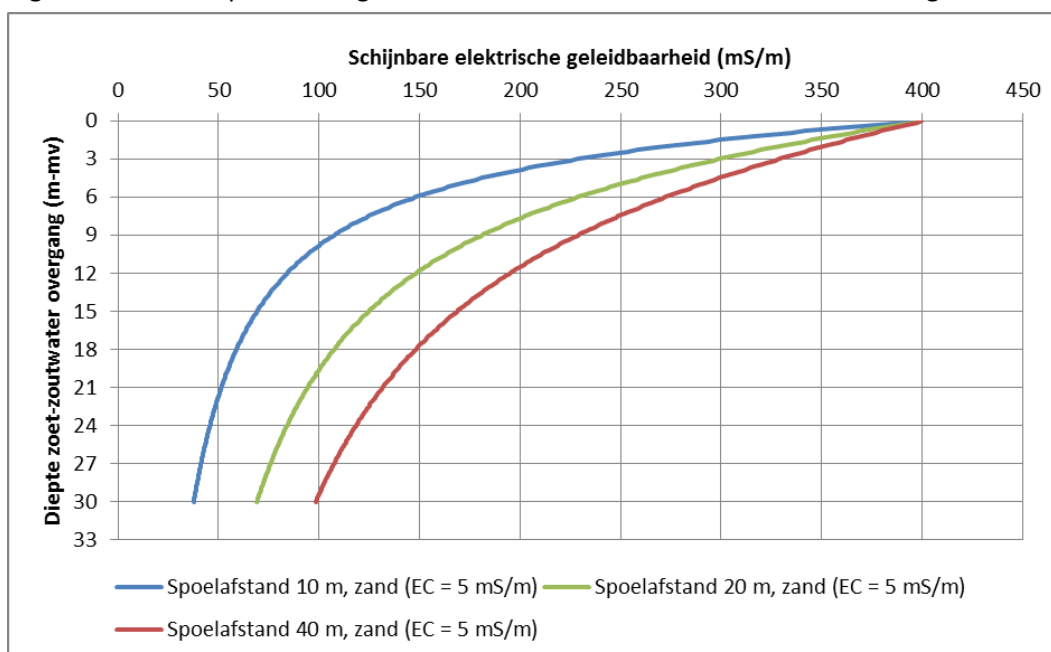
## 2.2.2 Gegevensverwerking

De GPS-datapunten werden niet exact simultaan opgenomen met de EM34-metingen. Vandaar dat beide tijdreeksen geïntegreerd werden in één reeks, waarbij voor elke meetwaarde de positie werd bepaald. De GPS-antenne bevond zich tijdens de meting boven de achterste persoon. Het eigenlijke centrum van de meting ligt echter in het midden tussen de twee spoelen, dus tussen de twee personen. Daarom werd voor elke meting de positie verschoven in de looprichting met 5, 10 en 20 m voor de spoelafstanden 10, 20 en 40 m. De lengte van elke raai werd berekend door de puntmetingen te verbinden. Zo kan de individuele lengte per raai en de totale lengte van alle raaien worden bepaald worden. De totale lengte van de raaien bedroeg 34,2 km.

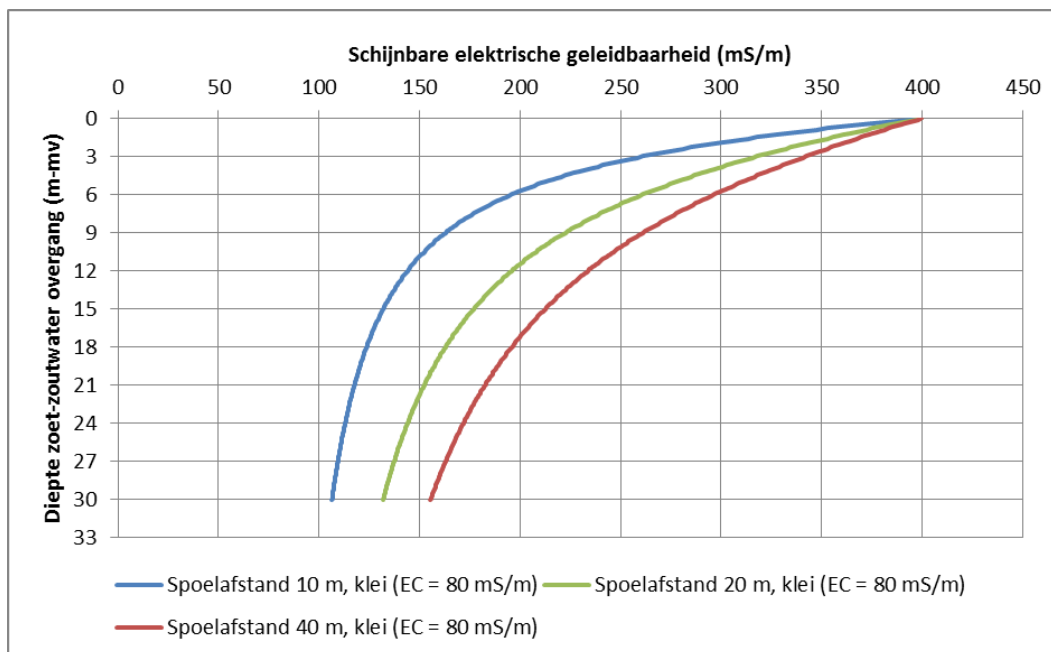
Vervolgens werden de metingen gecorrigeerd voor de niet-lineaire relatie tussen de gemeten waarden en de werkelijke EC, door toepassing van de complexe formules uit hoofdstuk 2.1.1. De invloed van de luchtlaag tussen de spoelen en het maaiveld is zeer beperkt, waardoor deze niet hoeft gecorrigeerd te worden zoals bij de EM31.

Analoog aan de EM31 kan de invloed van de individuele grondlagen op de sensormeting worden benaderd door de cumulatieve functie, indien de ondergrond gelaagd is opgebouwd. Hetzelfde voorbeeld als bij de EM31 wordt gegeven, waarbij de theoretische meetwaarde wordt bepaald voor zand met een EC van 5 mS/m en klei (EC = 80 mS/m), verzadigd met bovenaan zoet en onderaan zout grondwater (EC = 400 mS/m). Een grafiek met de theoretische waarde voor klei en zand, voor de drie spoelafstanden, is weergegeven in Figuur 14 en Figuur 15. Uit deze curves kunnen de volgende besluiten worden getrokken:

- Voor grotere spoelafstanden is de gemeten geleidbaarheid hoger voor een zelfde diepte van het zoute grondwater.
- Theoretisch is de invloed van het zout grondwater zelfs op 30 m diepte nog meetbaar. Het grootste effect op de meting wordt wel veroorzaakt door de eerste meters grond.



Figuur 14: theoretische meetwaarde voor een homogene zandgrond met een variërende diepte van de zoet-zout grondwater overgang, in horizontale dipooloriëntatie en spoelafstanden 10, 20 en 40 m.



Figuur 15: theoretische meetwaarde voor een homogene kleigrond met een variërende diepte van de zoet-zout grondwater overgang, in horizontale dipooloriëntatie en spoelafstanden 10, 20 en 40 m.

### 2.2.3 Meetresultaten

De statistieken voor de drie spoelafstanden werden bepaald van alle puntmetingen (Tabel 4). De mediaanwaarde zijn gelijk aan 66,1; 114,9 en 262,0 mS/m voor de 10, 20 en 40 m spoelafstanden. De geleidbaarheidswaarden zijn voor alle statistieken hoger bij een grotere spoelafstand, behalve bij de minimumwaarde. Dit is logisch in vergelijking met de theoretische modellen zoals hierboven beschreven. In de diepere lagen is het grondwater immers zout, wat aanleiding geeft toe hogere EC-waarden.

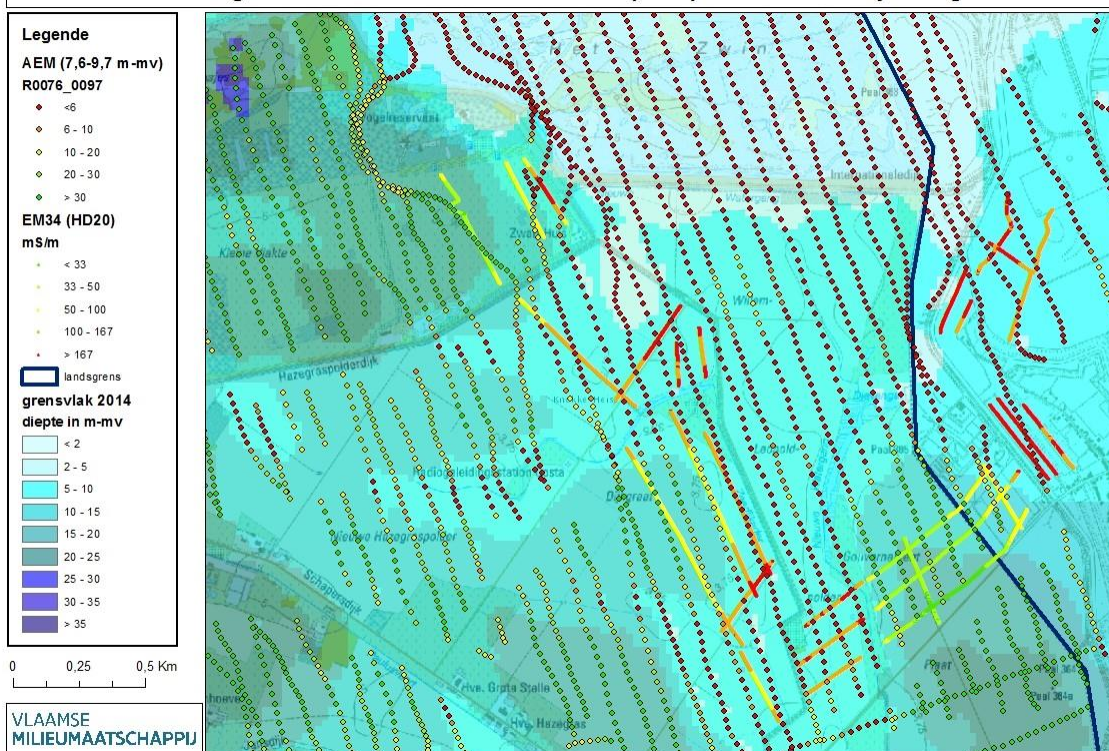
De puntmetingen werden geprojecteerd op de terreinhoogte in Bijlage 1. Daarnaast werden EM34-metingen met 20 en 40 m spoelafstanden ook vergeleken met de AEM-gegevens door VMM in Figuur 16 en Figuur 17. Ook hier is een goede overeenkomst tussen de globale patronen gemeten door de AEM-prospectie en de EM34-metingen.

Op basis van de theoretische aannames, zoals hierboven beschreven, waarbij de maximale diepte van de meting wordt gedefinieerd als zijnde de diepte waarop 70 % van de bodem bijdraagt tot de meting, kan de diepte van het zoute grondwater afgeleid worden. Voor de drie spoelafstanden 10, 20 en 40 m zijn de dieptes 7,5; 15 en 23 m. Als deze dieptes op Figuur 14 nagekeken worden, dan kan de diepte vanaf waar het zoute grondwater reikt afgeleid worden als de EC hoger is dan 124,6 mS/m. Voor de drie spoelconfiguraties werden de waarden in twee klassen gescheiden, groter dan of kleiner dan 124,6 mS/m. Zo kan indicatief de diepte van het zoute grondwater afgeleid worden (Bijlage 1). Deze interpretatie is gebaseerd op een groot aantal aannames, dus het betreft hier een ruwe benadering.

Tabel 4 Statistieken van de puntmetingen, voor de drie spoelafstanden.

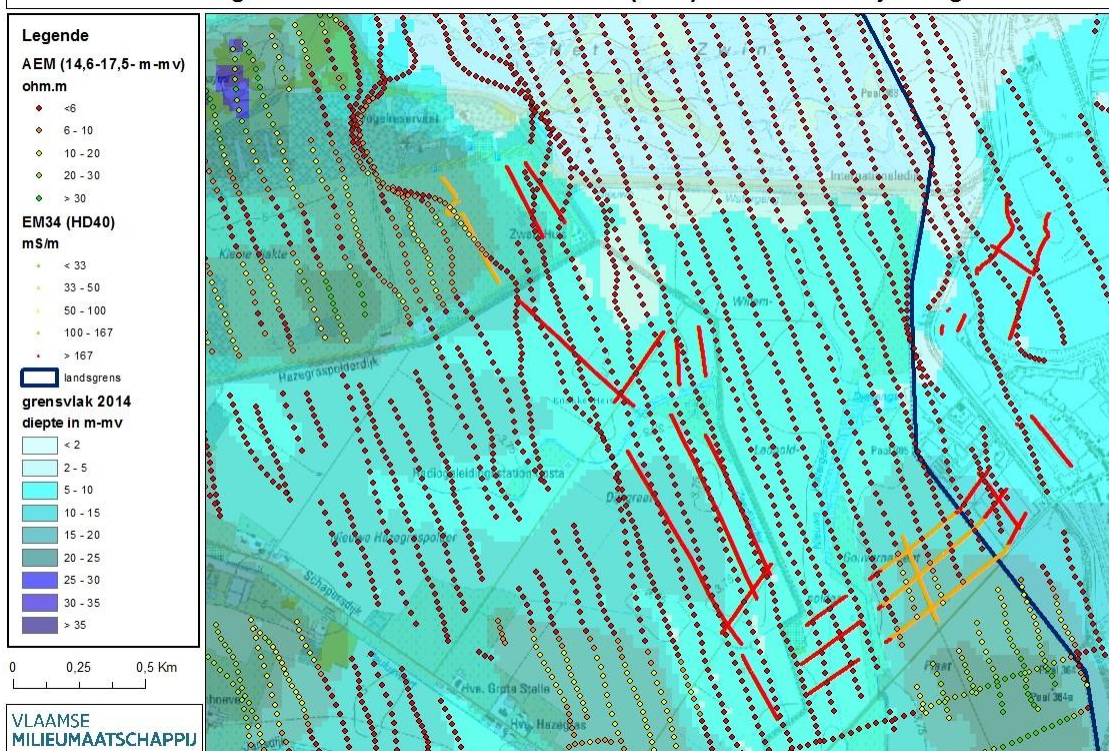
Spoelafstand	Minimum	Perc10	Perc25	Perc50	Perc75	Perc90	Maximum
10 m	15.7	29.2	39.6	66.1	92.0	122.1	254.3
20 m	13.0	38.3	64.3	114.9	157.7	195.1	379.0
40 m	88.8	125.2	189.0	262.0	332.9	397.4	574.6

**Elektromagnetisch onderzoek vanuit de lucht (AEM) voor het oostelijk kustgebied**



Figuur 16: Vergelijking tussen de EM34 metingen in horizontale dipooloriëntatie op 20 m speelafstand en de AEM-metingen.

**Elektromagnetisch onderzoek vanuit de lucht (AEM) voor het oostelijk kustgebied**

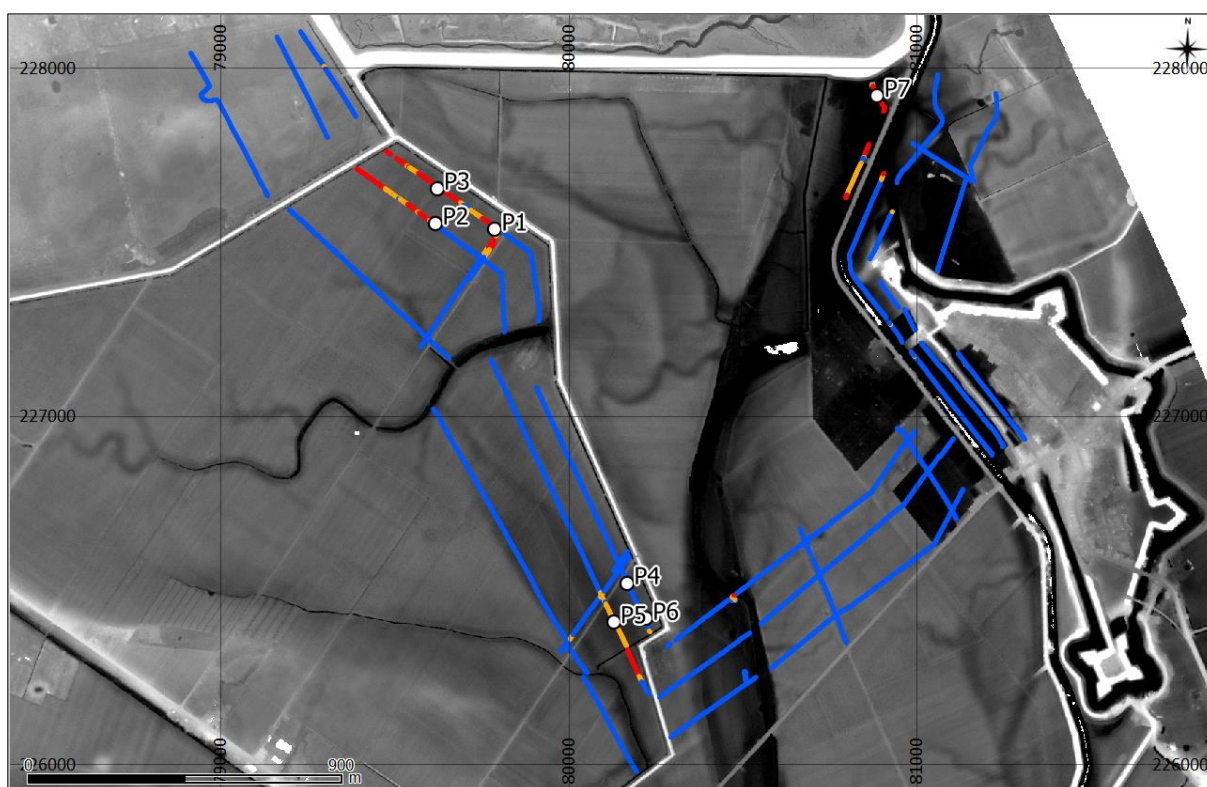


Figuur 17: Vergelijking tussen de EM34 metingen in horizontale dipooloriëntatie op 40 m speelafstand en de AEM-metingen.

## 2.3 Prikstokmetingen test handtoestel in juli 2014

### 2.3.1 Inleiding

Op basis van de EM31-metingen werden drie zones geïdentificeerd waar het zoute grondwater ondiep voorkomt (Figuur 18). Om de exacte diepte van de zoet-zout verdeling te karteren werden in deze zones handmatige sonderingen voorzien, met behulp van een zogenaamde prikstok, om de ondiepe zoet-zout overgang gedetailleerd weer te geven. Dit rapport beschrijft de methodiek, de verwerking en de resultaten van de prikstokmetingen, waaruit besluiten en aanbevelingen worden geformuleerd. Dit deelonderzoek was een pilootproef om de effectiviteit van de prikstokmeting in de context van het uitbreidingsgebied van het Zwin uit te testen en op basis daarvan verder onderzoek aan te bevelen.



Figuur 18: EM31 geleidbaarheidswaarden, geprojecteerd op de hoogte (DHM). De oranje en rode waarden duiden op het ondiep voorkomen van zout grondwater. De locaties van de prikstokmetingen zijn erop geprojecteerd.

### 2.3.2 Meetinstrument

De prikstok werd gehuurd van Deltares, waar in het kader van het doctoraatsonderzoek van Perry de Louw [4] dit instrument uitvoering werd gebruikt om zoet-zout grondwaterovergangen te identificeren. Dit instrument, ook wel TEC-probe of “Temperature – Electrical Conductivity” – probe genoemd, bestaat uit een sondeerstang met in de tip een temperatuursensor en juist boven de tip een paar elektroden die de schijnbare elektrische geleidbaarheid meten van de bodem (Figuur 19). Door de probe met een interval van 10 cm handmatig de bodem in te duwen en een meting te nemen met een EC-meter, kan een verticaal profiel bekomen worden van de elektrische geleidbaarheid en de temperatuur. De elektrische geleidbaarheid wordt automatisch gecorrigeerd naar een referentietemperatuur van 25 °C. De maximale diepte van de probe is praktisch begrensd door de mechanische weer-

stand van de bodem en de wrijving langsheen de stangen. In veen zijn in het verleden metingen uitgevoerd tot 10 m diep, waarbij verlengstukken van telkens 2 m worden gebruikt. In slappe klei kunnen enkele meters diep worden geduwd, waarbij de wrijving voornamelijk beperkt. In zand echter is het onmogelijk om de prikstok nog maar enkele centimeters in de bodem te duwen gezien de hoge mechanische weerstand (volgens mondelinge communicatie met Perry de Louw). Zand heeft een conusweerstand van gemakkelijk meer dan 5 MPa, terwijl in klei de conusweerstand typisch kleiner is 2 MPa. Een persoon van 70 kg kan theoretische een statische druk uitoefenen op de probe van:

$$70 \text{ kg} * 9,81 \text{ m s}^{-2} / (\pi * 0,011^2) \text{ m}^2 = 1,8^E-6 \text{ Pa of } 1,8 \text{ MPa};$$

voor een conus met een diameter van 22 mm.

De meting heeft enkel zin onder de grondwatertafel. Daarom wordt dikwijls voorgeboord tot in de grondwatertafel, om zo ook de maximale diepte te verhogen.



Figuur 19: TEC-sonde en EC-meter. Daarnaast een Edelman-boor en spatel gebruikt voor het voorboren.

### 2.3.3 Meetmethode

De metingen werden uitgevoerd op 20 mei 2014. De posities van de metingen werden verdeeld over de drie locaties, waarbij getracht werd ze ruimtelijk te spreiden over de verschillende EM31-raaien. Zo kunnen de resultaten van de oppervlakkige EM31-metingen direct gekoppeld worden met de diepte-profielen van de prikstokmetingen. Op elk van de drie locaties waar het zout grondwater ondiep voorkomt, werden drie prikstokmetingen gepland. Op locatie drie werd er slechts 1 meting genomen, aangezien er een onweer begon met bliksems die met grote waarschijnlijkheid op de prikstok kunnen inslaan (Figuur 20). In totaal zijn er dus zeven metingen uitgevoerd. Elk van de metingen verliep als volgt:

- Uitzetten van de locatie van de meting met een GPS op een EM31-profiel, registratie van de coördinaten.
- Voorboren tot in de grondwatertafel, opmaak van een bodembeschrijving.
- Plaatsing van de prikstok in de eerste 10 cm, 10-15 minuten wachten tot de temperatuur is gestabiliseerd.
- Meting met de prikstok, waarbij de prikstok telkens per 10 cm dieper werd geduwd tot 3 m-mv of tot de bodemweerstand te hoog was om nog verder te duwen. Op elk diepte-interval werd zowel de temperatuur als de elektrische geleidbaarheid genoteerd.
- Nakijken van de bodemresten op de tip, na het uittrekken van de prikstok.



Figuur 20: naderend onweer met bliksems tijdens meting P7.

#### 2.3.4 Verwerking van de metingen

In de eerste plaats moet de diepte waar de EC-waarde genomen wordt aangepast worden, aangezien de diepte in het veld ten opzicht van de tip wordt bepaald. Daarvoor dienen de dieptes met 5 cm te worden verminderd. De meetwaarden van de TEC-sonde dienen herrekend te worden met twee factoren. De eerste factor is specifiek aan de geometrie van de prikstok en is een empirische factor die afhangt van de gemeten geleidbaarheid. De tweede factor is de formatiefactor, die rekening houdt met het type bodem. Als formatiefactor werd de waarde voor zandige klei of kleilig zand gebruikt, gelijk aan 2,8.

#### 2.3.5 Meetresultaten en verwerkte geleidbaarheidswaarden

##### 2.3.5.1 Prikstokmeting P1

Een foto van de prikstokmeting is weergegeven in Figuur 21 en de resultaten in Tabel 5. Onder een toplaag bestaande uit klei, bestond de bodem uitsluitend uit zand waardoor de diepte van de prikstokmeting werd beperkt. Bij het uithalen van de sonde bleek ook aan de tip vooral zandig materiaal te kleven (Figuur 22). De grondwatertafel (GWT) bevindt zich op 90 cm-mv. De elektrische geleidbaarheid schommelde tussen 5,0 en 6,5 mS/cm, wat op eerder zout water duidt. Dit stemt overeen met de EM31-meting waar ook hoge waarden werden gemeten. In de nabijgelegen gracht aan de dijk werd ook een elektrische geleidbaarheid van het grachtwater gemeten van 5,3 mS/cm. Dit bevestigt het verhaal van de landeigenaar die wist te zeggen dat deze gracht vrij zout is.



Figuur 21: Prikstokmeting P1 in maïsveld.



Figuur 22: restgrond dat aan de tip van de sonde overblijft na uithalen van de sonde.



Tabel 5: resultaten van de veldmetingen op locatie P1. EC staat voor elektrische geleidbaarheid enkel gecorrigeerd voor temperatuur; ECf1 is de EC-waarde gecorrigeerd voor de geometrie van de prikstok, ECf2 is de ECf1-waarde gecorrigeerd met de formatiefactor. Dit is de finale waarde (in vet). GWT staat voor grondwatertafel.

Metingnummer	P1				
Lengtegraad	3.36090667				
Breedtegraad	51.35330667				
Voorboring					
diepte (cm-mv)	bodemtype				
0-50	klei, bruin, vast				
50-120	zand, bruin-grijs				
	90 GWT				
Veldmetingen			Verwerkte waarden		
diepte (cm-mv)	T (°C)	EC (mS/cm)	diepte (cm-mv)	ECf1 (mS/cm)	ECf2 (mS/cm)
140	12.1	5.6	<b>135</b>	2.3	<b>6.5</b>
150	11.4	4.4	<b>145</b>	1.8	<b>5.0</b>
160	11.0	5.2	<b>155</b>	2.1	<b>6.0</b>

### 2.3.5.2 Prikstokmeting P2

Het bodemprofiel op locatie P2 was gelijkaardig aan P1 (Figuur 23). De grondrest aan de tip bij uittrekken van de sonde, bleek ook zandig te zijn. De meetwaarden duiden echter een veel lagere elektrische geleidbaarheid weer, van 0,7-0,8 mS/cm. Dit duidt op eerder zoet water, wat overeenkomt met EM31-metingen, die ook aanduiden dat P2 in een zone ligt met ondiep, zoet grondwater.



Figuur 23: boorprofiel op meetlocatie P2. De prikstok dient als dieptereferentie.

Tabel 6: resultaten van de veldmetingen op locatie P2.

Metingnummer	P2				
Lengtegraad	3.35846833				
Breedtegraad	51.35344000				
Voorboring					
diepte (cm-mv)	bodemtype				
0-45	klei, bruin, vast				
45-110	zand, bruin-grijs				
110-120	zand, blauw, veendeeltjes				
70	GWT				
Veldmetingen			Verwerkte waarden		
diepte (cm-mv)	T (°C)	EC (mS/cm)	diepte (cm-mv)	ECf1 (mS/cm)	ECf2 (mS/cm)
130	11.4	0.672	<b>125</b>	0.3	<b>0.8</b>
140	11.3	0.648	<b>135</b>	0.3	<b>0.7</b>

2.3.5.3 Prikstokmeting P3

De bodemopbouw is ook hier analoog aan locatie P1, er is enkel een kleine bijmenging van klei en veen onderaan de boring. Bij het uittrekken van de prikstok bleek echter grondrest uit zand te bestaan. De gemeten EC-waarde (1,0 mS/cm) was niet zo hoog als verwacht uit de EM31-meting, maar deze meting is relatief onbetrouwbaar gezien slechts één meting kon uitgevoerd worden door de hoge mechanische weerstand van de bodem.



Figuur 24: boorprofiel op meetlocatie P3. De prikstok dient als dieptereferentie.

Tabel 7: resultaten van de veldmetingen op locatie P3.

Metingnummer	P3				
Lengtegraad	3.35850500				
Breedtegraad	51.35434333				
Voorboring					
diepte (cm-mv)	bodemtype				
0-50	klei, bruin, vast				
50-95	zand, bruin-grijs				
95-110	zand, blauw				
110-120	zand, venig, kleiig				
70-80	GWT				
Veldmetingen			Verwerkte waarden		
diepte (cm-mv)	T (°C)	EC (mS/cm)	<b>diepte (cm-mv)</b>	<b>ECf1 (mS/cm)</b>	<b>ECf2 (mS/cm)</b>
140	11.8	0.856	<b>135</b>	0.3	<b>1.0</b>

#### 2.3.5.4 Prikstokmeting P4

Prikstokmeting P4 werd uitgevoerd op een aardappelveld. Het boorprofiel week enigszins af van de voorgaande boringen, waarbij onder de toplaag van klei een eerder kleiige zandlaag voorkwam tot ongeveer 75 cm-mv. Daaronder bestond de ondergrond voornamelijk uit zand. Er kon geen meting uitgevoerd worden met de prikstok, aangezien de elektroden niet in het zand konden geduwd worden wegens te compact.



Figuur 25: Boorprofiel op meetlocatie P4. De prikstok dient als dieptereferentie.

Tabel 8: resultaten van de veldmetingen op locatie P4.

Metingnummer	P4				
Lengtegraad	3.36655833				
Breedtegraad	51.34422833				
Voorboring					
diepte (cm-mv)	bodemtype				
0-40	klei, bruin, vast				
40-75	kleig zand				
75-120	zand, bruin-grijs				
60-70	GWT				
Veldmetingen		Verwerkte waarden			
diepte (cm-mv)	T (°C)	EC (mS/cm)	diepte (cm-mv)	ECf1 (mS/cm)	ECf2 (mS/cm)
Geen meting mogelijk wegens te compact!					
Sonde komt niet in formatie					

#### 2.3.5.5 Prikstokmeting P5

Het bodemprofiel van P5 was eerder kleig van aard. Daardoor kon ook tot 3 m diep worden gesondeerd. Na het uittrekken van de sonde kleefde er ook duidelijk klei aan de tip (Figuur 27). Het diepteprofiel toont duidelijk een overgang van zoet naar zout grondwater tussen 1,2 en 1,8 m-mv (Figuur 28). Het voorkomen van ondiep zout grondwater is ook aangegeven door de EM31-metingen op deze locatie.



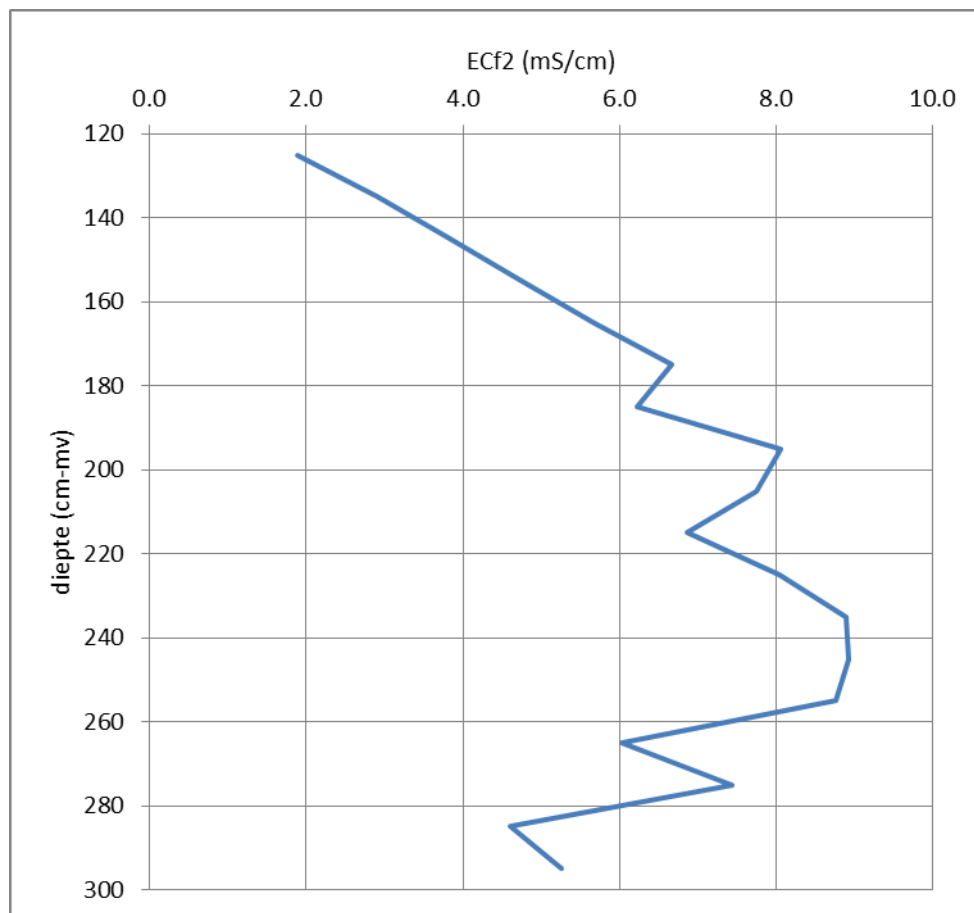
Figuur 26: boorprofiel op meetlocatie P5. De prikstok dient als dieptereferentie.



Figuur 27: restgrond aan de tip van de prikstok na het uithalen.

Tabel 9: resultaten van de veldmetingen op locatie P5.

Metingnummer	P5				
Lengtegraad	3.66021670				
Breedtegraad	51.34321660				
Voorboring					
diepte (cm-mv)	bodemtype				
0-80	klei, bruin, vast				
80-120	klei-zand lagen				
80	GWT				
Veldmetingen			Verwerkte waarden		
diepte (cm-mv)	T (°C)	EC (mS/cm)	diepte (cm-mv)	ECf1 (mS/cm)	ECf2 (mS/cm)
130	12.1	1.68	<b>125</b>	0.7	<b>1.9</b>
140	11.2	2.59	<b>135</b>	1.0	<b>2.9</b>
150	10.7	3.42	<b>145</b>	1.4	<b>3.8</b>
160	10.5	4.22	<b>155</b>	1.7	<b>4.7</b>
170	10.3	4.97	<b>165</b>	2.0	<b>5.7</b>
180	10.2	5.74	<b>175</b>	2.4	<b>6.7</b>
190	10.1	5.40	<b>185</b>	2.2	<b>6.2</b>
200	10.0	6.80	<b>195</b>	2.9	<b>8.1</b>
210	9.9	6.56	<b>205</b>	2.8	<b>7.7</b>
220	9.9	5.89	<b>215</b>	2.4	<b>6.9</b>
230	9.8	6.79	<b>225</b>	2.9	<b>8.0</b>
240	9.8	7.41	<b>235</b>	3.2	<b>8.9</b>
250	9.8	7.44	<b>245</b>	3.2	<b>8.9</b>
260	9.8	7.31	<b>255</b>	3.1	<b>8.8</b>
270	9.9	5.25	<b>265</b>	2.2	<b>6.0</b>
280	10.0	6.33	<b>275</b>	2.7	<b>7.4</b>
290	10.0	4.10	<b>285</b>	1.6	<b>4.6</b>
300	9.9	4.63	<b>295</b>	1.9	<b>5.3</b>



Figuur 28: diepteprofiel van de EC-metingen op P5.

#### 2.3.5.6 Prikstokmeting P6

Het bodemprofiel op locatie P6 is minder kleilig dan op P5. Daardoor kon ook minder diep gesondeerd worden. De bereikte einddiepte was gelijk aan 1,9 m-mv. De gemeten geleidbaarheidswaarden (0,6-1,4 mS/cm), duiden op eerder zoet grondwater, wat ook weerspiegelt in de lage EM31-waarden op deze locatie.



Figuur 29: boorprofiel op meetlocatie P6. De prikstok dient als dieptereferentie.

Tabel 10: Resultaten van de veldmetingen op locatie P6.

Metingnummer	P6				
Lengtegraad	3.36735000				
Breedtegraad	51.34331667				
Voorboring					
diepte (cm-mv)	bodemtype				
0-60	klei, bruin, vast				
60-80	zand, bruin-grijs				
80-120	kleilig zand				
70	GWT				
Veldmetingen			Verwerkte waarden		
diepte (cm-mv)	T (°C)	EC (mS/cm)	diepte (cm-mv)	ECf1 (mS/cm)	ECf2 (mS/cm)
130	12.3	1.222	<b>125</b>	0.5	<b>1.4</b>
140	11.4	0.817	<b>135</b>	0.3	<b>0.9</b>
150	11	0.932	<b>145</b>	0.4	<b>1.0</b>
160	10.7	0.955	<b>155</b>	0.4	<b>1.1</b>
170	10.8	0.708	<b>165</b>	0.3	<b>0.8</b>
180	10.7	0.553	<b>175</b>	0.2	<b>0.6</b>
190	10.4	0.592	<b>185</b>	0.2	<b>0.7</b>

### 2.3.5.7 Prikstokmeting P7

Locatie P7 bevindt zich in het grasland dat grenst aan het Zwin. De grondwaterstand is daar zeer ondiep. Toch werd er voorgeboord, aangezien de bodem voornamelijk uit zand bestond wat moeilijk te sonderen is. De prikstok kon vervolgens tot een diepte van 1,9 m-mv worden geduwd. De elektrische geleidbaarheidswaarden waren ongeveer constant, tussen 2,1 en 2,4 mS/cm, wat relatief brak grondwater aanduidt. De EM31-metingen duiden op deze locatie ondiep, zout grondwater aan.



Figuur 30: boorprofiel op meetlocatie P7. De prikstok dient als dieptereferentie.

Tabel 11: resultaten van de veldmetingen op locatie P7.

Metingnummer	P7				
Lengtegraad	3.37660167				
Breedtegraad	51.35689000				
Voorboring					
diepte (cm-mv)	bodemtype				
0-20	humus				
20-100	zand, bruin-grijs				
	30 GWT				
Veldmetingen			Verwerkte waarden		
diepte (cm-mv)	T (°C)	EC (mS/cm)	diepte (cm-mv)	ECf1 (mS/cm)	ECf2 (mS/cm)
150	12.5	1.89	<b>145</b>	0.8	<b>2.1</b>
160	11.8	1.997	<b>155</b>	0.8	<b>2.2</b>
170	11.5	1.957	<b>165</b>	0.8	<b>2.2</b>
180	11.5	1.908	<b>175</b>	0.8	<b>2.1</b>
190	11.6	2.17	<b>185</b>	0.9	<b>2.4</b>

### 2.3.6 Interpretaties en aanbevelingen

Over het algemeen zijn de prikstokmetingen gerelateerd met de EM31-metingen. Waar hoge geleidbaarheidswaarden worden gemeten door de ene methode, wordt ook een hoge waarde bekomen door de andere methode. De meerwaarde van de prikstok ten opzichte van de EM31-metingen is echter beperkt omwille van de volgende redenen:

- De maximale diepte wordt sterk beperkt door de overwegend zandige ondergrond in het studiegebied. Enkele op één locatie van de zeven werd de einddiepte van 3 m-mv bereikt. Daardoor is ook in de meeste gevallen geen duidelijk overgangsprofiel van de geleidbaarheid op te maken.
- De elektrische geleidbaarheidswaarden zijn afhankelijk van de grondsoort. Met de prikstok is het onmogelijk om deze grondsoort in te schatten.

Daarom werd aanbevolen om de prikstokmetingen te vervangen door een beperkt aantal gemechaniseerde mechanische sonderingen met een kleine Direct-Push machine.

## 2.4 Plaatsing peilbuizen en boorgatmetingen in februari-april 2015

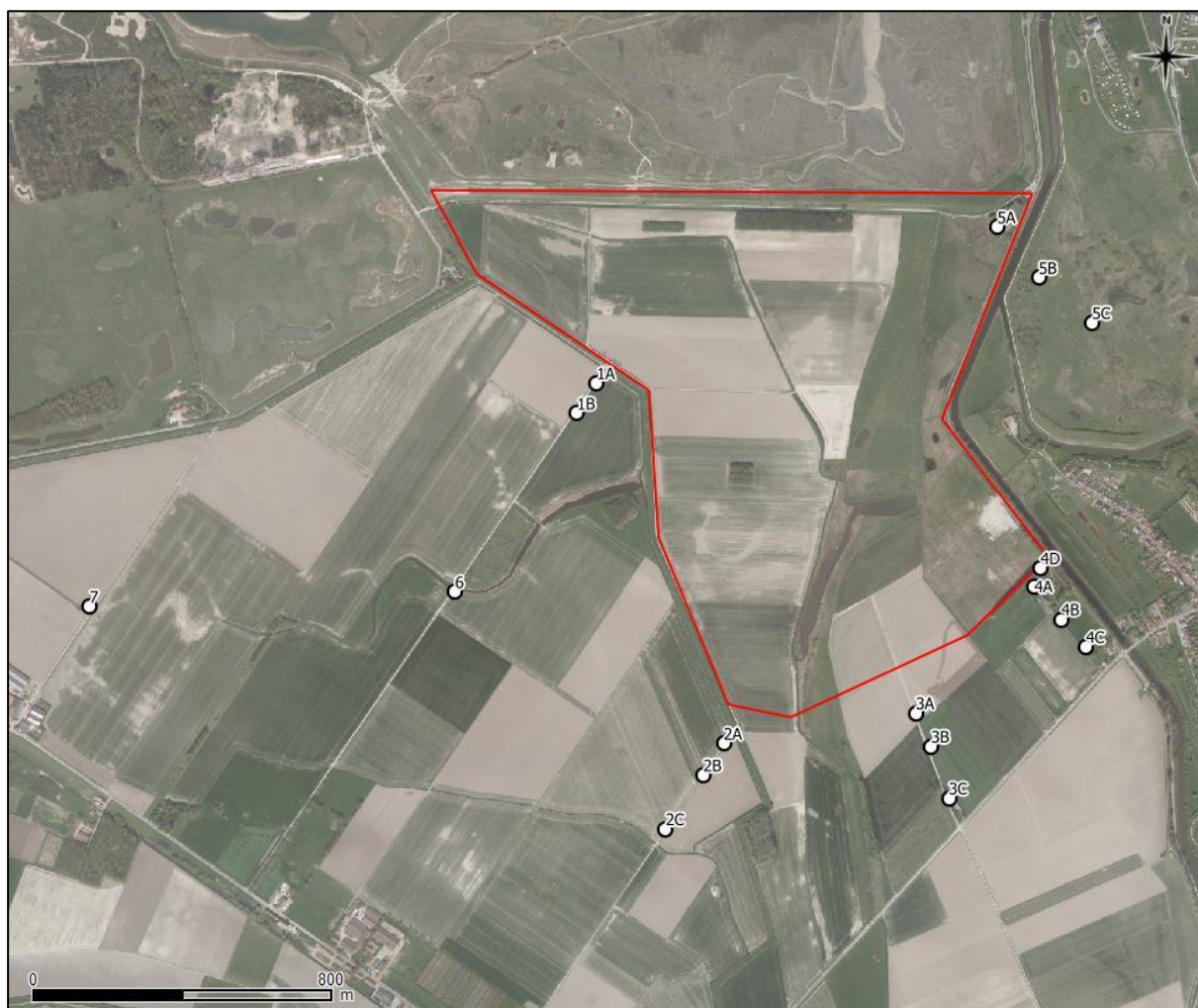
### 2.4.1 Inleiding

Naast de oppervlakkige EM-metingen werd ook een grondwatermeetnet aangelegd ter bepaling van de piëzometrie en de verticale zoet-zoutwaterverdeling. Veertien van deze putten zijn aangelegd op of in de nabijheid van de raaien waarlangs de geofysische profilering is gebeurd. De overige twee zijn aangelegd buiten de gemodelleerde invloedszone van het uitgebreide Zwin en langs de oude kreekarm ten westen van het uit te breiden Zwin (Figuur 31).

De peilbuizen zijn geplaatst door middel van spoelboringen tot de top van de Bartoonklei op gemiddeld 30 m diepte. Na de spoelboring zijn in het boorgat metingen uitgevoerd met drie verschillende sondes, die elk andere fysische eigenschappen van de ondergrond meten. Deze boorgatmetingen werden uitgevoerd ten behoeve van 1) een nauwkeurige bepaling van de zoetzoutwaterverdeling en 2) de



lithologie. De lithologische informatie werd na de meting direct gebruikt voor het correct plaatsen van de filterstelling en de kleistoppen van de peilbuizen. In elk boorgat zijn twee filters geplaatst: één filter aan de basis van het grondwaterreservoir en één filter aan de top.



Figuur 31: posities van de boren op een luchtfoto (Bron: AGIV, 2015).

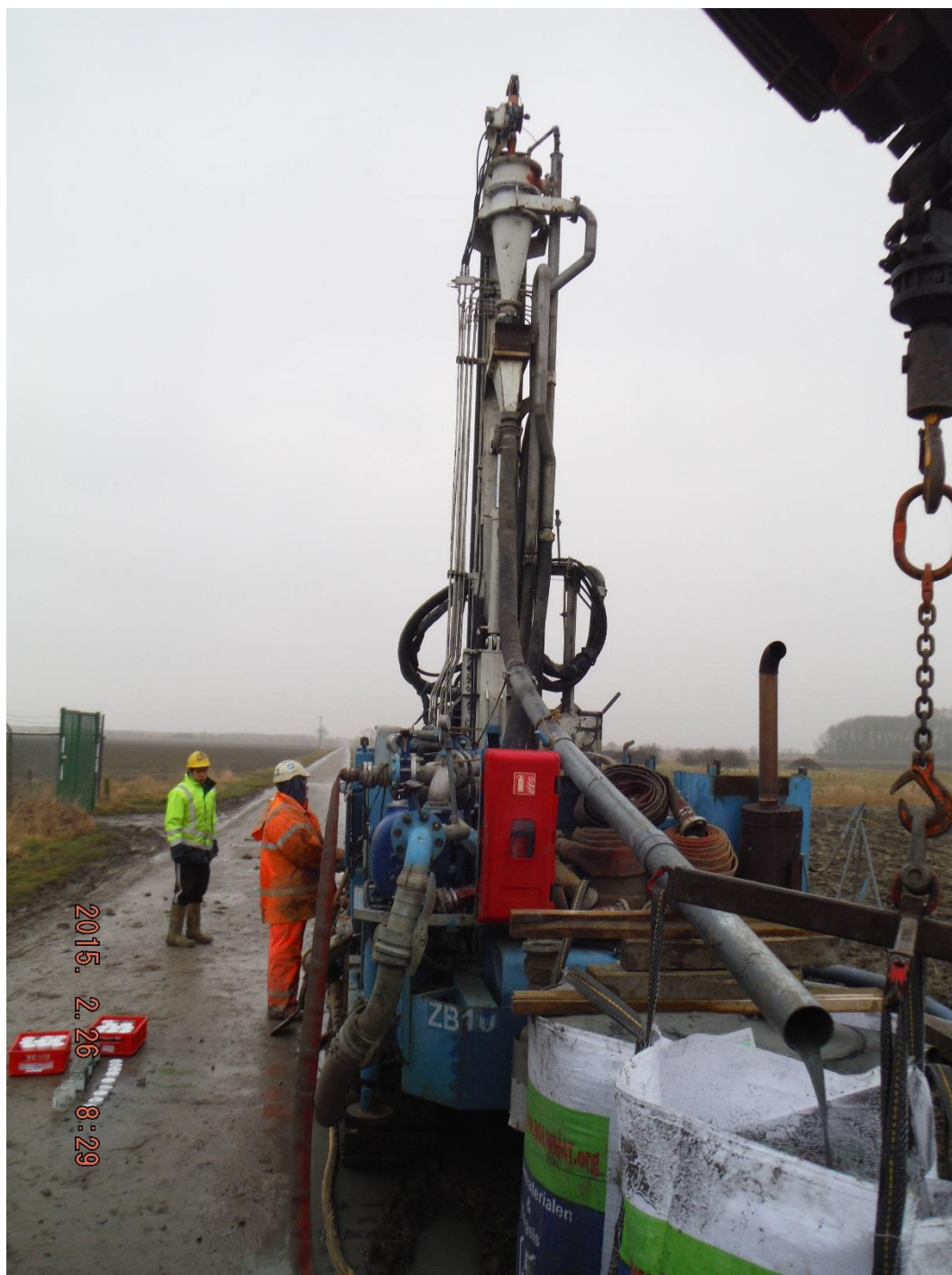
#### 2.4.2 Beschrijving van de veldmetingen

De spoelboringen en boorgatmetingen werden uitgevoerd tussen 24 februari en 20 april 2015 door Koop en AGT. Er werd telkens één boorlocatie per dag afgewerkt, die bestond uit de boring, de boorgatmeting en het inbouwen van peilbuizen.

De spoelboringen werden uitgevoerd met een boorkopdiameter van 220 tot 180 mm (Figuur 33). Boringen 1A-B, 6 en 7 werden uitgevoerd met een boorkopdiameter van 220 mm. Door de uitspoeling van de boorgatwand leverde dit echter werkelijke boorgatdiameters op van gemiddeld 400 mm (zie boring 7). Bijgevolg werd in samenspraak met de opdrachtgever overeengekomen om voor de overige boringen een boorkopdiameter van 180 mm te hanteren, om de gebruikte volumes aan filtergrind en klei te beperken.

De boorstangen werden gemarkeerd om de halve meter om de diepte van de boring nauwkeurig te volgen. Bij de gebruikte boorinstallatie werd in de spoelbak de grove fractie uit het spoelwater gezeefd (Figuur 34). Deze grove fractie bestond uit klei en leembrokken, die uitgesneden worden door de

boorkop en door hun cohesie aan elkaar blijven, en verder veen en schelpen. Het gezeefde spoelwater werd verder gezuiverd door middel van een cycloon, waarbij vooral de niet-cohesieve zandfractie werd gescheiden en opgevangen in een Big Bag (Figuur 32). Om de halve meter werd een halve kubieke decimeter staal genomen, waarbij de zandfractie rechtstreeks werd opgevangen in het staalpotje en de door middel van een handzeef opgevangen grove fractie toegevoegd werd. Gelijktijdig werd door een hydrogeoloog van AGT een boorstaat opgemaakt. Na het bereiken van de Bartoonklei werd het boorgat degelijk gespoeld en werden vervolgens de boorstangen uitgehaald.



Figuur 32: Achterkant boorinstallatie met bovenaan de cycloon en achteraan een Big Bag voor het opvangen van de niet-cohesieve zandfractie.



Figuur 33: Boorkop met rolbeitel (180 mm).



Figuur 34: voorkant boorinstallatie: spoelbak met grove zeef voor afscheiding grove fractie (klei- en veenbrokken, schelpen).

Na het uithalen van de boorstangen werd de diepte van het boorgat met een peillint opgemeten. Vervolgens werden de boorgatmetingen uitgevoerd met achtereenvolgend de elektrische resistiviteitssonde, de dual inductie-sonde en de caliper-sonde. Deze sondes werden door middel van een winch langsheen een loopwiel in het boorgat neergelaten aan een snelheid van maximaal 5 meter/ minuut (Figuur 35). De meting werd ter controle herhaald bij het naar boven brengen van de sonde, uitgezonderd de calipersonde waarbij enkel in het ophalen van de sonde gemeten kan worden. Het loopwiel werd daarbij gemonteerd op een stuk boorstang, dat geklemd werd in de boorinstallatie. Het aantal rotaties van het loopwiel wordt geteld door een odometer, waarmee zo de positie van de sonde in het boorgat automatisch geregistreerd wordt. Bij iedere meting werd het eindpunt van de sonde ingesteld op 0,5 meter boven de diepte van het boorgat, om schade aan de sensoren en het boorgat zelf te vermijden.



Figuur 35: Meetopstelling van de geofysische boorgatmetingen.

Allereerst werd de elektrische resisitiviteitsmeting uitgevoerd. Deze meting wordt uitgevoerd met een ELOG-sonde ("Electrical Logging"), welke door middel van een bronelektrode een laagfrequente wisselstroom in de omliggende grondlagen uitstuurt. Deze wisselstroom keert terug naar de sonde langsheen de voedingskabel, die de eerste 10 meter geïsoleerd is om te verzekeren dat de uitgestuurde stroom voldoende penetreert in de omliggende grondlagen. Door het potentiaalverschil tussen een paar meetelektrodes in de sonde en een referentie-elektrode aan het oppervlak te delen door de gemeten, teruggekeerde wisselstroom wordt de schijnbare resistiviteit (Ohm.m) bepaald van de omliggende grondlagen. Er worden met deze sonde twee meetelektrodes gebruikt op verschillende afstanden, genaamd "short normal (SN)" en "long normal (LN)", waarmee een verschillende dieptegevoeligheid en resolutie worden bereikt. Daarnaast wordt de lokale weerstand (Ohm) bepaald door het potentiaalverschil tussen de bronelektrode en de referentie-elektrode aan het oppervlak te

delen door de wisselstroom ("single-point resistance"). Verder meet de ELOG sonde het natuurlijke potentiaalverschil (mV) tussen een meetelektrode op de sonde en de referentie-elektrode aan het oppervlak ("spontaneous potential"). Naast deze weerstands- en resistiviteitsmetingen worden bijkomend de natuurlijke gammastraling en de temperatuur van de boorvloei stof gemeten. Een nadeel van deze sonde bij boringen van beperkte diepte (zoals deze) is dat de eerste resistiviteits- en weerstandswaarden pas gemeten worden vanaf het moment dat het niet-geïsoleerde deel van de voedingskabel contact maakt met het boorgatwater, of anders gezegd de bovenste 10 meter van het profiel wordt niet gemeten. Dit is bij deze ondiepe boringen bijkomend een hindernis aangezien de zoet-zoutwaterovergang vaak in de eerste 10 meter gelegen is.

Bijgevolg is door AGT, op eigen initiatief, bij iedere boring bijkomend een elektrische geleidbaarheidsmeting uitgevoerd door middel van een sonde van het type "Dual Induction" (DUIN sonde). Deze sensor is gebaseerd op elektromagnetische inductie, gelijkaardig aan de EM31 en EM34-sensors (hoofdstuk 2.1.1). Bij deze sonde wordt door een spoel een oscillerend hoogfrequent magnetisch veld uitgezonden. Twee ontvangstspoelen op 50 en 80 cm meten het geïnduceerde magnetisch veld in de grondlagen op (genaamd SCON en LCON, voor "short" en "long conductivity"). De maximale invloedstraal van de meting is ongeveer gelijk aan de spoelafstand, dus op respectievelijk 50 en 80 cm. Dicht bij het boorgat neemt de meetgevoeligheid sterk af, waardoor de invloed van het verstoorde boorgat geminimaliseerd wordt. Verder wordt door de DUIN-sonde eveneens de natuurlijke gammastraling gemeten. Deze sensor detecteert de natuurlijke gammastraling die vrijkomt bij het radioactief verval van Kalium, Uranium en Thorium. Kleimineralen bevatten dikwijls Kalium-ionen en geven dus meestal een hogere straling af dan zand of leem. Aangezien de totale straling ter hoogte van de sensor gemeten wordt, wordt deze meting wel beïnvloed door de opvulling van de annulaire ruimte rond de peilbuis (kleistoppen).

De DUIN-sonde werd gekalibreerd door de sonde op 1,5 m hoogte boven het maaiveld te plaatsen. Op die hoogte is de invloed van de grond op de metingen verwaarloosbaar. Eerst werd een nulmeting uitgevoerd op die positie, zonder kalibratietoestel. Vervolgens werden de elektrische geleidbaarheidsmetingen (LCON en SCON) gekalibreerd door middel van een kalibratietoestel, bestaande uit een hoepel met een gekende geleidbaarheidsrespons. De gammastraling-scintillatiemeter werd ten slotte gekalibreerd met een deken dat een gekende hoeveelheid gammastraling uitzendt.

De boorgatdiameter werd als laatste opgemeten met een 3-armige caliper sonde. Deze sonde werd gekalibreerd met een kalibratietoestel met gekende diameters. Door een correlatie te maken tussen de gemeten waarden van de calipersonde en de gekende waarden van het kalibratietoestel wordt een relatie opgesteld die gebruikt wordt om de eigenlijke meting om te zetten naar boorgatdiameters (Figuur 36). Bij boringen 1A-B, 6 en 7 werd een meting uitgevoerd met korte armen (maximale diameterafmeting 300 mm). Aangezien deze metingen echter aantoonde dat het boorgat dikwijls groter was (zie boven), werd bij boring 7 een tweede meting uitgevoerd met verlengde armen (maximale diameterafmeting 710 mm). In alle andere boringen is de calipermeting steeds uitgevoerd met de verlengde armen.



Figuur 36: Kalibratie van de caliper-sonde met het referentie-instrument.

Ten slotte werd de elektrische geleidbaarheid (mS/m) en temperatuur (°C) van het spoelwater in het boorgat gemeten met een CTD-Diver (SWS). Daarbij werd de CTD-Diver op een geleidelijk, rustig tempo naar de bodem van het boorgat gelaten. Aangezien deze Diver ook een drukmeting uitvoert, kan de diepte van de Diver bepaald worden uit de waterdruk. Voor deze omzetting werd het waterpeil in de spoelbak manueel gepeild ten opzichte van het maaiveld en werd het peil in de spoelbak constant gehouden door water toe te voegen.

Op basis van de boorstaat, de elektrische geleidbaarheids- en resistiviteitsmetingen en de meting van de natuurlijke gammastraling werden de filterstellingen van de diepe en ondiepe peilbuis en de positie van de kleistoppen bepaald. Daarbij gaf de elektrische geleidbaarheidsmeting het best de zoet-zoutwater verdeling aan, en werd de lithologische opbouw voornamelijk afgeleid van de natuurlijke gammastraling opgemeten bij zowel de ELOG als DUIN sonde. De ondiepe filter werd zoveel mogelijk in de zoete grondwaterlaag geplaatst, als er een watervoerende laag ondiep voorkwam. De filter werd wel diep genoeg onder de grondwatertafel ingebouwd om droogvallen te voorkomen. Voor de ondiepe en diepe peilbuis (filterlengte 1 meter, 0,5 meter zandvang) werd telkens filtergrind gestort van 0,5 meter onder tot 0,5 meter boven de filter. Boven het filtergrind van de diepe peilbuis werd dan telkens een kleistop geplaatst van minimaal 1 meter dikte. Bij de ondiepe peilbuis werd zowel onder als boven het filtergrind telkens een kleistop geplaatst van minimaal 1 meter dikte. De dikte van de kleistoppen werd soms vergroot om nabijgelegen kleilagen mee af te sluiten. De kleistop boven het filtergrind van de ondiepe peilbuis werd aangedikt tot 1 m-mv wanneer de top van het filtergrind ondiep gelegen was, aangezien tussen 1 en 2 m-mv steeds een kleistop voorzien moest worden. Verder werden kleistoppen geplaatst ter hoogte van kleiige lagen tussen de kleistoppen van de twee filterelementen, om kortsluiting tussen watervoerende lagen te voorkomen. Tussen deze kleistoppen werd filtergrind

gestort. De peilbuizen werden uiteindelijk ontwikkeld door middel van airlifting en afgewerkt met een beschermkoker of straatpot.

### 2.4.3 Resultaten en bespreking

De volgende verwerkingsstappen werden uitgevoerd op de boorgatmetingen:

- Correctie van de diepteligging van elke sondemeting, met als referentie het maaiveldpeil;
- Filtering van de extreme meetwaarden;
- Verificatie herhaalbaarheid tussen de neerwaartse en opwaartse metingen.

De metingen worden gepresenteerd als verticale grafieken naast elkaar, met het programma Strater van Golden Software. De boorbeschrijving, filterstelling van de peilbuizen en opvulling van de annulaire ruimte worden weergegeven in Bijlage 2.

De 16 boringen worden in de volgende hoofdstukken één voor één besproken.

#### 2.4.3.1 Boring 1A

De elektrische geleidbaarheidsmetingen (EC) geven bij boring 1A gaven abnormale waarden tussen 2 en 6 m-mv. De dag na boring is deze meting herhaald in de diepe peilbuis (zonder aanwezigheid van de boormachine), waarbij gelijkaardige abnormale waarden gemeten werden tussen 2 en 6 m-mv. Vermoedelijk bevinden er zich in dit diepte-interval geleidende objecten of ligt er in de buurt een storende elektromagnetische bron. De zoet-zoutwater overgang bevindt zich tevens in dit diepte-interval: de EC-waarden tussen 6 en 9 m-mv bedragen reeds ca. 400 mS/m. De EC-waarden nemen tussen 9 en 18 m-mv geleidelijk toe tot ca. 600 mS/m, waarna deze dieper stabiel blijven rond deze waarde. De vrij lage resistiviteitswaarden (tot 10 Ohm.m) over het gehele meetprofiel duiden eveneens op een vrij ondiepe zoet-zoutovergang.

#### 2.4.3.2 Boring 1B

Uit de EC-waarden van boring 1B blijkt duidelijk dat de zoet-zoutovergang zich bevindt tussen 3 en 6 m-mv. Over het diepere boorprofiel blijven de EC-waarden stabiel rond 700 mS/m. De boorstaat en natuurlijke gammawaarden duiden duidelijk op de aanwezigheid van veenlagen tussen 12 en 15 m-mv.

#### 2.4.3.3 Boring 2A

De zoet-zoutovergang is bij boring 2A eveneens ondiep gelegen, tussen 4 en 6 m-mv (zie EC-waarden). De boorstaat en natuurlijke gammawaarden wijzen op een overwegend zandig pakket tussen 2,5 en 10,5 m-mv, met dieper een afwisseling van zandige lagen en klei-/veenlagen. Aangezien de natuurlijke gammawaarden een relatieve piek vertonen tussen 22,5 en 23,5 m-mv is de kleistop boven de bovenste filter doorgezet tot 22,5 m-mv. Verder is een kleistop geplaatst tussen 10,5 en 13 m-mv, aangezien de natuurlijke gammawaarden hier ook een relatieve piek vertonen.

#### 2.4.3.4 Boring 2B

Bij boring 2B vertonen de EC-waarden tussen 1 en 3,5 m-mv al een lokale piek, waarna de EC-waarden dieper tot 5 m-mv terug afnemen tot 200 mS/m. Mogelijk is deze ondiepe piek veroorzaakt door de kleiige toplagen, zoals afgeleid kan worden van de boorstaat en de natuurlijke gammawaarden. Tussen 6 en 15 m-mv bedragen de EC-waarde ongeveer 400 mS/m, waarna deze tussen 15 en 17 m-mv toenemen tot 1000 mS/m, en dieper stabiel blijven tot 23,5 m-mv. De natuurlijke gammawaarden wijzen op de aanwezigheid van kleiige lagen tussen 21 en 24,5 m-mv. Tussen 23,5 en 24,5 m-mv nemen de EC-waarden terug af tot 700 mS/m: deze lokale daling wijst er vermoedelijk op dat de aanwezige

kleiige lagen een hydraulische barrière vormen tussen de boven- en onderliggende watervoerende lagen. Er is dan ook ter hoogte van deze kleiige lagen een kleistop geplaatst. Verder is ook een kleistop geplaatst ter hoogte van de kleiige lagen tussen 10,5 en 13,5 m-mv, om het bovenliggend zandige pakket af te sluiten. De filterstelling van de ondiepe peilbuis (5,5-6,5 m-mv) werd afgestemd op de natuurlijke gammawaarden, die in dit diepte interval, in tegenstelling tot de boorstaat, duidelijk wijzen op zandige lagen. De slappe kleibrokken die gedurende de boring bij dit diepte-interval naar boven kwamen zijn vermoedelijk nog afkomstig van de bovenliggende kleiige lagen.

#### 2.4.3.5 Boring 2C

De EC-waarden bij boring 2C nemen toe tot 200 mS/m tussen 2 en 4 m-mv, wat hoog is voor zoet formatiewater. De andere gegevens, onder andere de staalname, duiden op brak water op deze diepte wat de EM-meting bevestigt. Tussen 12 en 16 m-mv stijgen de EC-waarden tot circa 800 mS/m. De natuurlijke gammawaarden wijzen, zoals bij boring 2B, op een kleiige laag tussen 23 en 25 m-mv, waaronder de EC-waarden ook terugvallen tot 600 mS/m. Hier is dan ook een kleistop geplaatst.

#### 2.4.3.6 Boring 3A

Bij boring 3A tonen de EC-waarden duidelijk aan dat tot 13,5 m-mv zoet water zit. Tussen 13,5 en 20 m-mv nemen de EC-waarden toe van 100 mS/m tot 700 mS/m, waarna deze stabiel blijven. Uit de resistiviteitsmetingen is de ligging van de zoet-zoutovergang ook duidelijk af te leiden. De boorstaat en de natuurlijke gammawaarden wijzen verder op de aanwezigheid van klei en veen tussen 12 en 14 m-mv. De filterstelling van de diepe peilbuis (24,5-25,5 m-mv) is enkele meters boven de top van de Bartoonklei (28,5 m-mv) genomen aangezien de boorstaat en natuurlijke gammawaarden wijzen op de aanwezigheid van kleiige lagen tussen 26 en 28,5 m-mv, terwijl tussen 24 en 26 m-mv duidelijk zandige lagen voorkomen.

#### 2.4.3.7 Boring 3B en 3C

De geleidbaarheids- en resistiviteitsmetingen bij boringen 3B en 3C vertonen een gelijkaardig profiel als bij boring 3A. Hier is de zoet-zoutovergang respectievelijk ca. 1 en 3 meter dieper gelegen. Net zoals bij boring 3A is ter hoogte van de klei-/veenlaag tussen 12 en 14,5 m-mv een kleistop geplaatst, om het bovenliggende zandpakket af te sluiten. De filterstelling van de diepe peilbuis van boring 3C is eveneens enkele meters boven de top van de Bartoonklei geplaatst aangezien de boorstaat en natuurlijke gammawaarden wijzen op de aanwezigheid van kleiige lagen tussen 27 en 29,5 m-mv.

#### 2.4.3.8 Boring 4A

In boring 4A wijzen de EC-waarden op de aanwezigheid van zoet water tot 5 m-mv. Tussen 5 en 11 m-mv nemen de EC-waarden toe van 100 mS/m tot 1000 mS/m, waarna deze stabiel blijven tot 24 m-mv. Tussen 6,5 en 7,5 m-mv, 9,5 en 11 m-mv en 12,5 en 13 m-mv zijn bij de boring licht tot niet gehumificeerde, intacte houtresten naar boven gekomen (zie Figuur 37 en Figuur 38). De natuurlijke gammawaarden wijzen duidelijk op zandige lagen tot 7,5 m-mv. Dieper betreft het wellicht, afgaande op de boorstaat, zandige lagen met intercalaties van kleiige lagen.





Figuur 37 Boring 4A: licht gehumificeerde, doch intacte houtresten tussen 6,5 en 7,5 m-mv.



Figuur 38: boring 4A: licht tot niet gehumificeerde, intacte houtresten tussen 9,5 en 11 m-mv.

#### 2.4.3.9 Boring 4B

Bij boring 4B is zoet water te vinden tot een diepte van 8,5 m-mv. Tussen 8,5 en 11 m-mv nemen de EC-waarden toe tot 850 mS/m. De kleistop boven het filtergrind van de diepe peilbuis is aangedikt tot 19 m-mv om de venige lagen tussen 19 en 22 m-mv, zoals afgeleid kan worden van de boorstaat en de natuurlijke gammawaarden, mee af te sluiten.

#### 2.4.3.10 Boring 4C

Boring 4C vertoont een gelijkaardig profiel als boring 4B, al ligt de zoet-zout overgang 1 meter hoger. Op basis van de natuurlijke gammawaarden is besloten een kleistop te plaatsen tussen 13 en 18 m-mv, waar de boorstaat en natuurlijke gammawaarden wijzen op de aanwezigheid van venige lagen.

#### 2.4.3.11 Boring 5A

Bij boring 5A, gelegen nabij de huidige dijk van het Zwin, is de zoet-zout overgang zeer ondiep gelegen: tussen 1,5 en 5 m-mv nemen de EC-waarden toe van 100 tot 800 mS/m. De lage resistiviteitswaarden over het gehele meetprofiel wijzen eveneens op een ondiep gelegen zoet-zoutovergang. De filterstelling van de diepe peilbuis bedraagt 24,5 tot 25,5 m-mv, ondanks tijdens de boring op deze diepte een menging veel slappe kleibrokken waargenomen werden. De filterstelling is echter gestaafd door de calipermetingen, die rond deze diepte een sterke uitspoeling van de boorgatwand aangeven: dit wijst op een samenhangende (zandige) grondopbouw.

#### 2.4.3.12 Boring 5B en 5C

Bij boringen 5B en 5C is de zoet-zout overgang respectievelijk 2,5 en 4 meter dieper gelegen dan bij 5A. Dit is duidelijk te zien in de relatief hogere resistiviteitswaarden in de eerste 5 meter van het meetprofiel. Bij boring 5B is op basis van de natuurlijke gammawaarden tussen 9,5 en 13 m-mv een kleistop geplaatst.

#### 2.4.3.13 Boring B6

De zoet-zout overgang vindt plaats tussen 7 en 9 m-mv. Op basis van de boorstaat is beslist de filter te plaatsen tussen 28,5 en 29,5 m-mv. Verder is een kleistop geplaatst tussen 17 en 19 m-mv aangezien de natuurlijke gammawaarden hier wijzen op een kleiige laag.

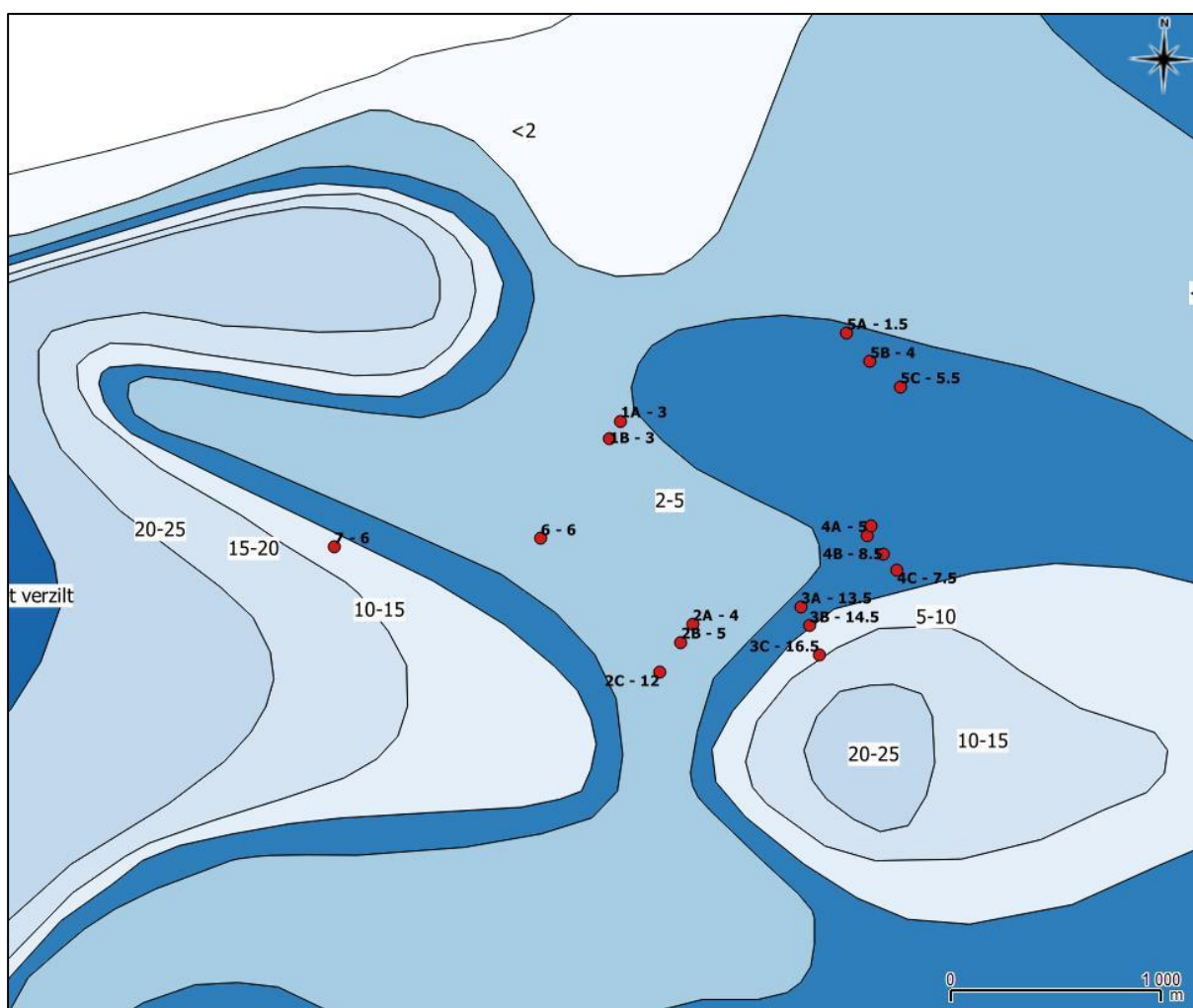
#### 2.4.3.14 Boring B7

Bij boring B7, gelegen op 1,5 km van het Zwin, is zoet water te vinden tot 6 m-mv. Dieper nemen de EC-waarden geleidelijk toe tot 700 m-mv op 23 meter diepte, om vervolgens tussen 23 en 25 m-mv weer af te nemen tot 250 mS/m. Deze afname kan vermoedelijk toegeschreven worden aan het waterremmend karakter van de venige laag op deze diepte, zoals aangegeven in de boorstaat en natuurlijke gammawaarden. Aangezien de natuurlijke gammawaarden een piek vertonen tussen 26,8 en 27,8 m-mv is besloten de filterstelling van de peilbuis te plaatsen tussen 25,5 en 26,5 m-mv, waar de natuurlijke gammawaarden duidelijk wijzen op een zandige laag.

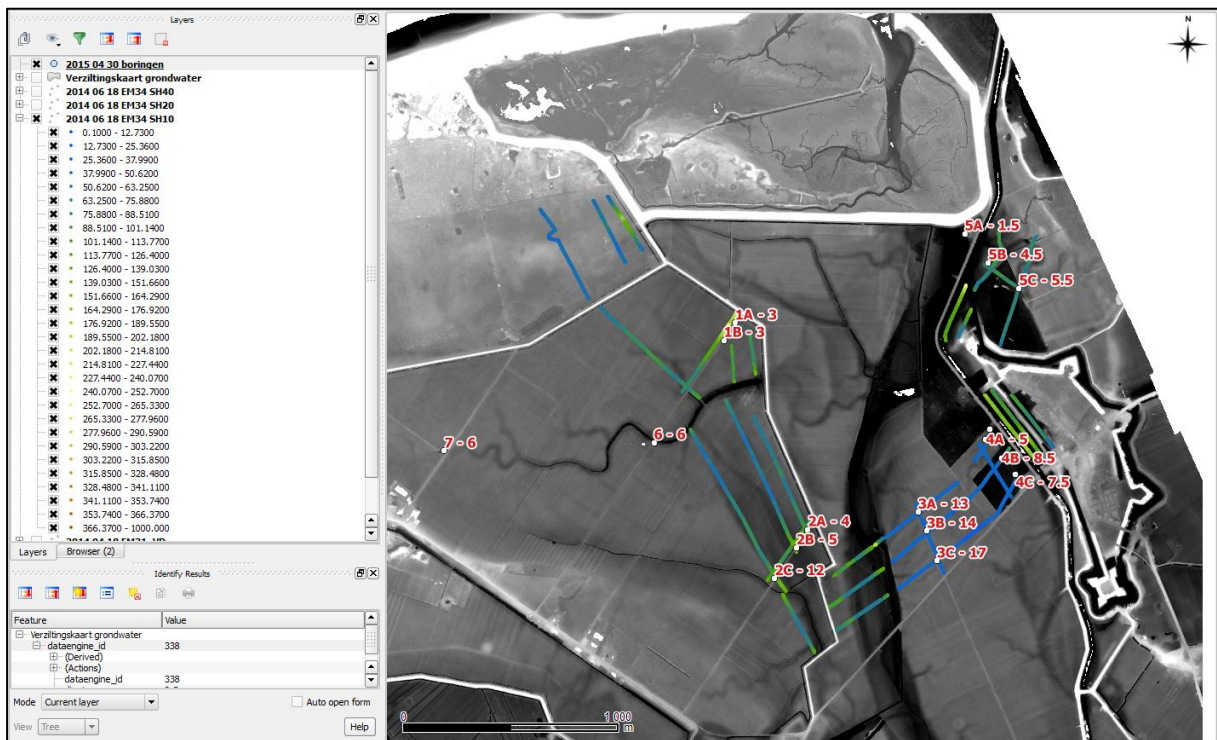
### 2.4.4 *Vergelijking met de oppervlakkige EM31 en EM34-metingen en de verziltingskaart*

De overgang van het zoet-zout grondwater kan bepaald worden op basis van de EM-metingen in de boorgaten. Als diepte van de overgang werd het begin van de stijging genomen. Deze diepte werd voor elke boring geprojecteerd op een kaart samen met de EC-waarden van de oppervlakkige EM31 en EM34-metingen (Figuur 40 tot Figuur 42). Daarnaast werden de waarden op de plaats van de boringen ook met elkaar vergeleken (Tabel 12, Figuur 43 en Figuur 44). Ter hoogte van boringen B6 en B7 werden

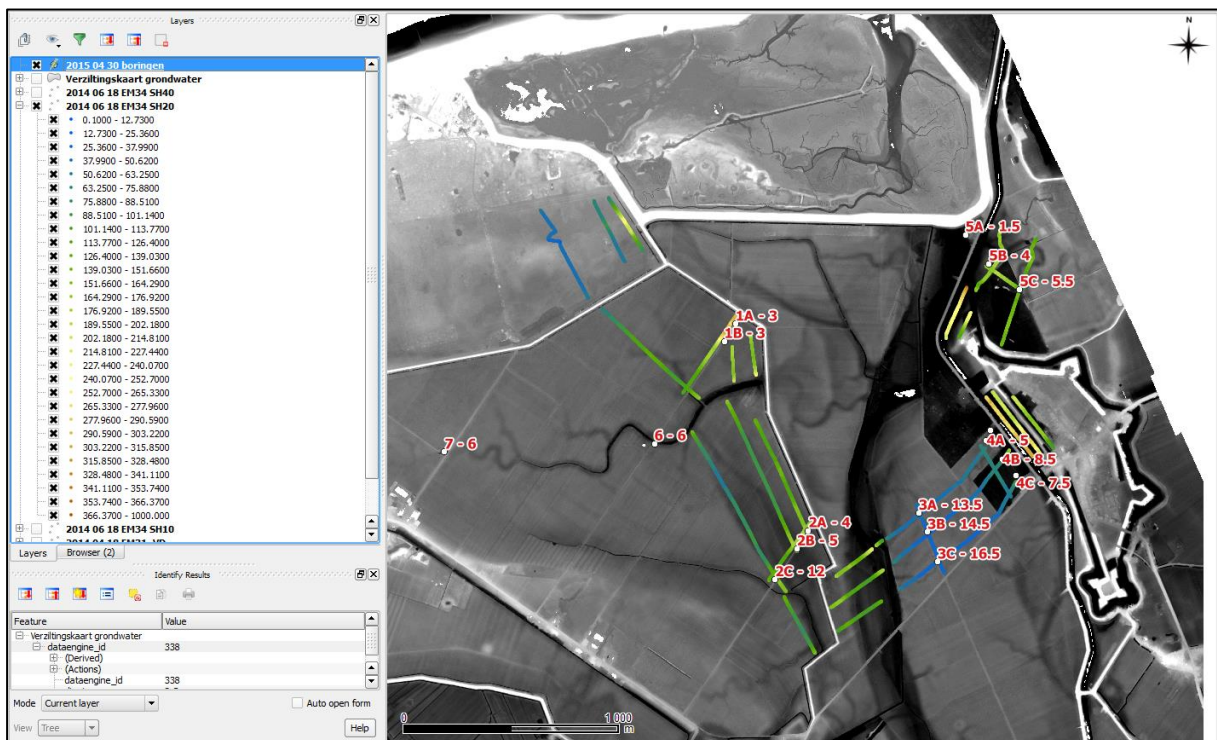
geen EM-metingen aan het maaiveld uitgevoerd, waardoor hier geen vergelijking kan gemaakt worden. Bij boring 5A werd met de EM34 ook niet gemeten, wel met de EM31. Zoals verwacht is er een duidelijke relatie tussen de EC-waarden gemeten vanop het maaiveld en de diepte van het grensvlak zoals bepaald door de EM-metingen in de boorgaten. De relatie tussen de EM31-metingen en de EM-metingen in de boorgaten vakt vrij snel af als de zoet-zout overgang dieper ligt. Dit is logisch gezien deze sensor slechts tot ca. 6 m diep meet. Bij de EM34-metingen blijft de relatie veel dieper gelden, vooral dan bij de spoelafstand van 40 m die een veel groter dieptebereik heeft. Boring 2C toont een afwijking: de diepte van het grensvlak ligt veel dieper dan de EC-metingen op het maaiveld doen uitschijnen. De bepaling van het grensvlak is hier niet éénduidig, de EC-waarden stijgen reeds tot 200 mS/m tussen 2 en 4 m diepte, maar de grootste stijging begint pas dieper. Boring 4A toont voor de EM34 metingen ook een afwijking: de diepte van het grensvlak ligt hier te laag. Op deze plaats liggen de EM34-metingen relatief veraf, zodat de onzekerheid op de meetwaarden vrij groot is.



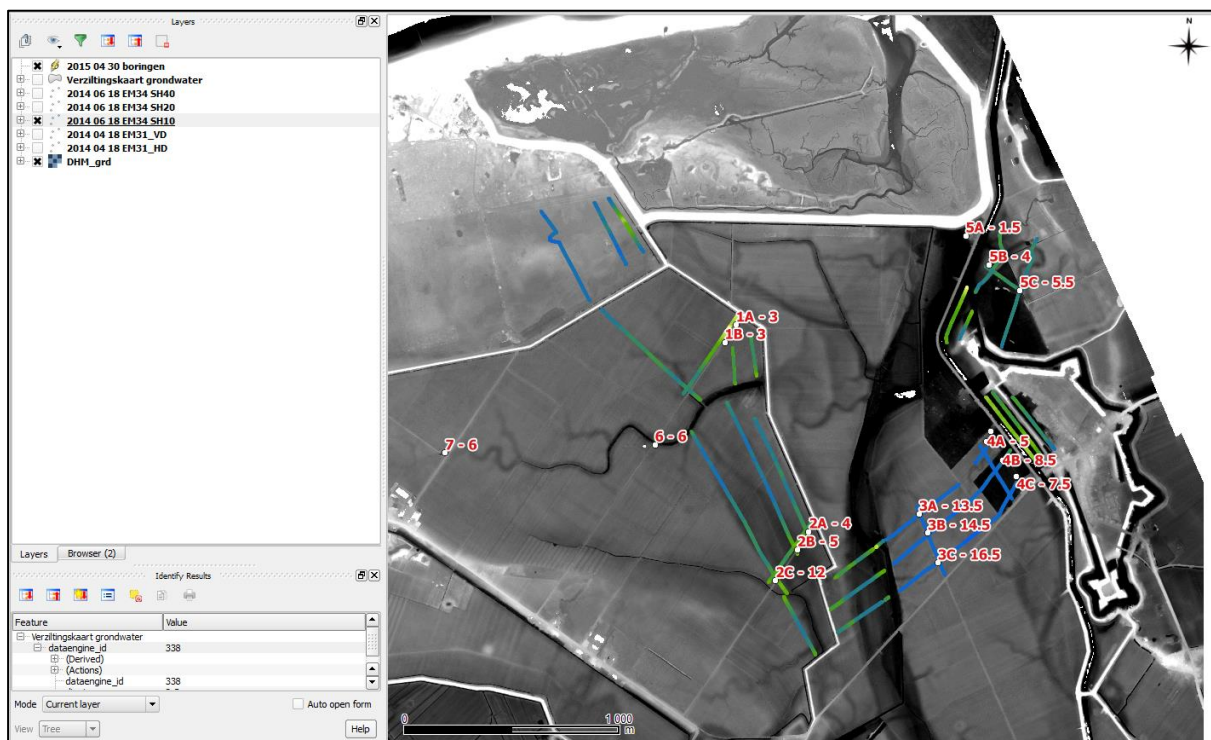
Figuur 39: projectie van de boringen op de verzillingskaart.



Figuur 40: Resultaat oppervlakte elektrische geleidbaarheidsmetingen (EM34, spoelafstand 10 m) met voor iedere boring het basispeil van de zoetwaterkolom (m-mv).



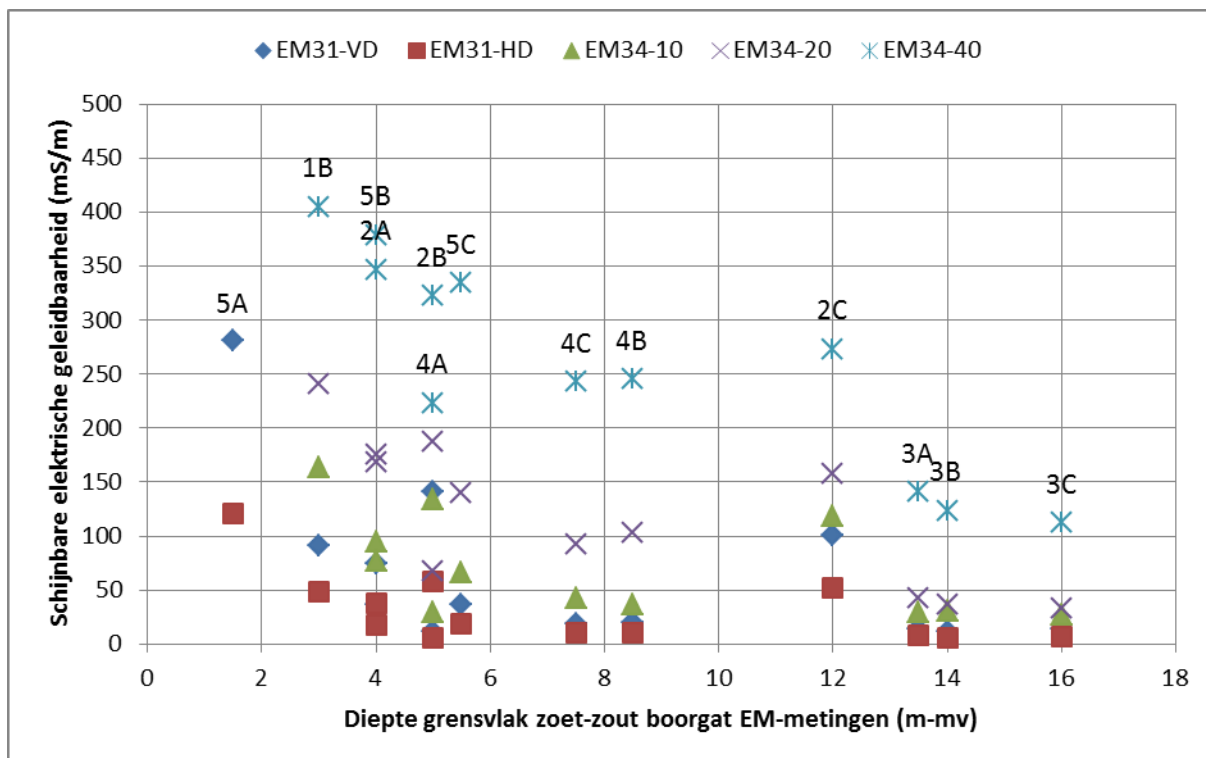
Figuur 41: Resultaat oppervlakte elektrische geleidbaarheidsmetingen (EM34, spoelafstand 20 m) met voor iedere boring het basispeil van de zoetwaterkolom (m-mv).



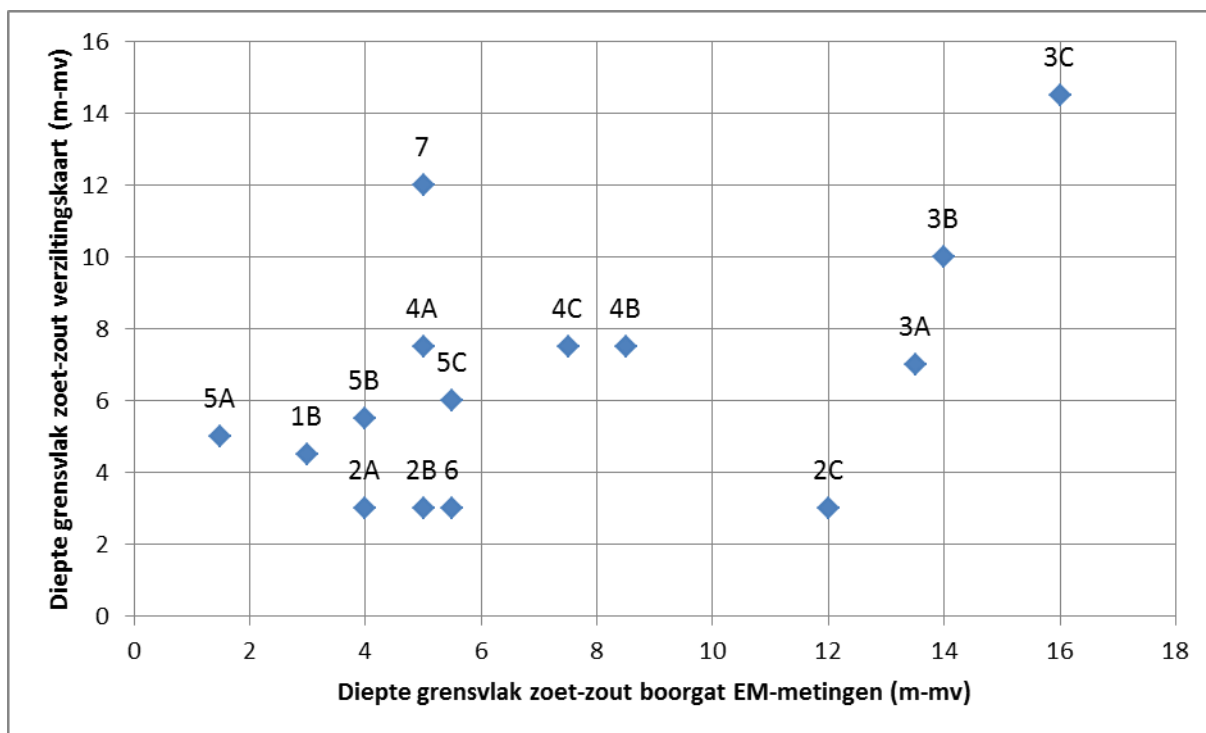
Figuur 42: Resultaat oppervlakte elektrische geleidbaarheidsmetingen (EM34, spoelafstand 40 m) met voor iedere boring het basispeil van de zoetwaterkolom (m-mv).

Tabel 12: Vergelijking tussen de boorgat EM-metingen, de EM-metingen op het maaiveld en de verziltingskaart.

Boring	Diepte grensvlak zoet-zout		Schijnbare geleidbaarheid (mS/m)				Diepte grensvlak zoet-zout verziltingskaart (m-mv)	
	boorgat EM-metingen (m-mv)		EM31-VD	EM31-HD	EM34-10	EM34-20		EM34-40
1A			73.3	38.8	182.9	278.3	474.5	4.5
1B	3.0		91.5	47.8	163.4	240.5	405.2	4.5
2A	4.0		74.8	37.7	95.2	175.5	346.9	3.0
2B	5.0		140.7	58.2	133.9	186.9	322.7	3.0
2C	12.0		100.6	51.5	118.3	157.7	273.4	3.0
3A	13.5		14.3	8.1	29.2	42.3	140.6	7.0
3B	14.0		11.2	5.6	30.5	36.9	123.4	10.0
3C	16.0		13.3	6.3	26.7	32.4	112.0	14.5
4A	5.0		11.4	6.1	29.2	67.6	223.2	7.5
4B	8.5		19.4	10.1	36.9	103.3	245.0	7.5
4C	7.5		18.8	10.1	41.9	92.0	242.7	7.5
5A	1.5		281.4	120.8				5.0
5B	4.0		36.7	17.6	76.5	168.7	379.0	5.5
5C	5.5		36.9	19.0	66.1	139.3	334.3	6.0
6	5.5							3.0
7	5.0							12.0



Figuur 43: Elektrische geleidbaarheid van de EM-metingen op het maaiveld uitgezet ten opzichte van de diepte van het zoet-zout grensvlak afgeleid uit de boorgat EM-metingen.



Figuur 44: Diepte grensvlak zoet-zout afgeleid van de verziltingskaart, uitgezet ten opzichte van de diepte van het grensvlak afgeleid van de boorgat EM-metingen.

## 2.5 Monstername, analyse en peilmeting in december 2015 en juni/juli 2016

### 2.5.1 Peilbuisbemonstering en analyse

In december 2015 en juni/juli 2016 werden de peilbuizen bemonsterd. De bemonstering gebeurde met een frequentie-gestuurde dompelpomp. Tijdens de bemonstering werden ter plaatse ook de pH, elektrische geleidbaarheid, temperatuur, opgeloste zuurstof en redoxpotentiaal bepaald. Naast de fysisch-chemische analyses werden ook de anorganische verbindingen en de zware metalen en metalloïden bepaald in het labo. Per peilbuis werd ook de ionenbalans opgemaakt en de Stuyfzandtypologie bepaald.

### 2.5.2 Analyseresultaten

De analyseresultaten van de bemonsteringen zijn opgenomen in bijlage Bijlage 5. De elektrische geleidbaarheid staat in rechtstreeks verband met het verziltingsgehalte. Aan de hand van deze parameter kan de verzilting van het grondwater op een snelle manier geëvalueerd worden. De resultaten van de veld-geleidbaarheidsmetingen zijn uitgezet op plan (Figuur 44). De resultaten zijn geprojecteerd op de kaart met de resultaten van de EM34-S10 metingen. Deze EM34-metingen worden meest beïnvloed door de grondlagen tot 7,5 m-mv. Dit is de ondergrens van de ondiepe peilbuizen. Op de plaatsen waar een verhoogde geleidbaarheid gemeten wordt door de EM34-metingen, worden ook in het grondwater in de ondiepe peilbuizen een verhoogde elektrische geleidbaarheid gemeten.

In de meetpunten 1A, 5A, 705 en 567 werd in de ondiepe peilbuis een sterk verhoogde geleidbaarheid gemeten die slechts weinig verschilt met de geleidbaarheid van de diepe peilbuizen. In de ondiepe peilbuizen van de meetpunten 1B, 701, 2-reeks, 705 en 5D werd een matig verhoogde geleidbaarheid gemeten. Deze gradaties komen overeen met deze van de EM34-S10 meting ter hoogte van de betreffende peilbuizen. In de diepe peilbuis 7 werd slechts een geleidbaarheid gemeten tussen 10000-12000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  terwijl in de overige diepe peilbuizen meetwaarden tussen 40000-50000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  werden gemeten.

In de ondiepe peilbuis ter hoogte van het meetpunt 1B werd tijdens de bemonstering in 2016 een veel lagere geleidbaarheid gemeten dan in 2015 (factor 10). De geleidbaarheidsmeting in het labo geeft wel een gelijkaardige waarde aan, respectievelijk 9200 en 9100  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . In de diepe peilbuis van meetpunt 5A werd tijdens de bemonstering in 2016 een veel lagere geleidbaarheid gemeten dan in 2015 (respectievelijk 22400 en 44300  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). De geleidbaarheidsmeting in het labo geeft eveneens een geleidbaarheid van 20000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  aan. Gezien de diepte wordt hier een meetwaarde van een grootorde 40000-50000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  verwacht. Tijdens de controle van de peilbuizen na de plaatsing in september 2015 werd 45000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  gemeten, wat de verwachtingen en de meetwaarden van 2015 bevestigt.



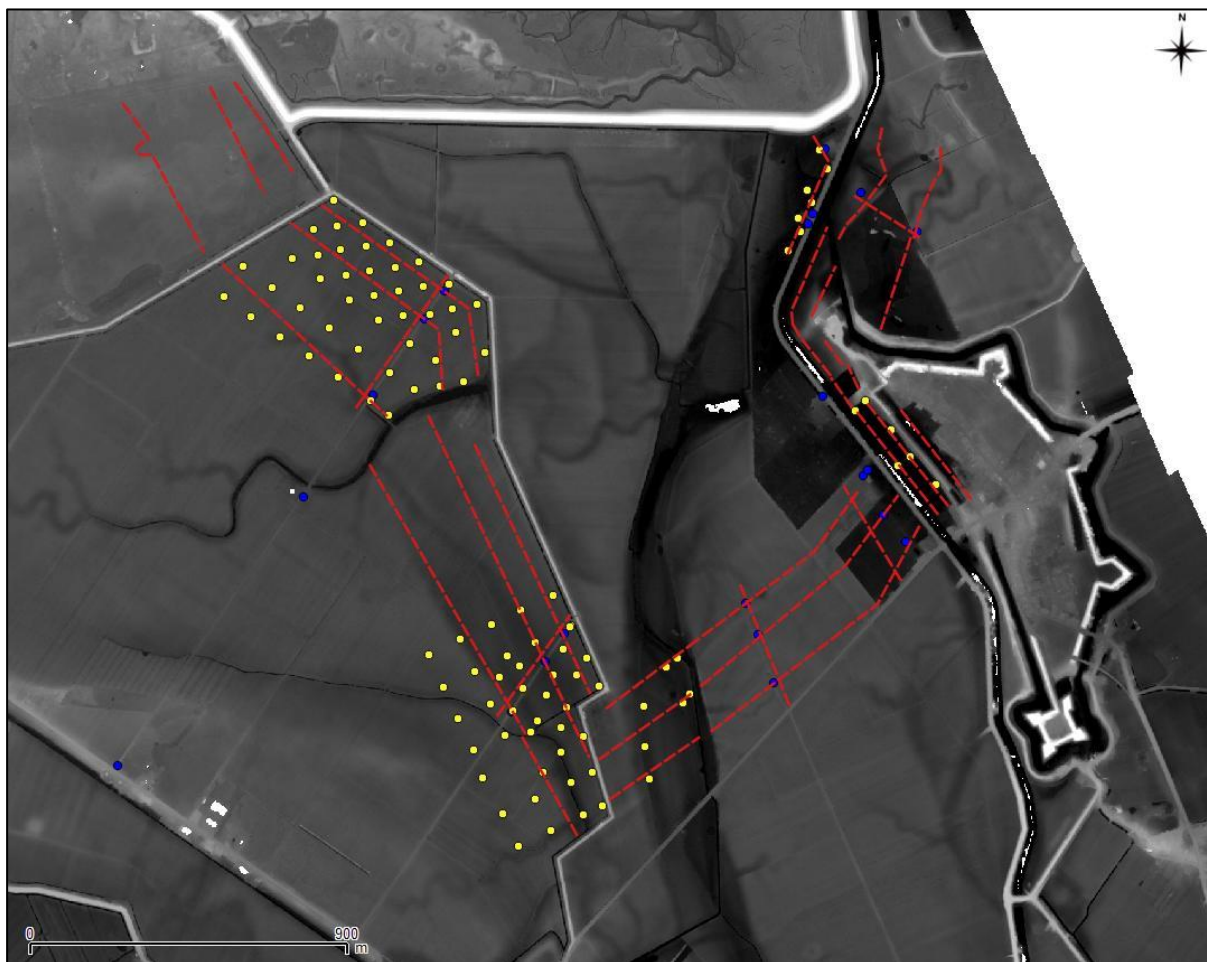


## 2.6 Prikstokmetingen met direct-push: meetrondes 1 en 2 in april en augustus 2016

### 2.6.1 Meetmethode

In april en augustus 2016 werden op 104 locaties EC-sonderingen uitgevoerd met een Geoprobe (Figuur 47). De EC-sonderingen zijn uitgevoerd in de zones waar de EM31 en EM34 metingen van de eerste nulmeting aangegeven hebben dat de zoet-zout waterovergang ondiep zit. De EC-sonderingen zijn uitgevoerd tot een diepte van 5 m-mv.

Bij de continue meting, waarbij de probe geleidelijk de grond wordt ingetrild, wordt door middel van twee elektrische contacten op de SC500 EC Probe (Wenner array; Figuur 48) stroom de bodem ingestuurd. Uit de gemeten spanning en stroomsterkte kan vervolgens de elektrische geleidbaarheid berekend worden.



Figuur 46: posities van de uitgevoerde EC-sonderingen (geel).



Figuur 47: Geoprobe tijdens de uitvoering van de veldmetingen aan het Zwin.



Figuur 48: SC500 EC Probe.

### 2.6.2 Verwerking van de meetresultaten

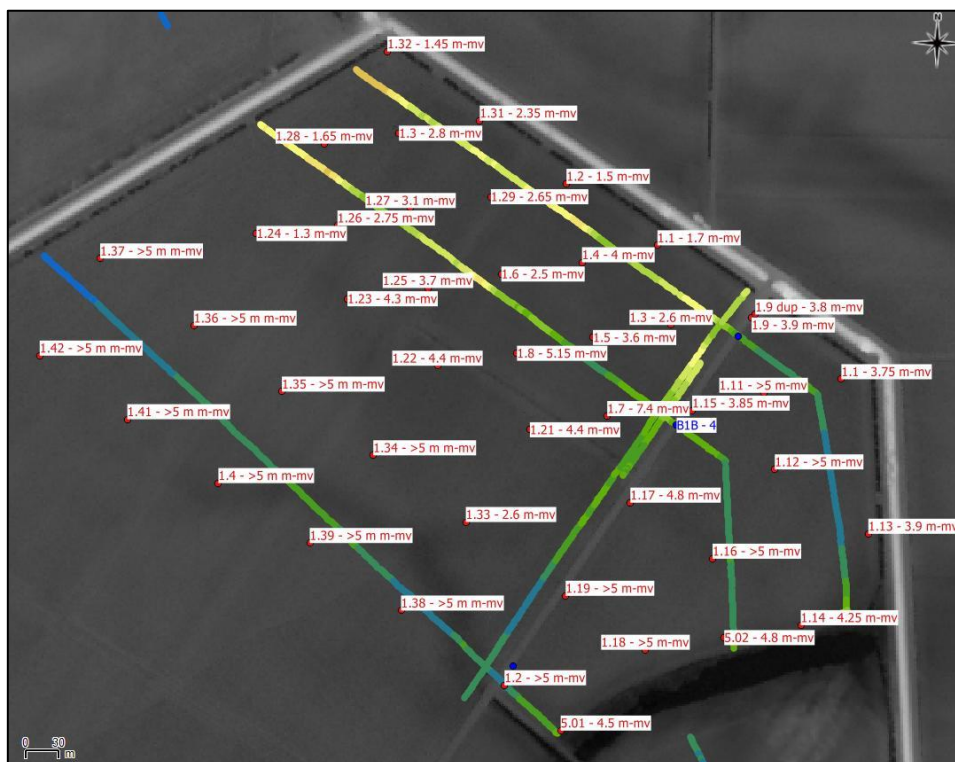
Voor iedere EC-sondering is de gemeten elektrische geleidbaarheid uitgezet t.o.v. de diepte (m-mv). Net zoals bij EM-metingen is voor iedere EC-sondering de diepte van de zoet-zout overgang bepaald als de diepte waarop de gemeten geleidbaarheid de arbitraire waarde van 300 mS/m overschrijdt.

### 2.6.3 Meetresultaten en interpretatie

De EC-profielen zijn bijgevoegd in Bijlage 6. Naast de grafiek van de EC-waarden in functie van de diepte, is ook een grafiek getoond van de "Rate of Push (ROP)" of penetratiesnelheid in m/min. Deze waarde geeft een indicatie van lithologische overgangen, gezien in compacte grond de penetratiesnelheid lager is dan in slappe grond. In Tabel 13 tot en met Tabel 15 is een overzicht gegeven van de uitgevoerde EC-sonderingen, en de arbitrair bepaalde diepte van de zoet-zout overgang (daar waar de EC-waarde groter wordt dan 300 mS/m). De diepten van de zoet-zout overgang zijn geplot op een topografische kaart samen met de EC-waarden zoals gemeten bij de EM31-metingen. Een visuele vergelijking van de diepte van de zoet-zout overgangen volgens de EC-sonderingen en EM-metingen met de schijnbare elektrische geleidbaarheid volgens de EM31-metingen (verticale dipooloriëntatie) toont aan dat er een duidelijke relatie is (Figuur 49 tot Figuur 52):

- In de noordwestelijke zone bevindt de zoet-zout waterovergang zich op de binnenste raai (50 m van toekomstige dijk) op een diepte van 1,5 à 4,0 m-mv. Aan de buitenste raai valt de zoet-zout overgang buiten het bereik van de EC-sondering (die uitgevoerd zijn tot 5 m-mv).
- Helemaal in het zuiden bevindt de zoet-zout overgang zich het hoogst ter hoogte van de middelste raai (met als meest ondiepe waarden 1,6 en 1,85 m-mv ter hoogte van respectievelijk de sonderingen 2.26 en 2.09), zoals ook af te leiden valt uit de EM31-metingen (Figuur 50). De EC-sonderingen die hier rondom zijn uitgevoerd wijzen op zoet-zout overgangen dieper gelegen dan 5 m-mv.
- Aan de kanaalweg in Retranchement wijzen de EC-sonderingen erop dat de zoet-zout grens zich relatief hoger bevindt aan de binnenste raai, zoals ook aangegeven wordt door de resultaten van de EM31- en EM34-metingen (Figuur 51).
- Aan de noordoostelijk gelegen raai, t.h.v. het restaurant de Witte Koksmuts, wijzen de EC-sonderingen op ondiep gelegen zoet-zout overgangen (0 tot 3,15 m-mv; Figuur 52).

Voor de EC-sonderingen welke uitgevoerd zijn ter hoogte van de raaien is de schijnbare geleidbaarheid van de volgens EM31- en EM34-metingen uitgezet t.o.v. de zoet-zout grens volgens de EC-sonderingen (Figuur 53 tot en met Figuur 57). Zoals verwacht wordt de sterkste relatie bekomen met de EM31-metingen, aangezien de gevoeligheid van de meting geconcentreerd is in de eerste meters onder het maaiveld. Volgens de theoretische dieptegevoeligheidsfuncties van de EM31 en EM34 sensors, is de relatie een inverse machtsfunctie. De relatie is quasi onbestaande voor de grotere spoelafstanden van de EM34-sensor.



Figuur 49: locatie EC-sonderingen en peilbuizen grondwatermeetnet (label = ID EC-sondering/peilbuis en diepte zoet-zout overgang) samen met EC-waarden EM31-meting (verticaal) op de hoogtekartaart (1/4).



Figuur 50: locatie EC-sonderingen en peilbuizen grondwatermeetnet (label = ID EC-sondering/peilbuis en diepte zoet-zout overgang) samen met EC-waarden EM31-meting (verticaal) op de hoogtekartaart (2/4).



Figuur 51: locatie EC-sonderingen en peilbuizen grondwatermeetnet (label = ID EC-sondering/peilbuis en diepte zoet-zout overgang) samen met EC-waarden EM31-meting (verticaal) op de hoogtekartaart (3/4).



Figuur 52: locatie EC-sonderingen en peilbuizen grondwatermeetnet (label = ID EC-sondering/peilbuis en diepte zoet-zout overgang) samen met EC-waarden EM31-meting (verticaal) op topografische kaart (4/4).

Tabel 13 Uitgevoerde EC-sonderingen (1/3).

ID	Uitvoering	x	y	z	Diepte zoet-zout grens (300 mS/m)
1.1	april 2016	79747.308	227601.599	3.752	1.7
1.2	april 2016	79665.891	227656.699	3.685	1.5
1.4	april 2016	79679.755	227586.418	3.740	4
1.3	april 2016	79759.611	227530.321	3.708	2.6
1.5	april 2016	79689.581	227519.083	3.774	3.6
1.6	april 2016	79607.534	227575.959	3.763	2.5
1.7	april 2016	79702.386	227448.680	3.685	7.4
1.8	april 2016	79621.511	227504.949	3.746	5.15
1.9	april 2016	79831.656	227537.066	4.554	3.9
1.9 dup	aug 2016	79834.962	227539.662	4.535	3.8
2.1	april 2016	80128.097	226656.393	3.730	6
2.2	april 2016	80077.178	226522.107	3.291	>5
2.3	april 2016	80037.440	226613.499	3.399	>5
2.4	april 2016	80179.447	226570.215	4.025	5.7
2.4 dup	aug 2016	80178.067	226567.980	4.011	>5 m
1.10	aug 2016	79912.096	227481.698	3.721	3.75
1.11	aug 2016	79842.380	227469.555	3.747	>5
1.12	aug 2016	79852.462	227400.961	3.739	>5
1.13	aug 2016	79936.236	227343.322	3.797	3.9
1.14	aug 2016	79875.688	227261.447	3.553	4.25
1.15	aug 2016	79778.437	227453.605	3.808	3.85
1.16	aug 2016	79796.717	227320.990	3.752	>5
1.17	aug 2016	79723.080	227371.175	3.889	4.8
1.18	aug 2016	79736.598	227239.450	3.807	>5
1.19	aug 2016	79665.146	227287.765	3.806	>5
1.20	aug 2016	79610.349	227207.633	4.025	>5
1.21	aug 2016	79633.096	227436.464	3.738	4.4
1.22	aug 2016	79550.273	227493.833	3.739	4.4
1.23	aug 2016	79469.645	227553.783	3.822	4.3
1.24	aug 2016	79388.280	227612.251	3.894	1.3
1.25	aug 2016	79541.760	227563.417	3.819	3.7
1.26	aug 2016	79460.715	227619.378	3.817	2.75
1.27	aug 2016	79526.256	227635.022	3.825	3.1
1.28	aug 2016	79449.006	227692.695	3.912	1.65
1.29	aug 2016	79598.128	227645.159	3.725	2.65
1.30	aug 2016	79515.837	227702.041	3.735	2.8
1.31	aug 2016	79588.175	227713.278	3.882	2.35
1.32	aug 2016	79505.419	227775.244	3.949	1.45

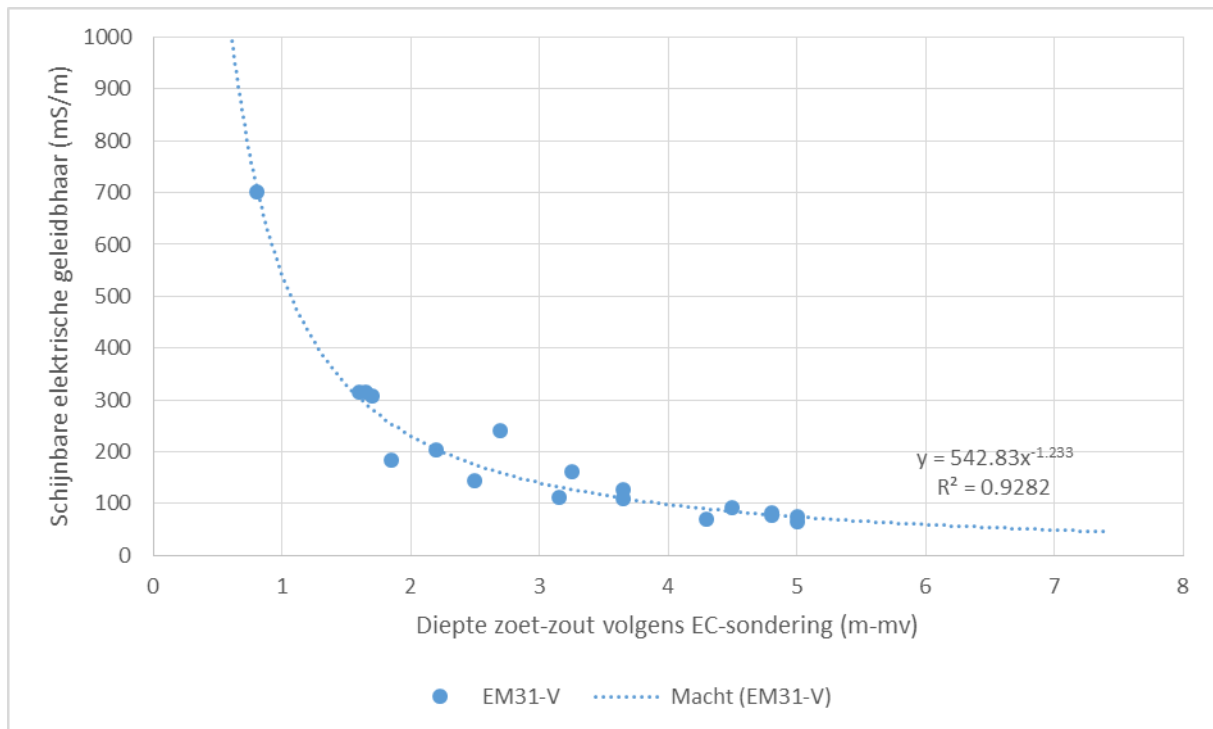
Tabel 14 Uitgevoerde EC-sonderingen (2/3).

ID	Uitvoering	x	y	z	Diepte zoet-zout grens (300 mS/m)
1.33	aug 2016	79575.714	227353.852	3.864	2.6
1.34	aug 2016	79492.847	227413.566	3.887	>5 m
1.35	aug 2016	79410.958	227470.624	3.965	>5 m
1.36	aug 2016	79332.101	227529.704	3.931	>5 m
1.37	aug 2016	79248.208	227589.834	3.974	>5 m
1.38	aug 2016	79517.723	227274.559	3.929	>5 m
1.39	aug 2016	79435.913	227335.055	3.883	>5 m
1.40	aug 2016	79354.104	227388.700	3.777	>5 m
1.41	aug 2016	79272.518	227445.901	3.908	>5 m
1.42	aug 2016	79194.061	227502.856	3.908	>5 m
2.05	aug 2016	80223.711	226476.570	3.727	4.7
2.06	aug 2016	80259.815	226399.322	3.767	3.7
2.07	aug 2016	80157.296	226504.403	3.505	4.2
2.08	aug 2016	80194.020	226428.868	3.485	3.7
2.09	aug 2016	80129.103	226430.525	3.232	1.85
2.10	aug 2016	80165.439	226339.560	3.315	2.2
2.11	aug 2016	80108.641	226371.720	3.271	>5 m
2.12	aug 2016	80082.897	226300.977	3.353	3.2*
2.13	aug 2016	80016.138	226327.325	3.687	3.65
2.14	aug 2016	80034.188	226454.046	3.479	>5 m
2.15	aug 2016	79997.451	226484.290	3.328	>5 m
2.16	aug 2016	79955.567	226573.060	3.415	>5 m
2.17	aug 2016	80041.607	226393.503	3.330	>5 m
2.18	aug 2016	79975.721	226422.185	3.388	>5 m
2.19	aug 2016	79950.760	226348.647	3.835	>5 m
2.20	aug 2016	79907.590	226440.896	3.849	>5 m
2.21	aug 2016	79866.747	226530.651	3.479	>5 m
2.22	aug 2016	79817.692	226396.744	3.629	3.5*
2.23	aug 2016	79775.080	226488.104	3.746	>5 m
2.24	aug 2016	79902.546	226216.909	3.628	3.2
2.25	aug 2016	79859.411	226306.665	3.726	>5 m
2.26	aug 2016	80149.963	226280.957	3.355	1.6
2.27	aug 2016	80213.534	226253.991	3.665	2.7
2.28	aug 2016	80240.276	226153.409	3.695	>5 m

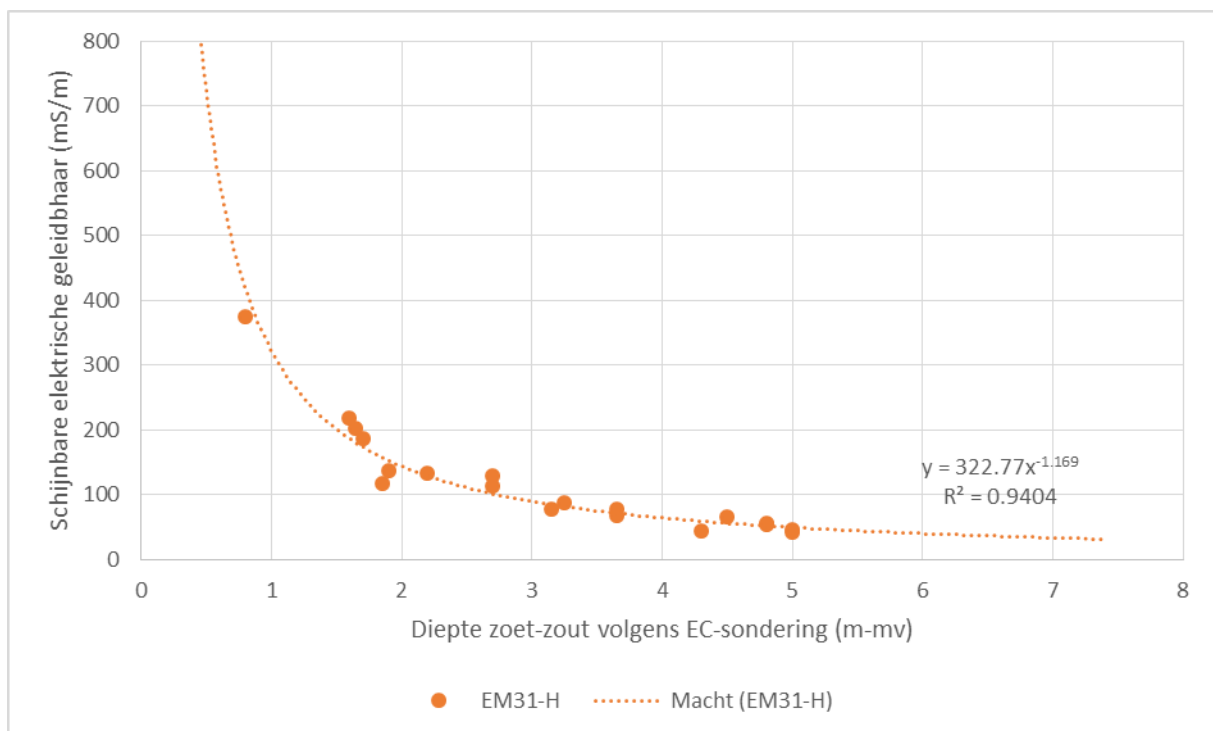
Tabel 15 Uitgevoerde EC-sonderingen (3/3).

ID	Uitvoering	x	y	z	Diepte zoet-zout grens (300 mS/m)
2.29	aug 2016	80269.485	226057.582	3.790	>5 m
2.30	aug 2016	80215.169	226032.536	2.875	>5 m
2.31	aug 2016	80179.958	226124.016	2.893	>5 m
2.32	aug 2016	80150.595	226212.217	2.798	2.85
2.33	aug 2016	80065.651	226267.413	3.354	2.5*
2.34	aug 2016	79993.312	226258.638	3.572	3.15*
2.35	aug 2016	80101.556	226152.441	3.703	>5 m
2.36	aug 2016	80077.458	226077.525	3.824	>5 m
2.37	aug 2016	80121.227	225988.014	3.567	>5 m
2.38	aug 2016	80030.032	225944.158	3.763	3.6
2.39	aug 2016	79987.163	226035.213	3.777	4.6
2.40	aug 2016	79928.634	226139.039	3.548	4.55
2.41	aug 2016	80385.939	226342.551	3.093	>5 m
2.42	aug 2016	80388.571	226226.204	3.071	>5 m
2.43	aug 2016	80401.700	226134.665	2.941	>5 m
3.01	aug 2016	80883.119	227920.040	2.650	1.7
3.02	aug 2016	80905.408	227865.347	2.596	0.8
3.03	aug 2016	80848.661	227804.398	2.282	0
3.04	aug 2016	80862.176	227768.450	2.197	1.65
3.05	aug 2016	80829.898	227686.609	2.154	1.9
3.06	aug 2016	80796.428	227634.008	1.922	1.6
3.07	aug 2016	80824.832	227727.013	2.546	3.15
4.01	aug 2016	80985.616	227180.924	2.205	3.25
4.02	aug 2016	81013.519	227207.434	2.383	5
4.03	aug 2016	81086.403	227124.399	2.154	>5 m
4.04	aug 2016	81143.261	227049.720	2.113	5
4.05	aug 2016	81215.869	226968.843	2.281	4
4.06	aug 2016	81107.874	227022.509	2.156	3.65
5.01	aug 2016	79660.668	227167.107	3.656	4.5
5.02	aug 2016	79807.192	227250.352	3.684	4.8
6.01	aug 2016	80482.825	226479.215	2.709	2.7*
6.02	aug 2016	80517.593	226376.887	2.673	>5 m
6.03	aug 2016	80450.383	226450.817	2.716	4.8
6.04	aug 2016	80496.300	226350.712	2.708	4.3

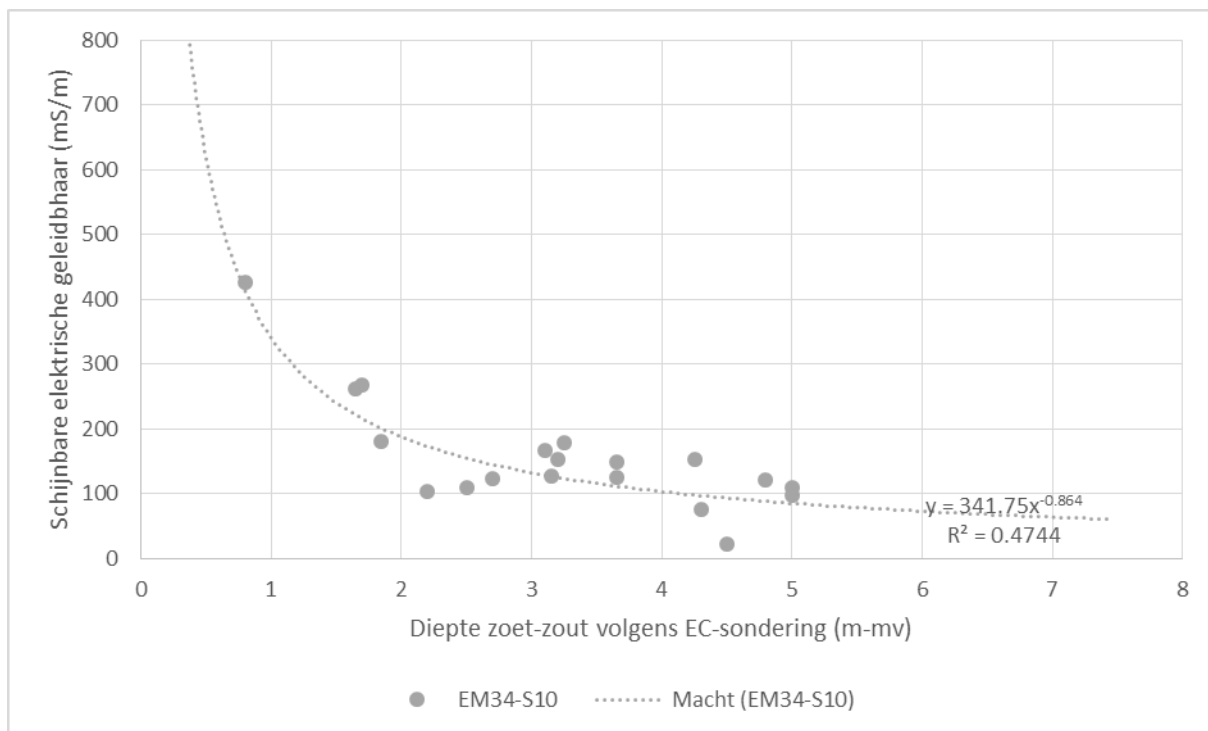




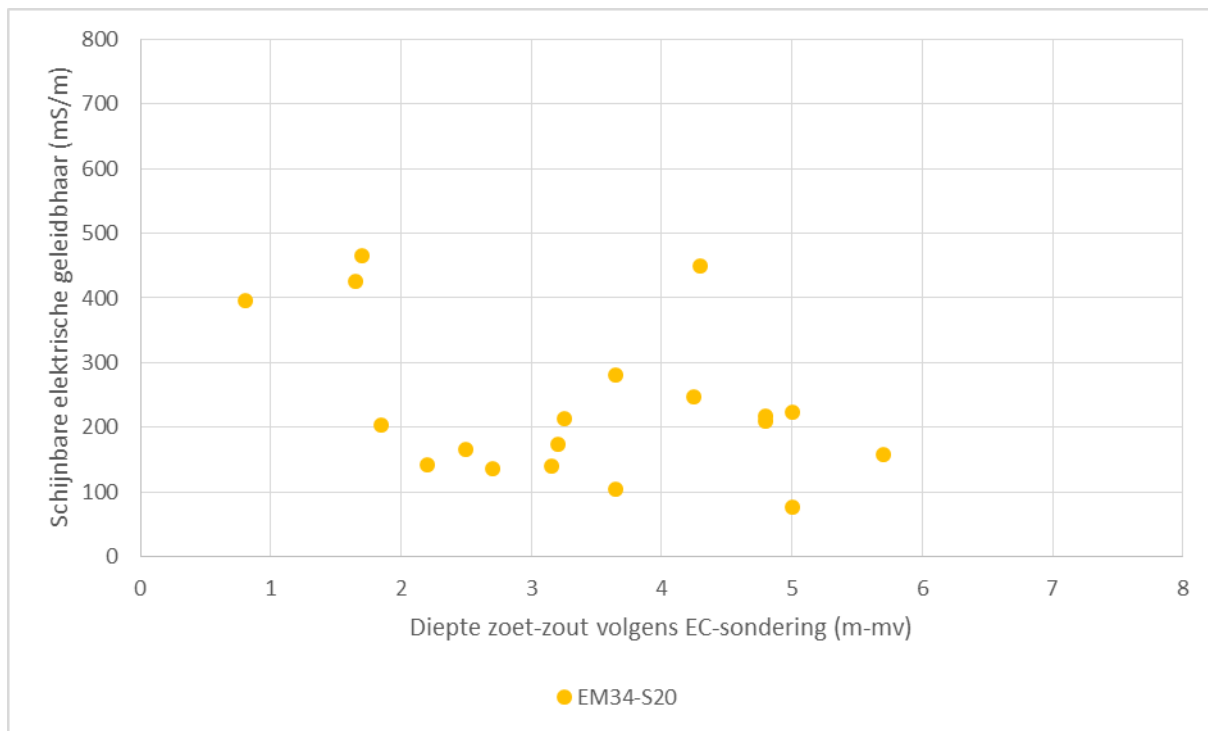
Figuur 53 Correlatie schijnbare elektrische geleidbaarheid (EM31-V) en diepte zoet-zout volgens EC-sondering.



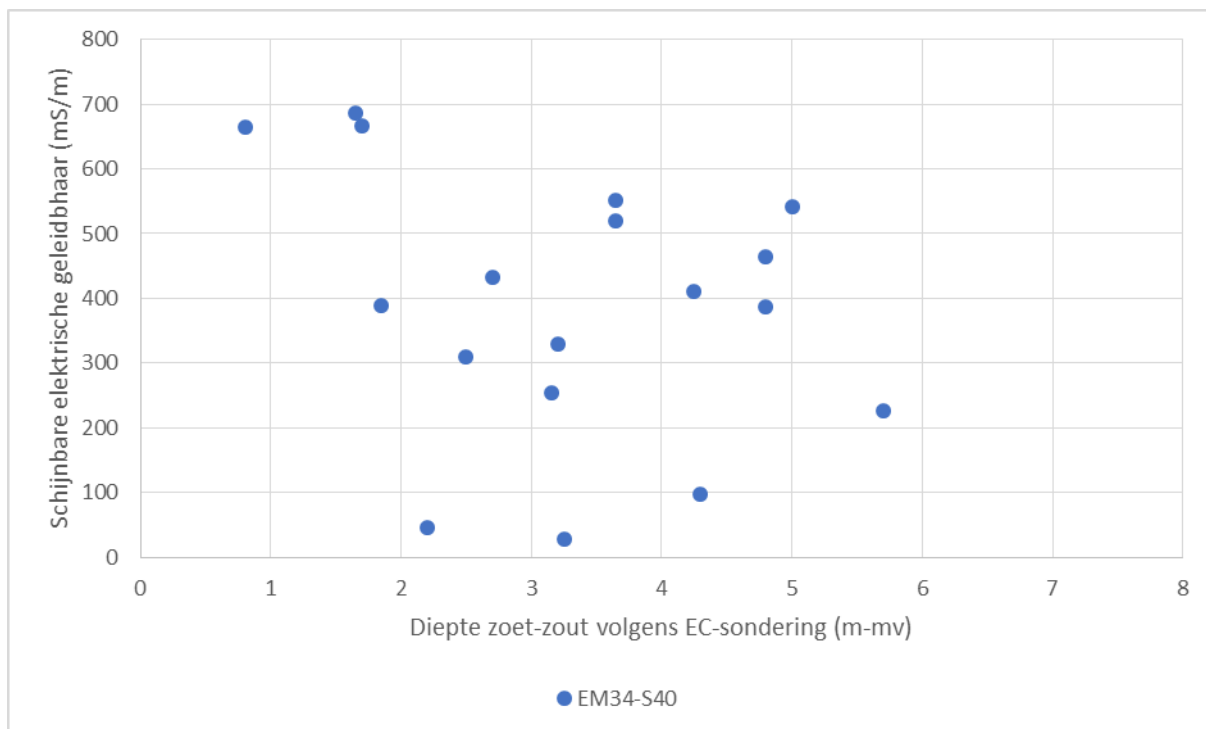
Figuur 54 Correlatie schijnbare elektrische geleidbaarheid (EM31-H) en diepte zoet-zout volgens EC-sondering.



Figuur 55 Correlatie schijnbare elektrische geleidbaarheid (EM34-SH10) en diepte zoet-zout volgens EC-sondering.



Figuur 56 Correlatie schijnbare elektrische geleidbaarheid (EM34-SH20) en diepte zoet-zout volgens EC-sondering.



Figuur 57 Correlatie schijnbare elektrische geleidbaarheid (EM34-SH40) en diepte zoet-zout volgens EC-sondering.

## 2.7 EM-meting in de peilbuizen

### 2.7.1 Veldmetingen

In het bestaande grondwatermeetnet werden elektrische geleidbaarheidsmetingen uitgevoerd met een sonde van het type "Dual Induction" (DUIN sonde) in augustus 2016 (Figuur 58). Deze meting is gelijkaardig aan de meting die werd uitgevoerd tijdens de plaatsing van de peilbuizen, waarbij in het open boorgat werd gemeten. Deze tweede meting werd uitgevoerd in de peilbuis zelf, waar er dus ook een mogelijke invloed van de omstorting kan zijn (hoewel beperkt gezien de lage gevoeligheid van de sensor op korte afstand).



Figuur 58: opstelling EM-meting in een peilbuis.

### 2.7.2 Meetresultaten per peilbuis, in vergelijking met de meting in het voorjaar van 2015

De meetresultaten zijn weergegeven als profielen in Bijlage 3.

#### 2.7.2.1 Peilbuis 1A

De elektrische geleidbaarheidsmetingen (EC) bij peilbuis 1A geven abnormale waarden tussen 2 en 6 m-mv. Vermoedelijk bevinden er zich in dit diepte-interval geleidende objecten of ligt er in de buurt een storende elektromagnetische bron. Uit een vergelijking met de eerste nulmeting (24/02/2016) blijkt een zekere toename in de EC-waarden zichtbaar. Op 24/02/2016 nemen de EC-waarden geleidelijk toe van 300 à 500 mS/m op 6 m-mv tot 600 à 800 mS/m op 18 m-mv, waarna deze dieper stabiel blijven. Bij de tweede nulmeting op 27/08/2016 schommelen de EC-waarden tussen 700 en 900 mS/m, en zijn deze meer constant over het gehele diepte interval. Bij de natuurlijke gammawaarden is de aanwezigheid van de kleistoppen duidelijk zichtbaar.

#### 2.7.2.2 Peilbuis 1B

Uit de EC-waarden van peilbuis 1B blijkt duidelijk dat de zoet-zoutovergang zich bevindt op ca. 4 m-mv. Het EC-profiel tot 8 m-mv is quasi gelijk aan de eerste nulmeting van 25/02/2016. Dieper is een lichte toename zichtbaar van maximaal 100 à 200 mS/m.

#### 2.7.2.3 Peilbuis 2A

De zoet-zoutovergang is bij peilbuis 2A eveneens ondiep gelegen, op ca. 5 m-mv. Ook hier is het EC-profiel in de bovenste 5 meter ongewijzigd t.o.v. de nulmeting van 04/03/2015. Dieper is een lichte toename van maximaal ca. 100 mS/m zichtbaar.

#### 2.7.2.4 Peilbuis 2B

Bij peilbuis 2B vertonen de EC-waarden tussen 1 en 3,5 m-mv een lokale piek, waarna de EC-waarden dieper tot 5 m-mv terug afnemen tot 200 mS/m. Mogelijk is deze ondiepe piek veroorzaakt door de kleiige toplagen, zoals afgeleid kan worden van de boorstaat en de natuurlijke gammawaarden. Door de plaatsing van de kleistop na de eerste nulmeting op 03/03/2016 zijn de natuurlijke gammawaarden over dit diepte interval nog meer toegenomen bij deze tweede nulmeting (26/08/2016). Het EC-profiel van deze tweede nulmeting is nagenoeg gelijk aan de eerste nulmeting.

#### 2.7.2.5 Peilbuis 2C

Hoewel de EC-waarden bij peilbuis 2C reeds toenemen tot 200 mS/m tussen 2 en 4 m-mv, ligt de zoet-zoutovergang wellicht op 12 m-mv. De diepte van de zoet-zout overgang is niet gewijzigd tussen de eerste (02/03/2015) en de tweede nulmeting (26/08/2016). Wel is een algemene toename van de EC-waarden van ca. 100 mS/m zichtbaar vanaf 12 m-mv. De aanwezigheid van de kleistoppen is duidelijk zichtbaar in de gemeten natuurlijke gammawaarden van de tweede nulmeting.

#### 2.7.2.6 Peilbuis 3A

Bij peilbuis 3A tonen de EC-waarden duidelijk aan dat tot 13,5 m-mv zoet water zit, zowel bij de eerste (06/03/2015) als tweede (26/08/2016) nulmeting. Dieper komt het EC-profiel van de tweede nulmeting ook goed overeen met de eerste nulmeting.

#### 2.7.2.7 Peilbuis 3B

Het EC-profiel van peilbuis 3B is gelijkaardig aan 3A, al was de zoet-zout overgang bij de eerste nulmetingen ca. 2,5 meter dieper gelegen. Bij de tweede nulmeting is deze zoet-zout overgang nog ca. 2 meter dieper gezakt tot 19 m-mv.

#### 2.7.2.8 Peilbuis 3C

Het EC-profiel van peilbuis 3C is gelijkaardig aan dat van peilbuizen 3A en 3B. De zoet-zout overgang is op dezelfde diepte (ca. 19 m-mv) gelegen als bij de eerste nulmeting (10/03/2015). Het EC-profiel van de tweede nulmeting (26/08/2016) is tot en met de zoet-zout overgang gelijkaardig aan de eerste nulmeting. Dieper is een lichte toename (ca. 100 mS/m) zichtbaar.

#### 2.7.2.9 Peilbuis 4A

In peilbuis 4A wijzen de EC-waarden op de aanwezigheid van zoet water tot 5 m-mv. Tussen 5 en 11 m-mv nemen de EC-waarden toe van 50 mS/m tot 1000 mS/m, waarna deze stabiel blijven tot 24 m-mv. Het EC-profiel van de tweede nulmeting (31/08/2016) is nagenoeg gelijkaardig aan de eerste nulmeting (20/04/2015).

#### 2.7.2.10 Peilbuis 4B

Bij peilbuis 4B is zoet water te vinden tot een diepte van 8,5 m-mv. Tussen 8,5 en 11 m-mv nemen de EC-waarden toe tot 850 mS/m. Het EC-profiel is gelijkaardig aan de eerste nulmeting (11/03/2015), doch een beperkte toename van de EC-waarden is zichtbaar vanaf 8,5 m-mv, en dan voornamelijk in het bovenste gedeelte van de zout-waterkolom.

#### 2.7.2.11 Peilbuis 4C

Peilbuis 4C vertoont een gelijkaardig profiel als peilbuis 4B, al ligt de zoet-zout overgang 1 meter hoger. Wel is een duidelijke toename in de EC-waarde zichtbaar in het diepte interval 9 tot 13 m-mv (maximaal 400 à 600 mS/m), wat overeenkomt met de positie van het grof zandpakket. Dieper blijft de toename beperkt tot maximaal 200 mS/m.

#### 2.7.2.12 Peilbuis 5A

Bij peilbuis 5A, gelegen nabij de huidige dijk van het Zwin, is de zoet-zout overgang zeer ondiep gelegen: tussen 1 en 3 m-mv nemen de EC-waarden toe van 100 tot 800 mS/m. Ook hier is een beperkte toename van de EC-waarden zichtbaar, en dan voornamelijk in het bovenste deel van de zout-waterkolom (3-5 m-mv).

#### 2.7.2.13 Peilbuis 5B

Peilbuis 5B vertoont een gelijkaardig EC-profiel als peilbuis 5A, al is de zoet-zout overgang ca. 2,5 meter dieper gelegen. Ook hier is in de bovenste gedeelte van de zout-waterkolom een toename van de EC-waarden zichtbaar t.o.v. de eerste nulmeting (30/03/2016).

#### 2.7.2.14 Peilbuis 5C

Bij peilbuis 5C is de zoet-zout overgang ca. 5 meter dieper gelegen dan bij peilbuis 5A. Ook is de zoet-zout overgang meer geleidelijk. Het EC-profiel van de tweede nulmeting (31/08/2016) is nagenoeg gelijk aan de eerste nulmeting (31/03/2015).

#### 2.7.2.15 Peilbuis B6

De zoet-zout overgang bevindt zich zowel in de eerste (26/02/2016) als tweede (22/08/2016) nulmeting op ca. 7,5 m-mv. Het EC-profiel is nagenoeg gelijk.

#### 2.7.2.16 Peilbuis B7

Bij peilbuis B7, gelegen op 1,5 km van het Zwin, is zoet water te vinden tot 6 m-mv. Dieper nemen de EC-waarden geleidelijk toe tot 700 m-mv op 23 meter diepte, om vervolgens tussen 23 en 25 m-mv weer af te nemen tot 250 mS/m. Het EC-profiel van de tweede nulmeting (22/08/2016) is nagenoeg gelijk aan de eerste nulmeting (27/02/2015).

#### 2.7.2.17 Peilbuis BW2d

In tegenstelling tot voorgaande peilbuizen is in deze peilbuis tot nu toe maar één nulmeting uitgevoerd (22/08/2016). Het EC-profiel toont een zoet-waterkolom tot 10 m-mv. Tussen 10 en 14 m-mv nemen de EC-waarden toe van ca. 50 mS/m tot 800 mS/m, waarna deze constant blijven tot ca. 17,5 mS/m. Vervolgens vallen de EC-waarden terug tot 600 mS/m, en dieper tot 500 mS/m.

### 2.7.3 *Vergelijking tussen de EC-profielen*

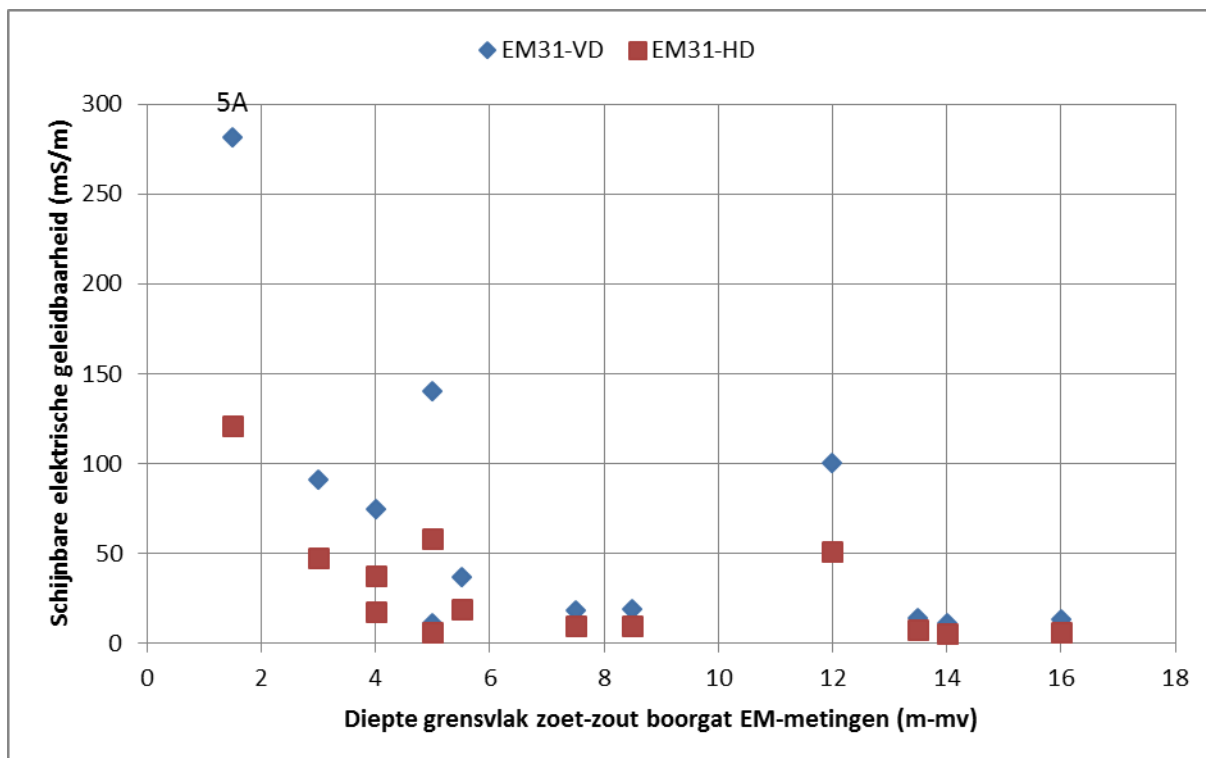
Over het algemeen komen de EC-profielen van de tweede nulmeting goed overeen met de eerste nulmeting. Enkel bij peilbuizen B1A, B3B en B4C zijn enig duidelijke afwijkingen zichtbaar. De EC-meting in augustus 2016 is daarbij meestal hoger dan de meting in februari-april 2015. Dit kan verklaard worden door de invloed van de boring op het formatiewater. Bij een spoelboring wordt het formatiewater immers een deel verdrongen door (zoet) spoelwater, aangezien met een overdruk aan spoelwater wordt gewerkt. DE EC-meting juist na de boring kan dus lager zijn dan de EC die gemeten is als er terug een evenwicht is bereikt in het formatiewater. De diepte van de zoet-zout overgang is bij geen enkele peilbuis significant gewijzigd. Verder zijn in de gemeten natuurlijke gammawaarden van de tweede nulmeting de positie van de kleistoppen duidelijk zichtbaar. De eerste nulmeting werd uitgevoerd in het open boorgat voor de plaatsing van de peilbuizen en de kleistoppen.

Er is een duidelijke relatie tussen de boorgatmetingen enerzijds en de oppervlaktemetingen anderzijds (Figuur 59 en Figuur 60). Zoals verwacht is de EM31 vooral gevoelig dicht bij het maaiveld en is dus ongevoelig voor diepere zoutwaterlagen, terwijl dit bij de EM34 wel dieper is. De grootste spoelafstand geeft hier duidelijk de diepste gevoeligheid. De correlatie met de verziltingskaart van 2014, opgemaakt

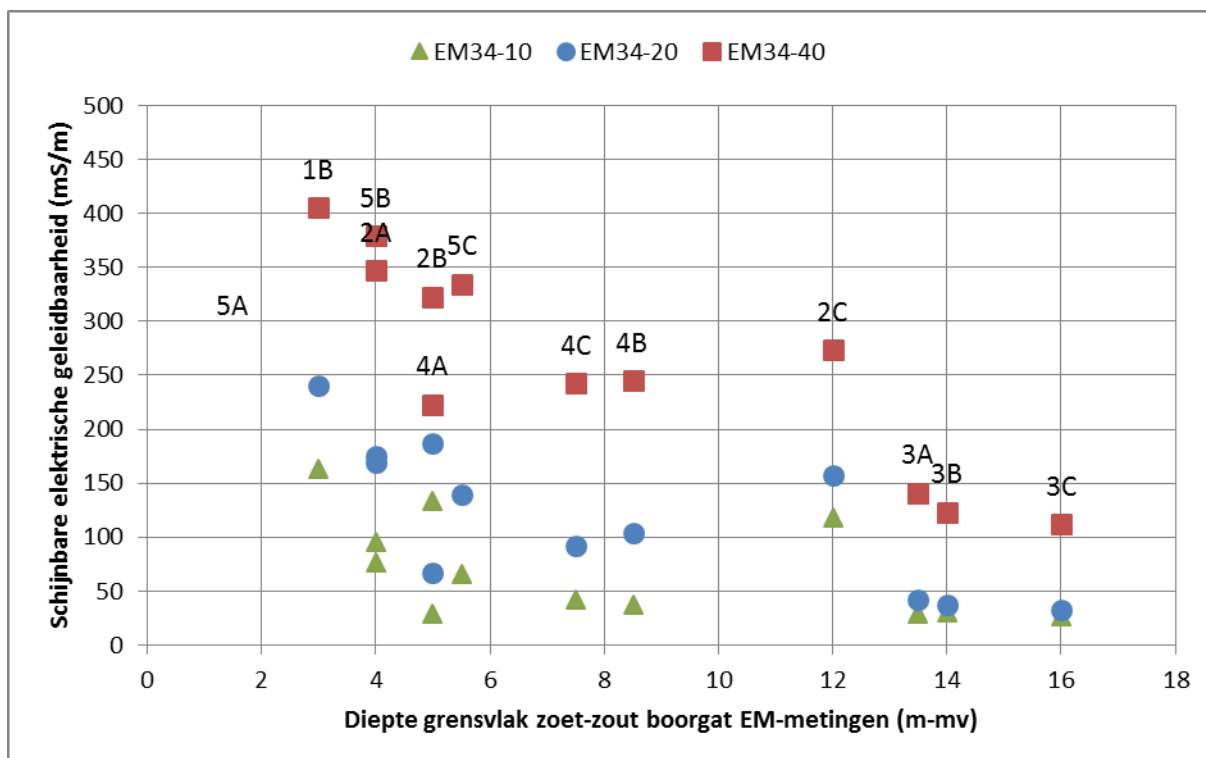
op basis van de AEM-metingen, is weergegeven in Figuur 61. De correlatie is over het algemeen goed, behalve voor de dieptes kleiner dan 6 m-mv. De AEM-metingen lijken daar geen onderscheid te maken in diepte van de zoet-zout grens.

Tabel 16: geofysische boorgatmetingen.

ID	X	Y	Z	Diepte zoet-zout overgang (300 mS/m; m-mv)	
				2014	2016
7	78463.2	226911.5	4.89	10.2	10.2
6	79419.6	226935.6	4.09	7.8	7.8
5A	80898.7	227919.8	3.03	2.5	2.2
5B	81000.9	227797.7	3.09	5	4.7
5C	81162.2	227687.3	3.23	7	7.3
4A	81006.8	226996.7	3.97	6.4	7.2
4B	81065.1	226885.5	2.76	9.2	9.7
4C	81127.5	226806.4	2.87	8.2	8.2
3A	80675.7	226633.2	3.92	15.2	15.2
3B	80709.1	226543.7	4.01	17.8	19
3C	80754.9	226407.1	4.29	19	19
2A	80162.1	226548.8	4.24	5.3	5.3
2B	80107.2	226468.5	3.8	6.3	6.3
2C	80010.2	226324.5	4.18	3.8	3.8
1A	79819.8	227520.5	4.39	2.5	2.5
1B	79764.5	227440.5	4.21	4	4
BW2d	78894.2	226171.9	5.28	/	11.1

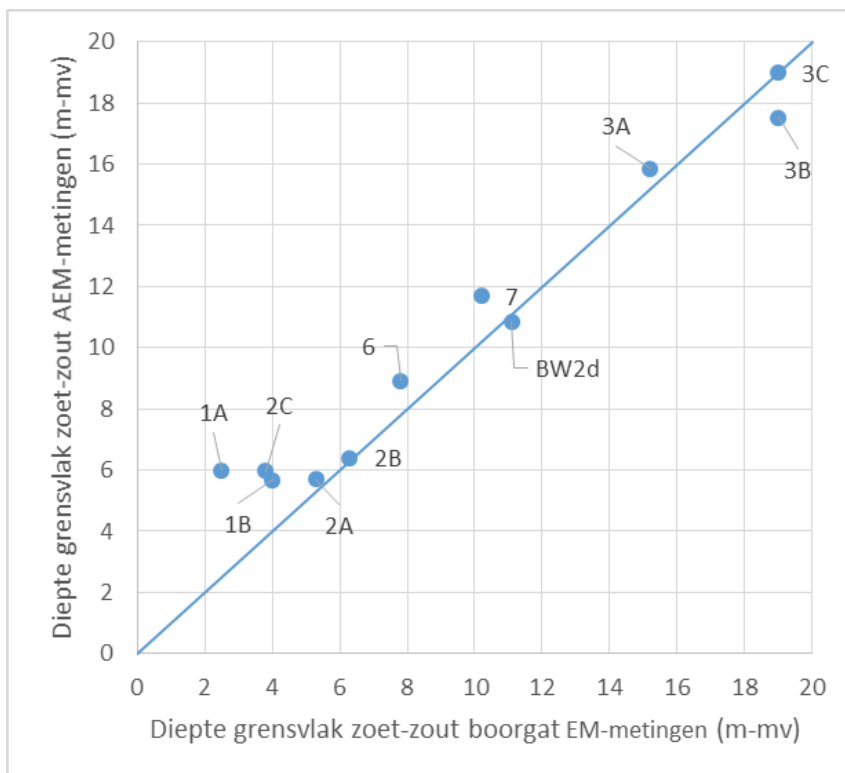


Figuur 59: Relatie tussen de diepte van het grensvlak bepaald op basis van de boorgat EM-metingen en de schijnbare EC gemeten met de EM31-sensor in twee spoeloriëntaties.



Figuur 60: Relatie tussen de diepte van het grensvlak bepaald op basis van de boorgat EM-metingen en de schijnbare EC gemeten met de EM34-sensor in drie spoelafstanden.





Figuur 61: Relatie tussen het diepte van het grensvlak bepaald met de boorgat-EM metingen en de nieuwe verziltingskaart (2014) op basis van de AEM-metingen.

## 2.8 EM31-meting 2 in augustus 2016

### 2.8.1 Meetmethode en verwerking

Om de invloed van seizoenvariaties in vochttoestand en grondwaterstanden te evalueren op de oppervlakkige EM-metingen werden de EM31 en EM34-metingen herhaald. De eerste meting werd uitgevoerd in april van 2014, dus in een periode met hoge grondwaterstanden na de winter (2.1.2). De tweede meetcampagne werd uitgevoerd in augustus 2016, dus eerder in een periode met lage grondwaterstanden op het einde van de zomer. Door de zeer beperkte neerslag van de voorbije weken was het terreinoppervlak gedurende de EM31 meting erg droog. Er is ook geen neerslag voorgekomen gedurende het veldwerk. De meetomstandigheden waren dus gelijkaardig als bij de eerste meetronde.

De keuze van de periode werd enigszins beperkt door de landbouwactiviteiten. In augustus was een groot deel van het graan juist geoogst en werd de meting uitgevoerd voor (en tijdens) het inploegen van de stoppels. Enkele percelen waren geplant met maïs, dat nog niet geoogst was en dus ook niet kon opgemeten worden. Sommige delen van de maïsvelden konden wel doorkruist worden indien de plantrijen min of meer in de richting van de meetraaien waren ingezaaid.

Voor de start van de metingen werd het EM31-MK2 toestel gekalibreerd op hetzelfde dijklichaam waar bij de eerste meetronde het toestel ook werd gekalibreerd. De metingen werden afwisselend uitgevoerd door twee personen (ir. David Simpson en Mathieu Degros). Voor de rest was de meetmethode en de verwerking identiek aan de eerste meting, om een zo goed mogelijke vergelijking mogelijk te maken. In totaal werd zo 27 km raai (13,5 km in twee spoeloriëntaties) gelopen. Dit is iets minder dan de vorige metingen, aangezien de maïsvelden niet opgemeten konden worden.

## 2.8.2 Meetresultaten

De schijnbare elektrische geleidbaarheden, in verticale en horizontale dipooloriëntatie, zijn apart geplot op een topografische kaart (Bijlage 1). De statistieken van de metingen in beide oriëntaties zijn weergegeven in Tabel 17. Tot slot werden de schijnbare elektrische geleidbaarheidswaarden geklasseerd in drie klassen:

- Klasse 1: volgens theoretisch model zoutwaterlaag onder 6 m-mv.
- Klasse 2: volgens theoretisch model zoutwaterlaag tussen 3 en 6 m-mv.
- Klasse 3: volgens theoretisch model zoutwaterlaag boven 3 m-mv.

De klassen zijn weergegeven plan nrs. 16 en 17 voor het jaar 2016, en plan nrs. 18 en 19 voor het jaar 2014 (Bijlage 1).

Plan nrs. 11 en 12 zijn verschilkaarten waarop het procentueel verschil van de tweede nulmeting (2016) t.o.v. de eerste nulmeting (2014) is aangegeven. Aangezien de locatie van de meetpunten van eerste en tweede nulmeting verschillen, werd voor iedere meetreeks een interpolatiekaart opgemaakt (kriging methode, interpolatie van alle datapunten gelegen binnen cirkel met diameter 10 m). Uit deze interpolatiekaart werd voor een vast raster aan punten (volgens raaien, tussenafstand 10 m) de waarde geëxtraheerd d.m.v. een point-sampling methode. Ten slotte werd een filtering toegepast, waarbij enkel de punten behouden bleven waarvoor zowel voor de eerste als tweede nulmeting een waarde beschikbaar was.

De verschilkaarten wijzen algemeen op een lichte afname van de EC-waarden. Voor de verticale oriëntatie zijn ca. 73% van de verschilpunten negatief, voor de horizontale oriëntatie 91%. De statistieken van de verschilwaarden voor de verticale en horizontale oriëntatie zijn weergegeven in respectievelijk Tabel 18 en Tabel 19. Uit de statistieken en de verschilkaarten is te besluiten dat het verschil tussen de tweede en eerste nulmeting echter over het algemeen beperkt is: voor de relatieve toenames bedraagt het 90<sup>ste</sup> percentiel +35% en +25% voor respectievelijk de verticale en horizontale dipooloriëntatie, voor de negatieve verschillen is dit -23% en -46% voor respectievelijk de verticale en horizontale dipooloriëntatie.

Uit de verschilkaart van de verticale dipooloriëntatie is af te leiden dat een toename van de schijnbare elektrische geleidbaarheid vooral te merken is ter hoogte van de raai aan het restaurant De Witte Koksmuts en de raai welke start aan de brug van retranchement (Kanaalweg). Vooral de eerste raai kan beïnvloed zijn door de aanwezige metalen afrastering, die sterk de meting kan verstoren afhankelijk van de afstand. Uit de verschilkaart van de horizontale dipool oriëntatie is voornamelijk helemaal in het zuiden een toename van de EC-waarden zichtbaar.

Tabel 17 Statistieken van de puntmetingen, voor beide spoeloriëntaties (EC, mS/m).

Oriëntatie	Periode	Minimum	Percentiel 10	Percentiel 25	Percentiel 50	Percentiel 75	Percentiel 90	Maximum
Horizontaal	apr/14	5.2	11.8	27.0	44.2	72.5	116.0	426.2
	aug/16	0.8	6.4	18.4	37.1	62.4	104.9	774.6
Verticaal	apr/14	0.1	14.2	29.7	52.9	90.1	163.5	421.2
	aug/16	6.4	11.7	26.4	50.9	89.0	158.5	1035.6

Tabel 18 Statistieken van verschilwaarden (%) 2016-2014 voor EM31-verticale oriëntatie.

	Minimum	Percentiel 10	Percentiel 25	Percentiel 50	Percentiel 75	Percentiel 90	Maximum
-	-53.19	-22.51	-16.26	-9.56	-4.79	-1.91	-0.01
+	0.02	0.84	2.07	5.02	12.05	24.86	142.21

Tabel 19 Statistieken van verschilwaarden (%) 2016-2014 voor EM31-horizontale oriëntatie.

	Minimum	Percentiel 10	Percentiel 25	Percentiel 50	Percentiel 75	Percentiel 90	Maximum
-	-71.55	-46.25	-29.23	-18.49	-11.89	-5.92	-0.07
+	0.42	1.49	4.36	10.86	26.09	35.84	85.81

## 2.9 EM34-meting 2 in augustus 2016

### 2.9.1 Meetmethode en verwerking

De EM34-meting van mei 2014 werd ook herhaald in augustus 2016, om dezelfde redenen als bij de EM31-meting. Ook hier werden de metingen op dezelfde manier uitgevoerd als bij de eerste campagne. De verwerking van deze gegevens werd ook identiek gedaan.

Er is geen neerslag voorgekomen gedurende het veldwerk. De meetomstandigheden waren dus gelijkaardig als bij de EM31-metingen.

### 2.9.2 Meetresultaten

De metingen met spoelafstand 10 m, 20 m en 40 m zijn apart geplot, zowel voor de nulmeting van 2016 (Bijlage 1, plannummers 5-7) als voor die van 2014 (plannummers 8-10). De kleurenschaal werd gelijk verdeeld om de drie meetconfiguraties onderling te kunnen vergelijken.

De statistieken voor de drie spoelafstanden zijn weergegeven in Tabel 20. De geleidbaarheidswaarden zijn voor alle statistieken hoger bij een grotere spoelafstand, behalve bij de minimumwaarde. Dit is logisch in vergelijking met de theoretische modellen zoals hierboven beschreven.

Net zoals bij de EM31 metingen zijn ook verschilkaarten opgemaakt (plannummers 13-15). Voor de metingen met spoelafstand 10, 20 en 40 meter zijn 35 %, 48 % en 79 % van de verschillen positief. De algemene, relatieve toename van de EC-waarden bij spoelafstand 40 m is duidelijk te zien op de verschilkaart. In tegenstelling tot de EM31-metingen wijzen de EM34-metingen dus op een relatieve toename van de schijnbare elektrische geleidbaarheden t.o.v. de eerste nulmeting.

De statistieken van de verschilkaarten zijn weergegeven in Tabel 21. De verschillen zijn nog beperkter dan bij de EM31 metingen: voor de relatieve toenames bedraagt het 90<sup>ste</sup> percentiel 13 %, 11 % en 19 % voor de spoelafstanden 10 m, 20 m en 40 m, voor de relatieve afnames bedraagt het 90<sup>ste</sup> percentiel -13 %, -14 % en -27 %.

Tabel 20 Statistieken van de puntmetingen, voor de drie spoelafstanden

Spoelafstand	Periode	Minimum	Percentiel 10	Percentiel 25	Percentiel 50	Percentiel 75	Percentiel 90	Maximum
10	mei/14	15.7	29.2	39.6	66.1	92.0	122.1	254.3
	aug/16	1.0	31.7	46.3	76.5	116.6	171.6	939.8
20	mei/14	13.0	38.3	64.3	114.9	157.7	195.1	379.0
	aug/16	0.8	40.9	70.5	128.2	199.2	288.3	948.6
40	mei/14	88.8	125.2	189.0	262.0	332.9	397.4	574.6
	aug/16	0.8	137.5	216.1	306.2	400.5	508.1	995.1

Tabel 21 Statistieken van verschilwaarden (%) 2016-2014 voor EM34 metingen.

EM34-S10	Minimum	Percentiel 10	Percentiel 25	Percentiel 50	Percentiel 75	Percentiel 90	Maximum
-	-74.66	-13.27	-7.22	-4.30	-2.34	-0.88	552.00
+	0.01	0.85	2.10	4.85	8.37	13.26	165.39

EM34-S20	Minimum	Percentiel 10	Percentiel 25	Percentiel 50	Percentiel 75	Percentiel 90	Maximum
-	-81.45	-13.54	-7.62	-4.70	-2.07	-0.77	520.00
+	0.01	0.69	1.79	4.39	7.73	10.63	477.00

EM34-S40	Minimum	Percentiel 10	Percentiel 25	Percentiel 50	Percentiel 75	Percentiel 90	Maximum
-	-97.53	-26.99	-11.88	-5.55	-1.90	-0.63	186.00
+	0.03	3.06	6.72	11.48	15.40	18.78	721.00

Op basis van de theoretische aannames, zoals beschreven in hoofdstuk 2.2.1, waarbij de maximale diepte van de meting wordt gedefinieerd als zijnde de diepte waarop 70 % van de bodem bijdraagt tot de meting, kan de diepte van het zoute grondwater afgeleid worden. Voor de drie spoelafstanden 10, 20 en 30 m zijn de dieptes 7,5; 15 en 23 m. Als deze dieptes ingevoerd worden in de grafiek van Figuur 14, dan kan de diepte vanaf waar het zoute grondwater reikt afgeleid worden als de EC hoger is dan 124,6 mS/m. Voor de drie spoelconfiguraties werden de waarden in twee klassen gescheiden, groter dan of kleiner dan 124,6 mS/m. Zo kan indicatief de diepte van het zoute grondwater afgeleid worden. Plannrs. 20 en 23, 21 en 24, 22 en 25 geven de zones aan waar het zout grondwater hoger zit dan 7,5 m, 15 m en 23. Een vergelijking van de kaarten toont aan dat geen significante veranderingen zijn opgetreden.

## 2.10 Maandelijks uitlezing van de grondwaterpeilen in de peilbuizen

### 2.10.1 Meetmethode

Om een continue opvolging van de grondwaterstanden uit te voeren, werden in de peilbuizen dataloggers (type Cera Divers<sup>®</sup>) geplaatst die de waterdruk en temperatuur meten. De waterdruk wordt omgezet in een absoluut peil door ze te kalibreren met de handmatige peilingen. Om het uur (volgens het winteruur) werd het grondwaterpeil geregistreerd. De data werd maandelijks uitgelezen, waarbij ook de grondwaterstand manueel werd opgemeten. Om te kunnen compenseren voor de luchtdruk, werd op twee plaatsen een baro-diver<sup>®</sup> geplaatst.

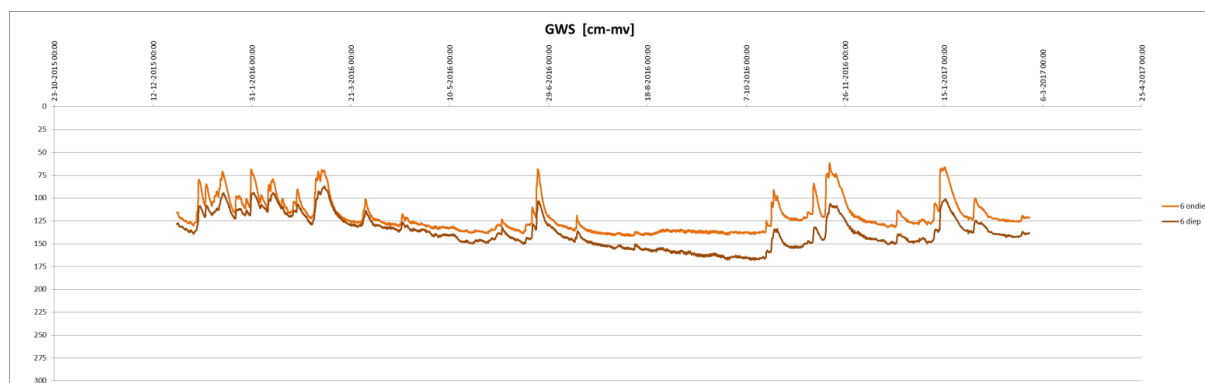
### 2.10.2 Verwerking van de gegevens

De uitgelezen data van de Divers<sup>®</sup> wordt verwerkt in een grafiek die het verloop van het grondwaterpeil toont. De resultaten worden gecompenseerd voor de barometrische druk aan het maaiveld. De peilen werden niet omgezet naar zoetwaterstijghoogtes. De tijdreeksen van de grondwaterpeilen werden weergegeven in een grafiek met het peil in TAW en meter-maaiveld (Bijlage 4).

### 2.10.3 Meetresultaten

De waargenomen schommelingen in de tijdreeksen vallen samen met periodes van langdurige aanhoudende regenval of een hevige onweersbui. Naargelang de gevallen neerslag en locatie variëren de schommelingen tussen 10 en 50 centimeter. Sinds midden maart 2016 wordt globaal een eerder stabiele tot licht dalende situatie vastgesteld. Deze daling is het gevolg van een hogere verdamping, veroorzaakt door hogere temperaturen en gewasgroei. Na enkele aanhoudende regendagen in het najaar van 2017, wordt terug een stijging vastgesteld. Het hevige onweer van eind juni waarbij op korte

termijn een grote hoeveelheid neerslag is gevallen, is duidelijk waarneembaar. In Bijlage 4 zijn eveneens de gegevens opgenomen van de gevallen neerslag. Het betreft het nabijgelegen meetstation te Dudzele. Zo kan vastgesteld worden dat de winter van 2017 “droger” is dan deze van 2016. In de grafieken van de grondwaterpeilen kan dit waargenomen worden door de minder dicht opeenvolgende pieken (Figuur 62).

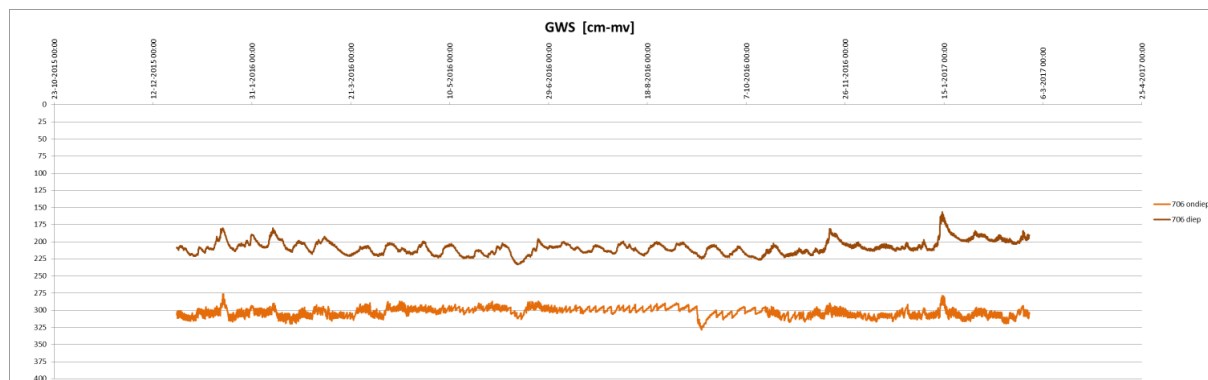


Figuur 62: grondwaterpeilen ter hoogte van het meetpunt 6, gelegen nabij het radiogeleidingsstation Costa.

Er dient opgemerkt te worden dat het gemeten waterpeil in de ondiepe peilfilter overeenkomt met de freatische grondwaterstand ofwel de grondwatertafel. De diepere peilfilter duidt de waterdruk aan op die diepte, die hoger of lager kan zijn dan de watertafel. Dit kan onder andere verklaard worden doordat de diepere grondwaterlagen zijdelings gevoed kunnen worden door grondwatervoedingsgebieden in de omgeving, terwijl het ondiepe grondwater gedraineerd wordt door grachten, beken en drainagebuizen. Of anderzijds dat het aanwezige geïnfiltreerde grondwater slechts vertraagd doorsijpelt tot de diepere lagen.

De peilbuizen langs de Kanaalweg ondervinden een duidelijk drainerend effect van het Uitwateringskanaal. Het grondwaterpeil in de ondiepe peilbuizen is hier immers veel lager dan deze opgemeten in de diepere peilbuizen. In de ondiepe peilbuizen wordt hier ook de getijdenwerking waargenomen. Dit kan opnieuw verklaard worden door de invloed van het kanaal die in verbinding staat met de Noordzee. De schommelingen onder invloed van het getij zijn hier circa 10 cm.

Dicht bij het huidige Zwin wordt in het diepere grondwater een periodieke schommeling waargenomen (Figuur 63). Deze komen overeen met het voorkomen van springtij en doottij. De schommelingen bedragen hier circa 25 tot 35 cm. De invloeden van het springtij zijn duidelijker zichtbaar sinds half maart, wanneer er minder “verstoring” is door de neerslag. In de ondiepe peilbuizen is de invloed van het springtij enkel zichtbaar in de peilbuis net tegen het huidige zwin (5A). De periodieke schommelingen in deze ondiepe peilbuis onder invloed van het springtij bedragen circa 15 cm. Tijdens de storm “Dieter” (13/01/2017) was de invloed van het springtij groter. In de peilbuizen die het dichtst bij het huidige Zwin liggen (5A en 706) werd in de diepe peilbuizen een stijging van 75 cm waargenomen en in de ondiepe peilbuis 5A een stijging van 25 cm.



Figuur 63: grondwaterpeilen ter hoogte van het meetpunt P706, gelegen naast de kanaalweg en nabij het huidige Zwin.

Het verschil tussen de hoogste freatische grondwaterstand en de laagst stand gedurende de gemeten periode varieert tussen de 0,5 en 1,5 m afhankelijk van de locatie. De zones die onderhevig zijn aan de invloed van het Kanaal of getijdenwerking vertonen globaal een kleinere schommeling dan de zones waar het verloop van het grondwaterpeil voornamelijk onderhevig is aan de gevallen neerslag/evapotranspiratie en drainage.

De grondwaterpeilen zullen doorlopend verder geregistreerd worden tot maart 2019 (periode doorbreken bestaande Internationale Dijk) en in de eerstkomende jaren na het doorbreken van de dijk (zie verder). Naast het vastleggen van de typische gedragingen per meetpunt, kunnen hierdoor voornamelijk plotse of geleidelijke stijgingen in aanloop van en na de doorbraak waargenomen worden.

De meetpunten kunnen op basis van het vastgestelde gelijkaardig gedrag onder invloed van de neerslag/evapotranspiratie of nabijheid van het kanaal en huidige Zwin opgedeeld worden in vijf zones, die op sommige plaatsen overlappen:

- Hazegraspolder (1 en 2 – reeks, P 701 en P 6);
- Gouvernempolder (3 - reeks) ;
- Hickmanbrug Retranchement (P 4A, P 4B en P 4C) ;
- Kanaalweg (P 4D, P 706, P 705 en beperkt P 5A en P 5B);
- Zuidoostelijke hoek van de Internationale Dijk (5 – reeks en P 706).

### 2.10.3.1 Zone Hazegraspolder

De meetpunten ter hoogte van de Hazegraspolder vertonen een eerder snelle en hevige stijging in periodes van neerslag die even snel terug kan dalen. Het niveau gedurende de droge periode (zomer) is vlak en vrij stabiel behoudens enkele pieken ten gevolge van onweer. Het niveau in de diepe en ondiepe peilbuis verloopt telkens vrij gelijk. De plotse pieken als gevolg van hevige neerslag in de ondiepe peilbuis kunnen iets hoger oplopen tegenover de diepe peilbuis. Het verschil tussen de hoogste freatische grondwaterstand en de laagst stand gedurende de gemeten periode is 0,75 à 1 m. Het meetpunt 1B vormt hier een uitzondering. Het niveau van de diepe peilbuis ligt hier circa 35 cm hoger dan de ondiepe peilbuis. Het meetpunt 7 werd als referentiepunt op grotere afstand aanzien. Echter werd er een invloed vastgesteld van de molenpomp. Vanaf mei 2016 werd de referentiemeting

uitgevoerd ter hoogte van het meetpunt BW2. De pieken ten gevolgen van de neerslag zijn meer afgevlakt in het meetpunt BW2.

#### 2.10.3.2 Zone Gouvernementpolder

De meetpunten ter hoogte van de Gouvernementpolder vertonen een vrij gelijk verloop voor de ondiepe en diepe peilbuis. Het peil gemeten in de diepe peilbuis ligt echter 25 à 50 cm lager dan de ondiepe. De reactie op neerslag/evapotranspiratie is eerder gedempt. Tijdens de droge periode daalt het niveau gestaag. Het verschil tussen de hoogste freatische grondwaterstand en de laagst stand gedurende de gemeten periode is 1,25 à 1,5m. Van midden augustus tot oktober 2016 zijn geen gegevens beschikbaar voor de diepe peilbuis van meetpunt 3C omwille van een stuk gegane Diver.

#### 2.10.3.3 Zone Hickmanbrug Retranchement

De meetpunten gelegen ter hoogte van de Hickmanbrug Retranchement vertonen een matige stijging in periodes van neerslag. Het peil van de diepe en ondiepe peilbuis zijn vrij gelijk. De plotse pieken in de ondiepe peilbuis kunnen wel iets hoger oplopen tegenover de diepe peilbuis. Het verschil tussen de hoogste freatische grondwaterstand en de laagste stand gedurende de gemeten periode is 0,6 à 0,75m. Ten gevolge van een bronbemaling eind september is het grondwaterniveau lokaal verlaagd. Dit is duidelijk zichtbaar in de peilbuis 4A en 4D.

#### 2.10.3.4 Zone Kanaalweg

Langs de kanaalweg ligt het peil in de ondiepe peilbuizen gemiddeld 0,8 m lager dan in de diepe peilbuizen en er is ook nauwelijks invloed waarneembaar door neerslag/evapotranspiratie. In de ondiepe peilbuizen worden ook kleine schommelingen waargenomen van circa 10 cm verschil. Deze fenomenen zijn toe te schrijven aan de aanwezigheid van het kanaal. Het kanaal heeft een drainerend effect op de grondwaterstanden in de buurt en is onderhevig aan de getijdenwerking. Het verschil tussen de hoogste freatische grondwaterstand en de laagst stand gedurende de gemeten periode is maximaal 0,5m. Het peil in de ondiepe peilbuis van meetpunt 5A en 5B ligt lager dan deze in de diepe peilbuis, maar de kleine schommelingen zijn niet aanwezig of worden gemaskeerd door andere invloeden zoals springtij en neerslag. In de diepe peilbuizen van de meetpunten die verder af gelegen zijn van het Zwin wordt wel terug schommelingen waargenomen onder invloed van de neerslag.

#### 2.10.3.5 Zone Zuidoostelijke hoek van de Internationale Dijk

In de peilbuizen die dicht gelegen zijn tegen het huidige Zwin wordt het peil voornamelijk beïnvloed door het voorkomen van springtij of doortij. Deze invloed zwakt af naarmate de afstand groter wordt. De periodieke schommelingen variëren tussen de 25 en 35 cm in de diepe peilbuizen. In de ondiepe peilbuis van het meetpunt 5A is er ook een invloed van het springtij waarneembaar. De periodieke schommeling in de ondiepe peilbuis van 5A is circa 15 cm en loopt op tot 25 cm wanneer het springtij gepaard gaat met een periode van neerslag. Het verschil tussen de hoogste freatische grondwaterstand en de laagst stand gedurende de gemeten periode is maximaal 0,5 m. In het iets verderaf gelegen meetpunt 5C wordt een verschil van 1,5 m vastgesteld tussen de hoogste en laagste freatische grondwaterstand gedurende de gemeten periode. Het peil ter hoogte van dit meetpunt is hier terug voornamelijk onderhevig aan de hoeveelheid neerslag. Gedurende de winter vormen zich ook grote plassen nabij dit meetpunt (natuurgebied Zeeuws Landschap). Van eind januari begin maart 2016 zijn geen gegevens beschikbaar voor de diepe peilbuis van meetpunt 5A omwille van registratiefouten van de Diver.

### 3 Besluiten

Op basis van de meetresultaten kunnen de volgende besluiten getrokken worden:

- Elektrische geleidbaarheids- en resistiviteitsmetingen hebben de zoet-zoutwaterverdeling in beeld gebracht, waarbij de ligging van de zoet-zoutwaterovergang en lokale variaties in zoutgehalte vooral uit de elektrische geleidbaarheidsmetingen bepaald kunnen worden.
- Uit de elektrische geleidbaarheidswaarden van de EM31-metingen konden duidelijk drie zones worden onderscheiden waar het zout grondwater zich waarschijnlijk binnen de drie meter onder het maaiveld bevindt. Op deze locaties is het aangewezen om de ondiepe prikstokmetingen uit te voeren, terwijl op de andere locaties het zoute grondwater dieper zit en dus eerder met de EM34 kan opgemeten worden.
- De gemeten geleidbaarheden van de EM34 zijn hoger voor grotere spoelafstanden, wat consequent is met de theoretische modellen in een situatie met zoet boven zout grondwater. Er zijn duidelijke zones te onderscheiden met groter onderlinge verschillen in elektrische geleidbaarheid, die grotendeels de zoet-zout grondwaterovergang weerspiegelen. Met behulp van een aantal theoretische aannames, kan een ruwe inschatting gegeven worden van de diepte van het zoute grondwater.
- De tweede EM31-meting vertoont een beperkte relatieve afname t.o.v. de eerste t0-meting. Anderzijds wijzen de EM34-metingen op een beperkte relatieve toename. Er zijn echter geen grote ruimtelijke variaties te zien in het zoet-zout grondwaterverdeling tussen de twee perioden. Hieruit kan besloten worden dat de zout-zout verdeling vrij stabiel is in de tijd.
- In totaal werden 16 boringen uitgevoerd voor de plaatsing van een diepe en ondiepe peilbuis. 15 van de 16 boringen zijn per 3 geplaatst op een lijn dwars op de toekomstige dijkafgrenzing van het Zwin. De filterstelling van de peilbuizen werd bepaald aan de hand van de boorstaat en de boorgatmetingen. Er is een duidelijke relatie tussen de EM-metingen in de boorgaten enerzijds en de EM-metingen vanop het maaiveld en de verziltingskaart anderzijds.
- De EM-metingen in het grondwatermeetnet wijzen algemeen op nagenoeg geen verschillen met de voorgaande t0-meting; Dit bevestigt wat de EM31 en EM34-metingen reeds aanwezen.
- Zoals verwacht tonen de EC-sonderingen een goede overeenkomst met de EM31-metingen, aangezien deze sensor vooral gevoelig is in de eerste meters onder het maaiveld. De relatie met de EM34-metingen is minder duidelijk gezien de grotere dieptegevoeligheid van deze sensor. Uit de vergelijking van de EM31- en EM34 metingen met de boorgat-EM metingen blijkt duidelijk dat er een goede overeenkomst bestaat tussen de oppervlaktemetingen en de boorgatmetingen, ondanks de mogelijk storende invloed van variaties in grondsoorten. De relaties weerspiegelen de verschillende dieptegevoeligheden van de EM31- en EM34-spoelconfiguraties.
- De schommelingen van de grondwaterstanden zijn hoofdzakelijk het gevolg van grondwatervoeding uit infiltrerende neerslag minus evapotranspiratie. Enkel in de nabije omgeving van het huidige Zwin wordt een invloed vastgesteld van de getijden. De schommelingen van de freatische grondwaterstand als gevolg van het getij bedragen maximaal 15 centimeter. Dit verschil is kleiner dan deze als gevolg van perioden met hevige neerslag. De aanwezigheid van het



Uitwateringskanaal heeft ook een belangrijk drainerend effect op de grondwaterstanden in de buurt.

## 4 Voorstel voor monitoring in de nabije toekomst

Wanneer de uitbreidingszone van het Zwin onderwater wordt gelegd, zal initieel de grondwaterhuishouding en ook de verdeling van het zoet-zoute grondwater veranderen. Op termijn zal een nieuwe evenwichtssituatie bekomen worden, die wel dynamisch is onder invloed van cyclische schommelingen van getij, seizoenen en andere tijdsafhankelijke invloeden. De monitoring in de toekomst heeft als doelstelling om zowel de invloed op korte termijn van de zeewater-instroming te meten als ook de evolutie op langere termijn naar een nieuw, dynamisch evenwicht.

De monitoring moet aan de volgende vereisten voldoen:

- Zowel ruimtelijk (horizontaal én in de diepte) als tijdsafhankelijk de veranderingen vastleggen.
- Dezelfde metingen als bij de t<sub>0</sub>, om een vergelijking mogelijk te maken.
- Onder dezelfde omstandigheden (seizoen, locaties) uitgevoerd worden uitgevoerd als de t<sub>0</sub>-meting, de werkwijze moet ook identiek zijn (ijking van de sensoren, verwerking van de gegevens en dergelijke).
- De metingen, verwerkingsmethodes en resultaten moeten openbaar zijn om verificatie mogelijk te maken en zo discussies over het waarheidsgehalte van de monitoring te vermijden.
- De evoluties moeten inzichtelijk gemaakt worden voor alle belanghebbenden, in overzichtelijke figuren.

De peilbuizen zijn het meeste geschikt om regelmatige metingen in te verrichten, aangezien ze vrij toegankelijk zijn. De uitvoering van oppervlakkige EM-metingen (EM31 en EM34) en de prikstokmetingen zijn minder geschikt om regelmatig uit te voeren.

Veranderingen in het zoutgehalte worden gedreven door veranderingen in de grondwaterpeilen. Daarbij veranderen de grondwaterpeilen over het algemeen sneller dan het zoutgehalte, aangezien drukgolven sneller verplaatsen dan zouttransport. Daarom zullen de grondwaterpeilen sturend werken voor de monitoring van het zoutgehalte. Daarbij is zowel het absolute peil ten opzichte van de grondwaterpeilen in het overstromingsgebied belangrijk als het relatieve verschil in grondwaterpeilen op verschillende dieptes.

De monitoring kan bijvoorbeeld als volgt worden uitgevoerd:

- Continue opmeting van de grondwaterpeilen in alle beschikbare peilbuizen door middel van automatische drukopnemers. Meetinterval: uurlijks, om minstens mogelijke getijde-invloeden te kunnen registreren.
- Wanneer bepaalde drempelwaarden worden overschreden zouden eerst EM-metingen in de peilbuizen kunnen uitgevoerd worden, bijvoorbeeld wanneer een grondwaterpeil meer dan 50 cm buiten de bandbreedte valt van de tijdreeksen tot juist voor de overstroming. Waar deze drempelwaarden worden overschreden, zouden periodieke EM-metingen in de desbetreffende peilbuizen kunnen uitgevoerd worden, bijvoorbeeld tweemaandelijks.
- Indien de EM-metingen in twee of meer peilbuizen aanduiden dat er een significante wijziging is van het zoutgehalte, dan kunnen oppervlakkige EM-metingen en/of EC-sonderingen de invloed ruimtelijk in kaart brengen in de omgeving van deze peilbuizen. Als kritische waarde in de EM-peilbuismetingen zou kunnen gelden: een verticale verschuiving van de zoet-zoutgrens (naar boven toe) van:

- meer dan 2 m dieper dan 6 m onder het maaiveld,
- meer dan 1 m dieper dan 3 m onder het maaiveld,
- meer dan 0,5 m binnen 3 m onder het maaiveld.

De drempelwaarden zijn relatief arbitrair gekozen. Er is wel rekening gehouden met het feit dat de verschillen meetbaar moeten zijn en ook met de impact van de veranderingen. De impact is vooral kritisch dicht bij de wortelzone van de planten. Daarom is een verschuiving van het zoet-zoute grensvlak veel strenger in het ondiepe grondwater dan dieper gelegen verschuivingen.

## 5 Literatuur

- [1] De Moor, G., De Breuck, W., 1969. De freatische waterlaag in het oostelijke kustgebied en in de Vlaamse vallei. *Natuurwetenschappelijk Tijdschrift* 51, 3-68.
- [2] McNeill, J.D., 1980. Electromagnetic terrain conductivity measurement at low induction numbers. Geonics Ltd. Technical Note TN-6.
- [3] Reynolds, J.M., 1997. An introduction to applied and environmental geophysics. John Wiley & Sons, 796 pp.
- [4] de Louw, P., 2013. Saline Seepage in deltaic areas. Preferential groundwater discharge through boils and interactions between thin water lenses and upward saline seepage. PhD thesis, Vrije universiteit Amsterdam.
- [5] Vlaamse Milieumaatschappij (2016), De verziltingstoestand van het oostelijk kustgebied. Resultaten van het elektromagnetisch onderzoek vanuit de lucht.

## 6 Bijlagen

- Bijlage 1 Oppervlakkige EM31- en EM34-meetresultaten
- Bijlage 2 Boorbeschrijving en boorgatmetingen van de peilbuizen
- Bijlage 3 EM-metingen in de peilbuizen
- Bijlage 4 Tijdreeksen van de grondwaterstanden
- Bijlage 5 Analyseresultaten van de bemonstering
- Bijlage 6 EC-sonderingen