Zoet en zout grondwater Hondsbossche Zeewering, binnenduinrand en polder: interpretatie van SkyTEM metingen

Eindrapport 18/1/2013

HHNK

18/1/2013
Eindrapport
Projectnummer N20120417

Acacia Water
Solutions in Groundwater

Documenttitel	Zoet en zout grondwater Hondsbossche Zeewering, binnenduinrand en polder: interpretatie van SkyTEM metingen
Status	Eindrapport
Datum	18/01/2013
Projectnaam	
Projectnummer	N20120417
Opdrachtgever	HHNK
Referentie	

Auteur(s)	Jouke Velstra
Collegiale toets	Koos Groen
Datum / Paraaf	……
Vrijgegeven door	Arjen de Vries
Datum / Paraaf	……

INHOUDSOPGAVE

1 Inleiding 1
1.1 Achtergrond 1
2 Methode 2
2.1 Inleiding 2
2.2 Inhoudelijke achtergrond van geofysicametingen 3
2.3 Meetmethode VES en SkyTEM 5
3 Resultaten en interpretatie SkyTEM metingen 7
3.1 Uitgevoerde vluchtlijnen 7
3.2 Lagenmodel 8
3.3 Validatie 8
3.3.1 Validatie op basis van boorgatmetingen 8
3.3.2 Validatie vertaling gemeten formatieweerstand naar chlorideconcentratie 10
3.4 Resultaten en interpretatie metingen binnenduinrand 12
3.4.1 Binnenduinrand 12
3.5 Resultaten en interpretatie metingen Hondsbossche Zeewering 13
3.5.1 De zeewering (vluchtlijn 5_3) 13
3.5.2 Onder de zeewering, land- en zeezijde en polder (vluchtlijn 5) 17
4 Conclusies en aanbevelingen 18
4.1 Conclusies 18
4.2 Aanbevelingen 19

Lijst met figuren

Figuur 2.1 Invloed bodem en grondwatereigenschappen op geleidbaarheid en weerstand. 3

Figuur 2.2: Schematische weergave van de meetopstelling van een VES (links) en de resulterende interpretatie in een lagenmodel (rechts) 5

Figuur 2.3: Schematische weergave van de meetopstelling van een SkyTEM. 6

Figuur 3.1: Uitgevoerde vluchtlijnen binnenduinrand (links) en Hondsbossche zeewering (rechts). 7

Figuur 3.2: Detail van de uitgevoerde vluchtlijnen Hondsbossche zeewering. 7

Figuur 3.3: Vluchtlijn 1 en de beschikbare boorgatmetingen. 8

Figuur 3.4: Boorgatmetingen B19C0642 en B19C0643 en het SkyTEM lagenmodel van de dichtstbijzijnde meetpunten. Helemaal links de bodembeschrijving van B19C0643. 9

Figuur 3.5: Vluchtlijn 3 en de beschikbare boorgatmetingen. 9

Figuur 3.6: Boorgatmetingen B19A0260 en B19A0261 en het SkyTEM lagenmodel van de dichtstbijzijnde meetpunten. 10

Figuur 3.7. Overzicht van de vluchtlijnen en peilbuizen met chloridemetingen. Daarnaast voor twee peilbuizen de chloride metingen en vertaalde SkyTEM meting bij vluchtlijn 5_2 (landzijde zeewering). Daaronder voor drie peilbuizen de chloride metingen en vertaalde SkyTEM meting bij vluchtlijn 5_1 (polder). Opgemerkt dat voor de derde grafiek de afstand van peilbuis tot de vluchtlijn groot is. 11

Figuur 3.8. a) bovenaanzicht vluchtlijn 2 binnenduinrand met in kleur weergegeven zoet (blauw) en zout (rood). b) doorsnede vluchtlijn 2 met daarin interpretaties van zoet-zout uitgedrukt in chlorideconcentraties en lithologie. c) doorsnede uit REGIS van de bodemopbouw (legenda hiervan is opgenomen in de bijlage) 12

Figuur 3.9. Ruimtelijke verspreiding van de inversie op basis van VES metingen (Velstra, 2012). 13

Figuur 3.10. Grafieken van de formatieweerstand met de diepte voor drie meetpunten op de zeewering. De locaties zijn aangegeven in Figuur 3.11. 14

Figuur 3.11. Grafieken van opeenvolgende lagen in de SkyTEM metingen over de kruin van de zeewering (let op, de vertikale schaal verschilt per grafiek). Bovenaan zijn drie locaties van individuele meetpunten SkyTEM en twee sonderingen aangegeven. Deze punten zijn in diepteprofielen weergegeven in Figuur 3.10. Onderaan de interpretatie voor het gehele profiel in 2D.....15

Figuur 3.12. Sondering S169 en dichtstbijzijnde meetpunt uit de SkyTEM. 16

Figuur 3.13. Sondering S167 en dichtstbijzijnde meetpunt uit de SkyTEM. 16

Figuur 3.14. a) doorsnede vluchtlijn 2 met daarin interpretaties van zoet-zout uitgedrukt in chlorideconcentraties en lithologie. b) doorsnede uit REGIS van de bodemopbouw (legenda hiervan is opgenomen in de bijlage).....16

1 INLEIDING

Op initiatief van drinkwaterbedrijf PWN is in september 2011 in samenwerking met het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (HHNK) een bodemonderzoek gestart langs de kust van het Noordhollands Duinreservaat. Met elektromagnetische golven (een soort radar) is de opbouw van de ondergrond en het evenwicht tussen het zoute zeewater en het zoete grondwater in kaart gebracht. De metingen zijn uitgevoerd door het Deense bedrijf SkyTEM in samenwerking met de Universiteit van Aarhus, Denemarken.

Voor HHNK zijn een aantal vluchtlijnen uitgevoerd. Een drietal in de binnenduinrand. Deze metingen geven informatie over de opbouw van de ondergrond en de zoet-zout verdeling van het grondwater. Daarnaast zijn een aantal raaien gevlogen bij de Hondsbossche Zeewering. Het doel hiervan is de geschiktheid van de meetmethode voor waterkeringen te onderzoeken. En tevens inzicht te geven in de zoet-zout verdeling in deze strook. Ook is een raai gevlogen over het binnendijks gelegen natuurgebied.

HHNK heeft Acacia Water gevraagd om de nieuwe informatie van de SkyTEM metingen uitgevoerd voor HHNK te interpreteren in combinatie met bestaande gegevens en kennis van het gebied. Het betreft een uitwerking op hoofdlijnen bedoeld om de mogelijkheden van SkyTEM of vergelijkbare technieken voor HHNK te verkennen. De uitwerking van de metingen van PWN wordt door PWN zelf uitgevoerd.

1.1 Achtergrond

Hondsbossche Zeewering en andere keringen
Inzicht in de opbouw van het dijklichaam en de natuurlijke geologische formaties eronder is van groot belang. Toetsing op de 'traditionele manier' met boringen en sonderingen geven wel inzicht in de opbouw ter plaatse, maar de dichtheid van boringen is vaak te grof om locale variaties in die opbouw te vast te stellen. Dat geldt met name voor de Holocene ondergrond, waarin de fluviatiele en estuariene afzettingen sterk kunnen variëren in lithologie op afstanden van enkele tientallen meters. In sterkere mate geldt dit voor een dijklichaam dat vaak inhomogeniteiten in opbouw bevat van nog kleinere omvang.

Binnenduinrand
Inzicht in de opbouw van de ondergrond en verdeling van zoet en zout grondwater is van belang voor het dagelijks waterbeheer van het hoogheemraadschap. Kennis van het hydrologisch systeem wordt gebruikt om effecten van veranderingen en ingrepen te voorspellen zodat de verschillende belangen goed afgewogen kunnen worden. Deze kennis is vervat in onder andere de grondwatermodellen van HHNK die nu gebaseerd zijn op grote hoeveelheden gemeten puntinformatie over de ondergrond, grondwater en zoet zout verdeling.

Geofysische metingen en SkyTEM
Boringen en sonderingen geven zeer gedetailleerd informatie op het punt waar de boring/sondering is uitgevoerd. De interpretatie en interpolatie ertussen geven niet altijd een juiste weergaven van de werkelijke situatie. Geofysica metingen bieden de mogelijkheid tussen boringen en sonderingen de missende informatie op te vullen. Eén van de geofysische methoden is SkyTEM. Hiermee kan langs raaien maar ook een vlakdekkend beeld van de diepteligging van het zoet-zout grensvlak worden verkregen. Ook wordt een beter beeld gekregen van de ondergrondse kleilagen die het stromingsbeeld beïnvloeden. SkyTEM is een bewezen, kostenefficiënte methode. Om een vergelijkbaar beeld te krijgen zouden heel veel dure puntmetingen op de grond nodig zijn.

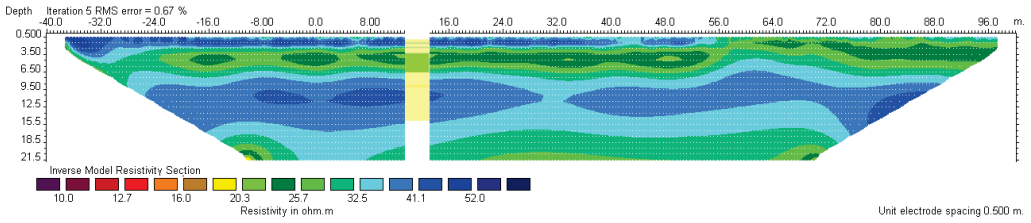
2 METHODE

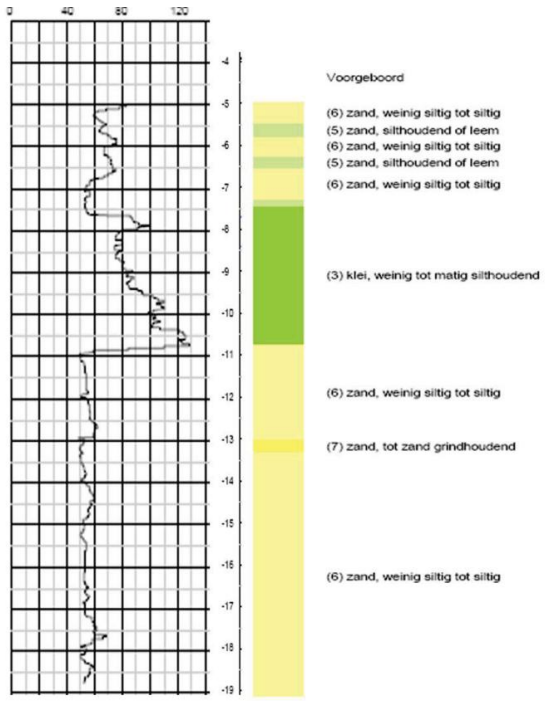
2.1 Inleiding

Met geofysische technieken kunnen patronen en anomalieën in de (bodem)opbouw worden vastgesteld. Met andere woorden, onderscheid kan worden gemaakt tussen klei, zand, veen, grind en bodemvreemd materiaal. Maar ook tussen zoet en zout grondwater. Een groot voordeel van geofysische metingen is dat geen schade wordt toegebracht aan de bodem zoals bijvoorbeeld met boringen.

Anders dan boringen of sonderingen kan met geofysica een 2D dan wel 3D beeld van de ondergrond worden gemeten. De twee benaderingen boringen/sonderingen versus geofysica vullen elkaar aan. Geofysica kan worden gebruikt om missende informatie tussen boringen of sonderingen aan te vullen. Maar omgekeerd kunnen geofysicametingen eerst worden uitgevoerd zodat minder boringen/sonderingen nodig zijn. Er kan dan heel gericht de beste locaties ervan worden bepaald. Dit is niet alleen kostenbesparend maar verbetert ook de kwaliteit en betrouwbaarheid van een kartering.

Meting bodemopbouw Wassenaarse polder (CVES en verificatie met boring en sondering)





Onderzoek langs de kade van de Wassenaarse Polder voor Hoogheemraadschap Rijnland. Bovenaan resultaat CVES meting aan de voet van de kade. De groene zones met relatief lage weerstanden komen overeen met klei. De blauwe zones met hogere weerstanden bestaan vooral uit zand. Hiernaast wordt een geleidbaarheidssondering getoond en een boring. De boring en sondering die ter verificatie zijn uitgevoerd bevestigen dit beeld. De boring is ook geprojecteerd over het CVES beeld.

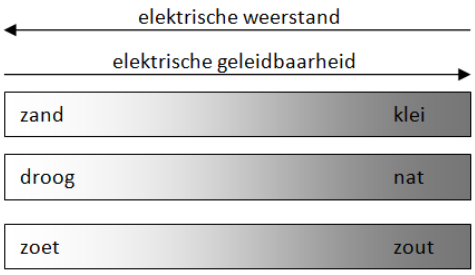
Er zijn verscheidene geofysische parameters of grootheden die de opbouw van de ondergrond reflecteren. Dat kan variëren van elektrische weerstand, seismische snelheid, dielectrische constante, het natuurlijke magnetisch en elektrisch veld en de natuurlijke straling van gammadeeltjes, infraroodlicht en microgolven (L-band). Die grootheden kunnen vanaf het aardoppervlak door tal van apparaten worden gemeten, hetzij lopend, rijdend (quad), airborne (vliegtuig/helikopter) of via satellieten. Elk met voor- en nadelen. Algemeen geldt dat lopend de hoogste ruimtelijke resolutie mogelijk is maar dat een relatief klein gebied dan bemeten wordt in een dag. Met de airborne benadering, zoals SkyTEM, is een lagere ruimtelijk resolutie mogelijk maar kan snel een groot gebied bemeten worden.

Met geofysische metingen kunnen ook afgeleide fenomenen worden gemeten, zoals vochtige zones langs dijken waar water uittreedt, die verschillen laten zien in temperatuur, vochtgehalte (microgolven) en vegetatie (kleur).

2.2 Inhoudelijke achtergrond van geofysicametingen

Met geoelectrische meetmethoden wordt de elektrische geleidbaarheid of weerstand van de ondergrond gemeten. De geleidbaarheid is de reciproke van de weerstand. Afhankelijk van de meetmethode wordt de gemeten waarde in geleidbaarheid of weerstand uitgedrukt. De gemeten waarde wordt bepaald door de weerstand (of geleidbaarheid) van de bodemsoort, het vochtgehalte en het zoutgehalte van het grondwater. Elke methode heeft voor- en nadelen qua meetbereik, dieptebereik, resolutie, tijd die nodig is voor het uitvoeren van een meting en ten slotte de interpretatiewijze (software).

Schijnbare en specifieke formatieweerstand
Een geoelectrische meting aan het oppervlak resulteert in een zogenaamde schijnbare weerstand. Deze schijnbare weerstand is een gemiddelde van de specifieke weerstand van verschillende bodemlagen vanaf het maaiveld tot de maximaal gemeten diepte (meetbereik). Bij een homogene bodem (en homogene samenstelling van het grondwater) is de schijnbare weerstand gelijk aan de specifieke weerstand. Door de electrodenafstand te varieren bij Direct Current methoden zoals VES en CVES of door de tijds variatie te meten bij TDEM methodem zoals Skytem kan met behulp van interpretatiesoftware toch de werkelijke specifieke of formatieweerstand worden bepaald. Geofysische metingen in boorgaten geven direct informatie over de formatieweerstand.



Figuur 2.1 Invloed bodem en grondwatereigenschappen op geleidbaarheid en weerstand.

Formatieweerstand en waterweerstand
De gemeten of geinterpreteerde formatieweerstand geeft de weerstand weer van de ondergrond en het poriewater. In algemeen geldt dat een lage weerstand overeenkomt met ofwel klei/veen, zout poriewater of een combinatie daarvan. Een hoge weerstand komt overeen met zand, zoet water of een combinatie. Zand met zout poriewater geeft dus een lagere weerstand dan zand met zoet water (geïllustreerd in Figuur 2.1). Voor een juiste interpretatie van de resultaten van weerstandsmetingen is vaak aanvullende informatie nodig. Vaak is dat al aanwezig (bijvoorbeeld DINOloket) maar ook kan het nodig zijn de meting uit te voeren in combinatie met grondboringen (grondwaterstand en

bodemopbouw), EC metingen van het grondwater en hoogtemetingen (vanwege evt. hoogteverschillen).

De hier beschreven methode is gebaseerd op de wet van Archie (vgl 3.3) die de relatie tussen formatie- en waterweerstand aangeeft. Hieruit kan de waterweerstand worden afgeleid als de formatiefactor bekend. Deze factor wordt bepaald door de lithologie. Door toepassing van een empirische relatie tussen waterweerstand en chloridegehalte kan uit de gemeten formatieweerstand een indicatie worden gegeven over het chloridegehalte van het grondwater in de zandpakketten.

Opgemerkt wordt dat sommige geofysische meetmethoden (VES, CVES boorgatmeting) de meetwaarden uitdrukken in electrisch weerstand. Anderen meetmethoden hanteren electrische geleidbaarheid als meeteenheid, wat de reciproken is van de weerstand. Voor water wordt meestal de geleidbaarheid in µS/cm gebruikt. De weerstand ρ_w in Ohmm van water is gerelateerd aan de watergeleidbaarheid σ_w (EC) in µS/cm volgens:

$$\sigma_w = \frac{10000}{\rho_f} \tag{3.1}$$

Vanweg de temperatuursafhankelijkheid dienen gemeten geleidbaarheden en weerstanden te worden geconverteerd naar een standaardtemperatuur van 20 ºC met behulp van de hier gemodificeerde relatie van Jorgensen (1989):

$$\sigma_{f20} = \sigma_f \frac{75}{1.8T + 39} \tag{3.2}$$

waar σ_{f20} de standaard formatiegeleidbaarheid bij 20 ºC, σ_f de gemeten formatiegeleidbaarheid en *T* de temperatuur is. De temperatuur op elke diepte kan worden afgeleid uit waarnemingen. Waar geen metingen beschikbaar zijn is een temperatuur (*T*) van 10 ºC (Volker, 1962) aangenomen.

De formatiegeleidbaarheid σ_{f20} moet worden omgezet naar een watergeleidbaarheid σ_w met behulp van de formatiefactor *F* op basis van de volgende relatie (wet van Archie):

$$\sigma_{w20} = \sigma_{f20} * F \tag{3.3}$$

Er zijn wel enkele standaardwaarden voor de formatieconstante per bodemsoort beschikbaar die een indicatie geven (Tabel 2.1). Voor zover mogelijk dient de formatiefactor voor een bepaalde lithologische eenheid altijd bepaald te worden op basis van gemeten geleidbaarheid van een grondwatermonster.

Tabel 2.1. Enkele standaardwaarden voor de formatiefactor

Lithologische beschrijving	Formatiefactor	
grind met zand	7	
grof zand met grind	6	
grof zand	5	
matig grof zand	4	
zwak slibhoudend zand	3	
matig slibhoudend zand	2.5	*
sterk slibhoudend zand	2	*
klei	1 - 3	*
veen	~ 1	

* schijnbare formatie factor want voor kleiig sediment varieert F met de geleidbaarheid van het poriewater.

Volgens (3.3) dient dan de gemeten geleidbaarheid van het poriewater te worden gedeeld door de gemeten specifieke formatiegeleidbaarheid op de diepte van het poriewater. De specifieke formatiegeleidbaarheid kan zijn gemeten met de methoden VES, CVES of SkyTEM.

De watergeleidbaarheid σ_{w20} in µS/cm kan vervolgens worden gebruikt om het chloridegehalte in mg/l te herleiden op basis van de empirische relatie van Post (2008), die is gebaseerd op een groot aantal analyses van grondwater in Laag Nederland. Het bicarbonaatgehalte HCO_3 in mg/l speelt hierin ook een rol. De gevonden relatie ziet er als volgt uit:

$$\sigma_{w20} = 2.91 * 10^2 + 2.71 * Cl - 2.49 * 10^{-5} * Cl^2 + 9.34 * 10^{-1} * HCO_3 \tag{3.4}$$

$$Cl = \frac{-2.71 + \sqrt{2.71^2 - (4 * 2.49 * 10^{-5} * (-\sigma_w + 291.81 + 0.93 * HCO_3))}}{2 * 2.49 * 10^{-5}} \tag{3.5}$$

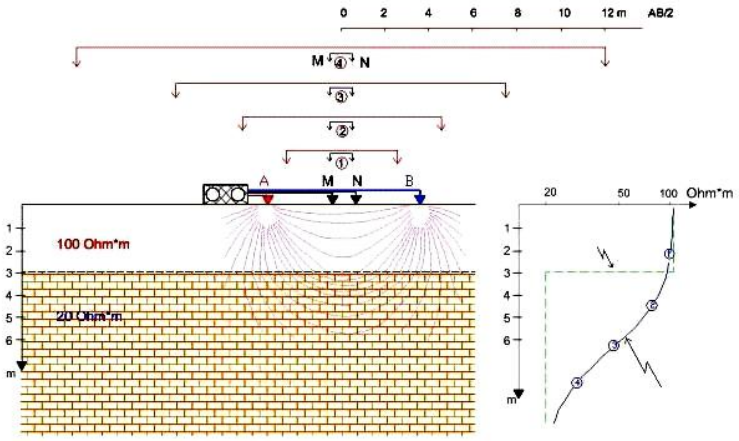
De hier beschreven empirische relaties hebben uiteraard beperkingen. Zo geldt voor de relatie 3.5 dat deze toepasbaar is voor watergeleidbaarheden groter dan 800 µS/cm.

2.3 Meetmethode VES en SkyTEM

(C)VES

VES metingen wordt hier genoemd omdat het een standaard methode is waarmee een belangrijk deel van de zoet-zout verdeling in de ondergrond van Nederland en HHNK in kaart is gebracht in de jaren 50 en 70.

Bij een VES (Vertical Electrical Sounding) wordt op één punt de schijnbare weerstand van de ondergrond gemeten. Dit wordt gedaan door tussen twee stroomelektroden een stroom door de ondergrond te sturen. Twee potentiaalelektroden ertussenin meten het potentiaalverschil. De afstand tussen de stroomelektroden wordt in stappen vergroot waardoor telkens over een andere diepte de schijnbare weerstand wordt gemeten.



Figuur 2.2: Schematische weergave van de meetopstelling van een VES (links) en de resulterende interpretatie in een lagenmodel (rechts)

Een VES meting geeft een eendimensionaal beeld van de ondergrond. Voor een 2D of 3D beeld van de ondergrond worden meerdere elektroden op rij geplaatst, een zogenaamde CVES meting (Continuous Vertical Electrical Sounding).

Op basis van het potentiaalverschil (V), de stroomsterkte (I) en een geometrische factor (G) (afhankelijk van de elektrodeafstand) kan de schijnbare weerstand (ρ_a) van de ondergrond worden berekend:

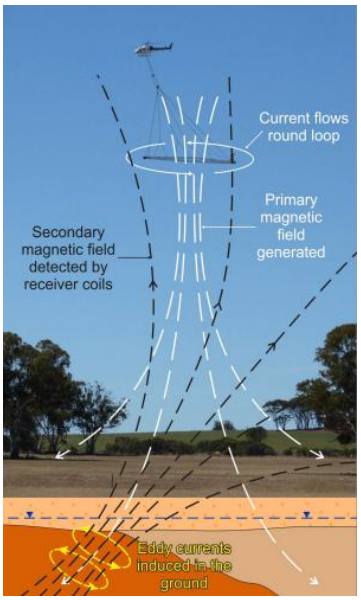
$$\rho_a = G * \frac{V}{I} \qquad (4.1)$$

De schijnbare weerstand is het gemiddelde van de weerstand van verschillende bodemlagen vanaf het maaiveld tot op een bepaalde diepte (afhankelijk van de elektrodeafstand). Het resultaat is, voor VES, een lagenmodel van de formatieweerstanden op één punt. Voor een meting met CVES, betreft het een raai van lagenmodellen. Dit heeft als voordeel dat de naast elkaar gelegen laagmodellen afhankelijk zijn van elkaar en de vrijheidsgraden van de interpretatie worden beperkt. Het resultaat is een betrouwbaarder meetresultaat. Hetzelfde geldt voor de SkyTEM.

SkyTEM

SkyTEM is een 'time domain' elektromagnetische (TEM) meting vanuit een helikopter. Door middel van elektromagnetische inductie wordt de elektrische geleidbaarheid in de ondergrond gemeten.

Onder de SkyTEM helikopter hangt een grote hoepel (de 'meetsonde') waar stroom doorheen loopt. In de bodem wordt een (secundair) magnetisch veld opgewekt dat in de meetsonde wordt opgevangen. De helikopter vliegt met een snelheid van 50 km/h in parallelle 'vluchtlijnen' over het gebied en maakt een groot aantal metingen. Elke meting duurt een aantal milliseconden.

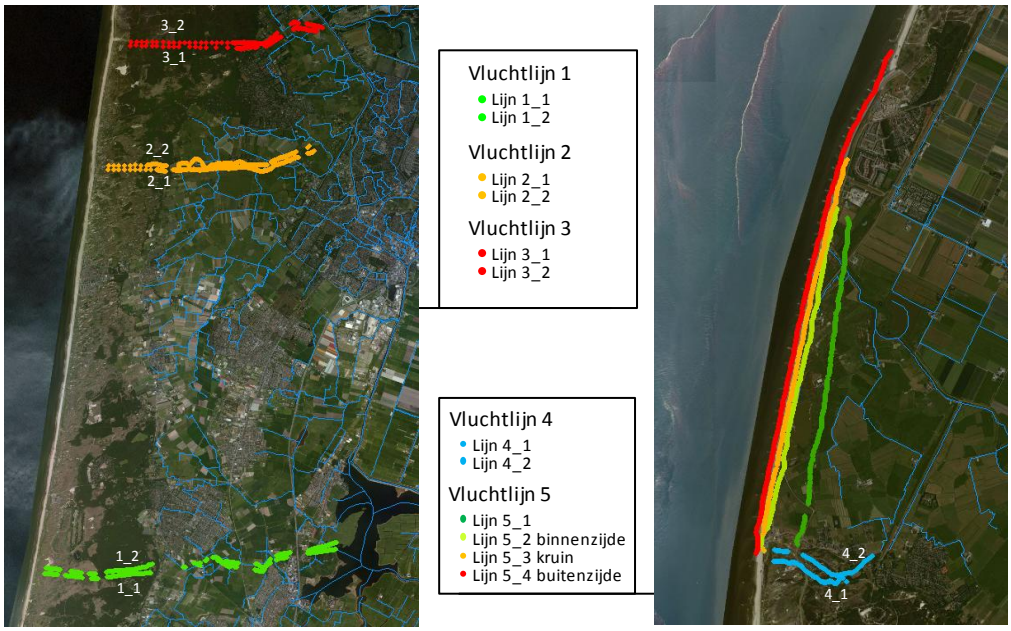


Figuur 2.3: Schematische weergave van de meetopstelling van een SkyTEM.

3 RESULTATEN EN INTERPRETATIE SKYTEM METINGEN

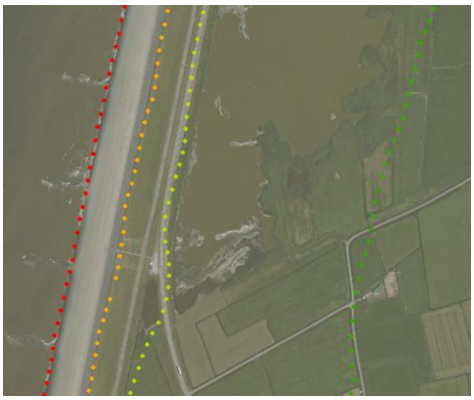
3.1 Uitgevoerde vluchtlijnen

Figuur 3.1 geeft een overzicht van de uitgevoerde vluchtlijnen waarlangs metingen zijn gedaan met SkyTEM. Er zijn 3 raaien over de duinen en binnenduinrand gevlogen. Dit zijn samengestelde raaien op basis van de vluchten binnenduinrand voor HHNK en in het duingebied voor PWN.



Figuur 3.1: Uitgevoerde vluchtlijnen binnenduinrand (links) en Hondsbossche zeewering (rechts).

Ter plaatse van de Hondsbossche zeewering zijn een viertal lijnen gevlogen. Een lijn is uitgevoerd aan de buitenzijde van de dijk, een lijn op de kruin van de dijk en een lijn aan de binnenzijde van de dijk. Tevens is parallel aan de dijk een vierde lijn gevlogen verder landinwaarts (zie Figuur 3.2).



Figuur 3.2: Detail van de uitgevoerde vluchtlijnen Hondsbossche zeewering.

3.2 Lagenmodel

In het voorgaande hoofdstuk is uiteengezet dat een SkyTEM meting een reeks puntmetingen zijn die samen een raai van meetlocaties vormen waarop een 2D interpretatie mogelijk is. Met meerdere raaien kan een 3D beeld worden samengesteld.

Voor elk individueel meetpunt is een lagenmodel gemaakt. In het lagenmodel zijn de metingen vertaald naar een formatieweerstand per laag. Dit lagenmodel bestaat uit lagen met vaste dikte. In dit geval is die dikte 4.1m. Deze diktes zijn gekozen door Aarhus Universiteit (uitvoerende partij voor de SkyTEM metingen). Een andere dikte is ook mogelijk. Dit kan bijvoorbeeld zinvol zijn wanneer een hogere resolutie in het ondiepe bereik is gewenst. De maximale resolutie is ca 1m.

3.3 Validatie

De hierboven beschreven geofysische methoden leveren indirect informatie DE lagenmodellen zijn het resultaat van interpretaties die niet altijd eenduidig zijn. Om de betrouwbaarheid van een geofysische meting te toetsen wordt vaak gebruik gemaakt van een directe meting. Meestal gaat dat om electrische weerstanden of geleidbaarheden gemeten door middel van sonderingen met geleidbaarheidsconus of geofysische boorgatmetingen. Bij de doorvertaling van gemeten weerstand naar een chloridegehalte wordt ook gebruik gemaakt van directe metingen van het zoutgehalte in peilbuizen.

3.3.1 Validatie op basis van boorgatmetingen

De SkyTEM metingen zijn gevalideerd aan de hand van geofysische boorgatmetingen. Dit zijn metingen waarmee de formatieweerstand (geleidbaarheid) wordt gemeten in bijvoorbeeld een peilbuis. Dergelijke boorgatmetingen zijn direct vergelijkbaar met de meetwaarden die voortkomen uit het lagenmodel van de SkyTEM. Voor de vluchtlijnen in de binnenduinrand zijn dergelijke metingen beschikbaar in het Dinoloket. De resultaten worden hieronder kort toegelicht.

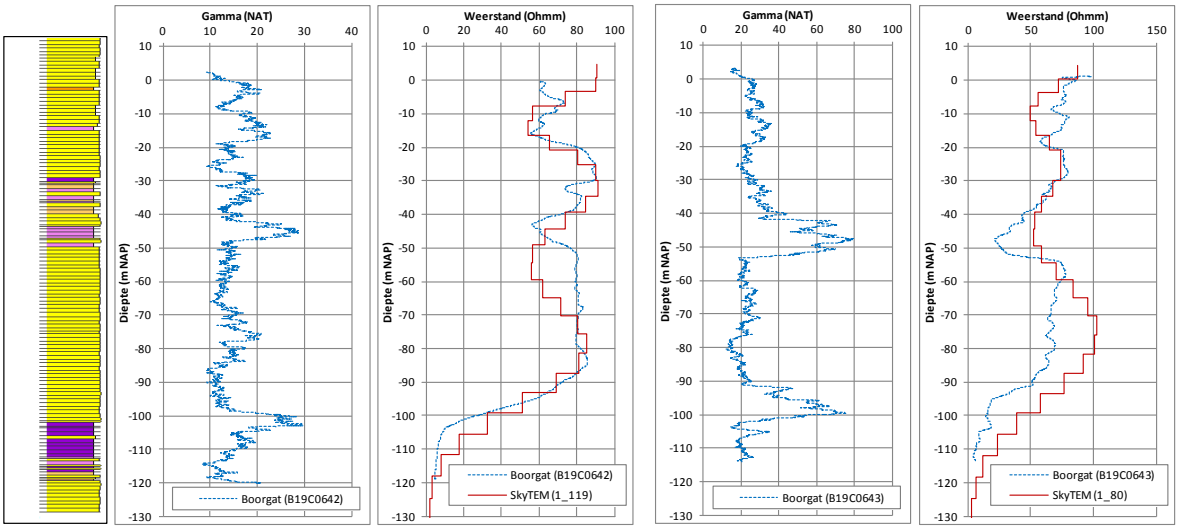
Vluchtlijn 1_1
Figuur 3.3 geeft vluchtlijn 1 weer met de beschikbare boorgatmetingen. Bij de inventarisatie van de metingen bleken op 2 locaties bij de vluchtlijnen boorgatmetingen beschikbaar te zijn voor de verificatie van de metingen. Het betreft B19C0642 en B19C0643.

Figuur 3.3: Vluchtlijn 1 en de beschikbare boorgatmetingen.

Figuur 3.4 toont voor beide boorgatmetingen de gammalog en de weerstandslog. De gammasonde meet de natuurlijke straling en is vooral geschikt om onderscheid te maken tussen klei en zand. Een hoge waarde komt overeen met klei en een lagere waarde met zand. De weerstandslog toont de gemeten formatieweerstand van de boorgatmeting alsmede de formatieweerstand geïnterpreteerd uit de SkyTEMmeting op die locatie. . Voor de weerstand geldt dat een hoge weerstand overeenkomt met zandig materiaal met zoet water. Een lagere weerstand kan twee dingen betekenen, ofwel zandig materiaal met brak/zout water of kleimateriaal met zoet water. De interpretatie van boorgatmetingen vindt daarom het beste plaats in combinatie van zowel gamma als weerstandsmetingen.

De logs tonen grofweg leemlagen met grind tussen NAP-40m en NAP-50m en tenslotte een kleilaag tussen -100m en -110m. Deze zijn steeds gecombineerd met grindlaagjes. De afname van de formatieweerstand vanaf NAP-90m kan niet worden toegeschreven aan het kleivoorkomen. De afname heeft dus te maken met toename van het zoutgehalte.

Voor de validatie is van belang of de SkyTEM meting overeenkomt met de gemeten weerstand van de boorgatmetingen. In beide boorgatmetingen komen de variaties met de diepte redelijk overeen met die van de SkyTEM meting. Bij boorgatmeting B19C0642 valt de weerstand terug bij de kleilaag tussen NAP-40m en NAP-50m. Bij de SkyTEM wordt dit effect wel waargenomen maar ca 10m dieper. Bij B19C0643 is te zien dat de weerstand op grotere diepte wordt overschat.



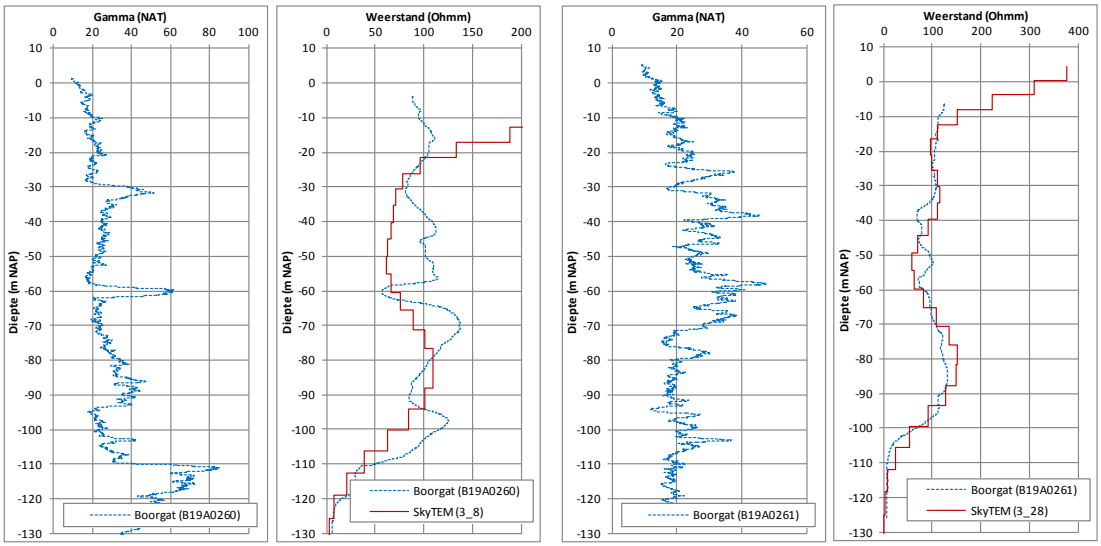
Figuur 3.4: Boorgatmetingen B19C0642 en B19C0643 en het SkyTEM lagenmodel van de dichtstbijzijnde meetpunten. Helemaal links de bodembeschrijving van B19C0643.

Vluchtlijn 3_1

Figuur 3.5 geeft vluchtlijn 3 weer met de beschikbare boorgatmetingen. Bij de inventarisatie van de metingen bleken op 2 locaties bij de vluchtlijnen een boorgatmetingen beschikbaar te zijn. Het betreft B19A0260 en B19A0261.

Figuur 3.5: Vluchtlijn 3 en de beschikbare boorgatmetingen.

De boorgatmetingen en de SkyTEM metingen hebben betrekking op het duingebied waar hoge formatieweerstanden voorkomen (zand met zoet water). De SkyTEM metingen komen redelijk goed overeen met de boorgatmetingen. Een zone ondiep met zeer hoge weerstanden die de onverzadigde zone van zand vertegenwoordigen. Daarna een zone tot ca NAP-110m diep met formatieweerstanden van ongeveer 100 Ohmm bestaande uit zand met zoet water , die tenslotte overgaat naar lagere formatieweerstanden van het brakke grondwater. Dit is de onderkant van de zoetwaterbel van het duingebied. In boorgat B19A0260 wordt op een diepte van NAP-60m een kleilaag aangetroffen. Deze laag wordt echter niet waargenomen in de SkyTEM interpretatie. Dit heeft te maken met de dikke zone van hoge formatieweerstanden waarin een dunne laag met een lage formatieweerstand voorkomt. De SkyTEM is niet in staat deze dunne laag op de gegeven diepte waar te nemen. De waarde valt weg tegen de hoge waarden erboven en eronder.



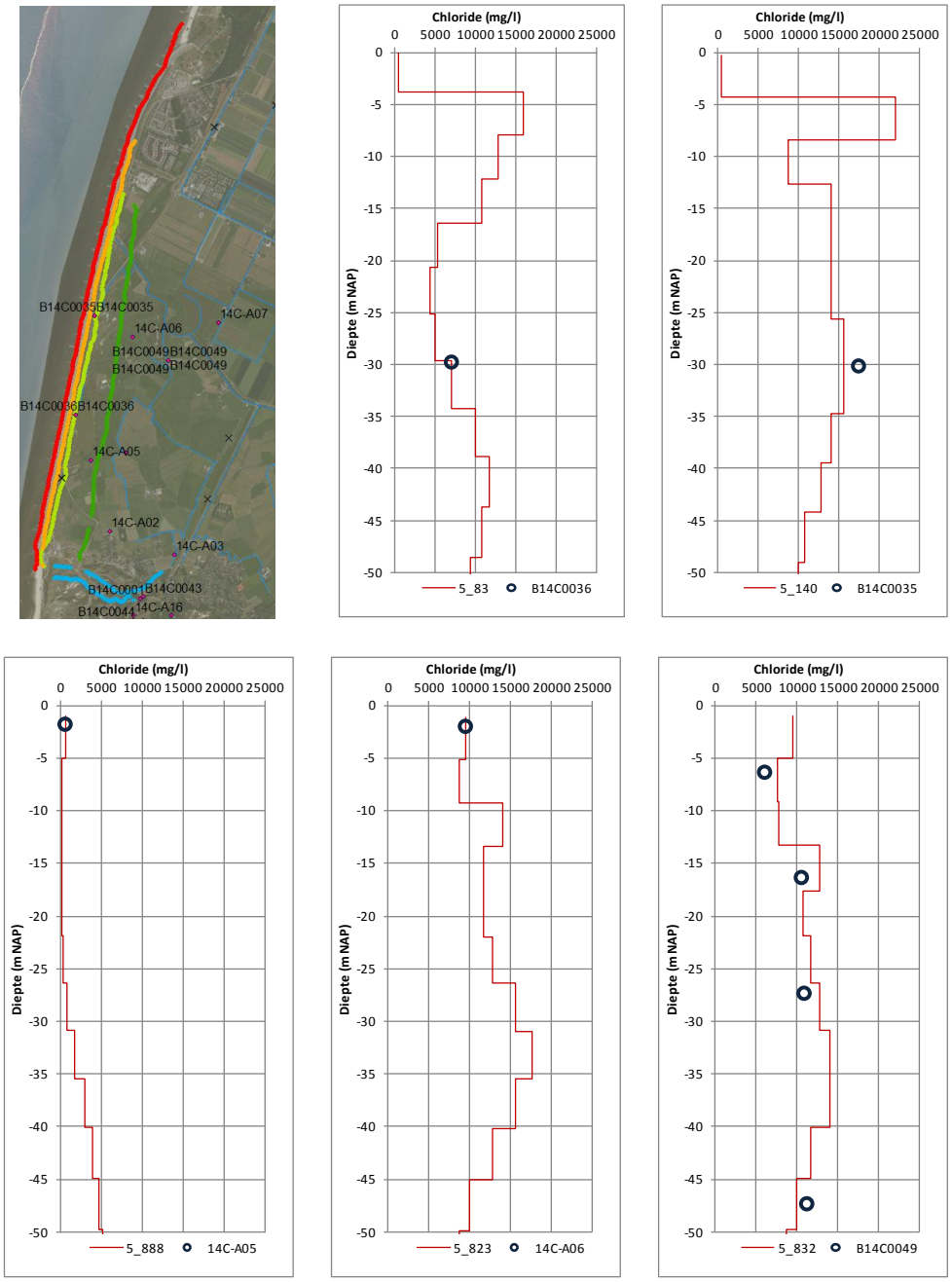
Figuur 3.6: Boorgatmetingen B19A0260 en B19A0261 en het SkyTEM lagenmodel van de dichtstbijzijnde meetpunten.

3.3.2 Validatie vertaling gemeten formatieweerstand naar chlorideconcentratie

Een toepassing van de SKyTEM metingen is inzicht te krijgen in de verdeling van zoet- en zout grondwater. De gemeten formatieweerstand kan worden vertaald naar een chlorideconcentratie (zie paragraaf 2.2). De vertaling naar het chloride gehalte wordt voor een belangrijk deel bepaald door de formatiefactor. Voor een juiste benadering moet op basis van de bodemsamenstelling steeds een passende formatiefactor worden gekozen. Aangezien het een verkennende studie betreft is ervoor gekozen om één waarde, formatiefactor 3, toe te passen op alle metingen. Voor de metingen bij de Hondsbossche zeewering is daarvan afgeweken en is een waarde van 2,5 gebruikt voor de bovenste 10m en een waarde van 3 voor de resterende metingen daaronder. De resultaten worden hieronder kort toegelicht. De waarden van 2.5 a 3 gelden voor zand, dat hier dominant is in de ondergrond. Er komen ook kleilagen voor die in het algemeen een lagere formatiefactor hebben van 1 a 1.5. Voor die lagen wordt mogelijk een te hoog zoutgehalte berekend.

Uit het DINOloket zijn peilbuizen geselecteerd waar chloridemetingen van bekend zijn en nabij de vluchtlijnen liggen. Deze bleken alleen beschikbaar te zijn langs de vluchtlijnen van de Hondsbossche zeewering. Het betreft twee peilbuizen op de vluchtlijn 5_2, landzijde zeewering en drie peilbuizen bij vluchtlijn 5_1, polder (Figuur 3.1). Bij vluchtlijn 5_2 is in de bovenste 4m sprake van zoet water dan wel onverzadigde zone. De gebruikte formatiefactor geeft een redelijk goede fit met de gemeten waarden uit de peilbuizen.

Voor de twee peilbuizen in de polder, bij vluchtlijn 5_1, beschikken we alleen over een ondiep filter. Maar ook hiervoor geldt dat het afgeleide chloridegehalte uit de SkyTEM goed overeenkomt met de meetwaarde uit de peilbuis. Er zijn geen peilbuizen met diepere filters aanwezig waar ook chloride is gemeten. Daarom is in aanvulling op de twee peilbuizen een derde peilbuis geselecteerd. Het betreft een peilbuis met filters tot een diepte van 50m –mv. De peilbuis geeft aan dat over de gehele diepte zout water tot 10.000 mg/l voorkomt. De vertaalde meetwaarden uit de SkyTEM bevestigen dit. De afwijking is wat groter, maar de gekozen peilbuis ligt op grotere afstand van de vluchtlijn.

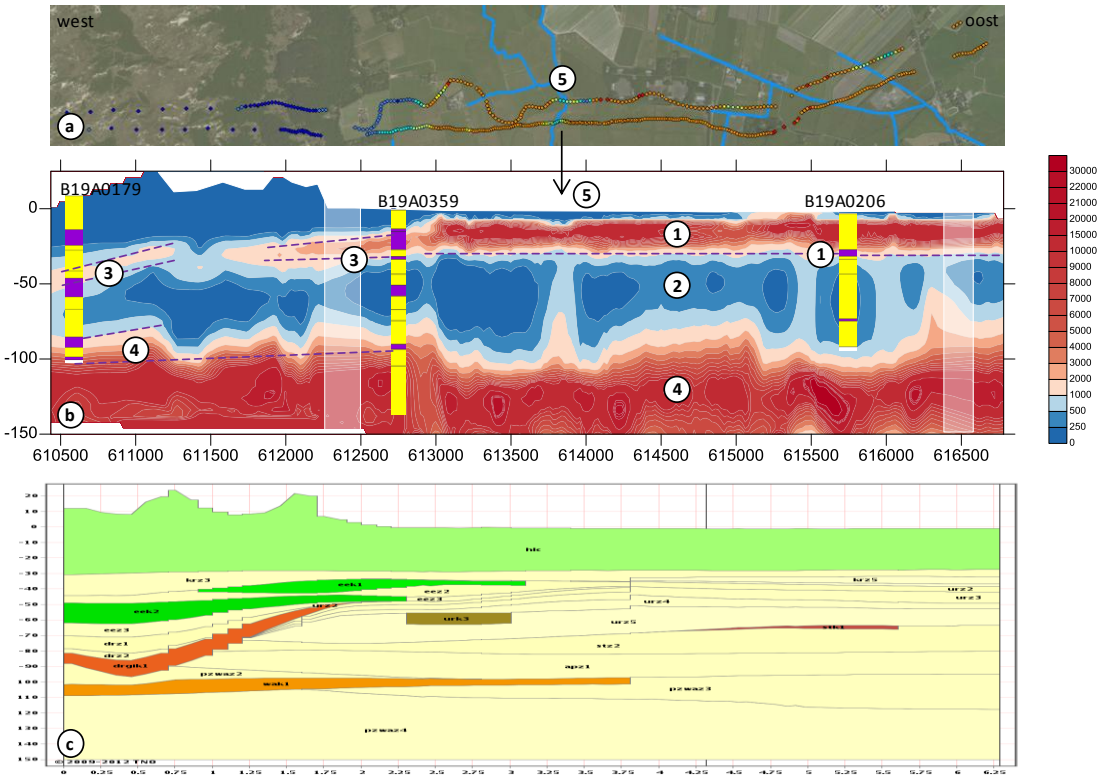


Figuur 3.7. Overzicht van de vluchtlijnen en peilbuizen met chloridemetingen. Daarnaast voor twee peilbuizen de chloride metingen en vertaalde SkyTEM meting bij vluchtlijn 5_2 (landzijde zeewering). Daaronder voor drie peilbuizen de chloride metingen en vertaalde SkyTEM meting bij vluchtlijn 5_1 (polder). Opgemerkt dat voor de derde grafiek de afstand van peilbuis tot de vluchtlijn groot is.

3.4 Resultaten en interpretatie metingen binnenduinrand

3.4.1 Binnenduinrand

Er zijn in totaal 3 vluchtlijnen uitgevoerd loodrecht op de kustlijn over het duin, binnenduinrand en polder. De resultaten van de drie vluchten zijn opgenomen in bijlage 1. Ter illustratie wordt hier verder ingegaan op vluchtlijn 2 (Figuur 3.1). Deze is gevlogen ten zuiden van Bergen. De resultaten worden besproken aan de hand van Figuur 3.8.



Figuur 3.8. a) bovenaanzicht vluchtlijn 2 binnenduinrand met in kleur weergegeven zoet (blauw) en zout (rood). b) doorsnede vluchtlijn 2 met daarin interpretaties van zoet-zout uitgedrukt in chlorideconcentraties en lithologie. c) doorsnede uit REGIS van de bodemopbouw (legenda hiervan is opgenomen in de bijlage)

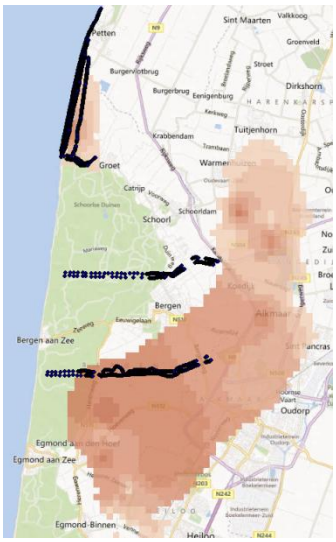
Het eerste dat opvalt is de opeenvolging van boven naar beneden van hoge,lage, hoge en weer lage formatieweerstanden die vertaald zijn naar respectievelijk zoet, zout, zoet en weer zout grondwater. Voor wat betreft het oostelijk deel van de doorsnede, de polder, is dit een juiste interpretatie. De verschillen zijn dermate groot dat deze geen verband kunnen houden met lithologische verschillen, lees verschillen in formatie

Er is hier sprake van een zogenaamde inversie (1). Een inversie is een laag zout water op zoet water. In dit gebied is deze inversie gerelateerd aan een doorbraak van het duingebied rond 1300 AD. Het geïnundeerde gebied is later weer teruggewonnen (Figuur 3.9). Het water van deze doorbraak heeft grote delen van Noord Holland onder water gezet waarbij veel zout in de ondergrond is gedrongen. De inversie wordt aan de onderkant begrensd door een kleilaag (Formate van Naaldwijk/Laagpakket van Wormer) die met een stippellijn is aangegeven (1) wederzijds van boring B19A0206. Deze kleilaag heeft voorkomen dat het onderliggende zandpakket zout is geworden (2). Opgemerkt dat een kleilaag een lage formatieweerstand heeft en met een formatiefactor die hoog is leidt dit tot een te hoge inschatting van het chloridegehalte.

In het westelijk deel van de doorsnede, binnenduinrand en duin, is de vertaling van formatieweerstand naar chloride waarschijnlijk niet juist (3). Het betreft hier een kleilaag in een zoet pakket. Deze lagen zijn te relateren aan de Eem kleien (zie Figuur 3.8c). De overgang van deze Eemklei met zoet water en de inversie bevindt zich net ten oosten van boring B19A0359.

Op grotere diepte vanaf ongeveer 90m komt de overgang van zoet naar zout overeen met het voorkomen van de Waalre klei.

In het bovenaanzicht valt op dat waar de primaire watergangen snijden met de vluchtlijn een hogere weerstand wordt aangetroffen, wat gerelateerd is aan zoeter water (5). Het betreft in het bovenaanzicht metingen op een diepte van ca 10m. Deze zone is mogelijk gerelateerd aan infiltrerend zoet water uit de watergangen.



Figuur 3.9. Ruimtelijke verspreiding van de inversie op basis van VES metingen (Velstra, 2012).

3.5 Resultaten en interpretatie metingen Hondsbossche Zeewering

3.5.1 De zeewering (vluchtlijn 5_3)

Een geofysicameting, waaronder SkyTEM, meet verschillen in formatieweerstand (elektrische geleidbaarheid van de ondergrond). Deze verschillen in weerstand worden veroorzaakt door samenstelling van de bodem en zoutgehaltes van het grondwater. Het geeft echter ook informatie over de samenstelling van een dijk. In welke mate dit bruikbaar is voor een kering of dijk wordt in deze paragraaf bekeken.

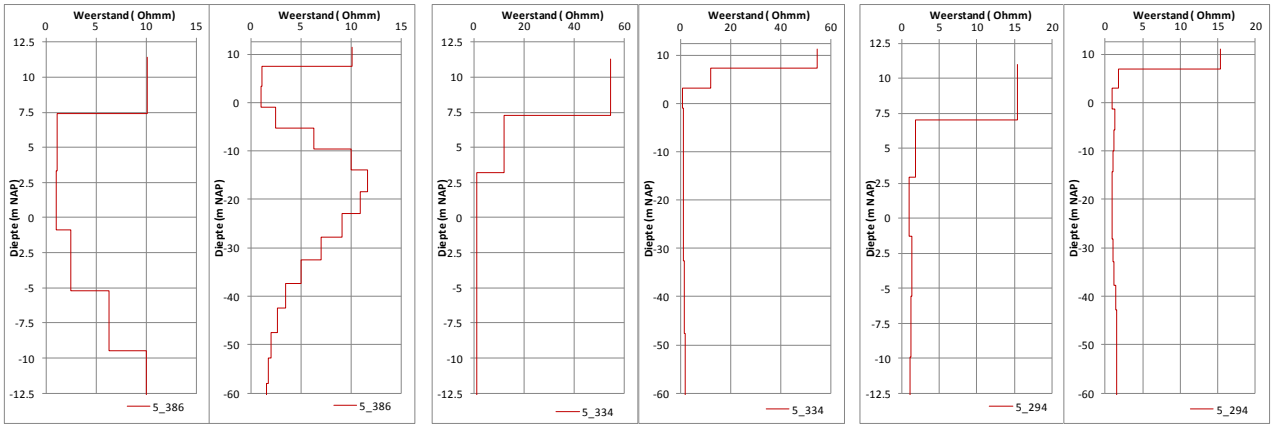
Vluchtlijn 5_3 is gevlogen over de hele lengte van de zeewering. Zoals eerder al is aangegeven is de interpretatie van de metingen gedaan op basis van een lagenmodel waarbij elke laag ongeveer 4m dik is. Dit betekent dat de waarde van een modellaag de gemiddelde weerstand geeft voor het bereik van deze 4m. Figuur 3.11 toont voor 4 opeenvolgende modellagen de interpretatie. De bovenste twee grafieken geven de variatie weer voor de zeewering zelf en de onderste twee zijn meer representatief voor de lagen onder de zeewering. Boven de grafieken is een bovenaanzicht van de bovenste modellaag, nu weergegeven in kleuren. Onder de grafieken een 2D doorsnede van hetzelfde traject.

De bovenste 4m van de zeewering is weergegeven in de bovenste grafiek. De weerstand van deze laag varieert qua weerstand tussen 10 Ohmm tot 60 Ohmm met een uitschieter tot 90 Ohmm. Het is niet waarschijnlijk dat de verschillen in weerstand worden veroorzaakt door waterkwaliteit. De verschillen zijn eerder het gevolg van de heterogene samenstelling van de zeewering en het feit dat het materiaal onverzadigd is. De zeewering op deze locatie dateert uit 1792 is herhaalde malen versterkt (De Mulder, 1983). Naast locaal materiaal is in de 19de eeuw bijvoorbeeld ook steenslag gebruikt.
In de tweede 4m (4 tot 8m beneden de kruin) ligt de gemeten weerstand aanmerkelijk lager. De zeer lage weerstandswaarden zijn waarschijnlijk het gevolg van de de hogere vochtgehalten en de hoge zoutgehalten van het grondwater. De variaties in weerstand komen echter overeen met de grafiek voor de laag erboven. Dit duidt er op dat er dezelfde variaties in samenstelling voorkomen.

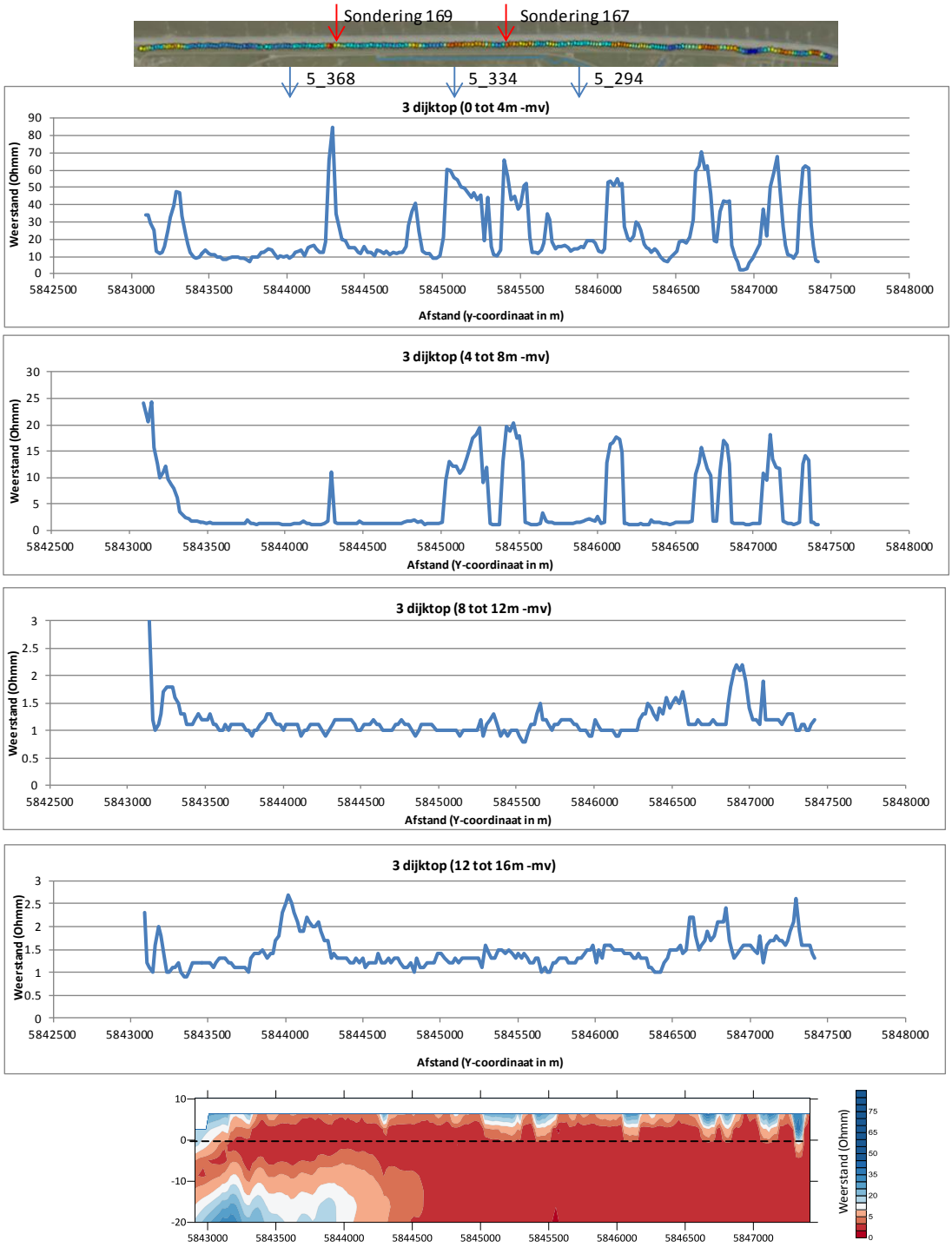
Er zijn maar een beperkt aantal sonderingen beschikbaar op de zeewering zelf. Twee ervan zijn weergegeven in respectievelijk Figuur 3.12 en Figuur 3.13. Deze zijn uitgevoerd bij zones, waar de Skytem metingen relatief hoge formatie weerstanden laat zien (zie Figuur 3.11). De wrijvingsgetallen van de sonderingen zijn laag, wat duidt op zandig materiaal. Als dat heel locaal voorkomt in afwisseling met kleilagen kunnen laterale variaties in formatieweerstand worden aangetroffen. Echter de verschillen in weerstand zijn dermate groot (factor 20), dat er ook andere oorzaken aan ten grondslag moeten liggen (steenslag, vochtgehalte). Daarbij wordt opgemerkt, dat de resolutie van de SkyTEM beperkt is (4m). Dit kan nog worden verbeterd tot een resolutie van 1m.

De diepere modellagen (NAP-8 tot NAP-12 m en NAP-12 tot NAP-16 m) uit vluchtlijn 5-3 vertonen veel minder variatie (rond 1 Ohmm met uitschieters tot 2 Ohmm). Vanwege de heersende kwel mag worden aangenomen dat het grondwater een zoutgehalte heeft gelijk aan zeewater. De weerstand is ongeveer 0.3 Ohmm. Dat betekent dat de formatiefactor inderdaad ongeveer 3 is. De geringe variaties in formatieweerstand moeten op deze diepten geheel worden toegeschreven aan lithologische verschillen.

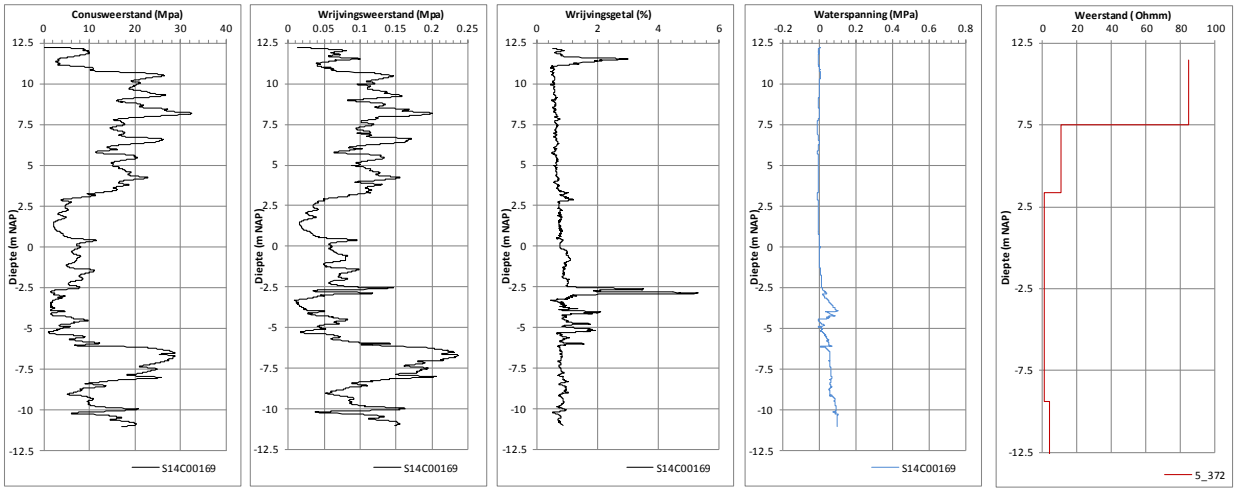
Op basis van de metingen kan worden geconcludeerd dat de samenstelling van de zeewering sterk varieert. Dat geldt ook voor de ondergrond al zijn die minder geprononceerd. Deze variaties zullen ook variaties in kwelintensiteit met zich mee brengen.



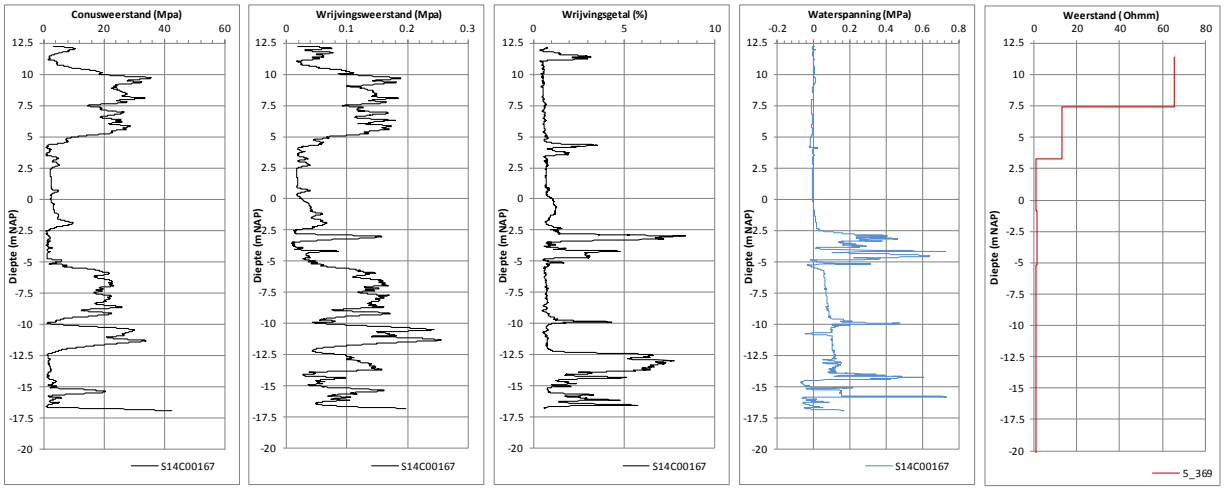
Figuur 3.10. Grafieken van de formatieweerstand met de diepte voor drie meetpunten op de zeewering. De locaties zijn aangegeven in Figuur 3.11.



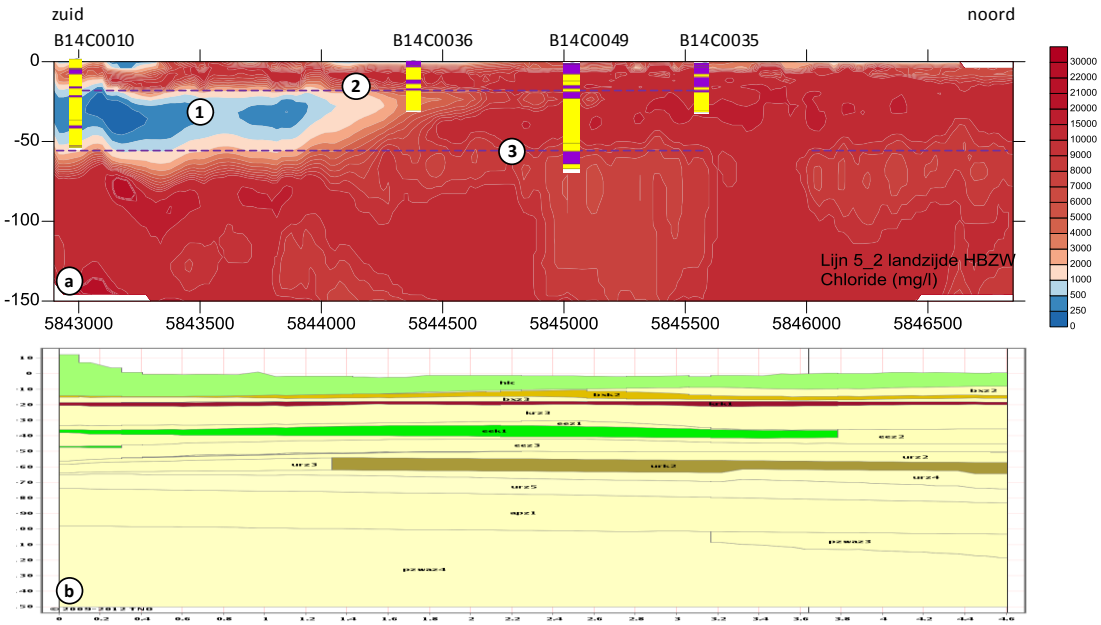
Figuur 3.11. Grafieken van opeenvolgende lagen in de SkyTEM metingen over de kruin van de zeewering (let op, de vertikale schaal verschilt per grafiek). Bovenaan zijn drie locaties van individuele meetpunten SkyTEM en twee sonderingen aangegeven. Deze punten zijn in diepteprofielen weergegeven in Figuur 3.10. Onderaan de interpretatie voor het gehele profiel in 2D.



Figuur 3.12. Sondering S169 en dichtstbijzijnde meetpunt uit de SkyTEM.



Figuur 3.13. Sondering S167 en dichtstbijzijnde meetpunt uit de SkyTEM.

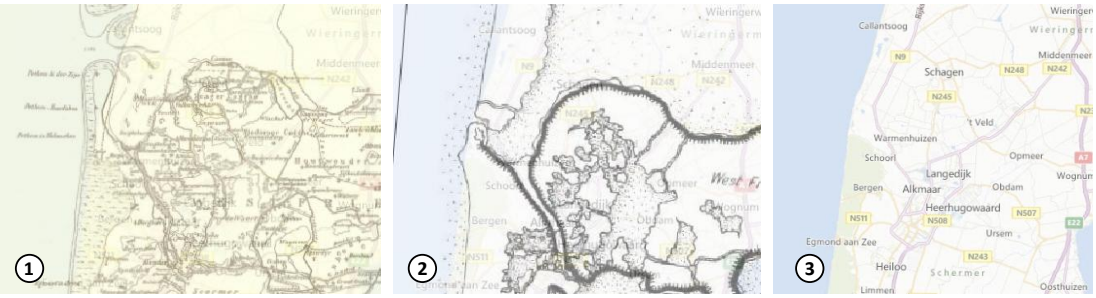


Figuur 3.14. a) doorsnede vluchtlijn 2 met daarin interpretaties van zoet-zout uitgedrukt in chlorideconcentraties en lithologie. b) doorsnede uit REGIS van de bodemopbouw (legenda hiervan is opgenomen in de bijlage)

3.5.2 Onder de zeewering, land- en zeezijde en polder (vluchtlijn 5)

Er zijn in totaal 4 vluchtlijnen uitgevoerd bij de Hondsbosse Zeewering, drie over en langs de zeewering zelf en één verder landinwaarts in de polder. De resultaten van de vluchten zijn opgenomen in bijlage 1. Ter illustratie wordt hier verder ingegaan op vluchtlijn 5_2 die representatief is voor de resultaten van alle vier vluchtlijnen. Vluchtlijn 5_2 is gevlogen aan de landzijde van de zeewering. De resultaten worden besproken aan de hand van Figuur 3.14.

Het belangrijkste dat opvalt in de doorsnede is dat vanaf maaiveld tot grotere diepte sprake is van brak tot zout water (zie ook Figuur 3.7). Daarnaast bevindt zich een zoete zone in het zuidelijke deel van de doorsnede (1). Deze zoetwatertong wordt aan de bovenzijde begrensd door een kleilaag, waarschijnlijk uit de Form, van Kreftenheye (2) en aan de onderzijde door kleilagen van Urk (3). Beide kleilagen lijken in het grootste deel van de doorsnede voor te komen. De oorsprong van dit water is echter niet zo eenduidig. Mogelijk vindt het zijn oorsprong uit het zuidelijk gelegen duingebied. En wordt het vandaar uit nog altijd gevoed. Echter, tot aan de Allerheiligenvloed in 1570 was op de plek van de zeewering een duingebied met bos te vinden (zie Figuur 3.15). De aanwezigheid van de zoetwatertong kan ook een relict zijn van de zoetwaterbel onder dit duingebied. In dat geval is de stroming vanuit het zuidelijk gelegen duingebied beperkt of afwezig.



Figuur 3.15. 1) Kaart situatie met duin rond 1300, 2) situatie rond 1550 en 3) huidige situatie.

4 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

4.1 Conclusies

Algemeen
Op initiatief van drinkwaterbedrijf PWN is in september 2011 in samenwerking met het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (HHNK) een bodemonderzoek gestart langs de kust van het Noordhollands Duinreservaat. Met elektromagnetische golven (een soort radar) is de opbouw van de ondergrond en het evenwicht tussen het zoute zeewater en het zoete grondwater in kaart gebracht.

Voor HHNK zijn een aantal vluchtlijnen uitgevoerd. Een drietal in de binnenduinrand. Deze metingen geven informatie over de opbouw van de ondergrond en de zoet-zout verdeling van het grondwater. Daarnaast zijn een aantal raaien gevlogen bij de Hondsbossche Zeewering. Het doel hiervan is inzicht te geven in de zoet-zout verdeling van het grondwater en bodemopbouw en tevens de geschiktheid van de meetmethode voor waterkeringen te onderzoeken.

Methode
Boringen en sonderingen geven zeer gedetailleerd informatie op het punt waar de boring/sondering is uitgevoerd. De interpretatie en interpolatie ertussen geven niet altijd een juiste weergave van de werkelijke situatie. Geofysica metingen bieden de mogelijkheid tussen boringen en sonderingen de missende informatie op te vullen. Met geofysische technieken kunnen patronen en anomalieën in de (bodem)opbouw worden vastgesteld. Met andere woorden, onderscheid kan worden gemaakt tussen klei, zand, veen, grind en bodemvreemd materiaal. Maar ook tussen zoet en zout grondwater. Een groot voordeel van geofysische metingen is dat geen schade wordt toegebracht aan de bodem zoals bijvoorbeeld met boringen. Eén van de geofysische methoden is SkyTEM.

Met behulp van SkyTEM kan in korte tijd een groot gebied in kaart worden gebracht. SkyTEM is een bewezen, kostenefficiënte methode. Om een vergelijkbaar beeld te krijgen zouden heel veel dure puntmetingen (sonderingen of boringen) op de grond nodig zijn. Verificatie van SkyTEM met puntmetingen blijft echter altijd noodzakelijk, maar zijn vaak al uitgevoerd en beschikbaar via het DINOLoket.

Het dieptebereik van de SkyTEM is ongeveer 150m waarbij de interpretatie zoals aangeleverd door Aarhus ongeveer 4m. Door Aarhus is aangegeven dat voor het ondiepe deel van een interpretatie mogelijk is van 1m op basis van dezelfde meetgegevens. De ruimtelijke resolutie is ongeveer 20m.

Met behulp van boorgatmetingen (puntmetingen) zijn de SKyTEM metingen gevalideerd. De metingen komen redelijk goed overeen. Kleine variaties, bijvoorbeeld een dunne kleilaag, vallen weg vanwege de vertikale resolutie van 4m.

De metingen van SkyTEM zijn vertaald naar chloridegehaltes van het grondwater. Aan de hand van chloridemetingen in peilbuizen zijn deze waarden gevalideerd. De resultaten van de SkyTEM komen goed overeen met de gemeten waarden in de peilbuizen.

Resultaten en interpretatie
De vluchtlijnen van de binnenduinrand (duin, binnenduinrand en polder) geven waardevolle informatie.

- Primaire watergangen in de polder infiltreren zoet water
- Er is een inversie (zout op zoet water) aanwezig die begrensd wordt door een kleilaag
- Voorkomen van kleilagen in het duingebied zijn af te leiden

De vluchtlijn over de kruin van de Hondsbossche Zeewering laat de waarde van geofysische metingen, en SkyTEM in het bijzonder, zien voor waterkeringen. De metingen laten een sterke variatie zien over de lengte van de gemeten zeewering. De variatie is direct te relateren aan de samenstelling van de dijk en het patroon van afzettingen daaronder. Hoge uitschieters in weerstand kunnen worden gerelateerd aan dijkzones waar grof materiaal is gebruikt en/of de grondwaterstand en vochtgehaltes laag zijn. In de diepere lagen onder het dijklichaam zouden de uitschieters eerder te wijten zijn aan zones waar grovere afzettingen voorkomen.

De diepere modellagen onder en bij de dijk vertonen variaties in formatieweerstand die op deze diepten geheel worden toegeschreven aan lithologische verschillen. Deze variaties reflecteren verschillen in lithologie en daarmee ook in doorlatendheid. De gemeten patronen geven daarmee aan waar grote variaties in kwelintensiteit en zoutbelasting achter de dijk kan worden verwacht. Het ontbreekt aan voldoende puntmetingen om dit verder te bevestigen.

De vluchtlijnen langs de Hondsbossche Zeewering en de vluchtlijn parallel in de polder geven een vergelijkbaar beeld.

- Vanaf maaiveld tot grotere diepte sprake is sprake van brak tot zout water.
- Er bevindt zich een zoete zone in het zuidelijke deel van de doorsnede wat zijn oorsprong vindt in het zuidelijk gelegen duingebied.
- De stroming (noordwaarts) van dit zoete water wordt zowel aan de bovenzijde als aan de onderzijde begrensd door een kleilaag.
- Beide kleilagen lijken in het grootste deel van de doorsnede voor te komen.

4.2 Aanbevelingen

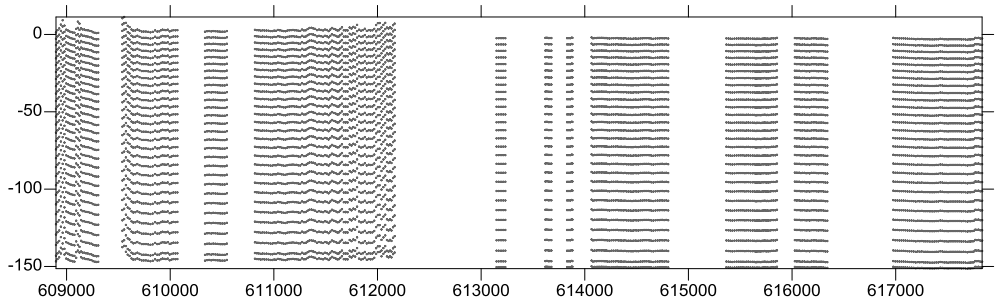
Op initiatief van PWN is HHNK aangesloten bij het uitvoeren van SkyTEM metingen. Het doel was de geschiktheid van de methode te onderzoeken. SkyTEM, zo blijkt ook uit andere studies, is zeer geschikt om snel een groot gebied te bemeten. Nadeel ervan is wel dat de vertikale resolutie voor het ondiepe deel, dat met name van belang is voor HHNK, beperkt is tot 4m. Een andere, vergelijkbare methode, de HEM is hiervoor beter geschikt. In een aantal proefgebieden in Nederland (Zeeland en Friesland) is deze methode toegepast. Hiermee kan met een veel hogere verticale resolutie worden gemeten. Om een voorbeeld te geven, in Friesland is hiermee de dikte van een neerslaglens (van enkele meters) in percelen gemeten. Met deze methode kunnen dus kleine variaties in het ondiepe bereik goed bepaald worden. En is daarmee ook zeer geschikt voor het meten aan waterkeringen.

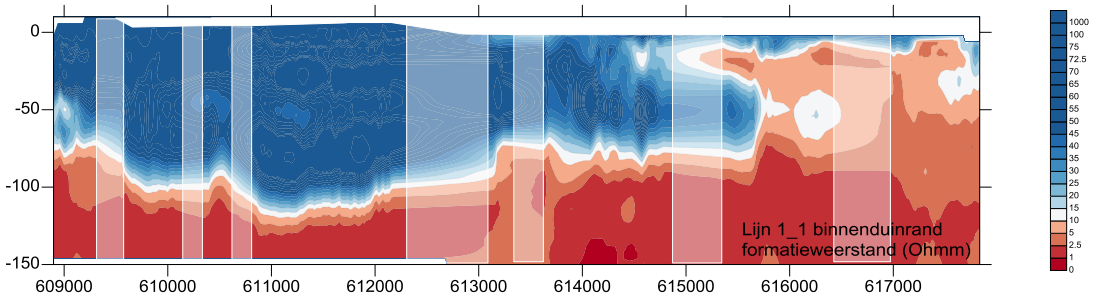
De huidige metingen zijn geïnterpreteerd met een vertikale resolutie van 4m. Op basis van dezelfde meetdata is echter ook een interpretatie met een vertikale resolutie van 1m mogelijk. De Universiteit van Aarhus (Denemarken) heeft aangegeven dit te kunnen uitvoeren. Hiermee zou dan een hoger detailniveau in bijvoorbeeld de polders en zeewering mogelijk zijn.

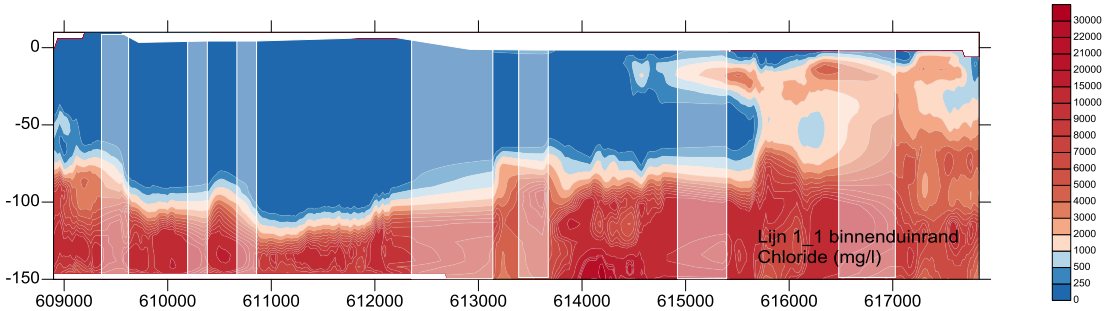
De validatie van de SkyTEM metingen voor de verschillende vluchtlijnen is beperkt geweest. Er is gebruik gemaakt van bestaande metingen in het DinoLoket. Het is zinvol, en ook gebruikelijk, naast het uitvoeren van SkyTEM metingen zogenaamde 'ground truthing' uit te voeren. Dat wil zeggen het uitvoeren van geofysicametingen of sonderingen ter plaatse van de vluchtlijnen. Dit verbetert de interpretatie van de metingen aanzienlijk.

Bijlage 1. Door Aarhus Universiteit aangeleverde interpretaties van de gevlogen lijnen en de in deze studie uitgevoerde vertaling naar chlorideconcentraties

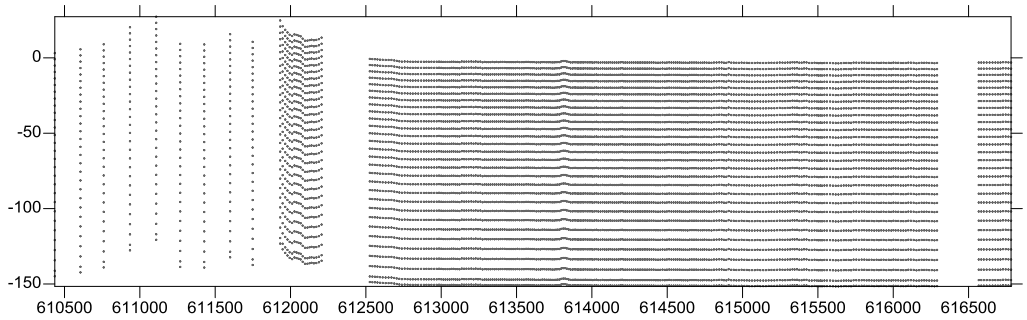
Lijn 1_1 binnenduinrand

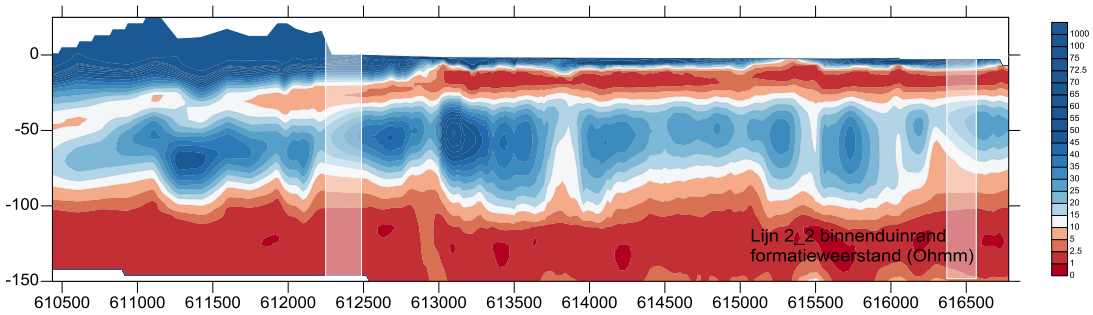


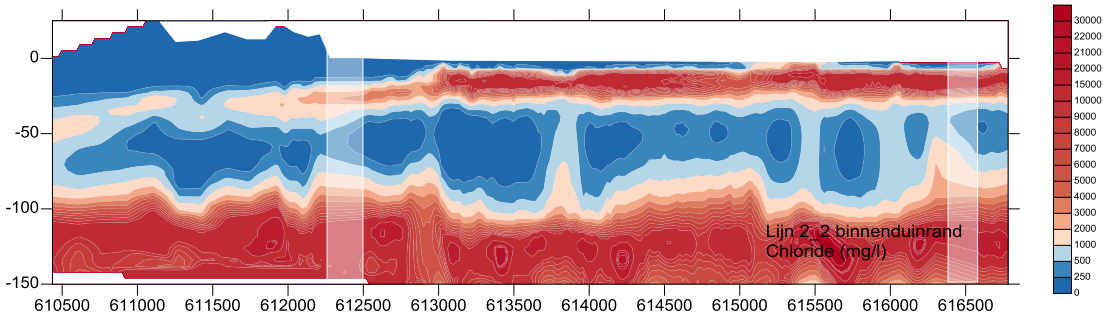




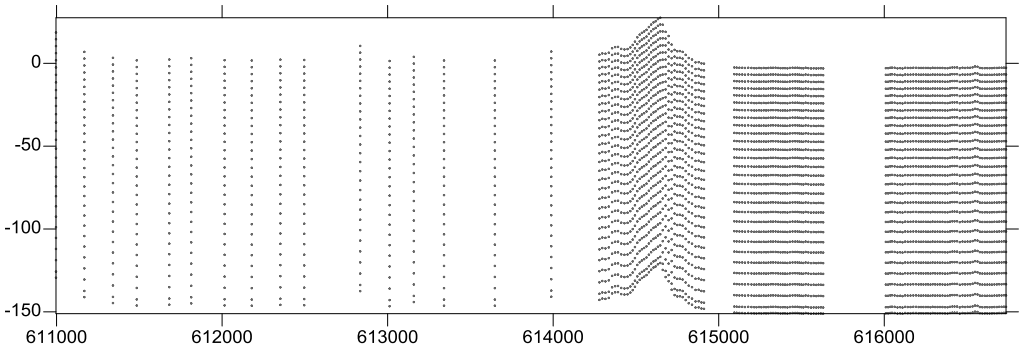
Lijn 2_2 binnenduinrand

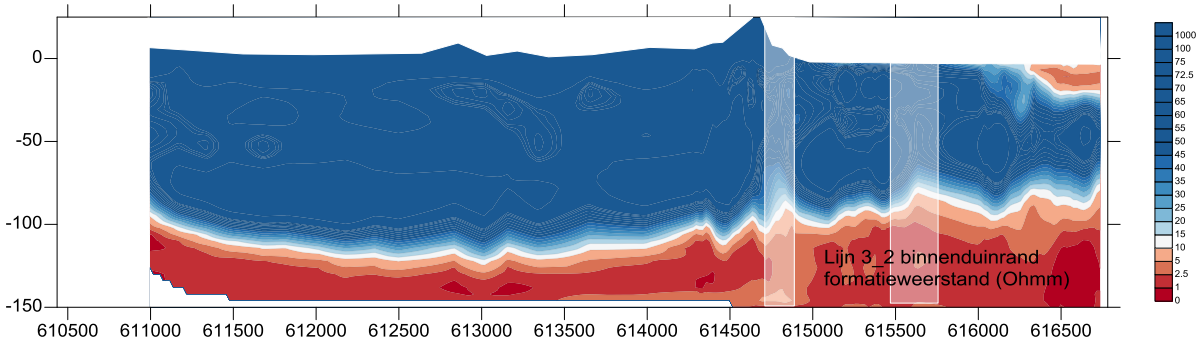


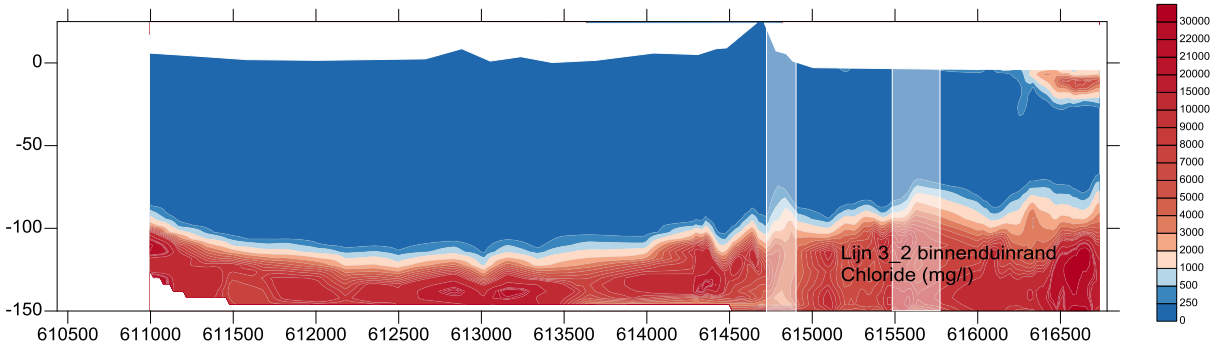




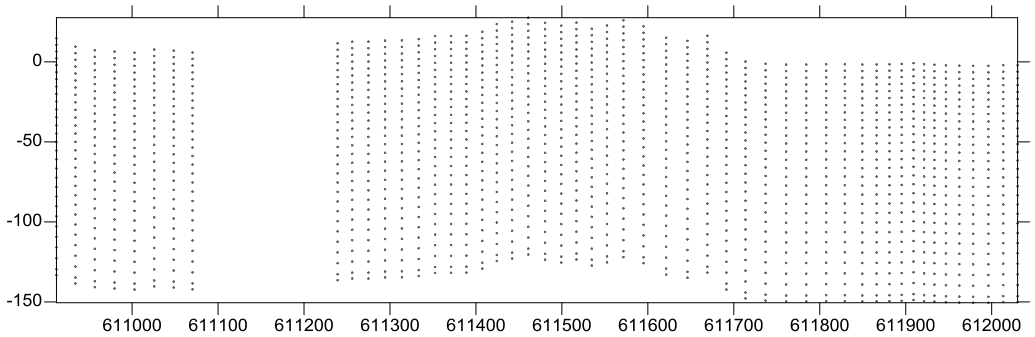
Lijn 3_2 binnenduinrand

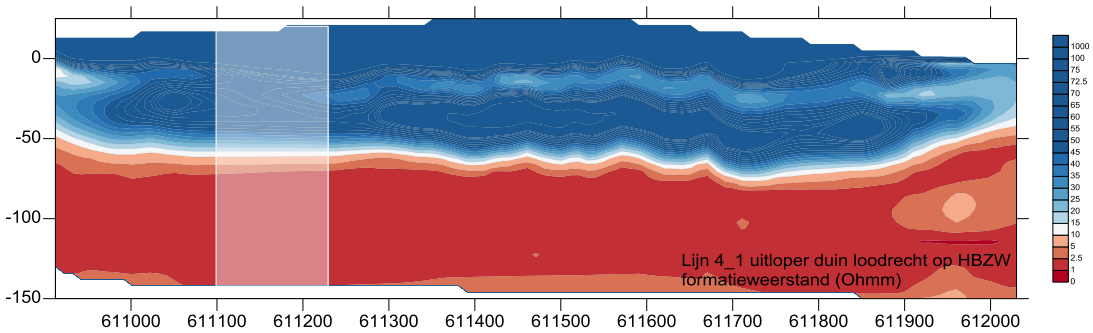


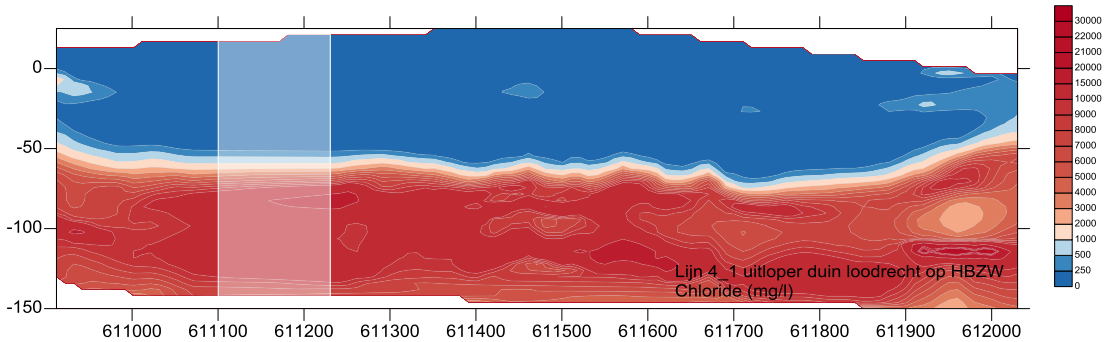




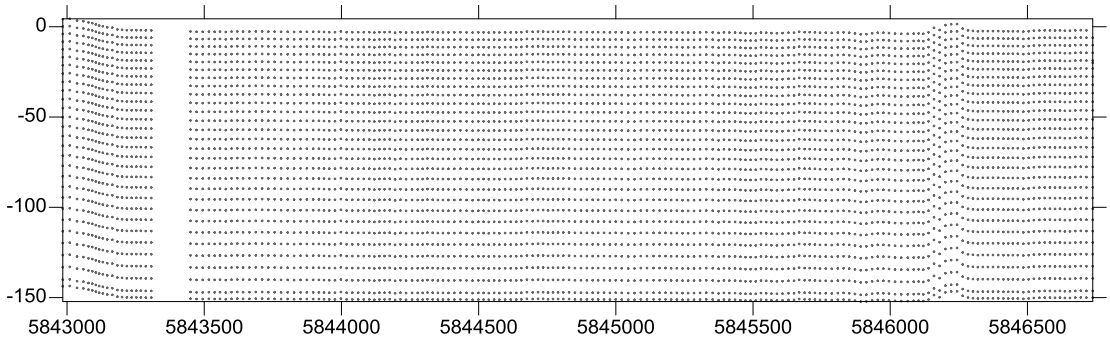
Lijn 4_1 uitloper duin loodrecht op HBZW

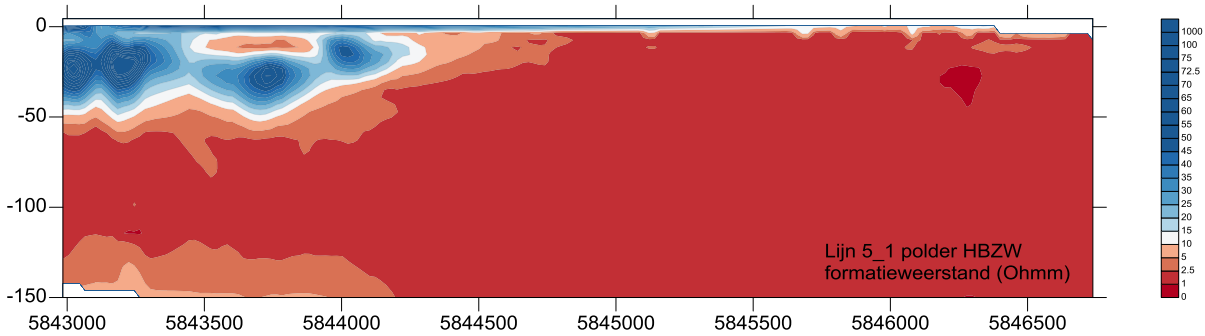


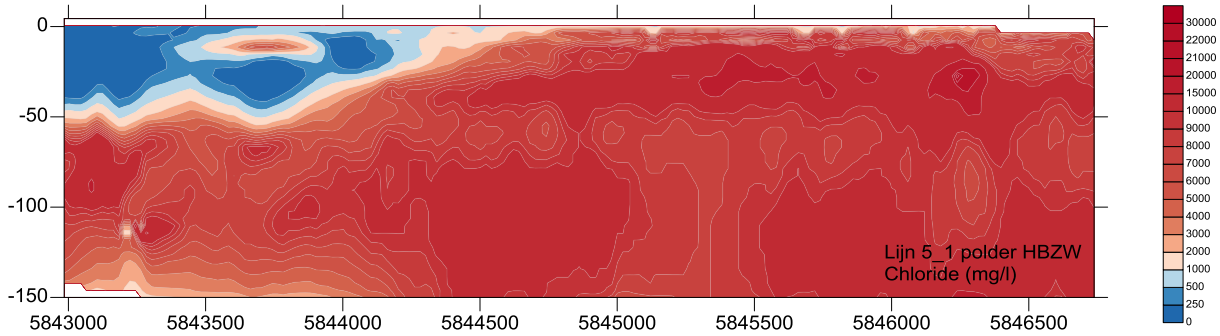




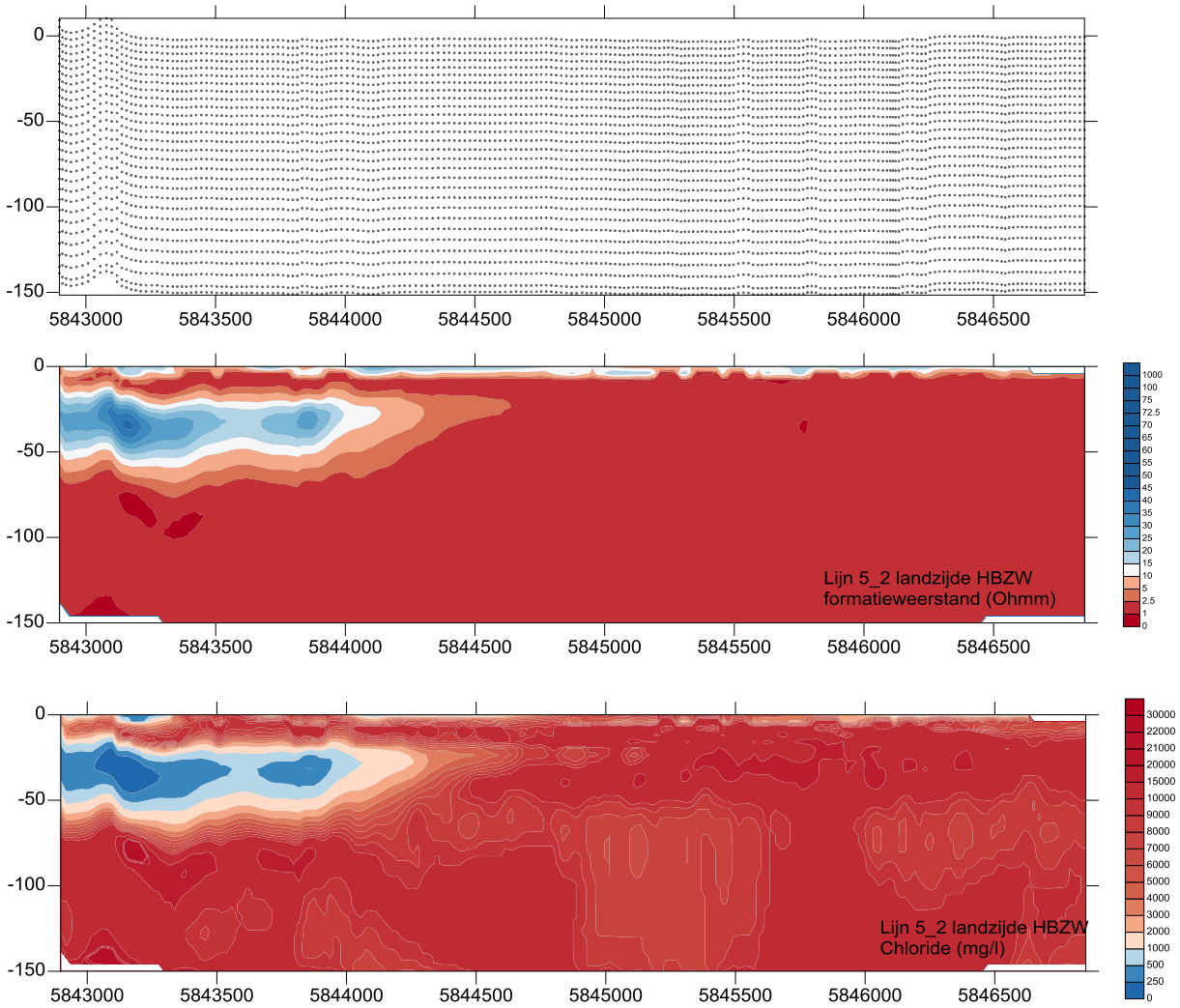
Lijn 5_1 polder



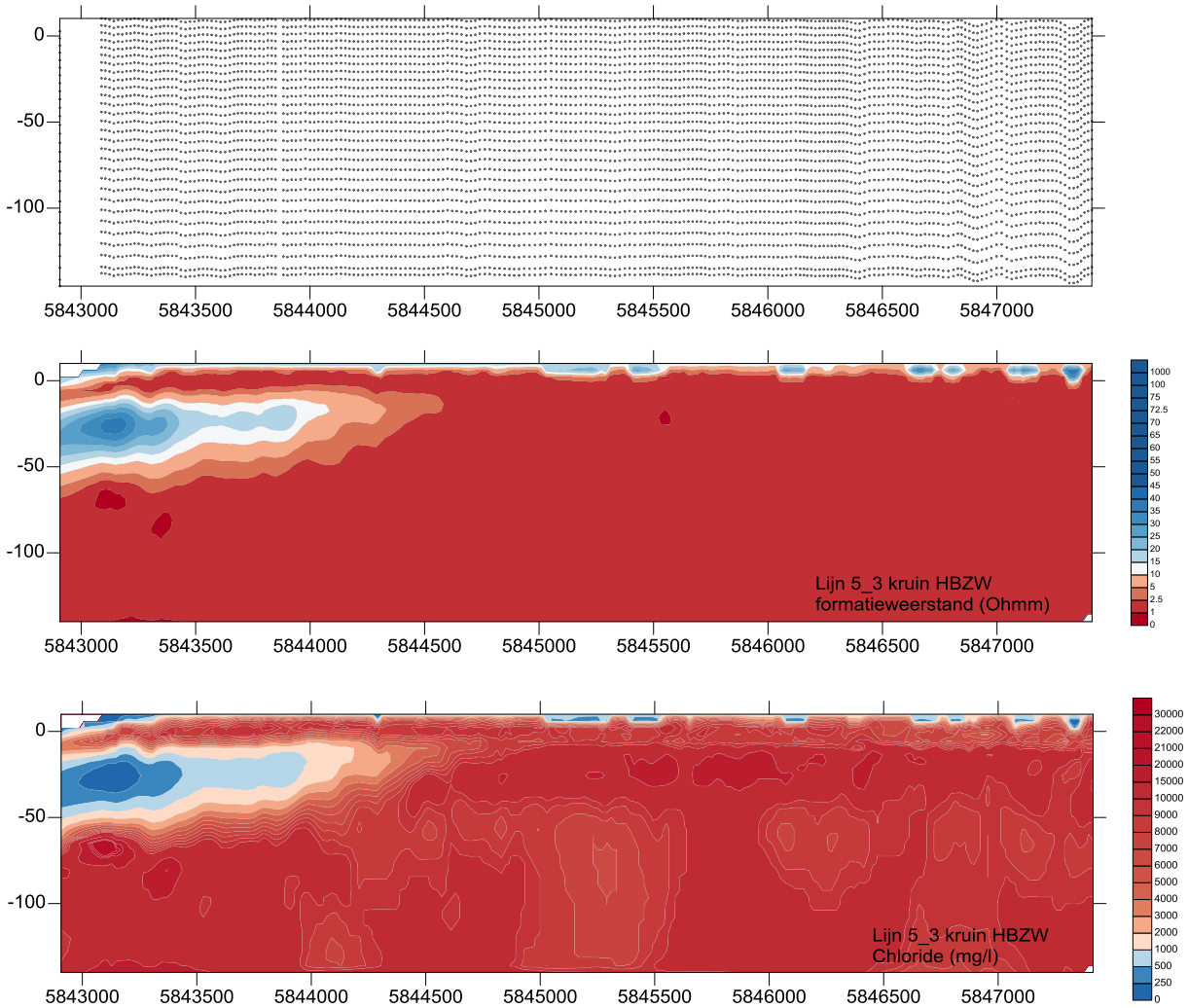




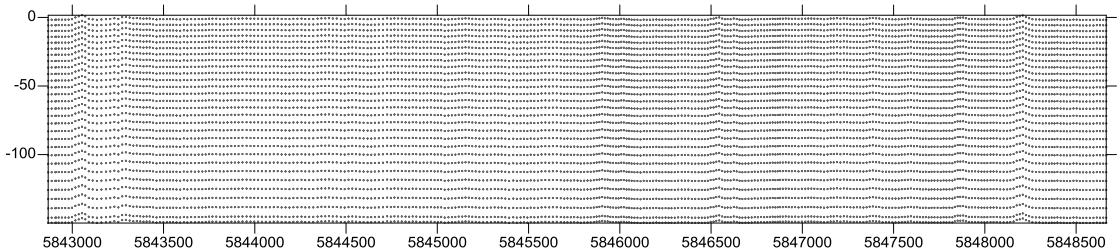
Lijn 5_2 landzijde zeewering

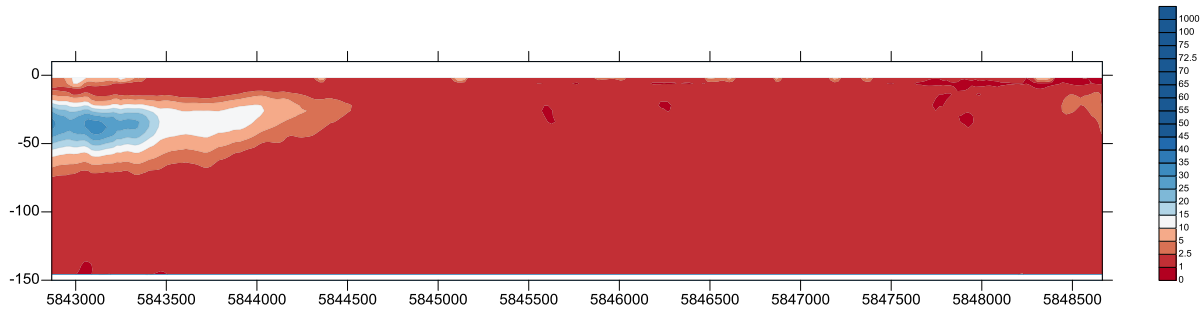


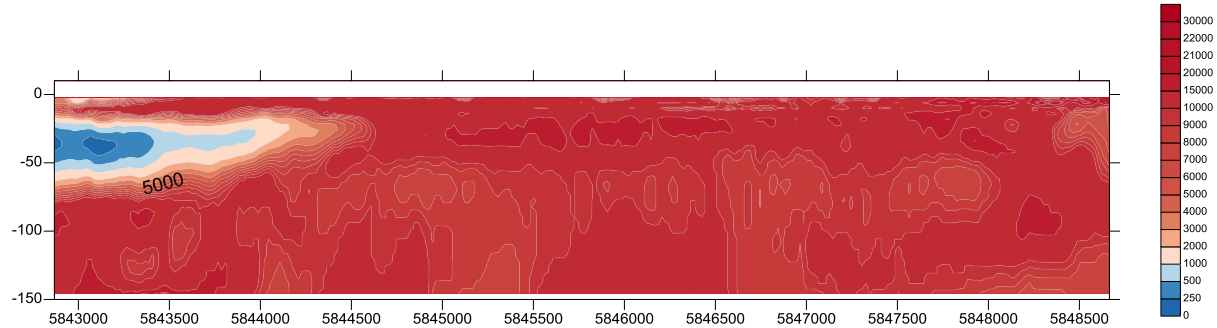
Lijn 5_3 kruin zeewering



Lijn 5_4 zeezijde zeewering







Bijlage 2. Legenda REGIS II.1

Landelijk model REGIS II.1 - 2008

hlc	01.1-Holocene afzettingen - Holoceen ...
bxz3	02.7-Form. van Boxtel - Boxtel z3
krz2	04.2-Form. van Kreftenheye - Kreft. z2
krz3	04.4-Form. van Kreftenheye - Kreft. z3
krz5	04.7-Form. van Kreftenheye - Kreft. z5
krz6	04.9-Form. van Kreftenheye - Kreft. z6
eez1	05.3-Form. van Eem-Woudenberg - Eem z1
eek1	05.4-Form. van Eem-Woudenberg - Eem k1
eez2	05.5-Form. van Eem-Woudenberg - Eem z2
eez3	05.7-Form. van Eem-Woudenberg - Eem z3
drz1	06.1-Form. van Drente - Drente z1
drz2	06.3-Form. van Drente - Drente z2
drgik1	06.4-Form. van Drente - Drente Gieten k1
drz3	06.5-Form. van Drente - Drente z3
urz2	09.3-Form. v. Urk, b. Form. v. Peelo ...
urk2	09.4-Form. v. Urk, b. Form. v. Peelo ...
urz3	09.5-Form. v. Urk, b. Form. v. Peelo ...
urz4	11.1-Form. van Urk, onder Form. Peelo...
urk3	11.2-Form. van Urk, onder Form. Peelo...
urz5	11.3-Form. van Urk, onder Form. Peelo...
stz1	12.1-Form. van Sterksel - Sterksel z1
stz2	12.2-Form. van Sterksel - Sterksel z2
apz1	13.1-Form. van Appelscha - Appelscha z1
pzwaz2	15.03-Form. van Peize-Waalre - Peize-...
wak1	15.04-Form. van Peize-Waalre - Waalre k1
pzwaz3	15.05-Form. van Peize-Waalre - Peize-...
pzk1	15.06-Form. van Peize-Waalre - Peize k1
pzwaz4	15.07-Form. van Peize-Waalre - Peize-...