

TNO-rapport

Regenwaterlenzen binnen de Provincie Zeeland

Datum	15 juni 2007
Auteur(s)	Corné Prevo
Opdrachtgever	Provincie Zeeland
Projectnummer	005.35164

Rubricering rapport
Samenvatting
Rapporttekst
Bijlagen

Aantal pagina's	84 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	8

Alle rechten voorbehouden. Niets uit dit rapport mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

Voorwoord

Dit rapport gaat over verzilting in de provincie Zeeland en is een onderdeel van een langdurig project dat wordt uitgevoerd door TNO Bouw en Ondergrond (Utrecht). Ik heb deze opdracht uitgevoerd als afstudeeropdracht voor de studie Aquatische Ecotechnologie aan de Hogeschool Zeeland. De Provincie Zeeland is de opdrachtgever van het hele project.

Ik heb een erg leuke periode gehad en heb naast plezier in het werk ook erg veel geleerd over met name verzilting. De vier veldwerkweken en de weken op TNO zijn goed bevallen. Ik wil dan ook een aantal mensen bedanken.

Als eerste wil ik de mensen bedanken die direct hebben geholpen bij het project. Dit zijn natuurlijk onze stagebegeleiders, Gualbert Oude Essink, Perry de Louw en Bart Goes van TNO en Guido Krijger van de Hogeschool Zeeland. Piet Maljaars heeft ook veel geholpen in het veld en met het uitleggen van de gegevensverwerking. Verder wil ik Valentina Marconi, Francesco Sergi en Marianne Koskamp bedanken voor het helpen in het veld. Daarnaast wil ik de mensen bedanken die mij verder hebben geholpen om het veldwerk op een goede manier uit te voeren: dit zijn medewerkers van TNO, de Provincie Zeeland (L. Kaland, L. Glas), ZLTO (Carla M.) en niet te vergeten de landeigenaren van de percelen waar is gemeten.

Utrecht, juni 2007

Corné Prevo

Samenvatting

Verwacht wordt dat in de toekomst de zeespiegel zal stijgen en het neerslag- en verdampingspatroon zal veranderen. Daarnaast is de bodem in Nederland al eeuwen lang aan het dalen. Deze daling zal ook in de toekomst doorzetten. Door deze processen zal het grond- en oppervlaktewater langs de kust zouter worden. De landeigenaren kunnen in de laaggelegen Zeeuwse gebieden landbouw blijven bedrijven door gebruik te maken van het grondwater dat zich bevindt in een zogenaamde regenwaterlens. Deze drijft door dichtheidsverschillen bovenop het brakke tot zoute grondwater en wordt gevoed door regenwater. Het zoete grondwater drijft op het zoute grondwater door verschillen in dichtheid.

De Provincie Zeeland wil graag weten hoe het op dit moment gesteld is en in de toekomst gesteld zal zijn met de verzilting in landbouw- en natuurgebieden. Zo kan in de toekomst het waterbeleid en -beheer worden aangepast aan deze mogelijke veranderingen. TNO is ingeschakeld om onderzoek te doen naar het gedrag en de eigenschappen van het freatisch grondwater en de mate van verzilting binnen de grenzen van de Provincie Zeeland. Doel van het veldwerk is een provinciedekkend beeld te verschaffen. Hierbij is onderzocht wat de afmetingen en de vormen zijn van regenwaterlenzen in het onderzoeksgebied en hoe deze op perceelsniveau verschillen. Ook is gekeken naar de dynamiek van de lenzen in het grondwatersysteem. Hoe veranderen deze in de tijd? Daarnaast is gezocht naar een relatie tussen de locatie in het perceel en de zoet-zout verdeling van het grondwater en de variatie hiervan tussen de percelen.

Op basis van 7 criteria zijn drieëndertig percelen in de Provincie Zeeland geselecteerd. Deze criteria zijn: de diepte van het brak-zout grensvlak, het voorkomen van winterkwel, hoogtes van het maaiveld t.o.v. N.A.P., het voorkomen van platen, de dikte van de deklaag, de dikte van het basisveen en het verschil tussen zomer en winterpeil. De opgestelde criteria zijn met het oogpunt op een provinciedekkend beeld samengevoegd tot negen hoofd-gebiedsklassen. Vanuit deze indeling zijn de onderzochte landbouw en natuur gebieden gekozen. Hiervan zijn nummer 1 t/m 23 agrarische percelen en nummer 24 t/m 33 natuurgebieden. Om een zo goed mogelijk provinciedekkend beeld te verkrijgen van de verzilting zijn de locaties verspreid over heel Zeeland.

Om behalve de ruimtelijke verspreiding een goed beeld te krijgen van de dynamiek van het systeem, is het veldwerk op een aantal locaties tweemaal uitgevoerd. Er zijn al 17 percelen bemeten in de maanden november en december 2006 en januari 2007 (TNO, 2007). Deze eerste meetserie is afgemaakt in de maanden maart en april 2007. In dit rapport zijn van de resultaten van de eerste meetserie de percelen 3, 10, 13, 18 en 22 weergegeven en besproken. Verder is een tweede meetserie gestart in mei 2007. In deze periode zijn een aantal percelen welke in november en december 2006 en januari 2007 bemeten zijn wederom bemeten worden. In dit rapport zijn van de resultaten van de tweede meetserie de percelen 1, 7, 16 en 27 weergegeven en besproken.

Grondwater in de Provincie Zeeland is vaak brak of zout. Aangezien stijghoogten van het watervoerend pakket bijna altijd slootpeilen overstijgen heeft het grondwater uit het watervoerend pakket de neiging om omhoog te stromen naar de bovenkant van de Holocene deklaag. Wanneer dit zoute grondwater de wortelzone van de vegetatie bereikt, kan zoutschade optreden. In gebieden met zout grondwater is het echter toch

mogelijk om landbouw te bedrijven. Dit komt omdat bovenop het zoute grondwater een zoete 'lens' drijft, die afkomstig is van geïnfiltreerd regenwater. De landbouw is afhankelijk van dit zoete water. De overgangszone tussen zoet en zout grondwater verschilt sterk in afmetingen.

Om de doelstelling te verwezenlijken is een aantal weken veldwerk gedaan in het gebied. Met behulp van een prikstok werd op de percelen de elektrische geleiding (EC) en de temperatuur van de bodem op een aantal punten gemeten. De prikstok is een meetinstrument van 4 m lang die in de bodem geprikt kan worden. Om de 10 cm wordt de EC gemeten. Op grond van deze waarden kunnen chloridegehalten uitgerekend worden omdat de EC van dit gehalte afhankelijk is. Om deze gehalten uit te kunnen rekenen wordt gebruik gemaakt van een formatieconstante. Deze constante geeft de mate aan waarin de grondsoort de geleidbaarheid bepaald. De formatieconstante varieert sterk (van 0,86 voor veen tot 4,12 voor klei).

Bij ieder prikpunt op het land is een bodemprofiel gemaakt om naderhand te kunnen herleiden wat de specifieke formatieconstante van iedere bodemlaag was. Ook is bij vaak de werkelijke chloridegehalte van de bovenste grondwater laag gemeten om zo vergelijkingsmateriaal te hebben voor de omgerekende chloridegehalten van de prikstok.

Grondwaterkwaliteit wordt aan de hand van de klassenindeling van Stuyfzand verdeeld in een aantal klassen. Dit gebeurt op basis van het chloridegehalte. De belangrijkste klassen zijn zoet (<150 mg Cl⁻/l), brak (150-1000 mg Cl⁻/l) en zout (>1000 mg Cl⁻/l).

Op alle percelen zijn in het grondwater alleen maar chloridegehalten gemeten die vallen in de klasse brak en zout. Er is dus geen 'echte' regenwaterlens aanwezig. Regenwater en kwelwater mengen klaarblijkelijk en vormen een brak of zout geheel. Over het algemeen geldt dat de grootste kwelstroom te vinden is onder de sloot. Rond de sloten worden de hoogste chloridegehalten gemeten. De reden hiervoor is dat het slootpeil lager staat dan de grondwaterstand waardoor het potentiaalverschil bij sloten groter is dan bij de percelen. Verder is de weerstand van de deklaag ter plaatse van de sloot waarschijnlijk kleiner.

De brakke regenwaterlenzen zijn onderzocht, deze worden dikker naarmate de afstand tot de sloot groter wordt. Waarschijnlijk zorgt het peil in de sloot voor een afname van de stijghoogte in het watervoerend pakket in het perceel. Hierdoor kan de stijghoogte in het perceel minder hoog komen. Hierdoor kan de lens in het perceel juist weer dieper reiken.

De vorm varieert aanzienlijk per perceel. Op percelen met brak grondwater in de diepere ondergrond zal de brakke regenwaterlens dikker zijn dan op percelen met zout grondwater in de diepere ondergrond.

Verder is gekeken naar de seizoensinvloed op de brakke regenwaterlenzen. Tijdens de tweede meetserie zijn de brakwaterlenzen kleiner geworden ten opzichte van de eerste meetserie. Dit is bij elk perceel het geval. De kwelintensiteit naar de sloten toe is tijdens de tweede meetserie kleiner. De potentiaalverschillen zijn dan namelijk kleiner dan tijdens de eerste meetserie. Voor de percelen 1, 16 en 27 geldt dat de chloride-isochronen naar de sloten toe tijdens de tweede serie dieper liggen.

Het begin van nagenoeg alle lenzen is bij de tweede meetserie dan ook verder in het perceel te vinden. Het valt op dat de lenzen erg dynamisch zijn. Zo is bemeaten dat de dikte van de lens bij perceel 7 tijdens de tweede meetserie met maar liefst 73 cm afneemt in ongeveer 4 maanden. Bij perceel 4 is zelfs helemaal geen brakke regenwaterlens meer te vinden, terwijl deze tijdens de 1^e meetserie (ongeveer 6 maanden daarvoor) nog een maximale dikte had van 29 cm.

Op percelen waar de bovenste grondlagen slechter doorlatend zijn is de invloed van infiltrerend regenwater kleiner. De EC's en chloridegehalten nemen sterk toe in de diepte. Wanneer de bodem daarentegen zandiger is, neemt het zoutgehalte veel minder snel toe in de diepte hetgeen duidt op meer infiltratie waardoor het zout niet naar boven kan stromen.

Hoewel alle percelen vallen in de klasse brak of zout, zijn de verschillen tussen percelen onderling vrij groot. Op een aantal percelen zijn direct onder de grondwaterspiegel waarden gemeten van meer dan 5000 mg Cl⁻/l. Opvallend is dat de erg 'zoute' percelen een relatief dik veen pakket bezitten. Het veen heeft door zijn hoge doorlatendheid duidelijk invloed op de zoute waterstroom via de ondergrond.

De mate van zoutbelasting in het ondiepe grondwater is afhankelijk van de kwelintensiteit. In veel gevallen geldt: hoe meer kwel des te hoger het zoutgehalte in het ondiepe grondwater. Van de percelen die in dit rapport zijn beschreven, is te zien dat de percelen 3 en 10 worden gekenmerkt door een relatief grote kwelintensiteit. De hoge kwelintensiteit wordt hier veroorzaakt door een relatief groot potentiaalverschil. Door de hoge kwelintensiteit heeft het regenwater geen kans de zoute kwel weg te drukken.

Bij metingen in de sloten is te zien dat de onderlaag in alle gevallen zouter is dan de bovenlaag. Ook is vaak te zien dat er een groot verschil is tussen de chloridewaarden onder het midden van de sloot en de zijkant hiervan. Doordat het zoetere water vanuit het perceel richting de sloot stroomt, wordt het zoutere water aan perceelszijde vermengd en/of weggeduwd. Dit verhindert dat de zoute kwelstroom ook onder het perceel invloed heeft.

Ook peilverschillen in sloten hebben waarschijnlijk effect op de zoet-zout verdeling. Sloten met een lager slootpeil lijken meer zout aan te trekken.

Over het effect van drainage op de zoet-zout verdeling kunnen geen harde conclusies worden verbonden. Op percelen waar de grondwaterstand beneden de drainage diepte ligt is geen invloed gemeten op de chloridewaarden van het grondwater. Op perceel 10, waar de drain waarschijnlijk wel onder de grondwaterstand ligt, liggen de waarden onder de drain hoger dan op het meettraject tussen de drains. Het lijkt erop dat hier zout water wordt aangetrokken.

Het chloridegehalte lijkt niet samen te hangen met de ligging op oud- of nieuwländen en de afstand tot de zee. Er zijn zowel zoute als 'zoetere' percelen bemeaten op zowel oud- als nieuwländen. Verder zijn zowel lage als hoge concentraties gemeten op percelen die dichtbij en ver van de zeedijk verwijderd liggen.

Invloed van de ligging ten opzicht van kreekruggen is wel terug te vinden. Hier zijn namelijk geen 'echte zoute' percelen gevonden. Voor poel- en jonge schorgebieden welke lager liggen dan de kreekruggen geldt dit niet. Hier zijn zowel percelen met hoge als lage chloridewaarden aangetroffen.

Geconcludeerd kan worden dat het grondwater erg zout is in het onderzoeksgebied. Zoete regenwaterlenzen zijn er niet, door menging met het zoute grondwater is het water al snel brak van aard. Dit sterkt het idee dat het zoetere water uit de onverzadigde zone voldoende is voor de vegetatie. Nader onderzoek hiernaar wordt aanbevolen.

Hoe hoog de zoutgehalten van het grondwater zijn op perceelsniveau wordt met name bepaald door het zoutgehalte van het diepe grondwater, de potentiaalverschillen, de bodemopbouw en de weerstand van de deklaag. Wanneer sprake is van een grote kwelintensiteit, is de zoutbelasting van het ondiepe grondwater vaak hoog.

Summary

It is expected that in the future the sea level will rise and thereby will influence the ground- and surface water in the coastal areas around the world. The Province of Zeeland is a coastal zone of the Netherlands which, as the name states, is enclosed by the sea. Besides the sea level rise it is also expected that the precipitation and evaporation patterns in the Province of Zeeland will change in the future. The lowering of the surface level in Zeeland is an ongoing process which will preserve in the future. All these processes together will contribute to the salinisation of groundwater and surface water in Zeeland. For the agriculture in this area it is therefore important that fresh groundwater is optimally used. This fresh water is frequently present in the form of a lens, which 'floats' on top of brakish and salt seepage water: the so-called rainwater lens.

The province of Zeeland wants to investigate the present and future salinisation processes in agricultural and nature fields. For this long term investigation the Province hired the service and knowledge of TNO Utrecht, Business Unit Soil and Groundwater. The aim of this research is to acquire more knowledge regarding the behavior and properties of rainwater lenses. During a first field campaign the occurrence of fresh, brakisch and saline groundwater in agricultural fields was recorded. During a second field campaign the fluctuations of the rainwaterlenses had been recorded.

Seven criteria were set up to differentiate land classes within the Province Zeeland. The criteria are: the fresh-salt boundary depths, the occurrence of winter seepage, the elevation of the soil surface with regard to N.A.P. (the National Reference Level, close to mean sea level), the occurrence of plates, the thickness of the Holocene layer, the thickness of the basal peat layer and the difference between summer and winter ditch levels. Out of this, nine different classes were deduced. Each class should be representative for the set of predefined criteria. Subsequently, seventeen plots, dispersed over the whole provincial area, have been selected for further analyses in this field campaign. The upper layer of these fields repeatedly consisted of clay or loam. Underneath the upper deposit sand, loam, clay and peat have been found. The numbers 1-23 are agricultural sites and number 24-33 are nature sites. To get a good view of the dynamics of the system, the field work on a number of locations has been carried out twice. There are already 17 measured sites in the months of November and December 2006 and January 2007 (TNO, 2007). This first field campaign has been finished in the months of March and April 2007. The sites 3, 10, 13, 18 and 22 are reflected and discussed in this report. In May 2007 there had been started a second field campaign. The sites 1, 7, 16 and 27 are reflected and discussed in this report.

Groundwater in the Province of Zeeland is often brakisch or salt. Shallow fresh water is often only available in the form of rainwater lenses. These 'floating' fresh water lenses provide the essential fresh water for the agriculture. Mixing zones involving fresh and salt groundwater differ strongly in geometry.

In the field a puncture stick is used to measure the electrical conductance (EC) and the temperature of the soil. The puncture stick is a 4 meter long metallic measuring device that can penetrate the soil by human force. Each 10 centimeter the EC and temperature are noted. In order to find the chloride concentration of the groundwater around the measured point, the EC value can be corrected for soil characteristics. The correction is

done via soil layer formation factor. Thereby, often a soil profile is made to attribute a formation factor for each soil layer.

Groundwater quality is divided by means of the class classification of Stuyfzand in a number of classes. This is on the base of the chloride concentration. The most important classes are fresh (<150 mg Cl/l), brackish (150-1000 mg Cl/l) and salt (>1000 mg Cl/l).

All fields show groundwater chloride concentrations falling in the brakisch or salt class. No 'real' fresh rainwaterlens was found. Rainwater and salty seepage water mingle apparently to form a brakisch or salt lens. Overall the seepage flow seems to be prevalent under the ditches. The highest chloride concentrations are also found in the ditches. In fact the water level of the ditch is lower than the groundwater level. This results in a higher hydraulic head difference nearby the ditches. An other reason is probably the lower resistance of the Holocene layer under the ditch.

The brackish rainwaterlenses become thicker as the distance to the ditch becomes larger. The form varies considerably by site. On sites with brackish groundwater in the deeper underground the brackish rainwaterlens will be thicker than on sites with salt groundwater in the deeper underground.

Brackish rainwaterlenses are smaller on every site in the second field campaign. The reason therefore is that seepage intensity is also smaller. The chloride-isochrones to the ditches of the sites 1, 16 and 27 are lower. The beginning of almost al the brackish waterlenses can be found at a bigger distance from the ditch. The lenses are very dynamic. On site 7 the lens increases with 73 cm in 4 months time. The lens on site 4 is totally gone. During the first field campaign (approximately 6 months before) the lens had a maximum of 29 cm.

When the upper layer is less permeable, the influence of infiltrating rainwater is smaller. EC's and chloride concentrations increase fast in the depth. The EC's and concentrations increase much faster in the depth when the upper layer is less permeable. This means that infiltration occurs the saline groundwater stream upwards. Although all measured fields show brakisch or salt groundwater, the difference between fields are big. Chloride concentrations of more than 5000 mg Cl/l right underneath the groundwater level have been found. On sites with a relatively big peat layer there are very high chloride concentrations. The permeability of peat is relatively high, so the influence of the saline seepage stream of the deeper underground is also high.

The seepage intensity is dependent on the amount of saline groundwater in the freatic groundwater. In many field the high the seepage intensity leads to chloride concentrations in the phreatic groundwater. The sites 3 and 10 are characterized with a high seepage intensity. The high seepage intensity is caused by a relatively high difference in piezometric head. The rainwater had no chance to push this saline seepage away because of this high seepage intensity.

Surface water in the upper layer in the ditch is always more saline than the under layer. There is also a big difference between the chloride values under the middle and under the sides of the ditches. This is due to the flow of 'fresher' groundwater from the sites. This 'fresh' groundwater flow pushes the saline groundwater away. This prevents the influence of the saline seepage stream under the site.

Also level differences would probably have effect on the fresh-salt distribution. Lower waterlevels seem to attract more saline groundwater.

No hard conclusions can be linked at the effect of drainage tubes on the fresh-salt distribution. The tubes has no influence when they are positioned under the groundwater level.

On site 10, where the drain tube lies under the groundwater level, the values under the drain are higher in comparison to chloride concentrations in-between drainage tubes. It seems that here salty groundwater is attracted

Chloride concentrations in the groundwater don't seem to coincide with positions on old- or newlands and the field's distance to the sea. There are found salt and 'fresh' sites on the oldlands as well as on the newlands. There has also been found high and low chloride concentrations on sites with a large and with a small distance to the sea.

There is a relationship between the position of the sites in comparison with the distance to the "old creeks". Very high chloride concentrations never occur over there. Chloride concentrations in the groundwater don't seem to coincide with positions on "poel- and young schorareas". These areas are lower positioned than the old creeks. Sites with high and low concentrations are here present.

It can be concluded that the groundwater in the investigated research area is truly salt. Fresh rainwater lenses were not encountered. Mixing with saline seepage water rapidly turns the infiltrating rainwater towards a brakisch status. This strengthens the idea that the unsaturated zone plays an important role in the delivery of fresh water to the rootzone. Further investigation on this topic is recommended.

At field level, the chloride concentration of the groundwater is essentially stimulated by the chloride concentration of the deep groundwater, hydraulic head differences, the soil profile and the resistivity of the Holocene layer. When the seepage flow is intense, the salt to the surface water system load is often high too.

Inhoudsopgave

	Voorwoord	3
	Samenvatting	5
	Summary	9
1	Inleiding	14
1.1	Achtergrond	14
1.2	Doelstellingen	15
1.3	Werkwijze.....	16
1.4	Structuur rapport.....	16
2	Basisprincipes modellen	17
2.1	Inleiding	17
2.2	Werking zoet-zout grondwatermodellen.....	17
2.3	Werking 2D-modellen dynamiek regenwaterlens.....	18
3	Gebiedsanalyse	19
3.1	Inleiding	19
3.2	Gebiedskenmerken.....	19
3.3	Gebiedskeuze.....	21
3.4	Geologie.....	22
4	Verziltingsproblematiek	25
4.1	Probleemuitleenzetting	25
4.2	Regenwaterlensen op perceelniveau	25
5	Veldwerk	27
5.1	Inleiding	27
5.2	Werkzaamheden.....	27
6	Resultaten veldwerk	30
6.1	Inleiding	30
	Eerste meetserie	31
6.2	Perceel 3.....	31
6.3	Perceel 10.....	33
6.4	Perceel 13.....	36
6.5	Perceel 18.....	39
6.6	Perceel 22.....	40
	Tweede meetserie	45
6.7	Perceel 1.....	45
6.8	Perceel 7.....	48
6.9	Perceel 16.....	51
6.10	Perceel 27.....	52
6.11	Vergelijking percelen.....	55
7	Conclusies en aanbevelingen	64
7.1	Inleiding	64
7.2	Conclusies.....	64

8 Literatuuropgave 67**Bijlage(n)**

A Perceel 13 17-04-'07

B Perceel 1 25-01-'07 en 10-05-'07

C Perceel 7 19-01-'07 en 8-05-'07

D Perceel 16 24-01-'07 en 9-05-'07

E Perceel 27 13-12-'06 en 11-05-'07

F Stijghoogte peilbuis perceel 27

G Geologische opbouw

H Bemeten locaties

1 Inleiding

In het Nederlandse kustgebied is een aanzienlijk deel van het grondwater vaak brak of zout. Het chloridegehalte van het grond- en oppervlaktewater heeft dan ook invloed op zowel landbouw als natuur. De verwachte zeespiegelstijging en klimaatverandering in de vorm van een veranderd neerslag en verdampingspatroon, alsmede bodemdaling en lokale peilwijzigingen zullen leiden tot mogelijke veranderingen in het grondwatersysteem. De Provincie Zeeland wil haar waterbeleid en –beheer gaan aanpassen aan die mogelijke veranderingen.

1.1 Achtergrond

Op veel plaatsen binnen de Provincie Zeeland komt al op enkele meters diepte onder het maaiveld brak tot zout grondwater voor. Tijdens transgressies gedurende het Holoceen¹, is zeewater regelmatig op het land gekomen waarbij het zoute water in de ondergrond terecht kwam. Het opwellen van het grondwater, dat plaatsvindt vanwege de hoge stijghoogte² in het watervoerend pakket³ ten opzichte van de freatische grondwaterstand⁴, kan voor verziltingsproblemen zorgen voor onder andere landbouw en natuur. Daarnaast zal in de toekomst de stijghoogte in het watervoerend pakket enigszins toenemen door de verwachte stijging van de zeespiegel.

In de landbouw hebben op het algemeen gewassen een lagere opbrengst naarmate het zoutgehalte van het grondwater toeneemt. De landeigenaren kunnen toch in de laaggelegen Zeeuwse gebieden landbouw bedrijven door gebruik te maken van het grondwater dat zich bevindt in een zogenaamde regenwaterlens. Deze drijft bovenop het brakke tot zoute grondwater en wordt gevoed door regenwater. Het zoete grondwater drijft op het zoute grondwater door verschillen in dichtheid. Deze regenwaterlens is op sommige plaatsen in Zeeland erg dun; het komt zelfs voor dat de regenwaterlens in de zomer soms helemaal verdwijnt.

Onder invloed van veranderingen in het neerslag en verdampingspatroon zullen de verziltingsproblemen in de toekomst waarschijnlijk groter worden. De Provincie Zeeland heeft bovendien te maken met een aantal complexe vraagstukken als effecten van een peilwijziging op het Veerse Meer voor de waterhuishouding in de aangrenzende polders en de waterkwaliteitsproblematiek op het Volkerak-Zoommeer; hiervoor is voldoende kennis van het grondwatersysteem noodzakelijk.

Het is van belang dat de landeigenaren optimaal gebruik kunnen blijven maken van de regenwaterlens. Verzilting in natuurgebieden heeft vaak als gevolg dat de vegetatie zal veranderen van een zoetwatervegetatie naar een brak- of zoutwatervegetatie. Het kan zijn dat dit gewenst is, maar het kan ook zijn dat hierdoor zeldzame zoetwatervegetatie zal vergaan. (C. Koot et.al., 2006).

Het waterbeleid en beheer binnen de Provincie Zeeland zal aan de verzilting en verzoeting van het grondwatersysteem aangepast moeten worden. Dit betekent dat er naar passende oplossingen moet worden gezocht.

¹ Geologisch tijdvlak van 11.000 jaar geleden tot nu.

² De hoogte tov een referentievlak tot waar het grondwater stijgt in een buis die in open verbinding staat met zowel de atmosfeer als met het grondwater in het watervoerend pakket.

³ Een goeddoorlatende waterhoudende bodemlaag.

⁴ Grondwaterstand uit bovenste bodemlaag.

1.2 Doelstellingen

Het onderzoek naar de verziltingsproblematiek loopt al vanaf 2006. Er zullen verschillende typen computermodellen worden opgesteld die het gedrag van grondwater in brakke kwelsystemen kunnen simuleren. Met deze modellen zullen voorspellingen worden gedaan over de ontwikkeling van het zoete grondwatersysteem in de toekomst. Daarnaast zullen waterbeheersmaatregelen worden doorgerekend die effectief kunnen zijn in het bestrijden van verzilting.

Het is de bedoeling dat het waterbeleid en beheer van de Provincie Zeeland tot een bepaald niveau aan de verziltingsproblematiek wordt aangepast. Op dit moment zijn er nog te weinig gegevens uit de praktijk bekend die de computermodellen kunnen ondersteunen. Daarom is het belangrijk meer kennis te vergaren over kwelsystemen en de dikte, vorm, seizoensale dynamiek en ruimtelijke variatie van regenwaterlenzen in zowel landbouw als natuurgebieden.

Het uiteindelijke doel van dit rapport is om met behulp van een verbeterde kennis van de relevante verziltings- en verzoetingsprocessen de betrouwbaarheid van de computermodellen te vergroten, zodat in de toekomst de Provincie Zeeland kan anticiperen op de effecten van zeespiegelstijging en klimaatverandering op het watersysteem. Het beleid en beheer van de Provincie Zeeland kan hierop worden aangepast.

Dit onderzoek heeft daarom ten doel meer inzicht te verkrijgen in het gedrag en de eigenschappen van de regenwaterlenzen en de vaststelling van de zoet-zout verdeling op perceelsniveau binnen de Provincie Zeeland.

Om deze doelstellingen te bereiken zijn de volgende deelvragen opgesteld.

1. Wat zijn de dikte en de vorm van de regenwaterlenzen?

Door op perceelniveau op verschillende locaties te meten kan een beeld gevormd worden van de zoet-zout verdeling in het grondwater. Op die manier kan de overgangszones tussen zoet, brak en zout grondwater worden bepaald.

2. Zijn er op regionaal niveau verschillen waar te nemen en wat zijn de factoren die hierbinnen een rol spelen?

Wanneer tussen percelen grote verschillen worden waargenomen in de zoet-zout verdeling kan door vergelijking van perceelparameters bepaald worden hoe deze verschillen veroorzaakt zouden kunnen worden.

Om deze deelvraag te kunnen beantwoorden is nodig te weten wat de oorzaken kunnen zijn van een specifieke zoet-zout verdeling van het grondwater binnen de percelen. Er kan worden gezocht naar factoren die hiervan de oorzaak zijn, zoals kwel, bodemopbouw, hoogteverschillen in het maaiveld, drainage, waterpeil sloten, etc.

3. Wat is de seizoensale dynamiek van de regenwaterlenzen binnen de te onderzoeken percelen?

Door in verschillende seizoenen te meten kan worden bepaald wat de seizoensale invloed hiervan is op de dikte en de vorm van de regenwaterlenzen.

1.3 Werkwijze

Er zijn in eerste instantie representatieve onderzoeksgebieden gekozen (zie rapport “Kenmerken gebiedsklassen Provincie Zeeland”, G. Oude Essink, 2006). Deze vertegenwoordigen de diversiteit van de Zeeuwse waterhuishouding en landgebruik. De percelen zijn zo uitgekozen dat deze een provinciedekkend beeld van de verzilting van het freatisch grondwater van de Provincie Zeeland voorstellen.

Op de gekozen meetlocaties zal een meetcampagne worden uitgevoerd met behulp van een zogenaamde prikstok (die de elektrische geleidbaarheid (EC) van de bodem meet, landmeetapparatuur en bodemprofielen (zie paragraaf 5.2). Tijdens de meetcampagne zullen interviews gevoerd worden met de landeigenaren/beheerders. Deze eerste veldwerksessie zal 3 weken in beslag nemen en zal worden uitgevoerd in de maanden maart en april 2007. Ook zal worden gestart met een tweede meetserie welke in mei 2007 zal plaatsvinden en 1 week zal duren. De resultaten hiervan kunnen worden vergeleken met meetgegevens uit november 2006, december 2006 en januari 2007. Na deze 4 weken zullen de meetresultaten geanalyseerd en verwerkt worden. Door vergelijking van resultaten over tijd en ruimte worden conclusies getrokken. Bovengenoemde deelvragen kunnen dan beantwoord worden. Resultaten worden weergegeven in de vorm van dit rapport en een PowerPoint presentatie.

1.4 Structuur rapport

Na deze inleiding zullen in hoofdstuk 2 de basisprincipes van de numerieke modellen worden besproken. Hierna zal in hoofdstuk 3 de gebiedskeuze worden toegelicht. Ook zullen de gebiedskenmerken en de geologie van de Provincie Zeeland in dit hoofdstuk besproken worden. De problematiek rond de verzilting zal worden toegelicht in hoofdstuk 4. Verder zal in hoofdstuk 5 een beschrijving worden gegeven van de uitgevoerde werkzaamheden. Ook de manier waarop gegevens verwerkt worden is in het hoofdstuk behandeld. De kern van het rapport wordt gevormd door hoofdstuk 6. De resultaten worden per perceel toegelicht waarna aan het eind van dit hoofdstuk een vergelijking wordt gemaakt tussen alle verschillende percelen welke bemeten zijn vanaf november 2006. Uiteindelijk worden in hoofdstuk 7 de uiteindelijke conclusies besproken en worden aanbevelingen gedaan voor verder onderzoek (monitoringsplan). In hoofdstuk 7 zijn de literatuuropgaven te vinden. Bijlagen A t/m H zijn achterin dit rapport terug te vinden

2 Basisprincipes modellen

2.1 Inleiding

Zoals eerder in hoofdstuk 1 vermeldt is het uiteindelijke doel van dit rapport met behulp van een verbeterde kennis van de relevante verziltings- en verzoetingsprocessen door middel van dit rapport de betrouwbaarheid van het modelinstrumentarium te vergroten. Verder kan het modelinstrumentarium niet bestaan zonder monitoringsgegevens. Om het gehele onderzoek beter te kunnen verstaan is het van belang de werking hiervan te begrijpen.

Met behulp van het te ontwikkelen modelinstrumentarium wordt door TNO duidelijkheid geschapen over effecten op de verziltings- en verzoetingsprocessen van zeespiegelstijging, klimaatverandering en een aantal waterbeheersmaatregelen als peilveranderingen, drainagecapaciteit. Er zijn een tweetal modellen ontwikkeld: 1. een 3D regionaal zoetzout grondwatermodel welke de stroming van het grondwater op regionale schaal kan weergeven en 2. perceelsmodellen welke regenwaterlenzen kunnen nabootsen op lokale schaal. Hierbij wordt gekeken naar aspecten van de verziltingproblematiek, als verzilting van sloot- en grondwater en zoute kwel.

2.2 Werking zoet-zout grondwatermodellen

Er wordt een regionaal model met verschillende geohydrologische eigenschappen gesimuleerd. Dit model is 3-dimensionaal. Hiermee is het mogelijk om op regionaal niveau de effecten te bekijken van zeespiegelstijging, peilveranderingen en bodemdaling. Er wordt gekeken naar de gevolgen op de verzilting van het grondwater, de zoutbelasting via kwel, de intensiteit hiervan en de grondwaterstand.

Belangrijke inputgegevens zijn:

- Zeespiegelstijging⁵
- Bodemopbouw (top en bottom geologische lagen en hydraulische conductiviteiten)
- Neerslaggegevens
- Verdampingsgegevens
- Drainage karakteristieken (afstand tot elkaar, capaciteit en diepteligging)
- Slootpeilen
- Dichtheidsverschillen van het grondwater (voor een juiste simulatie van de stroming hiervan)

Verschillende klimaat en waterbeheersscenario's zullen worden doorgerekend gedurende een simulatieperiode van 100 jaar. Er zal gekeken worden naar de effecten van de verschillende scenario's voor de grondwaterstand, de stijghoogte, de kwel en wegzijging, en chlorideconcentratie in het grondwatersysteem. Dit model is nog in ontwikkeling.

⁵ Een zeespiegelstijging wordt als randvoorwaarde geïmplementeerd. De commissie Water Beheer 21^{ste} eeuw heeft verschillende klimaatscenario's laten ontwikkelen om de onzekerheid in de voorspellingen mee te nemen. Er wordt uitgegaan van een zeespiegelstijging van 60 cm binnen 100 jaar. Door deze zeespiegelstijging neemt de druk in het watervoerende pakket toe en daarmee de kwel.

2.3 Werking 2D-modellen dynamiek regenwaterlens

Het detailniveau van de dynamische regenwaterlens is veel groter dan van het regionale grondwatersysteem. Daarom is gekozen om naast het regionale 3D zoet-zout grondwatermodel ook lokale 2D modellen op perceelsniveau te construeren. Met deze 2D modellen zal worden gekeken naar de dikte van de lens, invloed van kwel op de lens, chlorideconcentratie onder de sloten en de chlorideconcentratie van het grondwater (in het winterseizoen) in de drains.

Belangrijke inputgegevens zullen zijn:

- Stijghoogte, leidend tot een kwel of infiltratie
- Bodemopbouw
- Sloopkarakteristieken (sloopafstanden, slooppeilen)
- Drainage karakteristieken (afstand tot elkaar, capaciteit en diepteligging)
- Zeespiegelstijging in de vorm van een toename in de stijghoogte

In een andere, vergelijkbare, studie, in Noord-Nederland (P. Maljaars en R. Wils 2006) zijn de effecten van verschillende varianten in inputgegevens doorgerekend.

Samengevat zijn de resultaten van het voorafgaande modelonderzoek als volgt:

- Bij een peilverlaging wordt de lens kleiner
- Bij een peilverhoging wordt de lens groter
- Bij verhoging van de drains wordt de lens groter
- Wanneer de afstand tussen de sloten kleiner wordt zal het volume en de dikte van de lens ook kleiner worden, omgekeerd bij een kleinere sloopafstand zullen het volume en de dikte van de lens groter worden.
- Bij een afname van de kwelflux kan zich een diepere regenwaterlens ontwikkelen.
- Bij een bodemdaling tov het zeespiegelniveau vindt over het algemeen minder kwel plaats. De lens zal dan groter worden.

(P. de Louw en G. Oude Essink, 2006)

3 Gebiedsanalyse

3.1 Inleiding

De percelen die door TNO, in samenspraak met de Provincie Zeeland, ZLTO en DLG, zijn gekozen om bemeten te worden, zijn getoetst aan zowel beleidsmatige als fysieke-geografische criteria. Beleidsmatige criteria houden rekening met de wensen van de provincie en ingelezen waterschappen om specifieke gebieden nader in ogenschouw te nemen. Fysisch geografische criteria houden verband met de omstandigheden waaronder zoet- en zout grondwater zich beweegt in de toplaag van de bodem. In paragraaf 3.2 zal wat gezegd worden over de gebiedskenmerken van de Provincie Zeeland. Paragraaf 3.3 bevat een omschrijving van de gebiedskeuze voor onderzoek. En in paragraaf 3.4 wordt de ontstaansgeschiedenis van Zeeland beschreven. (G. Oude Essink, 2006)

3.2 Gebiedskenmerken

Zeeland maakt deel uit van Laag-Nederland. Bijna de gehele provincie bestaat uit polders. De hoogteverschillen zijn gering, met uitzondering van de duingebieden. Een belangrijk kenmerk van Zeeland is de verwevenheid van het land met het buitenwater. Dat zorgt ervoor dat het buitenwater nooit ver weg is en elke polder direct op het buitenwater kan lozen. Binnen de polders wordt het overtollige water afgevoerd via een uitgebreid stelsel van sloten, kreek en kanalen. In dit waterlopenstelsel wordt min of meer een vast peil nagestreefd. Globaal ligt dit peil tussen de -0,9 en -1,8 m tov het maaiveld. De afwatering van het regionaal systeem op het hoofdsysteem is weergegeven in figuur 1. (Projectgroep WB21, 2004, p 7-9.)

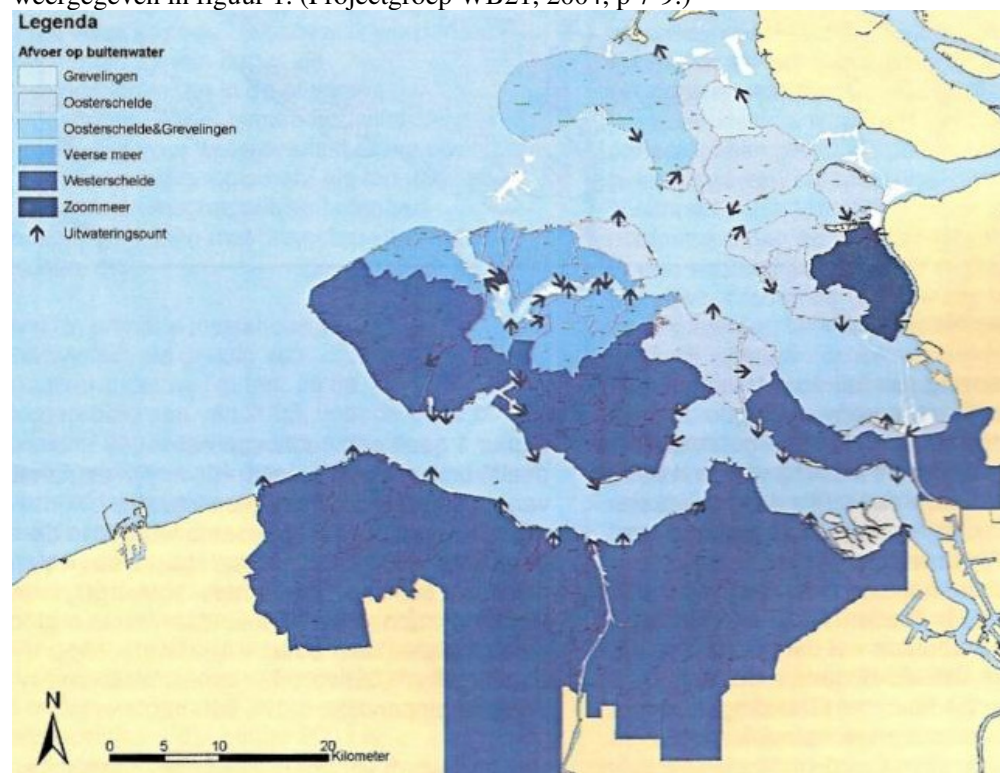


Fig 1. Afwatering van regionaal systeem op hoofdsysteem (Projectgroep WB21, 2004, p 8.)

3.2.1 *Grondwater*

De oppervlakte binnendijks is 176.000 hectare. Zo'n 80% daarvan wordt gebruikt voor agrarische doeleinden. Een groot deel van alle landbouwpercelen wordt kunstmatig ontwaterd door middel van buisdrainage. Deze liggen over het algemeen op zo'n -0,9 m tov het maaiveld (K. Dekker, 2004)

Door de slechte doorlatendheid van de bodem is de invloed van het oppervlaktewaterpeil op de grondwaterstand niet groot. Dat geldt in meerdere mate voor 'natte periodes' wanneer de grondwaterstand boven drainageniveau ligt. De snelle afvoer via de drainage overheerst dan de langzame afvoer via de bodem naar de sloot. Dit punt is van belang voor het behoud en optimaal gebruik van de zoetwaterlenzen in landbouwgebieden. De bodemgesteldheid maakt hierbij wel verschil. Bij een zandige bodem zal de invloed van het oppervlaktewaterpeil groter zijn dan bij een kleiige bodem. zijn.

Bij natuurgebieden wordt een hoger waterpeil gehanteerd omdat niet gewenst is dat nutriëntrijk landbouw water in het natuurgebied komt.

(Projectgroep WB21, 2004, p 7-9.)

3.2.2 *Beleid*

Het waterbeheer voor het opvangen van extreme neerslaghoeveelheden is nog steeds gestoeld op ontwerpnormen van bijna 50 jaar geleden. Recent zijn de waterschappen en de Provincie Zeeland begonnen om het waterbeheer opnieuw te bekijken in het licht van klimaatontwikkelingen. Hiermee worden zeespiegelstijging, een toename van de regenintensiteit en hoeveelheid en verzilting bedoeld.

Het knelpunt van wateroverlast kan op twee manieren worden opgelost, ten eerste door ruimtelijke inrichting en ten tweede door technische maatregelen in het waterbeheer. Door een gerichte ruimtelijke inrichting, waarbij de laagst gelegen gebieden centraal staan zal via het sluiten van beheersovereenkomsten de wateroverlast in andere gebieden aanzienlijk beperkt worden

Technische maatregelen kunnen over het algemeen ingedeeld worden in categorieën van de zogenaamde drietrapsstrategie: 'vasthouden-bergen-afvoeren'. Aangezien het grondwaterpeil in de Provincie Zeeland relatief hoog ligt, is het vasthouden van water een moeilijk gegeven. Natuurgebieden zijn in dit kader aangewezen als vasthoud- en bergingsgebieden. Verder kan dmv het verbreden van waterlopen of de aanleg van plassen meer water geborgen worden. De oplossing om in het landelijk gebied schade voor de landbouw te voorkomen of te verminderen is een goed afgestemde combinatie van drainage en de afvoercapaciteit van het oppervlaktewater.

Landbouwgebieden met hun sloten en drainage buizen worden gezien als voornaamste eerste orde afvoer systemen. Het is berekend dat bij extreme neerslag en een gelijk blijvende drainagecapaciteit, een te hoge grondwaterstand nauwelijks te voorkomen zal zijn. Dit zal natschade tot gevolg hebben. Dmv gerichte technische maatregelen (aanpassing drainage capaciteit) kan de duur van die te hoge grondwaterstand echter wel beïnvloed worden.

Het oplossen van het ontwateringprobleem is weliswaar de verantwoordelijkheid van de individuele grondeigenaar/grondgebruiker. (Projectgroep WB21, 2004, p 20, 21, 25.)

3.3 Gebiedskeuze

Het is de bedoeling dusdanig veel percelen te kiezen dat een provinciedekkend beeld kan worden verschaft wat betreft de verzilting van het freatisch grondwater.

In de fysisch-geografische selectieprocedure zijn de volgende factoren meegenomen:

- diepte brak-zout grensvlak (<4 meter onder maaiveld)
- voorkomen van kwel in de wintersituatie
- hoogte maaiveld t.o.v. NAP.
- voorkomen van platen
- dikte van de Holocene deklaag
- dikte van het basisveen⁶
- verschil zomer- en winterpeil⁷ (dynamiek)

Na het toetsen aan de criteria zijn negen hoofd-gebiedsklassen overgehouden. Deze negen hoofdgebiedsklassen geven een samengesteld eigenschappen geheel aan. De locaties en kenmerken hiervan zijn te zien in figuur 2 en tabel 1.

Uiteindelijk zijn binnen ieder van deze hoofdgebieden natuur en landbouw percelen aangewezen die voldoen aan de voorwaarden van het onderzoek. Toekomstige functie wijzigingen, landgebruik en in het verleden gemeten oppervlaktewater chloride concentraties zijn daarbij in acht genomen.

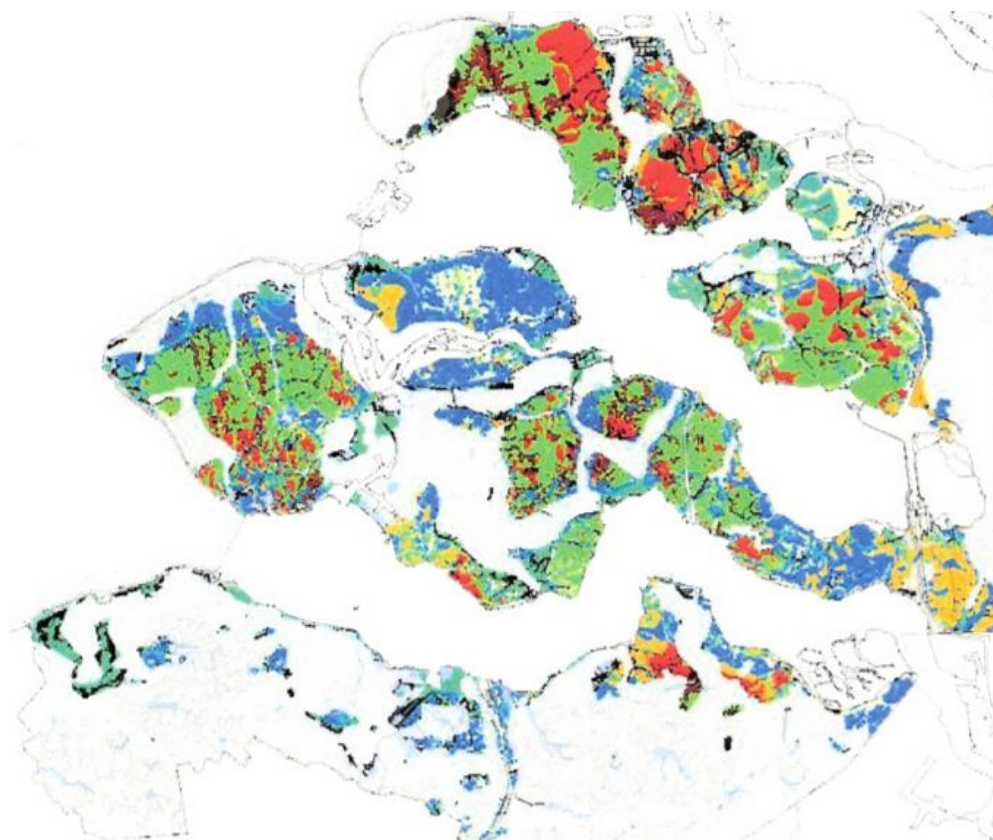


Fig 2. Gebiedsklassen Provincie Zeeland (Oude Essink, 2006)

⁶ Zeer compacte veenlaag die zich aan de onderkant van de Holocene deklaag bevindt.

⁷ De winterpeilen (vanaf 1 november) en zomerpeilen (vanaf 1 april) zijn streefpeilen voor de hoofdwatergangen.

Tabel 1. Kenmerken gebiedsklassen Provincie Zeeland (Oude Essink, 2006)

Criteria	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Kleur										
Ondiep grensvlak < 4 m	j	j	j	j	j	j	j	j	j	-
Kwel winter	j	j	j	j	n	n	n	n	n	-
Maaiveld < NAP	j	j	n	n	j	n	n	n	n	-
Plaat aanwezig	j	j	j	j	j	j	j	n	n	-
Deklaag > 200 cm	j	j	j	j	j	j	j	j	n	-
Basisveen aanwezig	j	n	j	n	n	j	n	n	n	-
Brak-zout < 4 m - mv	-	-	-	-	-	-	-	-	-	j

3.4 Geologie

Onderlopen van Zeeland

Vanaf zo'n 10.000 jaar geleden steeg de zeespiegel snel. Zeeland was ongeveer 5.500 jaar geleden grotendeels overstroomd; het was een groot getijdengebied. Landinwaarts ontstond veen (Basisveen). Zeewaarts erodeerde het oude veen, hetgeen in sommige gevallen werd ingesloten door zand en klei. Het Basisveen bestaat naast veen uit compact hout. De dikte van deze laag varieert van 0.05 tot 0.5 m.

Op sommige plaatsen ontstonden brakwater systemen waar de bijbehorende afzettingen van de Velsen Laag gevonden kunnen worden. De Velsen Laag is een sub-laag van de Afzettingen van Calais en bestaat uit klei rijk in organisch materiaal dat naar het oppervlak meer zilt en fijn zand bevat. Het is gepositioneerd aan de basis van de Afzettingen van Calais en ligt boven op het Basisveen, tussen de 10 en 12 m beneden NAP. De laag is meestal niet dikker dan één meter. De hoofdlaag van de Afzettingen van Calais bestaat uit zand en klei afzettingen en is over het algemeen arm in organisch materiaal. Het zand uit de afzettingen ligt voornamelijk geconcentreerd langs het geulen stelsel van Calais in het westen van Zeeland en kunnen een laag vormen van wel 25 tot 30 meter dik. De klei afzettingen liggen tussen en boven op de afzettingen.

Regressieve kust ontwikkeling

Ongeveer 4.500 jaar geleden nam de zeespiegelstijging aanzienlijk af van eerst meer dan 75 cm per eeuw tot ongeveer 10 cm per eeuw. Door deze minder snelle stijging konden de kustgebieden zich ontwikkelen en ontstonden er duinen (Oude Duinen en Strand Zand). Het zand is medium tot grof en ligt boven op de Afzettingen van Calais en Duinkerke. Het gebied achter de duinenrij slibde langzaam dicht en veen kon zich ontwikkelen. Veen ontwikkeld in deze periode wordt het Hollandveen genoemd. Twee lagen Hollandveen kunnen onderscheiden worden: de hoofdlaag tussen de Afzettingen van Calais en Duinkerke en een dunnere laag bovenin de Afzettingen van Calais. Het Hollandveen is bijna overal in Zeeland te vinden en de dikte varieert van 0,5 tot 2 meter. Langs de rivier de Schelde werden voornamelijk rivierafzettingen gedeponeed. (S. Stevens en B. de Veen, 2006)

Ontstaansgeschiedenis van Zeeland vanaf zo'n 2000 jaar geleden

De Nederlandse kust bestond zo'n 2000 jaar geleden uit een groot veengebied. Door de kracht van de zee werden de strandwallen doorbroken en ontstonden er wadgeulen, die door de tijd steeds dieper en breder werden. Deze wadgeulen zorgden ervoor dat Zeeland in verschillende veeneilanden werd opgedeeld. De wadgeulen ontwikkelden

zich uiteindelijk onder andere in de Ooster- en Westerschelde. Vanuit de wadgeulen ontsprongen weer krekken waardoor schorren (ook wel kwelders genoemd) ontstonden. Bij het overstromen van de krekken bij vloed ontstonden poelgronden. Dit zijn gebieden waar klei op veen is afgezet, hetgeen gebeurde bij de overstromingen.

Later verzandden de krekken en ontstonden kreekruigen. Het grondwater van de kreekruigen werd langzamerhand zoet door bedijking en de invloed van infiltratie. De zandige klei van de kreekruigen is een goede bodem voor akkerbouw en fruitteelt. Omdat het veen doordrenkt was met zout grondwater bleven de poelgronden echter veel zilter. Ze zijn te nat voor het verbouwen van gewassen en bestaan daarom vooral uit grasland.

De kreekruigen liggen duidelijk hoger dan de poelgronden, de reden hiervan is dat zand minder inklinkt dan veen. Doordat deze hoger liggen in het landschap is vaak nog goed te zien waar de vroegere krekken hebben gelopen. De kreekruigen worden net als poelgronden tot het 'oudland' gerekend. Het ontstaan van de kreekruigen is in onderstaande figuur weergegeven.

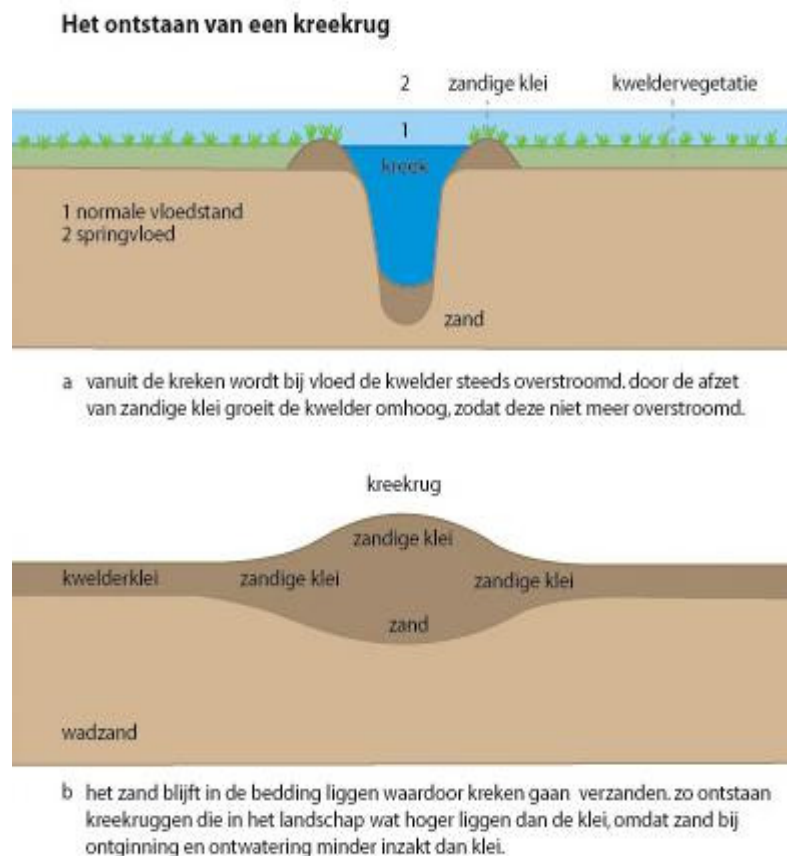


Fig 3. Ontstaan kreekrug. (Stg. Delawerken Online, 2004)

Na het jaar 1250 na Chr. ontstond het nieuwland, dit land is ontstaan via opslibbing door op- en aanwas. Opslibbing via opwas begint met zandplaten, wanneer deze hoog genoeg werden ontstond er een schor. Mensen bouwden er dan dijken omheen en eigenden het land zich toe. Opslibbing via aanwas houdt in dat slibdeeltjes via het zeewater worden meegenomen welke bezinken. Om dit 'nieuwe' land heen werd een dijk aangelegd. Door het ontbreken van veen in het nieuwe land, zijn de hoogteverschillen beperkt gebleven. De ligging is dus vlak te noemen.

Kenmerkend aan de nieuwlandpolders zijn de vele smalle polders; het landschap valt op door de vele binnendijken. Nieuwlandpolders die door opwas zijn ontstaan bevatten veel houtopstand en boscomplex. Veel nieuwlandpolders zijn als aanwas bedijkt langs de stroomgeulen, een voorbeeld hiervan is de zak van Zuid-Beveland.
(Stg. Delawerken Online, 2004)

4 Verziltingsproblematiek

4.1 Probleemuitenzetting

Vanwege klimaatverandering zal de temperatuur stijgen met zeespiegelstijging tot gevolg. Daarnaast is de bodem in Nederland al eeuwen lang aan het dalen. Met name veenontginning en waterbeleid dat gericht was op het afvoeren van water, zijn hiervan de oorzaak. Deze daling zal ook in de toekomst doorzetten.

Als de polders niet voortdurend bemalen zouden worden, zou de grondwaterstand stijgen tot boven het maaiveld. Als gevolg van het laag liggende maaiveld is de verziltingsproblematiek toegenomen.

Door het niveauverschil tussen grondwaterstand en hoger gelegen peilen in de omgeving (zoals de zeespiegel), heeft het grondwater in de laaggelegen polders de neiging om naar boven te kwellen. Omdat in veel laaggelegen kustgebieden het grondwater onder directe invloed staat van de zee, is het zoutgehalte hoog.

Het zoute water zal richting maaiveld stromen langs de weg van de minste weerstand. Wanneer sprake is van een grote kwelintensiteit en een goeddoorlatende bodem, zal het kwelwater vanuit de ondergrond rechtstreeks in de sloten terecht komen. In situaties waarbij kwel optreedt in een gebied waar het grondwater grotendeels zout is, wordt gesproken van 'zoute kwelsystemen'.

4.2 Regenwaterlenzen op perceelniveau

Ook in het onderzoeksgebied zijn zoute kwelsystemen aanwezig. Het grondwater in het watervoerend pakket kent een hoog zoutgehalte. De deklaag (bovenste bodemlaag), die bestaat uit vrij slecht doorlatend materiaal van Holocene afkomst, biedt weerstand tegen de optredende opwaarste stroming van grondwater (kwel). Het materiaal waaruit de deklaag is opgebouwd kan lokaal sterk verschillen. De weerstand is het kleinst op plaatsen waar de deklaag dun is en de bodem ervan relatief goeddoorlatend. De meeste kwel is dus te verwachten op plaatsen waarbij het freatisch grondwaterstand en oppervlaktewaterpeil laag liggen, de stijghoogte van het watervoerend pakket hoog is en de doorlatendheid van de deklaag groot is.

Naast kwel van brak tot zout grondwater vindt ook infiltratie van zoet regenwater plaats. De mate van infiltratie is eveneens afhankelijk van factoren als: bodemgebruik (gras heeft een ander verdampingspatroon dan mais), doorlatendheid van de bovenlaag van de bodem en hellingshoek van het maaiveld (afstroming van regenwater). Het feit dat zoet water een kleinere soortelijke massa heeft dan zout water zorgt voor dat het zoete grondwater min of meer blijft drijven op het zoute grondwater bovenop het zoute water vormt zich een zoete regenwaterbel. In weergave hiervan is te vinden in figuur 4.

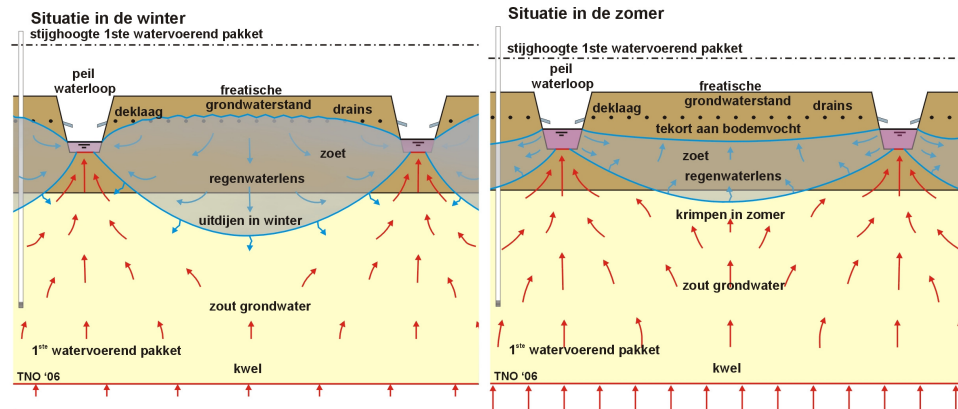


Fig 4. Regenwaterlens in een zoute omgeving (G.Oude Essink, 2006)

Een grote kwelintensiteit hoeft dus niet te betekenen dat het diepe grondwater de vegetatie bereikt. Uit een aantal studies (P.P Poot en A. Schot, 2000) is gebleken dat op percelen waar volgens computer modellen kwel zou moeten plaatsvinden, deze kwel in werkelijkheid direct door de sloten wordt afgevangen zonder dat de vegetatie in contact is gekomen met het zoute kwelwater. Geïnfiltreerd regenwater is dan de belangrijkste bron van watervoorziening voor de vegetatie (P.P Poot en A. Schot, 2000).

5 Veldwerk

5.1 Inleiding

De Provincie Zeeland heeft in overleg met TNO, ZLTO en DLG in totaal 33 locaties aangewezen die voldoen aan alle criteria (zie hfd 3). De percelen op deze locaties kunnen bemeten worden. Hiervan zijn nummer 1 t/m 23 agrarische percelen en nummer 24 t/m 33 natuurgebieden. Om een zo goed mogelijk provinciedekkend beeld te verkrijgen van de verzilting zijn de locaties verspreid over heel Zeeland.

Om behalve de ruimtelijke verspreiding een goed beeld te krijgen van de dynamiek van het systeem, is het veldwerk op een aantal locaties tweemaal uitgevoerd.

Er zijn al 17 percelen bemeten in de maanden november en december 2006 en januari 2007 (S. Stevens en B. de Veen, 2007). Deze eerste meetserie is afgemaakt in de maanden maart en april 2007

In dit rapport zijn van de resultaten van de eerste meetserie de percelen 3, 10, 13, 18 en 22 weergegeven en besproken. Verder is de tweede meetserie gestart in mei 2007. In deze periode zullen een aantal percelen welke in november en december 2006 en januari 2007 bemeten zijn wederom bemeten worden. In dit rapport zijn van de resultaten van de tweede meetserie de percelen 1, 7, 16 en 27 weergegeven en besproken.

In de winter is er een situatie met een neerslagoverschot en weinig verdamping. De lente van 2007 wordt gekenmerkt als het begin van een periode met meer verdamping dan grondwateraanvulling en daardoor neerslagtekort. April 2007 wordt zelfs gekenmerkt met een record. Het neerslagtekort is nog nooit zo hoog geweest in april. (KNMI, 2007) Dit heeft ook gevolgen voor de zoet-zout verdeling van het grondwater. Voor alle percelen zijn de belangrijke parameters, welke invloed hebben op de zoet-zout verdeling, in tabel 3 gezet om grote verschillen in de zoet-zout verdeling te kunnen verklaren.

5.2 Werkzaamheden

5.2.1 Prikstok



Fig 5. T-EC-prikstok

De T-EC-prikstok is een instrument van vier meter lang die in de bodem geprikt kan worden. Om de 10 cm worden de elektrische geleiding (electrical conductivity EC) en de temperatuur T gemeten. De EC-waarden zijn een maat voor het zoutgehalte. Hoe hoger het zoutgehalte hoe beter geleidbaar het grondwater is. De temperatuur wordt gemeten om de meetwaarden te kunnen herleiden tot een standaardtemperatuur. De meetwaarden worden elektronisch gecompenseerd door de EGV-meter naar een standaardtemperatuur van 25 °C.

Om chloridegehalten te kunnen bepalen met behulp van

de prikstok, moet in de verzadigde grond worden geprikt. Hiervoor wordt met een grondboor een ondiepe voorboring gedaan om vervolgens met de prikstok de meting te kunnen starten.

Omdat de prikstok de EC-waarden van de totale bodem weergeeft en niet van het grondwater, moet een correctie worden doorgerekend. De prikstok-EC dient eerst nog vermenigvuldigd te worden met een correctiefactor. Deze ligt rond de 0,4.

De correctiefactor kan worden uitgerekend door in ruim water prikstok en dompelcel naast elkaar te houden en zo de gemeten waarde van de dompelcel te delen door die van de prikstok. Bestaande handleidingen van de prikstok gaven aan dat deze factor altijd gelijk is, namelijk 0,4 (Wirdum, G. van, 2004). Tijdens het meten bleek dit echter niet te kloppen. De factor bleek afhankelijk te zijn van het geleidingsvermogen van de stof waarin gemeten wordt (figuur 6). Gekozen is om een factor van 0,4 te gebruiken voor prikstok-EC's van 0 tot 4 mS/cm en een factor van 0,5 voor prikstok-EC's van 16 mS/cm en hoger. Voor prikstok-EC's die tussen de 4 en 16 mS/cm liggen wordt de factor voorgesteld als lineair oplopend van 4 tot 16. Hiervoor is de volgende formule opgesteld:

$$\text{Correctiefactor} = 0,00833 * \text{EC}_{\text{prikstok}} + 0,36667$$

Het feit dat een hogere correctiefactor wordt gemeten bij hogere EC-waarden wordt waarschijnlijk veroorzaakt doordat de geleidbaarheid van de grond zo groot is dat het stroomlijnenveld dusdanig uitrekt dat de geleidbaarheid van het metaal van de prikstok een rol gaat spelen.

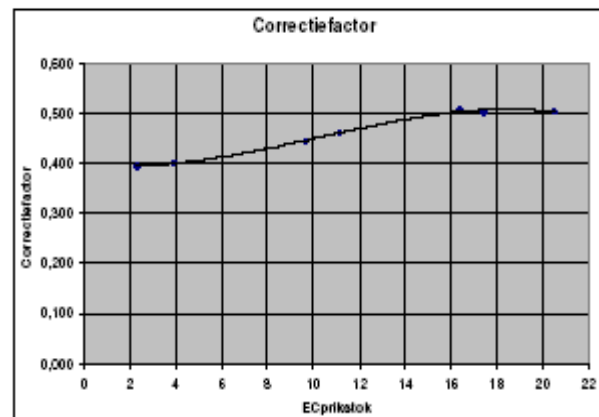


Fig 6. Verloop correctiefactor voor de EC van de prikstok

5.2.2 Bodembeschrijving

Bij ieder prikpunt op het land wordt een bodemprofiel gemaakt. Dit is van belang omdat de gemeten EC-waarde naast het chloridegehalte ook afhankelijk van de grondsoort is.

Een zandbodem heeft bijvoorbeeld een veel lagere geleiding dan een veenbodem.

Wanneer de vertaalslag gemaakt wordt van EC naar chloridegehalte is het dus belangrijk om te weten in welke grondsoort de betreffende EC gemeten is.

De mate waarin de grondsoort de geleidbaarheid bepaald wordt uitgedrukt door de formatieconstante. Deze kan berekend worden door de EC van het grondwater (welke gemeten is met een dompelcel) van een bepaalde grondlaag te delen door de EC die de prikstok meet in die grondlaag. Het is dus belangrijk om dezelfde diepte aan te houden. De formule ziet er als volgt uit:

$$\text{EC}_{\text{water}} = \text{EC}_{\text{ruw}} * \text{correctiefactor} * \text{formatieconstante}.$$

De formatieconstante wordt dan $\text{EC}_{\text{water}} / (\text{EC}_{\text{ruw}} * \text{correctiefactor})$

Deze formatieconstante is afhankelijk van de grondsoort en varieert sterk (van 0,86 voor veen tot 4,12 voor klei).

5.2.3 Chloridegehalte

Aan de hand van de gemeten prikstok EC-waarden kan het chloridegehalte van het grondwater van dat punt bepaald worden. Stel dat in een bodemlaag een waarde gemeten wordt van $A \mu\text{S/cm}$. Wanneer de meting gedaan is in ruim water kan de werkelijke EC van het water uitgerekend worden door de gemeten waarde te vermenigvuldigen met de correctiefactor 0,4 (zie 5.2.1).

Als de gevonden EC in $\mu\text{S/cm}$ niet veel groter is dan 2000-5000, is de kation en de anionconcentratie ruwweg $(0,01 * \text{correctiefactor} * A) \text{ mmol/l}$.

Als chloride (molgewicht 35,5) het dominante anion is, en als hier 75% van de negatieve lading aan wordt toegekend, dan is de chlorideconcentratie in mg/l : $(35,5 * 0,75 * 0,01 * \text{correctiefactor} * A)$ (G. van Wirdum, 2004).

Omdat de meting niet in water maar in een bodemlaag is gedaan, wordt de waarde vervolgens nog vermenigvuldigd met de formatieconstante van de desbetreffende bodemlaag.

Tabel 2. Klasse indeling volgens Stuyfzand (P.Stuyfzand, 2004)

Gevonden chlorideconcentraties kunnen met behulp van de klassenindeling van chloride volgens Stuyfzand worden ingedeeld in klassen (tabel 2).

Klasse	Cl-concentratie (mg/l)
Zeer zoet	< 30
Zoet	30 - 150
Licht brak	150 - 300
Brak	300 - 1.000
Zout	1.000 - 5.000
Zeer zout	>5.000

Verder is berekend dat bij een minimale formatieconstante van 0,86 een minimale EC-waarde van 4,37 mS/cm nodig is voor een chloridegehalte van boven de 1000 mg/l .

5.2.4 Landmeten

Op de percelen is de hoogte van de verschillende punten tov elkaar vastgesteld mbv een landmeetinstrument. Het doel hiervan is een beeld te verkrijgen van de maaiveldhoogten, grondwaterstanden en slootpeilen. Hiermee kan gezocht worden naar verklaringen van verschillen in EC-waarden op perceelsniveau. Als referentiepunt (het nul-punt) is een vast punt in de buurt van het gekozen meettraject gekozen. (meestal top van de duiker).

6 Resultaten veldwerk

6.1 Inleiding

In figuur 7 zijn de 25 bemeten locaties weergegeven. De locaties bestaan uit 23 landbouwpercelen en 2 natuurpercelen. 16 landbouwpercelen en 1 natuurperceel zijn al eerder bemeten gedurende half november 2006 tot begin februari 2007. Deze metingen zijn uitgevoerd door Sjors Stevens, Bastiaan de Veen en Piet Maljaars. De percelen die in dit rapport worden besproken en de percelen welke tijdens de tweede meetserie bemeten zijn, zijn afgebeeld in verschillende kaartjes in bijlage H. Percelen welke in de tweede meetserie zijn bemeten zijn als groen aangegeven in onderstaand figuur.

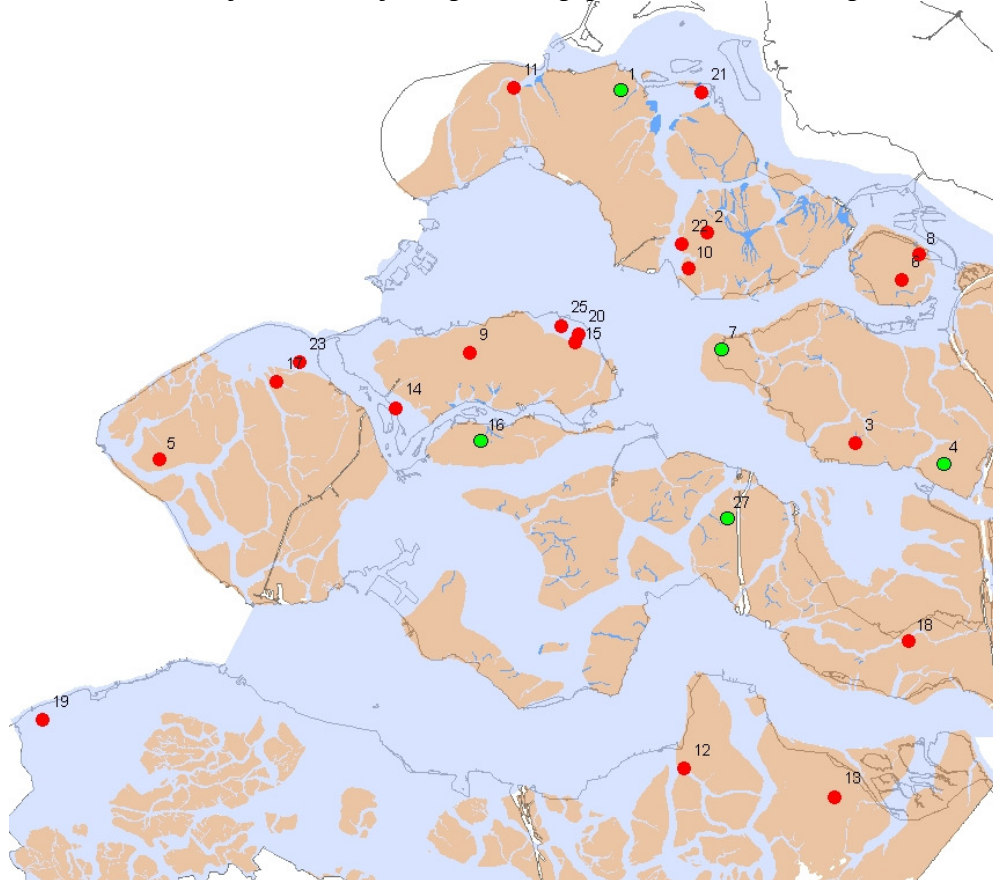


Fig 7. Kaart van de provincie Zeeland met de ligging van alle meetlocaties. (nr. 24 en 26 zijn niet bemeten)

De meetresultaten zijn volledig en overzichtelijk weergegeven dmv dwarsdoorsneden van elk perceel. Met het programma 'Surfer' worden profielen gemaakt die de EC van de bodem weergeven die gemeten zijn met de prikstok. De EC wordt grotendeels bepaald door het zoutgehalte, maar ook karakteristieken van de bodem bepalen de EC. Het programma interpoleert de waarden tussen de meetpunten die als '+' weergegeven zijn. Zo kunnen lijnen worden getrokken tussen de verschillende meetpunten. De bovenste waarden zijn op of net onder de waterspiegel, oftewel binnen de verzadigde zone.

Zowel de maaiveldhoogten, de weerstand van de deklaag, als de stijghoogtes zijn bepaald met kaarten in ArcMap. Dit zijn gemiddelde waarden en geven dus een

indicatie. De winter- en zomerpeilen zijn streefpeilen voor de hoofdwatgangen, het is dus mogelijk dat de gemeten slootpeilen hiervan afwijken.

In de dwarsdoorsneden welke in Excel gemaakt zijn staan de boorprofielen, grondwaterstand, maaiveld en de chloridegrenzen oftewel chloride-isochronen afgebeeld. De legenda van de grondwaterstand, het maaiveld en het boorprofiel is afgebeeld in figuur 8. De chloride-isochronen zijn als legenda bij elk figuur toegevoegd. Sommige isochronen zijn deels geïnterpoleerd, deze lijnen zijn als gestippeld weergegeven (lang kort). De isochronen uit de tweede meetserie zijn ook als gestippeld (kort) weergegeven. Verder is voor percelen welke al eerder bemeten zijn gebruik gemaakt van de bodembeschrijvingen uit het rapport “regenwaterlenzen” (S. Stevens en B. de Veen, 2007)



Fig 8. Algemene legenda

Eerste meetserie

6.2 Perceel 3

6.2.1 Algemeen

Dit perceel is gelegen in het zuiden van Tholen, in het dorpje Scherpenisse. Er is hier gemeten tussen twee drains in, in een raai van 82,75 m vanaf de sloot het veld in. De afstand tussen de drains is 10 m. Met een maaiveld dat op ongeveer -1,2 m NAP niveau ligt, is dit in vergelijking met de andere bemeten percelen zeer laag te noemen. De Oosterschelde is z'n 1240 m zuidelijker te vinden. Het perceel bevindt zich in een pool- of jong schorgebied op het oudland (zie par 3.4.3).

In figuur 10 is te zien dat de bovenlaag bij alle meetpunten bestaat uit een zwaar kleiig materiaal tot een diepte van ongeveer 0,5 m onder het maaiveld. Alleen bij punt 3.6 loopt deze laag verder door tot ongeveer 1,25 m onder het maaiveld. Eveneens komt na de kleilaag, op elk meetpunt een veenlaag voor. Deze varieert van 1,1 tot 1,7 m. Daaronder wordt de bodemopbouw wat heterogener en komen afwisselend klei-, veen-, en zand- en zavellagen voor.

6.2.2 Resultaten

Aan het EC-Surfer profiel in figuur 9 is te zien dat de EC- waarden in vergelijking tot de andere bemeten percelen erg hoog liggen. De EC's in de bodem nemen met de diepte sterk toe. Ook in de dwarsdoorsnede in figuur 10 is te zien dat de chloride-isochronen hoog liggen. Er komen zelfs waarden voor van meer dan 10.000 mg/l. Tussen de 35 en 60 m vanaf het beginpunt, profileert zich een brak grondwaterbel (<1000 mg Cl/l) van zo'n 15 cm dik. Opvallend is dat de grondwaterstand bij punt 3.6 stijgt tot op het maaiveld.

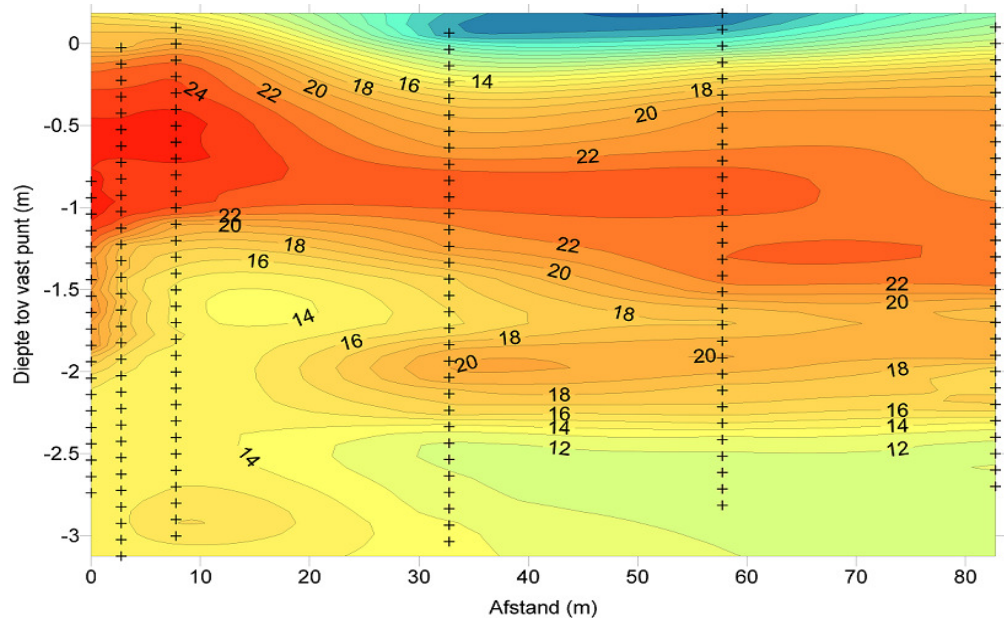


Fig 9. EC-bodemprofiel van perceel 3 met EC (mS/cm) waarden van de bodem. Dit transect ligt tussen de drainagebuizen in en het eerste meetpunt ligt in de sloot. (dit profiel is gecreëerd door Valentina Marconi)

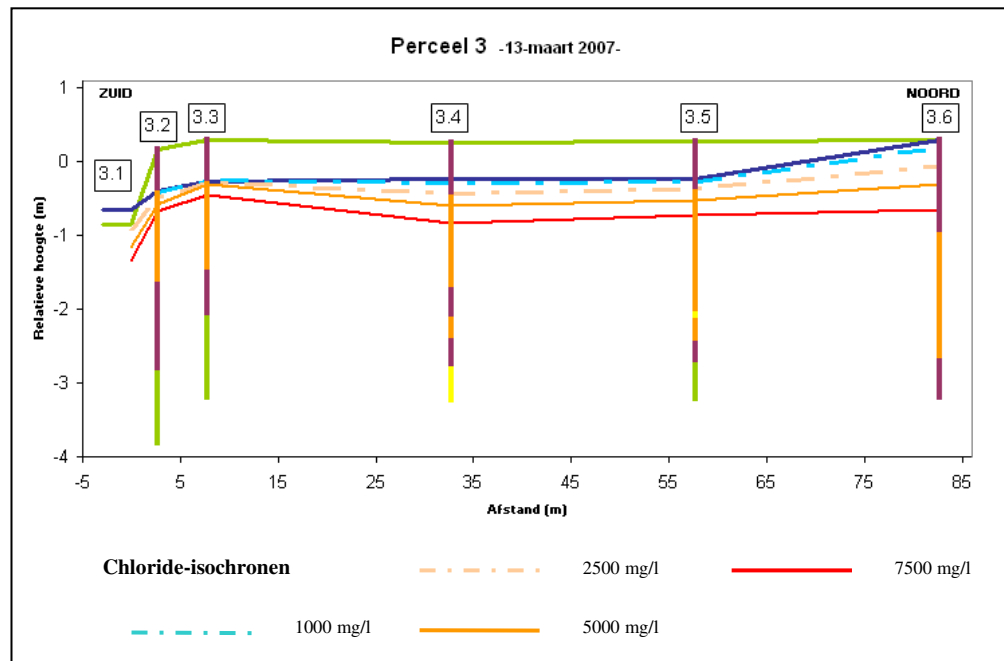


Fig 10. Dwarsdoorsnede van perceel 3 met de boorprofielen, grondwaterstand en chloride-isochronen. (deze dwarsdoorsnede is gecreëerd door Valentina Marconi)

6.2.3

Discussie

De reden waarom perceel zo zout is, kan onder andere in de geologie worden gezocht. Onderstaande tekst uit paragraaf 3.4 van dit rapport is ter verduidelijking toegevoegd.

Bij het overstromen van de kreek bij vloed ontstonden poelgronden. Dit zijn gebieden waar klei op veen is afgezet, wat gebeurde bij de overstromingen. Omdat het veen doordrenkt was met zout grondwater bleven de poelgronden echter veel zilter dan de kreekruigen. Ze zijn te nat voor het verbouwen van gewassen en bestaan daarom

vooral uit grasland. De kreekruggen liggen duidelijk hoger dan de poelgronden, de reden hiervan is dat zand minder inklinkt dan veen.

Het maaiveld ligt op ongeveer -1,2 m NAP, door deze lage ligging zal het stijghoogteverschil (verschil tussen stijghoogte en (grond-)waterpeil) groter zijn. Het opkwellende water ondervindt dan een grotere druk. De stijghoogte bedraagt dan ook -0,79 m NAP, wat een verschil is van maar liefst 1,61 m met het winterpeil, welk op -2,4 m NAP staat. In vergelijking met de andere bemeten percelen is dit verschil erg groot. De toplaag van dit perceel is slecht doorlatend, door de opbolling van het maaiveld tussen de greppels en door de slecht doorlatende toplaag is het mogelijk dat veel regenwater afstroomt in plaats van infiltreert. De reden dat het perceel zo zout is zal waarschijnlijk aan deze factoren te wijten zijn.

Het veenpakket wordt in sterk geaccentueerd. Dit is goed te zien in figuur 4. De hoogste EC-waarden zijn terug te vinden op plaatsen waar veen word gevonden.

De reden waarom de grondwaterstand bij punt 3.6 stijgt tot op het maaiveld is waarschijnlijk te wijten aan de capillaire werking van de klei. Bij punt 3.6 is een dikkere kleilaag gevonden waardoor de capillaire werking ook groter zal zijn. Het zou ook zo kunnen zijn dat de stijghoogte van het eerste watervoerend pakket hier hoger ligt, maar dit is niet met zekerheid te zeggen. Het is aan te bevelen dit nader te onderzoeken.

6.3 Perceel 10

6.3.1 Algemeen

Dit perceel is gelegen in het dorpje Ouwerkerk van Schouwen-Duiveland. Er is hier gemeten in een raai van 220 m van sloot ZW naar sloot NO tussen de drains. Bovendien is hier een drietal extra metingen gedaan om de invloed van de drainage op de chloridegehalten in het grondwater te kunnen bepalen. Deze punten liggen op de drain en liggen ter hoogte van de punten 10.7, 10.8 en 10.9. De drainafstand op dit perceel is ongeveer 10 m.

Het maaiveld ligt hier op zo'n -0,55 m NAP. De afstand tot de Oosterchelde bedraagt 900 m. Verder is bekend dat het land waar het perceel is te vinden is overgelopen bij de watersnoodramp van 1953.

Het perceel ligt in een poel- of jong schorgebied op het oudland. Helaas was een bodembeschrijving van dit perceel niet mogelijk, op het perceel werd tarwe verbouwd, om eventuele schade hieraan te voorkomen kon in het groeiseizoen niet terug worden gekeerd voor een bodembeschrijving. Hierdoor konden ook geen formatieconstanten worden vastgesteld, die nodig is voor het bepalen van de chloridegehalten van het grondwater. Voor dit perceel kunnen dan ook vooralsnog geen chloride-isochronen worden weergegeven.

6.3.2 Resultaten

In figuur 11 is te zien dat de EC's op dit perceel van -0,7 m tov referentiepunt over heel het perceel hoog. Onder de 'NO' sloot liggen de waarden hoger dan de EC's die verder van de sloot af zijn gemeten. De EC's onder de ZW sloot die 0,5 m lager ligt, liggen juist lager dan de waarden die tot zo'n 45 m in het maaiveld zijn gemeten. Op ongeveer 95 m vanaf het beginpunt is weer een opbolling te zien. Verder is in figuur 12 duidelijk te zien dat de grondwaterstand verder van de zuidwestelijke sloot ten zuiden van het

perceel vandaan omhoog komt. Ook is te zien dat de grondwaterstand evenwijdig aan het maaiveld loopt.

In figuur 13 en 14 valt te zien wat de verschillen zijn tussen metingen 10 meter van de drain af en de metingen op de drain. Het valt op dat de verschillen niet groot zijn, maar ze zijn wel te constateren. Bij de raai op de drain lopen de EC-waarden eerder op. Vooral op zo'n 93 m vanaf het beginpunt liggen de waarden op de drain hoger. Op zo'n 0,7 m onder het referentiepunt worden hier waarden van ongeveer 16mS/cm gemeten, terwijl op de raai tussen de drains de EC-waarden hier rond de 12 mS/cm liggen. Na vergelijking van de Excel-data is gebleken dat de EC-waarden op de drain gemiddeld 30% hoger liggen dan 10 m naast de drain.

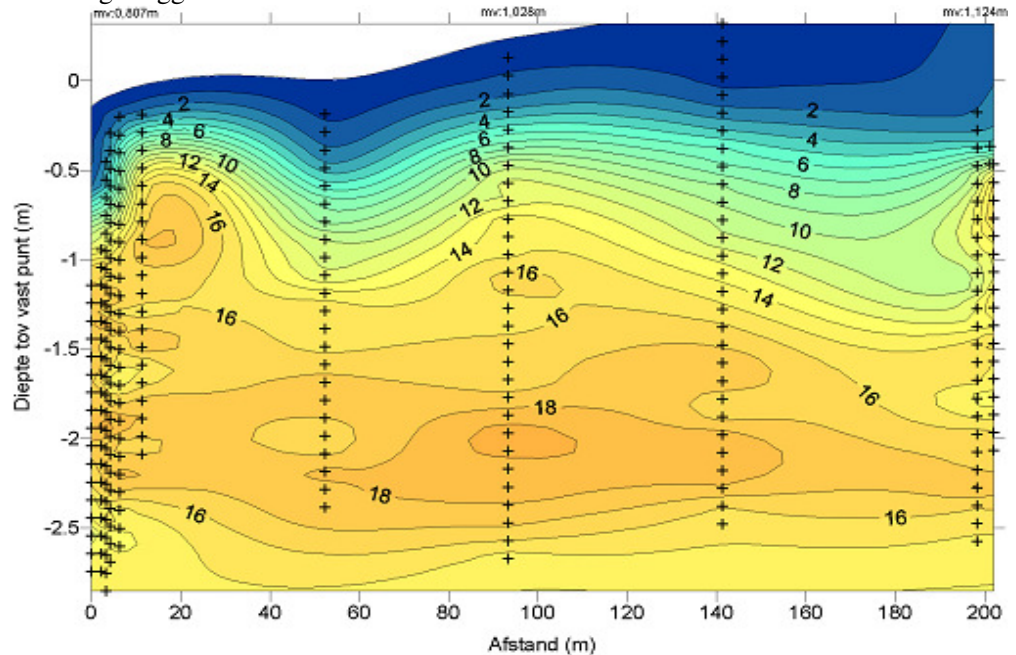


Fig 11. EC-bodemprofiel van perceel 10 met EC (mS/cm) waarden van de bodem. Dit transect ligt tussen de drainagebuizen in en het eerste en laatste meetpunt liggen in de sloot.

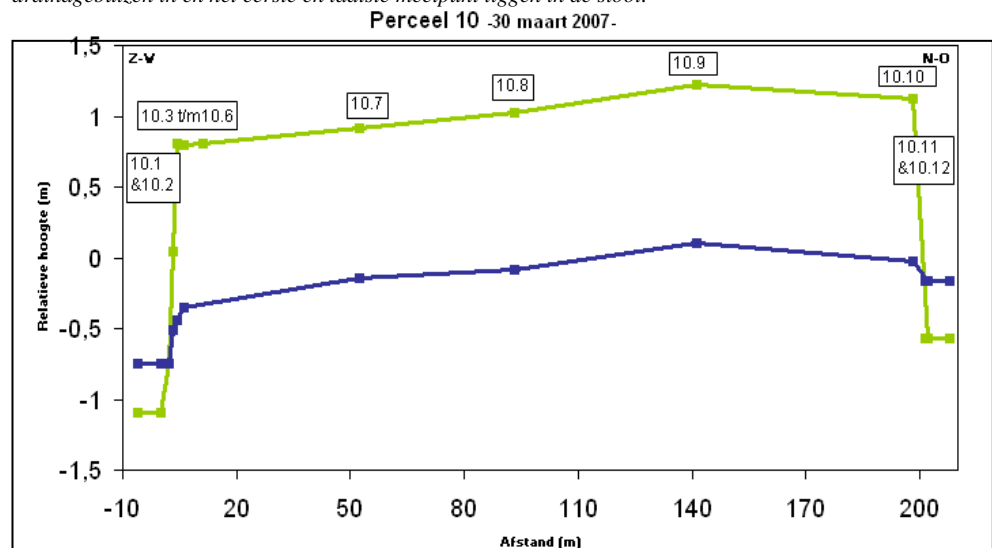


Fig 12. Dwarsdoorsnede van perceel 10 met grondwaterstand en maaiveldhoogte

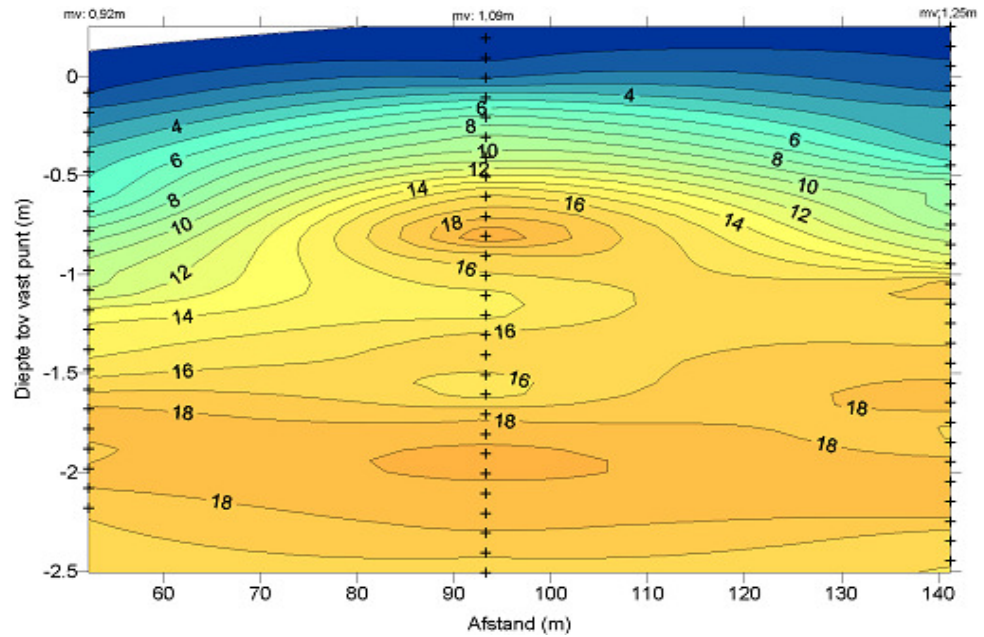


Fig 13. EC-bodemprofiel van perceel 10 met EC (mS/cm) waarden van de bodem. Dit transect ligt op de drainagebuis.

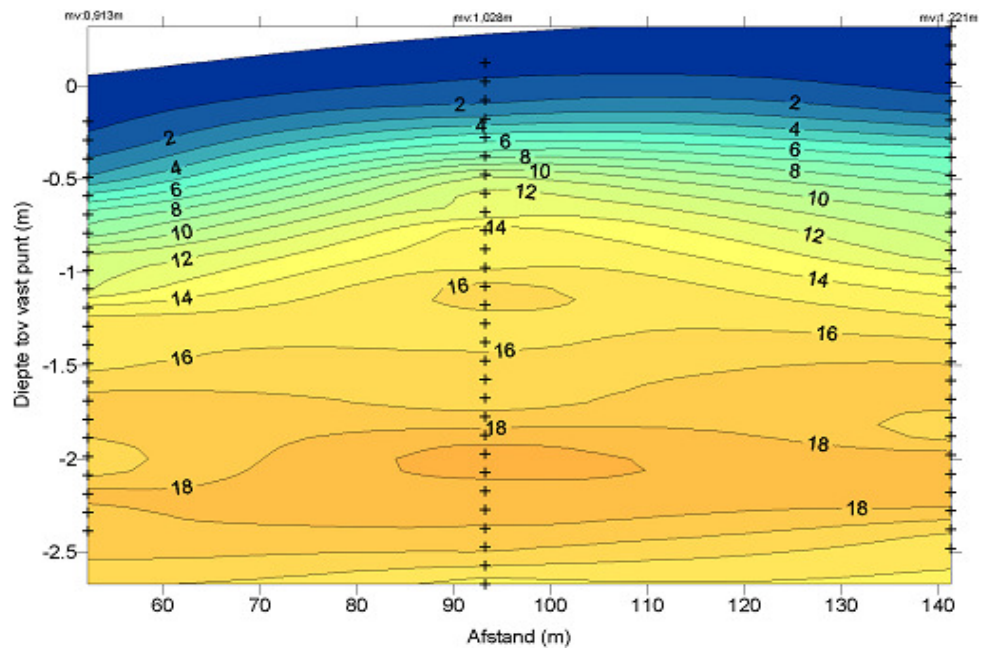


Fig 14. EC-bodemprofiel van perceel 10 met EC (mS/cm) waarden van de bodem. Dit transect ligt parallel aan de meetpunten op de drainagebuis.

6.3.3 Discussie

Het hoge zoutgehalte van dit perceel is waarschijnlijk te wijten aan het verschil tussen de stijghoogte en het winterpeil. De stijghoogte ligt met -1,37 m NAP meer dan een meter lager dan het winterpeil, wat -2,45 m is. Wanneer in tabel 3 wordt gekeken is te zien dat de weerstand van de deklaag hier relatief klein is. Je zou hier dus een grote kwelintensiteit verwachten. Verder is bekend dat de bovenlaag op vrijwel alle punten kleiig was. Door de grote opbolling van het maaiveld en de vrij slecht doorlatende toplaag zal het regenwater dan sneller aflopen in plaats van infiltreren. Na het bekijken

van de resultaten van alle bemeten percelen, is de grondwaterstand tov het maaiveld op dit perceel laag te noemen. Door de lage grondwaterstand tov NAP ondervindt het opkwellende water minder weerstand en komt dit makkelijk naar boven

De witte vlek welke linksboven in het figuur is te zien, betekend dat er geen data beschikbaar is van dit gebied. Surfer kan dan ook geen waarden interpoleren.

Verder lijkt de drain invloed te hebben op de zoet-zout verdeling. Na vergelijking van de Excel-data is gebleken dat de EC-waarden op de drain dus hoger liggen dan 10 m naast de drain. Waarschijnlijk verschilt de bodemopbouw tussen de vergelijkende punten niet veel. Verschil in bodemopbouw zal dan ook waarschijnlijk ook geen reden zijn voor de hogere EC-waarden onder de drain. Het ziet er dus naar uit dat de drain zout grondwater aantrekt.

6.4 Perceel 13

6.4.1 Algemeen

Dit perceel is gelegen nabij het dorpje Grauw in het oosten van Zeeuws-Vlaanderen. Er is hier gemeten in een raai tussen 2 drains tot op een afstand van 90 meter in het veld. Bovendien is hier een tweetal extra metingen gedaan om de invloed van de drainage op de chloridegehalten in het grondwater te kunnen bepalen. Deze punten liggen ter hoogte van punt 13.2 en 13.3 en zijn op de drain gemeten. De afstand tussen de drains is 6 meter. Het maaiveld ligt hier op zo'n -0,05 m NAP. De afstand tot de Westerschelde bedraagt 1800 m. Het perceel ligt op het nieuwland welk is ontstaan na 1250 na Chr. Ook is bekend dat het perceel in een poel- of jong schorgebied ligt.

Op alle meetpunten bestaat de bovenlaag uit een zavelig materiaal tot een diepte van bijna 1 meter onder het maaiveld. Daaronder wordt de bodemopbouw heterogener en komen afwisselend klei-, veen-, en zavelagen voor. Alleen bij 13.3 is zand gevonden vanaf 1,60 m onder het maaiveld. (zie figuur 16) De eigenaar zegt geen last te hebben van zout grondwater.

6.4.2 Resultaten

In figuur 15 is te zien dat de EC's onder de sloot hoger zijn dan de EC's die verder van de sloot af zijn gemeten. Figuur 16 laat dit ook goed zien, alleen onder de sloot komen waarden tot 5000 mg/l voor. Er vindt dus een kwelflux plaats die zich op de sloot richt. Verder valt op dat de 2500 mg/l-isochroon dieper komt te liggen naarmate verder in het maaiveld wordt gemeten. Het figuur laat duidelijk zien dat de grondwaterstand verder van de sloot vandaan omhoog komt.

Het verschil tussen de metingen op drain (figuur 17) en de metingen 6 meter van de drain af (figuur 18) zijn niet erg groot.

Op zo'n 4 m van het middelpunt van de sloot liggen de EC's die op de drains gemeten zijn ongeveer 40% lager, echter op zo'n 33 m liggen de waarden op de drain 40% hoger. Dit percentage is berekend aan de hand van de Excel-data. Omdat verschillen hier moeilijk te zien zijn is in bijlage A.2 een verschillengrafiek weergegeven. Hier is te zien dat bij meetpunt 1 (begin perceel) vooral negatieve waarden voorkomen en bij meetpunt 2 (eind perceel) vooral positieve waarden. Positieve waarden willen zeggen dat de waarden op de drain hoger liggen dan de waarden op de vergelijkende punten.

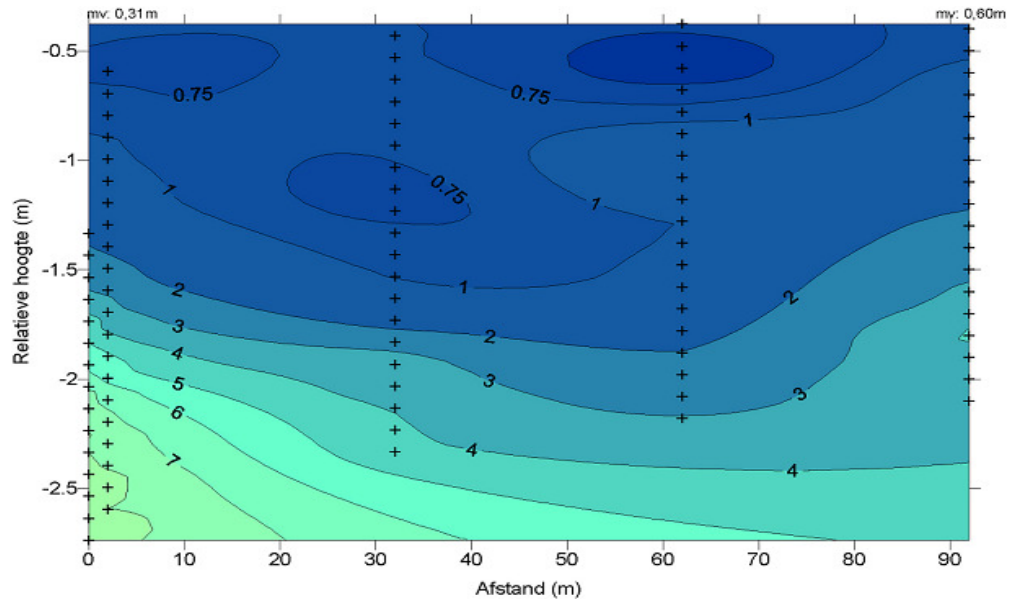
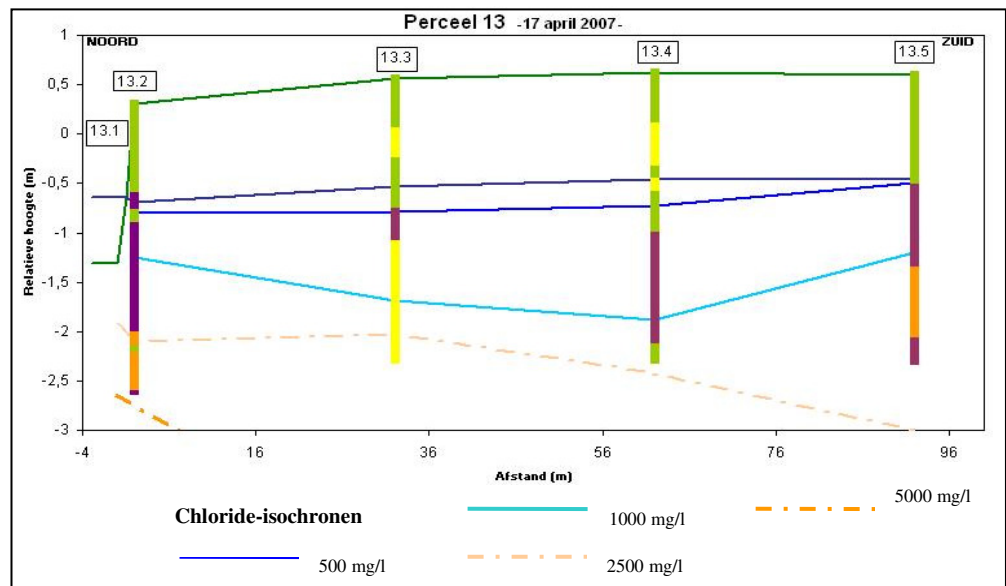


Fig 15. EC-bodemprofiel van perceel 13 met EC (mS/cm) waarden van de bodem. Dit transect ligt tussen de drainagebuizen in en het eerste meetpunt ligt in de sloot.



Figuur 16. Dwarsdoorsnede van perceel 13 met de boorprofielen, grondwaterstand en chloride-isochronen.

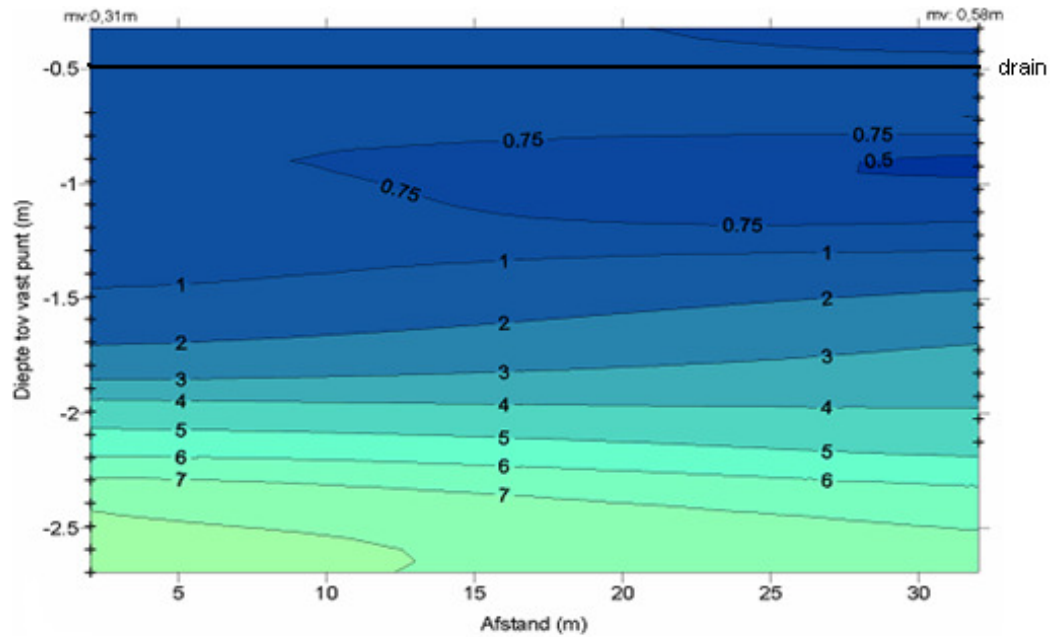


Fig 17. EC-bodemprofiel van perceel 10 met EC (mS/cm) waarden van de bodem. Dit transect ligt op de drainagebuis.

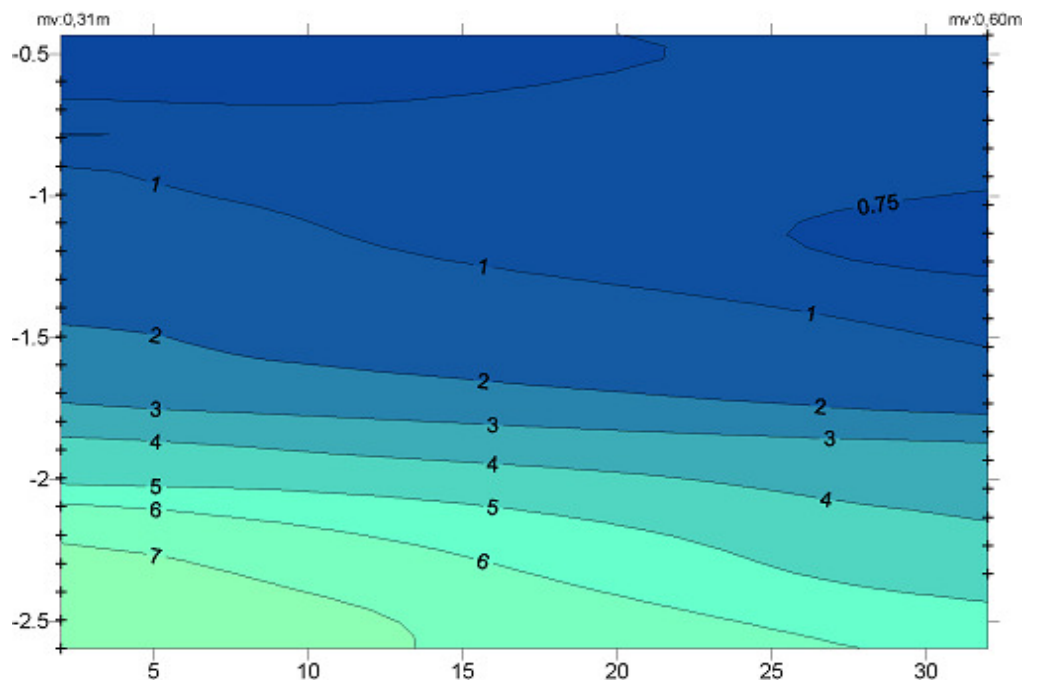


Fig 18. EC-bodemprofiel van perceel 10 met EC (mS/cm) waarden van de bodem. Dit transect ligt parallel aan de meetpunten op de drainagebuis.

6.4.3 Discussie

De ligging van het perceel onder zeeniveau en de wetenschap dat hier in vroeger tijden zee is geweest doet zoute kwel vermoeden. In paragraaf 5.2.3 is beschreven dat bij waarden vanaf 4,37 mS/cm chloridegehalten van boven de 1000 mg/l worden aangetroffen. (dit geldt alleen als de minimale formatieconstante van 0,86 is gebruikt). Aan de hand van de meetresultaten kan geconcludeerd worden dat er inderdaad sprake is van zoute kwel, deze richt zich vooral op de sloot. Dit bevestigt de bestaande theorie

dat de sterkste kwelflux en dus de hoogste zoutgehalten zich richten op de sloten. (zie paragraaf 4.2)

De stijghoogte van het watervoerend pakket van dit perceel ligt op -0,70 m NAP en het zomerpeil⁸ op -1,4 m NAP. De stijghoogte komt dus boven het waterpeil uit. Je zou hier dus kwel verwachten naar de sloot toe. Omdat de dikte van de deklaag ter plaatse van de sloot kleiner is dan op het perceel, is de weerstand van de deklaag onder de sloot waarschijnlijk ook kleiner. Dit is de reden dat de grootste kwelstroom te vinden is onder de sloot. Over de invloed van de drain op de zoet-zout verdeling valt niet veel te zeggen, van te voren werd aangenomen dat drains zout grondwater aantrekken maar dit komt hier niet duidelijk naar voren. Het profiel heeft immers een redelijke dikke brakke regenwaterlens.

6.5 Perceel 18

6.5.1 Algemeen

Dit perceel is gelegen nabij in dorpje Rilland in het oosten van Zuid-Beveland. Er is hier gemeten in een raai 69 meter in het veld. Dit is te zien in bijlage H.7 van dit rapport. Het maaiveld ligt hier op zo'n +1,6 m NAP. De afstand tot de Oosterschelde bedraagt 750 m. Het perceel ligt op het nieuwanland. Deels op een kreekrug en deels in een poel- of jong schorgebied De bodemopbouw is zeer homogeen, op alle meetpunten bestaat de bovenlaag uit een zavelig materiaal tot een diepte van 0,5 meter onder het maaiveld. Daaronder ligt een pakket zand tot onbekende diepte. Dit materiaal bood zoveel weerstand tegen het prikken dat per punt te weinig metingen zijn gedaan om hier Surfer- en Excel figuren mee te maken. De eigenaar zegt geen last te hebben van zout grondwater.

6.5.2 Resultaten

Alle gemeten chloride-waarden liggen verdeeld over het perceel tussen de 220 en 320 mg/l. De waarden onder de sloot liggen niet hoger dan op de andere meetpunten. Het slootwater zelf bevat een chloride-concentratie van 540 mg/l wat tot de categorie brakwater behoort. (<1000 mg/l)

6.5.3 Discussie

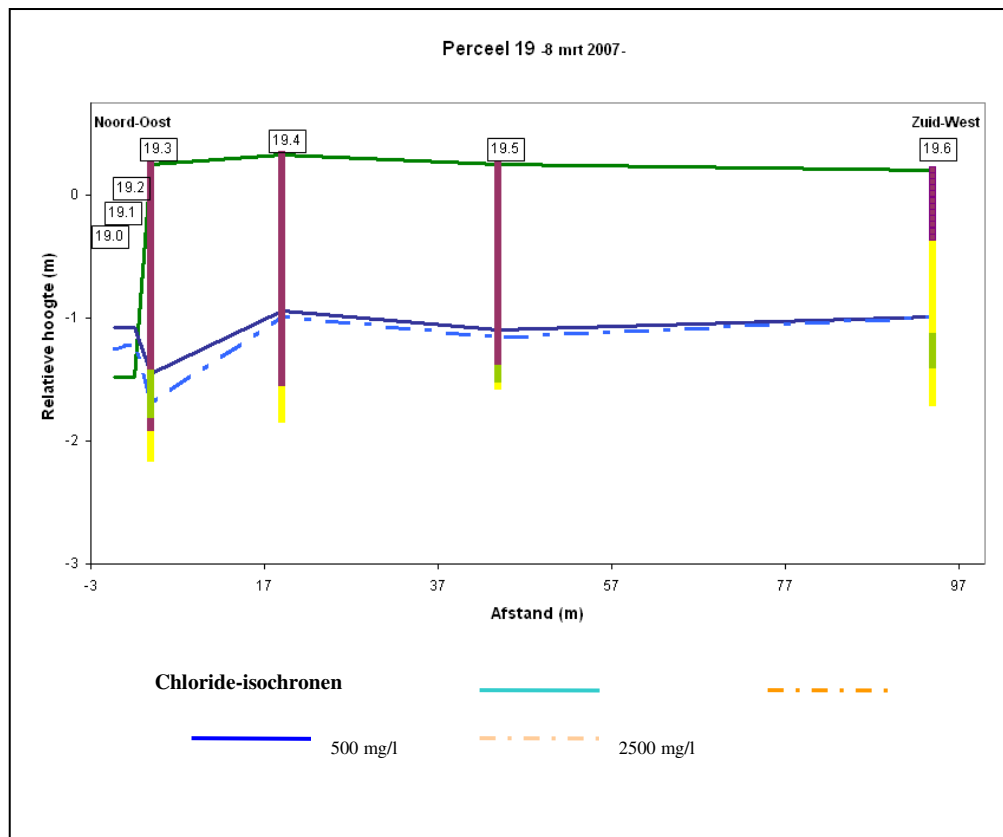
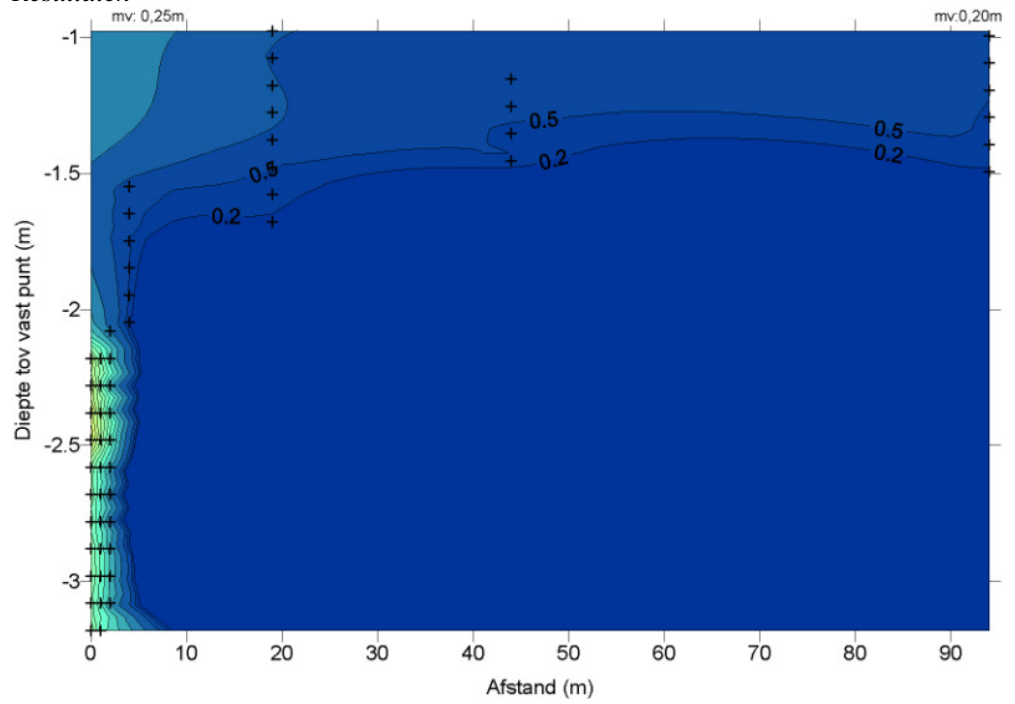
Invloed van zoute kwel op dit perceel is dus niet terug te vinden in de meetresultaten.. Met een stijghoogte van +0,18 m NAP en een winterpeil van -0,2 m NAP zou hier kwel verwacht worden. Vergeleken met andere bemeeten percelen is het potentiaalverschil klein te noemen. De hoogte van het maaiveld speelt een belangrijke rol voor het bepalen van die stijghoogte. Deze ligt ruim +1,5 m NAP. Verder is de bodem erg zandig, het regenwater kan dus goed infiltreren in deze doorlatende bodem. Doordat het perceel deels op een kreekrug ligt, ligt het maaiveld zo hoog en is de bodemopbouw van het perceel zo zandig. Bij gebrek aan meetgegevens valt niets te zeggen over verschillen in chloridegehalten gemeten op de kreekrug en gemeten in het poel- of jonge schorgebied. De ligging van het perceel ten opzichte hiervan is weergegeven in bijlage G.8

⁸ Zomerpeil: het peil wat wordt aangehouden gedurende 1 april tot 31 oktober

6.6 Perceel 19

6.6.1 Algemeen

6.6.2 Resultaten



6.6.3 *Discussie*

6.7 **Perceel 22**

6.7.1 *Algemeen*

Dit landbouwperceel ligt op Schouwen-Duiveland ten oosten van de stad Zierikzee. (zie bijlage H.8) Er is gemeten in een raai van sloot naar sloot. De afstand van het midden van sloot zuid naar het midden van sloot noord bedraagt 252 m. Het maaiveld ligt hier op +0,64 m NAP. Het winterpeil ligt op -1,6 m NAP en de stijghoogte van het eerste watervoerend pakket ligt op -0,85 m NAP. Verder is bekend dat het perceel op het nieuwland en in een poel- of jong schorgebied ligt. Het gebied is ondergelopen in 1953. De afstand tot de Oosterschelde bedraagt ongeveer 1190 m. Met uitzondering van punt 22.2 bestaat de toplaag van elk meetpunt uit een zavelig materiaal. De dikte van deze laag varieert van 0,3 tot 0,8 m. Daaronder komt op vrijwel elk punt een zandlaag voor. Hierna wordt de bodemopbouw wat heterogener en komen afwisselend klei-, veen-, en zavellagen voor. Bij de punten 22.4 en 22.5 komen veen voor. Bij punt 22.5 komt deze voor vanaf 2,8 m onder het maaiveld, de laag loopt door tot een onbekende diepte. (zie figuur 20)

6.7.2 *Resultaten*

Aan het EC-Surfer profiel in figuur 19 en aan de dwarsdoorsnede van het perceel in figuur 20 is te zien dat de EC- en chloridewaarden sterk oplopen bij beide sloten. Opvallend is het grote verschil in gemeten EC's tussen de NO sloot en de rest van het perceel. In het maaiveld komen de chloridegehalten niet boven de 1270 mg/l terwijl de waarden in de NO sloot oplopen tot zo'n 8750 mg/l. Ook de ZW sloot vangt kwel op, maar wel in mindere mate. De hoogste waarde hier gemeten ligt rond de 4500 mg/l. Ook het verschil in waarden tussen de metingen aan de slootkant van de NO gelegen sloot en metingen 1 m verder in de sloot zijn enorm groot. De EC-waarden hebben een verschil van bijna 8000 mg/l..

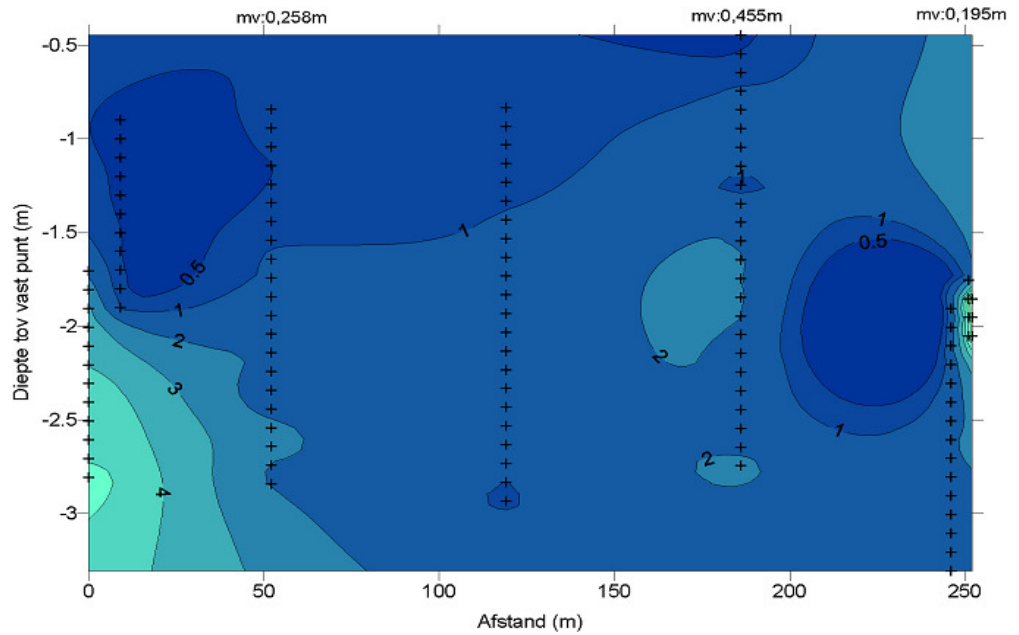
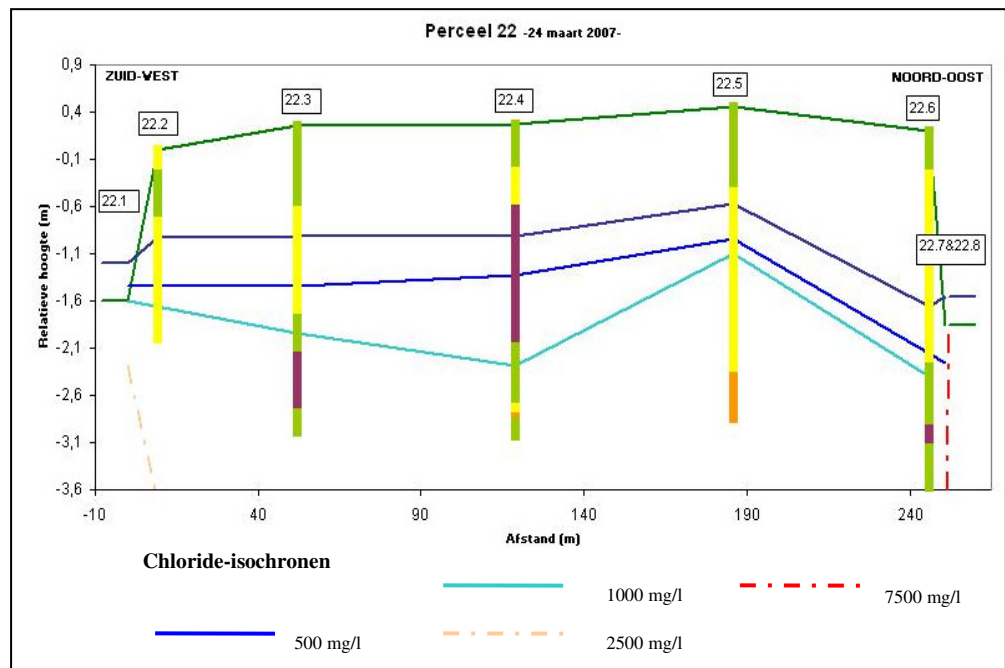


Fig 19. EC-bodemprofiel van perceel 22 met EC (mS/cm) waarden van de bodem. Op dit transect is gemeten van sloot naar sloot.



Figuur 20. Dwarsdoorsnede van perceel 22 met de boorprofielen, grondwaterstand en chloride-isochronen

6.7.3 Discussie

Door het feit dat de stijghoogte bijna 0,8 m boven het winterpeil uitkomt, zou je hier kwel verwachten. Meetresultaten hebben aangetoond dat deze inderdaad aanwezig is. Verder vindt tussen de sloten infiltratie plaats, dit komt door de hoge ligging van het perceel in combinatie met een vrij doorlatende bodem. De hoge ligging heeft waarschijnlijk te maken met de ligging vlakbij een kreekrug. Dit is in bijlage G.9 goed te zien.

De NO sloot ligt ongeveer 40 cm dieper dan de ZW sloot, hierdoor ondervindt het opkwellende water minder weerstand en komt op deze plaats makkelijker naar boven.

Er vindt waarschijnlijk een sterk zoute kwel plaats die zeer sterk op de NO sloot gericht is. In het maaiveld is de invloed van zoute kwel veel minder merkbaar. Waarschijnlijk zorgt het peil in de sloot voor een afname van de stijghoogte in het watervoerend pakket in het perceel. Hierdoor kan de stijghoogte in het perceel minder hoog komen.

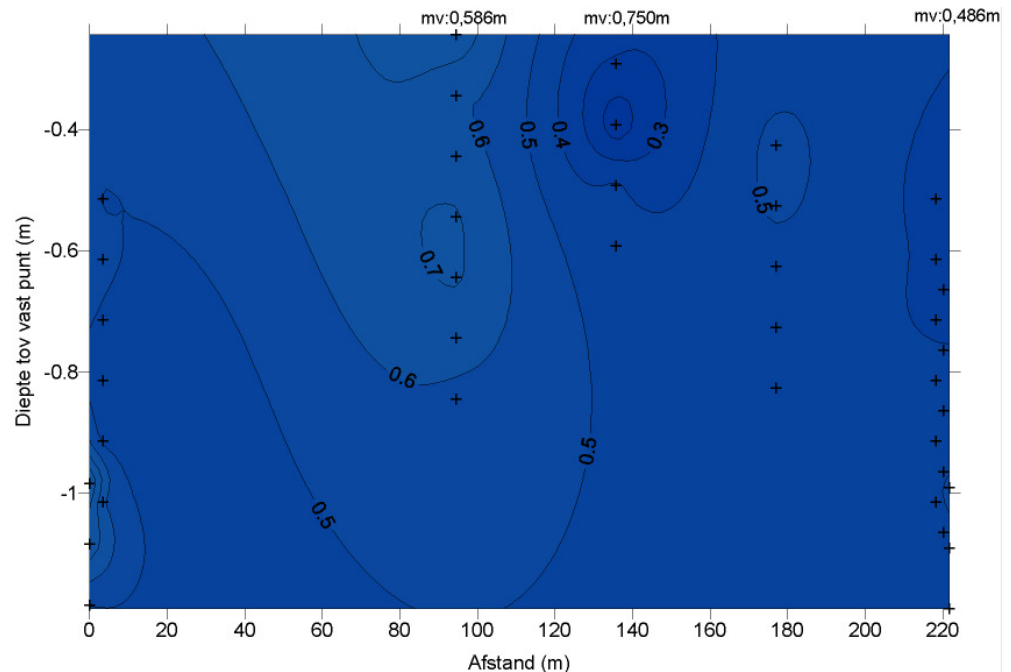
De reden dat het verschil in waarden tussen de metingen aan de slootkant van de NO gelegen sloot en metingen verderop in de sloot enorm groot zijn, heeft waarschijnlijk met het 'zoete' water dat uit het perceel richting de sloot stroomt. Het zoute grondwater onder de sloot wordt namelijk aan de perceelzijde weggeduwd door dit 'zoete' water. Het grondwater van het laatste meetpunt is waarschijnlijk kwel en komt dus van dieper. Hierdoor is er een scherpe zoet-zout gradiënt zichtbaar. Het verschil tussen de waarden aan de rand en het midden van de sloot komt niet duidelijk naar voren in de figuren, dit komt doordat de afstand tussen rand en midden sloot maar 1 m is.

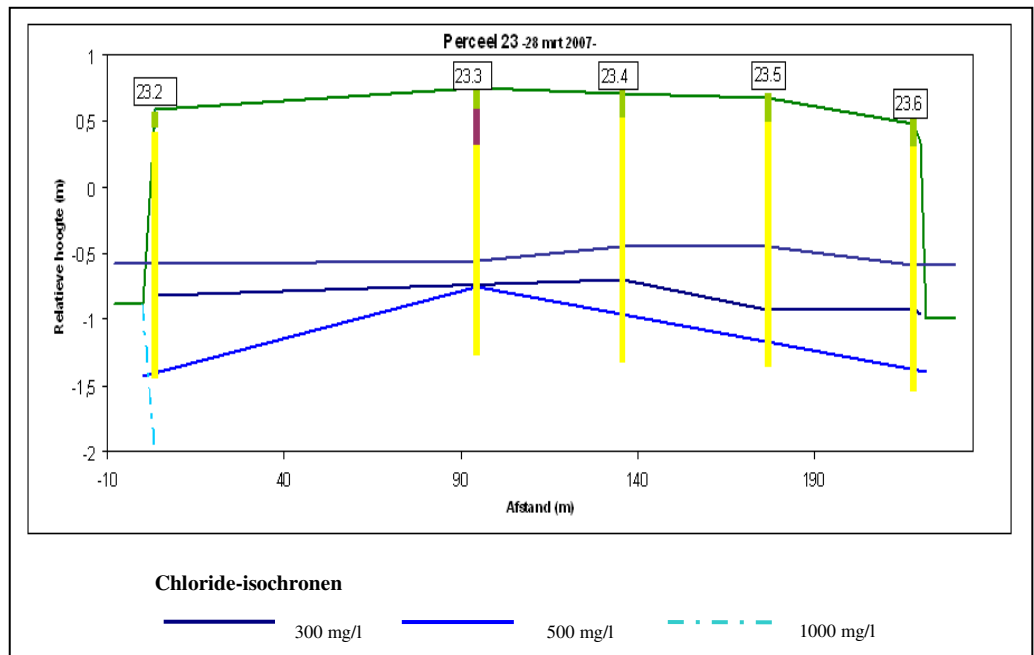
Belangrijk is dat gelet moet worden op het feit dat het Surferprofiel niet meer klopt onder de laatste meting onder de NO sloot. Waarden van het vorige punt (welke veel lagere chloridegehalten bevatten) worden dan doorgetrokken. De kwelflux kan dus nog veel verder worden doorgetrokken dan het figuur laat zien.

6.8 Perceel 23

6.8.1 Algemeen

6.8.2 Resultaten



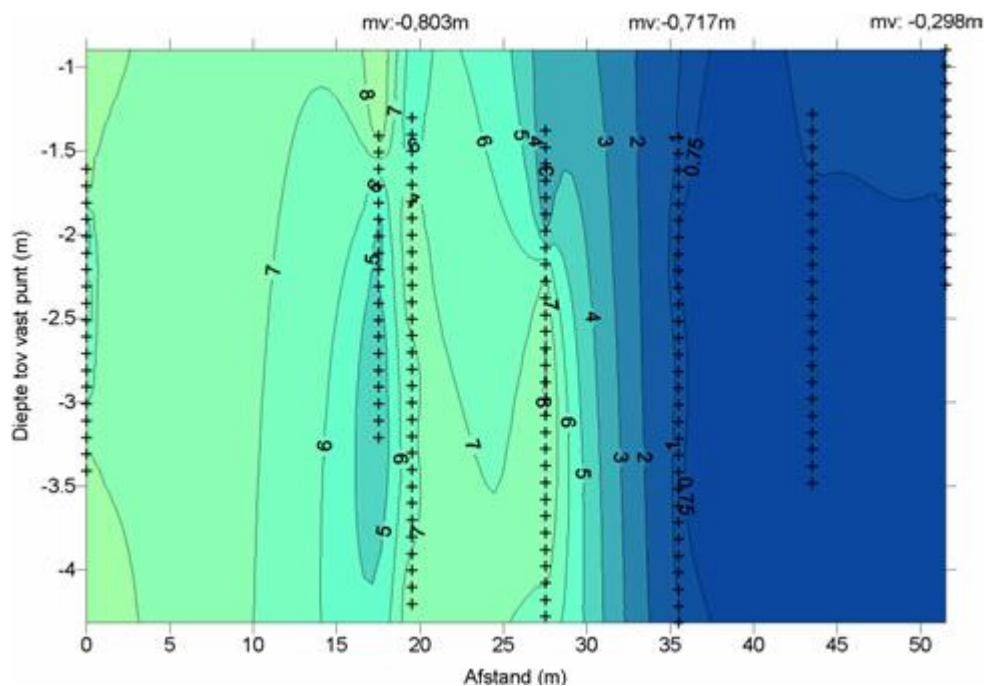


6.8.3 Discussie

6.9 Perceel 25

6.9.1 Algemeen

6.9.2 Resultaten



6.9.3 Discussie

Tweede meetserie

Een aantal percelen zijn uitgekozen om te bemeten tijdens de tweede meetserie. Dit betreffen de percelen 1, 4, 7, 16 en 27. Behalve perceel 4 worden de resultaten in onderstaande paragrafen besproken. Deze percelen zijn gekozen doordat tijdens de eerste meetserie op elk perceel regenwaterlenzen te vinden waren. Door te meten in verschillende seizoenen kan gezien worden wat de invloed van de seizoenen is op de zoet-zout verdeling en automatisch op de dikte en de vorm van de regenwaterlenzen.

6.10 Perceel 1

6.10.1 Algemeen

Dit perceel is gelegen aan de noordzijde van het eiland Schouwen-Duiveland, in de buurt van het dorp Brouwershaven. Het perceel is gemeten in een raai loodrecht op de drainage vanaf de sloot langs de weg tot op een afstand van ruim 115 meter in het veld. Het perceel was te groot om te meten van sloot tot sloot.

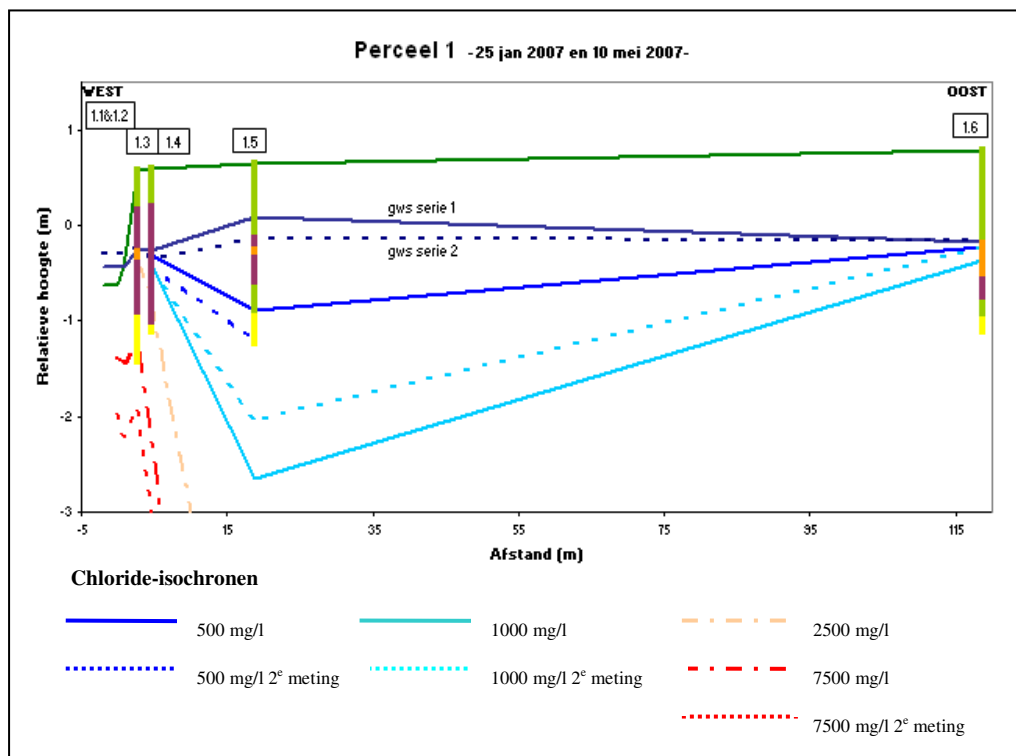
Het maaiveld ligt op een gemiddelde hoogte van - 1,4 m NAP. Het perceel bevindt zich in een poel- of jong schorgebied en behoort tot de oudlanden.

De bodem op dit perceel bestaat uit een pakket zavel en klei dat op een diepte van zo'n 1,6 meter onder maaiveld begrensd wordt door sterk zandig materiaal. Bij 3 van de 4 boorpunten is ook een laagje veen aanwezig. Op het moment van meten wordt het perceel gebruikt voor het verbouwen van aardappelen. Feit is dat er ongeveer 6 weken van droogte vooraf zijn gegaan aan de periode waarin gemeten is.

6.10.2 Resultaten

Aan de twee EC-Surfer profielen in de bijlagen B.3 en B.4 en aan de dwarsdoorsnede van het perceel in figuur 21 is te zien dat de EC- en chloridewaarden sterk oplopen bij de sloot. Er komen hier waarden tot 7500 mg/l voor. Verder het maaiveld in nemen de waarden sterk af. Dit wijst erop dat er een sterke kwelflux plaatsvindt richting de sloot. Met name punt 1.5 op zo'n 20 meter van de sloot laat EC's en chloridegehalten zien die ruim 10 keer zo klein zijn als onder de sloot. Alleen bij het laatste meetpunt liggen de waarden weer wat hoger.

Tijdens de tweede meetserie is dieper gemeten dan bij de eerste meetserie (zo'n 3,5 maand daarvoor). Omdat de verzadigde zone dieper lag, is ook dieper begonnen met meten. Doordat dieper gemeten is, is nu goed te zien dat de EC's waarschijnlijk bij punt 1.4 vrij sterk stijgen.



Figuur 21. Dwarsdoorsnede van perceel 13 met de boorprofielen, grondwaterstand en chloride-isochronen.

6.10.3 *Vergelijking resultaten eerste met tweede meetserie*

In bijlage B.3 en B.4 waarin de EC-profielen zijn weergegeven is te zien dat het profiel van de eerste meetserie van de sloot af niet veel verschilt met die van de tweede meetserie. Aan de ‘verschillengrafiek’ is te zien dat de EC-waarden hier maximaal 2 mS/cm verschillen. In en aan de rand van de sloot zijn de verschillen groter. Tijdens de tweede meetserie zijn hier waarden gemeten welke maximaal zo’n 8 mS/cm hoger liggen dan de EC’s tijdens de eerste meetserie.

Bij beide profielen en ook in de perceeldoorsnede in figuur 21 is een duidelijke lensvorm te onderscheiden. Deze bestaat uit regenwater. Het valt op dat deze lens bij de eerste meetserie een stuk ondieper ligt dan bij de tweede meetserie. Aan het ‘verschillengrafiekje’ in bijlage B.2 is te zien dat er voornamelijk positieve verschillen gemeten zijn. De waarden liggen dus toch hoger tijdens de tweede meetserie. Er kan dus gezegd worden dat het systeem zouter is geworden.

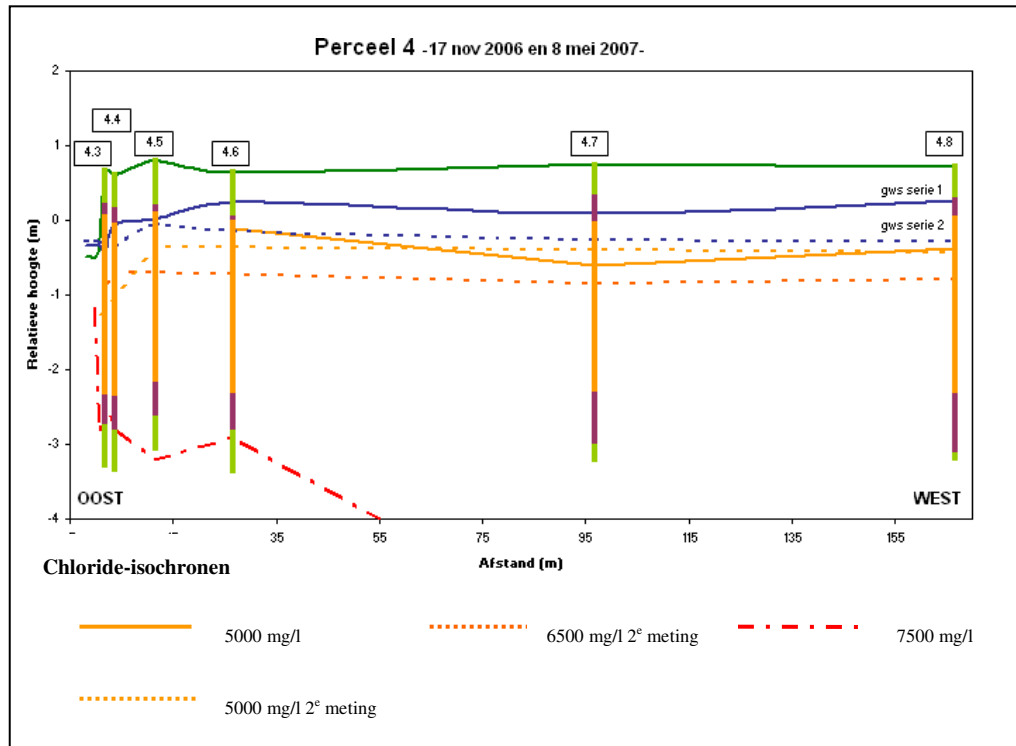
6.10.4 *Discussie*

Opvallend is dat de opbolling van de grondwaterstand op punt 1.5 het grootst is. (zie figuur 21) Doorgaans is dit het geval midden in het perceel, tussen de twee afvoersloten. Wat ook opvalt, is dat de lens bij de eerste meetserie een stuk ondieper ligt dan bij de tweede. Waarschijnlijk klopt dit niet, vanwege het ontbreken van meetgegevens heeft het programma Surfer dit ‘verkeerd’ geïnterpoleerd. De perceelsloot heeft een zomerpeil van -2,50 m NAP. De gemeten stijghoogte staat op -1,05 NAP. De verwachting dat hier een kwelflux naar de sloot toe aanwezig is, is dus te bewijzen met de metingen. Feit is dat er een vrij hoge grondwaterstand is gemeten, deze minimaliseert het potentiaalverschil in het eerste watervoerend pakket, waardoor er midden op het perceel nauwelijks kwel lijkt te zijn. Infiltrerend regenwater lijkt hier te drijven op het zoute kwelwater. De kwelflux naar de sloot toe ligt tijdens de eerste meetserie hoger. Doordat het verschil tussen stijghoogte en winterpeil groter is dan in de zomer (verschil is 0,28m), is de kwelintensiteit ook groter.

6.11 **Perceel 4**

6.11.1 *Algemeen*

6.11.2 *Resultaten*



6.11.3 *Vergelijking resultaten eerste met tweede meetserie*

6.11.4 *Discussie*

6.12 **Perceel 7**

6.12.1 *Algemeen*

Deze locatie is op het meest westelijke punt van het eiland Tholen gelegen, de locatie ligt ten west van het dorp Stavenisse. Het perceel is bemeten vanaf een sloot het perceel in. Het perceel was namelijk te groot om van sloot naar sloot te bemeten. De meetpunten liggen evenwijdig aan de zeedijk op een straal van maximaal 90 m. De punten 7.1 t/m 7.6 zijn tussen 2 drains in gemeten. De afstand tussen de drains is ongeveer 20 m.

Verder is op dit perceel gekozen een extra meetlijn loodrecht op de drain te bemeten, zo kan de invloed hiervan worden bestudeerd. Het maaiveld ligt gemiddeld +0,6 m NAP en het zomer van de sloten ligt respectievelijk op -0,7 m NAP. De stijghoogte staat op +0,13 m NAP en de afstand tot de Oosterschelde bedraagt slechts 100 m. Op de dag van de meting was het erg stormachtig, met veel regen en wind. Veel zout werd vanuit de Oosterschelde op het land gedeponeed. Ook is bekend dat het gebied op het nieuwland ligt en zich bevindt in een poel- of jong schorgebied. De bodemprofielen van de punten 7.3 t/m 7.5 zijn erg homogeen, ze bestaan tot een diepte van 3,5 m onder het maaiveld uit matig tot zware zavel. Punt 7.6 is zandig (vooral lichte zavel).

6.12.2 Resultaten

In bijlage C.4 is te zien dat de EC-waarden nogal verschillen over het perceel. De sloot lijkt geen zoute kwel aan te trekken. Bij de punten 7.1 t/m 7.5 komt de EC niet boven de 4 mS/cm terwijl bij het laatste meetpunt een EC van rond de 6 mS/cm wordt gemeten. De hogere EC waarden van punt 7.6 zijn ook duidelijk waarneembaar in figuur 22. Op dit punt wordt als enige tijdens de tweede meetserie de 5000 mg/l grens overschreden. De brak zout-grens van 1000 mg/l van de eerste meetserie verschuift langzaam in de richting van het maaiveld. Tijdens de tweede meetserie gebeurt het tegengestelde. Verder is uit het figuur duidelijk te zien dat de grondwaterstand verder van de sloot vandaan omhoog komt.

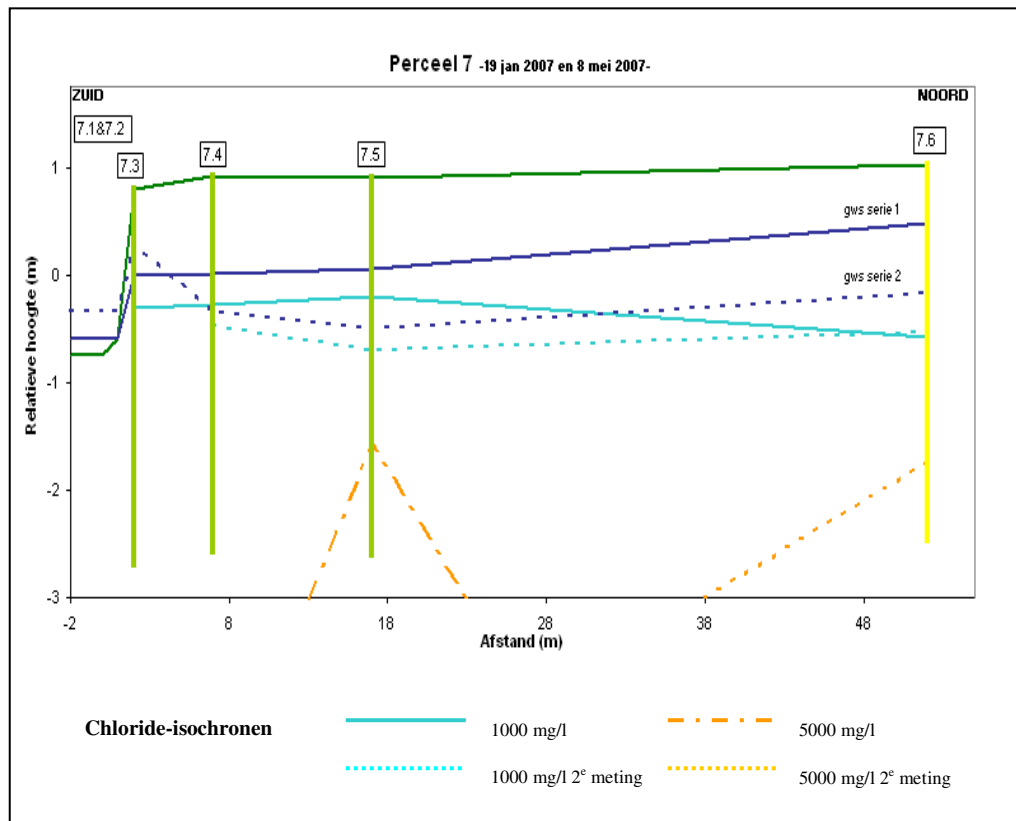


Fig 22. Dwarsdoorsnede van perceel 7 met de boorprofielen, grondwaterstand en chloride-isochronen.

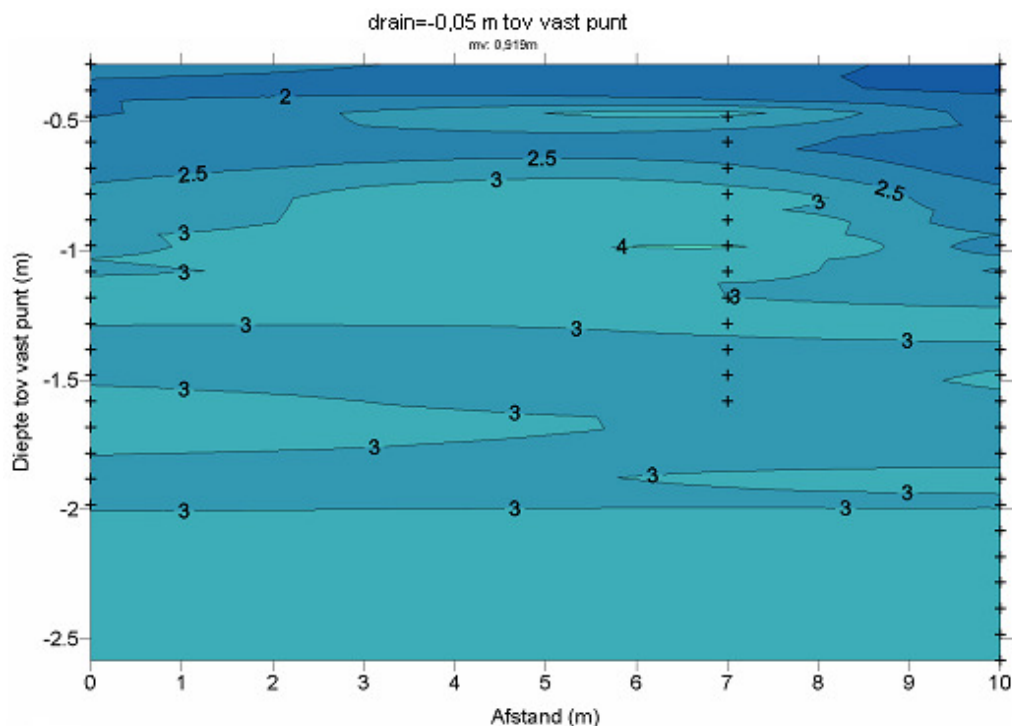


Fig 23. EC-bodemprofiel van perceel 7 met EC (mS/cm) waarden van de bodem. Dit transect loodrecht op de drainagebuis.

6.12.3 *Vergelijking resultaten eerste met tweede meetserie*

Over het algemeen lijken de resultaten van de tweede meetserie op die van de eerste. Wanneer naar de Surfer-profielen in de bijlagen C.3 en C.4 wordt gekeken is te zien dat de EC-waarden maar weinig verschillen. In de 'verschilgrafiek' in bijlage C.2 is wel te zien dat er meer positieve waarden voorkomen dan negatieve. Dit betekent dat er tijdens de tweede meetserie hogere waarden zijn gemeten. Voor punt 7.6 geldt dit niet, hier komen juist hogere waarden voor tijdens de eerste meetserie.

Wat ook opvalt in de EC-figures is dat de donkerblauwe vlek bij de eerste meetserie over het gehele bemeten gebied doorloopt en bij de tweede serie veel later begint. Verder valt op dat onder punt 7.5 iets zoeter is gemeten en onder 7.6 iets zouter vanuit de ondergrond.

6.12.4 *Discussie*

Door het waterpeil onder NAP en een afstand tot de zeedijk van maar 100 m zou je hier kwel verwachten. Ook als naar het potentiaalverschil van 0,8 m wordt gekeken zou hier een kwel naar de sloot toe verwacht worden. Een reden waarom hoge waarden gemeten zijn in de tweede meetserie bij punt 7.6 kan worden gezocht in de bodemopbouw. De weerstand van de deklaag is hier van belang, bij punt 7.6 bestond de bodem alleen uit zand. Dit heeft een kleinere weerstand dan de zavellagen die bij de andere punten zijn gevonden. Kwel kan zich hier dan gemakkelijker voortbewegen. Het verschil in EC's tussen de eerste en de tweede meetserie kan verklaard worden door een daling van de grondwaterspiegel als gevolg van toegenomen verdamping. Als gevolg van deze daling wordt het potentiaalverschil van het eerste watervoerend pakket groter, hierdoor wordt er een sterkere kwel aangetrokken. Invloed van de drain op de zoet-zout verdeling is niet gemeten, dit is goed te zien (zie figuur 23.)

6.13 Perceel 16

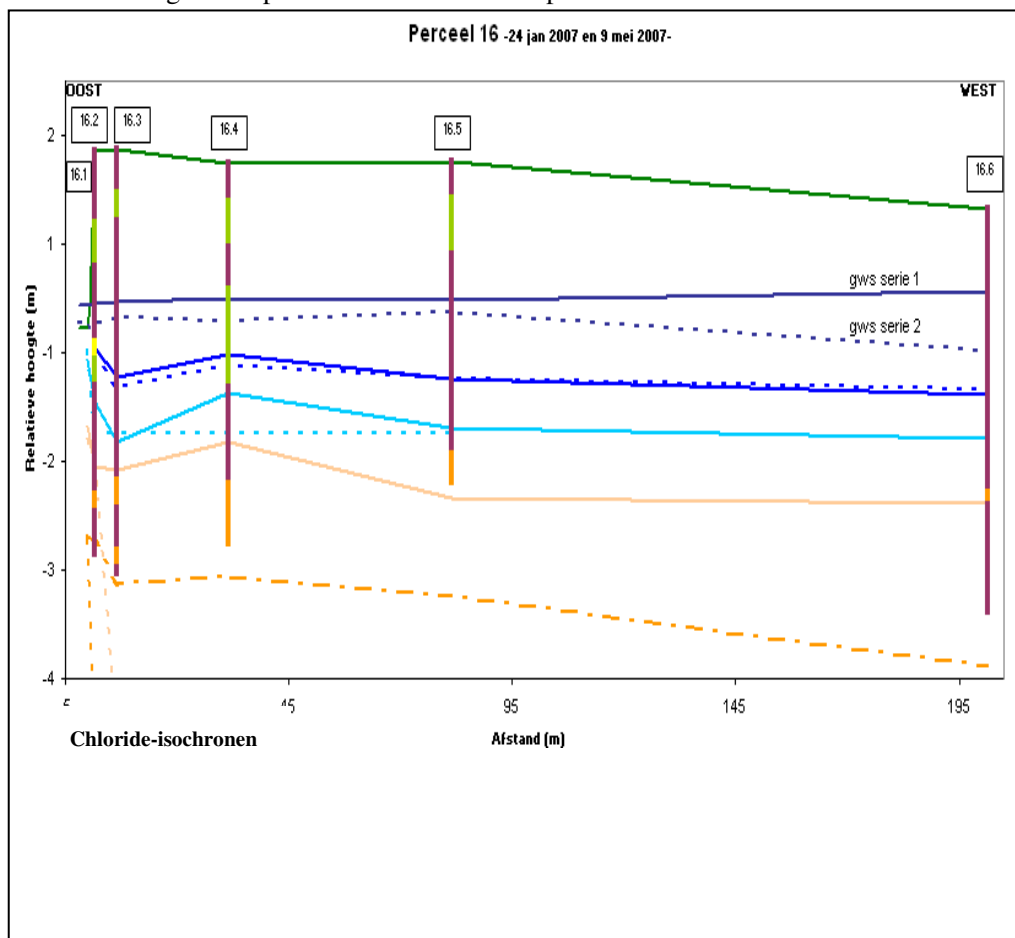
6.13.1 Algemeen

Dit perceel is gelegen in de Westerlandpolder, ten zuiden van het Veerse Meer op het eiland Zuid-Beveland. Het maaiveld van dit perceel ligt op +0,97 m NAP. Het winterpeil en zomerpeil liggen op -0,6 m NAP. Er is gemeten in een raai vanuit de perceelssloot tussen 2 drains in tot op een afstand van 200 in het maaiveld. De drains hebben een onderlinge afstand van 16 m. Het perceel ligt op een nieuwland, deels op een kreekrug en deels in een poel- of jong schorgebied. De afstand tot de Oosterschelde bedraagt ongeveer 1300 m.

Op de 5 punten waar is geboord bestaat de bovenste laag uit zeer slecht doorlatende zware klei (zie figuur 24). Ook onder deze toplaag bestaat de bodem afwisselend uit zavel en klei- en veenlagen.

6.13.2 Resultaten

In bijlage D.4 is te zien dat bij punt 16.1 en 16.2 de hoogste EC-waarden zijn gemeten. Op alle meetpunten in dit perceel is een mooie gradiënt zichtbaar in de diepte. In het perceel is weinig variatie in verdeling van de EC-waarden gemeten. Onder de sloot worden echter wel duidelijk veel hogere waarden gemeten. Gelet op onderstaande figuren is er duidelijk sprake van zoute kwel naar de perceelssloot. Bij de tweede meetserie lopen deze waarden op tot zo'n 6200 mg/l. Verder valt op dat de maaiveldhoogte bij 16.5 ongeveer 40 cm lager ligt dan bij punt 16.2. Bij de tweede meetserie ligt de grondwaterstand dieper. Uit de metingen is ook gebleken dat deze het maaiveld van begin tot eind volgt. De grondwaterstand in de eerste meetserie bleef op dezelfde hoogte ten opzichte van het referentiepunt.



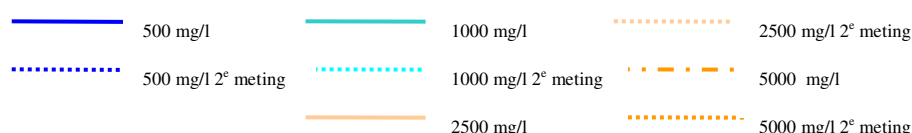


Fig 24. Dwarsdoorsnede van perceel 16 met de boorprofielen, grondwaterstand en chloride-isochronen.

6.13.3 Vergelijking resultaten eerste met tweede meetserie

Opvallend is dat na een vergelijking tussen de interpolatieprofielen van beide meetseries blijkt dat tijdens de eerste meetserie hogere EC-waarden zijn gemeten. Ook is te zien dat de waarden tot 2 mS/cm tijdens de tweede meetserie gemiddeld ongeveer 10 cm dieper liggen dan tijdens de eerste meetserie is gemeten. De verdeling van de waarden onder en rondom de sloot zijn vrij identiek. Verder in het maaiveld worden de verschillen tussen de twee meetseries groter, waar bij het meetpunt 16.6 tijdens de eerste meetserie een waarde van rond de 6 mS/cm voorkomt op ongeveer -1,8 m tov het referentiepunt, komt een waarde van ongeveer 3 mS/cm voor tijdens de tweede meetserie. In figuur 24 is dit ook goed te zien, waarden tussen de 2500 en 5000 mg/l komen tijdens de tweede meetserie alleen onder en rondom de sloot voor, verder in het maaiveld zijn deze niet meer terug te vinden. Tijdens de eerste meetserie lopen de isochronen van begin tot het eind van het perceel.

6.13.4 Discussie

De perceelsloot heeft een zomerpeil van -0,6 m NAP. De stijghoogte staat op -0,26 m NAP. De verwachting is dus dat er een kwel aanwezig zal zijn. Deze is te bewijzen met de metingen. Een verklaring voor de lagere meetwaarden tijdens de tweede meetserie is moeilijk te vinden.

Een grote daling van de stijghoogte in het watervoerend pakket kan de oorzaak zijn van de lagere waarden tijdens de tweede meetserie. Dat het perceel deels op een kreekrug ligt is niet terug te halen uit figuur 13. Punt 16.6 ligt juist dieper terwijl dit punt verder van de kreekrug af ligt. Zand, wat je toch bij een kreekrug zou verwachten is bijna niet terug te vinden in het bodemprofiel. De Cl-isochronen lopen allemaal vrij constant. Waarschijnlijk ligt het gehele bemeeten gebied toch in een poel of jong schorgebied. En dus niet op een kreekrug.

6.14 Perceel 27

6.14.1 Algemeen

Dit perceel is een natuurgebied. Het veld, dat eigendom is van Staatsbosbeheer, ligt ten oosten van het dorp Kapelle te Zuid-Beveland. Het zoute (17000 mg Cl/l) kanaal door Zuid-Beveland dat de Wester- en Oosterschelde met elkaar verbindt, bevindt zich op een afstand van 700 m van het bemeeten perceel. De Oosterschelde bevindt zich op een afstand van 2900 m. Het perceel bevindt zich in een poel- of jong schorgebied op het oudland. Het winter- en zomerpeil liggen op -1,8 m NAP. Er is gemeten tussen 2 sloten, welke een onderlinge afstand hebben van 70 m. Over het gemeten traject golft het maaiveld enigszins heen en weer, een lage veldstroken was gevuld met grondwater. Het hoogste veldpunt bevindt zich 35 cm hoger dan het laagste veldpunt.

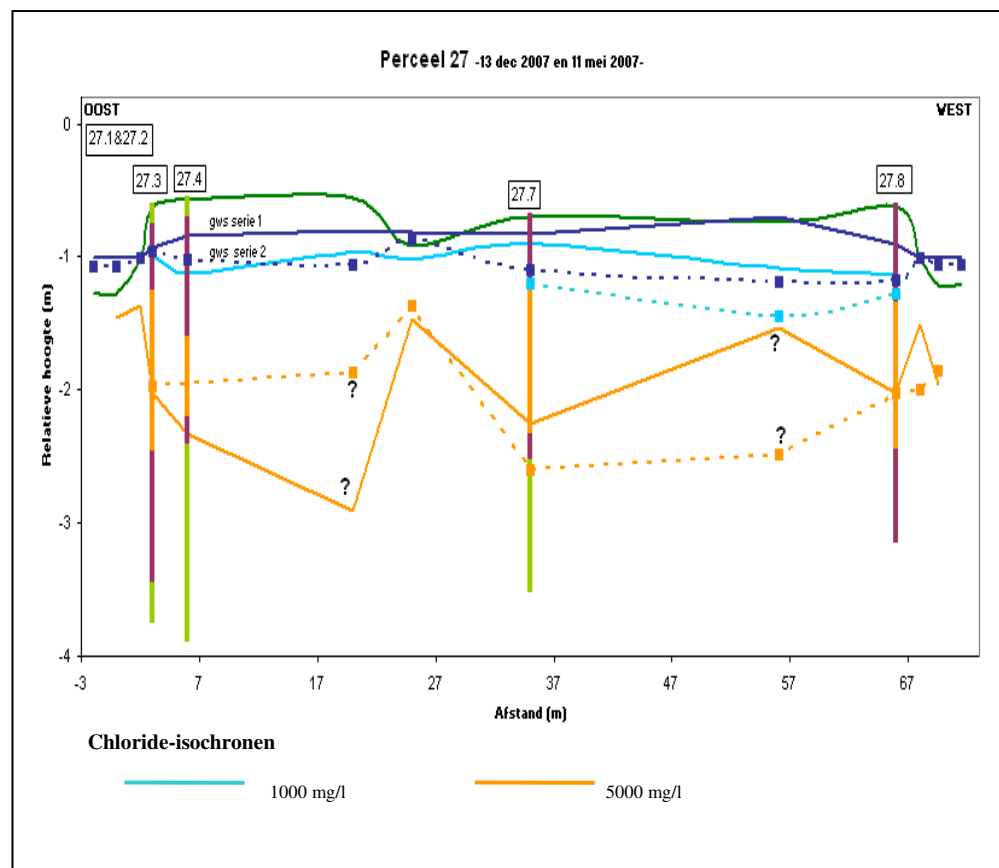
De bodem is vrij homogeen en wordt gekenmerkt door een bovenste kleilaag van minder dan een meter dik. Daaronder bevindt zich een veenpakket van ongeveer een

meter dikte. 2 m onder het maaiveld is opnieuw een laag klei gevonden, opgevolgd door matige en zware zavel.

Door de inklinking van het veen ligt het perceel erg laag, het maaiveld ligt op een gemiddelde hoogte van -1,1 m NAP.

6.14.2 Resultaten

In bijlage E.4 is te zien dat de EC's in de bodem met de diepte snel toenemen. Opvallend zijn de EC- en chloridewaarden welke in het veenpakket gemeten zijn (zie figuur 25). De hoogste waarden zijn hier net als bij perceel 3 terug te vinden. Verder is te zien dat sloten en depressies in het veld een zoute kwelflux aantrekken. In het midden van de sloot wordt al op 0,8 m onder het slootpeil een (omgerekend) chloridegehalte van 6600 mg/l gemeten. Samen met perceel 3 en 10 is dit perceel een van de zoutst bemeten percelen.



..... 1000 mg/l 2^e meting 5000 mg/l 2^e meting

Fig 25. Dwarsdoorsnede van perceel 27 met de boorprofielen, grondwaterstand en chloride-isochronen.

6.14.3 *Vergelijking resultaten eerste met tweede meetserie*

In figuur 14 is te zien dat de chloride-isochronen van 5000 mg/l op sommige plaatsen zelfs significant van elkaar afwijken. Waar de grens van de eerste meetserie aan de oostelijke zijde lager ligt, ligt deze aan de westelijke zijde juist hoger. Vanaf ongeveer 20 m van het beginpunt tot zo'n 35 m is dit verschil opmerkelijk kleiner.

Het eerste wat opvalt in de EC-figuren van de bijlagen E.3 en E.4 is dat waar de blauwe vlek in het Surferprofiel tijdens de tweede meetserie ophoudt, deze loopt tijdens de eerste meetserie over het gehele gebied door. Tijdens de eerste is meetserie een duidelijkere lensvorm te onderscheiden. Dit wordt onder andere veroorzaakt doordat het beginpunt van de metingen tijdens de tweede meetserie dieper lag dan tijdens de eerste. Gemeten waarden lopen tijdens de eerste meting minder snel op. De invloed van infiltrerend regenwater lijkt groter. Dit wordt onderbouwd door het feit dat in de 'verschillengrafiek' meer positieve getallen te vinden zijn. De waarden liggen dus hoger tijdens de tweede meetserie.

6.14.4 *Discussie*

De reden waarom dit perceel zo zout is, kan onder andere in de geologie worden gezocht. Het perceel ligt in een poelgebied. De geologische oorzaak is exact dezelfde, als degene welke bij perceel 3 is beschreven. Omdat het veen in vroeger tijden al doordrenkt was met zout water door de overstromingen, bleven de poelgronden dus veel zilter.

De ruime ligging onder zeeniveau en de geringe afstand tot het kanaal door Zuid-Beveland doet zoute kwel vermoeden. Dit is ook te zien aan de peilbuis die op dit perceel aanwezig is, de stijghoogte hiervan ligt op -1,38 m NAP, terwijl het winter- en zomerpeil op -1,8 m NAP liggen. Aan de hand van de meetresultaten kan inderdaad geconcludeerd worden dat deze kwel zeker aanwezig is. De hoogste waarden worden gemeten onder de sloten en depressies in het maaiveld. Dit bevestigt wederom de theorie dat de sterkste kwelfluxen en dus hoogste zoutgehalten zich richten op de sloten. Het verschil in hoogte van de Cl-5000 isochroon aan de westelijke zijde van het gebied tijdens de eerste en tweede meetserie, wordt mogelijk veroorzaakt door een verandering van de grondwaterspiegel. Het valt op dat op het punt waar de verlaging van de isochroon is gemeten, ook geen water op het maaiveld staat. Er vind hier nu waarschijnlijk infiltratie door regenwater plaats, zo'n 5 maanden voor de tweede serie was dit nog niet het geval.

De stijging van de Cl-5000 isochroon aan de oostelijke zijde van het gebied wordt mogelijk veroorzaakt door een verandering (verhoging) in de stijghoogte van het watervoerend pakket. In bijlage F is de stijghoogte weergegeven van de bestaande peilbuis op het perceel. Te zien is dat het verschil in stijghoogte in een tijdsbestek van 5 maanden, wat het verschil in tijd tussen de 2 series is, vrij groot kan zijn (zo'n 40 cm).

Verder is het een feit dat de gps een afwijking heeft van +/- 5 m. Het kan dus zijn dat op de punten waar gemeten is een andere bodemsamenstelling aanwezig is. De formatieconstante zal dan ook anders zijn, waardoor de chlorideconcentratie veranderd. Zoals gezegd zijn tijdens de tweede meetserie over het algemeen hogere waarden aangetroffen. Een reden voor de hogere waarden tijdens de tweede meetserie, kan onder andere gezocht worden in het peil van het kanaal door Zuid-Beveland. Deze is sinds

enkele maanden namelijk met 20 cm opgezet om zo de distelgroei tegen te gaan. De aanvoer van zoute kwel zal hierdoor groter zijn geworden.

6.15 Vergelijking percelen

In tabel 3 zijn van elk perceel verschillende parameters weergegeven. Deze tabel maakt het mogelijk percelen met elkaar te vergelijken en mogelijkerwijs uitspraken te doen over oorzaken van verzilting in de zoet-zout verdeling. Verder is een tabel opgesteld, waarin de dikte en diepteligging van de brakke grens (1000 mg/l) is weergegeven (tabel 4).

Zowel de maaiveldhoogten, de weerstand van de deklaag, als de stijghoogtes zijn bepaald met kaarten in ArcMap. Dit zijn geïnterpoleerde waarden en geven dus een indicatie. De winter- en zomerpeilen zijn streefpeilen voor de hoofdwaterringen, het is dus goed mogelijk dat de gemeten slootpeilen hiervan afwijken.

6.15.1 *Peilverschil sloten*

Om het effect van peilverschillen in sloten op de zoet-zout verdeling te bestuderen, is een overeenkomstige bodem nodig onder de sloten die vergeleken worden. Op perceel 21, welke 22 januari 2007 bemeten is, zijn 2 sloten bemeten die op een afstand van 15 m van elkaar liggen. De bodemopbouw is homogeen te noemen. Op elk punt tot 80 cm zavel en daaronder zand. De kans tussen grote verschillen in bodemopbouw is dus niet groot. Het peil van sloot 1 was 15 cm hoger dan het peil van sloot 2. Dit verschil in peil veroorzaakte een verschil in kwelintensiteit. Waar het Cl-gehalte van sloot 1 op ongeveer -1,5 op m tov het referentiepunt ligt wordt een waarde gemeten welke zo'n 4400 mg/l hoger is dan de waarde die op dezelfde diepte is gemeten is sloot 2. Het lijkt er dus op dat peilbeheer effect heeft op de zoet-zout verdeling.

6.15.2 *Kwel*

Door het verschil tussen de stijghoogte en het peilniveau te delen door de weerstand van de deklaag kan de kwel- of infiltratieintensiteit worden berekend, bijv. in mm/dag. Dit ziet er als volgt uit:

$$q = \Delta h / c$$

$$q = [\text{m/dag}]$$

$$\Delta h = [\text{m}]$$

$$c = \text{hydraulische weerstand} [\text{dag}]$$

Voor de bepaling van de kwel naar of infiltratie vanuit de sloot wordt het winter of zomerpeil gebruikt en voor de kwel naar of infiltratie naar het perceel de gemiddelde grondwaterstand. De uitkomsten hiervan voor de 1^e en 2^e meetserie zijn in de laatste en een-na laatste kolom van tabel 3 weergegeven.

De weerstand van de deklaag is vooral afhankelijk van de dikte en k-waarden van de klei- en veenlagen, ingelegd in de deklaag. De invloed van de dikte van het zandpakket op de grootte van kwel of infiltratie, is aanzienlijk kleiner. Dit komt door de veel hogere k-waarde van het zand, waardoor de weerstand van de zandlaag aanzienlijk kleiner is. Zoals de formule al aangeeft is te zien dat de grootte van de kwel of infiltratie afhankelijk is van de dikte van de deklaag. In veel gevallen geldt, hoe groter de dikte

van de klei- en veenlagen in de deklaag, hoe groter de weerstand van de deklaag. Wanneer de weerstand van de deklaag groot is, is de kwel of infiltratie klein.

Zowel in de winter als in de zomer is in alle percelen behalve 23 de stijghoogte hoger dan het streefpeil. Volgens deze gegevens zou dus in bijna alle gevallen kwel naar de sloot aanwezig moeten zijn. Deze blijkt in werkelijkheid ook vaak voor te komen. Wanneer in tabel 3 wordt gekeken valt op dat naarmate het maaiveld hoger ligt het stijghoogteverschil minder groot is.

Van de percelen die in dit rapport zijn beschreven, is te zien dat de percelen 3 en 10 worden gekenmerkt door een grote kwelintensiteit. De weerstand van de deklaag in vergelijking met de andere percelen is niet klein te noemen. De grote kwelintensiteit wordt hier veroorzaakt door het relatief grote potentiaalverschil. Uit de meetresultaten blijkt dat inderdaad hoge Cl-waarden onder de sloten voorkomen van de genoemde percelen. Dit lijkt dus te danken te zijn aan de grote toevoer van het zoute grondwater uit het watervoerend pakket. Door de hoge kwelintensiteit heeft het regenwater geen kans de zoute kwel weg te drukken.

Bij de percelen 15, 19, 20, 21 en 25 zijn de grootste kwelintensiteiten te vinden. Het stijghoogteverschil op deze percelen is hier echter niet groot te noemen. Te zien is dat de oorzaak in de weerstand van de deklaag ligt. In vergelijking met de andere percelen is deze bij de laatstgenoemde percelen klein te noemen (de weerstand c ligt tussen de 18 en 53 dagen).

Wanneer in de laatste kolom van de tabel wordt gekeken kan worden geconstateerd dat de grootte van de kwel naar de sloten tijdens de tweede meetserie kleiner is dan in tijdens de eerste meetserie. In tabel 3 kan worden gezien dat de potentiaalverschillen tijdens de tweede meetserie kleiner dan tijdens de eerste meetserie. Dit kan worden bewezen met de meetresultaten. Voor de percelen 1, 16 en 27 geldt dat de chloride-isochronen naar de sloten toe tijdens de tweede serie dieper liggen.

Het valt op dat de zoute kwel die op veel percelen aanwezig is, sterk gericht is op de sloten. Dit verschijnsel kwam zowel voor bij de metingen die eerder door TNO zijn uitgevoerd (P. Maljaars en R. Wils, 2006), als bij deze metingen in de Provincie Zeeland. De reden hiervoor is dat het slootpeil lager staat dan de grondwaterstand waardoor het potentiaalverschil bij de sloten groter is dan bij de percelen. Ook is de weerstand van de deklaag ter plaatse van de sloot waarschijnlijk kleiner. Bij metingen in de sloten zelf is te zien dat de onderlaag in alle gevallen zouter is dan de bovenlaag. Ook is een groot verschil waarneembaar tussen de chloride concentraties onder het midden van de sloot en onder de zijkant hiervan. Doordat het zoetere water vanuit het perceel ook richting de sloot stroomt, wordt het zoute grondwater aan perceelszijde weggeduwd. Dit verhindert dat de zoute kwel ook onder het perceel invloed heeft.

6.15.3 *Drainage*

Om het effect van drainage op de verzilting te onderzoeken zijn op een aantal percelen meetpunten op de drain gedaan. Deze metingen zijn vergeleken met meetpunten welke op enkele meters afstand evenwijdig aan de drain liggen. Dit is gedaan op de percelen 7, 10 en 13. Op perceel 7 is totaal geen invloed gemeten, de reden hiervan is waarschijnlijk dat deze drain geen water afvoerde omdat deze drain tijdens de metingen boven de grondwaterstand lag. Dit is ook het geval bij perceel 13. Bij perceel 10 is de drain niet ingemeten, maar het heeft er alle schijn van dat deze onder de

grondwaterstand ligt. Dit perceel laat dan ook andere resultaten zien. De EC-waarden zijn hier hoger vergeleken met de punten tussen de drains. Het lijkt dus dat de drain zout grondwater aantrekt. Er moet echter wel gezegd worden dat het mogelijk is dat de bodemprofielen kunnen verschillen. Wanneer op de drain een bodemsoort met een kleinere doorlatendheid wordt gevonden dan bij de punten tussen de drains, kan dit ook een reden zijn voor de hogere waarden op de drain. Het regenwater kan dan namelijk beter infiltreren, er zullen dan lagere EC-waarden worden gemeten.

6.15.4 *Bodemtype*

Het valt op dat op percelen waar een aanzienlijke laag veen in de bodem aanwezig is, er direct onder de grondwaterstand al hoge chloridewaarden worden gemeten. Dit is het geval bij perceel 3 en 27. Dit was ook het geval bij de percelen die eerder door TNO zijn bemeaten (P. Maljaars en R. Wils, 2006). De gradiënt van lage naar hoge EC's ligt ook hoger op deze percelen. Het verschil lijkt dus veroorzaakt te worden door de bodemopbouw. Verder is het zo dat waar de bovenlaag zwaar en ondoorlatend is, hogere chloridewaarden worden gemeten. Wanneer perceel 16 en 18 met elkaar worden vergeleken is te zien dat de percelen niet veel verschillen van elkaar in parameters als hoogteligging, weerstand van de deklaag etc. De bovenste bodemlagen van de percelen verschillen wel. Deze bestaat bij perceel 16 uit zeer zware klei waardoor de infiltratie van regenwater wordt geminimaliseerd. De EC's en chloridegehalten op het hele perceel nemen sterk toe in de diepte. Wanneer de bodem daarentegen zandiger is zoals bij perceel 18, neemt het zoutgehalte veel minder snel toe in de diepte wat duidt op meer infiltratie waardoor het zout niet naar boven kan stromen.

6.15.5 *Grondwaterstand*

Over het algemeen geldt dat waar de grondwaterstand op perceelsniveau het hoogst is, de laagste EC's worden gemeten. Wanneer wordt gekeken naar percelen die eerder door TNO zijn bemeaten blijkt dat dit hier ook het geval was. Voor de resultaten van de andere percelen kan gekeken worden in een voorafgaand TNO rapport (S. Stevens en B. de Veen, 2007)

De hoogste grondwaterstanden zijn gemeten op plaatsen waar een aanzienlijke laag veen aanwezig was in de bodem. Het veen is namelijk vrij goed doorlatend, de stijghoogte vanuit het watervoerend pakket kan dan verder komen en de grondwaterstand zal automatisch hoger zijn.

6.15.6 *Regenwaterlenzen*

Op geen enkel perceel is sprake van een echt zoete regenwaterlens (met chloride concentratie <150 mg Cl/l). Dit is opvallend, van te voren werd verwacht dat vegetatie zijn water uit een zoete regenwaterlens haalt. Omdat geen zoete maar wel brakke regenwaterlenzen (<1000 mg Cl/l) zijn gevonden is gekeken wat de minimale en de maximale dikte is van deze brakwaterlens. Ook is gekeken waar het grensvlak tussen zoet en brak grondwater te vinden is op perceelsniveau en op welke diepte dit grensvlak te vinden is. De brakwaterlens loopt van begin grondwaterstand tot de Cl-1000 isochroom. Dit alles is weergegeven in tabel 4. De brakwaterlenzen hebben de grootste opbolling op plaatsen waar de Cl-1000 isochronen het diepst liggen. In bijna alle gevallen wordt de lens dikker naarmate de afstand tot de sloot groter wordt.

Waarschijnlijk zorgt het peil in de sloot voor een afname van de stijghoogte in het watervoerend pakket in het perceel. Hierdoor kan de stijghoogte in het perceel minder hoog komen. Hierdoor kan de lens in het perceel juist weer dieper reiken. Voor perceel 9 geldt dat de lens bij de sloot juist dikker is, een mogelijke verklaring is dat hier zoete kwel naar de sloot reikt, waardoor de lens dichtbij de sloot juist groter zal zijn. De vorm van de lenzen varieert aanzienlijk per perceel.

In alle gevallen (5) is de brakwaterlens tijdens de tweede meetserie kleiner geworden. Bij nagenoeg alle percelen zijn de minimale en maximale dikte kleiner geworden. Ook is het begin van nagenoeg alle lenzen bij de tweede meetserie verder het maaiveld in te vinden. Zoals hierboven beschreven is de reden hiervan dat kwel naar de sloten toe tijdens de tweede meetserie groter is.

Het valt op dat de lenzen erg dynamisch zijn. Zo is bemeaten dat de dikte van de lens bij perceel 7 tijdens de tweede meetserie met maar liefst 73 cm afneemt in ongeveer 4 maanden. Bij perceel 4 is zelfs helemaal geen brakke regenwaterlens meer te vinden, terwijl deze tijdens de 1^e meetserie (ongeveer 6 maanden daarvoor) nog een maximale dikte had van 29 cm.

6.15.7 *Ligging percelen (afstand tot zee/oud- en nieuwlonden/kreken)*

De afstand tot de zee lijkt weinig tot geen invloed te hebben op de zoet-zout verdeling van het perceel. Er zijn zoute percelen aangetroffen waarvan de afstand tot de zee relatief groot is, omgekeerd zijn er zoute percelen aangetroffen waarbij de afstand tot de zee slechts 900 m bedraagt.

Op percelen welke op oudlanden liggen zou je meer kwel verwachten dan op percelen welke op het nieuwanland liggen. De oudlanden zijn zoals de naam al aangeeft “ouder” dan de nieuwanland. Doordat deze meer ingeklonken zijn liggen deze lager dan de nieuwanlanden, met een bijhorend lager polderpeil. Door dit feit wordt een grotere kwelintensiteit verwacht op de oudlanden. Anderzijds zou je meer zout verwachten in het diepere onderwater van de nieuwanlanden omdat deze later zijn ontstaan en het verzoetingsproces minder lang heeft kunnen plaatsvinden. In tabel 3 is te zien dat zowel bij de oud –als nieuwanlanden verschillende kwelintensiteiten bestaan. Ook wanneer naar de resultaten wordt gekeken zijn zowel percelen met een sterke kwelintensiteit gemeten op het oudland als op het nieuwanland. Op beide landen komen zowel zoute als brakke percelen voor. Het gegeven dat een perceel op het oud- of nieuwanland ligt is dus zeker niet bepalend voor de zoet-zout verdeling van het perceel.

Verder is de ligging van het perceel tov kreekruigen en poel- of schorgebieden onderzocht. De ligging per perceel ten opzichte hiervan is weergegeven in bijlage G. In de meetresultaten is te zien dat het grondwater van percelen die in poel- of jonge schorgebieden liggen zowel brak als zout kan zijn. Zo zijn perceel 7 en 13 zeker niet ‘echt’ zout te noemen en perceel 3, 10 en 27 daarentegen wel.

De resultaten van de percelen op de kreekruigen zijn eenduidiger. Van de percelen die in of op de rand van kreekruigen liggen, zijn geen ‘echte zoute’ percelen gevonden. Het gaat hier om de percelen 14 t/m 21, 23 en 25. De resultaten van perceel 16 en 18 zijn in dit rapport terug te vinden. Voor de resultaten van de andere percelen kan gekeken worden in een voorafgaand TNO rapport (S. Stevens en B. de Veen, 2007)

Uit tabel 3 en bijlage G blijkt dat de percelen met de grootste kwelintensiteit naar de sloot toe allemaal op ‘kreekruigen’ liggen. Dit is opvallend, bij kreekruigen zou juist infiltratie worden verwacht. Het gaat hier om de percelen 15, 19, 20, 21 en 25. Alle

kwelintensiteiten liggen boven de 10 mm/dag. Een mogelijke verklaring is dat kreekruigen veelal uit zand bestaan. De kwel ondervindt weinig weerstand door dit zand en kan dus gemakkelijk omhoog komen. Anderzijds zijn er genoeg kreekruigen te vinden waar de kwel naar de sloot toe minder groot is. Als gekeken wordt naar de percelen 14, 16, 17, 18 en 23 is te zien dat de kwelintensiteiten hier niet boven de 5 mm/dag uitkomen. Het feit dat een perceel op een kreekrug ligt hoeft dus niet te betekenen dat een grote kwelflux naar de sloot aanwezig is.

Op of dichtbij deze kreekruigen zijn ook bijna alle 'zoetst' bemeten percelen te vinden. Volgens tabel 3 schijnt hier toch kwel voor te komen. Het gaat hier om de percelen 17, 18 en 20 waarvan 18 in dit rapport is beschreven. Het is mogelijk dat hier 'zoete' kwel naar boven komt.

De 'zoutst' bemeten percelen zijn te vinden in poel- of jonge schorgebieden. Het gaat hier om de percelen 3, 4, 5, 10 en 27. De reden hiervan ligt zoals eerder in dit rapport vermeld in de ontstaansgeschiedenis van de gebieden waarop de percelen te vinden zijn. Het veen is namelijk samen met het klei afgezet na overstromingen. Het veen was vanaf dat moment doordrenkt met zout grondwater. In tabel 3 is te zien dat alle genoemde percelen laag liggen tov NAP.

Wanneer naar de eigen meetresultaten en naar tabel 3 wordt gekeken is op basis hiervan te zeggen dat in percelen op een 'kreekrug' het grondwater over het gehele profiel nooit heel zout is. Het grondwater van de percelen die in poel- en schorgebieden liggen variëren daarentegen sterker in zoutgehalten. Er is geen duidelijk verband gevonden in de zoutgehalten over de percelen en de ligging hierbinnen. Wel is te zien dat het verschil tussen stijghoogte en waterpeil in de meeste poel- en schorgebieden het hoogst zijn. Doordat de grote weerstand van de deklaag zijn in deze gebieden de kwelfluxen naar de sloot niet het grootste.

Uit interviews met de landeigenaren is gebleken dat deze geen last ondervonden van zoutschade. Dit is opmerkelijk te noemen omdat er in sommige gevallen hoge zoutgehalten direct onder een grondwaterstand voorkomen. Een goed voorbeeld hiervan is perceel 3. Mogelijkheidswijs is voor de vegetatie het zoetere water in de onverzadigde zone voldoende. Gedetailleerd onderzoek hiernaar wordt aanbevolen.

Punt	Hoogte maaiveld (m NAP)	Bodem (bovenste lagen)	Stijg hoogte (winter)	Stijg hoogte (zomer)	Winter peil (m NAP)	Zomer peil (m NAP)	Gem. gws 1°/2° serie (m NAP)	Cl ppervlakte water (mg/l)	Afstand tot zee (m)	Oud land	Dikte klei+ veenlaag (m)	Weerstand deklaag (dag)	q-perceel 1°/2° serie (mm/dag)	q-sloot 1°/ 2° serie (mm/dag)
1	-1,39	Zavel en klei op zand	-0,97	-1,05	-2,7	-2,5	-2,3/-2,7	5.618 (top) 11.316 (onder)	1.200	Ja	10,19	775	1,72/2,13	2,23/1,87
2	-1,06	Zand op veen en klei	-1,04	-1,37	-2,55	-2,35	-2,3	1.837	3.250	Ja	9,56	657	1,77	2,30
3	-1,16	Klei en veen op zavel	-0,79	-0,87	-2,4	-2,1	-2,25	10.650	1.240	Ja	7,92	278	4,17	5,79
4	-0,99	Zavel op veen en klei	-0,90	-0,98	-2,4	-2,1	-1,9/-2,25	3.009	1.250	Ja	6,98	292	1,54/4,35	5,13/3,83
5	-0,87	Klei op veen, zavel en zand	-0,06	-1,15	-1,9	-1,75	-1,5	2.157	2.500	Nee	8,55	262	5,50	7,05
6	0,75	Klei op zand	0,68	0,56	-1,25	-0,7	-1,1	546	1.900	Nee	8,58	722	1,70	2,67
7	0,61	Zavel en zand	0,16	0,13	-1,3	-0,7	-0,65/-1,20	408	100	Nee	6,82	413	1,96/3,22	3,54/2,01
8	0,76	Zand	0,45	0,41	-0,8	-1,2	-0,45	2.529	100	Nee	13,93	716	1,26	1,75
9	0,71	Zavel op zand, veen en klei	0,06	-0,05	-1	-0,65	-0,8	437	1.800	Nee	12,07	360	2,39	2,94
10	-0,55	-	-1,37	-1,47	-2,45	-2,2	-1,8	5.325 (ZW) 3.144 (NO)	900	Ja	6,44	141	3,05	7,66
11	-0,48	Zavel en klei op zand, veen en klei	-1,32	-1,47	-1,7	-1,4	-1,15	2.796	1.600	Ja	4,73	80	-2,13	4,75
12	0,84	Zavel en klei op veen	-0,10	-0,42	-2,2	-2,2	-1,7	533	1.250	Ja	5,09	543	2,95	3,87
13	-0,07	Zavel op zand, klei en veen	-0,70	-1,04	-1,6	-1,4	-1,45	375	1800	Nee	4,11	429	1,75	2,10
14	1,21	Zavel op zand	-0,28	-0,14	-0,3	-0,3	-0,15	346 (sloot) 11.304 (VeerseM)	50	Nee	2,46	23	-5,65	0,87

15	1,1	Klei op zand	-0,11	-0,23	-1	-0,7	-0,3	2.617 (top) 7.721 (onder)	1.000	Nee	3,54	53	3,58	16,79
16	0,97	Klei en zavel	-0,20	-0,26	-0,6	-0,6	-0,55/-0,71	455	1.300	Nee	7,59	210	1,67/2,14	1,91/2,14
17	0,86	Zavel en klei op zand	-0,43	-0,58	-0,9	-0,7	0	439	3.000	Ja	5,98	243	-1,77	1,93
18	1,56	Zavel op zand	0,18	0,03	-0,2	-0,2	-0,15	540	750	Nee	4,74	238	1,39	1,60
19	0,93	Klei op zavel en zand	-0,03	-0,42	-0,9	-0,8	-0,85	839 (top) 5.075 (onder)	1000	Nee	10,31	78	10,51	11,15
20	1,06	Zavel op zand	-0,13	-0,24	-1	-0,7	-0,55	10.757	625	Nee	3,57	61	6,89	14,03
21	0,75	Zavel op zand	-0,48	-0,49	-1,2	-0,8	-0,8	1.837 (top) 7.269 (onder)	500	Nee	0,30	18	17,78	40,00
22	0,64	Zavel op zand, klei en zavel	-0,85	-1,02	-1,6	-1,2	-1,3	517 (ZW) 6.630(NO)	1190	Nee	5,28	425	1,06	1,77
23	1,21	Zavel op zand	-0,20	-0,25	-0,35	-0,15	-0,2	473 (top) 567 (onder)	1180	Nee	4,28	40	0	3,75
25	-0,37	-	-0,17	-0,27	-1,0	-0,7	-	-	650	Ja	3,87	32	-	25,94
27	-1,08	Klei op veen en klei	-1,16	-1,38	-1,8	-1,8	-1,6/-1,91	2.103 (O) 639 (W)	625	Ja	9,61	156	2,82/3,40	4,10/2,69

Tabel 3. Perceelparameters alle bemetten percelen (oranje=terug te vinden in deze rapportage)

Tabel 4. Brakwaterlenzen (oranje=terug te vinden in deze rapportage)

perceel	datum	no.	afstand tot sloot (m)	min dikte (m)	Cl-1000 mg/l (m-mv)	no.	afstand tot sloot (m)	max dikte (m)	Cl-1000 mg/l (m-mv)	Opmerkingen
1	25-01-'07	1.4	4,75	0,14	0,98	1.5	18,75	2,68	3,25	
1 (2e serie)	10-05-'07	1.4	4,75	0,14	1,08	1.5	18,65	1,9	2,7	
3	22-01-'07	3.4	32,75	0,10	0,60	3.6	82,75	0,15	0,15	
4	17-11-'06	4.7	96,75	0,05	0,70	4.8	166,75	0,29	0,75	
4 (2e serie)	8-05-'07									Cl-gehalte > 1000 mg/l
5	22-11-'06	5.6	26,75	0,04	0,84	5.8	71,75	0,33	0,85	
6	15-01-'07									brak tot min 1,7m-mv
7	19-01-'07	7.5	17	0,26	1,1	7.6	52	1,08	1,62	
7 (2e serie)	8-05-'07	7.4	7	0,15	1,40	7.6	52	0,35	1,55	
8	16-11-'06									brak tot min 1,8m-mv
9	30-01-'07	9.5	77,8	1,72	2,66	9.2	2,8	2,89	4,09	
10	30-03-'07									geen bodembeschrijving
11	24-01-'07	11.4	86,75	0,16	1,08	11.6	256,75	0,85	1,85	
12	12-12-'06	12.2	4	1,12	2,00	12.5	185	1,93	2,75	
13	17-04-'07	13.2	2	0,55	1,56	13.4	62	1,10	2,45	
14	29-01-'07									brak tot min 2,4m-mv
15	1-02-'07									brak tot min 3,6m-mv
16	24-01-'07	16.2	1,5	0,85	2,25	16.6	201,5	1,37	2,12	
16 (2e serie)	9-05-'07	16.2	1,5	0,20	2,60	16.4	31,5	1,09	2,54	
17	10-01-'07									brak tot min 3,3m-mv
18	16-03-'07									brak tot min 1,5m-mv
19	8-04-'07									brak tot min 2,3m-mv
20	2-02-'07									brak tot min 2,6m-mv
21	22-01-'07	21.5	16,5	0,35	1,37	21.9	239,5	0,62	1,38	
22	24-03-'07	22.2	9	0,77	1,65	22.4	119	1,37	2,50	
23	28-03-'07									brak tot min 1,6m-mv
25	20-04-'07									geen bodembeschrijving
27	13-12-'06	27.3	3	0,075	0,33	27.11	56	0,59	0,36	
27 (2e serie)	11-05-'07	27.7	35	0,10	0,50	27.11	56	0,25	0,7	

7 Conclusies en aanbevelingen

7.1 Inleiding

In de Provincie Zeeland zijn 25 locaties bemeten over de periode november 2006-mei 2007. Resultaten van zelf bemeten percelen zijn in dit rapport uitgebreid beschreven. Het gaat om 9 percelen. Hiervan zijn 4 percelen al eerder bemeten. De eerste meetserie vond plaats van november 2006 tot maart 2007 en de tweede serie begin mei 2007. De resultaten hiervan worden besproken in hoofdstuk 6. De conclusies worden besproken aan de hand van de opgestelde deelvragen uit de inleiding (hoofdstuk 1).

7.2 Conclusies

De doelstelling van dit onderzoek luidt als volgt:

Dit onderzoek heeft ten doel meer inzicht te verkrijgen in het gedrag en de eigenschappen van de regenwaterlenzen en de vaststelling van de zoet-zout verdeling op perceelsniveau binnen de Provincie Zeeland. Zo kan met behulp van een verbeterde kennis van de relevante verziltings- en verzoetingsprocessen de betrouwbaarheid van de computermodellen worden vergroot zodat in de toekomst de Provincie Zeeland haar waterbeleid en -beheer kan aanpassen aan de effecten van zeespiegelstijging en klimaatverandering op het watersysteem.

Om deze doelstellingen te bereiken worden hieronder de deelvragen beantwoord.

1. Wat zijn de dikte en de vorm van de regenwaterlenzen?

Uit de meetgegevens is gebleken dat zoete regenwaterlenzen met een chloride concentratie kleiner dan 150 mg Cl⁻/l niet voorkomen. Direct onder de grondwaterstand zijn waarden gemeten die in de categorie brak (150-1000 mg Cl⁻/l) of zout (>1000 mg Cl⁻/l) vallen. Op een aantal percelen zijn direct onder de grondwaterspiegel waarden gemeten van meer dan 5000 mg Cl⁻/l. Hieruit kan worden geconcludeerd dat er sprake is van brak water op zout kwelwater. Het zoete regenwater lijkt te mengen met brak grondwater, leidend brakke regenwaterlenzen. Bij perceel 18 zijn wel chloridegehalten van ongeveer 250 mg/l gemeten. Op dit hooggelegen perceel zal de invloed van regenwater groter zijn geweest. In tabel 4 blijkt dat de brakke regenwaterlenzen dikker worden naarmate de afstand tot de sloot groter wordt. Waarschijnlijk zorgt het peil in de sloot voor een afname van de stijghoogte in het watervoerend pakket in het perceel. Hierdoor kan de stijghoogte in het perceel minder hoog komen. Hierdoor kan de lens in het perceel juist weer dieper reiken. De vorm varieert aanzienlijk per perceel. Op percelen met brak grondwater in de diepere ondergrond zal de brakke regenwaterlens dikker zijn dan op percelen met zout grondwater in de diepere ondergrond.

2. Zijn er op regionaal niveau verschillen waar te nemen en wat zijn de factoren die hierbinnen een rol spelen?

Gebaseerd op de metingen tot nu toe kan gesteld worden dat de percelen niet in 1 parameter van elkaar verschillen. Er kan dus niet met zekerheid worden gezegd welke parameter verantwoordelijk is voor een specifieke zoet-zout verdeling. Er kan wel worden aangegeven wat de 'mogelijke oorzaken' zijn van een specifieke zoet-zout verdeling.

Er zijn duidelijke verschillen waar te nemen. Tussen de percelen zit veel variatie in de verdeling van EC en chloridegehalten van het grond- en oppervlaktewater. Het lijkt erop dat het zoutgehalte van het diepe grondwater in sterke mate bepalend is voor de zoutbelasting in het ondiepe grondwater.

De bodemsoort lijkt erg bepalend te zijn voor de zoet-zout verdeling. Zo is bij perceel 3 en 27 te zien dat op plaatsen waar een aanzienlijke laag veen in de bodem aanwezig is, de EC's sterk in de diepte toenemen. Er worden direct onder de grondwaterstand al hoge chloridegehalten gemeten. Van de percelen 16 en 18 verschillen alleen de bovenste bodemlagen (tabel 3). Deze bestaat bij perceel 16 uit zeer zware klei waardoor de infiltratie van regenwater wordt geminimaliseerd. De EC's en chloridegehalten op het hele perceel nemen sterk toe in de diepte. Wanneer de bodem daarentegen zandiger is zoals bij perceel 18, neemt het zoutgehalte veel minder snel toe in de diepte; dit duidt op meer infiltratie waardoor het zout niet naar boven kan stromen.

Ook peilverschillen in sloten hebben waarschijnlijk effect op de zoet-zout verdeling. Er zijn 2 sloten op 15 m afstand van elkaar bemeten, elk met een verschillend waterpeil (peilverschil is 15 cm). De bodemopbouw is homogeen te noemen; op elk punt in het maaiveld tot 80 cm zavel en daaronder zand. De kans op grote verschillen in bodemopbouw is dus niet groot. De hoogteligging is hetzelfde. Het lijkt erop dat hier aanzienlijk meer zout wordt aangetrokken in de sloot met een lager slootpeil. Het lijkt er dus op dat peilbeheer effect heeft op de zoet-zout verdeling.

Over het effect van drainage op de zoet-zout verdeling kunnen geen harde conclusies worden verbonden. Op percelen waar de grondwaterstand beneden de drainage diepte ligt is geen invloed gemeten op de chloridewaarden van het grondwater. Op perceel 10 liggen de waarden onder de drain hoger. Het lijkt erop dat hier zout water wordt aangetrokken, dit is niet met 100% zekerheid te zeggen. Een andere bodemsoort kan ook een reden zijn voor de hogere chloridewaarden.

De mate van zoutbelasting in het ondiepe grondwater is afhankelijk van de kwelintensiteit. In de meeste gevallen geldt: hoe meer kwel des te hoger het zoutgehalte in het ondiepe grondwater. Van de percelen die in dit rapport zijn beschreven, is te zien dat de percelen 3 en 10 worden gekenmerkt door een grote kwelintensiteit. De reden hiervan kan de weerstand van de deklaag niet zijn. Deze is in vergelijking met de andere percelen niet klein te noemen. De hoge kwelintensiteit wordt hier veroorzaakt door het relatief grote potentiaalverschil. Door de hoge kwelintensiteit heeft het regenwater geen kans de zoute kwel weg te drukken. Verder valt op dat de zoute kwelstroom die op veel percelen aanwezig is, sterk gericht is op de sloten.

De kwelintensiteit naar de sloten toe is groter dan naar de percelen, de reden hiervoor is dat het slootpeil lager staat dan de grondwaterstand waardoor het potentiaalverschil bij de sloot groter is dan op het perceel. Ook is de weerstand van de deklaag ter plaatse van de sloten waarschijnlijk kleiner. Hierdoor ondervindt kwel minder weerstand

waardoor dit gemakkelijker omhoog komt. Bij metingen in de sloten zelf is te zien dat de onderlaag in alle gevallen zouter is dan de bovenlaag. Ook is vaak te zien dat er een groot verschil is tussen de chloridewaarden onder het midden van de sloot en de zijkant hiervan. Doordat het zoetere water vanuit het perceel richting de sloot stroomt, wordt het zoutere water aan perceelszijde weggeduwd. Dit verhindert dat de zoute kwelstroom ook onder het perceel invloed heeft.

Het grond- en oppervlaktewater is overal brak tot zout te noemen. De ligging van de percelen op oud- of nieuwlonden en de afstanden tot de zee lijken niet bepalend te zijn voor de hoge chloridewaarden. Er zijn zowel zoute als 'zoetere' percelen bemeten op zowel oud- als nieuwlonden. Verder zijn er zowel lage als hoge concentraties gemeten op percelen die dichtbij en ver van de zeedijk verwijderd liggen. Invloed van de ligging ten opzicht van kreekruggen is wel terug te vinden. Hier zijn namelijk geen 'echte zoute' percelen gevonden. Voor poel- en jonge schorgebieden geldt dit niet. In deze gebieden zijn zowel percelen met hoge als lage chloridewaarden aangetroffen.

3. Wat is de seizoenale dynamiek van de regenwaterlenzen binnen de te onderzoeken percelen?

Door in verschillende seizoenen te meten kan worden bepaald wat de seizoenale invloed is op de dikte en de vorm van de brakke regenwaterlenzen. Door veranderingen in het neerslag- en verdampingspatroon veranderen de brakwaterlenzen ook. April 2007 had een record hoog neerslagtekort, tijdens de tweede meetserie (direct na deze periode) zijn de brakwaterlenzen dan ook kleiner geworden ten opzichte van de eerste meetserie. Dit is bij elk perceel het geval. De kwelintensiteit naar de sloten toe is tijdens de tweede meetserie kleiner. De potentiaalverschil zijn dan namelijk lager dan tijdens de eerste meetserie. Voor de percelen 1, 16 en 27 geldt dat de chloride-isochronen naar de sloten toe tijdens de tweede serie dieper liggen. Nagenoeg alle lenzen zijn bij de tweede meetserie dan ook verder in het perceel te vinden. Het valt op dat de lenzen erg dynamisch zijn. Zo is bemeten dat de dikte van de lens bij perceel 7 tijdens de tweede meetserie met maar liefst 73 cm afneemt in ongeveer 4 maanden. Bij perceel 4 is zelfs helemaal geen brakke regenwaterlens meer te vinden, terwijl deze tijdens de 1^e meetserie (ongeveer 6 maanden daarvoor) nog een maximale dikte had van 29 cm.

8 Literatuuropgave

Maljaars, P.S., Wils, R.A. de, Regenwaterlenzen in zoute kwelssystemen, TNO, Utrecht, 2006.

Poot, A., Schot, P.P., Neerslaglenzen: vorm en dynamiek, *Stromingen*, jrg.6, nr4, p13-26, 2000.

Koot, C. et al, De verziltingsproblematiek in laag Nederland, Wageningen UR, 2006.

Louw, P. de & Oude Essink, G.H.P., Coastal Environmental and Water Quality, AIH Annual Meeting & International Conference, Challenges in Coastal Hydrology and Water Quality, Baton Rouge, Louisiana, 2006, pp 167-179.

Oude Essink, G.H.P., Selectie pilot gebieden in de Provincie Zeeland, TNO, Utrecht, 2006.

Oude Essink, G.H.P, Kenmerken gebiedsklassen Provincie Zeeland, TNO, Utrecht, 2006.

Oude Essink, G.H.P, *Neerslaglens in een zoute omgeving*, TNO, Utrecht, 2006.

Stevens, .S., Veen, B. de, Regenwaterlenzen, TNO, Utrecht, 2007.

Dekker, K., Toelichting tabel potentiële grondwaterregime, DLG, Goes, 2004 .

Stuyfzand, P., Hydrochemistry and hydrology of costal dunes of the Western Netherlands, Vrije Universiteit, Amsterdam, 1993.

Wirdum, G. van, Investigation into the direction and magnitude of water through peat at Thorne Moors, TNO, UK., 2004.

Stichting deltawerken online, internet site:
<http://www.deltawerken.com/Het-zuidwestelijke-zeekleigebied/254.html>

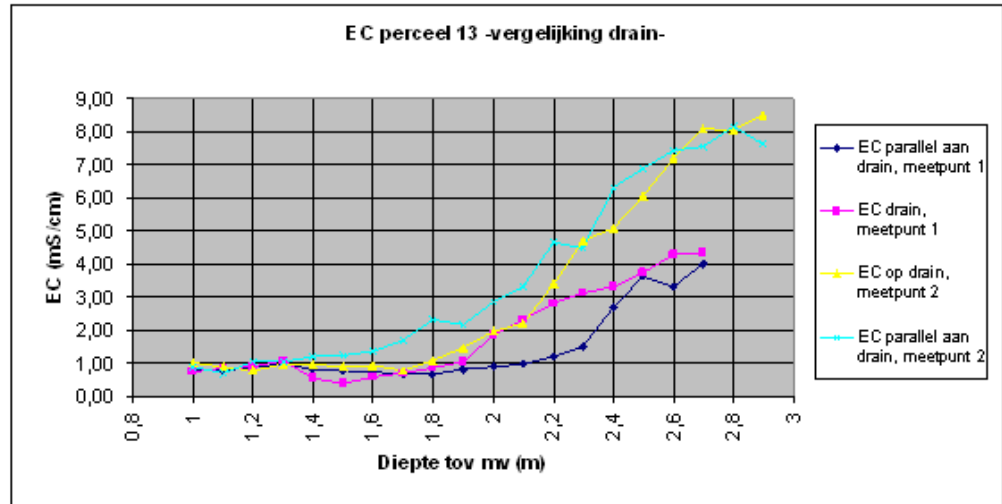
KNMI, internet site:
http://www.knmi.nl/klimatologie/maand_en_seizoensoverzichten/maand/apr07.html

Stichting deltawerken online, internet site:
[_http://www.deltawerken.com/Het-zuidwestelijke-zeekleigebied/254.html](http://www.deltawerken.com/Het-zuidwestelijke-zeekleigebied/254.html)

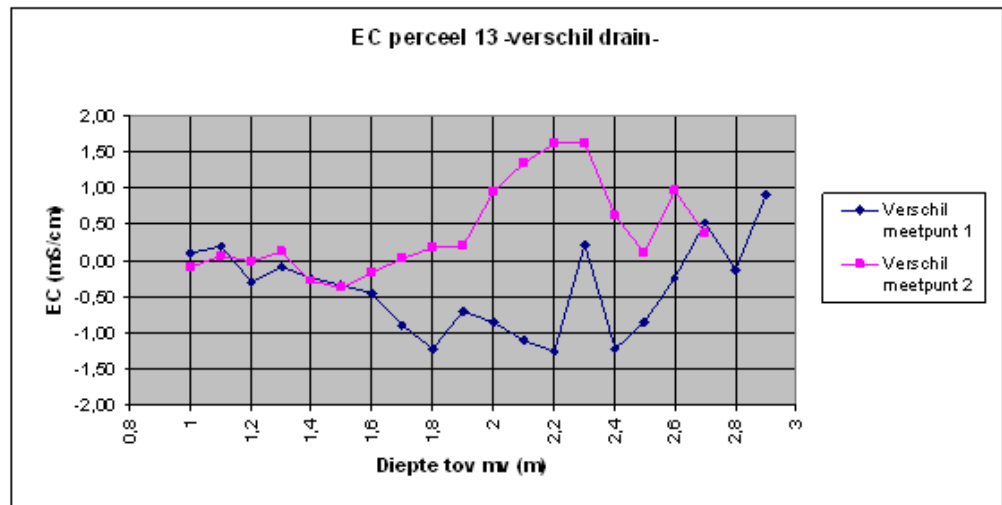
Waterbeheer 21^e eeuw in Zeeland, Deelstroomgebiedsvisie Zeeland, internet site:
http://www.zeeland.nl/zeesterdoc/ZBI-O/ZEE/ZEE0/5004/500428_1.pdf, pp 97

A Perceel 13 17-04-'07

A.1 EC-waarden perceel 13

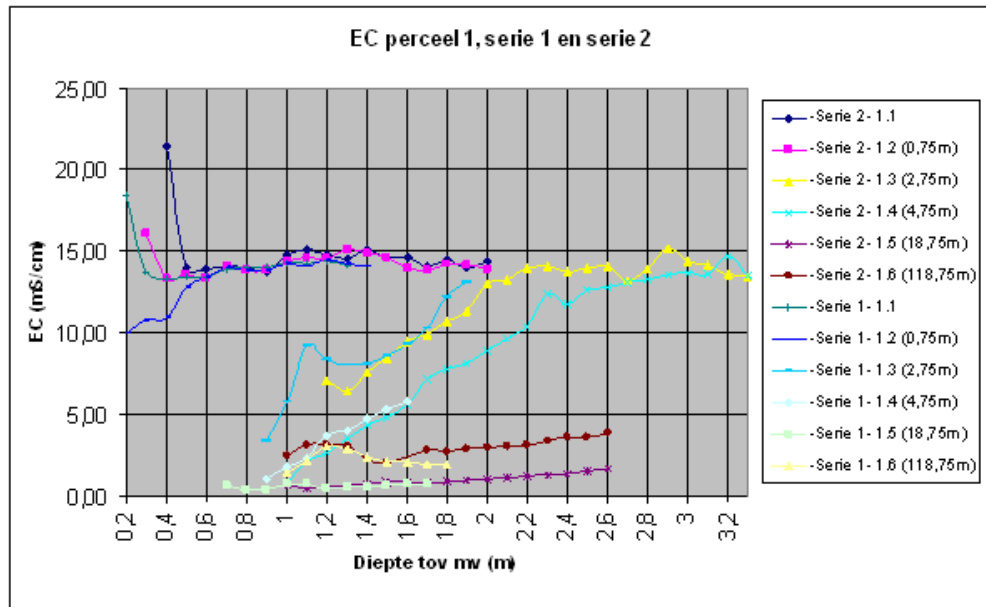


A.2 Verschillen tussen EC-vergelijkende punten en EC-drain

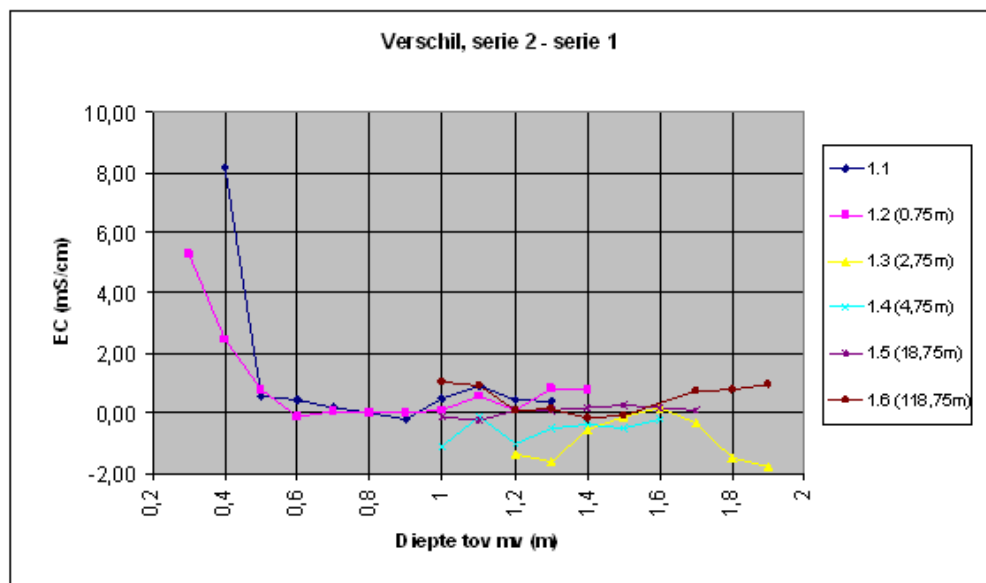


B Perceel 1 25-01-'07 en 10-05-'07

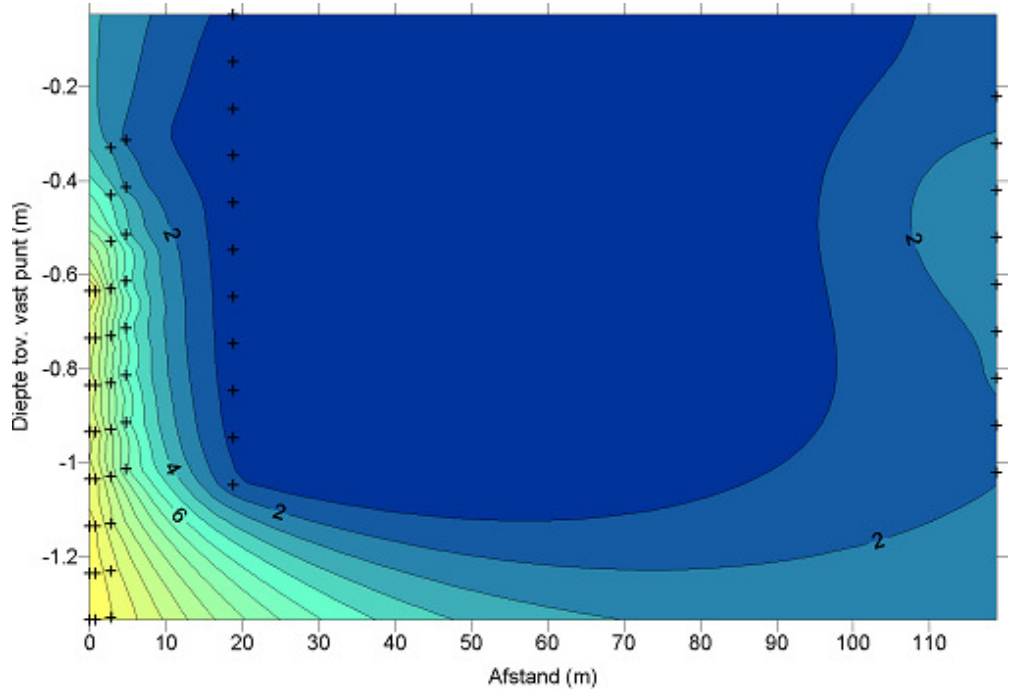
B.1 EC-waarden eerste en tweede meetserie perceel 1



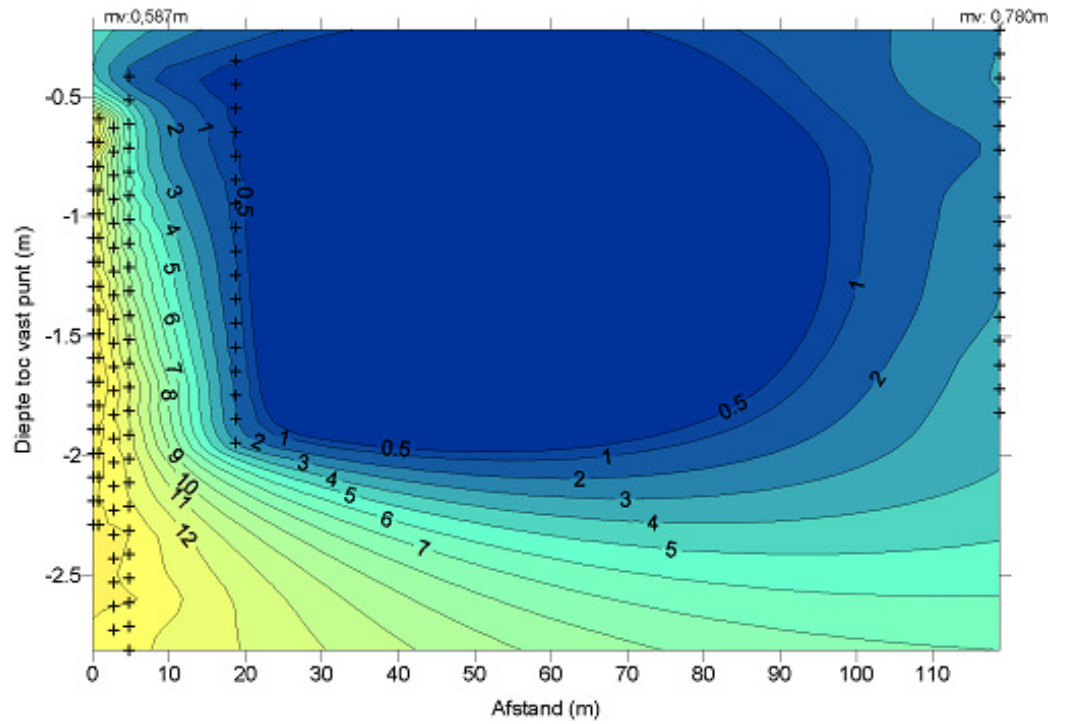
B.2 Verschillen tussen serie 2 en serie 1 perceel 1



B.3 Ruimtelijke verdeling EC-waarden eerste serie perceel 1

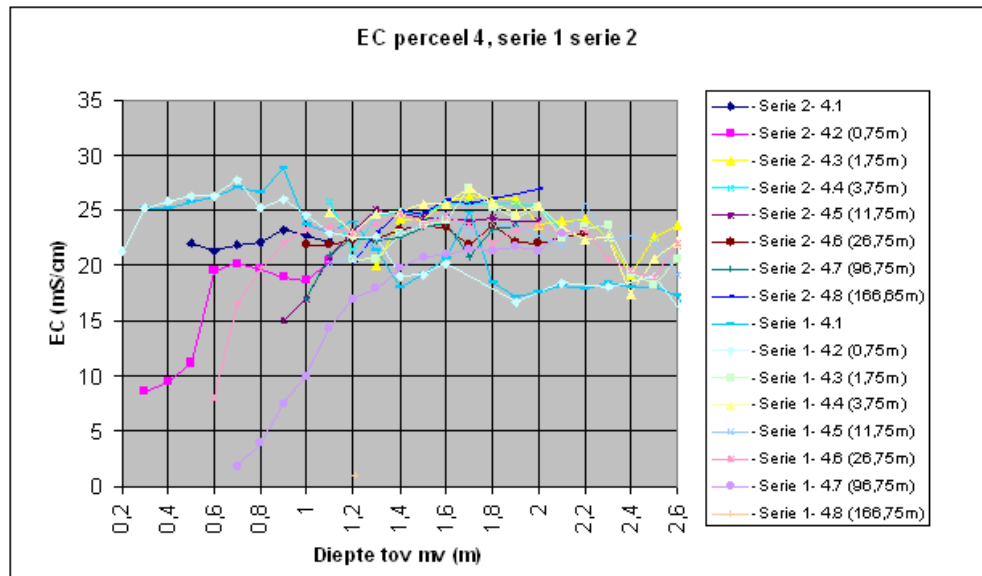


B.4 Ruimtelijke verdeling EC-waarden tweede serie perceel 1

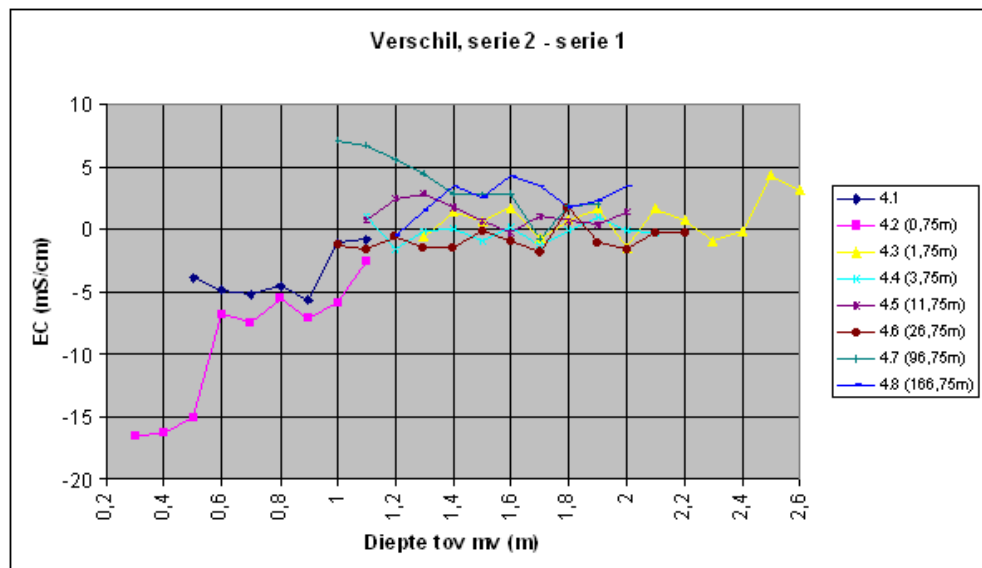


X Perceel 17-11-'06 en 8-05-'07

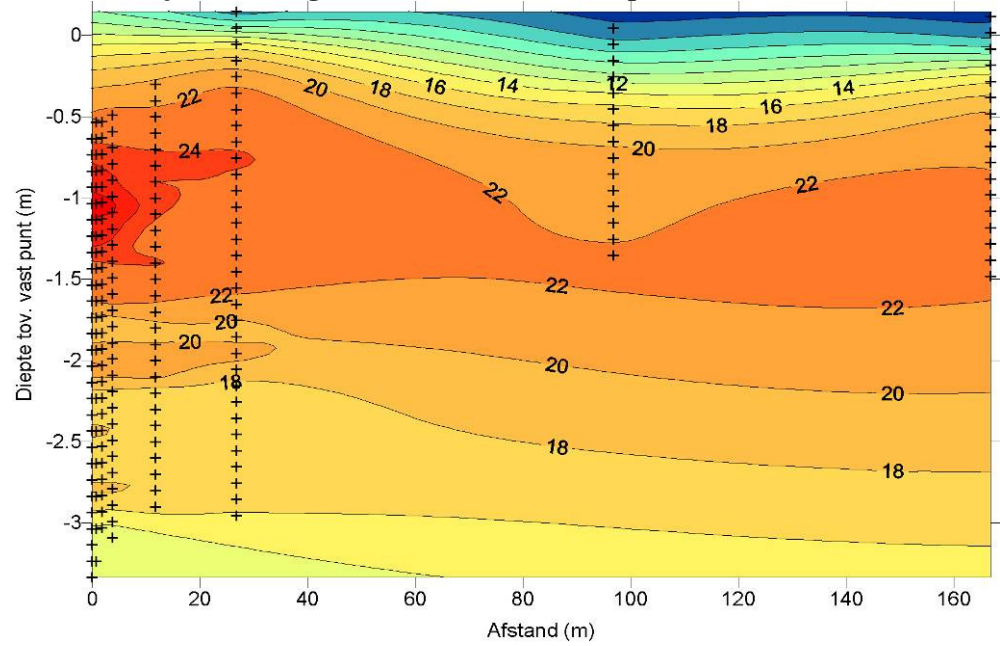
X.1 EC-waarden eerste en tweede meetserie perceel 4



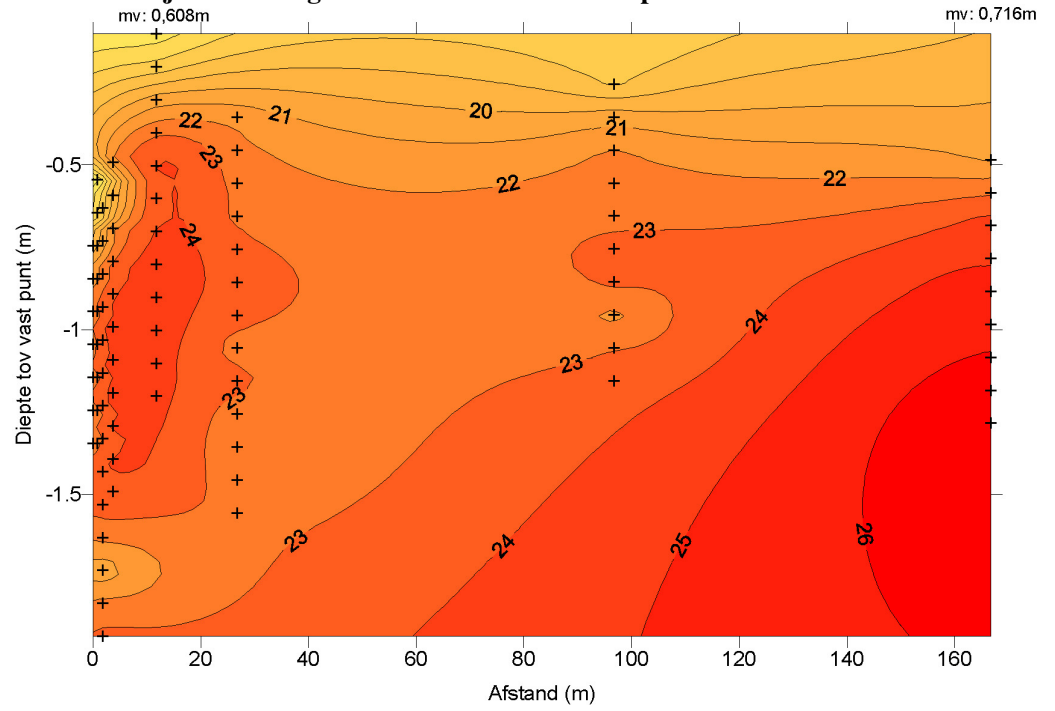
X.2 Verschillen tussen serie 2 en serie 1 perceel 4



X.3 Ruimtelijke verdeling EC-waarden eerste serie perceel 4

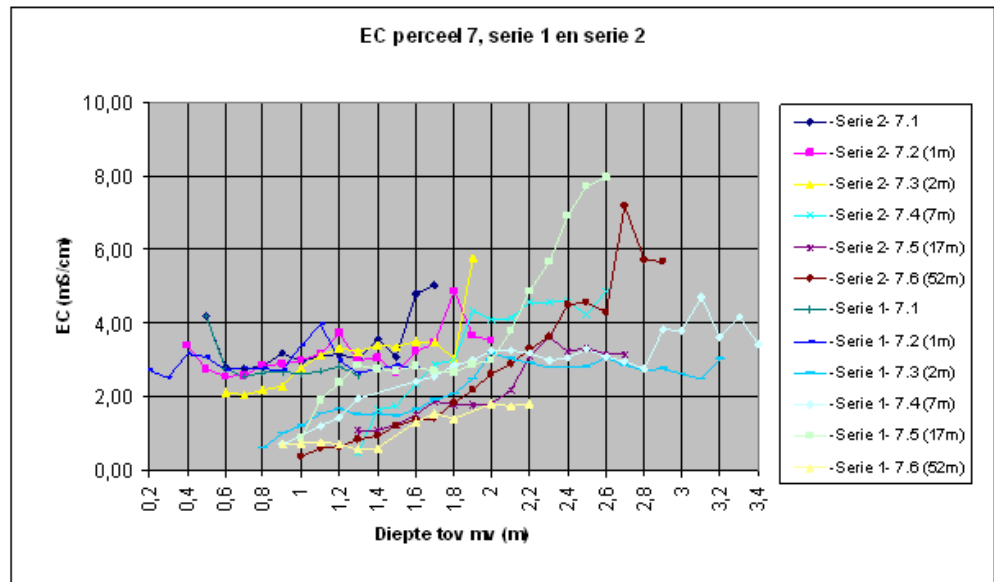


X.4 Ruimtelijke verdeling EC-waarden tweede serie perceel 4

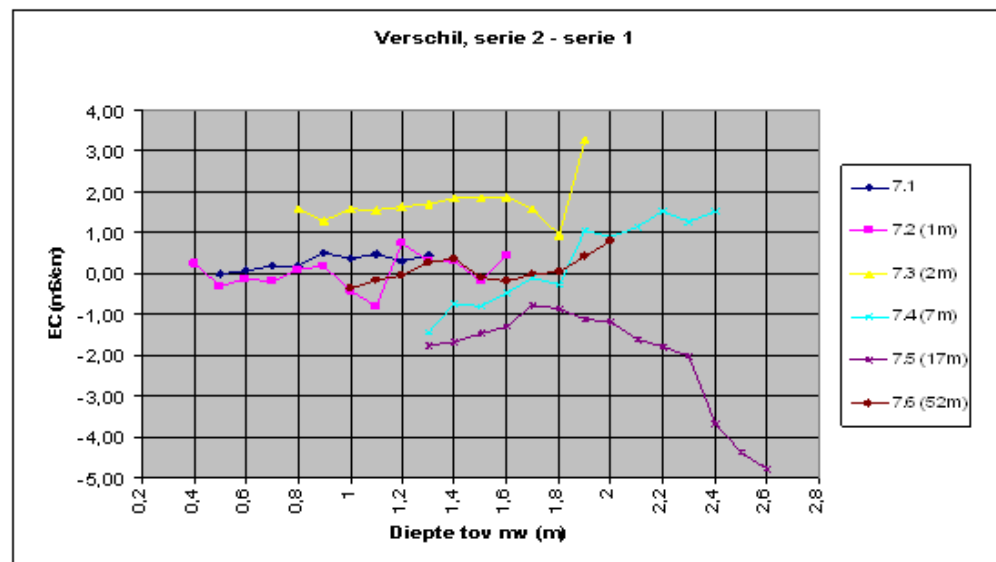


C Perceel 7 19-01-'07 en 8-05-'07

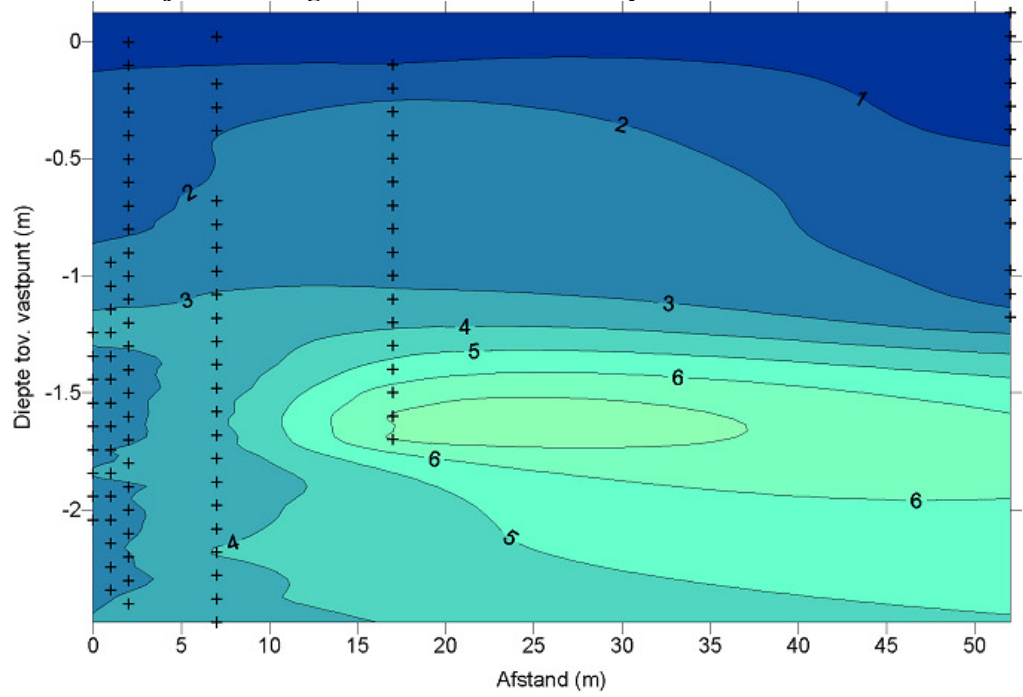
C.1 EC-waarden eerste en tweede meetserie perceel 7



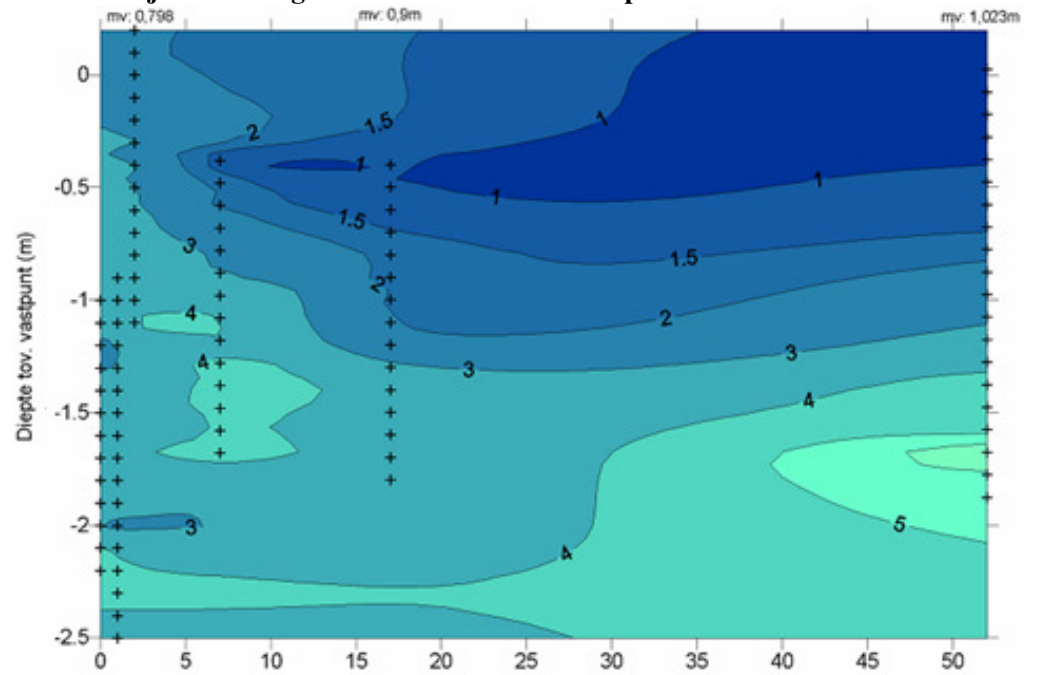
C.2 Verschillen tussen serie 2 en serie 1 perceel 7



C.3 Ruimtelijke verdeling EC-waarden eerste serie perceel 7

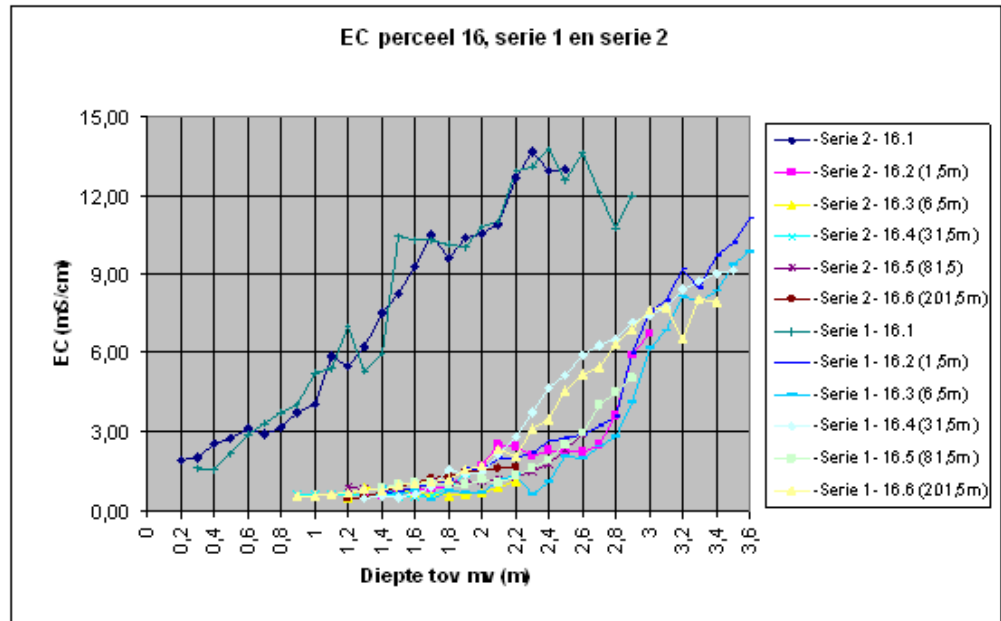


C.4 Ruimtelijke verdeling EC-waarden tweede serie perceel 7

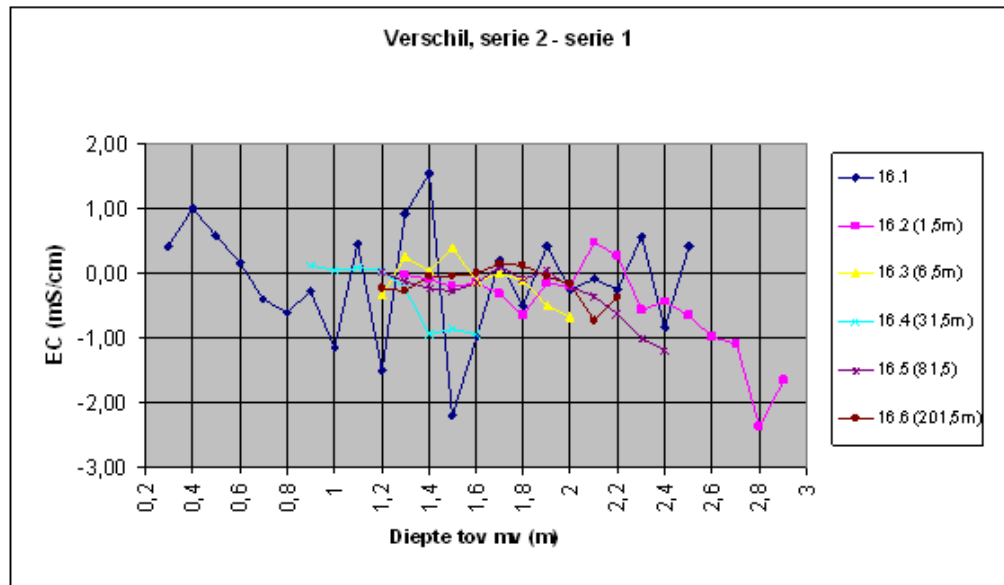


D Perceel 16 24-01-'07 en 9-05-'07

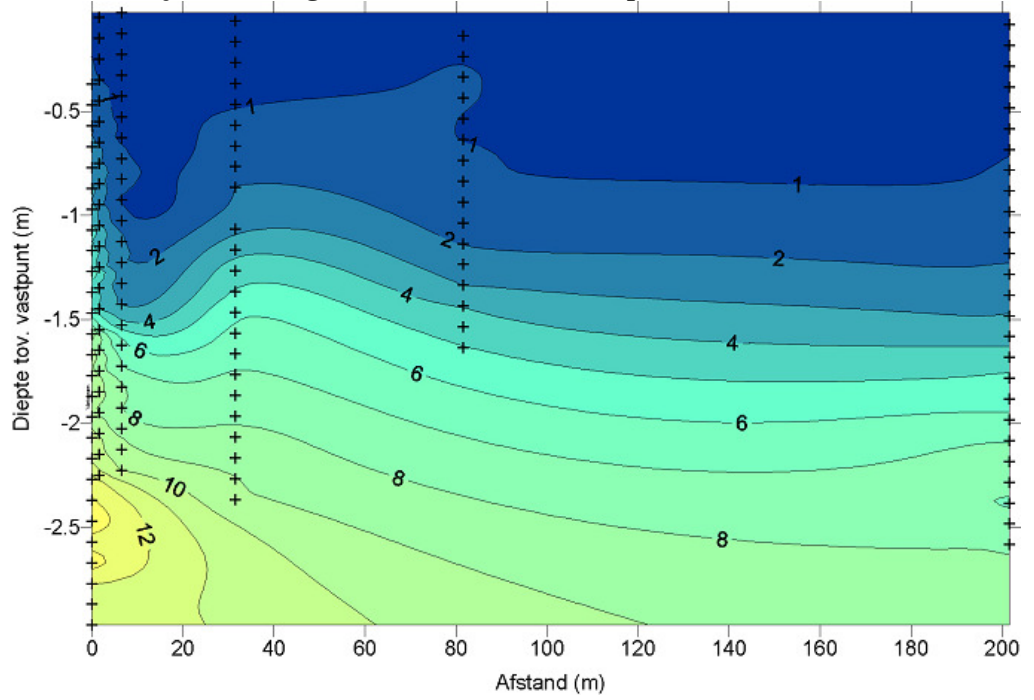
D.1 EC-waarden eerste en tweede meetserie perceel 16



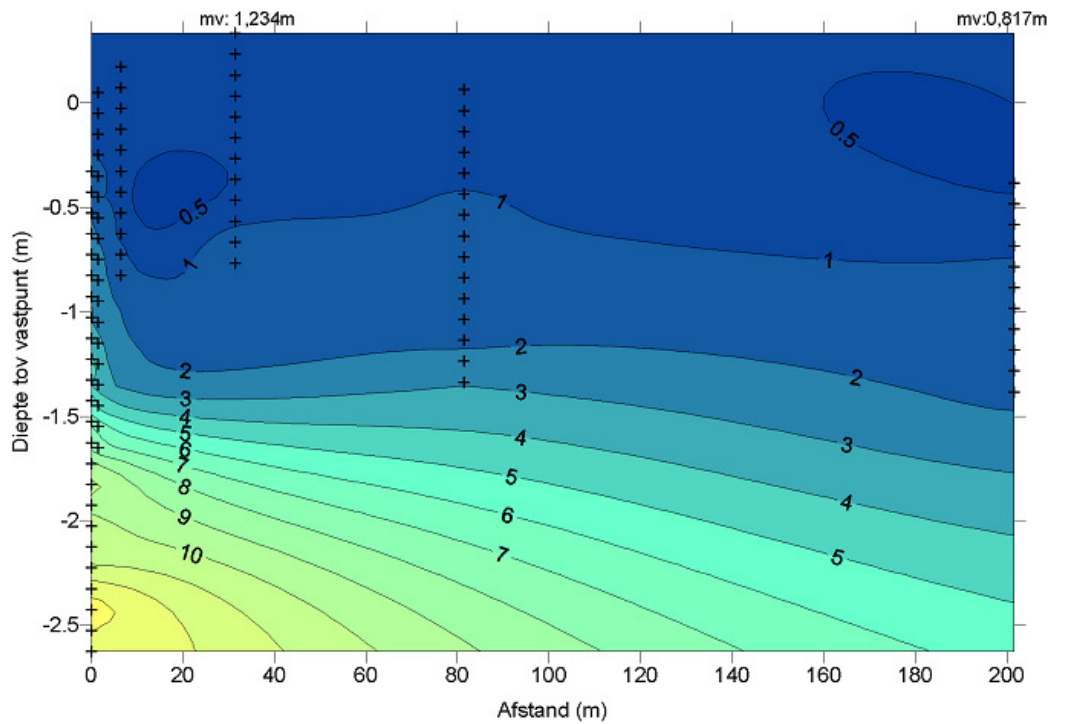
D.2 Verschillen tussen serie 2 en serie 1 perceel 16



D.3 Ruimtelijke verdeling EC-waarden eerste serie perceel 16

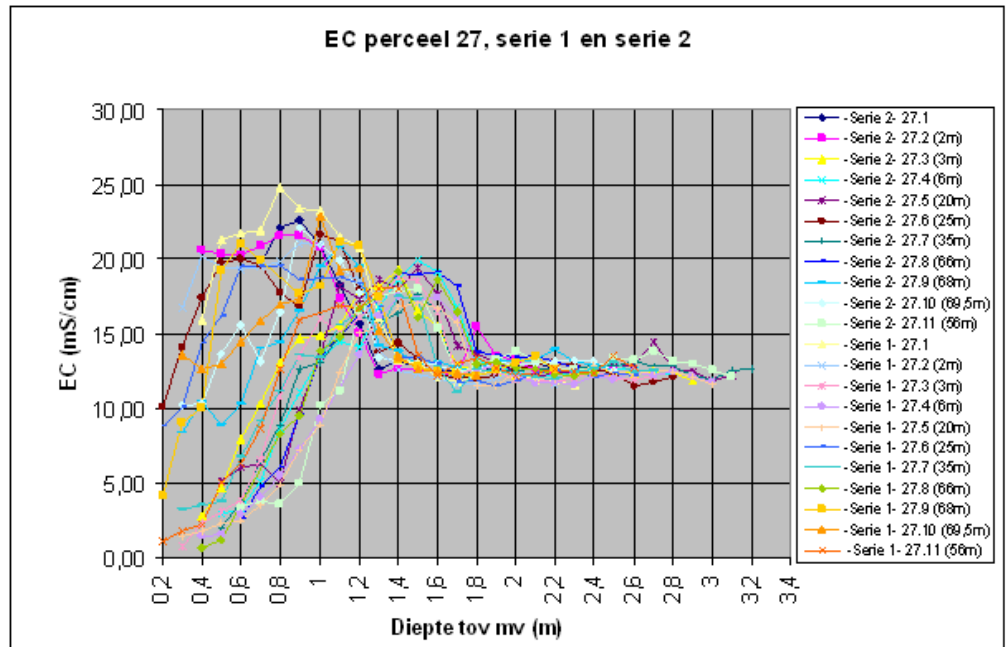


D.4 Ruimtelijke verdeling EC-waarden tweede serie perceel 16

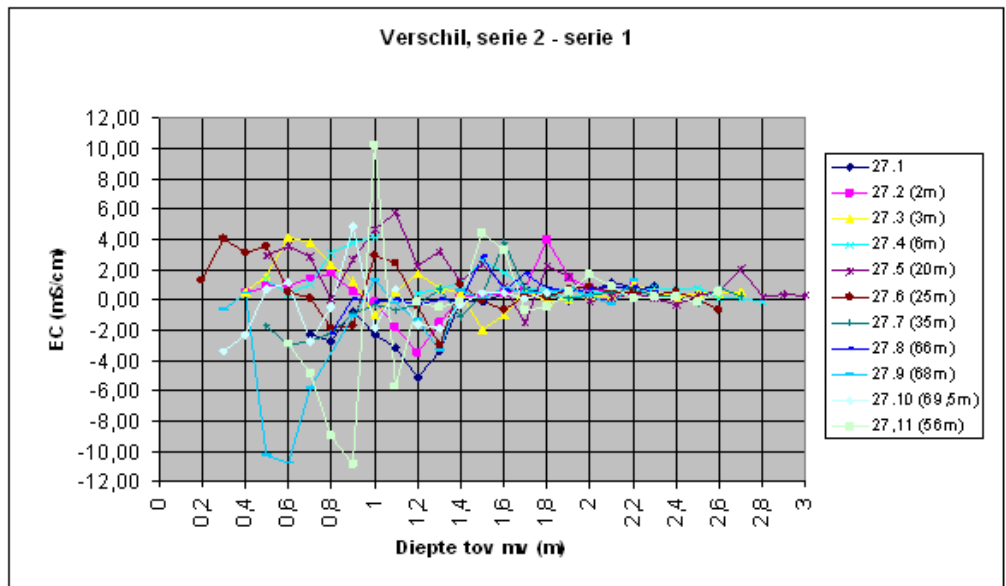


E Perceel 27 13-12-'06 en 11-05-'07

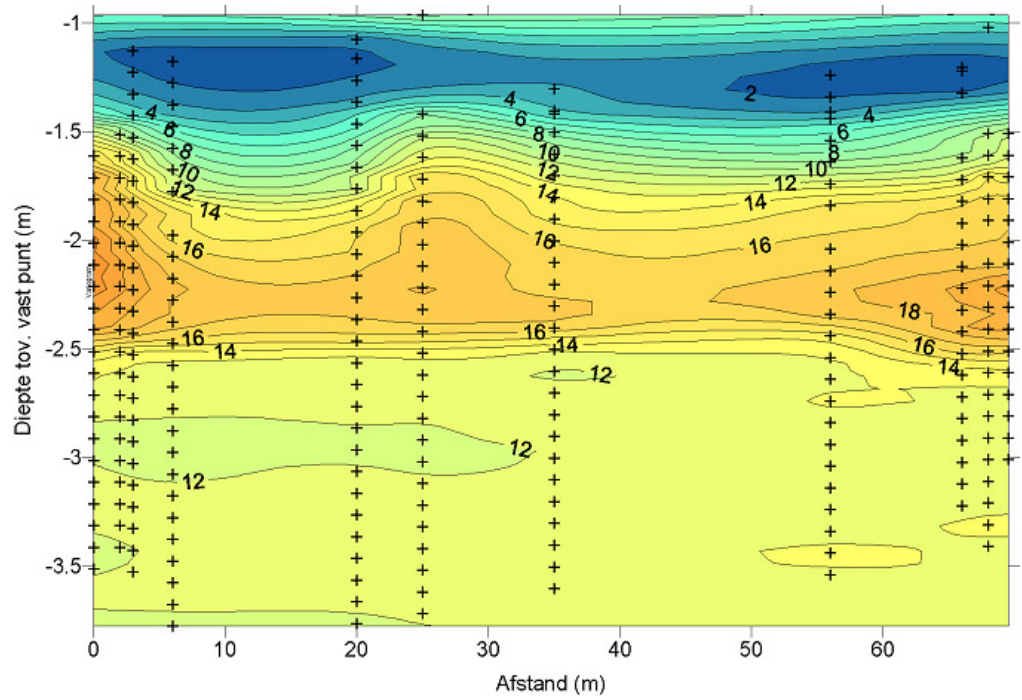
E.1 EC-waarden eerste en tweede meetserie perceel 27



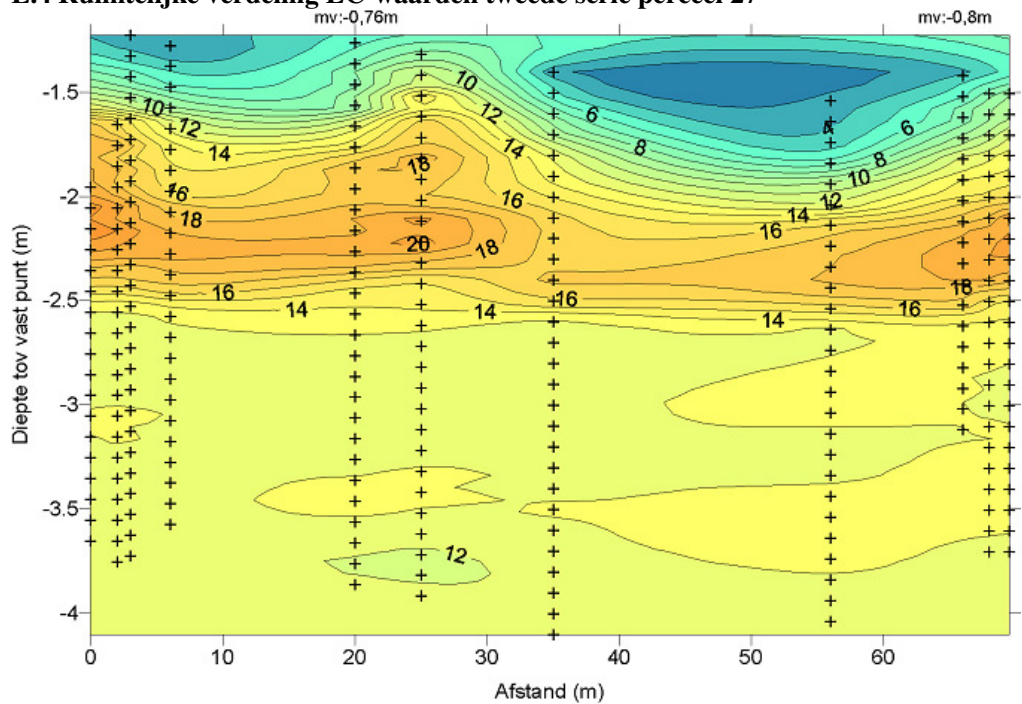
E.2 Verschillen tussen serie 2 en serie 1 perceel 27



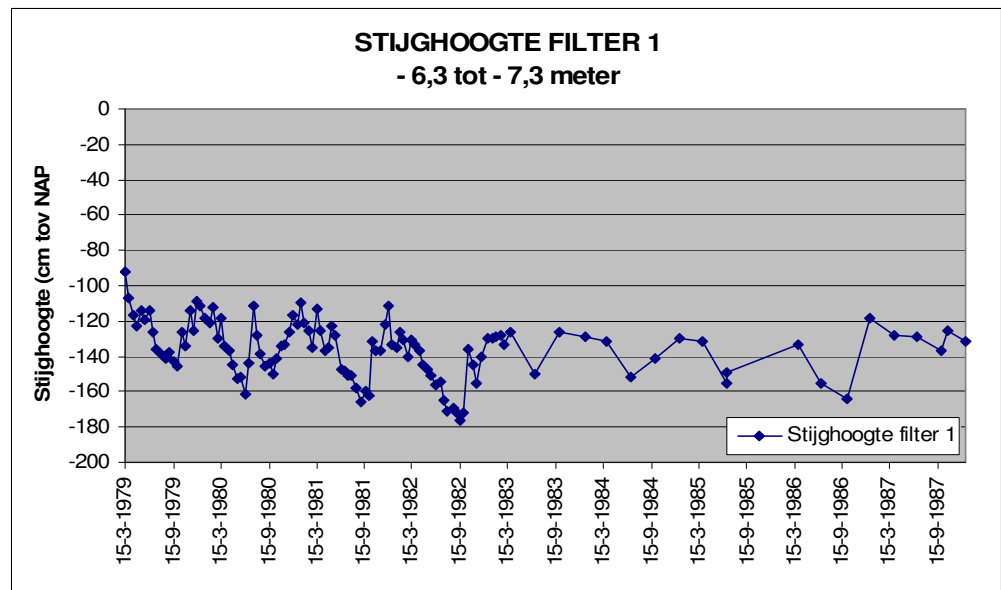
E.3 Ruimtelijke verdeling EC-waarden eerste serie perceel 27



E.4 Ruimtelijke verdeling EC-waarden tweede serie perceel 27

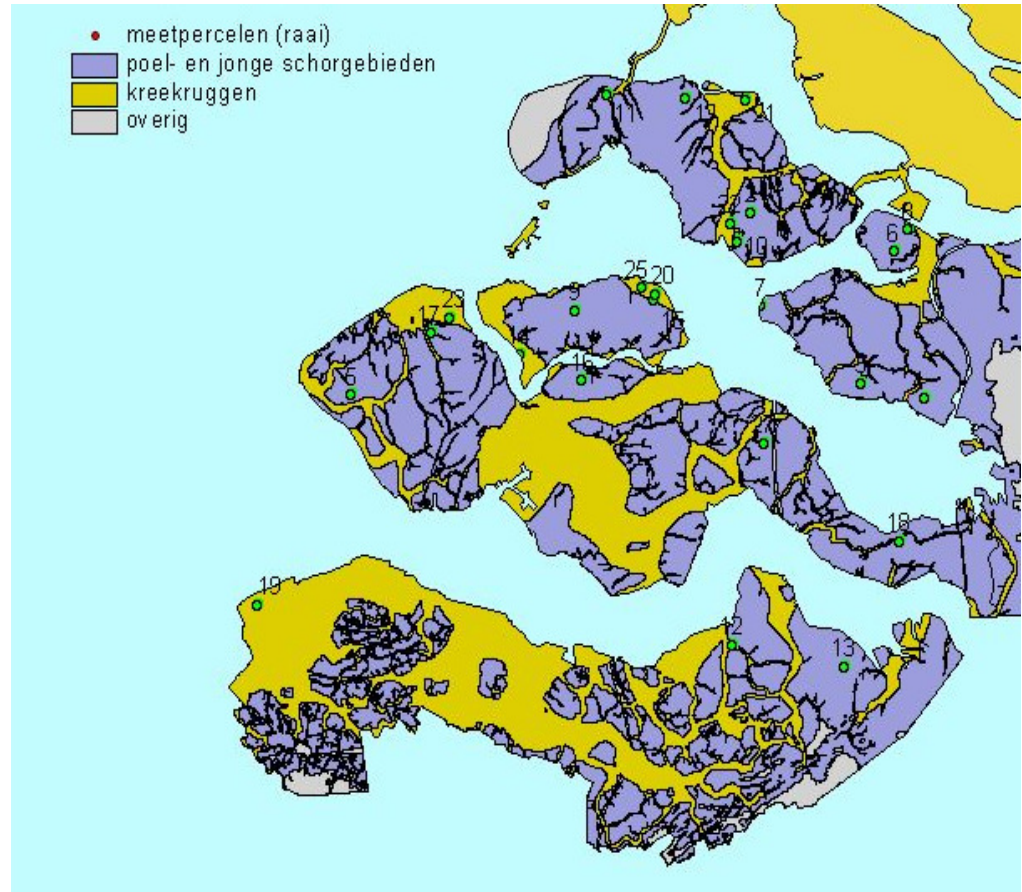


F Stijghoogte peilbuis perceel 27



G Geologische opbouw

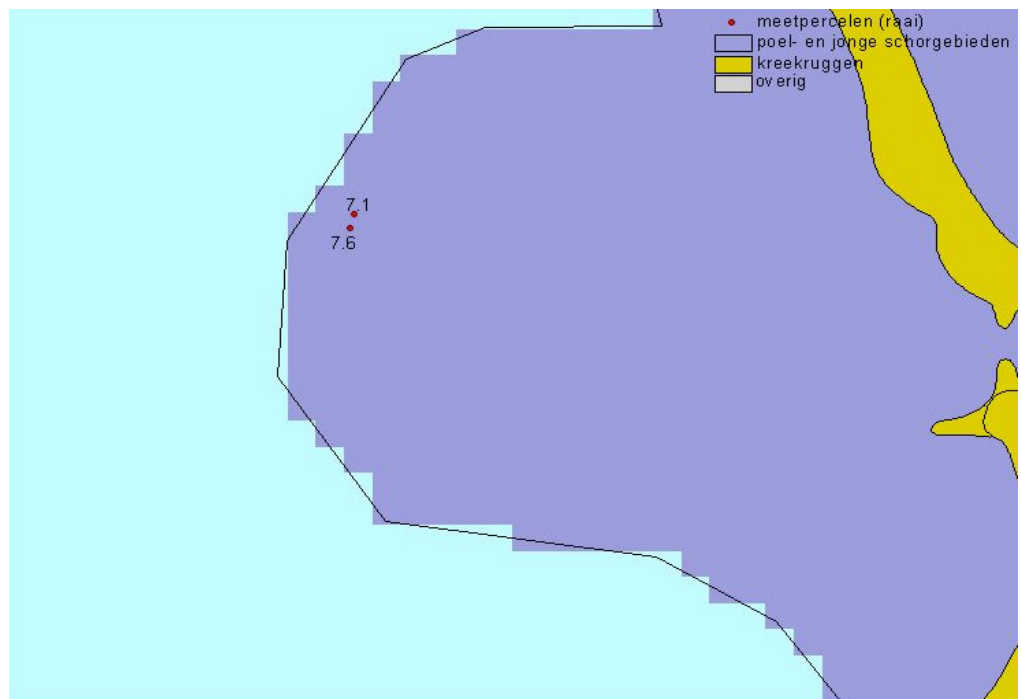
G.1 Overzicht geologische opbouw alle percelen



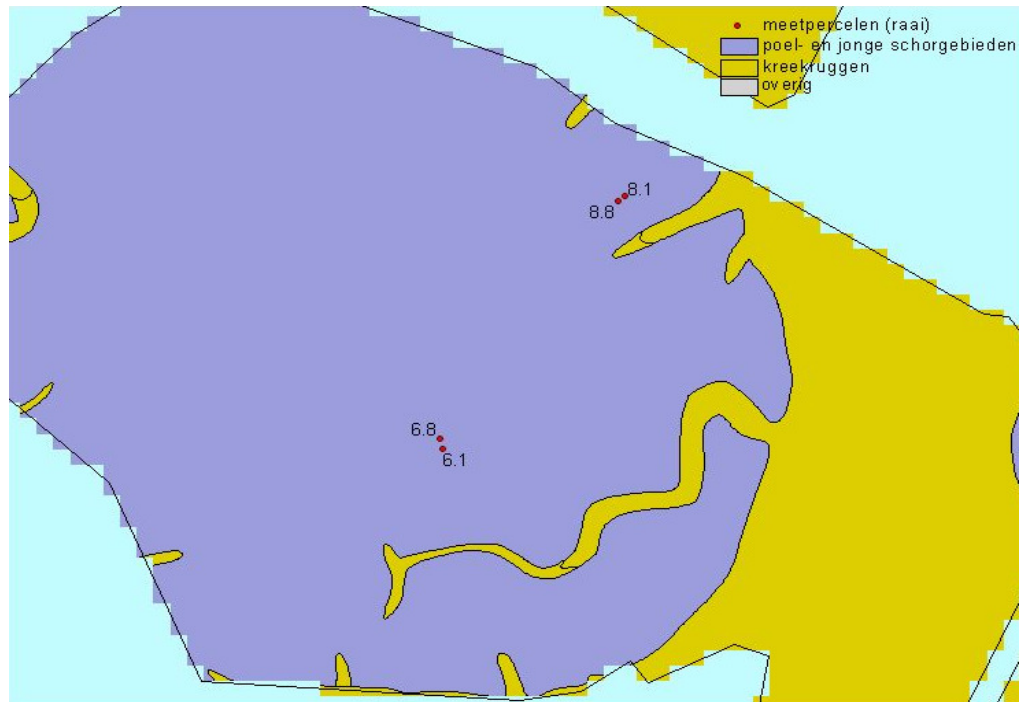
G.2 Perceel 3 en 4



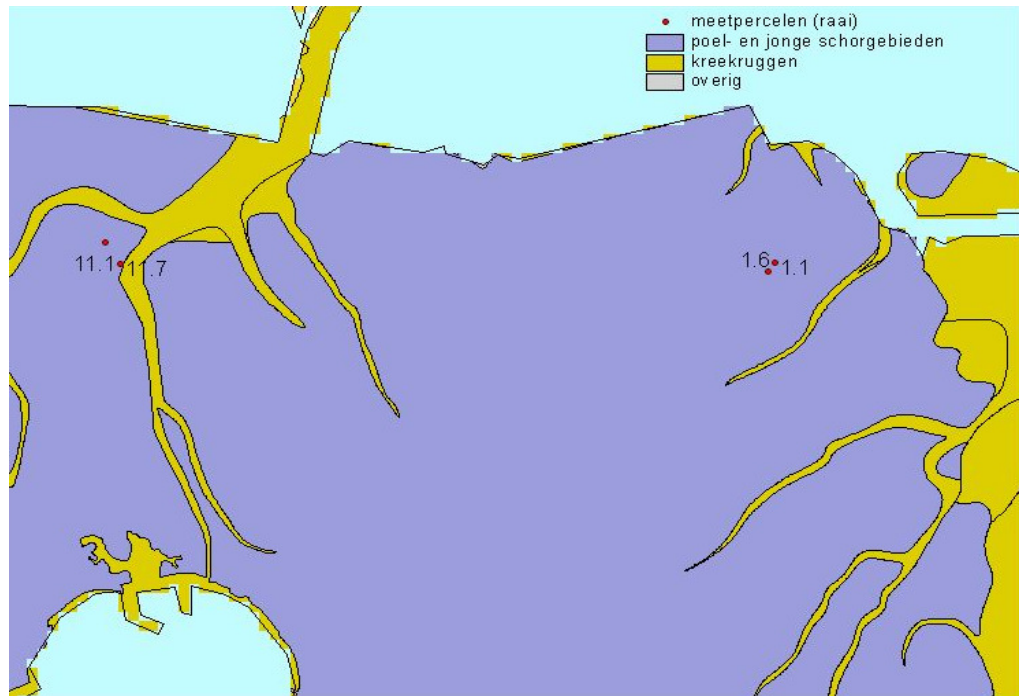
G.3 Perceel 7



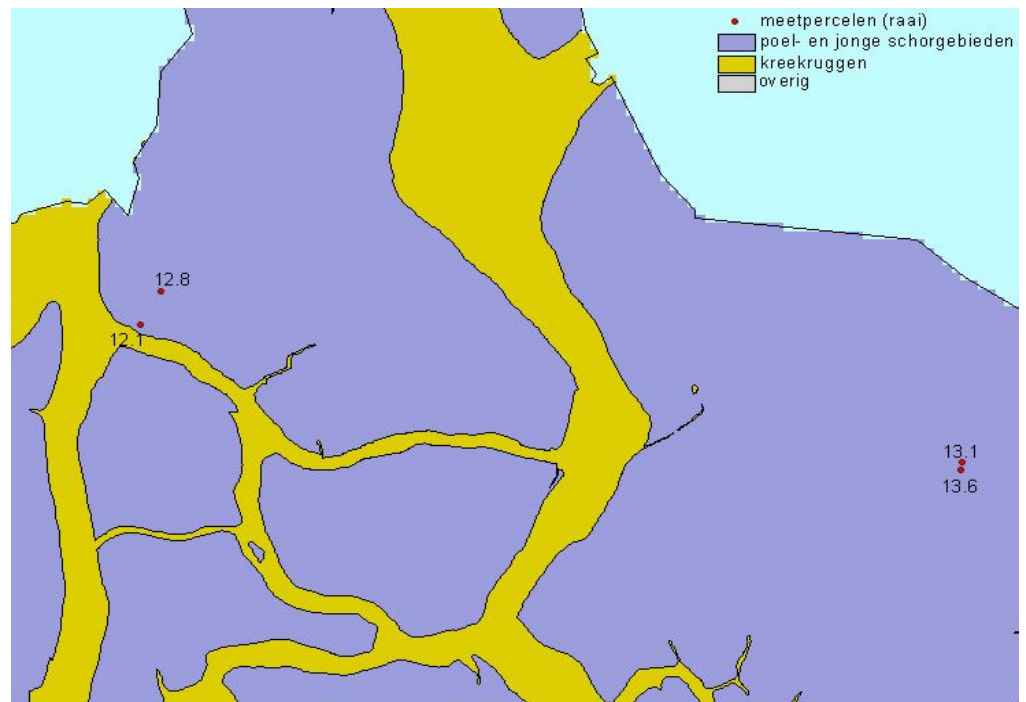
G.4 Perceel 6 en 8



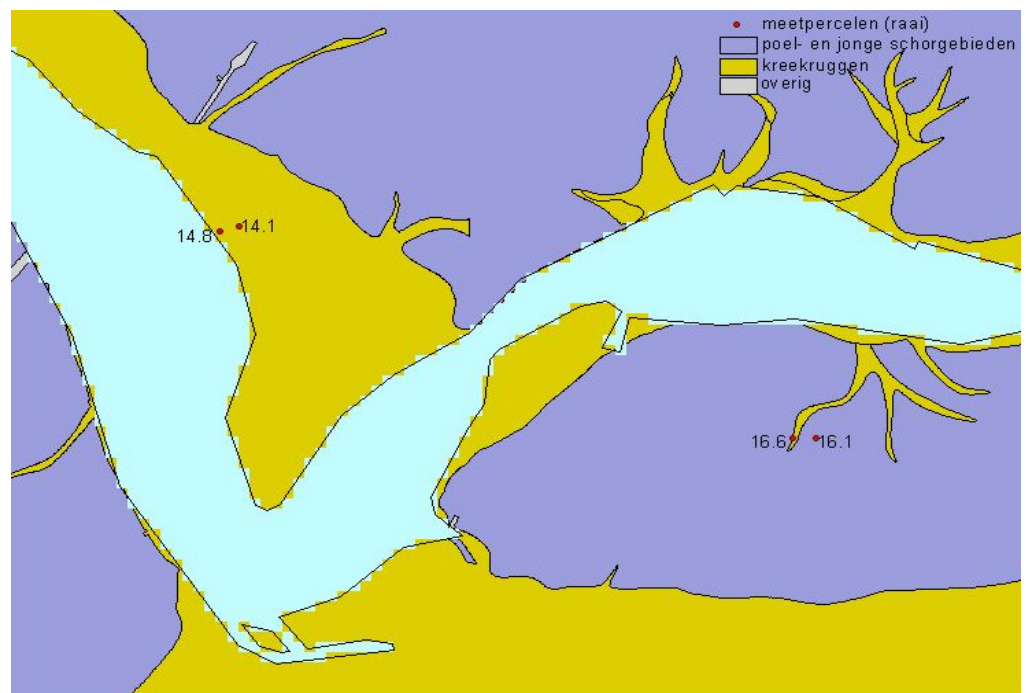
G.5 Perceel 1 en 11



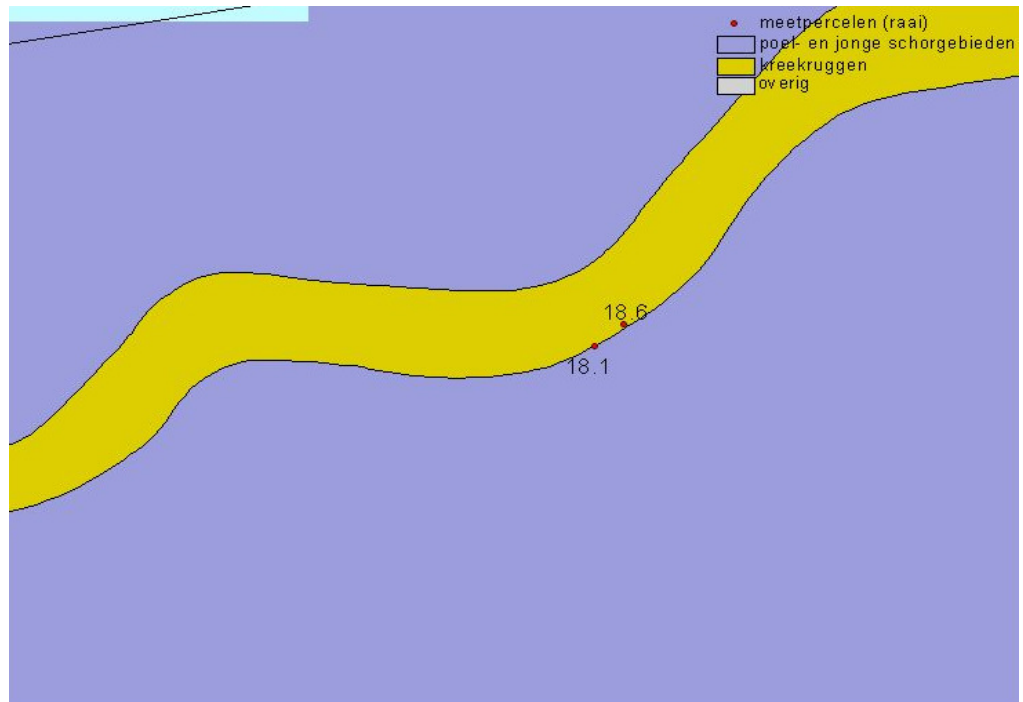
G.6 Perceel 12 en 13



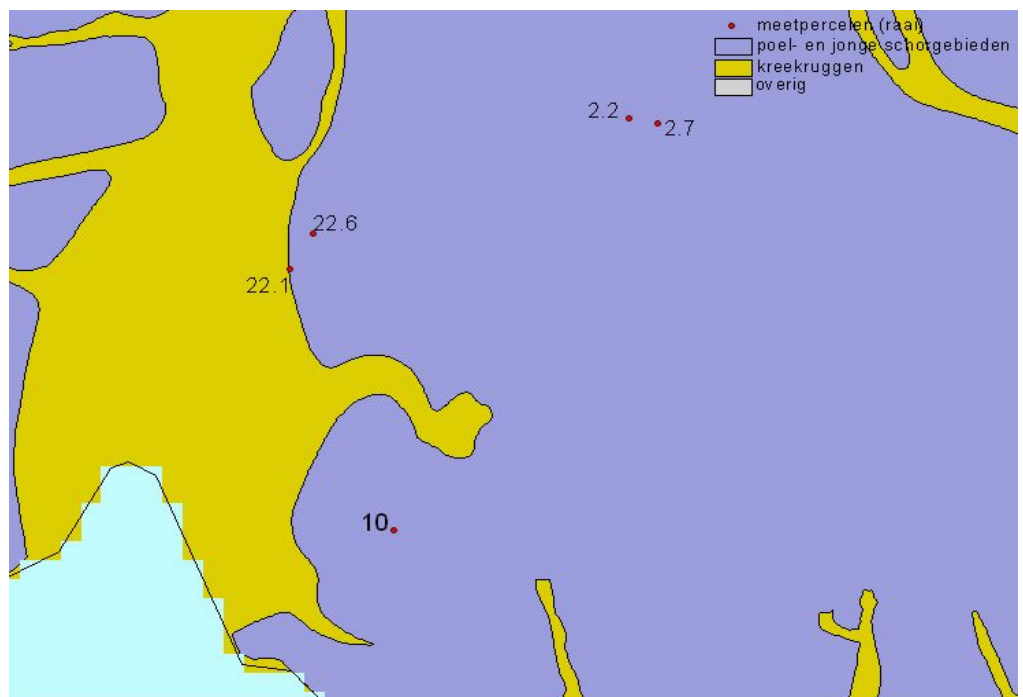
G.7 Perceel 14 en 16

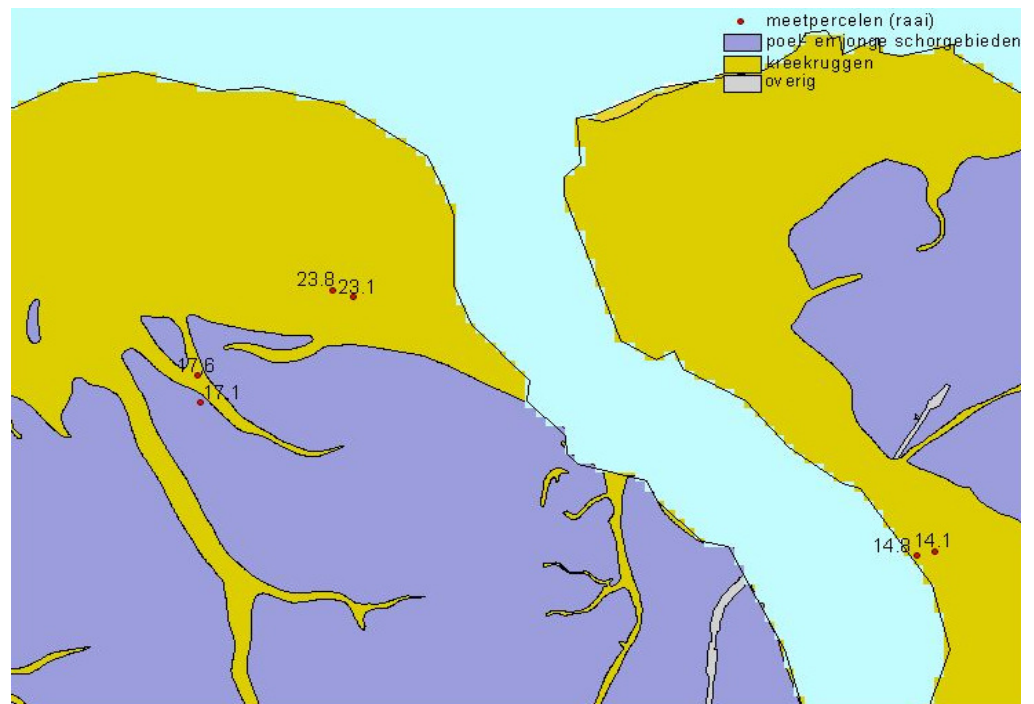
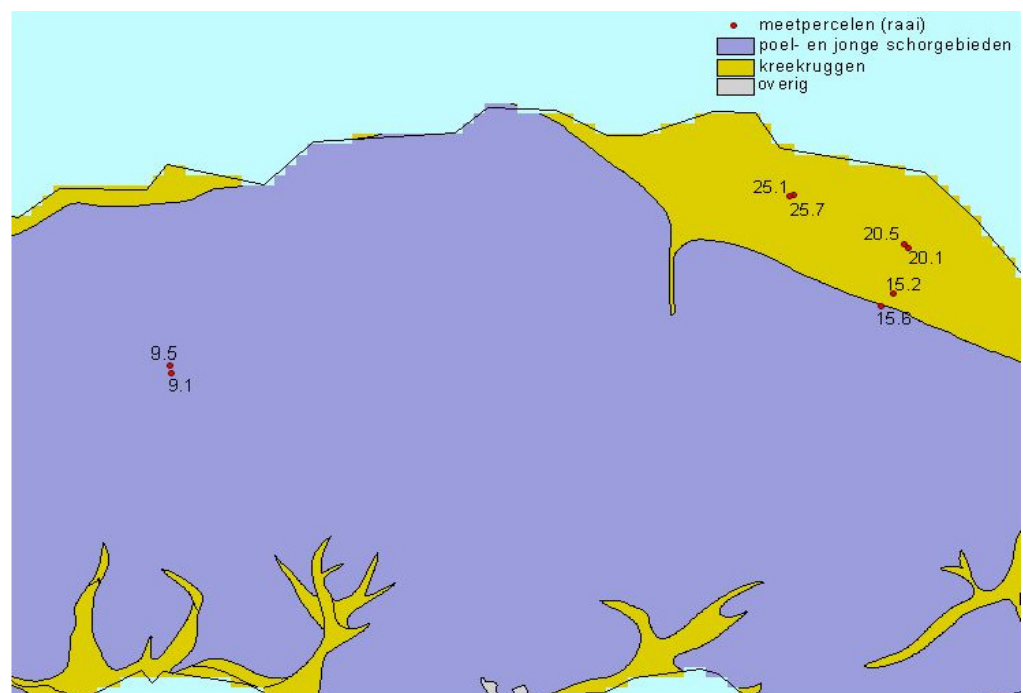


G.8 Perceel 18



G.9 Perceel 2, 10 en 22



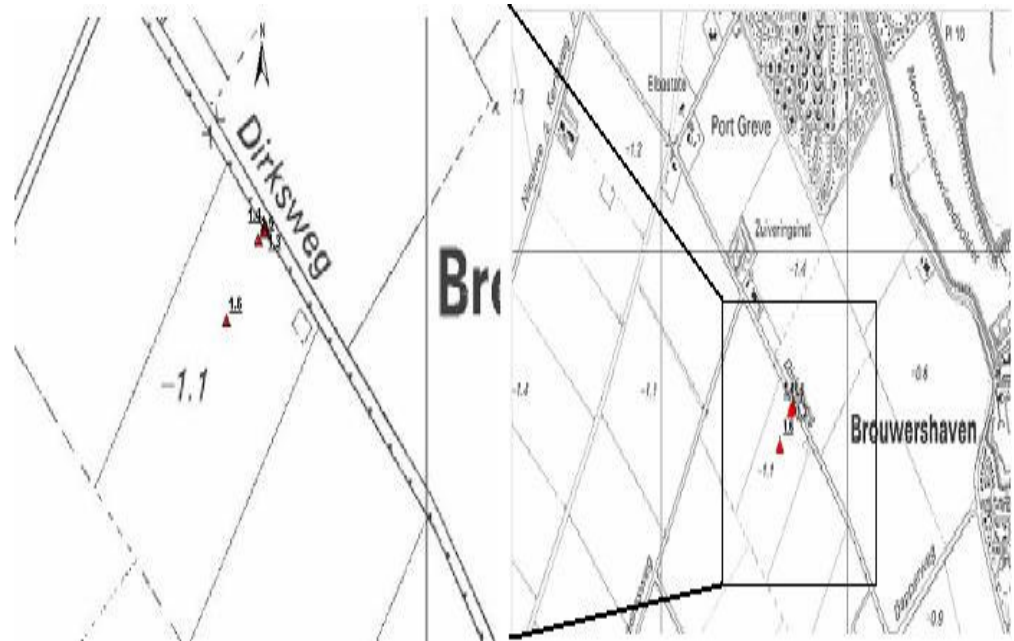
G.10 Perceel 14, 17 en 23**G.11 Perceel 15, 20 en 25**

G.12 Perceel 27

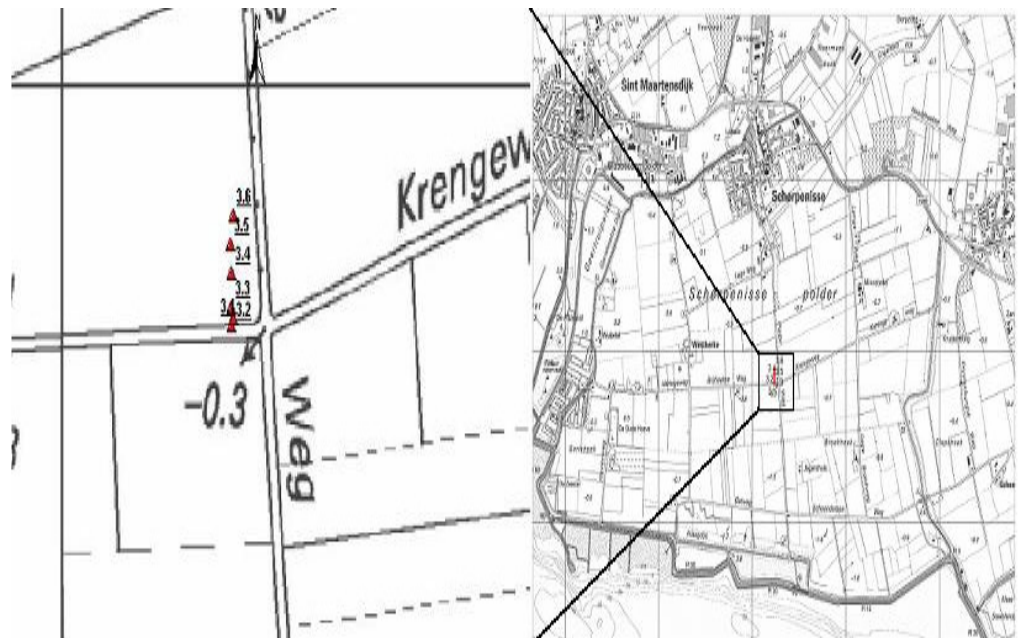


H Bemeten locaties

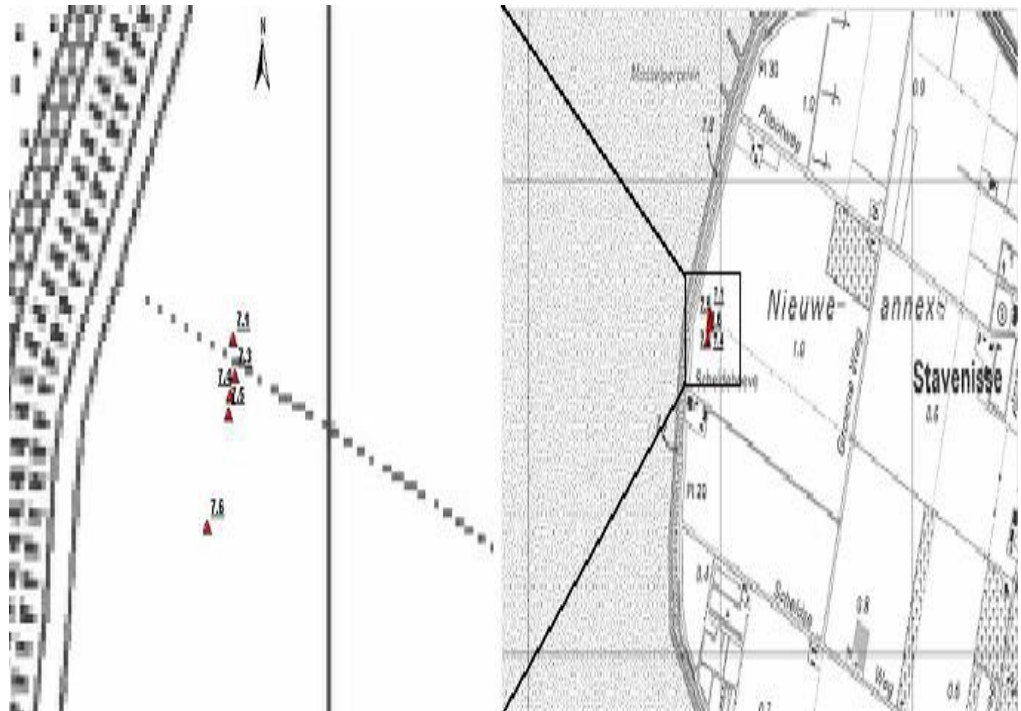
H.1 Perceel 1



H.2 Perceel 3



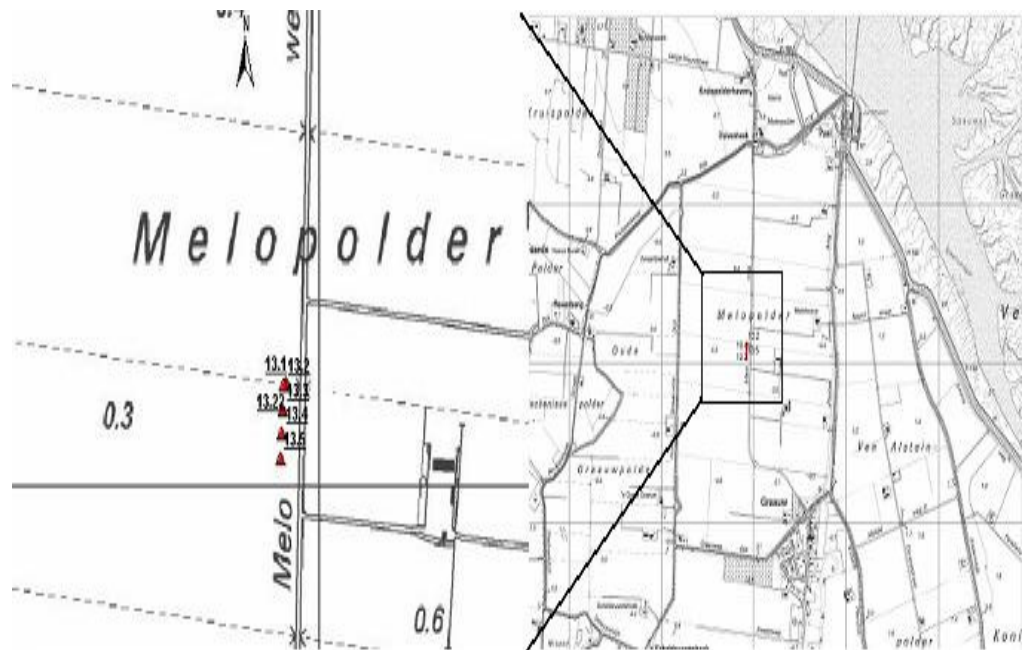
H.3 Perceel 7



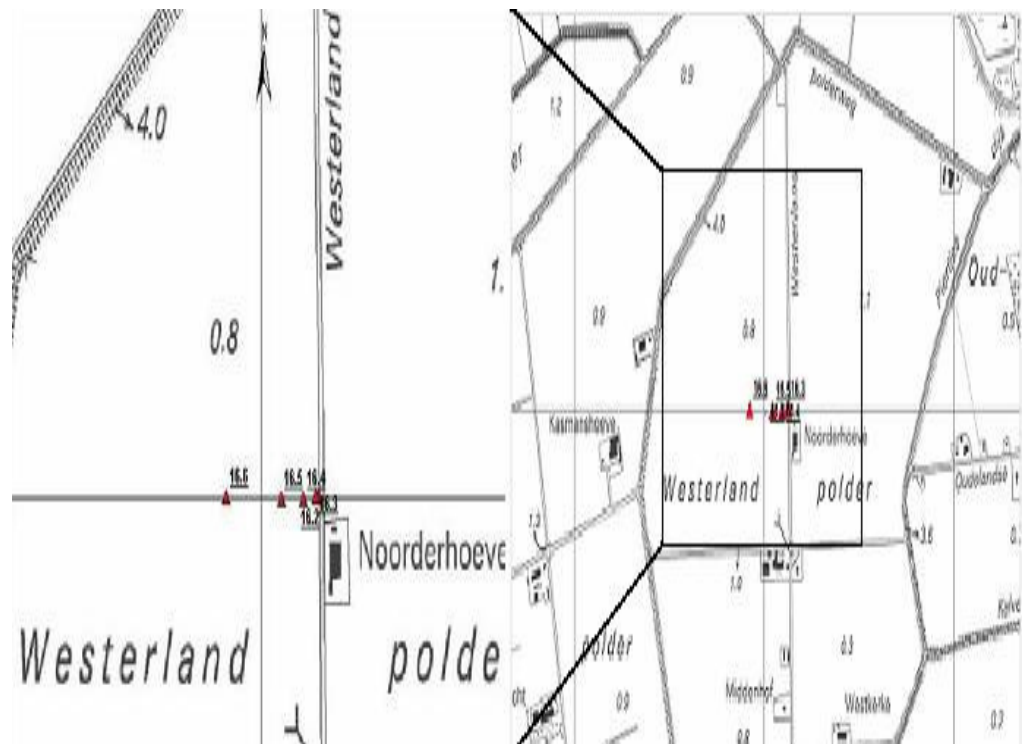
H.4 Perceel 10



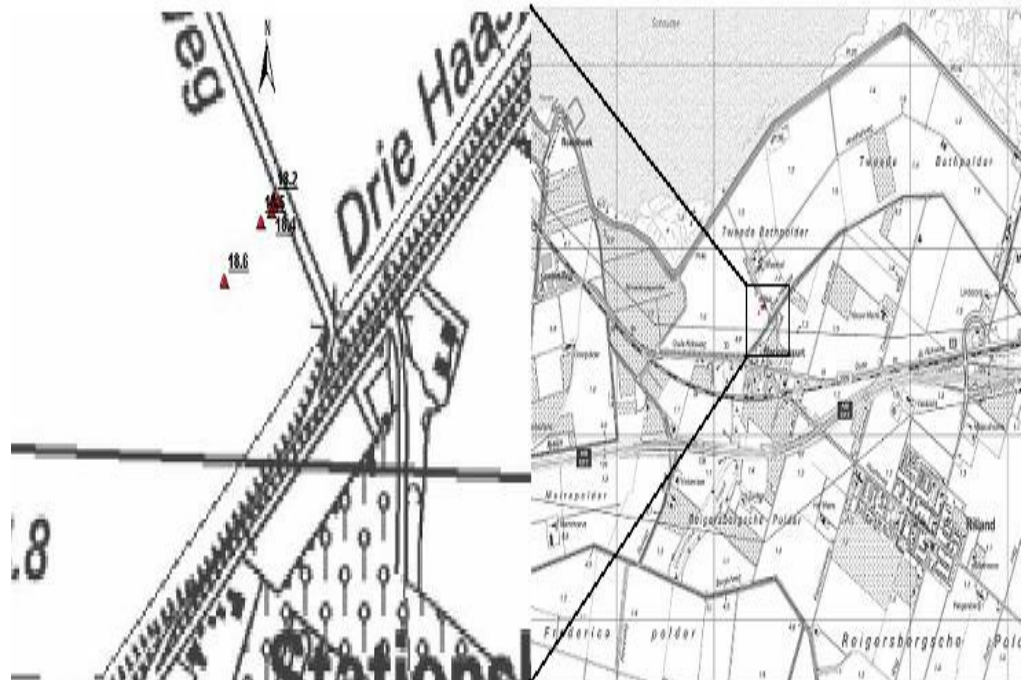
H.5 Perceel 13



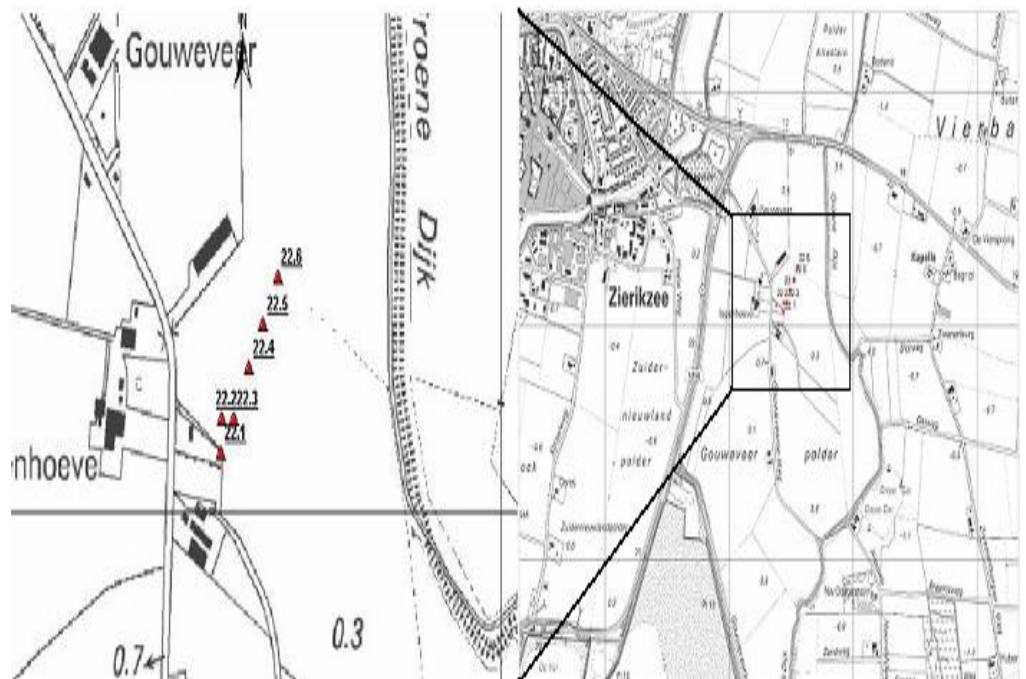
H.6 Perceel 16



H.7 Perceel 18



H.8 Perceel 22



H.9 Perceel 27

