Veldonderzoek zoet en zout grondwater Koegraspolder

Eindrapport 7 februari 2014

Acacia Water

Samenvatting

Op maandag 20 januari 2014 heeft het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier een informatiebijeenkomst voor agrariërs georganiseerd in de Noordkop Noord-Holland over de toename van zout kwelwater in de Noordkop, specifiek gericht op de polder Koegras. In die bijeenkomst is door Acacia Water een presentatie gegeven de werking van neerslaglenzen in percelen en resultaten van het veldonderzoek. Tevens zijn enkele oplossingsrichtingen gepresenteerd hoe kan worden omgegaan met verzilting. Dit rapport beschrijft dezelfde elementen van de presentatie door Acacia Water en licht de resultaten van het veldonderzoek verder toe. De belangrijkste conclusies zijn:

Er is sprake van een zeer scherp overgang van zoet en zout. Het grondwater enkele centimeters boven het drainageniveau heeft een EC van 4 mS/cm (1500 mg/l). Daaronder stijgt de EC snel naar waarden boven de 20 mS/cm ofwel 5000 mg/l tot 9000 mg/l chloride. Er is geen sprake van een zoete neerslaglens tussen drainagemiddelen maar van een heel dunne laag van brak water.

De kleine drainage-afstanden en relatief hoge doorlatenheden leiden tot kleinere opbolling tussen de drains en zeer dunne lenzen van maximaal enkele decimeters. De combinatie met het de bodemopbouw van zand op klei zorgt ervoor dat het neerslagwater direct wordt afgevoerd. In feite vormt het niveau van de buisdrains de scheidslijn tussen zoet en brak grondwater.

Colofon

Documenttitel	.	Veldonderzoek zoet en zout grondwater Koegraspolder
Opdrachtgever	.	Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier
Status	.	Eindrapport
Datum	.	7 februari 2014
Projectnummer	.	N20140550
Projectteam	.	Jouke Velstra, Reinier Visser en Michel Groen (VU)

Disclaimer

Rapport: Aan dit rapport kunnen geen rechten worden ontleend. De auteurs zijn niet verantwoordelijk voor eventuele fouten of consequenties. Aanvullingen of verbeteringen zijn welkom via info@acaciawater.com

Inhoudsopgave

1 Inleiding 1

2 Historische ontwikkeling in relatie tot verzilting 2

2.1 Beheersgebied HHNK 2

2.2 Zone van Den Helder tot Schagen 3

3 Klimaat(verandering) 6

3.1 Inleiding 6

3.2 Neerslagtekort 6

3.3 Klimaatverandering 7

3.4 Neerslagtekort in relatie tot klimaatverandering 9

4 Processen die het zoutgehalte in een perceel bepalen 10

4.1 Inleiding 10

4.2 Zoutgehalte ondiepe grondwater 10

4.3 Zoutgehalte van bodemvocht 12

4.4 Zoutgehalte van afvoer van drains en greppels 12

5 Metingen Koegraspolder 13

5.1 Inleiding 13

5.2 Meettechnieken om de verdeling van het zoete en zoute water in beeld te brengen 13

5.3 Meetlocatie en locatiebeschrijving 13

5.4 Resultaten EC-metingen in de sloot en buisdrainage 14

5.5 Metingen ondiepe grondwater 14

5.6 Conclusies 16

6 Mogelijke oplossingsrichtingen 17

6.1 Peilopzet en drainage 17

6.2 Andere oplossingen 18

1 Inleiding

Op maandag 20 januari 2014 heeft het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier een informatiebijeenkomst voor agrariërs georganiseerd in de Noordkop Noord-Holland over de toename van zout kwelwater in de Noordkop, specifiek gericht op de polder Koegras. In die bijeenkomst is door het Hoogheemraadschap een presentatie gegeven over de wateraanvoer en waterbeschikbaarheid nu en de ontwikkelingen in de toekomst. Acacia Water heeft vervolgens een presentatie gegeven waar in het eerste deel is ingegaan op de historische ontwikkeling van het gebied in relatie tot verzilting en is een relatie gelegd met verwachte klimatologische ontwikkelingen. Het tweede deel van de presentatie ging in op de werking van neerslaglenzen in percelen waarna de resultaten van het veldonderzoek is toegelicht. Tot slot zijn enkele oplossingsrichtingen gepresenteerd hoe kan worden omgegaan met verzilting.

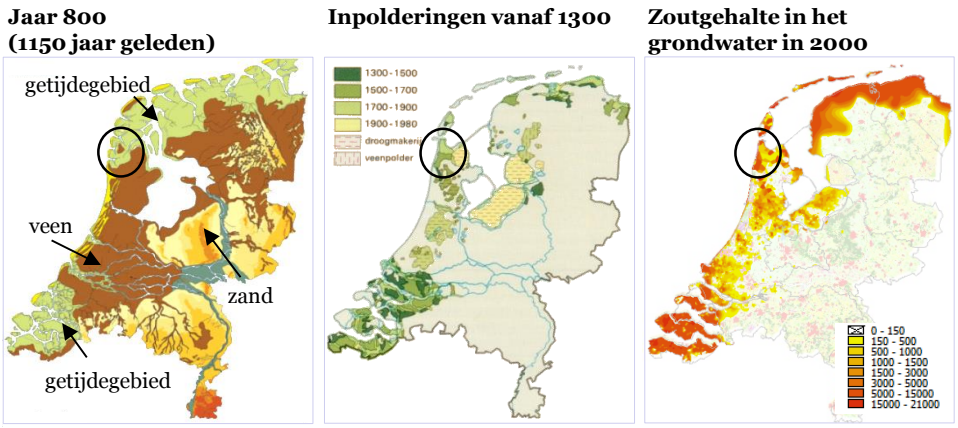
Dit rapport beschrijft dezelfde elementen van de presentatie door Acacia Water en licht de resultaten van het veldonderzoek verder toe.

2 Historische ontwikkeling in relatie tot verzilting

2.1 Beheersgebied HHNK

Historische ontwikkeling in relatie tot verzilting

In het overgrote deel van West- en Noord-Nederland zijn in de laatste 7000 jaar marine kleirijke afzettingen gevormd in een milieu van wadden en estuaria. Hierbij is zout water tot op grote diepten in de ondergrond gedrongen. Nadat in latere stadia de kust deels werd gesloten door strandwallen, duinen en dijken, verzoette het milieu en ontwikkelde zich over grote gebieden veen. Het gevolg was dat in de bovenste bodemlagen zoet grondwater binnendrong dat min of meer dreef op het stagnerende 'oude' zoute water.



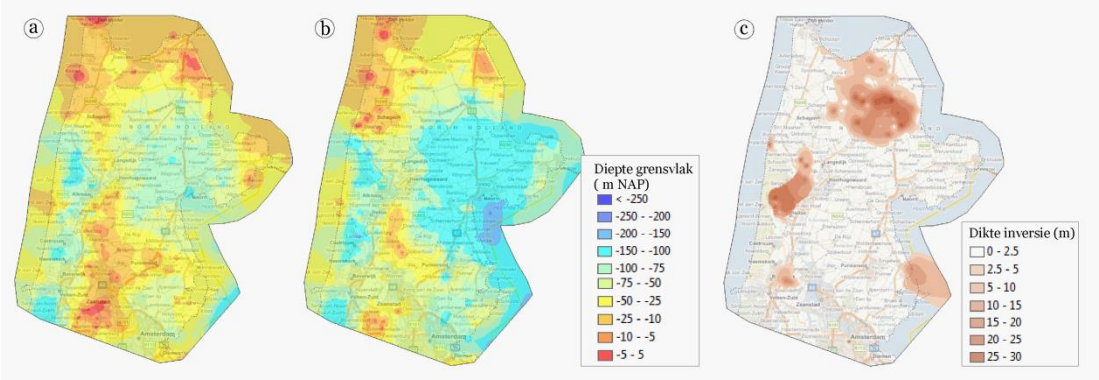
Figuur 1. Relatie historische ontwikkelingen inpolderingen met het voorkomen van zout in het ondiepe grondwater.

Na de bedijkingen en ontginningen daalde de bodem door ontwatering en inklinking en ontstonden diepe polders in droogmakerijen. Deze lappendeken van polders met verschillende peilen bracht een gecompliceerd systeem van grondwaterbewegingen op gang tussen hoger en lager gelegen gebieden, waardoor het diepere 'oude' zoute water weer in beweging werd gebracht en als zoute kwel in vooral de diepere polders omhoog kwam. De sterkte van de kwel wordt bepaald door de (relatieve) diepte van de polder en de weerstand van de afdekkende klei en veenlagen. Naast dit oude zoute water dringt langs de kust ondergronds (recent) zeewater binnen. Het negatieve effect van de zoute kwel is vooral manifest aan het einde van de zomer wanneer door het verdampingsoverschot het zout in de bodem accumuleert.

Huidige voorkomen van zoet en zout grondwater

Aan de hand van duizenden metingen is het patroon van zoutgehalten in de ondergrond in kaart gebracht. Dat heeft geresulteerd in chloridekaarten voor het gehele beheersgebied (met

grensvlakken=diepte tot voor het eerste een zoutgehalte wordt gemeten van 1.000, 5.000, 10.000 mg/l en inversies).



Figuur 2. Diepte van het a) 1000 mg/l en b) 5000 mg/l chloride grensvlak en c) de dikte van de inversies in het beheersgebied van HHNK.

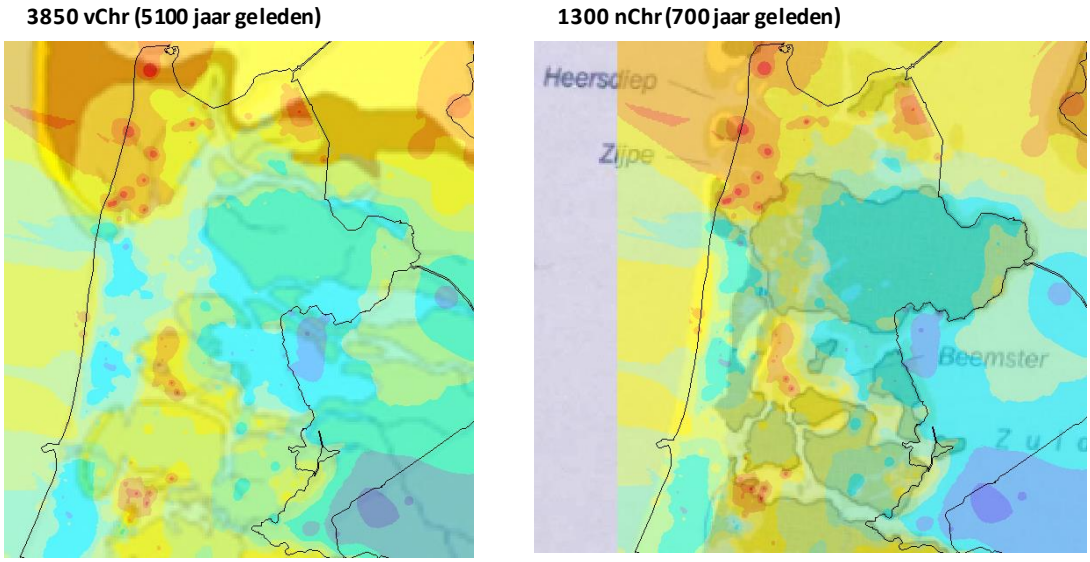
Goed te zien in deze kaart is het diepe grensvlak (tot 100 m) onder het beschermde gebied van de Westfriese ringdijk waar sinds 4000 BP onafgebroken een zoet milieu heeft geheerst. Ook onder de duinen heeft zich na 1000 AD een diepe zoetwaterbel gevormd. De zeedoorbraken na 800 AD zijn zichtbaar in het brakke grondwater op geringe diepte achter de strandwalgordel tussen Schagen en Beverwijk en in de kop van Noord-Holland, met name in het gebied rond Den Helder. In enkele gevallen zien we onder dit ondiepe brakke grondwater zogenaamde inversies. Daar heeft zoet grondwater zich weten te handhaven onder de bescherming van kleilagen (westelijk deel Wieringermeer, Alkmaar, Volendam). Figuur 2 laat ook zien, dat in de diepe droogmakerijen, de IJpolders brak grondwater met gehalten van 5000 mg/l op slechts enkele meters of minder diepte zit door de sterke kwel.

2.2 Zone van Den Helder tot Schagen

Historische ontwikkeling in relatie tot verzilting

In het noordwesten van het gebied (1) bevindt zich een zone van ondiep zout water dat zich uitstrekt van Den Helder tot Schagen en loopt in feite door in de Waddenzee. Dit gebied is lang deel geweest van de Pleistocene kustboog van Texel en is pas relatief laat in het Holoceen onder water gelopen en deel geworden van het kweldersysteem. Uit de meest recente kaarten dat in de periode van 5000-3000 jaar geleden dit gebied onder invloed stond van het zoute water in het getijdengebied achter het zeegat van Bergen. Een eerste mogelijkheid is dat het zout in de ondergrond in noordwest Noord Holland afkomstig uit deze tijd.

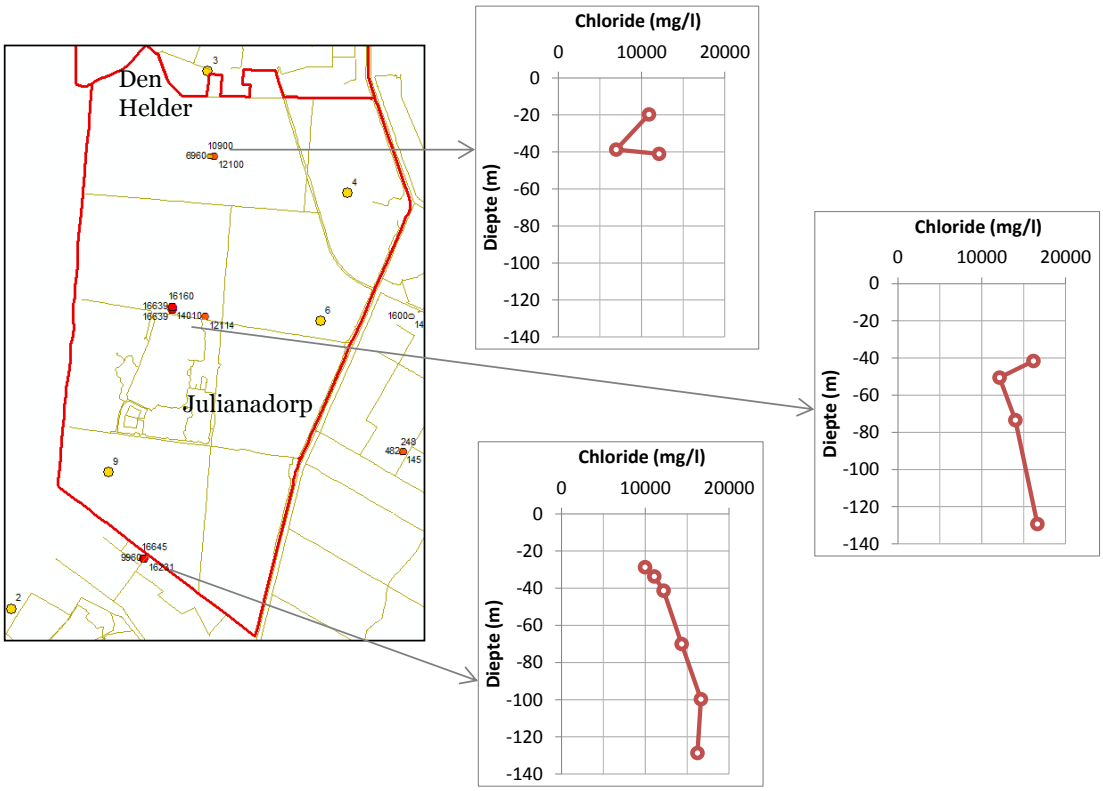
Na de sluiting van het zeegat van Bergen vond hier veenvorming plaats totdat rond 700-1000 geleden, na de doorbraken bij Zijpe en Heersdiep, het land overstroomde door de zee. Pas 200 tot 500 jaar later (na 1550 en deels na 1830) werd dit deel van het land teruggewonnen op de zee, tot die tijd heeft het zout in de ondergrond kunnen indringen.



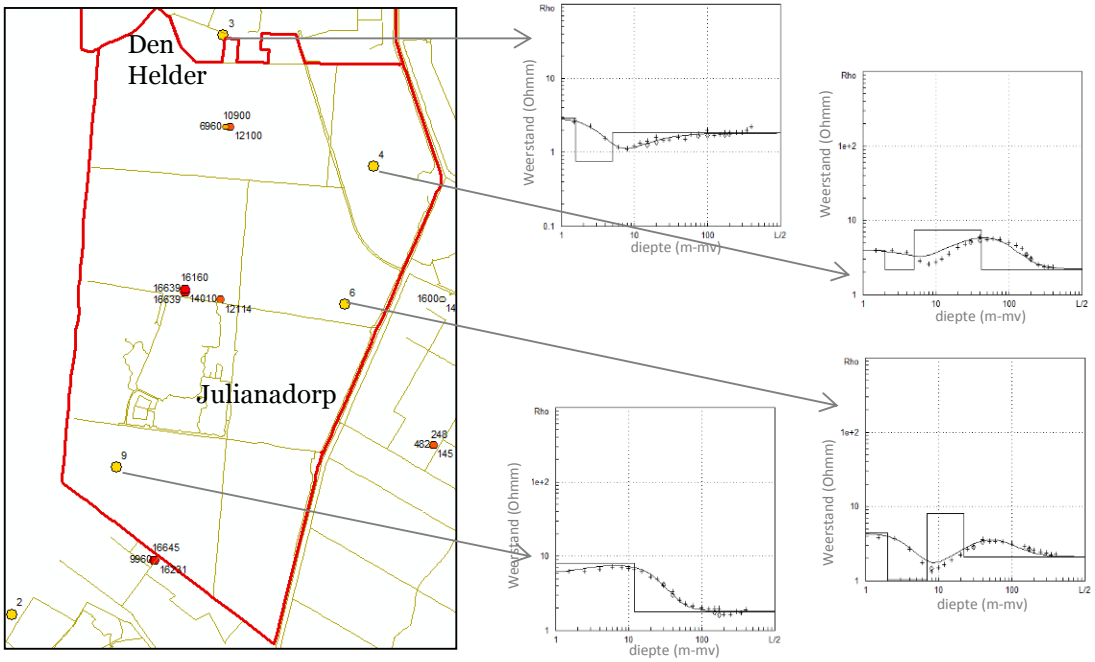
Figuur 3. Situatie 5100 jaar geleden en ca. 700 jaar geleden gecombineerd met de diepte van het 5000 mg/l grensvlak.

Huidige voorkomen van zoet en zout grondwater

Uit een inventarisatie van bestaande gegevens wordt het historische en globale beeld van zoet en zout grondwater verder bevestigd. Uit grondwateranalyses van een drietal locaties in de Koegraspolder (Figuur 4) blijkt dat op een diepte van 20m het chloridegehalte al boven de 10.000 mg/l is (dit komt overeen met een EC van ca. 30mS/cm) . Ter vergelijking, het water van de Noordzee heeft een chloridegehalte van ongeveer 18.000 mg/l (EC 47 mS/cm).



Figuur 4. Chloridegehalte van het grondwater op drie locaties in de Koegraspolder.



Figuur 5. Geofysica metingen op vier locaties in de Koegraspolder.

Naast directe metingen van het zoutgehalte zijn er in het verleden ook geofysica metingen uitgevoerd. Een geofysicameting geeft een beeld van de elektrische weerstand van de ondergrond, uitgedrukt in Ohmm. Sommige meetsystemen geven de elektrische geleidbaarheid, welke de omgekeerde is van de weerstand. De elektrische weerstand van de ondergrond of ook wel formatieweerstand wordt bepaald door de weerstand van het grondwater, de lithologie, de mate van waterverzadiging en de temperatuur (voor een gedetailleerde uitleg wordt verwezen naar de bijlage).

Figuur 5 geeft de resultaten van vier metingen die in het verleden zijn uitgevoerd in het gebied. De metingen in het gebied ten noorden van Julianadorp laten een weerstand zien van de ondiepe ondergrond tussen de 3 en 5 Ohmm. De samenstelling van de ondiepe ondergrond is zand. De vertaling van de weerstand van 3 tot 5 Ohmm geeft dan een EC van het grondwater van 10-20 mS/cm ofwel 3500-8000 mg/l chloride.

Uit de metingen van het grondwater samen met de geofysica metingen kan worden geconcludeerd dat het grondwater in het gebied van de Koegraspolder al op geringe diepte zeer brak tot zout is. Om meer inzicht te krijgen in het ondiepe grondwater, relevant voor de landbouw en afvoer van brak water uit de percelen, zijn enkele metingen op een perceel uitgevoerd. De resultaten hiervan zijn beschreven in hoofdstuk 5.

3 Klimaat(verandering)

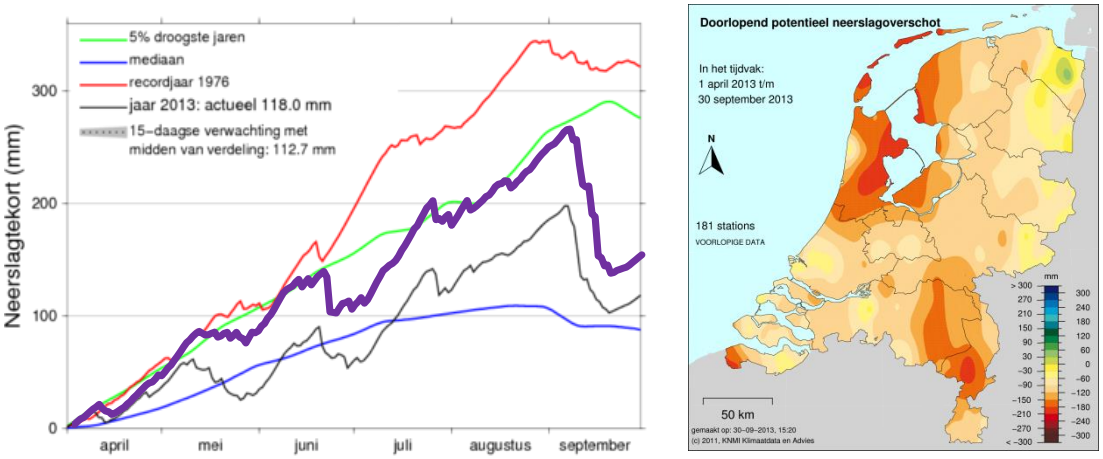
3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk aandacht voor het huidige klimaat, en watertekort, en de verwachte ontwikkelingen voor het gebied in de toekomst.

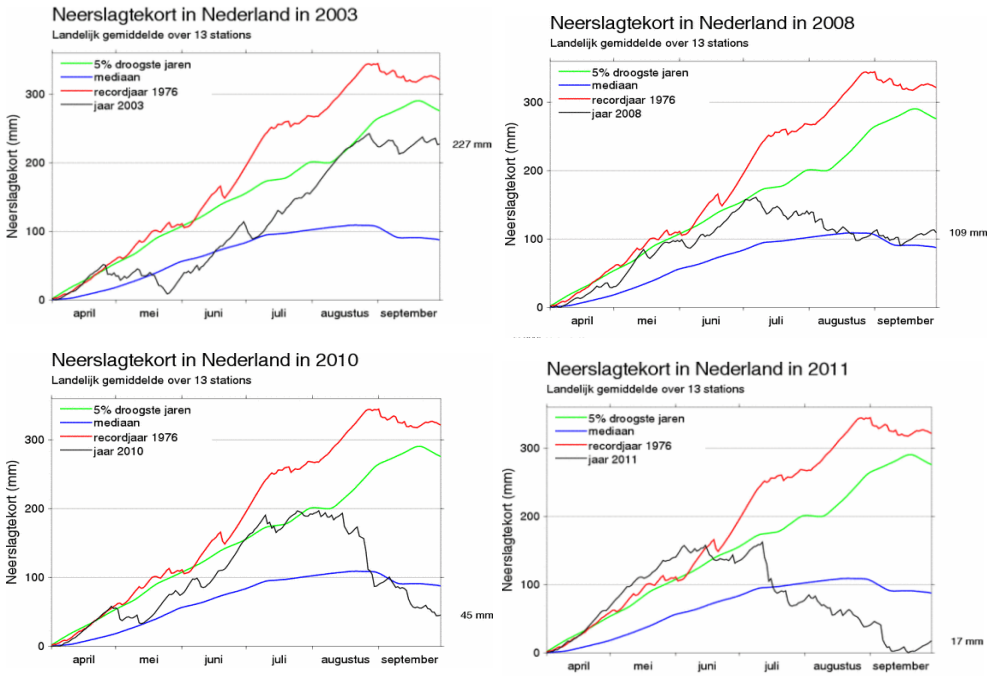
3.2 Neerslagtekort

Het neerslagtekort in Nederland varieert van gebied tot gebied (Figuur 6). Wat opvalt is dat de kop van Noord Holland een veel groter neerslagtekort heeft dan de rest van Nederland. Dit geldt niet alleen voor afgelopen jaar maar is typisch voor dit gebied. Het neerslagtekort in de Bilt was kwam in 2013 overeen met een gemiddeld jaar (mediaan in de grafiek). Aan de grafiek is het watertekort voor de region van de Koegraspolder toegevoegd. Wat opvalt is dat het tekort dat gelijk oploopt met de 5% droogste jaren en in april t/m juni gelijk oploopt met het extreem droge jaar 1976. Eind augustus is het neerslagtekort meer dan 250mm, door de natte periode in september gaat het echter niet de boeken in als een droog jaar.

Was 2013 een uitzonderlijk jaar voor wat betreft watertekorten? Een selectie van enkele andere jaren het afgelopen 10 jaar (Figuur 7) laat zien dat een aanzienlijk watertekort vaker optreedt.



Figuur 6.Neerslagtekort 2013 voor de Bilt met daarop geprojecteerd (de dikke lijn) het neerslagtekort voor de regio van de Koegraspolder. Rechts het landelijke beeld van het neerslagtekort in 2013.



Figuur 7. Neerslagtekort voor een viertal jaren voor de Bilt.

3.3 Klimaatverandering

In Noord Holland spelen een aantal ontwikkelingen die kunnen leiden tot een verandering in de zoutbelasting. De belangrijkste extern gestuurde ontwikkelingen voor de zoutdruk zijn de (1) de bodemdaling, (2) de zeespiegelstijging en (3) de klimaatverandering.

G	Gematigd	1° C temperatuurstijging op aarde in 2050 ten opzichte van 1990 geen verandering in luchtstromingspatronen in West Europa
G+	Gematigd+	1° C temperatuurstijging op aarde in 2050 ten opzichte van 1990 + winters zachter en natter door meer westerwind + zomers warmer en droger door meer oosterwind
W	Warm	2° C temperatuurstijging op aarde in 2050 ten opzichte van 1990 geen verandering in luchtstromingspatronen in West Europa
W+	Warm+	2° C temperatuurstijging op aarde in 2050 ten opzichte van 1990 + winters zachter en natter door meer westerwind + zomers warmer en droger door meer oosterwind

Figuur 8. Overzicht van de KNMI '06 klimaatscenario's.

Bodemdaling

In Noord Holland daalt de bodem door zowel natuurlijke als door mensen geïntroduceerde processen. De voornaamste reden van bodemdaling op in het Noord-Holland vindt plaats daar waar veel veen en/of klei in de ondergrond zit vanwege ontwatering of door grote belasting na bebouwing. Dit proces is dominant in het grootste deel van het gebied en veroorzaakt een bodemdaling tot meer dan 50cm in de komende halve eeuw. Voor de Koegraspolder wordt een bodemdaling van 5cm tot 10cm verwacht. Het is deels door natuurlijke ontwatering van het veen veroorzaakt, maar voor het grootste deel het gevolg van ontwatering na het inpolderen van het gebied.

Over het algemeen geldt het principe dat het polderpeil de bodemdaling volgt. Dat betekent dus dat het waterpeil in de polders evenveel daalt als de bodem om de huidige ontwateringsdiepte te handhaven.

De verwachte bodemdaling heeft in het gebied van Koegraspolder naar verwachting een gering op effect op de verzilting.

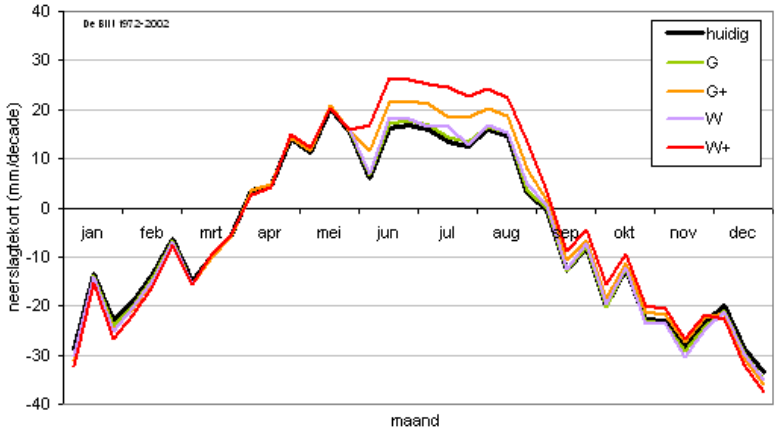
Zeespiegelstijging

Als gevolg van klimaatverandering is zeespiegelstijging voorspeld. Het KNMI heeft een aantal scenario's voor Nederland ontwikkeld, waarop later ook de scenario's die de deltacommissie zijn gebaseerd. De verwachting is dat de zeespiegel 20-35 cm zal stijgen volgens het KNMI scenario W+ (zie Figuur 8).

De verwachte zeespiegelstijging heeft ook effect op de kweldruk in de Koegraspolder. De verwachting is dat de kweldruk zal toenemen. Het gevolg hiervan is een toename van de verzilting.

Verandering in neerslag en verdamping

Klimaatverandering in de komende halve eeuw leidt volgens de voorspellingen tot veranderingen in neerslag en verdampingspatronen. Het KNMI W+ scenario zal leiden tot zachtere en natte winters, terwijl de zomers extra warm en droog zijn. Dit is in de klimaatscenario's van 2006 het meest extreme scenario. Echter de nieuwe klimaatscenario's die in het voorjaar van 2014 worden gepresenteerd door het KNMI geven aan dat dit dan een meer gemiddelde verwachte ontwikkeling zal zijn.



Figuur 9.Veranderingen in neerslagtekort volgens het KNMI '06 W+ scenario voor de Bilt.

Het effect van de veranderingen in het neerslagoverschot in de zoutbelasting bestrijkt het grootste gebied in vergelijking met de twee bovengenoemde autonome ontwikkelingen. Het grootste effect van de verandering in neerslag en verdamping wordt tijdens het groeiseizoen verwacht. In tegenstelling tot bodemdaling en zeespiegelstijging versterkt de klimaatverandering waar ook nu al zoutbelasting optreedt.

	1906-2000	G	G+	W	W+
Neerslagtekort (mm)	144	151	179	158	220
Herhalingstijd 2003 droogte (jaar)	9,7	7,9	4,1	6,5	2,0

Figuur 10. Herhalingstijd van het droogtejaar 2003 onder het huidige klimaat en onder verwachte klimaatscenario's.

3.4 Neerslagtekort in relatie tot klimaatverandering

Inde voorgaande paragrafen is afzonderlijk ingegaan op het neerslagtekort van de afgelopen jaren en de verwachte ontwikkelingen in de toekomst. Dit laatste is wat abstract en wordt duidelijker door historische jaren in het perspectief van klimaatverandering te plaatsen.

Voor het jaar 2003, een droog jaar, geldt onder de huidige klimatologische omstandigheden dat het eens in de 10 jaar voorkomt. Onder alle klimaatscenario's zal een jaar als 2003 vaker voorkomen. Bij het W+ is het al bijna een normaal jaar te noemen, het komt dan eens in de twee jaar voor. Voor het gebied rond de Koegraspolder betekent dus dat droge jaren als 2011 en 2013 regelmatig zullen optreden.

4 Processen die het zoutgehalte in een perceel bepalen

4.1 Inleiding

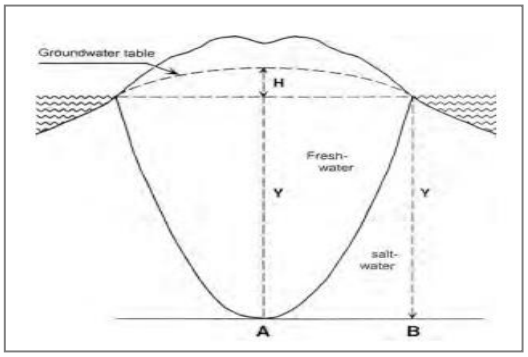
Dat ondanks de zoute kwel in ons land landbouw mogelijk is, is het gevolg van het neerslagoverschot dat het zout, dat zich in de droge perioden in de bodem ophoopt, in de natte perioden weer uitspoelt. Hierdoor neemt het zoutgehalte in de sloten inde loop van de zomer toe. Dit zout wordt uiteindelijk met het overtollige regenwater en eventuele doorspoeling afgevoerd naar de boezem en naar zee afgevoerd.

Het klassieke beeld is dat het bodemvocht gedurende de zomer in toenemende mate zouter wordt en in de winter door verdunning weer verzoet. Meer recent is ontdekt (verziltingsstudie HHNK, Acacia Water 2013) dat in plaats van een min of meer homogeen systeem van een met de seizoenen wisselende zoutconcentratie, er een situatie heerst waarbij het geïnfiltreerde regenwater als een zoetwaterlens op het zoutere water drijft. Deze lens vertoont een, aan de seizoenen gerelateerd gedrag van uitdijing en krimp. De schaal waarop deze lenzen kunnen optreden is die van de afstand tussen twee drainagebuizen of greppels i.e. minder dan 10 meter in doorsnede.

Dit hoofdstuk gaat dieper in op de processen die het zoutgehalte in een perceel bepalen

4.2 Zoutgehalte ondiepe grondwater

De vorm en de dynamiek van een neerslaglens wordt bepaald door de drainerende werking van greppels en buisdrains en niet door de watergangen. De zoetwaterlens is meestal 1 tot 4 m dik. Echter direct onder de drainagemiddelen is die meestal dunner of afwezig. Als de grondwaterstanden hoog genoeg zijn en ondiep grondwater zijdelings gaat afstromen naar de buisdrains en greppels, komt ook brak grondwater vanuit de diepere lagen omhoog onder de drainagemiddelen.



Figuur 11. Principe van een zoetwaterlens volgens Badon Ghyben-Herzberg. Wanneer de grondwaterstand (H) 10cm ligt boven het drainageniveau dan zou de dikte van de zoetwaterbel (Y) ongeveer 4m dik moeten zijn.

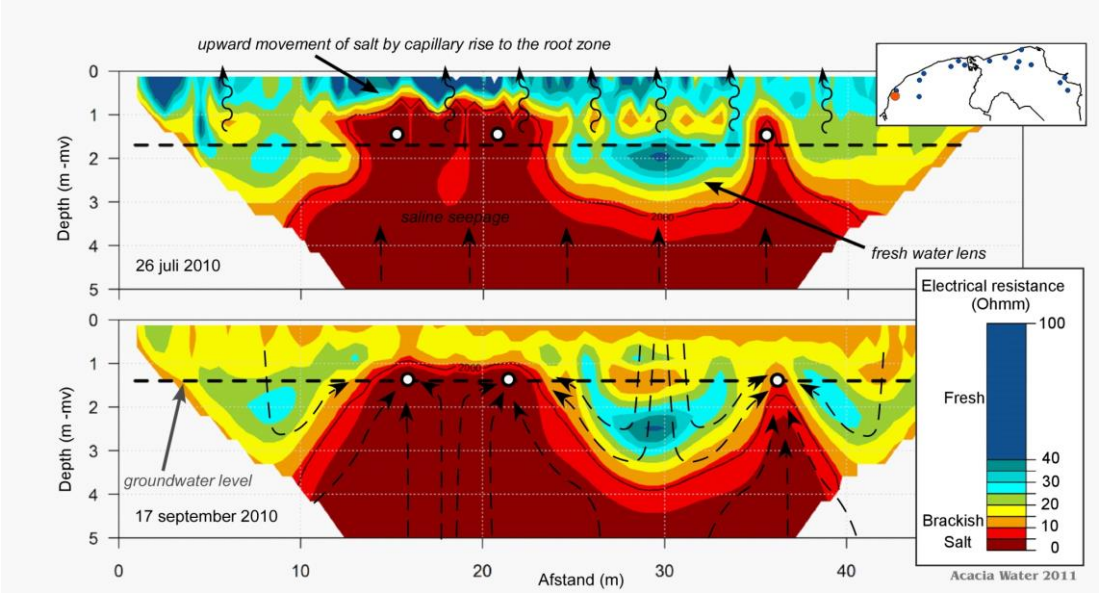
Midden tussen de drainagemiddelen is de dikte van de lens dus het grootst, hoewel die kleiner is dan verwacht zou worden volgens het Badon Ghyben-Herzberg principe (Figuur 11) van licht zoet water drijvend op zwaarder brak water. Op basis van dit principe zou bij een gemiddelde grondwaterstand van 10cm boven het drainageniveau een dikte van 4m onder het drainageniveau het resultaat moeten zijn.

De praktijk in percelen is echter anders. Het systeem in een perceel is zo dynamisch dat nooit de evenwichtssituatie wordt bereikt. In de winterperiode met neerslagoverschot wordt de stroming in de lenzen geactiveerd en het brakke grondwater uitgespoeld. Tijdens voorjaar en zomer dalen de grondwaterstanden tot onder de drainagebasis. In die periode stagneert de grondwaterstroming en zakken, in meer of mindere mate, ook de brakke kegels onder de drainagemiddelen in. De lenzen krimpen verder door capillaire opstijging van water naar de wortelzone en gewasverdamping. De mate van groei en krimp van de zoetwaterlenzen verschilt van jaar tot jaar. Een droge winter of een lange periode met vorst, zoals in 2010, leidt tot minder aanvulling en kleine zoetwaterlenzen. Naast de factor klimaat speelt ook de kweldruk een belangrijke rol. Een hogere kweldruk leidt tot een dunnere neerslaglens.

Afgezien van het klimaat hangt de dikte van de lens tussen de drainagemiddelen en de mate van aantrekken van zout naar de drainagemiddelen af van de volgende factoren:

a) afstand van de drainagemiddelen,
b) hydraulische doorlatendheid en
c) niveau van de buisdrainage of greppelbodems (drainagebasis).

Kleine drainage-afstanden en relatief hoge doorlatenheden leiden tot kleinere opbolling tussen de drains en zeer dunne lenzen van enkele decimeters. In feite vormt het niveau van de buisdrains de scheidslijn tussen zoet en brak grondwater. In percelen met een slechtere doorlatendheid (meer klei) kunnen zich lenzen ontwikkelen tot ca. 2m dikte ontwikkelen.



Figuur 12. Twee geofysicametingen die inzicht geven in het effect van drainageafstand op het optrekken van zout naar drainagemiddelen, het optrekken van zout als gevolg van capillaire werking.

4.3 Zoutgehalte van bodemvocht

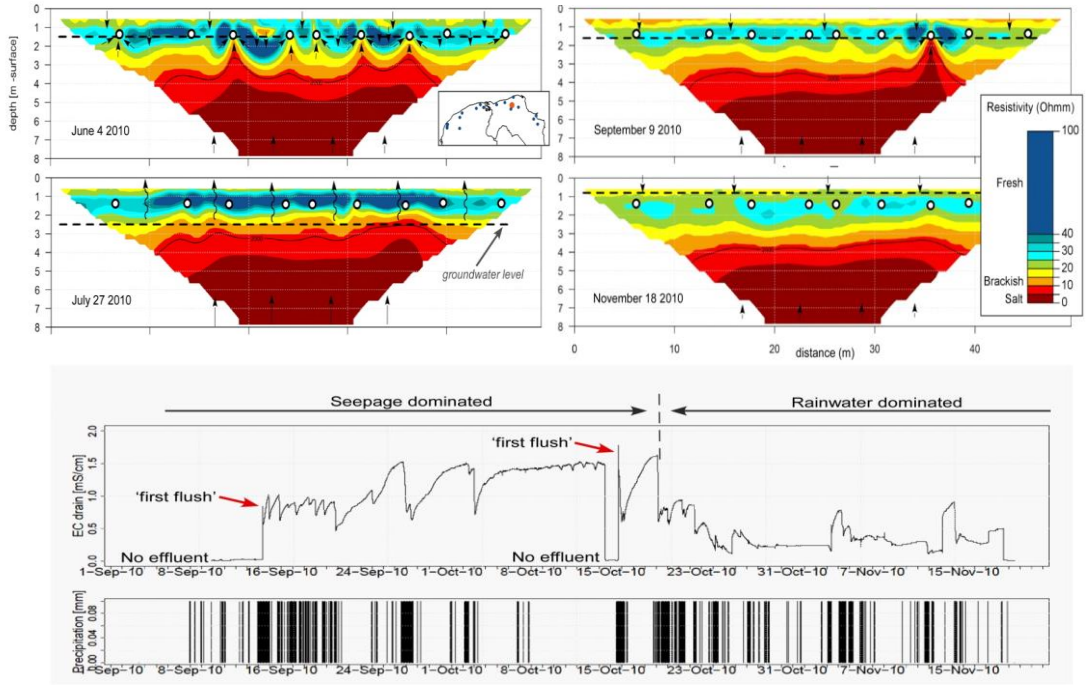
Tijdens perioden van neerslagtekort en sterke gewasverdamping in voorjaar en zomer kan, bij brak-zout grondwater, vanaf de grondwaterstand door de capillaire werking water tot in de wortelzone optrekken. Tussen de drainagemiddelen stijgt dan vanaf de (dan stagnante) lenzen zoet water op. Echter ter plaatste van de drains en greppels bevindt zich soms water met hoge zoutgehalten dichtbij het freatische vlak (grondwaterspiegel). Dit zal dan ook tot in de wortelzone kunnen optrekken.

Opstijgen van zout in de onverzadigde zone kan mogelijk effect hebben op de gewasgroei. Het in droge periode opgebouwde verzilte bodemvocht wordt bij buien over het algemeen snel uitgespoeld.

4.4 Zoutgehalte van afvoer van drains en greppels

In het verloop van het zoutgehalte van greppels en buisdrainage is duidelijk de werking van de hierboven beschreven zoetwaterlenzen te herkennen. In najaar en winter wateren percelen meestal relatief zoet water af. Echter waar 'upconing' van brak grondwater tot in de drainagemiddelen reikt blijken ontwateringsmiddelen ook in najaar en winter vaak water te produceren met verhoogde zoutgehaltes.

Tijdens lange droge perioden met veel verdamping krimpen de zoetwaterlensen. Wanneer daarna neerslag optreedt en de buisdrains met hun diepe ligging alweer snel gaan lopen dan heeft het water de eerste periode een hoog zoutgehalte. Dit kan enkele weken tot maanden duren. Een voorbeeld waar langdurig metingen zijn uitgevoerd (Figuur 13) laat zien dat dit tot in oktober optreedt en dan pas het zoutgehalte is gaan dalen. De daling komt overeen met een hoge grondwaterstand waardoor waarschijnlijk ook de kweldruk is verminderd.



Figuur 13. Voorbeeld uit Groningen. Het laat de het optrekken van zout naar de drainagemiddelen zien in natte perioden. Dit leidt tot afvoer van drainawater met een verhoogde EC (hoog zoutgehalte) in de zomermaanden en de nazomer. In het najaar en de winter neemt het neerslagwater de overhand en daalt de EC (lager zoutgehalte).

5 Metingen Koegraspolder

5.1 Inleiding

Om meer inzicht te krijgen in het ondiepe grondwater, relevant voor de landbouw en afvoer van brak water uit de percelen, zijn in november 2013 metingen uitgevoerd op het perceel van Wout Meskers, Doggersvaart 12, Den Helder. De keuze is op dit perceel gevallen omdat in september van 2013 hoge EC waarden in het oppervlaktewater zijn gemeten.

Dit hoofdstuk beschrijft de resultaten van de veldmetingen.

5.2 Meettechnieken om de verdeling van het zoete en zoute water in beeld te brengen

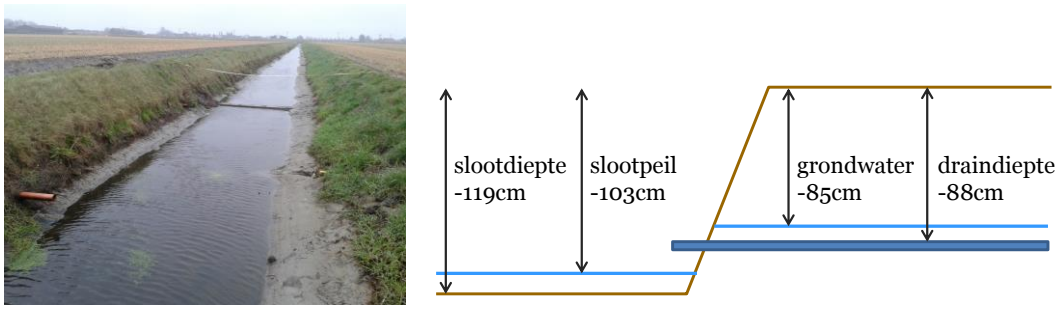
De geleidbaarheid (en de reciproke electrische weerstand) is een goede maat voor het zoutgehalte (zoals al aangeven in hoofdstuk 2). Voor de veldkartering zijn elektrische geleidbaarheids-metingen of EC metingen uitgevoerd van het oppervlaktewater in de watergangen en buisdrainage. De geleidbaarheid van de ondergrond is onderzocht door middel van geofysische meetmethoden. Voor dit onderzoek zijn de CVES en de DUALEM technieken toegepast. Met de DUALEM zijn lijnmetingen gedaan van de geleidbaarheid van de ondergrond. De DUALEM methode geeft een minder gedetailleerd beeld van de geleidbaarheid van de ondergrond, maar het voordeel is dat de meting snel kan worden uitgevoerd. Met beide methoden zijn tweedimensionale profielen gemeten van de elektrische weerstand (= gelijk aan het omgekeerd van de geleidbaarheid).

5.3 Meetlocatie en locatiebeschrijving

Het meetperceel is gelegen in het noordelijk deel van de Koegraspolder. Het perceel wordt gedraineerd met buisdrainage met een onderlinge afstand van 8m. De drainage ligt op ongeveer 80cm beneden maaiveld (volgens opgave). De bij de veldmetingen ingemeten drains lagen op 88cm beneden maaiveld.

Figuur 14. Ligging van het perceel waar de metingen zijn uitgevoerd.

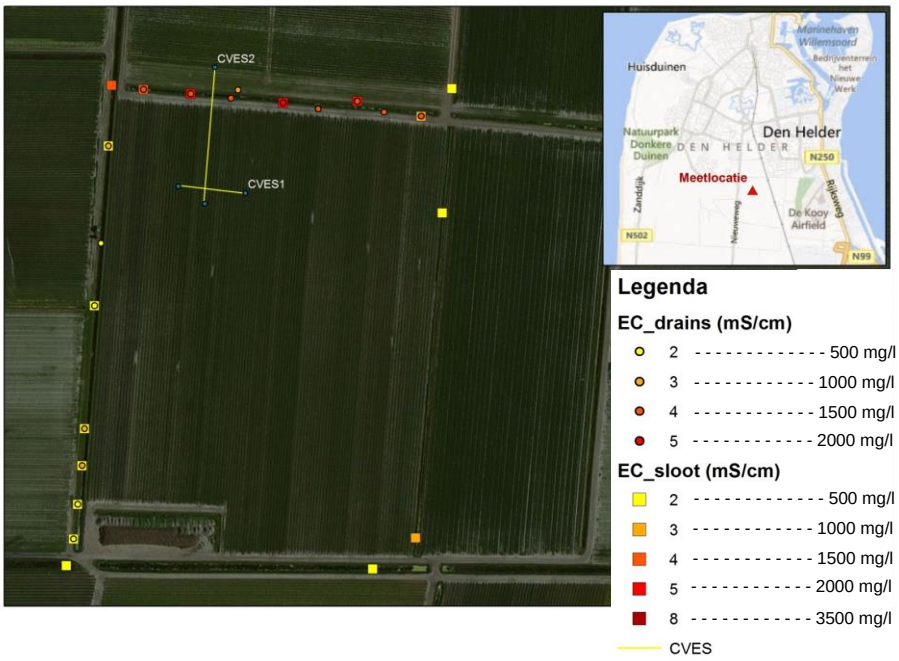
Het waterpeil in de hoofdwatergang ligt op 50cm –NAP. De percelen zelf worden via perceelsloten onderbemalen. Het peil in deze perceelsloten varieert door het jaar heen. In het voorjaar wordt het opgezet tot 20cm boven de drains (April-Juli). In het najaar onderbemaling (Juli-maart). Het wordt ook nog jaarlijks opgezet tot boven het maaiveld (voor bestrijden van aaltjes). Water uit de hoofdwatergang wordt gebruikt voor beregening.



Figuur 15. Foto en schematische weergaven van de hydrologische situatie op 27 november 2013.

5.4 Resultaten EC-metingen in de sloot en buisdrainage

Figuur 16 toont de resultaten van de EC-metingen in de sloot en buisdrainage. Wat hierin opvalt zijn de hoge EC waarden in de perceelsloot van 3 mS/cm of hoger met een uitschieter van 8 mS/cm. Dit komt overeen met een chloridegehalte van 1000mg/l tot 3500 mg/l. In het drainagewater worden vergelijkbare waarden aangetroffen.



Figuur 16. Gedetailleerd overzicht van de uitgevoerde veldmetingen (niet opgenomen zijn de DUALEM metingen). Tevens weergegeven de resultaten van de EC-metingen.

5.5 Metingen ondiepe grondwater

Er zijn twee zogenaamde CVES metingen uitgevoerd. Dit zijn metingen waarmee een gedetailleerde 2D doorsnede van de ondergrond en zoutgehalte kan worden gemeten. Er is één metingen gedaan loodrecht op de ligging van buisdrainage en één meting parallel aan de ligging van de buisdrainage over de perceelsloot heen. Ter verificatie van de metingen is teven een gat geboord tot aan het grondwater op 85cm. Van dit water is een EC vastgesteld van 4mS/cm wat overeenkomt met 1500 mg/l chloride.

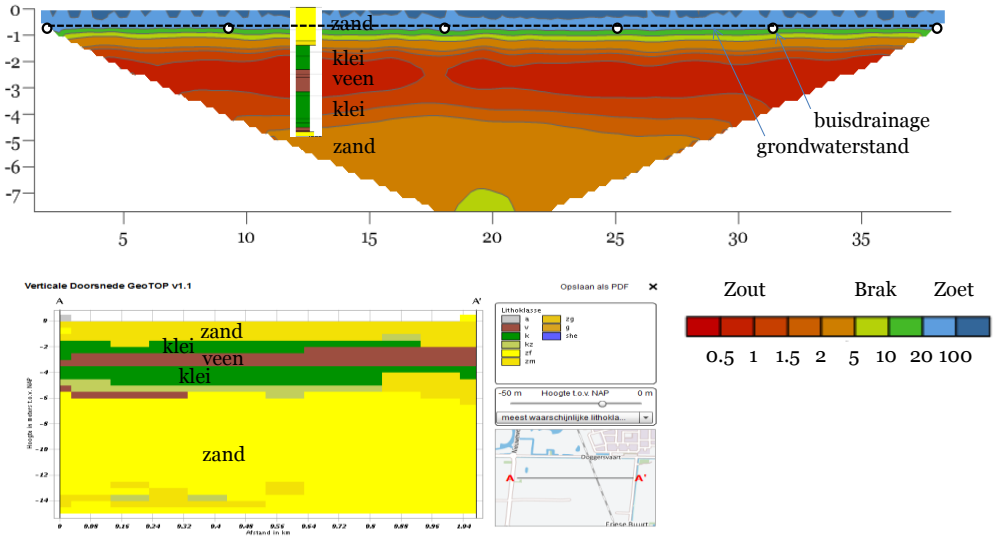
Metingen loodrecht op de buisdrainage

In hoofdstuk 2 is reeds geconcludeerd dat het grondwater in het gebied van de Koegraspolder al op geringe diepte zeer brak tot zout is. De hier uitgevoerde meting bevestigd dit beeld.

Op basis van de gemeten elektrische weerstanden kan een schatting worden gemaakt van het chloridegehalte en EC van het grondwater. De weerstand van 0,5 Ohmm in het veen en van 2 Ohmm in het zand komen overeen met een chloridegehalte van ca. 9000 mg/l (EC 25 mS/cm). Deze waarden worden gemeten op een diepte vanaf 1m –mv. De meting uit het geboorde gat (EC 4 mS/cm, 1500 mgCl/l) toont verder aan dat er sprake is van een zeer scherpe overgang van brak naar zout. Feitelijk is er geen sprake van een zoetwaterlens of zoet grondwater. Het zout grondwater reikt tot aan de buisdrainage.

De hogere weerstanden boven de grondwaterstand worden veroorzaakt doordat hier sprake is van een onverzadigde zone. De lucht in de porieen geleiden de stroom slechter waardoor een hogere weerstand wordt gemeten. Hierdoor is geen betrouwbare uitspraak te doen of er sprake is van zoet dan wel zout bodemvocht.

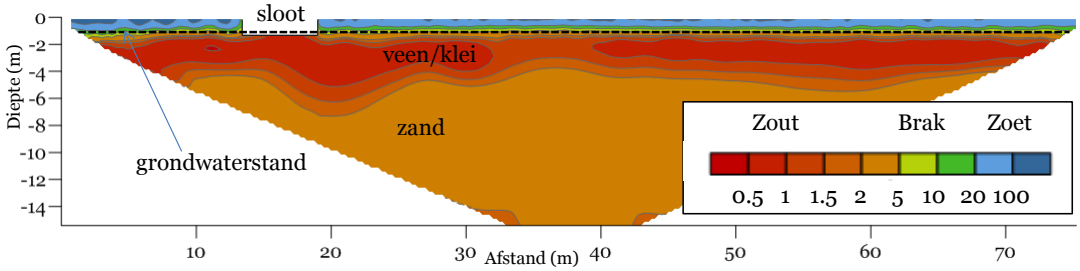
De kleine drainage-afstanden en relatief hoge doorlatenheden leiden tot kleinere opbolling tussen de drains en zeer dunne lenzen van maximaal enkele decimeters. In feite vormt het niveau van de buisdrains de scheidslijn tussen zoet en brak grondwater.



Figuur 17. Geofysicameting loodrecht op de buisdrainage. Tevens is voor dezelfde locatie een grondboring op de meting gelegd, en een doorsnede met de bodemopbouw (uit GEOTOP).

Metingen parallel op de buisdrainage en over de perceelsloot

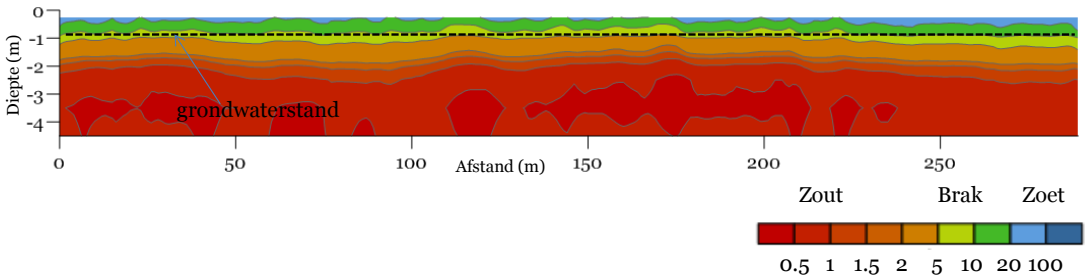
De tweede meting is uitgevoerd parallel aan de buisdrainage en over de perceelsloot heen. Deze meting geeft hetzelfde beeld als de eerste meting. Ook is goed zichtbaar dat de invloed nauwelijks tot geen invloed heeft op zoutgehalte in het ondiepe grondwater.



Figuur 18. Geofysicameting parallel aan de buisdrainage en over een perceelsloot.

Metingen op de schaal van hele perceel

Naast de hierboven beschreven gedetailleerde metingen zijn meer globale metingen uitgevoerde met de DUALEM. Het betreft een meting over de hele breedte van het perceel. De metingen bevestigen het eerder vastgestelde beeld van een scherpe overgang naar zout grondwater en het ontbreken van een zoete neerslaglens.



5.6 Conclusies

Er is sprake van een zeer scherp overgang van zoet en zout. Het grondwater enkele centimeters boven het drainageniveau heeft een EC van 4 mS/cm (1500 mg/l). Daaronder stijgt de EC snel naar waarden boven de 20 mS/cm ofwel 5000 mg/l tot 9000 mg/l chloride.

Er is geen sprake van een zoete neerslaglens tussen drainagemiddelen maar van een heel dunne laag van brak water.

De kleine drainage-afstanden en relatief hoge doorlatenheden leiden tot kleinere opbolling tussen de drains en zeer dunne lenzen van maximaal enkele decimeters. De combinatie met het de bodemopbouw van zand op klei zorgt ervoor dat het neerslagwater direct wordt afgevoerd. In feite vormt het niveau van de buisdrains de scheidslijn tussen zoet en brak grondwater.

De hoge EC waarden in het slootwater worden veroorzaakt door directe kwel van zout grondwater naar de sloot, maar in veel sterkere mate door afvoer van zout water uit de buisdrainage. Wanneer de buisdrainage regenwater afvoert initieert dit een toestroming van zout dieper zout grondwater.

De hoge zoutgehalten afgelopen jaar zijn mogelijk veroorzaakt door een toename van optrekkend zout door capillaire werking (groot neerslagtekort).

6 Mogelijke oplossingsrichtingen

In dit hoofdstuk beperken we ons tot enkele oplossingsrichtingen gericht op het perceel zelf. Het betreft dus geen oplossingsrichtingen in het oppervlaktewatersysteem.

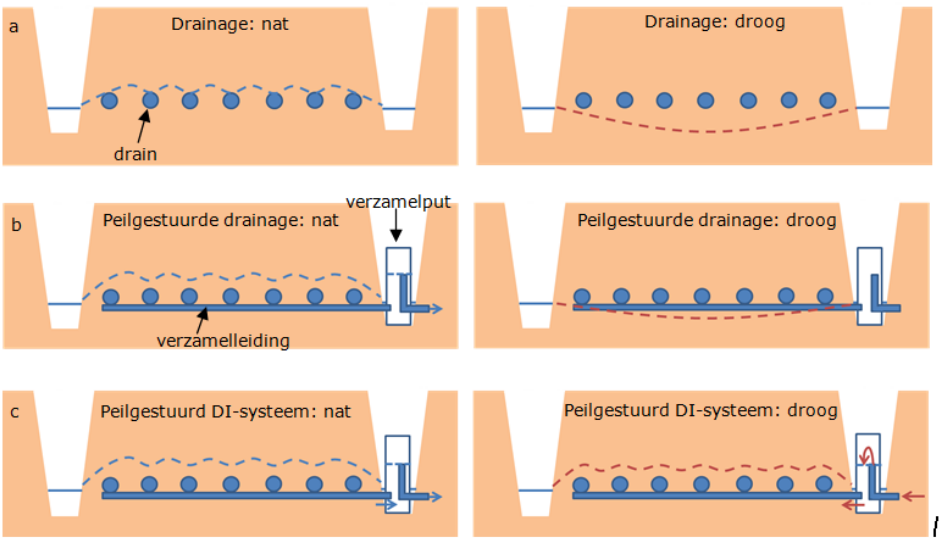
6.1 Peilopzet en drainage

Er is waarschijnlijk een geringe kweldruk in de Koegraspolder. Het opzetten met enkele decimeters zou de kwel in de sloot moeten kunnen beperken. Een belangrijke bron is echter ook de zoute kwel in de percelen. Dit ondervang je daar niet mee, tenzij je peil opzet boven drainniveau.

Aangezien het zand op de klei goed doorlatend is zal een maatregel ook snel effect hebben. Anders nadenken over andere oplossingen met drainage (bijv. verdiept aanleggen in combinatie met peilgestuurde drainage/peilopzet boven drainniveau). Figuur 19 geeft een overzicht van verschillende soorten drainage. Achtereenvolgens zijn dit

a) Bij traditionele landbouwdrainage wordt het ontwateringsniveau bepaald door het aanlegniveau.
b) Bij peilgestuurde drainage kan het drainageniveau door de gebruiker worden bepaald. Door het instelniveau te verhogen kunnen de grondwaterstanden worden gereguleerd.
c) Bij het peilgestuurd DI-systeem (drainage en infiltratie) wordt in aanvulling daarop in droge perioden water via de verzameldrain geïnfiltreerd om een vast peil te handhaven.

Systeem c) is toegepast in verschillende pilots en leidt aantoonbaar tot drainafvoeren met een lagere EC.

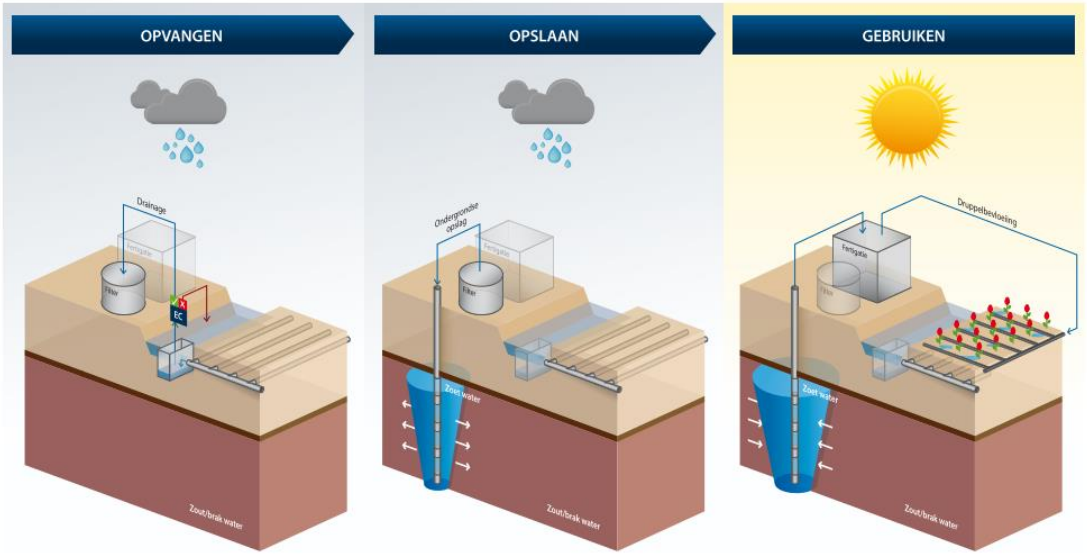


Figuur 19. De werking van verschillende vormen van drainage in natte en droge perioden.

6.2 Andere oplossingen

Er zijn ook andere oplossingen denkbaar waarbij het veelal draait om een vorm van zelfvoorzienende zoetwaterberging. Voorbeelden hiervan worden beproefd in verschillende studies o.a.:

www.spaarwater.com (o.a. Breezand en Borgsweer)
www.proefzoetwaterberging.nl (o.a. Texel)
www.go-fresh.info (Zeeland)
www.kwrwater.nl/zoetinzout (o.a. Westland)



Figuur 20. Schematische weergave van de proef in Breezand (Spaarwater). Het neerslagwater wordt opgevangen via het drainagestelsel, ondergronds opgeslagen (waarbij ziektekiemen als Erwinia afsterven) en gedurende het groeiseizoen gebruikt wordt voor beregening. In dit geval via druppelbevloeiing.

Bijlage 1

Beschrijving van gebruikte meetmethoden

Geofysische metingen

Relaties electrische weerstand, lithologie en zoutgehalten

Voor dit onderzoek zijn drie typen geofysische metingen uitgevoerd, die een beeld geven van de electrische weerstand ρ van de ondergrond, uitgedrukt in Ohmm. Sommige meetsystemen geven de electrische geleidbaarheid σ, welke de omgekeerde is van de weerstand. De geleidbaarheid wordt uitgedrukt in mS/m of microS/cm. Daarbij geldt dat:

$$1\ Ohmm = \frac{1}{S/m} = \frac{1000}{mS/m} = \frac{10000}{microS/cm}$$

De electrische weerstand van de ondergrond of formatieweerstand ρ_f wordt bepaald door de weerstand van het grondwater $\rho_{w,}$ de lithologie, de mate van waterverzadiging en de temperatuur.

Voor de correctie van een gemeten weerstand bij een temperatuur T in ^{o}C naar de weerstand bij een T van 20 ^{o}C geldt de volgende relatie:

$$\rho_{f20} = \rho_f . \frac{1.8T + 39}{75}$$

Voor de weerstand van verzadigde grond en de weerstand van het grondwater geldt de relatie van Archie (1942):

$$\rho_w = \frac{\rho_f}{F}$$

Waarbij F de formatiefactor is. De formatie van waterverzadigde klei ligt die in de orde van 1 a 2, terwijl voor verzadigd zand deze varieert van 2.5 voor fijn zand tot 5 voor grof zand en grind.

Tabel B1. Formatiefactor voor diverse bodemsoorten

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

In de onverzadigde zone, met name van zandbodems, is de formatiefactor hoger.

Voor een goede interpretatie van de geofysische metingen moet men dus op de hoogte zijn van de lithologie en de grondwaterstand ter plaatse van de meting. Voor de relatieve veranderingen is de tijd (monitoring) zijn geofysische metingen in ieder geval geschikt.

De electrische weerstand of de electrische geleidbaarheid (EC) van water is gerelateerd aan het aantal opgeloste ionen oftewel het zoutgehalte. Uit de metingen is door DLO (Mulder en Spoelstra, 1995) een relatie opgesteld tussen de electrische geleidbaarheid σ_{w20} de (EC bij 20 ^{O}C) en het zoutgehehalte van het water uitgedrukt in chlorideconcentratie in mg/l (Cl) op basis van alle analyses in dit gebied. Deze geldt alleen voor EC waarden hoger dan 1000 microS/cm.

$$Cl = 3.9831 - 256.4\sigma_{w20}$$

Een andere relatie is die van Post (2008), gebaseerd op een groot aantal analyses van grondwater in Laag Nederland, waarin ook het bicarbonaatgehalte HCO_3 in mg/l wordt meegenomen. Deze gaat op voor EC waarden hoger dan 800 microS/cm:

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

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

Tenslotte is er de algemene relatie van Stuyfzand (1987):

$$\sigma_{w20} = 71.027\ \{0.94 + 1.38207\ \left(\frac{Cl^-}{35.453}\right) + \frac{SO_4^{2-}}{48.03} + \frac{NO_3^-}{62} + 0.95721\ \left(\frac{HCO_3^-}{61.02} + \frac{CO_3^{2-}}{30.01}\right)\}$$

In de praktijk is de geleidbaarheid van water toch de meest praktische en direct meetbare parameter (EC meting). We definiëren de verschillende zoutklassen als volgt: de bovengrenzen van zoet, lichtbrak, brak en zout zijn respectievelijk 1000 microS/cm (Cl = 150 mg/l), 4000 microS/cm (Cl = 1500 mg/l), 15000 microS/cm (Cl = 6000 mg/l) en 50000 microS/cm (Cl = 20000 mgl).

Met bovengenoemde relaties kunnen de uitkomsten van de geofysische metingen met het zoutgehalte van het grondwater in verband worden gebracht. Uitgaande van een gemiddelde formatiefactor van 3 voor de zandlagen in dit gebied en een temperatuurcorrectie voor grondwater met een gemiddelde temperatuur van 11 ^{o}C, kunnen wij bij benadering de volgende relaties opstellen:

$\sigma_{w20} \approx \frac{10000}{0.26\rho_f}$ voor CVES metingen

$\sigma_{w20} \approx 38\sigma_{fD}$ voor FDEM (DUALEM)

$\sigma_{w20} \approx 3\sigma_{fP}$ voor prikstokmetingen

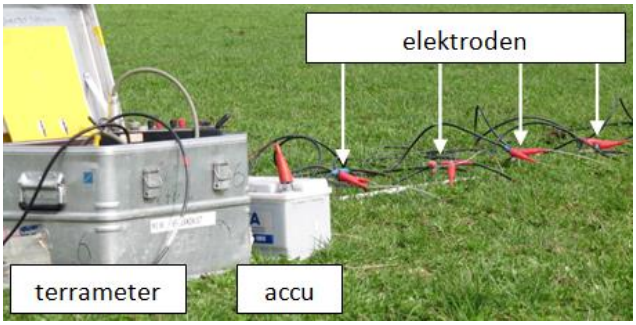
Waarbij σ_{w20} en σ_{fP} zijn uitgedrukt in microS/cm, ρ_f in Ohmm en σ_{fD} en in mS/m.

Voor dit onderzoek definieren we verder zoet, lichtbrak, brak en zout als water met een EC bovengrens van respectievelijk 1000 microS/cm (Cl = 150 mg/l), 4000 microS/cm (Cl = 1500 mg/l), 15000 microS/cm (Cl = 6000 mg/l) en 50000 microS/cm (Cl = 20000 mgl).

CVES methode

De CVES methode is een zogenaamde Direct Current methode. Hierbij wordt via twee stroomelectreoden een electrische stroom opgewekt in de ondergrond.

Uit die stroom en het geïnduceerde potentiaalverschil in twee andere electroden kan dan de schijnbare weerstand worden berekend. De schijnbare weerstand is een soort gemiddelde waarde van de ondergrond tot een bepaalde diepte, welke afhankelijk is van de afstand van de stroomelectroden. Bij de CVES methode worden langs een profiel een groot aantal electroden geplaatst en worden de schijnbare weerstanden bij tal van combinaties van electroden bepaald. Door inversie van deze waarden te bepalen door een rekenmodel kunnen de werkelijke of formatieweerstanden van de ondergrond worden bepaald en getoond in een 2D beeld. De metingen zijn uitgevoerd met de SAS4000 Terrameter en de LUND kabel van ABEM, Sweden. In totaal kunnen met dit systeem voor elke meting 64 electroden geplaatst worden op afstanden variërend van 0.5 tot 10 m. De totale lengtes kunnen variëren van 40 tot 400 m. Het diepte bereik is ongeveer een 1/6 van de lengte van de CVES. Voor de interpretatie en inversie is het softwarepakket RES2Dinv van GEOTOMO Software gebruikt.



Figuur B1. CVES meting met terrameter, accu, kabel en elektroden

FDEM profilering(DUALEM)

Met de frequency domain electromagentische (FDEM) methode worden electrische stromen in de ondergrond opgewekt door inductie van een wisselend electromagnetisch veld, uitgezonden door een zenderspoel. Het opgewekte secondaire electromagnetische veld wordt opgevangen door een ontvangerspoel. Uit het laatste signaal kan de schijnbare weerstand van de ondergrond worden verkregen. Door 3 frequenties en 2 spoelstanden te combineren worden schijnbare weerstanden tot 6 verschillende diepten gemeten. Uit deze waarden kan door inversie een 2D beeld van de ondergrond worden verkregen tot een diepte van ca. 6 m. De spoelen zijn bevestigd aan een enkele buis, waarmee al lopend kan worden gemeten. Na interpretatie wordt dan een continu 2D beeld verkregen van de weerstand van de ondergrond. Voor de metingen is gebruik gemaakt van de DUALEM-421S van Dualem Instruments, Ontario, USA.

Figuur B2. FDEM meting

Handboringen

Om de geofysische metingen te verifiëren en informatie over de bodemopbouw te verkrijgen zijn op diverse locaties handboringen uitgevoerd tot onder de grondwaterspiegel. In een aantal gevallen is het grondwater bemeten op EC.

EC metingen

De Electrische Geleidbaarheid (EC) van het oppervlaktewater is een maat voor het zoutgehalte. Het ruimtelijke beeld van het zoutgehalte in de watergangen geeft informatie met betrekking tot oppervlaktewaterstroming en kwel. Variatie van de EC in de tijd geeft informatie over de invloed van neerslag, verdamping, kwel en inlaat op het oppervlaktewatersysteem.

Acacia Water
Jan van Beaumontstraat 1
2805 RN Gouda

Telefoon: 0182 – 686424
Internet: www.acaciawater.com
Email: info@acaciawater.com