

GO-FRESH: Valorisatie kansrijke oplossingen voor een robuuste zoetwatervoorziening

Rendabel en duurzaam watergebruik in een zilte omgeving



 Provincie
Zeeland

 Waterschap Scheldestromen

 Waterschap
Brabantse Delta

 stowa

 Deltacommissaris

 GEMEENTE
VEERE

 gemeente
Borsele

 Gemeente
Schouwen-Duiveland

 ZLTO

Project

GO-FRESH: Valorisatie kansrijke oplossingen voor een robuuste zoetwatervoorziening; Rendabel en duurzaam watergebruik in een zilte omgeving

Trefwoorden

Ondergrondse waterberging, Zeeland, zoet-zout grondwater, Kreekkrug Infiltratie System, Freshmaker, Drains2Buffer, pilots, economische haalbaarheid, semantische wiki, veldbijeenkomsten

Referentie eindrapportage GO-FRESH:

Oude Essink, G., Pauw, P., Van Baaren, E., Zuurbier, K., De Louw, P., Veraart, J., McAteer, E., Van Der Schoot, M., Groot, N., Cappon, H., Waterloo, M., Hu-a-ng, K., Groen, M. 2018. Valorisatie kansrijke oplossingen voor een robuuste zoetwatervoorziening, GO-FRESH.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
1.0	Dec. 2018	Oude Essink, G.		Delsman, J.		Kuijper, M.	
		Pauw, P.		ba.			
		Van Baaren, E.					
		Zuurbier, K.					
		De Louw, P.					
		Veraart, J.					
		MacAteer, E.					
		Van Der Schoot, M.					
		Groot, N.					
		Cappon, H.					
		Waterloo, M.					
		Hu-a-ng, K.					
		Groen, M.					

Status
definitief





Samenvatting

In delen van de Zuidwestelijke Delta is aanvoer van extern zoet water niet mogelijk. Het systeem is zodoende kwetsbaar voor droge periodes, zoals de zomer van 2018. Sinds 2012 worden binnen het project GO-FRESH een drietal veldproeven uitgevoerd om de zoetwaterbeschikbaarheid voor de landbouw minder afhankelijk te laten zijn van (grillige) weersomstandigheden. In de rapportage van 2014 (Oude Essink et al., 2014) zijn voorlopige tussenresultaten gecommuniceerd; dit onderhavige rapport betreft de eindrapportage van GO-FRESH.

De drie technologieën betreffen:

1. **Kreekrug Infiltratie Systeem** (Serooskerke, Walcheren), Hoofdstuk 2, vanaf p. 8: richt zich op de toename van de zoetwatervoorraad in een kreekrug door infiltratie van oppervlaktewater waardoor het grondwaterpeil wordt opgezet. Onder een kreekrug worden de drainagepeilen opgezet met behulp van peilgestuurde drainage en wordt zoet oppervlaktewater in tijden van neerslagoverschot geïnfiltreerd in het drainagesysteem. De toename van de grondwaterstand leidt tot een uitbreiding van de zoetwaterlens onder de kreekrug. Hieruit kan meer grondwater worden onttrokken voor irrigatie van de gewassen.
2. **Freshmaker** (Ovezande, Zuid-Beveland), Hoofdstuk 3, vanaf p. 61: focust zich op de toename van de zoetwatervoorraad in een kreekrug door injectie van zoet water én onttrekking van zout grondwater om de opkegeling van zout grondwater te beperken. De injectie en winning vindt plaats via horizontaal geboorde putten ('HDDWs'). De zoetwatervoorraad maakt het mogelijk om het risico op droogteschade voor de fruitteelt (appels, peren) te kunnen minimaliseren.
3. **Drains2Buffer** (Kerkwerpe, Schouwen-Duiveland), Hoofdstuk 4, vanaf p. 73: richt zich op het vergroten en/of behouden van de zoetwatervoorraad in dunne regenwaterlenzen door slimmere diepe drainage. Met een dieper drainagesysteem wordt de dikte van de ondiepe regenwaterlens uitgebreid. Door dichter de draineren wordt wateroverlast voorkomen. Deze combinatie voorkomt verzilting van de wortelzone van gewassen in polders met zoute kwel.

Het onderzoek betreffende het Kreekrug Infiltratie Systeem heeft aangetoond dat door een peilgestuurd drainage systeem in combinatie met infiltratie van oppervlaktewater de zoetwatervoorraad ter plaatse van de Kreekrug Infiltratie Systeem (Serooskerke, Walcheren) toeneemt. Het systeem verhoogt de grondwaterstand met enkele decimeters. Als gevolg is het zoet-zout grensvlak enkele meters gezakt. Het volume zoetwater is een paar tienduizenden m³ zoet grondwater toegenomen; hierdoor kan waarschijnlijk duurzaam twee keer zoveel water worden onttrokken per jaar (16000 m³) dan de regelgeving toelaat op dit moment toestaat.

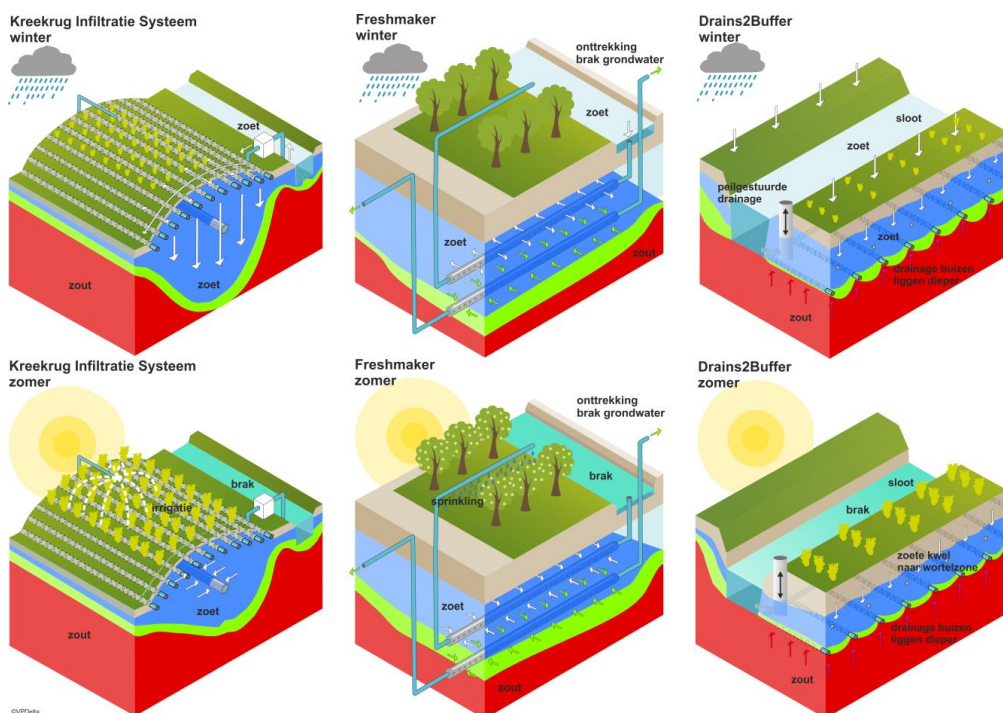
De Freshmaker vindt plaats in een kreekrug te Ovezande, Zuid-Beveland. Hier is de afgelopen jaren in de winters via een horizontale put van 70 m lang meer dan 20000 m³ zoetwater geïnfiltreerd. Tegelijk wordt met een diepere horizontale put (ook 70 m lang) zout grondwater afgevangen. Zo wordt de zoetwaterlens op zijn plaats gehouden en vergroot. Uit de grotere zoetwaterlens kan de agrariër in de zomer zoetwater onttrekken via dezelfde horizontale put waarmee in de winter is geïnfiltreerd. Met het proefsysteem kon jaarlijks zo'n 6000 m³ zoetwater beschikbaar worden gemaakt in de zomers.

De Drains2Buffer veldproef te Kerkwerpe, Schouwen-Duiveland, bestaat uit een slimme diepe regelbare drainage. Het richt zich op het robuust beheren van de zoetwatervoorraad in dunne kwetsbare regenwaterlenzen in zoute kwelgebieden. Hoewel sommige metingen duidelijk laten zien dat op de testpercelen een dikkere lens wordt aangetroffen dan op het referentieperceel, is een eenduidige conclusie nog niet te trekken.

De economische haalbaarheid van de maatregelen (Hoofdstuk 5, vanaf p. 100) voor andere locaties in de regio is geanalyseerd aan de hand van operationele en investeringskosten, kostenbesparingsmogelijkheden, meekoppelkansen, baten, informatie over vergunningen, en subsidie- en financieringsmogelijkheden. Per technologie is onderzocht wanneer het rendabel is. Het Kreekrug Infiltratie Systeem en Drains2Buffer zijn met name interessant voor akker- en tuinbouwbedrijven. Het Kreekrug Infiltratie Systeem kan ook toegepast worden in de fruitteelt. Wanneer waterconservering in de bodem (Drains2Buffer) of ondergrondse opslag (Kreekrug Infiltratie Systeem, Freshmaker) slim gecombineerd wordt met aanpassingen in de gewaskeuze (akkerbouw, tuinbouw) of aanleg van fruitpercelen, dan kan de investering in extra zoetwater zich sneller terugverdienen.

Een semantische wiki is te raadplegen (Hoofdstuk 6, vanaf p. 114) via de link <http://www.go-fresh.info>. Het doel van de wiki is om de agrariër te helpen welke techniek het beste past bij zijn perceel. Naast uitleg over verschillende aspecten van de maatregelen is tevens een rekentool te raadplegen. Met deze zogenaamde 'Calculator' kan een ondernemer een indicatie van de kosten maken die horen bij het installeren en in gebruik nemen van de drie GO-FRESH technologieën voor zijn eigen specifieke situatie en gewenste zoetwatervoorziening.

De resultaten zijn zodanig positief dat opschaling van de maatregelen naar andere locaties een logische volgende stap is. De opschalingsmogelijkheden zijn per maatregel aan de hand van met name hydrogeologische kenmerken bepaald (Hoofdstuk 7, vanaf p.117). In de regio zijn meerdere veldbijeenkomsten zijn georganiseerd om geïnteresseerde agrariërs te enthousiasmeren (Hoofdstuk 8, vanaf p. 127).





Inhoud

1 Inleiding	1
1.1 Introductie	1
1.2 Zoet grondwater voor irrigatie in Zeeland	1
1.3 GO-FRESH project	2
1.4 Onderzoeksvragen	4
1.5 Het Zeeuwse grondwatersysteem	5
1.6 Projectorganisatie	7
2 Kreekrug Infiltratie Systeem	8
2.1 Inleiding	8
2.1.1 Onderzoeksvraag	8
2.1.2 Producten en kennisdeling	8
2.1.3 Huidige wet- en regelgeving	9
2.2 Ontwerp en aanleg veldproef	10
2.2.1 Theorie	10
2.2.2 Achtergrond	11
2.2.3 Startsituatie en ontwerp Kreekrug Infiltratie Systeem	11
2.2.4 Ontwerp en aanleg	14
2.2.5 Vergunningverlening	16
2.3 Monitoring veldproef	16
2.3.1 Overzicht monitoring	16
2.3.2 Infiltratiedebieten	18
2.3.3 Stijghoogte en grondwaterstanden	18
2.3.4 Zoet-zout verdeling grondwater	24
2.3.5 Camera inspectie drains	32
2.3.6 Pomp falen	35
2.4 3D dichtheidsafhankelijk grondwatermodel	35
2.4.1 Modelopzet	36
2.4.2 Kalibratie eerste fase model	38
2.4.3 Validatie referentiescenario	39
2.5 Modelscenario's zoetwaterwinning	41
2.5.1 Scenarioberekeningen onttrekken via diepdrains	42
2.5.2 Resultaten scenarioberekeningen	43
2.5.3 Discussie en samenvatting modelscenario's	58
2.6 Discussie, conclusies en aanbevelingen	59
2.6.1 Groei zoetwaterlens, winningsmogelijkheden en overige kennisvragen	59
3 Freshmaker	61
3.1 Inleiding	61
3.1.1 Locatie	61
3.1.2 Strategie	61
3.2 Opzet monitoring	63
3.2.1 Monitoring waterkwantiteit	63
3.2.2 Monitoring waterkwaliteit	63
3.2.3 Monitoring hydrologische effecten	64
3.2.4 Grondwatermodellering	64
3.3 Resultaten	64
3.3.1 Waterkwantiteit	64



3.3.2	Waterkwaliteit	65
3.3.3	Verspreiding zoetwater in de ondergrond	68
3.3.4	Grondwatermodellering	68
3.3.5	Hydrologische effecten	69
3.3.6	Voorbehandeling van infiltratiewater en (onderhoud van) HDDWs	70
3.4	Conclusies	71
4	Drains2Buffer	73
4.1	Inleiding	73
4.1.1	Regenwaterlenzen in zoute kwelgebieden	73
4.1.2	De maatregel Drains2Buffer	75
4.1.3	Modelonderzoek werking Drains2Buffer	76
4.2	Opzet veldproef en monitoring	77
4.3	Meetresultaten	83
4.3.1	1D-Zoutprofielen: Bodemonsters	83
4.3.2	1D-Zoutprofielen: Minifilters	83
4.3.3	1D-Zoutprofielen: TEC-probe	84
4.3.4	1D-Zoutprofielen: Trime	87
4.3.5	1D-Zoutprofielen: ResProbe	89
4.3.6	2D zoutprofiel: CVES	90
4.3.7	Drainage	91
4.3.8	Grondwaterstand	94
4.4	Conclusies en aanbevelingen	96
5	Economische haalbaarheid	100
5.1	Introductie	100
5.2	Gevolgte aanpak	101
5.2.1	Stap 1: vaststellen kostenkengetallen drie veldproeven	101
5.2.2	Stap 2: rekenregels opschalen en beslisregels Calculator	103
5.2.3	Stap 3: Excel inbedden in webapplicatie en beschikbaar maken voor wiki	106
5.3	Kostenkengetallen van de uitgevoerde proeven op locatie	107
5.3.1	Investeringskosten bij de pilots	107
5.3.2	Operationele kosten (inclusief energie)	108
5.3.3	Rente, aflossing, jaarlijkse kosten en kostprijs per m ³ bij de pilots	108
5.4	Bedrijfseconomische haalbaarheid van de drie veldproeven	109
5.4.1	Analyse met de Calculator	109
5.4.2	Conclusies per technologie: Wanneer rendabel?	112
6	Semantische wiki	114
7	Opschalingsmogelijkheden	117
7.1	Opschaling Kreekrug Infiltratie Systeem	117
7.1.1	Randvoorwaarden aanleg Kreekrug Infiltratie Systeem	117
7.1.2	Betekenis van de resultaten van de veldproef voor andere locaties	118
7.1.3	Beschikbare informatie voor toepassing Kreekrug Infiltratie Systeem	118
7.1.4	Opschalingskaart Midden Zeeland	120
7.1.5	Procedure opschalingskaart Kreekrug Infiltratie Systeem	121
7.2	Opschaling Freshmaker	122
7.2.1	Procedure opschalingskaart Freshmaker	122
7.3	Opschaling Drains2Buffer	124
7.4	Resultierend stappenplan	125



8 Communicatie en kennistransfer	127
8.1 Veldbijeenkomsten en communicatiemomenten	127
8.2 Wiki	134
8.3 Artikelen en nieuwsberichten	134
9 Vergunningverlening Ondergrondse Waterberging	135
9.1 Vergunning ten behoeve van ondergrondse waterberging	135
9.2 Overzicht van noodzakelijke vergunningen per GO-FRESH techniek	136
10 Conclusies, aanbevelingen en onderzoeksvragen	137
10.1 Kreekrug Infiltratie Systeem	137
10.2 Freshmaker	138
10.3 Drains2Buffer	139
10.4 Beantwoording relevante onderzoeksvragen	140
11 Referenties	146
Bijlagen	149
Bijlage A Vergunning Kreekrug Infiltratie Systeem	149
Bijlage B Draininspectie Kreekrug Infiltratie Systeem	150
Bijlage C Methodiek bepaling voorkeursgebieden voor de maatregel Drains2Buffer	151
Bijlage D Aangepaste Saturated Paste methode	157
Bijlage E Resultaten korrelgrootteanalyse	159
Bijlage F Bodembeschrijving tijdens het nemen van bodemmonsters op 10 februari 2016	160
Bijlage G Prikstokmetingen	161
Bijlage H Metingen en berekeningen Drains2Buffer, periode 2009-2011 (onderzoek De Louw)	162
Bijlage I Geleidbaarheidsprofielen proefvakken T1 en T2, op referentiestrook T3 (1 jan-31 dec '16)	165
Bijlage J Artikelen en Nieuwsberichten	167

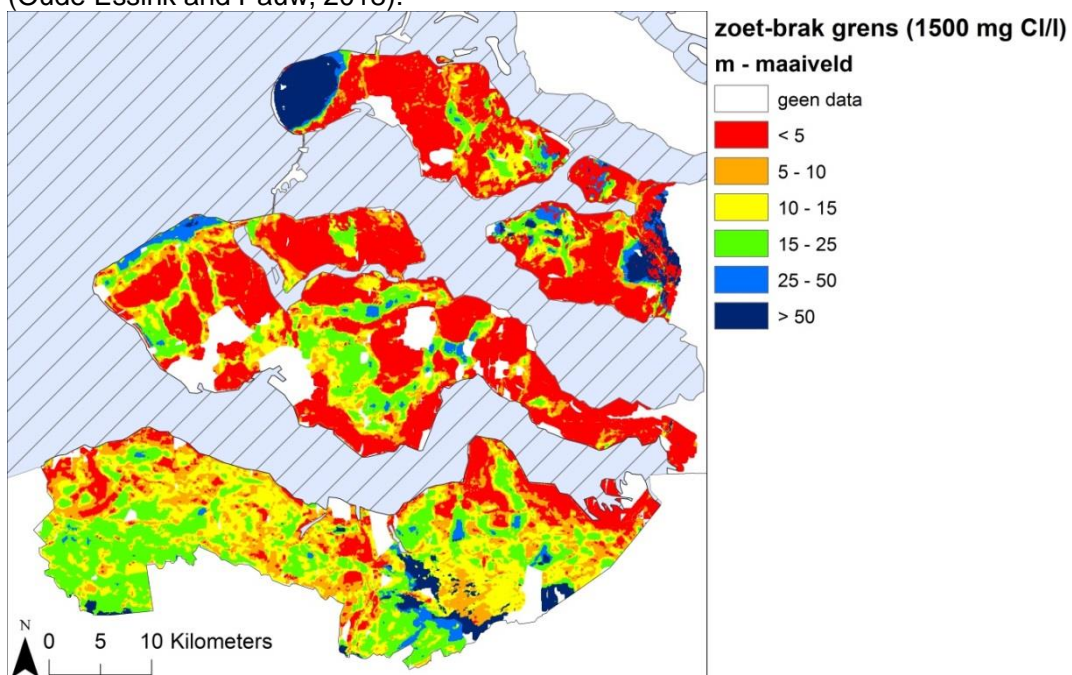
1 Inleiding

1.1 Introductie

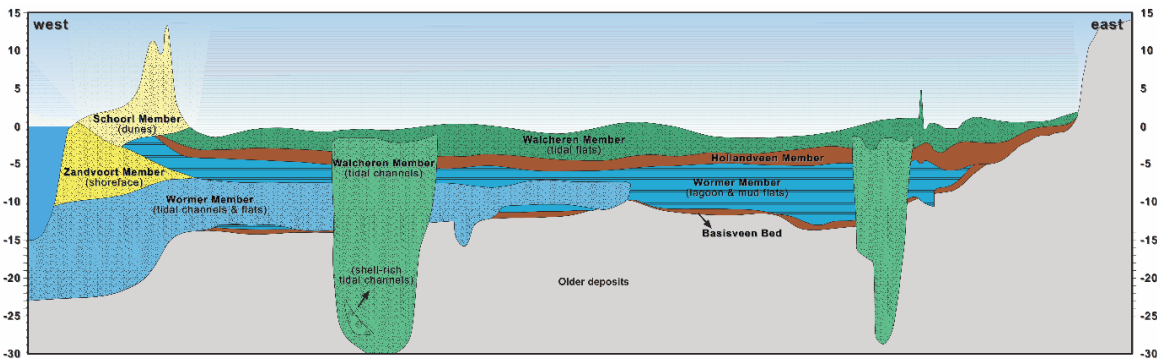
In de Zuidwestelijke Delta is de aanvoer van extern zoet water maar beperkt mogelijk. De Hollandse eilanden, West Brabant, Tholen en st. Philipsland kunnen water aanvoeren vanuit het Volkerak-Zoommeer, Hollands Diep/Haringvliet of het Brielse Meer (Deltaprogramma; Deelprogramma Zuidwestelijke Delta, 2011). Tuinders in Zuid-Beveland zijn afhankelijk van zoetwateraanvoer vanuit de landbouwwaterleiding. In Walcheren, Noord-Beveland en Schouwen-Duiveland is geen aanvoer van extern zoet water mogelijk, en is veel grond- en oppervlaktewater te zout¹ voor irrigatie. Hier is zoet water alleen beschikbaar in de vorm van grondwater: in de duinen, kreekruigen en in dunne regenwaterlenzen in de polders. Hierdoor is de zoetwaterbeschikbaarheid in de wortelzone van deze gebieden afhankelijk van het neerslagoverschot en van nalevering vanuit het grondwater. Het water systeem in de Zuidwestelijke Delta zonder externe aanvoer is kwetsbaar voor droge periodes zoals de zomer van 2018, waarvan de frequentie in de toekomst waarschijnlijk zal toenemen (Klein Tank et al., 2015). Het is daarom van belang de zoetwaterbeschikbaarheid tijdens droge tijden op robuuste wijze te garanderen.

1.2 Zoet grondwater voor irrigatie in Zeeland

In de Zuidwestelijke Delta zonder wateraanvoer vormt het zoete grondwater onder duinen, kreekruigen en dekzandgebieden (Figuur 1.1, boven) de voornaamste bron voor irrigatie. Het onttrekken van zoet grondwater vindt doorgaans plaats met horizontale onttrekkingen (diepdraains). Er gelden regels voor het onttrekken van het zoete grondwater om zoutwater intrusie en opkegeling van het zoute grondwater onder de onttrekkingsbron te beperken (Oude Essink and Pauw, 2018).



¹ Voor de grens tussen 'zoet' en 'zout' water voor de landbouw in Zeeland wordt veelal 1500 mg Cl/l aangehouden.



Figuur 1.1 Boven: Verdeling van zoet en zout grondwater in de provincie Zeeland (zie FRESHEM Zeeland project (Van Baaren et al., 2018)). Onder: Schematisch geologisch dwarsprofiel door Zeeland (uit: REGIS, TNO Geologische Dienst Nederland). Alleen Holocene afzettingen (formatie van Naaldwijk) zijn weergegeven. Zoetwatervoorraden bevinden zich met name onder de duinen (Schoorl member), de kreekruigen (Walcheren member) en de Pleistocene dekzandruggen.

Door de gelimiteerde hoeveelheid zoet grondwater kan in droge perioden droogte- en zoutschade aan gewassen optreden. Wanneer zout grondwater of slootwater gebruikt voor irrigatie neemt het risico op zoutschade aan gewassen toe (Stuyt et al., 2016, 2011). Naar verwachting zal in de toekomst de zoetwatervraag toenemen en het zoetwateraanbod afnemen, door langere periodes zonder neerslag en toenemende temperaturen. Om ook in de toekomst de zoetwaterbeschikbaarheid te kunnen garanderen zijn maatregelen nodig.

1.3 GO-FRESH project

Eén van de oplossingsrichtingen betreft het bergen van overtollig zoet water in de ondergrond in periodes van wateroverschot om het in een latere fase weer te gebruiken. In het project GO-FRESH wordt onderzocht in hoeverre lokale maatregelen de zoetwaterbeschikbaarheid voor landbouw kunnen vergroten in gebieden waar geen zoet water vanuit het hoofwatersysteem kan worden geleverd. In GO-FRESH staat de ondergrond als opslagmedium centraal.

Binnen het nationale onderzoeksprogramma 'Kennis voor Klimaat' is in 2012 het onderzoeksproject GO-FRESH gestart. Binnen dit project zijn drie theoretisch kansrijke maatregelen om de zoetwaterbeschikbaarheid te vergroten in het veld getest. De resultaten binnen het Kennis voor Klimaat project van GO-FRESH fase I lieten zien dat de drie proeven ook in het veld veelbelovend zijn (Oude Essink et al., 2014).

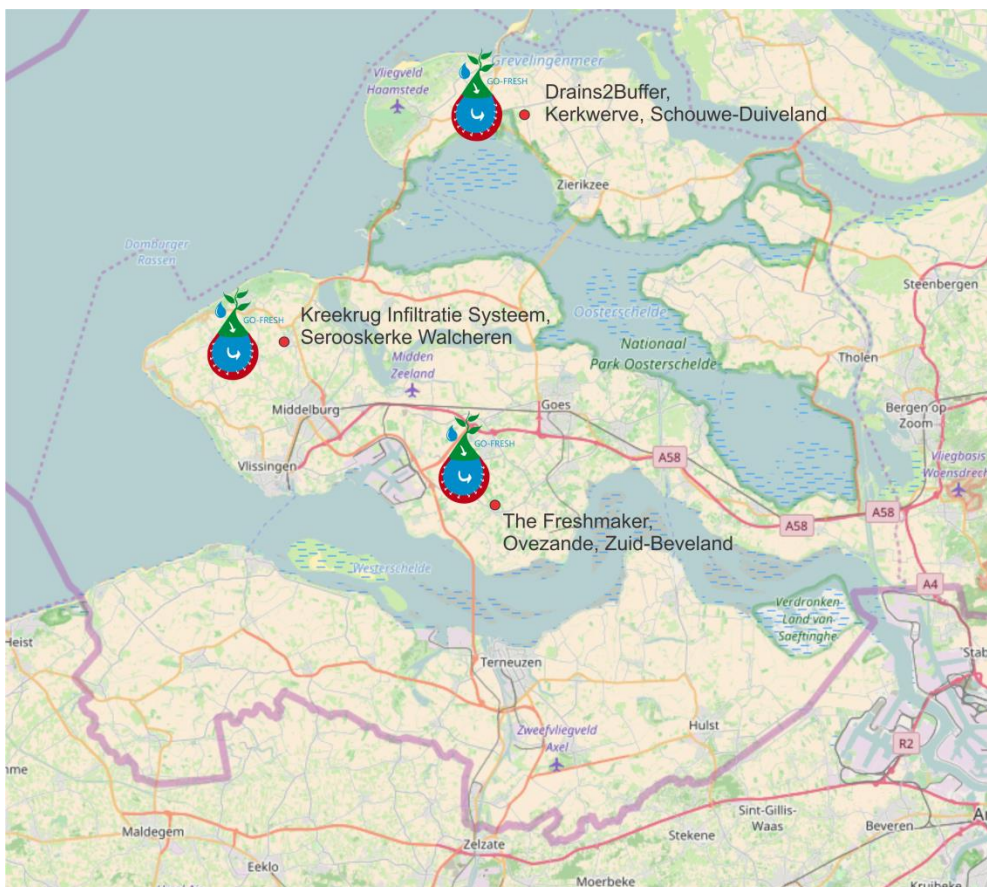
Om betere uitspraken te kunnen doen over de prestaties van de maatregelen onder hydrologisch variërende omstandigheden zijn langere meetreeksen nodig. Daarom is het project van ondergrondse waterconservering (met name monitoring maar ook modelanalyse) voortgezet voor de periode 2014-2017. Deze tweede fase van het project (GO-FRESH II) richt zich op de continuering van de proeven, evenals het verder ontplooiën van de kennistransfer. In deze rapportage worden de resultaten van GO-FRESH II beschreven.

Twee van de proeven richten zich op zoetwaterlenzen in kreekruigen, met een typische dikte van 10 – 20 m. De derde veldproef richt zich op zoute kwelgebieden waar een dunnere (1 – 2 m) regenwaterlens aanwezig is. De proeven vonden plaats op drie verschillende locaties in Zeeland (Figuur 1.2) en kunnen als volgt worden samengevat:

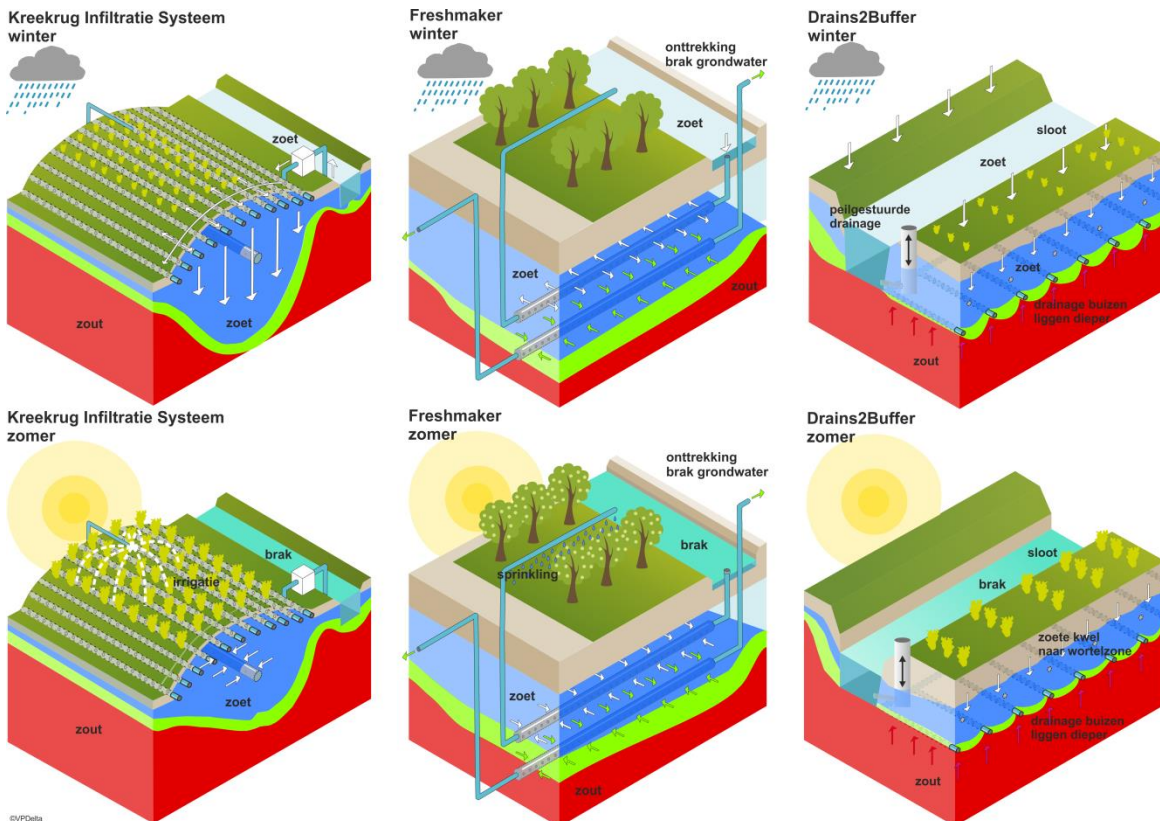


Kort samengevat zijn de drie proeven (schematisch weergegeven in Figuur 1.3):

- **Kreekrug Infiltratie Systeem** (Serooskerke, Walcheren): richt zich op de toename van de zoetwatervoorraad in een kreekrug door infiltratie van oppervlaktewater waardoor het grondwaterpeil wordt opgezet. Onder een kreekrug worden de drainagepeilen opgezet met behulp van peilgestuurde drainage en wordt zoet oppervlaktewater in tijden van neerslagoverschot geïnfiltreerd in het drainagesysteem. De toename van de grondwaterstand leidt tot een uitbreiding van de zoetwaterlens onder de kreekrug. Hieruit kan meer grondwater worden onttrokken voor irrigatie van de gewassen.
- **Freshmaker** (Ovezande, Zuid-Beveland): focust zich op de toename van de zoetwatervoorraad in een kreekrug door injectie van zoet water én onttrekking van zout grondwater om de opkegeling van zout grondwater te beperken. De injectie en winning vindt plaats via horizontaal geboorde putten ('HDDWs'). De zoetwatervoorraad maakt het mogelijk om het risico op droogteschade voor de fruitteelt (appels, peren) te kunnen minimaliseren.
- **Drains2Buffer** (Kerkwerve, Schouwen-Duiveland): richt zich op het vergroten en/of behouden van de zoetwatervoorraad in dunne regenwaterlensen door slimmere diepe drainage. Met een dieper drainagesysteem wordt de dikte van de ondiepe regenwaterlens uitgebreid. Door dichter de draineren wordt wateroverlast voorkomen. Deze combinatie voorkomt verzilting van de wortelzone van gewassen in polders met zoute kwel.



Figuur 1.2 Locaties van de drie proeven van GO-FRESH.



Figuur 1.3 De drie GO-FRESH proeven geschematiseerd tijdens de zomer- en wintersituatie.

Naast de focus op de technische haalbaarheid van de (innovatieve) technieken om huidige én toekomstige zoetwatertekorten op te vangen wordt binnen het project ook gekeken naar het economisch rendement. Tevens worden stakeholders betrokken in het project om op termijn de innovatie direct in en met de praktijk te kunnen toetsen. Veldbijeenkomsten zijn georganiseerd om de specifieke kennis van de proeven te delen met enthousiaste Zeeuwse agrariërs.

In het Deltaprogramma behoren de maatregelen voor toekomstbestendige zoetwatervoorziening in de Zuidwestelijke Delta tot de voorkeursstrategie en zijn ze onderdeel van de Proeftuin Zoetwater Zeeland (Deltaprogramma, 2017). Op termijn zullen de maatregelen moeten bijdragen aan de economische vooruitgang van landbouwgebieden doordat onder veranderende sociaal-economische en klimatologische omstandigheden de toekomstige zoetwatertekorten kunnen worden opgevangen.

1.4 Onderzoeksvragen

De hoofddoelstelling van GO-FRESH is als volgt:

Nader beoordelen en ontsluiten van het hydrologische en bedrijfseconomische rendement van een drietal innovatieve technieken die zoete grondwatervoorraden beter benutten en nieuwe zoete grondwatervoorraden creëren, met als doel de zelfvoorzienendheid te vergroten, en droogteschade en de afhankelijkheid van externe aanvoer te verkleinen.



Afgeleide vragen zijn:

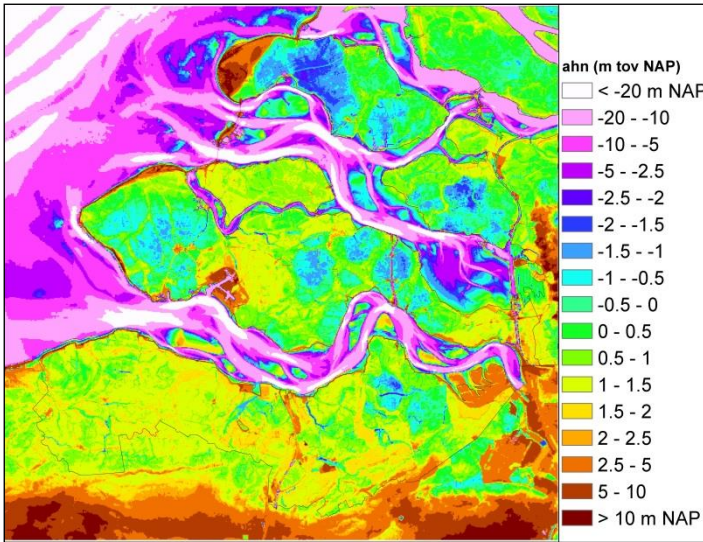
- 1 *Is het mogelijk significante hoeveelheden zoet water duurzaam op te slaan in de ondergrond en daarmee zout grondwater weg te drukken? Deze vraag kan kwantitatief slechts beantwoord worden voor de concrete onderzoekslocaties. Welke factoren bepalen de opslagcapaciteit? Wat is, indicatief, de toepasbaarheid van de onderzochte aanpakken in Zeeland en West-Brabant? Wat is (indicatief) de kansrijkheid voor de toepasbaarheid in andere gebieden (type gebieden) in Nederland?*
- 2 *Is het mogelijk dit opgeslagen water met een hoge 'recovery' aan de ondergrond te onttrekken op momenten van waterbehoefte zonder dat daarmee de zoet-zoutverdeling significant negatief wordt beïnvloed? En bij welke hoeveelheden in m³ en of in mm uitgedrukt?*
- 3 *Welke methode van wateropslag heeft de voorkeur, als functie van de ondergrondskarakteristieken, toepassingsmogelijkheden en kosten en te verwachten baten?*
- 4 *Is het mogelijk in gebieden zonder grootschalige opslagmogelijkheden (poelgronden en voormalige schorgronden) de aanwezige zoete regenwaterlenzen dusdanig te verdikken, zodat het risico significant vermindert dat het onderliggende zoute grondwater in droogteperiodes optrekt tot in de wortelzone?*
- 5 *Zijn deze drie verschillende manieren van wateropslag bedrijfseconomisch rendabel? En bij welke hoeveelheden in mm, m³ en € uitgedrukt?*

Naast deze onderzoeksvragen zijn ook de volgende activiteiten opgenomen:

- 6 *Stel de nieuwe kennis en inzichten uit het onderzoek op een doelmatige wijze beschikbaar voor de doelgroep en verwerk de nieuwe kennis in de relevante deltafacts (www.deltafacts.nl).*
- 7 *Organiseer bijeenkomsten voor de doelgroep om de overdracht van de nieuwe kennis en inzichten te ondersteunen en versterken.*

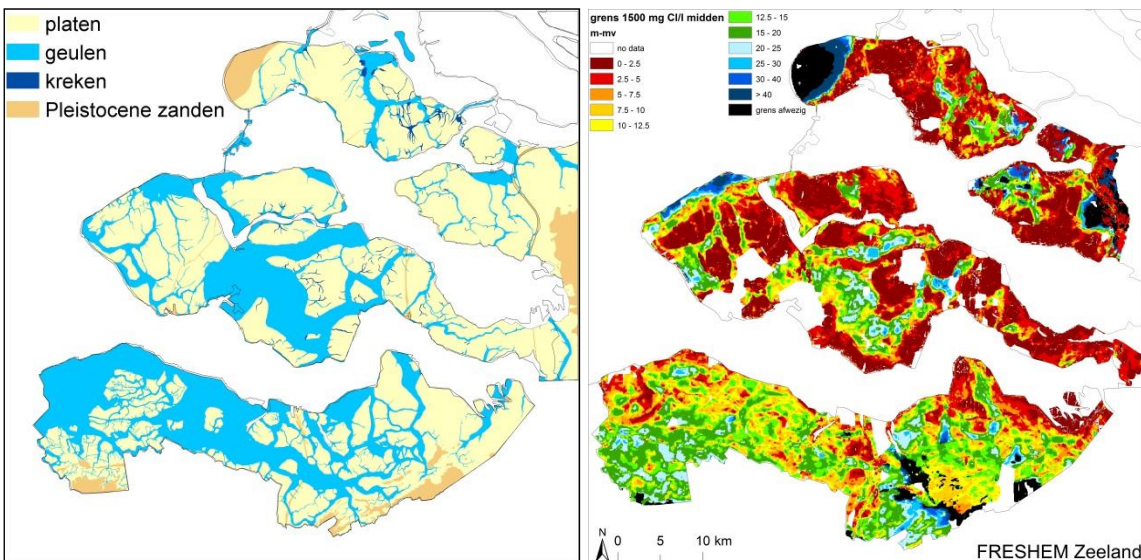
1.5 Het Zeeuwse grondwatersysteem

In Zeeland bevindt zich het grootste deel van het maaiveld rondom Normaal Amsterdams Peil (NAP), zie Figuur 1.4. Hoogteverschillen in maaiveld zijn over het algemeen gering. Een belangrijk kenmerk van Zeeland is dat het (overwegend zoute) buitenwater nooit ver weg is en dat vrijwel elke afwateringseenheid direct op het buitenwater kan lozen. Al vanaf de Middeleeuwen is in Zeeland land aangewonnen. Met name in de Gouden 17^{de} Eeuw hebben op grote schaal bedijkingen plaatsgevonden, resulterend in ongeveer 50.000 ha extra land (Schultz, 1992; Van De Ven, 1993).



Figuur 1.4 Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN).

De verdeling van zoet, brak en zout grondwater in de Provincie Zeeland is complex. Hier liggen verschillende oorzaken, als geologische ontstaansgeschiedenis en inpolderingen gedurende de laatste eeuwen, aan ten grondslag. Vrijwel overal is het (diepe) grondwater grotendeels brak tot zout, behalve in delen van Zeeuws-Vlaanderen en de Kop van Schouwen. Boven in de ondergrond is meestal nog wel een laag zoet grondwater aanwezig, welke in dikte varieert. Deze variatie is goed terug te zien in Figuur 1.5b. Het zoet-brak grensvlak is bepaald binnen het project FRESHEM Zeeland (Van Baaren et al., 2018).



Figuur 1.5 Rechts. kartering van platen, geulen, kreken en Pleistocene zanden (REGIS); Links. zoet-brak grensvlak (1500 mg Cl/l, midden-scenario) FRESHEM (Delsman et al., 2018; Van Baaren et al., 2018).

In de karakterisatie van het stroomgebied van de Schelde zijn een vijftal typen grondwaterlichamen uitgewerkt (Regionaal Bestuurlijk Overleg Schelde, 2004): 1. het grondwater in de duingebieden (met de Kop van Schouwen als grootste gebied), 2. het bovenste grondwater in de klei-veengebieden, 3. het grondwater in de zandige lagen, 4. het



grondwater in de diepe zandige laag onder de ondoorlatende klei, en 5. het grondwater voor menselijke consumptie (bijv. bij Haamstede en Sint Jansteen waar oppervlaktewater wordt geïnfiltreerd).

1.6 Projectorganisatie

Het consortium binnen GO-FRESH bestaat uit Deltares (trekker), Wageningen Environmental Research, KWR, Hogeschool Zeeland, ZLTO en Acacia Water. De partners zijn elk verantwoordelijk voor verschillende werkpakketten binnen het project.

De provincie Zeeland, ZLTO, het Waterschap Brabantse Delta, de gemeente Schouwen-Duiveland, Productschap Tuinbouw, Handelonderneming Meeuwse en STOWA dragen financieel bij aan het project. Het Waterschap Scheldestromen draagt bij in de vorm van lokale gebiedspecifieke expertise, het regelen van vergunningen en het verzorgen van kleine waterhuishoudkundige maatregelen.

2 Kreekrug Infiltratie Systeem

2.1 Inleiding

2.1.1 Onderzoeksvraag

De algemene onderzoeksvraag binnen het onderzoek naar het Kreekrug Infiltratie Systeem² (KIS) luidt:

Is het mogelijk om met behulp van een peilgestuurd drainagesysteem een grotere zoetwaterlens te creëren onder een kreekrug door 1) infiltratie van het neerslagoverschot en 2) het opzetten van de drainagepeilen?

2.1.2 Producten en kennisdeling

De volgende productresultaten zijn gerealiseerd binnen GO-FRESH 1 en 2:

1. Ontwerp van het systeem (samenwerking tussen agrariërs, onderzoekers en draineur)
2. Aanleg van het Kreekrug Infiltratie Systeem
3. Ontwerp en aanleg meetnet voor monitoring
4. Verhoging van de grondwaterstanden
5. Geen wateroverlast of te hoge grondwaterstanden in de omgeving
6. Toename zoetwatervoorraad in de kreekrug bij de veldproef voor de gemeten periode
7. Verwachting toename zoetwatervoorraad in kreekrug bij de veldproef voor de komende jaren zoals is berekend met het model
8. Systeemanalyse groei zoetwaterlens
9. Berekening totale winbare volume zoet water voor deze veldproef in combinatie met optimalisatie grondwateronttrekking(en)

Deze resultaten zijn in dit hoofdstuk 2 beschreven. Daarnaast heeft kennisdeling plaatsgevonden tijdens bijeenkomsten voor agrarische ondernemers en wetenschappelijke conferenties en zijn de tussenresultaten gepubliceerd in Pauw et al. (2015).

Het Kreekrug Infiltratie Systeem is dus een gezamenlijk idee van agrariërs, onderzoekers en een draineur. Voorafgaand aan het realiseren van het systeem waren er drie redenen om een peilgestuurd drainagesysteem te gebruiken:

- 1) **Verstopping.** Uit onderzoek in de jaren 1980 bleek dat kunstmatige infiltratie van zoet water met verticale putten gepaard ging met verstopping, wat er onder andere voor zorgde dat het systeem niet economisch rendabel was. De gedachte achter het toepassen van peilgestuurde drainage was om het risico op verstopping te beperken, vanwege het veel grotere infiltratieoppervlak (drainagebuizen met een onderlinge afstand van zo'n 7 m, verspreid over 10 ha) en de ondiepe ligging van de drainage (ongeveer 1 m –mv).
- 2) **Investering.** Op veel plekken in Zeeland, ook op kreekruggen, zijn percelen gedraineerd. Een aanpassing van de bestaande drainage of een extra investering bij aanleg van nieuwe (peilgestuurde) drainage is relatief beperkt.

² In het GO-FRESH I project werd het Kreekrug Infiltratie Systeem nog 'Kreekrug Infiltratie Proef' genoemd. De Engelse benaming voor Kreekrug Infiltratie Systeem is Controlled Artificial Recharge and Drainage System (CARD), zie bijv. Pauw et al. (2015).



- 3) **Peilverhoging.** Volgens het Badon Ghijben-Herzberg principe kan theoretisch onder gunstige omstandigheden een kleine verhoging van de grondwaterstand een flinke uitbreiding van de zoetwaterlens teweegbrengen.

2.1.3 Huidige wet- en regelgeving

De huidige regels voor het onttrekken van grondwater in de provincie Zeeland zijn beschreven in de 'Beleidsnota grondwater versie 3.5' van Waterschap Scheldestromen (Scheldestromen, 2013). De hoofddoelstelling van de regelgeving is een goede kwantitatieve en chemische toestand van het grondwater, afgestemd op de functies van het gebied. Een belangrijk aspect daarvan is de instandhouding van de zoetwatervoorkomens.

Voor onttrekkingen voor beregening in de landbouwonttrekkingen kan registratie of vergunning vereist zijn. Daarnaast hanteert men 'algemene regels'. In dat geval hoeft geen vergunning te worden aangevraagd en volstaat alleen een melding bij het waterschap. Indien de pompcapaciteit kleiner is dan 5 m^3 per uur zijn onttrekkingen vrijgesteld van registratieplicht, op voorwaarde dat er niet meer dan 12000 m^3 per jaar wordt onttrokken. Bij een groter jaarlijks volume en/of een debiet van groter dan 5 m^3 per uur én kleiner dan 10 m^3 per uur geldt de registratieplicht. Indien men met een hoger debiet wil onttrekken, dan kan in gebieden waar de zoetwaterlens dikker is dan 15 m of reikt tot de geohydrologische basis worden volstaan met de algemene regels, mits er aan de criteria wordt voldaan die hieronder en in Tabel 2.1 zijn weergegeven. Alle overige onttrekkingen voor beregening vallen onder de vergunningsplicht.

In de regels is zoet grondwater gedefinieerd als water met een chlorideconcentratie tot 1500 mg Cl/l . Indien het grondwater een hogere chlorideconcentratie heeft, is sprake van zout grondwater. Gebieden met zoetwatervoorkomens omvatten zoetwaterlenzen met een dikte van minimaal 15 meter of waar de zoetwaterlens reikt tot aan de geohydrologische basis.

Tabel 2.1 Regels voor onttrekkingen in de provincie Zeeland. Q is de te onttrekken hoeveelheid grondwater per tijdseenheid (bron: Waterschap Scheldestromen).

REGIEM	KWETSBAAR GEBIED	
	zoet	zout
Registratie	$Q > 0 \text{ m}^3$ per uur	$Q > 0 \text{ m}^3$ per uur
Vergunningplicht	$Q > 0 \text{ m}^3$ per uur	$Q > 0 \text{ m}^3$ per uur
Algemene regels (meldplicht i.p.v. vergunningplicht), alleen voor tijdelijke onttrekkingen	$Q < 100 \text{ m}^3$ per uur en $Q < 1.000 \text{ m}^3$ per maand en duur < 6 maanden	$Q < 100 \text{ m}^3$ per uur en $Q < 1.000 \text{ m}^3$ per maand en duur < 6 maanden
NIET-KWETSBAAR GEBIED		
Registratie (meldplicht i.p.v. vergunningplicht)	Pompcapaciteit $> 5 \text{ m}^3$ per uur $Q < 12.000 \text{ m}^3$ per jaar	Pompcapaciteit $> 5 \text{ m}^3$ per uur $Q < 12.000 \text{ m}^3$ per jaar
Vergunningplicht	$Q > 10 \text{ m}^3$ per uur of $Q > 1.000 \text{ m}^3$ per maand of $Q > 8.000 \text{ m}^3$ per jaar	$Q > 10 \text{ m}^3$ per uur of $Q > 30.000 \text{ m}^3$ per jaar
Algemene regels (meldplicht i.p.v. vergunningplicht), alleen voor tijdelijke onttrekkingen	$10 < Q < 100 \text{ m}^3$ per uur en $Q < 3.000 \text{ m}^3$ per kwartaal en duur < 6 maanden	$10 < Q < 100 \text{ m}^3$ per uur en $Q < 15.000 \text{ m}^3$ per maand en $Q < 30.000 \text{ m}^3$ per 6 maanden ¹ en duur < 6 maanden
Algemene regels (meldplicht i.p.v. vergunningplicht), alleen voor	$10 < Q < 60 \text{ m}^3$ per uur en $Q < 3.000 \text{ m}^3$ per kwartaal en $Q <$	

berekening uit zoetwaterlenzen > 15 meter of zoetwaterlenzen tot de geo-hydrologische basis	8.000 m ³ /jaar	
---	----------------------------	--

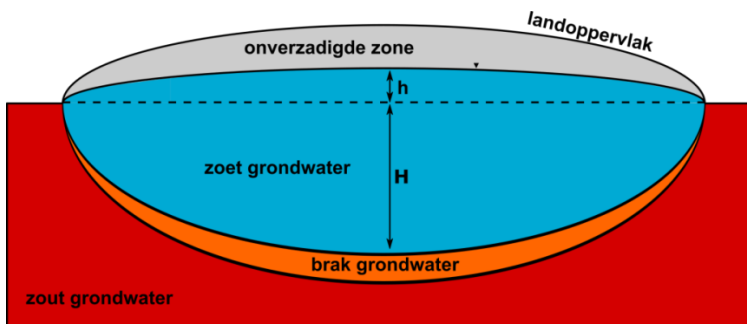
¹Deze beperking geldt niet voor sleufbemalingen.

2.2 Ontwerp en aanleg veldproef

2.2.1 Theorie

Zoetwaterlenzen in Zeeland bevinden zich onder de dekzandruggen, duinen, kreekruggen en in sommige lager gelegen gebieden (poelgronden). Dikke zoetwaterlenzen zijn aanwezig onder de duinen. In poelgronden met zoute kwel zijn de zoetwaterlenzen vaak dun (1-2 m dik) en vormen zich tussen landbouwdrains. In de zomer kan door verdamping al het zoete water verdwijnen, waardoor brak tot zout grondwater achterblijft. Omdat dan strikt genomen geen sprake meer is van een zoetwaterlens, worden de dunne zoetwaterlenzen in zoute kwelgebieden vaak 'ondiepe regenwaterlenzen' genoemd (De Louw et al., 2011).

De dikte van een zoetwaterlens is onder andere afhankelijk van de (jaargemiddelde) grondwaterstand ten opzichte van een referentiehoogte, die vaak wordt gekozen op basis van de stijghoogte van het onderliggende zoute grondwater. Over het algemeen geldt; hoe hoger de grondwaterstand (h), des te dikker de zoetwaterlens (H) (zie Figuur 2.1) bij verder gelijke omstandigheden. Zout grondwater heeft een hogere dichtheid dan zoet grondwater, daarom 'drijft' het zoete water op het zoute water. Indien de concentratie van het zoute grondwater gelijk is aan de concentratie in 'standaard oceaanwater' met een dichtheid van 1025 kg m^{-3} , (komt overeen met ongeveer 18.000 mg Cl/l), geldt $H = \alpha * h$, met $\alpha = 40$. Dit principe staat bekend als het zogenaamde Badon Ghijben-Herzberg principe (Badon Ghijben (1889) en Herzberg (1901)). Een kleine verhoging van de grondwaterstand leidt dus onder gunstige omstandigheden al tot een forse groei van de zoetwaterlens. Bij de onderzoekslocatie is een maximale dichtheid van 1022 kg/m^3 gemeten, en daarmee komt α uit op ongeveer 45.



Figuur 2.1 Concept van een zoetwaterlens.

Het Kreekrug Infiltratie Systeem (KIS) maakt gebruik van dit principe en heeft als doel de zoetwaterlens te vergroten door middel van een verhoging van de grondwaterstand. Er wordt hiervoor gebruik gemaakt van een peilgestuurd drainagesysteem waarmee de grondwaterstand op twee manieren wordt verhoogd:

- 1) Door verhoging van de drainagehoogte in de omgeving (opzet drainagehoogte).
- 2) Door het kunstmatig infiltreren van zoet oppervlaktewater via het peilgestuurd drainagesysteem, vooral in de hoger gelegen delen van het perceel.



Deze ingrepen kunnen in Zeeland voornamelijk plaatsvinden in het winterhalfjaar, wanneer het neerslagoverschot zorgt voor relatief hoge grondwaterstanden en voor sloten die voldoende (zoet) water afvoeren. De gebruiker (agrariër) kan zelf bepalen hoe hoog de drainage- en infiltratiepeilen worden opgezet. Sectie 2.2.3 geeft nadere informatie over het systeem.

2.2.2 Achtergrond

Het Kreekrug Infiltratie Systeem vloeit voort uit het samenwerkingsverband De Waterhouderij Walcheren, dat in 2010 is opgericht (zie www.waterhouderij.nl). De Waterhouderij Walcheren is een samenwerking tussen agrariërs (watergebruikers), waterbeheerders (Provincie Zeeland en Waterschap Scheldestromen) en externe organisaties (o.a. Aequator, Deltares en ZLTO), met als doel de zoetwatervoorziening in het gebied tussen Serooskerke, Oostkapelle en Vrouwenpolder te optimaliseren. De Waterhouderij Walcheren maakt daarnaast ook onderdeel uit van de Greendeal Waterhouderij.

In 2013 hebben tien enthousiaste agrarische ondernemers de Stichting Waterhouderij Walcheren opgericht met als doel om meer gegevens te verzamelen, de randvoorwaarden voor een optimaal zoetwaterbeheer verder te onderzoeken en een aantal eenvoudige en pragmatische maatregelen te implementeren. De huidige peilen en het zoutgehalte van de sloten (o.b.v. de EC ('Electrical Conductivity' = elektrisch geleidingsvermogen)) zijn regelmatig handmatig gemeten om beter inzicht te krijgen in de werking van het watersysteem. Op basis van deze metingen bleek dat ten noorden van de veldproef in Serooskerke opvang van zoet oppervlaktewater voor infiltratie mogelijk was. Binnen een samenwerking tussen de Waterhouderij Walcheren, onderzoekers van Deltares en een drainage-expert is het idee uitgewerkt om een peilgestuurd drainagesysteem te gebruiken voor het infiltreren van zoet water uit de sloot, en om vervolgens te monitoren wat de effecten zijn op de grondwaterstanden en dikte van de zoetwaterlens. Dit wordt nader beschreven in de volgende sectie.

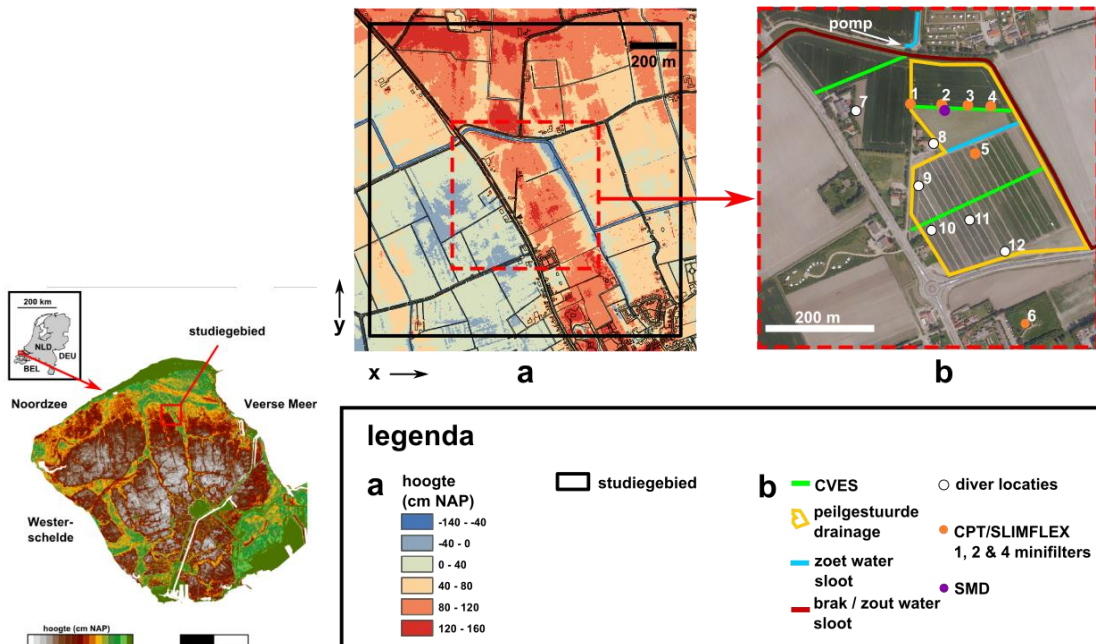
2.2.3 Startsituatie en ontwerp Kreekrug Infiltratie Systeem

Het Kreekrug Infiltratie Systeem wordt in Zeeland getest bij een kreekrug in Serooskerke, Walcheren (Figuur 2.2 en Figuur 2.3), op de percelen van Johan Sanderse en de gebroeders Louwerse (contactpersoon Werner Louwerse). De percelen zijn gelegen tussen de Kleine Putweg, Oostkapelseweg, Eeperkweg en de Gapingse Watergang. Op het land worden aardappelen, cichorei, venkel en bloemkool geteeld. De bovenste 10-15 m van de ondergrond onder de kreekrug bestaat overwegend uit zandige geulsedimenten. Aan weerskanten van de kreekrug ligt het maaiveld 1-3 m lager, en bestaat de ondergrond voornamelijk uit veen en klei (Figuur 2.4). Deze sedimenten vormen de Holocene deklaag. Onder de Holocene sedimenten bevinden zich sedimenten uit het Pleistoceen en ouder, met verschillende grondsoorten (klei, fijn zand, matig grof zand, etc.).

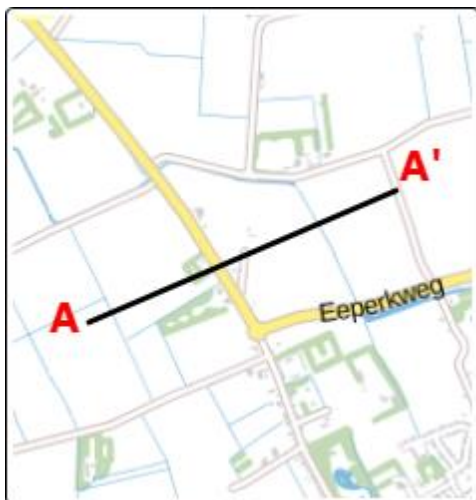
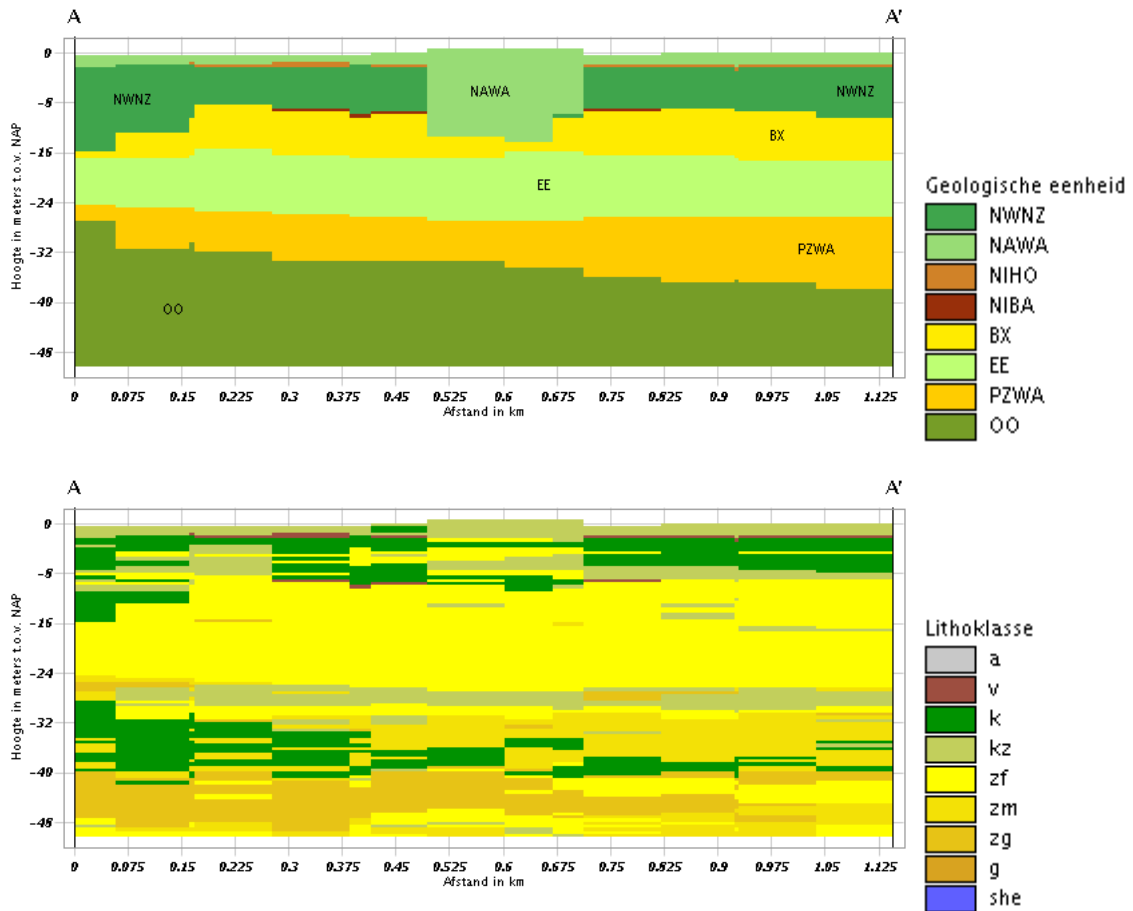
De zoetwaterlens onder de kreekrug neemt in dikte toe vanaf het noordwesten (~ 7 m) naar het zuidoosten (~ 14 m) (Figuur 2.2). De Gapingse Watergang heeft dus een duidelijke invloed op de dikte van de zoetwaterlens. Op het zuidelijke gedeelte van het perceel wordt met een 80 m diepe diepdrain op een diepte van 5 m beneden maaiveld zoet water onttrokken voor de beregening van bloemkool en venkel.



Figuur 2.2 FRESH-EM resultaat van de diepte van het 1000 mg Cl/l grensvlak ten opzichte van maaiveld (m) (<https://www.zeeland.nl/water/zoet-water/zoet-zoutverdeling-zeeuwse-ondergrond>).



Figuur 2.3 a) Overzicht van het studiegebied. Het zwart omkaderde vierkant geeft het modeldomein (sectie 2.4, pagina 35) weer. b) Overzicht van de meet- en monitoringslocaties. De zoet water sloot net boven meetlocatie 5 scheidt de percelen Werner Louwerse (zuidelijk deel) en Johan Sanderse (noordelijk deel).

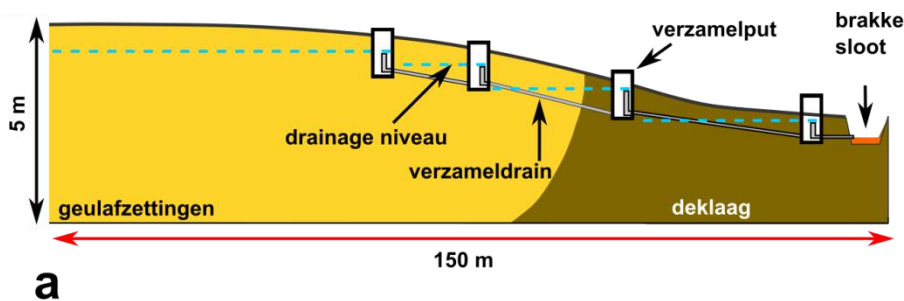


Figuur 2.4 Boven: geologische dwarsdoorsnede (bron: GeoTOP, zie www.dinoloket.nl) over de kreekrug ten noorden van Serooskerke. De afkortingen van de geologische eenheden zijn: NWNZ: Formatie van Naaldwijk, laagpakketen van Wormer en Zandvoort, NAWA: Formatie van Naaldwijk, Walcheren member, NIHO: Formatie van Nieuwkoop, Hollandveen, NIBA: Formatie van Nieuwkoop, Basisveen, BX: Formatie van Boxtel, EE: Eem Formatie, PZWA, Formaties van Peize en Waalre, OO: Formatie van Oosterhout. Lithologie in de dwarsdoorsnede. De afkortingen van de lithologische eenheden zijn: a: antropogeen, v: veen, k: klei, kz: zandige klei, leem of kleilig fijn zand, zf: zand fijn, zm: zand matig grof, zg: zand grof, g: grind, she: schelpen. Onder: locatie van de dwarsdoorsnede.

2.2.4 Ontwerp en aanleg

In de herfst van 2012 is begonnen met de aanleg van het peilgestuurde drainagesysteem (Figuur 2.6). Door weersomstandigheden kon alleen een deel van de drainage worden aangelegd ten noorden van de sloot die de percelen van Johan Sanderse en Werner Louwerse scheidt (Figuur 2.3). Het resterende deel is in het voorjaar van 2013 aangelegd. De totale oppervlakte van het KIS bedraagt ongeveer 10 ha. De aanleg is verzorgd door drainagebedrijf Rutten. De peilen van de drainage kunnen in de diverse peilputten (Figuur 2.5) geregeld worden. De drains hebben een onderlinge afstand van 6-7 m en liggen op een diepte van ongeveer 1-1.3 m beneden maaiveld.

In 2012 is ook gestart met het aanleggen van elektra voor de pompinstallatie bij de zoete sloot ten noorden van de Kleine Putweg. Op deze locatie stroomde vóór de aanleg van het KIS, zoet water over een stuw in een ~1x1 m brede betonnen opvangbak, waarna het via een duiker onder de Kleine Putweg richting de brakke Gapingse Watergang stroomde. In de betonnen opvangbak staat nu een pomp die het zoete water via een buizensysteem onder de Kleine Putweg en over de Gapingse Watergang, naar de noordkant van het perceel transporteert (Figuur 2.5 en Figuur 2.7). De pomp is een dompelpomp die voorzien is van een EC-stop (1.0 mS/cm). Dit betekent dat indien de EC in het slootwater te hoog wordt, geen infiltratie plaats zal vinden. Ook is een vlottersysteem geïnstalleerd om infiltratie bij te hoge grondwaterstanden te voorkomen. De installatie en levering van de pomp zijn verzorgd door Meeuwse Handelsonderneming. Eind mei 2013 is begonnen met de infiltratie van zoet oppervlaktewater.



a



b

Figuur 2.5 a) Dwarsdoorsnede van het Kreekrug Infiltratie Systeem. b) Locaties peilgestuurde drainage, water inlaat/opvang en zoete en zoute sloten.



Figuur 2.6 Aanleg van de peilgestuurde drainage.



Figuur 2.7 Indruk van het pompsysteem.

2.2.5 Vergunningverlening

Bij Waterschap Scheldestromen is een vergunning aangevraagd voor het infiltreren van zoet oppervlaktewater via het peilgestuurde drainagesysteem. Deze vergunning is geldig tot 31 december 2018. De belangrijkste eisen ten aanzien van het monitoren van het infiltreren van water zijn:

- De hoeveelheid water, die ter plaatse van het onttrekkingpunt mag worden onttrokken, bedraagt maximaal 20 m³ per uur.
- De geïnfiltreerde debieten dienen te worden geregistreerd aan de hand van de pompdraai-uren of watermeter.
- De grondwaterstanden bij de meetpunten 8, 9 en 10 (Figuur 2.3) dienen te worden opgenomen.

Omdat er geen directe doelstelling was om extra water te kunnen onttrekken uit de zoetwaterlens zijn geen meetverplichtingen ten aanzien van de hydrochemische samenstelling van het oppervlaktewater in de vergunning opgenomen. Nadere details over de vergunning zijn te vinden in Bijlage A Vergunning Kreekrug Infiltratie Systeem, p. 149.

2.3 Monitoring veldproef

2.3.1 Overzicht monitoring

De effecten van het Kreekrug Infiltratie Systeem zijn met behulp van diverse meettechnieken in de tijd gemonitord. Figuur 2.3 en Tabel 2.2 geven een overzicht hiervan weer. In Tabel 2.3 zijn de overige (eenmalige) metingen die verricht zijn weergegeven.

Tabel 2.2 Overzicht van de monitoringsactiviteiten rondom het Kreekrug Infiltratie Systeem.

Doel	Methode	Frequentie	Meetlocatie(s)
Grondwaterstanden	Drukopnemers	1 keer per uur, gehele periode + aantal voorgaande jaren	1-2, 5-12
Zoet-zout verdeling grondwater	EM-Slimflex	1 keer per half jaar op begaanbare locaties	1, 2, 4, 5, 6
Zoet-zout verdeling grondwater	Grondwater bemonstering met peilbuisnest (6 dieptes)	Ongeveer 1 keer per jaar	1
Zoet-zout verdeling grondwater	Subsurface Monitoring Device (SMD; Imageau). Geo-elektrische meting	Dagelijks	2
Zoet-zout verdeling grondwater	Continuous Vertical Electrical Sounding (CVES)	Aan het begin en aan het eind van de veldproef	Groene profielen in Figuur 2.3
Verpompte volume zoetwater	Watermeter	Maandelijks	Nabij de pomp.



Tabel 2.3 Overzicht van de overige metingen rondom het Kreekrug Infiltratie Systeem.

Doel	Methode	Moment	Meetlocatie(s)
Nauwkeurige inmeting van de hoogte van de peilbuizen	Differential-GPS (DGPS)	Bij installatie van de peilbuizen (winter 2013).	1-2, 5-12
Inspectie van eventuele verstopping van de drains	Camera inspectie van de hoofddrain	Januari 2016	Hoofddrain
Nulmeting zoet-zout verdeling en lithologie	Geleidbaarheidssondering	December 2012	1-5
Zoet-brak-zout verdeling grondwater	FRESHEM	Augustus - september 2015	gebiedsdekkend

De grondwaterstanden zijn gemeten met peilbuizen waarin drukopnemers (Van Essen / Schlumberger) zijn geïnstalleerd. De hoogte van de top van de peilbuis is met een DGPS (Differential Global Positioning System) ingemeten. De peilbuizen zijn afgewerkt met een straatpot. Een uitzondering daarop is meetlocatie 8; daar is een peilbuis boven maaiveld aanwezig. De geregistreerde grondwaterstanden zijn halfjaarlijks handmatig gecontroleerd. Meetlocatie 6 dient hierbij als referentie, omdat hier geen peilgestuurde drainage is geïnstalleerd. Het verpompte volume zoet water is bijgehouden met een watermeter die voorzien is van een logger.

De EM-Slimflex metingen zijn verricht met de EM-Slimflex; een dunne en flexibele boorgatmeetsonde om in PVC peilbuizen de elektrische geleidbaarheid van de ondergrond (EC_{bulk}) en de natuurlijke gammastraling te meten. Aan de hand hiervan kan een kwalitatieve schatting van de verdeling van zoet en zout grondwater worden gemaakt. Voor nadere informatie wordt verwezen naar:

<https://publicwiki.deltares.nl/display/BGMD/Boorgatmeten+Deltares#Menuboorgatmetingen-1245949626>

De bemonstering van de drie peilbuis-nesten is verricht met een peristaltische pomp (Eijkelkamp) en een temperatuur-gecorrigeerde EC meter (Eijkelkamp). Per peilbuis is voldoende water opgepompt (> 30 l) om een representatieve EC-waarde (EC_{water}) te meten.

Dagelijkse elektrische geleidbaarheidsmetingen (EC_{bulk}) op meetlocatie 2 zijn verricht met een op afstand gestuurde, automatische zoutwachter (Subsurface Monitoring Device), ontworpen door het Franse bedrijf Imageau. Met behulp van verschillende stroom- en potentiaalelektrodecombinaties is dagelijks de elektrische weerstandsverdeling van de ondergrond bepaald. De CVES metingen gaan van een vergelijkbaar principe uit, maar worden aan het oppervlakte uitgevoerd en bestaan uit (veel) meer elektrodeconfiguraties, waardoor na inversie van de resultaten een tweedimensionaal beeld (profiel) van de elektrische weerstand van de ondergrond wordt verkregen.

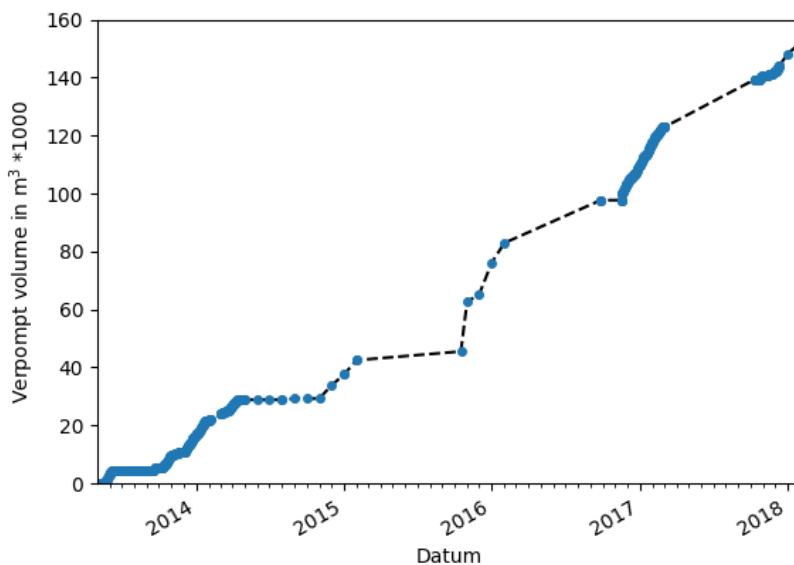
Elektrische sonderingen zijn alleen gebruikt voor het vastleggen van de nul-situatie in 2012. Deze zijn niet herhaald omdat op basis van de verzamelde gegevens is gebleken dat deze geen significante meerwaarde hebben. De bemonstering van het grondwater met de minifilters was niet voorzien, maar toch uitgevoerd om de gemeten elektrische geleidbaarheid te vertalen naar een elektrische geleidbaarheid van het grondwater.

In 2016 is een camera onderzoek uitgevoerd om de drains van binnenuit te inspecteren op eventuele verstoppingen. Vanwege de bochten in het drainagesysteem kon alleen de hoofddrain tussen meetpunt 8 (Figuur 2.3) en de water inlaat in het peilgestuurde drainagesysteem (Figuur 2.5) geïnspecteerd worden.

In de meet- en monitoringsgegevens zijn om verschillende redenen hiaten aanwezig. Deze worden in de volgende secties nader besproken.

2.3.2 Infiltratiedebieten

Het verpompte volume van de pomp is bijgehouden met behulp van een watermeter (zie ook vergunning sectie 2.2.5). Handmatige registraties van de watermeter zijn verricht door Werner Louwerse en Johan Sanderse. Met behulp van een logger zijn daarnaast ook automatisch registraties gedaan. Vanwege het regelmatige uitvallen van de logger door batterijproblemen zitten hier echter gaten in de tijdreeks. De resultaten van de logger en de handmatige registraties zijn weergegeven in Figuur 2.8.



Figuur 2.8 Verpompte volumes. De blauwe stippen geven de automatische en handmatige metingen weer, de zwarte lijnen geven een interpolatie.

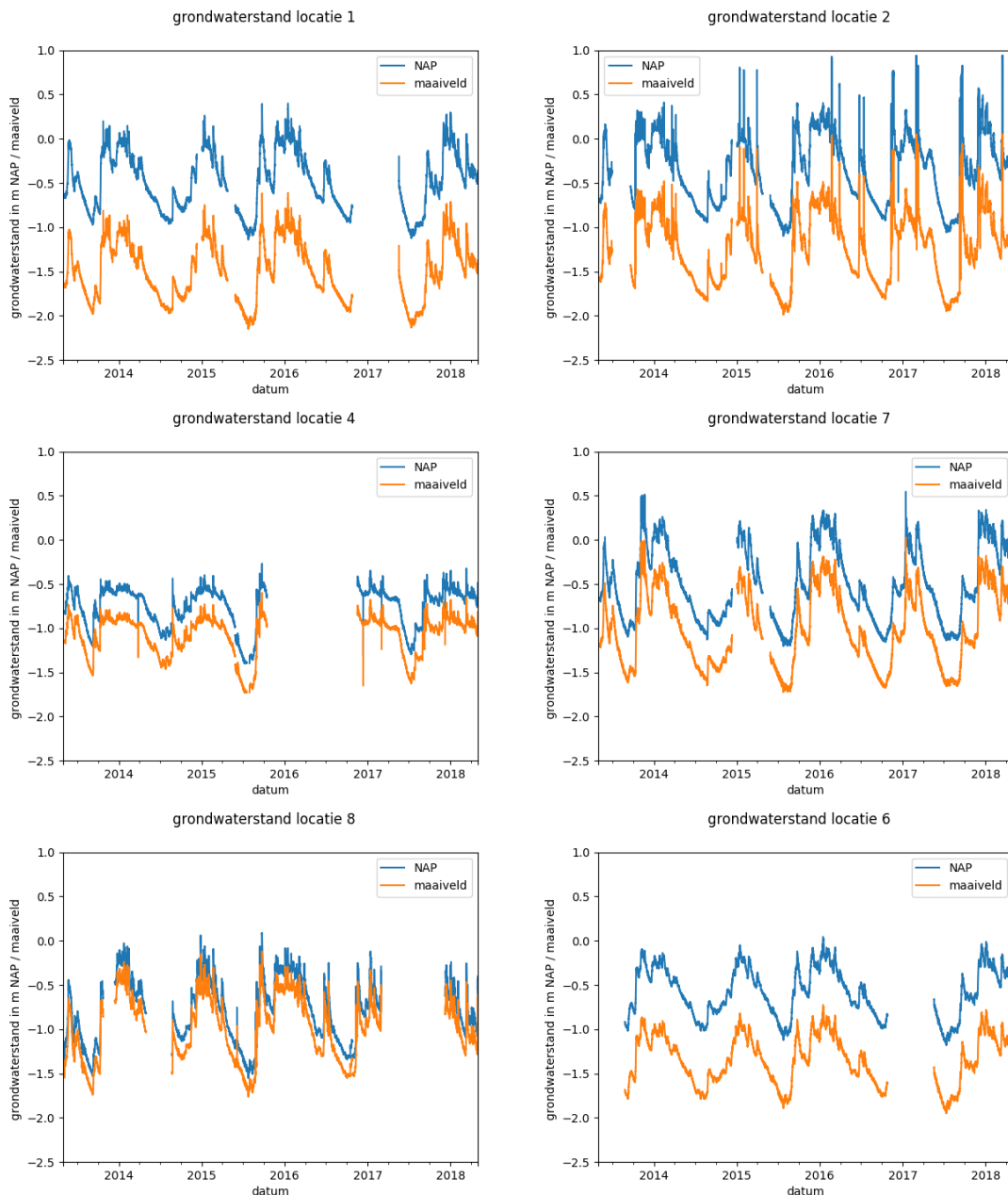
Figuur 2.8 geeft het verloop van het verpompte volume door de tijd heen weer. Het verpompte volume is niet per definitie gelijk aan de toename van de zoetwaterlens, omdat een deel van het water via het peilgestuurde drainagesysteem weer terug stroomt in de Gapingse Watergang. Medio mei 2018 is een totaal van 151.870 m³ water verpompt. Dat komt neer op zo'n 30.000 m³ gemiddeld per jaar.

2.3.3 Stijghoogte en grondwaterstanden

Voor een inzicht in de ruimtelijke variatie en dynamiek van de grondwaterstanden zijn op verschillende meetlocaties drukopnemers geïnstalleerd, waarmee de grondwaterstand elk uur automatisch is gemeten. Met deze metingen kan de verhoging van de grondwaterstand worden vastgelegd waar deze verhoging gewenst is. Deze metingen zijn ook gebruikt voor de vergunning (zie Bijlage AA).

In Figuur 2.9 zijn voor meetlocaties 1, 2, 4, 7, 8 (op/rondom het perceel van Johan Sanderse) en 6 (referentie) de grondwaterstanden ten opzichte van maaiveld en NAP weergegeven. De geregistreerde drukken zijn gecompenseerd voor de luchtdruk en vergeleken met handmetingen met behulp van een waterplover. Op een aantal meetlocaties (zoals meetlocatie 2) is te zien dat in de winterperiode de grondwaterstand in pieken tot ongeveer aan het maaiveld komt. Dit wordt vermoedelijk veroorzaakt door inundatie van de peilbuis. De

bovenkant van de geulsedimenten onder de kreekkrug vertoont in Zeeland vaak een afname van de korrelgrootte van beneden naar boven ('fining-up' sequentie). Dit zorgt voor een relatief geringe infiltratiecapaciteit van de bodem dicht bij het maaiveld. Bij hevige regenval ontstaan hierdoor plassen (terwijl de grondwaterstand zich lager bevindt). Omdat veel peilbuizen zijn afgewerkt met een straatpot en omdat de dop van de peilbuis vanwege de luchtdoorvoer niet geheel waterdicht is, kan water de peilbuis van bovenaf instromen als er plassen staan.



Figuur 2.9 Grondwaterstanden op en rondom het perceel van Johan Sanderse. Meetlocatie 6 is de referentiemeting.

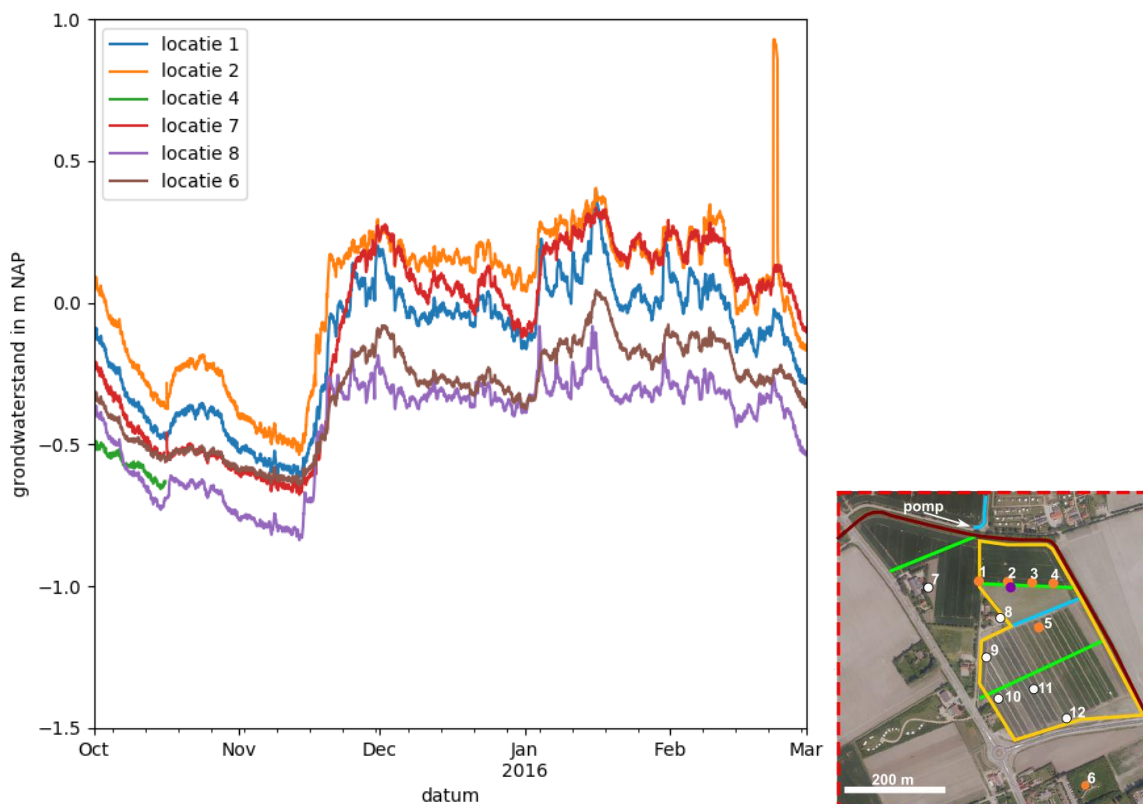
In de winterperiode, wanneer peilen worden opgezet en water wordt geïnfiltreerd, zijn de hoogste grondwaterstanden ten opzichte van NAP over het algemeen te vinden op de hoger gelegen delen van de kreekkrug (meetlocaties 1 en 2, zie Figuur 2.3). Voor een nadere



analyse van de grondwaterstand in een winterperiode is hier als voorbeeld 1 oktober 2015 – 1 maart 2016 genomen. In Figuur 2.10 en Tabel 2.4 zijn de resultaten voor meetlocaties 1, 2, 4, 7, 8 (perceel Johan Sanderse) en referentielocatie 6 weergegeven. Het verschil in grondwaterstandsverhoging tussen meetlocaties 1 en 2 enerzijds (centraal op de kreekrug, in het infiltratiegebied) en referentielocatie 6 (ook centraal op de kreekrug, alleen dan buiten het infiltratiegebied) anderzijds suggereert het effect van de infiltratie; half november 2015 zijn de verschillen tussen de grondwaterstanden relatief klein (~10 cm), terwijl in bijv. de tweede helft van december de grondwaterstand op meetlocatie 2 zo'n 70 cm hoger staat ten opzichte van half november 2015, en bij referentielocatie 6 ongeveer 30 cm. Meetlocaties 1 en 2 zijn op het hogere gelegen centrale deel van de kreekrug aanwezig. Daar vinden we hogere grondwaterstanden ten opzichte van NAP dan bij meetlocaties 4 en 8, waar het maaiveld relatief laag ligt.

Het verloop van de grondwaterstand bij meetlocatie 7 is opvallend; hoewel het maaiveld lager ligt dan bij meetlocaties 1 en 2, is de grondwaterstand vanaf eind november vergelijkbaar tot iets lager dan meetlocatie 2 en in veel gevallen iets hoger dan bij meetlocatie 1, terwijl meetlocatie 1 aan de rand van de infiltratiezone ligt en meetlocatie 7 daar zo'n 140 m vanaf. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat meetlocatie 7 aan de flank van de kreekrug gelegen is, waar het sediment vermoedelijk een lagere doorlatendheid heeft, waardoor de grondwaterstand snel stijgt en minder snel daalt.

Meetlocaties 7 en 8 liggen dicht bij bebouwing. In natte periodes kan de grondwaterstand hier tussen de 0.3 en 0.5 m –mv oplopen. De hoge grondwaterstanden hangen samen met de hoogte van het maaiveld; op meetlocatie 4 na zijn de meetlocaties 7 en 8 het laagst gelegen. De erven liggen echter hoger; zeker bij meetlocatie 8 zo'n 1 á 1.5 m, en ondervinden geen probleem van de verhoging van de grondwaterstand.



Figuur 2.10 Links: verloop van de grondwaterstanden t.o.v. NAP in de periode 1 oktober 2015 – 1 maart 2016, voor de meetlocaties op het perceel van Johan Sanderse. Door het falen van de drukopnemer zijn op meetlocatie 4 nauwelijks gegevens beschikbaar voor deze periode. Rechts: overzicht van de meetlocaties.

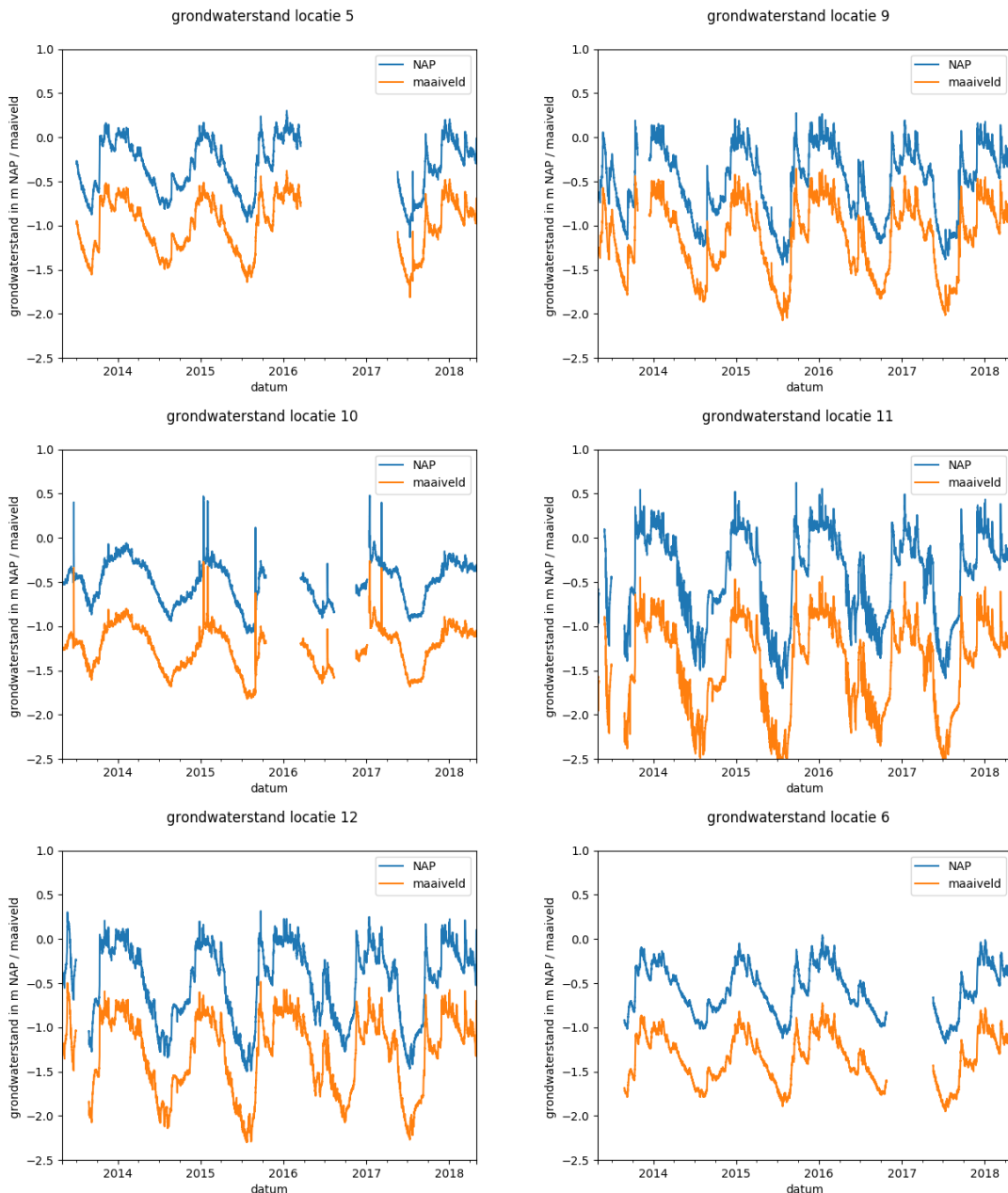
Omdat een langdurige (meerjarige) nulmeting voorafgaand aan de veldproef niet voorhanden is, kan op basis hiervan dus geen harde conclusie worden getrokken over de (winter)gemiddelde verhoging van de grondwaterstand. Toch moet de grondwaterstand wel zijn toegenomen, gezien de verzoeting die op een aantal meetlocaties is aangetoond (zie volgende secties). Bewoners rondom de veldproef hebben geen negatieve effecten van hoge grondwaterstanden gemeld, terwijl juist de positieve effecten van de peilverhoging (minder droge percelen) worden omarmd.

Tabel 2.4 Gemiddelde grondwaterstand tussen 1 oktober 2015 en 1 maart 2016 voor meetlocaties 1, 2, 4, 7, 8 (perceel van Johan Sanderse) en 6 (referentie).

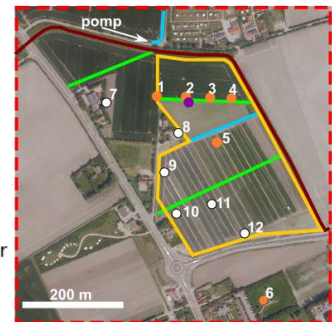
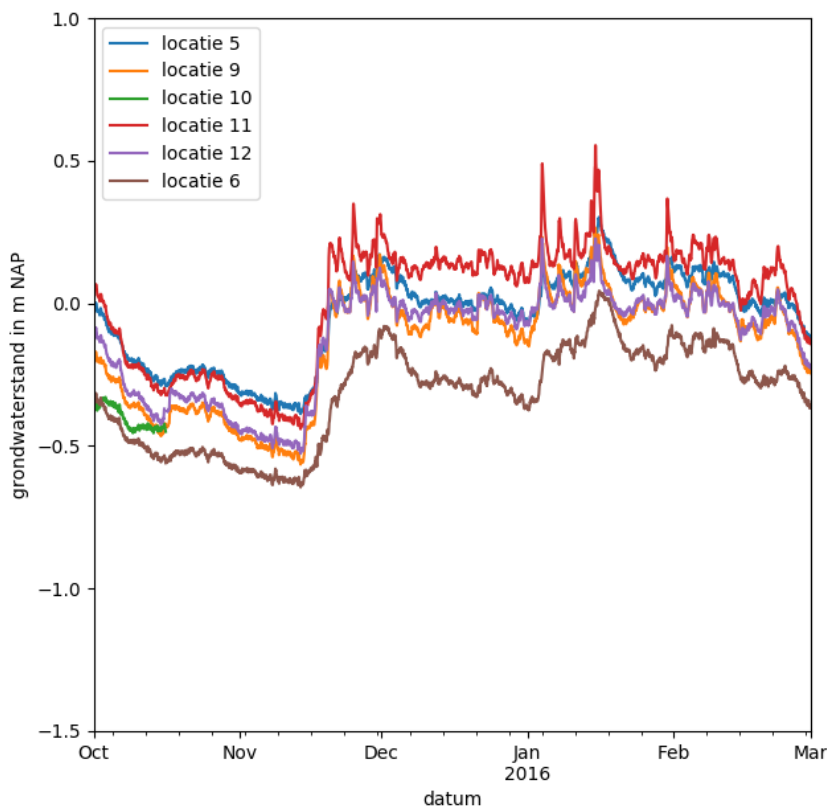
Locatie	Gemiddelde grondwaterstand tussen 1 oktober 2015 en 1 maart 2016 (m NAP)	Hoogte maaiveld (m NAP)
1	-0.14	1.01
2	0.02	0.89
4	* data ontbreekt	0.33
7	-0.09	0.52
8	-0.43	0.21
6	-0.31	0.77

Figuur 2.11 toont de grondwaterstanden op de overige meetlocaties op en rondom het perceel van Werner Louwerse, alsmede de referentielocatie 6. De hoogste grondwaterstand

is te vinden bij meetlocatie 11. Het maaiveld ligt hier hoog en de meetlocatie staat relatief ver af van waterlopen. De laagste grondwaterstand is te vinden bij de referentielocatie 6, al hoewel hier het maaiveld hoger ligt dan bij meetlocaties 5, 9 en 10. De hogere grondwaterstanden ten opzichte van de referentielocatie 6 worden veroorzaakt door het infiltreren en opzetten van de peilen. Het effect van de infiltratie is ook zichtbaar in Figuur 2.12.



Figuur 2.11 Grondwaterstanden op en rondom het perceel van Werner Louwerse. Meetlocatie 6 is de referentiemeting.



Figuur 2.12 Links: verloop van de grondwaterstanden t.o.v. NAP in de periode 1 oktober 2015 – 1 maart 2016, voor de meetlocaties op het perceel van Werner Louwerse. Door het falen van de drukopnemer zijn op meetlocatie 10 geen gegevens beschikbaar voor deze periode. Rechts: overzicht van de meetlocaties.

Tabel 2.5 Gemiddelde grondwaterstand tussen 1 oktober 2015 en 1 maart 2016 voor meetlocaties 5, 9, 10, 11, 12 (perceel van Werner Louwerse) en 6 (referentie).

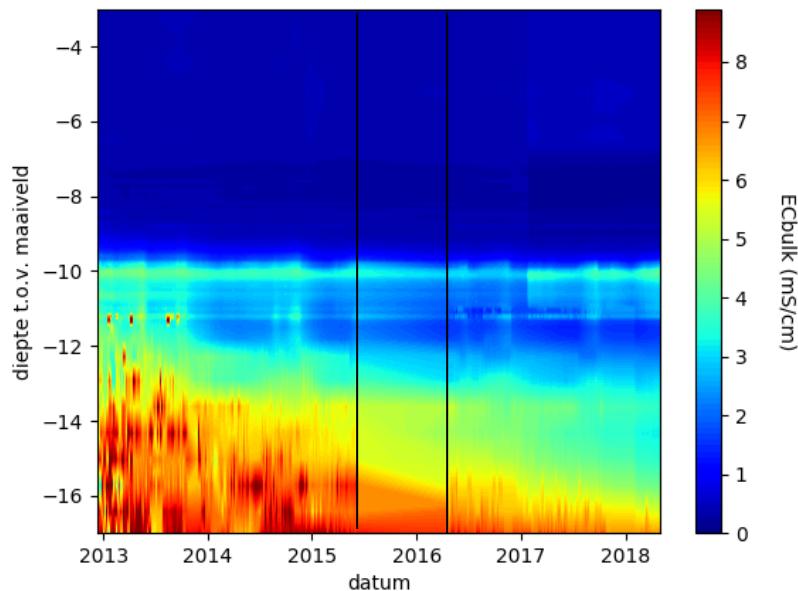
Locatie	Gemiddelde grondwaterstand tussen 1 oktober 2015 en 1 maart 2016 (m NAP)	Hoogte maaiveld (m NAP)
5	-0.05	0.68
9	-0.14	0.63
10	* data ontbreekt	0.74
11	0.12	0.99
12	-0.12	0.8
6	-0.31	0.77

Neemt men voor hoger gelegen punten op de kreekrug (1, 2, 5, 11 en 12) de gemiddelde waarden uit Tabel 2.4 en Tabel 2.5 als representatief voor de verhoging van de grondwaterstand ten opzichte van referentiepunt 6, en men neemt aan dat de helft van deze waarde representatief is voor een jaargemiddelde, dan kan de dikte van de zoetwaterlens in evenwichtstoestand volgens het Badon Ghijben – Herzberg³ principe met 4 m (meetlocatie 1) tot bijna 10 m (meetlocatie 11) toenemen.

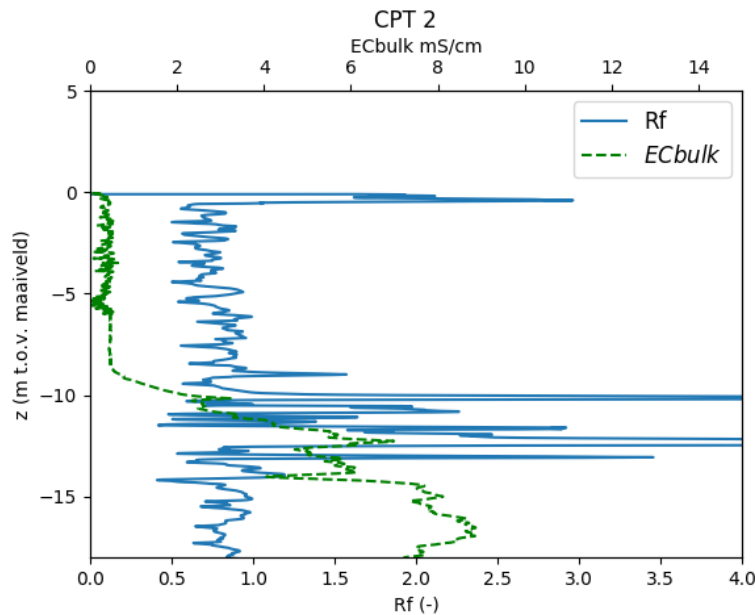
³ Met een relatief dichtheidsverschil van $(1022.3-1000)/1000$, gebaseerd op EC metingen (Pauw et al, 2015) en daaruit berekende dichtheid volgens Post (2013).

2.3.4 Zoet-zout verdeling grondwater

De zoet-zout verdeling van het grondwater is met de EM-Slimflex, de 'subsurface monitoring device' (SMD), CVES, en via bemonstering van grondwater gemonitord. De resultaten van de SMD op meetlocatie 2 zijn weergegeven in Figuur 2.13. Aan de verandering van de EC_{bulk} kan afgeleid worden dat tussen 10 en 16 m beneden maaiveld een verzoeting heeft plaatsgevonden. Het is opvallend dat rond 10 m beneden maaiveld de EC_{bulk} relatief constant blijft. Waarschijnlijk heeft dit te maken met de aanwezigheid van storende (klei)lagen, die zelf ook elektrisch meer geleidend zijn dan zandig sediment. Deze storende lagen zijn aangetoond met de sonderingen die voorafgaand aan de aanleg van de peilgestuurde drainage zijn verricht. In Figuur 2.14 is voor meetlocatie 2 het resultaat van de sondering weergegeven. Het relatief hoge wrijvingsgetal R_f duidt op de aanwezigheid van de storende lagen.

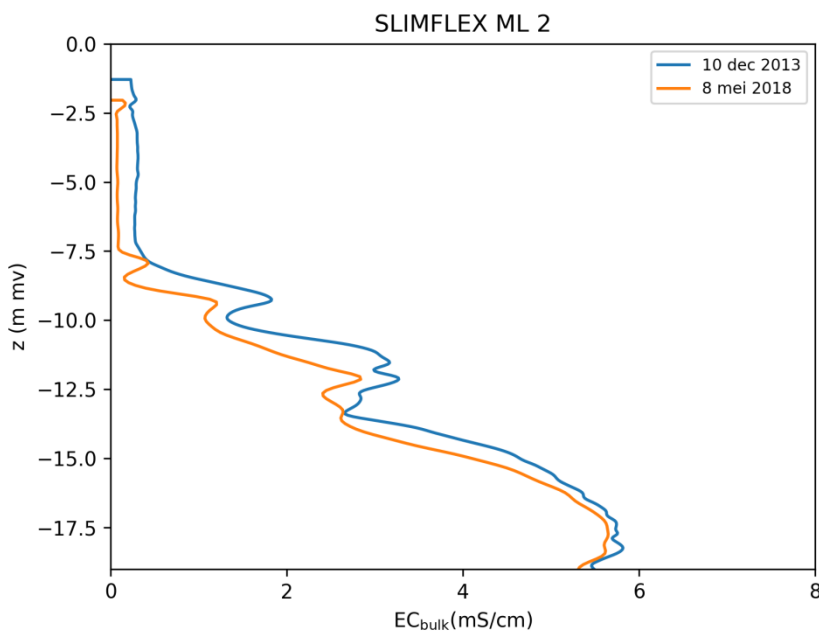


Figuur 2.13 Resultaten van de SMD op meetlocatie 2. Tussen ~mei 2015 en maart 2016 zijn geen data verzameld; hier is de tijdserie geïnterpoleerd.



Figuur 2.14 Resultaat van de sondering op meetlocatie 2. Rf is het wrijvingsgetal (-).

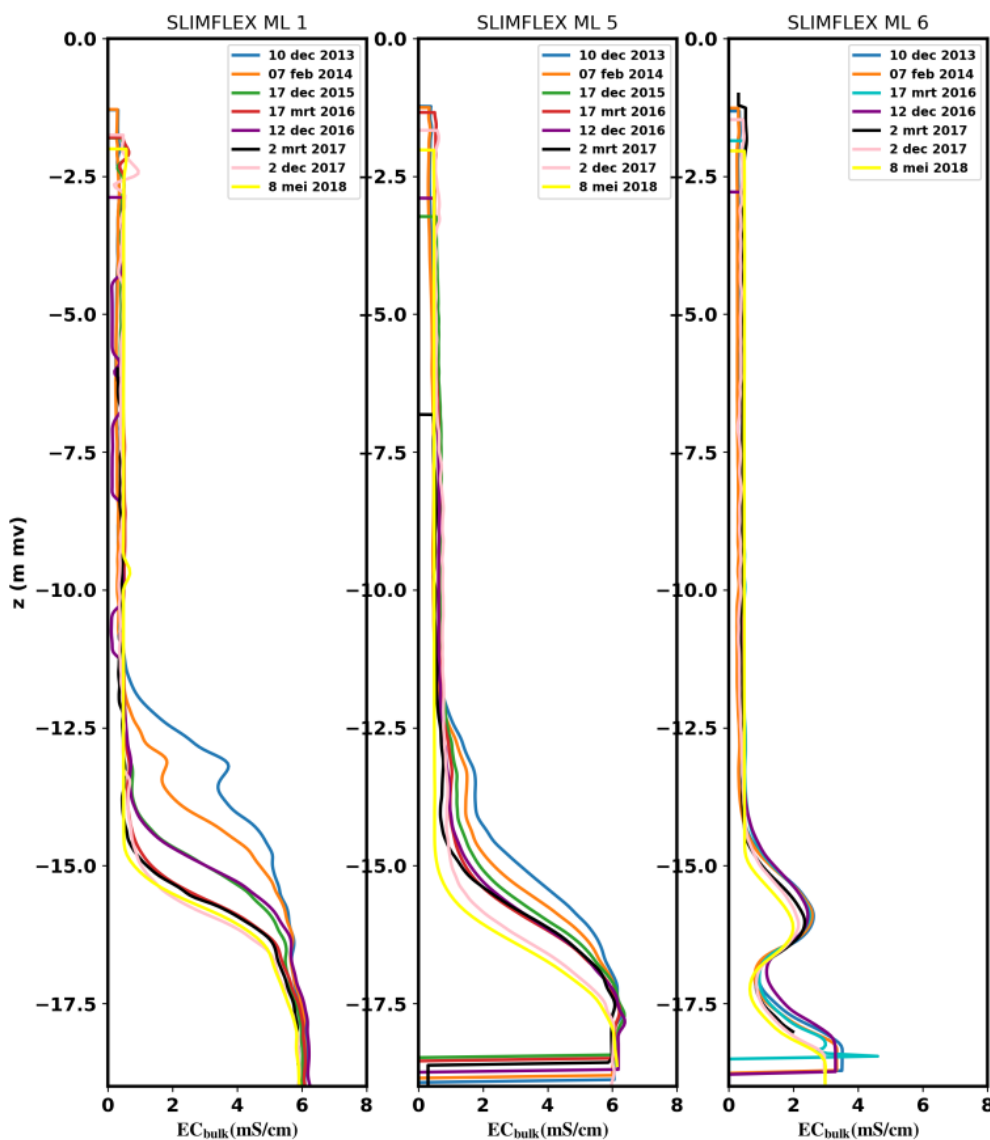
De verzoeting vindt ook onder de storende laag van 10 m beneden maaiveld plaats. Dat kan betekenen dat de verzoeting verticaal door de storende laag heen plaatsvindt, of dat de storende laag alleen lokaal aanwezig is en het zoete water haar weg vindt via een meer doorlatend deel van de ondergrond. De EM-Slimflex meting op meetlocatie 2 (Figuur 2.15) is alleen aan het begin en aan het eind van de meetperiode uitgevoerd, omdat na de aanleg van de drainage door een veranderd landgebruik (van akkerbouw naar paardenhouderij) de toegang tot het meetpunt bemoeilijkt werd. Ook bleek bij natte omstandigheden deze meetlocatie zeer slecht te bereiken.



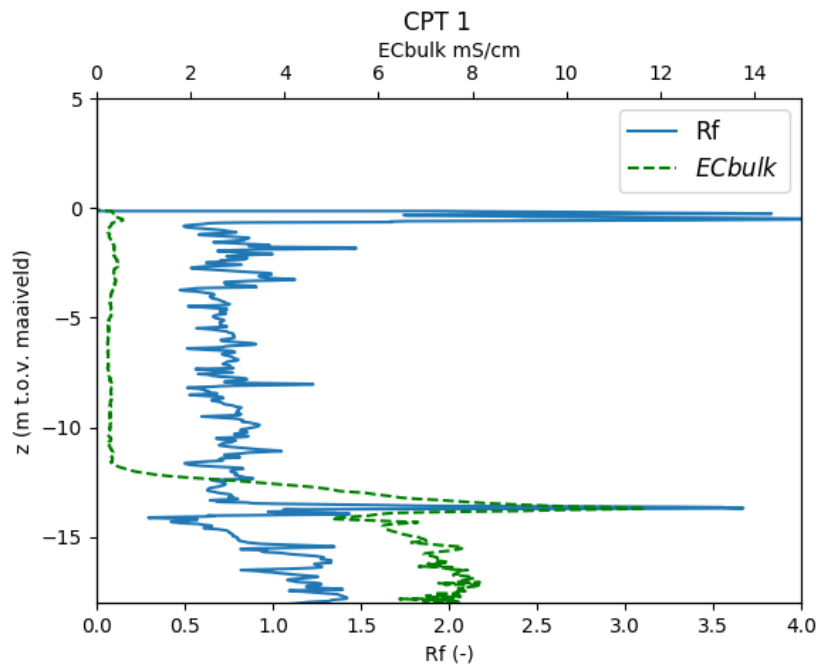
Figuur 2.15 Resultaten van de EM-Slimflex meting op meetlocatie 2.

De resultaten van de EM-Slimflex meting op meetlocatie 2 laten zien dat er een verzoeting heeft plaatsgevonden over de meetperiode.

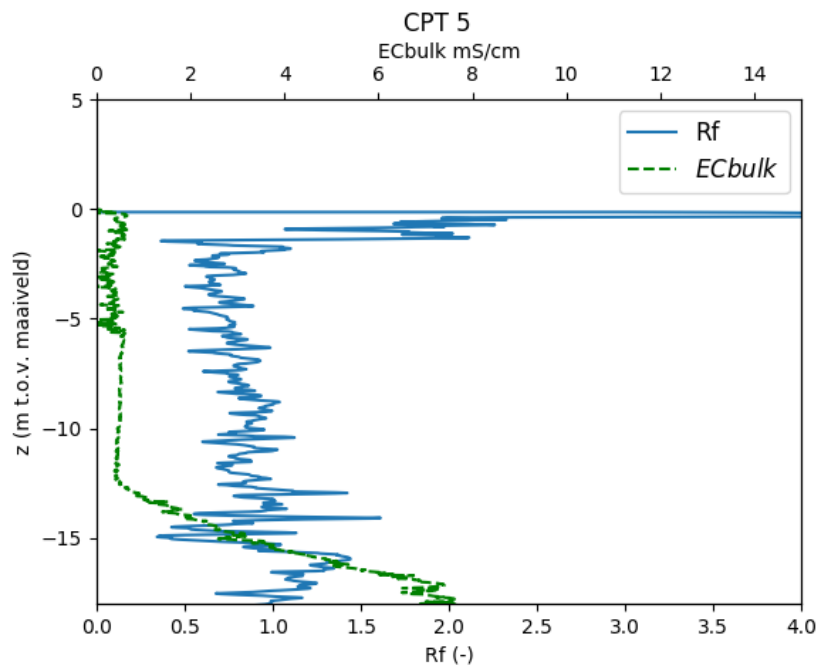
Op meetlocaties 1 en 5 is meer verzoeting opgetreden, zoals te zien is in Figuur 2.16. De grootste verzoeting is te zien op meetlocatie 1. In de eerste twee jaar is de verzoeting sneller verlopen dan in de jaren daarna. Dit zou, net als bij meetlocatie 2, te maken kunnen hebben met de aanwezigheid van storende lagen, al zijn deze lagen volgens de sondering (zeker niet bij meetlocatie 5) minder prominent aanwezig dan bij meetlocatie 2. Bij referentielocatie 6 heeft geen verzoeting plaatsgevonden. Dit zou te maken kunnen hebben met een mogelijke kleilaag, wat gesuggereerd wordt door de lichte toename van de EC_{bulk} tussen 16 en 17 m beneden maaiveld. Onder de kleilaag lijkt geen verzoeting te hebben plaatsgevonden.



Figuur 2.16 EM-Slimflex resultaten op meetlocaties 1, 5 en 6.

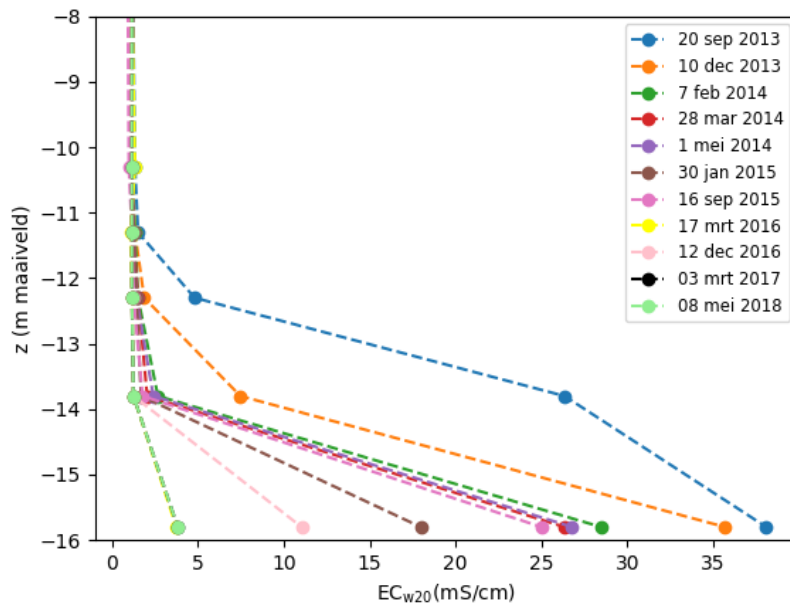


Figuur 2.17 Resultaat van de sondering op meetlocatie 1. Rf is het wrijvingsgetal (-).



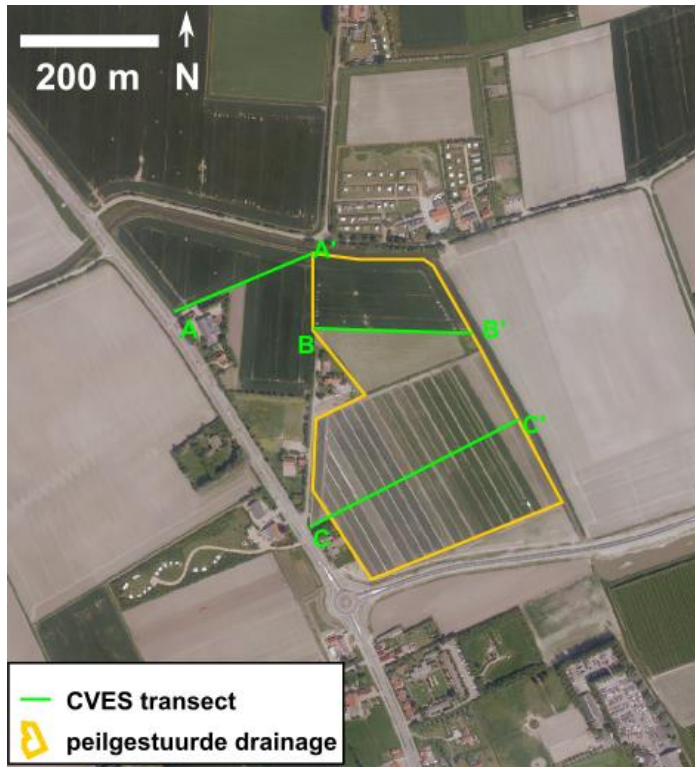
Figuur 2.18 Resultaat van de sondering op meetlocatie 5. Rf is het wrijvingsgetal (-).

De resultaten van de bemonstering van het grondwater op meetlocatie 1 zijn weergegeven in Figuur 2.19. Ook hier is een flinke verzoeting waar te nemen, zeker in de eerste jaren van het experiment. In het laatste jaar (3 maart 2017 – 8 mei 2018) heeft weinig verzoeting plaatsgevonden; de EC van het onderste filter op ongeveer 16 m –mv blijft gelijk en daarom zijn de resultaten van 3 maart 2017 niet te zien in Figuur 2.19.



Figuur 2.19 Resultaten (EC van het grondwater bij een referentietemperatuur van 20 graden; EC_{w20}) van de bemonstering van het grondwater op verschillende dieptes op meetlocatie 1. N.B.: De EC_{w20} van 3 maart 2017 en 8 mei 2018 zijn vrijwel identiek. Daarom zijn de resultaten van 3 maart 2017 niet zichtbaar.

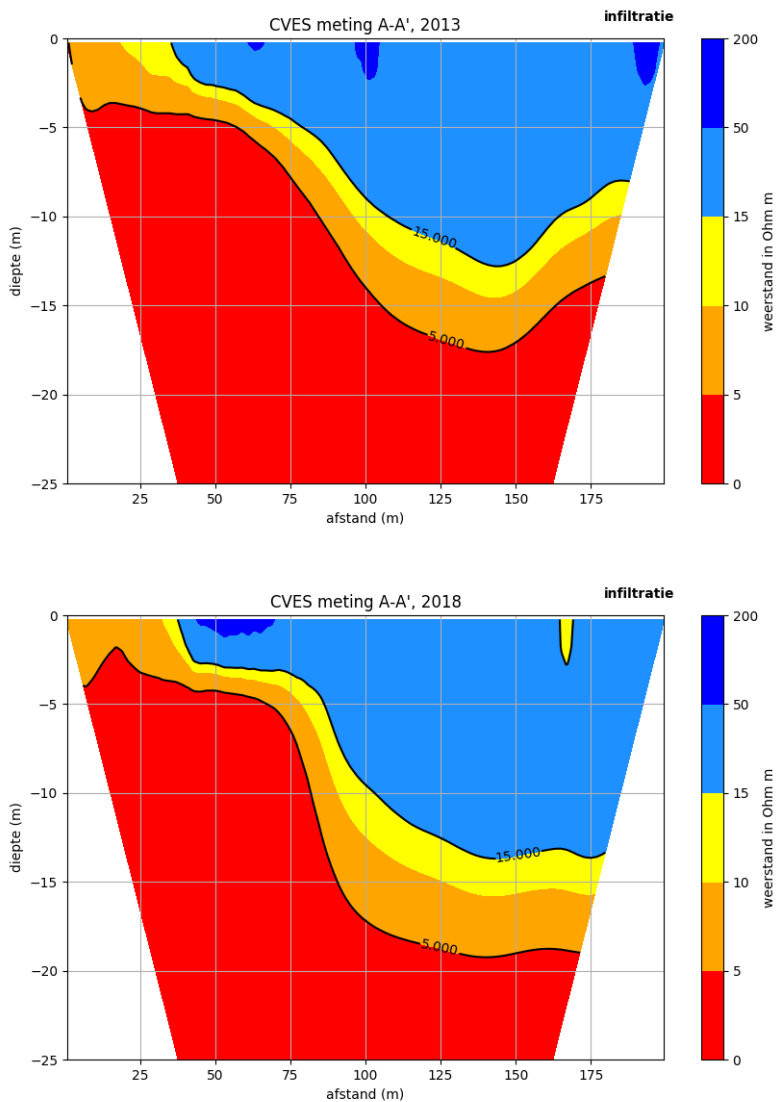
Langs profielen A-A', B-B' en C-C' zijn voorafgaand aan de aanleg van het KIS (2012-2013) en na een periode van 5-6 jaar (2018), CVES metingen verricht (zie Figuur 2.20). Behalve voor de CVES meting langs profiel C-C' in 2012 is voor alle metingen een Wenner elektrodeconfiguratie gebruikt met een elektrodeafstand van 2 m. Deze metingen zijn uitgevoerd met een ABEM Terrameter SAS 4000. De CVES meting langs profiel C-C' in 2012 is verricht met een MPT DAS 1. Hierbij zijn naast de Wenner configuratie ook aanvullende (Schlumberger) elektrode combinaties gebruikt, met een elektrode afstand van 5 meter.



Figuur 2.20 Overzicht van de CVES metingen.

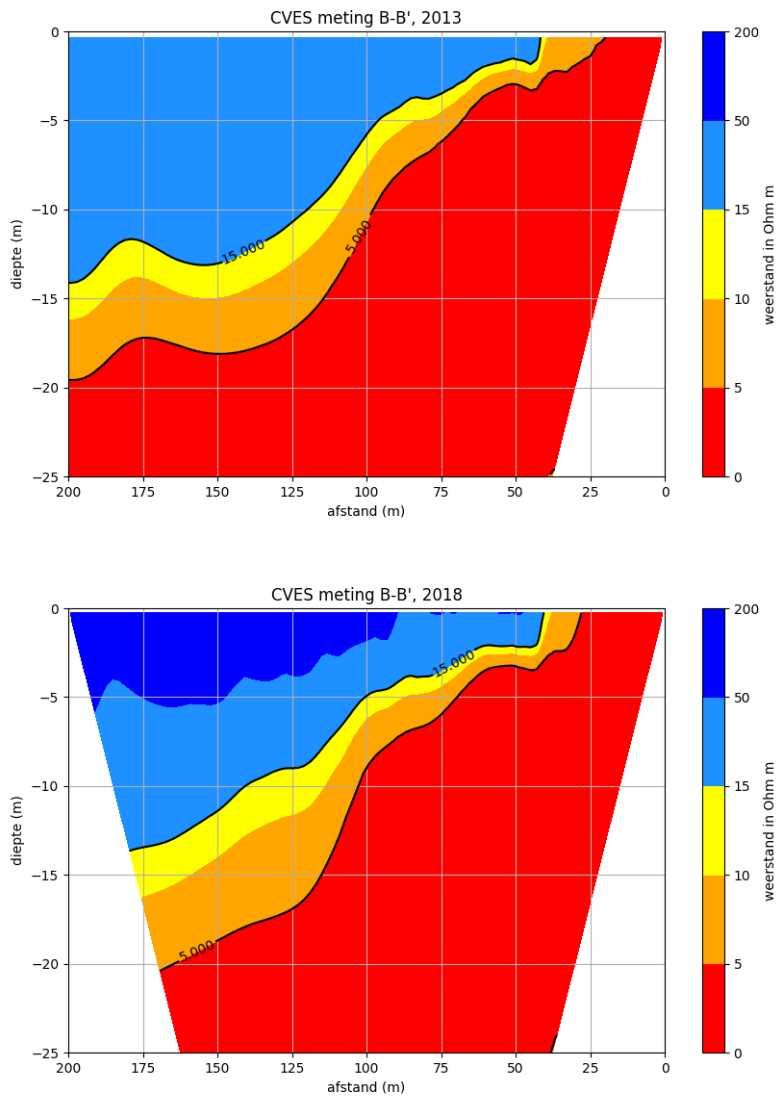
De inversie (het modelleren van de formatieweerstanden op basis van de gemeten schijnbare weerstanden) van elke CVES meting is gedaan met de inversiecode DCPRO. Iedere dataset is handmatig gefilterd op basis van buitensporige schijnbare weerstanden. Deze zijn veelal het gevolg van slecht elektrode contact en (dus) hoge overgangswaarden. In de inversies zijn maaiveldvariaties niet meegenomen. Afstanden zijn in de figuren weergegeven ten opzichte van A, B en C. Dieptes zijn weergegeven ten opzichte van maaiveld. De 15 en 5 ohm meter grenzen zijn arbitrair genomen voor het inschatten van de zoet-brak en brak-zout overgangen.

In Figuur 2.21 zijn de resultaten van de CVES metingen langs A-A' weergegeven. De zoetwaterlens is daarin onmiskenbaar aanwezig. Aan de rand van A' is het KIS dichtbij, aan de rand van A wordt niet geïnfiltreerd. De resultaten laten zien dat de zoetwaterlens tussen 50 en 90 m afstand enigszins is afgenomen. Op dit gedeelte van het perceel is het KIS systeem dus afwezig. In de richting van het KIS is verzoeting opgetreden waarbij het zoet-brak en het brak-zout grensvlak tot enkele meters is gedaald.



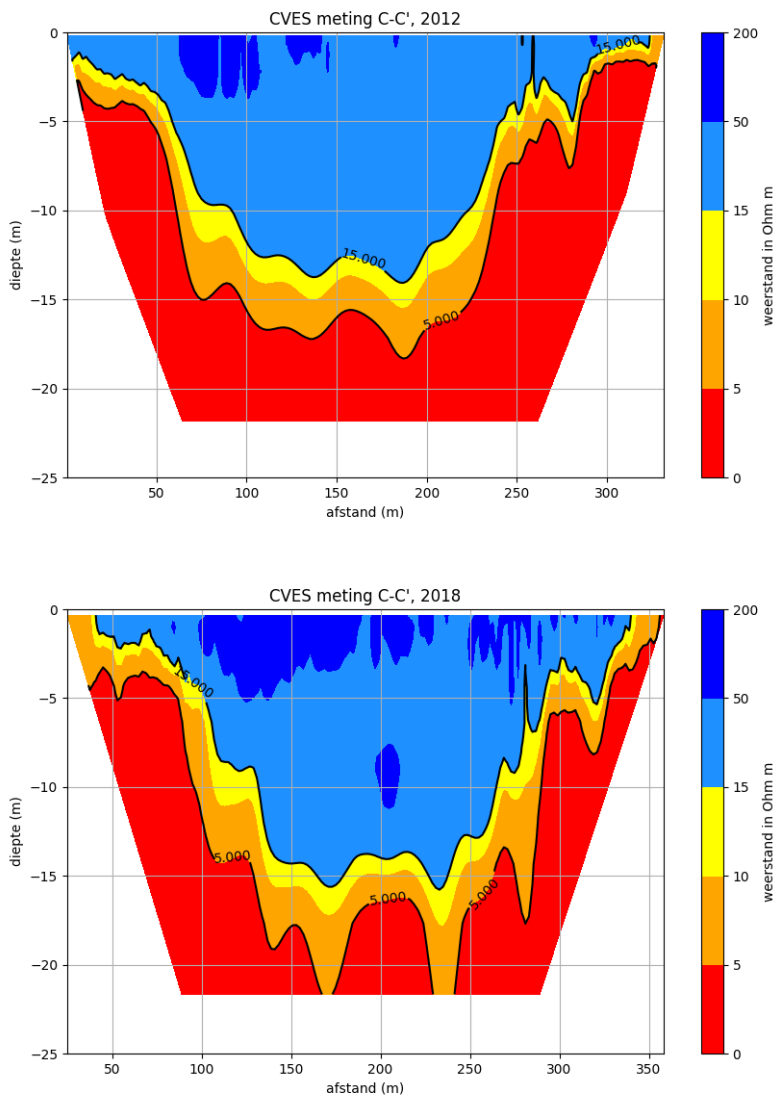
Figuur 2.21 Resultaten van CVES metingen langs profiel A (links) -A' (rechts). Dieptes zijn ten opzichte van maaiveld. Er zijn geen maaiveldverschillen meegenomen in de inversie.

Figuur 2.22 laat de resultaten van de CVES metingen langs profiel B-B' zien. In de CVES meting van 2012 zijn meer metingen te zien aan de linker onderkant (in de richting van B). Dat komt omdat deze meting in 2012 verder dan B uitstreekte. Later bleek dat een ondiepe middenspanning kabel invloed had op deze metingen. Vandaar dat alleen het traject tussen 0 en 200 m is meegenomen in de inversie. Tot 100 m afstand zijn de verschillen tussen de metingen in 2013 en 2018 relatief klein. Tussen 100 en 150 m lijkt de zoetwaterbel enigszins in dikte te zijn afgenomen, terwijl tussen 150 m en 200 m een verzoeting te zien is, net zoals bij meetpunten 1 en 2 is waargenomen.



Figuur 2.22 Resultaten van CVES metingen langs profiel B (links) -B' (rechts). Dieptes zijn ten opzichte van maaiveld. Er zijn geen maaiveldverschillen meegenomen in de inversie.

In profiel C-C' is tussen 100 en 150 m een afname van de zoetwaterlens te zien. In deze zone bevindt zich een oude onttekening. Verder naar het oosten (richting C') is juist een verzoeting zichtbaar. Vanaf 300 m en verder zijn de verschillen gering.



Figuur 2.23 Resultaten van CVES metingen langs profiel B (links) -B' (rechts). Dieptes zijn ten opzichte van maaiveld. Er zijn geen maaiveldverschillen meegenomen in de inversie.

2.3.5 Camera inspectie drains

In januari 2016 is een camera inspectie (FlexiProbe P340) in het KIS uitgevoerd, om een kwalitatieve indicatie te krijgen van de mate van chemische of mechanische verstopping in de drains (Figuur 2.24). Bij het toepassen van de camera bleek dat het onmogelijk was om via de peilputten van het peilgestuurde drainagesysteem de drains te bereiken. Alleen de hoofddrain tussen meetpunt 8 (Figuur 2.3) en de water inlaat in het peilgestuurde drainagesysteem (Figuur 2.5) kon bereikt worden. Deze drain is blind (viz. niet geperforeerd).

Figuur 2.25 en Figuur 2.26 tonen twee foto's van de camera inspectie. In Bijlage B Draininspectie Kreekrug Infiltratie Systeem, p. 150, zijn extra foto's van de camera inspectie

getoond. Op video's en de foto's is te zien dat er een lichte aanslag op de drain aanwezig is, maar dat de ribbels van de drain en de gele kleur van de drain nog goed te zien zijn. Uit het materiaal kan echter niet worden afgeleid in welke mate de aanslag op de drain invloed heeft op de drainerende/infiltrerende werking van de drains.

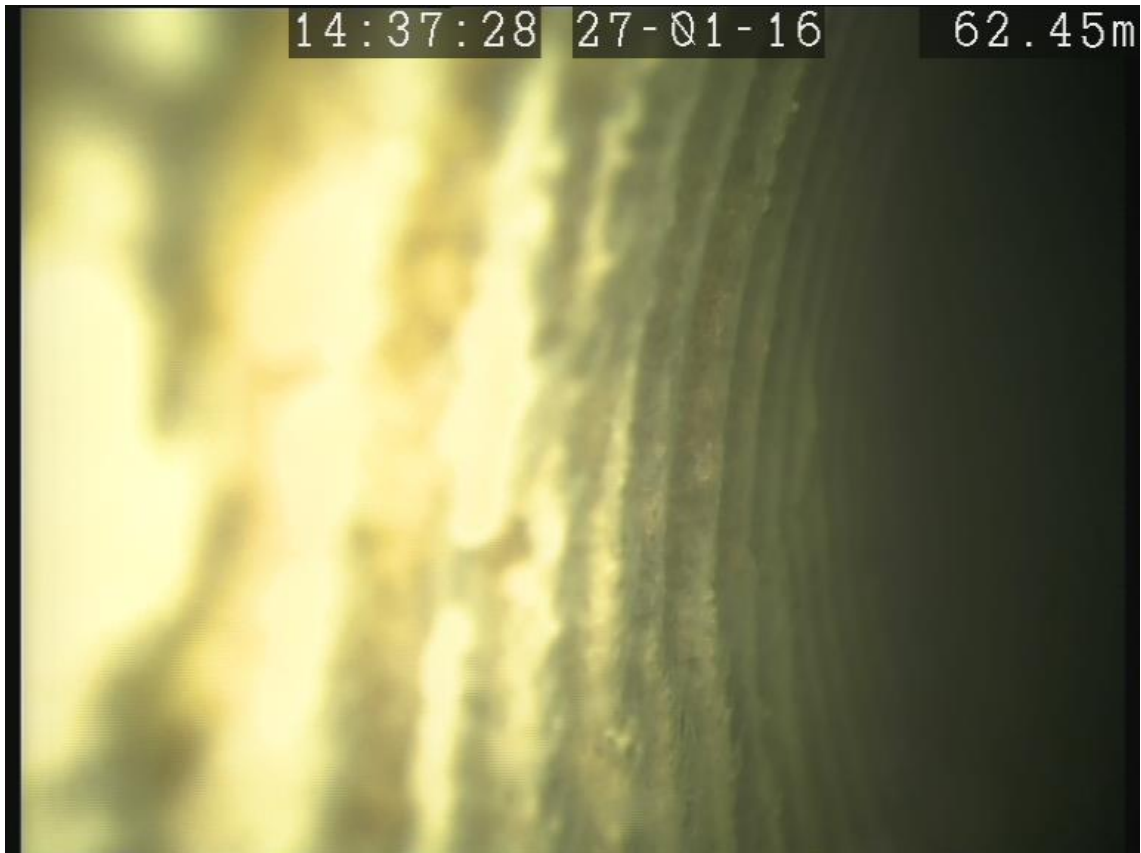
De resultaten van de camera inspectie zijn besproken met dhr. Rutten, die het drainagesysteem heeft ontworpen en heeft aangelegd. Praktijkervaring van de heer Rutten leert dat de staat van de hoofdrain in veel gevallen maatgevend is voor de staat van de secundaire drains; wanneer de aanslag in de hoofdrain beperkt is, dan is dat waarschijnlijk ook het geval voor de secundaire drains. Mede op basis hiervan is besloten om na januari 2016 binnen het project geen verder onderzoek meer te doen naar de status van de drains. Dit kan op langere termijn eventueel worden overwogen.



Figuur 2.24 Camera die voor de inspectie van de drains is gebruikt.



Figuur 2.25 Foto van de inspectie vanuit de water inlaat.



Figuur 2.26 Foto van de inspectie vanuit de bovenste peilput, dicht bij meetpunt 8.

2.3.6 Pomp falen

In de periode 2013-2018 is de pomp waarmee het water in het peilgestuurde drainagesysteem wordt ingelaten, diverse keren kapot gegaan. Dit was bij aanvang van het project niet voorzien. De problemen hebben te maken met een beperkte toestroom van water naar de dompelpomp, waardoor deze te vaak aan- en uitslaat en ook te warm wordt. Dit heeft op haar beurt weer te maken met een beperkte zelfreinigende functie van het filter rondom de pompkorf en het beperkte opvangvolume van de betonnen bak waar de pomp in is geïnstalleerd.

Na het laatste pomp falen aan het einde van het infiltratieseizoen in het voorjaar van 2018 is besloten om een ander type pomp te overwegen, met een zelfreinigend filter. In plaats van een dompelpomp zal een centrifugaal pomp worden geïnstalleerd. Deze moet in een vorstvrije container worden geplaatst.

Het nadeel van deze oplossing is de prijs; daar waar een nieuwe dompelpomp iets meer dan 1000 euro kost, moet men bij een centrifugaal pomp, container en zelfreinigend filter al snel denken aan minimaal het 10-voudige. Hier is momenteel nog geen beslissing over genomen.

2.4 3D dichtheidsafhankelijk grondwatermodel

Een 3D dichtheidsafhankelijk grondwatermodel is ontwikkeld om te gebruiken tijdens verschillende fasen in het onderzoek:

1. Voor het begrijpen van het huidige geohydrologische systeem;

2. Voor het ontwerpen van het Kreekrug Infiltratie Systeem;
3. Voor het kwantificeren van de invloed van de al aanwezige grondwateronttrekkingen op de monitoring;
4. Voor het voorspellen van lange termijn effecten;
5. Voor advies voor de winbare hoeveelheid zoet grondwater.

Dit model wordt verder beschreven in deze sectie 2.4.

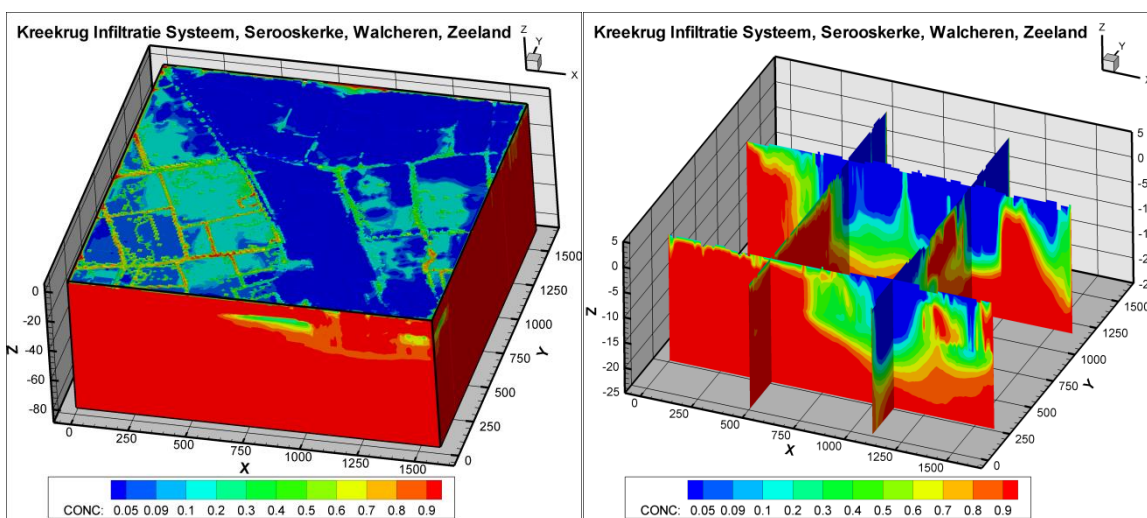
2.4.1 Modelopzet

Een 3D dichtheidsafhankelijk grondwatermodel met gekoppeld advectief en dispersief zouttransport is ontwikkeld om het grondwatersysteem in het onderzoeksgebied te simuleren. Het model is gebaseerd op het MOCDENS3D model van Visser (2012). Voor de huidige versie is gebruik gemaakt van de modelcode SEAWAT (Langevin et al., 2008). De pre- en postprocessing is verricht met de scripttaal Python, waarbij gebruik is gemaakt van de FloPy python-bibliotheek (zie <https://modflowpy.github.io/flopydoc/>).

De horizontale resolutie van het model is 10 bij 10 meter en het modelgebied heeft een grootte van 1600 bij 1600 meter (Figuur 2.3 en Figuur 2.27). Het model is verticaal opgedeeld in 80 modellagen, waarvan het bereik ligt tussen +1.5 m NAP en -87.0 m NAP. De eerste 53 modellagen, van +1.5 m NAP tot -25.0 m NAP, zijn 0.5 meter dik en de bijbehorende waarden van de verticale (K_v) en horizontale (K_h) doorlatendheid op het GEOTOP model van TNO Geologische Dienst Nederland. De verdeling van de overige modellagen, van boven naar beneden gezien, is als volgt:

- 10 lagen van 1 meter dikte,
- 11 lagen van 2 meter dikte, en
- 6 lagen van 5 meter dikte.

De doorlatendheden van deze modellagen zijn gebaseerd op REGIS II (Vernes en van Doorn, 2005).



Figuur 2.27 Rechts: Zoet-zout verdeling van het 3D modelgebied (de z-as loopt van +1.5 m tot -87.0 m NAP); de concentratie legenda stelt de fractie voor van de hoogst gemeten chloride concentratie in het modelgebied: 1.0 staat gelijk aan 16591 mg Cl/l (dichtheid 1022.3 kg/m³); 1500 mg Cl/l is dan ongeveer 0.09. Links: vier 2D profielen met de zoet-zout verdeling; de z-as loopt van +5 m



tot -25 m NAP, opgeschaald t.o.v. de figuur rechts om de dikte van de zoetwaterlenzen duidelijker weer te geven.

Naast de doorlatendheden zijn de volgende parameters gekozen (zie Pauw, 2015):

- Anisotropie (Kh/Kv): 1.4
- Effectieve porositeit: 0.3
- Elastische (specifieke) bergingscoëfficiënt: $1E-5 \text{ m}^{-1}$
- Freatische bergingscoëfficiënt: 0.15
- Longitudinale dispersie: 0.1 m
- Transversale dispersie: 0.01 m
- Moleculaire diffusiecoëfficiënt: $8.64E-5 \text{ m}^2\text{d}^{-1}$

De 'conductance' van de stijghoogte-afhankelijke stromingsrandvoorwaarden die de sloten en drains simuleren is berekend volgens de methode van De Lange (zie het elektronische supplement van Pauw et al. (2015)). Aan de vier randen van het model is over de gehele verticaal ook een stijghoogte-afhankelijke stromingsrandvoorwaarde (met een conductance van $1 \text{ m}^2/\text{d}$) en een concentratieverdeling opgelegd, die beiden gebaseerd zijn op het regionale grondwater model van de provincie Zeeland (Van Baaren et al., 2016). De modelsimulatie bestaat uit twee fasen. In de eerste fase wordt voor een periode van 200 jaar met halfjaarlijkse stressperioden de ontwikkeling van de zoet-zout verdeling gesimuleerd, startend vanuit een volledige zoute ondergrond (gelijk aan $16591 \text{ mg Cl}^-/\text{l}$, dichtheid 1022.3 kg/m^3). Binnen 200 jaar is de zoet-zout verdeling onder de kreekrug in evenwicht gekomen met de randvoorwaarden. De nulmetingen zijn gebruikt om deze modelfase handmatig te kalibreren (zie volgende sectie 2.4.2).

In de tweede fase van het model wordt de ontwikkeling van de zoetwaterlens onder invloed van de infiltratie gesimuleerd. Tenzij anders wordt aangegeven, wordt in deze rapportage met 'model' de tweede fase van het model bedoeld. Het model rekent met wekelijkse stressperioden. Week 1 in het model gelijk is aan de eerste week van mei van een kalenderjaar. Gedurende het winterhalfjaar (1 november – 1 mei) vindt infiltratie van zoetwater plaats in de kreekrug. Dat wordt gesimuleerd door de gemeten stijghoogte in de periode 1 nov 2014 – 1 mei 2015 toe te kennen aan de zogenaamde 'RIVER'⁴ cellen die worden gebruikt om het KIS te simuleren. In het zomerhalfjaar, wanneer irrigatiewater nodig is voor de landbouw, kan er zoetwater uit de kreekrug gewonnen worden met behulp van diepe onttrekkingsdrains. Zie voor meer informatie over het model het proefschrift van Pauw (2015).

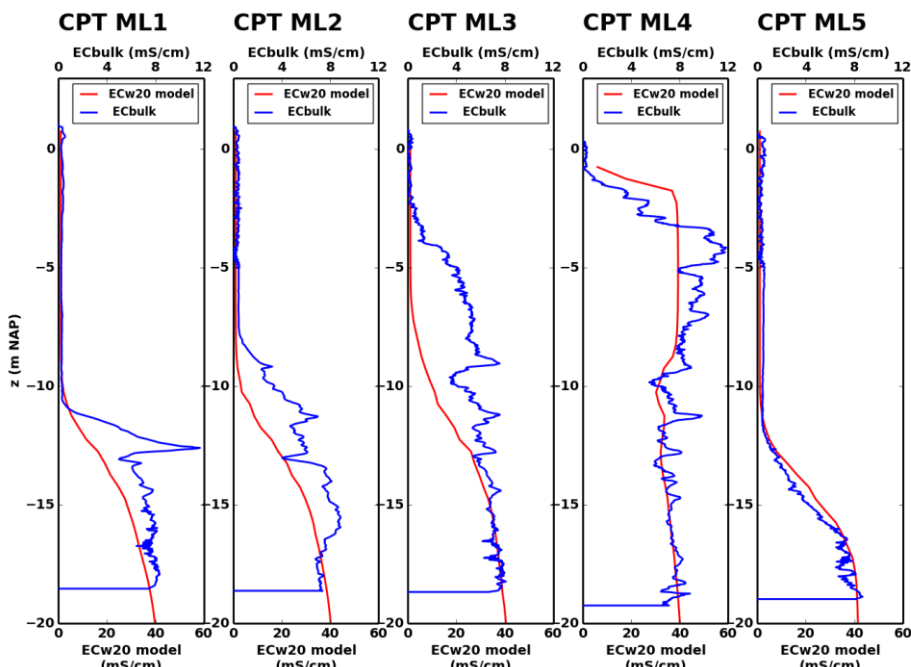
In deze tweede fase zijn verschillende modelscenario's gesimuleerd. In het *referentiescenario* wordt geen onttrekking gesimuleerd. Hoewel in werkelijkheid een onttrekking met een laag debiet ($< 5 \text{ m}^3$ per uur) aanwezig is, zijn er twee redenen om aan te nemen dat dit modelscenario toch gebruikt kan worden om de ontwikkeling van de zoet-zout verdeling op meetlocaties 1, 2 en 5 te simuleren. Allereerst kan uit de grondwaterstandsmetingen worden afgeleid dat de grondwaterstand op deze meetlocaties amper tot niet wordt beïnvloed door de onttrekking. Ten tweede hebben verkennende modelberekeningen laten zien dat ook de zoet-zout verdeling niet op deze meetlocaties beïnvloed wordt.

⁴ Het pakket 'RIVER' is een bepaald type stijghoogte-afhankelijke stromingsrandvoorwaarde die in de grondwaterstromingscode MODFLOW vaak wordt gebruikt om waterlopen te simuleren (Harbaugh and McDonald, 1988).

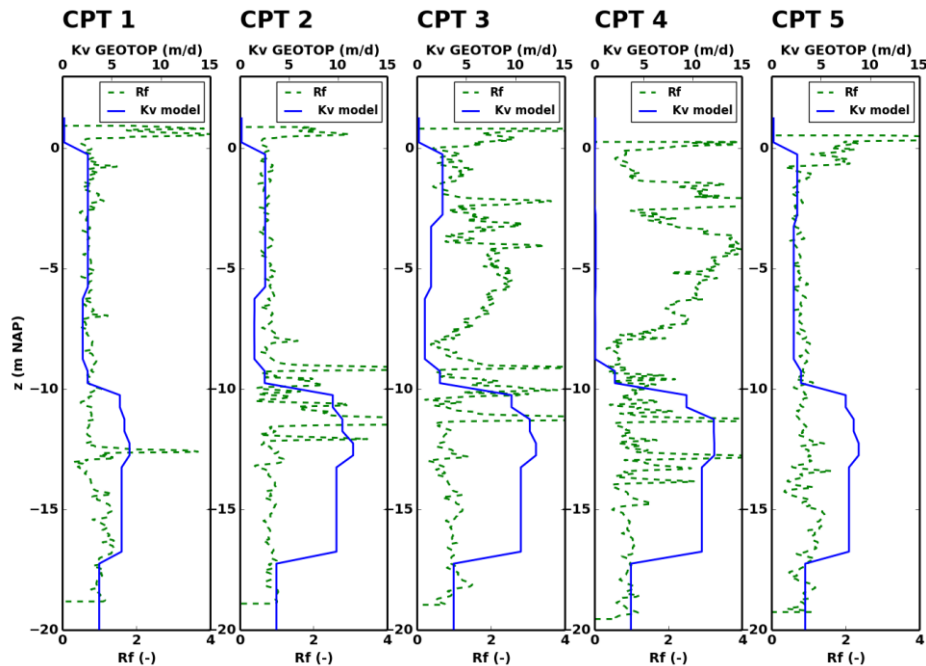
In de overige modelscenario's worden verschillende configuraties van diepdraains gesimuleerd, om de onttrekking van zoet grondwater te optimaliseren. Deze modelscenario's worden in sectie 2.5 beschreven.

2.4.2 Kalibratie eerste fase model

Voor de kalibratie van de zoet-zout verdeling van het model zijn de 5 sonderingen gebruikt. De doorlatendheid van de sedimenten is ten opzichte van de GeoTOP waarden enigszins verhoogd, om de metingen overeen te laten komen met de gesimuleerde EC_{bulk} (Figuur 2.28). Vooral bij CPT ML3 (meetlocatie 3) en in mindere mate CPT ML1 is er een verschil tussen de gesimuleerde en gemeten EC_{bulk} zichtbaar. Dit kan verklaard worden door de aanwezigheid van storende/scheidende lagen, die wel in de sonderingen zijn aangetoond maar niet in het GeoTOP model aanwezig zijn (Figuur 2.29), waardoor de dikte van de zoetwaterlens wordt overschat.



Figuur 2.28 Gesimuleerde (in rood) en gemeten (blauw) EC_{bulk} . CPT ML1-5 komen overeen met de meetlocaties 1-5.

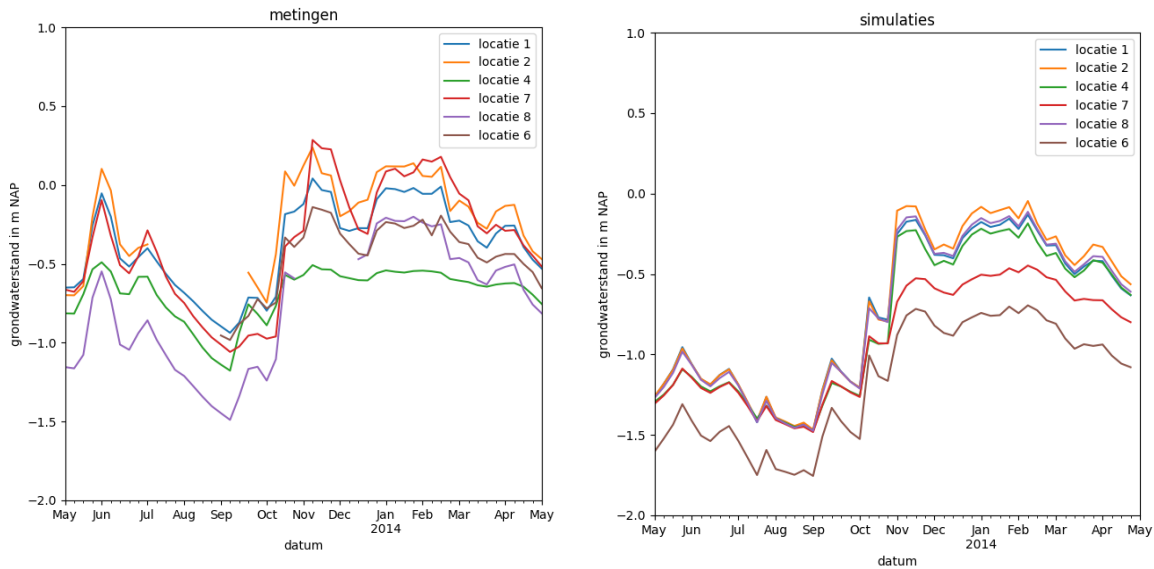


Figuur 2.29 Kv uit GeoTOP (in blauw) en Rf gemeten met de sondering.

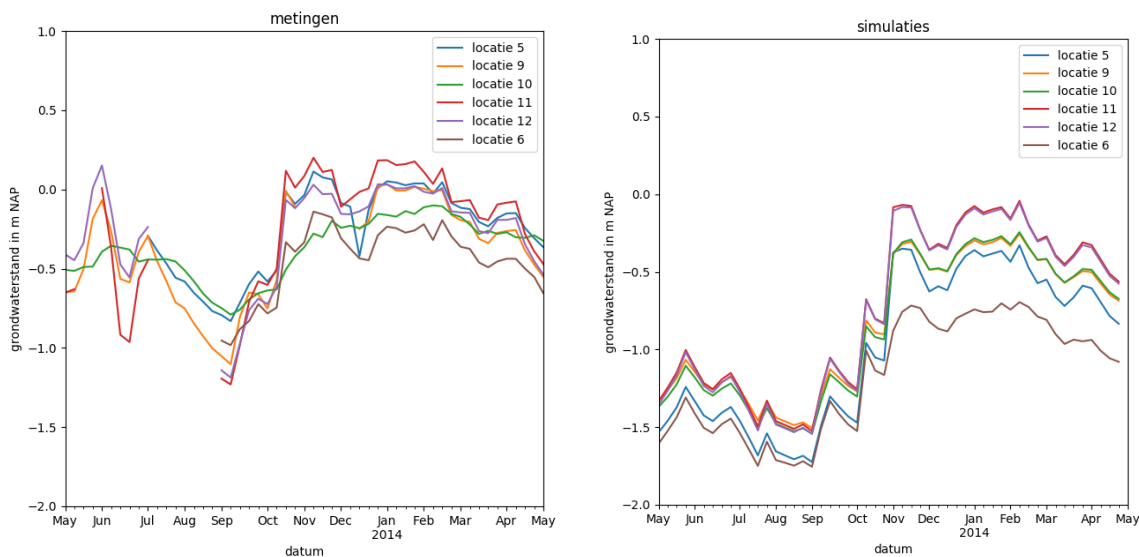
2.4.3 Validatie referentiescenario

In Figuur 2.30 en Figuur 2.31 zijn de gemeten en gesimuleerde stijghoogten weergegeven voor de percelen van respectievelijk Johan Sanderse en Werner Louwerse, voor de periode mei 2014 – mei 2015. Daarin valt direct op dat de stijghoogten in het zomerhalfjaar over het algemeen worden onderschat met het model. Dit hangt deels samen met het feit dat de korte infiltratieperiode in juni niet in het model is gesimuleerd omdat dit buiten de (in het model versimpelde) infiltratieperiode in de winter valt. Ook is de reductie van de verdamping door een wegzakkende grondwaterstand niet meegenomen.

Voor de meetlocaties rondom de percelen van Johan Sanderse (Figuur 2.30) komen de gesimuleerde en gemeten grondwaterstanden bij meetlocaties 1 en 2 redelijk overeen. De grondwaterstand op meetlocatie 7 wordt door het model onderschat. Zoals in sectie 2.3.3 is beschreven kan dit samenhangen met een lage doorlatendheid van het sediment op deze meetlocatie. De grondwaterstanden op meetlocaties 4 en 7 worden door het model overschat, en bij referentielocatie 6 juist onderschat.



Figuur 2.30 Resultaten van de metingen (links) en de simulaties (rechts) voor de meetlocaties 1, 2, 4, 7, 8 (rondom de percelen van Johan Sanderse) en referentielocatie 6.

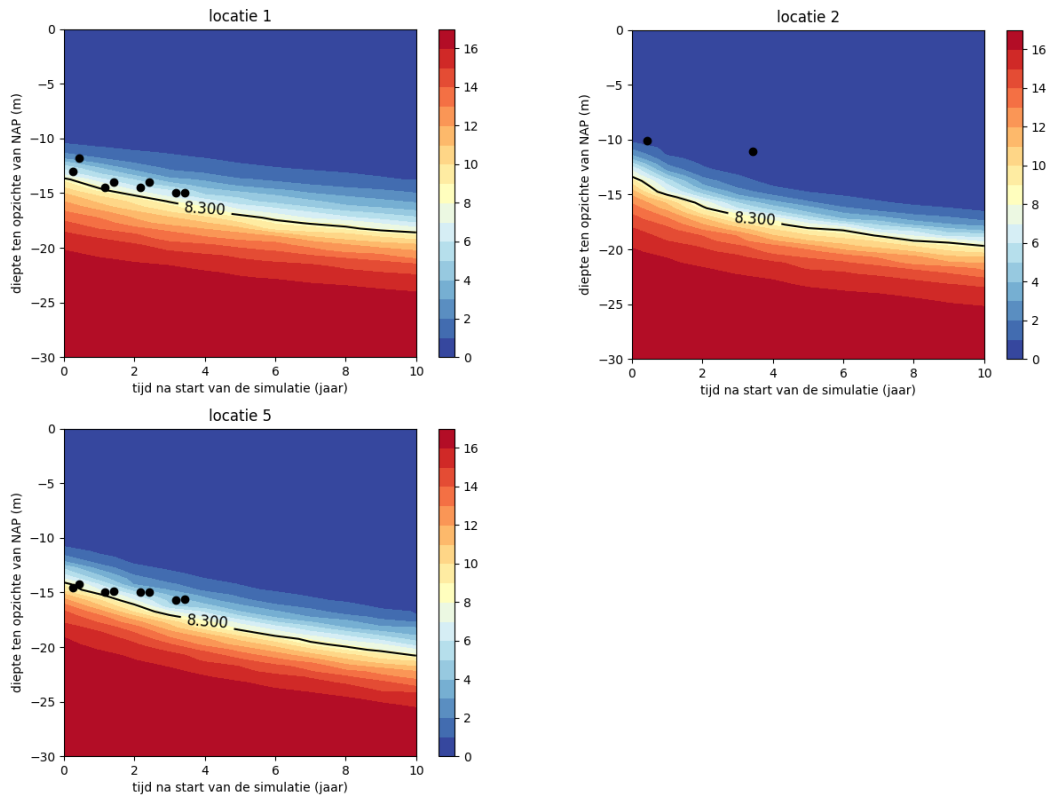


Figuur 2.31 Resultaten van de metingen (links) en de simulaties (rechts) voor de meetlocaties 5, 9, 10, 11, 12 (rondom de percelen van Werner Louwerse) en referentielocatie 6.

Voor de meetlocaties rondom de percelen van Werner Louwerse (Figuur 2.31) komen de gesimuleerde en gemeten grondwaterstanden in de winterperiode bij meetlocaties 9, 10, 11 en 12 redelijk overeen, al is bij de gemeten grondwaterstanden meer variatie en verschil tussen meetlocaties 11 en 12 te zien. Op meetlocatie 5 wordt de grondwaterstand met het model met gemiddeld zo'n 20 cm onderschat.

In Figuur 2.32 zijn de modelresultaten van de concentratie (in g Cl⁻/l, in kleur) en de gemeten waarden van de diepte van het 8.3 g Cl⁻/l grensvlak met de EM-Slimflex weergegeven. Het 8.3 g Cl⁻/l grensvlak komt overeen met een EC_{water} van 20.3 mS/cm bij 20 graden (de helft van de maximaal gemeten waarde); de bijbehorende waarde van EC_{bulk} (zoals gemeten met de EM-Slimflex) is bij benadering 3 mS/m. Voor de gesimuleerde waarden van EC_{water} is wegens geheugenbesparing alleen de uitvoer van de laatste stress periode bewaard, aan het

eind van de winterperiode. Het effect van de zomerperiode (zoals beschreven door Pauw et al., 2015) waarbij de zoetwaterlens in dikte afneemt is dus niet in Figuur 2.32 zichtbaar.



Figuur 2.32 Modelresultaten van de chlorideconcentratie (in g Cl/l, in kleur) en de gemeten waarden van de diepte van het 8.3 g Cl/l grensvlak met de EM-Slimflex (zwarte stippen).

Aan het verloop van de gesimuleerde en gemeten concentraties op meetlocaties 1 en 5 valt af te leiden dat het model de uitbreiding van de zoetwaterlens overschat. Zeker voor meetlocatie 5 is dat opvallend, omdat de gesimuleerde grondwaterstand zowel in de winter als in de zomer lager is dan gemeten grondwaterstand. Een mogelijke verklaring voor de verschillen zijn (kleinschalige) storende lagen die in werkelijkheid wel aanwezig zijn (zoals aangetoond op de sonderingen) maar in het model afwezig zijn. Deze storende lagen hebben een remmende werking (vertragen de verzoeting) en brengen bovendien verticale stijghoogteverliezen teweeg, waardoor de dikte van de zoetwaterlens minder groot is dan bij afwezigheid van storende lagen. Op meetlocatie 2 wordt de dikte van de zoetwaterlens over de gehele simulatie overschat in het model. Ook dit valt zeer waarschijnlijk toe te schrijven aan de aanwezigheid van scheidende lagen in de werkelijke situatie. Ondanks deze verschillen worden de processen goed gerepresenteerd. Bij de simulaties moet echter wel rekening worden gehouden met de verschillen tussen het (referentie)model en de metingen.

2.5 Modelscenario's zoetwaterwinning

In deze sectie worden modelsimulaties beschreven waarmee de winbare hoeveelheid zoet grondwater wordt geschat. Er zijn helaas geen metingen beschikbaar om de modelscenario's (met dus verschillende hoeveelheden terugwinning) van deze sectie te kalibreren; het doel van de veldproef was het vergroten van de zoetwaterlens (weliswaar om het water later te kunnen gebruiken, maar dat viel buiten de veldproef).



2.5.1 Scenarioberekeningen onttrekken via diepdraains

2.5.1.1 Schematisatie diepe onttrekkingsdrains

Er zijn verschillende simulaties (modelscenario's) uitgevoerd waarin diepdraains gebruikt worden om de winbare hoeveelheid zoet water te bepalen. Per diepdrain zijn 8 modelcellen gebruikt. Dat komt neer op een lengte van 80 meter per diepdrain. Om een goed beeld te krijgen van het meest optimale aantal en meest optimale onttrekkingsdebiet van de te plaatsen diepdraains, is gekozen om drie parameters te variëren, namelijk:

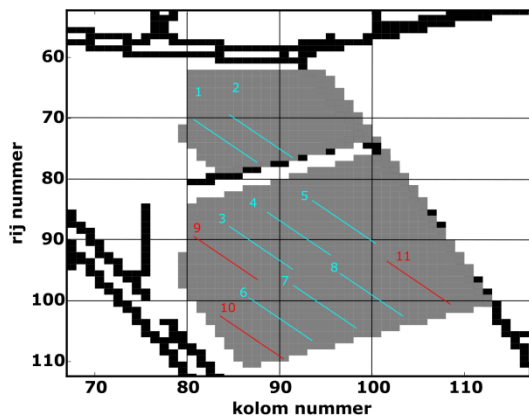
1. het onttrekkingsdebiet per drain,
2. de ligging van de drains,
3. het aantal drains.

Tabel 2.6 en Figuur 2.33 geven een overzicht van de verschillende modelscenario's en de bijbehorende onttrekkingsdebieten per diepdrain en het aantal diepdraains per scenario. In scenario 3 zijn alleen twee drains gebruikt omdat dit meer de huidige praktijk van onttrekken benaderd dan in de andere scenario's. Er is voor alle modelscenario's een periode van 10 jaar doorgerekend. Onttrekking vindt plaats gedurende het zomerhalfjaar.

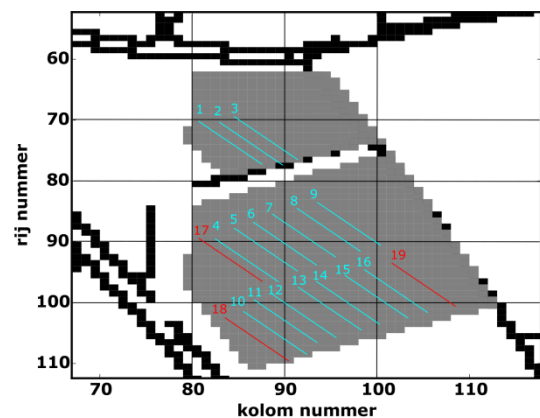
Tabel 2.6 Overzicht modelscenario's; onttrekkingsdebiet per drain, aantal drains. Zie Figuur 2.33 voor uitleg type a en b.

Modelscenario	Onttrekkingsdebiet (per drain) [m ³ /halfjaar)	Aantal drains
1a	Type a 3000	Type a 8
	Type b 2000	Type b 3
1b	Type a 4000	Type a 8
	Type b 2000	Type b 3
1c	Type a 5000	Type a 8
	Type b 2000	Type b 3
2a	Type a 3000	Type a 16
	Type b 2000	Type b 3
2b	Type a 4000	Type a 16
	Type b 2000	Type b 3
2c	Type a 5000	Type a 16
	Type b 2000	Type b 3
3	8000	2

a. modelscenario 1



b. modelscenario 2



Figuur 2.33 Overzicht ligging van de drains in de verschillende modelscenario's, met a. modelscenario 1 – 11 drains, b. modelscenario 2 – 19 drains. De blauwe en rode kleur geven de draintypen aan; rode drains (type b) hebben een ander onttrekkingsdebiet dan de blauwe drains (type a).

De economische en praktische aspecten van de plaatsing van de diepdrains in het perceel zijn niet meegenomen in deze analyses. De meest optimale situatie is gekozen op basis van de potentiële ligging van de diepdrains en de hoeveelheid diepdrains, het effect hiervan op de totale zoetwatervoorraad in de kreekrug en het maximaal te winnen zoetwatervolume. Voor alle modelscenario's geldt dat het een theoretische situatie betreft.

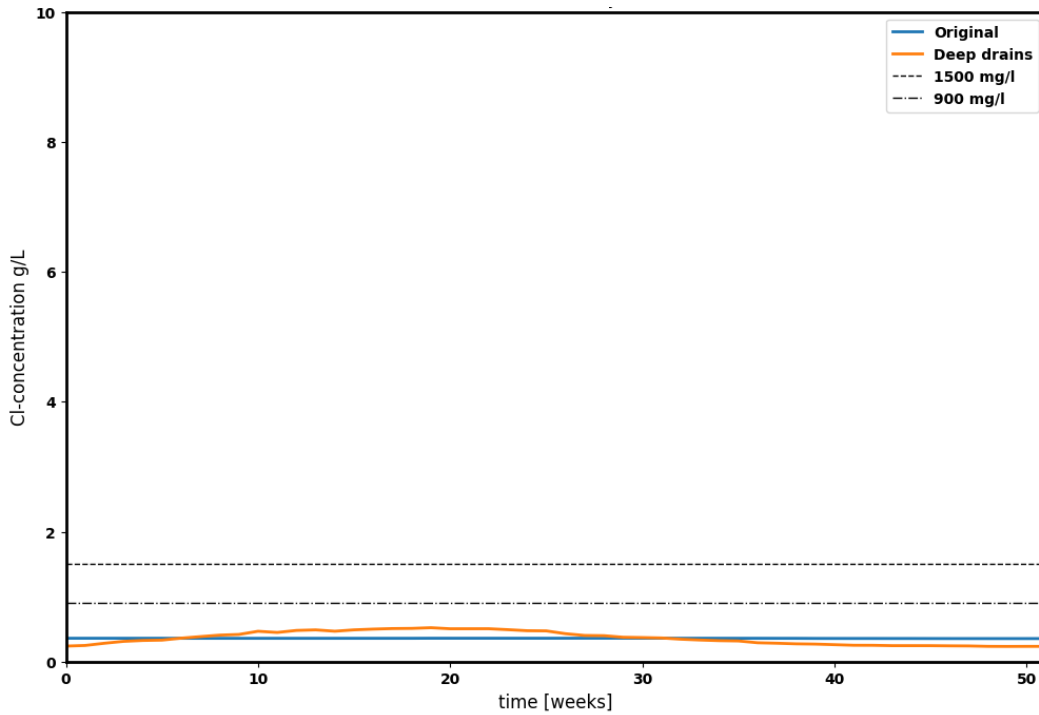
2.5.2 Resultaten scenario berekeningen

2.5.2.1 Zoet-zout grens diepdrains

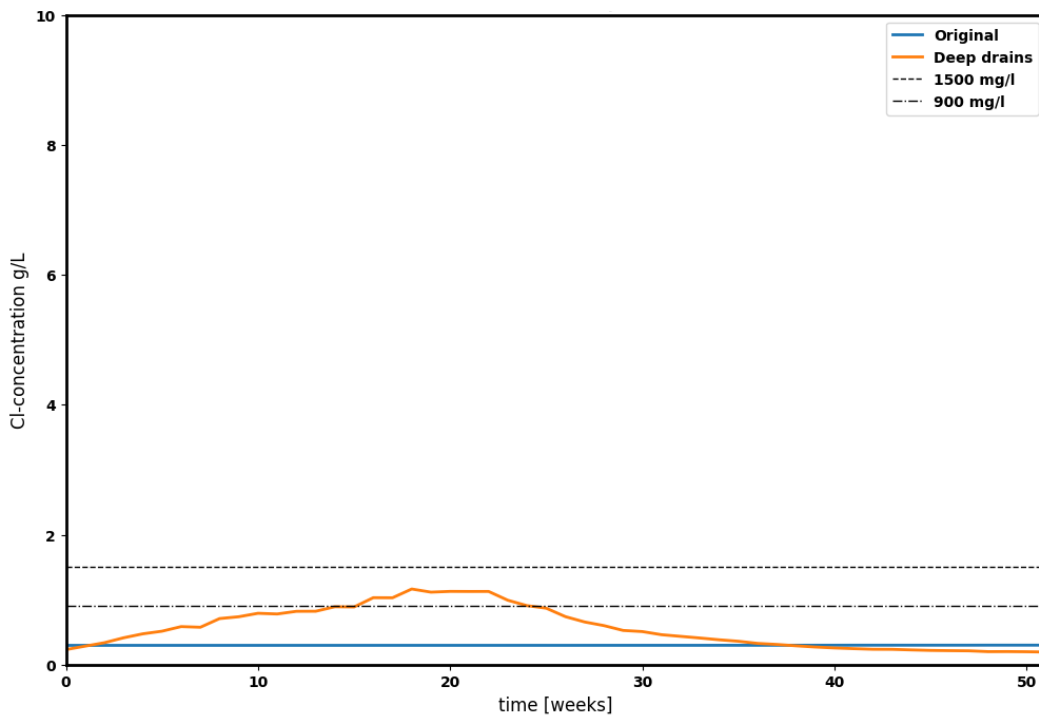
Per diepdrain is onderzocht of deze gedurende de simulatieperiode geclassificeerd kan worden als 'extra veilig' (concentratie $< 900^5$ mg Cl/l), 'veilig' (concentratie tussen de 900 en 1500 mg Cl/l) of 'zout'⁶ (concentratie > 1500 mg Cl/l). Het jaarlijks verloop van de chlorideconcentratie per diepdrain is berekend door de concentratie te middelen over de 8 modelcellen die worden gebruikt om de diepdrain te simuleren. Een voorbeeld van het verloop van de chlorideconcentratie in een diepdrain is weergegeven in Figuur 2.34, welke de tijdserie van het 10^e simulatiejaar toont voor drain 1 in scenario 1a. Ter referentie is ook de chlorideconcentratie in de nul-situatie getoond. Deze drain blijft zoet gedurende het jaar en over de gehele 10 jaar. De chlorideconcentratie grenzen zijn weergegeven met een stippellijn. Indien de grafieklijnen van de drainconcentraties onder deze lijnen blijven, blijft de drain zoet (zoals in het voorbeeld in Figuur 2.34). Tussen de lijnen is de drain nog steeds zoet maar gaat wel richting zout gedurende de simulatieperiode (zoals in het voorbeeld in Figuur 2.35). Boven de 1500 mg Cl/l lijn kan de drain gezien worden als geheel zout (zoals in het voorbeeld in Figuur 2.36).

⁵ Deze grenswaarde is arbitrair gekozen.

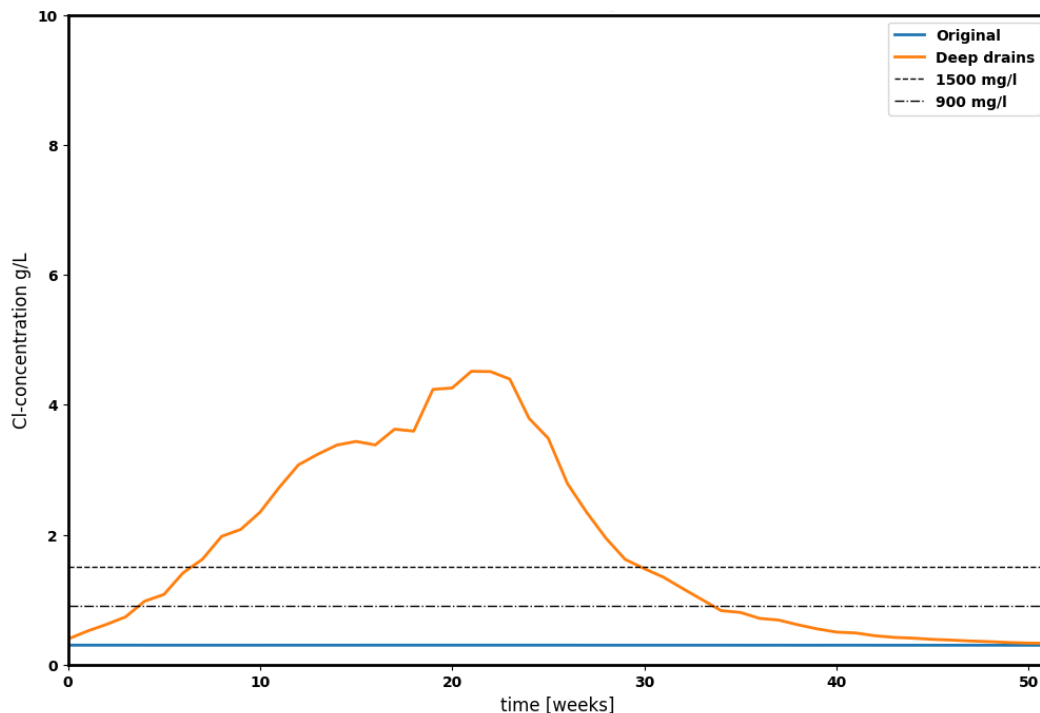
⁶ Deze grenswaarde is gelijk aan de grenswaarde tussen 'zoet' en 'zout' die door Waterschap Scheldestromen is vastgelegd voor grondwateronttrekkingen voor de landbouw in Zeeland.



Figuur 2.34 Chlorideconcentratie in g Cl/l voor simulatiejaar 10, drainlocatie 1, scenario 1a (voorbeeld zoete drain). De onderste gestippelde lijn toont de 900 mg Cl/l chloride-grens, de bovenste stippellijn is de 1500 mg Cl/l chloride-grens. De 900 mg Cl/l grens is een extra veiligheidsgrens zoetwater, boven 1500 mg Cl/l betekent zout.



Figuur 2.35 Chlorideconcentratie in g Cl/l voor simulatiejaar 10, drainlocatie 3, scenario 1c (voorbeeld brakke drain). De onderste gestippelde lijn toont de 900 mg Cl/l chloride-grens, de bovenste stippellijn is de 1500 mg Cl/l chloride-grens. De 900 mg Cl/l grens is een extra veiligheidsgrens zoetwater, boven 1500 mg Cl/l betekent zout.



Figuur 2.36 Chlorideconcentratie in g Cl/l voor simulatiejaar 10, drainlocatie 6, scenario 2c (voorbeeld zoute drain). De onderste gestippelde lijn toont de 900 mg Cl/l chloride-grens, de bovenste stippellijn is de 1500 mg Cl/l chloride-grens. De 900 mg Cl/l grens is een extra veiligheidsgrens zoetwater, boven 1500 mg Cl/l betekent zout.

2.5.2.2 Zoetwaterwinning – optimaal debiet

In deze sectie is het optimaal te winnen zoetwaterdebiet per scenario weergegeven. Dit betreft het totale debiet dat onttrokken kan worden uit het gehele perceel per scenario. De berekening is uitgevoerd op basis van de diepdrains die gedurende de hele simulatieperiode in de “veilige zone” kunnen worden geplaatst. Dit betekent dat de chlorideconcentratie in deze drains niet boven de 1500 mg Cl/l uitkomt.

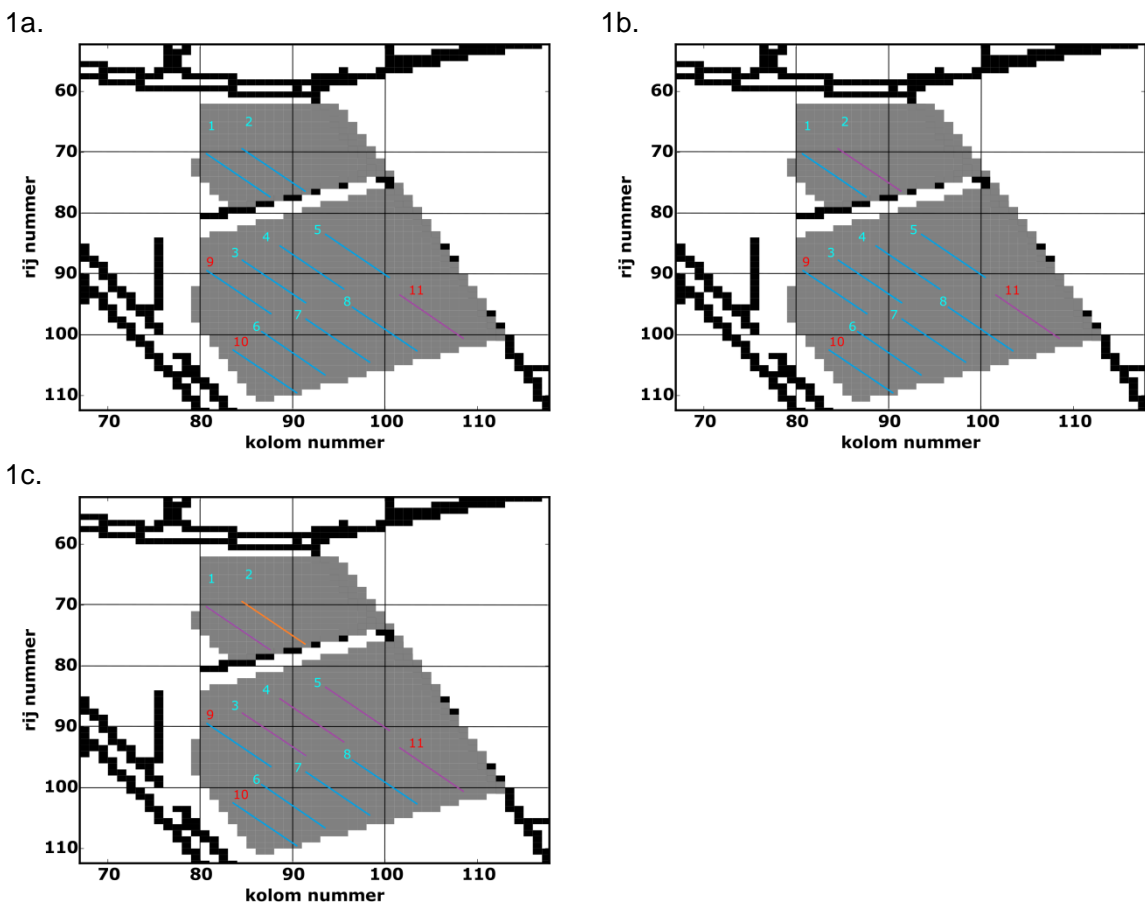
Het totale jaardebiet (m^3) dat voor scenario 1a, 1b en 1c aan zoet water onttrokken kan worden is weergegeven in Tabel 2.7. Voor scenario 1a is het totale zoet jaardebiet 30.000 m^3 , voor scenario 1b 38.000 m^3 en voor scenario 1c 41.000 m^3 . Voor 11 drains is het dus het meest optimaal om te kiezen voor gecombineerd onttrekkingsdebiet van 5000 m^3 /jaar voor 8 drains en 2000 m^3 /jaar voor de overige 3 drains: scenario 1c (uitgezonderd drain 2). Figuur 2.37 geeft een ruimtelijk overzicht van de locatie van de drains en of ze als “extra veilig”, “veilig” of “zout” geïdentificeerd zijn. Wat opvalt, is dat hoofdzakelijk de drains aan de oostkant van het perceel gevoelig zijn om brak grondwater op te pompen. Voor alle drie de scenario's geldt dat drain 11 start in de “veilige” zone in jaar 1 maar naar verloop van de simulatieperiode zoeter wordt en blijft gedurende het jaar. In scenario 1b blijft drain 2 op de 900 mg Cl/l grens steken.

Tabel 2.7 Overzicht verzilting diepdraains voor modelscenario 1a, 1b en 1c. Blauw gekleurde draains blijven zoet (< 900 mg Cl/l; extra veilig) gedurende de simulatieperiode (10 jaar), paars gekleurde draains bevinden zich in de veilige zone (900 -1500 mg Cl/l) gedurende de simulatieperiode en oranje gekleurde draains zijn / worden zout (> 1500 mg Cl/l) gedurende de simulatieperiode. Het debiet in de laatste kolom geeft het totaaldebiet zoetwater aan van de zoete draains.

Scenario 1a	drain 1	drain 2	drain 3	drain 4	drain 5	drain 6	drain 7	drain 8	drain 9	drain 10	drain 11	Debiet
CL	extra veilig	extra veilig	extra veilig	extra veilig	extra veilig	extra veilig	extra veilig	extra veilig	extra veilig	extra veilig	veilig	
Drain=zoet	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11
Debiet (m3/jaar)	-3000	-3000	-3000	-3000	-3000	-3000	-3000	-3000	-2000	-2000	-2000	-30000
Debiet zoet (m3/jaar)	-3000	-3000	-3000	-3000	-3000	-3000	-3000	-3000	-2000	-2000	-2000	-30000

Scenario 1b	drain 1	drain 2	drain 3	drain 4	drain 5	drain 6	drain 7	drain 8	drain 9	drain 10	drain 11	Debiet
CL	veilig	extra veilig	extra veilig	extra veilig	extra veilig	extra veilig	extra veilig	extra veilig	extra veilig	extra veilig	veilig	
Drain=zoet	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11
Debiet (m3/jaar)	-4000	-4000	-4000	-4000	-4000	-4000	-4000	-4000	-2000	-2000	-2000	-38000
Debiet zoet (m3/jaar)	-4000	-4000	-4000	-4000	-4000	-4000	-4000	-4000	-2000	-2000	-2000	-38000

Scenario 1c	drain 1	drain 2	drain 3	drain 4	drain 5	drain 6	drain 7	drain 8	drain 9	drain 10	drain 11	Debiet
CL	veilig	zout	veilig	veilig	veilig	extra veilig	extra veilig	extra veilig	extra veilig	extra veilig	veilig	
Drain=zoet	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10
Debiet (m3/jaar)	-5000	-5000	-5000	-5000	-5000	-5000	-5000	-5000	-2000	-2000	-2000	-46000
Debiet zoet (m3/jaar)	-5000	0	-5000	-5000	-5000	-5000	-5000	-5000	-2000	-2000	-2000	-41000



Figuur 2.37 Ruimtelijk overzicht verzilting drain water voor modelscenario 1a, 1b en 1c. Blauw gekleurde draains blijven zoet (< 900 mg Cl/l; extra veilig) gedurende de simulatieperiode (10 jaar), paars gekleurde draains bevinden zich in de veilige zone (900 -1500 mg Cl/l) gedurende de simulatieperiode en oranje gekleurde draains zijn / worden zout (> 1500 mg Cl/l) gedurende de simulatieperiode.



Het totale jaardebiet (m³) dat voor scenario 2a, 2b en 2c aan zoet water onttrokken kan worden is weergegeven in Tabel 2.8. Voor scenario 2a is het totale zoet jaardebiet 48000 m³, voor scenario 2b 42000 m³ en voor scenario 2c 4000 m³. Voor 19 drains (waarvan 2 'zout') is het dus het meest optimaal om te kiezen voor een gecombineerd onttrekkingsdebiet van 3000 m³/jaar voor 14 drains en 2000 m³/jaar voor de overige 3 drains; scenario 2a. Figuur 2.38 geeft een ruimtelijk overzicht van de locatie van de drains en of ze als "extra veilig", "veilig" of "zout" geclassificeerd zijn. In tegenstelling tot scenario 1 zijn er geen drains waargenomen die al starten in de "zoute" of in de "veilige" zone, maar waar de chlorideconcentratie gedurende de simulatieperiode onder de 900 mg Cl/l zakt. Wel zijn er per scenario 1 of 2 drains die op grens zitten tussen de "veilige" en de "zoute" zone of gedurende een hele korte periode zout worden en vervolgens net onder de 1500 mg Cl/l grens blijven voor de rest van de periode. Dit laatste is het geval bij scenario 2a drain 4, en bij scenario 2b drain 8 en drain 16. Bij scenario 2a blijven drain 3 en drain 7 steken op de 1500 mg Cl/l grens.

Tabel 2.8 Overzicht verzilting diepdrains voor modelscenario 2a,2 b en 2c. Blauw gekleurde drains blijven zoet (< 900 mg Cl/l; extra veilig) gedurende de simulatieperiode (10 jaar), paars gekleurde drains bevinden zich in de veilige zone (900 -1500 mg Cl/l) gedurende de simulatieperiode en oranje gekleurde drains zijn / worden zout (> 1500 mg Cl/l) gedurende de simulatieperiode.

Scenario 2a	drain 1	drain 2	drain 3	drain 4	drain 5	drain 6	drain 7	drain 8	drain 9	drain 10
CL	extra veilig	veilig	veilig	zout	zout	veilig	extra veilig	extra veilig	extra veilig	extra veilig
Drain=zoet	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1
Debiet (m3/jaar)	-3000	-3000	-3000	-3000	-3000	-3000	-3000	-3000	-3000	-3000
Debiet zoet (m3/jaar)	-3000	-3000	-3000	0	0	-3000	-3000	-3000	-3000	-3000

Scenario 2b	drain 1	drain 2	drain 3	drain 4	drain 5	drain 6	drain 7	drain 8	drain 9	drain 10
CL	veilig	zout	zout	zout	zout	zout	zout	veilig	veilig	extra veilig
Drain=zoet	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1
Debiet (m3/jaar)	-4000	-4000	-4000	-4000	-4000	-4000	-4000	-4000	-4000	-4000
Debiet zoet (m3/jaar)	-4000	0	0	0	0	0	0	-4000	-4000	-4000

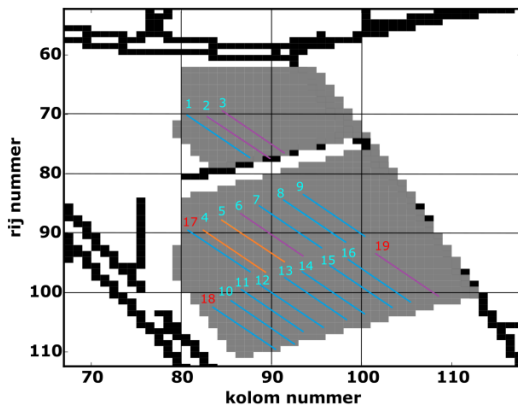
Scenario 2c	drain 1	drain 2	drain 3	drain 4	drain 5	drain 6	drain 7	drain 8	drain 9	drain 10
CL	zout	zout	zout	zout	zout	zout	zout	zout	zout	zout
Drain=zoet	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Debiet (m3/jaar)	-5000	-5000	-5000	-5000	-5000	-5000	-5000	-5000	-5000	-5000
Debiet zoet (m3/jaar)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Scenario 2a	drain 11	drain 12	drain 13	drain 14	drain 15	drain 16	drain 17	drain 18	drain 19	Debiet
CL	extra veilig	extra veilig	extra veilig	extra veilig	extra veilig	extra veilig	extra veilig	extra veilig	veilig	
Drain=zoet	1	1	1	1	1	1	1	1	1	17
Debiet (m3/jaar)	-3000	-3000	-3000	-3000	-3000	-3000	-3000	-2000	-2000	-54000
Debiet zoet (m3/jaar)	-3000	-3000	-3000	-3000	-3000	-3000	-3000	-2000	-2000	-48000

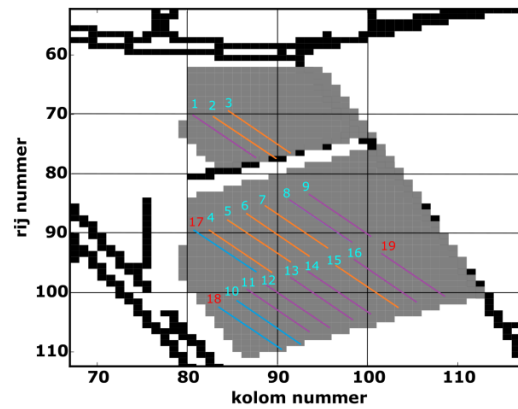
Scenario 2b	drain 11	drain 12	drain 13	drain 14	drain 15	drain 16	drain 17	drain 18	drain 19	Debiet
CL	veilig	veilig	veilig	veilig	zout	veilig	extra veilig	extra veilig	veilig	
Drain=zoet	1	1	1	1	0	1	1	1	1	12
Debiet (m3/jaar)	-4000	-4000	-4000	-4000	-4000	-4000	-2000	-2000	-2000	-70000
Debiet zoet (m3/jaar)	-4000	-4000	-4000	-4000	0	-4000	-2000	-2000	-2000	-42000

Scenario 2c	drain 11	drain 12	drain 13	drain 14	drain 15	drain 16	drain 17	drain 18	drain 19	Debiet
CL	zout	zout	zout	zout	zout	zout	extra veilig	extra veilig	zout	
Drain=zoet	0	0	0	0	0	0	1	1	0	2
Debiet (m3/jaar)	-5000	-5000	-5000	-5000	-5000	-5000	-2000	-2000	-2000	-86000
Debiet zoet (m3/jaar)	0	0	0	0	0	0	-2000	-2000	0	-4000

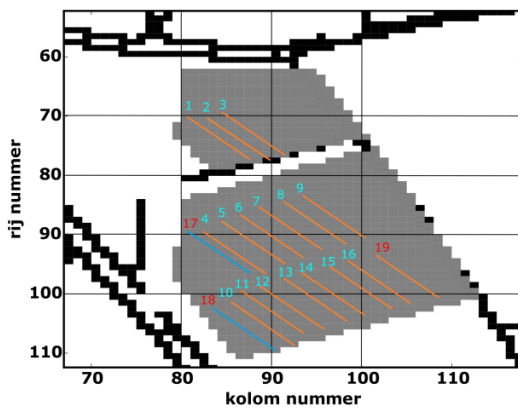
2a.



2b.



2c.



Figuur 2.38 Ruimtelijk overzicht verzilting drain water voor modelscenario 2a, 2b en 2c. Blauw gekleurde drains blijven zoet ($< 900 \text{ mg Cl/l}$; extra veilig) gedurende de simulatieperiode (10 jaar), paars gekleurde drains bevinden zich in de veilige zone ($900 - 1500 \text{ mg Cl/l}$) gedurende de simulatieperiode en oranje gekleurde drains zijn / worden zout ($> 1500 \text{ mg Cl/l}$) gedurende de simulatieperiode.

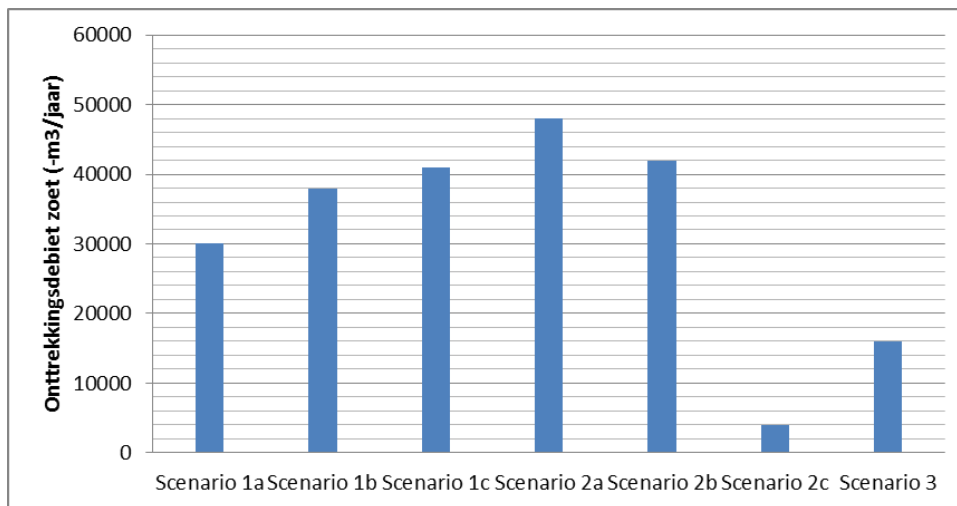
In het geval van scenario 3 blijven beide diepdrains zoet (Cl -concentratie $< 1500 \text{ mg Cl/l}$) en is het totale onttrekkingsdebiet 16.000 m^3 dat in totaal per jaar onttrokken kan worden uit het perceel.

Een totaaloverzicht van de gedraaide scenario's en het debiet dat aan zoetwater onttrokken kan worden per jaar is weergegeven in Tabel 2.9.

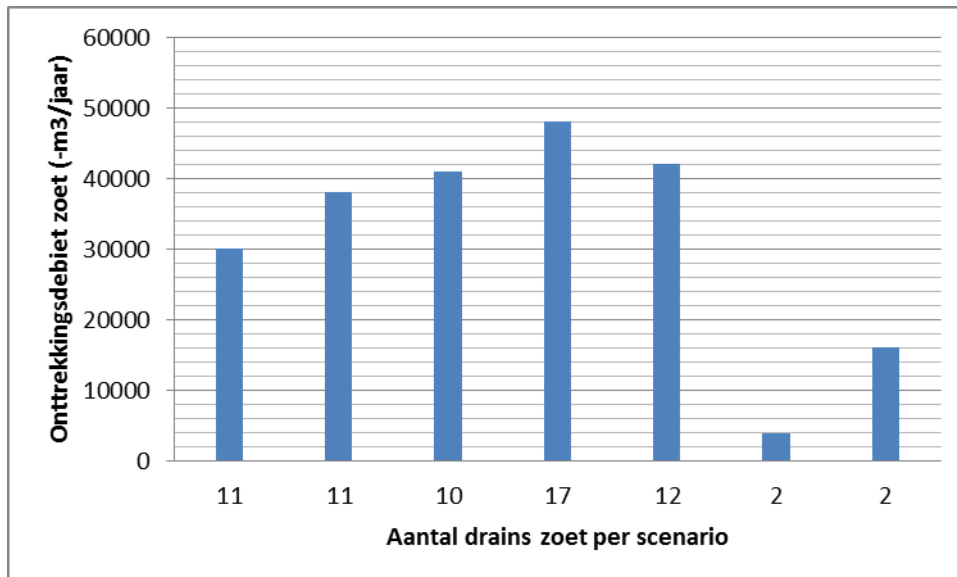
Tabel 2.9 Samenvatting van het te onttrekken zoetwaterdebiet per modelscenario.

Scenario	aantal drains	debiet (m^3/jaar)	debiet zoet (m^3/jaar) ($< 1500 \text{ mg Cl/l}$)	aantal drains zoet ($< 1500 \text{ mg Cl/l}$)	% drains zoet ($< 1500 \text{ mg Cl/l}$)	% debiet zoet ($< 900 \text{ mg Cl/l}$)
Scenario 1a	11	30000	30000	11	100	93
Scenario 1b	11	38000	38000	11	100	84
Scenario 1c	11	46000	41000	10	89	41
Scenario 2a	19	54000	48000	17	89	69
Scenario 2b	19	70000	42000	12	60	11
Scenario 2c	19	86000	4000	2	11	5
Scenario 3	2	16000	16000	2	100	100

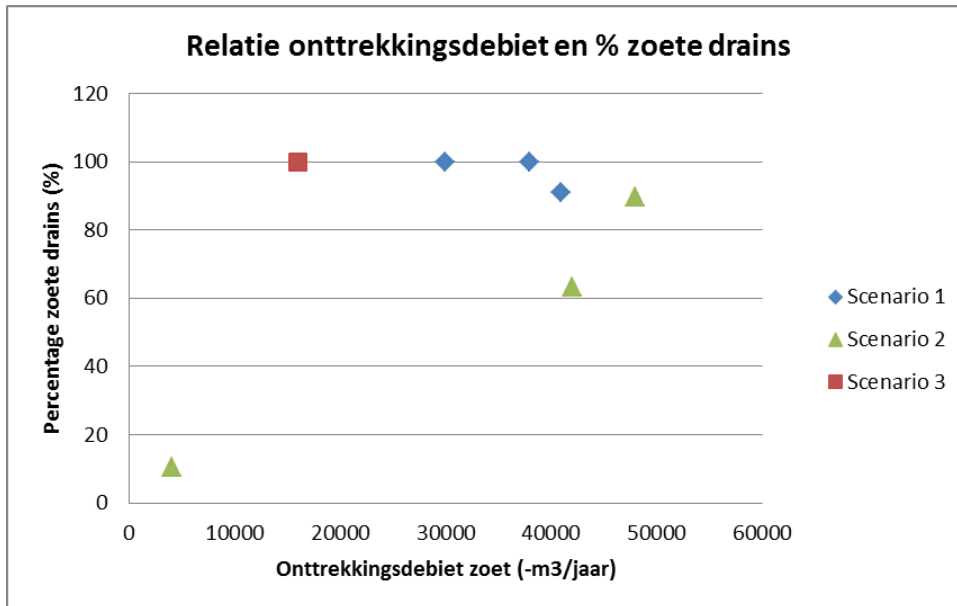
Uit de analyses blijkt dat modelscenario 2a de meest optimale situatie simuleert, indien niet gekeken wordt naar economische en praktische aspecten voor de aanleg van de diepdraains. In totaal kan 48.000 m³/jaar onttrokken worden met 17 diepdraains welke voornamelijk gelegen zijn in het zuiden en midden van het perceel. In totaal blijft 69% van de draains gedurende 10 jaar zoet (<900 mg Cl/l). Visueel is dit weergegeven in Figuur 2.39, Figuur 2.40 en Figuur 2.41.



Figuur 2.39 Totale onttrekkingsdebiet zoet in -m³/jaar per modelscenario.



Figuur 2.40 Totale onttrekkingsdebiet zoet in m³/jaar uitgezet tegen het aantal draains dat zoet blijft per modelscenario.



Figuur 2.41 Relatie tussen het totale zoete onttrekkingsdebiet ($m^3/jaar$) en het percentage zoete drains (%) per scenario.

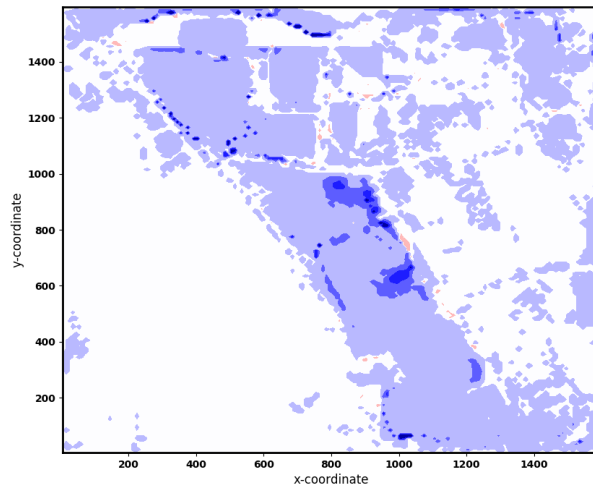
2.5.2.3 Analyse diepte chloridegrensvlak (1500 mg Cl/l)

Om de verandering in de diepte van het chloridegrensvlak (1500 mg Cl/l) goed weer te geven is een verschilkaart gemaakt tussen de diepte van het grensvlak aan het begin en het eind van de simulatieperiode. Het resultaat hiervan is weergegeven in Figuur 2.42 voor scenario's 1a-b-c en in Figuur 2.43 voor scenario's 2a-b-c. Voor alle scenario's geldt dat naarmate het totale onttrekkingsdebiet groter wordt, het grensvlak verder omhoogkomt. Voor de scenario's van '2' valt op dat als gevolg van de hogere draindichtheid het grensvlak uniformer richting het maaiveld komt. De zoetwaterlens groeit dan niet meer.

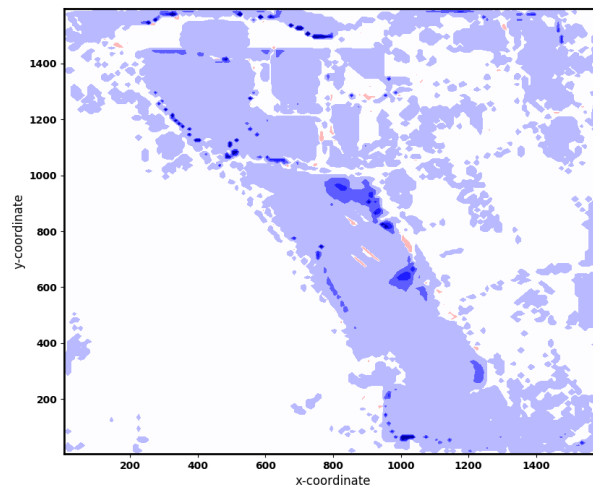
Tevens is gekeken naar de verandering van de grensvlakdiepte gedurende de 10 jaar simulatieperiode per diepdrain. Hierbij is de gemiddelde grensvlakdiepte van de 8 drain-cellen genomen. Een voorbeeld van een dergelijke tijdserie is weergegeven in Figuur 2.44. Kijkend naar scenario 1a valt op dat het grensvlak onder de meeste drains dieper wordt naar het eind van de simulatie periode toe (zie Figuur 2.44 voor een voorbeeld). De grafiek daalt en vlakt tegen het einde van simulatieperiode iets af, maar een stabiele diepte is nog niet bereikt. Voor de meeste drains is echter het omgekeerde het geval. Het grensvlak stijgt licht aan het begin van de simulatie en blijft dan vrijwel op een constante diepte gedurende de rest van de simulatie (zie Figuur 2.45 voor een voorbeeld).

In Figuur 2.42 en Figuur 2.43 is aan de lichtblauwe en roze vlekken te zien dat ook buiten het gebied van het KIS plekken zijn waarbij verzoeting en verzilting plaatsvindt. In veel gevallen is deze verzoeting of verzilting minder dan 1 m, en dus in de orde van de verticale resolutie in het model (0.5 m). Onder en dicht bij sommige waterlopen is echter een flinke (onrealistische) verzoeting te zien. Deze processing zijn onrealistisch en moeten worden genegeerd.

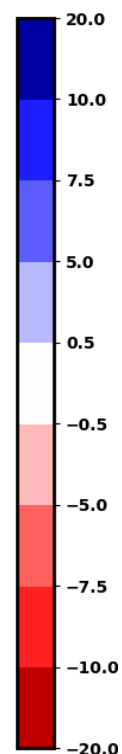
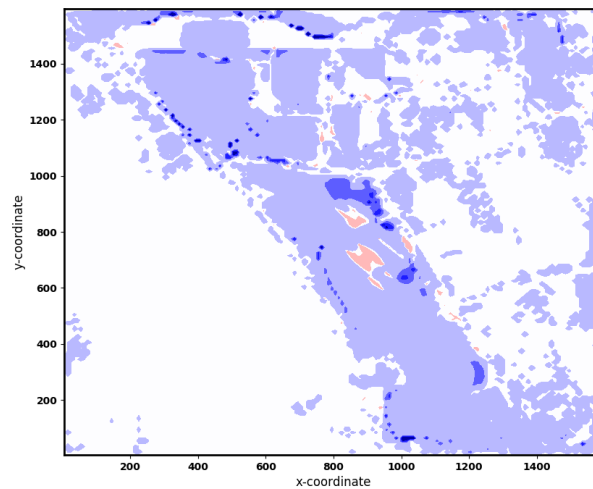
scenario 1a.



Scenario 1b.

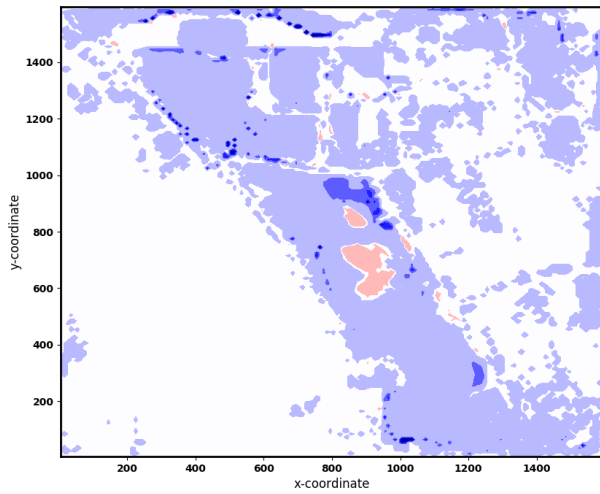


scenario 1c.

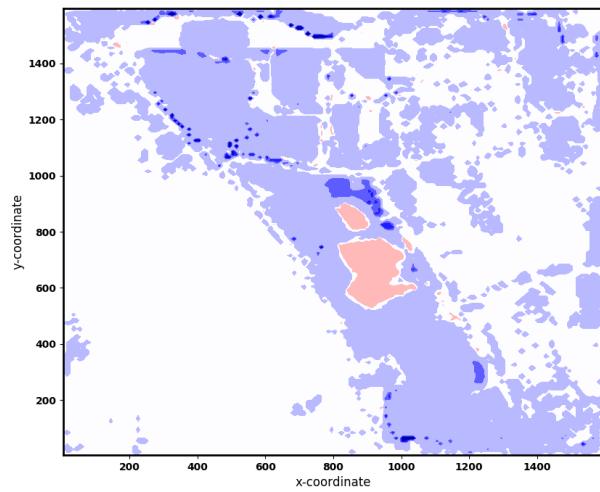


Figuur 2.42 Verschil in diepte chloridegrensvlak (1500 mg Cl/l) tussen de start en het einde van de simulatieperiode voor scenario 1a, 1b en 1c. Blauw betekent toename van de zoetwatervoorraad, rood betekent een afname van de zoetwatervoorraad.

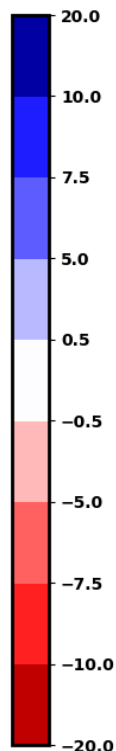
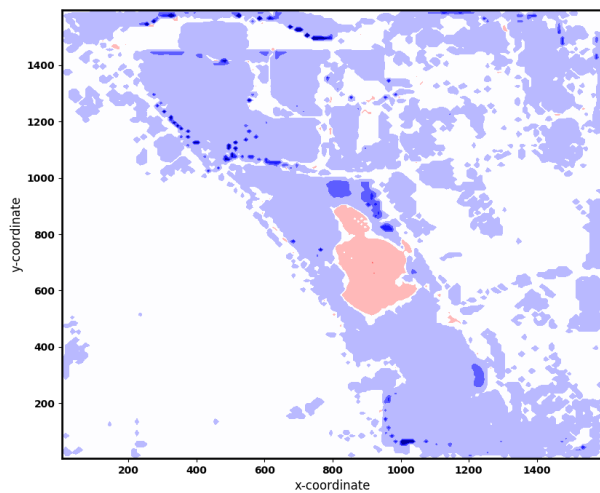
scenario 2a.



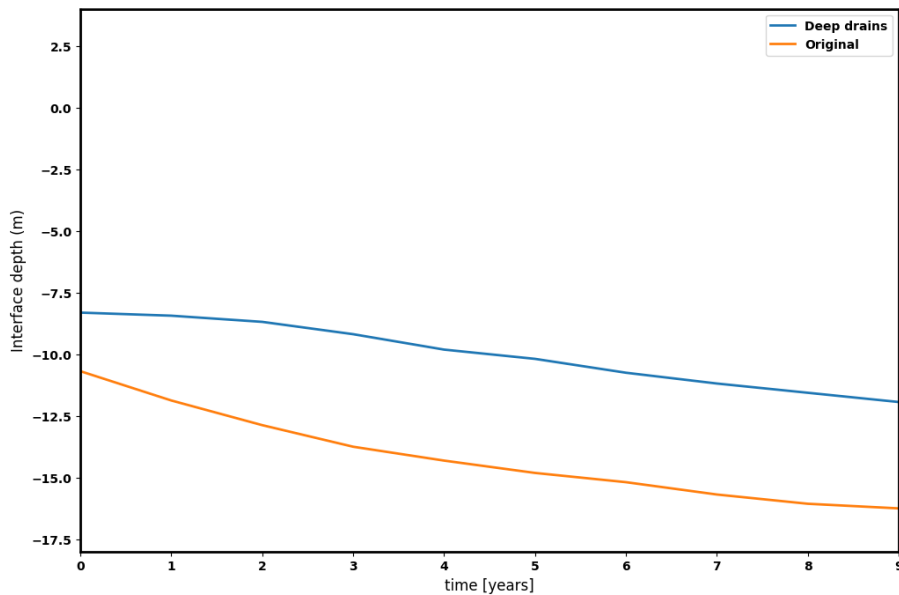
scenario 2b.



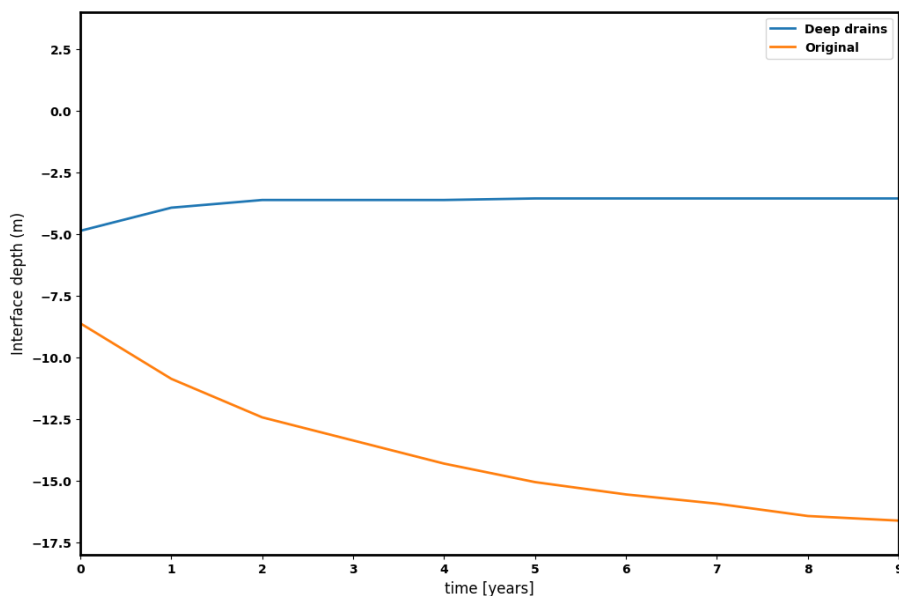
scenario 2c.



Figuur 2.43 Verschil in diepte chloridegrensvlak (1500 mg Cl/l) tussen de start en het einde van de simulatieperiode voor scenario 2a, 2b en 2c. Blauw betekent toename van de zoetwatervoorraad, rood betekent een afname van de zoetwatervoorraad.



Figuur 2.44 Verloop van de diepte van het chloridegrensvlak in de tijd voor drain 1 van scenario 1a. De oranje lijn is de nul-situatie zonder diepdraains.

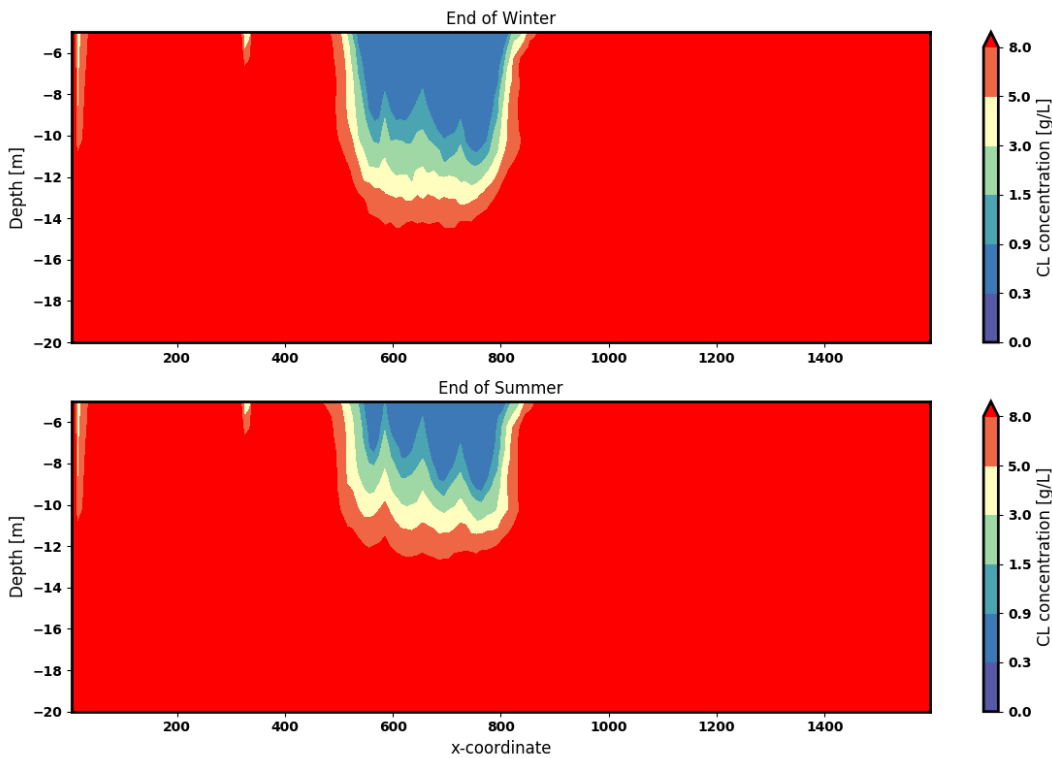


Figuur 2.45 Verloop van de diepte van het chloridegrensvlak in de tijd voor drain 15 van scenario 2c. De oranje lijn is de nul-situatie zonder diepdraains.

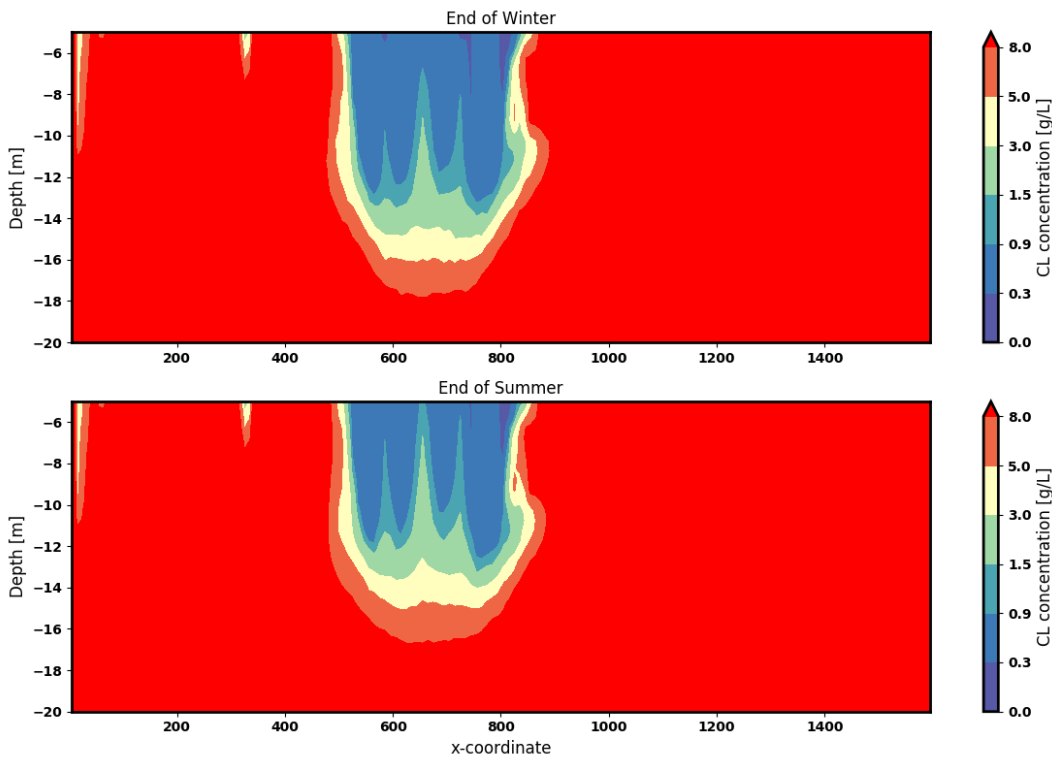
Naast het verloop van de diepte van het chloridegrensvlak in de tijd en het verschil in diepte van het chloridegrensvlak voor drains, geeft een verticale doorsnede over het perceel ook extra informatie over de status van het chloridegrensvlak. Figuur 2.46 en Figuur 2.47 laten vier verticale doorsnede profielen zien voor modelrijnummer 100 (zie Figuur 2.48 voor locatie profiel):

1. Eind van de winter van het eerste simulatiejaar
2. Eind van de zomer van het eerste simulatiejaar
3. Eind van de winter van het 10^e simulatiejaar
4. Eind van de zomer van het 10^e simulatiejaar

Deze doorsnedes liggen over drain 6, 7, 8 en 11 (zie Figuur 2.48).

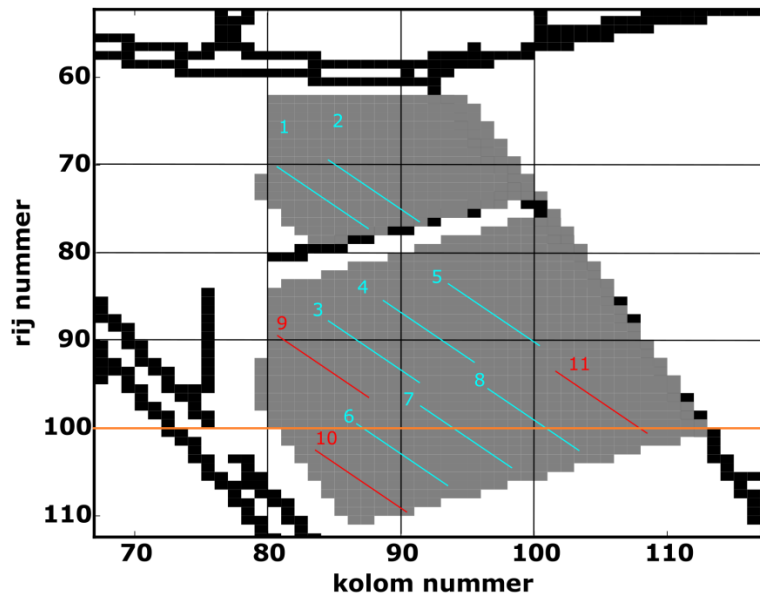


Figuur 2.46 Verticaal doorsnede­profiel van de chloride concentratie (g Cl/l) op y=100. Boven: aan het eind van de gesimuleerde winter (=eind infiltratieperiode), onder: aan het eind van de gesimuleerde zomer (=eind drainage periode) voor simulatiejaar 1 van scenario 1c.



Figuur 2.47 Verticaal doorsnede­profiel van de chloride concentratie (g Cl/l) op y=100. Boven = aan het eind van de gesimuleerde winter (eind infiltratieperiode), onder = aan het eind van de gesimuleerde zomer (eind drainage periode) voor simulatiejaar 10 van scenario 1c.

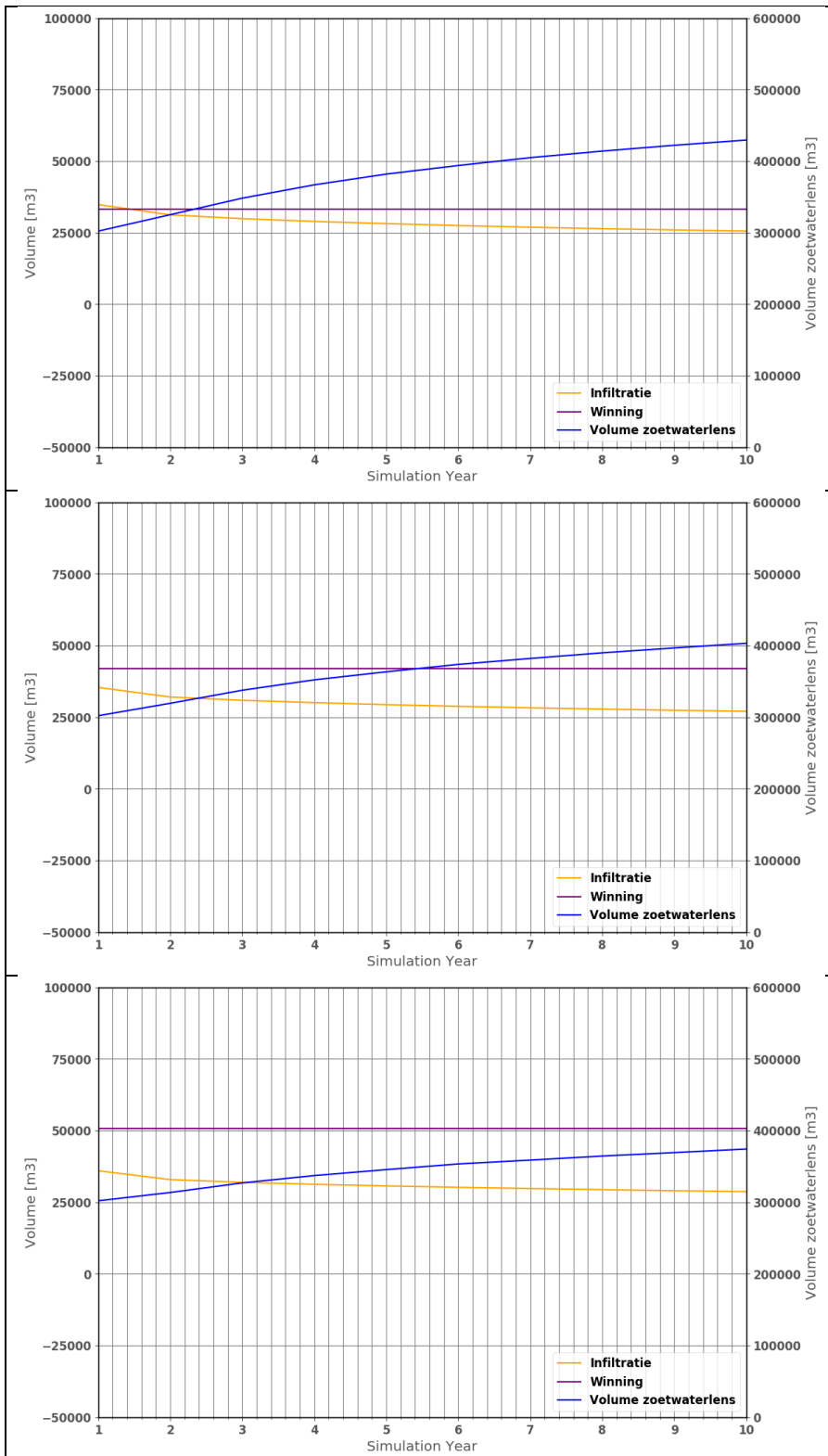
Gedurende de simulatieperiode is te zien dat de totale zoetwatervoorraad toeneemt. Dit is waarneembaar indien het totale oppervlak van de blauwe kleuren (concentratie <math>< 900 \text{ mg Cl/l}</math>) in Figuur 2.46 en Figuur 2.47 met elkaar vergeleken worden.



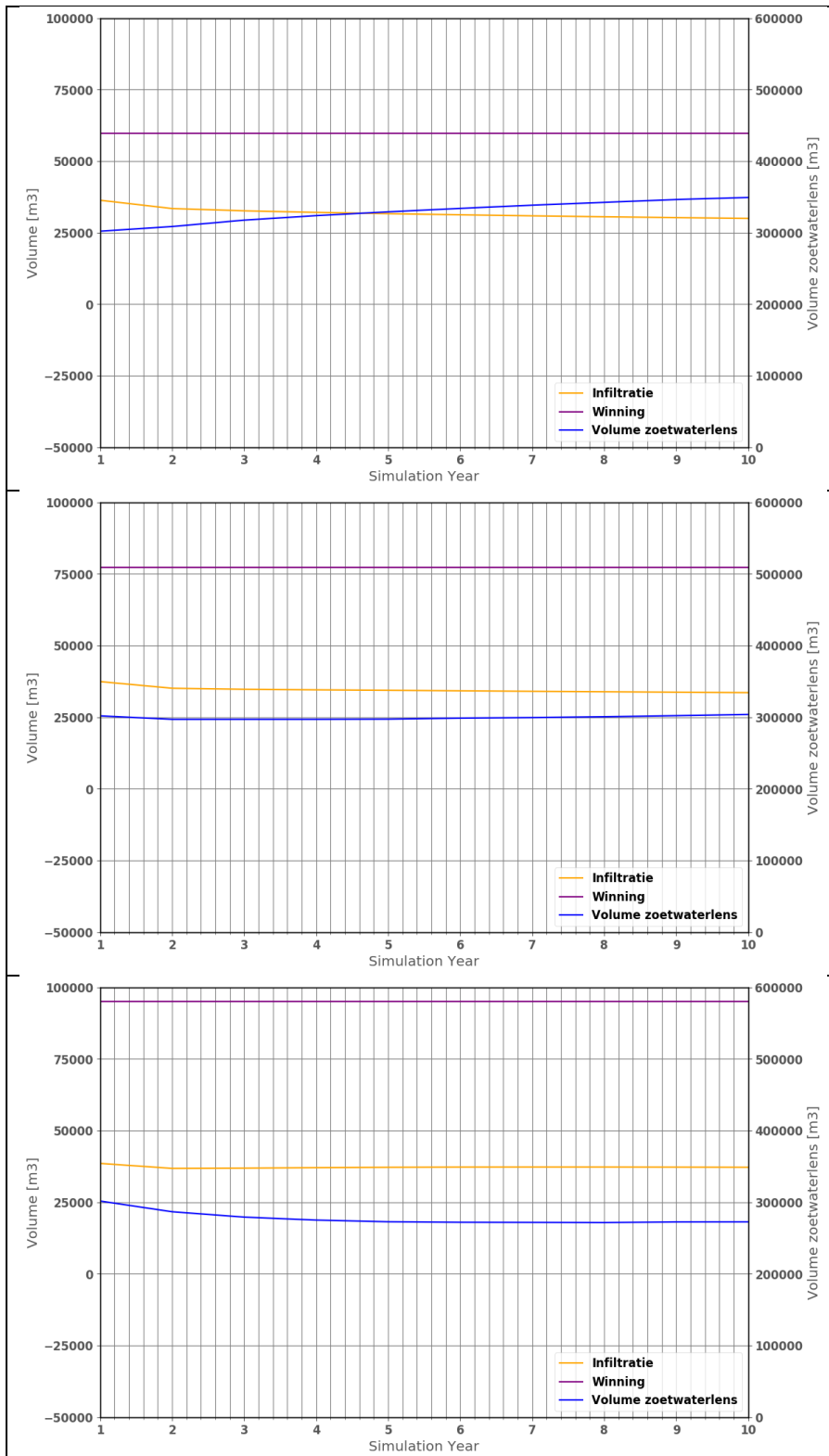
Figuur 2.48 Drainligging en ligging verticaal doorsnede profiel (oranje lijn; $y=100$) voor scenario 1. De blauwe en rode kleur geven de drainklassen aan; rode drains (type b) hebben een ander onttrekkingsdebiet dan de blauwe drains (type a).

2.5.2.4 Beschikbare zoetwatervoorraad

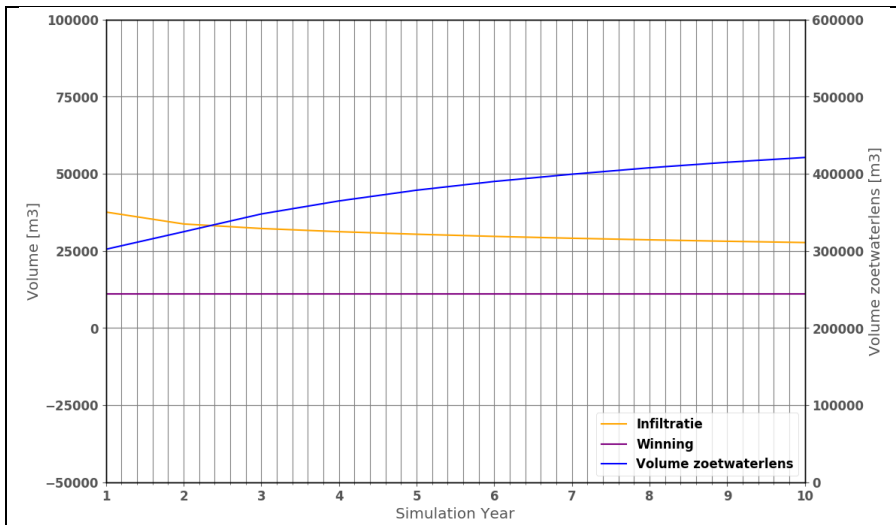
Het totale zoetwatervolume in de kreekrug is bepaald aan de hand van het 1500 mg Cl/l grensvlak. Figuur 2.49, Figuur 2.50 en Figuur 2.51 tonen de verandering in totaal volume van infiltratie, totaal winning volume uit diepdraains en totaal volume zoetwater in de kreekrug voor alle scenario's. De zoetwaterlens groeit gedurende de hele simulatieperiode in scenario 1a, 1b, 1c, 2a en 3. Er vindt een afname plaats van het totale zoetwater volume in scenario 2b en 2c. Een afname is niet wenselijk in het licht van deze studie, aangezien het doel is om de meest optimale onttrekkingssituatie te vinden waarbij het volume van de zoetwaterlens toeneemt of gelijk blijft aan de nul-situatie. Tevens is een kleine afname te zien in het totaal te infiltreren volume per jaar.



Figuur 2.49 Totaal berekend volume van de zoetwaterlens (m^3) per jaar in de kreekrug (blauw), totaal infiltratie volume (geel) en totaal onttrokken volume diepdrains (paars) getoond voor de gehele simulatieperiode van scenario 1a (boven), 1b (midden), 1c (onder).



Figuur 2.50 Totaal berekend volume van de zoetwaterlens (m^3) per jaar (begin-eind) in de kreekrug (blauw), totaal infiltratie volume (geel) en totaal onttrokken volume diepdrains (paars) getoond voor de gehele simulatieperiode van scenario 2a (boven), 2b (midden), 2c (onder).



Figuur 2.51 Totaal berekend volume van de zoetwaterlens (m^3) per jaar (begin-eind) in de kreekrug (blauw), totaal infiltratie volume (geel) en totaal onttrokken volume diepdrains (paars) getoond voor de gehele simulatieperiode van scenario 3.

2.5.3 Discussie en samenvatting modelscenario's

Uit de resultaten van de verschillende scenario's lijkt scenario 1c de meest optimale en tegelijkertijd efficiënte configuratie van de diepdrains, gezien het aantal drains en de hoeveelheid zoet water die onttrokken kan worden. In dit scenario kan bij het plaatsen van 10 diepdrains een debiet van $41.000 m^3$ per jaar gehaald kan worden, waarbij alle 10 drains geen zout water omhoog pompen (chloride concentraties blijven onder $1500 mg Cl/l$). Bij dit onttrekkingsdebiet en met deze hoeveelheid drains kan direct gestart worden met onttrekken, omdat de beschikbare zoetwatervoorraad voldoende volume bevat om niet af te nemen in grootte. Ook bij het plaatsen van 2 diepdrains (scenario 3) is het bij een totaal jaarlijks onttrekkingsdebiet van $16000 m^3$ mogelijk om direct te starten met onttrekken. Dat is twee keer zoveel als in de huidige regelgeving.

De modelresultaten moeten echter met gezonde terughoudendheid worden geïnterpreteerd. Er zijn verschillende redenen waarom de winbare hoeveelheid in het model wordt overschat ten opzichte van de werkelijkheid. Allereerst is uit het referentiescenario gebleken dat de snelheid van de verzoeting (zonder onttrekking) wordt overschat (secties 2.4.2 en 2.4.3). Dit heeft waarschijnlijk te maken met de aanwezigheid van storende lagen in de ondergrond, die niet in het model aanwezig zijn. Mede hierdoor wordt ook de hoeveelheid infiltratie overschat. Een ander aspect is de resolutie van het model. Vanwege de gehanteerde ruimtelijke resolutie (celgrootte van 10 bij 10 m) wordt de opkegeling onder de onttrekkingsbron onderschat (Oude Essink en Pauw, 2018). Verder leidt de temporele resolutie (1 week) tot een relatief laag onttrekkingsdebiet. Ook dit leidt tot een onderschatting van de opkegeling onder de bron. Oude Essink en Pauw (2018) laten verder zien dat na 10 simulatie-jaren de opkegeling in het model nog niet in (dynamisch) evenwicht is; langere simulatietijden zijn dus nodig. Modelkalibratie van het referentiescenario is niet gedaan omdat dit geen onderdeel uitmaakte van het project; de focus lag meer op de monitoring. Om deze reden is ook de ruimtelijke en temporele resolutie van het model niet verder aangepast.

Voor het opschalen van de modelresultaten naar andere gebieden moet naast bovenbeschreven aspecten rekening gehouden worden met ruimtelijke verschillen in bijvoorbeeld doorlatendheid, neerslag en verdamping, waterbeschikbaarheid, het oppervlakte

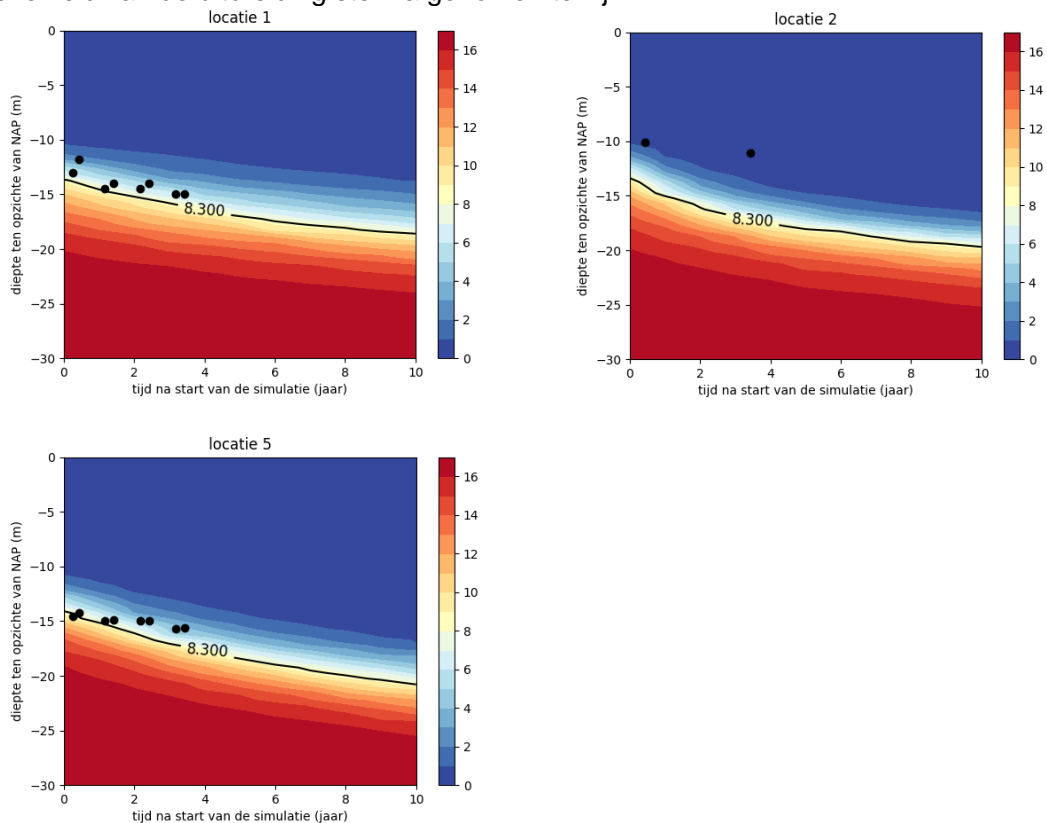
van de infiltratie onder de kreekkrug en de dichtheid van het zoute grondwater. In sectie 7.1 wordt hier verder op ingegaan.

2.6 Discussie, conclusies en aanbevelingen

2.6.1 Groei zoetwaterlens, winningsmogelijkheden en overige kennisvragen

De meetresultaten laten zien dat jaarlijks ongeveer 30.000 m³ zoet water wordt geïnfilteerd. De infiltratie en het opzetten van de peilen zorgen voor een hogere grondwaterstand op de percelen, met name op het centrale deel van de kreekkrug. Het verschil in peilopzet valt af te leiden uit de verschillen tussen de grondwaterstandsmetingen op het hoog gelegen deel van het Kreekkrug Infiltratie Systeem en bij referentielocatie 6 en is in de orde van enkele decimeters. De grondwaterstand op meetlocaties 7 t/m 10, rondom de erven die nabij het KIS gelegen zijn, neemt net zoals op alle andere meetlocaties toe in de winterperiode. Vanwege het afwezig zijn van metingen voorafgaand aan de veldproef kan niet 100% worden vastgesteld hoe groot de toename van de grondwaterstand is ten opzichte van vóór de installatie van het KIS. Op meetlocatie 7 is de hoogste grondwaterstand te vinden. Omdat het tussengelegen meetpunt 1 een lagere grondwaterstand laat zien, bestaat het vermoeden dat de lage doorlatendheid van de sedimenten aan de flank van de kreekkrug zorgt voor deze hoge grondwaterstand.

De verhoogde grondwaterstand zorgt voor een uitbreiding van de zoetwaterlens. In het midden van de kreekkrug laten metingen zien dat de zoetwaterlens daar ruim 3 meter is toegenomen. Op andere meetlocaties is de uitbreiding minder groot. Hoewel de uitbreiding van de zoetwaterlens door lijkt te zetten (zie bijv. Figuur 2.13), lijkt tegelijkertijd ook de snelheid van de uitbreiding sterk afgenomen te zijn.





Figuur 2.52 Modelresultaten van de chlorideconcentratie (in g Cl/l, in kleur) en de gemeten waarden van de diepte van het 8.3 g Cl/l grensvlak met de EM-Slimflex (zwarte stippen). Gelijk aan Figuur 2.32.

De uitbreiding van de zoetwaterlens gaat echter minder snel in het veld dan in het model (Figuur 2.52, herhaling van Figuur 2.32). De overschatting van de dikte van de zoetwaterlens in het model wordt vermoedelijk veroorzaakt door het afwezig zijn van dunne, storende lagen in de geulsedimenten. Deze zijn in het model afwezig. De heterogeniteit is vermoedelijk ook verantwoordelijk voor verschillen in gesimuleerde en gemeten grondwaterstanden en de fluxen.

Het model is gebruikt om te schatten hoeveel grondwater er kan worden gewonnen. Uit de verschillende scenario's blijkt dat er meer zoet water kan worden gewonnen naarmate de winning over meer diepdrains wordt verdeeld. Hoe groter het aantal diepdrains, hoe meer zoet water er kan worden gewonnen. Of een groot aantal diepdrains ook vanuit praktisch oogpunt realistisch is, is hier niet verder onderzocht. Uitgaande van bijvoorbeeld 4 diepdrains op strategische plekken op het perceel, kan op basis van de modellen waarschijnlijk twee keer zoveel water worden onttrokken per jaar (16000 m³) dan de regelgeving voor zoetwaterlensen van meer dan 15 m dik toelaat. Dat komt voor 10 ha neer op 160 mm aan berekening. Omdat het model de dikte van de zoetwaterlens overschat gaat het hier waarschijnlijk om een bovengrens.

De ondernemers van het Kreekrug Infiltratie Systeem zijn in de afgelopen 5 jaar goed bekend geworden met (technische onderdelen van) het systeem. Peilen kunnen naar gelang worden aangepast en de ondernemers zijn tevreden over het systeem. Er zijn echter drie aspecten die in de toekomst nog aandacht vergen om het systeem echt 'bedrijfsklaar' te maken:

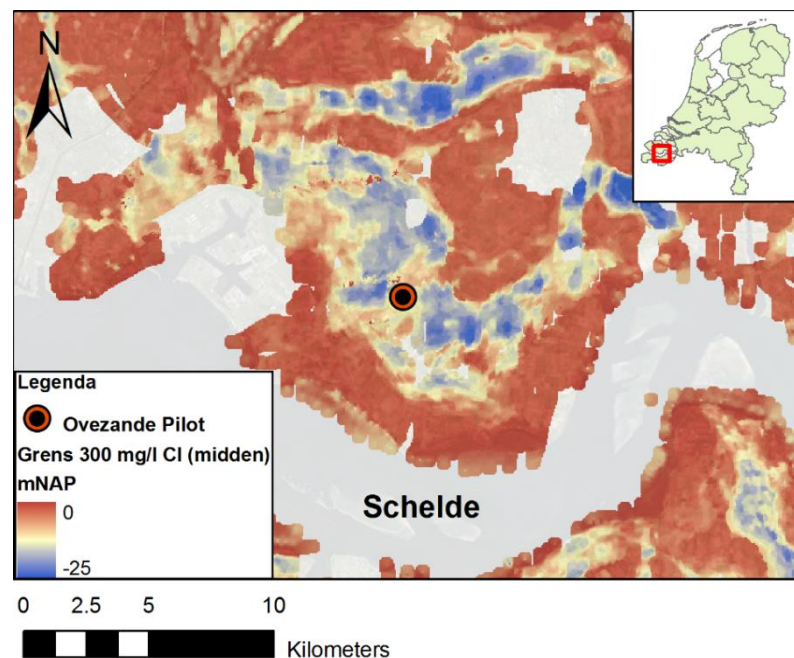
- *Pomp*: Vanwege de vele problemen die zijn geconstateerd moet nagedacht worden over een ander type pomp om het systeem robuuster en minder arbeidsintensief te maken.
- *Metingen van de opkegeling onder de onttrekking en schatting van het nog te winnen volume zoet grondwater*. Vanwege de discrepantie tussen de metingen en het model is continuering van (een aantal type) metingen rondom de onttrekking van belang. Verder moet gewerkt worden aan een methodiek om aan de hand van de metingen een schatting te maken van de hoeveelheid water die duurzaam kan worden onttrokken: een eerste stap op weg naar operationeel zoet grondwaterbeheer.
- *Vergunningverlening*. Op dit moment is een pilotvergunning verleend.

3 Freshmaker

3.1 Inleiding

3.1.1 Locatie

Ovezande is gekozen als locatie voor de Freshmaker veldproef. Zoetwater is gewenst in deze omgeving om droogteschade op de zandige ondergrond te voorkomen, maar is schaars doordat zoetwaterlenzen hier een beperkte dikte hebben (Figuur 3.1). In 2012 is daarom een Freshmaker op het perceel van een fruitteler (peren, appels) in Ovezande geïnstalleerd, welke tussen 2013 en 2017 als veldproef is getest om de zoetwatervoorziening van de tuinder te verbeteren.



Figuur 3.1 Overzicht van het onderzoeksgebied van de Freshmaker. De diepte van het zoet-brak grensvlak (via Grondwatertools.nl) laat goed zien wat de verdeling is van natuurlijke zoetwaterlenzen rondom de pilot-locatie in Ovezande (zwart-rode stip).

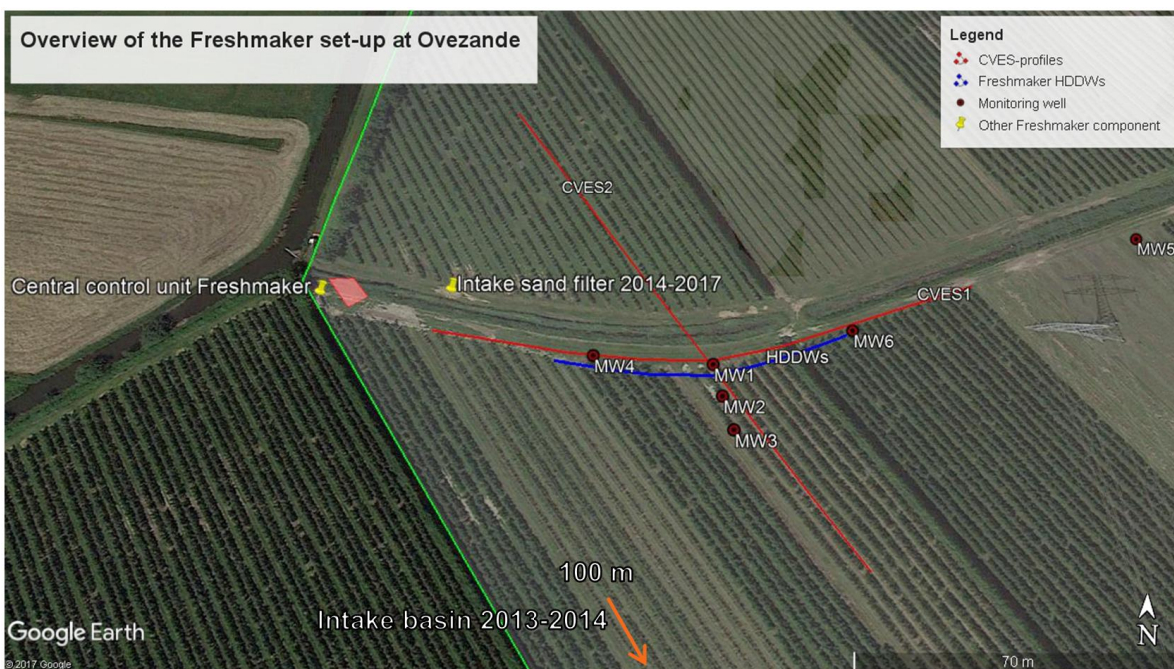
De pilotlocatie ligt op een 5 km-brede zandige kreekrug met het maaiveld tussen de 0.1 en 0.5 m boven NAP. De omliggende lageregelegen klei- en veenafzettingen liggen tussen de 0 en 1.5 m beneden NAP. Als gevolg van deze topografie is er een 9 meter dikke zoetwaterlens te vinden onder de kreekrug te Ovezande, met daaronder een 6 meter dikke mengzone van brak grondwater. Onder deze mengingszone is het grondwater ongeveer even zout als zeewater.

De ondergrond bestaat voornamelijk uit homogeen (middel) fijn zand, met een korrelgrootte van 150 – 200 μm . De bovenste zes meter van deze kreekrug is zeer fijn (kleiig zand en zandige klei). Op een diepte van 30 m beneden NAP is een 2 meter dikke kleilaag te vinden die fungeert als een ondoordringbare laag.

3.1.2 Strategie

De Freshmaker valt binnen het concept van ondergrondse waterberging ('ASR': 'aquifer storage and recovery'), en maakt gebruik van twee horizontale putten (HDDWs: 'horizontal directional drilled wells'). Eén van deze HDDWs wordt geplaatst in een ondiepe zoetwaterlens. Via deze put kan zoetwater worden geïnfilteerd in tijden van overschot, en weer worden teruggewonnen wanneer er een watervraag is. De andere HDDW wordt geplaatst onder de zoetwaterlens om brak-zout grondwater af te vangen, en daarbij de zoetwateropslag te vergroten en de ondiepe HDDW te beschermen tegen verzilting (Figuur 3.3). De Freshmaker vergroot, beschermt en maakt op een duurzame manier gebruik van ondiepe zoetwaterlenzen in kustgebieden door het samenspel van deze twee HDDWs.

De HDDWs van de Freshmaker in Ovezande zijn 70 m lang en zijn geplaatst op een diepte van 7 m en 14 m beneden maaiveld (Figuur 3.3). De horizontale putten liggen daardoor in het fijnzandige pakket, met andere woorden de doelaquifer. De HDDWs zijn gemaakt van HDPE, hebben een diameter van 75 mm, zijn om de 10 cm in vier rijen geperforeerd met 10 mm gaten, en zijn gewikkeld in geo-textiel. In 2017 is door de tuinder een 80 m lange diepdrain ($\varnothing = 125$ mm, omhulling van kokos) op 5 m diepte aangelegd om extra water te kunnen onttrekken en infiltreren.

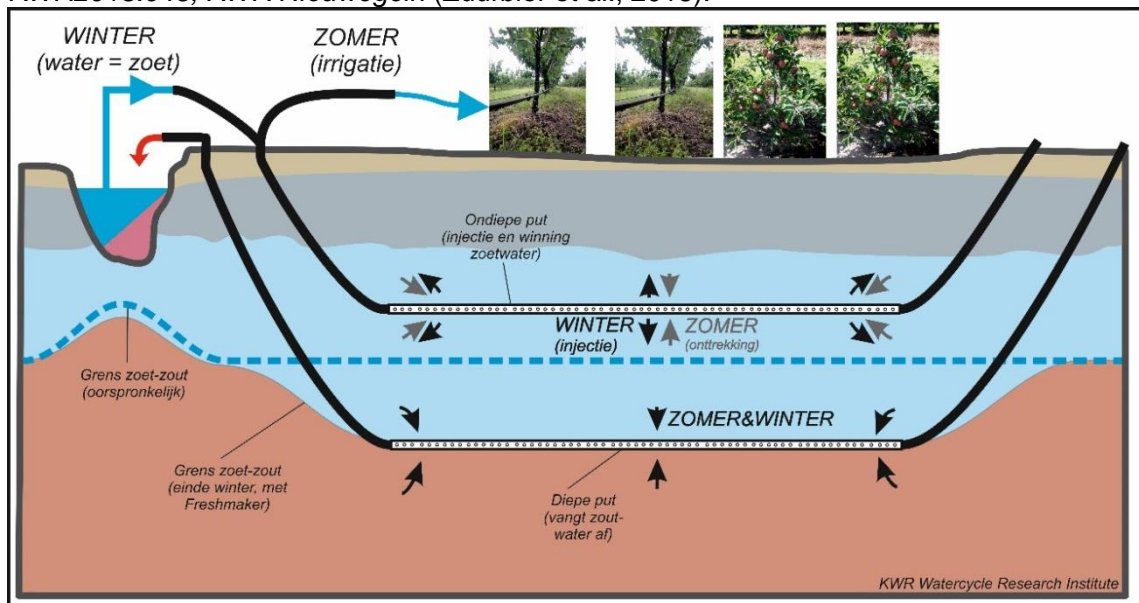


Figuur 3.2 Situatieschets van de Freshmaker in Ovezande.

In 2013 en 2014 is een ~ 4000 m³ bassin gebruikt om de wateroverschotten van een nabijgelegen waterloop gedurende perioden van piekafvoer op te slaan, en zo de potentiële variatie in de beschikbaarheid van water te reduceren. Na voorbehandeling met een 50 μ m-filter werd dit water geïnfilteerd via de ondiepe HDDW. In november 2014 zijn het bassin en het voorbehandelingssysteem vervangen voor een kreekbodem-filtratiesysteem. De bovenlaag van dit filter bleek tussen 2014 en 2018 te snel te verstopen en had daardoor veel onderhoud nodig. Sinds 2018 wordt daarom een zelfreinigend Galileo L filtersysteem (5 μ m) gebruikt en is het kreekbodem-filtratiesysteem verlaten.

Het ondergronds opgeslagen water wordt in tijden van watertekort weer teruggewonnen via de ondiepe HDDW, en wordt in het groeiseizoen gebruikt als irrigatiewater, waarbij de gewenste maximale chloride concentratie gelijk is aan 250 mg Cl⁻/l. De diepe HDDW vangt brak tot zout grondwater af, waardoor de ondiepe HDDW wordt beschermd tegen verzilting. Het afgevangen brak-zout grondwater wordt geloosd op een nabijgelegen waterloop.

De opzet en resultaten van de pilot worden in de volgende secties beknopt toegelicht. Voor een gedetailleerde uitleg van de toepassing van de Freshmaker en de resultaten van de pilot in Ovezande wordt de lezer tevens doorverwezen naar de achtergrondrapportage: *Zuurbier, K.G., Van Dooren, T., Ros, S.E.M., 2018. Resultaten Freshmaker (2014-2017). KWR2018.045, KWR Nieuwegein (Zuurbier et al., 2018).*



Figuur 3.3 W-O dwarsdoorsnede van de Freshmaker in Ovezande.

3.2 Opzet monitoring

3.2.1 Monitoring waterkwantiteit

De volumes van geïnfilteerd en onttrokken zoetwater, en het volume van afgevangen zout grondwater zijn gemeten met mechanische watermeters. Door de afwezigheid van automatische loggers zijn de cumulatieve volumes direct afgelezen van de watermeters.

3.2.2 Monitoring waterkwaliteit

De waterkwaliteit is op verschillende manieren gemonitord om de verdeling en de dynamiek van de zoetwaterlens tijdens het gebruik van de Freshmaker te bepalen.

- Er zijn 6 monitoringsputten geplaatst rondom de HDDWs. De filters van deze monitoringsputten zijn regelmatig bemonsterd en geanalyseerd in het lab.
- Waterkwaliteitsmonsters zijn daarnaast frequent genomen van het infiltratiewater, van het teruggewonnen water, en van het afgevangen zoute grondwater. Ook deze monsters zijn in het lab geanalyseerd.
- Geofysische boorgatmetingen zijn uitgevoerd om de elektrische geleidbaarheid (EC) op drie locaties in de doelaquifer te bepalen en daarmee de variatie in de verticale verdeling van zoet en brak water in kaart te brengen.

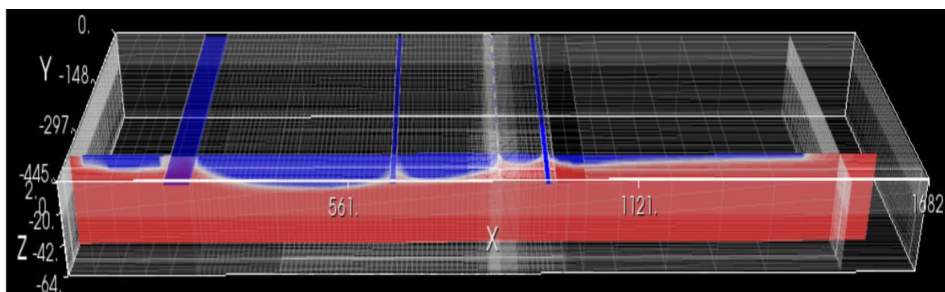
- CVES ('continuous vertical electrical soundings') profielen zijn geconstrueerd om de elektrische weerstand te bepalen en daarmee de variatie in de laterale omvang van de zoetwaterlens in kaart te brengen.

3.2.3 Monitoring hydrologische effecten

De druk, temperatuur, en EC zijn in verschillende monitoringsputten en in de voordrukbus (de 3 m hoge buis ($\varnothing = 400$ mm) die rechtstreeks de druk op de bron zet zodat er infiltratie plaatsvindt) van de ondiepe HDDW gemeten met CTD-divers. De meetfrequentie van de divers is ingesteld op 15 minuten en een barometer is geïnstalleerd om ieder uur te corrigeren voor de luchtdruk. De metingen zijn tevens gevalideerd met handmetingen die gedaan zijn tijdens veldbezoeken. Door op basis van al deze metingen de stijghoogte te bepalen, kunnen hydrologische effecten gevalideerd worden.

3.2.4 Grondwatermodellering

Naast veldmetingen zijn aanvullende gegevens verkregen met een 3D grondwatermodel, gemaakt met SEAWAT (Langevin et al., 2008). Dit model is met veldmetingen gekalibreerd op de waargenomen dynamiek van het zoet-zout grensvlak (Figuur 3.4). Het doel van het model is om te bepalen of de resultaten overeenkomen met de veldmetingen, om de toekomstige prestatie van de Freshmaker te voorspellen, en om de hydrologische effecten op de omgeving nader te bepalen. Diverse scenario's zijn gesimuleerd door de operationele en hydrogeologische parameters te variëren. Hiermee kan het effect van deze factoren op de maximale opslagcapaciteit en op de terugwinefficiëntie bepaald worden, hetgeen belangrijke parameters zijn voor de optimalisatie van de Freshmaker.



Figuur 3.4 Domein en grid van het 3D SEAWAT-grondwatermodel geconstrueerd voor de Freshmaker in Ovezande. De initiële verdeling van de chloride concentratie is ook gegeven (blauw = laag = zoet, rood = hoog = zout).

3.3 Resultaten

3.3.1 Waterkwantiteit

Het volume zoetwater dat over de gehele meetperiode (17 juni 2013 – 6 september 2017) is geïnfiltreerd en teruggewonnen via de ondiepe HDDW, het resulterende netto-volume geïnfiltreerd zoetwater, en het volume brak grondwater dat door de diepe HDDW is afgevangen zijn samengevat in Tabel 3.1.

In de eerste jaren werd het geïnfiltreerde water volledig teruggewonnen. Vanaf najaar 2014 heeft de Freshmaker telkens zoveel mogelijk zoetwater geïnfiltreerd in tijden van overschot, en enkel de benodigde hoeveelheid weer teruggewonnen in perioden van watervraag. In 2017 is bijna al het water wat voorheen geïnfiltreerd is weer teruggewonnen in de droge



lenteperiode (terugwinpercentage > 100%). Gemiddeld is jaarlijks zo'n 5000 m³ zoetwater geïnfiltreerd, en meer dan 4600 m³ weer teruggewonnen via de ondiepe HDDW ('terugwinefficiëntie' = 94 %, zie Tabel 3.1). Deze terugwinefficiëntie is in het geval van de Freshmaker niet 1:1 vergelijkbaar met de terugwinefficiëntie zoals gedefinieerd voor ondergrondse opslag, omdat niet alleen opgeslagen water wordt teruggewonnen, maar ook natuurlijk zoetwater uit de bestaande lens. Door de netto onttrekking van zout grondwater wordt de natuurlijke aanvulling van deze lens versterkt. Dit samenspel moet ervoor zorgen dat de omgeving niet verzilt. Dit is gevalideerd met geofysische metingen en modelberekeningen.

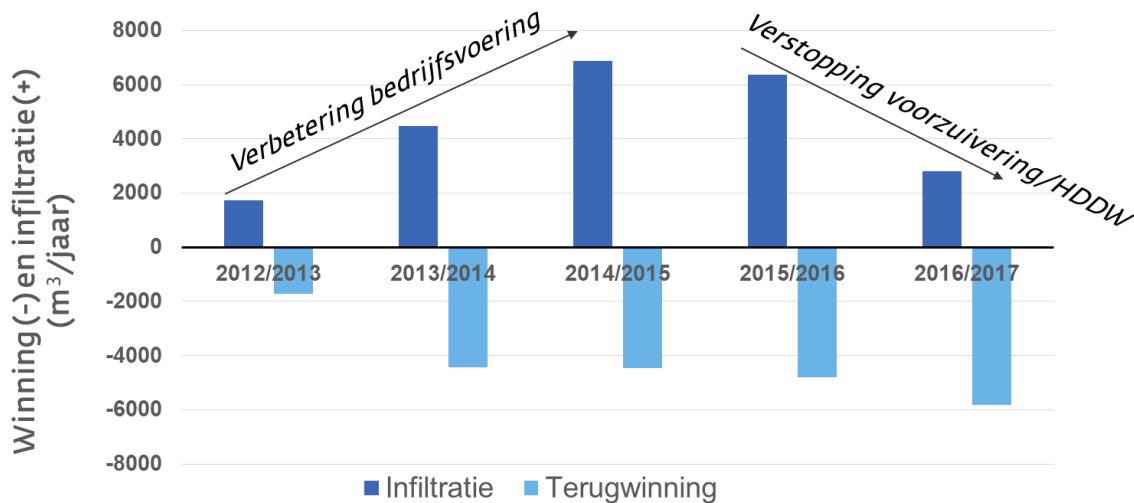
Om de zoetwaterlens te beschermen tegen verzilting is jaarlijks zo'n 10600 m³ brak-zout grondwater afgevangen via de diepe HDDW. Er heeft dus netto een onttrekking (van brak-zout grondwater) plaatsgevonden.

Tabel 3.1 Operationele prestatie van de Freshmaker in Ovezande voor ieder hydrologisch jaar (1 oktober – 31 september) van 2012 tot 2017; zie ook Figuur 3.5. De terugwinefficiëntie (RE) is berekend als percentage van geïnfiltreerd zoetwater dat teruggewonnen is via de ondiepe HDDW.

Hydrologisch jaar	Volume van geïnfiltreerd zoetwater	Volume van teruggewonnen zoetwater	Netto volume van geïnfiltreerd zoetwater	Terugwinefficiëntie (=RE)	Volume van afgevangen brak-zout grondwater
	(m ³) (HDDW1)	(m ³) (HDDW1)	(m ³) (HDDW1)	(%) (HDDW1)	(m ³) (HDDW2)
2012/2013	1728,1	1704	24,1	98,6%	4545,9
2013/2014	4482,6	4425,6	57,0	98,7%	14011,6
2014/2015	6882,6	4458,3	2424,3	64,8%	11065,4
2015/2016	6376,7	4793,4	1583,3	75,2%	12256,2
2016/2017	2801	5818	-3017	207,7%	6714
Totaal (m³)	22271	21199,3	1071,7	95,2%	48593,1
Gemiddeld (m³/jaar)	4938,7	4641,3	297,4	94,0%	10635,3

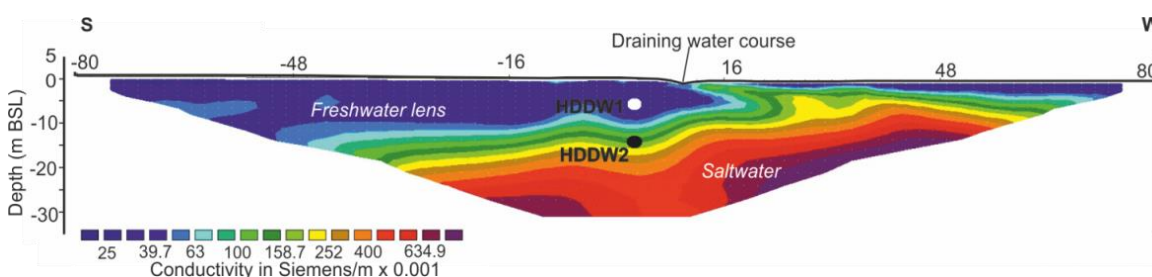
3.3.2 Waterkwaliteit

De verdeling van de zoetwaterlens in het brak-zoute grondwater (Figuur 3.6) en de gemiddelde waterkwaliteit van de zoetwaterlens en van het brak-zoute grondwater (Tabel 3.2) zijn vóór de start van de Freshmaker veldproef geanalyseerd. De EC, en concentraties



van Na, K, Ca, Mg, Cl, en SO₄ zijn bruikbaar voor de karakterisering van beide watertypes. Het brak-zoute grondwater heeft daarnaast een hoge alkaliniteit en hoge Fe en Mn concentraties. De zoetwaterlens is rijk aan As, wat gebruikelijk is voor ondiep grondwater en oppervlaktewater in Nederlandse kustgebieden met jonge mariene sedimenten die rijk zijn aan organisch materiaal. De lage Cl-concentraties ten opzichte van Na in de zoetwaterlens duiden op verzoeting, wat een veelvoorkomend fenomeen is tijdens de formatie van een zoetwaterlens.

Figuur 3.5 Infiltratie en onttrekking 2012-2017.



Figuur 3.6: Continuous vertical electrical soundings (CVES) profiel van vóór de start van de Freshmaker-pilot in Ovezande. De posities van de HDDWs zijn weergegeven in wit (HDDW1 = ondiep) en zwart (HDDW2 = diep). Hoe hoger de elektrische geleidbaarheid, hoe roder de kleur in de figuur, en hoe zouter het grondwater.

De gemiddelde kwaliteit van infiltratiewater is daarnaast ook gemonitord en vergeleken met de legale limieten van concentraties volgens de Nederlandse Waterwet (Tabel 3.2). Hoewel de EC wat hoger is dan de oorspronkelijke EC van de zoetwaterlens, kan het infiltratiewater gezien worden als zoetwater t.o.v. drink- en irrigatiewater standaarden. Dit wordt bevestigd door de lage concentraties Na en Cl. Met uitzondering van As en Zn, blijven de gemiddelde concentraties van alle natuurlijk opgeloste componenten in het infiltratiewater beneden de



legale limieten gesteld tijdens de Freshmaker-pilot. As is van nature aanwezig in de ondergrond (Tabel 3.2). De overschrijding van de legale limiet van As in het infiltratiewater werd daarom niet gezien als bezwaarlijk door onderzoekers en bevoegd gezag. De gemiddelde concentratie van Zn overschrijdt de legale limiet door één enkele, mogelijk foutieve, observatie van 1061 µg/l, maar voldeed doorgaans aan de limiet.

Tabel 3.2 Gemiddelde waterkwaliteit van de zoetwaterlens en het brak-zoute grondwater waargenomen in de verschillende monitoringsputten vóór de start van de Freshmaker-pilot, en van het infiltratie-water gedurende 2013-2017. De legale infiltratie-limiet volgens het Infiltratiebesluit Bodembescherming is ook weergegeven.

Monster-code	Zoetwater- lens	Brak-zoute grondwater	Gemiddelde infiltratie- water	Legale limiet (Infiltratie besluit, 2017)
	(8,2 m -NAP)	(19,2 – 24,4 m -NAP)	(2013-2017)	
EC-25 veldmeting (µS/cm)	1058	38960	1097	-
Temperatuur (°C)	11,2	11,1	10,4	-
pH (veldmeting)	8,1	7,2	8,0	-
DO (mg/l)			7,24	-
Na (mg/l)	187,8	7712,9	88,2	120
K (mg/l)	53,1	400,8	23,3	-
Ca (mg/l)	24,1	622,9	128,6	-
Mg (mg/l)	44,4	1133,4	26,4	-
Fe (mg/l)	0,5	21,0	0,1	-
Mn (mg/l)	0,1	1,1	0,1	-
NH ₄ (mg NH ₄ /l)			0,3	3,2
Cl (mg/l)	72,0	16446,4	108,7	200
SO ₄ (mg SO ₄ /l)	31,8	1959,9	80,0	150
HCO ₃ (mg HCO ₃ /l)	690,3	771,3	470,2	-
NO ₃ (mg N/l)	0,1	1,4	6,8	24,8
PO ₄ -t (mg P/l)	13,4	11,2	0,7	1,25
As (µg/l)	11,9	1,1	13,1	10
Zn (µg/l)	2,5	24,1	73,7	65

Naast de gepresenteerde macrochemische samenstelling, kan infiltratiewater ook pesticiden bevatten die frequent gebruikt worden in de landbouw en daardoor in het oppervlaktewater terecht komen. Om deze reden is twee keer per infiltratieseizoen het infiltratiewater bemonsterd. Eén overschrijding van de legale limiet van pesticiden is waargenomen in april 2016, wat te herleiden is naar de start van het groeiseizoen en de toename van het gebruik van pesticiden. De pesticiden zijn later niet teruggevonden bij een extra analyse van het teruggewonnen water.

Tijdens de terugwinning van opgeslagen water via de ondiepe HDDW is in teruggewonnen water variatie waarneembaar in de EC en in concentraties van componenten die zout grondwater karakteriseren: Cl, Na, HCO₃, en SO₄. Gedurende de terugwinfase van een ASR-cyclus nemen deze concentraties uiteindelijk toe, wat kan worden verklaard doordat de dikte van de zoetwaterlens afneemt tijdens terugwinning van zoetwater, opkegeling tot aan de ondiepe HDDW kan plaatsvinden en steeds meer gemengd brak-zout grondwater wordt (terug)gewonnen.



Ook in het afgevangen brak-zoute grondwater is een seizoensgebonden patroon zichtbaar in de EC en in concentraties van componenten die zout grondwater karakteriseren: Cl, Na, Ca, en SO₄. In de winter, wanneer de ondiepe HDDW zoetwater infiltreert, nemen deze concentraties af omdat de zoetwaterlens zijn maximale grootte aanneemt. In het groeiseizoen nemen de concentraties juist toe, omdat zoetwater wordt teruggewonnen via de ondiepe HDDW en de zoetwaterlens daardoor zijn minimale dikte aanneemt. Het brak-zoute grondwater dat wordt afgevangen door de diepe HDDW is dan minder verdund door infiltratiewater.

3.3.3 Verspreiding zoetwater in de ondergrond

Door de geofysische metingen die gedaan zijn tijdens de Freshmaker-pilot met elkaar te vergelijken, vallen de volgende zaken op bij de EM-boorgatmetingen:

- de transitie van de zoetwaterlens naar het brak-zoute grondwater wordt scherper tijdens infiltratie: de mengingszone wordt ongeveer 1 m dik, terwijl deze ongeveer 4 m dik was vóór het gebruik van de Freshmaker,
- het zoet-zout grensvlak ter plaatse van de HDDWs verlaagt tijdens infiltratie met 1 tot 4 meter,
- tijdens terugwinning beweegt het zoet-zout grensvlak niet terug naar de oorspronkelijke positie, maar blijft 0,5 – 1 m onder de oorspronkelijke positie. Er ontstaat dus netto geen verzilting nabij de HDDWs.

Door CVES-profielen van vóór de Freshmaker-pilot te vergelijken met profielen van tijdens de Freshmaker-pilot, vallen de volgende zaken op:

- een lichte verzilting lijkt te hebben plaatsgevonden in de zoetwaterlens rondom en boven de ondiepe HDDW. Maar de zoetwaterlens is nog steeds zoet en voldoet aan de limiet voor irrigatiewater. Dit wordt veroorzaakt doordat infiltratiewater een iets hogere zoutconcentratie heeft dan het oorspronkelijke water in de zoetwaterlens (Tabel 3.2),
- er lijkt een lichte verzoeting te zijn opgetreden in de mengingszone tussen de HDDWs. Dit blijkt sterker uit de EM-boorgatmetingen dan uit CVES,
- in de diepere ondergrond en de wijdere omgeving zijn niet of nauwelijks veranderingen opgetreden.

3.3.4 Grondwatermodellering

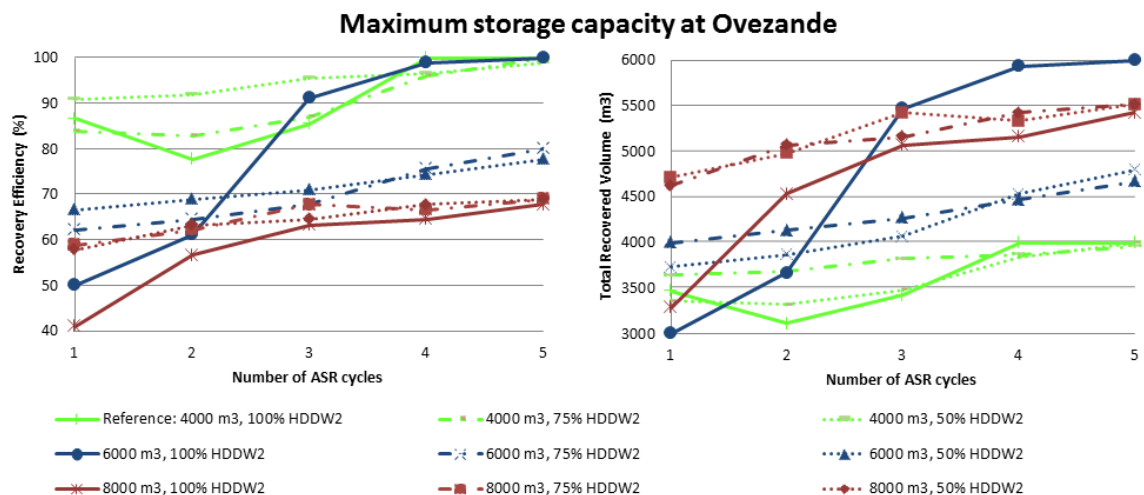
Het 3D SEAWAT model is in staat om de trends rondom de HDDWs te reproduceren. Het model overschat echter de gemeten chlorideconcentratie in de ondiepe zone van de zoetwaterlens, en onderschat deze juist op een grotere diepte. Het ontstaan van een zeer scherpe overgangszone (te zien in boorgatmetingen) werd niet modelmatig gereproduceerd met de gekozen modelopzet. Dit zou veroorzaakt kunnen zijn door numerieke dispersie in de gekozen modelopzet (Zuurbier et al., 2018).

Met behulp van grondwatermodellering is gekeken of het afvangen van brak-zout grondwater geautomatiseerd en geoptimaliseerd kan worden. Een EC van 10 mS/cm is gekozen als minimale waarde waarbij de diepe HDDW brak-zout grondwater moet gaan afvangen met een vast onttrekkingsdebiet. De modelberekening van de huidige situatie schat een RE van 54,8% en 351 ton aan afgevangen zout. De geautomatiseerde Freshmaker resulteert in een RE van 54% en 346,6 ton aan afgevangen chloride. De Freshmaker reduceert de hoeveelheid afgevangen zout maar een klein beetje, wat aangeeft dat de handgestuurde Freshmaker al adequaat functioneerde. Desalniettemin wordt de Freshmaker met het

automatisch afvangen van brak-zout grondwater robuuster door het beperken van handelingen.

Met behulp van het 3D SEAWAT grondwatermodel zijn verschillende scenario's gesimuleerd om de maximale opslagcapaciteit van de Freshmaker in Ovezande te bepalen (Figuur 3.7). Bij een opslagvolume van 6000 m³ blijkt de terugwinefficiëntie na meerdere ASR-cycli op te lopen tot 100%. Bij grotere opslagvolumes neemt de terugwinefficiëntie weer wat af. De optimale opslagcapaciteit kon alleen behaald worden met een afvangdebiet van 44 m³/d, een debiet dat 1.5 maal zo klein is als het terugwindebiet van de ondiepe HDDW tijdens onttrekking. Wanneer het afvangdebiet verder werd verlaagd, resulteerde dit in een lager maximaal terugwinvolume.

Geconcludeerd kan worden dat de gekozen bedrijfsvoering in Ovezande (diepe HDDW onttrok met max. 40 m³/d in de zomer en ca. de helft daarvan in de winter) vanaf het begin af aan tamelijk optimaal was en dat het behaalde winvolume (ca. 6000 m³/jaar zoetwater terugwinnen) het maximale winvolume benaderen.



Figuur 3.7 Maximale opslagcapaciteit van de Freshmaker in Ovezande. Links: het effect van verschillende benodigde opslagvolumes en afvang-debiëten op de terugwinefficiëntie, rechts: het effect van deze variabelen op het totale terugwinvolume.

3.3.5 Hydrologische effecten

De met het SEAWAT model berekende effecten zijn in lijn met de effecten waargenomen via druksensoren op de veldproef. In de omgeving van de HDDWs daalt de stijghoogte in het watervoerend pakket zowel in het model als in de metingen tijdens onttrekking ca. 1 m. De impact op de freatische grondwaterstand blijkt beperkter dan voorspeld door het model, mogelijk door sterkere uitdemping door aanwezigheid van (meer) weerstand in de bovenste meters van de fijne ondergrond en door de druppelberekening van het perceel die het onttrokken water terugvoert richting de fruitbomen, mogelijke meer dan er door de bomen wordt verdampt (niet gemodelleerd).

Een >0.05 m verhoging van de stijghoogte in de doelaquifer is tijdens maximale infiltratie van zoetwater met de ondiepe HDDW beperkt tot een straal van 90 m. Tijdens maximale terugwinning van opgeslagen water via de ondiepe HDDW is de maximale straal waarbinnen de grondwaterstand of stijghoogte wordt verlaagd met >0.05 m zo'n 250 m. Uit deze



resultaten blijkt dat de hydrologische effecten van de Freshmaker op de omgeving beperkt zijn.

3.3.6 Voorbehandeling van infiltratiewater en (onderhoud van) HDDWs

Het kreekbodem-filtratiesysteem is in november 2014 aangelegd om oppervlaktewater beter te behandelen voor infiltratie dan het originele systeem (2013-2014). De resultaten waren nog teleurstellend omdat de toplaag verstopte door de grote aanvoer van vuildeeltjes en de MFI-waardes (MembraanFiltratie-Index⁷) van het behandelde water nog altijd relatief hoog waren. Het kreekbodem-filtratiesysteem is in het voorjaar 2017 daarom verbeterd door grondige reiniging en het aanbrengen van een fijnere laag zand aan de bovenzijde. Omdat verstopping van dit natuurlijke filter bleef optreden, is in januari 2018 gekozen voor een geautomatiseerd, zelfreinigend voorfilter van 5 micron. De geschiktheid hiervan wordt in 2018 nader onderzocht.

De ontwikkeling van robuuste en kosteneffectieve HDDWs met een lange levensduur is daarnaast cruciaal voor de verdere toepassing van de Freshmaker. Allereerst is daarom putverstopping onderzocht en zijn technieken om putverstopping tegen te gaan getest. In de ondiepe HDDW werd een significante biologische groei waargenomen, wat heeft gezorgd voor een sterke reductie in de infiltratiecapaciteit. Deze biologische groei is deels verwijderd door chemische putregeneratie met H₂O₂ en natriumhypochloriet, waarbij uit chemische analyses bleek dat dit vooral reageerde met organische stof. De infiltratiecapaciteit van de ondiepe HDDW werd daardoor deels, maar slechts tijdelijk hersteld. In 2017 is een extra diepdrain op 5 m beneden maaiveld gelegd om voldoende capaciteit te behouden. Een automatische backflush (4x per dag) is daarnaast geïntroduceerd om biogroei tijdens een lange periode van infiltratie tussentijds zo goed mogelijk te verwijderen.

Om de Freshmaker verder te ontwikkelen en verbeteren, zijn in Groede (Zeeuws-Vlaanderen) twee nieuwe en verschillende HDDWs geplaatst, en de prestaties van beide putten met elkaar vergeleken. Eén van deze HDDWs is gemaakt van HDPE en gewikkeld in (nylon) textiel. De andere is gemaakt van PVC met een wikkeldraad filter (CSS Boode, Figuur 3.8). Beide putfilters (ø=75mm) waren beschermd door een geperforeerde HDPE mantelbuis (ø=125 mm). Door beschadiging van het textiel van de HDPE-HDDW, stroomde zand de put in en kon de put niet meer hersteld worden. De CSS Boode HDDW is daarentegen zonder problemen geïnstalleerd en succesvol getest. Het lijkt een robuust, rendabel, en kostenefficiënt alternatief voor de HDDWs in Ovezande. Ook wordt verwacht dat dit filter veel minder verstoppingsgevoelig is dan de textielvariant. Een derde alternatief is de toepassing van roestvrijstalen HDDWs, maar deze zijn duurder dan de combinatie van PVC en HDPE.

⁷ De MembraanFiltratie-Index is ontwikkeld als maat voor de vervuilingspotentie van voedingswater voor omgekeerde-osmose en nanofiltratie-membranen en als maat voor de verstoppingspotentie van water voor infiltratieputten.



Figuur 3.8 De CSS Boode-putfilter (www.boode.com).

3.4 Conclusies

De Freshmaker in Ovezande is actief geweest gedurende 5 cycli van 2013 tot en met 2017. Tijdens deze cycli was de Freshmaker in staat om ongeveer 5000 m³ zoetwater per jaar op te slaan en terug te winnen. Het systeem heeft een ingeschatte maximale opslag- en terugwincapaciteit van ca. 6000 m³, gebaseerd op grondwatermodellering en ervaringen in 2017.

De inrichting en het onderhoud van de HDDWs, en de voorzuivering van infiltratiewater zijn tijdens de veldproef gebleken als de belangrijkste aspecten voor het succes van de Freshmaker. Een robuuster en rendabeler alternatief voor de HDDWs in Ovezande is in Groede ontwikkeld en getest. Putverstopping van de ondiepe HDDW in Ovezande werd veroorzaakt door onvoldoende voorbehandeling (2013-2014) en door met name biologische groei in de put (2013-2017). Putregeneratie werd succesvol toegepast maar de oorspronkelijke capaciteit werd niet meer behaald en de operationele kosten namen erdoor toe.

Verdere automatisering van de Freshmaker met een automatisch besturingssysteem is onderzocht en ontwikkeld om zoetwaterinfiltratie en het afvangen van brak-zout grondwater te vereenvoudigen. De besparing het volume af te vangen zoutwater is in Ovezande waarschijnlijk beperkt. Ook is een automatisch terugspoelcyclus van de ondiepe HDDW gerealiseerd om de ondiepe HDDW tijdens infiltratie regelmatig te reinigen. Voor het succes van kleinschalige infiltratiesystemen is het van belang het effect en het functioneren van dit voorzuiveringssysteem te analyseren

Volgens veldmetingen en grondwatermodellering blijkt dat de hydrologische impact van de Freshmaker op de omgeving beperkt is. Er vertoonde zich een evenwicht of er trad zelfs geleidelijke verzoeting op van het grondwater bij de Freshmaker in Ovezande. Infiltratie van oppervlaktewater vormt een risico voor de waterkwaliteit, voornamelijk door de gewasbeschermingsmiddelen die worden toegepast in het landbouwgebied. Door de infiltratieperiode te beperken tot ca. 15 november – 15 april (winter), kan de potentiële overschrijding van de maximale infiltratieconcentraties waarschijnlijk sterk worden gereduceerd. Nadere analyse hiervan wordt aanbevolen, waarbij met hogere frequentie zowel infiltratie- als grondwater worden bemonsterd.



Voor de beantwoording van de relevante onderzoeksvragen uit sectie 1.4 (p. 4): zie sectie 10.4 Beantwoording relevante onderzoeksvragen, vanaf p. 140.

Onderzoeksvragen vervolg

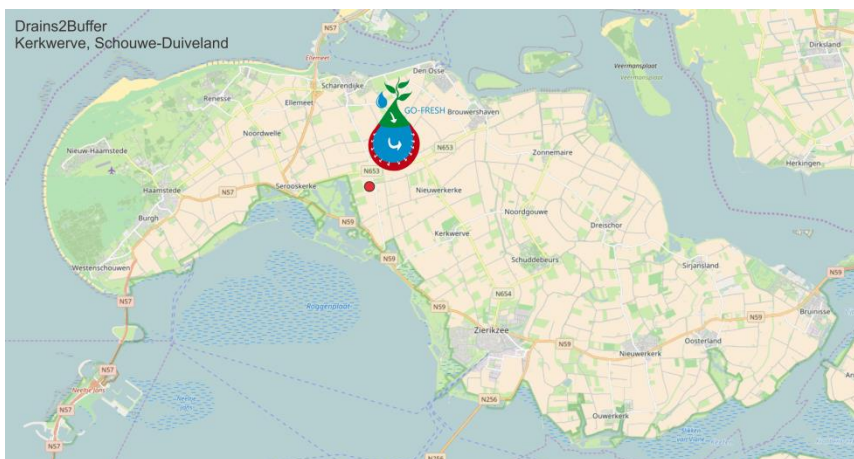
Vervolgonderzoek in het kader van de Freshmaker dient zich op basis van de opgedane inzichten te richten op:

- Het tegengaan van putverstopping door verbeterde voorzuivering van het infiltratiewater met behulp van natuurlijke en technische zuiveringsconcepten. De Galileo filtratie in Ovezande (sinds 2018) is hiervoor een eerste stap en wordt in 2019 uitgebreid met testopstelling met kaarsenfilters en UV-ontsmetting
- Succesvol en kosten-technisch interessant maken van de HDDWs. Ondanks de extra ervaringen opgedaan in Groede, is extra ontwikkeling gewenst om het HDDW-concept betrouwbaar en goedkoper te maken. Dit is mede ingegeven door het feit dat in een deel van Zeeland er een afwezigheid is van goede zandlaag in de bovenste 8 m.
- Integrale beschouwing lozing van brak-zout water uit de Freshmaker op het oppervlaktewatersysteem

4 Drains2Buffer

4.1 Inleiding

De maatregel Drains2Buffer is bedoeld om dunne regenwaterlenzen in zoute kwelgebieden te vergroten zodat het zoutgehalte in de wortelzone wordt verkleind. De veldproef Drains2Buffer is uitgevoerd door Deltares en Acacia op het perceel van de familie Van den Hoek, te Kerkwerve, Schouwe-Duiveland. In 2013 is de maatregel geïmplementeerd. Op dit perceel heeft Deltares reeds in de periode 2009-2013 uitgebreid onderzoek gedaan naar dunne regenwaterlenzen op een perceel met zoute kwel in het kader van een promotieonderzoek (De Louw, 2013; De Louw et al., 2015, 2013, 2011; Oude Essink et al., 2009). De 2.5 jaar lange nul-meting en de welwillende medewerking en interesse van de eigenaar waren de belangrijkste redenen om op dit perceel de Drains2Buffer-veldproef uit te voeren. Dit ondanks het bekende feit dat het ondiep voorkomen van ongerijpte klei de werking van Drains2Buffer mogelijk zou bemoeilijken.



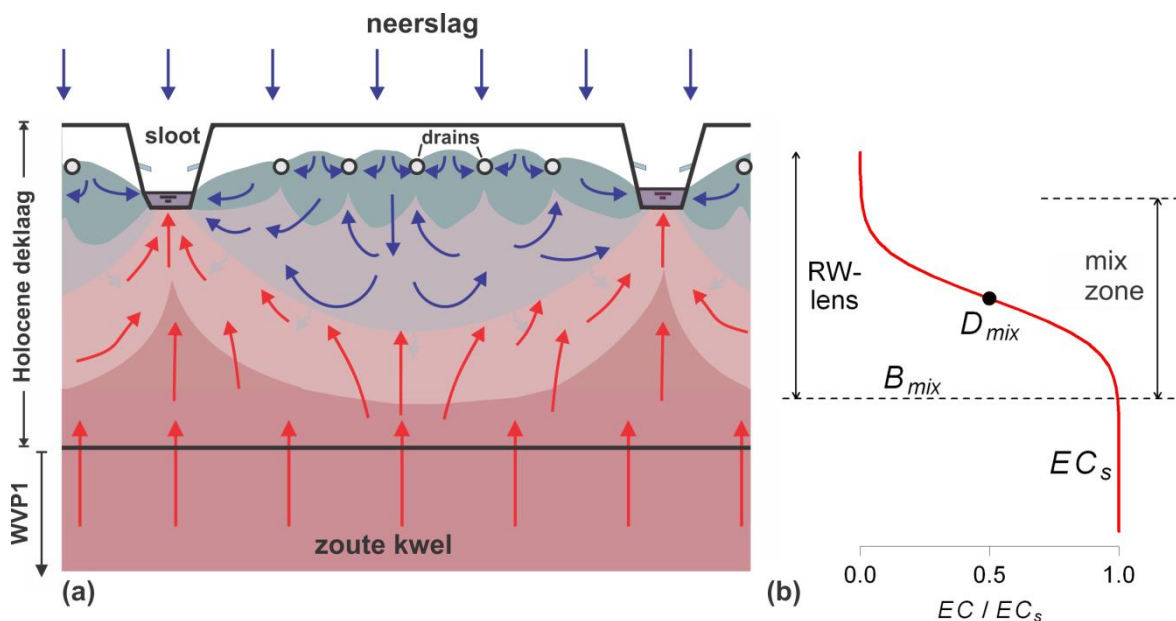
Figuur 4.1 Locatie van de veldproef Drains2Buffer.

In deze sectie 4.1.1 wordt eerst ingegaan op de systeemwerking van ondiepe regenwaterlenzen in zoute kwelgebieden, waarna de Drains2Buffer maatregel wordt besproken en een kaart van Zeeland met voorkeursgebieden voor Drains2Buffer wordt gepresenteerd. In sectie 4.2 wordt de meetcampagne besproken, in 4.3 meetresultaten en in 4.4 de belangrijkste conclusie- en discussiepunten.

4.1.1 Regenwaterlenzen in zoute kwelgebieden

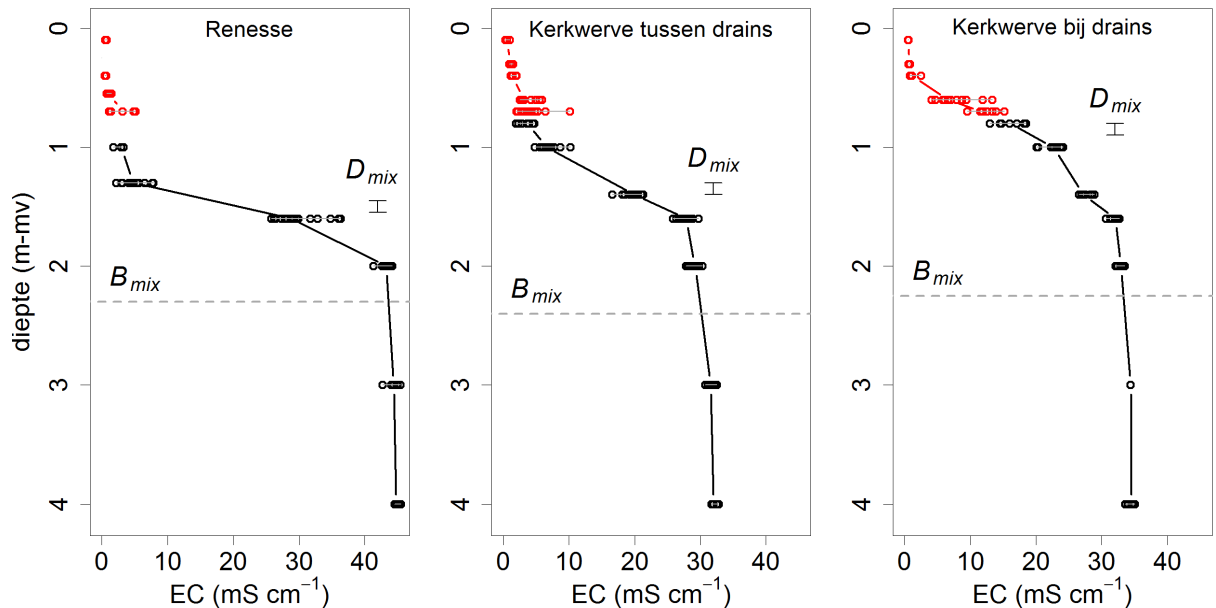
Eerst wordt ingegaan op de karakteristieken van de regenwaterlens onder een landbouwperceel met zoute kwel om de werking van de maatregel Drains2Buffer beter te kunnen begrijpen. Uitgebreid veldonderzoek in Zeeland (De Louw, 2013; De Louw et al., 2011) heeft aangetoond dat regenwaterlenzen in zoute kwelgebieden erg dun zijn (< 2 m) en zoet grondwater in veel gevallen ontbreekt. Figuur 4.2 en Figuur 4.3 tonen de belangrijkste karakteristieken van deze dunne regenwaterlenzen op basis van TEC-prikstok metingen. Een TEC-prikstok wordt handmatig de bodem in gedrukt zodat op elke gewenste diepte (maximale bereik is 4 m) de geleidbaarheid van de bodem en grondwater kan worden gemeten. De prikstok is alleen toepasbaar in zachte bodems zoals klei en veen en beneden de grondwaterspiegel. De veldmetingen laten een geleidelijke overgangszone in zoutgehaltes

(mix- of mengzone) zien tussen geïnfiltreerd regenwater en opwaarts stromend zout kwelwater. Het midden van deze mengzone wordt D_{mix} genoemd en zit op een zeer geringe diepte, gemiddeld 1.7 m beneden maaiveld (Figuur 4.2b). In bijna alle onderzochte regenwaterlensen in de zoute kwelgebieden van Zeeland werd geen zoet grondwater aangetroffen (zoet = Cl < 300 mg/l). Op basis van deze metingen is de dunne regenwaterlens gedefinieerd als het volledige grondwaterlichaam van grondwaterstand tot aan de basis van de mengzone (B_{mix} , Figuur 4.2). Met deze definitie is de regenwaterlens dus geen pure zoetwaterlens en variëren zoutgehaltes binnen de regenwaterlens zowel in ruimte, diepte, als in tijd. B_{mix} werd op een gemiddelde diepte van 2.8 m beneden maaiveld aangetroffen.



Figuur 4.2 (a) Schematische weergave van een regenwaterlens zoals ze voorkomen in de zoute kwelgebieden. (b) Profiel van het zoutgehalte van het grondwater met de diepte. D_{mix} is het midden van de mengzone waar het zoutgehalte (EC) de helft van het zoutgehalte van het kwelwater (EC_s) is. B_{mix} is de basis van de mengzone waar het zoutgehalte gelijk is aan dat van het zoute kwelwater (EC_s) (uit: De Louw, 2013; De Louw et al., 2013).

De permanente opwaartse stroming van zout kwelwater belemmert de infiltratie van regenwater naar het diepere grondwatersysteem. Grondwateraanvulling, kwelflux en drainagediepte zijn de belangrijkste factoren die de karakteristieken van de regenwaterlens bepalen. Ondanks de dynamische processen in de ondiepe ondergrond door neerslag en verdamping is het zoutprofiel van de regenwaterlens vrij constant in de tijd. De positie van de mengzone verandert nauwelijks in de tijd (< 25 cm, zie Figuur 4.3). Het zoutgehalte van het drainagewater is veel dynamischer en verandert continu door het samenspel van neerslag, verdamping en afvoer van grondwater uit de regenwaterlens. Het zoutgehalte in de wortelzone kan behoorlijk oplopen door capillaire opstijging van het bovenste water uit de regenwaterlens dat bij dalende grondwaterstand steeds zouter wordt (zie Figuur 4.3).

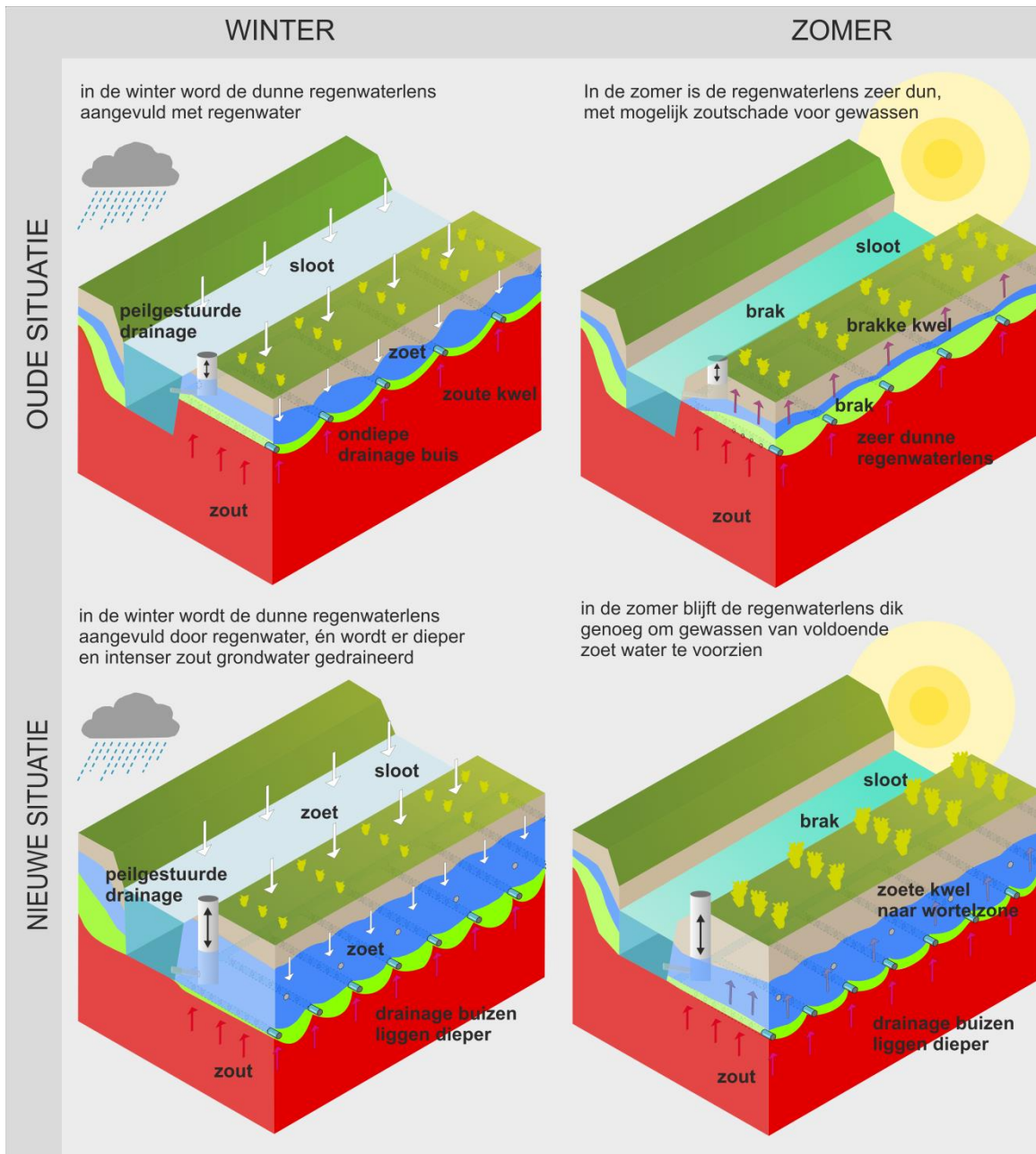


Figuur 4.3 Gemeten EC-profielen in de tijd voor zowel de verzadigde zone (zwart) als de onverzadigde zone (rood) voor twee landbouwpercelen nabij Renesse en Kerkwerpe (het D2B-perceel). De stippen op een bepaalde diepte geven alle maandelijkse metingen weer voor een periode van 2 jaar, de getrokken lijn geeft de mediane waarde aan. Tevens is de positie en jaarlijkse variatie van D_{mix} voor de tweejarige meetperiode weergegeven (uit: De Louw et al., 2015).

Regenwaterlenzen zijn door hun ondiepe ligging erg kwetsbaar zijn voor klimaatverandering, waarbij drogere zomers en nattere winters worden voorspeld (Klein Tank et al., 2015). Het extra winterwater wordt effectief door het intensieve drainagesysteem afgevoerd en draagt niet bij aan de voeding van de regenwaterlens, terwijl in de zomer de hogere verdamping tot krimpings van de lens leidt. Hierdoor nemen zoutgehaltes in de regenwaterlens toe, met als gevolg een toename van zoutgehaltes in het bodemwater in de wortelzone gedurende het zomerhalfjaar. Daarnaast zal voor landbouwpercelen die nabij de Zeeuwse kust liggen (< 1 km van zee) de verwachte zeespiegelstijging leiden tot een toename van de zoute kwel, waardoor de regenwaterlens verder onder druk komen te staan (Van Baaren et al., 2016). Voor deze kwetsbare gebieden is Drains2Buffer een maatregel die voorkomt dat zoutgehaltes in de wortelzone te hoog worden.

4.1.2 De maatregel Drains2Buffer

Bij Drains2Buffer wordt regelbare drainage toegepast waarbij de drains dieper liggen dan traditioneel maar het drainagepeil gehandhaafd blijft via een regelbaar systeem (dus er wordt niet intensiever gedraineerd), zie Figuur 4.4. Tijdens regenbuien wordt daarmee dieper en zouter grondwater afgevoerd waardoor de lens kan groeien naar een nieuw evenwicht. Een vuistregel is dat de regenwaterlens kan groeien met het aantal centimeters dat de drainage wordt verdiept (De Louw e.a., 2015). D_{mix} wordt door deze maatregel verlaagd wat leidt tot lagere zoutgehaltes van het bovenste grondwater waardoor minder zout grondwater via capillaire opstijging in de zomer de wortelzone kan bereiken. Het belangrijkste doel is dan ook om het zoutgehalte in de wortelzone te verlagen door het vergroten van de regenwaterlens.

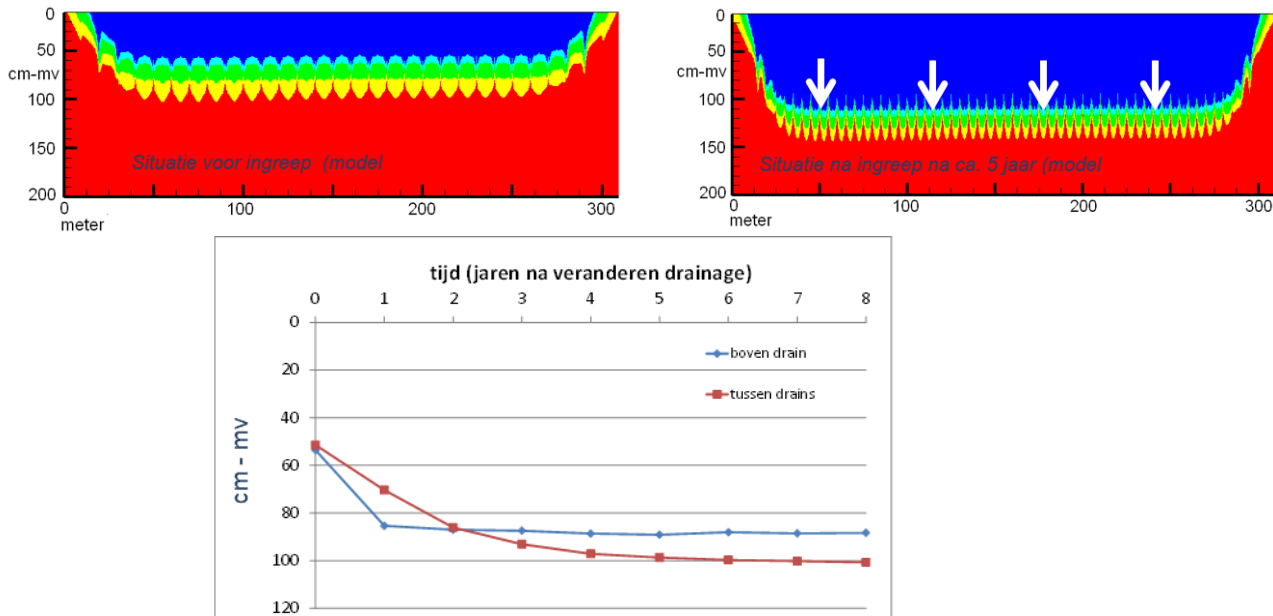


Figuur 4.4 Conceptuele schets van de werking van de maatregel Drains2Buffer.

4.1.3 Modelonderzoek werking Drains2Buffer

Modelberekeningen tonen aan dat het dieper leggen van drains met een gelijkblijvend drainageniveau (D2B-concept), de regenwaterlens significant kunnen vergroten. Figuur 4.5 laat het modelresultaat zien van een traditionele drainagesituatie en van de situatie met diepere drainage volgens het D2B-concept (uit Oude Essink et al., 2014). De regenwaterlens wordt ongeveer zoveel dikker als de drainage dieper komt te liggen. Volgens de modelberekeningen is de regenwaterlens binnen 4 tot 5 jaren in evenwicht met de nieuwe drainagesituatie. Hierbij dient te worden opgemerkt dat met het model homogene en ideale omstandigheden representeert, de werkelijkheid zal weerbarstiger zijn.

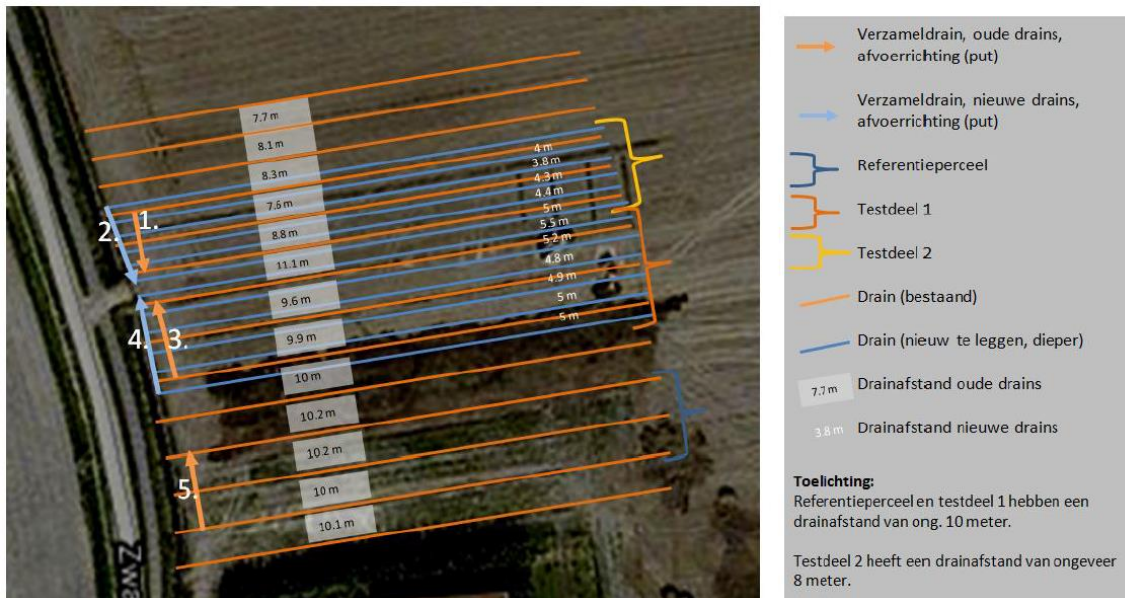
Ook De Louw et al. (2011) tonen met modelberekeningen aan dat de regenwaterlens groeit met ongeveer het aantal decimeters dat de drains dieper komen te liggen. Aanvullend laten veldmetingen zien dat het midden van de mengzone (D_{mix}) meestal rond het drainageniveau wordt aangetroffen.



Figuur 4.5 Modelresultaten (uit Oude Essink et al., 2014) van een situatie met traditionele drainage en het D2B-concept (boven) en de verandering van de diepte van de regenwaterlens in de tijd na uitvoering van de D2B-maatregel.

4.2 Opzet veldproef en monitoring

In 2013 is de nieuwe drainage in de veldproef aangelegd volgens onderstaand ontwerp. Er zijn één referentiestrook (traditionele drainage) en twee teststroken met diepere regelbare drainage aangelegd (zie Figuur 4.6). De nieuwe, diepere drains zijn op een onderlinge afstand gelegd van ongeveer 4-5 m en op een diepte van ongeveer 1.2-1.3 m beneden maaiveld. Er is voor een kortere drainageafstand gekozen dan bij de bestaand traditionele drainage (8-10 m) omdat de nieuwe drains in de ongerijpte klei zouden komen te liggen. Door de ongerijpte klei zouden de nieuwe drains mogelijk minder goed werken en is de drainageafstand gehalveerd. Omdat op voorhand niet bekend was hoe goed deze nieuwe drains zouden gaan werken, is ervoor gekozen om de oude drains te laten liggen om wateroverlast te voorkomen. In de twee teststroken zijn zowel de nieuwe, diepere drainage en de bestaande drainagebuizen regelbaar gemaakt door ze aan elkaar te koppelen en te laten uitkomen in een regelput. In totaal zijn er vier regelputten aangelegd, twee voor teststrook 1 (traditioneel en nieuw) en twee voor teststrook 2. De situatie van de twee teststroken is redelijk vergelijkbaar met elkaar, met een klein verschil in de drainageafstand van de traditionele en nieuwe drainage (zie Figuur 4.6).



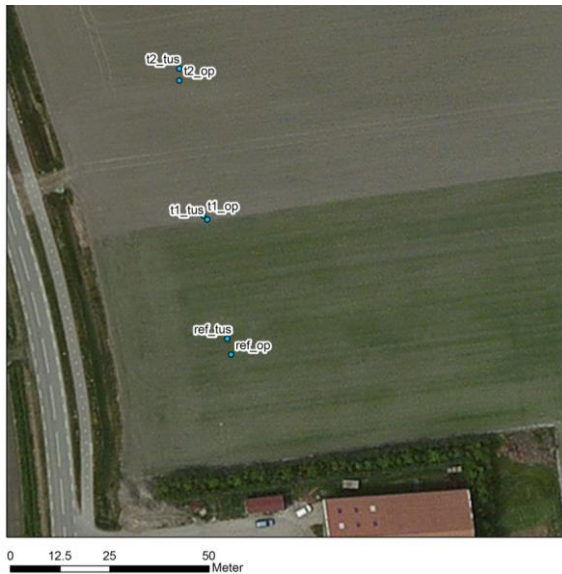
Figuur 4.6 Drainageontwerp veldproef Drains2Buffer te Kerkwerpe. Karakteristieke drainagesystemen: a. Oude drainage: afstand 8-10 m en diepte 0.6-0.9 m beneden maaiveld, b. Nieuwe drainage: afstand 4-5 m, diepte 1.2-1.3 m beneden maaiveld, en drainagepeil op 0.6-0.9 m beneden maaiveld.

Doel van de monitoring is aantonen wat de effecten zijn van de maatregel Drains2Buffer op de dikte van de regenwaterlens en de grondwaterstand. Alle metingen worden zowel op beide teststroken uitgevoerd als op het referentieperceel. Het meetnet dat in 2013 is ingericht bestaat uit de volgende onderdelen, de verschillende meetmethoden worden verder in dit hoofdstuk nader toegelicht:

- Neerslag (meetfrequentie ieder uur met tipping bucket regenmeter)
- Grondwaterstand (meetfrequentie ieder uur met Divers, subsectie 4.3.2)
- 1D zoutprofiel (incidenteel met TEC-probe, subsectie 4.3.3)
- 1D zoutprofiel (incidenteel met Trime, subsectie 4.3.4)
- 1D zoutprofiel bovenste 1.5 meter (meetfrequentie ieder uur met ResProbe, subsectie 4.3.5)
- 2D zoutprofiel (incidenteel met CVES, subsectie 4.3.6)

Na de eerste fase van monitoring, gerapporteerd in (Oude Essink et al., 2014) is besloten om de monitoring verder uit te breiden om de eventuele effecten beter in beeld te kunnen brengen. De uitbreiding heeft plaatsgevonden op 10 en 23 februari 2016 en betreft de volgende onderdelen:

- 1D zoutprofiel grondwater (incidenteel d.m.v. bemonstering minifilters op 5 verschillende dieptes).
- EC van drainagewater teststroken (meetfrequentie ieder uur met CTD-Diver).
- Regelbaar drainagepeil in regelput teststroken (meetfrequentie ieder uur met CTD-Diver).
- Afvoer traditionele en nieuwe drainage voor teststroken (incidenteel handmatig).
- Zoutconcentratie onverzadigde zone (incidenteel lab-analyse van bodemonsters met de Saturated Paste methode).



Figuur 4.7 Ligging van de meetpunten.

De incidentele metingen zijn vanaf februari 2016 halfjaarlijkse uitgevoerd met uitzondering van de CVES-metingen die alleen aan het begin en het einde van de monitoringcampagne zijn uitgevoerd. Uit eerder onderzoek is gebleken dat veranderingen van het grensvlak tussen de regenwaterlens en zoute kwel langzaam gaan en nauwelijks seizoensinvloeden kent. Halfjaarlijkse metingen aan dit zoutprofiel zijn dan ook voldoende om de ontwikkeling van de regenwaterlens te volgen. De continue ResProbe-metingen zijn uitgevoerd om eventuele hoofdfrequente veranderingen in het zoutprofiel te kunnen vangen. Grondwaterstand, regelbaar drainagepeil en zoutgehalte drainagewater zijn veel dynamischer in tijd en worden automatisch ieder uur gemeten.

In Figuur 4.7 staan de meetlocaties van de verschillende meetmethoden weergegeven. De metingen zijn uitgevoerd op de 2 teststroken en het referentieperceel. De grondwaterstand en 1D-zoutprofielen zijn allen gemeten op dezelfde locatie op een strookje grond van ongeveer 2x3 meter dat niet bewerkt werd en waar gedurende de meetperiode gras groeide. De grondwaterstand, de ResProbe en de Trime-metingen zijn gemeten voor zowel tussen 2 nieuwe drains als boven een nieuwe drain. De overige incidentele 1D-zout profielen zijn alleen gemeten voor een locatie tussen 2 drains.

Hieronder worden kort de meetmethoden toegelicht.

Grondwaterstand

De grondwaterstand is gemeten in peilbuis met een filter op 0.5 tot 1.5 m beneden maaiveld uitgerust met een automatische drukopnemer (Diver) met een meetfrequentie van 1 uur.



Figuur 4.8 Installatie van de peilbuizen op 2 mei 2013. De regelputten zijn zichtbaar en regenmeter zijn zichtbaar op de foto rechtsonder.

Drainagepeil, zoutgehalte en afvoer drainagewater

Sinds februari 2016 wordt het drainagepeil in de regelputten met een meetfrequentie van 1 uur automatisch gemeten met een CTD-diver. Deze CTD-diver meet tevens het zoutgehalte van de drainageafvoer. De afvoer van de drainage is halfjaarlijks handmatig gemeten. Dit is gedaan door het drainagepeil in de regelput te verlagen en vervolgens de stijging van waterpeil te meten na verhoging van het drainagepeil.

1D-Zoutprofielen: Bodemonsters

Enmalig zijn voor de twee teststroken en het referentieperceel voor elke 10 cm bodemonsters genomen tot 1.6 m diepte (voor de locatie tussen de drains) waarvan het zoutgehalte (zowel verzadigde als onverzadigde monsters) en korrelgrootte-verdeling in het lab zijn bepaald. De korrelgrootteanalyse is uitgevoerd met de laser diffractie methode (Malvern 2000s) op onbehandelde monsters. Van de bodemonsters is met behulp van Macro-rhizons het vocht in het lab onttrokken en het zoutgehalte bepaald. Voor de onverzadigde monsters was dit niet direct mogelijk en is een aangepaste Saturated Paste methode toegepast, zie Bijlage D, p. 157.

1D-Zoutprofielen: Minifilters

In februari 2016 zijn minifilters (lengte 20 cm) geplaatst voor de 2 teststroken en het referentieperceel (locatie tussen de drains) op de volgende dieptes: 60-80 cm, 80-110 cm, 100-120 cm, 120-140 cm, 140-160 cm. De minifilters (peilbuis met diameter 25 mm en 20 cm filterlengte) zijn allen in een individueel boorgat geplaatst om preferente stroming tussen de filters uit te sluiten. Er is gebruikt gemaakt van peilbuizen met voor-omstorte bentoniet-



pluggen die net in het geboorde boorgat passen om randstroming langs de peilbuis te voorkomen. Halfjaarlijks zijn de minifilters bemonsterd en is de EC ervan in het veld bepaald. Voor bemonstering werden de minifilters eerst in zijn geheel leeggepompt en het duurde ongeveer 2-4 uur voordat voldoende water was toegestroomd om een monster te nemen. Van het grondwatermonster is de EC bepaald.

1D-Zoutprofielen: TEC-probe

Vanaf februari 2016 zijn voor de twee teststroken en het referentieperceel (locatie tussen de drains) halfjaarlijks prikstokmetingen gedaan met de TEC-probe. Met behulp van de prikstok kan in het veld goed het verloop van het zoutgehalte grondwater met de diepte worden gemeten. De prikstok kan alleen worden toegepast beneden de grondwaterspiegel, in kleiige en venige bodems omdat de prikstok anders niet de bodem in kan worden gedrukt. Tot een diepte van 2.0 m (het traject waar we veranderingen van het zoutprofiel verwachten) is met de TEC-probe voor elke 10 cm beneden de grondwaterspiegel een meting verricht.

De TEC-probe meet de gezamenlijke elektrische geleidbaarheid (EC) van de bodem en het water. Om het zoutgehalte van het grondwater te verkrijgen zou nog gecorrigeerd moeten worden voor de grondsoort (met de zogenaamde formatiefactor). Dit is echter niet gedaan omdat het hier om veranderingen in de tijd gaat en een nauwkeurige correctie niet mogelijk is door de heterogeniteit van de bodem en onbekendheid van de exacte formatiefactor. Met de EC-metingen van de monsters uit de minifilters wordt informatie over de werkelijke EC van het grondwater verkregen. De TEC-prikstokmetingen zijn vooral bedoeld voor veranderingen van het zoutprofiel in de tijd.

Tijdens het laatste veldbezoek in februari 2018 zijn tevens prikstokmetingen uitgevoerd op de locaties, waar tijdens het onderzoek van De Louw (De Louw, 2013; De Louw et al., 2011) prikstokmetingen zijn uitgevoerd die de referentiesituatie vóór uitvoering van de maatregel representeren.

1D-Zoutprofielen: Trime

Toegangsbuizen voor een Time Domain Reflectometer (TDR, Trime, Duitsland) zijn geïnstalleerd in de proefvelden (T1, T2) en het referentieperceel (T3), zowel op de drain als tussen de drains. De Trime meet bodemvochtgehalte, temperatuur en de geleidbaarheid van het bodemvocht in de bodem met 10 cm intervallen tot een diepte van maximaal 2 m. Acht metingen zijn verricht tussen 17 oktober 2013 en 2 februari 2018.

1D-Zoutprofielen: ResProbe

De ResProbe (Resistivity Probe) is aan de Vrije Universiteit Amsterdam voor dit project ontwikkeld om gedetailleerd continue veranderingen in de geleidbaarheid in de bodem, zowel in de onverzadigde als de verzadigde zone, te kunnen meten op een bepaald punt. Het ging hier om een prototype dat in veldomstandigheden getest werd. De sonde bestaat uit een PVC buis waarin over een lengte van 1.5 m om de 5 cm roestvrijstalen ringen zijn geplaatst. Deze sondes zijn op 22 mei 2013 met een guts in de bodem geplaatst, waarbij ervoor gezorgd is dat de ringen goed contact houden met de omliggende bodem. Via een aansturingsmodule kan elke opeenvolgende set van ringen in serie geplaatst worden met een vaste weerstand. Door op de combinatie van ring en weerstand een wisselspanning te zetten, kan de weerstand van de bodem tussen twee ringen bepaald worden. De metingen worden geregistreerd door een datalogger (CR1000, Campbell Scientific, Verenigde Staten) met een interval van 30 minuten. In totaal zijn drie ResProbes geplaatst. ResProbes T1 en T2 werden in proefveld 2 elk midden tussen twee drains geplaatst. ResProbe T3 stond in het referentieperceel midden tussen twee drains. Voor deze opstelling was gekozen omdat

veranderingen in de zoetwaterlens het grootst zouden moeten zijn midden tussen de drains. Metingen werden verricht tot 2 februari 2018.

Om vergelijking met de Continuous Vertical Electrical Sounding (CVES) metingen mogelijk te maken werden ook metingen gedaan op elke set van vier ringen (1-4, 5-8, etc.) op de sonde met de Terrameter (SAS 4000, ABEM, Zweden).



Figuur 4.9 Installatie van de ResProbes op 22 mei 2013

2D zoutprofiel: Continuous Vertical Electrical Sounding (CVES)

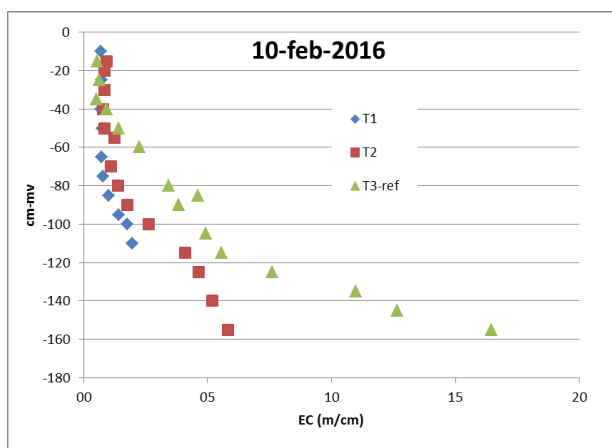
De Continuous Vertical Electrical Sounding (CVES) methode wordt gebruikt om een ruimtelijk 2D beeld te krijgen van de weerstanden van verschillende lagen in de ondergrond. Op twee elektroden wordt een spanning gezet, wat een elektrisch veld opwekt in de bodem. Met twee andere elektroden wordt dan de elektrische weerstand van de bodem gemeten. Naarmate de afstand tussen de meetelektroden groter wordt, geeft het resulterende signaal de elektrische weerstand op grotere diepte weer. Het ruimtelijk beeld van de elektrische weerstand geeft informatie over veranderingen in de zoet-zoutverdeling in de ondergrond. De CVES metingen werden verricht met een SAS-4000 Terrameter met Lund Imaging System (Abem, Zweden). De onderlinge afstand tussen de 64 elektrodes van het systeem werd op 0.5 m gesteld, wat resulteerde in een meetdiepte van ongeveer 7 m en voldoende resolutie om een gedetailleerd profiel van de ondergrond te verkrijgen. Er werd een profiel met een lengte van 78 m gemeten.

4.3 Meetresultaten

4.3.1 1D-Zoutprofielen: Bodemonsters

De bodemonsters zijn genomen op 10 februari 2016. De resultaten van de korrelgrootte analyse staat weergegeven in Bijlage E Resultaten korrelgrootteanalyse, p. 159. In Figuur 4.10 staan de resultaten van de bepaling van het zoutgehalte van water in zowel de verzadigde als onverzadigde bodem. Op 10 februari 2016 stond de grondwaterstand op ongeveer 60 cm beneden maaiveld. Voor de drie locaties is het bodemvocht voor de bovenste 50 cm lager dan 2 mS/cm en daarmee is voor deze 3 locaties de wortelzone zoet te noemen. Echter, uit eerder onderzoek (De Louw, 2013) is gebleken dat op dit perceel op korte afstand van zoete wortelzones, ook (sterk)verhoogde zoutgehalten in de wortelzone voorkomen, tot EC-waarden van 15 mS/cm (zie Bijlage H). De ruimtelijke variatie van zoutgehalten in de wortelzone is groot in het perceel. Volgens De Louw (2013) is dit gerelateerd aan het voorkomen van macroporiën (scheuren) en de wisselwerking tussen macroporiën en capillaire poriën (infiltratie van zoetwater via scheuren en capillaire opstijging van zout grondwater via de kleinste poriën).

Voor het diepere traject, dieper dan 50 cm beneden maaiveld, is een duidelijk verschil tussen het referentieperceel en de twee testpercelen (T1 en T2). Voor het referentieperceel T3 begint het zoutgehalte vanaf deze diepte op te lopen waarbij op 1.6 m beneden maaiveld een waarde van 16.5 mS/cm wordt gevonden. Voor T1 en T2 begint het zoutgehalte pas dieper dan 90 cm beneden maaiveld op te lopen en heeft het op 1.6 m beneden maaiveld nog geen hoge waarde bereikt (zie Figuur 4.10).



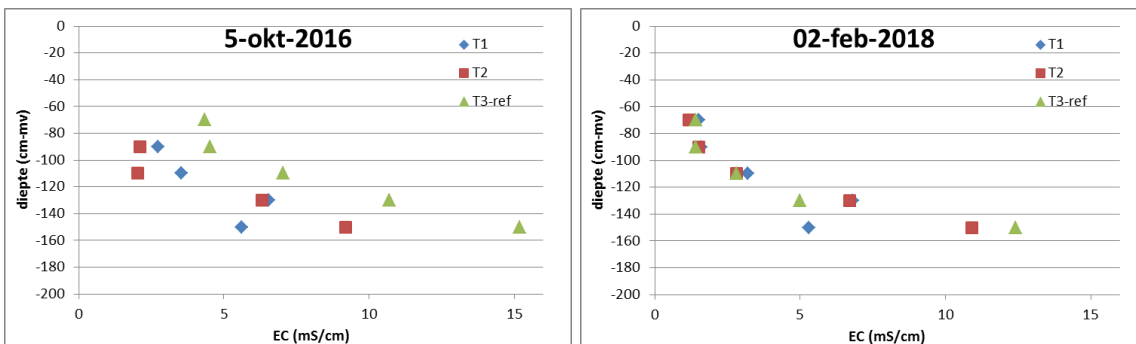
Figuur 4.10 De EC van het bodem- en grondwater bepaald in het lab uit de bodemonsters (10 februari 2016).

4.3.2 1D-Zoutprofielen: Minifilters

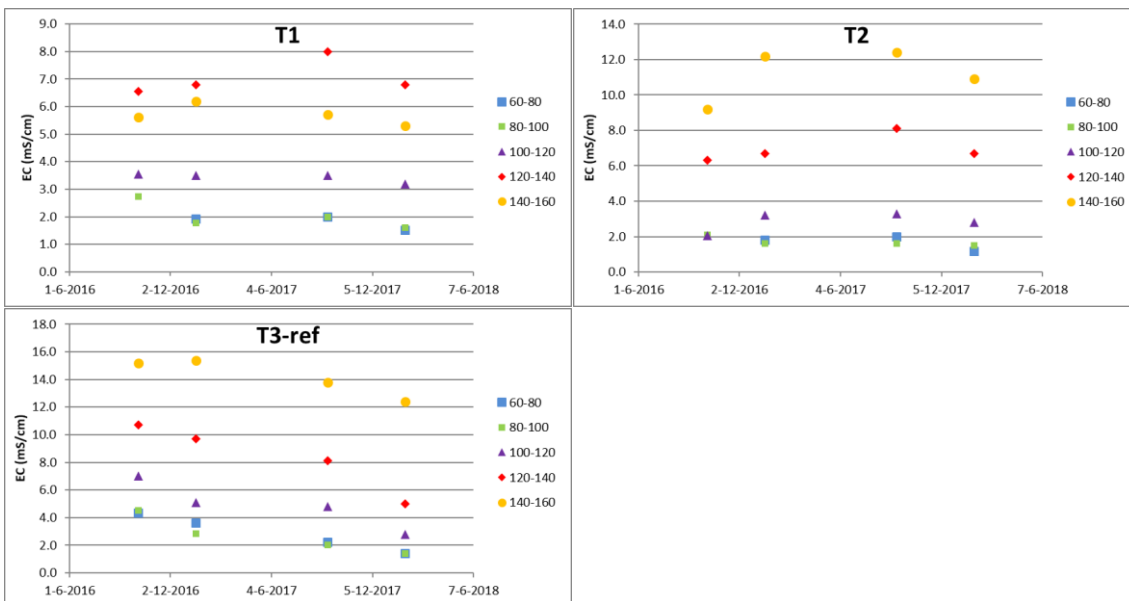
Alle minifilters geven goed water na afpompen; alleen het minifilter op 160-180 cm beneden maaiveld stroomt nauwelijks toe. Dit geldt voor alle drie de locaties. Dit is het dieptetraject waar ongerijpte, slappe klei wordt aangetroffen met een duidelijk lagere doorlatendheid dan de rest van het bodemprofiel.

In Figuur 4.11 zijn de resultaten van de minifilter sampling weergegeven, afgenomen op 5 oktober 2016 en op 2 februari 2018. De meting op 10 februari 2016, enkele uren na plaatsing van de minifilters worden niet representatief geacht. De metingen op 5 oktober 2016 komen

goed overeen met de zoutgehalten verkregen uit de bodemonsters (vergelijk met Figuur 4.10) Op 5 oktober 2016 lag de overgangszone van regenwaterlens naar zout kwelwater voor het referentieperceel (T3) circa 20 cm ondieper dan voor de teststroken T1 en T2 en daarmee heeft T3 een duidelijk dünnere regenwaterlens dan T1 en T2. Echter, tijdens de laatste meting op 2 februari 2018 vertonen alle drie de locaties een vergelijkbaar zoutprofiel. De tijdreeksen van de zoutgehalten (Figuur 4.12) laten inderdaad voor T3 voor alle dieptes een duidelijke verzoeting zien terwijl voor dit referentieperceel geen Drains2Buffer maatregelen zijn uitgevoerd.



Figuur 4.11 Het zoutgehalte van het grondwater uit de minifilters voor de twee teststroken (T1 en T2) en het referentieperceel (T3) voor 5 oktober 2016 en 2 februari 2018



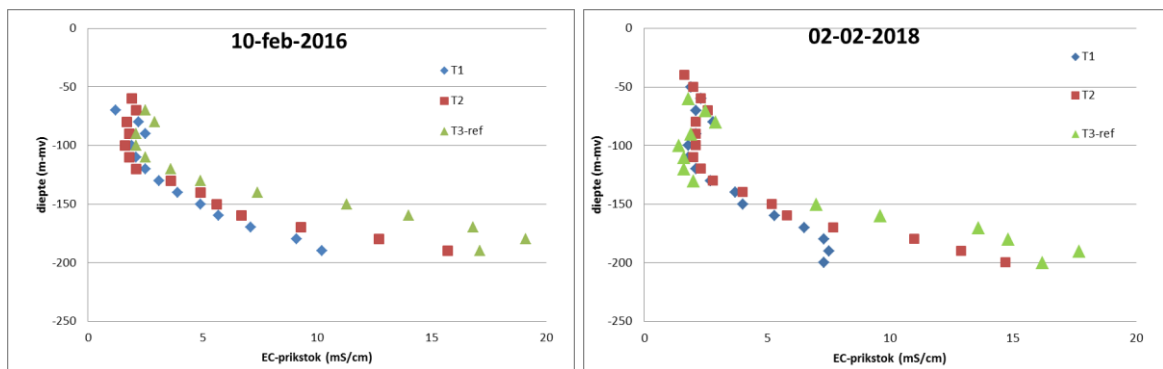
Figuur 4.12 De verandering in de tijd van het zoutgehalte van het grondwater uit de minifilters voor de twee teststroken (T1 en T2) en het referentieperceel (T3).

4.3.3 1D-Zoutprofielen: TEC-probe

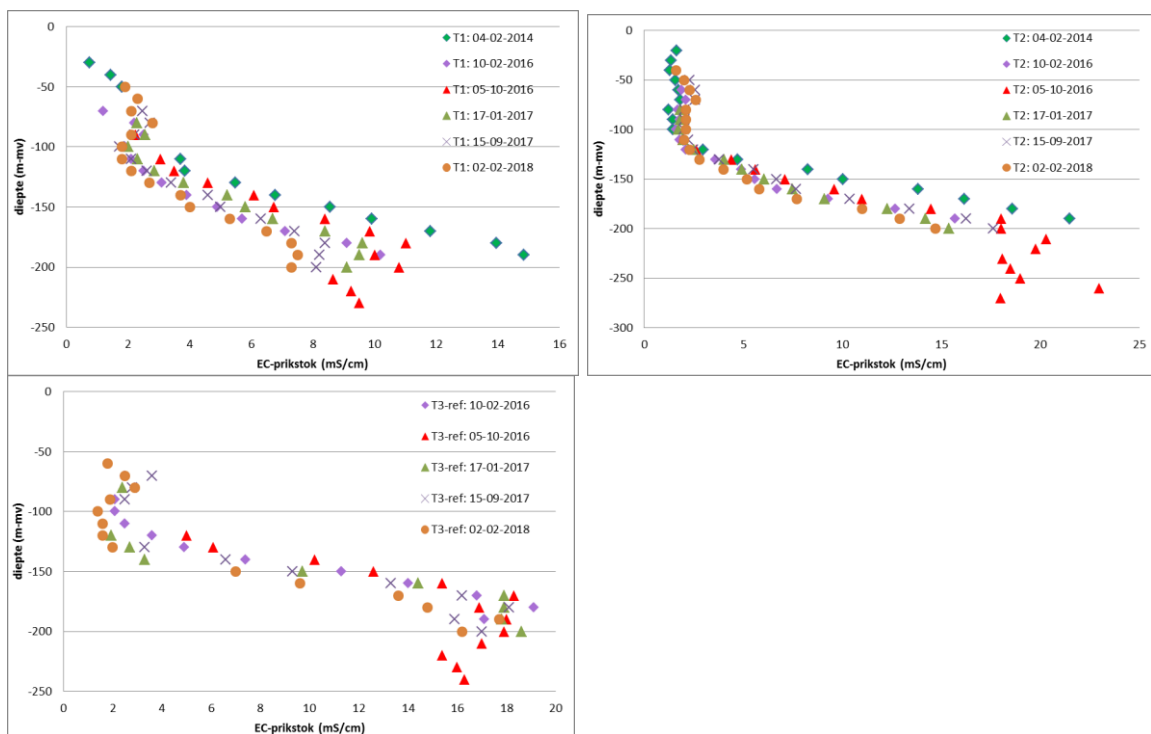
Voor dezelfde locaties en tijdstippen als de minifilter-bemonstering is uitgevoerd, zijn ook de prikstokmetingen uitgevoerd. Hoewel bij bemonstering van de minifilters steeds exact dezelfde locatie en diepte wordt bemeaten, is dit bij de prikstokmetingen niet mogelijk omdat er steeds een nieuw gat moet worden geprikt. Binnen het meetstrookje (de prikstokmetingen zijn uitgevoerd waar ook de minifilters, peilbuizen, ResProbes en Trime-buizen staan) is steeds een andere locatie uitgekozen voor de prikstokmeting. Variaties in de meetwaarden kunnen dus ook worden veroorzaakt door verandering van prikstoklocaties (iets ander zoutprofiel,

opbouw maar ook iets andere maaiveldhoogte), hoewel deze locaties nooit verder dan 1.5 m uit elkaar lagen.

In Figuur 4.13 staan voor februari 2016 en 2018 het EC-prikstok-profiel weergegeven. Er is duidelijk te zien dat voor T3 (referentieperceel) een zouter profiel is gemeten in 2016 (conform minifilters en zoutgehalte obv bodemmonsters). Voor T3 laat de laatste meting in 2018 een duidelijk zoeter zien dan 2016. Dit is ook in Figuur 4.14 te zien. Voor T1 en T2 zijn ook prikstok-profielen beschikbaar voor februari 2014. Deze 2014-profielen zijn duidelijk zouter dan de metingen in de periode 2016-2018. Tussen 2014 en 2016-2018 lijkt er dus ook voor de teststroken T1 en T2 een duidelijk verzoeting te hebben plaatsgevonden.



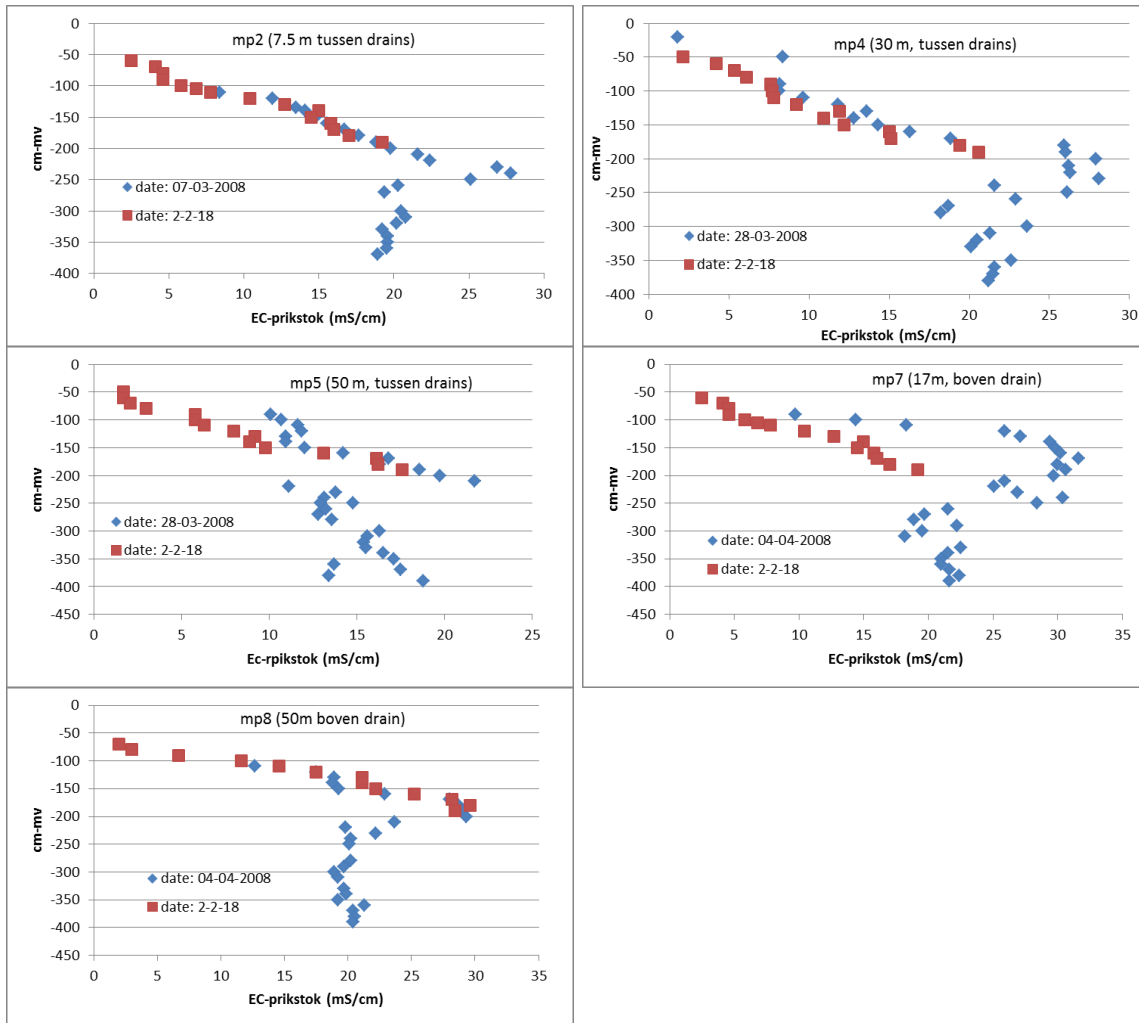
Figuur 4.13 Het EC-diepte profiel gemeten met de prikstok voor de twee teststroken (T1 en T2) en het referentieperceel (T3) voor 10 februari 2016 en 2 februari 2018



Figuur 4.14 Het EC-diepte profiel (prikstok-EC voor de twee teststroken (T1 en T2) voor zes verschillende momenten.

Naast bovenstaande metingen op locaties T1, T2 en T3, zijn tijdens de laatste meetronde ook metingen gedaan op de voormalige meetlocaties tijdens het onderzoek van De Louw (2013).

Deze meetlocaties liggen in teststrook 1 en zouden dus beïnvloed moeten zijn door de nieuwe drainage. De locaties zijn met GPS opgezocht en deze zijn met een nauwkeurigheid van ~1 tot 3 m bepaald. De prikstokmetingen uit 2008 en 2018 staan weergegeven in de onderstaande profielen.

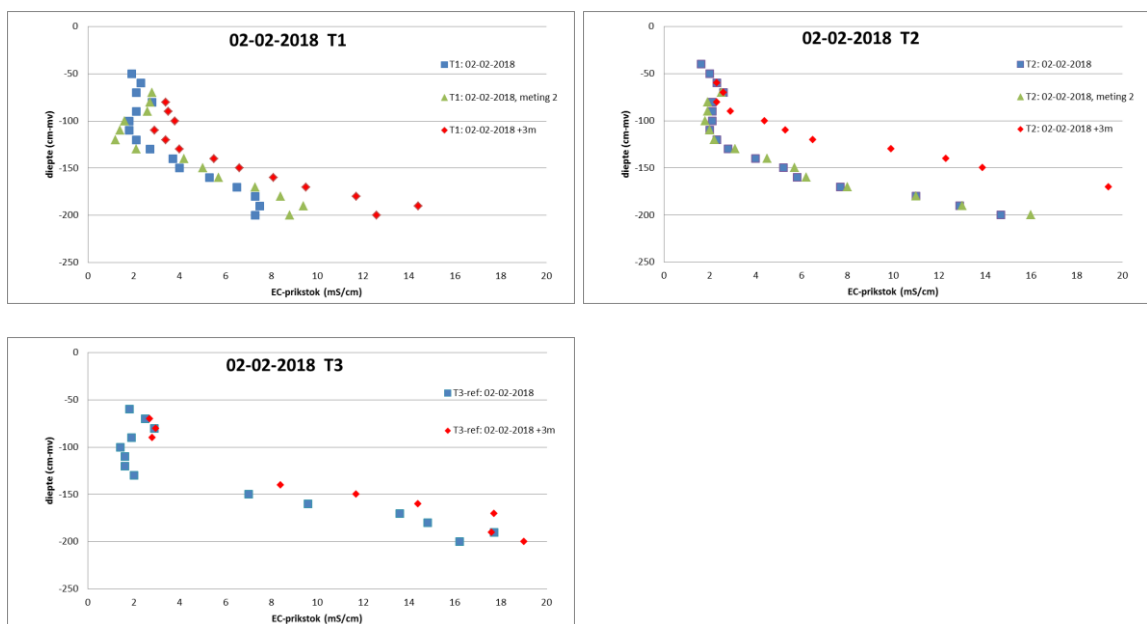


Figuur 4.15 Het EC-diepte profielen (prikstok-EC) voor 2008 (traditionele drainage) en 2018 (Drains2Buffer) op de voormalige meetpunt-locaties uit het onderzoek van De Louw (2013).

Voor de meetpunten mp2 en mp8 lijkt dat er geen verzoeting als gevolg van Drains2Buffer heeft aangetroffen. Voor meetpunten mp5 en mp7 is in 2018 een duidelijker zoeter profiel dan in 2008 gemeten, voor mp4 lijkt de regenlens 10 cm dikker te zijn geworden. Deze metingen laten zien dat verzoeting als gevolg van Drains2Buffer niet overal optreedt.

Tijdens het uitvoeren van de bovenstaande TEC-probe metingen op de laatste veld dag op 2 februari 2018, werd geconstateerd dat de metingen op de voormalige meetlocaties (zie Figuur 4.15) significant zouter zijn dan op de GO-FRESH-meetlocaties T1, T2 en T3 (zie Figuur 4.16). Als gevolg van deze constatering zijn ter controle extra metingen uitgevoerd in de directe omgeving van T1, T2 en T3, maar net buiten de meetplotjes (op 3 m afstand). Op deze meetplotjes met een afmeting van ongeveer 3 bij 2 m staan alle meetpunten (peilbuizen, ResProbe, Trime) en zijn de halfjaarlijkse prikstometingen uitgevoerd. De meetplotjes zijn begroeid met gras, worden al meer dan 4 jaar niet bewerkt en zijn omgeven door een greppel waar vaak (regen)water staat.

De metingen buiten het meetplotje laten voor alle drie de locaties een duidelijk zouter profiel zien dan de metingen op het meetplotje, waar ter controle ook nog een extra prikstokmeting is uitgevoerd (op locatie T1 en T2). Deze extra metingen tonen aan dat er significante verzoeting heeft plaatsgevonden op het meetplotje ten opzichte van het gebied net buiten het meetplotje en wat dus niet is toe te schrijven aan de Drains2Buffer-maatregel maar aan de lokale omstandigheden op het meetplotje. Ook de gemeten verzoeting die heeft plaatsgevonden op het meetplotje van het referentieperceel (perceel waar geen D2B is toegepast) toont aan deze verzoeting niet gerelateerd is aan de D2B-maatregel. D

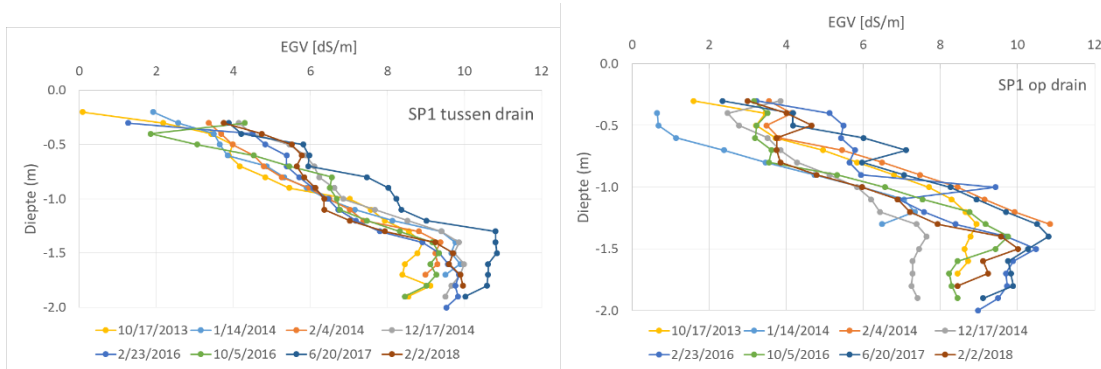


Figuur 4.16 TEC-probe op 2 februari 2018 voor de drie locaties T1-3 en 3 meter buiten het meetplotje met meetpunten (groen en blauw geven de meting binnen het meetplotje en rood geeft de meting 3 m buiten het meetplotje weer).

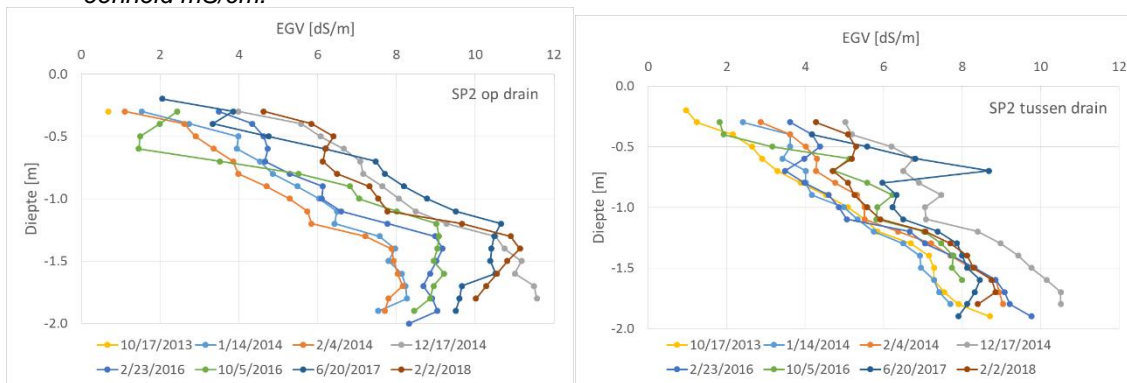
4.3.4 1D-Zoutprofielen: Trime

De resultaten van de Trime geleidbaarheidsmetingen zijn weergegeven in Figuur 4.17, Figuur 4.18 en Figuur 4.19. Alle profielen vertonen een soortgelijk patroon, waarbij het EC in de bovenste halve meter varieert tussen 0 en 5 mS/cm, waarna de EC met de diepte geleidelijk

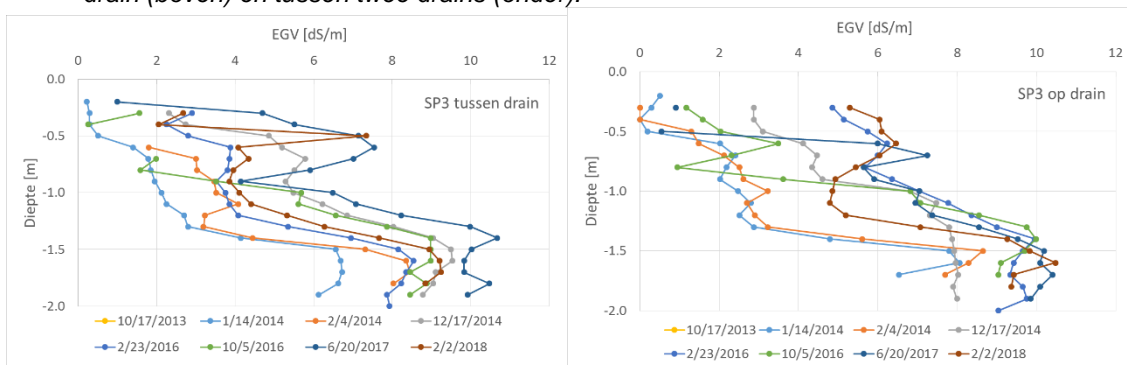
toeneemt tot op een diepte van 1.3 – 1.5 m en daarna redelijk constant blijft met de diepte en de EC varieert tussen 7 en 12 mS/m.



Figuur 4.17 Profielen van het elektrisch geleidingsvermogen (EGV of EC) in de bodem bij T1 op de drain (boven) en tussen twee drains (onder). De eenheid dS/m geeft dezelfde waarde als de eenheid mS/cm.



Figuur 4.18 Profielen van het elektrisch geleidingsvermogen (EGV of EC) in de bodem bij T2 op de drain (boven) en tussen twee drains (onder).



Figuur 4.19 Profielen van het elektrisch geleidingsvermogen (EGV of EC) in de bodem bij T3 (referentieperceel) op de drain (boven) en tussen twee drains (onder).

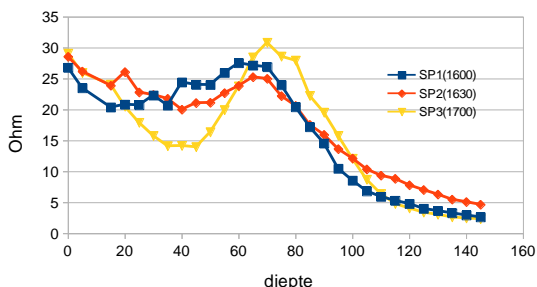
Op alle meetlocaties werd een zeer grote variatie in EC gemeten op verschillende tijdstippen, en het bleek moeilijk om hier verschillen tussen T1 – T3, of een relatie met de afstand tot de drain uit te destilleren. De variatie in het EC in de tijd bleek wel het grootst in het referentieperceel bij T3.

Echter, deze grote gemeten variatie wordt als niet-natuurlijk geacht. Ze zijn veel te groot: niet in lijn met de TEC-probe en minifilter-metingen (zie de subsecties 4.3.2 en 4.3.3) en eerdere onderzoeken naar regenwaterlenzen (o.a. De Louw et al., 2011; De Louw, 2013). Temporele variatie van zoutgehalten in regenwaterlenzen zijn doorgaans erg klein. Zeer waarschijnlijk moet deze variatie dan ook aan meetfouten worden toegeschreven.

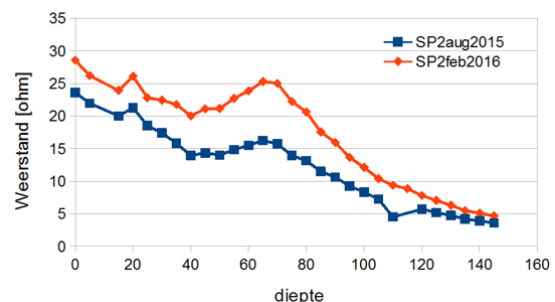
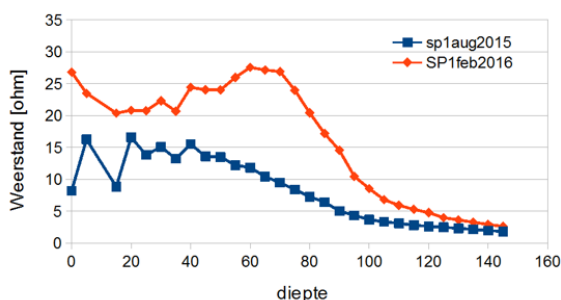
Een mogelijke foutenbron is het effect van bodem-temperatuur op de geleidbaarheid. De Trime-metingen zijn namelijk niet gecorrigeerd voor bodem-temperatuur en deels zou dit temperatuur-effect de variatie kunnen verklaren. Temperatuur heeft namelijk een grote invloed op de geleidbaarheid en doorgaans wordt hiervoor gecorrigeerd naar een referentietemperatuur van 20 of 25 graden. Zo worden de TEC-probe metingen en EC-metingen van het bemonsterde grondwater automatisch gecorrigeerd naar een referentietemperatuur van 25 graden. Ter illustratie, op 2 meter diepte kan de seizoensale variatie in bodemtemperatuur op 2.0 m diepte nog 5 tot 6 graden zijn waardoor de geleidbaarheid 14 tot 18 % kan variëren door alleen dit temperatuur-effect. Echter, de Trime-metingen laten op 1.5-2.0 m diepte veel grotere variatie in geleidbaarheid zien dan deze 14 tot 18 %. Daarnaast wordt er ook niet de verzoetende trend waargenomen die wel met de TEC-probe is vastgesteld (de variatie is willekeurig). Er worden daarom ook geen conclusies uit de Trime-metingen getrokken.

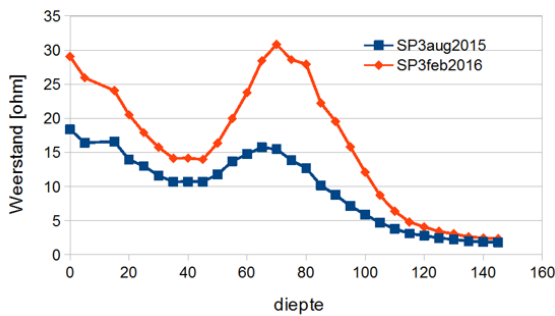
4.3.5 1D-Zoutprofielen: ResProbe

De ResProbes werden op verschillende momenten geijkt met metingen met de Terrameter. Het resultaat van de meting op 23 februari 2016 is getoond in Figuur 4.20 en de grafieken voor T1, T2 en T3 met zomer- en winterwaarden zijn getoond in Figuur 4.21. Een vergelijking tussen de metingen voor augustus 2015 en februari 2016 laten zien dat de weerstanden aanmerkelijk hoger zijn in de winter, dan aan het einde van de zomer (Figuur 4.21). Dit verschil wordt zeer waarschijnlijk veroorzaakt door het effect van bodem-temperatuur op de geleidbaarheid, zoals eerder besproken. De ResProbe-metingen zouden daarom nog moeten worden gecorrigeerd voor temperatuur zoals wel bij de prikstokmetingen en grondwatersamples is gedaan. Echter, de metingen ontbreken om deze correctie uit te voeren.



Figuur 4.20 Meting van het weerstandprofiel van de drie ResProbes met de terrameter op 23 februari 2016. De diepte is weergegeven in cm.





Figuur 4.21 Weerstandprofielen van de drie ResProbes gemeten met de terrameter in de zomer (2015) en in de winter (2016). De diepte is weergegeven in cm. T1 en T2 zijn de proefvelden, T3 is het referentieperceel.

In Bijlage I staan de tijdseries van de geleidbaarheid, gemeten door de ResProbes. Deze tijdreeksen laten duidelijk het effect van een hogere bodemtemperatuur in de zomer zien op de geleidbaarheid (hogere geleidbaarheid in zomer dan in winter). Omdat deze metingen niet zijn gecorrigeerd voor bodemtemperatuur kunnen er geen conclusies uit de metingen worden getrokken en worden ze hier verder niet besproken.

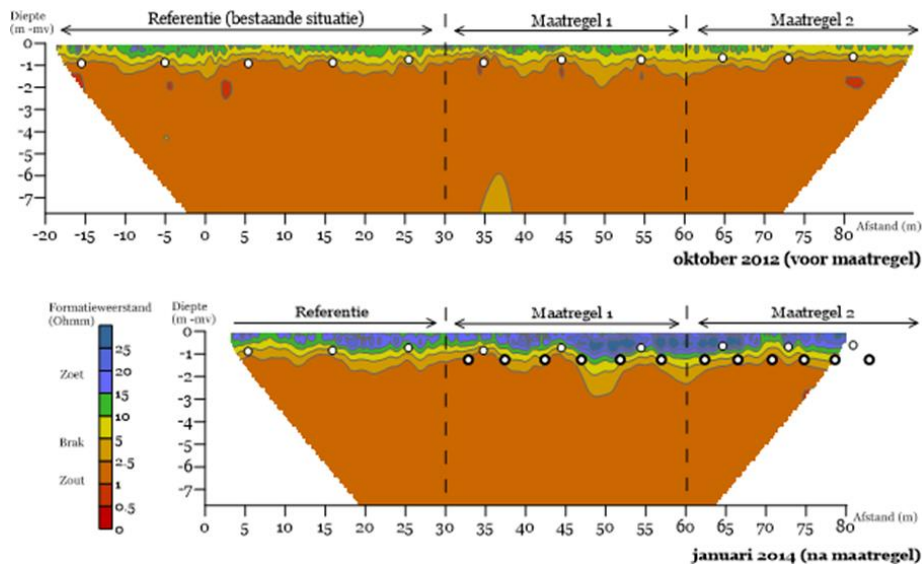
4.3.6 2D zoutprofiel: CVES

Een vergelijking van de CVES metingen van oktober 2012, voor de aanleg van de nieuwe diepere drains (D2B) en die ná aanleg van D2B is gegeven in Figuur 4.22. Beide CVES-profielen tonen een zoetere bovenlaag met een weerstand van 15-25 Ohmm, met een snelle overgang naar een zoutere bodem te zien aan de daling van de weerstand naar 2.5 Ohmm.

In januari 2014 (na uitvoering maatregel) heeft de bovenste meter duidelijk een hogere weerstand dan de meting van oktober 2012 (vóór uitvoering maatregel). Hieruit zou geconcludeerd kunnen worden dat de maatregel een verzoetend effect heeft gehad. Echter, deze verzoeting is ook waarneembaar voor het referentieperceel waar de maatregel niet is uitgevoerd.

De hogere gemeten weerstand in januari 2014 zou door verschillende andere oorzaken kunnen worden verklaard. Een eerste belangrijke oorzaak is de bodemtemperatuur die veel lager is in de winter dan in de zomer. Ook voor deze CVES-metingen is niet gecorrigeerd voor bodemtemperatuur en zoals eerder aangegeven heeft dat een groot effect op de geleidbaarheid van de bodem; een lagere temperatuur leidt tot een hogere weerstand. Daarnaast zou de ondiepe bodem (bovenste meter) in oktober 2012 veel natter kunnen zijn geweest (hogere grondwaterstand, hoger bodemvochtgehalte) dan in januari 2014, met als gevolg lagere weerstanden in 2012.

Echter, rond locatie $x=47-63$ m lijkt in vergelijking tot het referentiedeel, een wat dikkere regenwaterlens te zijn ontstaan die reikt tot aan een nieuwe en diepere drainageniveau. Ook laten de CVES-metingen opkegeling van zout grondwater naar de drains zien, een bekend proces dat ook de modellen laten zien. Dit toont aan dat CVES de ruimtelijke variatie van de zoet-zout verdeling relatief gedetailleerd in beeld kan brengen. Echter, door bovengenoemde factoren zijn kleine veranderingen in de tijd niet goed zichtbaar te maken met CVES en bieden de voor temperatuur gecorrigeerde in-situ metingen (TEC-probe, minifilters) betrouwbaardere resultaten.



Figuur 4.22 CVES profielen ter vergelijking van de nul-situatie (oktober 2012) voor de aanleg van diepere drains met die waarbij maatregelen doorgevoerd zijn in januari 2014.

4.3.7 Drainage

De traditionele drains liggen ongeveer op -2.76 m NAP (bovenkant drains), dat is ongeveer 0.78 m beneden maaiveld. De nieuwe drains liggen op ongeveer 1.2 - 1.3 m beneden maaiveld (~ -3.2 tot -3.3 m NAP). Het minimale slootpeil wordt gehanteerd op ongeveer -3.05 m NAP (als gemaal aanstaat) en na pompen stijgt het tot ongeveer -2.90 tot -2.85 m NAP waarna het gemaal weer aanslaat.

Het peil in de regelput van de nieuwe drains op T1 en T2 is zo laag mogelijk gezet (gelijk aan diepteligging drains) zodat zo veel mogelijk zout grondwater kon worden afgevoerd. Echter, het oppervlaktewater is hierbij de beperkende factor. Deze staat meestal 10-15 cm hoger dan het drainniveau wanneer het gemaal aanstaat en 25-40 cm wanneer het gemaal uitstaat. Het oppervlaktewaterpeil werkt dus door in de regelput en beïnvloedt de werking van de nieuwe drains (zie Figuur 4.23a). De nieuwe, diepere drains hebben dus niet optimaal het zoute grondwater kunnen afvoeren omdat het slootpeil, en daarmee het peil in de regelput, een belemmerende werking had op de drainageafvoer. Voor percelen met een lager slootpeil geldt deze beperking niet. Voor dit perceel zou onderbemaling van de regelputten een oplossing zijn om een grotere afvoer van het zoute grondwater, en daarmee snellere groei van de regenwaterlens te realiseren. De drainagecapaciteit vergroten door meer drains aan te leggen of grotere diameters is ook een manier om meer zout grondwater af te voeren.

In de regelput van de oude, traditionele drains is het peil met behulp van de bijgeleverde regelbuizen maximaal opgezet. Dit is gedaan om de drainagecapaciteit van de traditionele drains te reduceren maar wel drainerend te houden zodat het perceel niet te nat wordt. Voor regelput T1 is dit peil continu gemeten (zie Figuur 4.23a) en stond het peil meestal op -2.76 m NAP en voor T2 was het gemiddelde peil in de regelput 10 cm hoger.

Voor T1 betekende dit dat er gedurende de gehele veldproef-periode, ondanks de verhoging van het peil in de regelput (~-2,75 m NAP), er nauwelijks een hoger drainageniveau voor de traditionele drains is gerealiseerd (ligging bovenkant drain op ~-2.76 m NAP). Met dit peil kwamen de drains net onder water te staan waardoor er slechts een zeer geringe reductie van de drainageafvoer heeft plaatsgevonden. Voor regelput T2 is een 10 cm hoger

drainagepeil gehandhaafd (handmetingen) waardoor hier enigszins een reductie van de drainageafvoer heeft plaatsgevonden.

Achteraf hadden we liever een grotere reductie van de drainageafvoer van de traditionele drainage bewerkstelligd om zodoende de afvoer van zoet water te beperken en de regenwaterlens sneller te laten groeien. Een peilverhoging van 25 cm t.o.v. de traditionele hoogte wordt haalbaar geacht zonder toename van de natschade op het perceel.



Figuur 4.23 a. het drainagepeil in de regelput (boven) en b. het zoutgehalte van de drainageafvoer (onder) voor de ondiepe traditionele drain voor T1 (T1 oud) en de nieuwe diepere drains T1-new en T2-new.

Tijdens drie veldbezoeken is de drainageafvoer voor alle vier regelputten handmatig gemeten. In Tabel 4.1 staan de waarden weergegeven. Op 15 september 2017 was het extreem nat met een zeer hoog slootpeil waardoor geen meting van de afvoer kon worden uitgevoerd. De metingen laten zien dat de nieuwe drains minder water afvoeren dan de traditionele drains, ondanks dat de drainageafstand twee keer zo klein is. Dit wordt veroorzaakt door de slechtdoorlatende ongerijpte klei waarin de diepere drains liggen. Echter, de afvoer is wel significant (20-55% van de afvoer van traditionele drains) en hiermee is



aangetoond dat de diepere drains ondanks de ligging in slechtdoorlatende bodem, werken en zout grondwater afvoeren.

Tabel 4.1 Drainageafvoer (in mm/dag) op verschillende momenten in het jaar.

		05-10-16	17-01-17	15-09-17	02-02-18
Regelput T1	traditioneel	0	2.1	nt	0.8
	nieuw	0.09	1.1	nt	0.17
Regelput T2	traditioneel	0	4.3	nt	1.73
	nieuw	0.1	1.9	nt	0.97

Figuur 4.23b toont het zoutgehalte van het afgevoerde drainagewater van zowel de traditionele drains als de nieuwe, diepere drains voor T1 en in Tabel 4.2 staan de handmetingen weergegeven voor alle vier regelputten. De handmetingen laten wat minder zoute waardes zien dan de EC-diver metingen, vermoedelijk veroorzaakt door het feit dat de Divers wat dieper in de regelput hingen waar het water wat meer stagnerend en zouter was. De absolute waarden van de handmetingen worden daarmee als meer representatief geacht. De nieuwe drains laten een duidelijk hoger zoutgehalte (~13-19 mS/cm) zien dan de traditionele drains (~1-5 mS/cm) conform de verwachting. Immers, de diepe drains liggen in een zouter deel van de mengzone van de regenwaterlens en voeren dan ook zouter grondwater af. Het zoutgehalte van de drainafvoer is vergelijkbaar met het zoutgehalte van het grondwater op 1.0-1.2 m diepte (zie gemeten zoutprofielen in Figuur 4.3 en Bijlage H, p. 162).

Er is voor zowel de traditionele drains als de nieuwe drains een duidelijke relatie tussen de afvoer van de drains en het zoutgehalte: bij een hogere afvoer neemt het zoutgehalte af (vergelijk Tabel 4.1 met Tabel 4.2). Voor de traditionele drains is dit een logische constatering en ook tijdens het eerdere onderzoek (zie Bijlage H, De Louw et al. (2013)) waargenomen en berekend. Dat deze fluctuatie ook voor de diepe drains is waargenomen, betekent dat bij hogere grondwaterstanden dus ook ondieper en daarmee minder zout water door de diepere drains wordt afgevoerd. Modelberekeningen tonen aan dat het zoutgehalte van het grondwater op een diepte van 1.3 m beneden maaiveld ook fluctueert met de seizoenen tussen ongeveer 15 mS/cm en 23 mS/cm, vergelijkbaar met de gemeten dynamiek van het drainagewater van de drains (De Louw et al., 2013, zie Bijlage H). De metingen bevestigen daarmee de eerder uitgevoerde modelberekeningen.

Tabel 4.2 Handmetingen van EC van drainageafvoer (in mS/cm) verschillende momenten in het jaar.

		06-02-16	05-10-16	17-01-17	15-09-17	02-02-18
Regelput T1	traditioneel	1.3	13.6	3.5	2.0	4.0
	nieuw	6.0	25.0	14.1	13.7	16.2
Regelput T2	traditioneel	2.2	14.0	3.4	2.9	5.4
	nieuw	15.6	28.4	14.9	13.0	19.4

Het feit dat de diepe drains veel zouter grondwater hebben afgevoerd dan de traditionele ondiepere drains, geeft aan dat het D2B-in potentie kan werken. Echter, in deze pilot hebben ook de ondiepe drains ongehinderd gewerkt en veel zoet en zout grondwater afgevoerd. Daarmee is onduidelijk hoeveel extra zout er gedurende de testperiode door de diepe drains

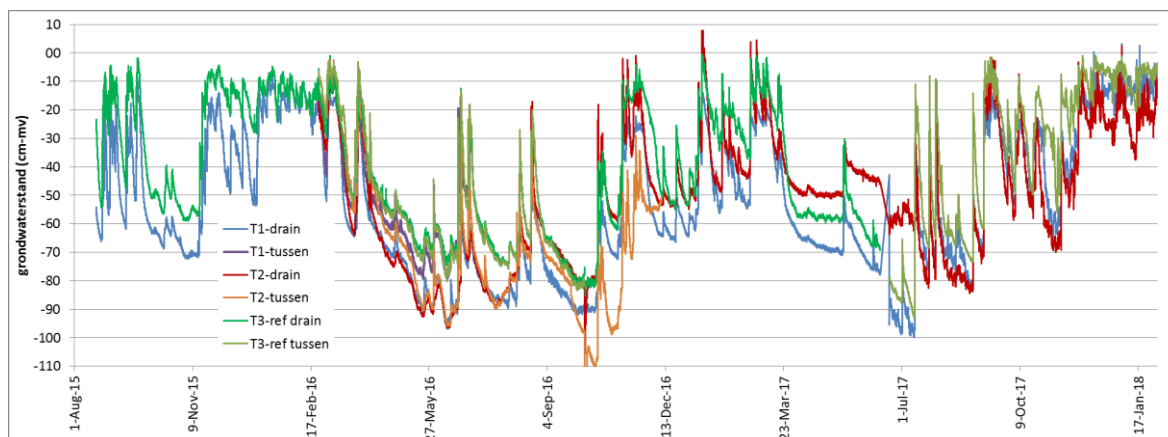
is afgevoerd. Met een simpele berekening kan iets over de potentie van het D2B-systeem worden gezegd:

De hoeveelheid zoute kwel in het perceel is gemiddeld 0.29 mm/d en het zoutgehalte van deze kwel is 35 mS/cm (uit De Louw e.a., 2013). Volgens de metingen nemen de diepe drains gemiddeld 25% van de totale drainafvoer (gemiddeld 1 mm/d) voor hun rekening (uit Tabel 4.1) en is het zoutgehalte van deze afvoer gemiddeld 15 mS/cm (uit Tabel 4.2). De diepe drains voeren dus met 0.25 mm/d 15 mS/cm zout af terwijl de aanvoer van zout (35 mS/cm) via kwel met 0.29 mm/d plaatsvindt. Dit betekent dat de diepe drains dus gemiddeld ongeveer 37% van het zout afvoeren dat door kwel het perceel bereikt. Mochten de ondiepe drains de overige 63% van het zoute kwelwater hebben afgevoerd, dan is er geen extra zout afgevoerd en heeft er ook geen verzoeting plaatsgevonden. Wanneer de ondiepe drains meer dan 63% van het kwelwater hebben afgevoerd, dan zou er verzoeting hebben plaatsgevonden. Deze getallen zijn niet echter onbekend want continue metingen van de drainageafvoer (water en zout) hebben niet plaatsgevonden.

Een ideaal werkend D2B-systeem bestaat enkel uit diepe drains die net zo goed afvoeren als de traditionele ondiepe drains (niet belemmerd worden door gerijpte klei of andere storende lagen). In periodes van neerslagoverschot voeren deze diepe drains dan voornamelijk zout grondwater af zodat de regenwaterlens van bovenaf door neerslag kan groeien. Dit proces gaat door totdat er een evenwicht ontstaat (volgens modelberekeningen na 4-5 jaar met een optimaal werkend D2B-systeem) en de diepe drains ook het volledige neerslagoverschot gaan afvoeren. In deze nieuwe evenwichtssituatie is de lens ongeveer zoveel dikker geworden als de drains dieper zijn komen te liggen.

4.3.8 Grondwaterstand

Gedurende de meetcampagne zijn grondwaterstanden gemeten voor de drie locaties T1, T2 en T3-ref voor zowel boven een drain als tussen 2 drains. Figuur 4.24 toont de meetresultaten waarin duidelijk de grote dynamiek zichtbaar is door sterke reactie op neerslagbuien, gevolgd door sterke drainage. In natte perioden, met name de winterperiode, stijgt de grondwaterstand gemakkelijk tot aan maaiveld. Gedurende de zomerperiodes zakt de grondwaterstand niet dieper dan 1.0 m beneden maaiveld. Tussen de drains wordt meestal een iets hogere grondwaterstand (~5-20 cm) gemeten dan boven de drain, door de opbolling tussen de drains. De metingen zijn vergelijkbaar met eerdere metingen op het perceel (zie Bijlage H).



Figuur 4.24 De grondwaterstand voor de drie locaties T1, T2 en T3-ref, voor zowel boven als tussen de drains.



Er is geen effect gemeten van het tijdelijk opzetten of neerhalen van het regelbare drainagepeil. Dit wordt mede veroorzaakt door het feit dat peilopzet in de regelput nauwelijks een verhoging van het drainagepeil veroorzaakte, zoals eerder besproken in sectie 4.3.7. Er kunnen dus geen uitspraken worden gedaan over de mogelijkheden van regelbare drainage om de grondwaterstand in het perceel te regelen.



4.4 Conclusies en aanbevelingen

Op basis van de meetresultaten en ervaringen van de Drains2Buffer veldproef kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

De uitgevoerde veldproef

- Op de veldproef -locatie te Kerkwerpe, Zeeland, liggen de traditionele drains op 70-80 cm beneden maaiveld en zijn de nieuwe drains op 110-120 cm beneden maaiveld geplaatst. De nieuwe drains liggen in ongerijpte klei wat de toestroming bemoeilijkt; daarom is de drainage-afstand gehalveerd tot 5 m.
- De afvoer-metingen tonen aan dat de nieuwe diepe drains, ondanks dat ze in de slecht-doorlatend ongerijpte klei liggen, significante hoeveelheden (20-55% van de afvoer van traditionele drains) zout grondwater afvoeren (zoutgehalte tussen 15 mS/cm en 23 mS/cm).
- Echter, de toestroming naar de diepere drains is in natte perioden niet groot genoeg om de grondwaterstand voldoende te verlagen om het perceel werkbaar te houden. Daarom blijven op dit veldproef-perceel de traditionele drains nodig.
- De metingen tonen achteraf aan dat de traditionele drains gedurende de meetperiode bijna optimaal hebben gefunctioneerd, wat niet de bedoeling was. Immers, de werking van de traditionele drains zou gereduceerd moeten worden gelijk aan de afvoer van de nieuwe drains, om de drainagesituatie gelijk te houden. De afvoer van zoet regenwater wordt dan zoveel mogelijk tegengegaan, zodat dat de lens kan groeien. De beoogde verhoging van het drainagepeil in de regelput van de traditionele drains (voor het reduceren van de drainerende werking) is voor teststrook 1 nauwelijks gerealiseerd en voor teststrook 2 slechts 10 cm. Dit komt door een foutief aangeleverd PVC-buis waarmee het peil in de regelput kan worden ingesteld. Daarom wordt aanbevolen bij installatie van nieuwe regelbare drains, de hoogtes direct goed ten opzichte van elkaar in te meten en het uitgevoerde ontwerp direct te controleren.
- Het hoge slootpeil bleek een beperkende factor bij de werking van diepe drains, omdat het slootpeil 10-40 cm hoger stond dan de uitstroomopening van de diepe drains. Door het hoge slootpeil hebben de diepe drains niet optimaal zout grondwater kunnen afvoeren. Dit zou kunnen worden voorkomen door de diepere drains onder te bemalen (pomp in regelput plaatsen). Bij ontwerp en bepaling van de haalbaarheid van Drains2Buffer dient rekening te worden gehouden met het heersende slootpeil.

Gemetene effecten

- De diepe drains hebben een significant deel van de afvoer voor hun rekening genomen, met hoge zoutwaarden. Er is daarmee een significant deel van de zoute kwel afgevangen door de diepe drains. Dit deel van het Drains2Buffer-concept heeft daarmee gewerkt, hoewel niet optimaal.
- Op de meetplotjes T1 en T2 (Drains2Buffer) en T3 (traditionele drains) heeft significante verzoeting plaatsgevonden die niet buiten de meetplotje is geconstateerd en die dus niet te wijten is aan de nieuwe manier van draineren (Drains2Buffer).



- Het is niet met zekerheid vast te stellen wat deze sterke verzoeting op de meetplotjes heeft veroorzaakt, maar de oorzaak moet gezocht worden in de verschillen tussen het meetplotje en de rest van het perceel. Deze verschillen zijn:
 - Gras op meetplotje versus akkerbouw (bieten, wintertarwe, uien, braak liggend terrein) op het perceel;
 - Grotere dichtheid aan geboorde gaten en prikstokmetingen op het meetplotje;
 - Meetplotje was omgeven door diepere greppels waar zoet water zich kon verzamelen.
- Door de late ontdekking (op de laatste meetdag) van de ongewilde verzoeting op de meetplotjes, was aanpassing van het meetprogramma niet meer mogelijk en kan er niet met zekerheid worden geconcludeerd dat de veldproef met D2B-concept het gewenste verzoetingseffect heeft veroorzaakt.
- Op de laatste meetdag zijn buiten de meetplotjes op de teststroken T1 en T2 (Drains2Buffer) metingen verricht die erop wijzen dat op sommige locaties wel en op sommige locaties geen verzoeting heeft plaatsgevonden als gevolg van de maatregel (op 3 van 5 locaties is verzoeting gemeten). Het effect van de Drains2Buffer-maatregel op de locatie Kerkwerve lijkt daarmee beperkt.
- Dit beperkte effect wordt vermoedelijk veroorzaakt door:
 - Beperkte toestroming naar diepe drains door slechtdoorlatende ongerijpte klei en hoog slootpeil die drainagepeil in de regelput negatief beïnvloed.
 - De grotendeels ongeremde werking van de traditionele drains die daarmee te veel zoet water hebben afgevoerd die daardoor niet beschikbaar kwam voor de groei van de zoetwaterlens.
- De onbedoelde maar significante verzoeting op het meetplotje geeft aan dat vergroting van de regenwaterlens in zoute kwelgebieden ook mogelijk is door andere ingrepen dan een Drains2Buffer maatregel. Een mogelijke maatregel moet worden gezocht in lijn met bovengenoemde verschillen tussen meetplotje en rest van perceel. Hierbij kan worden gedacht aan:
 - Vergroting van de bodeminfiltratiecapaciteit door andere gewassen of bodembewerking of aanbrengen van extra infiltratiegangen.
 - Aanleggen van infiltratiegootjes waarin regenwater wordt verzameld en gemakkelijker de bodem kan infiltreren.

Het concept Drains2Buffer

- Het Drains2Buffer concept bestaat uit regelbare drains die dieper liggen dan gebruikelijk voor afvoer van zout grondwater. Hierbij is het van belang dat er niet sterker wordt gedraineerd en het grondwaterpeil niet extra verlaagd wordt. Dit kan worden gerealiseerd (sturing) door in de regelput het drainageniveau aan te passen.
- Het doel van Drains2Buffer is het vergroten van de regenwaterlens of wel verzoeting van het bovenste grondwater systeem, om te voorkomen dat in het groeiseizoen zout grondwater capillair kan opstijgen en de wortelzone te zout wordt. Door afvoer van zout grondwater tijdens regenbuien vindt deze verzoeting plaats.
- De veldproef geeft aan dat het D2B-concept eenvoudig in het veld is te realiseren. Echter, de omstandigheden voor een goede werking van het D2B waren ver van optimaal (zie boven) waardoor gemeten effecten beperkt bleven.

- Het vermoedelijk beperkte effect dat Drains2Buffer op de testpercelen heeft gerealiseerd, betekent niet dat deze maatregel niet zinvol is om regenwaterlenzen te vergroten en het risico op zoutschade in de wortelzone te verkleinen. De veldproef geeft aanwijzingen dat Drains2Buffer wel goed zou werken onder betere omstandigheden (geen gerijpte klei of storende lagen rondom de diepe drains, lager slootpeil, sterkere gereduceerde werking van traditionele ondiepe drains). Ook modelberekeningen hebben aangetoond dat de maatregel onder de juiste omstandigheden de regenwaterlens significant kan vergroten. Bovendien zijn in het noorden van het land binnen het project Spaarwater goede resultaten bereikt met deze vorm van drainage in vergelijkbare kleiige zoute kwelgebieden (Spaarwater, 2016).

Meetmethoden

- De in-situ 2D-metingen (TEC-probe, mini-filters, Trime, ResPRobe) zijn het meest geschikt voor het meten van veranderingen van de dikte van de regenwaterlens. Veranderingen in het zoutprofiel in de verzadigde zone gaan relatief traag en daarmee is een halfjaarlijkse meting voldoende. Het is echter uiterst belangrijk dat de metingen worden gecorrigeerd voor de bodemtemperatuur omdat deze temperatuur een grote invloed heeft op de geleidbaarheid. Voor de TEC-probe en mini-filter metingen wordt dit automatisch gedaan, voor de Trime en ResProbe-metingen is dit niet gebeurd.
- De TEC-probe metingen bleken het meest zinvol voor het volgen van veranderingen van de regenwaterlens en zoutprofiel in de tijd. Het nadeel is echter dat deze meting niet exact op de dezelfde locatie kan worden herhaald. Bij de andere drie in-situ metingen kan dit wel.
- CVES-metingen worden sterk beïnvloed door veranderingen in vochtgehalte, bodemtemperatuur en grondwaterstand en het is daarmee zeer lastig om veranderingen van het ondiepe zoutprofiel in de tijd te monitoren. Deze metingen zijn wel zeer geschikt om voor een groter gebied (in raaien) een globaal ruimtelijk beeld van de zoet-zout verdeling in de ondergrond te verkrijgen. Ook processen als bijvoorbeeld zoutwateropkegeling door drains kunnen met deze meettechniek zichtbaar worden gemaakt.

Aanbevelingen

- De voorkeursgebieden voor de maatregel Drains2Buffer (zie sectie 7.3 en Bijlage C) geven de gebieden aan waar Drains2Buffer een zinvolle maatregel kan zijn. Voor deze gebieden wordt geadviseerd om bij het aanleggen van nieuwe drains, dit volgens het Drains2Buffer-principe te doen. De lokale situatie dient in het veld te worden bepaald op basis waarvan het drainageplan kan worden opgesteld (zie voor meer details de GO-FRESH semantische wiki). Daarnaast dient lokaal in het veld te worden bepaald of er ongerijpte klei of storende lagen rondom het nieuwe drainageniveau aanwezig zijn die de werking van Drains2Buffer kunnen belemmeren.
- Voor de overige gebieden wordt geadviseerd om bij aanleg van een nieuw drainagesysteem, het systeem regelbaar te maken. Met een regelbaar drainagesysteem kan veel beter de grondwaterstand en vochttoestand in het perceel worden gestuurd. Als de sturing goed wordt gedaan, kan dit leiden tot zowel minder droogteschade als minder natschade.
- Er wordt aanbevolen om de monitoring in de testpercelen te Kerkwerpe voort te zetten door halfjaarlijks TEC-probe metingen uit te voeren en bodemmonsters te nemen. Dit



dient op het gehele perceel te gebeuren, voor beide teststroken en het referentiedeel en niet op afgebakende meetplotjes.

- Om de kans op effecten van Drains2Buffer te vergroten op deze percelen, dienen de werking van de traditionele drains te worden gereduceerd door het drainagepeil te verhogen. Additioneel, zouden de nieuwe, diepe drains onderbemaald moeten worden voor een sterker en sneller verzoetend effect. Wanneer hiervoor wordt gekozen, zou ook de monitoring moeten worden uitgebreid met peilbuizen voor grondwaterstanden en automatische drainage-afvoermeting (inclusief zoutgehalte).
- De fysische omstandigheden van de huidige testpercelen voor een Drains2Buffer-maatregel zijn niet ideaal (ondiepe ligging ongerijpte klei, ondiepe traditionele drains, hoog slootpeil). Er wordt aanbevolen om een (veel) geschiktere locatie te zoeken en gedurende 2 jaar lang een nieuwe Drains2Buffer veldproef te starten.

5 Economische haalbaarheid

5.1 Introductie

Binnen de eerste fase van GO-FRESH (periode 2012-2014) is onderzocht welke sociaaleconomische factoren van belang zijn voor betrokken beleidsmakers, onderzoekers en ondernemers. Betrouwbare zoetwatervoorziening en flexibele wet- en regelgeving blijken de meest doorslaggevende factoren te zijn voor betrokken ondernemers en beleidsmakers om wel of niet in deze technieken te investeren (Veraart et al., 2017). Binnen de eerste fase GO-FRESH zijn bedrijfseconomische kengetallen (kosten per ha, kosten per m³, netto meeropbrengst) geschat onder verschillende aannames over kosten, baten en hydrologische prestaties (scenario's) voor een fictief akkerbouw en fruitteeltbedrijf. Deze uitgewerkte voorbeelden illustreren dat het bedrijfseconomisch effect, en daarmee de business case voor deze drie technologie combinaties, afhangt van het agrarisch bedrijfstype en bouwplan (zie Oude Essink et al., 2014). Zo verdienen bedrijven met hoogrenderende teelten in akkerbouw en fruitteelt de investering sneller terug.

In dit hoofdstuk wordt onderzoeksvraag 5 (zie sectie 1.4, pagina 5) nader uitgewerkt:

5. *Zijn deze drie verschillende manieren van wateropslag bedrijfseconomisch rendabel? En bij welke hoeveelheden in mm, m³ en € uitgedrukt?*

In de tweede fase van GO-FRESH (2015-2017) zijn de volgende sociaaleconomische aspecten nader uitgewerkt:

- het verbeteren van de inschatting van de kosten kengetallen (startinvestering, jaarlijkse kosten, kosten per ha, kosten per m³) voor het Kreekrug Infiltratie Systeem (KIS), de Freshmaker en de Drains2Buffer (D2B) op de locaties (Serooskerke, Ovezande, Kerkwerpe, resp.) van de proeven met en zonder kostenbesparing en/of VAMIL subsidie⁸;
- het opschaalbaar/extrapoleerbaar maken van deze kengetallen zodat ondernemers die geïnteresseerd zijn in deze proeven ook een inschatting kunnen maken van de kosten op hun bedrijf, waarbij de gebruiker verschillende aannames kan maken over de oppervlakte, de te hanteren rentevoet, afschrijftijd en gewenste grondwateronttrekking.

Producten GO-FRESH II

Op basis van bovenstaande activiteiten is een webapplicatie (Calculator, zie o.a. hoofdstuk 6) ontwikkeld waarmee een ondernemer een indicatie van de kosten kan maken die horen bij het installeren en in gebruik nemen van de drie GO-FRESH technologieën voor zijn specifieke situatie en gewenste zoetwatervoorziening.

De Calculator kan ook een hulpmiddel zijn om meer grip te krijgen op de opschaalbaarheid van de drie technologieën, maar dat is niet het primaire doel van de applicatie. De Calculator moet een ondernemer een handreiking bieden om zelf te kunnen bepalen of de GO-FRESH technologieën in zijn situatie bedrijfseconomisch rendabel is (zie onderzoeksvraag 5).

⁸ De VAMIL-regeling staat voor Willekeurige afschrijving milieu-investeringen. Dit zijn subsidies op milieuvriendelijke bedrijfsmiddelen voor ondernemers.

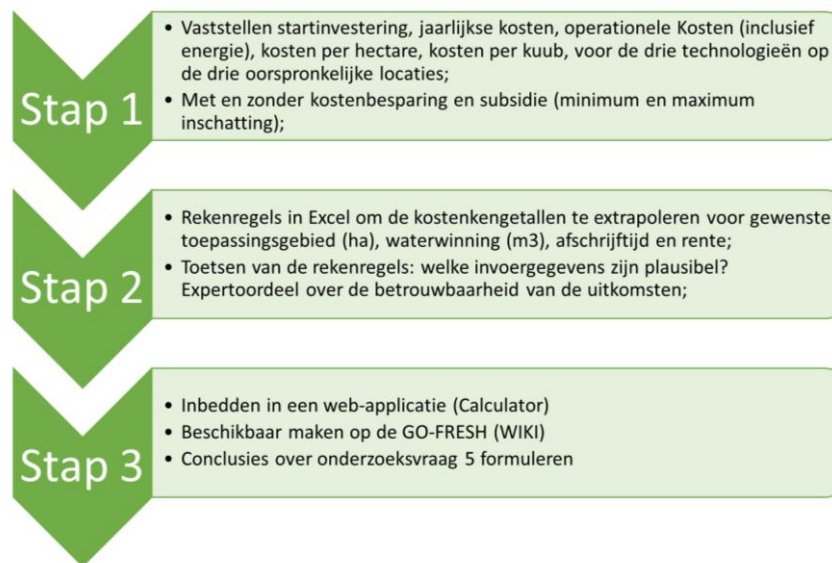


Voor het analyseren van opschalingsmogelijkheden op gebiedsniveau zijn instrumenten in andere projecten ontwikkeld, zoals in de ‘*Fresh Water Options Optimizer*’ (Van Bakel et al., 2014), ‘*Regioscan Zoetwatermaatregelen, Verkennen van het perspectief van kleinschalige zoetwatermaatregelen voor de regionale zoetwateropgave*’ (Delsman et al., 2017), ‘*Freshfource*’ (INFRAM et al., 2016) en ‘*Eureyeopener Zoetwatervoorziening Zuidwestelijke Delta en Rijnmond-Drechtsteden*’ (Schipper et al., 2014). Verzamelde kostenkengetallen over de GO-FRESH proeven zijn gebruikt bij de ontwikkeling van de Regioscan. En andersom zijn de kostenindicaties voor het realiseren van een gebiedsfreshmaker op Zuid-Beveland in GO-FRESH II gebruikt om de extrapoleerbaarheid van de kostenkengetallen voor de Freshmaker in Ovezande te kunnen evalueren (sectie 5.2.2).

De webapplicatie is via de wiki online beschikbaar (Hoofdstuk 6). Daarnaast zijn voor de wiki deelpagina’s over de kostenkengetallen en vergunningen gemaakt.

5.2 Gevolgde aanpak

Figuur 5.1 illustreert de gevolgde aanpak. Deze stappen zijn voor iedere veldproef afzonderlijk doorlopen.



Figuur 5.1 Flow-diagram van de gevolgde aanpak bij het vaststellen en extrapoleerbaar maken van de kostenkengetallen.

5.2.1 Stap 1: vaststellen kostenkengetallen drie veldproeven

Startinvestering

Bij het bepalen van de startinvestering is bij alle veldproeven onderscheid gemaakt tussen de noodzakelijke investeringen voor het realiseren van extra wateropslag en de extra investering om dit water ook weer te kunnen onttrekken met bijvoorbeeld diepdrains. De startinvestering is inclusief 21% btw. Kostenbesparingsmogelijkheden verschillen per pilot (Tabel 5.1).

Bij het Kreekrug Infiltratie Systeem is, in de ‘default setting’, bij het bepalen van de start investering uitgegaan van de aanleg van negen diepdrains voor een grondwateronttrekking



van 36000 m³ (Tabel 5.2). De startinvestering van de Freshmaker is gebaseerd op een terugwinbare hoeveelheid van 10000 m³.⁹

Tabel 5.1 Overzicht kostenbesparingsmogelijkheden op de start investering. De rood gedrukte besparingsmogelijkheden zijn in de rekenschema's gebruikt.

Technologie	Kostenbesparingsmogelijkheden en subsidie
Kreekrug Infiltratie Systeem	<ul style="list-style-type: none"> - Aanwezigheid opslag (beregeningskelder, basin) - Aanwezigheid peilgestuurde drainage - <i>Stroomvoorziening</i> - <i>Aanvullende grondwater monitoring (aanliggende bebouwing)</i> - <i>VAMIL subsidieregeling</i>
Freshmaker	<ul style="list-style-type: none"> - Aanwezigheid opslag (basin); - <i>Stroomvoorziening aanwezig;</i> - Plaatsing in bestaande loods ipv plaatsing in container; - <i>Gebruik maken van aanwezige diepdrain voor HDDW;</i> - <i>VAMIL subsidieregeling</i>
Drains2Buffer	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Gebruik maken van aanwezig drainage systeem</i>

Jaarlijkse kosten

Bij iedere veldproef wordt onderscheid gemaakt tussen rente, afschrijving en operationele kosten. In de 'default setting' zijn de waarden uit Tabel 5.2 gebruikt om de jaarlijkse kosten te kunnen berekenen in absolute zin (€/jaar) en omgeslagen per hectare ((€/ha/jaar). Voor het Kreekrug Infiltratie Systeem en de Freshmaker worden de jaarlijkse kosten ook omgeslagen naar €/m³/jaar.

Tabel 5.2 Default waarden bij de berekening van de jaarlijkse kosten.

	Kreekrug Infiltratie Systeem	Freshmaker	Drains2Buffer
Afschrijftijd (jaren)	15	20	15
Oppervlakte perceel toepassing (ha)	12	15	1.6
Rentevoet (1.02 = rente van 2%)	1.02	1.02	1.02
Gewenste winning (m3/jr)	36000	10000	n.v.t.
Aantal diepdrains	9	n.v.t.	n.v.t.
Berekening jaarlijkse kosten			
Rente (€/jr)	(Rentevoet)		
Rente (€/jr) met VAMIL	Er is aangenomen dat in het eerste jaar 75% van de investering wordt afgeschreven en dat rente wordt betaald over 25% van de startinvestering gedurende de resterende afschrijftijd. Over het eerste jaar wordt wel over 100% van de startinvestering rente betaald		
Afschrijving (€/jr)	Startinvestering/afschrijftijd		
Beheer, Onderhoud en energie	Kengetallen op basis van expertoordeel deelprojectleiders en jaarlijkse facturen (energie)		

⁹ De oorspronkelijke veldproef was gedimensioneerd op 6000 m³, maar het is mogelijk, met de kennis van nu, om tegen dezelfde kosten ook 10000 m³ water beschikbaar te maken (hoofdstuk 0).

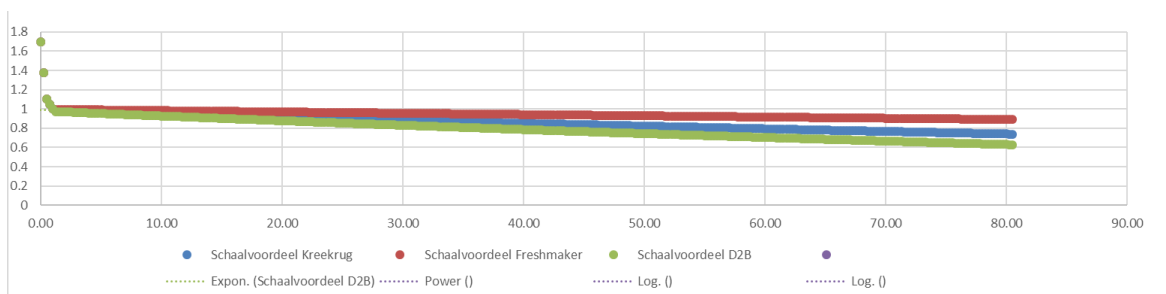


5.2.2 Stap 2: rekenregels opschalen en beslisregels Calculator

Toepassen van schaaleffect bij de Freshmaker (simulatie)

Wanneer een veldproef op grotere schaal wordt aangelegd dan kunnen er schaalvoordelen spelen bij de aanleg. De dimensionering van het drainagesysteem (Kreekrug Infiltratie Systeem, Drains2Buffer) en de aanleg van HDDW's (Freshmaker) kan bijvoorbeeld geoptimaliseerd worden waardoor er minder meters drainage nodig zijn per hectare in vergelijking met een kleinere installatie (INFRAM et al., 2016). Bij opschaling, waaraan meerdere bedrijven deelnemen, kunnen ook kosten gedeeld worden. Op een gegeven moment kan dit schaalvoordeel ook deels verdwijnen omdat bij grotere oppervlaktes water opslag, wateronttrekking en beregening niet meer op dezelfde plek liggen en extra kosten nodig zijn om het water op de plaats van toepassing te krijgen (=schaalnadeel).

Bij de Freshmaker wordt het schaalvoordeel gesimuleerd door onderscheid te maken tussen investeringskosten die (a) los staan van de dimensionering en (b) investeringskosten die hier (lineair) afhankelijk van zijn. Daarnaast wordt bij alle drie technologieën een opschaafactor bepaald op basis van de invoerde gegevens van de gebruiker. Bij de Freshmaker wordt de opschalingsfactor bepaald door de ratio te berekenen tussen de gewenste waterwinning van de gebruiker en de gewenste waterwinning (10000 m³) bij de pilot in Ovezande. De opschalingsfactor wordt afgerond op kwart-eenheden. In het Excel bestand is een tabblad gemaakt waar voor iedere opschaafactor, per technologie, een schaaleffect is gedefinieerd waarmee verder gerekend wordt in de Calculator. Het schaaleffect wordt in de Calculator gesimuleerd en is voor de Freshmaker een waarde tussen 0.89 en 1.7 (Figuur 5.2). Het schaalnadeel wordt bij de Freshmaker gesimuleerd door de kostenbesparingsmogelijkheden te vermenigvuldigen met de waarde van het schaaleffect (Figuur 5.2).



Figuur 5.2 Opschaalfactor (ratio invoer opp. gebruiker/ oppervlakte pilot) en schaalvoordeel.

Toepassen schaaleffect bij het Kreekrug Infiltratie Systeem en de Drains2Buffer

Voor het Kreekrug Infiltratie Systeem en de Drains2Buffer wordt de opschalingsfactor bepaald door de ratio te berekenen tussen de ingevoerde oppervlakte van de webpagina gebruiker en de oppervlakte van de pilots (12 ha en 1.6 ha, respectievelijk), waarna het bijbehorende schaaleffect wordt opgezocht met de VLOOKUP functie in het Excel bestand. Het schaaleffect is een waarde tussen 0.74 en 1.7 (Kreekrug Infiltratie Systeem) of 0.63 en 1.7 (Drains2Buffer). Met deze waarde wordt de startinvestering bij de maximum inschatting vermenigvuldigd. Een mogelijk schaalnadeel wordt in de Calculator niet gesimuleerd voor de veldproeven Kreekrug Infiltratie Systeem en Drains2Buffer. Wanneer een oppervlakte wordt ingevoerd welke groter is dan 30ha, dan krijgt de gebruiker een melding dat de schatting van de kosten per hectare 'matig' is.

Evalueren van de simulatie van het schaalvoordeel voor de Freshmaker met Freshforce

Voor de Freshmaker is een studie (INFRAM et al., 2016) uitgevoerd naar een grootschalige toepassing op Zuid-Beveland waarbij ook inschattingen zijn gemaakt van de startinvesteringkosten, de jaarlijkse kosten en de indicatieve kuubprijs. Dit biedt de mogelijkheid om de toegepaste berekeningsmethode in de Calculator te evalueren (tabel 5.3) door gebruik te maken van dezelfde invoer (in het voorbeeld van Freshforce is uitgegaan van een afschrijftijd van 10 jaar):

- Afschrijftijd : 10 jaar
- Oppervlakte : 283 hectare
- Rentevoet : 1.04 (= rente van 4%)
- Gewenste waterwinning : 283000 m³

Tabel 5.3 Vergelijk uitkomsten Calculator met Freshforce studie.

	Calculator (max)	Calculator (min)	FM1-externe partij	FM1- Coöperatie
Startinvestering	€947.000	€800.000	€1.164.000	€1.164.000
Jaarlijkse financiële kosten (afschrijving & rente)	€140.000	€92.000	€89.000	€77.000
Jaarlijkse operationele kosten	€45.000	€45.000	€46.000	€46.000
Totaal jaarlijkse kosten	€185.000	€137.000	€135.000	€123.000
Kuub Prijs (€/m ³)	0.66	0.48	0.48	0.43

Uit deze vergelijking kan geconcludeerd worden dat:

- de startinvestering (en daarmee de jaarlijkse afschrijfkosten) zijn in de Calculator lager in vergelijking tot de berekening van de Gebiedsfreshmaker. Dit verschil komt met name omdat de distributiekosten van wateropslag naar het toepassingsgebied niet meegenomen zijn bij de Calculator. Dit is een bewuste keuze omdat dit instrument bedoeld is om individuele ondernemers (kleinschalige toepassing) te ondersteunen over aanleg van een van de GO-FRESH technologieën en dan is deze extra investering ook niet van toepassing. Bij de betrouwbaarheidscheck is daarom opgenomen dat bij een gewenste waterwinning die groter is dan 40000 m³ of een toepassing op een areaal dat groter is dan 30 hectare de Calculator 'matige schattingen' geeft;
- de kosten voor de rente zijn in de Calculator berekeningen hoger (=minder fiscaal voordeel) omdat in de opzet van de Calculator alleen het effect van de VAMIL-regeling is toegepast en niet de MIA-regeling;
- de jaarlijkse operationele kosten (inclusief energie) zijn vergelijkbaar;
- de indicatieve prijs per kuub (in de Calculator) liggen binnen de marges van voorgaande studies; de Calculator kan zodoende gebruikt worden om snel een eerste inschatting te maken.

Opschalen van wateropslag, wateronttrekking en het effect op de prijs/m³ bij het KIS

Bij het Kreekrug Infiltratie Systeem hangt de startinvestering niet alleen af van de grootte van het perceel, maar ook van de gewenste waterwinning en daarvan afgeleid het aantal aan te leggen diepdraains.

De vraag is gesteld of de Calculator zo aan te passen is (met hulp van modeluitkomsten van Hoofdstuk 2) dat op basis van de gewenste waterwinning van de gebruiker een indicatie aan de gebruiker kan worden gegeven hoe groot het peilgestuurde drainagesysteem moet worden, hoeveel diepdraains er nodig zijn voor de onttrekking en wat de bijbehorende kosten zijn.



De volgende aanpassingen zijn hiertoe in het rekenschema van het Kreekrug Infiltratie Systeem gemaakt:

- Op basis van het ingegeven areaal (ha) wordt met de opschaalfactor de maximaal mogelijk winbare hoeveelheid water ingeschat door lineaire extrapolatie van de maximaal winbare hoeveelheid water bij de pilot in Serooskerke (12 ha, 42000 m³);
- De gewenste waterwinning van de gebruiker wordt met de maximaal winbare hoeveelheid water vergeleken en uitgedrukt in %. Deze ratio wordt gebruikt in een "if then"-analyse met beslisregels over het vervolg van de berekening (Tabel 5.4).
- Bij ratio's >86% (Tabel 5.4) geeft de Calculator aan dat mogelijk een verhoogd risico is op het onttrekken van zout grondwater (schatting geïnspireerd door de modelberekeningen in sectie 2.5);
- Het aantal noodzakelijke diepdraains wordt meegenomen in de kostenberekening. De schatting van het aantal diepdraains wordt ook gepresenteerd als uitvoer voor de gebruiker.

Tabel 5.4 Beslisregels om het aantal diepdraains te bepalen voor wateronttrekking en om te bepalen of er onder- of over-dimensionering is van het peilgestuurde drainagesysteem. De vermenigvuldiging (minimaal aantal diepdraains bij x%) vermenigvuldigd met de opschaalfactor wordt op hele getallen afgerond in de Calculator. De opschaalfactor is daarbij de ratio van de ingevoerde perceelsgrootte van de webbezoeker en de grootte van de KIS pilot.

Gewenst/Max winbaar (%)	#minimaal diepdraains bij pilot Serooskerke o.b.v. KIS model (secties 2.4 en 2.5)	Over-/Onderdimensionering
>100%	n.v.t.	Met lineaire extrapolatie wordt uitgerekend hoeveel hectare extra peilgestuurde drainage nodig is om op 100% uit te komen.
86%<x<100%	11 (*opschaalfactor)	Bij een ratio <100% wordt aangegeven hoe groot de theoretische overdimensionering is (= # ha waarmee het ontwerp van het peilgestuurde drainagesysteem eventueel verkleind zou kunnen worden, gegeven de gewenste waterwinning van de gebruiker.
66%<x<86%	9 (*opschaalfactor)	
48%<x<66%	7 (*opschaalfactor)	
42%<x<48%	5 (*opschaalfactor)	
20%<x<42%	3 (*opschaalfactor)	
<20%	1 (*opschaalfactor)	

Betrouwbaarheidscheck van de invoer van de websitegebruiker en de uitkomsten van de Calculator

Naast de kengetallen wordt, aanvullend, ook een waardeoordeel over de betrouwbaarheid van de uitkomsten die de Calculator genereert gegeven (Tabel 5.5). De betrouwbaarheidscheck is gebaseerd op expertoordeel.

Tabel 5.5 Beslisregels voor de betrouwbaarheidscheck van de uitkomsten.

	Kreekrug Infiltratie Systeem	Freshmaker	Drains2Buffer
<i>Mogelijke antwoorden in de Calculator</i>			
Betrouwbaarheid schatting kosten ha ⁻¹	"Redelijk" (<30ha) "Matig" (>30ha)	"Redelijk" (<4 Freshmakers) "Matig" (>4 Freshmakers)	"Redelijk" (<30ha) "Matig" (>30ha)
Betrouwbaarheid schatting kosten m ⁻³	"ja, wateropslag binnen 500-3500 m3/ha" "> 3500 m3 (Je moet een groter drainagesysteem aanleggen!), kostprijs per kuub te laag geschat." "gewenste wateropslag per ha <500 m3 (over-investering!)"		n.v.t.
Gebruikte rente en afschrijftijd	"Plausibele waarden" "Afschrijftijd groter dan 30!" "Rente >10%!"		
Risico onttrekken van zout met diepdrain	"hoger risico op zout onttrekking" (drains>=10) "laag risico" (drains<10)	n.v.t.	n.v.t.

5.2.3 Stap 3: Excel inbedden in webapplicatie en beschikbaar maken voor wiki

De Excel sheet met de rekenschema's zijn door HZ University of Applied Sciences ingeplugd in een webapplicatie die ontsloten is op de project wiki van GO-FRESH. De definitieve versie van de Calculator is te vinden op:

www.go-fresh.info



Figuur 5.3 geeft een indruk van de vormgeving van de invoer en uitvoervelden van de webapplicatie. In hoofdstuk 6 is de vormgeving en opzet van de webapplicatie kort omschreven.

Invoer (voorbeeld)	Uitvoer (voorbeeld)																																																																																				
Additionele zoekopdracht Type: <input checked="" type="radio"/> Kreekrug <input type="radio"/> Freshmaker <input type="radio"/> Drains2buffer Kreekrug Afschrijftijd (jaren): <input type="text" value="15"/> Oppervlakte (ha): <input type="text" value="12"/> Rentevoet (1.02 = rente van 2%): <input type="text" value="1.02"/> Gewenste hoeveelheid water (m ³ /jaar): <input type="text" value="40000"/>																																																																																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">Minimale kosten Kreekrug</th> </tr> <tr> <th></th> <th>Totaal</th> <th>€/ha</th> <th>Per m³</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Startinvestering (min) (incl. btw):</td> <td>35285</td> <td>2940</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="4">Jaarlijkse kosten:</td> </tr> <tr> <td>Aflossing</td> <td>2352</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Rente</td> <td>235</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Beheer en onderhoud</td> <td>1740</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Totale jaarlijkse kosten</td> <td>4327</td> <td>361</td> <td>0.11</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">Maximale kosten Kreekrug</th> </tr> <tr> <th></th> <th>Totaal</th> <th>€/ha</th> <th>Per m³</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Startinvestering (max) (incl. btw):</td> <td>61729</td> <td>5144</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="4">Jaarlijkse kosten:</td> </tr> <tr> <td>Aflossing</td> <td>4115</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Rente</td> <td>1423</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Beheer en onderhoud</td> <td>1740</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Totale jaarlijkse kosten</td> <td>7279</td> <td>607</td> <td>0.18</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Indicatieve dimensionering</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Maximaal mogelijke waterwinning (m³):</td> <td>42000.00</td> </tr> <tr> <td>Gewenste winning/maximaal mogelijke winning (%):</td> <td>95.24%</td> </tr> <tr> <td>Onder (-)/overdimensionering (+) peilgestuurde drainage (ha):</td> <td>0.60</td> </tr> <tr> <td>Ruwe schatting minimaal aantal diepdraains voor onttrekking:</td> <td>11</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Betrouwbaarheidscheck Kreekrug</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Betrouwbaarheid schatting kosten per hectare:</td> <td>redelijk</td> </tr> <tr> <td>Betrouwbaarheid schatting kosten m³:</td> <td>ja, wateropslag binnen 500-3500 m³/ha</td> </tr> <tr> <td>Gebruikte rente en afschrijftijd:</td> <td>plausibele waarden</td> </tr> <tr> <td>Risico onttrekken van zout met diepdrain:</td> <td>hoog</td> </tr> </tbody> </table>		Minimale kosten Kreekrug					Totaal	€/ha	Per m ³	Startinvestering (min) (incl. btw):	35285	2940		Jaarlijkse kosten:				Aflossing	2352			Rente	235			Beheer en onderhoud	1740			Totale jaarlijkse kosten	4327	361	0.11	Maximale kosten Kreekrug					Totaal	€/ha	Per m ³	Startinvestering (max) (incl. btw):	61729	5144		Jaarlijkse kosten:				Aflossing	4115			Rente	1423			Beheer en onderhoud	1740			Totale jaarlijkse kosten	7279	607	0.18	Indicatieve dimensionering		Maximaal mogelijke waterwinning (m ³):	42000.00	Gewenste winning/maximaal mogelijke winning (%):	95.24%	Onder (-)/overdimensionering (+) peilgestuurde drainage (ha):	0.60	Ruwe schatting minimaal aantal diepdraains voor onttrekking:	11	Betrouwbaarheidscheck Kreekrug		Betrouwbaarheid schatting kosten per hectare:	redelijk	Betrouwbaarheid schatting kosten m ³ :	ja, wateropslag binnen 500-3500 m ³ /ha	Gebruikte rente en afschrijftijd:	plausibele waarden	Risico onttrekken van zout met diepdrain:	hoog
Minimale kosten Kreekrug																																																																																					
	Totaal	€/ha	Per m ³																																																																																		
Startinvestering (min) (incl. btw):	35285	2940																																																																																			
Jaarlijkse kosten:																																																																																					
Aflossing	2352																																																																																				
Rente	235																																																																																				
Beheer en onderhoud	1740																																																																																				
Totale jaarlijkse kosten	4327	361	0.11																																																																																		
Maximale kosten Kreekrug																																																																																					
	Totaal	€/ha	Per m ³																																																																																		
Startinvestering (max) (incl. btw):	61729	5144																																																																																			
Jaarlijkse kosten:																																																																																					
Aflossing	4115																																																																																				
Rente	1423																																																																																				
Beheer en onderhoud	1740																																																																																				
Totale jaarlijkse kosten	7279	607	0.18																																																																																		
Indicatieve dimensionering																																																																																					
Maximaal mogelijke waterwinning (m ³):	42000.00																																																																																				
Gewenste winning/maximaal mogelijke winning (%):	95.24%																																																																																				
Onder (-)/overdimensionering (+) peilgestuurde drainage (ha):	0.60																																																																																				
Ruwe schatting minimaal aantal diepdraains voor onttrekking:	11																																																																																				
Betrouwbaarheidscheck Kreekrug																																																																																					
Betrouwbaarheid schatting kosten per hectare:	redelijk																																																																																				
Betrouwbaarheid schatting kosten m ³ :	ja, wateropslag binnen 500-3500 m ³ /ha																																																																																				
Gebruikte rente en afschrijftijd:	plausibele waarden																																																																																				
Risico onttrekken van zout met diepdrain:	hoog																																																																																				

Figuur 5.3 Screenshot van: a. de invoer van het Kreekrug Infiltratie Systeem, b. uitvoer van de Calculator.

5.3 Kostenkengetallen van de uitgevoerde proeven op locatie

5.3.1 Investeringskosten bij de pilots

Dit betreft de kosten om een goed functionerend systeem voor tijdelijke ondergrondse wateropslag aan te leggen op een perceel. In de gepresenteerde kengetallen (Tabel 5.6) is bij alle concepten rekening gehouden met eventueel noodzakelijk vooronderzoek en advies of en hoe aanleg op het perceel mogelijk is (denk aan bijvoorbeeld Sondering). De inschatting van de investeringskosten houden ook rekening met de kosten van voorzuivering (Freshmaker) en de kosten van een vergunningaanvraag (Freshmaker, KIS). De investeringskosten zijn vaak mede afhankelijk van beschikbare stroomvoorziening, mogelijkheden om water aan te voeren, aanwezige infrastructuur voor water onttrekking (diepdraains e.d.) en tijdelijke bovengrondse opslag mogelijkheden (bassin, beregeningskelder). Daarnaast is de investering in de toepassingen (per hectare) vaak relatief goedkoper voor grotere percelen. De investeringskosten kunnen dus per bedrijf verschillen en daarom worden de kostenkengetallen in Tabel 5.6 in bandbreedtes weergegeven.

Tabel 5.6 Indicaties van investeringskosten (exclusief rente en aflossing); gebaseerd op de factuurgegevens en dimensionering GO-FRESH proeven, inclusief 21% BTW.

Technologie	Investeringskosten (€/ha)	Toelichting verschil tussen min en max
Freshmaker	4000-5200	- Aan/afwezigheid stroomvoorziening - Ondiepe HDDW vervangen door diepdrain - VAMIL subsidie
Kreekrug Infiltratie Systeem	2900-5000	- Aan/afwezigheid stroomvoorziening - VAMIL subsidie - Aanvullende monitoring
Drains2Buffer	2100-3100	- Gebruik maken van reeds aanwezige drainage

5.3.2 Operationele kosten (inclusief energie)

Dit betreffen de kosten van periodiek onderhoud, energie en jaarlijkse vergunningskosten (indien van toepassing, bijvoorbeeld een monitoringsverplichting), zie Tabel 5.7. Daarnaast kunnen er gebruik gebonden kosten zijn die van jaar tot jaar kunnen verschillen, afhankelijk van onder meer de weeromstandigheden of gewaskeuze. Hoe de operationele en gebruik gebonden kosten in de praktijk precies uitvallen zal zich deels nog moeten uitwijzen.

Tabel 5.7 Indicaties van de jaarlijkse operationele kosten (exclusief rente en aflossing).

Technologie	Operationele kosten	Kengetal voor toepassing van 1 installatie op een perceel van 10-15 hectare (€/jaar)
Freshmaker	Elektriciteit Drains doorspuiten Vergunning (Eurofins)	800 (expert oordeel; 0.2 €/kwh) 300* 500
Kreekrug Infiltratie Systeem	Elektriciteit Drains doorspuiten	1440 (factuurgegevens) 300*
Drains2Buffer	Drains doorspuiten	300*

* Er is hier vooralsnog aangenomen dat eens in de 5 jaar het drainage systeem wordt doorgespoeld. De kosten zijn omgeslagen per jaar.

5.3.3 Rente, aflossing, jaarlijkse kosten en kostprijs per m³ bij de pilots

Bij de bepaling van de kosten op jaarbasis, kunnen de investeringskosten over een aantal jaren worden uitgespreid (afschrijftijd). In Tabel 5.8 is gerekend met een rentevoet van 2% en een afschrijftermijn van 15 jaar (KIS/D2B) en 20 jaar (Freshmaker), gebaseerd op de ingeschatte technische levensduur. Bij het Kreekrug Infiltratie Systeem en de Freshmaker is bij de indicatieve minimum kostprijs per kubieke meter rekening gehouden met de VAMIL subsidieregeling (Tabel 5.2). Op de milieulijst van 2017 van RVO kwam peilgestuurde / onderwaterdrainage nog niet voor, maar vanaf voorjaar 2018 is Drains2Buffer ook subsidiabel via zowel de VAMIL en MIA-subsidie regeling. Dit is echter nog niet meegenomen in de subsidiefunctie van de Calculator. De subsidie percentages zijn overigens anno eind 2018 ook iets veranderd.

Tabel 5.8 Kosten op jaarbasis voor de 3 pilots, hierbij is rekening gehouden met afschrijving (15 jr en 20 jr, Freshmaker), rente (2%) en operationele kosten. De jaarlijkse kosten zijn gebaseerd op de dimensionering van de drie GO-FRESH veldproeven.

Technologie	Jaarlijkse kosten (afschrijving, rente, operationeel)	Kostprijs (euro/m ³)
Freshmaker (15ha)	5000-7400	0.50-0.74
Kreekrug Infiltratie Systeem (12 ha)	4300-7100	0.12-0.80
Drains2Buffer (12 ha)	2300-3300	n.v.t.



Toelichting Freshmaker

In de kostprijs berekening is aangenomen dat er 10.000 m³ water jaarlijks te onttrekken is voor zoetwatervoorziening.

Toelichting Kreekrug Infiltratie Systeem

In de kostprijsberekening is aangenomen dat er 8.000 m³ (hoge kostprijs) tot maximaal 36.000 m³ (lage kostprijs) jaarlijks te onttrekken is voor zoetwatervoorziening op de veldproef in Serooskerke. Er is geen rekening gehouden met het feit dat de aanvulling van de zoetwaterlens onder de kreekrug enkele jaren kost. Bij gelijke wateronttrekking (# diepdraains) is de spreiding in de indicatieve kuubprijs kleiner. Het is bedrijfseconomisch (ondanks de hogere startinvestering) rendabeler om meer diepdraains aan te leggen; de indicatieve kuubprijs is dan lager. Voor de pilot in Serooskerke geldt bijvoorbeeld een indicatieve kuubprijs van 0.12-0.20 euro/m³ met 9 diepdraains en 0.54-0.80 euro/m³ met 3 diepdraains.

Toelichting Drains2Buffer

Er wordt in deze veldproef geen extra zoetwater ondergronds opgeslagen daarom is er geen indicatieve kostprijs per kubieke meter berekend. Het bedrijf blijft afhankelijk van neerslag. Indringing van zout grondwater in de zoetwaterlens wordt door deze GO-FRESH veldproef tegengegaan. Drains2Buffer was oorspronkelijk gedimensioneerd op 1.6 hectare, de jaarlijkse kosten zijn in deze tabel gepresenteerd voor 12 hectare om de kengetallen beter met de overige twee technieken te kunnen vergelijken.

5.4 Bedrijfseconomische haalbaarheid van de drie veldproeven

In deze sectie wordt onderzoeksvraag 5 (zie sectie 1.4, pagina 5) nader uitgewerkt:

5. *Zijn deze drie verschillende manieren van wateropslag bedrijfseconomisch rendabel? En bij welke hoeveelheden in mm, m³ en € uitgedrukt?*

5.4.1 Analyse met de Calculator

De drie GO-FRESH technologieën zijn bedrijfseconomisch rendabel uit te voeren op landbouwbedrijven, maar niet op elk bedrijf. Of ondergrondse wateropslag met deze drie technieken bedrijfseconomisch rendabel uit te voeren is op een willekeurig locatie is afhankelijk van zaken zoals het bouwplan (gewassen), beschikbaarheid van alternatieve waterbronnen, bedrijfsgrootte en de geohydrologische condities. In dit hoofdstuk formuleren we per technologie de volgende (indicatieve) sociaaleconomische randvoorwaarden, waar mogelijk uitgedrukt in mm, hectare, €/m³, €/ha of percentages (indicatieve netto meeropbrengst):

- Kostprijs per hectare
- Kostprijs per kubieke meter
- Minimale Wateropslag (mm)
- Minimaal noodzakelijke gemiddelde Δ gewasopbrengst (% , kg/ha), bij een netto meeropbrengst van 0 (€/ha/jr) over een afschrijftijd van 15 jaar
- Meekoppelkansen (kwalitatief)

De geohydrologische randvoorwaarden zijn omschreven in onder andere de drie voorgaande hoofdstukken, de eerste fase van GO-FRESH (Oude Essink et al., 2014) en in de rapportages van de zoet-zout kartering te Zeeland FRESHEM Zeeland (Delsman et al., 2018; Van Baaren et al., 2018).

Tabel 5.9 Indicatieve beslisregels om bedrijfseconomische haalbaarheid per bedrijf te toetsen gezien vanuit perspectief ondernemer.

Indicator	Beslisregel			Toelichting
	Kreekrug Infiltratie Systeem	Freshmaker	Drains2Buffer	
Maximale Kostprijs € ha ⁻¹	2500	n.v.t.	2500	Vergelijking met kostprijs peilgestuurde drainage (Jeuken et al., 2015)
Maximale Kostprijs € m ⁻³ (fruitteelt)	0.70	0.70	n.v.t.	Vergelijking met kostprijs landbouwwaterleiding (INFRAM et al., 2016) en met de prijs van drinkwater (EVIDES, 2018)
Maximale kostprijs € m ⁻³ (akkerbouw)	0.25-0.40	0.25-0.40	0.25-0.40	Vergelijking met schatting kosten (€37.000-60.000)* van aanleg van regenwater bassin van 10.000 m ³ waarmee je ~10-15ha van 3-4 beregeningsbeurten (25mm) kan voorzien. De kosten zijn afgeschreven over 15 jaar. Er zijn akkerbouwers met een regenwater bassin, dus het is redelijk om ondergrondse wateropslag voor deze sector te gebruiken als vergelijking.
Minimale Wateropslag (mm)	75-100	75-100	75-100	Het moet mogelijk zijn om 3-4 extra beregeningsgiften uit te voeren van 25 mm om een (gemiddelde) droogteperiode te kunnen overbruggen en zoutschade risico's te verkleinen in matig droge (1996) tot droge zomers (2003). In extreem droge zomers (bijv. 1976) zijn, ook met extra zoetwatervoorziening, grote opbrengstderivingen onvermijdelijk.
Minimale (gem) Δgewasopbrengst (kg/ha) (over 15 jaar) (akkerbouw)	6-8%**	Niet onderzocht.	6-8%**	Voor het Kreekrug Infiltratie Systeem en de Drains2Buffer is binnen GO-FRESH I ook gekeken naar de netto opbrengst voor bouwplannen met akkergewassen (Oude Essink et al., 2014; Veraart et al., 2017). Bij gelijkblijvend bouwplan lijkt voor deze specifieke scenario's er een netto meeropbrengst van 0 te zijn wanneer de technieken over de duur van de afschrijftijd (15 jaar) gemiddeld leiden tot een opbrengstverhoging van minimaal 6 tot 8% (kg/ha) onder de aanname dat 100mm extra wateropslag gerealiseerd wordt geheel beschikbaar voor beregening.
Minimale (gem) Δgewasopbrengst (kg/ha) (over 15 jaar) (fruitteelt)	<6-8%**	Niet onderzocht, maar <6-8%**	<6-8%**	Expertoordeel. Gegeven dat fruitteelt meer per hectare oplevert dan akkerbouw zal de noodzakelijke Δgewasopbrengst over de gekozen afschrijftijd lager zijn bij een netto meeropbrengst van 0.
Meekoppelkansen	Mitigatie wateroverlast, peilopzet voorjaar, afstemming peilopzet aanliggende natuurgebieden, sturing uitspoeling nutriënten	Nachtvorstbestrijding, te combineren met druppelirrigatie en fertigatie	Mitigatie wateroverlast, peilopzet voorjaar, afstemming peilopzet aanliggende natuurgebieden, sturing uitspoeling nutriënten	

* Kosten kengetallen voor bovengrondse opslag uit literatuur variëren tussen ca €37.000 (inclusief verzameldrain om opgevangen water terug te voeren naar bassin) (Tolk, 2012) tot maximaal ca. €60.000 (Schipper et al., 2014; STOWA, 2015).

** Wanneer tegelijkertijd het bouwplan veranderd wordt kan de investering zich sneller terugverdienen dan de afschrijftijd.



Kostprijs per hectare: KIS, de pilot en effect opschaling (ha) per pilot (met Calculator)

Het KIS wordt bij een waterwinningspercentage van 85%, een rentevoet van 2% en afschrijftijd van 15 jaar vergelijkbaar met de kostprijs van peilgestuurde drainage bij een toepassing op 250 hectare in de akkerbouw, mits kostenbesparingen realiseerbaar zijn en VAMIL subsidie verleend wordt. Bij een oppervlakte van 30 hectare is het KIS systeem 200 € ha⁻¹ duurder dan peilgestuurde drainage in de simulaties met de Calculator.

Kostprijs per hectare: D2B, de pilot en effect opschaling (ha) per pilot (met Calculator)

Wanneer kostenbesparingen mogelijk zijn dan is D2B reeds bij kleine toepassingen (1 ha) al vergelijkbaar/lager dan de kosten van een regulier peilgestuurde drainage systeem. Wanneer geen kostenbesparingen mogelijk zijn dan wordt de kostprijs vergelijkbaar met peilgestuurde drainage bij toepassingen groter dan 55 hectare.

Kostprijs per hectare: Freshmaker, de pilot en effect opschaling (ha) per pilot (met Calculator)

Voor de Freshmaker wordt de kostprijs per hectare niet een relevante indicator geacht voor het besluit wel of niet te investeren in extra zoetwatervoorziening.

Kostprijs per kubieke meter: KIS, de pilot en effect opschaling (m³) (met Calculator)

Voor KIS is de indicatieve kostprijs in de pilot met de aanleg van 1 diepdrain en een water terugwinpercentage van 19% (8000 m³) alleen vergelijkbaar met de kosten van de landbouwwaterleiding wanneer kostenbesparingen mogelijk zijn en de VAMIL subsidie wordt toegekend. Bij dit lage waterwin percentage is de technologie alleen interessant voor de fruitteelt. Wanneer meer diepdrains (9) worden aangelegd waarmee het terugwinpercentage wordt opgevoerd tot 86% dan is de indicatieve kostprijs per kuub (met en zonder kostenbesparingen en VAMIL subsidie) al (theoretisch) concurrerend met de landbouwwaterleiding en luxe bovengrondse opslag bij een dimensionering van het systeem gericht op een wateronttrekking van 1000 m³ en een oppervlakte van het peilgestuurde drainage systeem < 0.50 hectare en bij een dimensionering van 8000 m³ (2.7 hectare peilgestuurde drainage) is de indicatieve kostprijs ook al vergelijkbaar met goedkope bovengrondse wateropslag.

Kostprijs per kubieke meter: D2B, de pilot en effect opschaling (m³) (met Calculator)

De kostprijs per kubieke meter is voor de Drains2Buffer-technologie niet relevant omdat er geen extra water aan de ondergrond wordt toegevoegd, het gaat om langer vasthouden van regenwater.

Kostprijs per kubieke meter: Freshmaker, de pilot en effect opschaling (m³) (met Calculator)

Voor de Freshmaker is de indicatieve kostprijs per kubieke meter al bij de huidige gerealiseerde dimensionering (5000-10000 m³) in de pilot vergelijkbaar met de kostprijs per kuub van de landbouwwaterleiding (rentevoet 2%, afschrijftijd 20 jaar, 670 m³/ha) en daarmee een volwaardig alternatief voor zoetwatervoorziening in de fruitteelt. Wanneer de kostenbesparingen mogelijk zijn en VAMIL subsidie verstrekt wordt, wordt de kostprijs per kubieke meter vergelijkbaar met luxe bovengrondse wateropslag (0.40 €/m³). Bij een dimensionering van rond de 20.000-25000 m³ winbaar zoetwater wordt deze technologie een volwaardig alternatieve zoetwaterbron voor de akkerbouw. De Freshmaker kan, op basis van de kostprijs per kubieke meter, niet concurreren met goedkope bovengrondse water opslag (0.25 €/m³) in de akkerbouw. Dan moet je onrealistisch hoge bedrijfsoppervlaktes (>750 ha) invoeren in de Calculator. Bij de afweging is het ook belangrijk om mee te wegen dat bovengrondse opslag een ruimtebeslag legt die bij ondergrondse opslag voor gewasproductie en fruit beschikbaar blijft (baten).

Meekoppelkansen

De bedrijfseconomische perspectieven van de drie GO-FRESH concepten verschillen per agrarische sector. Voor fruittelers is de Freshmaker interessant, mede omdat de techniek goed te combineren is met druppelirrigatie en fertigatie. Het extra ondergronds opgeslagen water is voor fruittelers ook te gebruiken voor nachtvorstbestrijding. De peilgestuurde drainagesystemen van Drains2Buffer en het Kreekrug Infiltratie Systeem zijn ook te gebruiken bij het mitigeren van wateroverlast (reductie natschade). Met het peilgestuurde drainagesysteem kan in het voorjaar het peil worden opgezet ten bate van de teelt, waarmee berekening kan worden uitgesteld (reductie aantal beregeningsgiften). Tevens is het met een peilgestuurd drainage systeem beter mogelijk om peilen beter af te stemmen op de wensen van aanliggende percelen of natuurgebieden.

Het Kreekrug Infiltratie Systeem (KIS) en de Drains2Buffer (D2B) zijn met name interessant voor akker- en tuinbouwbedrijven. Het KIS kan ook toegepast worden in de fruitteelt. Wanneer waterconservering in de bodem (D2B) of ondergrondse opslag (KIS, Freshmaker) slim gecombineerd wordt met aanpassingen in de gewaskeuze (akkerbouw, tuinbouw) of aanleg van fruitpercelen, dan kan de investering in extra zoetwater zich sneller terugverdienen. Bovendien is de verwachting dat de concentratie ziektekiemen zoals bruinrot in het zoetwater (sterk) afneemt tijdens de zuurstofloze passage door de ondergrond.

5.4.2 Conclusies per technologie: Wanneer rendabel?

Kreekrug Infiltratie Systeem

- Op basis van de kostprijs per hectare wordt de toepassing van het KIS bedrijfseconomisch interessant voor de akkerbouw bij toepassingen van groter dan 30 hectare, optimaal gebruik van kostenbesparingen en VAMIL subsidie bij de gekozen afschrijftijd (15 jaar), rentevoet (2%) en terugwinpercentage van 85%. De hamvraag voor succesvolle opschaling is of de extra investering van 200 €/ha voor de ondernemers als te hoog wordt ervaren of niet. Waarschijnlijk zullen zij dit uiteindelijk afwegen tegen de indicatieve meeropbrengst (kg/ha) die zij zelf voorzien op basis van hun eigen ervaring.
- Wanneer ondernemers de indicatieve kostprijs per kubieke meter gaan vergelijken met alternatieven voor wateropslag zoals bovengrondse wateropslag of de Freshmaker dan wordt de afweging heel anders. Bij een laag terugwin percentage (19%) lijkt de techniek alleen interessant voor de Fruitteelt mits kostenbesparing gerealiseerd wordt en VAMIL subsidie verkregen wordt. Wanneer de ondernemer kiest om procentueel meer water te onttrekken (86%) door de aanleg van meer diepdraains is de technologie reeds bij kleine dimensionering al een volwaardig alternatief voor bovengrondse wateropslag en concurrerend met de Freshmaker.

Drains2Buffer

- Wanneer kostenbesparingen mogelijk zijn (zoals aanwezigheid (peilgestuurde) drainage of meerdere bedrijven die willen aanleggen) dan is D2B reeds bij kleine toepassingen (1 ha) al vergelijkbaar/lager dan de kosten van een regulier peilgestuurd drainage systeem. Wanneer geen kostenbesparingen mogelijk zijn dan wordt de kostprijs vergelijkbaar met peilgestuurde drainage bij toepassingen groter dan 55 hectare.

Freshmaker

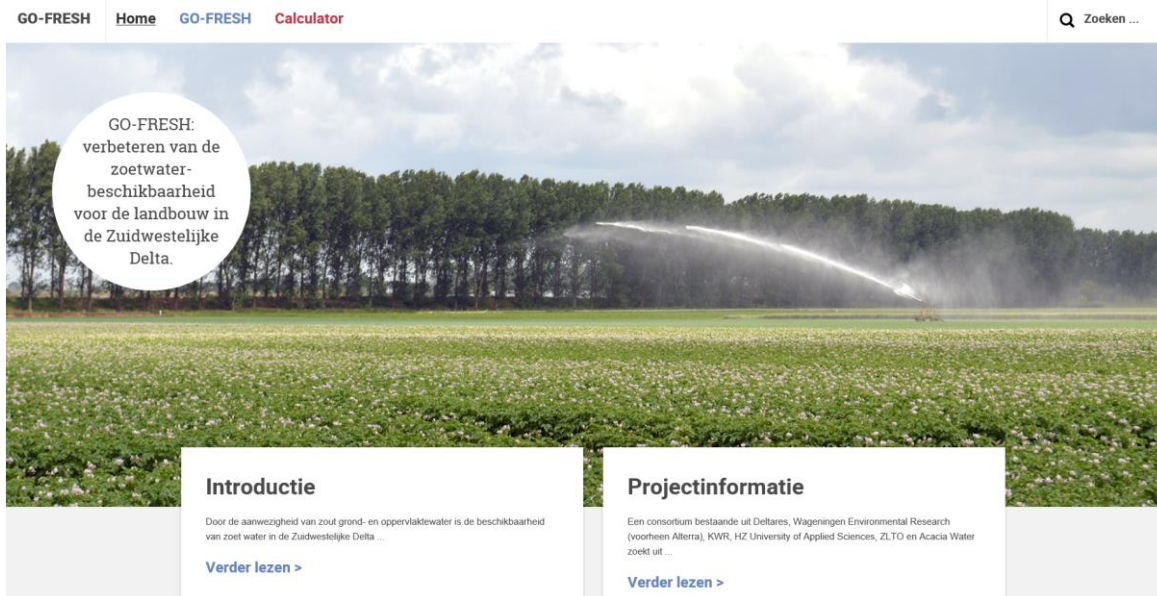
- Voor de Freshmaker is de indicatieve kostprijs per kubieke meter al bij de huidige gerealiseerde dimensionering (5000-10000 m³) in de veldproef vergelijkbaar met de kostprijs per kuub van de landbouwwaterleiding (rentevoet 2%, afschrijftijd 20 jaar, 670 m³ ha⁻¹) en daarmee een volwaardig alternatief voor zoetwatervoorziening in de



fruitteelt. Wanneer de kostenbesparingen mogelijk zijn en VAMIL subsidie verstrekt wordt dan is de kostprijs per kubieke meter vergelijkbaar met luxe bovengrondse wateropslag (0.40 €/m^3) bij een dimensionering van rond de $20.000\text{-}25000 \text{ m}^3$ winbaar zoetwater en is bij deze condities het mogelijk interessant voor de akkerbouw. De Freshmaker kan, op basis van de kostprijs per kubieke meter, niet concurreren met goedkope bovengrondse water opslag (0.25 €/m^3) in de akkerbouw. Bij de afweging is het ook belangrijk om mee te wegen dat bovengrondse opslag een ruimtebeslag legt die bij ondergrondse opslag voor gewasproductie en fruit beschikbaar blijft (baten). Deze baten worden vooralsnog niet meegenomen in de Calculator.

6 Semantische wiki

<http://www.go-fresh.info>



Figuur 6.1 Semantische wiki, inclusief de Calculator.

Tijdens het project is een semantische wiki ontwikkeld door HZ University of Applied Sciences. HZ University of Applied Sciences heeft veel ervaring met het ontwikkelen van semantische wiki's. De HZ University of Applied Sciences wil dat alle kennis en expertise die wordt ontwikkeld binnen projecten in de toekomst geborgd worden in wiki's. HZ University of Applied Sciences gebruikt de zogenaamde Expertise Management Methodologie (EMM) om kennis uit projecten te verwerken en delen. EMM is een manier om kennis en expertise voor iedereen op een systematische manier te ontleden en inzichtelijk te maken; kennis en expertise die anders vaak in het brein van de experts blijft steken.

De wiki is het medium om de resultaten van een kennisanalyse op te slaan en weer te geven en het is bovendien semantisch. Een semantische wiki laat de relaties die kennisonderdelen met elkaar hebben duidelijk zien. Dit vereenvoudigt het maken van links en connecties tussen projecten en geeft mogelijk de aanzet tot vervolg onderzoeksvragen en/of projecten. De wiki is gemaakt met dezelfde software als wordt gebruikt in Wikipedia. Dit betekent dat de wiki gemakkelijk te gebruiken is, zoals een gewone website, maar wel met de extra voordelen van de semantische connecties. Tevens kan iedereen informatie aandragen.

In het GO-FRESH project is een wiki ontwikkeld met de eindgebruiker in gedachten. In dit geval kan de eindgebruiker een agrariër zijn, die graag zoetwater ondergronds wil opslaan op zijn perceel, een onderzoeker die de resultaten van het project wil zien, een ambtenaar die meer wil weten over het onderwerp of gewoon een geïnteresseerde partij. Het ontwikkelen van de wiki had tot doel alle kennis en resultaten van het GO-FRESH project in een visuele, open en toegankelijke manier te laten zien aan eindgebruikers en belanghebbenden. Dit is gerealiseerd; alle werkpakketten van het project vinden hun plaats in de wiki; informatie over



de Freshmaker, de Drains2Buffer, het Kreekrug Infiltratie Systeem en de Economische haalbaarheidsstudie zijn allemaal te vinden in de wiki.

Een aanvullend doel van de wiki was om een “Decision Support Tool” te ontwikkelen en in de wiki te integreren – dit kan een agrariër helpen te bepalen welke techniek het beste past bij zijn perceel. Deze tool is ook gerealiseerd en te vinden in de wiki onder de “Calculator” pagina. Deze calculator geeft de minimaal en maximaal jaarlijkse kosten per techniek aan op basis van specifieke perceelinformatie. Op deze manier kan een agrariër een gefundeerde keuze maken om al dan niet een bepaalde techniek te selecteren en te installeren.

Veldproeven



Freshmaker

De Freshmaker infiltreert overtollig zoetwater via ondiepe horizontale putten in een bestaande zoetwaterlens. Met diepere horizontale putten wordt tegelijkertijd zoutwater onttrokken om ruimte te maken en te voorkomen dat zoetwater opdrijft in het zoute water.

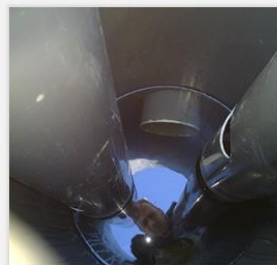
[Verder lezen >](#)



D2B

Drains2Buffer (D2B) is bedoeld om dunne regenwaterlensen te laten groeien en ze beter weerbaar te maken voor klimaatveranderingen.

[Verder lezen >](#)



KIS

Het doel van het Kreekrug Infiltratie Systeem (KIS) is om een zoetwaterbel onder een kreekrug uit te breiden, zodat er in tijden van watervraag meer zoet grondwater kan worden onttrokken.

[Verder lezen >](#)

Ondergrond

De geologische ontwikkeling van Zuidwest-Nederland is in hoge mate bepaald door ...

[Verder lezen >](#)

Vergunningen

Voor sommige activiteiten is het aanvragen van een vergunning vereist ...

[Verder lezen >](#)

Zoetwatervoorziening

Voldoende zoetwater is cruciaal voor de stabiliteit van dijken en stedelijke bebouwing ...

[Verder lezen >](#)

Voordelen

De pilots van GO-FRESH leveren de kennis die nodig is om water in de bodem te conserveren ...

[Verder lezen >](#)

Kosten

De bedrijfseconomische perspectieven van de drie GO-FRESH-concepten verschillen per sector ...

[Verder lezen >](#)

Calculator

De calculator geeft u de mogelijkheid om een eerste gevoel te krijgen over de kosten van ...

[Verder lezen >](#)

Inhoud

- 1 Investeringskosten
- 2 Operationele kosten
- 3 Rente en aflossing
- 4 Kostenbesparingsmogelijkheden
- 5 Subsidie- en financieringsmogelijkheden
- 6 Meekoppelkansen
- 7 Baten
- 8 Calculator
- 9 Meer informatie over bedrijfseconomische aspecten van zoetwatervoorziening:



Figuur 6.2 Impressies van de semantische wiki.



7 Opschalingsmogelijkheden

Er is in het project GO-FRESH per techniek gekeken naar de opschaalbaarheid van de maatregelen in de zuidwestelijke delta. In de eerste plaats zijn opschalingmogelijkheden afhankelijk van de fysische eigenschappen van het water- en bodemsysteem. In deze analyse is de focus gelegd op de geohydrologische factoren; voornamelijk is geen rekening gehouden met alternatieve waterbronnen zoals bijvoorbeeld de aanwezigheid van een waterleiding. De fysische eigenschappen zijn bepaald voor de drie maatregelen. De gegenereerde kaarten laten zien waar de fysische omstandigheden meer of minder gunstig zijn. Omdat met name landelijke hydro(geo)logische databestanden zijn gebruikt als invoer, zijn de kaarten slechts bruikbaar voor een eerste verkenning van de mogelijkheden om de zoetwatervoorziening in een gebied te vergroten. De factoren die per maatregel zijn benoemd geven wel een indicatie van wat belangrijk is in de opschaling.

In de landelijke studie van Van Bakel et al. (2014), '*Methode voor het selecteren van lokale zoetwateroplossingen en het afwegen van hun effecten, 'Fresh Water Options Optimizer'*', is een methode ontwikkeld om de potentie van een aantal zoetwatermaatregelen op het schaalniveau van een groter gebied te verkennen, en om hun effecten af te wegen. Deze studie is hier als basis genomen; voor Drains2Buffer is de methode nog wat aangescherpt tijdens het GO-FRESH project. Per type maatregel is binnen de studie van Van Bakel et al. (2014) een GIS-procedure opgezet. In de volgende paragrafen wordt deze kort samengevat. Meer informatie over bijvoorbeeld andere typen lokale zoetwateroplossingen, ook in andere delen van Nederland, is naast Van Bakel et al. (2014)¹⁰ ook te vinden op de websites van STOWA¹¹ of de Klimaatatlas (<http://klimaatatlas.wur.nl/fwoo/>).

7.1 Opschaling Kreekrug Infiltratie Systeem

7.1.1 Randvoorwaarden aanleg Kreekrug Infiltratie Systeem

De belangrijkste parameters voor een werkend Kreekrug Infiltratie Systeem zijn (zie ook Sommeijer et al., 2013):

1. Een zoetwaterlens in een watervoerend pakket.
2. Ondergrond bestaande uit doorlatend (zandig) materiaal op de plaats van de zoetwaterlens. Vooral kreekruggen, dekzandruggen en duingebieden lenen zich hier over het algemeen voor.
3. Afwezigheid van scheidende kleilagen onder de basis van de huidige zoetwaterlens om groei van de lens mogelijk te maken.
4. Mogelijkheid om de grondwaterstanden gedurende het winterhalfjaar (tijdelijk, maar liefst zo lang mogelijk) te verhogen (een relatief dikke onverzadigde zone dus).
5. Een zoetwaterbron. De zoetwaterbron kan een zoete sloot zijn maar ook bijvoorbeeld neerslag van daken of zoet drainagewater van een nabij gelegen perceel.

Bij de aanleg is het verder belangrijk om rekening te houden met:

1. Huidige wet- en regelgeving en vergunningverlening. Deze is in ontwikkeling voor kleinschalige infiltratiesystemen voor landbouwtoepassingen door Waterschap Scheldestromen.

¹⁰ <https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/PUBLICATIES/Publicaties%202014/STOWA%202014-43.pdf>

¹¹ <https://www.stowa.nl/publicaties/fresh-water-options-optimizer-methode-voor-het-selecteren-van-lokale>

2. Kwaliteit van het infiltratiewater en grondwater/bodem waar het water wordt geïnfiltreerd (oxisch of anoxisch).
3. Wie of welke functies zijn nog meer afhankelijk van het zoete water dat gebruikt wordt voor infiltratie en hoe kunnen hier afspraken over gemaakt worden.
4. Verhoogde grondwaterstanden in de omgeving van het infiltratieperceel. Met aanvullende drainage kan dit voorkomen worden.
5. Het inschakelen van een peilgestuurde drainage expert voor een advies op maat.

Verder is binnen het project niet gekeken naar een nauwkeurige waterbalans op basis van metingen; fluxen van verdamping, afstroming naar sloten etc. zijn bijvoorbeeld niet in kaart gebracht. Het is nog onduidelijk of er op andere locaties tevens relatief weinig problemen met verstopping van drains kunnen worden verwacht, en of met een andere ondergrond de grondwaterstand op dezelfde manier kan worden opgehoogd. Om kennis hierover op te doen is het opschalen van het Kreekrug Infiltratie Systeem nodig.

7.1.2 Betekenis van de resultaten van de veldproef voor andere locaties

De resultaten van deze veldproef met het Kreekrug Infiltratie Systeem kunnen niet direct vertaald worden naar andere percelen. In aanvulling op bovenstaande aspecten zijn namelijk de volgende lokale omstandigheden van invloed op de groei van de zoetwaterlens:

1. Doorlatendheid van de ondergrond: bij een lagere doorlatendheid zal de grondwaterstand sneller toenemen door infiltratie, maar kan het water minder snel infiltreren.
2. Kleilagen in de ondergrond: zoals in de vorige sectie is beschreven kunnen deze belemmerd werken voor infiltratie van het zoete water. In andere woorden: de lens kan niet verder groeien. Als de kleilaag alleen ondiep ligt kan overwogen worden om het zoete water onder de kleilaag te infiltreren. Ook kan geen grondwater terug gewonnen worden uit kleiige pakketten.
3. Verhoging van de grondwaterstand: hoe hoger de grondwaterstand kan worden ten opzichte van de huidige situatie, hoe groter de zoetwaterlens zal worden (zonder verdere (geologische) belemmeringen).
4. Drainage rond het infiltratieperceel: als grondwaterstanden rond het perceel laag worden gehouden door buisdrainage of sloten met lage peilen kan het zoete water sneller gedraineerd worden/afstromen en is het lastiger om de hogere grondwaterstand vast te houden na een periode van infiltratie.
5. Beschikbaarheid van (zoet) oppervlaktewater. Hoe meer zoet water beschikbaar is om te infiltreren, hoe groter de kans op snelle groei van de zoetwaterlens.
6. Zoutgehalte van het grondwater: hoe minder zout het grondwater, hoe lager de dichtheid en hoe sneller en hoe dieper de zoetwaterlens.

7.1.3 Beschikbare informatie voor toepassing Kreekrug Infiltratie Systeem

De volgende informatie is beschikbaar voor het inventariseren van de haalbaarheid van een Kreekrug Infiltratie Systeem:

- Wiki GO-FRESH: expertisesysteem voor watergebruikers. Op de website <http://195.93.238.49/wiki/gofresh/wiki/index.php/EMMSkinHome> of <http://go-fresh.info> staat veel informatie over hoe ondernemers de aanleg van een Kreekrug Infiltratie Systeem kunnen bewerkstelligen. Er is informatie te vinden over de ondergrond, vergunningen, zoetwatervoorziening en kosten.



- FRESHEM – kartering zoet-brak-zout verdeling grondwater. Dit portal <https://kaarten.zeeland.nl/map/freshem> verschaft informatie over de diepteligging van het zoet-zout grensvlak.
- Dinoloket GeoTOP: kartering ondergrond. Op deze website is informatie van de ondergrond te vinden. GeoTOP is een model waarmee op regionale schaal wordt ingeschat hoe de lithologie en geologie van de ondergrond is. Op de website <https://www.dinoloket.nl/ondergrondmodellen-betaversie> is GeoTOP v1.3 te vinden. De meeste waarschijnlijke lithoklasse kan gekozen worden om de lithologie in te schatten.

Verder kan voor een eerste inschatting de dikte van de zoetwaterlens en het volume ervan analytisch bepaald worden. De dikte van de zoetwaterlens H en de hoogte van de freatische grondwaterstand h als functie van de breedte van de lens L , de infiltratie of grondwater aanvulling N , de doorlatendheid K , relatief dichtheidsverschil α ¹² en horizontale afstand x is als volgt te bepalen (Oude Essink, 2001; Pauw, 2015; Van Dam, 1983), zie ook Figuur 7.1:

$$H(x) = \sqrt{\frac{N(0.25L^2 - x^2)}{K(1 + \alpha)\alpha}} \quad \text{en } h = \alpha H \quad (7.1)$$

De maximale dikte van de zoetwaterlens (op $x=0$ in het midden van de lens) is:

$$H_{max} = \frac{1}{2} L \sqrt{\frac{N}{K(1 + \alpha)\alpha}} \quad (7.2)$$

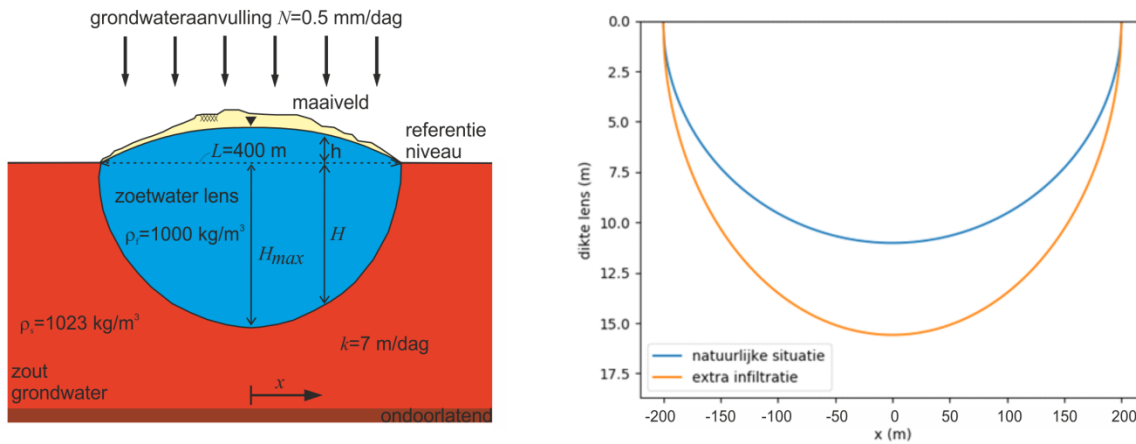
Aan de vergelijking is te zien dat met een aanpassing van de infiltratie N de dikte van de zoetwaterlens toeneemt met een factor \sqrt{N} ; als de infiltratie 2 keer zo groot wordt dan wordt de zoetwaterlens $\sqrt{2} \approx 1.4$ keer zo diep. Het volume V (in m^3 per strekkende meter kreekrug) van de totale zoetwaterlens is dan (inclusief het zoete grondwater boven het referentie niveau), waarbij n_e de effectieve porositeit is:

$$V = \frac{1}{4} \pi (1 + \alpha) H_{max} L n_e \quad (7.3)$$

Hieronder een rekenvoorbeeld:

Stel dat onder een $L=400$ m brede kreekrug een zoetwaterlens aanwezig is. De schatting van de doorlatendheid is $K=7$ m/d, een dagelijkse grondwateraanvulling van $N=0.5$ mm/d onder een 400 m brede kreekrug, en een relatief dichtheidsverschil α van 0.023. Gebruik van vergelijking (7.2) levert de maximale dikte van de zoetwaterlens H op: 11.02 m. Met een porositeit n_e van 0.3 komt het volume van de lens V in de natuurlijke situatie neer op 1062 m^3 per meter kreekrug. Voor een perceel van 250 m kreekrug (400 m breed, 250 m lang = 10 ha), komt dit neer op in totaal 265614 m^3 . Stel dat we door kunstmatige infiltratie de grondwateraanvulling met een factor 2 verdubbelen tot $N=1$ mm/d, dan neemt de lens in dikte toe in de uiteindelijke situatie (Figuur 7.1b). Voor deze situatie met aanvullende infiltratie wordt op termijn –aannemende dat er geen weerstandsbiedende laag aanwezig is– de dikte van de zoetwaterlens H 15.59 m, het volume van de lens V 1503 m^3 per strekkende meter kreekrug, en het totale volume voor een 250 m lang perceel 375635 m^3 . Het extra geborgen volume in de eindsituatie is dan 110021 m^3 . Uiteraard moeten deze getallen alleen ter indicatie worden beschouwd, maar het geeft een idee van hoeveel water er eventueel geborgen zou kunnen gaan worden.

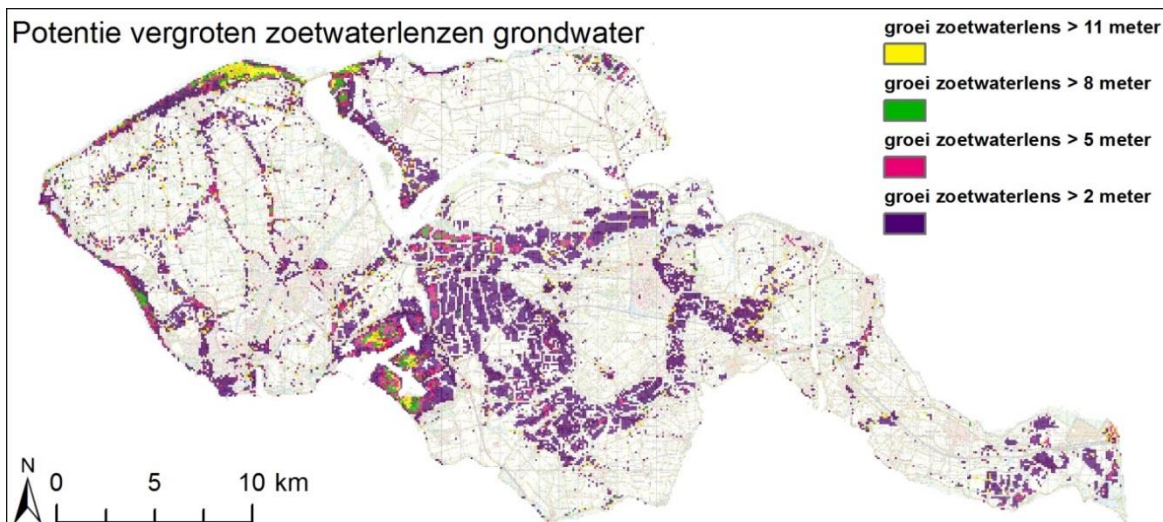
¹² Het relatieve dichtheidsverschil α is gedefinieerd als: $(\rho_s - \rho_l) / \rho_l$, waarbij ρ_s de dichtheid van het zoute grondwater is en ρ_l de dichtheid van het zoete grondwater: oceaanwater heeft een ρ_s van 1025 kg/m^3 , zoetwater van 1000 kg/m^3 .



Figuur 7.1 a. conceptuele voorstelling van de analytische vergelijking, b. rekenvoorbeeld voor het schatten van de dikte van de regenwaterlens.

7.1.4 Opschalingskaart Midden Zeeland

Voor Midden Zeeland is een inschatting gemaakt van de potentie van de groei van de zoetwaterlenzen door modelmatig de grondwateraanvulling in het winterhalfjaar te verdubbelen. De situatie in het jaar 2050 zonder extra infiltratie is vergeleken met de situatie in het jaar 2050 met deze extra infiltratie voor de periode 2010 - 2050. Hierbij is geen rekening gehouden met waterbeschikbaarheid voor infiltratie. Voor de berekeningen is gebruik gemaakt van het dichtheidsafhankelijke Zeeland model (Van Baaren et al., 2016), zonder de FRESHEM resultaten en met een lithologisch model dat gebaseerd is op REGIS Zeeland (Vernes et al., 2010).



Figuur 7.2 Potentiekaart vergroten zoetwaterlenzen in het grondwater door verdubbeling van de grondwateraanvulling in het winterhalfjaar. In de legenda staat de groei van de zoetwaterlens in meters weergegeven ten opzichte van de dikte van de huidige zoetwaterlens.

In de projecten Fresh Water Options Optimizer en de Regioscan is gekeken naar de toepassing in geheel Nederland (Delsman et al., 2017; Van Bakel et al., 2014). In het project TOPSOIL: FRESHEM for GO-FRESH Vlaanderen worden toepassingen in Vlaanderen bekeken samen met lokale stakeholders. Maar ook elders in de wereld in (vaak laaggelegen)



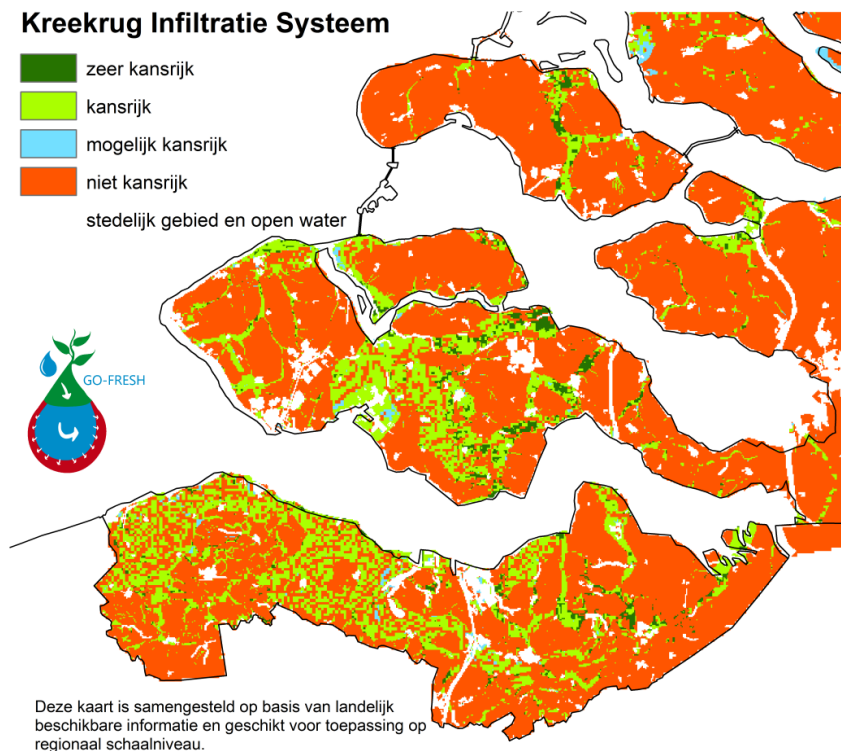
gebieden met lokale zoetwaterlenzen in een zoute omgeving zijn mogelijkheden om Kreekrug Infiltratie Systeem achtige systemen toe te passen.

7.1.5 Procedure opschalingskaart Kreekrug Infiltratie Systeem

De volgende factoren zijn van belang bij het bepalen van de geschiktheid voor het Kreekrug Infiltratie Systeem (Van Bakel et al., 2014):

1. Factor A: Aanwezigheid zandige, hoger gelegen kreekrug of oude geul
De ligging van oude (zandige) kreken en geulen is in kaart gebracht voor het huidige gebied. Informatiebron: GeoTOP (Stafleu and Gunnink, 2016).
2. Factor B: Ligging in zout gebied
Op basis van het brak-zout grensvlak van TNO is een gebied omlijnd waarbij het grensvlak ondieper ligt dan 25 m diepte. Dit gebied wordt aangeduid als het zoute gebied. FRESHM is niet gebruikt bij het bepalen van deze factor: het was bij het aanmaken van de kaarten nog niet beschikbaar. Deze factor is overigens niet bepalend, zodat het KIS eventueel ook buiten het zoute gebied kan worden aangelegd. Informatiebron: DinoLoket.
3. Factor C: Aanwezigheid van de potentie om te infiltreren
In een gebied waar een kwel flux vanuit de ondergrond optreedt is (kunstmatig) infiltreren moeilijk te realiseren. Informatiebron: GIS-bestand gemiddelde kwel-infiltratie flux van NHI (raster 250x250 m).
4. Factor D: Bodem geschikt voor infiltratie via drainagebuizen
Deze factor bepaalt in hoeverre de bodem geschikt is voor de actieve infiltratie van zoetwater via infiltratiedrains. Infiltratiedrains zullen over het algemeen dieper worden geplaatst dan traditionele drainage en voor deze factor is daarom de geschiktheidskaart voor diepere regelbare drainage gebruikt. Informatiebron: GIS-bestand geschiktheidskaart samengestelde regelbare (klimaat adaptieve) drainage van Future Water (raster 250x250 m).
5. Factor E: Voldoende diepe grondwaterstand
Deze factor bepaalt hoeveel de grondwaterstand nog kan stijgen. Hoe meer de grondwaterstand stijgt, hoe dikker de zoetwaterlens op termijn kan worden. Informatiebron: GIS-bestand GHG uit NHI (raster 250x250 m).
6. Factor F: Aanwezigheid van klei- en veenlagen die de lensgroei belemmeren.
Kreekruggen hebben vaak een afwijkende lithologische opbouw dan hun directe omgeving; ze zijn vaak zandiger ontwikkeld. Zeker bij de kleine kreekruggen is deze lokale ruimtelijke variatie door het schaalniveau niet beschikbaar in het NL-3D bestand (zelfs GeoTOP is waarschijnlijk niet nauwkeurig genoeg). Echter, voor het gekarteerde gebied is wel veel gedetailleerdere informatie van de ondiepe ondergrond beschikbaar waarbij de ruimtelijke variatie veel beter is meegenomen. Zo kan voor kreekruggen beter worden bepaald of bepaalde kleilagen wel of niet binnen 20 m diepte voorkomen. Informatiebron: GIS-bestand NL-3D (Dinoloket): voor de bovenste 15 m is voor elke meter bekend wat de lithologie is. Voor het traject 15 tot 20 m diepte is REGIS gebruikt.

In Van Bakel et al. (2014) is elke factor tot uiting gebracht in een aparte kaart die aangeeft waar de fysische omstandigheden wel of niet geschikt zijn. Vervolgens is een score toegekend voor de individuele factoren, en wordt uiteindelijk de geschiktheid bepaald aan de hand van de totale score. Details zijn te vinden in Van Bakel et al. (2014). Het eindresultaat (Figuur 7.3) laat het resultaat zien. De locaties van de kreekruggen (Factor A) zijn behoorlijk leidend of de maatregel kansrijk is.



Figuur 7.3 Kanskaart met voorkeursgebieden voor de maatregel Kreekrug Infiltratie System.

In 2013 is voor Walcheren aan de hand van zeven criteria ingeschat welke kreekruigen geschikt zijn voor het vergroten van de zoetwatorvoorraad (Sommeijer, 2013; Sommeijer et al., 2013). Deze criteria zijn net weer iets anders: 1. maaiveld boven NAP; 2. lutum gehalte <35% zodat de hydraulische conductiviteit ('doorlatendheid') voldoende is, 3. Landbouw is het landgebruik, 4. er vindt infiltratie plaats, 5. diepte zoet-brak grensvlak is minstens 5m, 6. onverzadigde zone in de winter situatie is minstens 0.85m, en 7. slechtdoorlatende lagen zijn afwezig. Deze kaart genereert een kleiner gebied dan in de studie van Van Bakel als kansrijk is aangegeven. Belangrijke aspecten om de maatregel te realiseren zijn het vasthouden van water op de kreekruigen, het beperken van de effecten van zoute sloten, en het voorkomen dat kostbaar zoet water wordt afgevoerd naar zoute sloten.

7.2 Opschaling Freshmaker

7.2.1 Procedure opschalingskaart Freshmaker

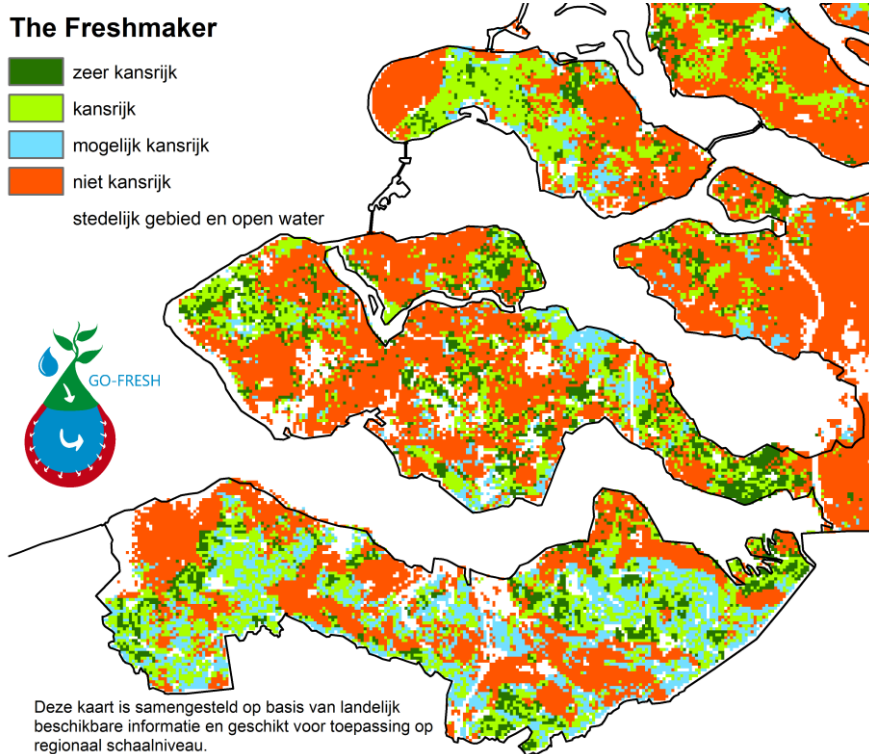
Voor de Freshmaker zijn de volgende zeven factoren van belang geacht bij het bepalen van de geschiktheid van de ondergrond op landelijke schaal in de studie van (Van Bakel et al., 2014):

1. Factor A: geschikt opslagmedium in het traject waar de Freshmaker actief is
Deze factor wordt niet afzonderlijk bepaald maar volgt al uit factor C.
2. Factor B: dikte van de deklaag
Het bereik tussen de diepe put (max. 20 m-mv) en ondiepe put moet groot genoeg zijn. De ondiepe put mag niet dieper liggen dan 5 tot 10 m-mv. De deklaag moet liefst dunner zijn dan 5m (factor B) omdat infiltreren in de deklaag niet goed verloopt. Informatiebron: GIS-bestand: cumulatieve dikte van Holocene klei en veenlagen uit DINO.
3. Factor C: voorkomen klei- en veenlagen in het Freshmaker traject (5 tot 20 m-mv)



- Het voorkomen van klei- en veenlagen beperkt de groei van de lens. In eerste instantie werd de conditie opgelegd dat geen enkele slechtdoorlatende laag aanwezig mocht zijn. Echter, met de gegevens op landelijk schaalniveau bleek geen enkel gebied aan deze voorwaarde te voldoen. Daarom is de grens gelegd bij een cumulatieve dikte van 2,0 m tussen 5 en 15 m-mv (NL3D) en 1,0 m tussen 15 en 20 m-mv (REGIS). Als aan deze factor wordt voldaan dan is de ondergrond in het Freshmaker-traject geschikt als opslagmedium (factor A). Informatiebron: GIS-bestand NL-3D (Dino): voor het traject 5 tot 15 m-mv is voor elke meter bekend wat de lithologie is. Voor het traject 15 tot 20 m diepte is REGIS gebruikt.
4. Factor D: kleilaag in traject 20-40 m-mv
De aanwezigheid van een significante kleilaag onder de diepe HDDW (horizontal directional drilled wells) is weer gunstig omdat deze opkegeling van dieper, zouter water belemmert waardoor een lager onttrekkingsdebiet kan worden gehandhaafd voor de diepe HDDW. Informatiebron: GIS-bestand uit REGIS.
 5. Factor E: Aanwezigheid zoetwaterlens van 3 tot 15 m dikte.
De aanwezigheid van een zoetwaterlens is niet noodzakelijk maar wel zeer gunstig voor de Freshmaker, omdat de natuurlijke situatie dan alleen nog maar versterkt dient te worden. Dikkere zoetwaterlenzen dan 3 m komen in het zoute gebied alleen voor in de infiltratiegebieden. Daarom is voor deze factor het voorkomen van infiltratie gebruikt; in een infiltratiegebied is een zoetwaterlens zeer waarschijnlijk. Informatiebron: GIS-bestand gemiddelde kwel-infiltratie flux van NHI (raster 250x250 m).
 6. Factor F: horizontale stroomsnelheid voor afdrijving van zoetwaterlens.
Een te grote horizontale stroomsnelheid leidt tot afdrijving van het zoete grondwater. De kritieke horizontale snelheid is mede afhankelijk van de lengte van de HDDW-put, namelijk hoe langer de ondiepe HDDW-put (in richting van de stroomsnelheid), hoe groter de horizontale stroming mag zijn. Bij de verticale ASR wordt een lagere kritieke stroomsnelheid gehanteerd omdat de horizontale afdrijving veel sneller tot een grotere afstand van de onttrekkingsput leidt dan bij de horizontale HDDW-putten. Informatiebron: GIS-bestand uit Nationaal Hydrologisch Instrumentarium; de gemiddelde horizontale flux van het eerste watervoerende pakket. Deze is omgerekend naar gemiddelde stroomsnelheid.
 7. Factor G: ligging in zoutgebied.
De Freshmaker is bedoeld voor de berging van zoetwater in gebieden met zout grondwater omdat de Freshmaker voorkomt dat de zoetwaterbel opdrijft door de opwaartse kracht van het zoute omgevingswater. In zoete gebieden kan worden volstaan met een normaal ASR systeem (zonder onttrekking dieper zout grondwater). Op basis van brak-zout grensvlak van TNO (DinoLoket) is globaal een gebied omlijnd waarbij het grensvlak ondieper ligt dan 25 m diepte. Dit gebied wordt aangeduid als het zoute gebied.

Een belangrijke randvoorwaarde voor deze maatregel is (net als voor het KIS) de beschikbaarheid van zoetwater voor infiltratie. Dit is echter niet een aan de ondergrond gerelateerde factor. De beschikbaarheid van zoetwater dient uiteindelijk als additionele afwegingsfactor terug te komen in de methodiek. Figuur 7.4 laat zien dat de Freshmaker niet alleen op kreekruggen maar ook op andere locaties kan worden ingezet.



Figuur 7.4 Kanskaart met voorkeursgebieden voor de maatregel Freshmaker.

7.3 Opschaling Drains2Buffer

Figuur 7.5 geeft de voorkeursgebieden in Zeeland aan voor de maatregel Drains2Buffer. Voor het samenstellen van de kaart met voorkeursgebieden voor Drains2Buffer zijn de volgende fysische factoren in ogenschouw genomen:

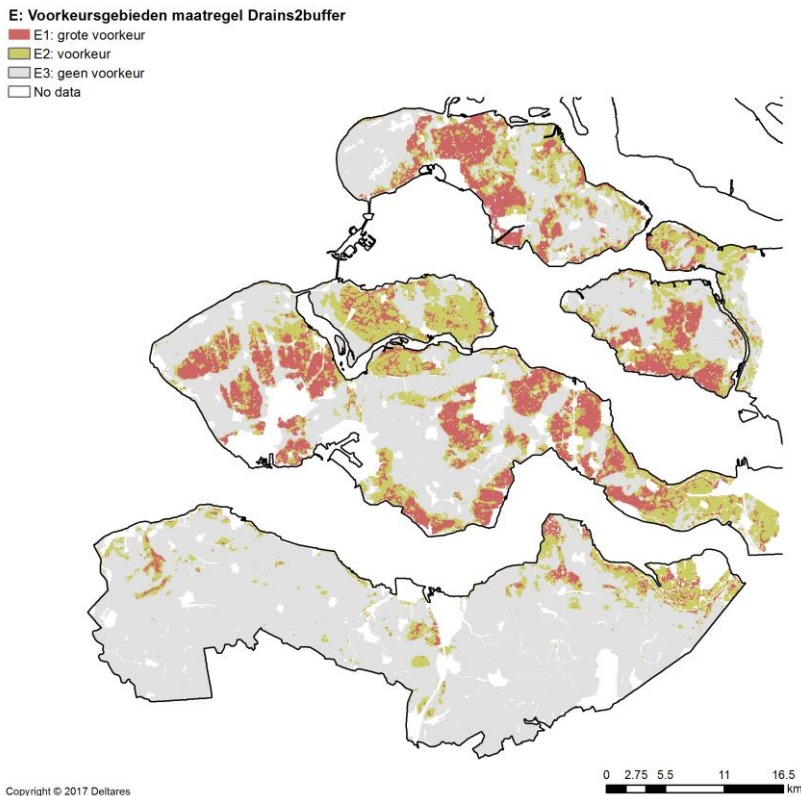
1. Zoet-zout verdeling ondergrond (FRESHM)
2. Kwelgebieden (Grondwater model Zeeland)
3. Capillaire eigenschappen bodem (Bodemkaart)

De combinatie van de eerste twee factoren 1 en 2 bepaalt het voorkomen van dunne regenwaterlenzen, en dus het gebied waar de Drains2Buffer kansrijk is. De capillaire eigenschappen van een bodem bepalen hoe gemakkelijk zout grondwater via capillaire opstijging de wortelzone bereikt. In Bijlage C Methodiek bepaling voorkeursgebieden voor de maatregel Drains2Buffer, p. 151 staat uitgebreid uitgelegd hoe deze kaart met voorkeursgebieden voor Drains2Buffer is afgeleid en op welke manier de fysische factoren hierin een rol spelen.

De voorkeursgebieden zijn grofweg de zoute kwelgebieden van Zeeland waarbij het zout grondwater ondiep (< 4 m) wordt aangetroffen. Alleen bij dunne zoetwaterlenzen, bestaat er de kans op zout in de wortelzone en heeft het zin om het Drains2Buffer principe toe te passen. Echter, algemene regelbare drainage wordt voor alle gebieden geadviseerd omdat met regelbare drainage de vochthuishouding van een perceel goed kan worden gestuurd. Op deze manier kan tijdens het groeiseizoen extra zoetwater voor de planten beschikbaar worden gemaakt, ook in zoet gebieden.

Bij de bepaling van de voorkeursgebieden is het voorkomen van ongerijpte klei niet meegenomen omdat deze gegevens ruimtelijk niet beschikbaar zijn. Zoals tijdens de

Drains2Buffer veldproef duidelijk is geworden speelt dit in het algemeen een belangrijke rol bij de werking van drainage. Deze belangrijke factor als ook het lokaal voorkomen van slechtdoorlatende lagen dienen lokaal in het veld te worden bepaald om een perceel te beoordelen of het geschikt is voor het toepassen van Drains2Buffer.



Figuur 7.5 Kanskaart met voorkeursgebieden voor de maatregel Drains2Buffer.

7.4 Resultierend stappenplan

De kanskaarten geven een eerste indicatie van de geschiktheid per maatregel. Nieuwe Zeeuwse informatie kan worden toegevoegd om de lokale omstandigheden beter mee te nemen. Voor de kanskaarten van het Kreekrug Infiltratie Systeem en de Freshmaker is het bijvoorbeeld wenselijk de FRESHEM data voor de zoet-brak-zout verdeling toe te voegen. Mogelijk zijn dan nieuwe kansrijke gebieden aan de kanskaarten toe te voegen omdat uit de FRESHEM data naar voren komt dat er meer zoet grondwater bevindt in noordwest Tholen, midden Noord-Beveland, het oostelijk deel van Schuiven-Duiveland, in het krekengebied van Walcheren en lokaal te Zeeuws-Vlaanderen dan aan de hand met monsters, boorgatmetingen en VES in het verleden is bepaald (Goes et al., 2009; Van Baaren et al., 2018, 2016).

Bij de afweging van de mogelijkheden voor kleinschalige maatregelen kan het volgende stappenplan worden doorlopen (praktische handreikingen voor het uitvoeren van de stappen zijn vermeld in het rapport van Van Bakel et al. (2014)):

1. Bepaal het huidige én toekomstige zoetwatertekort



2. Bepaal aan de hand van kansenkaarten wat mogelijk is, uitgaande van ondergrond- en watersysteemkarakteristieken
3. Beoordeel de invloed van maatregelen op kwel, grondwaterstand en oppervlaktewater
4. Beoordeel welke interactie plaatsvindt met de omgeving en tussen maatregelen onderling.
5. Maak een raming van de maximaal mogelijke en toegestane stijging van de Gemiddelde Voorjaars Grondwaterstand en maximaal mogelijke toename van de dikte van de zoetwaterlens
6. Bereken de toename van de zoetwaterberging in het gebied waarin maatregelen worden toegepast.

Aanvullend is een bedrijfseconomische haalbaarheid per maatregel vanzelfsprekend van belang (zie hoofdstuk 5).

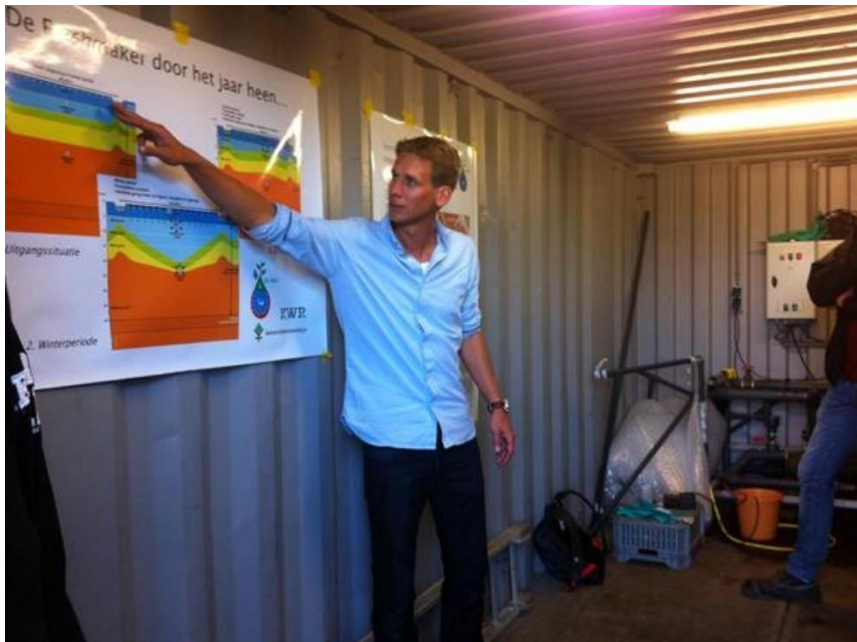
8 Communicatie en kennistransfer

8.1 Veldbijeenkomsten en communicatiemomenten

Binnen GO-FRESH heeft de Zuidelijke Land- en Tuinbouworganisatie (ZLTO) diverse bijeenkomsten georganiseerd. Daarnaast is er op een aantal momenten gezorgd voor communicatie via diverse kanalen. Hieronder volgt een overzicht van de georganiseerde (veld)bijeenkomsten en communicatiemomenten.

4 augustus 2015: Veldbijeenkomst De Freshmaker

Op de bijeenkomst van 4 augustus 2015 waren ongeveer 20 personen aanwezig. Aanwezige fruittelers waren vooral benieuwd welk zoet water systeem passend is op het eigen bedrijf.



Figuur 8.1 Koen Zuurbier legt de werking van de Freshmaker uit.

25 augustus 2015: Veldbijeenkomst Kreekrug Infiltratie Systeem

Op de bijeenkomst van 25 augustus 2015 waren in totaal ongeveer 25 personen aanwezig (waarvan circa 15 boeren) bij de GO-FRESH veldbijeenkomst Kreekruginfiltratieproef. Bij start van de bijeenkomst regende het erg hard maar Werner had in zijn schuur ruimte gemaakt voor de bijeenkomst. Peter de Koeijer van ZLTO opende de bijeenkomst en Werner heeft uitleg gegeven over het systeem. Daarna is de groep in de iets minder harde regen het veld in geweest en hebben we het systeem bekeken. De kennisaanbieders (Esther van Baaren en Jeroen Veraart vanuit het consortium) hebben niet veel hoeven toe te voegen; Werner heeft alle meettechnieken en locaties (goed) uitgelegd inclusief de resultaten. Esther heeft nog wat toegevoegd over de theorie en wat het consortium de komende jaren gaat doen. Tijdens het veldbezoek en na de plenaire deel van de bijeenkomst waren er discussies in kleine groepjes. Deze gesprekken gingen ook echt over het systeem en zoetwatervoorziening, dus het onderwerp leeft zeker bij deze groep boeren. Een goed vervolg zouden we vinden een drainageworkshop waarbij boeren concreet met hun eigen situatie aan de slag gaan aan de hand van vragen die wij op papier hebben gezet en met hulp van Rutten, Werner, Johan en data van de GO-FRESH consortiumleden.



Figuur 8.2 Impressies veldbijeenkomst.

15 juli 2016: Standbemanning tijdens ZLTO/NFO Perendag

Tijdens de ZLTO/NFO Perendag heeft ZLTO met een stand informatie verstrekt aan geïnteresseerde fruittelers. Gedurende de dag zijn er diverse interacties geweest met fruittelers, en zijn ondernemers op de hoogte gebracht van de GO-FRESH-proeven en konden ze zich aanmelden voor de veldbezoeken later in het jaar.



Figuur 8.3 Discussie tijdens de Perendag.

25 augustus 2016 Standbemanning tijdens ZLTO UIKC Uiendag

Tijdens de ZLTO/UIKC Uiendag heeft ZLTO met een stand informatie verstrekt aan geïnteresseerde akkerbouwers. Gedurende de dag zijn er diverse interacties geweest met fruittelers, en zijn ondernemers op de hoogte gebracht van de GO-FRESH-proeven en konden ze zich aanmelden voor de veldbezoeken later in het jaar.



Figuur 8.4 Impressie tijdens de Uiendag.



1 september 2016: Digitale enquête naar behoeftes rondom GO-FRESH

Om in de aanloop naar de veldbezoeken in te spelen op de wensen en vragen van de agrariërs, in september 2016 een digitale enquête verstuurd onder de ZLTO-leden in Zeeland. In totaal hebben 33 agrariërs de enquête ingevuld.

Inventarisatie ZLTO naar uw zoetwaterbeschikbaarheid

ZLTO is geïnteresseerd in uw behoefte naar aanvullende zoetwaterbeschikbaarheid. Deze input geeft ons argumenten, binnen het gesprek met Waterschap Scheldestromen en Provincie Zeeland om zoetwaterbeschikbaarheid te faciliteren.

Alvast bij voorbaat dank voor uw bijdrage.

Vriendelijke groet Johan Elshof (ZLTO) en Michael van der Schoot (ZLTO).

Mijn bedrijfstype (hoofdtak): *

-Selecteren-

Ik heb behoefte aan aanvullende zoetwaterbeschikbaarheid: *

Ja

Nee

Indien (Ja): ik zie voor de zoetwaterbeschikbaarheid op mijn bedrijf in het algemeen kansen voor:

Figuur 8.5 Voorblad digitale enquête.

1 oktober 2016: Uitnodigingen voor Veldbijeenkomsten

In afstemming met diverse organisaties en nieuwsbrieven zijn uitnodigen voor de veldbijeenkomsten verstuurd. Denk hierbij o.a. aan de Digitale Nieuwsbrief van ZLTO / Social Media / Direct mailing / ZAJK / Relatiebeheerders / Vereniging Agrarische Bedrijfsvoorlichting (VAB) / Jong ZLTO.

23 november 2016: Veldbijeenkomst De Freshmaker

Urgentie/belangstelling bleek té laag te zijn. Redenen die genoemd werden zijn: afwachting resultaten FRESHEM; momenteel voldoende water; drukte rondom de oogstwerkzaamheden.

29 november 2016: Veldbijeenkomst Kreekrug Infiltratie Systeem

Urgentie/belangstelling bleek té laag te zijn. Redenen die genoemd werden zijn: afwachting resultaten FRESHEM; momenteel voldoende water; drukte rondom de oogstwerkzaamheden.

9 december 2016: Veldbijeenkomst Drains2Buffer

Urgentie/belangstelling bleek té laag te zijn. Redenen die genoemd werden zijn: afwachting resultaten FRESHEM; momenteel voldoende water; drukte rondom de oogstwerkzaamheden.

9 januari 2017: Standbemanning tijdens ZLTO Festival Vrouwenpolder

Tijdens het ZLTO Festival te Vrouwenpolder heeft ZLTO een stand ingericht met informatievoorziening over GO-FRESH. Tevens werd op de stand een concreet aanbod gedaan richting lokale ZLTO-afdelingen om de proeven te komen bekijken.



ZLTO Festival Neeltje Jans (11 januari 2017)

231 weergaven

0 likes 0 comments DELEN

Figuur 8.6 Michael van der Schoot legt het GO-FRESH concept uit.

9 februari 2017: Presentatie over Zoetwatervoorziening Zeeland EduDelta

Op verzoek van het EduDelta-college te Goes heeft ZLTO een dag lesgegeven over de zoetwatervoorziening in Zeeland, met extra aandacht voor GO-FRESH. Het betrof een 10-tal vierdejaars akkerbouwstudenten van het EduDelta Goes.



Figuur 8.7 Uitleg over zoetwatervoorziening te Zeeland aan studenten van de EduDelta Goes.

3 maart 2017: Veldbijeenkomst Kreekrug Infiltratie Systeem

Uitleg van de werking van het Kreekrug Infiltratie Systeem (KIS) in het veld, door Johan Sanderse, Werner Louwerse en Pieter Pauw. Op de bijeenkomst zijn 16 mensen aanwezig. Het doel van het KIS is om de zoetwaterlens onder de kreekrug te vergroten. Dit wordt gedaan door het peil in de wintermaanden op te zetten en zoet water te infiltreren via een peilgestuurde drainagesysteem. Aantal mensen dat de webpagina van de FRESHM-

gegevens hebben bezocht: 4. Dit valt ons tegen. Bij navraag waar dit aan ligt werd aangegeven dat het momenteel enkel de resultaten voor Zeeuws-Vlaanderen zijn (ander gebied), en dat de ondernemers benieuwd zijn naar hun eigen percelen. De vervolgvraag is hoe de data te interpreteren. Wat zegt het, wat betekent het, en hoe vind ik mijn eigen perceel?



Figuur 8.8 Uitleg van de werking van het Kreekrug Infiltratie Systeem (KIS) in het veld.

21 juni 2017: Standbemanning tijdens Opendag Rusthoeve

Tijdens de Opendag Rusthoeve in juni 2017 heeft ZLTO met een 3-tal collega's een stand bemand, met centraal het thema 'zoetwater'. Via een zgn. touchtable en een 'proefopstelling' waar agrariërs konden water konden proeven en beoordelen op de mate van zoutheid, werd interactie gezocht met agrariërs. Op de dag zijn ruim 30 gesprekken gevoerd over GO-FRESH en de bijbehorende FRESHM-gegevens.



Figuur 8.9 Stand te Opendag Roesthoeve.

5 juli 2017: Inspiratieavond GO-FRESH

In juli 2017 heeft ZLTO een zgn. Inspiratieavond GO-FRESH georganiseerd in Heinkensand. Hier waren ruim 40 agrariërs op af gekomen. Tijdens de Inspiratieavond zijn de diverse proeven besproken, en is geïventariseerd wat de behoeftes van de aanwezige was.

Inspiratieavond GO-FRESH



Woensdagavond 5 juli 2017
 Vergader- en Congrescentrum De Stenge

Figuur 8.10 Aankondiging Inspiratieavond GO-FRESH.

12 oktober 2017: Verdiepingsavond GO-FRESH

Op 12 oktober is in directe navolging van de Inspiratieavond van juli 2017, een verdiepingsavond georganiseerd. Tijdens deze verdiepingsavond waren circa 15 agrarische ondernemers aanwezig. Met behulp van een drietal stappen werd concreetheid gezocht in de casus van de ondernemers met betrekking tot GO-FRESH:

- 1) Wat is mijn watervraag
- 2) Hoe ziet mijn ondergrond eruit?
- 3) Welk mogelijk drainagesysteem past bij mijn situatie

De antwoorden werden door de deelnemers vastgelegd in een kort bondig rapport.

GO-FRESH Verdiepingsavond



Donderdagavond 12 oktober 2017
 Vergader- en Congrescentrum De Stenge



Figuur 8.11 Aankondiging Verdiepingsavond GO-FRESH.



Figuur 8.12 Impressies Verdiepbingsavond GO-FRESH.

10 juli 2018: Concretiseringsbijeenkomst GO-FRESH

De GO-FRESH Concretiseringsbijeenkomst was de 3e en tevens laatste opeenvolgende bijeenkomst in het kader van GO-FRESH. Met de proeven binnen GO-FRESH werken agrariërs aan het vergroten van de ondergrondse zoetwatervoorziening. Deze bijeenkomst heeft als doelgroep geïnteresseerde agrariërs die de eerdere twee (informatie- en verdiepbende) bijeenkomsten hebben bijgewoond. Samen met o.a. KWR en Deltares zal ZLTO begeleiding bieden aan geïnteresseerde ondernemers die een techniek van de GO-FRESH willen implementeren binnen hun eigen bedrijfsvoering. In totaal zijn 6 ondernemers op de concretiseringbijeenkomst geweest.

GO-FRESH concretiseringsbijeenkomst



Figuur 8.13 Aankondiging Concretiseringsbijeenkomst GO-FRESH.



Figuur 8.14 Impressie Concretiseringsbijeenkomst GO-FRESH.

8.2 Wiki

De semantische wiki is een manier om kennis, die gegenereerd is binnen het project met belanghebbenden te delen. De wiki is openbaar en is te vinden via deze link: www.go-fresh.info. De wiki bevat alle huidige informatie vanuit het project, maar is ook een levend en groeiend instrument, omdat meerdere mensen nieuwe en toekomstige informatie in de wiki kunnen zetten. Op deze manier blijft de wiki groeien en de informatie actueel.

8.3 Artikelen en nieuwsberichten

In Bijlage J Artikelen en Nieuwsberichten, vanaf p. 167 zijn de verschillende artikelen en nieuwsberichten betreffende GO-FRESH samengebracht.



9 Vergunningverlening Ondergrondse Waterberging

Bij het in gebruik nemen van de GO-FRESH technologieën zijn er activiteiten waar de aanvraag van een vergunning aan de orde kan zijn. Het aantal activiteiten waarvoor een melding of een vergunning vereist is hangt af van de techniek en kan per regio verschillen (Provincie, Waterschap).

Regionale overheden (Waterschap, Provincie, Gemeente) zijn het bevoegd gezag voor de activiteiten en kunnen daarop handhaven. De nationale overheid is verantwoordelijk voor de waterkwaliteitsnormen die gelden voor het water dat geïnfilteerd wordt in de bodem.

9.1 Vergunning ten behoeve van ondergrondse waterberging

In de periode van 2013 tot en met 2015 heeft een consortium onder begeleiding van betrokken overheden zich bezig gehouden met het vormgeven van een handreiking om ondergrondse zoetwaterberging. Hiermee is een instrument ontwikkeld om het traject van vergunningverlening, dat voorafgaand aan de toepassing moet worden doorlopen, te ondersteunen. De handreiking geeft de stappen weer die genomen kunnen worden tijdens een afweging voor een vergunningaanvraag voor ondergrondse waterberging. Door deze stappen toe te passen wordt beoogd om de infiltratieactiviteit zonder risico en onoverkomelijke gevolgen te laten plaatsvinden.

Omdat het waterschap bevoegd gezag is voor onttrekking en infiltratie is in principe een watervergunning vereist. In de watervergunning worden voorschriften opgenomen ter behartiging van de belangen, genoemd in de Waterwet. Hieronder vallen naast de chemische en ecologische kwaliteit van oppervlaktewaterlichamen, de chemische kwaliteit van en de functieervulling door grondwaterlichamen. Het toetsingskader van de Waterwet vormt, naast de eigen kaders van de overheden, een essentiële leidraad voor de belangenafweging die voorafgaat aan de eventuele vergunningverlening. De watervergunning moet worden geweigerd als verlening ervan niet verenigbaar is met de doelstellingen van de Waterwet. Een watervergunning voor het infiltreren van water in samenhang met een latere onttrekking, mag slechts worden verleend als er geen gevaar voor verontreiniging van het grondwater bestaat. Wel dient het bevoegd gezag dan na te gaan of de aanvraag om vergunning niet gedeeltelijk kan worden gehonoreerd, eventueel met aanvullende voorschriften in de vergunning gericht op de bescherming van de grondwaterkwaliteit.

Meer informatie, zie STOWA rapport 2015-035 (Zuurbier et al., 2015)¹³. Dit rapport geeft handvatten voor een beoordeling van de risico's van het gebruik van systemen waarbij zoetwater (tijdelijk) in de bodem wordt geïnfilteerd om dat later te gebruiken. Bestaande juridische kaders worden geschetst en er worden beslisbomen gepresenteerd waarmee de risico's kunnen worden beoordeeld. Samen biedt dit een beoordelingskader, dat past binnen de vigerende wet- en regelgeving.

¹³ <https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/PUBLICATIES/Publicaties%202015/STOWA%202015-35.pdf>

9.2 Overzicht van noodzakelijke vergunningen per GO-FRESH techniek

	Freshmaker	Kreekrug Infiltratie	Drains2Buffer
Aanleg (boren, sleuven graven)	Watervergunning	Watervergunning	Hangt af van de locatie, hoe dit is geregeld binnen de Keur van het Waterschap.
Infiltratie van oppervlaktewater via drains	N.v.t.	Watervergunning	N.v.t.
Infiltratie in ondergrond in samenhang met onttrekking	Watervergunning (inclusief monitoring waterkwaliteit & kwantiteit)	N.v.t.	N.v.t.
Actief onttrekken van brak/zout water uit de ondergrond	Watervergunning (inclusief monitoring waterkwaliteit & kwantiteit)	N.v.t.	N.v.t.
Lozen van actief onttrokken brak/zout water in het oppervlaktewater	Watervergunning (inclusief monitoring waterkwaliteit & kwantiteit)	N.v.t.	N.v.t.
Drainagewater lozen op het oppervlaktewater	N.v.t.	Hangt af van de locatie: soms is toestemming van het waterschap voldoende, soms wordt vergunning gevraagd	Hangt af van de locatie: soms is toestemming van het waterschap voldoende, soms wordt vergunning gevraagd
Onttrekking van oppervlaktewater ten behoeve van infiltratie	Watervergunning (inclusief monitoring kwantiteit)	Vergunning (inclusief monitoring kwantiteit)	N.v.t.

Voor verdere informatie kunt u contact opnemen met de Provincie Zeeland of het Waterschap Scheldestromen.



10 Conclusies, aanbevelingen en onderzoeksvragen

10.1 Kreekrug Infiltratie Systeem

Het onderzoek heeft aangetoond dat door een peilgestuurd drainage systeem in combinatie met infiltratie van oppervlaktewater de zoetwatervoorraad ter plaatse van de Kreekrug Infiltratie Systeem (Serooskerke, Walcheren) toeneemt. Het systeem verhoogt de grondwaterstand met enkele decimeters. Als gevolg is het zoet-zout grensvlak enkele meters gezakt. Het volume zoetwater is een paar tienduizenden m³ zoet grondwater toegenomen; hierdoor kan waarschijnlijk twee keer zoveel water worden onttrokken per jaar (16000 m³) dan de regelgeving toelaat.

De meetresultaten laten zien dat jaarlijks ongeveer 30.000 m³ zoet water wordt geïnfiltrerd. De infiltratie en het opzetten van de peilen zorgen voor een hogere grondwaterstand op de percelen, met name op het centrale deel van de kreekrug. Het verschil in peilopzet op het hoog gelegen deel van het Kreekrug Infiltratie Systeem is in de orde van enkele decimeters. Vanwege het afwezig zijn van metingen voorafgaand aan de veldproef kan echter niet met zekerheid worden vastgesteld hoe groot de toename van de grondwaterstand is ten opzichte van vóór de installatie van het KIS.

De verhoogde grondwaterstand zorgt voor een uitbreiding van de zoetwaterlens. In het midden van de kreekrug laten verschillende metingen zien dat de zoetwaterlens daar ruim 3 meter is toegenomen. Op andere meetlocaties is de uitbreiding minder groot. Hoewel de uitbreiding van de zoetwaterlens door lijkt te zetten, lijkt tegelijkertijd ook de snelheid van de uitbreiding sterk afgenomen te zijn.

De uitbreiding van de zoetwaterlens gaat echter minder snel in het veld dan in het numeriek model. De overschatting van de dikte van de zoetwaterlens in het model wordt vermoedelijk veroorzaakt door het afwezig zijn van dunne, storende lagen in de geulsedimenten. Ondanks de afwezigheid van verdere modelkalibratie toont het model aan dat bij het schatten hoeveel grondwater er kan worden gewonnen blijkt: hoe groter het aantal diepdraains, hoe meer zoet water kan worden gewonnen. Uitgaande van 4 diepdraains op strategische plekken op het perceel, kan op basis van de modellen waarschijnlijk twee keer zoveel water worden onttrokken per jaar (16000 m³) dan de regelgeving voor zoetwaterlenzen van meer dan 15 m dik toelaat. Dat komt voor 10 ha neer op 160 mm aan berekening.

De ondernemers van het Kreekrug Infiltratie Systeem zijn in de afgelopen 5 jaar goed bekend geworden met (technische onderdelen van) het systeem. Peilen kunnen naar gelang worden aangepast en de ondernemers zijn tevreden over het systeem. Er zijn echter twee aspecten die in de toekomst nog aandacht vergen om het systeem echt 'bedrijfsklaar' te maken:

- Een andere type pomp is gewenst om het systeem robuuster en minder arbeidsintensief te maken.
- Metingen van de opkegeling onder de onttrekking en schatting van het nog te winnen volume zoet grondwater.

Na meer dan 6 jaar onderzoek naar het Kreekrug Infiltratie Systeem ligt de uitdaging juist in het verder opschalen van kunstmatige infiltratie in de regio. De belangrijkste parameters voor een werkend Kreekrug Infiltratie Systeem zijn:

1. een zoetwaterlens in een watervoerend pakket,
2. ondergrond bestaande uit doorlatend materiaal op de plaats van de zoetwaterlens,



3. afwezigheid van scheidende kleilagen onder de basis van de huidige zoetwaterlens,
4. mogelijkheid om de grondwaterstanden te verhogen,
5. een zoetwaterbron.

En is het tevens belangrijk om rekening te houden met:

1. huidige wet- en regelgeving en vergunningverlening,
2. kwaliteit van het infiltratiewater en grondwater/bodem,
3. andere gebruikersfuncties rondom het perceel,
4. verhoogde grondwaterstanden in de omgeving van het infiltratieperceel,
5. het inschakelen van een peilgestuurde drainage expert voor een advies op maat.

10.2 Freshmaker

De tweede veldproef, de Freshmaker, vindt plaats in een kreekrug te Ovezande, Zuid-Beveland. Hier is de afgelopen jaren in de winters via een horizontale put van 70 m lang meer dan 20000 m³ zoetwater geïnfiltreerd. Tegelijk wordt met een diepere horizontale put (ook 70 m lang) zout grondwater afgevangen. Zo wordt de zoetwaterlens op zijn plaats gehouden en vergroot. Uit de grotere zoetwaterlens kan de agrariër in de zomer zoetwater onttrekken via dezelfde horizontale put waarmee in de winter is geïnfiltreerd. Met het proefsysteem kon jaarlijks zo'n 6000 m³ zoetwater beschikbaar worden gemaakt in de zomers.

De Freshmaker in Ovezande is actief geweest gedurende 5 cycli van 2013 tot en met 2017. Tijdens deze cycli was de Freshmaker in staat om ongeveer 5000 m³ zoetwater per jaar op te slaan en terug te winnen. Het systeem heeft een ingeschatte maximale opslag- en terugwincapaciteit van ca. 6000 m³, gebaseerd op grondwatermodellering en ervaringen in 2017.

De inrichting en het onderhoud van de HDDWs, en de voorzuivering van infiltratiewater zijn tijdens de veldproef gebleken als de belangrijkste aspecten voor het succes van de Freshmaker. Putverstopping van de ondiepe HDDW in Ovezande werd veroorzaakt door onvoldoende voorbehandeling (2013-2014) en door met name biologische groei in de put (2013-2017). Putregeneratie werd succesvol toegepast maar de oorspronkelijke capaciteit werd niet meer behaald en de operationele kosten namen erdoor toe.

Verdere automatisering van de Freshmaker met een automatisch besturingssysteem is onderzocht en ontwikkeld om zoetwaterinfiltratie en het afvangen van brak-zout grondwater te vereenvoudigen. De besparing het volume af te vangen zout grondwater is in Ovezane waarschijnlijk beperkt. Ook een automatisch terugspoelcyclus van de ondiepe HDDW gerealiseerd om de ondiepe HDDW tijdens infiltratie regelmatig te reinigen. Voor het succes van kleinschalige infiltratiesystemen is het van belang het effect en het functioneren van dit voorzuiveringssysteem te analyseren

Volgens veldmetingen en grondwatermodellering blijkt dat de hydrologische impact van de Freshmaker op de omgeving beperkt is. Er vertoont zich een evenwicht of er trad zelfs geleidelijke verzoeting op van het grondwater bij de Freshmaker in Ovezande. Infiltratie van oppervlaktewater vormt een risico voor de waterkwaliteit, voornamelijk door de gewasbeschermingsmiddelen die worden toegepast in het landbouwgebied. Door de infiltratieperiode te beperken tot ca. 15 november – 15 april (winter), kan de potentiële overschrijding van de maximale infiltratieconcentraties waarschijnlijk sterk worden gereduceerd. Nadere analyse hiervan wordt aanbevolen, waarbij met hogere frequentie zowel infiltratie- als grondwater worden bemonsterd.



10.3 Drains2Buffer

De Drains2Buffer veldproef te Kerkwerpe, Schouwen-Duiveland, bestaat uit een slimme diepe regelbare drainage. Het richt zich op het robuust beheren van de zoetwatervoorraad in dunne kwetsbare regenwaterlenzen in zoute kwelgebieden. Hoewel sommige metingen duidelijk laten zien dat op de testpercelen een dikkere lens wordt aangetroffen dan op het referentieperceel, is een eenduidige conclusie nog niet te trekken.

Het Drains2Buffer concept bestaat uit regelbare drains die dieper liggen dan gebruikelijk voor afvoer van zout grondwater. Hierbij is het van belang dat er niet sterker wordt gedraineerd en het grondwaterpeil niet extra verlaagd wordt. Dit kan worden gerealiseerd (sturing) door in de regelput het drainageniveau aan te passen.

Het doel van Drains2Buffer is het vergroten van de regenwaterlens of wel verzoeting van het bovenste grondwater systeem, om te voorkomen dat in het groeiseizoen zout grondwater capillair kan opstijgen en de wortelzone te zout wordt. Door afvoer van zout grondwater tijdens regenbuien vindt deze verzoeting plaats.

De veldproef geeft aan dat het concept eenvoudig in het veld is te realiseren. Echter, de omstandigheden voor een goede werking van het Drains2Buffer waren ver van optimaal waardoor gemeten effecten beperkt bleven. Het vermoedelijk beperkte effect dat Drains2Buffer op de testpercelen heeft gerealiseerd, betekent niet dat deze maatregel niet zinvol is om regenwaterlenzen te vergroten en het risico op zoutschade in de wortelzone te verkleinen. De veldproef geeft aanwijzingen dat Drains2Buffer wel goed zou werken onder betere omstandigheden (geen gerijpte klei of storende lagen rondom de diepe drains, lager slootpeil, sterkere gereduceerde werking van traditionele ondiepe drains). Ook modelberekeningen hebben aangetoond dat de maatregel onder de juiste omstandigheden de regenwaterlens significant kan vergroten. Bovendien zijn in het noorden van het land binnen het project Spaarwater goede resultaten bereikt met deze vorm van drainage in vergelijkbare kleiige zoute kwelgebieden (Spaarwater, 2016).

De voorkeursgebieden voor de maatregel Drains2Buffer (zie sectie 7.3 en Bijlage C) geven de gebieden aan waar Drains2Buffer een zinvolle maatregel kan zijn. Voor deze gebieden wordt geadviseerd om bij het aanleggen van nieuwe drains, dit volgens het Drains2Buffer-principe te doen. Voor de overige gebieden wordt geadviseerd om bij aanleg van een nieuw drainagesysteem, het systeem regelbaar te maken. Met een regelbaar drainagesysteem kan veel beter de grondwaterstand en vochttoestand in het perceel worden gestuurd. Als de sturing goed wordt gedaan, kan dit leiden tot zowel minder droogteschade als minder natschade.

Er wordt aanbevolen om de monitoring in de testpercelen te Kerkwerpe voort te zetten door halfjaarlijks TEC-probe metingen uit te voeren en bodemonsters te nemen. Dit dient op het gehele perceel te gebeuren, voor beide teststroken en het referentiedeel en niet op afgebakende meetplotjes. Om de kans op effecten van Drains2Buffer te vergroten op deze percelen, dienen de werking van de traditionele drains te worden gereduceerd door het drainagepeil te verhogen. Additioneel, zouden de nieuwe, diepe drains onderbemaald moeten worden voor een sterker en sneller verzoetend effect. Wanneer hiervoor wordt gekozen, zou ook de monitoring moeten worden uitgebreid met peilbuizen voor grondwaterstanden en automatische drainage-afvoermeting (inclusief zoutgehalte).

De fysische omstandigheden van de huidige testpercelen voor een Drains2Buffer-maatregel zijn niet ideaal (ondiepe ligging ongerijpte klei, ondiepe traditionele drains, hoog slootpeil). Er wordt aanbevolen om een (veel) geschiktere locatie te zoeken en gedurende 2 jaar lang een nieuwe Drains2Buffer veldproef te starten.

10.4 Beantwoording relevante onderzoeksvragen

Nader beoordelen en ontsluiten van het hydrologische en bedrijfseconomische rendement van een drietal innovatieve technieken die zoete grondwatervoorraden beter benutten en nieuwe zoete grondwatervoorraden creëren, met als doel de zelfvoorzienendheid te vergroten, en droogteschade en de afhankelijkheid van externe aanvoer te verkleinen.

Afgeleide vragen zijn:

- 1 *Is het mogelijk significante hoeveelheden zoet water duurzaam op te slaan in de ondergrond en daarmee zout grondwater weg te drukken? Deze vraag kan kwantitatief slechts beantwoord worden voor de concrete onderzoekslocaties. Welke factoren bepalen de opslagcapaciteit? Wat is, indicatief, de toepasbaarheid van de onderzochte aanpakken in Zeeland en West-Brabant? Wat is (indicatief) de kansrijkheid voor de toepasbaarheid in andere gebieden (type gebieden) in Nederland?*

De pilots van zowel het Kreekrug Infiltratie Systeem als de Freshmaker hebben aangetoond dat binnen een tijdbestek van enkele jaren significante hoeveelheden zoet water in de bodem kunnen worden opgeslagen. Zout grondwater laat zich effectief wegdrücken zonder dat door hydrodynamische menging met het zoete water optreedt; dit kan beschouwd worden als een duurzaam systeem. Deze vraag betreft niet Drains2Buffer, waar een dunne kwetsbare regenwaterlenzen in zoute kwelgebieden in stand wordt gehouden.

Specifiek voor het Kreekrug Infiltratie Systeem: de verhoogde grondwaterstand zorgt voor een uitbreiding van de zoetwaterlens. In het midden van de kreekrug laten metingen zien dat de zoetwaterlens daar ruim 3 meter is toegenomen. Op andere meetlocaties is de uitbreiding minder groot. Hoewel de uitbreiding van de zoetwaterlens door lijkt te zetten, lijkt tegelijkertijd ook de snelheid van de uitbreiding sterk afgenomen te zijn. Factoren die het succes van de maatregel bepalen zijn: a. de aanwezigheid van een zoetwaterlens in een watervoerend pakket; b. de ondergrond bestaat uit doorlatend (zandig) materiaal op de plaats van de zoetwaterlens (dus vooral kreekruggen, dekzandruggen en duingebieden); c. de afwezigheid van scheidende kleilagen onder de basis van de huidige zoetwaterlens om groei van de lens mogelijk te maken; d. de mogelijkheid om de grondwaterstanden gedurende het winterhalfjaar (tijdelijk, maar liefst zo lang mogelijk) te verhogen (er moet dus een relatief dikke onverzadigde zone aanwezig zijn); en e. een zoetwaterbron in de omgeving (dit kan een zoete sloot zijn maar ook neerslag van daken of zoet drainagewater van een nabij gelegen perceel).

Specifiek voor de Freshmaker: deze maatregel biedt de mogelijkheid om een significante hoeveelheid zoetwater op te slaan in de ondergrond. Zout grondwater wordt hierbij relatief direct weggetrokken (en afgevoerd) in plaats van weggedrukt. De methode is duurzaam, gelet op de zoetwaterbalans en het feit dat geen verzilting van grondwater in de omgeving wordt veroorzaakt. De lozing van onttrokken zout grondwater, de kwaliteit van het infiltratiewater en de verstopping van de infiltratiebron zijn aandachtspunten, maar hoeven de duurzaamheid naar verwachting niet te ondermijnen. Factoren die het succes van de maatregel bepalen zijn: a. geschikt opslagmedium in het traject waar de



Freshmaker actief is; b. voorkomen klei- en veenlagen in het Freshmaker traject (5 tot 20 m-mv) (klei en veen kan groei lens beperken); c. dikte van de deklaag; d. kleilaag in traject 20-40 m-mv; e. aanwezigheid zoetwaterlens van 3 tot 15 m dikte; f. horizontale stroomsnelheid (anders drijft zoetwaterlens af); g. ligging in zout gebied; h. een zoetwaterbron in de omgeving.

Kansenkaarten met voorkeursgebieden voor de twee maatregelen zijn geconstrueerd aan de hand van verschillende geohydrologische factoren (zie voor de KIS kansenskaart Figuur 7.3 op p. 122 en voor de Freshmaker Figuur 7.4 op 124). Figuur 10.1 laat zien waar anno 2018 nieuwe concrete kansen en interesse voor de GO-FRESH zoetwatermaatregelen in de Zeeuwse regio liggen. Meerdere locaties zijn ontstaan na gesprekken met geïnteresseerde agrariers tijdens de verschillende veldbijeenkomsten.

- 2 *Is het mogelijk dit opgeslagen water met een hoge 'recovery' aan de ondergrond te onttrekken op momenten van waterbehoefte zonder dat daarmee de zoet-zoutverdeling significant negatief wordt beïnvloed? En bij welke hoeveelheden in m³ en of in mm uitgedrukt?*

Specifiek voor het Kreekrug Infiltratie Systeem: sec. is geen onderzoek verricht naar de onttrekkingsregimes uit de zoetwaterlens omdat dit geen onderdeel is geweest in het GO-FRESH onderzoek; de focus lag op het creëren van een groter volume zoet grondwater. Met een numeriek 3D zoet-zout model (vanaf p. 35: secties 2.4 en 2.5) zijn echter zeven onttrekkingsscenario's gesimuleerd, waarbij zowel onttrekkingsdebieten als het aantal drains om het zoete grondwater te onttrekken zijn gevarieerd. Hoewel terughoudendheid moet worden betracht over de betrouwbaarheid van de modelberekeningen blijkt dat veel meer zoet grondwater duurzaam kan worden onttrokken als de configuratie van diepdrains en bijbehorend onttrekkingsdebieten optimaal is. Er wordt dan geen zout grondwater onttrokken en er kan zelfs gestart worden met onttrekken, direct na implementatie van de maatregel.

Verder zijn recent de huidige grondwateronttrekkingsregels in de provincie Zeeland tegen het licht gehouden (Oude Essink and Pauw, 2018). Hieruit blijkt dat kunstmatige infiltratie van zoet water een zeer positief effect kan hebben op zowel de concentraties in de onttrekking als het volume zoet grondwater rondom onttrekkingen.

Specifiek voor de Freshmaker: ja, een recovery van 100% kan worden behaald, mits het opslagvolume niet te groot wordt gemaakt. Bij een volwassen Freshmaker met een lengte HDDWs van ca. 100 m op 7 en 17 m diepte is dit naar verwachting ca. 10.000 m³/jaar. De zoet-zoutverdeling wordt hierbij alleen nabij de HDDWs jaarlijks significant positief en negatief beïnvloed, met een netto neutrale beïnvloeding.

- 3 *Welke methode van wateropslag heeft de voorkeur, als functie van de ondergrondkarakteristieken, toepassingsmogelijkheden en kosten en te verwachten baten?*

Dat is niet direct eenduidig te constateren. Tijdens de veldbijeenkomsten blijkt het bijna altijd maatwerk te zijn. Elke agrariër heeft zijn eigen waterbehoefte, gelieerd aan het gewas dat hij/zij op de percelen laat groeien. De agrariër heeft vaak al een bestaande zoetwatervoorzieningsinfrastructuur (viz. buizen en pompen) die al dan niet kan worden uitgebreid. Maatwerk zal nodig blijven, waarbij de behoefte van de agrariër en de specifieke (geohydrologische) omstandigheden van de percelen samen moeten komen. Dit geconstateerd hebbende: in Hoofdstuk 7, Opschalingsmogelijkheden, vanaf p. 117, is

desondanks per techniek een kansenkaart met voorkeursgebieden weergegeven. Een erg belangrijk criterium qua kansenkaart is de diepte van het zoet-brak grensvlak. Gelukkig is met het FRESHEM project deze diepte nauwkeurig genoeg vastgesteld. Waar het Kreekrug Infiltratie Systeem en de Freshmaker van toepassing kunnen zijn in gebieden waar een significante zoetwaterlens aanwezig is, zijn de voorkeursgebieden van de Drains2Buffer juist te vinden in de poelgronden.

Specifiek voor het Kreekrug Infiltratie Systeem (zie ook sectie 7.1, vanaf p. 117): deze maatregel lijkt met name geschikt voor gebieden waar een zandige, hoger gelegen kreekrug of oude geul aanwezig is en waar zich reeds een zoetwaterlens van minimaal ongeveer 10 m bevindt.

Specifiek voor de Freshmaker: deze maatregel lijkt typisch geschikt voor het snel vergroten en beschermen van zoetwaterlenzen met een dikte van 3 tot 15 m dikte, welke voornamelijk gevonden zullen worden op de kreekruggen. Gezien de capaciteit van de watervoorziening en de kostprijs, ligt toepassing bij hoogwaardige teelten in combinatie met druppel-/subirrigatie voor de hand.

De Freshmaker biedt ook mogelijkheden voor gebieden waar de bovenste meters te kleiig zijn om voldoende te kunnen infiltreren via drains (zoals bij de KIS) of bekkens. Op basis van de bevindingen worden de haalbaarheidskaarten zoals gegenereerd in het project '*Fresh Water Options Optimizer*' als richtinggevend gezien (Delsman et al., 2017; Van Bakel et al., 2014), maar zal gedetailleerde lokale haalbaarheidsonderzoek altijd noodzakelijk blijven.

- 4 *Is het mogelijk in gebieden zonder grootschalige opslagmogelijkheden (poelgronden en voormalige schorgronden) de aanwezige zoete regenwaterlenzen dusdanig te verdikken, zodat het risico significant vermindert dat het onderliggende zoute grondwater in droogteperiodes optrekt tot in de wortelzone?*

Alhoewel op de veldproeflocatie de pilotsommige metingen duidelijk laten zien dat op de testpercelen een dikkere lens wordt aangetroffen dan op het referentieperceel, is het nog te vroeg om eenduidig te concluderen dat het mogelijk is de aanwezige dunne zoetwaterlenzen duurzaam te beheren. Desalniettemin geeft de veldproef aanwijzingen dat Drains2Buffer wel goed zou werken onder betere omstandigheden (geen gerijpte klei of storende lagen rondom de diepe drains, lager slootpeil, sterkere gereduceerde werking van traditionele ondiepe drains). Het grote oppervlakte van de voorkeursgebieden voor de maatregel Drains2Buffer toont aan dat het concept achter Drains2Buffer breed kan worden ingezet; belangrijk is te melden dat voor deze gebieden het Kreekrug Infiltratie Systeem en de Freshmaker in principe geen alternatieven zijn. Voor deze gebieden wordt daarom geadviseerd om bij het aanleggen van nieuwe drains, dit volgens het Drains2Buffer-principe te doen. Belangrijk is lokaal in het veld te bepalen of ongerijpte klei of storende lagen rondom het nieuwe drainageniveau aanwezig zijn die de werking van Drains2Buffer kunnen belemmeren. Er wordt tevens geadviseerd om bij aanleg van een nieuw drainagesysteem, het systeem regelbaar te maken (en eventueel onder te bemalen). Met een regelbaar drainagesysteem kan veel beter de grondwaterstand en vochttoestand in het perceel worden gestuurd. Als de sturing goed wordt gedaan, kan dit leiden tot zowel minder droogteschade als minder natschade.



5 *Zijn deze drie verschillende manieren van wateropslag bedrijfseconomisch rendabel? En bij welke hoeveelheden in mm, m3 en € uitgedrukt?*

De economische haalbaarheid van de maatregelen (Hoofdstuk 5, vanaf p. 100) is geanalyseerd aan de hand van operationele en investeringskosten, kostenbesparingsmogelijkheden, meekoppelkansen, baten, informatie over vergunningen, en subsidie- en financieringsmogelijkheden. Per technologie is onderzocht wanneer de desbetreffende techniek bedrijfseconomisch rendabel is.

De drie GO-FRESH technologieën zijn bedrijfseconomisch rendabel uit te voeren op landbouwbedrijven, maar niet op elk bedrijf. Of ondergrondse wateropslag met deze drie technieken bedrijfseconomisch rendabel uit te voeren is op een willekeurig locatie is afhankelijk van zaken zoals het bouwplan (gewassen), beschikbaarheid van alternatieve waterbronnen, bedrijfsgrootte en de geohydrologische condities. Hieronder per techniek een korte analyse:

Kreekrug Infiltratie Systeem

- Op basis van de kostprijs per hectare wordt de toepassing van het KIS bedrijfseconomisch interessant voor de akkerbouw bij toepassingen >30 hectare, optimaal gebruik van kostenbesparingen en VAMIL subsidie bij de gekozen afschrijftijd (15 jaar), rentevoet (2%) en terugwinpercentage van 85%. De hamvraag voor succesvolle opschaling is of de extra investering van 200 €/ha voor de ondernemers als te hoog wordt ervaren of niet. Waarschijnlijk zullen zij dit afwegen tegen de indicatieve meeropbrengst (kg/ha) die zij zelf voorzien op basis van hun eigen ervaring.
- Wanneer ondernemers de indicatieve kostprijs per kubieke meter gaan vergelijken met alternatieven voor wateropslag zoals bovengrondse wateropslag of de Freshmaker dan wordt de afweging heel anders. Bij een laag terugwin percentage (19%) lijkt de techniek alleen interessant voor de Fruitteelt mits kostenbesparing gerealiseerd wordt en VAMIL subsidie verkregen wordt. Wanneer de ondernemer kiest om procentueel meer water te onttrekken (86%) door de aanleg van meer diepdrains is de technologie reeds bij kleine dimensionering al een volwaardig alternatief voor bovengrondse wateropslag en ook concurrerend met de Freshmaker.

Drains2Buffer

- Wanneer kostenbesparingen mogelijk zijn dan is D2B reeds bij kleine toepassingen (1 ha) al vergelijkbaar/lager dan de kosten van een regulier peilgestuurd drainage systeem. Wanneer geen kostenbesparingen mogelijk zijn dan wordt de kostprijs vergelijkbaar met peilgestuurde drainage bij toepassingen groter dan 55 hectare.

Freshmaker

- Voor de Freshmaker is de indicatieve kostprijs per kubieke meter al bij de huidige gerealiseerde dimensionering (5000-10000 m³) in de veldproef vergelijkbaar met de kostprijs per kuub van de landbouwwaterleiding (rentevoet 2%, afschrijftijd 20 jaar, 670 m³ ha⁻¹) en daarmee een volwaardig alternatief voor zoetwatervoorziening in de fruitteelt. Wanneer de kostenbesparingen mogelijk zijn en VAMIL subsidie verstrekt wordt dan is de kostprijs per kubieke meter vergelijkbaar met luxe bovengrondse wateropslag (0.40 €/m³) bij een dimensionering van rond de 20.000-25000 m³ winbaar zoetwater en is bij deze condities het mogelijk interessant voor de akkerbouw. De Freshmaker kan, op basis van de kostprijs per kubieke meter, niet concurreren met goedkope bovengrondse water opslag (0.25 €/m³) in de akkerbouw. Dan moet je onrealistisch hoge bedrijfsoppervlaktes (>750 ha) invoeren



in de Calculator. Bij de afweging is het ook belangrijk om mee te wegen dat bovengrondse opslag een ruimtebeslag legt die bij ondergrondse opslag voor gewasproductie en fruit beschikbaar blijft (baten).

Het Kreekrug Infiltratie Systeem en Drains2Buffer zijn met name interessant voor akker- en tuinbouwbedrijven. Het Kreekrug Infiltratie Systeem kan ook toegepast worden in de fruitteelt. Wanneer waterconservering in de bodem (Drains2Buffer) of ondergrondse opslag (Kreekrug Infiltratie Systeem, Freshmaker) slim gecombineerd wordt met aanpassingen in de gewaskeuze (akkerbouw, tuinbouw) of aanleg van fruitpercelen, dan kan de investering in extra zoetwater zich sneller terugverdienen.

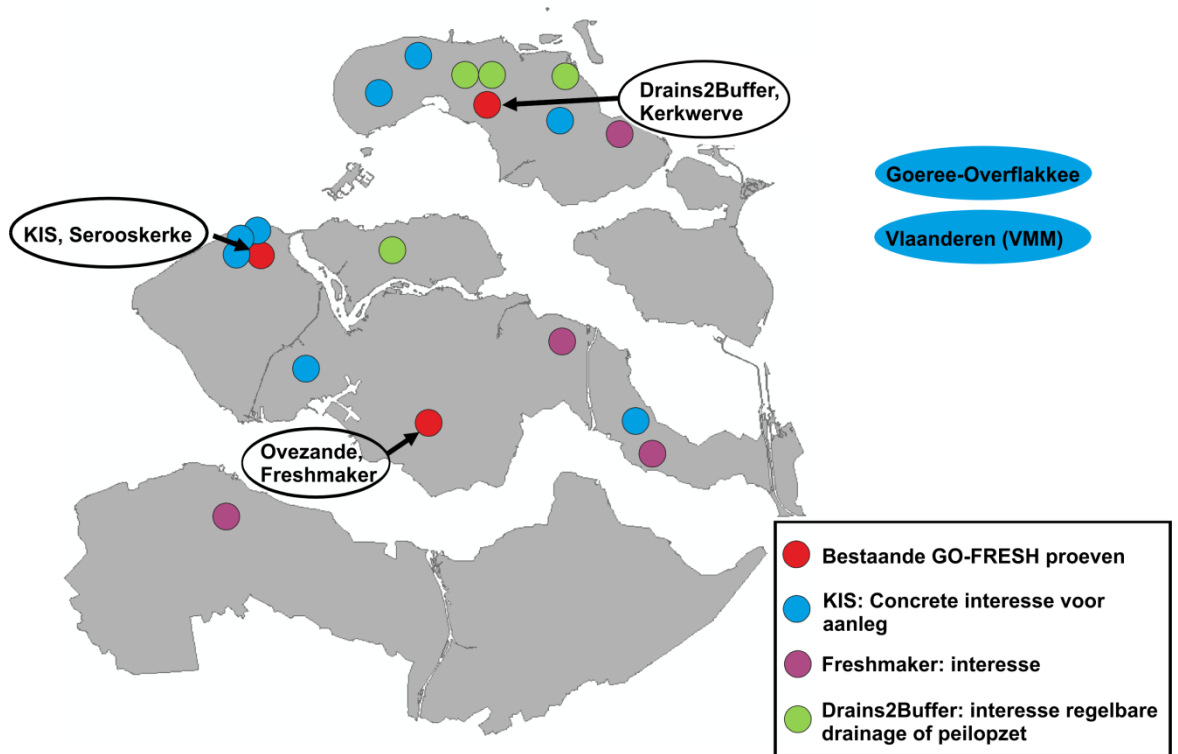
Naast deze onderzoeksvragen zijn ook de volgende activiteiten opgenomen:

- 6 *Stel de nieuwe kennis en inzichten uit het onderzoek op een doelmatige wijze beschikbaar voor de doelgroep en verwerk de nieuwe kennis in de relevante deltafacts (www.deltafacts.nl).*

Via de semantische wiki (Hoofdstuk 6, vanaf p. 114) is alle nieuwe informatie over de veldproeven, de economische haalbaarheid (kosten, baten) en opschalingsmogelijkheden te raadplegen. Tevens is informatie over GO-FRESH terechtgekomen in de deltafacts 'Brackish seepage', 'Rainwater lenses' en 'Aquifer storage and recovery'. Via nieuwsberichten en artikelen zijn de concepten en inzichten van het GO-FRESH onderzoek tevens bekend geworden voor het grote publiek (Bijlage J, vanaf p. 167).

- 7 *Organiseer bijeenkomsten voor de doelgroep om de overdracht van de nieuwe kennis en inzichten te ondersteunen en versterken.*

Meerdere veldbijeenkomsten zijn georganiseerd waarbij agrariërs zijn uitgenodigd om kennis te maken met de verschillende technieken (Hoofdstuk 8, vanaf p. 127). Behalve standbemanning op Peren - en Uendagen en enkele veldbijeenkomsten op locatie zijn een drietal avonden georganiseerd waarbij kennisoverdracht heeft plaatsgevonden. Tijdens de inspiratieavond (40 deelnemers) zijn de diverse technieken besproken en is de behoefte aan informatie geïnventariseerd. Tijdens de verdiepingsavond (15 agrariërs) werd de concreetheid vanuit de ondernemers gepeild aan de hand van informatie over de specifieke watervraag, de ondergrond en welk drainagesysteem het beste zou passen. Tijdens een zogenaamde concretiseringsbijeenkomst (6 agrariërs) is aan de hand van de deelnemende kennisinstituten een aantal technieken verder uitgewerkt.



Figuur 10.1 Nieuwe concrete kansen en interesse voor de GO-FRESH zoetwatermaatregelen in de Zeeuwse regio, anno 2018.

11 Referenties

- De Louw, P.G.B., 2013. Saline seepage in deltaic areas. Vrije Universiteit Amsterdam.
- De Louw, P.G.B., Eeman, S., Oude Essink, G.H.P., Vermue, E., Post, V.E.A., 2013. Rainwater lens dynamics and mixing between infiltrating rainwater and upward saline groundwater seepage beneath a tile-drained agricultural field. *J. Hydrol.* 501, 133–145. doi:10.1016/j.jhydrol.2013.07.026
- De Louw, P.G.B., Eeman, S., Siemon, B., Voortman, B.R., Gunnink, J.L., Van Baaren, E.S., Oude Essink, G.H.P., 2011. Shallow rainwater lenses in deltaic areas with saline seepage. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 15, 3659–3678. doi:10.5194/hess-15-3659-2011
- De Louw, P.G.B., Oude Essink, G.H.P., Eeman, S., Baaren, Van, E.S., Vermue, E., Delsman, J.R., Pauw, P.S., Siemon, B., Gunnink, J.L., Post, V.E.A., 2015. Dunne regenwaterlenzen in zoute kwelgebieden. *Landschap* 32, 5–15.
- Delsman, J., Van Baaren, E.S., Siemon, B., Dabekaussen, W., Karaoulis, M.C., Pauw, P., Vermaas, T., Bootsma, H., De Louw, P.G.B., Gunnink, J.L., Dubelaar, W., Menkovic, A., Steuer, A., Meyer, U., Revil, A., Oude Essink, G.H.P., 2018. Large-scale, probabilistic salinity mapping using airborne electromagnetics for groundwater management in Zeeland, the Netherlands. *Environ. Res. Lett.* 13. doi:10.1088/1748-9326/aad19e
- Delsman, J.R., Boekel, E. Van, Reinhard, S., Van Loon, A., Bartholomeus, R., Mulder, M., Massop, H., Polman, N., Schasfoort, F., 2017. Regioscan Zoetwatermaatregelen, Verkennen van het perspectief van kleinschalige zoetwatermaatregelen voor de regionale zoetwateropgave.
- Deltaprogramma; Deelprogramma Zuidwestelijke Delta, 2011. Lange termijn verkenning Zuidwestelijke delta.
- Deltaprogramma, 2017. Werk aan de delta; Opgaven verbinden, samen op koers.
- EVIDES, 2018. EVIDES (2018) Tarieven 2018. <https://www.evides.nl/service/tarieven>. Bezocht op 24-05-2018 2018.
- Goes, B.J.M., Oude Essink, G.H.P., Vernes, R.W., Sergi, F., 2009. Estimating the depth of fresh and brackish groundwater in a predominantly saline region using geophysical and hydrological methods, Zeeland, the Netherlands. *Near Surf. Geophys.* 7, 401–412.
- Harbaugh, A.W., McDonald, M.G., 1988. A modular Three-Dimensional Finite-Difference Groundwater Flow Model. Book 6. Chapter A1. *Techniques of Waterresources Investigations of the United States Geological Survey.*
- INFRAM, DECISIO, KplusV, KWR, 2016. Verkenning naar opschalingsmogelijkheden Freshmakerconcept, Provincie Zeeland, Middelburg.
- Jeuken, A., Tolk, L., Stuyt, L.C.P.M., Delsman, J.R., De Louw, P.G.B., Van Baaren, E.S., Paalman, M.A.A., 2015. Kleinschalige oplossingen voor een robuustere regionale zoetwatervoorziening; zelfvoorzienendheid in zoetwater: zoek de mogelijkheden. *STOWA* 2015-30 62.
- Klein Tank, A., Beersma, J., Bessembinder, J., van den Hurk, B., Lenderink, G., 2015. KNMI'14-klimaatscenario's voor Nederland; Leidraad voor professionals in klimaatadaptatie.
- Langevin, C.D., Thorne, D.T.J., Dausman, A.M.A.M.A.M., Sukop, M.C., Guo, W., Thorne Jr., D.T., Dausman, A.M.A.M.A.M., Sukop, M.C., Guo, W., 2008. SEAWAT Version 4: A Computer Program for Simulation of Multi-Species Solute and Heat Transport, U.S. Geological Survey Techniques and Methods Book 6.
- Oude Essink, G.H.P., 2001. Density Dependent Groundwater Flow - (Salt Water Intrusion and Heat Transport) 151.
- Oude Essink, G.H.P., De Louw, P.G.B., Stevens, S., de Veen, B., Prevo, C., Marconi, V., Goes, B.J.M., 2009. Voorkomen en dynamiek van regenwaterlenzen in de Provincie Zeeland - resultaten van een verkennende en provinciedekkende meetcampagne.
- Oude Essink, G.H.P., Pauw, P.S., 2018. Evaluatie en verdiepend onderzoek naar grondwateronttrekkingsregels in de provincie Zeeland. *Deltares Rapp.* 1231011-001 157.
- Oude Essink, G.H.P., Van Baaren, E.S., Zuurbier, K.G., Velstra, J., Veraart, J., Brouwer, W.,



- Faneca Sánchez, M., Pauw, P.S., De Louw, P.G.B., Vreke, J., Schoevers, M., Schroevers, M., 2014. GO-FRESH: Valorisatie kansrijke oplossingen voor een robuuste zoetwatervoorziening.
- Pauw, P.S., 2015. Field and Model Investigations of Freshwater Lenses in Coastal Aquifers. Wageningen University.
- Pauw, P.S., Van Baaren, E.S., Visser, M., De Louw, P.G.B., Oude Essink, G.H.P., 2015. Increasing a freshwater lens below a creek ridge using a controlled artificial recharge and drainage system: a case study in the Netherlands. *Hydrogeol. J.* doi:10.1007/s10040-015-1264-z
- Regionaal Bestuurlijk Overleg Schelde, 2004. Karakterisering stroomgebied Schelde.
- Scheldestromen, W., 2013. Beleidsnota grondwater Versie: 3.5.
- Schipper, P.N.M., Janssen, G.M.C.M., Polman, N.B.P., Linderhof, V.G.M., Bakel, P.J.T. van, Massop, H.T.L., Kselik, R.A.L., Oude Essink, G.H.P., Stuyt, L.C.P.M., 2014. €ureyeopener 2.1: Zoetwatervoorziening Zuidwestelijke Delta en Rijnmond-Drechtsteden; Alterra-rapport 2510.
- Schultz, B., 1992. Waterbeheersing van de Nederlandse droogmakerijen.
- Sommeijer, M.J., 2013. Identifying suitable measures to enlarge fresh groundwater reserves on a regional scale. A feasibility study in Walcheren, the Netherlands.
- Sommeijer, M.J., Pauw, P.S., van Baaren, E.S., Oude Essink, G.H.P., 2013. Zeeland kan voorraden zoet grondwater vergroten. *Land+Water*.
- Spaarwater, 2016. Pilots rendabel en duurzaam agrarisch watergebruik in een verziltende omgeving van de waddenregio 52.
- Stafleu, J., Gunnink, J., 2016. Hydraulische parameterisering van GeoTOP Zeeland.
- STOWA, 2015. Deltafact: Waterreservoirs op bedrijfsniveau. http://deltaproof.stowa.nl/Publicaties/deltafact/Waterreservoirs_op_bedrijfsniveau/Waterreservoirs_op_bedrijfsniveau.aspx. Bezocht op 27-04-2017 2017.
- Stuyt, L.C.P.M., Bakel, P.J.T. van, Massop, H.T.L., 2011. Basic Survey Zout en Joint Fact Finding effecten van zout. Naar een gedeeld beeld van het zoetwaterbeheer in laag Nederland. Alterra Rapp. 2200 120.
- Stuyt, L.C.P.M., Blom-Zandstra, M., Kselik, R.A.L., 2016. Inventarisatie en analyse zouttolerantie van landbouwgewassen op basis van bestaande gegevens, Rapport 2739. doi:<http://dx.doi.org/10.18174/391931>
- Tolk, L., 2012. Zoetwater verhelderd; Maatregelen voor zoetwater zelfvoorzienendheid in beeld; KvK rapportnummer KvK 90/2013.
- Van Baaren, E.S., Delsman, J.R., Karaoulis, M., Pauw, P.S., Vermaas, T., Bootsma, H., De Louw, P.G.B., Oude Essink, G.H.P., Dabekaussen, W., Gunnink, J.L., Dubelaar, W., Menkovic, A., Siemon, B., Steuer, A., Meyer, U., 2018. FRESHM Zeeland - FRESH Salt groundwater distribution by Helicopter ElectroMagnetic survey in the Province of Zeeland, Deltares report 1209220. Utrecht, Netherlands.
- Van Baaren, E.S., Oude Essink, G.H.P., Janssen, G.M.C.M., De Louw, P.G.B., Heerdink, R., Goes, B.J.M., 2016. Verzoeting en verzilting freatisch grondwater in de Provincie Zeeland, Rapportage 3D regionaal zoet-zout grondwater model.
- Van Bakel, P.J.T., De Louw, P.G.B., Stuyt, L.C.P.M., Tolk, L., Velstra, J., Hoogvliet, M., Mikkels, N., 2014. Methode voor het selecteren van lokale zoetwateroplossingen en het afwegen van hun effecten - Fresh Water Options Optimizer, KvK118/2014 Stowa rapportnummer 2014-16.
- Van Dam, J.C., 1983. The shape and position of the salt water wedge in coastal aquifers. *IAHS* 146, 59–75.
- Van De Ven, G.P., 1993. Man-made lowlands: history of water management and land reclamation in the Netherlands. *Uitg. Matrijs, Utrecht, Netherlands* 293.
- Veraart, J.A., Van Duinen, R., Vreke, J., 2017. Evaluation of socio-economic factors that determine adoption of climate compatible freshwater supply measures at farm level: a Case Study in the Southwest. *Water Resour. Manag.* 31, 587–608.
- Vernes, R.W., Hummelman, H.J., Menkovic, A., 2010. REGIS Zeeland, Deelrapport B: Hydrogeologische opbouw en hydraulische eigenschappen van Holocene afzettingen.



- Visser, M., 2012. Aquifer storage and recovery in a fossil creek bed managing droughts in a brackish environment, MSc thesis Utrecht University.
- Zuurbier, K.G., Van der Schans, M., Paalman, M.A.A., de Putter, P., te Winkel, T., Velstra, J., Oude Essink, G.H.P., 2015. Technisch-juridische handreiking risicobeoordeling 'Ondergrondse Waterberging.'
- Zuurbier, K.G., Van Dooren, T., Ros, S., 2018. Resultaten Freshmaker (2013-2017), KWR rapport.



Bijlagen

A. Bijlage A Vergunning Kreekrug Infiltratie Systeem

Declaratie	Nr.
1209255-000-055-0006	
Te behandelen door	Korte naam
OUDEKESINK, mevrouw E. van Baaren, Duin	
Ingekomen	
10 december 2015	
Afgegeven door	
1209255	
Stempel	

Declaratie
T.a.v. mevrouw E. van Baaren
Postbus 85467
3508 AL UTRECHT

WaterwvScheldestromen

Uw brief : 4 november 2015
Uw kenmerk :
afb kenmerk : 2015038170
lijstagen : 1,2
CASE id : W1115.0728
onderwerp : Watervergunning en Besluit zorgplicht, water in de bodem - brespen

behandeld door : H. Vooght
doorstroomnummer : 086-2461356
e-mail : info@scheldestromen.nl

Middelburg, 14 december 2015
VERZONDEN: 17 DEC. 2015

Geachte mevrouw Van Baaren,

Hierbij zenden wij u de Watervergunning en het Besluit zorgplicht voor het brengen van oppervlaktewater in de bodem. Dit ten behoeve van uw proefproject (GO FRESH) op de percelen aan de Oostkapelseweg te Serooskerke. Uw proefproject loopt tot en met 31 december 2018.

Hoogachtend,
namens het dagelijks bestuur
van waterschap Scheldestromen

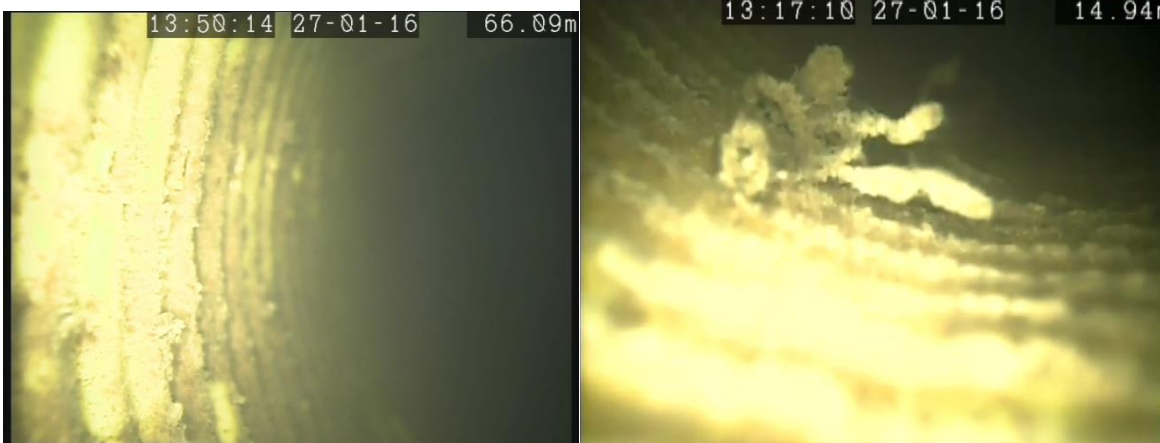
H. Vooght
Adjunct afdelingshoofd Waterbeheer

Postadres: Postbus 020, 4330 TV M. de Burg
Rechtadres: Van Nieuwland, 4337 PA M. de Burg
Kantoor: Kromdijk 1, 4338 AD Thuisdijk

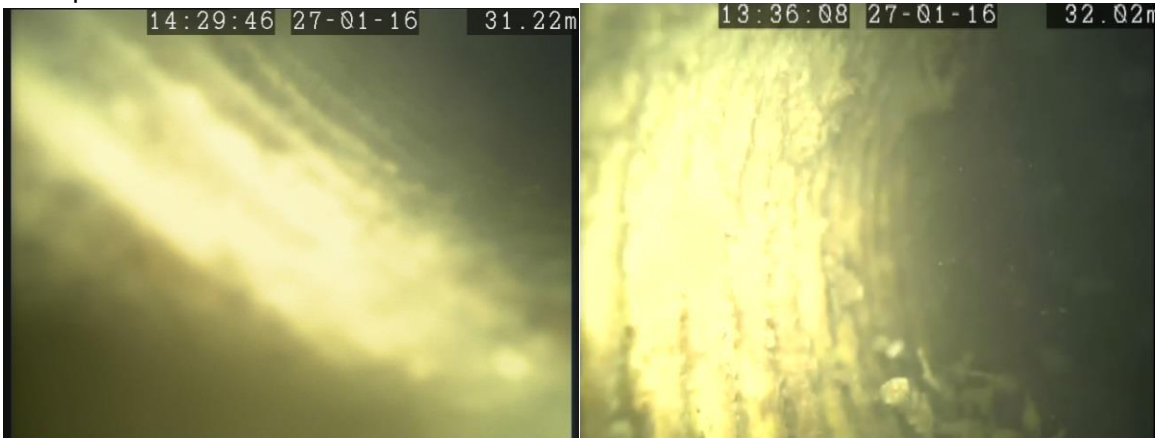
1 085 2461000 - contact
1 085 2461990
E info@scheldestromen.nl
S www.scheldestromen.nl

B. Bijlage B Draininspectie Kreekrug Infiltratie Systeem

Bovenste peilput:

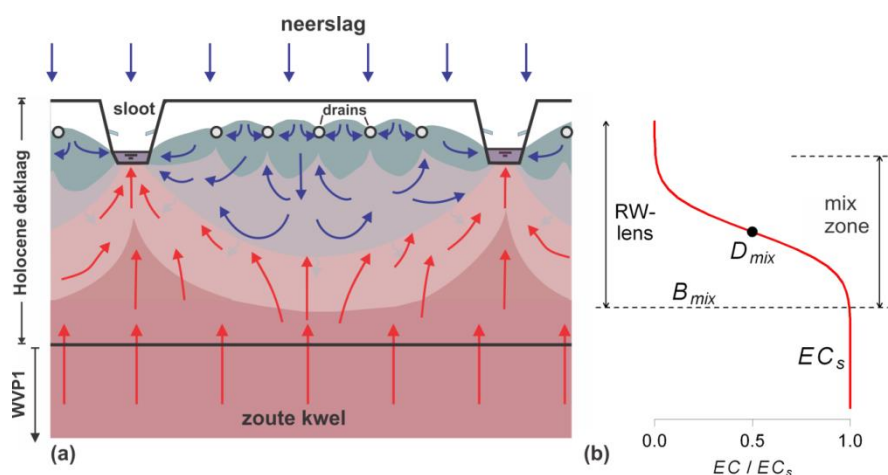


Inlaatput:



C. Bijlage C Methodiek bepaling voorkeursgebieden voor de maatregel Drains2Buffer

De maatregel Drains2Buffer is geschikt voor zoute kwelgebieden waarbij een kans bestaat op zout in de wortelzone via capillaire opstijging vanuit het grondwater. Figuur C-1 laat een schematische weergave van een regenwaterlens in een zout kwelgebied zien. Vaak is er een mengzone van zoet en zout water aanwezig van 1 á 2 meter. In 2013 is een uitgebreid promotieonderzoek naar deze dunne regenwaterlenzen in zoute kwelgebieden afgerond (de Louw, 2013). Het onderzoek laat zien dat gedurende de zomermaanden in de meeste kwelgebieden zoet grondwater zelfs afwezig is. Dan kan via capillaire opstijging het zoute grondwater de wortelzone van de gewassen bereiken. Metingen van het zoutgehalte in de wortelzone laten een grote ruimtelijke variatie zien. Afhankelijk van de lokale omstandigheden kan de wortelzone nog steeds zoet zijn terwijl er op 2 meter diepte een zoutgehalte vergelijkbaar met zeewater wordt aangetroffen. Op andere locaties worden hoge zoutgehaltes in de wortelzone aangetroffen (2 – 8 g Cl/l).



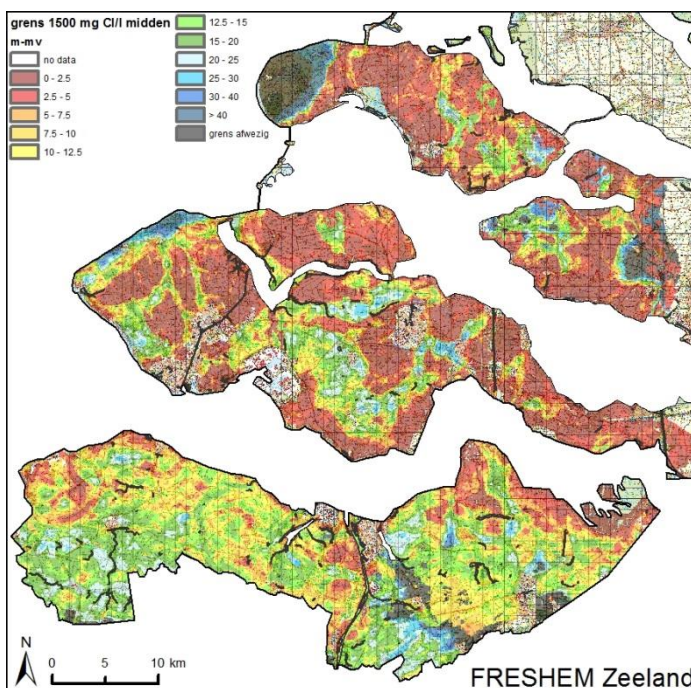
Figuur C-1: (a) Schematische weergave van een regenwaterlens zoals ze voorkomen in de zoute kwelgebieden. (b) Profiel van het zoutgehalte van het grondwater met de diepte. D_{mix} is het midden van de meng-zone waar het zoutgehalte (EC) de helft van het zoutgehalte van het kwelwater (EC_s) is. B_{mix} is de basis van de meng-zone waar het zoutgehalte gelijk is aan dat van het zoute kwelwater (EC_s). Uit De Louw et al. (2013).

Modelberekeningen tonen aan dat de regenwaterlensen door hun ondiepe ligging erg kwetsbaar zijn voor klimaatverandering, waarbij drogere zomers en nattere winters worden voorspeld. Het extra winterwater wordt effectief door het intensieve drainagesysteem afgevoerd en draagt niet bij aan de voeding van de regenwaterlens, terwijl in de zomer de hogere verdamping tot krimpings van de lens leidt. Hierdoor nemen zoutgehaltes in de regenwaterlens toe, met als gevolg een toename van zoutgehaltes in het bodemwater in de wortelzone gedurende het zomerhalfjaar. Daarnaast zal voor landbouwpercelen die nabij de Zeeuwse kust liggen (< 1 km van zee) de verwachte zeespiegelstijging leiden tot een toename van de zoute kwel, waardoor de regenwaterlensen verder onder druk komen te staan. Voor deze kwetsbare gebieden is Drains2Buffer een maatregel die voorkomt dat zoutgehaltes in de wortelzone te hoog worden.

Methodiek

Voor het samenstellen van de kaart met voorkeursgebieden voor Drains2Buffer zijn de volgende fysieke factoren in ogenschouw genomen:

4. Zoet-zout verdeling ondergrond (FRESHM)
5. Kwelgebieden (Grondwater model Zeeland)
6. Capillaire eigenschappen bodem (Bodemkaart)

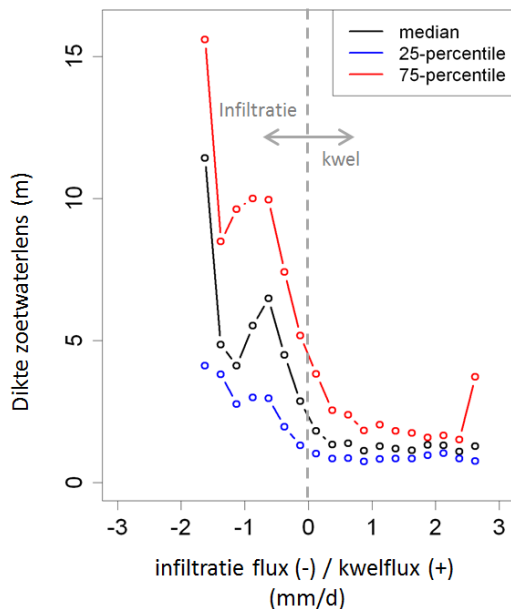


Figuur C-2: De diepte van het grensvlak 1500 mg Cl per liter (midden scenario (Van Baaren et al., 2018)).

1. Zout-zout verdeling ondergrond

De belangrijkste bron voor het vaststellen van voorkeursgebieden voor de maatregel Drains2Buffer vormt de zoet-zout kartering die onlangs is uitgevoerd en afgerond binnen het project FRESHM (Baaren e.a., 2017). Binnen dit project is zeer gedetailleerd met een helikopter elektromagnetische metingen uitgevoerd, op basis waarvan een 3D-veld van het zoutgehalte van het grondwater is afgeleid. Om de onzekerheid in de bepaling van de zoutconcentratie mee te nemen, is een relatief 'lage', 'midden' of 'hoge' zoutconcentratie bepaald. Wij gebruiken hier de 'midden'-concentraties. Uit het 3D-veld zijn kaarten gemaakt met de diepte van het grensvlak van verschillende zoutgehaltenes (uitgedrukt in chlorideconcentratie ofwel Cl). We gebruiken hier grensvlakkenkaarten van Cl = 1500 mg Cl/l en Cl = 10.000 mg Cl/l. Een chloridegehalte van 1500 mg Cl/l wordt in Zeeland door de agrariërs als landbouwkundig zoet aangemerkt, een zoutgehalte waar veel gewassen nog net tegen kunnen. De diepte waar dit zoutgehalte voorkomt, is een goede indicatie voor de dikte van de zoetwaterlens. Figuur C-2 presenteert de kaart met het grensvlak van Cl = 1500 mg Cl/l. Het is duidelijk dat hoe ondieper dit grensvlak, hoe groter de kans op zout in de wortelzone. Daarnaast is ook de diepte van het grondwater met een Cl van 10.000 mg Cl/l gebruikt, als indicatie of er ook heel erg zout grondwater ondiep voorkomt. Beide kaarten zijn gecombineerd tot 1 kaart die is gebruikt voor het samenstellen van de uiteindelijke

voorkeursgebiedenkaart. In Tabel C-1 staat weergegeven hoe dit is gedaan. In Figuur C-4 staat de samengestelde kaart.



Figuur C-3: De relatie tussen de dikte van de zoetwaterlens en de verticale kwel / infiltratieflux op Schouwen-Duivenland (Uit De Louw, 2013). De relatie is gebaseerd op 86.000 combinaties van metingen van de dikte van de zoetwaterlens met behulp van Helikopter-EM en de kwel/infiltratieflux uit het grondwatermodel van Zeeland.

2. Kwelgebieden

Uit het onderzoek van De Louw (2013) is gebleken dat de verticale stroming van grondwater in belangrijke mate de dikte van de zoetwaterlens bepaald. Als de stroming naar beneden is gericht, ofwel infiltratie, dan kunnen er zeer dikke lenzen ontstaan van type 1 en type 2, ook wel aangeduid als Badon Ghijben-Herzberg lenzen, genoemd naar de onderzoekers die dit soort type lenzen al in de 19e eeuw hebben onderzocht. Het proces van lensvorming is totaal anders wanneer de grondwaterstroming omhoog is gericht, ofwel kwel. Zoals al eerder besproken kan het regenwater niet diep infiltreren en ontstaan er zeer dunne lenzen. De 86.000 metingen van de dikte van de zoetwaterlens die in 2009 met behulp van Helikopter-EM op Schouwen-Duivenland zijn bepaald, laten dit heel mooi zien (De Louw, 2013). Voor al deze metingen is de verticale flux uit het grondwatermodel van Zeeland (Oude Essink e.a., 2017) bepaald en in een grafiek gezet. De grafiek laat zien dat in gebieden met kwel de lens niet dikker is dan 1 tot 2 meter terwijl wanneer naar een infiltratiesituatie wordt overgegaan de lensdikte zeer sterk toeneemt bij toenemende neerwaartse flux.

Kwel is dus de belangrijkste oorzaak voor de aanwezigheid van dunne regenwaterlenzen, vaak dunner dan 2.5 m. Uit veld- en modelonderzoek blijkt dat een grotere kwelflux leidt tot een dunnere regenwaterlens. Tevens wordt er meer zout vanuit de ondergrond aangevoerd wanneer er meer kwel is. Om verder een onderscheid te kunnen maken in de dunne lenzen die uit de FRESHM-kartering kunnen worden gehaald, wordt de kwel-infiltratiekaart van Zeeland gebruikt. Daarbij wordt onderscheid gemaakt in gebieden met permanente kwel en de overige gebieden waar permanent of een deel van het jaar infiltratie optreedt. Binnen de permanente kwelgebieden wordt nog een onderscheid gemaakt in de grootte van de kwelflux (0-0.25 mm/d en > 0.25 mm/d). Gebieden met permante kwel en een grotere kwelflux hebben



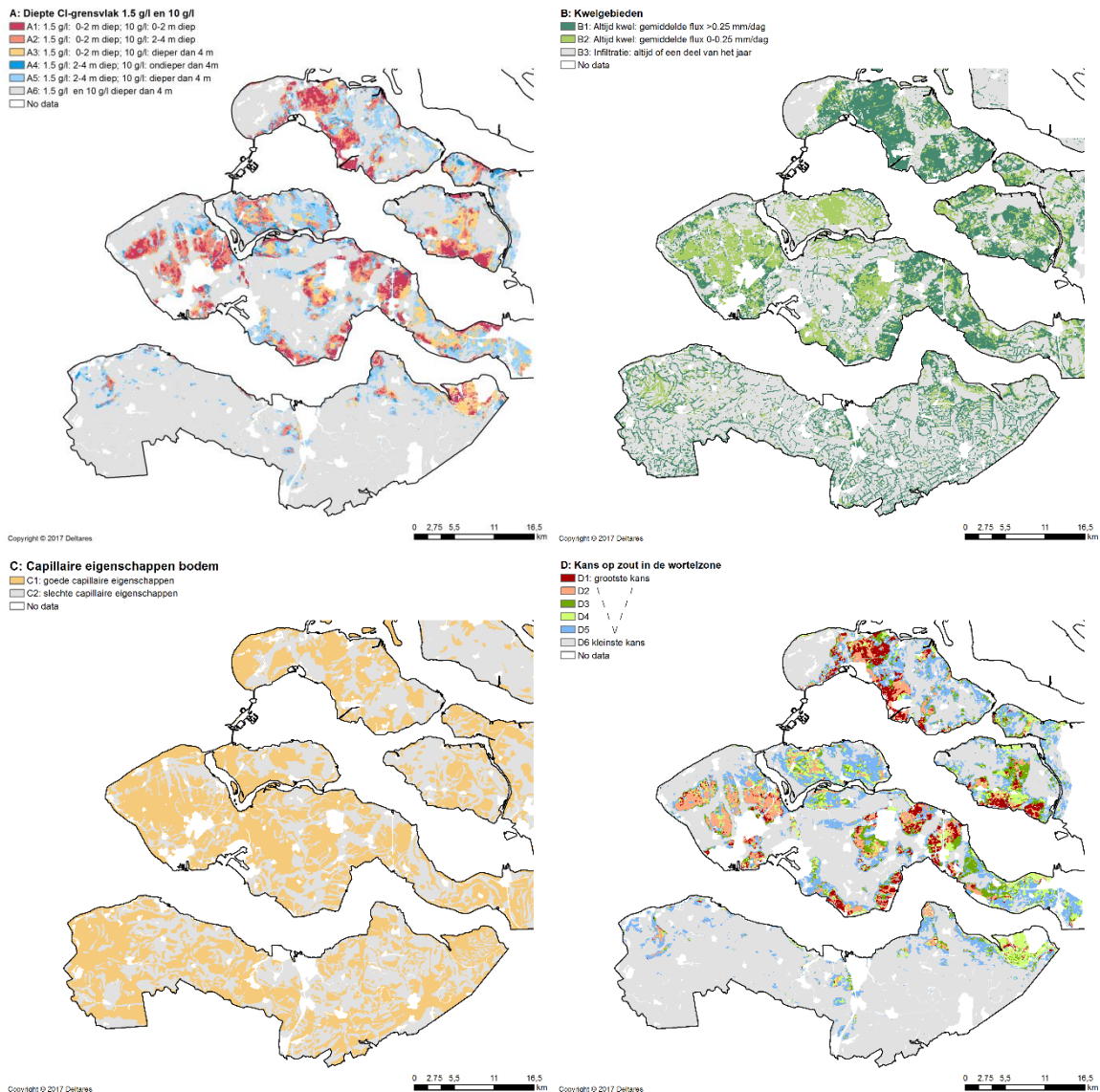
een groter risico op zout in de wortelzone. In Figuur C-4 staat de resulterende kaart weergegeven.

3. Capillaire opstijging

Het zout bereikt de wortelzone niet direct via kwel maar via capillaire opstijging van zout grondwater. In de zomer daalt de grondwaterstand door verdamping en wordt het bovenste grondwater steeds zouter. Het is ook gedurende de zomer dat er grote naar boven gerichte potentiaalverschillen ontstaan door de verdamping van de gewassen. Hierdoor neemt de capillaire opstijging vanuit het grondwater toe waardoor zout water dat afkomstig is van het grondwater de wortelzone kan bereiken. Bodems met goede capillaire eigenschappen, zoals lemige zandbodems, lopen dus een groter risico op zout in de wortelzone. Deze factor is dus meegenomen bij het vervaardigen van de voorkeursgebiedenkaart voor Drains2Buffer. Als bodemkaart is de nieuwe bodemfysische schematisatie van Nederland gebruikt (Wosten e.a., 2012). In Tabel C-1 staat beschreven aan welke bodems goede capillaire eigenschappen worden toegekend, in Figuur C-4 staat de resulterende kaart weergegeven.

Tabel C-1 Samenstelling van de kaarten van drie belangrijkste fysische factoren die de kans op zout in de wortelzone bepalen

A: Diepte Cl-grensvlak 1.5 g/l en 10 g/l	B: Kwelgebieden	C: Capillaire eigenschappen bodem
A1: 1.5 g/l: 0-2 m-mv; 10 g/l: 0-2 m -mv A2: 1.5 g/l: 0-2 m-mv p; 10 g/l: 2-4 m -mv A3: 1.5 g/l: 0-2 m-mv; 10 g/l: > 4 m-mv A4: 1.5 g/l: 2-4 m-mv; 10 g/l: < 4m-mv A5: 1.5 g/l: 2-4 m-mv; 10 g/l: > 4 m-mv A6: 1.5 g/l en 10 g/l: > 4 m	B1: Altijd kwel: gemiddelde flux >0.25 mm/dag B2: Altijd kwel: gemiddelde flux 0-0.25 mm/dag B3: Infiltratie - altijd of deels van het jaar	C1: goede capillaire eigenschappen zwaklemig fijn zand zwaklemig fijn zand op grof zand zwaklemig fijn zand op (kei-)leem enkeerdgronden Sterk lemig fijn zand Zavel met homogeen profiel C2: slechte capillaire eigenschappen overige bodems



Figuur C-4: De verschillende kaarten met fysische factoren (A,B en C) de zijn gebruikt voor het vervaardigen van de kaart met kans op zout in de wortelzone (D).

Resultaten

De drie fysische factoren worden gecombineerd tot een kaart die de kans op zout in de wortelzone weergeeft. In Tabel C-2 staat weergegeven hoe deze kaart is samengesteld. De zoet-zout verdeling wordt als belangrijkste factor meegenomen waarna de kwelsituatie en de capillaire eigenschappen van de bodem een verder onderscheid maken.

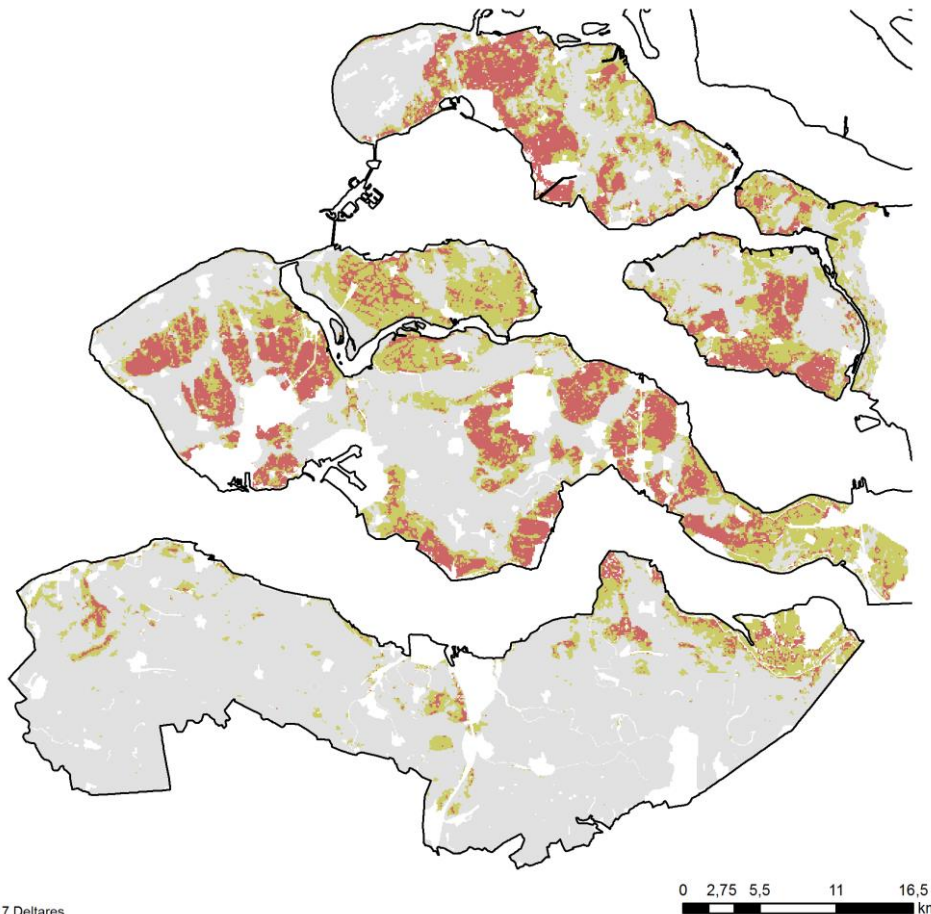
Vervolgens is de 'kans op zout in de wortelzone' kaart gebruikt om de voorkeursgebieden voor de maatregel Drains2Buffer weer te geven (zie Tabel C-2 en Figuur C-5). Het is echter niet bekend waar de zoutgehalten in de wortelzone zo hoog zijn dat dit tot zoutschade van de gewassen leidt. De kans hierop is echter het grootst in de gebieden aangegeven op de 'kans op zout in de wortelzone' kaart. Tevens zijn het deze gebieden die het meest kwetsbaar zijn voor een toename van zoutgehalten in de wortelzone als gevolg van klimaatverandering (meer verdamping en minder neerslag in de zomer). Deze gebieden bieden dus de voorkeur om een Drains2Buffer-maatregel om te overwegen. Figuur C-5 toont de kaart met voorkeursgebieden voor de maatregel Drains2Buffer.

Tabel C-2 Samenstelling van de kaarten van drie belangrijkste fysieke factoren die de kans op zout in de wortelzone en de voorkeursgebieden voor de maatregel Drains2Buffer bepalen.

D: Kans op zout in de wortelzone	E: Voorkeursgebieden Drains2Buffer
<p>D1: grootste kans: A1 en A2 in combinatie met B1 met C1</p> <p>D2: kans: A1 en A2 in combinatie met (B1 met C2) of (B2 met C1) of (B2 met C2)</p> <p>D3: kans: A3 in combinatie met B1 en B2 met C1 en C2</p> <p>D4: kans: A1 t/m A3 in combinatie met B3 met C1 en C2</p> <p>D5: kans: A4 en A5 in combinatie met B1 en B2 en B3 met C1 en C2</p> <p>D6: kleinste kans: A6</p>	<p>E1: grote voorkeur: D1 of D2 of D3</p> <p>E2: voorkeur: D4 of D5</p> <p>E2: geen voorkeur: D6</p>

E: Voorkeursgebieden zouttolerante aardappelen

- E1: grote voorkeur
- E2: voorkeur
- E3: geen voorkeur
- No data



Copyright © 2017 Deltares

Figuur C-5: Kaart met voorkeursgebieden voor de maatregel Drains2Buffer.

D. Bijlage D Aangepaste Saturated Paste methode

The EC_e (total dissolved salt) was determined via the saturated paste method (Rhoades et al. 1989); this method can be used with disturbed and undisturbed soil samples. Sample rings with soil samples were weighed to determine the field weight of the sample. Then the samples were saturated with demineralised water until the total volume of the sample ring was filled, and rested for 4 hours. The resting time depends on the permeability of the soil; the demineralised water has to penetrate and fill all the pores in the sample. The samples were weighed again to obtain the weight of the sample, sample ring and the water. After weighing, the samples were transferred in a foil container thoroughly mixed into a mud like substance, called a saturated paste. The paste is rested for another four hours to let all the present salt dissolve. Soil moisture is extracted from the paste via a Rhizon and the EC of the extracted soil moisture is measured. The sample is weighed, placed in an oven at $105^\circ C$ for at least 24 hours to completely dry out the sample, and weighed again to determine the dry weight of the soil particles. By subtracting the dry soil weight from the field weight and saturated weight, the field soil moisture content and volume of the added demineralised water can be determined. Dividing the added demineralised water by the soil moisture gives the dilution factor. Multiplying the dilution factor with the EC of the extracted soil moisture from the saturated paste gives the EC_e of the soil sample.

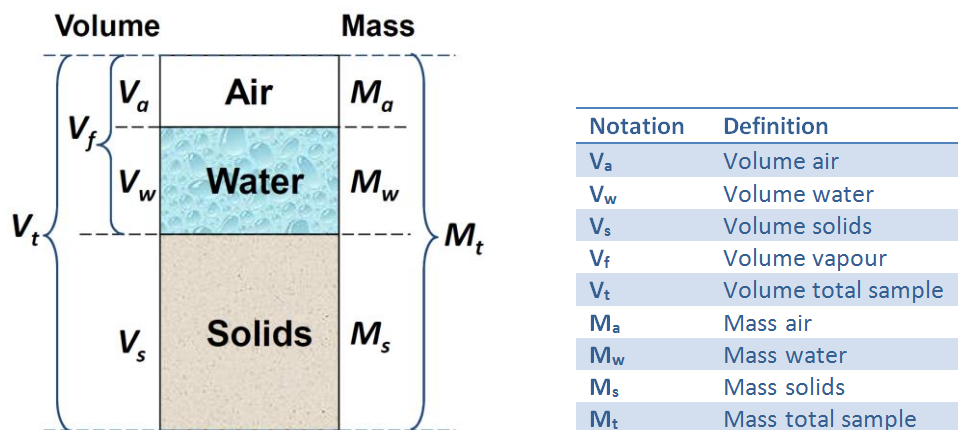


Figure D.3: Volumes and mass notation's of air, water and solids in a soil sample.

The following definitions and formulas were used to determine the soil properties and soil moisture content. In Figure D.3 the notations of air, water and solids in a soil sample are shown.

The mass of the dry solids in the sample is calculated by:

$$M_s = M_t - M_w$$

The bulk density ρ_s is calculated by:

$$\rho_s = \frac{M_s}{V_t}$$

The porosity n or ϕ gives an indication how much water can be stored in the soil and is calculated by:

$$n = \phi = \frac{V_f}{V_t}$$

The volumetric water content θ is calculated by:

$$\theta = \frac{V_w}{V_t}$$



The total dissolved salt content EC_e is calculated by:

$$EC_e = EC_{dil} \frac{M_w + Demi_w}{M_w}$$

where:

- EC_{dil} is the EC of the diluted paste of the sample
- $Demi_w$ is the amount of added demiwat



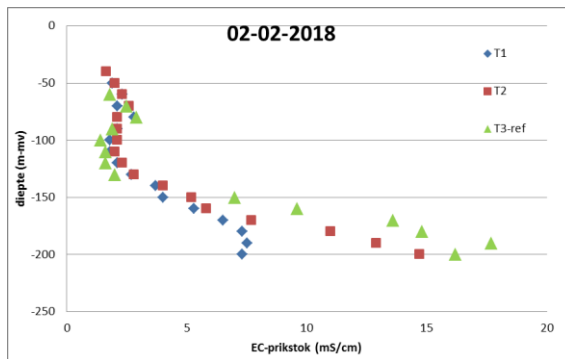
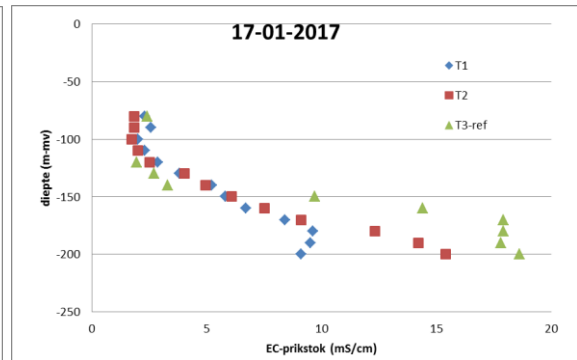
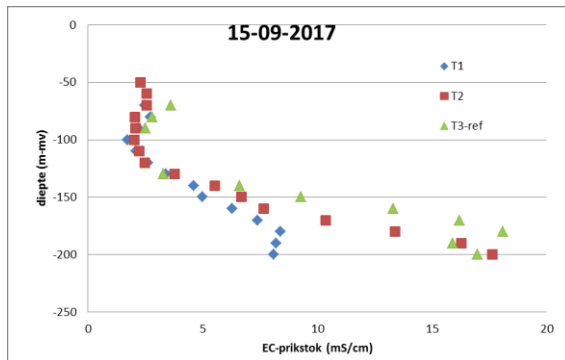
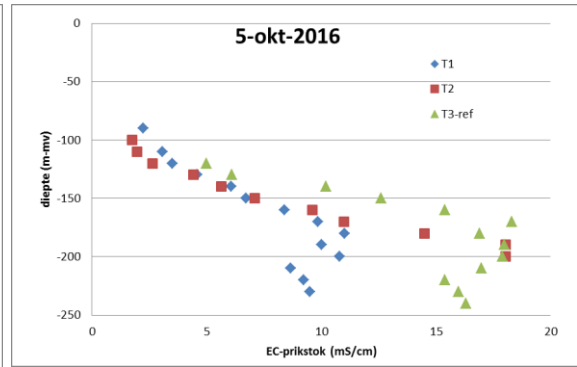
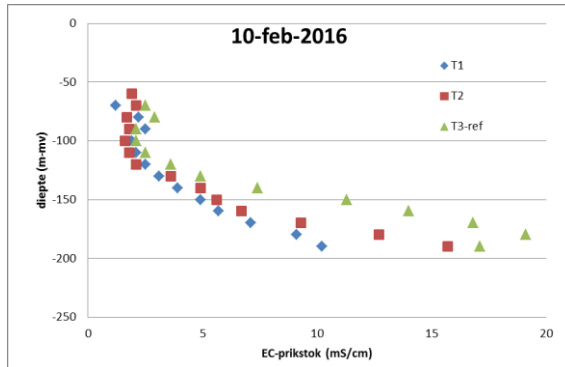
E. Bijlage E Resultaten korrelgrootteanalyse

Analysis model: Multiple narrow modes														
Sample Name	Operator Notes	< 63	d (0.1)	d (0.5)	d (0.6)	d (0.9)	Residual W.	d(0.6)/d(0.1)						
2016001001 Kerkwerve	meetpunt : 1 60-70 cm onbehandeld	98.04	2.15	14.52	18.47	38.51	1.479	8.59						
2016001002 Kerkwerve	meetpunt : 1 70-80 cm onbehandeld	91.17	2.35	16.26	21.25	58.40	1.313	9.04						
2016001003 Kerkwerve	meetpunt : 1 80-90 cm onbehandeld	78.27	2.62	23.48	33.29	92.84	0.983	12.69						
2016001004 Kerkwerve	meetpunt : 1 90-100 cm onbehandeld	53.53	4.56	58.28	71.27	118.12	0.667	15.63						
2016001005 Kerkwerve	meetpunt : 1 100-105 cm onbehandeld	47.79	5.52	65.45	76.20	118.59	0.584	13.80						
2016001006 Kerkwerve	meetpunt : 1 105-120 cm onbehandeld	57.12	4.00	54.78	66.31	110.87	0.69	16.59						
2016001007 Kerkwerve	meetpunt : 1 130-160 cm onbehandeld	76.42	2.53	24.32	36.62	93.31	0.926	14.47						
2016001008 Kerkwerve	meetpunt : 2 55-60 cm onbehandeld	91.55	2.50	18.24	23.85	58.47	1.239	9.55						
2016001009 Kerkwerve	meetpunt : 2 65-75 cm onbehandeld	84.87	2.02	18.69	27.00	74.39	1.339	13.35						
2016001010 Kerkwerve	meetpunt : 2 75-85 cm onbehandeld	76.19	2.43	28.04	41.54	86.87	1.304	17.10						
2016001011 Kerkwerve	meetpunt : 2 85-95 cm onbehandeld	65.45	2.52	43.57	56.38	98.66	1.195	22.37						
2016001012 Kerkwerve	meetpunt : 2 95-105 cm onbehandeld	58.11	2.82	53.28	65.22	110.39	1.189	23.10						
2016001012 Kerkwerve	meetpunt : 2 95-105 cm onbehandeld	61.11	2.53	48.91	61.63	107.84	1.149	24.41						
2016001012 Kerkwerve	meetpunt : 2 95-105 cm onbehandeld	57.54	2.99	54.24	65.82	110.57	1.169	22.02						
2016001013 Kerkwerve	meetpunt : 2 110-120 cm onbehandeld	68.47	2.79	38.23	51.52	101.73	0.957	18.49						
2016001014 Kerkwerve	meetpunt : 2 120-130 cm onbehandeld	82.29	2.66	24.97	35.03	78.30	1.174	13.16						
2016001015 Kerkwerve	meetpunt : 2 130-150 cm onbehandeld	80.79	2.65	24.22	35.67	80.49	1.136	13.49						
2016001016 Kerkwerve	meetpunt : 2 150-160 cm onbehandeld	82.37	2.62	24.45	34.76	77.90	1.178	13.29						
2016001017 Kerkwerve	meetpunt : 3 65-75 cm onbehandeld	86.60	1.96	17.91	24.97	72.05	1.378	12.73						
2016001018 Kerkwerve	meetpunt : 3 75-85 cm onbehandeld	63.09	3.50	45.94	59.06	105.99	0.789	16.86						
2016001019 Kerkwerve	meetpunt : 3 85-90 cm onbehandeld	51.82	4.10	60.46	73.81	122.54	0.831	17.99						
2016001020 Kerkwerve	meetpunt : 3 90-100 cm onbehandeld	50.13	4.51	62.81	76.44	127.76	0.685	16.93						
2016001021 Kerkwerve	meetpunt : 3 100-110 cm onbehandeld	39.77	6.83	74.99	85.77	131.57	0.561	12.55						
2016001022 Kerkwerve	meetpunt : 3 110-120 cm onbehandeld	40.47	6.84	74.50	85.68	133.17	0.555	12.52						
2016001023 Kerkwerve	meetpunt : 3 120-130 cm onbehandeld	44.14	5.52	70.67	82.97	134.38	0.611	15.04						
2016001024 Kerkwerve	meetpunt : 3 130-140 cm onbehandeld	63.99	3.12	45.31	57.88	107.75	0.844	18.56						
2016001025 Kerkwerve	meetpunt : 3 140-150 cm onbehandeld	87.65	1.91	17.53	25.40	68.68	1.356	13.30						
2016001025 Kerkwerve	meetpunt : 3 140-150 cm onbehandeld	87.69	1.69	15.92	23.46	68.76	1.437	13.86						
2016001026 Kerkwerve	meetpunt : 3 150-160 cm onbehandeld	89.02	2.10	18.09	25.68	65.26	1.298	12.23						
Sample Name		0.01-0.10	0.10-0.20	0.20-0.50	0.50-1.0	1.0-2.0	2.0-4.0	4.0-8.0	8.0-16.0	16-25	25-35	35-50	50-63	
2016001001 Kerkwerve	meetpunt : 1 60-70 cm onbehandeld	0.00	0.02	4.36	0.82	4.14	8.79	14.07	21.68	19.88	13.40	8.38	2.50	
2016001002 Kerkwerve	meetpunt : 1 70-80 cm onbehandeld	0.00	0.01	3.83	0.83	3.88	8.16	13.14	19.58	16.88	11.90	8.95	4.02	
2016001003 Kerkwerve	meetpunt : 1 80-90 cm onbehandeld	0.00	0.00	2.16	1.64	3.82	7.15	10.70	14.44	11.87	9.66	10.09	6.75	
2016001004 Kerkwerve	meetpunt : 1 90-100 cm onbehandeld	0.00	0.00	0.93	1.26	2.44	4.36	6.40	7.91	6.07	5.75	9.11	9.30	
2016001005 Kerkwerve	meetpunt : 1 100-105 cm onbehandeld	0.00	0.00	0.50	1.40	2.21	3.76	5.13	5.80	4.45	4.84	9.18	10.53	
2016001006 Kerkwerve	meetpunt : 1 105-120 cm onbehandeld	0.00	0.00	1.02	1.54	2.74	4.71	6.53	7.37	5.50	5.80	10.81	11.10	
2016001007 Kerkwerve	meetpunt : 1 130-160 cm onbehandeld	0.00	0.00	1.30	2.32	4.19	7.61	10.95	13.80	10.50	8.19	9.88	7.68	
2016001008 Kerkwerve	meetpunt : 2 55-60 cm onbehandeld	0.00	0.01	2.65	1.26	4.01	7.85	11.91	17.81	16.37	12.92	11.35	5.42	
2016001009 Kerkwerve	meetpunt : 2 65-75 cm onbehandeld	0.00	0.11	4.82	0.77	4.22	8.21	11.94	15.69	12.19	8.90	10.42	7.62	
2016001010 Kerkwerve	meetpunt : 2 75-85 cm onbehandeld	0.00	0.13	4.28	0.59	3.50	6.76	10.06	12.70	9.47	7.73	11.24	9.74	
2016001011 Kerkwerve	meetpunt : 2 85-95 cm onbehandeld	0.00	0.19	3.95	0.81	3.41	5.86	8.13	9.30	6.44	6.12	10.64	10.59	
2016001012 Kerkwerve	meetpunt : 2 95-105 cm onbehandeld	0.00	0.18	3.70	0.82	3.06	5.04	6.67	6.99	5.06	5.55	10.32	10.72	
2016001012 Kerkwerve	meetpunt : 2 95-105 cm onbehandeld	0.00	0.22	4.39	0.80	3.09	5.51	7.84	7.88	5.34	5.62	10.13	10.29	
2016001012 Kerkwerve	meetpunt : 2 95-105 cm onbehandeld	0.00	0.32	4.05	0.62	2.68	4.47	6.18	6.52	5.17	5.79	10.72	11.03	
2016001013 Kerkwerve	meetpunt : 2 110-120 cm onbehandeld	0.00	0.01	2.68	1.42	3.42	5.92	8.49	10.27	7.96	7.47	11.23	9.62	
2016001014 Kerkwerve	meetpunt : 2 120-130 cm onbehandeld	0.00	0.01	2.78	1.13	3.62	7.13	10.83	13.57	10.96	9.95	13.06	9.25	
2016001015 Kerkwerve	meetpunt : 2 130-150 cm onbehandeld	0.00	0.00	2.44	1.28	3.78	7.47	11.29	13.99	10.54	8.69	11.96	9.38	
2016001016 Kerkwerve	meetpunt : 2 150-160 cm onbehandeld	0.00	0.01	2.65	1.19	3.76	7.43	11.00	13.74	10.81	9.64	12.86	9.30	
2016001017 Kerkwerve	meetpunt : 3 65-75 cm onbehandeld	0.00	0.10	4.98	0.83	4.26	8.08	12.04	16.44	13.31	10.05	10.09	6.43	
2016001018 Kerkwerve	meetpunt : 3 75-85 cm onbehandeld	0.00	0.00	1.72	1.28	2.97	5.16	7.38	9.35	7.53	7.01	10.60	10.09	
2016001019 Kerkwerve	meetpunt : 3 85-90 cm onbehandeld	0.00	0.00	1.76	1.05	2.59	4.41	6.18	7.51	5.79	5.39	8.41	8.72	
2016001020 Kerkwerve	meetpunt : 3 90-100 cm onbehandeld	0.00	0.00	1.40	1.06	2.44	4.24	6.02	7.41	5.73	5.33	8.16	8.35	
2016001021 Kerkwerve	meetpunt : 3 100-110 cm onbehandeld	0.00	0.00	0.74	1.08	1.96	3.11	4.18	4.76	3.72	4.04	7.36	8.81	
2016001022 Kerkwerve	meetpunt : 3 110-120 cm onbehandeld	0.00	0.00	0.62	1.09	1.94	3.15	4.31	4.93	3.86	4.18	7.59	8.80	
2016001023 Kerkwerve	meetpunt : 3 120-130 cm onbehandeld	0.00	0.00	0.86	1.21	2.20	3.66	5.03	5.76	4.34	4.48	7.91	8.70	
2016001024 Kerkwerve	meetpunt : 3 130-140 cm onbehandeld	0.00	0.00	1.89	1.58	3.25	5.46	7.43	8.71	6.84	7.05	11.51	10.27	
2016001025 Kerkwerve	meetpunt : 3 140-150 cm onbehandeld	0.00	0.08	4.82	0.94	4.58	8.81	12.69	15.66	11.99	9.66	11.20	7.22	
2016001025 Kerkwerve	meetpunt : 3 140-150 cm onbehandeld	0.00	0.17	5.58	0.89	4.86	9.29	13.26	16.08	11.50	8.77	10.38	6.91	
2016001026 Kerkwerve	meetpunt : 3 150-160 cm onbehandeld	0.00	0.02	4.30	0.91	4.33	8.59	12.47	15.99	12.61	10.30	12.05	7.46	
Sample Name		63-75	75-88	88-105	105-125	125-150	150-177	177-210	210-250	250-300	300-354	354-420	420-500	> 500
2016001001 Kerkwerve	meetpunt : 1 60-70 cm onbehandeld	0.74	0.38	0.45	0.31	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2016001002 Kerkwerve	meetpunt : 1 70-80 cm onbehandeld	2.25	1.81	1.84	1.20	0.45	0.08	0.25	0.36	0.28	0.23	0.08	0.01	0.00
2016001003 Kerkwerve	meetpunt : 1 80-90 cm onbehandeld	5.26	4.89	4.89	3.21	1.27	0.19	0.43	0.68	0.51	0.34	0.06	0.00	0.00
2016001004 Kerkwerve	meetpunt : 1 90-100 cm onbehandeld	9.45	10.14	11.03	8.00	3.89	0.95	0.67	0.90	0.74	0.59	0.11	0.00	0.00
2016001005 Kerkwerve	meetpunt : 1 100-105 cm onbehandeld	11.08	11.84	12.60	8.84	4.03	0.80	0.63	0.98	0.77	0.55	0.10	0.00	0.00
2016001006 Kerkwerve	meetpunt : 1 105-120 cm onbehandeld	10.30	10.05	10.03	6.68	2.81	0.45	0.52	0.86	0.65	0.47	0.09	0.00	0.00
2016001007 Kerkwerve	meetpunt : 1 130-160 cm onbehandeld	6.14	5.53	5.30	3.37	1.30	0.15	0.32	0.52	0.40	0.36	0.16	0.02	0.00
2016001008 Kerkwerve	meetpunt : 2 55-60 cm onbehandeld	2.94	2.16	1.93	1.12	0.29	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2016001009 Kerkwerve	meetpunt : 2 65-75 cm onbehandeld	5.37	4.25	3.53	1.75	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2016001010 Kerkwerve	meetpunt : 2 75-85 cm onbehandeld	7.71	6.60	5.77	3.04	0.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2016001011 Kerkwerve	meetpunt : 2 85-95 cm onbehandeld	9.58	9.07	8.68	5.33	1.87	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2016001012 Kerkwerve	meetpunt : 2 95-105 cm onbehandeld	10.03	9.81	9.78	6.50	2.76	0.46	0.44	0.72	0.67	0.60	0.11	0.00	0.00
2016001012 Kerkwerve	meetpunt : 2 95-105 cm onbehandeld	9.52	9.20	9.04	5.89	2.44	0.43	0.48	0.74	0.61	0.47	0.08	0.00	0.00
2016001012 Kerkwerve	meetpunt : 2 95-105 cm onbehandeld	10.28	9.98	9.87	6.50	2.73	0.45	0.52	0.84	0.68	0.52	0.10	0.00	0.00
2016001013 Kerkwerve	meetpunt : 2 110-120 cm onbehandeld	8.05	7.43	7.19	4.65	1.91	0.35	0.45	0.62	0.45	0.37	0.07	0.00	0.00
2016001014 Kerkwerve	meetpunt : 2 120-130 cm onbehandeld	6.30	4.90	4.04	2.07	0.39	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2016001015 Kerkwerve	meetpunt : 2 130-150 cm onbehandeld	6.73	5.33	4.43	2.30	0.41	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2016001016 Kerkwerve	meetpunt : 2 150-160 cm onbehandeld	6.38	4.92	3.98	2.00	0.35	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2016001017 Kerkwerve	meetpunt : 3 65-75 cm onbehandeld	4.36	3.53	3.19	1.80	0.52	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2016001018 Kerkwerve	meetpunt : 3 75-85 cm onbehandeld	9.19	8.81	8.54	5.40	2.11	0.33	0.52	0.78	0.64	0.50	0.09	0.00	0.00
2016001019 Kerkwerve	meetpunt : 3 85-90 cm onbehandeld	9.12	10.03	11.25	8.58	4.66	1.47	0.80	0.76	0.71	0.68	0.13	0.00	0.00
2016001020 Kerkwerve	meetpunt : 3 90-100 cm onbehandeld	8.77	9.84	11.36	9.03	5.29	1.96	1.15	1.05	0.76	0.65	0.12	0.00	0.00
2016001021 Kerkwerve	meetpunt : 3 100-110 cm onbehandeld	10.24	12.05	14.17	11.34	6.66	2.42	1.21	0.83	0.59	0.60	0.12	0.00	0.00

F. Bijlage F Bodembeschrijving tijdens het nemen van bodemmonsters op 10 februari 2016

Datum: 10 feb 2016	
LOCATIE 1	
Bodembeschrijving	
0-45	matig zware klei
45-80	zware zavel, in andere boring (< 1m hier vandaan) wel veen aangetroffen (5 cm op diepte 45 cm-mv).
80-100	lichte zavel
100-120	fijn zand
120-160	fijn zand, heel slap, kleilig ongerijpt
LOCATIE 2	
Bodembeschrijving	
0-45	matig zware klei
45-55	zwart, gemineraliseerd veen. Niet altijd aanwezig, ook bijv niet 1 meter verder.
55-75	matig zware klei
75-85	lichte klei
85-95	lichte klei, heel slap ongerijpt
95-100	matig zware zavel
100-130	lichte zavel, heel waterig, slap.
130-160	lichte klei, heel slap en ongerijpt
LOCATIE 3 - ref perceel	
algemeen: Locatie 3 lijkt in bodemopbouw af te wijken van locatie 1 en 2. De bodem is veel vaster, harder. Ook de priksok kwam er moeilijk in. Vraag is dan ook of dit wel zo'n goed referentiedeel is.	
Bodembeschrijving	
0-30	matig zware klei
30-40	matig zware klei
40-45	zware zavel
45-55	matig zware zavel
55-70	lichte klei, veel rietresten van 65-70. In boring 0.5 m van deze locatie is wel zwart veen aangetroffen, 5 cm op 50 m-mv. Ruimtelijk variabel dus.
70-75	zware zavel
75-85	lichte zavel
85-130	fijn zand
130-160	matig zware zavel, ongerijpt heel slap.

G. Bijlage G Prikstokmetingen



H. Bijlage H Metingen en berekeningen Drains2Buffer, periode 2009-2011 (onderzoek De Louw)

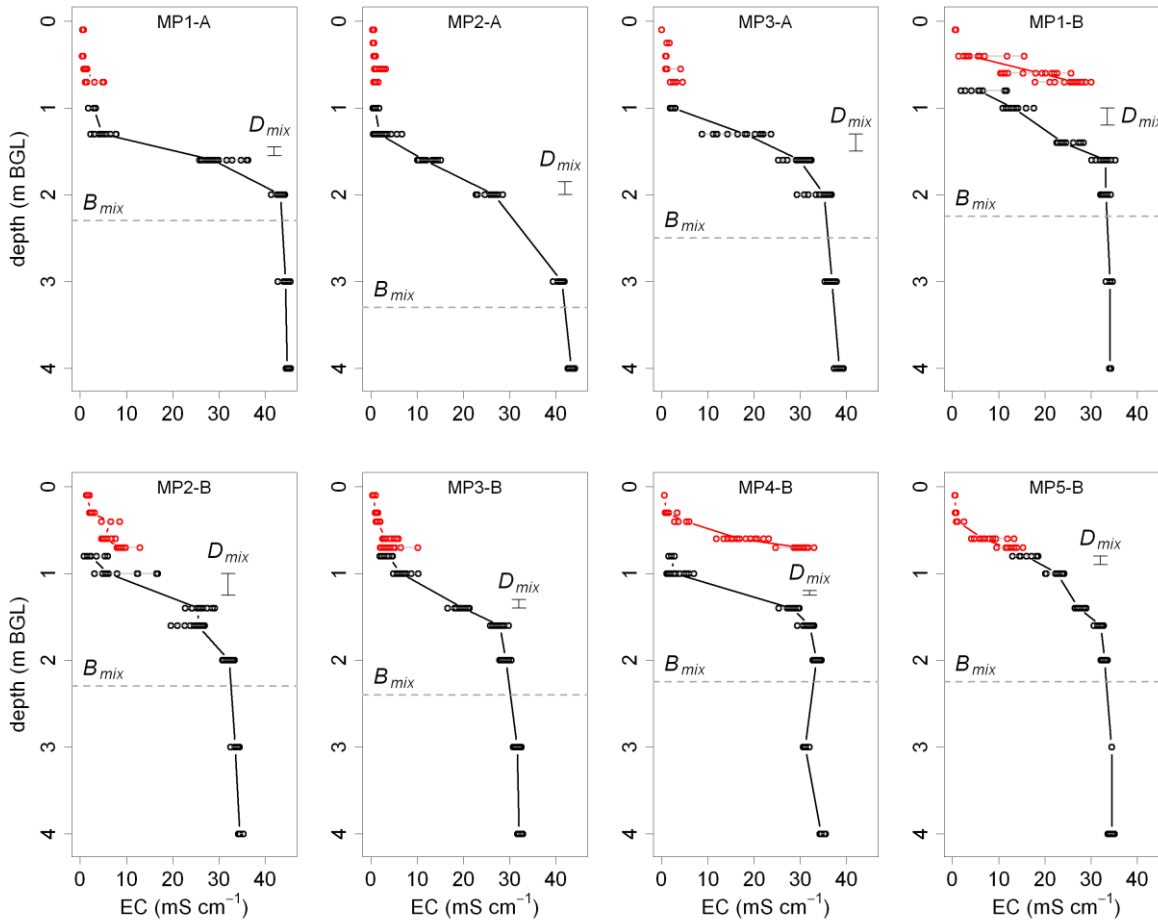


Fig. H1. Depth profiles of soil water salinity (in red) and groundwater salinity (in black) for sites A and B (site B is Drains2Buffer-pilot area in Kerkwerve), based on monthly measurements during the period March 2009 – December 2010. The individual measurements are indicated by dots and median values are connected by a full line. The amplitude of the displacement of D_{mix} during the monitoring period and the depth of B_{mix} is indicated for each measurement point (uit De Louw et al., 2013).

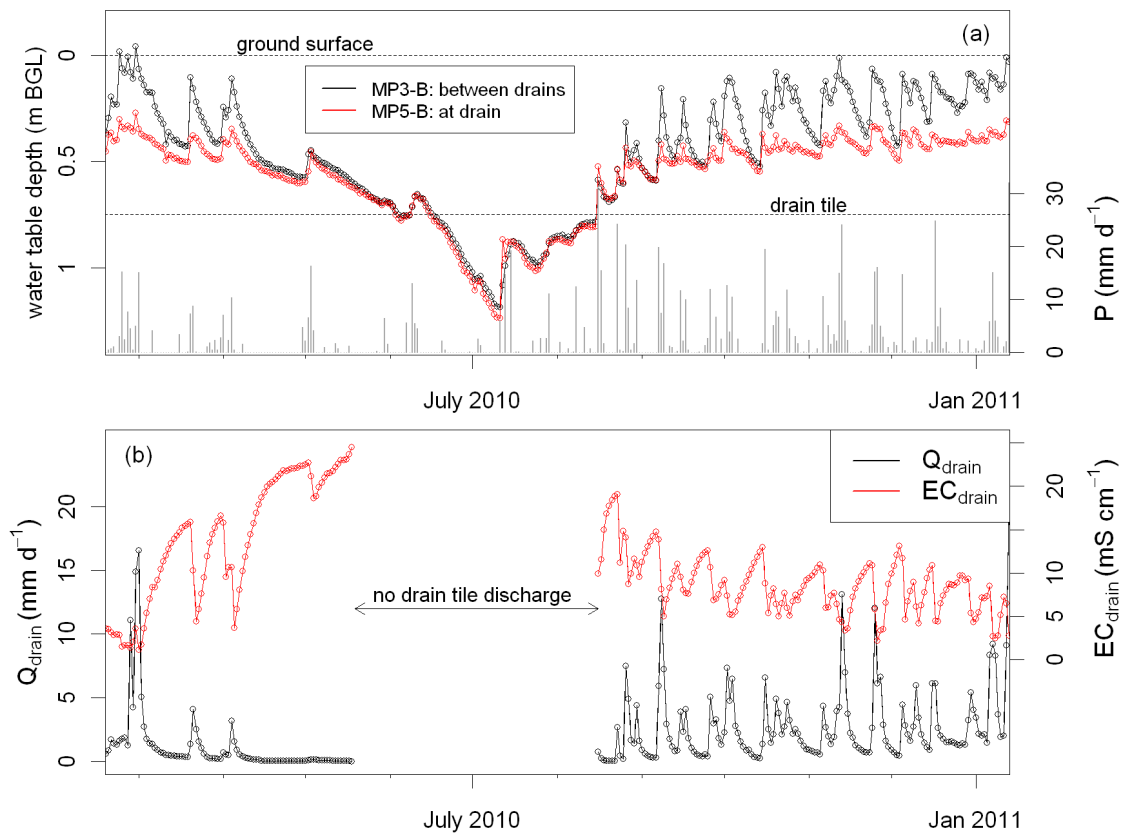


Fig. H2. Graph showing times series at site B (site B is Drains2Buffer-pilot area in Kerkwerve) of (a) the water table at a drain tile and between two drain tiles, and (b) Q_{drain} and EC_{drain} . Water table elevations above the ground surface indicate conditions of surface ponding.

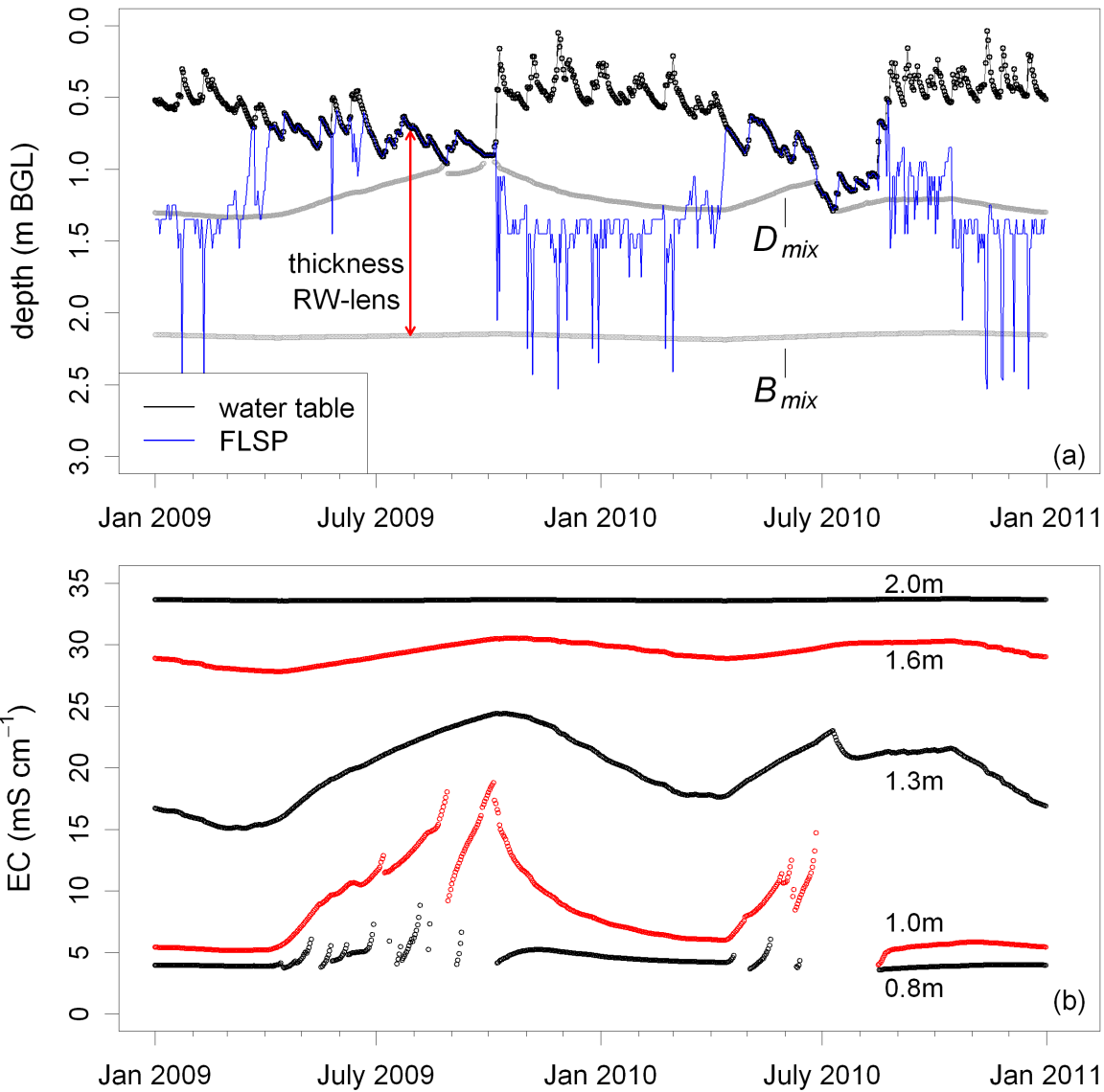
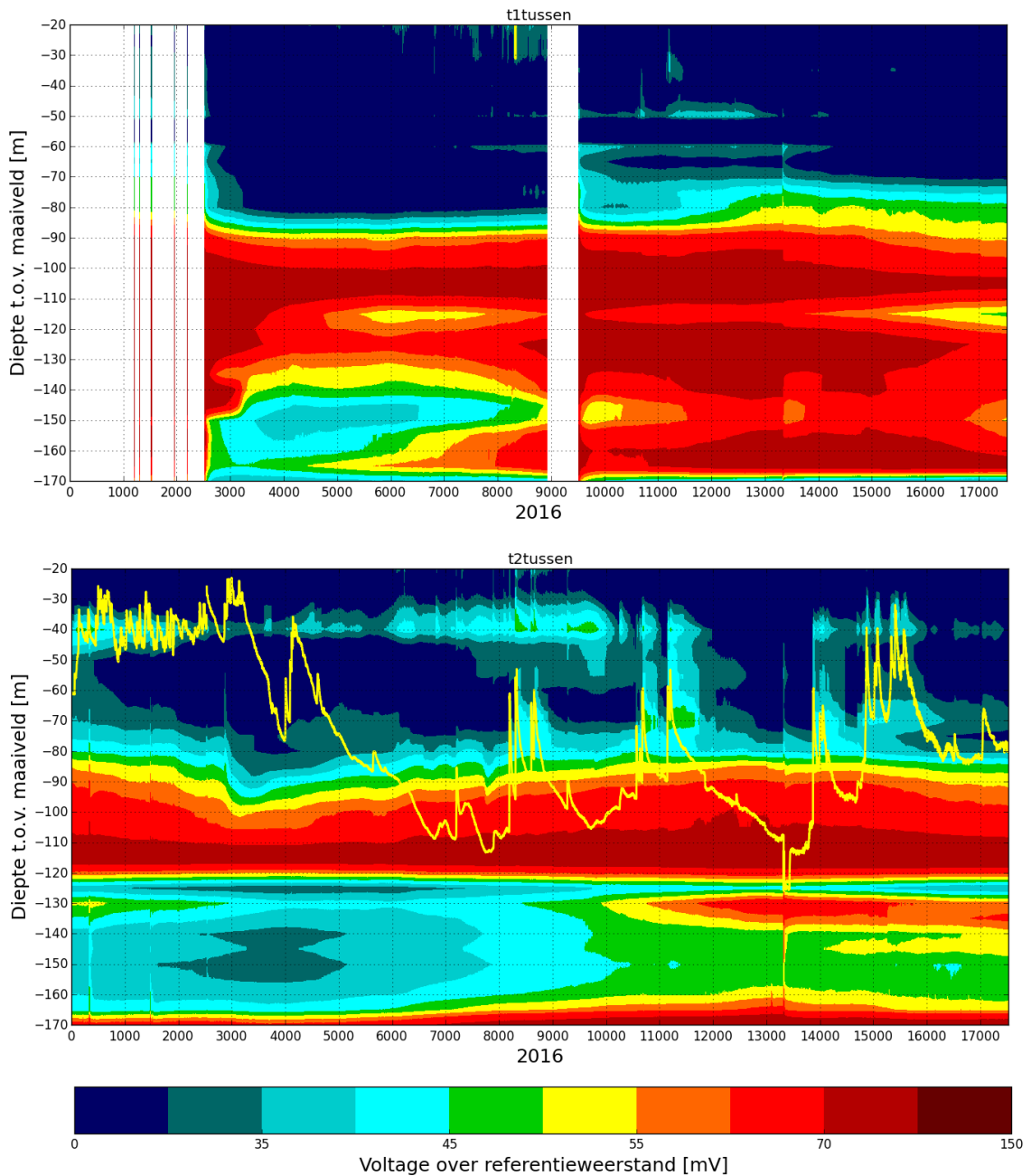
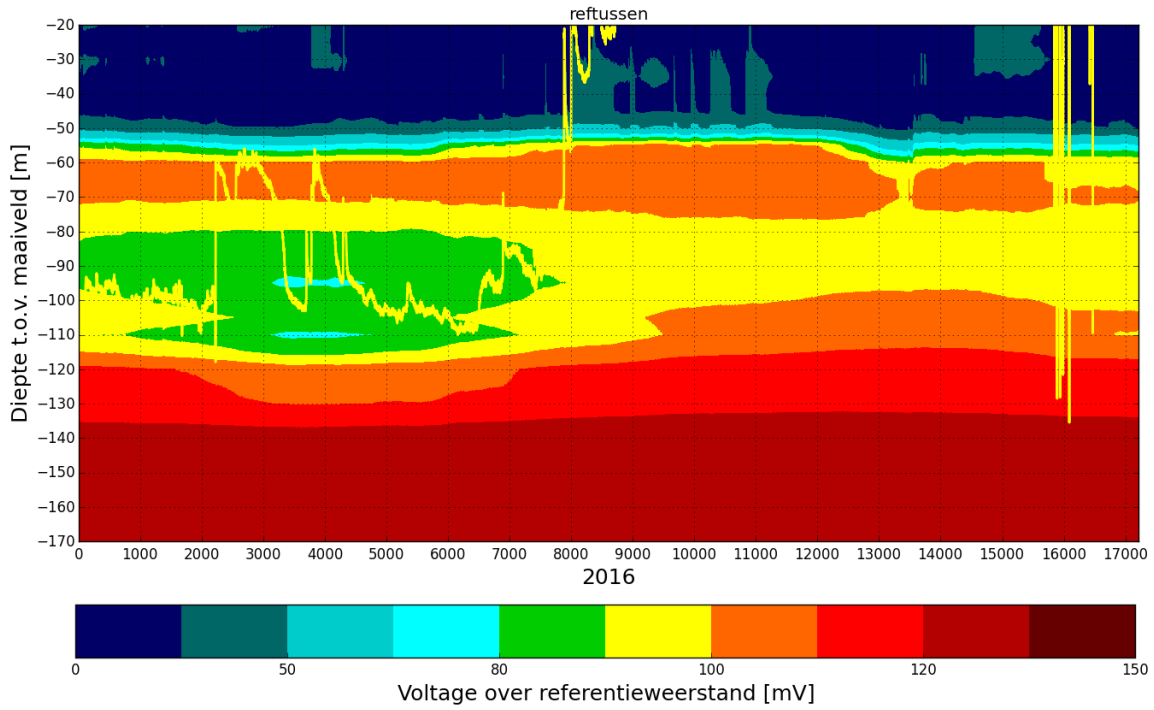


Fig. H3. Graphs showing model results between the drain tiles: (a) time series of the water table, D_{mix} , B_{mix} and the vertical flow stagnation point (FLSP) for a period of two years (2009-2010), (b) temporal variations of groundwater salinity at different depths. No results are shown for depths of 1.0 m and 0.8 m when model cells were above the calculated water table and hence inactive.

I. Bijlage I Geleidbaarheidsprofielen proefvakken T1 en T2, op referentiestrook T3 (1 jan-31 dec '16)



Geleidbaarheidsprofielen van de proefvakken T1 en T2 gemeten tussen de drains met de Resprobes vanaf 1 januari tot en met 31 december 2016. N.B. De hogere voltagewaarden geven hogere geleidbaarheden weer.



Geleidbaarheidsprofiel van het referentieperceel gemeten tussen de drains met de ResProbe vanaf 1 januari tot en met 31 december 2016. N.B. De hogere voltagewaarden geven hogere geleidbaarheden weer.

J. Bijlage J Artikelen en Nieuwsberichten

8

ZATERDAG 25 JANUARI 2014

Nieuwe Oogst

REGIO 

Verwachte stijging zeespiegel en dalende grond nopen tot maatregelen

Zoute kwel onder de duim houden

PETER VAN HOUWELING

Bij akkerbouwer Rien van de Hoek in Kerkwerpe zit het zoute water kort onder de bouwvoor. Daarom vindt op zijn land onderzoek plaats om met een extra drainagesysteem het zoute kwelwater af te voeren.



Van de Hoek heeft een akkerbouwbedrijf met gangbare gewassen en met spinaziezaad. Het ligt op zo'n 2 kilometer van de Oosterschelde. Vanuit de keuken is de Scheldedijk te zien. Nog voor die dijk ligt een uitdoper van Tuelluur. Dat is een nieuw natuurgebied met veel zoute kwel, dat onder andere bestaat uit graslanden die soms onderlopen en oude kreekranden. In het gebied huizen vele duizenden ganzen.

'Toen Tuelluur hier kwam, waren we als boeren bang voor drie dingen: meer overlast van zoute kwel, van onkruid en van vogels. Mijn ervaring is dat Tuelluur geen gevolgen heeft voor de verzilting van het gebied', zegt Van de Hoek. 'De onkruiddruk is hier en daar toegenomen, maar de vogels zijn overduidelijk toegenomen. Het aantal ganzen is enorm gegroeid.' Terwijl hij het vertelt, vliegen er voortdurend grote koppels ganzen over zijn boerderij.

NIET BEREGENEN

Het zoute water is dus heel dichtbij. Dat is ook zo in de bodem. De zoute kwel komt tot kort onder de bouwvoor. Van de Hoek weet niet anders. Hij is gewend aan de zoute omgeving. 'Dat is altijd zo geweest', zegt hij. 'Voor de watersnoodramp in 1953 liep het hier regelmatig onder. Daarna is het door ontbemaling geschikt gemaakt voor grasland en in de loop der jaren is hier steeds meer akkerbouw gekomen. Maar de omgeving bleef zout.'

De akkerbouwer heeft er mee leren leven. Hij kan bijvoorbeeld niet bereggen. 'Dat is uitgesloten; het oppervlaktewater is te zout. Laatst hebben ze langs de weg een nieuwe sloot gegraven omdat er een fietspad langs kwam. In het talud groeiden diverse zoutminnende planten, zoals lamsoor en zeekraal.

Wat doet hij als het droog is en de aardappelen hangen slap? 'Wachten tot het gaat regenen. Je weet gewoon dat je niet kunt bereggen. Anderen hebben wel eens met tankauto's zoet water aangevoerd vanuit het Haringvliet. Dat kost zo'n 1.000 euro per hectare. Dat kan dus alleen bij hoogrenderende gewassen, zoals bij net geplante spruiten. Maar zo iets gaat tegen mijn boerenverstand in. Je hebt hier gewoon geen zoetwater. Daarmee moet je dealsen.'

Als boer zou je wel alles willen sturen, maar de natuur is sterker. 'Soms word je weer eens met de neus op de feiten gedrukt, dat je afhankelijk bent van de natuur. Met de huidige machines kun je, ook als het nat is, bijna altijd aardappelen roeten op lichte grond, maar de knollen kunnen het niet aan. Je krijgt dan meer kans op rot of andere problemen.'

'Water is een van de grootste vrienden van de boer en tegelijk een van de grootste vijanden'

Het enige dat Van de Hoek zelf kan doen om te zorgen dat de bodem het zoete water beter vasthoudt, is zorgen voor voldoende organische stof. 'Veel meer kun je niet doen, dat's it.'

Als het zo blijft is er mee te leven. 'Ik heb nu geen zoutproblemen met mijn gewassen', stelt de akkerbouwer vast. Maar er zijn diverse voorspellingen over een stijgende zeespiegel en een dalende bodem. Als dat doorgaat, wordt de opwaartse druk van zoute kwel steeds groter.

Dat zou problemen kunnen opleveren, zeker in het deel van de polder waar Van de Hoek boert; dat ligt nu al 2 meter onder NAP. 'Verzilting zou dan een probleem kunnen worden', constateert hij. Daarom was hij van begin af aan geïnteresseerd in het onderzoek dat in zijn polder plaatsvond naar de mogelijkheden om meer zoet water in de bodem op te slaan. Onderzoeker Pery de

Louw promoveerde eind vorig jaar aan de Vrije Universiteit in Amsterdam op dit onderzoek.

Van de Hoek was altijd al geïnteresseerd in water. 'Het is een van de grootste vrienden van de boer en tegelijk een van de grootste vijanden.'

PROEFPERCEEL

Het onderzoek van De Louw was de aanzet tot de proeven op een stuk land van Van de Hoek, pal naast zijn boerderij. Diverse partijen stonden aan de wieg van het onderzoek, waaronder ZLTO. Van de Hoek was snel bereid mee te werken. Op zijn proefperceel van ruim een hectare ligt nu onder de gebruikelijke drainage een extra laag drainagebuis.

Normaal komt de zoute kwel niet boven de drainage. Door de drains stroomt het zoutwater in de sloot. Nu de drains dieper liggen, wordt het kwelwater eerder afgevoerd. Daarboven blijft het zoet, is de veronderstelling.

De gangbare drainage is met enkele aanpassingen omgebouwd tot een peilgestuurde drainage. Dat betekent dat de drains geen water afvoeren als de neerslag weinig zoet water aanvoert. Als er veel regen valt, voeren de drains het water op volle snelheid af.

'Drains2Buffer' heet het systeem. De beoogde grotere buffer van zoet water houdt de zoute kwel ook beter tegen. In de huidige situatie kan in droge zomers de zoetwaterlens heel dun worden. Met de Drains2Buffer zou dat voorkomen kunnen worden. Hoe meer zoet water in en onder de bouwvoor, hoe groter de druk op het zoute water daaronder.

OPSCHELEN

Het drainagesysteem ligt er nu bijna een jaar in. Van de Hoek heeft nog geen verschil gemerkt, maar dat verbaast hem niet. 'Op 21 juni vorig jaar viel hier extreem veel regen. Daarna werd het droog. Door die omstandigheden was er veel plantentstress en een slechte beworteling. De gewassen namen daardoor sowieso minder water op, ook als er meer zoetwater zou zijn geweest.'

ZLTO wil kennis uit de proef delen met andere ondernemers in vergelijkbare gebieden, als komende zomer de eerste resultaten bekend zijn.

Van de Hoek is heel benieuwd naar de uitkomst van de proef. Hij weet nog niet of het systeem zal werken. 'Dat moet nog blijken.'



Rien van de Hoek meet een van de kokers waarmee hij de peilgestuurde drainage regelt. Links achter hem een meetpunt voor zoute kwel.

Foto: Peter van Houweling

25 januari 2014 – Nieuwe Oogst
Bron: Nieuwe Oogst

Freshmaker verdient meer Zeeuwse fans

DOUW KORTING

OVEZANDE - Een groep jonge ingenieurs en adviseurs werkt aan een fonds dat het voor Zeeuwse fruitte- lers eenvoudiger moet maken om te investeren in hun eigen zoetwater- voorziening.

Ze wonnen eind januari de Delta Water Award met hun plan om de vraag naar zoet water in de Zeeuwse land- en tuinbouw in de toekomst te borgen. Ze borduurden daarbij voort op het concept van de Freshmaker.

Dat is een innovatief systeem dat zoet water infiltrateert en opslaat in de bodem om het daar in tijden van

droogte weer uit te onttrekken. 'Want wij zijn fans van de Freshmaker', zei Frans van der Werf namens het samenwerkingsverband Fresh Force.

Vorige week vrijdag bezocht een CDA-delegatie, onder wie Tweede Kamerlid Jaco Geurts, de Freshmaker op het fruitteeltbedrijf van Jan Rijk in Ovezande. Daar draait het 50.000 euro kostende systeem nu ruim twee jaar; naar volle tevredenheid van Rijk en onderzoeker Koen Zuurbier van onderzoeksbureau KWR.

Rijk heeft een bassin van 4,500 kubieke meter dat hij al jarenlang gebruikt voor nachtvorst- en droog- tebestrijding. 'Maar regelmatig blijkt

- Zoeter Zeeland
- Infiltratie kreekkrug
- Opschaling nodig

de inhoud niet voldoende om het tot de oogst te halen', vertelde hij. En zomaar nieuw water inlaten kan of mag niet, gezien de nabijheid van zilt water in Zeeland.

RUIM VOLDOENDE

Met de Freshmaker kan onder ideale omstandigheden 6.000 kuub onder zijn boomgaard worden opgeslagen; ruim voldoende voor een jaar.

Dat gebeurt door een combinatie van diep wegpompen van zout grondwater en het iets minder diep infiltreren van gezuiverd oppervlaktewater.

Volgens Zuurbier van KWR is het systeem van grote waarde voor fruitte lers, maar niet overal toepasbaar. 'Een voorwaarde is een zandige kreekkrug van voldoende dikte. Als die van nature meer dan 15 meter zoet water bevat, mag er normaliter tot een bepaalde hoeveelheid uit onttrokken worden. De Freshmaker is geschikt voor gebieden met een kreekkrug en een dunner zoetwaterpakket, waar je het net niet redt dus.'

De kostprijs van het water uit de

Freshmaker is vergelijkbaar met dat van de zoetwaterleiding uit de Biesbosch, rond de 60 cent per kuub. Maar dit bedrag zal dalen als meer projecten tot uitvoering komen. En daar zijn meer telers voor nodig, iets waar Frans van der Werf en zijn partners aan werken. Ze denken aan een fonds dat drempelverlagend werkt en telers over de streep trekt.

Onderdeel daarvan is een rekenmodel dat telers duidelijk maakt wat de investering is en wat die oplevert. Jan Rijk gaf al een schot voor de boeg. Want zijn peren zijn door de Freshmaker gemiddeld 5 millimeter groter, en dat vertaalt zich in de prijs.

14 maart 2015 – Nieuwe Oogst

Bron: <https://publicwiki.deltares.nl/display/ZOETZOUT/GO-FRESH+->

[+Valorisatie+kansrijke+oplossingen+robuuste+zoetwatervoorziening?preview=/55640071/112328857/Freshmaker%20verdient%20meer%20Zeeuwse%20fans.pdf](https://publicwiki.deltares.nl/display/ZOETZOUT/GO-FRESH+-)

WATERFORUM



HOME NIEUWS AGENDA VACATURES NIEUWSBRIEVEN BEDRIJVENREGISTER MAGAZINE

Home > Nieuws > Proef met Freshmaker gaat nog zeker twee jaar door

Nieuws

Proef met Freshmaker gaat nog zeker twee jaar door

18 maart 2015

Zoute teelt

Koen Zuurbier is van mening dat experimenten met de teelt van zoutresistente gewassen ook door zouden moeten gaan. Zo lanceerde Martin Hemminga van het Zeeuws Landschap het idee om met geld van de Nationale Postcode Loterij op een aantal plaatsen in de zuidwestelijke delta te experimenteren met de teelt van zoutresistente gewassen. Volgens Zuurbier kan de Freshmaker zelfs grotere volumes op maat gemaakt brak water leveren dan volledig zoet water. "Wanneer er gewassen ontwikkeld worden die net iets meer zout kunnen hebben, kunnen wij daar meer water voor leveren. De twee ontwikkelingen gaan daarom prima samen. Overigens zie ik de zoetwatervragende gewassen voorlopig nog niet verdwijnen"

GO-FRESH

Naast de Freshmaker worden binnen het onderzoeksproject **GO-FRESH** meerdere proeven doorgezet om de zoetwaterbeschikbaarheid in de zuidwestelijke delta te verhogen. Kijk [hier](#) voor meer informatie.

DELEN



18 maart 2015 - Waterforum

Bron: <https://www.waterforum.net/proef-met-freshmaker-gaat-nog-zeker-twee-jaar-door/>

• Akkerbouw test opslag van aflopend duinwater in kreekkruggen

Boer gebaat bij zoetwaterbel

Als het peil in sloten te veel rijst, wordt zoet water nu de Westerschelde ingepompt. Zonde, want zoet water is schaars. Daarom testen akkerbouwers wateropslag in kreekkruggen.

door Frank Balkomende

Zul je niet zien. Groepen twintig boeren op een Seruokerse akker samen om een slimme, lokale zoetwatervoorziening te bekijken, komt het zoete water met bakken van boven.

Toch is kennis van het zogeheten kreekkrugnfiltratiesysteem een pak waard. Zoet water is schaars in het verzilte en de Zeeland. Het zit bijna uitsluitend in duinen en kreekkruggen. Het infiltratiesysteem kan voor veel akkerbouwers een uitkomst zijn. Het is inepasbaar in grote delen van de provincie.

De broers Werner en Henry Louwse, die bloemkool en venkdielen, alsmede hun bouwman Jan Sanders beproeven het systeem al twee jaar als onderdeel van het innovatieprogramma Go-Fresh. Dat voorziet in drie methoden om de fruitteelt en de akkerbouw te voorzien van meer zoet

water, zonder dat dat uit de kraan komt.

Bij Seruokerse wordt afstromend duinwater benut. Als het peil in de nabijgelegen sloot hoog genoeg is, wordt het water via een oversort doorgeleid naar het perceel waarin een fijnmazig drainagenetwerk is aangelegd. Dankzij peilgestuurde drainage kan zoet oppervlaktewater in een bestaande kreekkrug infiltreren. Zo kan de zoetwaterbel in de kreekkrug langzaam groeien.

„En het werkt“, glundert Werner Louwse. „In twee winters is de zoetwaterbel in de kreekkrug met 2 tot 3 meter groei tot 15 meter.“ Dat is de bedoeling, want de zoetwaterbel verdringt het onderliggende zoute grondwater.

Louwse kan per strook het peil sturen door de drain dicht te zetten of water versnodt af te voeren. Hij merkt dat hij in het voorjaar minder snel last heeft van droge grond, waardoor de wondels van de jonge gewassen langer vochtig blijven en planten beter groeien. Ook is de vochtbalans op het perceel egalier verdeeld. Het resultaat: een betere opbrengst.



• Werner Louwse bij een eindput van de hoofd drainage. „Hierin regelt ik het peil.“ foto's Dirk-Jan Gielbama

Louwse: „Het geeft perspectief voor onze groenteteelt.“ In de toekomst moet blijken hoeveel water hij via een horizontale diepdrain aan de gegroeide zoetwaterbel mag omrekenen. Dat is nu aan wettelijke regels gebonden.

Go-Fresh is een initiatief van de gemeenten Borssele, Veere en Schouwen-Duiveland, waterschappen ZLTO en enkele stichtingen. Het vijfjarige experiment kost acht ton en loopt tot 2018. Deltares, Aacia Water, KWR Waterresearch en de HZ leveren de kennis.

Voor de fruitteelt, die veel zoet water nodig heeft, is een soortgelijke ondergrondse opslag van zoet water ontwikkeld: de Freshmaker. Carla Michielson (ZLTO): „Voor de akkerbouw die alleen voor bepaalde gewassen om water ver-

gen zit, is het infiltratiesysteem een goedkoper alternatief. Met 10 tot 20 cent per kubus water scheelt het de helft.“

Voor laaggelegen gronden waar door de hogere opwaartse druk geen zoetwaterbel kan worden opgebouwd, zoals in hartje Schouwen-Duiveland, wordt het systeem Drains2Buffer beproefd. Esther van Baaren van Deltares: „Daar zorgt ervoor dat zoet water wordt afgevoerd en de planten door aanleg van diepe drainage kunnen profiteren van de beperkte zoetwatervoorraad. Het draait erom de wortelzone voldoende zoet te houden.“

Nog drie jaar meten en de Zeeuwse akkerbouw weet of de systemen een investering waard zijn.



•••
Het infiltratiesysteem kost akkerbouwers 10 tot 20 cent per kuub

Carla Michielson, ZLTO

•••
„Drains2Buffer wordt getest in laaggelegen gronden. Het draait erom de wortelzone voldoende zoet te houden.“

Esther van Baaren, Deltares



Zoet water bufferen voor landbouw effectief

Op Walcheren lopen sinds enkele jaren de proefprojecten Waterhouderij en Go-Fresh. Walcheren is een van de droogste gebieden van Nederland, maar door een pakket maatregelen kan zoet water worden vastgehouden en gebufferd. De resultaten zijn hoopgevend en de deelnemende boeren enthousiast.

De Waterhouderij Walcheren is een initiatief van acht agrarische bedrijven, Aquaetor Groen & Ruimte, Deltares en landbouworganisatie ZLTO. In de eerste plaats was het proefproject gestart vanwege de verwachte langere droge periodes. Walcheren is in het groeiseizoen nu al een van de droogste gebieden van Nederland. De regen die wel valt, valt op het verkeerde moment. Verder zijn er weinig zoetwaterbronnen en ook ruikt verzilting verder op. Het doel van de proefprojecten is zo veel mogelijk kringlopen te sluiten. Het neerslagoverschot in winter en voorjaar wordt gebufferd, om te worden gebruikt in de zomer, wanneer geen of weinig andere zoetwaterbronnen beschikbaar zijn. Regenwater dat stroomopwaarts in het gebied wordt afgevoerd, wordt opgevangen en via gesloten, peilgestuurde drainage gefiltreerd in een perceel dat op een kreekruig ligt. Op veel plaatsen bevinden zich zulke oude kreekruigen. Dit zijn hoger gelegen gronden met een diepere zandlaag, waardoor er zoetwaterbellen onder zijn ontstaan.

Duinen

Marco Arts is projectmanager bij Aquaetor Groen & Ruimte. "Onder de duinen is ook veel zoet water aanwezig, maar dat mag je niet zomaar onttrekken. Er stroomt echter zoet water onder natuurlijk verval via grondwater het gebied in. Dat kan dus wel prima gebruikt worden."

Bij aanvang van het project werden metingen gedaan, om vast te stellen hoe het lokale watersysteem in elkaar zit. Volgens Arts bleek dat soms anders te zijn dan boeren vooraf dachten. "Zoet water is lichter dan zout water. Daardoor blijft het drijven op de zoutwaterlaag in het grondwater. Door het te infiltreren, kunnen we de zoetwaterlaag vergroten en daarmee gewassen beregenen. Het is belangrijk dat we kunnen aantonen dat we niet meer zoet water onttrekken dan we inbrengen."

Scheiding

Verder zijn er schotten aangebracht om zoet



Het doel van de proefprojecten is zo veel mogelijk kringlopen te sluiten.

en zout grondwater te scheiden. "Als je weet waar zoute wellen voor komen, kun je het watersysteem sturen", zegt Arts. Door een betere scheiding wordt ook de hoeveelheid brak water in het gebied verminderd. "Verder wordt er nu anders gekeken naar peilbeheer. Vroeger wilden boeren het waterpeil zo snel mogelijk omlaag hebben, om water af te voeren. Nu willen ze het peil juist verhogen. Dat gebeurt uiteraard in overleg met Waterschap Scheldestromen en andere partijen." Door een ander beheer ontstaan er ook kansen voor andere functies, zoals natuur.

De deelnemende agrariërs moeten ook samenwerken, zegt Arts. "Het gaat om zowel biologische als gangbare boeren, akkerbouwers, groentetelers, veehouders en fruitteelers. Ze zijn gewend om zich voornamelijk op het eigen bedrijf te richten. Maar waterbeheer stopt niet bij de grenzen van je perceel. Er spelen vaak verschillende belangen en dat is soms lastig."

Go-Fresh

De broers Henry en Werner Louwerse uit Serooskerke telen bloemkool en venkel. Op hun bedrijf wordt geëxperimenteerd door het Go-Fresh, wat staat voor Geohydrological Opportunities Fresh Water supply, een consortium van Deltares, Alterra, KWR Water, Acacia Water en Hogeschool Zeeland. Samen doen ze onderzoek naar hoe de beschikbaarheid van zoet water voor de landbouw kan worden vergroot in gebieden waar dat niet vanuit het hoofdwatersysteem kan worden geleverd.

Het is opgezet in antwoord op vragen uit de eerste fase van de Waterhouderij, maar beide proefprojecten sluiten wel naadloos op elkaar aan. De Waterhouderij kan worden gezien als het overkoepelend geheel. Werner Louwerse: "We hebben enorm veel geleerd over de waterhuishouding in het gebied. De beschikbare hoeveelheid zoet water blijkt veel groter dan we dachten. Er was nooit eerder gekeken waar en in welke mate oppervlaktewater hier zoet of zout is."

Peilgestuurde drainage

Door afstromend duinwater en regenwater dat op akkers valt te bufferen, kan de zoetwaterbel in een lokale kreekruig aanzienlijk worden vergroot. "Dat neerslagoverschot valt overal en gaat normaal gesproken naar zee. Best zonde", zegt Louwerse. Hij denkt dat 70 à 80 procent van alle kreekruigen op Walcheren kunnen worden gebruikt voor zoetwateropslag. De zoetwaterbel bij zijn bedrijf is in twee seizoenen aangegroeid met vermoedelijk zo'n 2 tot 3 m.

De boeren kunnen bovendien door schotten, peilgestuurde drainage en een eindput het grondwaterpeil onder hun percelen op een bepaald niveau vast houden. Louwerse: "Dan blijft het water langer dan normaal in de wortelzone, al zal het tijdens langdurige droogte wel weer zakken. Bovendien drijft zoet water op zout grondwater en drukt dat dus sterker en langere tijd dan normaal naar beneden."

Freshmaker trekt aandacht van provinciebestuur



OVEZANDE - Gedeputeerde Staten van Zeeland bezochten dinsdag het fruitteeltbedrijf Rijk-Boonman in Ovezande. Daar kregen ze uitleg over de werking van de Freshmaker en andere technieken die kunnen bijdragen aan een betere beschikbaarheid van zoet water. Fruitteler Jan Rijk heeft in 2013 de eerste Freshmaker laten installeren, in het kader van het project Go

Fresh. Met dat project wordt uitgetoetst hoe de zoetwatervoorziening in Zeeland te optimaliseren is. ZLTO is partner in dat project. Onderzoeker Koen Zuurbier van KWR legt uit hoe het zoete oppervlaktewater met behulp van een zandbed wordt gezuiverd van kleine deeltjes, waarna het geïnfilteerd wordt in de bodem. Foto: Provincie Zeeland

3 december 2016 – Nieuwe Oogst

Bron:

https://publicwiki.deltares.nl/download/attachments/55640071/Freshmaker_trekt_aandacht_van_Provinciebestuur.PNG?version=1&modificationDate=1480925892315&api=v2

Leerlingen 'duiken' in water

SANNE JANSEN

COLIJNSPLAAT - Vierdejaars akkerbouwstudenten van het EduDelta Goes verruilden donderdag de schoolbanken voor een praktijkdag bij ZLTO in Colijnsplaat.

De praktijkdag vond plaats in het kader van het Jong ZLTO College. Daarmee brengt ZLTO de agrarische praktijk in het onderwijs.

Water was het centrale thema. Zo gaf ZLTO-projectleider Michael van der Schoot een toelichting op de zoetwatervoorziening in Zeeland. Rien Klippel (waterschap Scheldestromen) sprak over het beleid rond gewasbeschermingsmiddelen, en Dirk Keuper (CLM) ging in op het project Schoon Water Zeeland.

Het zijn volgens student Jacco Sanderse (19) uit Serooskerke onderwerpen waarmee de jonge akkerbouwers te maken krijgen. 'Dichter bij de praktijk gaan we niet komen.'

Voor de praktische maatregelen houden de leerlingen erg bezig. Denk aan vragen als: wat kost peilgestuurde drainage? Hoeveel beregeningsbeurten kun je hiermee uitsparen?

'Ook klimaatverandering heeft



Jacco Sanderse (achtste van links) en zijn klasgenoten op bezoek bij Arnold Timmerman (rechts). Foto: Anton Dingemans

onze aandacht', zegt Sanderse. 'Droogte, maar ook extreme waterhoeveelheden die we moeten kunnen afvoeren.'

In de middag waren de leerlingen in Kattendijke, bij akkerbouwer

Arnold Timmerman, actief deelnemer aan Schoon Water Zeeland. Hij liet een aardappelpootmachine met erosiestop zien. 'Deze stop werpt kleine dammetjes op tussen de rugen, zodat regenwater bij hevige

buien niet naar het laagste punt van het perceel stroomt', vertelde Timmerman. 'Dit voorkomt waterschade. Er vindt geen afspoeling van middelen naar het oppervlaktewater plaats.'

11 februari 2017 – Nieuwe Oogst
Bron: Nieuwe Oogst



Zoet en zout water in Zeeland

Tekst: Gerben van den Broek
Foto's: Provincie Zeeland en ZLTO

Voor zoet water zijn boeren in Zeeland vooral aangewezen op regenwater. Daarom is het voor hen belangrijk om te weten hoe de verdeling tussen zoet en zout water is

op hun perceel en of het mogelijk is om zoet water in de bodem op te slaan. Op initiatief van de provincie Zeeland hebben Deltares, TNO en het Duitse BGR via het project

Freshem de zoet-zout waterverdeling in kaart gebracht. Afgelopen week zijn als eerste de meetgegevens van Zeuws-Vlaanderen gepresenteerd.

'Zeeland anders dan rest van het land'

In Zeeland wordt 78 procent van de grond gebruikt voor landbouw. Voor deze gronden is zoet water in de bovenste laag van de bodem van levensbelang. In de herfst en winter valt er genoeg neerslag om de bodem te vullen met zoet water. Maar in de zomer kunnen zonder maatregelen op termijn tekorten ontstaan door groeiende verzilting.

ACHTERGROND

'De situatie in Zeeland is anders dan in de rest van Nederland', zegt gedeputeerde Ben de Reu van de provincie Zeeland. 'Aanvoer van zoet water van buitenaf is hier nauwelijks mogelijk.'

Daarom is de provincie gestart met het programma Proeftuin Zoet Water. 'In meerdere projecten onderzoeken we hoe we optimaal gebruik kunnen maken van het zoete water. Ook onderzoeken we in een aantal projecten hoe de vraag naar zoet water bij boeren omlaag kan. Door kaarten uit het Freshem-project weten we nu waar zich zoet water bevindt en op welke plekken dit het beste is op te slaan.'

Tot enkele jaren geleden werd de zoet-zout verdeling vastgesteld met behulp van sonderingen. Dit gaf echter alleen een beeld van één bepaalde locatie en was bovendien relatief duur. De grootschalige



Het HEM-systeem onder de helikopter meet de elektrische geleidbaarheid van de ondergrond gecombineerd met die van het grondwater.

metingen zoals die in Zeeland nu zijn uitgevoerd, zijn volgens De Reu uniek in Nederland.

'Eerder hebben we al meegedaan aan Europese proefprojecten. Daarbij werd een klein deel van de gronden vanuit de lucht gemeten. Maar een project over zo'n groot

gebied als de provincie Zeeland is in ons land niet eerder uitgevoerd. We wisten wel dat het kon, maar ook dat het flink prijzig zou zijn.'

Toen duidelijk was dat het Deltafonds de helft van de kosten wilde financieren, is de provincie aan de slag gegaan om andere partijen te zoeken die ook een steentje wilden bijdragen. 'Die financiering hadden we vervolgens redelijk snel rond.'

Niet alleen boeren kunnen hun voordeel doen met de meetgegevens, geeft De Reu aan. 'Voor diverse partners die het project hebben ondersteund, is het belangrijk om te weten hoe de ligging van de zoet-zout grens is.' Denk aan de Vlaams-Nederlandse Scheldecommissie,

die een nieuwe grote sluis bij Terneuzen aan het voorbereiden is. 'Voor waterbedrijf Evides is het bijvoorbeeld interessant om te weten of de ontwikkelingsactiviteiten in de kustzone invloed hebben op de beschikbare drinkwatervoorraad. Ook dat bedrijf heeft alle belang bij nauwkeurige metingen om de ligging van de zoet-zout grens te bepalen.'

BEWUSTERE KEUZES

De gedeputeerde gaat de beschikbare informatie de komende weken goed bestuderen. 'De uitkomsten zijn ook voor ons nieuw. Maar ze kloppen in grote lijnen met het beeld dat we als provincie voor

ogen hadden. Wat opvalt is dat er op bepaalde plekken onder gebieden met zout water weer stukken liggen met zoet water. Rond Sint Jansteen ligt bijvoorbeeld zoet water op een zoute kleilaag, met daaronder weer zoeter water.'

De Reu benadrukt dat boeren met deze gegevens bewustere keuzes kunnen maken in de gewassen die ze telen. 'Zij kunnen nu zien hoe de situatie op hun perceel is en waar knelpunten liggen. Verder zijn ook de gebieden zichtbaar waar zoet water op een verantwoorde manier uit de bodem onttrokken kan worden en waar zoet water gefiltreerd kan worden. We gaan hierover in gesprek met de boeren.'

Van data naar een digitale 3D zoet-zout verdeling

Freshem staat voor: FRESH Salt groundwater distribution by Helicopter ElectroMagnetic survey. Het HEM-systeem onder de helikopter meet de elektrische geleidbaarheid van de ondergrond gecombineerd met die van het grondwater. Deze data worden vertaald naar een digitale 3D zoet-zout

verdeling van het grondwater. Met deze gegevens kunnen boeren bepalen waar zij welke gewassen gaan verbouwen of waar zij zoet water kunnen opslaan.

Freshem kostte 1,5 miljoen euro. De helft is betaald uit het Deltafonds, de rest door de provincie Zeeland, ZLTO en andere regionale partners.

28 januari 2017 – Nieuwe Oogst
Bron: Nieuwe Oogst

'Freshem geeft boeren goede indicatie waar zoet water zit'

De uitkomsten van het Freshem-onderzoek in Zeeuws-Vlaanderen bieden belangrijke informatie over de locaties waar zoet water in de grond zit, volgens waterspecialist Johan Elshof van ZLTO. 'Daarnaast kunnen we met de uitkomsten bepalen welke gebieden het meest kansrijk zijn voor de infiltratie van zoet water.'

INTERVIEW

Hoe is er gemeten in het Freshem-onderzoek?

'Een helikopter was uitgerust met een zogenaemde sigaar, die met behulp van elektromagnetische straling om de 4 meter een driedimensionaal beeld van de bodem

heeft gemaakt. De helikopter vloog op circa 40 meter hoogte.

'Op die manier is nauwkeurig te bepalen waar het zoete en waar het zoute water ligt.'

Het onderzoek is eind 2014 al gestart. Waarom nu pas de eerste resultaten?

'Het verwerken van de gegevens van de helikoptervluchten heeft veel tijd gekost. Maar nu hebben we ook goede kaarten in handen, waar we lange tijd mee vooruit kunnen.'

Waarom is het belangrijk om te weten waar zoet en waar zout water zit?

'In gebieden met zout grondwater zijn de mogelijkheden voor landbouw beperkt. Hier groeien vooral de traditionele gewassen als graan, bieten en aardappelen, die niet

beregend hoeven te worden.

'Als boeren weten waar het zoet water zit, of waar dit gefiltreerd en beregend kan worden uit zoet grondwater, kunnen zij deze percelen ook gebruiken voor intensieve akkerbouw, grove tuinbouw en fruitteelt. Dat zijn economisch gezien meer aantrekkelijke gewassen om te verbouwen.'

ZLTO is een van de opdrachtgevers en financiers. Waarom steunt de organisatie dit onderzoek?

'We willen onze leden waardevolle informatie bieden om weloverwogen keuzes te maken voor het verruimen van hun bedrijfsvoering. Het geeft de boeren een goede indicatie waar zoet water zit.

'Verder laten de kaarten zien of

het zin heeft om op een locatie een waterput te slaan voor het opslaan en onttrekken van zoet water voor hun gewassen.

'Als ZLTO vinden we het belangrijk dat boeren deze informatie tot hun beschikking hebben. Vervolgens is het aan de boeren zelf om te bepalen wat ze ermee gaan doen op hun bedrijf.'

Hoe gaat het project nu verder?

'In maart volgen de uitkomsten van het onderzoek voor Midden-Zeeland, en in juni die van Noord-Zeeland.

'Boeren en tuinders die meer informatie willen over dit project kunnen natuurlijk altijd contact met ons opnemen. Dat kan het makkelijkste via de mail: johan.elshof@zfto.nl.'



Johan Elshof, specialist Water ZLTO

De kaarten laten zien of het zin heeft om op een locatie een waterput te slaan voor het opslaan en onttrekken van zoet water.

28 januari 2017 – Nieuwe Oogst
Bron: Nieuwe Oogst




Michael v.d. Schoot

@MichaelvdSchoot



Vanavond inspiratieavond GO-FRESH te Zeeland #ZLTO #Deltares #KWR #HZ Laat de kennis vloeien!

Programma inspiratieavond GO-FRESH
 Woensdagavond 5 juli 2017
 Vergader- en Congrescentrum De Stenge (Stengeplein 1, 4451 CZ Heinkenszand)



In Zeeland wordt 78 procent van de grond gebruikt voor landbouw. Voor deze gronden is zoet water uit de bovenste laag van de bodem van levensbelang. In de herfst en winter valt er genoeg neerslag om de bodem te vullen met zoet water. Maar in de zomer kunnen zonder maatregelen op termijn tekorten ontstaan door groeiende verzilting. Recentelijk zijn de FRESHEM-gegevens geopenbaard (FRESHEM staat voor: FRESH Salt groundwater distribution by Helicopter ElectroMagnetic survey). Hiermee is een digitale 3D zoet-zout verdeling van het grondwater gemaakt. Met deze gegevens kunnen boeren bepalen waar zij welke gewassen gaan verbouwen of waar zij zoet water kunnen opslaan. ZLTO wil graag praktijkervaringen delen om te laten zien welke mogelijkheden er zijn om de zoetwaterbeschikbaarheid op individueel bedrijfsniveau te vergroten. Beschikking hebben over voldoende zoetwater biedt veel mogelijkheden en kansen, nu én in de toekomst. Samen met de uitvoerende partners Deltares, KWR, Alterra, Acacia, en de Hogeschool Zeeland, worden er onder de naam GO-FRESH een drietal pilots uitgevoerd waarbij op bedrijfsniveau de zoetwatervoorziening via ondergrondse opslag wordt vergroot.

Graag nemen wij u tijdens deze inspiratieavond mee langs de resultaten van de FRESHEM, en met name de ervaringen van de GO-FRESH proeven. Tot slot bieden we u concrete vervolgstappen aan. Voor meer informatie kunt u terecht bij Michael v.d. Schoot (06-21232599 of michael.van.der.schoot@zito.nl).

Programma:	
18:00u – 19:00u	Optioneel: Mogelijkheid tot bezoek Freshmaker Jan Rijk Locatie: Louisepolderweg 1, 4441 SP Ovezande
19:00u – 19:30u:	Inloop met koffie/thee Locatie: Stengeplein 1, 4451 CZ Heinkenszand
19:30u – 19:35u:	Welkomstwoord avondvoorzitter (Michael v.d. Schoot)
19:35u – 19:40u:	Algemeen toelichtingswoord Toelichting vanuit Deltares
19:40u – 19:50u:	Toelichting FRESHEM (zoet-zout kartering) Toelichting vanuit Deltares
19:50u – 20:05u:	Toelichting GO-FRESH proef: The Freshmaker Toelichting vanuit betrokken onderzoeker en ondernemer
20:05u – 20:20u:	Toelichting GO-FRESH proef: Kreekrug Infiltratie Systeem Toelichting vanuit betrokken onderzoeker en ondernemer
20:20u – 20:35u:	Toelichting GO-FRESH proef: Drains2Buffer Toelichting vanuit betrokken onderzoeker en ondernemer

15:38 - 5 jul. 2017

5 juli 2017 – Twitter

Bron: https://pbs.twimg.com/media/DD-aKPkXYAEnWC_.jpg

BOERDERIJ	 Home	 Markt	 Opinie	 Op Maat	 Boerenleven
 Rundvee	 Varkens	 Akkerbouw	 Mechanisatie	 Pluimvee	



Een ander voorbeeld is het project **Go-Fresh** in Zeeland dat verzilting tegengaat. Samen met onderzoeksinstanties worden 3 methodes uitgetoetst:

- De 1ste omvat het verhogen van de grondwaterstand door infiltratie van zoet oppervlaktewater en peilgestuurde drainage.
- De 2de injecteert zoet water en onttrekt tegelijkertijd zout water aan de ondergrond.
- De 3de methode gaat over lagere gebieden met zoute kwel waarbij slimme diepe drainage de dunne zoetwaterlens (toplaag boven het zoute water) beschermt. Zo moeten telers meer zoet water krijgen tijdens het groeiseizoen.



Mei 2018 – Boerderij

Bron: <https://www.boerderij.nl/Home/Achtergrond/2018/5/Zo-werken-boeren-aan-schoner-water-281408E/>



Go-Fresh

Grotere zoetwatervoorraden

Zoet water is van vitaal belang voor de Zeeuwse land- en tuinbouw. In de toekomst wordt dat door klimaatverandering en zeespiegelstijging nog belangrijker. In dit onderzoeks- en demonstratieproject hebben onderzoekers daarom drie verschillende manieren getest om verzilting tegen te gaan.

Met de Freshmaker op Zuid-Beveland, het Kreekrug Infiltratie Systeem op Walcheren en Drains2Buffer op Schouwen-Duiveland heeft een aantal onderzoeksinstituten getest hoe je de voorraad zoet water kunt vergroten. Zij hebben daarbij gekeken naar veelvoorkomende situaties in Zeeland. De omliggende boeren en tuinders zijn bij het project betrokken om te zien hoe deze manieren voor zoetwaterberging rendabel gemaakt kunnen worden.

Onvoldoende zoetwater

Bij de Freshmaker gaat het om injectie van zoet water en tegelijkertijd onttrekken van zout water in de ondergrond. Bij het Kreekrug Infiltratie Systeem gaat het om verhoging van de grondwaterstand door de infiltratie van zoet oppervlaktewater en peilgestuurde drainage. Deze twee proeven hebben plaatsgevonden op kreekruigen waar het zoet water vrij diep zit. In een lager gelegen gebied met zoete kwel is Drains2Buffer getest, waarbij slimme diepe drainage de dunne zoetwaterlens beschermt. In beide soorten gebieden is in het groeiseizoen onvoldoende zoet water beschikbaar voor akkerbouw en fruitteelt. Met het vergroten van de zoetwaterlens wordt dit probleem verholpen.

Go-Fresh

Thema:

Verdroging en vernatting,
Bodem

Sector:

Akkerbouw

Bodemsoort:

Klei

Waterschapsgebied:

Provincie Zeeland

Looptijd:

2014 - 2017

Provincie:

Zeeland

Initiatief van:

Deltares

Betrokken partijen:

KWR, Alterra, ZLTO, Acacia Water, Hogeschool Zeeland, Meeuwse Handelonderneming, waterschap Scheldestromen, waterschap Brabantse Delta, STOWA, gemeenten Veere, Schouwen-Duiveland, Borsele, Stichting De Waterbuffer.

Juni 2018 – Website Deltaplan Agrarisch Waterbeheer

Bron: <http://agrarischwaterbeheer.nl/content/go-fresh>