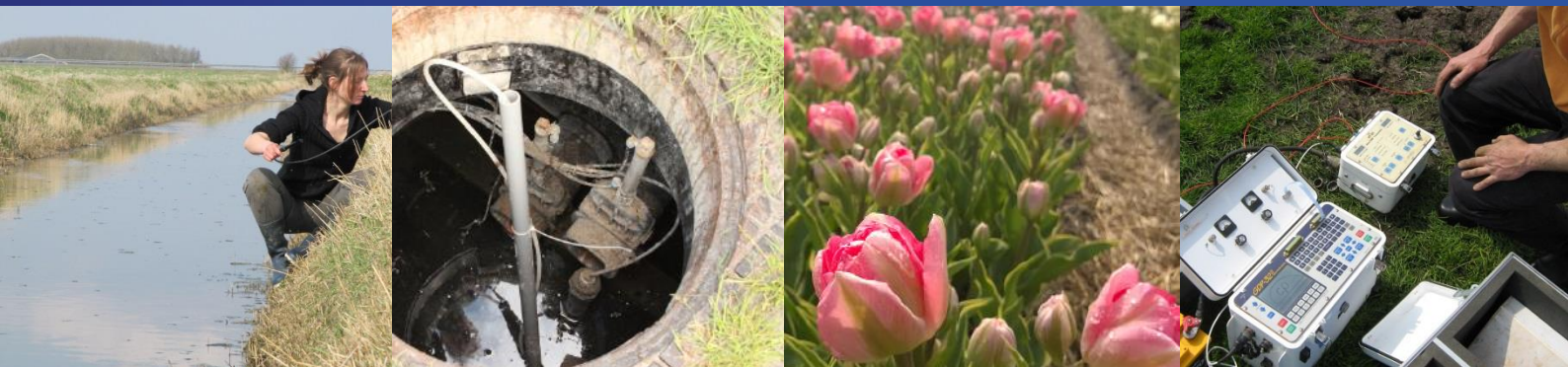


31 aug 2018

# Voorstudie - Zoet op Zout

Uitwerking toekomstbestendig watersysteem en  
spaarwatertechnieken in het Lauwersmeergebied

Eindrapport





# PROGRAMMA NAAR EEN RIJKE WADDENZEE

## Colofon

Documenttitel	. Voorstudie - Zoet op Zout
Opdrachtgever	. Programma Rijke Waddenzee en LTO Noord, medemogelijk gemaakt door LTOFondsen
Verantwoordelijke bij opdrachtgever	. Dhr. J. van Herk en dhr. F. Wouda
Status	. Eindrapport
Datum	. 31 augustus 2018
Projectnummer	. 180824
Projectteam	. Arjen Roelandse, Tine te Winkel, Beatriz de La Loma Gonzalez, Simon van Meijeren en Jouke Velstra

## Disclaimer

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

# Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Inleiding .....</b>	<b>1</b>
1.1	Aanleiding.....	1
1.2	Doel.....	2
1.3	Aanpak.....	2
<b>2</b>	<b>Gebiedsbeschrijving .....</b>	<b>3</b>
2.1	Hydrogeologie.....	3
2.2	Bodem .....	4
2.3	Topografie .....	5
2.4	Landgebruik .....	6
2.5	Chloride concentratie percelen .....	6
<b>3</b>	<b>Watersysteemanalyse .....</b>	<b>7</b>
3.1	Huidig waterbeheer.....	7
3.2	Waterherkomst.....	9
3.3	Zoet watervraag en aanbod .....	10
3.4	Conclusie en samenvatting.....	11
<b>4</b>	<b>Aanpak en criteria.....</b>	<b>12</b>
4.1	Systemwerking .....	12
4.2	Technische haalbaarheid.....	12
4.3	Overige effecten .....	12
4.4	Economische haalbaarheid .....	12
<b>5</b>	<b>Aanvoer zoetwater .....</b>	<b>15</b>
5.1	Werking systeem.....	15
5.2	Technisch haalbaarheid in Lauwersmeergebied.....	15
5.3	Overige effecten Eskespolder.....	18
5.4	Economische haalbaarheid .....	18
<b>6</b>	<b>Eigen watervoorziening door ondergrondse opslag.....</b>	<b>20</b>
6.1	Werking systeem.....	20
6.2	Technisch haalbaarheid in Lauwersmeergebied.....	20
6.3	Praktijkvoorbeeld: landbouwbedrijf Arends .....	22
6.4	Overige effecten .....	32
6.5	Economische haalbaarheid .....	32
<b>7</b>	<b>Systeemgerichte drainage .....</b>	<b>36</b>

7.1	Werking systeem.....	36
7.2	Technisch haalbaarheid in Lauwersmeergebied.....	37
7.3	Effecten op relatie oppervlaktewater/grondwater.....	38
7.4	Economische haalbaarheid .....	38
<b>8</b>	<b>Conclusie en aanbevelingen.....</b>	<b>40</b>
8.1	Conclusies.....	40
8.2	Aanbevelingen .....	42

# 1

## Inleiding

### 1.1 Aanleiding

De landbouwgronden rond het Lauwersmeergebied zijn van goede kwaliteit en worden gebruikt om hoogwaardige teelten te verbouwen. Met klimaatverandering en zeespiegelstijging in het vooruitzicht zal de zoute kwel in het gebied toenemen en wordt zoetwater steeds schaarser in de zomer. Zekerstelling van zoetwaterbeschikbaarheid is in het gebied van groot belang voor de landbouwsector. De “Spaarwater-technieken” bieden interessante mogelijkheden voor de toekomst van de agrarische sector.

In het projectgebied werken LTO Noord, Programma naar een Rijke Waddenzee, Stichting Proefboerderijen Noordelijke Akkerbouw, Deltaprogramma Agrarisch Waterbeheer en agrariërs samen om invulling te geven aan de uitdaging die zoetwaterbeschikbaarheid is rond het Lauwersmeer.

LTO Noord is de vereniging van en voor agrarische ondernemers in midden en noord Nederland. LTO Noord zet zich actief in voor ontwikkeling, innovatie en verduurzaming van de agrarische sector. Het Programma naar een Rijke Waddenzee (PRW) werkt aan een duurzame Waddenzee van Werelderfgoed klasse. PRW brengt overheden, natuurorganisaties en (economische) gebruikers van het Waddengebied en de randen van het wad bij elkaar. Het programma wordt gefinancierd (tevens opdrachtgevers) door het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat, het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Ministerie van Infrastructuur & Waterstaat, Rijkswaterstaat, de drie Waddenprovincies (Noord-Holland, Fryslân en Groningen) en de Coalitie Wadden Natuurlijk.

Dit initiatief krijgt vorm onder de projectnaam ‘Zoet op Zout’. Het betreft een breed initiatief dat zich richt op een verbeterd beheer en benutting van het beschikbare zoete grondwater en het daarmee een optimalisatie van de productieomstandigheden voor de akkerbouw in dit gebied. Het programma is opgezet om vragen rondom waterbeschikbaarheid in relatie tot bodemdaling, klimaatverandering, zeespiegelstijging, en kweldruk grondwater en beschikbaarheid zoet oppervlaktewater te beantwoorden. Het programma is onder te verdelen in vier deelprojecten:

#### 1. Boeren Meten Water

Door middel van gezamenlijk meten met de boeren en het waterschap wordt het inzicht in de slootwaterpeilen, de grondwaterstanden, de kwaliteit en het zoutgehalte van het aanwezige grond- en oppervlaktewater aanzienlijk vergroot.

#### 2. Toekomstbestendig regionaal waterbeheer

Voor het projectgebied wordt verkend wat het meest optimale waterbeheer is in relatie tot de toekomst, waarbij vergroting van zelfvoorzienendheid en zoetwaterbeschikbaarheid de focus is.

### 3. **Spaarwatertechnieken**

De inzet van Spaarwater-technieken kan de beschikbaarheid van perceel gebonden zoetwater door het seizoen vergroten. Hiermee wordt de afhankelijkheid van gebiedsvreemd zoetwater van elders verminderd en wordt de mogelijkheid gecreëerd om productieomstandigheden verbeteren. In het Lauwersmeergebied wordt de toepasbaarheid van de Spaarwater-technieken, systeemgerichte drainage en ondergrondse opslag op reële schaalgrootte onderzocht om vervolgens over te gaan tot implementatie.

### 4. **Zouttolerantie gewassen**

Binnen het vierde deelproject ligt de focus op kennisontwikkeling m.b.t. de zouttolerantie van bestaande gewassen, introductie van zouttolerante gewassen en de combinatie met de toepassing van innovatieve teelttechnieken.

## 1.2 **Doel**

In deze studie zijn de deelprojecten “Toekomstbestendig regionaal waterbeheer“ en “Haalbaarheid Spaarwater-technieken” verder uitgewerkt. De bijhorende doelen zijn:

- Inzicht verkrijgen in het huidige watersysteem
- Het ontwikkelen van een scenario voor het waterbeheer in het projectgebied dat toekomstbestendig is i.r.t. klimaatverandering, zeespiegelstijging, toename kweldruk en afname zoetwater beschikbaarheid. Het vergroten van de zelfvoorzienendheid is hierbij het vertrekpunt;
- Het ontwikkelen van maatwerk middels “Spaarwater-technieken”, hier systeemgerichte drainage, voor het projectgebied die toepasbaar zijn op de aanwezige agrarische bedrijven en die efficiënt en kosteneffectief kunnen worden ingezet;
- Beschikbaarheid creëren middels de “Spaarwater-techniek” van een eigen ondergrondse, onbesmette, zoetwatervoorraad, waarmee in droge tijden de productie beter kan worden gegarandeerd bij hoog redenerende teelten.

## 1.3 **Aanpak**

Aan de hand van een agro-hydrologische analyse is de huidige situatie in het Lauwersmeergebied in beeld gebracht. In de analyse zijn de watervraag en waterbehoefte vastgesteld en een watersysteemanalyse uitgevoerd. De analyse vormt de basis voor de ontwikkeling van toekomstscenario's voor het waterbeheer in het projectgebied. Binnen 3 scenario's staat het vergroten van de zelfvoorzienendheid en afname van de zoetwaterbeschikbaarheid centraal.

Op perceelschaal is de haalbaarheid van de Spaarwater-technieken verkend. Op bedrijfsniveau het ontwerp van een eigen watervoorziening met behulp van ondergrondse opslag is verkend. Het derde scenario is een aanpassing van het watersysteem op polderschaal.

In deze studie is de haalbaarheid gebaseerd op de waterhuishoudkundige en economische effecten van de oplossingen. Zo is gezocht naar een optimale verdeling van water- en kosteneffectiviteit.

# 2

## Gebiedsbeschrijving

Het Lauwersmeergebied is gelegen in en direct ten zuiden van het Nationaal park Lauwersmeer. Het meer is ontstaan nadat de Lauwerszee (een voormalige zeearm) in 1969 door dijken werd afgesloten van de Waddenzee.

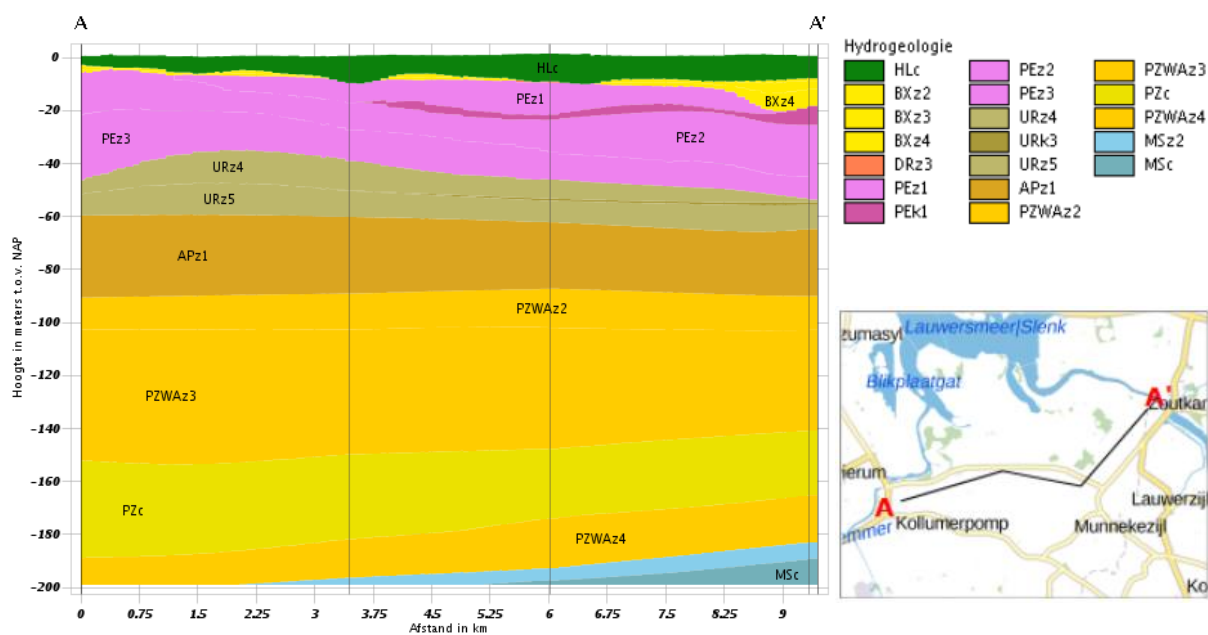
Het Lauwersmeergebied valt in het beheergebied van waterschap Noorderzijlvest. Op basis van afwatering zijn drie deelgebieden gedefinieerd in het Lauwersmeergebied, namelijk de Eskespolder (gebied A, bestaande uit Eskespolder en Catspolder), Bijkerspolder (gebied B) en Zoutkamperplaat (gebied C), zie Figuur 1.



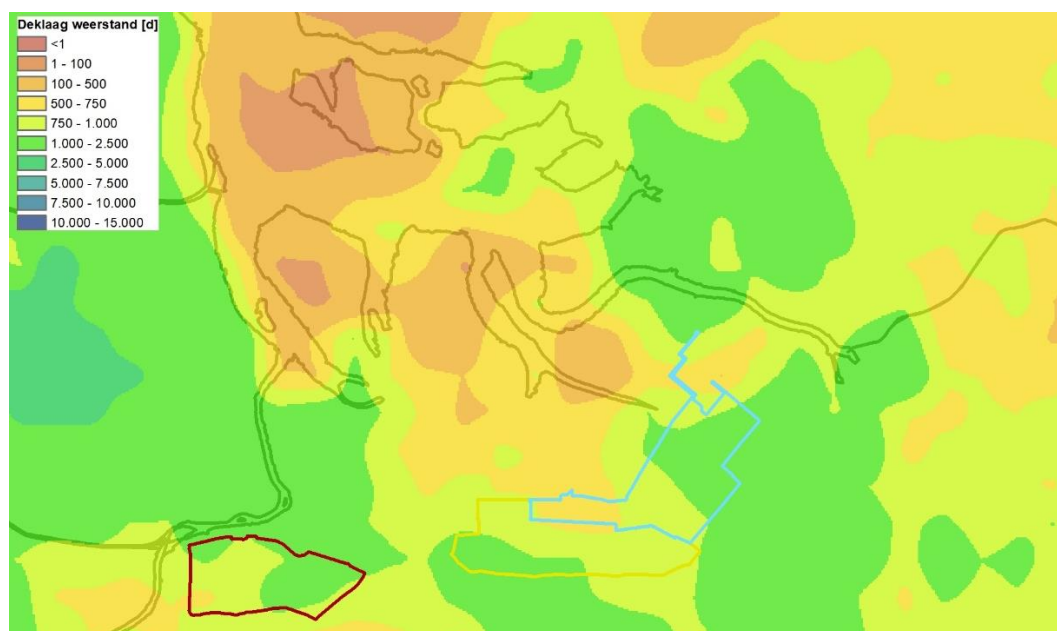
Figuur 1: Overzicht van het Lauwersmeergebied met Eskespolder (Gebied A), Bijkerspolder (Gebied B) en Zoutkamperplaat (Gebied C).

### 2.1 Hydrogeologie

De watervoerende lagen in het Lauwersmeergebied worden afgedekt door een Holoceen pakket. De dikte van de Holocene deklaag varieert en is op de meeste plekken minder dan 10 meter (Figuur 2). Bij een dunne Holocene deklaag is de hydraulische weerstand klein en is het contact tussen oppervlaktewater en grondwater aanzienlijk (Figuur 3). Op enkele plekken in het gebied is bovenin het grondwatersysteem een Peelo kleilaag aanwezig (PEk1) welke het contact tussen oppervlaktewater en grondwater kan reduceren.



Figuur 2. Verticale doorsnede van de bodem in het Lauwersmeergebied (Bron: REGIS II v2.2). In het groen het holocene pakket (HLc), in het roze de formatie van Peelo (PE).

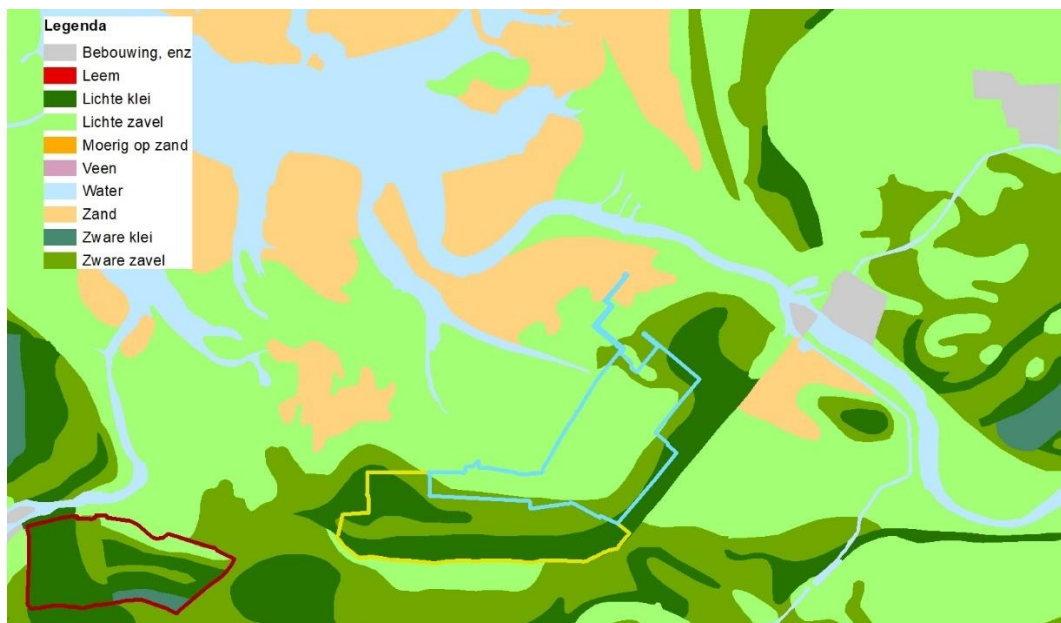


Figuur 3: Deklaagweerstand (in dagen) in het Lauwersmeergebied. In het Lauwersmeer is de deklaagweerstand klein, wat wijst op een aanzienlijke interactie tussen oppervlaktewater en grondwater.

## 2.2 Bodem

Het Lauwersmeergebied heeft een bodemsamenstelling die varieert van lichte zavel tot lichte klei (Figuur 4). De laagopbouw reflecteert de natuurlijke afzetting van lichte materialen (e.g. silt en klei) dichtbij de dijk, die het onderzoeksgebied aan het zuiden begrenst. Richting het Lauwersmeer worden de afzettingen zandiger en is er sprake van geulvorming.



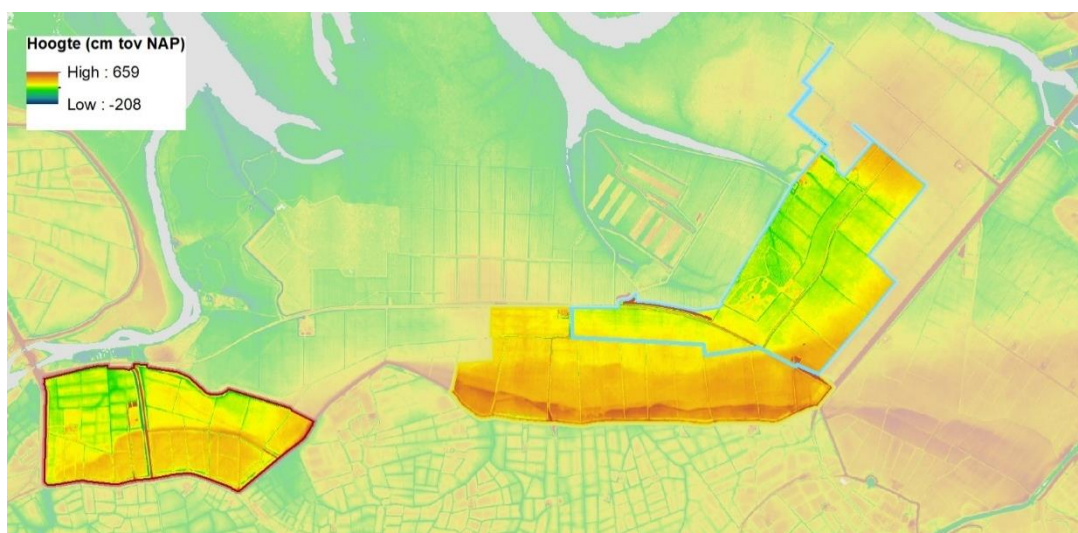


Figuur 4: Bodemkaart van het Lauwersmeergebied waarop een duidelijk afzettingspatroon langs de dijk is terug te zien (Bron: Grondsoortenkaart Alterra, 2006).

## 2.3 Topografie

De bodemafzettingen zijn terug te zien in de topografie van het Lauwersmeergebied (Figuur 5). Door erosie en vrije stroming in de voormalige zeearm neemt de diepte van het Lauwersmeer toe in de richting van de Waddenzee.

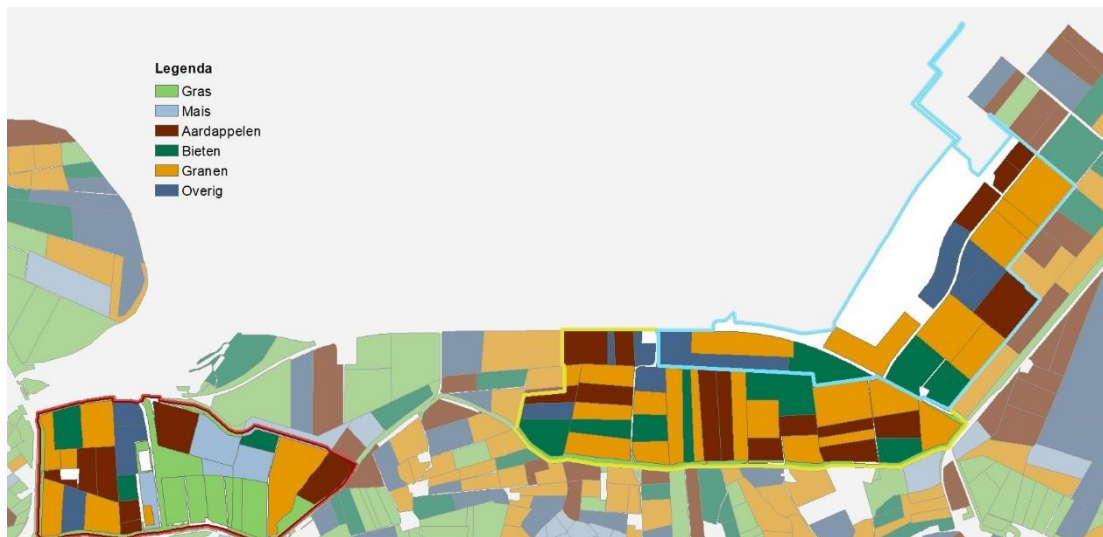
Met name in de Eskespolder en de Bijkerspolder biedt de topografie perspectief voor de realisatie van een ondergrondse opslagsysteem. Op de hooggelegen gebieden is de kans op een zoetere uitstroom van percelen groot.



Figuur 5: Topografie van het Lauwersmeergebied (Bron: AHN5).

## 2.4 Landgebruik

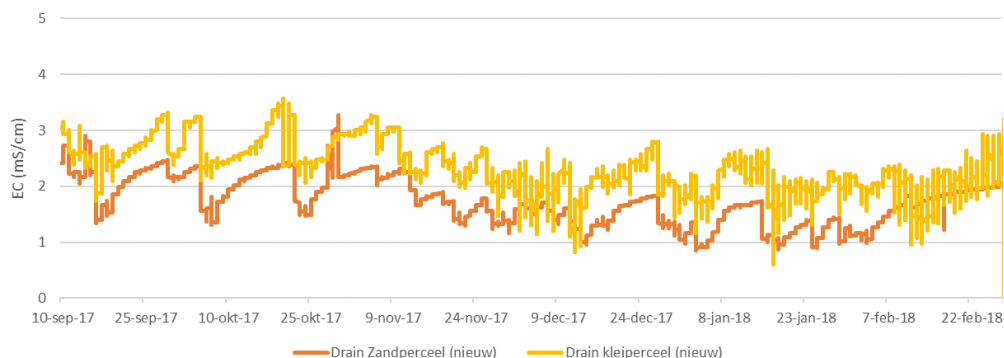
De gewasrotatie in de polders bestaat voornamelijk uit een afwisseling van grasland, mais, graan, aardappelen en suikerbieten. Een gedeelte van de Zoutkamperplaat bestaat uit natuurgebied. Dit is niet weergegeven in Figuur 6.



Figuur 6: Landgebruik in het Lauwersmeergebied (Bron: LGN6, Alferra).

## 2.5 Chloride concentratie percelen

In het kader van een haalbaarheidsstudie voor ondergrondse opslag op het agrarisch bedrijf van Sigrid Arends, is eind 2016 gestart met het meten van de elektrische geleidbaarheid, een maat voor het zoutgehalte, van drainwater op twee percelen in de Bijkerspolder. De percelen liggen op ca. 1 m boven NAP. Uit de metingen blijkt dat de geleidbaarheid in de winterperiode gemiddeld 1.8 mS/cm<sup>1</sup> is in een zandig perceel ten opzichte van 2.2 mS/cm in een kleilig perceel (Figuur 7). De verwachting is dat de geleidbaarheid afneemt naarmate een perceel hoger ligt. Voor de Bijkerspolder zijn dit de percelen richting de dijk (Figuur 5). Puntmetingen genomen tijdens veldwerk ondersteunen deze conclusie (Bijlage 1).



Figuur 7: Geleidbaarheid van drainwater gemeten in de Bijkerspolder.

<sup>1</sup> Elektrische geleidbaarheid (EC) van water ontstaat als er genoeg elektronen in het water aanwezig zijn om een elektrische stroom te laten lopen. Hoe meer geladen deeltjes in het water hoe hoger de geleiding. In zoetwater is de geleidbaarheid naar verhouding laag (geladen deeltjes opgelost). In zee water is de geleidbaarheid hoger en wordt de waarde uitgedrukt in milliSiemens (mS/cm).

# 3

## Watersysteemanalyse

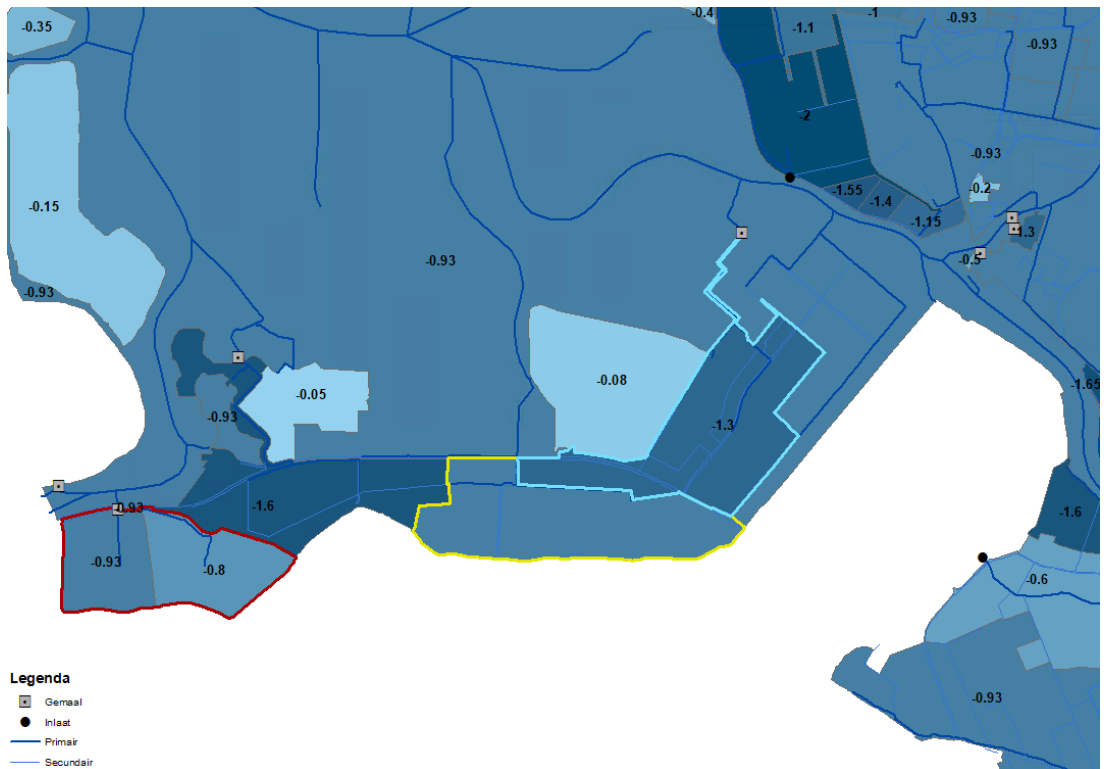
Om het beheer van het beschikbare zoet grondwater en daarmee de productieomstandigheden voor de akkerbouw in het Lauwersmeergebied te verbeteren, is een watersysteemanalyse uitgevoerd die inzicht geeft in het huidige waterbeheer en de water- en zoutstromen in het Lauwersmeergebied.

### 3.1 Huidig waterbeheer

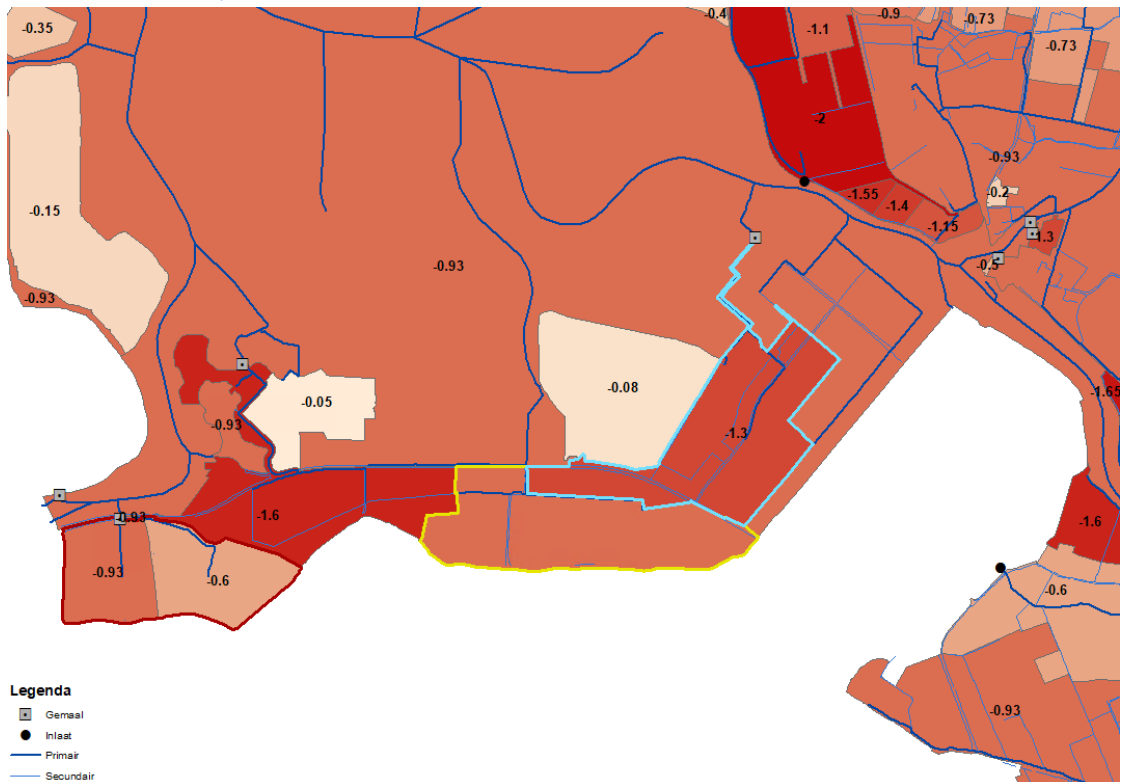
Het Lauwersmeergebied is geïsoleerd van de Electraboezem van waterschap Noorderzijlvest en ontvangt geen gebiedsvreemd water. Dit betekent dat de polders volledig afhankelijk zijn van regenwater. De bemaling die plaats vindt heeft als doel om het regenwater tijdig af te voeren en wateroverlast te voorkomen.

Het waterschap hanteert in het Lauwersmeergebied zogenaamde afwijkende streefpeilen voor de zomer- en winterperiode. Het ontbreken van inlaatwater bemoeilijkt het handhaven van deze streefpeilen, met uitzakken van het oppervlaktewater peil in de zomer tot gevolg.

Het Lauwersmeergebied is opgesplitst in meerdere peilvakken. Deze peilvakken staan doorgaans met elkaar in verbinding door middel van duikers en stuwtjes. In de peilvakken kunnen afzonderlijke peilen worden gehanteerd, welke verschillen tussen zomer en winter (Figuur 8 en Figuur 9). De afzonderlijke peilvakken zoals die zijn aangeleverd door het waterschap zijn te herkennen aan de verschillende kleuren tinten (blauw: winter; rood: zomer), de donkere kleuren geven de locaties met lagere peilen aan.



Figuur 8: Winterstreefpeilen zoals gehanteerd in het Lauwersmeergebied (Bron: Legger Watersystemen 2012).



Figuur 9: Zomerstreefpeilen zoals gehanteerd in het Lauwersmeergebied (Bron: Legger Watersystemen 2012).

### 3.1.1 Eskespolder

De Eskespolder heeft een oppervlakte van 193 hectare en ligt ten noorden van de Soensterdijk. Het poldergemeal Eskespolder zorgt voor de afvoer van overtollig

regenwater richting het Dokkumerdiep. Vanaf het Dokkumerdiep bereikt het water het Lauwersmeer.

De polder is opgedeeld in twee peilvakken (Eskepolder en Catspolder) die van elkaar gescheiden worden door middel van de Catsstuw. De gebiedsbeheerder streeft naar een zomerpeil in de Catspolder van -0.6 m NAP en een winterpeil van -0.8 m NAP. In de Eskepolder zijn zomer- en winterpeil gelijk, namelijk -0.93 m NAP.

### 3.1.2 Bijkerspolder

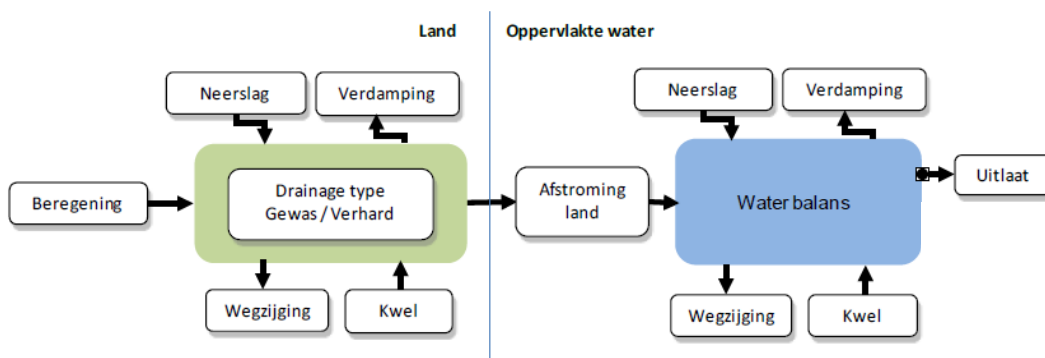
De Bijkerspolder heeft een oppervlakte van 227 hectare en wordt gescheiden door de Ooster Nieuwkruisland. Er vindt in dit gebied geen actieve bemaling plaats. Een stuw zorgt voor de peilregulering en beïnvloedt de vrije afwatering van overtollig regenwater. In tijden van hoogwater in het Lauwersmeer voorkomt de stuw middels een terugslagklep dat water de Bijkerspolder in stroom. Het zomer- en winterpeil in deze polder is -0.93 m NAP.

### 3.1.3 Zoutkamperplaat

De Zoutkamperplaat heeft een oppervlakte van 250 hectare en ligt ten westen van Proefboerderij Kollumerwaard. Het poldergemaal Zoutkamerplaat zorgt voor de afvoer van overtollig regenwater richting de Zoutkamperril. De polder bestaat uit één peilvak waarin een identiek zomer- en winterpeil van -1.3 m NAP wordt gehanteerd.

## 3.2 Waterherkomst

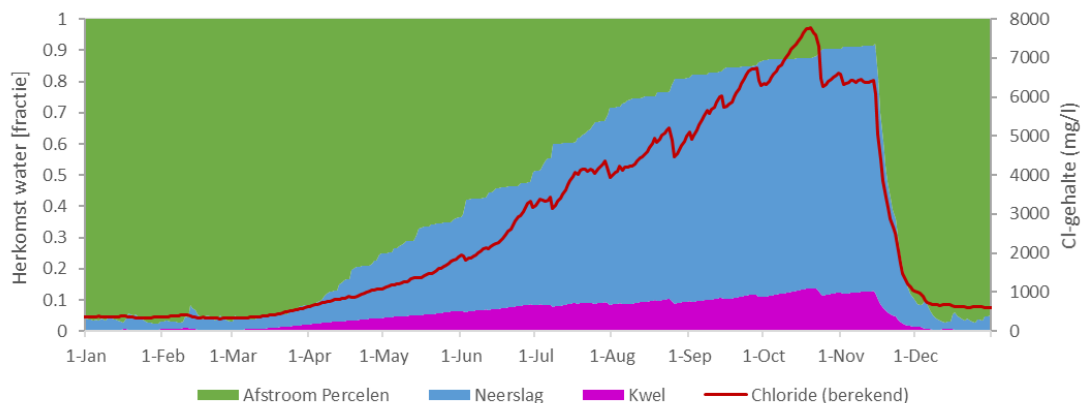
Om de water- en zoutstromen in het Lauwersmeer inzichtelijk te maken is een waterbalansmodel opgesteld. Hierin wordt het oppervlaktewater van een gebied beschouwd als één bakje waar water aan toegevoegd wordt door neerslag, kwel, inlaat en afstroming van het land (drainage). Water verlaat het bakje door verdamping, wegzijging en uitlaat (Figuur 10, Bijlage 2). Met het waterbalansmodel zijn tijdreeksen van de zoutgehalten en afvoeren van het oppervlaktewater van de Eskepolder, Bijkerspolder en Zoutkamperplaat gesimuleerd.



Figuur 10: Schematische weergaven van de waterbalans. Links de afstroming van percelen berekend met het rekenprogramma van J. Velstra. Rechts de posten van de waterbalans. Voor deze waterbalans is de post berekening weggelaten aangezien de meeste gewassen niet worden berekend.

### 3.2.1 Water- en zoutbalans

Analyse van de waterbalans op maandbasis geeft inzicht in het verloop van de hoeveelheden instromend water. Hierbij speelt de afstroom van percelen een grote rol. In de zomer, wanneer er weinig afstroom van de percelen is, domineert de fractie kwel en neerslag (Figuur 11). In de zomer is de bijdrage van kwel aan het zoutgehalte in de sloot dan ook het grootst.



Figuur 11: Herkomst inkomend water Eskespolder als percentage van totaal inkomend water op dag basis. De rode lijn representeert het chloridegehalte in het oppervlaktewater.

Voor de overige gebieden is deze analyse zichtbaar in bijlage 3. Een eventuele uitbreiding van deze informatie kan in een vervolgstudie plaatsvinden.

## 3.3 Zoet watervraag en aanbod

### 3.3.1 Huidige watervraag

Voor het kwantificeren van de waterbehoefte is gebruik gemaakt van het H2Oogst model (Bijlage 5). In dit model wordt aangenomen dat het gewas genoeg water beschikbaar heeft zolang het bodemvocht zich rond het kritisch vochtgehalte bevindt. De waterbehoefte wordt dan berekend als de som van watergiften over het beregeningsseizoen van een gewas (Tabel 1). Een watergift vindt plaats wanneer de bodem zich tussen het kritisch vochtgehalte en het verwelkingspunt bevindt.

Tabel 1: Beregeningsseizoenen zoals gedefinieerd in H2oogst

Beregeningsseizoen	Aardappel	Mais	Graan	Suikerbiet
Start	10-May	1-May	1-Apr	1-May
Eind	10-Sep	30-Sep	10-Aug	30-Sep

Voor de berekening van de waterbehoefte is gebruik gemaakt van de neerslag- en verdampingsgegevens (1988-2017) van KNMI-weerstation Leeuwarden. De waterbehoefte van ieder jaar is berekend en gerangschikt op basis van een normale verdeling. Tabel 2 laat de waterbehoefte zien voor een situatie die eens per 5 en 10 jaar voorkomt.

Door de oppervlakte van een stroomgebied te combineren met de procentuele verdeling van gewassen is per focusgebied de huidige watervraag berekend (Tabel 3).

Tabel 2: Watervraag (x1000 m<sup>3</sup>/jaar) voor de verschillende focusgebieden.

Focusgebied	Eskepolder	Bijkerspolder	Zoutkamperplaat
Watervraag 1x in 2 jaar (x1000 m <sup>3</sup> /j)	50	44	53
Watervraag 1x in 5 jaar (x1000 m <sup>3</sup> /j)	82	74	87
Watervraag 1x in 10 jaar (x1000 m <sup>3</sup> /j)	99	89	106

In het WH-scenario<sup>2</sup> zal de 1 x in de 5 jaar watervraag van de huidige situatie 1 x in de 2 jaar voorkomen en zal de 1x in de 10 jaar 1 x in de 3 jaar voorkomen. De toename in watervraag is het grootst bij het gewas aardappelen en hangt met name samen met de beregeningsperiode.

Tabel 3: Toekomstige watervraag (x1000 m<sup>3</sup>/jaar) voor de verschillende focusgebieden bij klimaatscenario WH midden, horizon 2050.

Focusgebied	Eskepolder	Bijkerspolder	Zoutkamperplaat
Watervraag 1x in 2 jaar (x1000 m <sup>3</sup> /j)	86	72	91
Watervraag 1x in 5 jaar (x1000 m <sup>3</sup> /j)	131	111	139
Watervraag 1x in 10 jaar (x1000 m <sup>3</sup> /j)	154	133	164

Vergelijking van de huidige watervraag met het maximaal wateraanbod wijst op een watertekort in de 1x per 5 en 1x per 10 jaar situatie. Het maximale wateraanbod kan in een gemiddeld jaar niet aan de toekomstige watervraag voldoen.

Tabel 4: Minimaal en maximaal wateraanbod voor de verschillende focusgebieden.

Focusgebied	Eskepolder	Bijkerspolder	Zoutkamperplaat
Minimaal wateraanbod (x1000 m <sup>3</sup> /j)	38	45	49
Maximaal wateraanbod (x1000 m <sup>3</sup> /j)	58	68	75

### 3.4 Conclusie en samenvatting

Het watersysteem wordt sterk beïnvloedt door zoute kwel, precies als de zoetwaterbehoefte in de landbouw groot is. Door klimaatverandering neemt de watervraag toe, wat leidt tot een toename van het zoetwatertekort ten opzichte van de huidige situatie.

Om de waterschaarste te verkleinen en de balans tussen vraag en aanbod dichter bij elkaar te brengen worden in de volgende hoofdstukken drie oplossingen uitgewerkt:

1. Zoetwater aanvoer;
2. Ondergrondse opslag;
3. Systeemgerichte drainage.

<sup>2</sup> Het KNMI heeft vier nieuwe scenario's berekend voor de toekomstige klimaatverandering in Nederland rond 2050 en 2085. De vier KNMI-scenario's verschillen qua mate van wereldwijde opwarming (Gematigd of Warm) of mogelijke veranderingen in luchtstromingspatronen (Laag of Hoog). WH is daarvan een scenario waarbij het klimaat veel verandert (zie Klimaatscenario's KNMI voor verdere uitleg).

# 4 Aanpak en criteria

Om de vraag en aanbod van zoetwater beter in balans te brengen worden drie oplossingen verder uitgewerkt voor dit gebied :

Deze mogelijkheden zijn vertaald in de onderstaande maatregelen:

1. op polderniveau, Zoetwater aanvoer;
2. op bedrijfsniveau Ondergrondse opslag;
3. op perceelsniveau Stroomgerichte drainage.

Elk van deze maatregelen worden beoordeeld op het halen van het doel, “een betere balans in de vraag en aanbod van zoetwater”, op verwachte neveneffecten in het watersysteem en technische haalbaarheid en de economische haalbaarheid.

## 4.1 Systeemwerking

Voor elk van de maatregelen wordt een kwalitatieve watersysteemanalyse uitgevoerd. Daarin wordt bekeken of de maatregel de onbalans tussen vraag en aanbod (grotendeels) oplost.

## 4.2 Technische haalbaarheid

De haalbaarheid van een oplossing is sterk afhankelijk van de eigenschappen van het watersysteem en de eigenschappen van de ondergrond. In deze analyse wordt daarbij stil gestaan en aangegeven wanneer de verschillende maatregelen optimaal werken. Voor elke maatregel zijn dat verschillende factoren. Per maatregel wordt daar nader op ingegaan.

## 4.3 Overige effecten

Daarnaast wordt gekeken op welke manier de relaties in het watersysteem veranderen ten opzichte van de huidige situatie. Daarbij valt te denken aan de relatie tussen beregeningswater en oppervlaktewater, de piekafvoeren en afspoeling van nutriënten vanuit het perceel. Welke kenmerken worden aangepast en wat zijn de te verwachten effecten voor elk van deze watersysteemcomponenten.

## 4.4 Economische haalbaarheid

Om te toetsen of de voorgestelde maatregelen haalbaar zijn is naast het technisch onderzoek een financieel-economische analyse uitgevoerd. Deze analyse wordt ingezet om inzicht te geven in de kosten per systeem en per hectare. In dit onderzoek richt de financieel economische analyse zich op kosteneffectiviteit.

### 4.4.1 Kosten en randvoorwaarden

De totale kosten zijn gebaseerd op drie componenten:

- investeringskosten in jaar 0;
- gebruikskosten per jaar;
- onderhoudskosten per jaar.

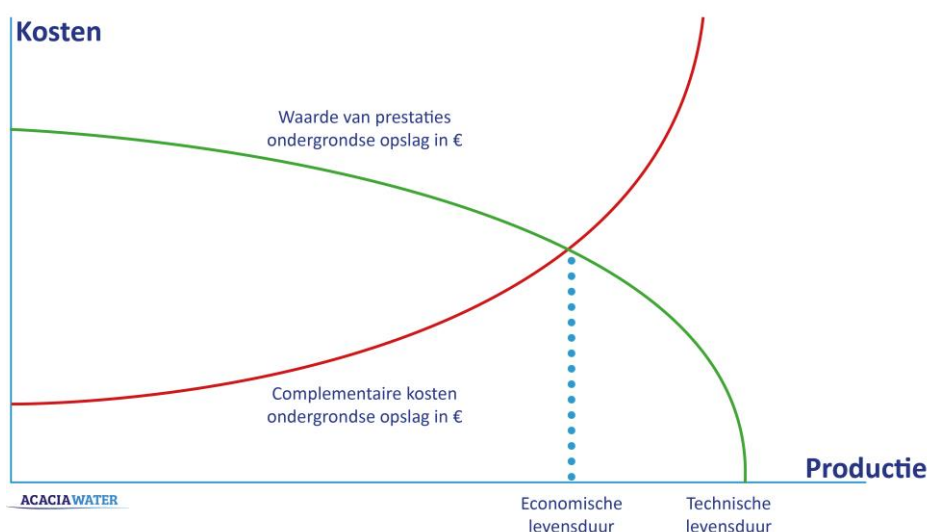


#### 4.4.2 Technische en economische levensduur en discontovoet

Toekomstige kosten en baten worden omgerekend naar huidige waarden met een discontovoet. In deze studie is gekozen voor 3% (Rapport werkgroep discontovoet 2015).

De technische levensduur is de duur van 'de waarde van de prestaties van de techniek' waarin wordt geïnvesteerd. Omdat de kosten van onderhoud en energiegebruik stijgen over de tijd is er een break-even-point waarop de kosten de opbrengsten van het systeem overtreffen. Vanaf dit punt worden de kosten te hoog ten opzichte van de opbrengsten en is het gewenst om het systeem buiten gebruik te stellen, zelfs als de technische levensduur nog niet is bereikt (zie Tabel 12).

Er is gekozen voor een economische levensduur van 5 jaar. Vanuit praktijkervaring is gekozen voor een technische levensduur van 15 jaar.



Figuur 12. Visualisatie technische en economische levensduur van een investering in zoetwatermaatregelen

De kosten worden uitgezet over de tijd, om een realistische inschatting van de kosten over de tijd te kunnen maken wordt uitgegaan van de volgende randvoorwaarden:

- technische levensduur van 15 jaar;
- economische levensduur van 5 jaar (afschrijvingstermijn);
- discontovoet van 3%.

Met deze randvoorwaarden ontstaat een indicatief totaalbedrag. Om dit te presenteren in een voor de agrariër 'spreekende eenheid' is gekozen voor €/hectare/jaar.

#### 4.4.3 Baten zoetwaterbeschikbaarheid

Op dit moment is er in de drie polders geen sprake van externe zoetwateraanvoer. Dit betekent dat de agrariërs in het gebied voor watertoevoer volledig afhankelijk zijn van regenwater. De spaarwateroplossingen zorgen voor zoetwaterbeschikbaarheid ten gunste van de gewasgroei. De economische haalbaarheid wordt onder andere onderbouwd door een positieve kosten-baten verhouding. Voor de baten over de tijd wordt uitgegaan van een aantal randvoorwaarden.

### Daadwerkelijk gemeten opbrengst

Om het financiële effect van waterbeschikbaarheid tijdens het groeiseizoen te bepalen is binnen Spaarwater II een methode ontwikkeld om de baten van de Spaarwatertechnieken te bepalen (zie Tabel 5 voor de procentuele vermeden schade). De 'baat' in de kosten-batenanalyse is dan ook de vermeden schade.

Tabel 5. Voorbeeld vermeden droogteschade in % voor het huidige klimaat en klimaatscenario 'warm'.

Neerslagtekort	Percentage vermeden droogteschade met Spaarwater technieken in het huidige klimaat	Percentage vermeden droogteschade met Spaarwater technieken onder klimaatscenario 'warm'
Gemiddeld	1,7%	5,4%
Droog	2,7%	7,4%
Extra droog	4,9%	11%

Op basis van het neerslagtekort, het chloridegehalte in de wortelzone en de gevoeligheid per gewas kan de schade uiteindelijk in kg/ha, €/ha en €/m<sup>3</sup> worden uitgedrukt. De €/ha weergave is bedoeld voor communicatie met de agrariërs. De €/m<sup>3</sup> is bedoeld als inhoudelijke input voor de waarde van het inlaatwater.

### Rotatieteelt

De vermeden schade wordt voor dit gebied voor opbrengsten van de volgende 1 op 3 rotatie:

- poot aardappel;
- wintertarwe;
- peen/ui;
- suikerbiet.

Dit is een doorsnee rotatie voor een gemiddeld pootgoedbedrijf in de Waddenregio. In de praktijk betekent de rotatie dat, uitgaande van 100 hectare, 33% Poot aardappelen, 10% suikerbieten, 10% penen/uien, 47% wintertarwe wordt geteeld.

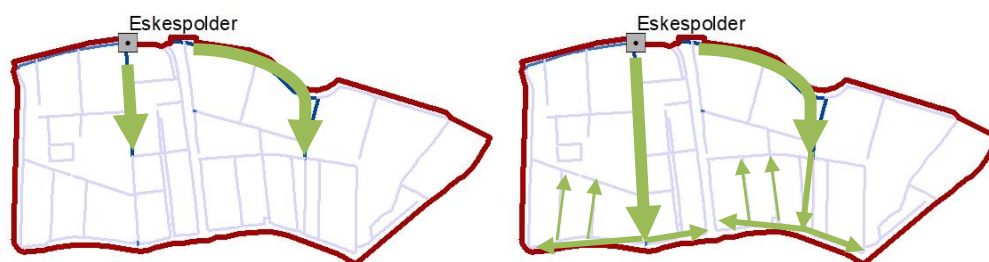
Baten ten aanzien van neven effecten zoals verbetering van de waterkwaliteit zijn niet meegenomen.

# 5

## Aanvoer zoetwater

### 5.1 Werking systeem

In de huidige situatie is er geen inlaat van gebiedsvreemd water in het Lauwersmeergebied. In het licht van toekomstig waterbeheer zijn twee scenario's doorgerekend voor de effecten van aanvoer van gebiedsvreemd water op het oppervlaktewatersysteem. In deze scenario's is gestreefd naar een chloridegehalte in het oppervlaktewater van 830 mg/l (EC=3) in de maanden mei en juni. Dit is overeenkomstig de inlaatstrategie van de Negenboerenpolder in Groningen. De scenario's betreffen het verzoeten van het gehele oppervlaktewatersysteem (i.e. primaire, secundaire en tertiaire watergangen) en het verzoeten van enkel de hoofdwatergangen (Figuur 13 en Bijlage 5).



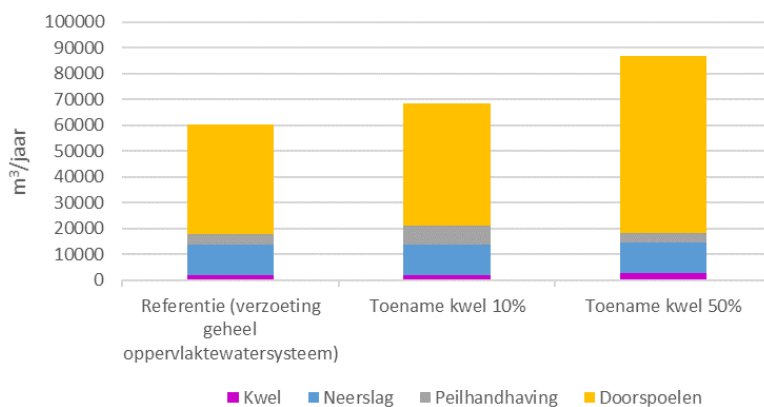
Figuur 13: Verzoetingsscenario's Eskespolder. Links: enkel hoofdwatergangen. Rechts: geheel oppervlaktewatersysteem.

### 5.2 Technisch haalbaarheid in Lauwersmeergebied

Of een maatregel technisch uitvoerbaar blijkt is sterk afhankelijk van de locatie. Vanwege de afwezigheid van zoetwater in de directe omgeving van de polders is het uitvoeren van wateraanvoer complex. De geïsoleerde ligging van het gebied omgeven door een primaire kering leidt tot een beperkte uitwisseling van (zoet-)water met de omgeving.

Op basis van de aanwezige infrastructuur is het mogelijk om in de Eskespolder met een kleine inspanning en tegen relatief lage kosten het waterbeheer van de Catspolder en de Eskespolder van elkaar te scheiden om zo te experimenteren met peilverhoging in de Catspolder. Met behulp van de reeds aanwezige Catsstuw kan het peil in de winter in de Catspolder hoger worden gehouden ten opzichte van het waterpeil in de Eskespolder, waardoor zoeter water wordt vastgehouden. In de zomerperiode kan dit de kweldruk verlagen. De kleinere ontwatering zorgt er bovendien voor dat het zoete water langer vastgehouden kan worden inde percelen. Voor de overige polders zijn er minder mogelijkheden.

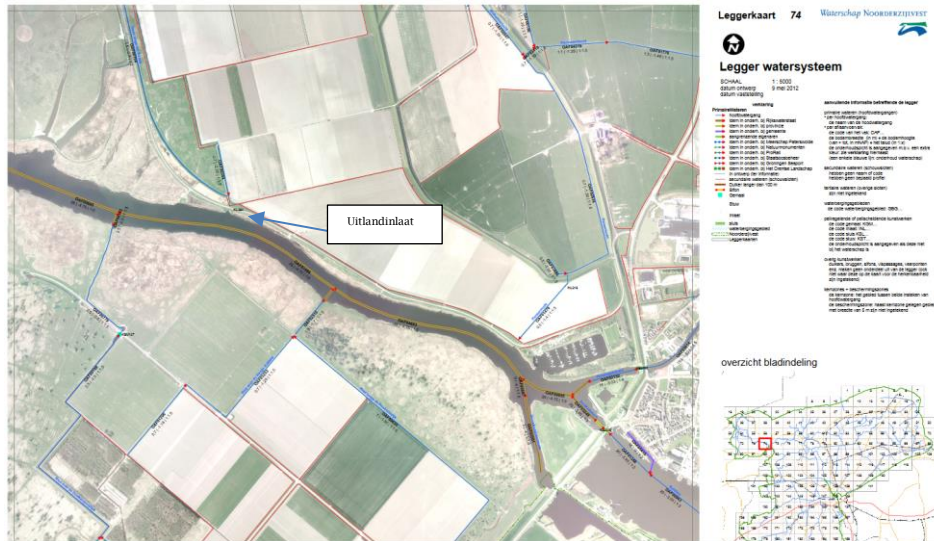
Bij een 50% toename van de kweldruk in de Eskespolder is er voor de verzoeting van hoofdwatgangen en het gehele systeem respectievelijk 48% en 55% meer doorspoelwater vereist om de streefwaarde van EC=3 mS/cm te bereiken (Figuur 14). Voor de Bijkerspolder is dit 36%. In de Zoutkamperplaat is er meer dan een verdubbeling van het doorspoelwater (Bijlage 4). Dit komt door de geringe hoeveelheid water die wordt toegevoerd in de referentiesituatie zonder toename van kwel.



Figuur 14: Waterbalans voor de Eskespolder in de zomerperiode (apr-sept) bij verzoeting van het oppervlaktewatersysteem en toename van de kweldruk. Streefwaarde chloridegehalte 830 mg Cl/L (EC=3).

Mocht er zoetwater beschikbaar zijn voor de Eskerpolder, dan is aanvoer van 9.900 m<sup>3</sup>/jaar gebiedsvreemd water naar de hoofdwatgang genoeg om de streefwaarde van 830 mg Cl/L (EC=3) te bereiken. Wanneer het gehele oppervlaktewatersysteem wordt verzoet is dit bijna het vijfvoudige, namelijk 47.000 m<sup>3</sup>/jaar. Zeespiegelstijging en bodemdaling kunnen in de toekomst leiden tot een toename van de kweldruk op het oppervlaktewatersysteem.

Buiten de focusgebieden, lijkt de Uitlandpolder geschikt voor een proef met alternatief waterbeheer door het inlaten van zoetwater. Momenteel ontvangt dit gebied ten oosten van de Zoutkamperril geen gebiedsvreemd water. Er is echter wel een inlaat (Uitlandinlaat) aanwezig waarmee water het poldergebied ingelaten kan worden. De aaneenschakeling van peilvakken met afwisselende ontwateringsniveaus biedt ruimte om de effecten van verschillende doorspoelstrategieën op de zoutconcentratie in het poldergebied te monitoren. Naar verwachting is het inlaatwater op deze locatie van voldoende kwaliteit (EC=2, persoonlijke communicatie Waterschap Noorderzijlvest).

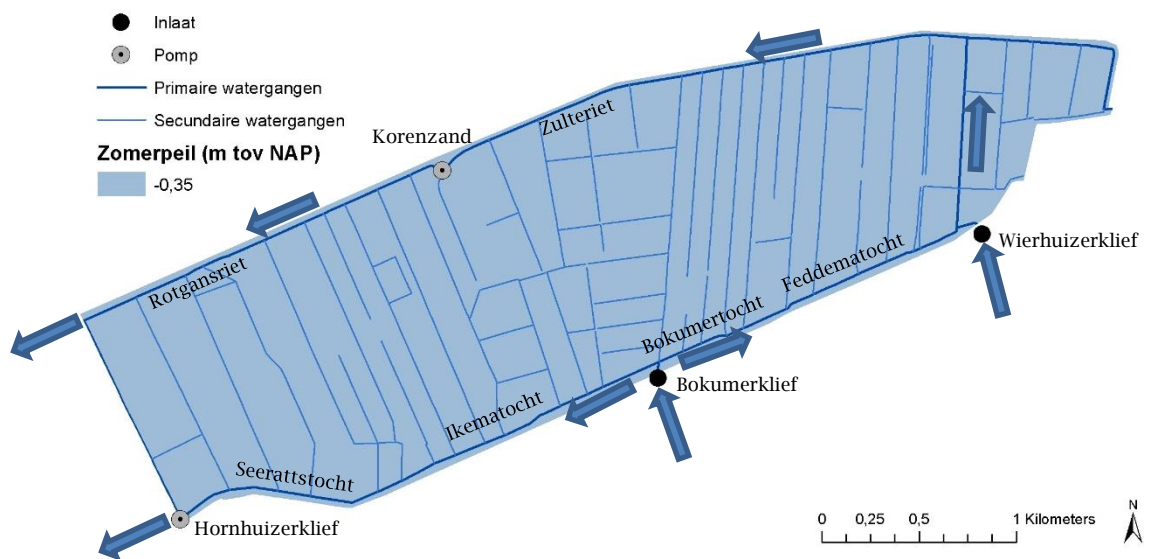


Figuur 15: Overzicht met inlaat voor polder net ten oosten van aandachtgebied.

Een ander geschikte polder is de Negenboerenpolder. Deze polder is gelegen tegen de zeedijk en daardoor sterk onderhevig aan kwel vanuit de nabijgelegen Waddenzee. Hierdoor heeft het oppervlaktewater in de zomerperiode een hoog zoutgehalte. De Negenboerenpolder ontvangt water vanuit het boezemsysteem aan de Pieterbuurstermaar. Water bereikt de Negenboerenpolder via de Wierhuizerklief en de Bokumerklief. Het toevoerkanal naar de Wierhuizerklief ontvangt restwater uit de verschillende oostelijk gelegen polders. Dit zorgt ervoor dat de inlaatkwaliteit in bepaalde perioden van het jaar slechter is dan de toevoer naar Bokumerklief. Om die reden vindt toevoer voornamelijk via de Bokumerklief plaats, welke de Feddema- en Ikematocht van zoeter water voorziet. De agrariërs in het gebied gebruiken dit water voor beregening van bijvoorbeeld uien en wortels, maar de waterkwaliteit is hiervoor regelmatig ontoereikend.

De aanwezige infrastructuur (stuwen, inlaten en pompen) maakt de Negenboerenpolder geschikt om te experimenteren met verschillende vormen van zoetwateraanvoer. Tijdens een gebiedsavond met agrariërs uit de omgeving van de Negenboerenpolder in de winter van 2018 bleek de interesse voor het experimenteren met zoetwateraanvoer en stuwenbeheer groot.

Naast de Uitlandpolder en de Negenboerenpolder zijn in het beheergebied van Waterschap Noorderzijlvest meerdere polders rondom het Lauwersmeer geschikt voor een proef met alternatief waterbeheer. De haalbaarheid van een proef hangt af van de beschikbare infrastructuur en potentie van zoetwateraanvoer en kan daarom het best in overleg met het waterschap worden vastgesteld.



Figuur 16: Overzicht Negenboerenpolder.

### 5.3 Overige effecten Eskespolder

In dit scenario blijft er een sterke relatie tussen het oppervlaktewater en het grondwater. Daarmee is de kwaliteit van het inlaat water, de uitstroom vanuit de drainage en de kwel gezamenlijk verantwoordelijk voor de waterkwaliteit van het oppervlaktewater en van het beregeningswater. De agrariërs blijven voor de waterkwaliteit dus sterk afhankelijk van het doorspoelregiem van het waterschap.

De verwachting is dat er geen andere afvoerhoeveelheden vanuit het perceel optreedt. Het vasthouden van water in de sloten kan leiden tot hogere piekafvoeren en mogelijk grotere nutriënten afvoer naar het oppervlaktewater. Hier is echter geen gekwantificeerde data van beschikbaar.

### 5.4 Economische haalbaarheid

De kosten voor deze methodiek zijn sterk afhankelijk van de lokale situatie. In dit geval zijn de kosten vrij hoog omdat allerlei waterstaatkundige kunstwerken moeten worden aangelegd, zoals een leiding door een primaire dijk.

In veel gevallen zijn de investeringen die noodzakelijk zijn in die gebieden waar het waterbeheer nu nog onvoldoende doorspoelt vrij hoog.

Daar waar de infrastructuur aanwezig is en voldoende zoetwater beschikbaar is het watersysteem al geoptimaliseerd om de landbouw van zoetwater te voorzien. Vaak wordt in de huidige situatie daar al doorgespoeld. De gebieden waar nu nog wateraanvoer moet gaan plaatsvinden resulteert daarom vaak forse investeringen.

Op basis van de bestaande kennis over de gewassen is bij het huidige klimaat de vermeden schade ongeveer als volgt:

Tabel 6. vermeden droogteschade in % voor het huidige klimaat en klimaatscenario 'warm.

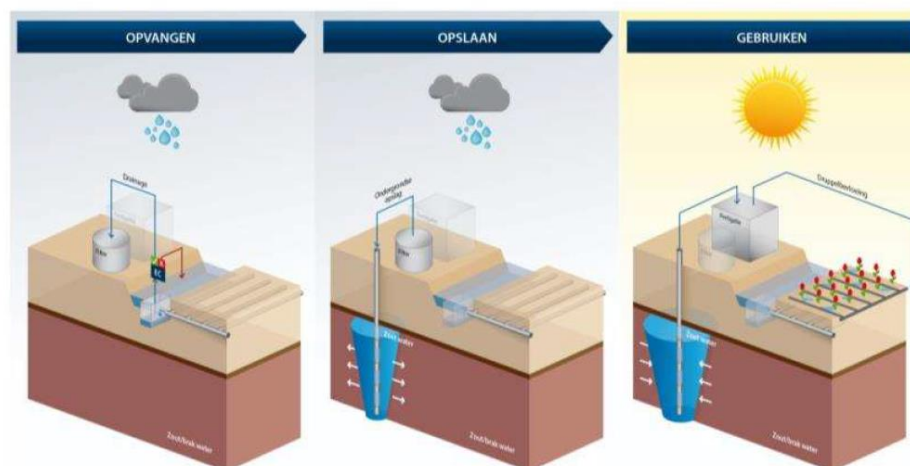
Baten rotatie teelt	Vermeden schade	Aanvullend beschikbaar (mm)
<b>Huidig klimaat</b>		
<b>Gemiddeld</b>	€ 84/ha	50
<b>Droog</b>	€ 131/ha	80
<b>Extra droog</b>	€ 254/ha	100
<b>Warm klimaat</b>		
<b>Gemiddeld</b>	€ 267/ha	85
<b>Droog</b>	€ 350/ha	130
<b>Extra droog</b>	€ 562/ha	150

# 6

## Eigen watervoorziening door ondergrondse opslag

### 6.1 Werking systeem

Een eigen watervoorziening kan de bedrijfsbasis voor landbouw versterken door meer zelfvoorzienend te worden en vormt daarmee een maatwerkoplossing op bedrijfsniveau. Een eigen watervoorziening wordt gerealiseerd door zoet drainagewater uit het perceel *op te vangen*, *op te slaan* in watervoerende lagen in de ondergrond en beschikbaar te maken voor *gebruik* gedurende het groeiseizoen (Figuur 17). De eigen watervoorziening draagt bij aan KRW-doelen doordat minder drainagewater met zout, nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen wordt afgevoerd naar het oppervlaktewatersysteem. In Spaarwater II wordt worden de afbraakmogelijkheden van de gewasbeschermingsmiddelen in de ondergrond en de bijhorende risico's onderzocht. De voorlopige conclusies zijn dat in de Spaarwaterpercelen afbraakstoffen van de gewasbeschermingsmiddelen zijn gevonden, wat erop duidt dat de middelen in de ondergrond worden afgebroken. Verdere analyse van dit onderwerp gaat voorbij aan de scope van dit onderzoek. In het geval van een meervoudig systeem (putten voor infiltratie gescheiden van onttrekking) wordt tevens gewasziektevrij irrigatiewater beschikbaar gemaakt door het creëren van een bodempassage.



Figuur 17: Eigen watervoorziening door ondergrondse opslag van zoetwater.

### 6.2 Technisch haalbaarheid in Lauwersmeergebied

Het succesvol toepassen van ondergrondse opslag hangt samen met drie factoren: (A) de eigenschappen van de ondiepe bodem voor het opvangen van voldoende zoetwater, (B) de mogelijkheid om het water op te slaan en (C) de mogelijkheid om het water terug te



winnen op basis van de eigenschappen van de diepere ondergrond. Voordat een systeem wordt aangelegd is het belangrijk om de beoogde locatie te toetsen op deze drie onderdelen.

Om het gedrag van de zoetwaterbel te karakteriseren is in Spaarwater II een empirische formule ontwikkeld om het theoretische terugwinrendement te berekenen. De formule is gebaseerd op een groot aantal modelberekeningen met een numeriek model voor dichtheidsafhankelijke stroming. De verticale doorlatendheid, het zoutgehalte van het grondwater in het watervoerend pakket en het jaarlijks geïnfiltreerde volume zijn hierin sturende factoren.

Op basis van de watervraag en het wateraanbod in de drie onderzochte polders zijn verschillende scenario's opgesteld. In deze scenario's is op basis van de systeemontwerp en het terugwinrendement de hoeveelheid water die het systeem kan leveren, in mm/jaar, berekend. Het terugwinrendement is afhankelijk van de EC-waarde die als bovengrens is genomen om te besluiten of het water in de drains geïnfiltreerd en opgeslagen kan worden. Het terugwinrendement wordt berekend met de volgende EC-waarden: 1,7 mS/cm, 2 mS/cm en 2,5 mS/cm.

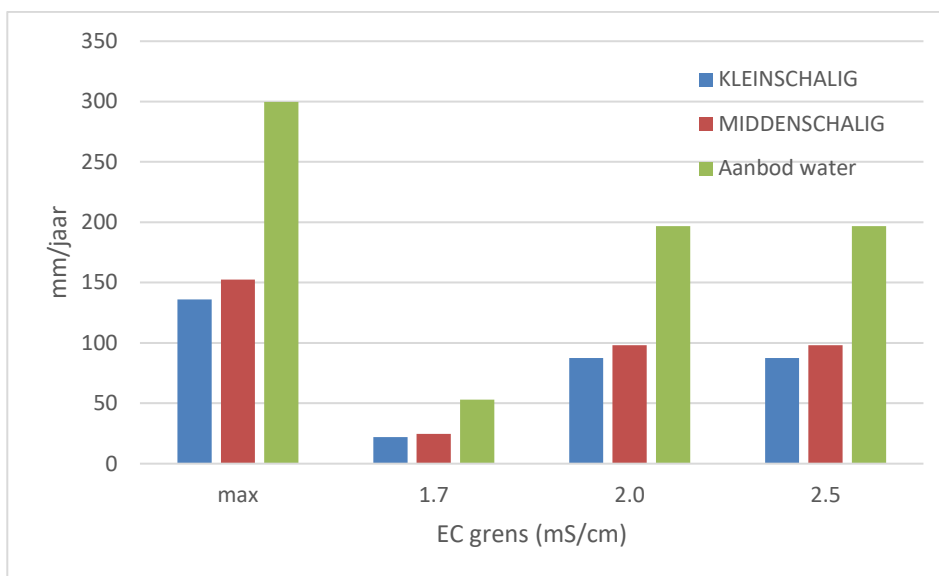
De aannames hiervoor zijn:

- TDS<sup>3</sup> van het grondwater is 15 g/l, volgens de EC waarden gemeten in de diepe peilbuizen in Warfstermolen geïnstalleerd (22,9 mS/cm).
- Het freatisch grondwater uit de drains is 400 mg Cl/l, dat is ongeveer 2,36 mS/cm.
- De verticale conductiviteit van de aquifer is gebaseerd op gegevens van Geotop. De gekozen waarden zijn 0.1, 0.08 en 0.05 m/dag voor respectievelijk de Eskespolder, Bijkerspolder en Zoutkamperplaat.

De haalbaarheidsberekeningen zijn voor de drie polders uitgevoerd. Het resultaat is dat als al het beschikbare water opgeslagen wordt, een middelgroot systeem (100 ha) genoeg capaciteit levert om in de watervraag van 150 mm te voorzien. Op het moment dat een grens van 2 a 2,5 mS/cm wordt gebruikt dan is een middelgroot systeem geschikt om tijdens droge perioden de polders te voorzien in een watervraag van bijna 100mm. In Figuur 18 is de situatie voor de Eskespolder weergegeven. In deze polder levert het verhogen van de EC-grens als randvoorwaarde voor gebruik van 2 naar 2,5 mS/cm geen extra water op omdat bij 2 mS/cm al het water al benut wordt. Het maximale

---

<sup>3</sup> **Totaal Vaste stof** (Total Dissolved Solids - TDS) is de term waar vaste stofdeeltjes in een vloeistof (vaak water) mee worden aangeduid. Doorgaans is er een sterke relatie met de geleidbaarheid. Een hoog TDS-gehalte leidt tot een grotere kans op verstopping van filters.



Figuur 18. Water aanbod (mm) en water geleverd (mm) in Eskespolder per systeemchaal (kleinschalig en middenschalig), op basis van de EC grens die wordt gebruikt om het drainwater te laten gaan infiltreren.

water aanbod is berekend op basis van het neerslagoverschot. In werkelijkheid wordt natuurlijk niet al het neerslagoverschot afgevangen door de drains vandaar dat het aanbod van water vanuit de drains lager is dan de 300 mm/jaar. Een kleinschalig systeem (10 ha) kan vanaf een grens van 2 mS/cm voorzien in ook de watervraag van aardappel, mais, graan en suikerbiet verwacht elke 5 jaar voldoen.

Voor 1 locatie in de polder is dit systeem nauwkeuriger doorgerekend, gebruikmakend van de resultaten van eerder uitgevoerd veldwerk. De berekening is in het onderstaande hoofdstuk uitgewerkt.

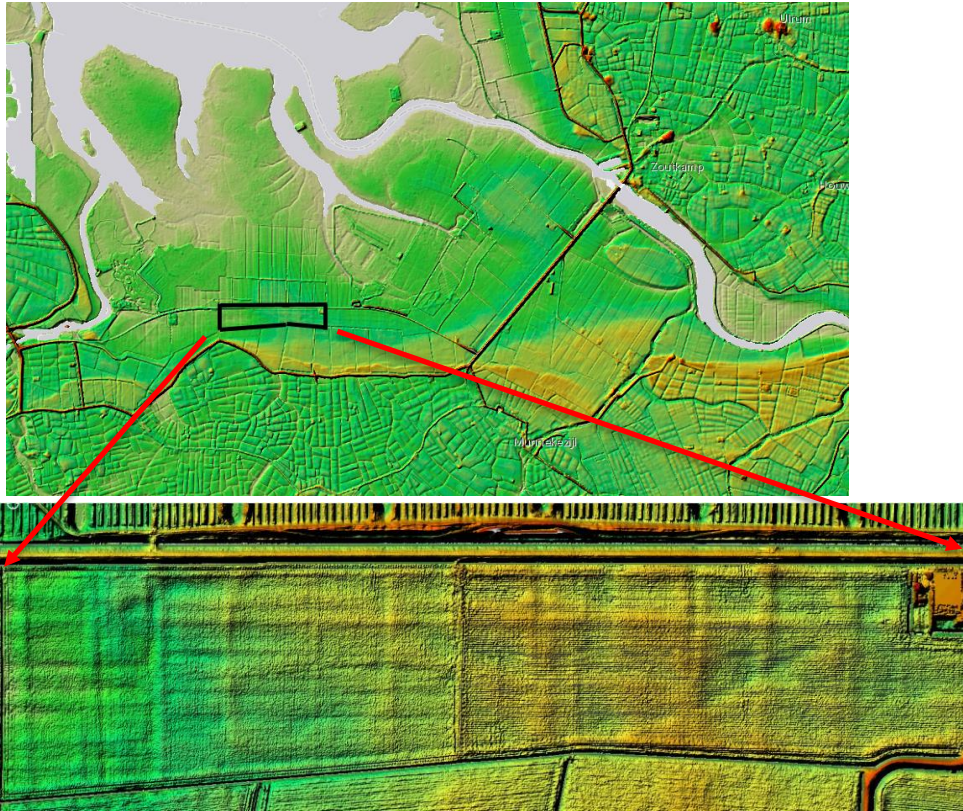
### 6.3 **Praktijkvoorbeeld: landbouwbedrijf Arends**

Voor een perceel van het Landbouwbedrijf Arends is onderzocht of het mogelijk is om met ondergrondse opslag het winter overschot van het drainagewater te bergen voor gebruik in de teeltperiode in de zomer op 20 hectare.

De mogelijkheid voor ondergrondse opslag is onderzocht doormiddel van boringen, geofysische, hydraulische en chemische metingen. De verwachte capaciteit van het systeem bedraagt < 150.000 m<sup>3</sup> /jaar bedragen, hiermee is het waterschap bevoegd gezag en is verantwoordelijk voor de vergunning. Bij een systeem met een capaciteit van < 150.000 m<sup>3</sup> dient de vergunning aangevraagd te worden bij de Provincie.

#### 6.3.1 **Beschrijving perceel**

Het perceel van Landbouwbedrijf Arends is gelegen ten westen van de boerderij (Oosternieuwkruijslaan 8, Warfstermolen) en ten zuiden van het Lauwersmeer. Het perceel is onderdeel van de Bijkerspolder (Figuur 19).



Figuur 19. Locatie van het perceel op de AHN kaart met maaiveldhoogte (van groen: laag naar geel: hoog).

De percelen in dit gebied worden gedraineerd met buisdrainage met een onderlinge afstand van gemiddeld 10m. De drainagestrengen hebben een verschillende oriëntatie, waarbij sommige strengen in Zuid-Noordelijke richting zijn aangebracht en andere in Oost-Westelijke richting. De ligging van drainage is ook terug te zien in de verschillen in maaiveldhoogte (Figuur 19). Daarnaast kan uit de maaiveldhoogte ook de ligging van zandbanken worden opgemerkt, deze zijn hoger gelegen en hebben een NW-ZO oriëntatie.

### 6.3.1 Voorstudie: bodemopbouw perceel

Met de DUALEM is een geo- elektrische weerstand- of geleidbaarheidsscan gemaakt van de percelen (resultaten in bijlage 7). Deze weerstand varieert met de grondsoort en waterkwaliteit. Om de gemeten waarden te kunnen vertalen naar grondsoort en weerstand werden er een drietal ondiepe boringen uitgevoerd. Een in het meest westelijke deel met de hoogste geleiding en 2 (een ondiepe en een diepe) op dezelfde locatie, daar waar de geleiding duidelijk lager is. Dit om de kwaliteit van het grondwater en de kweldruk vaststellen. In alle 3 de peilbuizen zijn divers geplaatst waarmee de grondwaterstand en geleidbaarheid in de tijd worden gemeten (zie resultaten in bijlage 7).

Er zijn twee sonderingen tot 75 m diep uitgevoerd (sondering 1 en sondering 2, zie Figuur 20) waarbij ook de geleidbaarheid is gemeten. De gedetailleerde resultaten van de sonderingen en de boorprofielen zijn terug te vinden in bijlage 7.



Figuur 20 Locatie van de ondiepe boringen (1 tot 3 m diep), DUALEM-profielen en sonderingen uitgevoerd in juli 2016 als voorstudie.

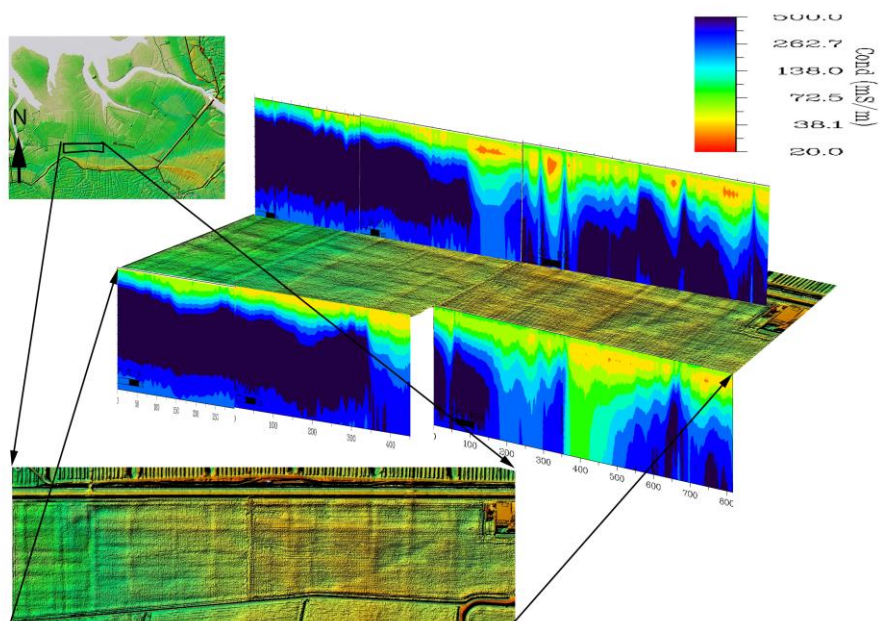
Op basis van de DUALEM-metingen, de boringen en de twee sonderingen is de volgende geconcludeerd: het Pleistocene pakket bestaat uit een zandig, matig doorlatend anisotroop pakket (circa 1-5 m/d<sup>41</sup>) op een diepte van 9 tot 35 m onder maaiveld (aquifer 1). Deze zandlaag bevindt zich onder een kleilaag en lijkt geschikt voor ondergrondse opslag. Op een diepte van 35 m tot 58 m bevindt een goed doorlatend pakket (circa 10-35 m/d<sup>1</sup>, aquifer 2).

De EC-waarde van het grondwater in aquifer 1 bedraagt op basis van de sondering circa 7,5 mS/cm. Aquifer 2 is zouter, met een EC-waarde van 10-20 mS/cm, afhankelijk van de formatiefactor (onbekend). De gemeten sloten varieerden tussen de 6 en de 2.8 mS/cm. De EC-metingen van het grondwater en oppervlaktewater duiden op zoute kwel in het perceel, maar de kweldruk lijkt gering uitgaande van de eerste grondwaterstanden metingen (gedetailleerde resultaten in bijlage 7).

Vanaf juli 2016 tot heden worden continue metingen uitgevoerd naar de EC in de drains en de ondiepe filters van de boringen (bijlage 7). De EC in de drain bij het oostelijk deel (meer zand, bij boring 1-3) ligt ongeveer rond de 2 mS/cm en die van de westelijke deel (meer klei) tussen 2 en 4mS/cm. De EC in de peilbuizen liggen boven de 12 mS/cm. Dit betekent dat het grondwater in de eerste meters van de watervoerende pakket (2-3 m) al veel zouter is dan wat in de drains gemeten wordt; in de praktijk werken de drains dus als waterafvoer van de zoetwaterlenzen in het perceel.

Uit de vergelijking met de topografie en resultaten van de geofysica blijkt dat een oud geulensysteem en de inmiddels opgevulde krekken van invloed zijn op het zoutgehalte van het grondwater (Figuur 21), de mate van kwel en de vorming van zoet water lenzen. Ook de verschillen in geleidbaarheid tot op grote diepte tussen de beide sonderingen duiden op de mogelijke aanwezigheid van een oud geulensysteem. Dit geulensysteem kan de geschiktheid van de zandlaag op 9m diepte beïnvloeden, aangezien de afsluitende kleilaag hierdoor onderbroken kan zijn.

<sup>4</sup> De doorlatendheden zijn gebaseerd op de conusweerstand en het wrijvingsgetal van sondering 1



Figuur 21. Resultaten DUALEM-profielen, donkerblauwe kleuren corresponderen met zout grondwater en kleilig materiaal, lichtgroen en geel met wat meer zandige formaties waar het zoute grondwater is gemengd met zoet regenwater. Ook is duidelijk te relatie te zien tussen het reliëf en de grondsoort en de zoet verdeling

### 6.3.2 Eerste puntontwerp: Hydraulische en chemische eigenschappen van het watervoerende pakket

Met de vorige gegevens is een eerste putontwerp gemaakt voor twee waterbronnen (zie Tabel 7). In de week van 21 augustus 2017 zijn de twee waterbronnen met elk twee filters, genaamd A en B, geboord ten westen van de schuur van het Landbouwbedrijf Arends. De boor beschrijvingen zijn in bijlage 7 te vinden. In de week van 28 augustus zijn twee freatische peilbuizen geplaatst, genaamd *ver* en *freatisch*, geplaatst (Figuur 22). Deze waterbronnen en de freatische peilbuizen hebben meer inzicht gegeven over de doorlatendheid van de ondergrond (door middel van pompproeven) en het zoutgehalte van het grondwater (door middel van chemische analyses van watermonsters genomen na de boring). Deze informatie heeft geleid tot een finaal putontwerp met een hoger terugwinrendement voor het systeem.

De locatie voor de twee bronnen is zo gekozen dat uitbreiding van het systeem makkelijk mogelijk is (Figuur 22, oranje bollen geven de uitbreidingsmogelijkheden weer).

Tabel 7. Eigenschappen van de filter configuraties in de verschillende putten in Warfstermolen.

Put / filter naam	Bovenkant filter [m -mv]	Onderkant filter [m -mv]	Totale lengte filter [m]
A1	-14,60	-32,10	17,50
A2	-33,50	-43,50	10
B1	-14	-31,50	17,50
B2	-33	-43	10
Ver	-5	-6	1
Freatisch	-2	-3	1



Figuur 22. Eerste putontwerp. Overzicht van de locaties van de twee waterbronnen A en B (blauwe bollen), en van de freatische filters waarin de effecten van het pompen op de waterstand in het pakket gemeten werd. Oranje bollen geven de uitbreidingsmogelijkheden weer.

### 6.3.3 Hydraulische eigenschappen watervoerende pakketten

Uit de pompproeven is de doorlatendheid van twee watervoerende pakketten bepaald. De doorlatendheid op een diepte van 14,0 tot 31,5 m onder maaiveld (ondiepe laag) heeft een doorlatendheid van 10 m/d. De doorlatendheid op een diepte van 33,5 tot 43,0 m onder maaiveld (diepe laag) is 20 m/d. De berekende bergingscoëfficiënt was  $S = 0.0006$ . Deze waarden zijn representatief voor watervoerende pakketten bestaande uit fijn tot matig grof zand, ook zoals genomen in de boorbeschrijvingen.

Uit de metingen blijkt dat er een slecht doorlatende laag aanwezig is tussen de ondiepe en diepe lagen, wat de geringe verlaging van 0.3 m in de niet afgepompte lagen verklaart, vergeleken met die van 3.5 m in de afgepompte lagen.

### 6.3.4 Chemische eigenschappen watervoerende pakketten

De chemische samenstelling van het grondwater geeft aan dat het om oorspronkelijk zeewater gaat met hoge concentraties aan opgelost ijzer en mangaan die typisch zijn voor een gereduceerd, anoxisch milieu. Vanwege deze samenstelling zullen er veranderingen optreden in het watervoerend pakket als er zoet, zuurstofrijk water uit het perceel in het zuurstofloze pakket wordt geïnfilteerd.

Om verstopping van de put te voorkomen dient het te infiltreren perceelwater extra belucht te worden zodat de overmaat van zuurstof in het water na beluchting ervoor zorgt dat ijzer en mangaan in het watervoerend pakket neerslaan, en niet in het putfilter wat verstopping zou kunnen veroorzaken. Het neerslaan van ijzer- en mangaanverbindingen in het watervoerend pakket zorgt er ook voor dat onttrokken zoet water lage concentraties van ijzer (Fe) en mangaan (Mn) zal bevatten.

### 6.3.5 Grondwatermodel resultaten

Op basis van de bovenstaande parameters zijn berekeningen met een dichtheidsafhankelijk grondwatermodel uitgevoerd. Uit de modelresultaten blijkt dat, door het verschil in dichtheid tussen het zoute grondwater en het zoete infiltratiewater, het in de diepere lagen geïnfiltreerde zoetwater zal opdrijven om zich onder de deklaag te verzamelen en daar een bel te vormen. Om een rendement van 40% of meer te halen wordt derhalve geadviseerd om een ondiepe filter te plaatsen net onder de deklaag. Zo kan de opgedreven zoetwaterbel optimaal worden benut tijdens de onttrekking voor berekening.

### 6.3.6 Definitief putontwerp

Uit de metingen en modelresultaten is geconcludeerd dat het mogelijk is om een Spaarwater ondergrondse opslagsysteem aan te leggen bij Landbouwbedrijf Arends. Door het toevoegen van ook ondiepere putten (Tabel 8) is een hoger rendement (>35%) haalbaar en door het extra beluchten van het infiltrerend water kan verstopping van de put worden tegen gegaan.

Er wordt aangeraden om de putten in een sterconfiguratie (Figuur 23) aan te leggen. Deze configuratie bevat een infiltrerende put en drie onttrekkingsputten. Elke put is voorzien met 3 filters. De configuratie eigenschappen zijn in Tabel 8 en Figuur 24 samengevat.

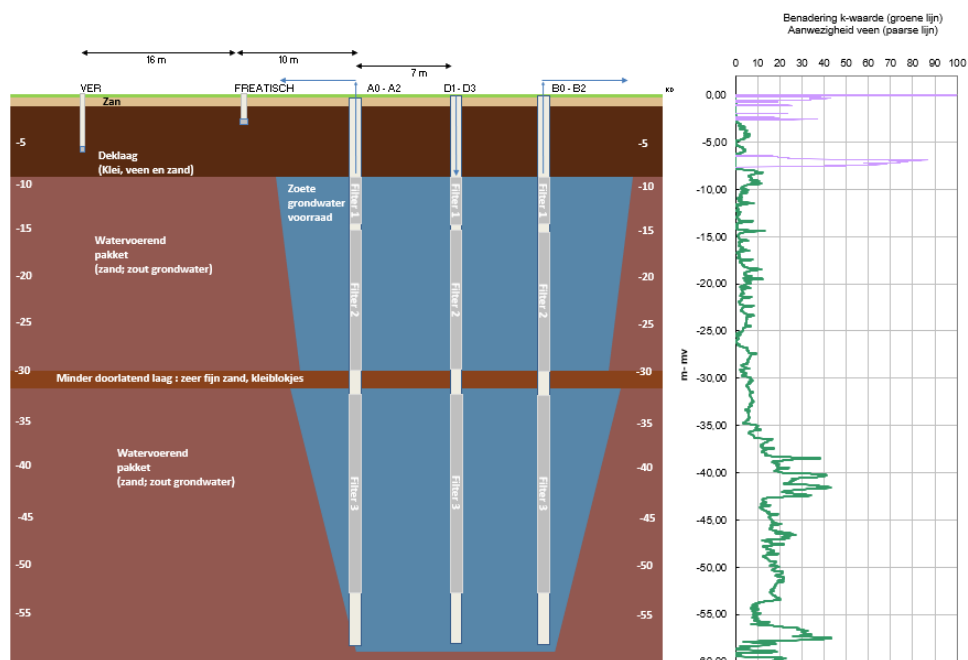
Tabel 8 . Eigenschappen van de filter configuraties in de verschillende putten in Warfstermolen

Put / filter naam	Bovenkant filter [m -mv]	Onderkant filter [m -mv]	Totale lengte filter [m]	Soort bron	K (m/dag)	EC (mS.cm)
A0	-9	-14	5	Onttrekking	8	28*
A1	-14,60	-32,10	17,50	Onttrekking	10	37,5
A2	-33,50	-43,50	10	Onttrekking	20	35,4
B0	-9	-14	5	Onttrekking	8	25*
B1	-14	-31,50	17,50	Onttrekking	10	34
B2	-33	-43	10	Onttrekking	20	33
C1	-9	-15	6	Onttrekking	8	
C2	-15	-31	17	Onttrekking	10	
C3	-33	-43	10	Onttrekking	20	
D1	-9	-15	6	Infiltreren	8	
D2	-15	-31	17	Infiltreren	10	
D3	-33	-43	10	Infiltreren	20	
Ver	-5	-6	1	Monitoren	-	
Freatisch	-2	-3	1	Monitoren	-	

\*geïnterpoleerd uit de Sondering1 en Sondering2



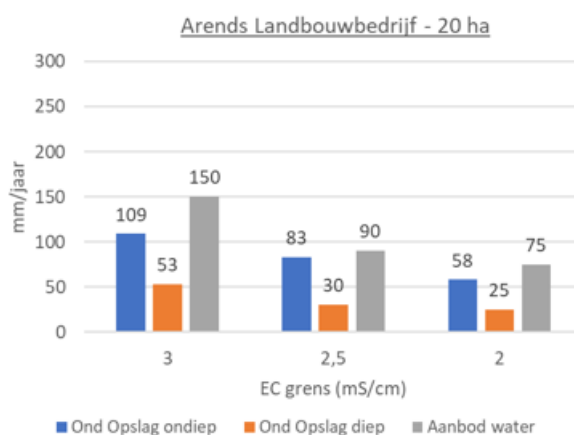
Figuur 23 Locatie van de huidige waterbronnen (A1, A2, B1, B2) en de uitbreiding daarvan (C en D). De twee freatische peilbuizen en twee diepe sonderingen zijn ook in de figuur meegenomen.



Figuur 24 Putontwerp en filter configuratie op basis van de sonderingen (juli 2017) en de waterbronnen geboord in augustus 2018. De figuur links laat een dwarsdoorsnede zien van de eerste en tweede watervoerende pakketten waar de filters zijn verdeeld in de twee aquifers: 2 filters in de eerste en een derde in de tweede. De K-waarde volgens Sondering 1 (Figuur 23) wordt ook aangegeven (figuur rechts)



Op basis van de EC gemeten in de drains (bijlage 7) van het Arends perceel is geschat dat er een totaal wateraanbod (onder 3mS/cm) van 150 mm/jaar uit de drains kan komen, 90 mm/jaar als er een EC-grens van 2,5 is gekozen en 75 mm als er een EC-grens van 2 wordt aangepast. Dit water kan door ondergrondse opslag gebruikt worden als zoete grondwater voorraad voor de perioden met watertekort in die 20 ha. . Op basis van welke filters gebruikt zullen worden is er verschillende terugwin efficiëntie van de ondergrondse opslag in het Arends Landbouwbedrijf perceel verwacht. De ondiepere filters, in een sediment wat minder doorlatend, geven, tevens, de beste terugwin efficiëntie (38-40%, meer dan 58 mm/jaar) door minder zout grondwater. Bij de grens van EC 2mS/cm 25 mm/ha beschikbaar is, voldoende om aan de watervraag van 1 per 2 jaar te voldoen (Figuur 25).

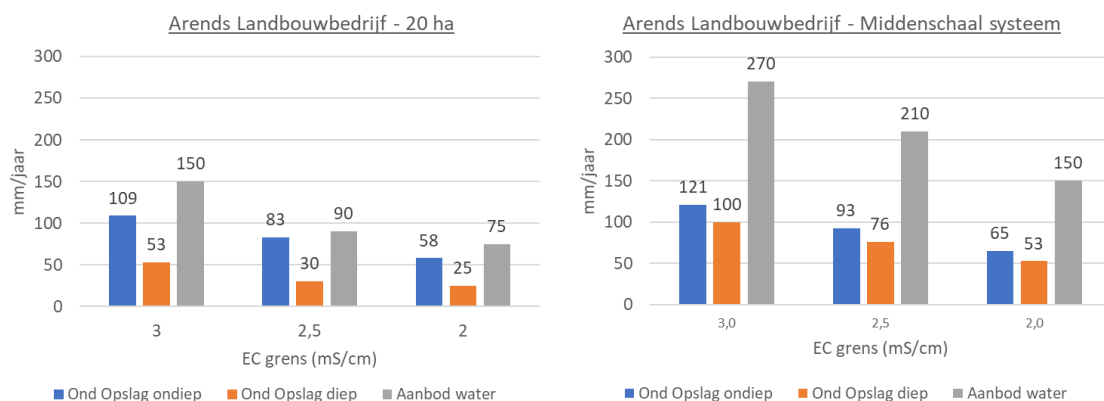


Figuur 25. Water aanbod(mm) en water geleverd (mm) op het landbouwbedrijf van Arends (20 ha)op basis van de EC grens die wordt gebruikt om het drainwater te laten gaan infiltreren.

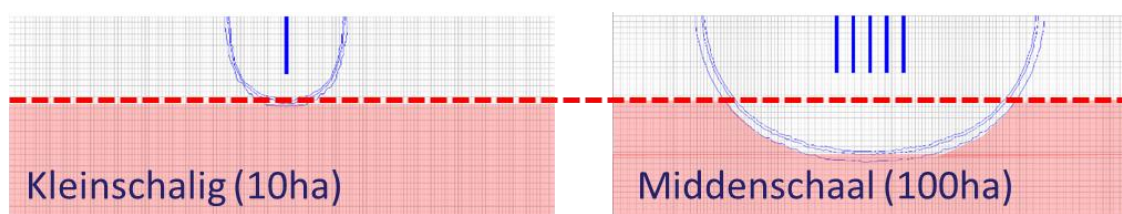
Het systeem zou kunnen gecombineerd worden met eerste beluchtingsstap om te zorgen dat de kwaliteit van het water goed blijft en de filters niet verstopten.

### 6.3.7 Van klein naar midden schaal

Het gebruiken van een midden schaal systeem (100 ha) geeft voordelen wat betreft systeem efficiëntie (Figuur 26 en Figuur 27). Door de schaalgrootte is er meer water per hectare in de ondergrond opgeslagen, waardoor de zelfvoorzienendheid toeneemt. Met 100 ha voerende oppervlakte, een midden schaal system in het Arends landbouwbedrijf perceel zou met een EC-grens van 2mS/cm genoeg zijn om een watervraag van 1 keer in 5 jaar te kunnen voldoen (53 mm/ha) en genoeg om, met een EC-grens van 3 mS/cm, genoeg om een extreme watervraag van 1 keer in 10 jaar te voldoen.



Figuur 26. Wateraanbod (in mm/jaar) vanuit een klein systeem in Arends Landbouwbedrijf dat gevoerd wordt door het water uit de drains van het 20 ha- perceel (figuur links). Wateraanbod (in mm/jaar) vanuit een midden schaal systeem (figuur rechts) geplaatst in Arends Landbouwbedrijf dat gevoerd wordt door het water uit de 100 ha- perceel gelegen in een hoger gebied, ten zuiden van het Arends landbouwperceel.

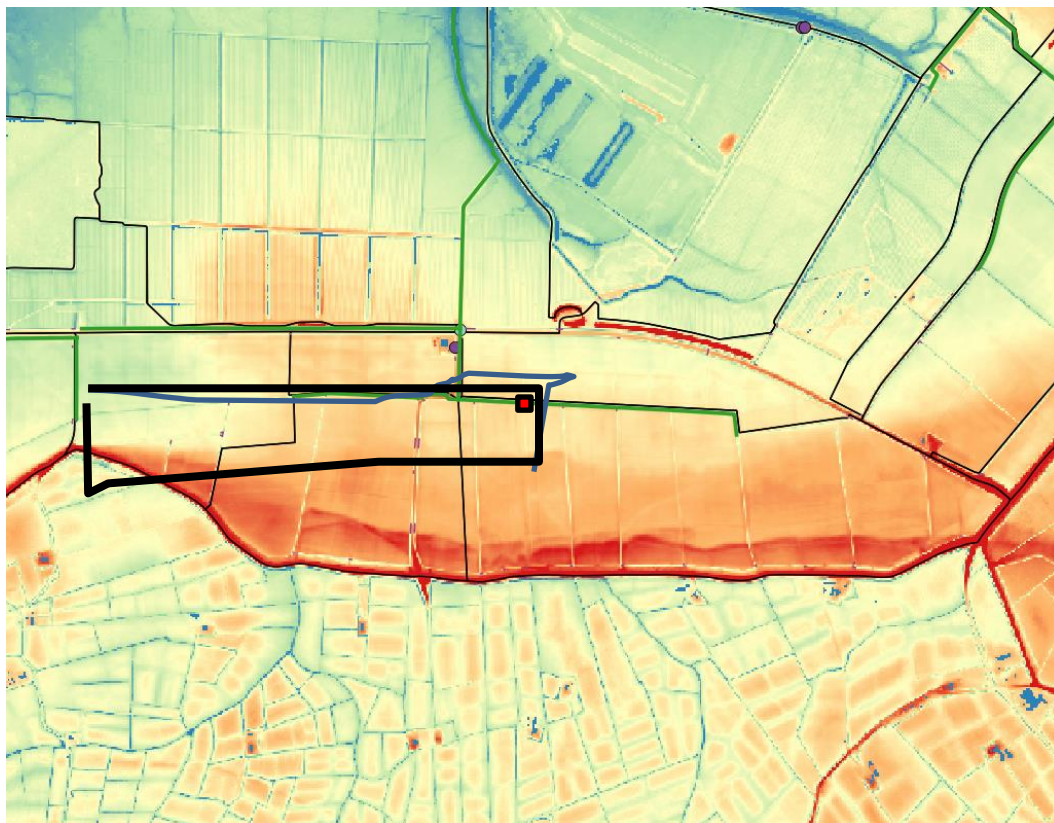


Figuur 27. Schaalvoordeel resulteert in een hoger terugwinrendement. De roze kleur geeft zoutere grondwater aan en de wit kleur is zoetgrondwater. De blauwe verticale lijnen zijn putten en de geïnfilterde zoetwaterlens wordt gesignaleerd met een blauwe semicirkel.

Het is dus in meerdere opzichten voordelig om een midden schaal systeem te gebruiken die verschillende percelen kan voeden in tijden van water tekort, dit is zelfs mogelijk in condities die normaal als te zout of niet geschikt gezien worden.

Zoals eerder is aangegeven zijn de percelen van het Landbouwbedrijf Arends geschikt voor ondergrondse opslag en neemt de effectiviteit neemt toe bij en vergroting van het systeem 10 ha naar 100 ha. De opschaling naar polderniveau kan, naast de effectiviteit van het systeem zelf, ook leiden tot een vergroting van de effectiviteit door het optimaliseren van de locatie binnen de polder.

In onderstaand figuur is het maaiveld aangegeven voor de Bijkerspolder. Waarin het van het Landbouwbedrijf Arends.



Figuur 28: Topografie van Bijkerspolder (Bron: AHN5). (rood hoog blauw; laag)

Hierin is duidelijk te zien dat de percelen van Arends het lager gelegen deel van de polder ligt. Op die locatie is de kweldruk van (zout water) groot. Het water dat in deze lage percelen wordt afgevangen in de drains is dus relatief zout is. Aan de zuidkant van de polder is het maaiveld hoger waardoor minder zoute kwel opkomt. De afvoer van de drainage is daardoor zoeter dan op de percelen van Landbouwbedrijf Arends. Momenteel wordt deze zoete afvoer niet gebruikt voor irrigatie en verzilt het water vanaf het moment dat het in het oppervlaktewater terecht komt.

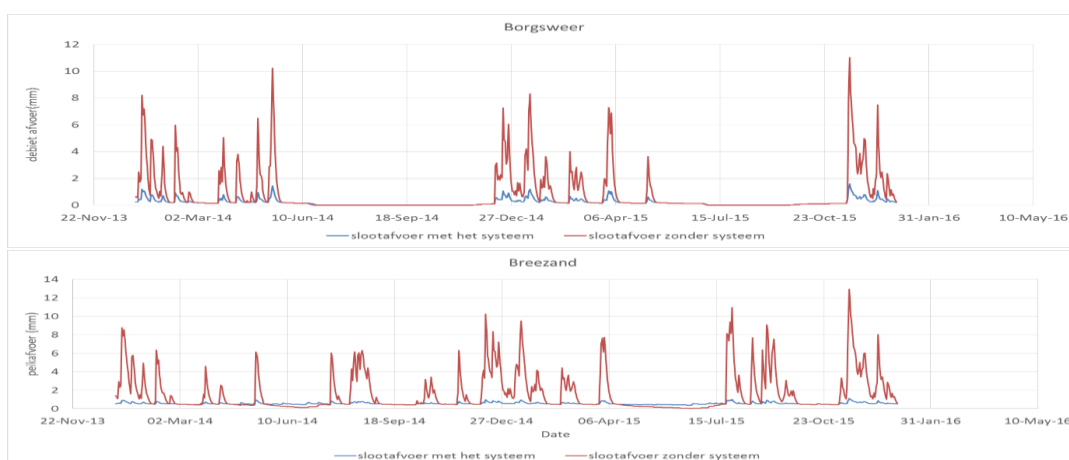
Door het opschalen van het ondergrondse opslag systeem naar polderschaal kan de locatie van het systeem worden geoptimaliseerd. Het verplaatsen van het ondergrondse opslagsysteem naar de zuidkant van de polder leidt tot zoeter drainagewater dat gebruikt kan worden om de ondergrondse zoetwaterbel aan te vullen. Eerder onderzoek heeft immers aangetoond dat bij hogere eisen aan de waterkwaliteit op het perceel van Arends het aanbod van water sterk afneemt. ( zie figuur@). Omdat de kwaliteit van het drainagewater in het zuiden van de polder beter is, is er een groter wateraanbod.

Deze afname zal in het zuiden van de polder minder optreden door de betere waterkwaliteit uit de drains. Het optimaliseren van een ondergrondsopslagsysteem op polderniveau leidt dus tot meer beschikbaar zoetwater ten tijde van droogte.

## 6.4 Overige effecten

Bij het gebruiken van een ondergrondse opslag gaat een deel van de netto neerslag niet meer naar het oppervlaktewatersysteem. Figuur 29 toont het verschil tussen oppervlaktewaterafvoer bij wel en geen ondergrondse opslag. Voor Borgsweer is een gemiddelde reductie van ongeveer 75% en voor Breezand is een gemiddelde reductie van 67% van de afvoer op het oppervlaktewatersysteem als de ondergrondse opslag in werking wordt genomen. Voor de piekafvoeren is de reductie ongeveer 85%.

Daarnaast zorgt het afvangen van drainwater dat vooral de pieken ( die zoet water betreffen) worden gedempt. Opgeslagen worden afvoerpieken verminderd tot slechts zo'n 15% van de pieken die optreden zonder het systeem. Dat betekent dat het oppervlaktewatersysteem veel minder belast wordt bij een piekafvoer.



Figuur 29. Afvoeren op 2 percelen waar drainagewater wordt afgevangen.

Door het hergebruik van het perceelwater via infiltratie werd een significante vermindering van de export van nutriënten naar het oppervlaktewater gerealiseerd. De afname bedroeg 77% voor nitraat en 60% voor fosfaat (bron: voorlopige resultaten Spaarwater II).

De waterkwaliteit van het oppervlaktewater is vanwege het loskoppelen van het oppervlaktewatersysteem en watervoorziening voor de agrariër minder belangrijk. Dat betekent dat ook bij wat zoutere sloten een goede watervoorziening mogelijk is.

## 6.5 Economische haalbaarheid

### 6.5.1 Kosten ondergrondse opslag 10 hectare

De kosten zijn een totaal van investerings-, gebruiks- en onderhoudskosten. De investeringskosten voor een kleinschalige ondergrondse opslag bedragen €75.000,- /10 hectare. De gebruiks- en onderhoudskosten bedragen €2.100,- per jaar. De technische levensduur van het systeem is vastgesteld op 15 jaar. Om waardeveranderingen voor de toekomst te verwerken is ook een discontovoet van 3% meegerekend voor de technische levensduur van de ondergrondse opslag. Tabel 9 geeft een overzicht van de geschatte kosten weer. De weergegeven kosten zijn van toepassing op het 'opslaan' gedeelte van de maatregel, de eventueel nieuw aan te leggen drainage en het leidingwerk zijn hier nog niet in opgenomen. De kosten van de drainage en het leidingwerk zijn sterk afhankelijk van de lokale bodemgesteldheid en de bestaande infrastructuur.

Tabel 9. Overzicht van de geschatte kosten voor een kleinschalig ondergrondse opslag.

Parameter	Kosten
Bron	€0,-
Aanvoer	€ 10,- per meter
Opslag	€ 75.000,- /10ha
Gebruik/onderhoud	€ 2.100,- per jaar

De kosten worden uiteindelijk verrekend naar een prijs per hectare. Verrekening over 15 jaar levert de kostenresultaten zoals weergegeven in Tabel 10.

Tabel 10. Overzicht van de geschatte kosten per hectare kleinschalig ondergrondse opslag.

Parameter	Kosten
Totaal / 10 hectare	€ 90.000,00,-
Totaal/hectare	€ 9.000,00,-
Totaal/hectare/jaar	€ 600,00,-

## 6.5.2 Kosten ondergrondse opslag 100 hectare

De kosten zijn een totaal van investerings-, gebruiks- en onderhoudskosten. De investeringskosten voor een kleinschalig bassin bedragen €300.000,- / 100 hectare. De gebruiks- en onderhoudskosten bedragen €9.000,- per jaar. De technische levensduur van het systeem is 15 jaar.

Tabel 11. Overzicht van de geschatte kosten voor een middelgrote ondergrondse opslag.

Parameter	Kosten
Bron	€0,-
Aanvoer	€ 10,- per meter
Opslag	€ 300.000,- /100ha
Gebruik/onderhoud	€9.000,- per jaar

Om waardeveranderingen voor de toekomst te verwerken is een discontovoet van 3% meegerekend voor de technische levensduur van de ondergrondse opslag. Tabel 11 geeft

een overzicht van de geschatte kosten weer. Net als bij het 10 hectare systeem zijn de weergegeven kosten zijn van toepassing op het 'opslaan' gedeelte van de maatregel. De eventueel nieuw aan te leggen drainage en het leidingwerk zijn hier nog niet in opgenomen. De kosten van de drainage en het leidingwerk zijn sterk afhankelijk van de lokale bodemgesteldheid en de bestaande infrastructuur.

De kosten worden uiteindelijk verrekend naar een prijs per hectare. Verrekening over 15 jaar levert de volgende kostenresultaten zoals weergegeven in Tabel 12.

Tabel 12. Geschatte kosten per hectare van een middelgrote ondergrondse opslag.

Parameter	Kosten
Totaal / 100 hectare	€ 400.000,-
Totaal/hectare	€ 4.000,-
Totaal/hectare/jaar	€ 300,-

Omdat de Spaarwatermaatregel ondergrondse opslag een innovatie is, is het goed rekening te houden met economische schaalvoordelen en marktwerking in de toekomst. Deze ontwikkelingen zullen een kostenvoordeel teweeg moeten brengen.

### 6.5.3

#### Vermeden droogteschade

Ondergrondse opslag draagt bij aan het voorkomen van droogteschade door de beschikbaarheid van zoetwater. De vermeden droogteschade is berekend door de schade voor een expliciet neerslagtekort in de kritieke periode (15 juni tot 30 juli) te bepalen. Door de daadwerkelijk gemeten opbrengsten te vergelijken met de neerslagtekorten in diezelfde jaren is een statistisch onderbouwde schade bepaald. In de praktijk zal deze schade worden opgeheven met het beschikbare water uit de ondergrondse opslag. Door de schade in kg te verrekenen met de gemiddelde prijs is het mogelijk een baat per hectare voor de karakteristieke jaren te bepalen. Deze analyse is zowel voor de huidige klimaatsituatie als voor klimaat 'warm' uitgevoerd. In Tabel 13 zijn de eerste resultaten voor poot aardappelen in rotatie te zien. In een vervolgstudie is het nodig om deze resultaten verder te onderzoeken aan de hand van bandbreedtes, onzekerheden en risico's op het voorkomen van droogtejaren.

Tabel 13. Voorbeeld vermeden droogteschade in % voor het huidige klimaat en klimaatscenario 'warm'.

Baten rotatie teelt	Vermeden schade
<b>Huidig klimaat</b>	
<b>Gemiddeld</b>	€ 84/ha
<b>Droog</b>	€ 131/ha
<b>Extreem droog</b>	€ 254/ha
<b>Warm klimaat</b>	
<b>Gemiddeld</b>	€ 267/ha
<b>Droog</b>	€ 350/ha
<b>Extreem droog</b>	€ 562/ha

De eerste resultaten laten zien dat ondergrondse opslag op de lange termijn een renderende investering is. In een veranderend klimaat neemt de

zoetwaterbeschikbaarheid af en wordt het bufferen van water bedrijfsmatig steeds interessanter. In de huidige, gemiddelde situatie, lijkt de gewasschade nog onvoldoende groot om te investeren. Hier zijn verschillende onzekerheidsfactoren bij betrokken die in een vervolgstudie meegenomen moeten worden. Zo is de snelheid van klimaatverandering een belangrijke variabele die de investeringstermijn beïnvloedt.

# 7

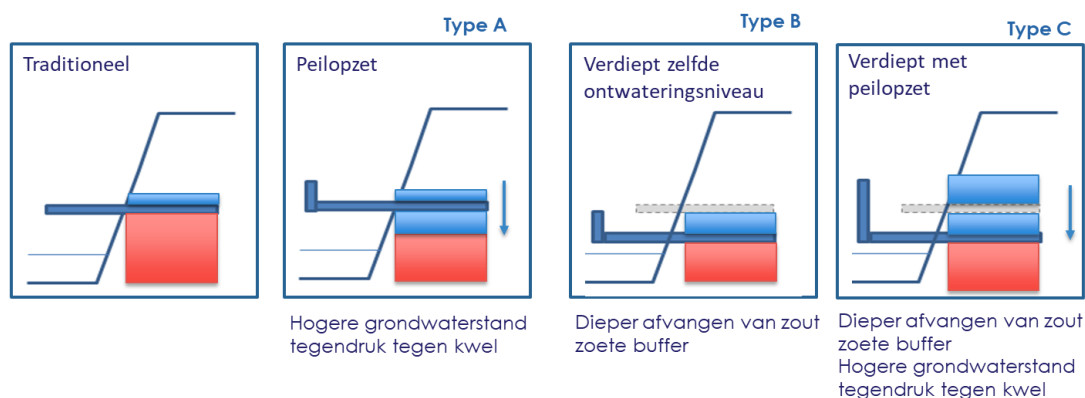
## Stysteemgerichte drainage

### 7.1 Werking systeem

Een regionaal waterbeheerplan houdt geen rekening met de verschillen die binnen een peilvak kunnen bestaan met betrekking tot bijvoorbeeld maaiveldhoogte, doorlatendheid en kweldruk. Karakteristieken die van belang zijn in het fragiele evenwicht tussen zoet en zout. Dit vereist het ontwikkelen van maatwerk op perceelniveau in plaats van alleen sturen op peilvak niveau. Eén van de maatwerkoplossingen is de toepassing van systeemgerichte drainage. Bij toepassing van systeemgerichte drainage blijft de bergingscapaciteit van het oppervlaktewatersysteem behouden. De agrariër kan zelf de waterhuishouding van het perceel reguleren en is daarbij niet afhankelijk van het regionale waterbeheer.

#### 7.1.1 Verzameling van drainagetechnieken

Systeemgerichte drainage is een verzameling van drainagetechnieken die wordt ingezet om verzilting te bestrijden en de zoetwatervoorraad in de ondergrond te maximaliseren, terwijl de ontwatering van het perceel gehandhaafd blijft. Dit wordt bereikt door de afstand tussen drainagebuizen, het aanlegniveau en het uitstroomniveau beter af te stemmen op de werking van het grondwatersysteem van het perceel.

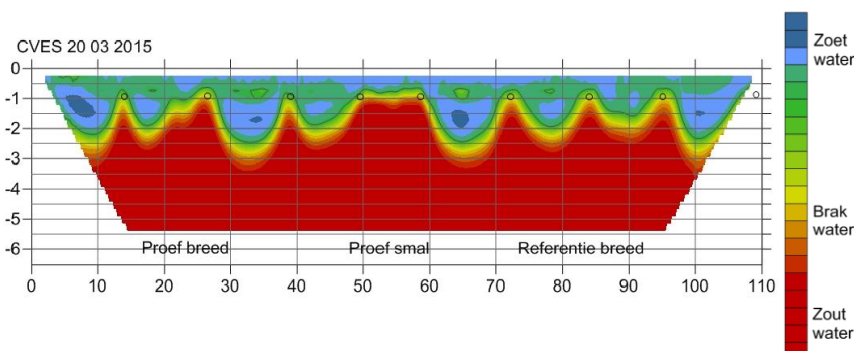


Figuur 30: Schematische weergave van verschillende typen systeemgerichte drainage. De grijs buis signaleert de oude/traditionele drain diepte. De blauwe kleur signaleert de zoetwaterlens en de roodkleur de zoutwaterbel.

Systeemgerichte drainage bestaat uit verschillende type drainagetechnieken. Type A richt zich op het verlagen/wegdrukken van de zoute kwel uit de ondergrond door in het bestaande drainagesysteem een hoger ontwateringsniveau te hanteren (peilopzet) (Figuur 30). Type B richt zich op het dieper afvangen van de zoute kwel door een nieuwe drainage verdiept aan te leggen, waarbij de diepte afhankelijk is van de perceel eigenschappen. Het uitstroomniveau verandert niet ten opzichte van traditionele drainage. Door de diepere ligging van de drains (en een normaal uitstroomniveau) kan zoetwater doordringen tot grotere diepte, óók ter plaatse van de drain zelf. Type C richt zich op het vergroten van het waterbergend vermogen en combineert de peilopzet van



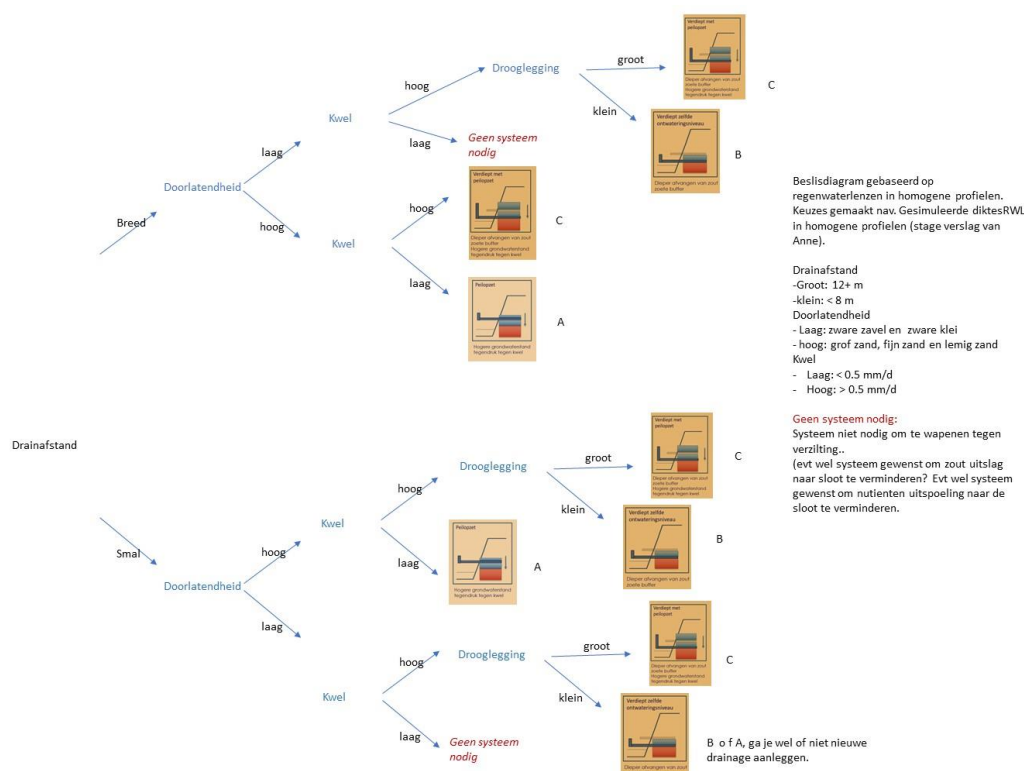
type A met de verdiepte drainage uit type B (Figuur 30). Het primaire doel van type C is het afvangen van kwel zodat bufferruimte ontstaat voor het zoete water. Type C is daarmee geschikt voor gebieden met een hoge kweldruk. Door de hoge kweldruk is de vorming van een zoetwaterlens tot onder de drainage, zoals bij Type A, niet mogelijk.



Figuur 31: CVES-profiel op een Spaarwater proefperceel te Herbaijum, Friesland waarin duidelijk te zien is dat er tussen de drains diepe zoetwaterlenzen gevormd worden met behulp van systeemgerichte drainage (Type A).

## 7.2 Technisch haalbaarheid in Lauwersmeergebied

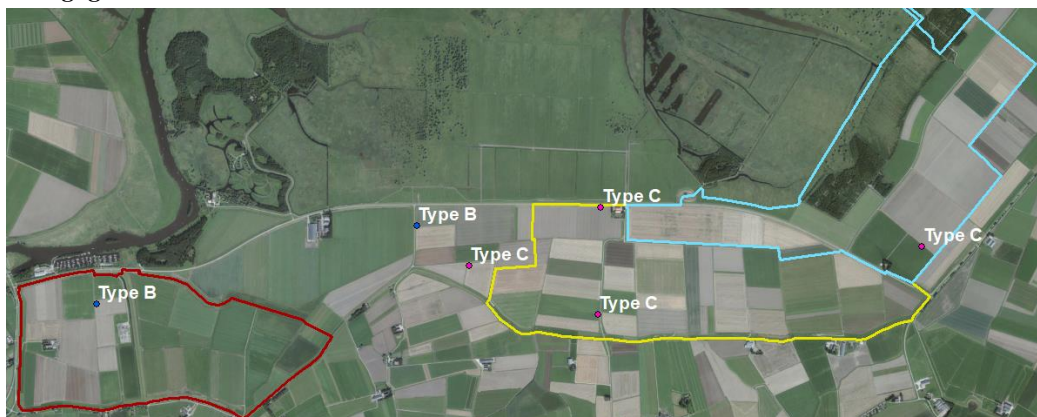
Voor het Lauwersmeergebied is een inschatting gemaakt welke drainage het meest geschikt is. Wanneer welke maatwerkoplossing van systeemgerichte drainage zinvol is hangt samen met perceelkenmerken zoals het bodemtype, de drooglegging, drainafstand en kweldruk. Voor het bepalen van het type is gebruik gemaakt van onderstaand stroomschema. Opgemerkt moet worden dat het een conceptversie betreft dat wordt ontwikkeld binnen het project Spaarwater.



Figuur 32: Voorbeeld van stroomschema waarbij type drainagestelsel wordt bepaald op basis van perceelkenmerken

Op basis van bovengenoemde perceelkenmerken is voor verschillende locaties in het Lauwersmeergebied een inventarisatie gemaakt welke type systeemgerichte drainage het

meest geschikt is (Figuur 33). Omdat niet voor alle parameters gebied dekkende gegevens beschikbaar zijn is er nu een analyse uitgevoerd op basis van de gegevens die op veldbezoek zijn verzameld. De resultaten zijn als puntgegevens hieronder weergegeven.

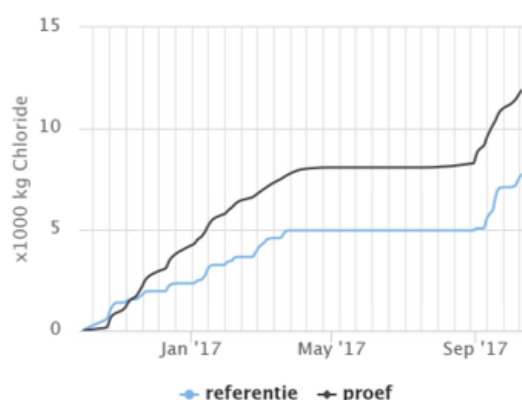


Figuur 33: Inventarisatie systeemtype voor toepassing van systeemgerichte drainage in het Lauwersmeergebied.

Het overgrote deel van dit gebied is geschikt voor drainage type C. Dit is dan ook het type dat wordt aangeraden voor verdere toepassing in het gebied.

### 7.3 Effecten op relatie oppervlaktewater/grondwater

Het toepassen van systeemgerichte drainage (typen A, B en C) hebben een aantoonbaar positief effect op de uitstroom van nutriënten. Voor type A (peilgestuurde drainage) geldt dat minder water van het perceel wordt afgevoerd. Bij gelijkblijvende nitraatgehalten wordt door de verlaagde afvoer effectief de totale vracht (in kilogrammen) naar de sloot verkleind. Voor type B en C (verdiepte aanleg drainage) geldt dat door het vergroten van de transportafstand tussen het maaiveld en de drainage de verblijftijd van het grondwater toeneemt, waardoor reductie van nitraat en vastlegging van fosfaat worden gestimuleerd. Uit metingen in de pilots blijkt dat bij de toepassing van type A en C zowel de concentratie van nitraat en nitriet als de vracht kleiner waren.



Figuur 34: :Afname zoutvracht naar poldersysteem bij Type C drainage

### 7.4 Economische haalbaarheid

Systeemgerichte drainage ondervindt geen schaalvoordeel zoals we dit bij ondergrondse opslag zullen zien, ongeacht het aan te leggen oppervlak blijft de hectareprijs hetzelfde. Een belangrijke parameter die de investeringskosten beïnvloeden is de mate van kwel en de daaruit volgende drainafstand. In percelen met een normale kweldruk worden de drainagebuizen om de 10 meter gelegd. In percelen met een hoge kweldruk kan een

kleinere drainafstand gewenst zijn om in combinatie zout tegen te houden en tevens meer tegendruk te kunnen genereren voor het ontstaan van de regenwaterlenzen dan wel zoetwater buffer tussen de drains.

Tabel 14. Overzicht geschatte kosten systeemgerichte drainage 10 meter / 7 meter

Parameter	Kosten drainafstand 10 meter	Kosten drainafstand 7 meter
Drainage	€ 24.340,- /10ha	€ 29.400,- /10ha

De kosten (zie Tabel 15) zijn een totaal van investerings-, gebruiks- en onderhoudskosten. De investeringskosten voor systeemgerichte drainage bedragen €24.340,-/ 10 hectare. De gebruiks- en onderhoudskosten zijn in het algemeen niet, of minimaal, aanwezig. De technische levensduur van het systeem is 15 jaar. Om waardeveranderingen voor de toekomst te verwerken is ook een discontovoet van 3% meegerekend voor de technische levensduur van de systeemgerichte drainage.

Tabel 15. Geschatte kosten per hectare van systeemgerichte drainage.

Parameter	Kosten drainafstand 10 meter	Kosten drainafstand 7 meter
Totaal / 10 hectare	€ 24.340,-	€ 29.400,-
Totaal/hectare	€ 2.434,-	€ 2940,-
Totaal/hectare/jaar	€ 160,-	€ 195,-

#### 7.4.1 Vermeden schade

Systeemgerichte drainage draagt voornamelijk bij aan het voorkomen van zoutschade in de wortelzone. Het versterken van de neerslaglenzen en de extra aanwezigheid van bodemvocht werkt ook positief door op het verminderen van de droogteschade (zie hoofdstuk 6). De vermeden zoutschade wordt bepaald door de schade van een expliciet chloridegehalte in de wortelzone te bepalen en deze te koppelen aan de gemiddelde opbrengst van het gewas. Deze berekeningen zijn op het moment van schrijven niet beschikbaar. In een vervolgstudie is dit een belangrijke parameter voor het bepalen van de economische haalbaarheid van systeemgerichte drainage.

# 8

## Conclusie en aanbevelingen

### 8.1 Conclusies

In het projectgebied werken LTO Noord, Programma naar een Rijke Waddenzee, Stichting Proefboerderijen Noordelijke Akkerbouw, Deltaprogramma Agrarisch Waterbeheer en agrariërs samen om invulling te geven aan de uitdaging die zoetwaterbeschikbaarheid is rond het Lauwersmeer. Dit initiatief krijgt vorm onder de projectnaam 'Zoet op Zout'. Het betreft een breed initiatief dat zich richt op een verbeterd beheer van het beschikbare zoete grondwater en het daarmee een optimalisatie van de productieomstandigheden voor de akkerbouw. Het programma is opgezet rondom onderzoeksdoelen gericht op waterbeschikbaarheid in relatie tot bodemdaling, klimaatverandering, zeespiegelstijging, kweldruk grondwater en beschikbaarheid zoet oppervlaktewater.

In de studie 'Zoet op Zout', dat in voorliggende rapportage is beschreven, zijn de deelprojecten "Toekomstbestendig regionaal waterbeheer" en "Haalbaarheid Spaarwater technieken" verkend op haalbaarheid. De bijhorende onderzoeksdoelen zijn:

- Het ontwikkelen van een scenario voor het regionaal waterbeheer in het projectgebied dat toekomstbestendig is i.r.t. klimaatverandering, zeespiegelstijging, toename kweldruk en afname zoetwater beschikbaarheid. Het vergroten van de zelfvoorzienendheid is hierbij het doel;
- Het ontwikkelen van maatwerk middels "Spaarwater-technieken", hier systeemgerichte drainage, voor het projectgebied die toepasbaar zijn op de aanwezige agrarische bedrijven en die efficiënt en kosteneffectief kunnen worden ingezet;
- Het ontwikkelen van een "Spaarwater-techniek" met een eigen ondergrondse, onbesmette, zoetwatervoorraad, waarmee in droge tijden de productie kan worden gegarandeerd van hoog redenerende teelten.

Er is in deze studie gericht gekeken naar een klein gebied bij het Lauwersmeer. De conclusies zijn ook van toepassing op grote gebieden rondom het Lauwersmeer.

#### Regionaal waterbeheer

In een agrohydrologische analyse is de huidige situatie van het waterbeheer in het Lauwersmeergebied in beeld gebracht. In de analyse zijn de watervraag en waterbehoefte vastgesteld en is een watersysteemanalyse uitgevoerd. De analyse vormt de basis voor de ontwikkeling van toekomstscenario's voor het waterbeheer. Op de onderzoeksvraag 'Is het mogelijk om een scenario te ontwikkelen waarbij het regionaal waterbeheer zo wordt aangepast dat het toekomstbestendig is en de zoetwatervoorziening wordt vergroot?' kan het volgende antwoord worden gegeven:

- Zoetwater aanvoer is geen realistische oplossing voor het Lauwersmeergebied. De ligging van het gebied en de verbinding met het regionale watersysteem maken aanvoer technisch complex. Deze conclusie geldt voor alle onderzochte scenario's, dus zowel die met een hoge als een lage doorspoelhoeveelheid.

- Naast het Lauwersmeergebied zijn er mogelijkheden in omliggende polders, de Uitlandpolder en de Negenboerenpolder, het regionaal waterbeheer te optimaliseren. In de Uitlandpolder bevindt zich een inlaatpunt en is met behulp van stuwen uitlaat te creëren. Tijdens de studie is geconcludeerd dat in de huidige situatie geen inlaat plaats vindt. Dit maakt de polder een goede locatie om verschillende inlaat en doorspoel varianten te testen. Ook de Negenboerenpolder biedt mogelijkheden. Hier wordt op kleine schaal water ingelaten, recentelijk is een extra stuw aangelegd die dit goed kan faciliteren. Daarnaast is binnen Spaarwater II het animo onder de agrariërs verkend en zij zijn enthousiast over proeven met inlaatbeheer.

### Spaarwatertechnieken

Op perceel-, bedrijfs-, en polderschaal is de haalbaarheid van de Spaarwater-technieken verkend. De hoofdconclusie is dat Spaarwater-technieken haalbaar zijn in het Lauwersmeergebied en dus kunnen bijdragen aan de zoetwaterbeschikbaarheid.

### Systeemgerichte drainage

Het Lauwersmeergebied is zeer geschikt voor het aanleggen van drainage 'Type C', ofwel het verdiept aanleggen van de drainage inclusief peilopzet. Dit type drainage is gericht op het vergroten van het waterbergend vermogen en is geschikt in gebieden met een hoge kweldruk. Geadviseerd wordt tijdens de verdere uitwerking van de Spaarwater maatregelen op dit type drainage te focussen.

Voor systeemgerichte drainage geldt dat de investering wordt beïnvloed door de drainafstand. De drainafstand is afhankelijk van de kweldruk. Als de kweldruk hoog is worden de drains op een kortere afstand, 7 meter, van elkaar geplaatst. Bij een gemiddelde kweldruk worden de drains op 10 meter van elkaar geplaatst. De kosten van deze toepassingen zijn respectievelijk €195,-/ha/jaar en €160,-/ha/jaar. Gezien de schade die door het versterken van de regenwaterlenzen wordt vermeden zijn deze technieken een interessante investering voor een duurzame bedrijfsvoering.

### Zelfvoorzienend met ondergrondse opslag

Op bedrijfsniveau geldt dat het beschikbaar maken van voldoende zoetwater (zelfvoorzienend worden) goed te realiseren is met de toepassing van systeemgerichte drainage in combinatie met ondergrondse opslag. Dit is getoetst aan een praktijkvoorbeeld in het laagstgelegen, fysische ongunstige, locatie binnen het gebied. De kosten van de Spaarwatertechniek ondergrondse opslag 10 hectare en 100 hectare zijn respectievelijk circa €600,-/ha/jaar en €300,- ha/jaar.

Ondergrondse opslag is ook op polderschaal geanalyseerd. Aan de hand van een praktijkvoorbeeld is te concluderen dat het systeem efficiënter wordt, in termen van waterbeschikbaarheid, door schaalvergroting. Door een groter areaal te betrekken is het mogelijk om meer water te bergen en de zelfvoorziening te vergroten. Door hoogteverschillen vindt meer uitstroom van zoet drainagewater plaats in hoger gelegen delen van de polder in het zuiden. De invloed van zoute kwel is hier lager waardoor meer water beschikbaar is voor ondergrondse opslag. Een middelgroot ondergrondse opslagsysteem, 100 hectare, kan hiermee voldoende water bergen om te voldoen aan de watervraag voor een karakteristiek droogtejaar dat ééns in de vijf jaar voorkomt. Hierbij wordt de infiltratiegrens van een EC van 2mS/cm aangehouden.

Tabel 16. Samenvattende tabel ten aanzien van effecten per systeem

Methode/beoordeling	Technische haalbaarheid	Effecten op watersysteem <sup>5</sup>	Economische haalbaarheid
Wateraanvoer Geheel watersysteem*			
Wateraanvoer hoofdsysteem*			
Ondergrondse opslag (10 ha systeem)			
Ondergrondse opslag (100 ha systeem)			
Systeemgerichte drainage (10 m)			
Systeemgerichte drainage (7m)			

Kleur						
waardering	positief	Beperkt positief	Neutraal	Beperkt negatief	Negatief	onbekend

\* gemaakte beoordeling geldt voor het Lauwersmeergebied. In de omgeving zijn er zoals aangegeven wel polders die geschikt zijn voor deze oplossingsrichting, zoals de Negenboerenpolder

## 8.2 Aanbevelingen

Het gebied rond het Lauwersmeer, dus ook buiten de in deze studie beschouwde gebieden, leent zich voor het uitvoeren van het beoogde project “Zoet op Zout”. Het betreft dan de onderdelen “Toekomstbestendig regionaal waterbeheer” en “Sparwatertechnieken”. Onderstaande aanbevelingen volgen uit de conclusies van deze verkenning en ondersteunen uitvoering van de vervolgstudie.

Deze studie is ‘slechts’ een verkenning naar de mogelijkheden. Een nadere uitwerking en uitvoering in een pilotsetting van het project “Zoet op Zout” wordt aanbevolen. Het gebied leent zich voor grootschalige toepassing van de Sparwater-technieken ondergrondse opslag en systeemgerichte drainage. Het gebied kan door uitvoering van de pilots als voorbeeld dienen voor een toekomstbestendig watersysteem in Nederland en internationaal.

Naast een nadere technische uitwerking wordt aanbevolen om in “Zoet op Zout” uitgebreider kosten in kaart te brengen en nog belangrijker, een baten-onderzoek uit te voeren. En ook om hier het onderzoek naar droogte- en zouttolerantie van teelten aan te koppelen (deelproject 4). De koppeling zal zich richten op zowel de uitwerking van vermeden zoutschade als de vermeden droogteschade. Daarnaast zullen ook de neveneffecten zoals het verminderen van de piekafvoer en het verlagen van de nutriënten uitstroom uitgewerkt moeten worden. Zodra de technieken in de praktijk worden geïmplementeerd levert dit essentiële informatie over de economische haalbaarheid in de Waddenregio en rest van Nederland.

<sup>5</sup> Effecten watersysteem bevatten bekende effecten op de waterkwaliteit zoals Nutriënten afvoer naar sloten en piekafvoer etc. Het effect op het grondwater door infiltratie van het water is niet beoordeeld. Nader onderzoek is hiervoor noodzakelijk.







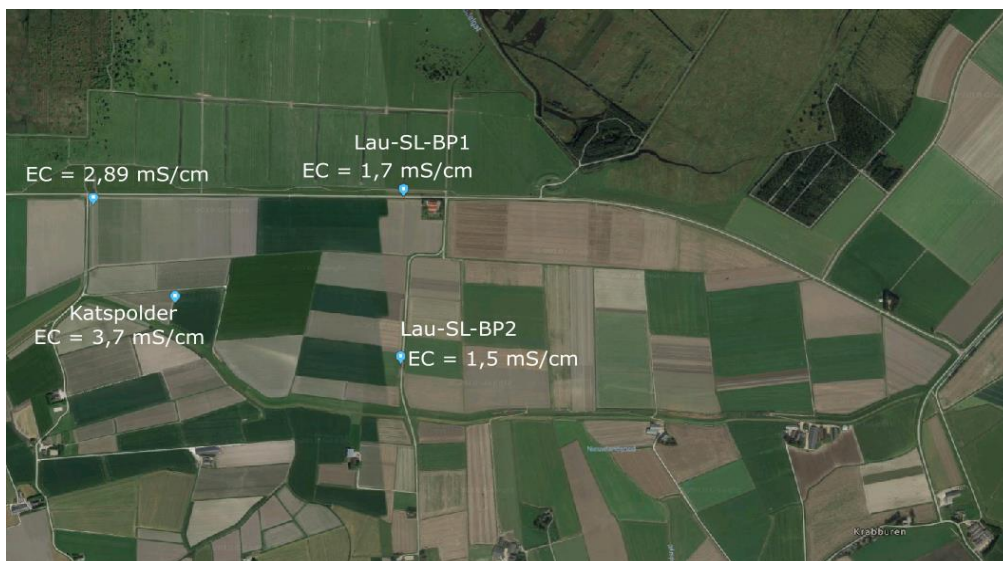
# Bijlagen

# Bijlage 1 – Geleidbaarheidsmetingen

Op 7 mei 2018 is tijdens een veldwerkbezoek aan het Lauwersmeergebied op diverse plaatsen de geleidbaarheid van het oppervlaktewater bemeaten.



Figuur 35: Geleidbaarheidsmetingen in de Eskespolder.



Figuur 36: Geleidbaarheidsmetingen in de Bijkerspolder.



Figuur 37: Geleidbaarheidmeting in de Zoutkamperplaat.

## Bijlage 2 - Waterbalansmodel

De waterbalans geeft inzicht in de bijdrage van het al dan niet doorspoelen aan de verlaging van het zoutgehalte en de benodigde hoeveelheden water voor doorspoeling. Tevens kunnen de resultaten bijdragen aan het afwegen van maatregelen die de waterkwaliteit van het grondwater en oppervlaktewater verbeteren.

Voor de waterbalans is onderscheid gemaakt tussen het oppervlaktewater en de percelen. In Excel is een oppervlaktewaterbalans opgesteld waarvoor één van de inkomende posten de afstroom van de percelen is. Andere posten van de oppervlaktewaterbalans zijn neerslag, verdamping, kwel, inlaat en uitlaat.

$$\text{Neerslag} + \text{Kwel} + \text{Afstroom percelen} + \text{Inlaat} = \text{Verdamping} + \text{Uitlaat}$$

Het waterbalansmodel is gemaakt voor het oppervlaktewater. Op dagbasis wordt voor elke tijdstap (t) elke in- en uitgaande post berekend. In het perceelmodel (ook opgezet in Excel) wordt op dagbasis de afvoer van de percelen berekend uit de processen die zich afspelen in de onverzadigde zone en het ondiepe grondwater. Er is een koppeling gerealiseerd tussen de oppervlaktewaterbalans en het perceelmodel.

### Oppervlaktewater kwantiteit

Neerslag, kwel en verdamping worden vermenigvuldigd met het totaal oppervlak aan oppervlaktewater in het gebied. Vanaf de percelen komt een hoeveelheid water en er kan water ingelaten of uitgeslagen worden.

Wanneer er een verschil is tussen in- en uitgaande posten zorgt berging voor peilverandering. De grootte van de peilverandering wordt bepaald door de hoeveelheid berging gedeeld door het wateroppervlak.

$$\text{Peil}(t) = \text{Peil}(t-1) + \frac{\text{Berging}(t)}{\text{Oppwater}}$$

De peilverandering wordt binnen bepaalde grenzen gehouden door de drempelwaarde voor uitslag. Als het peil onder een minimumwaarde komt wordt automatisch water ingelaten in de polder.

$$\text{Peil}(t) + \frac{\Delta V(t)}{\text{Oppwater}} < \text{Peil}_{\min}$$

Er wordt water uitgeslagen als het peil boven het maximumpeil komt. Het maximumpeil is het aanslagpeil van het gemaal.

$$\text{Peil}(t) + \frac{\Delta V(t)}{\text{Oppwater}} > \text{Peil}_{\text{aanslag gemaal}}$$

Er wordt water uitgeslagen tot het peil op het minimumpeil komt (afslagpeil gemaal).

$$\text{Uitslag}(t) = (\text{Peil}(t) - \text{Peil}_{\text{afslag}}) * \text{Oppwater} + \Delta V(t)$$

De hoeveelheid uitslag per dag kent een bovengrens die bepaald wordt door de maximumcapaciteit van het gemaal. Het peil kan boven het maximumpeil komen als de maximum uitslagcapaciteit te klein is om de benodigde hoeveelheid water uit te malen.

In het Lauwersmeergebied is er geen sprake van inlaat, waarmee deze post komt te vervallen.

#### Oppervlaktewaterkwaliteit

Aan iedere in- en uitgaande post van de waterbalans wordt een chloridegehalte toegekend. De toename in hoeveelheid chloride wordt berekend door elke in- of uitgaande post te vermenigvuldigen met het chloridegehalte van deze post.

$$\Delta m_{Cl} = P(t) * Cl_P + K(t) * Cl_K + Inlaat(t) * Cl_{Inlaat} + Perceelafstroom(t) * Cl_{Perceelafstroom}(t) + Cl_{opp.water,ber.}(t-1) * Uitslag(t)$$

Het chloridegehalte van het oppervlaktewater is de hoeveelheid aanwezige chloride in het systeem gedeeld door het totale volume oppervlaktewater (op t - 1) plus de toe- of afname.

$$Cl_{opp.water,ber.}(t) = \frac{Cl_{opp.water,ber.}(t-1) * V(t-1) + \Delta m_{Cl}}{V(t)}$$

Afhankelijk van het chloridegehalte van de in- of uitgaande post treedt verdunning of juist toename van het chloridegehalte op.

#### Afstroom percelen

Voor het modelleren van de processen op perceelschaal is het perceelmodel opgezet in excel. Dit model simuleert het transport van water en chloride in de bodem op perceelschaal. Omdat in de zone boven het grondwater de transportrichting hoofdzakelijk verticaal is, is het model 1-dimensionaal. Het perceelmodel houdt rekening met neerslag, verdamping en kwel.

Voor het perceelmodel is de volgende waterbalans van toepassing:

$$Netto\ neerslag + Kwel = Makkink\ gewasverdamping + Drainage$$

De bovengrens van het model is het maaiveld met of zonder gewas. Randvoorwaarden zijn de meteorologische condities. In deze studie zijn hiervoor neerslag en Makkink-referentieverdamping gebruikt. Afstroming van grondwater naar de watergangen via drains en greppels treedt op als de grondwaterstand de drain- en greppelniveaus bereikt. De ondergrens van het model beschrijft de interactie met het (regionale) grondwater. Als randvoorwaarde is in deze studie de kwelflux genomen.

Het perceelmodel geeft een afstroomhoeveelheid per dag in een debiet (m<sup>3</sup>/d) welke in het oppervlaktewatermodel wordt omgerekend naar een perceel afstroomhoeveelheid per polderoppervlakte.

$$Q_{perc_i}(t) = Opp_{land} * q_{i,afstroompercelen}$$

Het perceelmodel geeft de chloridestromen in hoeveelheden per dag (g/d) welke in het oppervlaktewatermodel wordt omgerekend naar een perceel hoeveelheid per polderoppervlakte.

$$Cl_{perc_i}(t) = Opp_{land} * Cl_{i,afstroompercelen}$$

## Bijlage 3 - Kalibratie waterbalans

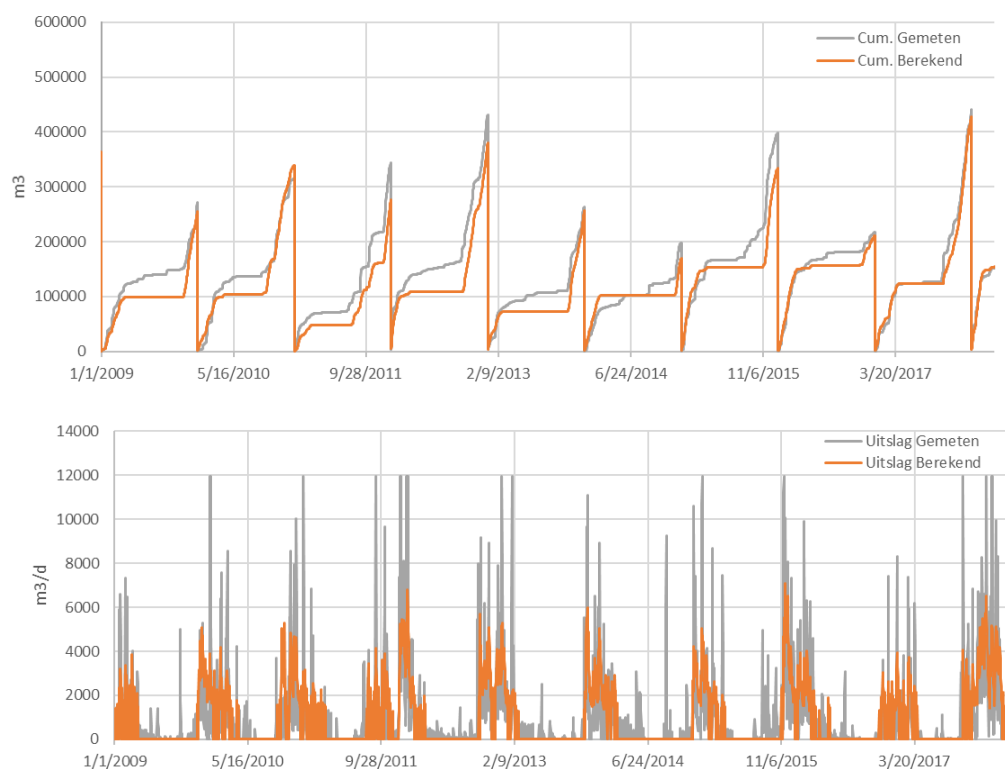
Om te toetsen of de waterbalans een goed beeld geeft van het watersysteem is getracht een kalibratie uit te voeren met de maalstaten van de poldergemalen in het Lauwersmeergebied. Hiervoor zijn de gegevens uit Tabel 1 gebruikt.

Tabel 17: Herkomst van de gebruikte gegevens voor het waterbalansmodel.

Type	Bron
Neerslag en verdamping	KNMI-weerstation Lauwersoog
Gemeten chloride gehalte	Waterschap Noorderzijlvest
Maalstaten Eskespolder, Zoutkamperplaat	Waterschap Noorderzijlvest
Afmetingen watergangen	INTWIS, Leggerdata
Gegevens maaiveldhoogte	AHN

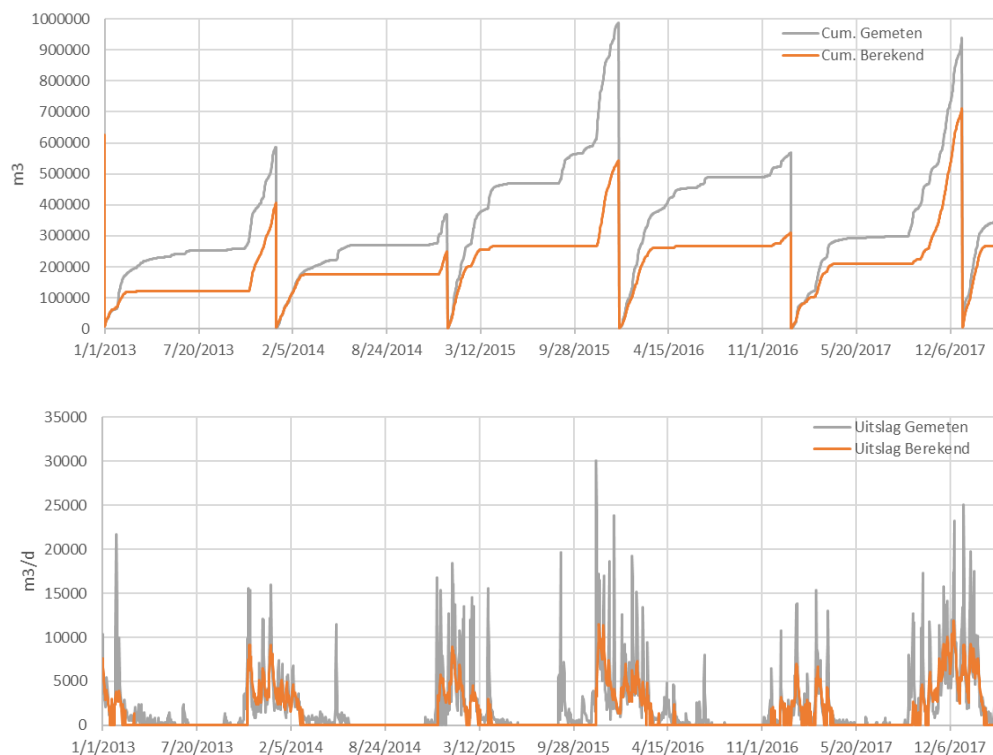
### Maalstaten en kalibratie

Uit de vergelijking van de cumulatieve maalstaten met de resultaten van de waterbalans in de Eskespolder kan worden vastgesteld dat het model de werkelijkheid goed simuleert. De afwijking in de jaren 2009-2016 heeft te maken met afwijkend peilbeheer in de Eskespolder.



Figuur 38: Kalibratie van de Eskespolder. Boven: de cumulatief uitgeslagen hoeveelheden. Beneden: de dagelijks uitgeslagen hoeveelheden.

De waterbalans van de Zoutkamperplaat laat een grotere afwijking zien. In werkelijkheid kan het afvoergebied van de Zoutkamperplaat groter zijn dan waar in deze waterbalans rekening mee is gehouden. Hierdoor is de cumulatief uitgeslagen hoeveelheid kleiner.

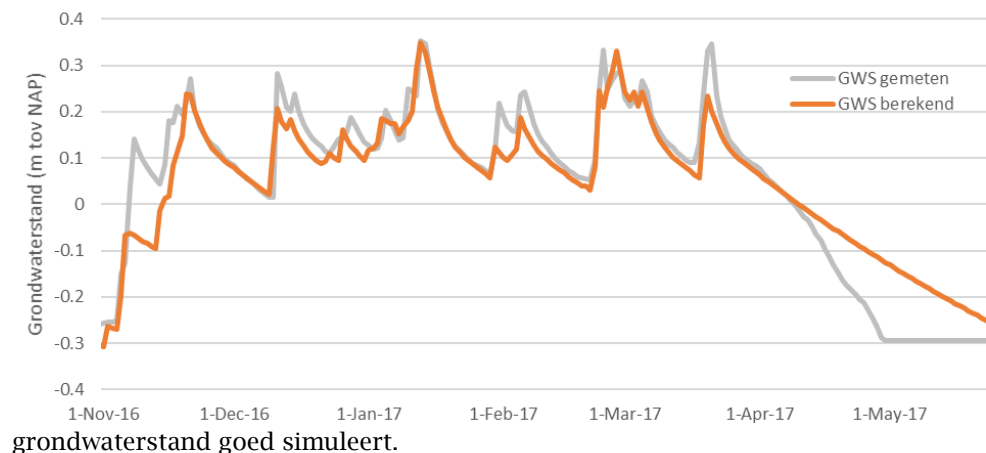


Figuur 39: Kalibratie van de Zoutkamperplaat. Boven: de cumulatief uitgeslagen hoeveelheden. Beneden: de dagelijks uitgeslagen hoeveelheden.

De waterbalans van de Bijkerspolder kan bij ontbreken van een gemaal en maalstaten niet vergeleken worden met gemeten waarden.

#### Grondwaterstand perceelmodel

Op basis van grondwaterstandsmetingen op twee percelen in de Bijkerspolder is het perceelmodel geïjkt. Uit de vergelijking van gemeten en gesimuleerde grondwaterstand kan worden vastgesteld dat het perceelmodel de



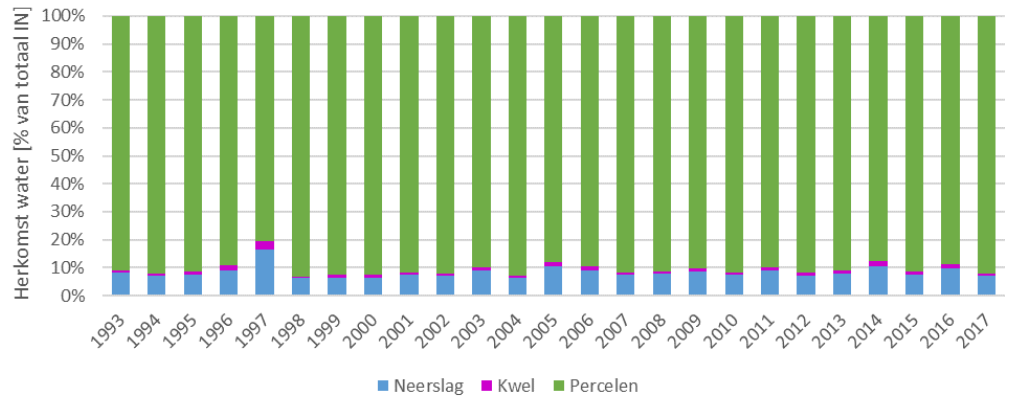
grondwaterstand goed simuleert.

Figuur 40: Gemeten en gesimuleerde grondwaterstand in een perceel in de Bijkerspolder.

## Bijlage 4 – Resultaten waterbalans

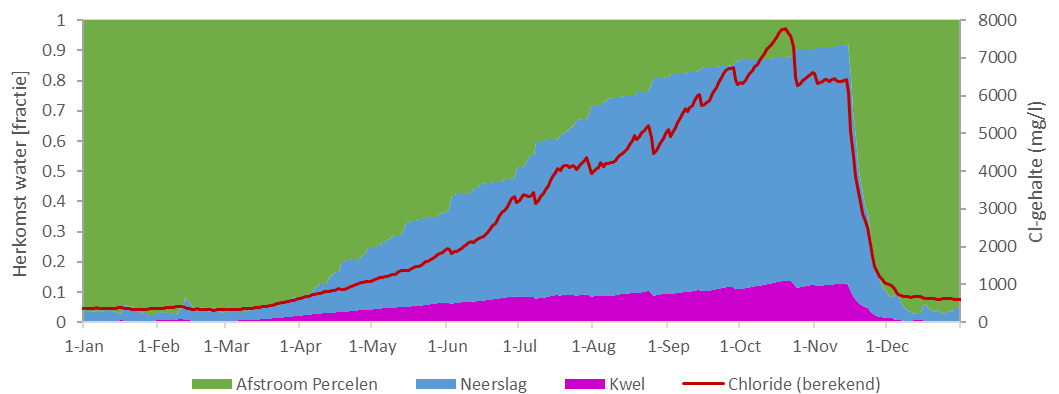
### Eskepolder

Voor de Eskepolder is de bijdrage van de percelen aan de waterbalans in veel gevallen meer dan 90%. In het droge jaar 1997 is er een zichtbaar kleinere bijdrage van de percelen.



Figuur 41: Herkomst inkomend water Eskepolder als percentage van totaal inkomend water op jaarbasis.

Analyse van de waterbalans op maandbasis geeft inzicht in het verloop van de hoeveelheden instromend water. Ook hier speelt de afstroom van percelen een grote rol. In de zomer, wanneer er weinig afstroom van de percelen is, domineert de fractie kwel en neerslag. In de zomer is kwel dan ook de grootste leverancier van zout.

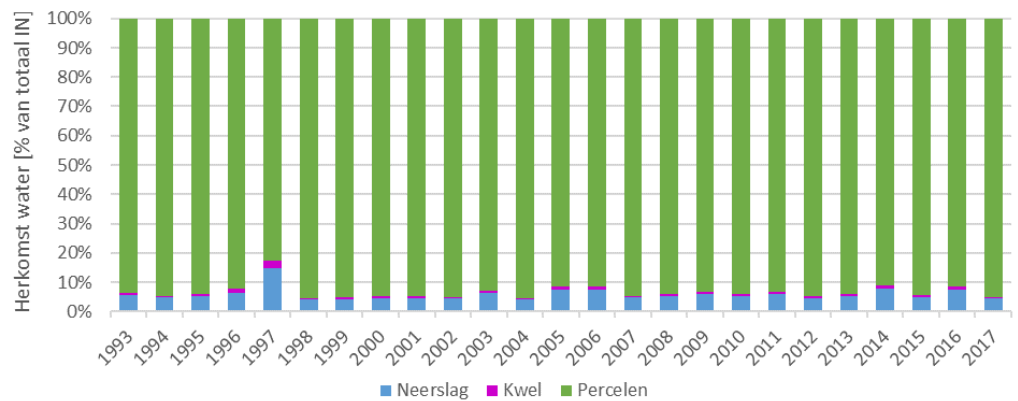


Figuur 42: Herkomst inkomend water Eskepolder als percentage van totaal inkomend water op dagbasis. De rode lijn representeert het chloridegehalte in het oppervlaktewater.

### Bijkerspolder

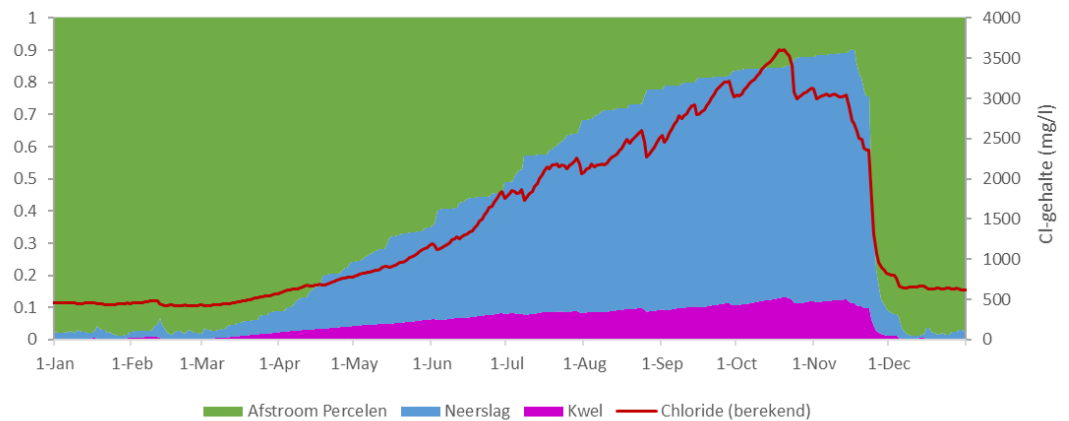
Voor de Bijkerspolder is de bijdrage van de percelen aan de waterbalans in veel gevallen meer dan 90%. In het droge jaar 1997 is er een zichtbaar kleinere bijdrage van de percelen.





Figuur 43: Herkomst inkomend water Bijkerspolder als percentage van totaal inkomend water op jaarbasis.

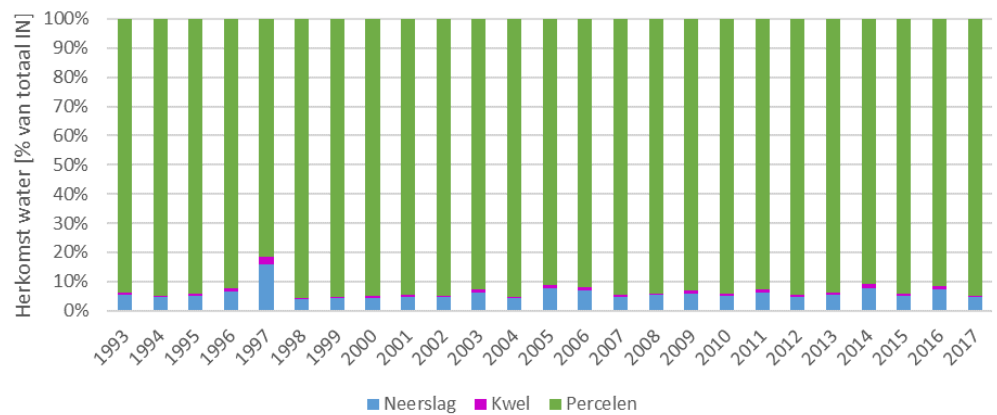
Analyse van de waterbalans op maandbasis geeft inzicht in het verloop van de hoeveelheden instromend water. Ook hier speelt de afstroom van percelen een grote rol. In de zomer, wanneer er weinig afstroom van de percelen is, domineert de fractie kwel en neerslag. In de zomer is kwel dan ook de grootste leverancier van zout.



Figuur 44: Herkomst inkomend water Bijkerspolder als percentage van totaal inkomend water op dagbasis. De rode lijn representeert het chloridegehalte in het oppervlaktewater.

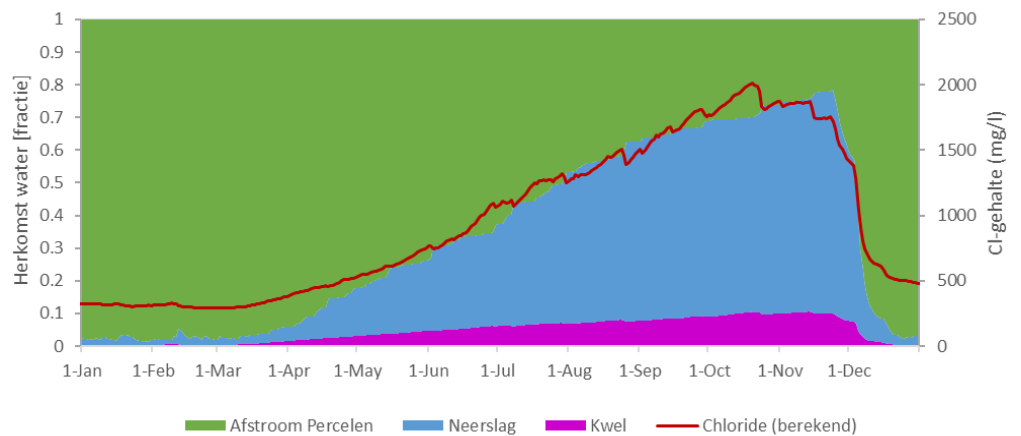
### Zoutkamperplaat

Voor de Zoutkamperplaat is de bijdrage van de percelen aan de waterbalans in veel gevallen meer dan 90%. In het droge jaar 1997 is er een zichtbaar kleinere bijdrage van de percelen.



Figuur 45: Herkomst inkomend water Zoutkamperplaat als percentage van totaal inkomend water op jaarbasis.

Analyse van de waterbalans op maandbasis geeft inzicht in het verloop van de hoeveelheden instromend water. Ook hier speelt de afstroom van percelen een grote rol. In de zomer, wanneer er weinig afstroom van de percelen is, domineert de fractie kwel en neerslag. In de zomer is kwel dan ook de grootste leverancier van zout.



Figuur 46: Herkomst inkomend water Zoutkamperplaat als percentage van totaal inkomend water op dagbasis. De rode lijn representeert het chloridegehalte in het oppervlaktewater.

# Bijlage 5 Verzoeting door inlaat

## Eskepolder

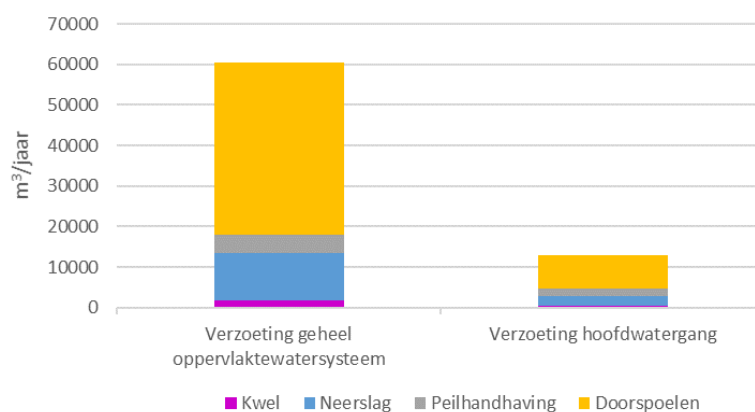
### Scenario: Verzoeting oppervlaktewater systeem

In de huidige situatie is er geen inlaat van gebiedsvreemd water in de Eskepolder. In het licht van toekomstig waterbeheer is het berekenen van de effecten van aanvoer van gebiedsvreemd water op het oppervlaktewatersysteem interessant. Er zijn twee scenario's van inlaat doorgerekend, waarbij is gestreefd naar een chloridegehalte van 830 mg/l (EC=3) in de maanden mei en juni. Dit is overeenkomstig de inlaatstrategie van de Negenboerenpolder in Groningen. De scenario's betreffen het verzoeten van het gehele oppervlaktewatersysteem (i.e. primaire, secundaire en tertiaire watergangen) en het verzoeten van enkel de hoofdwatergangen.

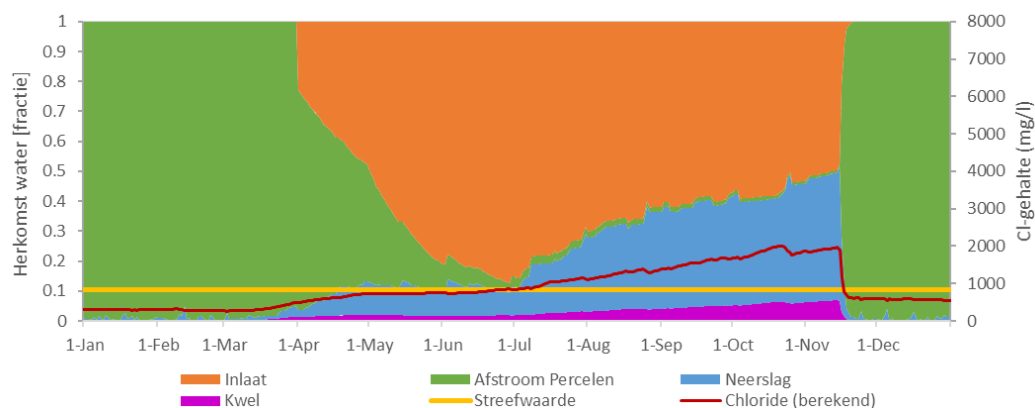
Het aanvoeren van 9900 m<sup>3</sup> gebiedsvreemd water naar de hoofdwatergang blijkt genoeg om de streefwaarde van 830 mg/l te bereiken. Wanneer het gehele oppervlaktewatersysteem wordt verzoet is dit bijna het vijfvoudige, namelijk 47000 m<sup>3</sup>.



Figuur 47: Verzoetingsscenario's. Links: enkel hoofdwatergangen. Rechts: geheel oppervlaktewatersysteem.



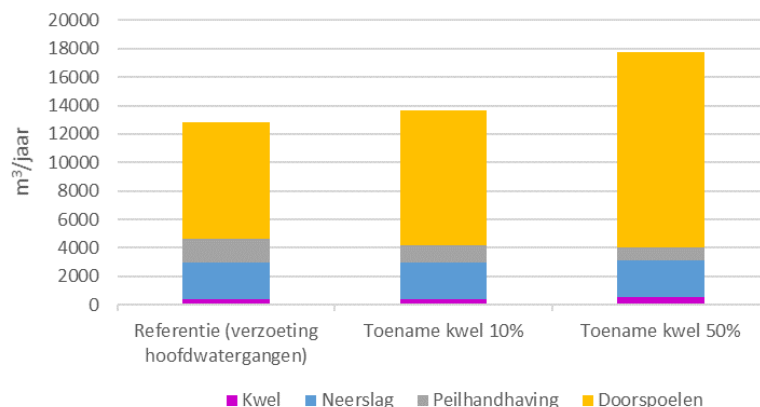
Figuur 48: Waterbalans in de zomerperiode (apr-sept) bij verschillende scenario's van verzoeting van het oppervlaktewatersysteem tot een streefwaarde van 830 mg/l (EC=3).



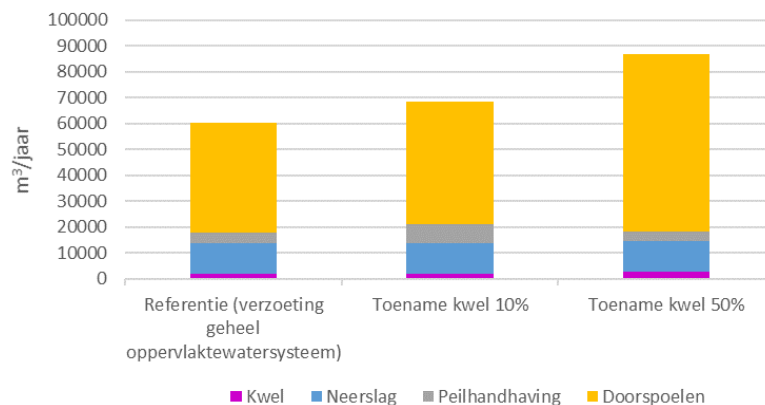
Figuur 49: Herkomst inkomend water Eskepolder bij verzoefing van de hoofdwatgangen als percentage van totaal inkomend water op dagbasis. De rode lijn representeert het chloridegehalte in het oppervlaktewater in relatie tot de streefwaarde (gele lijn).

**Scenario: Toename kweldruk**

Zeespiegelstijging en bodemdaling kunnen in de toekomst leiden tot een toename van de kweldruk op het oppervlaktewatersysteem. Bij een 50% toename van de kweldruk is er voor de verzoefing van hoofdwatgangen en het gehele systeem respectievelijk 48% en 55% meer doorspoelwater vereist om de streefwaarde van EC=3 te bereiken.



Figuur 50: Waterbalans in de zomerperiode (apr-sept) bij verzoefing van de hoofdwatgangen en toename van de kweldruk. Streefwaarde chloridegehalte 830 mg/l (EC=3)



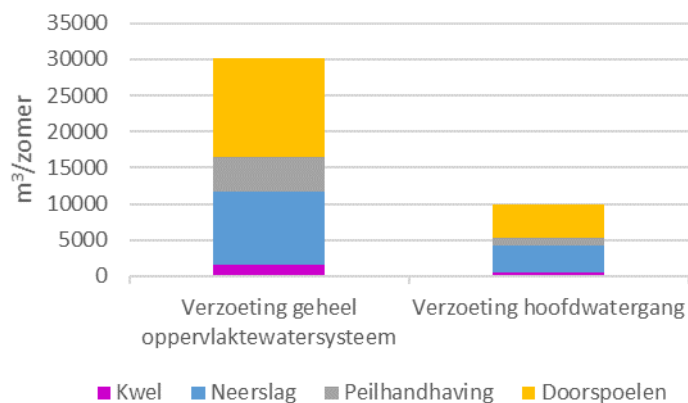
Figuur 51: Waterbalans in de zomerperiode (apr-sept) bij verzoeting van het oppervlaktewatersysteem en toename van de kweldruk. Streefwaarde chloridegehalte 830 mg/l (EC=3)

### Bijkerspolder

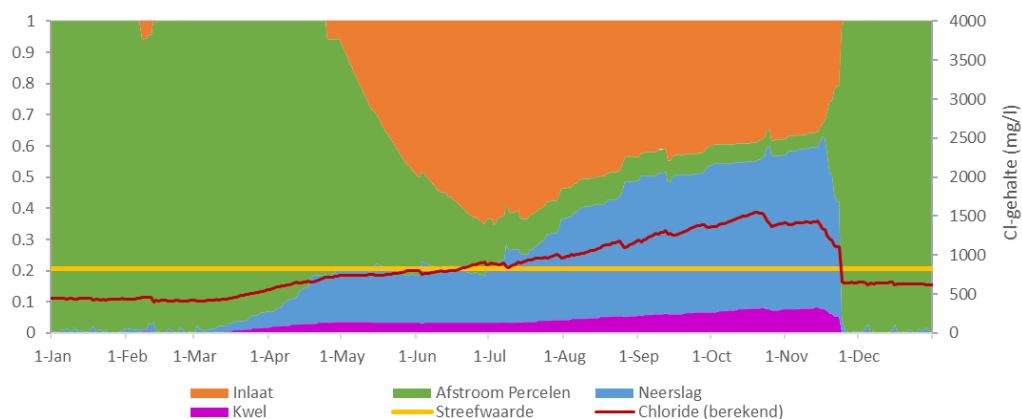
#### **Scenario: Verzoeting oppervlaktewater systeem**

In de huidige situatie is er geen inlaat van gebiedsvreemd water in de Bijkerspolder. In het licht van toekomstig waterbeheer is het interessant te kijken naar de effecten van aanvoer van gebiedsvreemd water op het oppervlaktewatersysteem. Er zijn twee scenario's van inlaat doorgerekend, waarbij is gestreefd naar een chloridegehalte van 830 mg/l (EC=3) in de maanden mei en juni. Dit is overeenkomstig de inlaatstrategie van de Negenboerenpolder in Groningen. De scenario's betreffen het verzoeten van het gehele oppervlaktewatersysteem (i.e. primaire, secundaire en tertiaire watergangen) en het verzoeten van enkel de hoofdwatgangen.

Het aanvoeren van 5700 m<sup>3</sup> gebiedsvreemd water naar de hoofdwatgang blijkt genoeg om de streefwaarde van 830 mg/l te bereiken. Wanneer het gehele oppervlaktewatersysteem wordt verzoet is dit meer dan het drievoudige, namelijk 18500 m<sup>3</sup>.



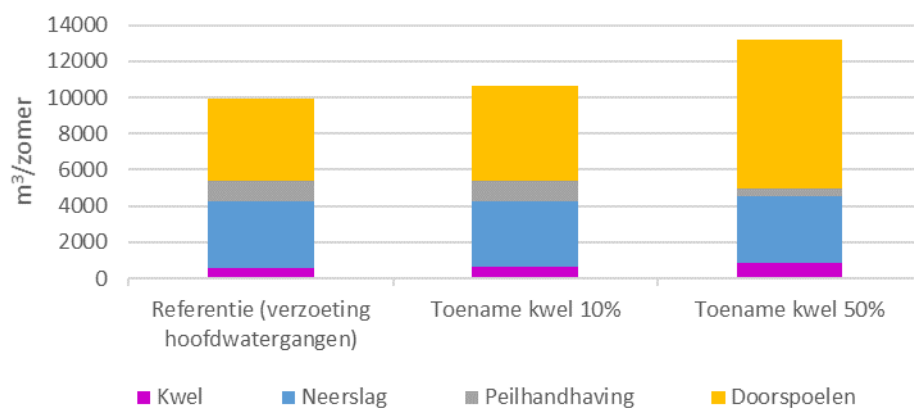
Figuur 52: Waterbalans in de zomerperiode (apr-sept) bij verschillende scenario's van verzoeting van het oppervlaktewatersysteem.



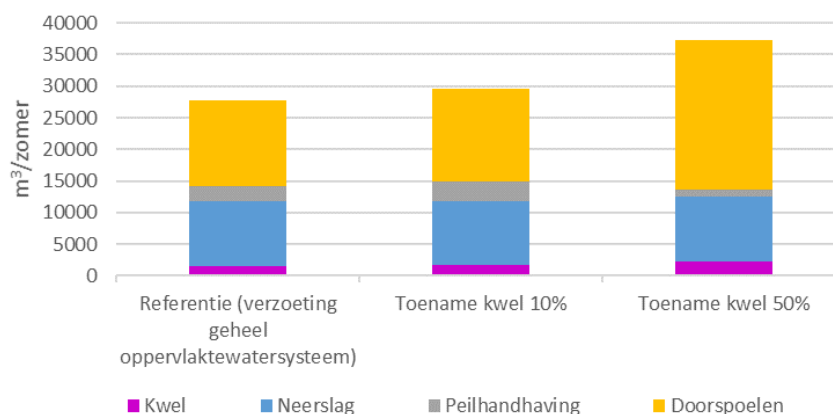
Figuur 53: Herkomst inkomend water Bijkerspolder bij verzoeting van de hoofdwatgangen als percentage van totaal inkomend water op dagbasis. De rode lijn representeert het chloridegehalte in het oppervlaktewater in relatie tot de streefwaarde (gele lijn).

**Scenario: Toename kweldruk**

Zeespiegelstijging en bodemdaling kunnen leiden tot een toename van de kweldruk op het oppervlaktewatersysteem. Bij een 50% toename van de kweldruk is er in beide verzoetingsscenario's 36% meer doorspoelwater vereist om de streefwaarde van EC=3 te bereiken



Figuur 54: Waterbalans in de zomerperiode (apr-sept) bij verzoeting van de hoofdwatgangen en toename van de kweldruk. Streefwaarde chloridegehalte 830 mg/l (EC=3)

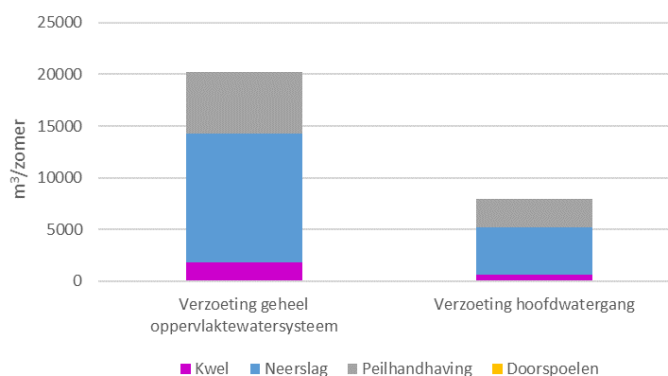


Figuur 55: Waterbalans in de zomerperiode (apr-sept) bij verzoeting van het oppervlaktewatersysteem en toename van de kweldruk. Streefwaarde chloridegehalte 830 mg/l (EC=3)

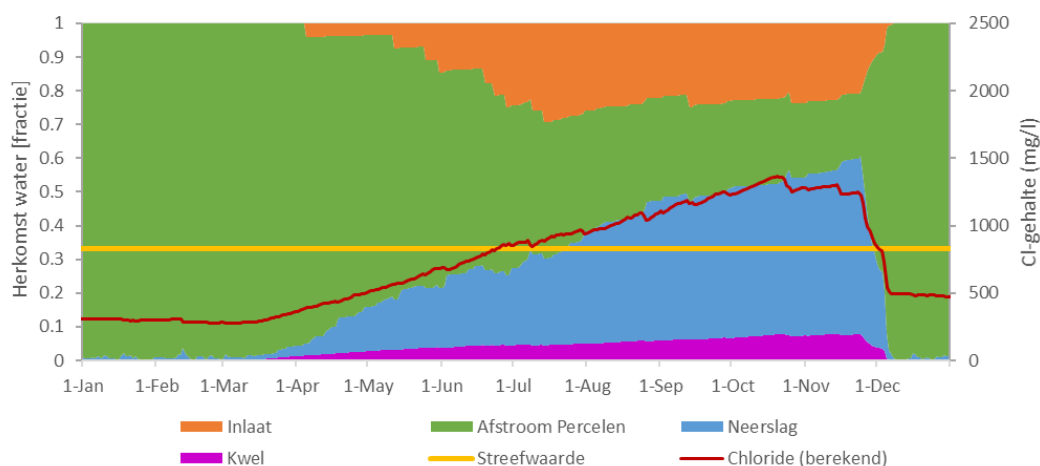
### Zoutkamperplaat

#### Scenario: Verzoeting oppervlaktewater systeem

In de huidige situatie is er geen inlaat van gebiedsvreemd water in de Zoutkamperplaat. In het licht van toekomstig waterbeheer is het interessant te kijken naar de effecten van aanvoer van gebiedsvreemd water op het oppervlaktewatersysteem. Wanneer een streef chloridegehalte van 830 mg/l (EC=3) wordt aangehouden is peilbeheer voldoende om aan dit streefgehalte te bereiken in de Zoutkamperplaat. Bij toepassing van peilbeheer op de hoofdwatgang is 3000 m<sup>3</sup> voldoende tegenover 6700 m<sup>3</sup> voor het bereiken van het streefgehalte in het gehele oppervlaktewatersysteem.



Figuur 56: Waterbalans in de zomerperiode (apr-sept) bij verschillende scenario's van verzoeting van het oppervlaktewatersysteem.



Figuur 57: Herkomst inkomend water Zoutkamperplaat bij peilhandhaving in de hoofdwatgangen als percentage van totaal inkomend water op dagbasis. De rode lijn representeert het chloridegehalte in het oppervlaktewater in relatie tot de streefwaarde (gele lijn).

**Scenario: Toename kweldruk**

Zeespiegelstijging en bodemdaling kunnen leiden tot een toename van de kweldruk op het oppervlaktewatersysteem. Bij een 50% toename van de kweldruk is er voor de verzoeting van hoofdwatgangen en het gehele systeem respectievelijk 120% en 208% meer doorspoelwater vereist om de streefwaarde van EC=3 te bereiken. Bij een toename van de kweldruk met 10% is het toevoeren van water voor peilhandhaving voldoende om de streefwaarde te bereiken.



## Bijlage 6 – H2Oogst

Voor het ontwikkelen van de waterbalans is het watersysteem in drie onderdelen verdeeld, het perceel, de ondergrondse opslag en irrigatiemethode. Uiteindelijk moet de waterbalans voor heel Nederland toepasbaar zijn daarom zijn al keuzevrijheden mogelijk binnen de balans voor bijvoorbeeld het type gewas, het te irrigeren areaal en irrigatiemethode.

Het perceel:

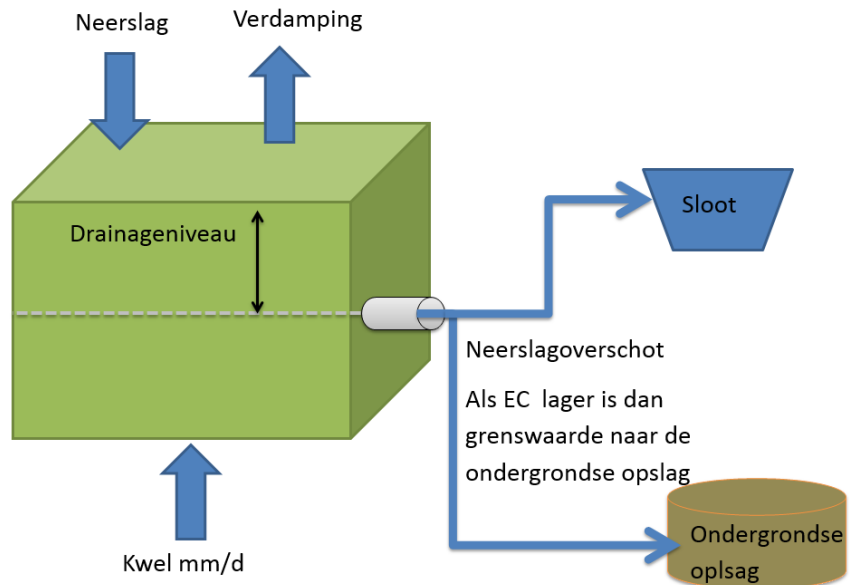
Het perceel is het eerste onderdeel in de waterbalans, met daarin neerslag, verdamping, gewasfactor, drainage en kwel. Bij de berekeningen voor het perceel wordt de zoutgehalte en stijghoogte van het systeem bijgehouden en herberekend.

De werking van het perceel is als volgt in de waterbalans geschematiseerd. Neerslag valt direct op het perceel, een deel verdampt door gewasverdamping die wordt gegeven door verdampingsgetallen van het KNMI te vermenigvuldigen met gewasfactoren (afkomstig van Vademecum, 2002). De kwel flux wordt berekend op basis van de stijghoogte in de eerste watervoerende pakket en de stijghoogte in het perceel en een weerstand. Een positieve kwel betekent dat er kwel is en een negatieve kwel betekent dat er wegzijging is. Het neerslagoverschot (neerslag-gewasverdamping +/- kwel), sijpelt door naar de grondwaterspiegel. Als de grondwaterspiegel hoger is dan het drainageniveau wordt het perceel gedraineerd, anderszijds wordt niet gedraineerd tot de grondwaterspiegel weer hoger is dan het drainageniveau.

De neerslag, kwel en bodem hebben allemaal een chloride concentratie. De bodem heeft aan het begin van de berekening een vaste chloride concentratie daarna wordt de bodem concentratie berekend aan de hand van de in en uit fluxen van volumes met een chloride concentratie. De aanname is dat er volledige menging optreedt in de bodem. De neerslag en de kwel hebben gedurende de berekeningen een vaste chloride concentratie. Dit betekent ook dat het gedraineerde water een chloride concentratie heeft dat gelijk staat aan de bodem concentratie.

Het gedraineerde water kan twee kanten op, of naar de ondergrondse opslag of naar de sloot. Als de chloride concentratie van het water onder de opgegeven grenswaarde is, wordt het water geleid naar de ondergrondse opslag. Als de concentratie boven de grenswaarde is, wordt het water naar de sloot geleid.

## Winterperiode



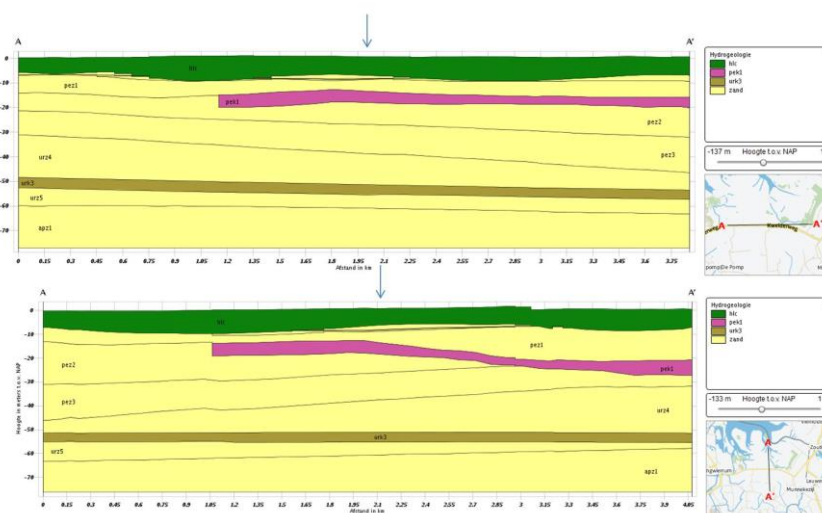
Het water van 'goede kwaliteit', dus onder de grenswaarde, wordt naar de ondergrondse opslag geleid. De ondergrondse opslag is in de waterbalans geschematiseerd als een oneindig grote bak, er zitten geen beperkingen aan de toegestane volumes wat erin kan. De berekeningen van de ondergrondse opslag zijn gekoppeld aan een grondwatermodel door middel van een formule. De uitkomst van de formule geeft aan hoeveel procent van het geïnfilterde water teruggewonnen kan worden voor irrigatie. De aanname hierbij is dat al het water dat teruggewonnen wordt een vaste 'goede' concentratie heeft.

## Bijlage 7 Warfstermolen

### Voorstudie praktijkgeval Warfstermolen

#### Geotop

In Figuur 58 is een doorsnede uit Dinoloket weergegeven (GEOTOP), de profielen in GEOTOP zijn gebaseerd en geëxtrapoleerd op slechts enkele boringen in de buurt van de meetlocaties. Daarom is het nodig om de echte locatie-specifieke omstandigheden een veldstudie uit te voeren. In de GEOTOP-profielen wordt in de bovenste meters vooral klei aangetroffen, er is ook een slecht doorlatende laag op 15 m diep.



Figuur 58. Doorsneden van diepere ondergrond onder het perceel uit het Dinoloket,

#### Resultaten geofysische analyse en ondiepe boringen

De geleidbaarheid is een goede maat voor het zoutgehalte. Voor de veldkartering zijn elektrische geleidbaarheids-metingen of EC-metingen uitgevoerd van het oppervlaktewater in de watergangen. De geleidbaarheid van de ondergrond is onderzocht door middel van een geofysische meetmethode. Voor dit onderzoek is de DUALEM-techniek toegepast. Met de DUALEM zijn lijn (of profiel) metingen gedaan van de geleidbaarheid van de ondergrond. De DUALEM-methode geeft een beeld van de geleidbaarheid van de ondergrond. Met deze methode wordt tweedimensionale profiel gemeten van de elektrische geleiding of weerstand (weerstand is gelijk aan het omgekeerde van de geleidbaarheid).

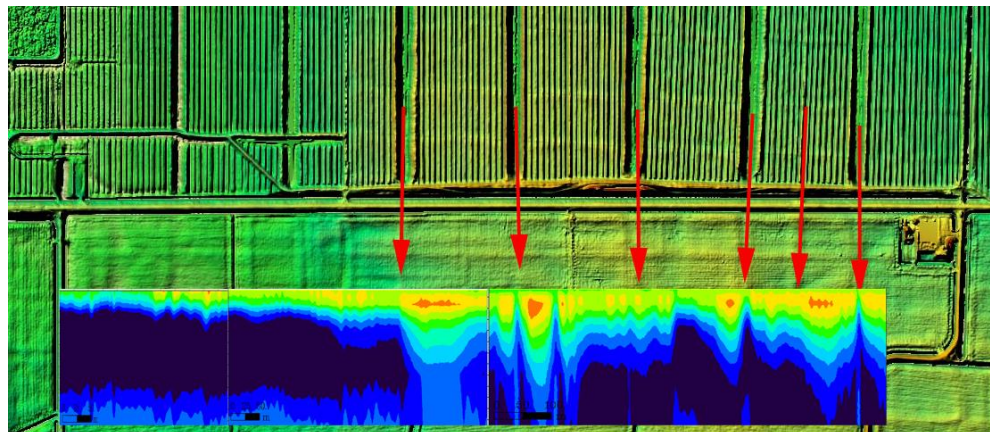
De gegevens van de boringen en veldwaarnemingen gedaan tijdens de voorstudie rondom de geofysisch analysis zin terug te vinden in Tabel 18. De locaties van de ondiepe boringen ten opzichte van de geofysische profielen zijn in Figuur 60 en Figuur 61 beschreven.

Tabel 18 Metingen uitgevoerd in de boringen en sloten tijdens de geofysische voorstudie in juli 2016

Peilbuis Naam	Diepte peilbuis (m-mv)	datum	tijd	Grond water stand	EC microS /cm	Temp
PB1_ondiep	1.55	15/6/16	17:30	0.81	3500	13.5
		12/7/16	9:20	0.79	3460	17.0
PB2_ondiep	1.96	15/6/16	17:30	1.69	2900	12.5
		12/7/16	17:20	0.94	2800	14.3
PB3_diep	3.9	15/6/16	17:30	0.93	13000	11.2
		12/7/16	9:10	0.81	6370	13.5
Sloot 1		15/6/16			6000	
Sloot 2		15/6/16			4100	

De DUALEM-metingen geven aan dat er redelijke verschillen bestaan in de bodemopbouw en de verdeling van het zout gehalte van het grondwater. Uit het vergelijk met de topografie en resultaten van de geofysica (Figuur 59) blijkt dat een oud drainagesysteem en inmiddels opgevulde krekken van invloed zijn op het zoute gehalte van het grondwater en de mate van kwel en het zoetwater lens vorming.

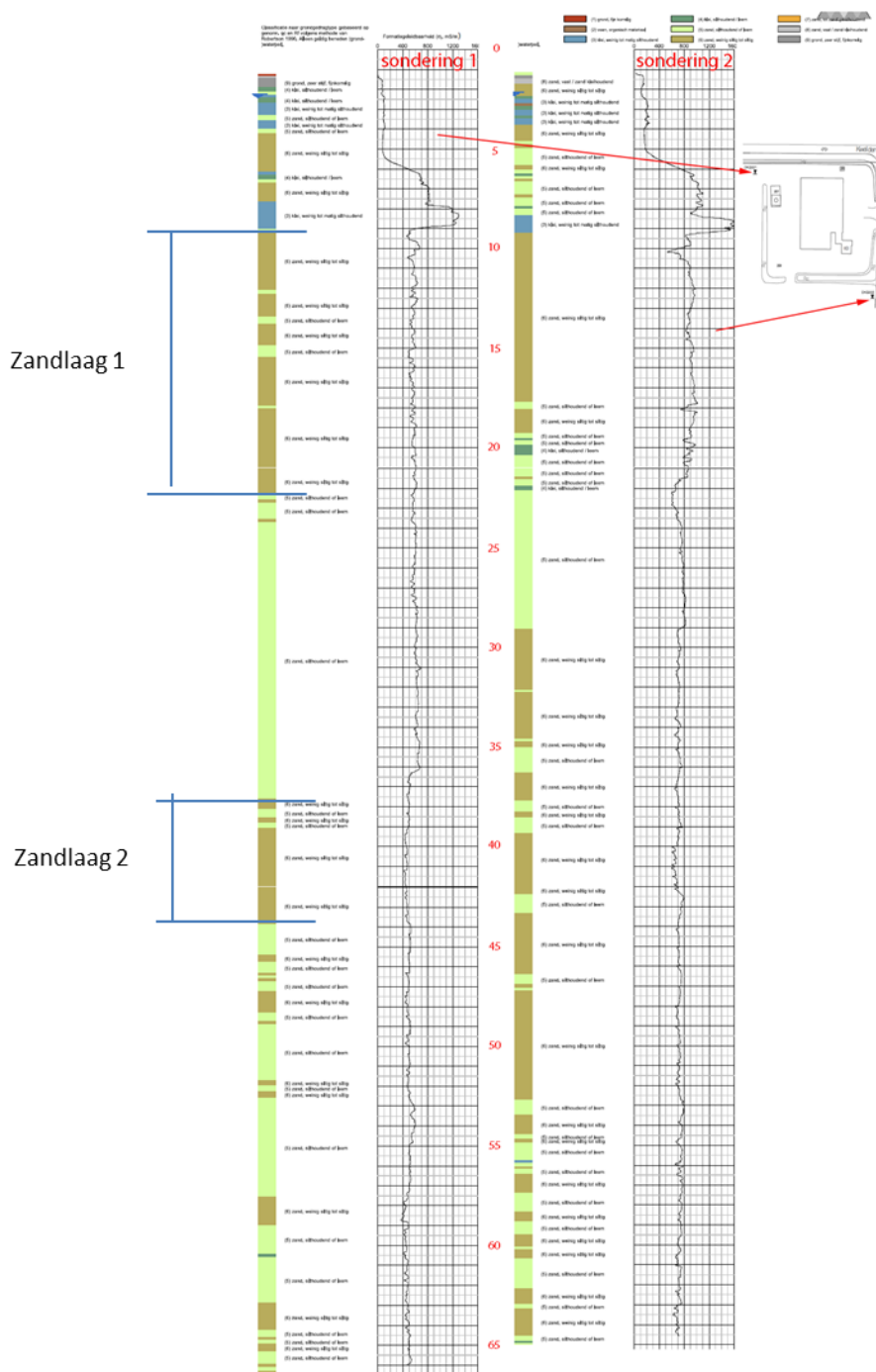
Mogelijk zullen de meest oostelijke velden de grootste piek afvoer geven vanwege de klei en daardoor de beperkte infiltratie. De meer westelijke velden zullen mogelijk langer lopen vanwege het zandige karakter. De waterkwaliteit zal sterk kunnen verschillen in tijd en locatie.



Figuur 59. Resultaten DUALEM-profielen op de kaart met maaiveldhoogtes (AHN), waaruit duidelijk zichtbaar het effect is van oude drainage sloten.



geleidbaarheid niet te verklaren. Daarom moet er rekening gehouden worden met de mogelijkheid dat de klei laag boven de zandlaag op 9 meter diepte verder naar het westen lokaal in de geul niet meer aanwezig zou kunnen zijn. Dit is afhankelijk van de oorsprong en de tijd waarin de geul actief was.



Figuur 62 Boorprofielen en formatiegeleidbaarheid (mS/m) van de twee diepe sonderingen. Zand is gemarkeerd met bruin en zand silthoudend of leem met geel/groen. De locatie van de sonderingen ten opzichte van de schuur in het perceel wordt ook aangegeven.

*Grondwaterstanden en EC: Continue metingen in het perceel.*

De grondwaterstanden gemeten in de filters van de sonderingen (diep en ondiep) lieten een gering verschil in stijghoogte zien tussen het diepe en ondiepe filter en dit aangeeft dat er niet of nauwelijks sprake van kwel druk is.

Er zijn ook 2 Decagon loggers geplaatst in de drains en in de twee ondiepe peilbuizen. De loggers meten op 2 verschillende locaties ieder de waterdruk (Figuur 63) en de EC (Figuur 64) van het water, zowel in een peilfilter als in een opvangbak verbonden aan een drainage buis. Dit is van belang om de kwaliteit van het drainagewater in de tijd te kunnen volgen.

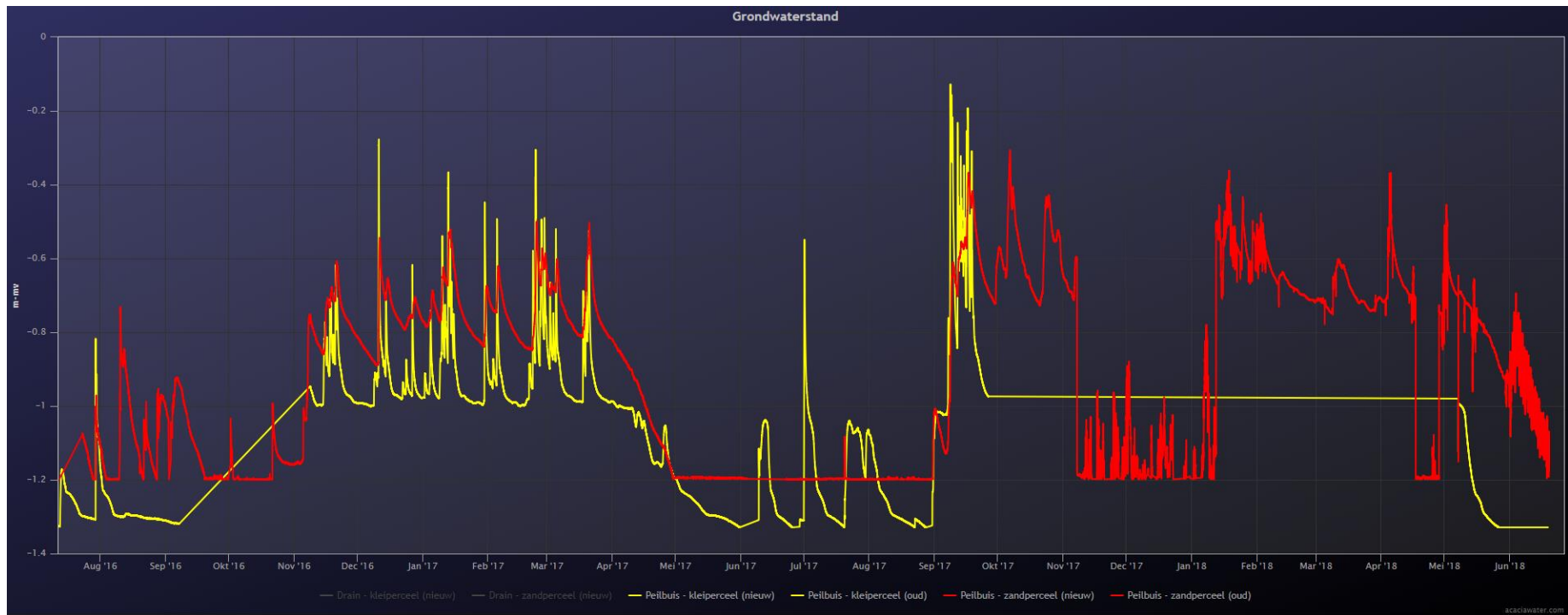
De locaties van de peilbuizen werden gekozen op grond van de resultaten van de DUALEM-metingen. Een locatie in het westen waar veel meer klei in de ondiepe ondergrond is aangetroffen en een locatie in het oosten (bij de boerderij) waar wat meer zand in de ondiepe ondergrond zit. Omdat er tijdens het veldwerk slechts een drain die liep, in het westelijk deel, is in die drain de sensor geplaatst. In het oosten liep geen enkele drain en is de locatie willekeurig gekozen.

De EC in het zandperceel (oostelijke deel) drain ligt ongeveer rond de 2.5 mS/cm en die van de westelijke deel (kleiperceel) tussen 3 en 4mS/cm.

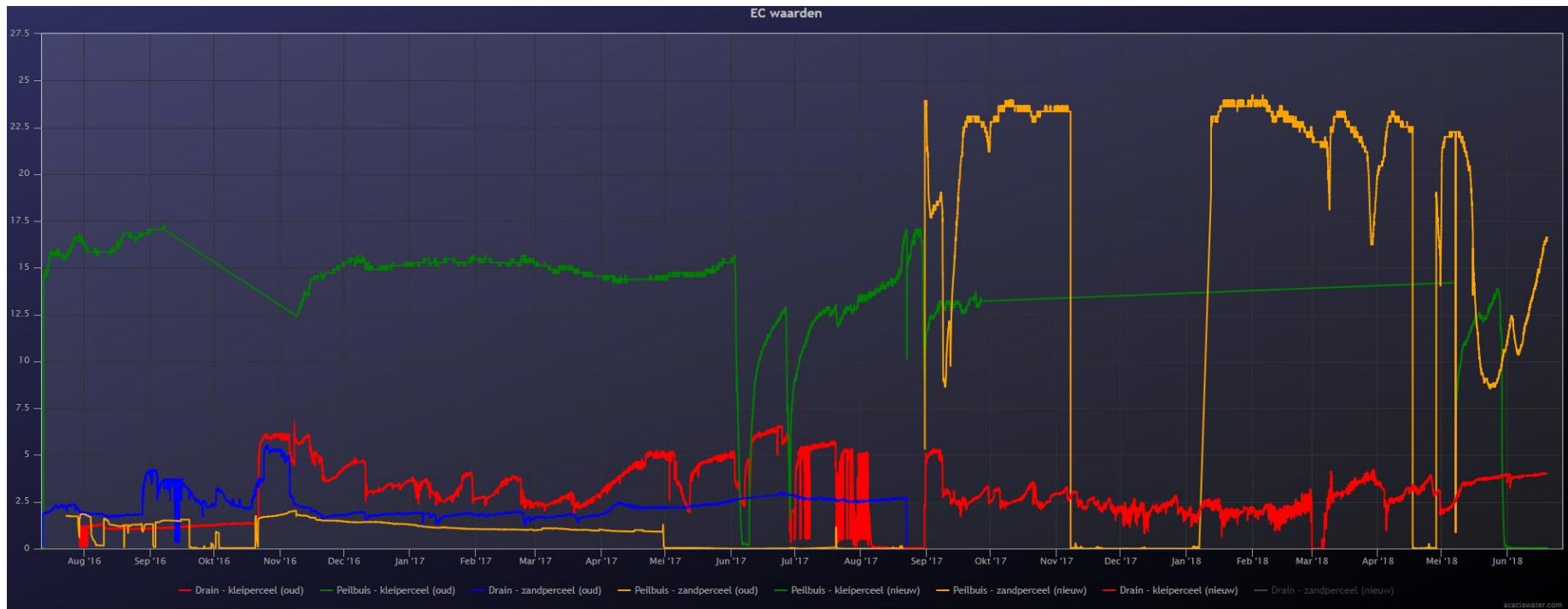
De EC in de peilbuizen liggen boven de 12 mS/cm, dit betekende dat het grondwater in de eerste meters (2-3m ) veel zouter is dan wat in de drains gemeten wordt.







Figuur 63. Grondwaterstanden (m-mv) gemeten in de westelijke deel van het perceel (kleiperceel- peilbuis 2 ) in geel en grondwaterstanden in de zandperceel peilbuis 1 ( midden-oost) in rood.



Figuur 64. EC-waarden (mS/cm) gemeten in de westelijke drain van het perceel (kleiperceel) en peilbuis 2 (rood en groen, respectievelijk) en EC-waarden gemeten in drain en peilbuis (peilbuis 1) van de zandperceel (oost van het perceel) in blauw en geel respectievelijk.

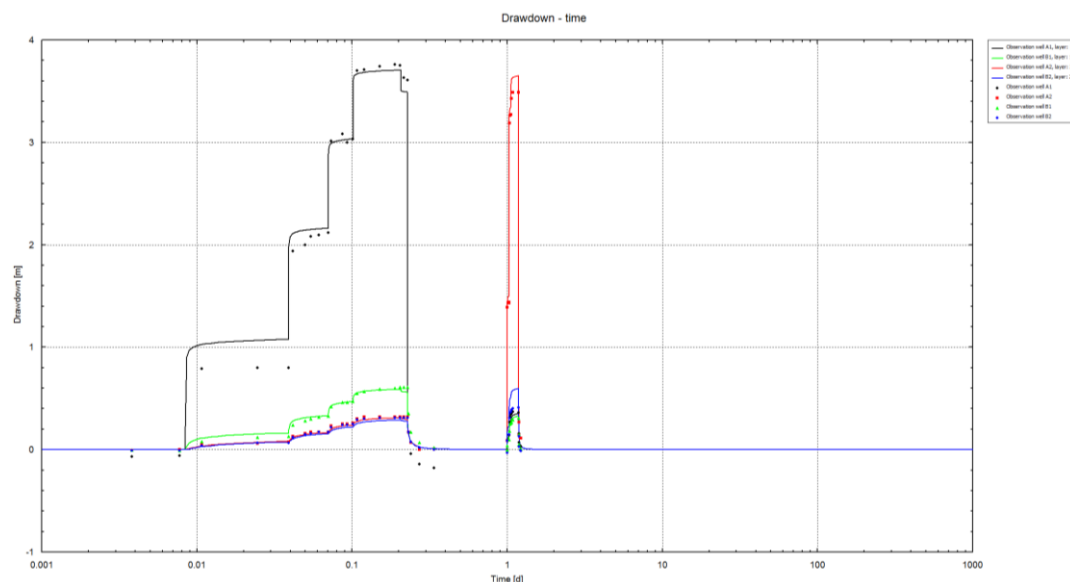
### Eerste putontwerp: resultaten pomproeven en waterkwaliteit analyses

Twee pompproeven zijn uitgevoerd bij filters A1 en A2. Filters A1, A2, B1, B2 en *freatisch* dienden als waarnemingsputten uitgerust met dataloggers met een meting om de 10 seconde. Details over de filters zijn gegeven in Tabel 7. Ter controle van de dataloggers zijn tijdens alle proeven ook handmetingen met een peillood genomen. Extra debietmetingen werden uitgevoerd via volumebepaling met een vat, ter controle van de watermeters.

Tijdens de pompproeven zijn de EC en pH gemeten, en zijn monsters genomen van het opgepompte grondwater om de EC, pH, alkaliniteit, en concentraties van ijzer (Fe), mangaan (Mn), Na, K, Ca, Mg, SO<sub>4</sub>, Cl, NO<sub>3</sub> en PO<sub>4</sub>, Br en Li in het laboratorium te meten.

### Resultaten pomproeven

Voor de interpretatie van de resultaten van de pompproef is gebruik gemaakt van MLU. Figuur 65 geeft de resultaten weer van de metingen van de pompproef, samen met de interpretatie van MLU. De veldwaarnemingen zijn met bolletjes weergegeven, en de lijnen geven de MLU-modelinterpretatie.



Figuur 65. MLU-interpretatie (lijnen) van de pompproef metingen, samen met de veldmetingen (bolletjes) uitgevoerd in de putten tijdens de proeven in Warfstermolen.

Na de interpretatie van de pompproeven kan gesteld worden dat een transmissiviteit (KD) van circa 183 m<sup>2</sup>/d aangehouden kan worden voor het pakket van A1, en een iets hogere KD-waarde van circa 211 m<sup>2</sup>/d voor het pakket rond filter A2. Dit komt ongeveer overeen met een doorlatendheid (Kh) van 10 m/d voor pakket A1, en een doorlatendheid van 20 m/d voor dat rond A2. Deze waarden komen overeen met de te verwachten Kh-waarden voor fijn zand in pakket A1, en wat grover zand in pakket A2.

Uit de pompproef kon ook de onderlinge interactie tussen het ondiepe A1 pakket en het diepere pakket A2 worden gehaald. Bij een verlaging van 3.5 m in pompput A1 werden verlagingen van 0.3 m in zowel filters A2 en B2 waargenomen. In filter B1 werd een verlaging van maximaal 0.6 m waargenomen. Bij een verlaging van 3.6 m in filter A2 werden verlagingen van 0.3 m in A1 en B1 waargenomen. Bij B2 werd dan een maximale verlaging van 0.6 m behaald. Er was geen verandering waarneembaar in de waarnemingsputten *ver* en *freatisch*. Hieruit kan geconcludeerd worden dat er een slecht doorlatende laag aanwezig is

tussen het ondiepe en het diepe pakket, wat de geringe verlaging van 0.3 m in de niet afgepompte ondiepe lagen, ten opzichte van de 3.5 m verlaging in de diepe afgepompte lagen, verklaart.

De bergingscoëfficiënt voor allebei de pakketten heeft een waarde van  $S = 0.0006$  en is karakteristiek voor watervoerende pakketten van fijn zand ( $S = 0.00001 - 0.001$ ). In Tabel 19 is de schematisatie van MLU gegeven, waarin de parameters worden samengevat die gehanteerd kunnen worden voor berekeningen met een grondwatermodel voor Warfstermolen. Hierbij wordt opgemerkt dat deze waarden slechts een indicatief karakter hebben vanwege de ruimtelijke variatie in watervoerende pakketten.

Tabel 19. MLU schematisatie Base= onderkant laag, Kh= doorlatendheid, Code= zijn niet van belang, T= KD, S= Bergingscoëfficiënt.

Aquifer	Base [m]	Thickness [m]	Kh [m/d]	Code	T [m <sup>2</sup> /d]	#	Code	S [-]	#
	-14.6	14.6	0.048667	c1	300		S'1	0	
1	-32.1	17.5	10.51143	T1	183.95		S1	0.0006	
	-33.5	1.4	0.4375	c2	3.2		S'2	0	
2	-43.5	10	21.187	T2	211.87		S2	0.0006	
	-44.5	1	0.04	c3	25		S'3	0	
3	-100.5	56	35.31286	T3	1977.52		S3	0.00001	
	-110.5	10	0.01	c4	1000		S'4	0	
4	-210.5	100	7	T4	700		S4	0.00001	

#### Resultaten chemische analyse

Chemische analyses zijn uitgevoerd op vier watermonsters van het opgepompte water. De pH en EC-waarden zijn zowel in het veld als in het laboratorium bepaald. De analyse van de EC, pH, positieve (kationen) en negatieve ionen zijn gegeven in Tabel 20 en Tabel 21, respectievelijk. Er is weinig verschil tussen de samenstellingen van het water uit beide filters.

Tabel 20. Elektrische geleidbaarheid (EC), zuurgraad (pH) en concentraties van kationen in het grondwater uit put B in Warfstermolen.

Filter	EC	pH	Li	Na	K	Ca	Mg	NH <sub>4</sub>	Fe	Mn
	[μS/cm]	[-]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
Warf-B1	37500	6,5	<0,01	7247	101	432	948	<0,01	13	31
Warf-B2	35400	6,5	<0,01	7906	138	445	923	<0,01	hoog	Hoog

Tabel 21. Concentraties van anionen in het grondwater uit put B in Warfstermolen.

Filter	F	Cl	NO <sub>2</sub>	Br	NO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>	PO <sub>4</sub>	SO <sub>4</sub>
	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
Warf-B1	<0,01	14907	<0,01	432	<0,01	903	<0,01	1131
Warf-B2	<0,01	14597	<0,01	445	<0,01	976	<0,01	1096

De elektrische geleidbaarheid van het grondwater is hoog wat al aangeeft dat het om oorspronkelijk zeewater gaat. Dit wordt bevestigd door de hoge concentraties van natrium (Na), chloride (Cl), en ook van bromide, waarvan de concentratie in zeewater hoger is dan 65 mg/l, en heel laag in zoet water. De pH is tegen neutraal aan met een waarde van 6,5. Het water is zuurstofloos zoals aangegeven door de afwezigheid van nitraat (NO<sub>3</sub>) en de in het veld waargenomen geur van H<sub>2</sub>S (later omgezet naar sulfaat - SO<sub>4</sub>). Fosfaat, ammonium (NH<sub>4</sub>) en nitraatconcentraties waren laag.

Concentraties van ijzer ( $\text{Fe} > 10 \text{ mg/l}$ ) en mangaan ( $\text{Mn} > 30 \text{ mg/l}$ ) zijn uitzonderlijk hoog. Deze stoffen reageerden direct na onttrekking van het water uit de put met zuurstof in de lucht, en vormden een rode/zwarte neerslag in de monsterflessen.

Water uit de drains van het perceel is zoet en zuurstofrijk, en heeft mogelijk verhoogde concentraties van de nutriënten N en P (nitraat, fosfaat) door toepassing van meststoffen op het perceel

Uit de metingen van de chemische samenstelling van het grondwater kan afgeleid worden dat er veranderingen op zullen treden in het watervoerend pakket als het zoete, zuurstofrijke water uit het perceel in het zuurstofloze pakket wordt geïnfiltreerd.

- 1) De zuurstof in het geïnfiltreerde water zal zeer snel binden aan opgelost Fe en Mn in het zuurstofloze pakket, waardoor deze stoffen neerslaan op korte afstand van het filter van de put. In heel fijn sediment kan dit mogelijk leiden tot verstopping van de poriën en een lagere doorlatendheid. De neerslag van deze stoffen vormt een filter waardoor ijzer en mangaanconcentraties in het onttrokken water laag zullen zijn.
- 2) Geïnfiltreerd nitraat zal afgebroken worden en wordt niet meer teruggewonnen;
- 3) Geïnfiltreerd fosfaat zal grotendeels gebonden worden aan bodemdeeltjes in het pakket en wordt ook niet meer teruggewonnen;
- 4) Doordat het pakket verzoet zal calcium (Ca) in het geïnfiltreerde water gedeeltelijk in het pakket gebonden worden, en er zal wat meer natrium in het teruggewonnen water zitten

Het is aan te raden om het drainwater extra te beluchten voor infiltratie om te zorgen dat het verzadigd raakt met zuurstof.

#### *Grondwatermodel*

Het grondwatermodel is opgezet in GMS. Het maakt gebruik van de modelcode SEAWAT, waarbij gerekend kan worden met dichtheidsafhankelijke stromingen ten gevolge van verschillen in zoutgehalten. De schematisatie van de ondergrond is gebaseerd op de schematisatie van MLU (Tabel 19). Het doel van het grondwatermodel is om een beeld te krijgen over de infiltratie- en onttrekkingsrendementen die behaald kunnen worden uit de watervoerende pakketten in Warfstermolen.

Uit de berekeningen volgt dat de zoete bel, die ontstaat tijdens infiltratie van het zoete water uit de drains in het zoute grondwater, naar boven beweegt en direct onder de deklaag blijft hangen. Hierdoor zullen diepere filters van de putten bij onttrekking na zoetwaterinfiltratie alleen zout water produceren. Om de gevormde zoete bel beter te kunnen benutten wordt derhalve aangeraden om een filter te plaatsen meteen onder de deklaag, zodat het opgedreven zoete infiltratiewater opgepompt kan worden. Met deze filteropstelling kan een rendement van ongeveer 40% behaald worden.

Boorprofielen geboorde waterbron B1

Schijf Grondboringen B.V.

	Formulier	Doc.code: Pagina:	OPR 1 / 4
	Opleverrapportage	Datum: Versie:	22-12-10 2.0



Drechtdijk 36, 1424 RH De Kwakel  
Tel: 0297-563260, Fax: 0297-540592

**BOORPROFIEL** (uitgevoerd onafhankelijk van de opdrachtgever en onder BRL SIKB 2100, VKB pr

Plaats	Warfstermolen
Locatie	Ooster Nieuwkruisland
Uitvoeringsperiode	23-8-2017
Boringnummer/code	B1/OWB
Boorsyst./diam.	zuigboring/ø300
Opdrachtgever	Acacia Water
Boormeester	M Schijf
Einddiepte	43.50
Hulp-boormeester	M Elings
Boorspoeling / additieven	Hoeveelheid werkwater
XY-coördinaten	

Diepte in mtrs - maaiveld	Omschrijving grondlagen vlgns NEN 5104	M-waarde
00.00 - 00.50	klei,matig humeus,bruin	
00.50 - 01.20	klei,sterk zandig,grijs	
01.20 - 02.00	klei,matig zandig met schelpresten,grijs	
02.00 - 03.60	klei,matig zandig,grijs	
03.60 - 04.00	zand,zeer,fijn,grijs	
04.00 - 06.00	klei met zandlaagjes,grijs	
06.00 - 06.50	zand,zeer fijn met kleibrokjes,grijs	
06.50 - 08.00	veen,matig kleilig,bruin	
08.00 - 09.50	zand,matig fijn met kleibrokken en stenen,bruin/grijs	
09.50 - 10.00	klei met zandlagen,grijs	
10.00 - 12.00	zand,uiteerst fijn,geel/grijs	
12.00 - 14.00	zand,uiteerst fijn,geel/grijs	
14.00 - 16.00	zand,zeer fijn,geel/grijs	106/150
16.00 - 18.00	zand,zeer fijn,geel/grijs	106/150
18.00 - 19.00	zand,zeer fijn,geel/grijs	106/150
19.00 - 20.00	zand,zeer fijn met houtsnippers,geel/grijs	106/150
20.00 - 22.00	zand,zeer fijn,geel/grijs	106/150
22.00 - 24.00	zand,zeer fijn,geel/grijs	106/150
24.00 - 25.50	zand,zeer fijn met kleilaagjes,br/grijs	
25.50 - 26.00	zand,zeer fijn,grijs	106/150
26.00 - 28.00	zand,fijn tot zeer fijn,grijs	150/212
28.00 - 30.00	zand,fijn tot zeer fijn,grijs	150/212
30.00 - 32.00	zand,fijn,grijs	150/212
32.00 - 34.00	zand,fijn,grijs	150/212
34.00 - 36.00	zand,fijn,grijs	150/212

HB BRL 2100 Versie juni 2010 - © Nedcon Organisatieadvies B.V. te Woerden



Diepte in mtrs - maaiveld		VERVOLG omschrijving grondlagen vlgns NEN 5104	M-waarde
36.00 - 38.00		zand,fijn,grijs	150/212
38.00 - 40.00		zand,fijn,grijs	150/212
40.00 - 42.00		zand,fijn,grijs	150/212
42.00 - 43.50		zand,fijn,grijs	150/212
-			

Constructie					
Constructie	Diepte m-mv	Lengte m	Materiaal	Diam. mm	Perf.mm
stijgbuis	00.00-10.00	10.0	pvc	110	
stijgbuis	10.00-14.00	4.0	pvc	90	
filter	14.00-31.50	17.5	pvc	75	0.5
stijgbuis	00.00-10.00	10.0	pvc	110	
stijgbuis	10.00-33.00	23.0	pvc	90	
filter	33.00-43.00	10.0	pvc	90	0.5

Kleiafdichting		
kleiafdichting 300	00.80-01.80	
grind 1.1.6	01.80-02.00	
kleiafdichting 300	02.00-04.40	
grind 1.1.6	04.40-05.00	
kleiafdichting 300	05.00-06.70	
grind 02-06	06.70-07.50	
kleiafdichting Qse	07.50-09.00	
grind 1.1.6	09.00-09.70	
kleiafdichting Qse	09.70-11.00	
grind 1.1.6	11.00-11.70	
kleiafdichting 300	11.70-13.00	
grind 1.1.6	13.00-31.60	
kleiafdichting 300	31.60-32.20	
grind 1.1.6	32.20-43.50	

Boorprofielen geboorde waterbron B2

Schijf Grondboringen B.V.

	Formulier	Doc.code:	<b>OPR</b>
	Opleverrapportage	Pagina:	1 / 4
		Datum:	22-12-10
		Versie:	2.0



Drechtdijk 36, 1424 RH De Kwakel  
Tel: 0297-563260, Fax: 0297-540592

**BOORPROFIEL** (uitgevoerd onafhankelijk van de opdrachtgever en onder BRL SIKB 2100, VKB pr

Plaats	Warfstermolen	
Locatie	Ooster Nieuwkruisland	
Uitvoeringsperiode	24-8-2017	
Boringnummer/code	B2/OWB	
Boorsyst./diam.	zuigboring/e300	
Opdrachtgever	Acacia Water	
Boormeester	M Schijf	
Einddiepte	43.60	
Hulp-boormeester	M Elings	
Boorspoeling / additieven		Hoeveelheid werkwater
XY-coördinaten		

Diepte in mtrs - maaiveld	Omschrijving grondlagen volgens NEN 5104	M-waarde
00.00 - 00.80	klei, matig humeus, bruin	
00.80 - 01.50	klei, sterk zandig, grijs	
01.50 - 02.20	klei, matig zandig met schelpresten, grijs	
02.20 - 03.90	klei, matig zandig, grijs	
03.90 - 05.80	zand, zeer, fijn, grijs	
05.80 - 06.20	klei met zandlaagjes, grijs	
06.20 - 07.00	zand, zeer fijn, grijs	
07.00 - 08.30	veen, licht kleiig, bruin	
08.30 - 09.00	zand, matig fijn met kleibrokken en stenen, bruin/grijs	
09.00 - 09.70	klei met zandlagen, grijs	
09.70 - 12.00	zand, uiterst fijn, geel/grijs	
12.00 - 14.00	zand, uiterst fijn, geel/grijs	
14.00 - 16.00	zand, zeer fijn, geel/grijs	
16.00 - 18.00	zand, zeer fijn, geel/grijs	
18.00 - 19.50	zand, zeer fijn, geel/grijs	
19.50 - 20.00	zand, zeer fijn met houtsnippers, geel/grijs	
20.00 - 22.00	zand, zeer fijn, geel/grijs	
22.00 - 23.80	zand, zeer fijn, geel/grijs	
23.80 - 26.00	zand, zeer fijn met kleilaagjes, br/grijs	
26.00 - 26.00	zand, zeer fijn, grijs	
26.00 - 28.00	zand, fijn, grijs	
28.00 - 30.00	zand, fijn, grijs	
30.00 - 32.00	zand, fijn, grijs	
32.00 - 34.00	zand, fijn tot matig fijn, grijs	
34.00 - 36.00	zand, fijn, grijs	

HB BRL 2100 Versie juni 2010 - © Nedcon Organisatieadvies B.V. te Woerden





Diepte in mtrs - maaiveld		VERVOLG omschrijving grondlagen volgens NEN 5104	M-waarde
36.00 - 38.00		zand,fijn,grijs	
38.00 - 40.00		zand,fijn tot matig fijn,grijs	
40.00 - 42.00		zand,fijn tot matig fijn,grijs	
42.00 - 43.50		zand,fijn,grijs	
-			

Constructie					
Constructie	Diepte m-mv	Lengte m	Materiaal	Diam. mm	Perf.mm
stijgbuis	00.00-10.00	10.0	pvc	110	
stijgbuis	10.00-14.60	4.6	pvc	90	
filter	14.60-32.10	17.5	pvc	75	0.5
stijgbuis	00.00-10.00	10.0	pvc	110	
stijgbuis	10.00-33.50	23.5	pvc	90	
filter	33.50-43.50	10.0	pvc	90	0.5

Kleiafdichting	
kleiafdichting 300	00.80-01.80
grind 1.1.6	01.80-02.20
kleiafdichting 300	02.20-04.60
grind 1.1.6	04.60-05.30
kleiafdichting 300	05.30-06.90
grind 02-06	06.90-07.70
kleiafdichting Qse	07.70-09.25
grind 1.1.6	09.25-09.90
kleiafdichting Qse	09.90-11.20
grind 1.1.6	11.20-12.00
kleiafdichting 300	12.00-13.30
grind 1.1.6	13.30-32.20
kleiafdichting 300	32.20-32.80
grind 1.1.6	32.80-43.60



van Hogendoornplein 4  
2805 BM Gouda

Telefoon: 0182 - 686 424  
Internet: [www.acaciawater.com](http://www.acaciawater.com)  
Email: [info@acaciawater.com](mailto:info@acaciawater.com)