



# Duurzaam omgaan met kleine zoetwaterbellen

Praktijkonderzoek POP3 'Samenwerken voor zoetwater: Duurzaam gebruik zoetwaterbellen'

# Duurzaam omgaan met kleine zoetwaterbellen

## Praktijkonderzoek POP3 'Samenwerken voor zoetwater: Duurzaam gebruik zoetwaterbellen

### Samenvatting

In Zeeland wordt zoet regenwater voornamelijk opgeslagen in zoetwaterbellen in zandige kreekruigen, duinen en dekzandgronden. Wateronttrekkingen worden echter alleen in zoetwaterbellen van 15 m of dikker toegestaan. Hierdoor wordt een deel van het beschikbare zoete water dat in kleinere bellen aanwezig is in Zeeland niet benut. Binnen dit onderzoek hebben wij gekeken of kleinere zoetwaterbellen ook duurzaam kunnen worden beheerd en onder welke voorwaarden dit mogelijk is. In deze bel bleek dat na het tweede onttrekkingsjaar de ondergrens van de zoetwaterbel iets gestegen was als gevolg van de onttrekking. Het blijft echter onduidelijk of er ook een effect is aan de rand van de zoetwaterbel. Het is ook nog niet bekend in welke mate de waargenomen verziltingseffecten zullen herstellen na een winterperiode. We bevelen daarom aan om de monitoring uit te breiden, om zo langetermijneffecten in beeld te krijgen en de onzekerheid van de resultaten aan de oostelijke- en onderrand van de bel te verkleinen.

### Colofon

#### Klant

Provincie Zeeland / Europees Landbouwfonds voor Plattelandsontwikkeling

#### Status

Definitief eindrapport

#### Datum

20 maart 2025

#### Projectnummer

AW24\_330\_TH211268

#### Auteur(s)

Tessa van Hateren, Nina Sandfort, Arjen Roelandse, Anouk Gevaert

#### Gecontroleerd door

Tine te Winkel

#### Vrijgegeven door

Tine te Winkel

### 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)

# Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Doel en onderzoeksvragen</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Aanpak</b>	<b>6</b>
	3.1 Inleiding	6
	3.2 Aanleg systeem en werking systeem	6
	3.3 Proefopzet en monitoring	7
	3.4 Modelaanpak	9
<b>4</b>	<b>Hydrologische analyses</b>	<b>16</b>
	4.1 Invloed onttrekking op hydrologisch systeem	16
	4.2 Toedieningsvragen voor duurzaam beheer	27
<b>5</b>	<b>Discussie</b>	<b>34</b>
	5.1 Gebruik van het systeem	34
	5.2 Resultaten monitoring	34
<b>6</b>	<b>Conclusie en aanbevelingen</b>	<b>37</b>
	6.1 Belangrijkste resultaten pilot	37
	6.2 Randvoorwaarden systeem	37
	6.3 Aanbevelingen	38

Dit POP3-project 'Samenwerken voor Zoetwater: 'Duurzaam gebruik zoetwaterbellen' (ZL-00483) wordt mogelijk gemaakt door subsidie uit het Europees Landbouwfonds voor Plattelandsontwikkelingen. Cofinanciering door provincie Zeeland.



*"Europees Landbouwfonds voor Plattelandsontwikkeling: Europa investeert in zijn platteland".*  
[https://agriculture.ec.europa.eu/index\\_nl](https://agriculture.ec.europa.eu/index_nl)

# 1 Inleiding

Grote delen van Zeeland hebben geen externe zoetwateraanvoer en zijn geheel afhankelijk van regenwater dat opgeslagen is in de bodem.

De afgelopen jaren zijn in de grotere zoetwaterbellen in Zeeland diepdrains aangelegd. Ten behoeve van de duurzaamheid van de bel, wordt de aanleg van een diepdrain alleen in grote zoetwaterbellen toegestaan. Deze locaties zijn weergegeven in de onderstaande kaart waar de zoetwatervoorkomens zijn opgenomen. Daaruit blijkt dat grote delen van de provincie niet zijn aangemerkt als zoetwatervoorkomen.



Figuur 1 Zoetwatervoorkomens in Zeeland (dikker dan 15m). Bron: Waterschap Scheldestromen (<https://scheldestromen.nl/loket/interactieve-kaarten>)

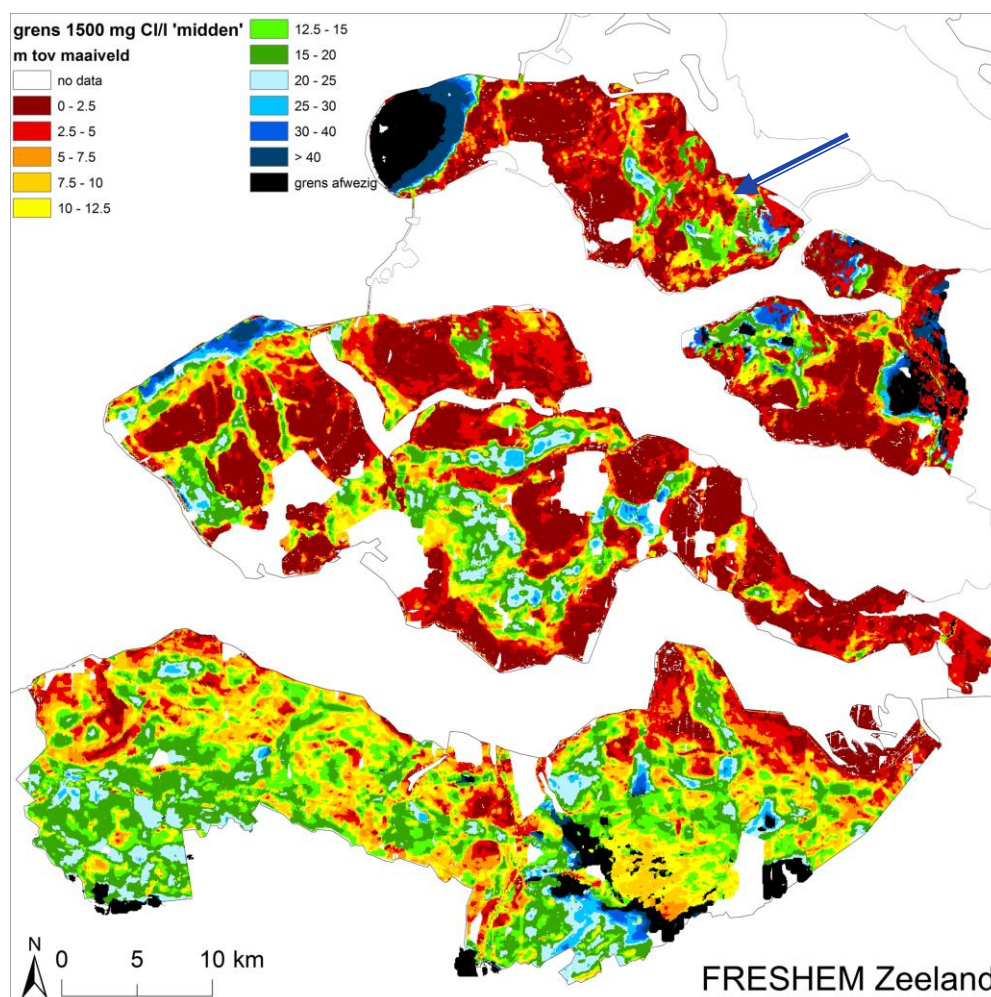


Dit betekent niet dat er op de andere locaties geen zoetwater aanwezig is, maar wel dat daar geen diepdrain mag worden aangelegd (zie box).

**Huidige regelgeving:**

Op basis van algemene regels mag jaarlijks maximaal 80 mm grondwater voor beregening worden onttrokken in gebieden met een zoetwaterbel die dikker is dan 15 meter. Deze gebieden zijn aangegeven op een kaart (zie [www.scheldestromen.nl](http://www.scheldestromen.nl), Klik op: Interactieve kaarten en daarna op grondwaterbeheer) met daarop ook kwetsbare gebieden. Ook buiten de aangegeven gebieden kunnen zoetwaterbellen voorkomen die dikker zijn dan 15 meter. Als dit wordt aangetoond, kan ook daaruit op basis van algemene regels grondwater voor beregening worden onttrokken. Onder de 'algemene regels' vallen installaties waarmee tussen 10 en 60 m<sup>3</sup>/uur wordt onttrokken. Per kwartaal mag niet meer dan 3.000 m<sup>3</sup> worden onttrokken en per jaar niet meer dan 8.000 m<sup>3</sup>.

Hierdoor wordt een deel van het beschikbare zoete water dat in kleinere bellen aanwezig is in Zeeland, niet benut. In de onderstaande kaart zijn deze potentiële gebieden aangegeven in alle gele en groene gebieden.



Figuur 2 FRESHEM-kaart met zoetwatervoorcomens in Zeeland. De proeflocatie voor dit onderzoek bevindt zich bij de pijl.

Agrariërs die gronden hebben liggend op een kleinere zoetwaterbel, hebben geen toegang tot het zoete water. In dit project hebben wij onderzocht of kleinere zoetwaterbellen ook duurzaam kunnen worden beheerd en onder welke voorwaarden dat mogelijk is. Momenteel ontbreekt het aan kennis omtrent deze voorwaarden.

## 2 Doel en onderzoeksvragen

Het doel van het project is tweeledig. Ten eerste kunnen de resultaten van de pilot gebruikt worden om te beoordelen of een dergelijke kleine zoetwaterbel duurzaam kan worden beheerd, met randvoorwaarden waarbinnen een dergelijke zoetwaterbel duurzaam kan worden beheerd. Ten tweede is het doel van dit project om inzicht te geven of toedienen van water met ondergrondse druppelirrigatie in een goed doorlatende bodem mogelijk is. Als extra meerwaarde is in het project gebruik gemaakt van een elektrische onderwaterpomp. Dit type pomp vraagt minder energie en is beter regelbaar dan de nu toegepaste methode van zuigpompen. De ervaringen die daarmee worden opgedaan, kunnen een meerwaarde zijn voor de rest van Zeeland.

Voor de analyse zijn per onderdeel de meest cruciale vragen opgesteld. Als hoofdvraag voor het eerste onderdeel geldt: “Kan een kleine zoetwaterbel duurzaam beheerd worden?”. In dit rapport geven we hiervoor antwoord op de volgende deelvragen:

1. Is het mogelijk om gecontroleerd water te onttrekken uit een diepdrain door middel van een toerengereguleerde bron?
2. In welke mate wordt het systeem direct beïnvloed door de onttrekking?
3. Herstelt het hydrologische systeem zich van een onttrekking gedurende één jaar?
4. Tot welk niveau van onttrekking is het systeem robuust en wat zijn daar de sleutelfactoren?

Voor het tweede onderdeel geldt als hoofdvraag: “Is het mogelijk om met ondergrondse druppelirrigatie water toe te dienen in een goed doorlatende bodem?”. In dit rapport geven we hiervoor antwoord op de volgende deelvragen:

1. Kan door druppelirrigatie water in het perceel worden geïnfiltreerd?
2. Wordt door de druppelirrigatie het bodemvochtpercentage van het zand verhoogd, ook tussen de druppelslangen?
3. Wat is het verschil tussen het benutten van het water met een ondergronds druppelsysteem en een bovengronds druppelsysteem?
4. Wat is het effect van irrigatie op het gewas?

Ter kennisdeling zijn de meetgegevens over waterpeil en EC over de hele periode zichtbaar gemaakt via een portaal.

# 3 Aanpak

## 3.1 Inleiding

Het project bestaat in feite uit vier onderdelen:

1. De aanleg;
2. De monitoring;
3. Opstellen van richtlijnen;
4. Communicatie van de resultaten.

De aanpak betreffende de aanleg, de proeflocatie en de monitoring wordt hieronder besproken. Het opstellen van de richtlijnen voor duurzaam gebruik, is gedaan middels een modelstudie, waarvoor de aanpak in paragraaf 3.4 besproken wordt. De resultaten volgen in Hoofdstuk 4.

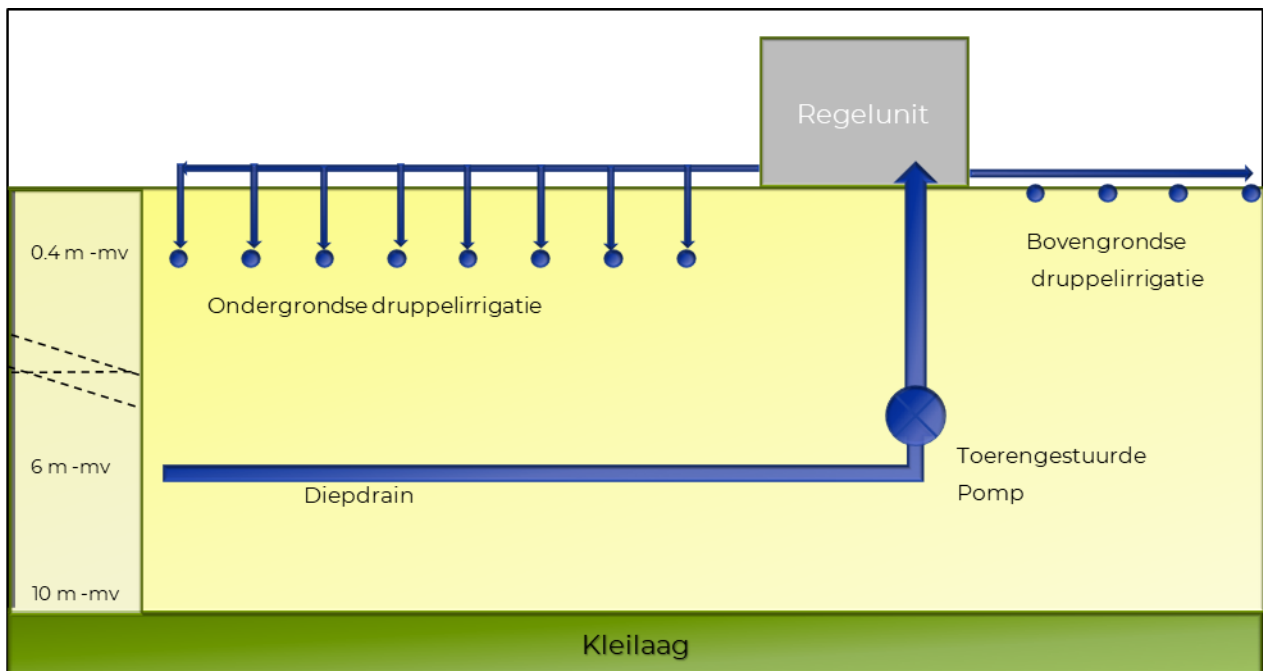
## 3.2 Aanleg systeem en werking systeem

Belangrijk onderdeel binnen het project is de aanleg van de verschillende systemen. Er is weinig kennis omtrent de aanleg van onderwaterpompen in diepdrains gecombineerd met het gebruik van (ondergrondse) druppelsystemen. Bij de aanleg van het systeem in 2023 is er kennis opgedaan over de beste manier van aanleg. In de discussie (Hoofdstuk 5) worden enkele geleerde lessen en verbeterpunten hierover besproken.

In het freatische zandige pakket is op 5 à 6 m diepte een diepdrain geïnstalleerd, voorzien van een elektrische toerengereguleerde onderwaterpomp (Figuur 3). Dit type pomp is beter regelbaar dan de zuigpompen die meestal gebruikt worden, waardoor de onttrekkingshoeveelheden niet alleen gestuurd kunnen worden door het uitzetten van de pomp, maar ook door het verlagen van het debiet. Het water wordt met deze onderwaterpomp uit het zandpakket onttrokken. Omdat de kleilaag als weerstandslaag fungeert, was de hypothese dat het zoute water in het zoute kleipakket zou verblijven. De monitoring van grondwaterstanden en zoutgehaltes (paragraaf 3.3.2) is erop gericht om deze hypothese te testen.

Het gehele systeem is erop gericht om zo zuinig mogelijk met het gering beschikbare zoete water om te gaan. Daarom wordt het onttrokken water via druppelirrigatie aan de gewassen gegeven. Zowel ondergrondse als bovengrondse druppelirrigatie zijn op het proefperceel aangelegd, om zo te kijken hoe het water uit de bel zo efficiënt mogelijk bij de gewassen gebracht kan worden. Bovengrondse druppelslangen moeten jaarlijks opnieuw geplaatst worden, omdat ze niet kunnen blijven liggen tijdens bodembewerkingen. De aanleg gebeurt in het algemeen dus nadat het gewas is geplant of gezaaid. De slangen worden dan zo dicht mogelijk bij de plant gelegd. Ondergrondse druppelslangen worden onder de ploegzool geplaatst en kunnen daardoor langer blijven liggen. Om de vochtverdeling in deze goed doorlatende gronden ook tussen de druppelslangen goed te krijgen is besloten om de afstand tussen de druppelslangen op 40 cm te zetten. Deze keuze is gemaakt op basis van eerdere ervaringen in andere zandige gebieden in Noord-Brabant en in de Betuwe.





Figuur 3 Situatietekening van de onttrekkings- en beregeningsinstallaties

### 3.3 Proefopzet en monitoring

#### 3.3.1 Proefopzet

Het onderzoek heeft plaatsgevonden bij akkerbouwerij Maatschap Op 't Hof, net ten zuiden van Sirjansland (Figuur 4). De bodemopbouw op de proeflocatie is bepaald door het uitvoeren van een sondering. Uit deze sondering was af te leiden dat de bodem vanaf maaiveld tot 13 m diepte voornamelijk uit zandig materiaal bestaat. Op 13 m is een slecht doorlatende laag (klei/veen) aanwezig. De diepdrain is, zoals eerder vermeld, in het freatische zandpakket gelegd om zo optimaal gebruik te kunnen maken van de zoetwaterbel. De diepdrain bevindt zich ongeveer op de scheiding van perceel B en C (Figuur 4), waar verschillende beregeningstypes zijn aangelegd. Op perceel B ligt de ondergrondse druppelirrigatie. De bovengrondse druppelirrigatie lag in 2023 op perceel A (aardappelen) en in 2024 op perceel A (knolselderij) en C (aardappelen). Op de ondergrondse druppelirrigatie (perceel B) werden in 2023 veldbonen geteeld en in 2024 aardappelen. In 2024 werd er aan de oppervlakkige druppelirrigatie ook vloeibare mest toegevoegd, waardoor er op basis van gewasgroei alleen geen pure vergelijking tussen de oppervlakkige en ondergrondse druppelbehandeling gedaan kon worden.



Figuur 4 Locatieschets van de proefpercelen (A, B en C), de diepdrain (blauw), het traject van de CVES (rood), en de locaties van de peilbuizen.

### 3.3.2 Monitoring

De monitoring van dit project diende twee doelen: aan de ene kant werd er gemonitord wat de invloed was van de onttrekking op het hydrologische systeem. Aan de andere kant werd er bijgehouden hoe de beregening de vochtgehalten op het perceel beïnvloedden.

De sensoren die werden gebruikt voor de monitoring van de invloed van de onttrekking op het hydrologische systeem, zijn overzichtelijk gemaakt in Tabel 1. De monitoring bestond uit drie sets peilbuizen die bij de diepdrain en in een raai daarvan af geplaatst waren, volgens Figuur 4. Ook is er bij perceel A een vierde set peilbuizen geplaatst ter referentie. Elke set peilbuizen bestond uit een diepe en een ondiepe peilbuis. De grondwaterstand werd op beide dieptes gemeten. Daarnaast werd in alle diepe peilbuizen ook de EC van het grondwater gemeten. De reden dat dit alleen in de diepe peilbuizen werd gemeten, is dat er werd verwacht dat een eventuele indringing van zout vanuit de onderliggende kleilaag zou komen. Dit zou dan als eerste waargenomen worden bij de diepe peilbuis.

Tabel 1 Sensoren voor de monitoring van de invloed van de onttrekking op het hydrologische systeem. De locaties die bij de peilbuizen horen, zijn weergegeven in Figuur 4.

Peilbuis	Meting	Diepte filter
<b>Diepdrain ondiep</b>	GWS	3m
<b>Diepdrain diep</b>	GWS + EC	8m
<b>Midden ondiep</b>	GWS	3m
<b>Midden diep</b>	GWS + EC	8m
<b>Rand ondiep</b>	GWS	3m
<b>Rand diep</b>	GWS + EC	8m
<b>Referentie ondiep</b>	GWS	3m
<b>Referentie diep</b>	GWS + EC	8m

De sensoren om de vochtbalans van de percelen te monitoren, zijn elk meetjaar verplaatst. De loggers bevonden zich in de nabije omgeving van de peilbuizen, maar de sensoren werden jaarlijks opnieuw ingegraven. Dit omdat de oppervlakkige druppelirrigatie in 2023 en 2024 op een ander perceel werd toegepast, en omdat er bij de ondergrondse druppelirrigatie een ander gewas werd geteeld. In 2023 is er op twee dieptes gemeten bij de ondergrondse druppelirrigatie, zowel tussen de slangen als bij de slangen. Zo kon er gemeten worden of het water goed horizontaal door de wortelzone verspreid wordt. De ondergrondse druppelslang ligt namelijk niet altijd precies bij de wortel van het gewas. Bij de bovengrondse druppel werd bij de druppelslang gemeten. Omdat deze slang bij de wortel ligt, is het hier belangrijk dat het vocht verticaal naar beneden wordt getransporteerd, richting de wortelzone. In 2024 werd er zowel bij de ondergrondse als bij de bovengrondse druppel, aardappel verbouwd. De bodemvochtsensoren zijn toen bij beide irrigatietechnieken op 20 en 40 cm onder de bovenkant van de rug geplaatst. Ook is er een referentiesensor geplaatst op een locatie waar wel oppervlakkige druppelirrigatie gegeven werd, maar waar geen gewas groeide. Zo kon er ook gemonitord worden hoe het gewas de vochtgehaltenes van de bodem beïnvloedde.

### 3.4 Modelaanpak

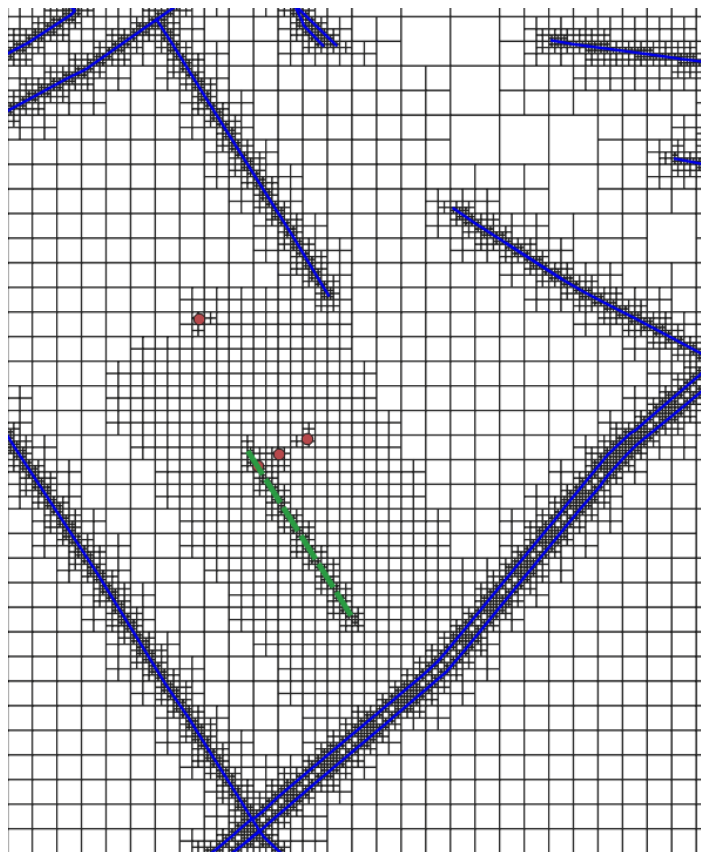
Op basis van beschikbare gegevens van de percelen en het omliggend gebied is een numeriek geohydrologisch model ontwikkeld. Gegevens van bodem, geohydrologie, oppervlaktewater en grondwatermetingen zijn verzameld en vormen samen de basis van het conceptuele model.

#### 3.4.1 Model concept

Voor het stromingsmodel is gebruik gemaakt van het MODFLOW6-pakket<sup>1</sup> met gebruik van de BUY-package voor dichtheidsafhankelijke stroming. De randen van het modelgebied zijn zo gekozen dat het oppervlaktewater om de proefpercelen binnen het modelgebied vallen. In het modelgebied is gebruik gemaakt van rekencellen van 100 x

<sup>1</sup> Langevin, C.D., Hughes, J.D., Banta, E.R., Provost, A.M., Niswonger, R.G., and Panday, Sorab, 2021, MODFLOW 6 Modular Hydrologic Model version 6.2.1: U.S. Geological Survey Software Release, 18 February 2021 <https://doi.org/10.5066/F76Q1VQV>

100 m, met verfijningen rond het oppervlaktewater, op de proefpercelen, de diepdrain, en de locaties van de peilbuizen (Figuur 5). De kleinste cellen zijn rond de diepdrain, met een grootte van ongeveer 1,5 x 1,5 m.



Figuur 5. Overzicht van de verfijning van het model grid in de omgeving van het proefperceel en bij de waterlopen (blauwe lijnen), peilbuizen (oranje stippen) en diepdrain (groene onderbroken lijn).

### Laagindeling

De indeling van modellagen en bijbehorende geohydrologische parameters is gebaseerd op de landelijke ondergrondmodellen GeoTOP, REGIS, de geomorfologische kaart van Nederland, alsook van verzamelde gegevens in het veld.

De eerste (bovenste) laag heeft als onderkant een diepte van -2 mNAP, waardoor de dikte van deze laag bij het proefperceel ongeveer 2 m is. Daarna bestaat het model uit lagen van 1 m dikte tot een diepte van -18 m NAP. Deze fijne lagenopbouw is nodig om de zoet-zout verdeling in detail te kunnen simuleren. Onderaan is nog een goed doorlatende laag opgenomen die gebaseerd is op de formaties van Kreftenheye, Peize en Waalre. Dit leidt in totaal tot 17 modellagen.

De doorlatendheden van de lagen tot -18 m NAP zijn in eerste instantie gebaseerd op de meest waarschijnlijke lithoklasse volgens GeoTOP. Voor iedere modellaag is het gemiddelde van de horizontale doorlatendheid van de bijbehorende GeoTOP lithoklassen aangehouden (zie Tabel 2), en de laagste verticale doorlatendheid. Later Voor de onderste laag zijn de doorlatendheden van REGIS aangehouden.

Tabel 2. Horizontale en verticale doorlatendheden per GeoTOP lithoklasse

	Horizontale doorlatendheid [m\d]	Verticale doorlatendheid [m/d]
<b>Veen</b>	0,01	0,004
<b>Klei</b>	0,01	0,0035
<b>Zavel</b>	0,1	0,01
<b>Zand fijn</b>	5	1
<b>Zand midden</b>	15	3
<b>Zand grof</b>	25	5

#### Randvoorwaarden model

De randvoorwaarde aan de bovenzijde van het model is gelijk aan de grondwateraanvulling. Deze wordt bepaald aan de hand van het neerslagoverschot (bruto neerslag – actuele verdamping). Het neerslagoverschot is gebaseerd op neerslag van het meetstation bij het proefperceel en de verdamping op KNMI-station Wilhelminadorp.

Aan de randen van het eerste watervoerend pakket (de onderzijde van het model), zijn vaste stijghoogten opgelegd. De waarde van de vaste stijghoogte is gebaseerd op nabij gelegen peilbuizen in DINOloket, en varieert tussen -1,1 en -1,3 m NAP.

Alle primaire, secundaire, en tertiaire watergangen, die zich binnen het modelgebied bevinden, zijn gemodelleerd. De watergangen hebben een variabel peil gebaseerd op het peilgebied. Het zomerpeil gaat in op 1 april en het winterpeil op 1 oktober.

#### Zoet-zout

De zoet-zout situatie is gebaseerd op de driedimensionale verdeling van de chlorideconcentratie op basis van de FRESHM-dataset. Deze dataset heeft een horizontale resolutie van 50x50 m. Op basis van FRESHM ligt de diepte van het zoet-zout grensvlak tussen 11 en 12 m onder maaiveld bij het proefperceel. Dit komt goed overeen met de uitgevoerde CVES-metingen. Voor de modellering is uitgegaan van een uniforme diepte van 12 m beneden maaiveld onder het proefperceel.

### 3.4.2 Kalibratie

Ter voorbereiding van het kalibreren van het model, wordt een ijkset gebruikt van grondwaterstandsmetingen. Het model wordt vervolgens aangepast waar nodig, totdat deze voldoende gekalibreerd is voor de beoogde modelberekeningen.

#### Ijkset

Het model is gekalibreerd aan de hand van de grondwaterstandsmetingen bij de zes peilbuizen in het proefperceel. Zoals beschreven in hoofdstuk 3.3.2 zijn deze peilbuizen in een raai dwars op de diepdrain geplaatst, op twee verschillende dieptes. De metingen van september 2023 t/m oktober 2024 zijn gebruikt voor de kalibratie.



## Kalibratie

In de kalibratie zijn verschillende modelparameters onderzocht, waaronder doorlatendheden en weerstanden van modellagen in de omgeving van het proefperceel, weerstanden van de waterlopen, specific yield, en stijghoogte van het watervoerend pakket. Doorlatendheden en weerstanden zijn gekalibreerd per laag en per geomorfologisch gebied. Op basis van de geomorfologische kaart is rond de proefpercelen sprake van getijdenvlaktes. Ten westen van de proefpercelen loopt een getij-kreekzetting in noord-zuidelijke richting. Volgens GeoTOP doorbreken deze de Formatie van Nieuwkoop.

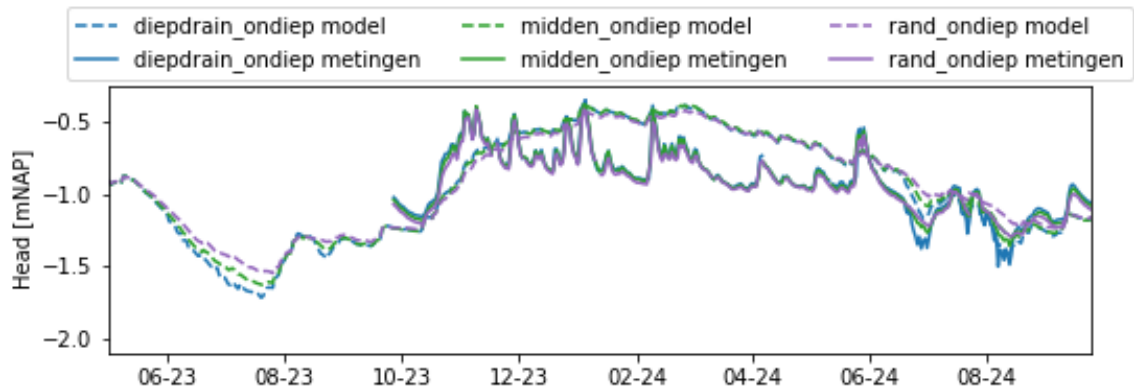
Tabel 3 Horizontale en verticale doorlatendheden voor de verschillende formaties die in het model zijn opgenomen

Diepte onderkant [m NAP]	Omschrijving	Horizontale doorlatendheid [m/d]	Verticale doorlatendheid [m/d]
-6	Formatie van Naaldwijk, laagpakket van Walcheren	5	0,5
-7	Weerstandslaag	0,1	0,1
-12	Formatie van Naaldwijk, laagpakket van Wormer	5	0,5
-13	Formatie van Nieuwkoop, basisveen	0,005	0,001
-18	Geulafzettingen	10	5

Tabel 4 Modelparameters

Parameter	Waarde
Stijghoogte watervoerend pakket	-1 m NAP
Weerstand waterlopen	20 dagen
Specific yield laag 1	0,1

Berekende grondwaterstanden na kalibratie zijn in Figuur 6 weergegeven. De variatie door het jaar heen komt goed overeen, al vertoont het model minder pieken in het natte seizoen. De afwijking tussen de gesimuleerde en gemeten waterstanden voor de ondiepe en diepe peilbuizen is ongeveer 10 cm, de gemiddelde absolute afwijking ongeveer 20 cm.

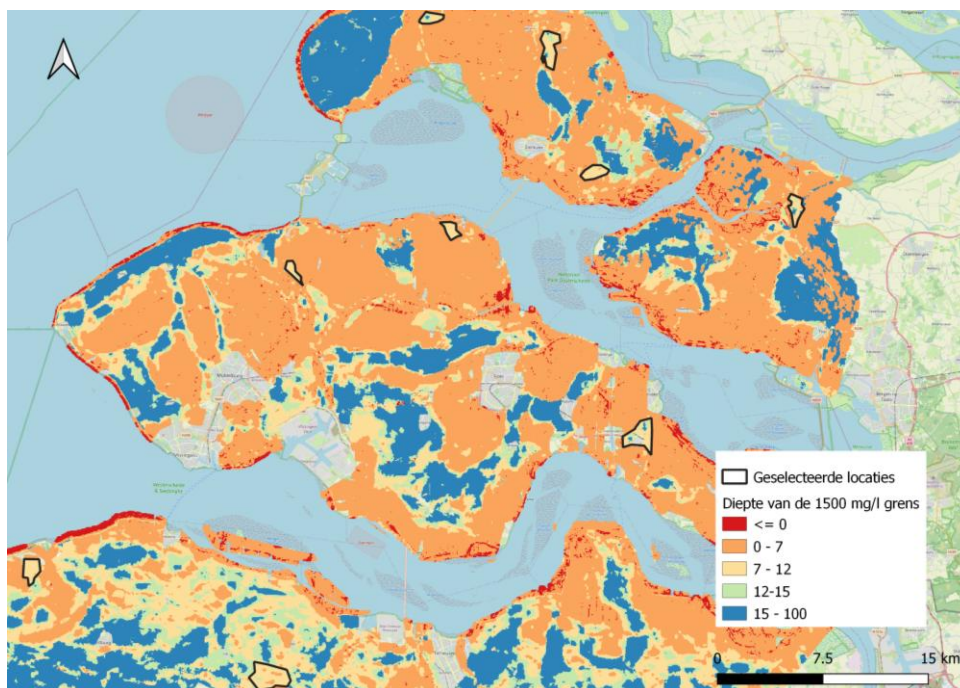


Figuur 6. Gesimuleerde en berekende grondwaterstanden na kalibratie.

### 3.4.3 Uitgangspunten scenario's

Voor de modelstudie is het van belang om te achterhalen onder welke bodemfysische omstandigheden kleinere zoetwaterbellen, met een dikte van tussen de 7 en 12 meter, voorkomen. Op die manier kan de modellering de randvoorwaarden voor onttrekkingen uit kleine zoetwaterbellen onderzoeken op basis van een basis situatie dat representatief is voor ondiepe zoetwaterbellen. Dit gaat bijvoorbeeld om de aanwezigheid van een slecht doorlatende laar onder de zoetwaterbel, en de aanwezigheid van geulen.

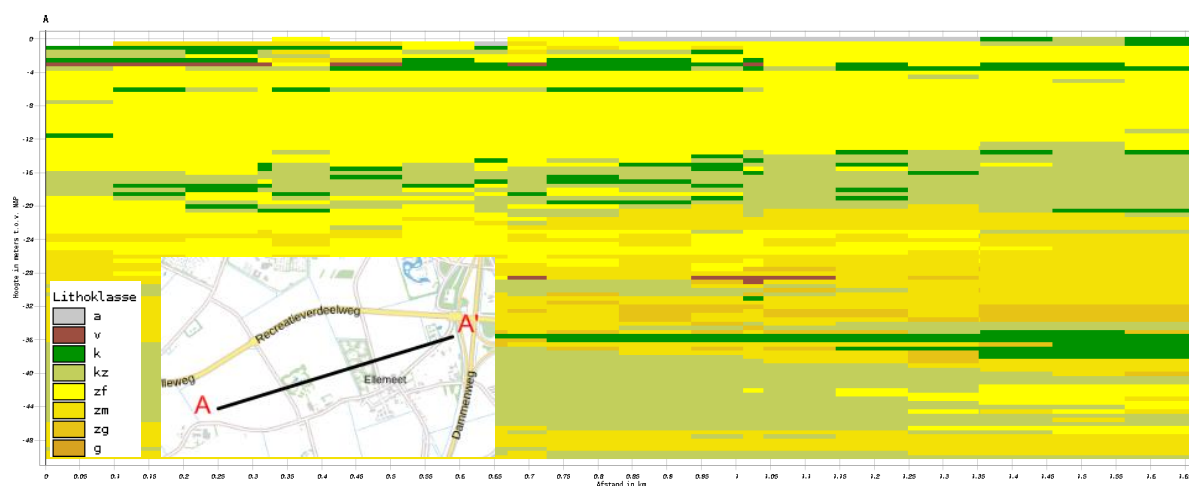
Verspreid in heel Zeeland zijn eigenschappen van kleine zoetwaterbellen geïnventariseerd. Daarbij is niet gekeken naar ondiepe bellen die uitmaken van een grotere zoetwaterbel met een diepte >15 m. In totaal is op negen van deze locaties de bodemstructuur bekeken, evenals de geomorfologische afzettingen. Figuur 7 toont de kaart waarop de onderzochte bellen aangegeven worden.



Figuur 7. Kaart met in zwart omrand de 9 locaties van zoetwaterbellen met een dikte tussen de 7 en 12 meter waarvan bodemfysische eigenschappen zijn onderzocht. De achtergrondkaart toont de diepte van het 1500 mg/l grensvlak (overeenkomend met het zoet zout grensvlak).

Uit deze inventarisatie is gebleken dat er verschillen bestaan tussen de bodemeigenschappen van de ondoorlatende laag bij de verschillende geteste locaties. In het algemeen gold echter dat de meeste kleine zoetwaterbellen voorkomen in een pakket van fijn tot matig fijn zand met aan de onderkant soms een kleiige maar vaker een zavelige laag. Deze kunnen als slecht doorlatende lagen worden beschouwd. Daarnaast blijkt zowel uit de doorsnedes in GeoTop als de geomorfologische kaart dat deze slecht doorlatende lagen niet altijd geheel doorlopen, en soms ook onderbroken kunnen worden door getijkreekbeddingen welke een hogere doorlatendheid hebben (in 2 van de 9 gevallen). In een aantal gevallen is er zelfs geen slecht doorlatende laag op een diepte van tussen de 7 en 12 meter aanwezig (in 2 van de 9 gevallen). Een doorlopende slecht doorlatende laag is echter in 5 van de 9 onderzochte locaties wel aanwezig. Hieruit blijkt dat de bodemfysische omstandigheden tussen de locaties behoorlijk variëren.

Verticale Doorsnede BRO GeoTOP v1.6



Figuur 8. Een van de doorsnedes uit Geotop (voor de meest Noordelijke locatie in Figuur 7). Hier is te zien dat er een slechter doorlatende laag van overwegend zavel (kz) voorkomt. Ook aan de oppervlakte zijn slechter doorlatende lagen van klei te vinden. Echter is er een dikker pakket van fijn zand aanwezig welke als aquifer kan functioneren.

Voor de modelberekeningen is een basisscenario ontworpen op basis van een representatieve situatie voor kleine zoetwaterbellen in Zeeland. Op basis van de bovenstaande bevindingen is ervoor gekozen om het basismodel voor de scenario's te laten bestaan uit zandig profiel met een doorlopend zavelige weerstandslaag op 11 m beneden maaiveld. Deze laag heeft een weerstand van ongeveer 300 dagen en wordt dus niet onderbroken door geulen. Wel worden er vanuit deze basisvarianten doorgerekend waarbij er in één variant helemaal geen ondoorlatende laag aanwezig is en waarbij er in een andere wel een ondoorlatende laag aanwezig is, maar welke met beter doorlatende geulen wordt onderbroken.

De scenario's zijn vier jaar doorgerekend. Het eerste jaar representeert een gemiddeld jaar (2015), het tweede een nat jaar (2023), het derde een droog jaar (2018) en het vierde een gemiddeld jaar (2015). Ieder jaar is in de zomerperiode ongeveer 4.500 m<sup>3</sup> onttrokken, conform de situatie bij het pilotperceel.

In de modelscenario's zijn de volgende randvoorwaarden onderzocht:

- Weerstand van de slecht doorlatende laag;

- Weerstand 100 dagen: de weerstand van de slecht doorlatende laag is verlaagd naar ca. 100 dagen;
- Weerstand 1500 dagen: de weerstand van de slecht doorlatende laag is verlaagd naar ca. 1500 dagen;
- Zandpakket: de slecht doorlatende laag ontbreekt.
- Dikte van de zoetwaterbel;
  - De bovenkant van de slecht doorlatende laag en het zoet-zout grensvlak liggen op 8 m beneden maaiveld;
- Aanwezigheid van geulen;
  - De slecht doorlatende laag is onderbroken door zandige geulen op ca. 60 m van de diepdrain;
- Kwel/infiltratiesituatie;
  - De stijghoogte aan de randen van het watervoerend pakket is verlaagd met 15 en 30 cm, waardoor kwelsituatie in de zomer korter duurt en een lagere kwelflux veroorzaakt. Gemiddeld over het jaar is in alle scenario's echter sprake van een infiltratieflux;
  - Het oppervlaktewaterpeil is verhoogd. In het basis scenario is uitgegaan van het oppervlaktewater bij de pilot, waarbij de primaire watergang ten westen van het proefperceel een zomerpeil en winterpeil op respectievelijk 1,5 m en 1,95 m onder het niveau van maaiveld bij de diepdrain. In de scenario is uitgegaan van een oppervlaktewaterpeil van ongeveer 1,25 m beneden maaiveld.
- Onttrokken volume;
  - De onttrekking is ten opzichte van het basisscenario gehalveerd, tot ca. 2.250 m<sup>3</sup>.

## 4 Hydrologische analyses

### 4.1 Invloed onttrekking op hydrologisch systeem

Het eerste deel van het onderzoek had als doel om de invloed van de onttrekking op het hydrologische systeem te meten. Als hoofdvraag voor dit onderdeel geldt: “Kan een kleine zoetwaterbel duurzaam beheerd worden?”. Hier geven we antwoord op de volgende deelvragen:

1. Is het mogelijk om gecontroleerd water te onttrekken uit een diepdrain door middel van een toerengereguleerde bron?
2. In welke mate wordt het systeem direct beïnvloed door de onttrekking?
3. Herstelt het hydrologische systeem zich van een onttrekking gedurende één jaar?
4. Tot welk niveau van onttrekking is het systeem robuust en wat zijn daar de sleutelfactoren?

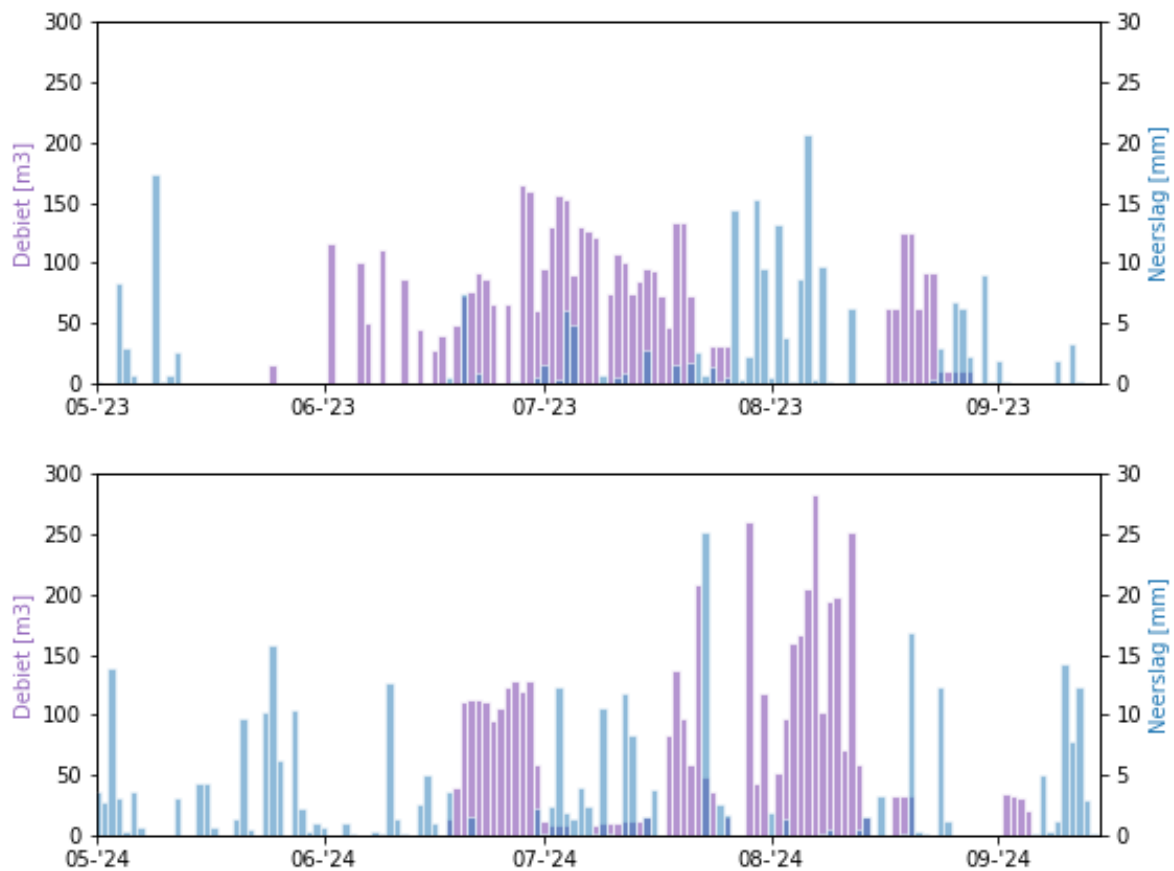
Elk van de vragen wordt hieronder behandeld.

#### 4.1.1 Is het mogelijk om gecontroleerd water te onttrekken uit een diepdrain door middel van een toerengereguleerde bron?

Op basis van de debietmetingen is in 2023 in totaal 4.370 m<sup>3</sup> onttrokken uit de diepdrain, en in 2024 4.680 m<sup>3</sup>. Het grootste gedeelte van het debiet is in de periode juni t/m augustus onttrokken (Figuur 9). Het gemiddelde dagelijkse debiet in 2024 was met 87 m<sup>3</sup>/dag ook iets hoger dan de 79 m<sup>3</sup>/dag van 2023.

In droge periodes werd over het algemeen dagelijks onttrokken uit de diepdrain. Vooral in de eerste helft van juni 2023 werd ondanks de droge periode om de twee tot drie dagen water onttrokken. In relatief natte periodes, eind juli tot half augustus 2023 en de eerste helft juli 2024, werd vrijwel geen water onttrokken voor beregening. Daarmee varieerde het dagelijks debiet varieerde sterk over het jaar, van debieten kleiner dan 10 m<sup>3</sup>/dag in relatief natte periodes tot een maximum van 282 m<sup>3</sup> in augustus 2024.



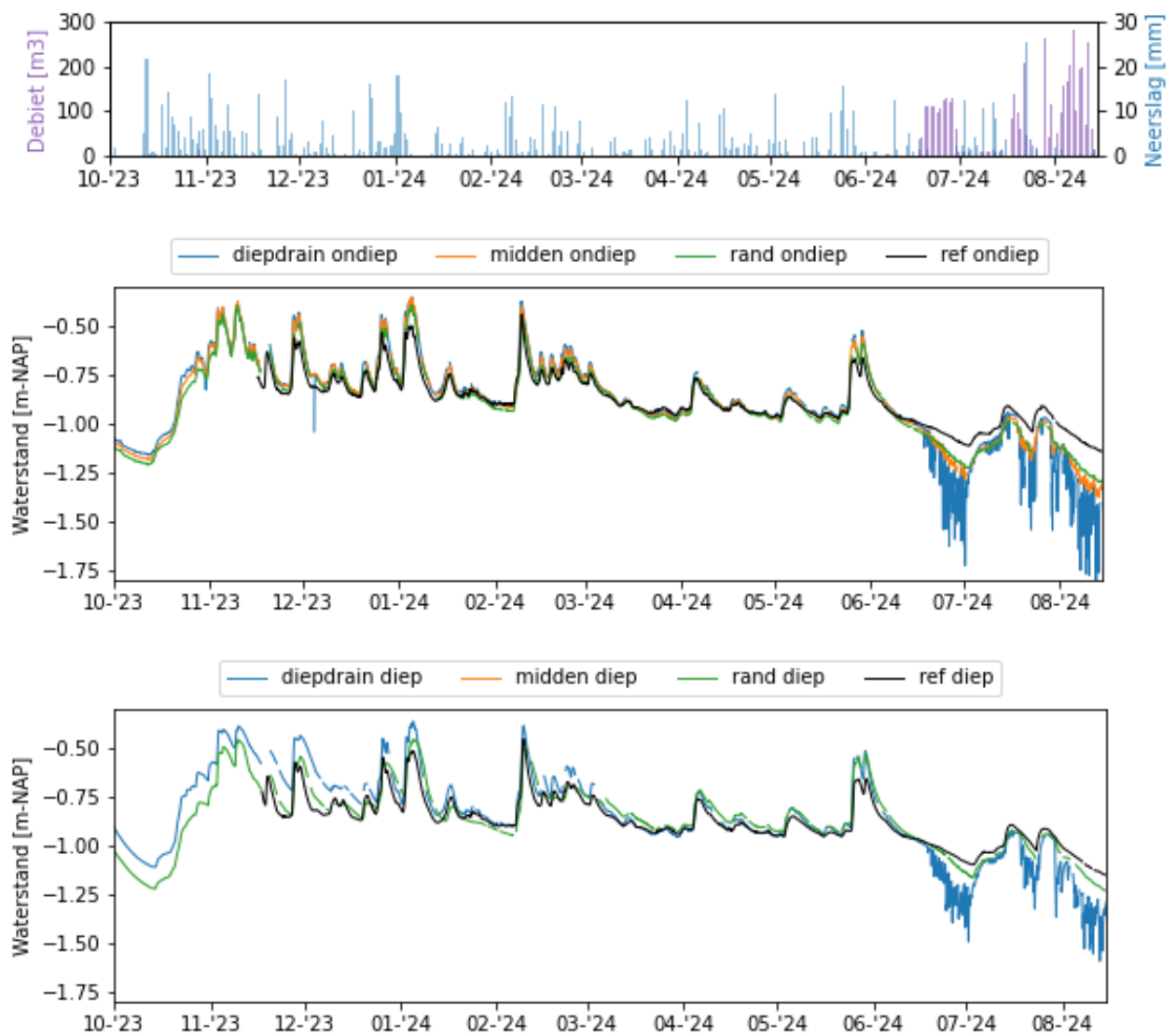


Figuur 9. Onttrokken debieten uit de diepdrain met als referentie neerslag tijdens de groeiseizoenen van 2023 (boven) en 2024 (onder).

#### 4.1.2 In welke mate wordt het systeem direct beïnvloed door de onttrekking?

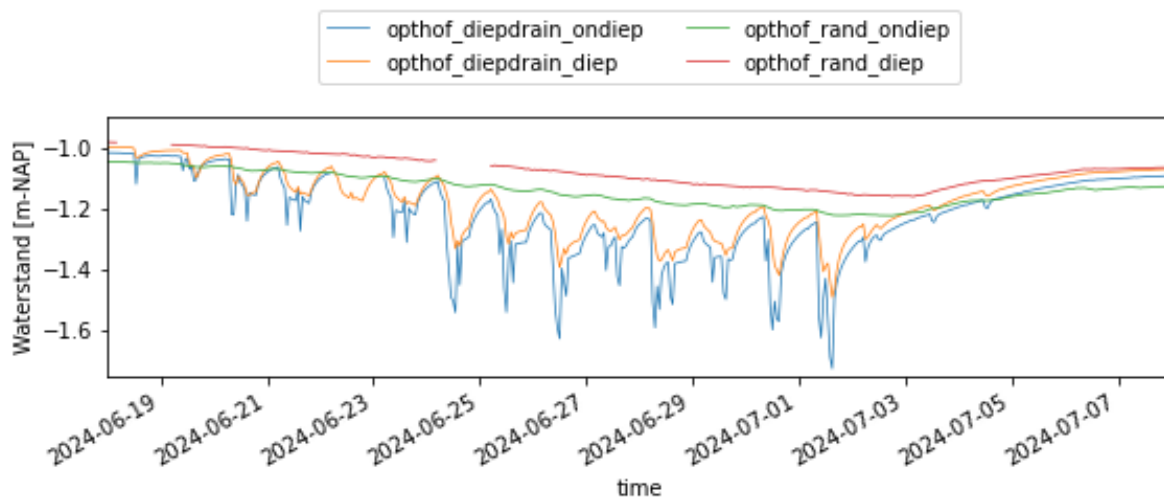
Grondwaterstanden en stijghoogten zijn gemeten op drie plekken in het perceel, en op twee dieptes per locatie. Meetreeksen worden in Figuur 10 weergegeven en beginnen na afloop van het groeiseizoen in 2023. Van eind september tot half oktober 2023 is weinig neerslag gevallen en als gevolg daarvan zakken de gemeten grondwaterstanden en stijghoogten. Met een grote bui op 13 oktober begint een nattere periode, waarin de waterstanden sterk reageren op de neerslag.

De reacties op neerslag gemeten in de diepe peilbuizen komen in grote lijnen overeen met die in de ondiepe peilbuizen. De verandering in waterstand en herstel van de grondwaterstand in een droge periode zijn vergelijkbaar. De reactie op de onttrekking uit de diepdrain is echter verschillend. De waterstand in de ondiepe peilbuis bij de diepdrain kan met tot ongeveer 0,5 m verlaagd worden als gevolg van de onttrekking, vergeleken met tot ongeveer 0,3 m in de diepe peilbuis bij de diepdrain (Figuur 11). Een mogelijke verklaring hiervoor is dat de textuur van de bovenste meters fijner is dan de onderste meters van het zandpakket. Dit komt overeen met een boring op het perceel met ondergrondse druppel, waar volgens de bodembeschrijving de eerste 7,3 m uit uiterst tot zeer fijn zand bestaat, met daaronder tot ongeveer 12,5 m-mv zand. Ook in de beschrijving van de bijbehorende geologische lagen, wordt aangegeven dat er lokaal matig tot zeer grof zand voor kan komen in de onderste van de twee zandpakketten.



Figuur 10. Neerslag (blauw) en onttrekkingen uit de diepdrain (paars) (boven), en gemeten waterstanden rond 3 (midden) en 8 m beneden maaiveld (onder).

De reactie op de onttrekking is in de reeksen van waterstanden van de peilbuizen bij de diepdrain zoals verwacht het grootst. Als de onttrekking stopgezet wordt herstelt de waterstand relatief snel, al wordt binnen een dag niet hetzelfde niveau gehaald als voor de onttrekking. Daarmee is in droge perioden sprake van een cumulatief effect. In de peilbuizen aan de rand van het perceel schommelt de waterstand als gevolg van een onttrekking binnen een dag met maximaal enkele centimeters. De verlaging ten opzichte van de referentie is aan de rand van het perceel maximaal ongeveer 15 cm. Dit is aan het eind van het groeiseizoen van 2024, ongeveer half augustus.



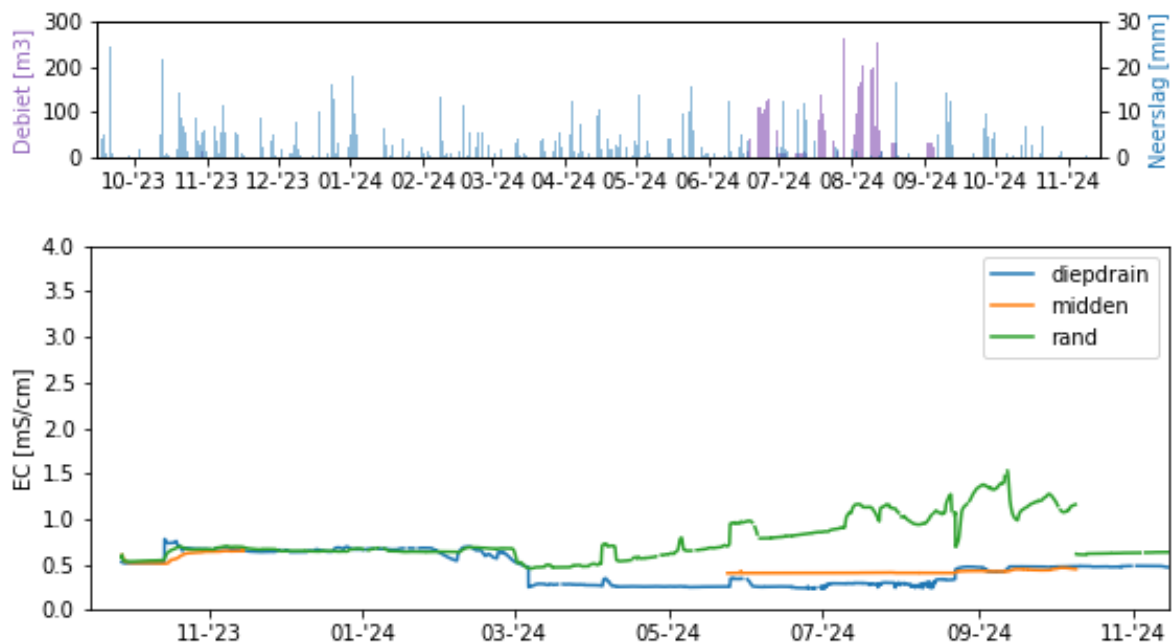
Figuur 11. Reactie van gemeten waterstanden op de onttrekking uit de diepdrain in de zomer van 2024.

### 4.1.3 Herstelt het hydrologische systeem zich van een onttrekking gedurende één jaar?

Het effect van de onttrekkingen op het hydrologisch systeem en of het systeem herstelt van deze onttrekkingen, wordt gemonitord middels geofysische metingen en telemetrische metingen in de peilbuizen. Het zoutgehalte van het grondwater is een belangrijke parameter waar verandering op kan treden door toedoen van de onttrekkingen. Elektrische geleidbaarheid (EC) is een goede maatstaaf voor zoutgehalte en wordt continue gemonitord in de diepe peilbuizen op drie verschillende afstanden van de diepdrain. Periodieke geofysische metingen geven inzicht in de EC voor en na de groeiseizoenen.

#### Peilbuizen

In Figuur 12 worden de EC-metingen weergegeven, met de neerslag ter referentie. De meetsensoren zijn in september '23 geïnstalleerd en hebben niet direct tijdens de onttrekkingen in het groeiseizoen gemeten. Er zijn wel metingen uitgevoerd tijdens de droge periode na het groeiseizoen, voordat er in oktober veel neerslag is gevallen. In alle drie de peilbuizen is in de periode eind september-begin oktober een EC met waardes rond 0,5 mS/cm gemeten. Dit geeft aan dat het grondwater op diepte van de diepdrain nog steeds zoet is, ook na een groeiseizoen waarin onttrekkingen hebben plaatsgevonden en er weinig aanvulling van neerslag is geweest.



Figuur 12: Tijdreeks van de elektrische geleidbaarheid diepe peilbuizen (onder), met de neerslag en onttrekking uit de diepdrain ter referentie (boven). De toenemende trend in de meting op de rand van het perceel (groen) is waarschijnlijk het gevolg van een defecte sensor.

Rond 13 oktober 2023 is er circa 30 mm neerslag gevallen waarna een reactie in de EC van alle 3 peilbuizen te zien is. De EC in de diepe peilbuis bij de diepdrain reageert sterker dan de peilbuizen op grotere afstand van de diepdrain. Relatief gezien is deze stijging klein te noemen aangezien de EC naar maximaal 0,72 mS/cm stijgt. Vervolgens stabiliseert de EC en reageert nauwelijks meer op neerslag.

In de zomer van '24 is tijdens het hele onttrekkingsseizoen de EC en grondwaterstanden in de peilbuizen gemeten. Opvallend is de toename in EC aan de rand van het perceel. Door het feit dat de stijging in april 2024 begint, terwijl de onttrekking pas in de tweede helft juni van start gaat, doen echter vermoeden dat het hier ging om een kapotte sensor. Dit is bevestigd door het feit dat de EC na vervanging van de sensor veel lager uitvalt. Het niveau is dan vergelijkbaar met voor het groeiseizoen. Daarmee is in de diepe peilbuizen geen verziltingseffect waargenomen.

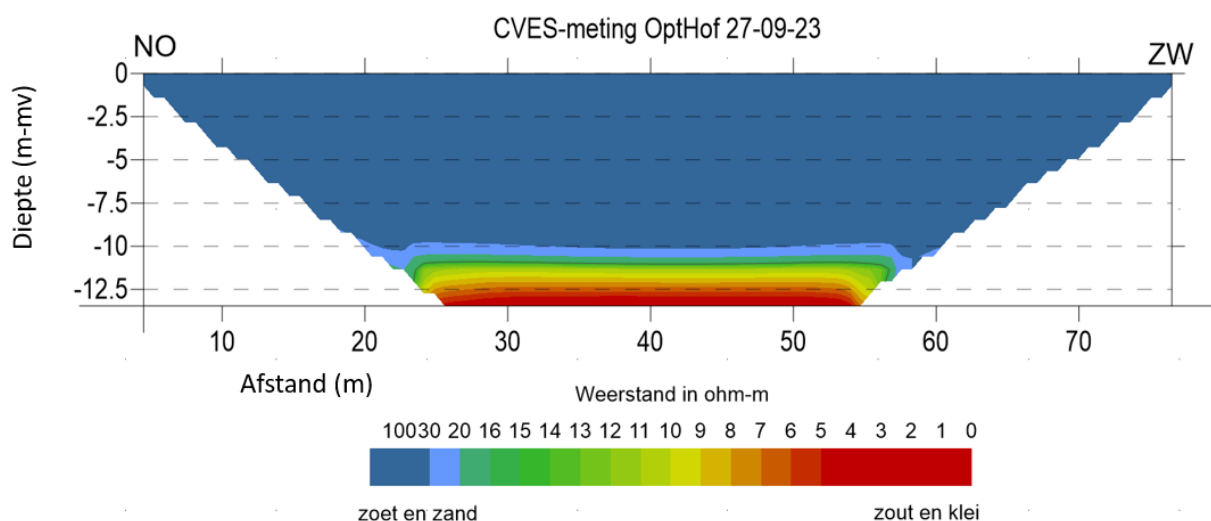
De ondiepe peilbuizen zijn niet voorzien van een EC-sensor. Uit een handpeiling van augustus 2024 blijkt dat het grondwater in de ondiepe peilbuis aan de rand van het perceel een EC had van 2,2 mS/cm. Het grondwater in de ondiepe peilbuizen van de andere twee meetlocaties in het proefperceel waren rond 0,7 mS/cm, en daarmee vergelijkbaar met de metingen in de diepe peilbuizen. Het is onduidelijk wat de verklaring is voor de hogere EC in het ondiep grondwater bij de rand van het proefperceel, terwijl het diepere grondwater zoet is. Over het algemeen wordt vanwege het dichtheidsverschil tussen zoet en zout water juist het tegenovergestelde verwacht. Het is ook onduidelijk of het gaat om een effect, of dat de EC daar voor de proef ook hoger was. Een effect aan de rand van het perceel zou kunnen duiden op zijwaartse verplaatsing van de rand van de zoetwaterbel als gevolg van de onttrekking. Al is het niet duidelijk waarom dit effect alleen ondiep is waargenomen. Een andere verklaring zou

kunnen zijn dat het stromingspatroon veranderd is vanwege de (zeer) natte jaren van de proef, waarbij brak water is aangevoerd vanuit een andere richting.

### Geofysische metingen

Een CVES (Continuous Vertical Electrical Soundings) is een geofysische meting en geeft de elektrische weerstand van de bodem weer. Deze meting is een momentopname en wordt halfjaarlijks uitgevoerd; voor het groeiseizoen als het grondwater optimaal is, aangevuld met neerslag en na het groeiseizoen waarin onttrekkingen hebben plaatsgevonden. De mate van verzadiging, bodemtype (klei-zand) en zoutgehalte (zoet-zout) hebben invloed op de bodemweerstand. Verzadigd, klei en zout zorgen voor een lage weerstand en dus hoge geleidbaarheid. Droog, zand, en zoet grondwater zorgen voor een hoge weerstand en dus een lage geleidbaarheid. De CVES is uitgevoerd dwars over de ligging van diepdrain en parallel van de peilbuizen over een lengte van 80 m. De diepte van de meting is in het hart ongeveer 12,5 m beneden maaiveld.

De bodemopbouw is bepaald door het uitvoeren van een sondering. Uit deze sondering is af te leiden dat de bodem vanaf maaiveld tot 13 m diepte voornamelijk uit zandig materiaal bestaat. Op 13 m is een slecht doorlatende laag (klei/veen) aanwezig. In de CVES (Figuur 13) is deze laag te zien aan de lage weerstand onderin de meting. De lage weerstand wordt veroorzaakt door een combinatie van zout grondwater en een bodemsoort klei of veen. Boven deze laag zijn hoge weerstanden gemeten, wat duidt op zoet grondwater in een zandige bodem. De EC in de diepe peilbuis bij de diepdrain is op het moment van de CVES-meting 0.5 mS/cm. Er kan worden aangenomen dat de EC tot 10 m diepte rond dezelfde waarde zit, aangezien er geen variatie in deze laag van de CVES-meting te zien is.

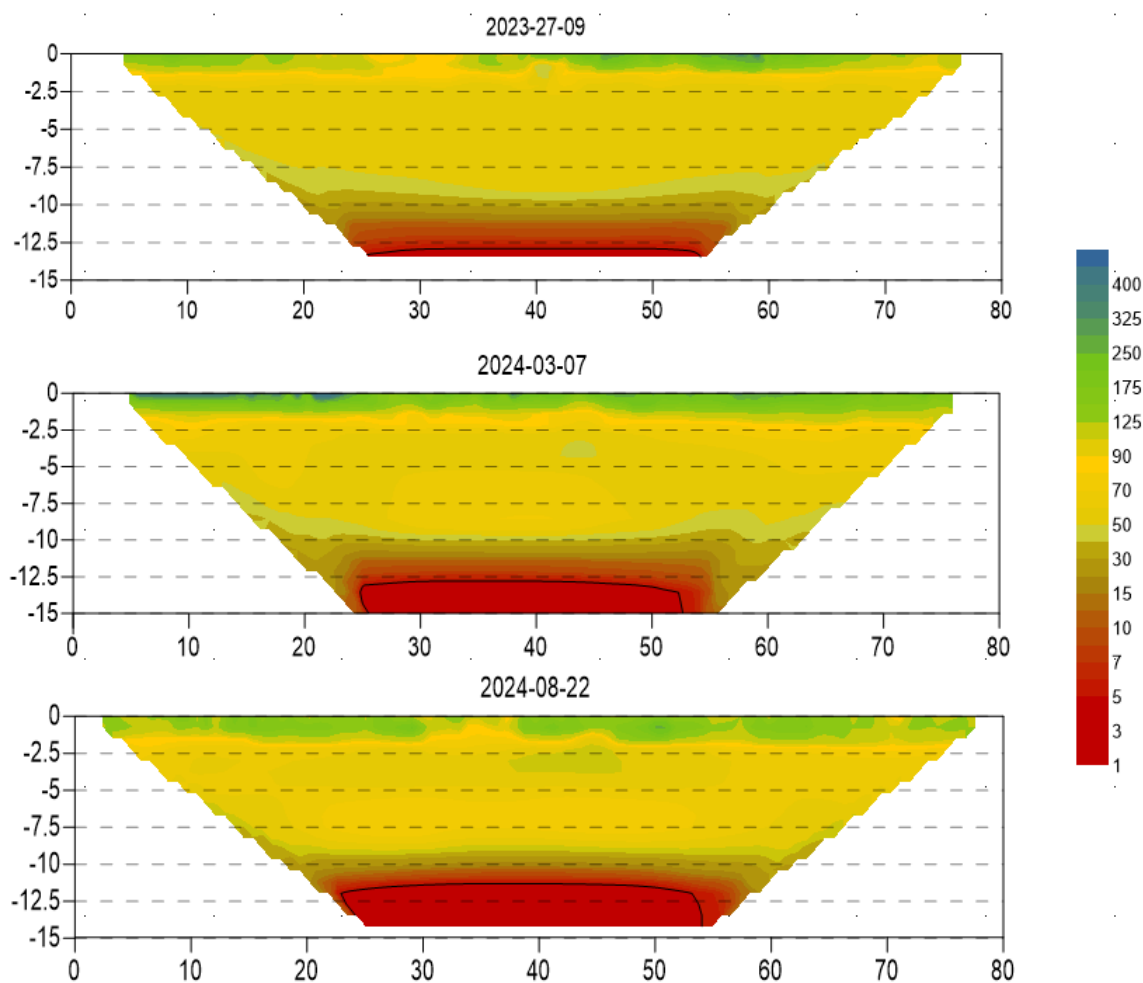


Figuur 13: Resultaat van de CVES-meting uitgevoerd na het groeiseizoen met onttrekkingen

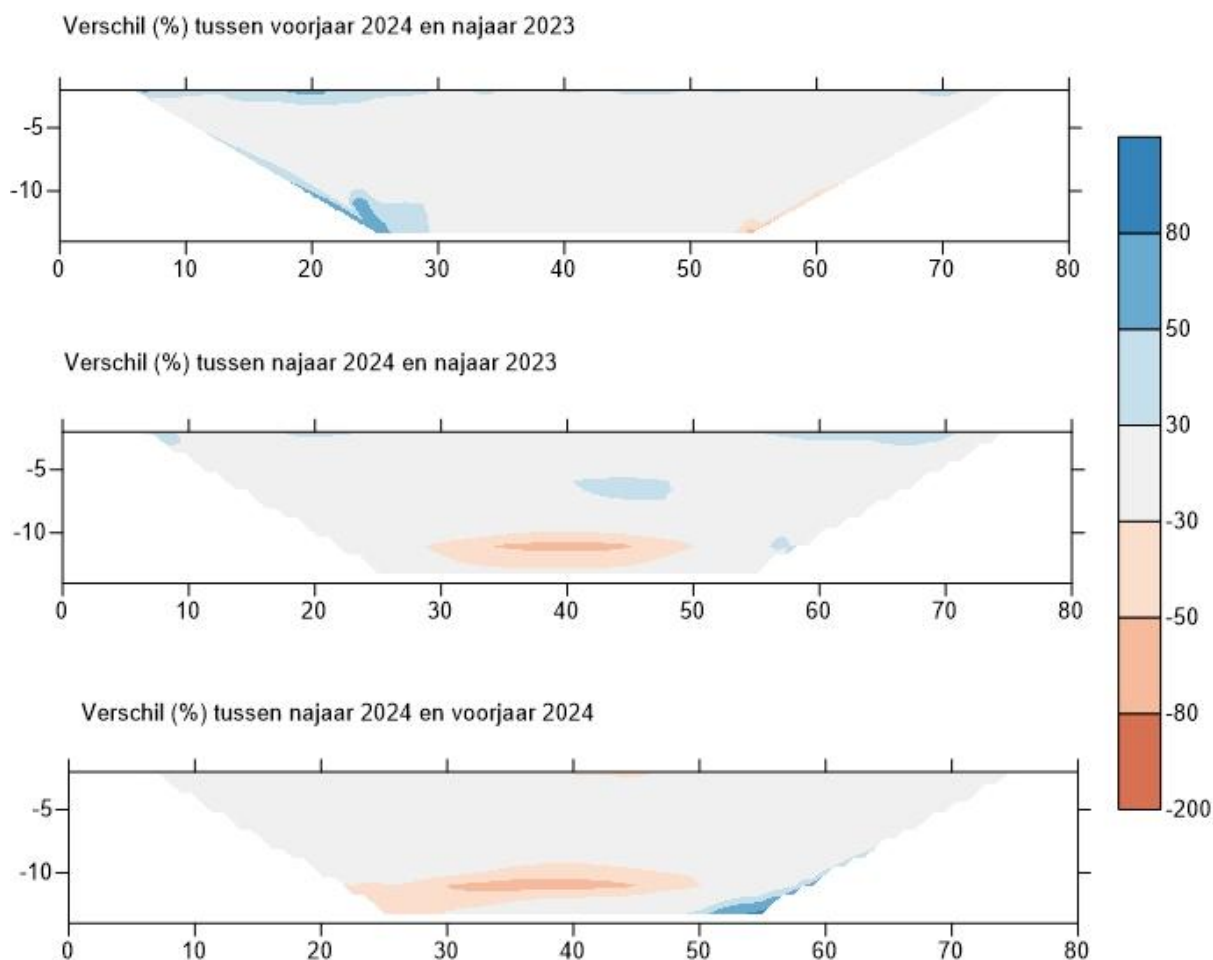
In 2024 zijn nog twee herhalingsmetingen uitgevoerd om eventuele verzilting in beeld te krijgen. De eerste, in maart, vond plaats voor het groeiseizoen, en de tweede, in augustus, na het groeiseizoen. In de verzadigde zone, grofweg onder 2 m beneden maaiveld, kunnen verschillen in weerstand gerelateerd worden aan verandering in EC. Een



toename in weerstand komt daarmee overeen met een verlaging van de EC (verzoeting), en een afname met een verhoging van de EC (verzilting). In Figuur 15 worden de gemeten verschillen in weerstand tussen de drie meetmomenten weergegeven. Uit de figuur blijkt dat er geen significante verandering is in zoutgehalte tussen het voorjaar 2024 en het najaar 2023. Dit kan verklaard worden doordat ook geen verziltingseffecten zijn waargenomen in 2023. Daarmee wordt ook er gedurende de winterperiode ook geen herstel verwacht.



Figuur 14. Resultaat van de drie CVES-metingen. Deze zijn dwars op de diepdrain uitgevoerd, waarbij de diepdrain in het midden van de dwarsdoorsnede ligt (op 40 m).



Figuur 15. Relatieve verandering in weerstand tussen 2 en 14 m beneden maaiveld tussen de drie meetmomenten. Rode kleuren geven aan dat het zoutgehalte is toegenomen, blauwe kleuren dat het zoutgehalte is afgenomen.

De meting van het najaar van 2024 toont echter verziltingseffecten rond 11 m beneden maaiveld ten opzichte van de eerdere metingen. Deze verzilting vindt plaats rond de onderkant van de zoetwaterbel (zie Figuur 13), en wijst erop dat het zout wat omhooggetrokken is tussen maart en augustus 2024. Een halvering van de weerstand (verandering van -50%) komt daarbij grofweg overeen met een verdubbeling van de EC. Het is mogelijk dat de waargenomen stijging in zoutgehalte veroorzaakt wordt door de onttrekking uit de diepdrain. Het is echter ook een zeer nat jaar geweest, waardoor het ook mogelijk is dat de grondwaterstroming anders is geweest dan gebruikelijk. Een laatste mogelijkheid is dat het grensvlak van de overgang van zand, naar klei dermate grillig is dat een klein verschil in het gelopen tracés tussen voorjaar en najaar de oorzaak is van de verandering. In dat geval is de verandering van het bodemmateriaal op diepte de oorzaak van de andere geleidbaarheid en niet de verzilting.

Van de 3 CVES-metingen zijn verticale profielen opgesteld in het midden van de metingen, waar het effect van de onttrekking het grootst is. De formatieweerstanden zijn omgerekend naar de EC van het grondwater. Hiervoor is Archie's law toegepast. Deze wet houdt rekening met de invloed van de bodemsoort op de weerstand door het toepassen van een formatiefactor. Voor de bovenste 12,5m is rekening gehouden zandige laag met een formatie van 3. Op 12,5m is begint de kleilaag

Het is mogelijk dat de waargenomen verhoging van het zoutgehalte aan de onderkant van de zoetwaterbel in de loop van de natte periode gedeeltelijk of geheel herstelt. Een herhalingsmeting in het voorjaar 2025 kan inzicht geven in hoeverre herstel plaatsvindt.

#### 4.1.4 Tot welk niveau van onttrekking is het systeem robuust en wat zijn daar de sleutelfactoren?

Het onderzoek naar de robuustheid van het systeem is onderverdeeld in twee stappen. Ten eerste is een simpele waterbalans analyse uitgevoerd. In het tweede deel zijn de randvoorwaarden van onttrekking uit een dunne zoetwaterbel onderzocht aan de hand van modelscenario's.

##### Waterbalans analyse

Een eerste benadering van de randvoorwaarden voor een duurzame onttrekking, is een simpele waterbalans analyse. Het onttrokken debiet van 4370 m<sup>3</sup> in 2023 komt overeen met 220 mm verdeeld over het perceel waar de diepdrain zich in bevindt, en 72 mm verdeeld over de twee proefpercelen waar druppelberegening is toegepast. Dit is ongeveer de helft van het cumulatieve neerslagtekort tussen mei en augustus (Tabel 5). Ter vergelijking, de netto neerslag in de wintermaanden bedraagt gemiddeld 342 mm (Tabel 6). Dit geeft aan dat de onttrekking slechts een fractie van de netto neerslag bedraagt.

Tabel 5. Neerslag, referentieverdamping, en watergift tijdens het groeiseizoen van 2023, zowel op maand basis als cumulatief

	Neerslag [mm]		Referentie verdamping [mm]		Neerslagtekort [mm]		Watergift* [mm]	
	Maand	Cum.	Maand	Cum.	Maand	Cum.	Maand	Cum.
<b>Mei</b>	38	38	102	102	-64	-64	0,3	0,3
<b>Juni</b>	15	53	136	238	-121	-185	24,5	24,8
<b>Juli</b>	99	151	105	344	-7	-193	36,4	61,2
<b>Augustus</b>	137	288	89	433	48	-145	11,2	72,4

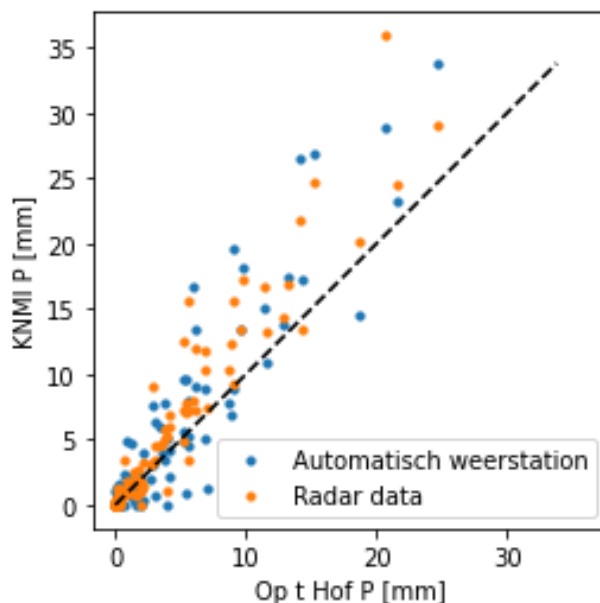
\* Omrekening van m<sup>3</sup> naar mm is gebaseerd op de gezamenlijke oppervlakte van de proefpercelen met bovengrondse en ondergrondse druppelirrigatie.

Tabel 6. Overzicht van neerslag en verdampingsgegevens voor KNMI-station Wilhelminadorp

	Neerslag [mm]	Referentie verdamping [mm]	Netto neerslag [mm]
<b>Groeiseizoen (april t/m augustus)</b>	304	453	-149
<b>Buiten groeiseizoen (september t/m maart)</b>	515	173	342
<b>Totaal</b>	820	627	193

Vanaf half juli is neerslag gemeten op het proefperceel. In Figuur 16 zijn de gegevens vergeleken met twee datasets van het KNMI: neerslag data van KNMI automatisch

weerstation Wilhelminadorp en een dataset gebaseerd op radardata. Uit de vergelijking blijkt dat de neerslag gemeten door de regenmeter op het proefperceel vooral voor de grotere neerslagbuien, over het algemeen lager uitvalt dan de neerslag op basis van de KNMI-datasets.



Figuur 16. Vergelijking neerslag van het meetstation bij het proefperceel met twee datasets van het KNMI.

### Randvoorwaarden systeem

De randvoorwaarden voor duurzame onttrekking uit een relatief ondiepe zoetwaterbel zijn onderzocht aan de hand van een modelstudie. De keuze voor de randvoorwaarden in het basisscenario (scenario 1), zijn beargumenteerd in hoofdstuk 3.4.3. Voor ieder scenario is een modelrun uitgevoerd mét en zonder onttrekking. De run waarbij geen onttrekking is uitgevoerd wordt als referentierun beschouwd. Alle effecten van de scenario's met onttrekking zijn bekeken relatief aan de scenario's zonder onttrekking. De scenario's zijn vier jaar doorgerekend. Het eerste jaar representeert een gemiddeld jaar (2015), het tweede een nat jaar (2023), het derde een droog jaar (2018) en het vierde een gemiddeld jaar (2015).

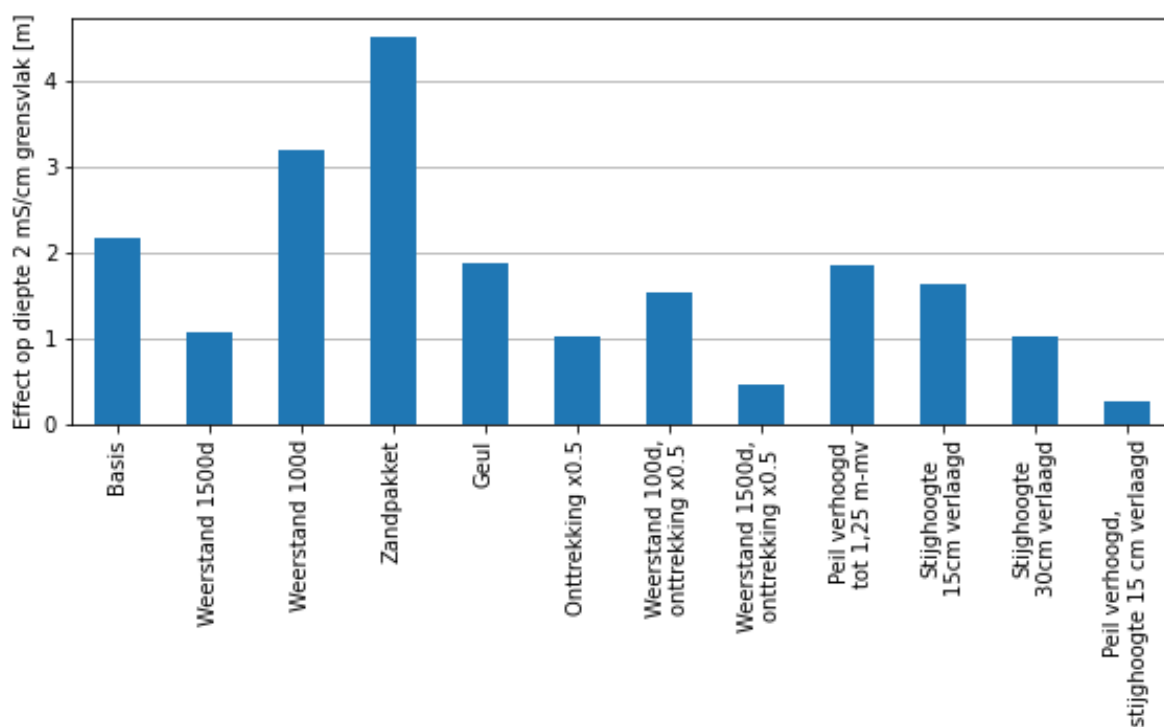
De invloed van de volgende randvoorwaarden zijn onderzocht:

- Weerstand van de slecht doorlatende laag;
- Aanwezigheid van geulen;
- Onttrokken volume;
- Kwel/infiltratiesituatie;
- Dikte van de zoetwaterbel.

Uit de modelresultaten blijkt dat voor elk scenario over verloop van de vier jaar het zoet-zout grensvlak, door onttrekking van zoet water omhoog wordt getrokken. Er is dus sprake van upconing. Het herstel over de winterperiode is voor alle scenario's beperkt, ondanks dat in de vorige paragraaf is gesteld dat het neerslagoverschot in de winterperiode veel groter is dan het onttrokken volume. Doordat het zoet-zout grensvlak niet volledig herstelt tussen onttrekkingsseizoenen is er sprake van een cumulatief effect door de tijd.

Het effect van vier jaar onttrekken op de diepte van het zoet-brak grensvlak van 2 mS/cm direct onder de diepdrain wordt in Figuur 17 weergegeven. Een grenswaarde van 2 mS/cm is gebruikt omdat de shadedrempel voor berekening van verschillende veelvoorkomende landbouwgewassen rond deze waarde is<sup>2</sup>.

De berekende upconing is erg gevoelig voor de weerstand van de slecht doorlatende laag (Figuur 17). Bij een verhoging van de weerstand van de slecht doorlatende laag van ca. 300 dagen in het basisscenario naar 1500 dagen neemt de berekende upconing met de helft af. Bij een verlaging van de weerstand neemt de upconing met ongeveer 50% toe. Als de slecht doorlatende laag geheel ontbreekt, dan bereikt het zoet-brak grensvlak op basis van een EC van 2 mS/cm volgens de berekeningen in de loop van het vierde beregeningsseizoen de diepte van de diepdrain. Dat betekent dat na het vierde jaar water wordt onttrokken met een EC dat hoger ligt dan deze waarde, waardoor het mogelijk te brak is voor berekening. De aanwezigheid van geulen op ca. 60 m van de diepdrain heeft relatief weinig effect op de berekende upconing, maar kan afhankelijk van de afstand een effect hebben op de randen van de zoetwaterbel.



Figuur 17. Effect van onttrekkingen uit de diepdrain op de diepte van het zoet-brak grensvlak van 2 mS/cm in meters aan het einde van het vierde groeiseizoen.

Zoals verwacht zorgt een kleiner onttrokken volume voor een kleinere effect op het zoet-brak grensvlak (Figuur 17). Bij een halvering van het onttrokken volume, van 4.500 m<sup>3</sup>/jaar naar 2.250 m<sup>3</sup>/jaar, is de berekende upconing na 4 jaar ook ongeveer gehalveerd.

<sup>2</sup> Van Dam, A.M, Clevering, O.A., Voogt, W., Aendekerk, T.G.L., van der Maas, M.P. (2007) Zouttolerantie van landbouwgewassen, Deelrapport Leven met zout water, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Wageningen, Nederland.



Daarnaast is het effect van een lager onttrekkingsvolume met een lagere weerstand van de scheidende laag onder de zoetwaterbel onderzocht. Daaruit blijkt dat bij een halvering van het onttrekkingsvolume en een weerstand van 100 d, de upconing na vier jaar ongeveer 0,5 m lager is dan in het basis scenario. Hieruit blijkt dat het bij het bepalen van een duurzaam onttrekkingsvolume belangrijk is om rekening te houden met de weerstand van de scheidende laag aan de onderkant van de zoetwaterbel.

Bij hogere weerstanden kunnen hogere debieten onttrokken worden, en andersom. Dit geeft ook aan dat het feit dat bij bijna alle scenario's sprake is van upconing na vier jaar onttrekking, niet betekent dat duurzaam beheer van ondiepe zoetwaterbellen onmogelijk is. Het totale debiet waarmee gerekend is, is echter aan de hoge kant voor de onderzochte systemen.

Het effect van de hydrologische setting is onderzocht aan de hand van scenario's waarbij de stijghoogte en/of oppervlaktewaterpeil veranderd zijn. Daaruit blijkt dat de berekende upconing gevoelig is voor deze randvoorwaarden (Figuur 17). Vooral bij een combinatie van hogere oppervlaktewaterpeil en lagere stijghoogte (met 15 cm) is het effect op het zoet-brak grensvlak na vier jaar onttrekken beperkt. Een verlaging van de stijghoogte alleen heeft ook een positief effect op de berekende upconing ten opzichte van het basis scenario. De resultaten zijn minder gevoelig voor alleen een verhoging van het oppervlaktewaterpeil.

Uit verkennende berekeningen blijkt verder dat de dikte van de zoetwaterbel ook van belang is. Bij een dikte van 8 m in plaats van 11 m wordt in de loop van het derde groeiseizoen water onttrokken met een EC hoger dan 2 mS/cm. Een belangrijke reden hiervoor is dat de afstand tussen het zoet-zout grensvlak en de diepdrain, op 5 à 6 m-mv, relatief klein is.

Uit de modelstudie blijkt dat het berekende effect op het zoet-brak grensvlak gevoelig is voor verschillende hydrologische randvoorwaarden. Dit betekent dat het volume dat duurzaam onttrokken kan worden afhankelijk is van een combinatie van factoren. Vooral de weerstand van de slecht doorlatende laag onder de zoetwaterbel, de diepe stijghoogte, en de dikte van de zoetwaterbel zijn belangrijk.

## 4.2 Toedieningsvragen voor duurzaam beheer

Het tweede deel van het onderzoek had als doel om de beregeningsstrategie te beoordelen. Hier geldt als hoofdvraag: "Is het mogelijk om water toe te dienen met ondergrondse druppelirrigatie in een goed doorlatende bodem?". Hier geven we antwoord op de volgende deelvragen:

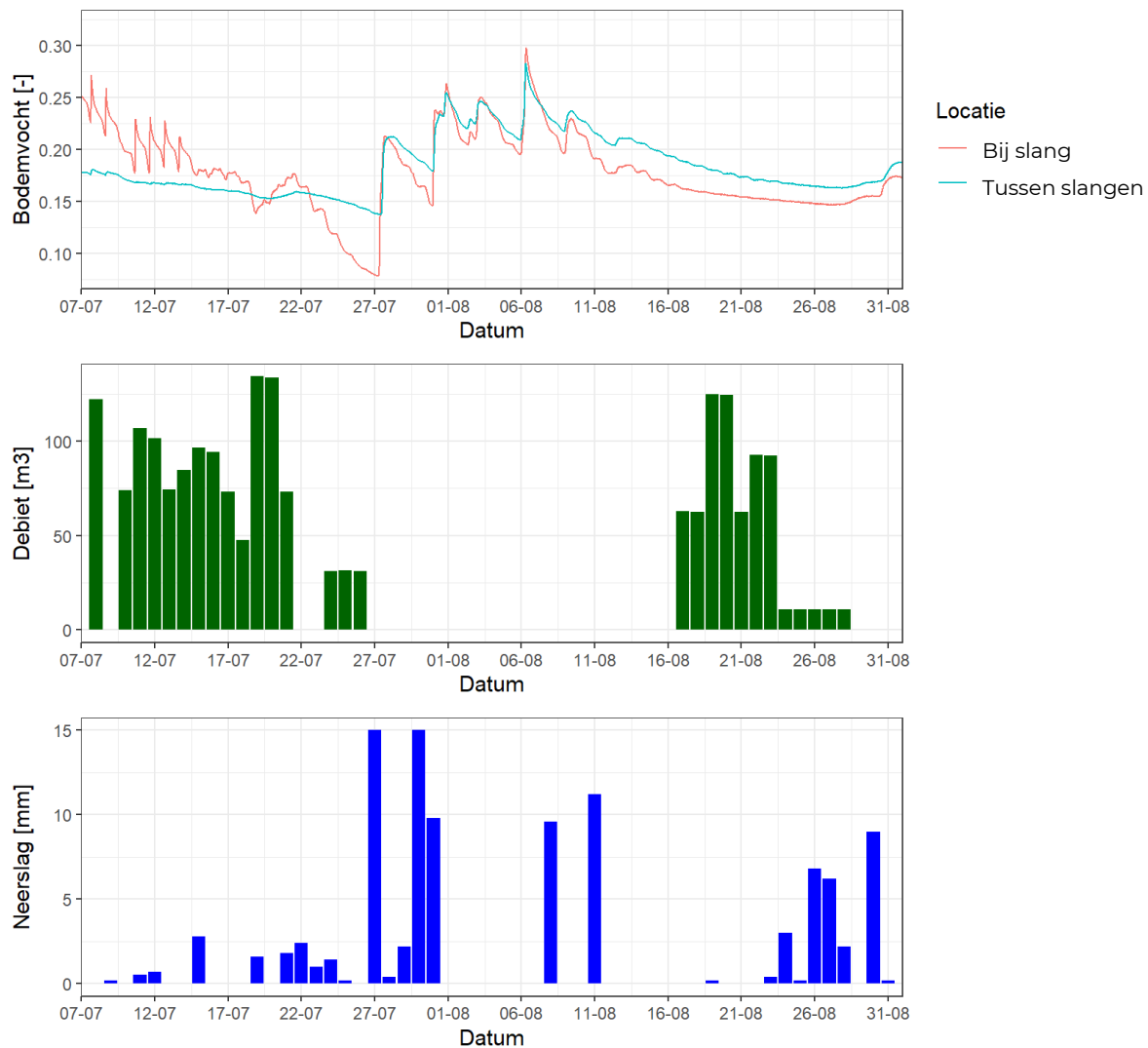
1. Kan door druppelirrigatie water in het perceel worden geïnfilteerd?
2. Wordt door de druppelirrigatie het bodemvochtpercentage van het zand verhoogd, ook tussen de druppelstralen?
3. Wat is het verschil tussen het benutten van het water met een ondergronds druppelsysteem en een bovengronds druppelsysteem?
4. Wat is het effect van irrigatie op het gewas?

Elk van de vragen wordt hieronder behandeld.

### **4.2.1 Kan door druppelirrigatie water in het perceel worden geïnfiltreerd?**

Tijdens het groeiseizoen van 2023 is er in twee droge periodes water onttrokken uit de zoetwaterbel: halverwege juli en eind augustus. In juli werd deze onttrekking verdeeld over het perceel met ondergrondse en bovengrondse druppel met respectievelijk een ratio van 25%/75%. In augustus waren de veldbonen al geoogst en is de volledige onttrekking naar de aardappelen gegaan die op het perceel met bovengrondse druppel werden verbouwd. In 2024 heeft er opnieuw zowel ondergrondse als bovengrondse druppelirrigatie plaatsgevonden. Hoewel er op alle drie de percelen (A, B en C) is berekend, is er alleen gemonitord op percelen B en C, omdat er op deze percelen aardappelen werden verbouwd. In 2024 is daarnaast bij de bovengrondse druppel een fertigatie-installatie geïnstalleerd en gebruikt.

De metingen op het ondergrondse druppelperceel van 2023 zijn weergegeven in Figuur 18, samen met de debieten van de diepdrain en de neerslag in dezelfde periode. Hierin is vooral in juli goed te zien dat het onttrokken water in de bodem terecht komt. Dit geeft aan dat het druppelsysteem erin slaagt om het water dat uit de diepdrain wordt onttrokken, te infiltreren in het perceel.



Figuur 18: Bodemvocht op twee locaties, dagelijks debiet van de druppelslangen en neerslag op het perceel met ondergrondse druppel (veldbonen in 2023) tijdens het deel van het groeiseizoen waarin bodemvochtmetingen beschikbaar zijn.

#### 4.2.2 Wordt door de druppelirrigatie het bodemvochtpercentage van het zand verhoogd, ook tussen de druppelslangen?

Figuur 18 geeft voor de ondergrondse druppel zowel het bodemvocht bij de druppelslangen (rood) als midden tussen de druppelslangen (blauw). De irrigatie is goed terug te zien in de bodemvochtsensor het dichtst bij de druppelslang. Het bodemvochtgehalte daar laat in de periode van 7 tot 15 juli een sterke dagelijkse stijging zien, al zakt het snel na de irrigatie weer terug naar de oorspronkelijke waarde. Aan het einde van juli is de grond al verder uitgedroogd, en zorgt de irrigatie slechts voor een tijdelijke onderbreking in de opdroging van de bodem. In de andere bodemvochtsensor, die zich tussen de slangen bevindt, is het effect van de irrigatie minimaal. Er is wel een dagelijkse variatie te zien, maar deze is ook aanwezig wanneer er geen irrigatie en ook geen neerslag is (zie bijvoorbeeld de periode tussen 11 en 16 augustus). Interessant genoeg zakt het bodemvocht tussen de slangen wel minder ver uit dan het bodemvocht bij de slangen. Dit verschil is goed te zien in de periode tussen 22 en 27 juli. Mogelijk zijn

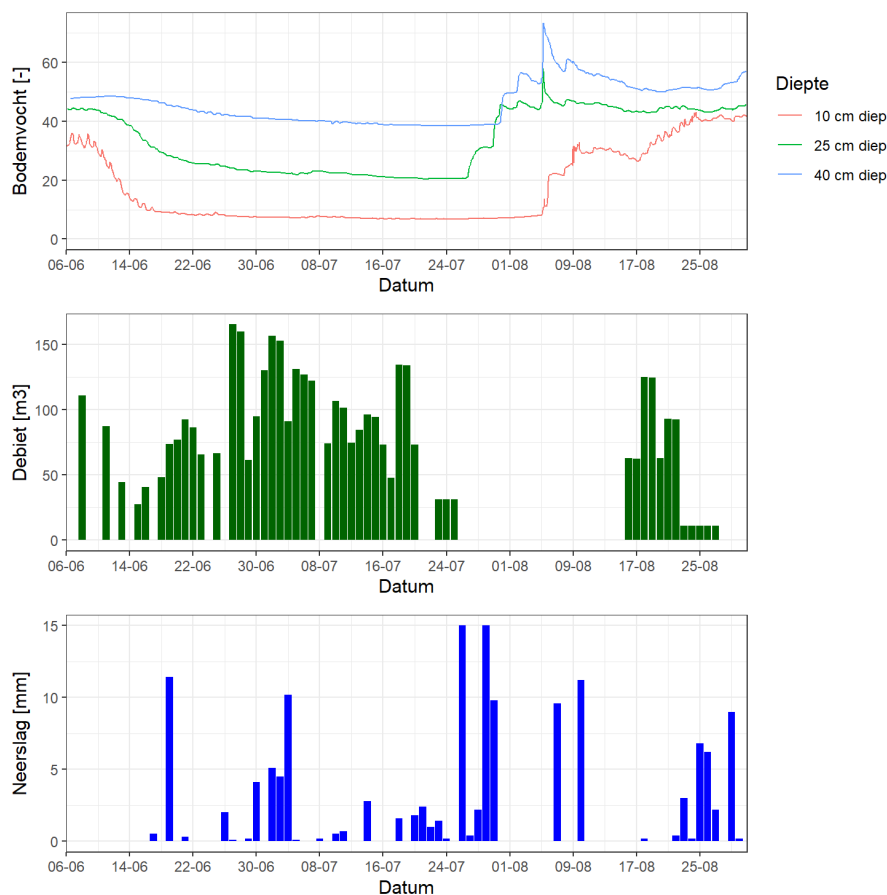
er bij de sensor tussen de slangen minder plantenwortels aanwezig dan bij de sensor bij de slang. De aanwezigheid van wortels rondom de sensor kan leiden tot een snellere afname van het beschikbare water door het watergebruik van de plant. Een iets andere installatiediepte kan het verschil tijdens periode zonder irrigatie ook veroorzaken: oppervlakkige metingen van bodemvocht hebben vaak een grotere variatie in de tijd dan metingen op grotere diepte. De variaties in bodemvocht worden namelijk gedempt in de bodem, waardoor op grotere dieptes de variaties minder intens zijn maar langer duren.

Er kan voor de ondergrondse druppelslangen in dit bodemtype geconcludeerd worden dat het niet mogelijk is om de wortelzone ook tussen de slangen in verzadigd te krijgen. Dit betekent overigens niet dat het gewas daar niets aan de slangen heeft. Omdat de irrigatie gelijktijdig met het gebruik door de planten plaatsvindt (overdag), kan het zo zijn dat een gedeelte van het water de bodem tussen de slangen wel bereikt, maar meteen door de plantenwortels wordt opgenomen. Bovendien kunnen de planten ook horizontaal wortelen, waardoor de wortels het water toch bereiken.

De bovengrondse druppel is ieder meetjaar in de aardappelen geplaatst, die in ruggen worden gepoot. Bovendien worden deze slangen altijd zo dicht mogelijk bij de planten gelegd, waardoor de vraag “wordt het bodemvocht ook tussen de druppelslangen verhoogd?” bij dit type irrigatie niet relevant is. Hier heeft de monitoring dan ook geen antwoord op gegeven.

#### **4.2.3 Wat is het verschil tussen het benutten van het water met een ondergronds druppelsysteem en een bovengronds druppelsysteem?**

In Figuur 19 zijn de bodemvochtmetingen van 2023 op het perceel met bovengrondse druppel te zien. Het debiet uit de zoetwaterbel werd in de periode juni-juli gedeeld met het perceel met ondergrondse druppelslangen, en in augustus volledig op dit perceel gebruikt. De invloed van de irrigatie is niet duidelijk te zien in de eerste periode. Hoewel er wat dagelijkse variatie is, blijven de waarden redelijk constant. In de tweede irrigatieperiode is de invloed van de irrigatie wel goed te zien, vooral in de meest ondiepe sensor. Het bodemvocht neemt dan gestaag toe in de ondiepe sensor, en op 25 cm diepte is ook een kleine verhoging te zien. Op 40 cm diepte lijkt het bodemvochtgehalte niet beïnvloed door de druppelirrigatie. Dit kan erop wijzen dat het bodemvocht al ondieper wordt gebruikt. Dit is ook aannemelijk omdat uit eerder onderzoek al vaker is gebleken dat gewassen “lui” worden wanneer bovengrondse druppelberegening gebruikt wordt. Het gewas hoeft niet op zoek naar water, waardoor het vaak ondieper wortelt.



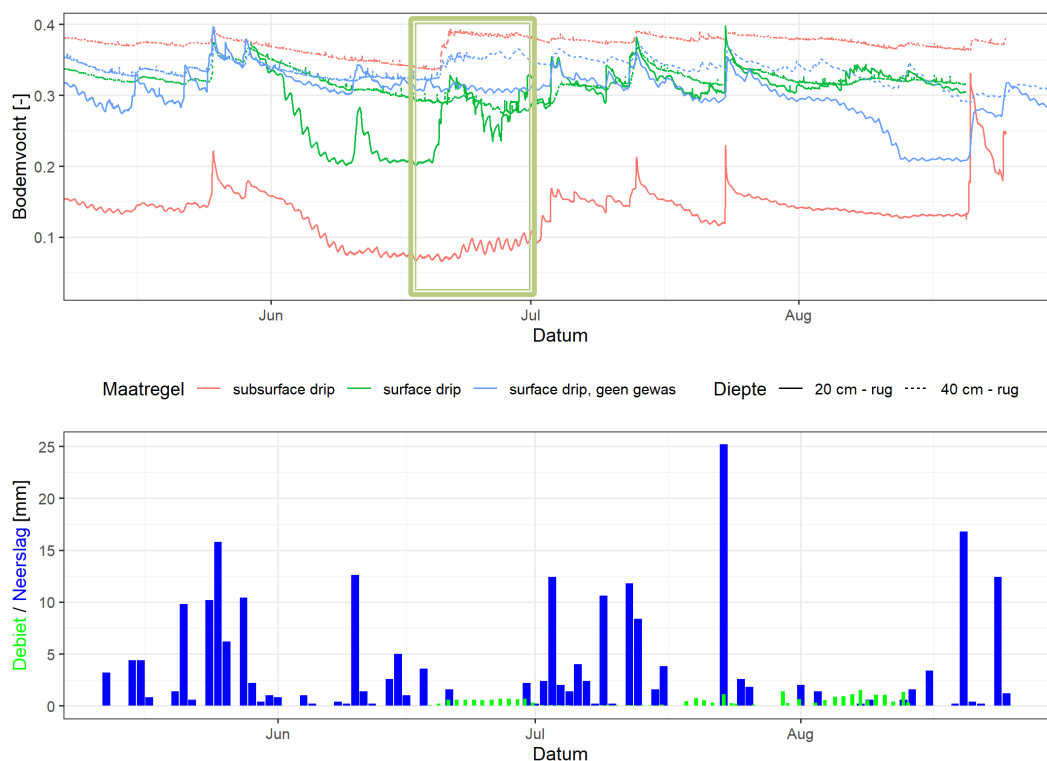
Figuur 19: Bodemvocht, dagelijks debiet, en neerslag op het perceel met bovengrondse druppel, waar in 2023 aardappelen werden verbouwd

In 2024 zijn alle bodemvochtsensoren in de aardappelruggen geplaatst, waardoor de invloed van de ondergrondse en bovengrondse druppel beter te vergelijken is. De tijdreeksen van deze metingen zijn te zien in Figuur 20. Tijdens neerslag is op elke meetlocatie zichtbaar dat de oppervlakkige sensoren sterker reageren dan de diepere sensoren. De diepere sensor reageert later en minder sterk op neerslag. Ook de invloed van de gewasverdamming is goed te zien als dagelijkse cyclus.

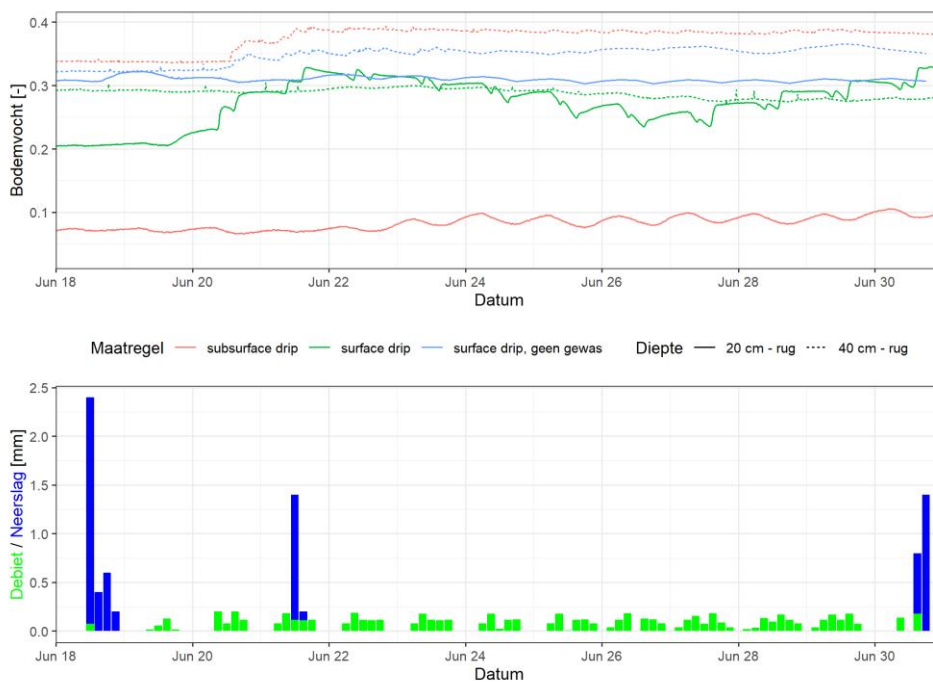
Bij irrigatie reageren de sensoren anders dan bij neerslag. Irrigatie in 2024 vond plaats in de tweede helft van juni, en tussen half juli en half augustus. De vergelijking tussen de twee irrigatietypes kan het beste besproken worden bij de groen omkaderde periode (eind juni) in de figuur (Figuur 21.). Te zien is dat irrigatie overdag is toegepast, en verdamping vindt ook overdag plaats. Op sommige dagen is te zien dat de hoeveelheid aangevuld vocht voldoende is om de verdamping aan te vullen (bijvoorbeeld op 21 juni), terwijl op andere dagen het vochtgehalte afneemt ondanks de irrigatie (bijvoorbeeld op 26 juni). Bij de oppervlakkige druppelirrigatie is vooral bij de ondiepe sensor een reactie waarneembaar. Het water zakt hierna ook iets uit naar de diepere sensor. Bij de ondergrondse druppelirrigatie liggen beide sensoren boven de irrigatieslang. Hier is dan



ook vooral bij de diepe sensor een reactie te zien. Bij de ondiepe sensor blijft vooral de dagelijkse cyclus van transpiratie en respiratie zichtbaar.



Figuur 20 Bodemvochtmetingen (boven) en neerslag en debieten (onder) tijdens het groeiseizoen 2024. In Figuur 21 is ingezoomd op de omkaderde periode.



Figuur 21 Bodemvocht (boven) en debiet en neerslag (onder) tijdens de irrigatieperiode eind juni 2024.

Uit de resultaten blijkt dat op dit perceel oppervlakkige beregening voornamelijk leidt tot verhogingen van het bodemvocht bij de ondiepe sensoren. Ondergrondse

druppelirrigatie heeft juist meer invloed op het diepere bodemvocht. Afhankelijk van de worteldiepte van het gewas kan ondiepe of juist diepe druppelirrigatie dus geschikter zijn. De druppelslangen hebben in deze doorlatende bodem vooral dicht bij de slangen invloed op het vochtgehalte van de bodem. Het is goed om hier bij de aanleg van druppelslangen rekening mee te houden. Ook zou het goed zijn om bij de bediening van de druppelslangen beter rekening te houden met de bodemvochtgehalten. Hiermee kunnen situaties zoals die op 26 juni 2024, toen de irrigatie onvoldoende was om de verdamping te compenseren, mogelijk voorkomen worden.

#### **4.2.4 Wat is het effect van irrigatie op het gewas?**

In 2023 heeft de bovengrondse druppelirrigatie in een ander gewas plaatsgevonden dan de ondergrondse druppelirrigatie. Het effect op het gewas kan daarom niet puur vergeleken worden. In 2024 heeft de irrigatie wel in hetzelfde gewas plaatsgevonden. Bij de oppervlakkige druppel waren de opbrengsten het hoogst, en in het referentieperceel en bij de ondergrondse druppel waren zij vergelijkbaar. Echter zijn er bij de oppervlakkige druppelirrigatie meststoffen bijgevoegd. Daarnaast kwam het pootgoed van twee verschillende leveranciers. Hierdoor is het niet duidelijk of de meeropbrengst bij de oppervlakkige druppelirrigatie door irrigatiewater kwam, of door andere oorzaken. Op deze deelvraag kan dus geen antwoord gegeven worden.

# 5 Discussie

## 5.1 Gebruik van het systeem

### 5.1.1 Onttrekking

Hoewel het systeem over het algemeen probleemloos heeft gefungeerd, is bij de eerste keer dat het systeem in werking werd gezet, lucht in het pompsysteem gekomen. Dit werd veroorzaakt door het te snel op toeren brengen van de onttrekkingspomp. Hierdoor had het grondwater onvoldoende tijd om toe te stromen. Na het ontluchten van het systeem en het verbeteren van de toerenregeling (i.e. langzaam opstarten van de onttrekking) was dit probleem verholpen.

### 5.1.2 Beregening

De beregeningsgift is tijdens de proef afgeleid op basis van het weer van de afgelopen dagen, de neerslagkans voor de komende dagen, het vochtgehalte in de bodem en uiteraard de stand van het gewas. Op droge dagen is er een watergift van 2 mm geleverd. In uitzonderlijke gevallen is er 3 mm water gegeven. Het bepalen van het bodemvochtgehalte als proxy voor de noodzakelijke watergift, bleek vanwege de diepere ligging bij de diepe druppelslangen lastig. Ondiep wortelende gewassen hadden vaak eerder water nodig dan volgens de bodemvochtmeters noodzakelijk was. Hierdoor is er voor het watergeven dus teruggevallen op de overige parameters die hierboven beschreven zijn.

## 5.2 Resultaten monitoring

Er is voor dit onderzoek een uitgebreid monitoringssysteem opgezet, met EC metingen, grondwaterstandsmetingen, geofysische metingen en metingen in de onverzadigde zone. Deze hebben interessante resultaten opgeleverd. Enkele van de resultaten waren niet volgens verwachting, en verdienen dus een aanvullende bespreking. Ook geven we een aantal aanbevelingen over hoe de oorzaak van deze resultaten beter in beeld gebracht kunnen worden.

### 5.2.1 Zoutconcentraties perceel

In het monitoringsplan waren EC-sensoren in de diepe peilbuizen voorzien. De verwachting was dat het zout uit de ondergrond omhoog zou trekken. Een eventuele verzilting van de zoetwaterbel zou dan ook als eerste in deze peilbuizen te meten zijn. Tijdens het onderzoek zijn op enkele momenten EC in de ondiepe peilbuizen aan de rand van het perceel gemeten. Hieruit bleek dat de EC in deze peilbuis hoger was dan de EC in de diepere peilbuis, tegengesteld aan de verwachting. Dit was zowel het geval in het voorjaar als in het najaar. Omdat de aanname was dat het zout van onderaf zou komen, is er aan het begin van het project geen EC-meting gedaan in de ondiepe peilbuis. Het is daardoor niet duidelijk of de hogere EC een gevolg is van de onttrekking of niet. Het zou bijvoorbeeld ook veroorzaakt kunnen zijn door andere grote zoetwaterbellen die door de langdurig natte periode gegroeid zijn, waardoor nieuwe grondwaterstromingen op gang zijn gebracht die zouter water in de ondergrond verplaatst hebben richting de proeflocatie. Een andere mogelijkheid is dat er vanuit de camping een ondiepe zoute

lozing plaatsvindt, van bijvoorbeeld een zwembadje. Door de afwezigheid van FRESHEM meetgegevens ter plaatse van de camping, is het zout mogelijk zeer ondiep aanwezig. Een langere monitoring zou een indicatie kunnen geven van de oorzaak van dit onverwachte resultaat. Daarnaast is een verdere ruimtelijke spreiding van de metingen noodzakelijk (Zie ook § 5.2.3)

In de diepe peilbuizen is geen verhoging van de EC gemeten. Echter bleek uit de geofysische metingen dat er mogelijk wel verzilting in de diepere zone van de zoetwaterbel plaats heeft gevonden. De verzilting bevindt zich in dat geval nu nog onder de permanente sensoren in de diepe peilbuis. Om de trend in de geofysische metingen te valideren en een beter beeld te krijgen van de situatie aan de onderzijde van de bel zou het goed zijn om diepere peilbuizen te plaatsen.

#### Mogelijke verbeteringen

- Op de rand van het perceel ook een EC-sensor in de ondiepe peilbuis installeren.
- De diepe peilbuizen zouden dichterbij de kleilaag (dieper) geplaatst kunnen worden, op zo'n 10 meter diep.

### 5.2.2 Aanwezigheid geul in het perceel

Tijdens het onderzoek bleek dat er in de slecht doorlatende kleilaag waarschijnlijk een geul aanwezig was. Deze is vervolgens met een verlengde CVES in maart 2024 in beeld gebracht. De metingen lieten inderdaad lagere weerstanden zien onder een gedeelte van het perceel. Het was tijdens het onderzoek helaas niet meer mogelijk om deze geul vaker in beeld te brengen. Hierdoor weten we niet hoe lang en breed de geul precies is, en of de invloed van de geul op de zoutconcentraties van het grondwater het hele jaar hetzelfde is, of seizoensgebonden variaties kent. We hebben ook gepoogd de geul in het grondwatermodel te krijgen, maar de resultaten bleken erg gevoelig voor de locatie van de geul en de doorlatendheid van deze modellaag. Het is daarom nog niet duidelijk hoe deze locatie-specifieke situatie het hydrologische systeem precies beïnvloedt.

#### Mogelijke verbeteringen

- Meer verlengde CVES-metingen doen op verschillende momenten in het jaar.

### 5.2.3 Ruimtelijke spreiding metingen

De metingen van grondwaterstand en EC hebben laten zien dat er over het perceel verschillende processen een rol spelen. Bij de drain was vooral de onttrekking van belang, maar verderaf van de drain geeft de hogere EC bij de ondiepe peilbuis aan, dat het zout niet alleen vanaf diepte de bel in trekt. De horizontale spreiding van de bel speelt dus een grotere rol dan aanvankelijk werd gedacht. Hoewel aan de westrand van het perceel wel duidelijk is waar de zoetwaterbel eindigt, is dit aan de oostgrens minder duidelijk. De ruimtelijke spreiding van de huidige metingen is daarom niet voldoende. Toekomstig onderzoek zou de oostgrens van de bel door het jaar heen in kaart kunnen brengen.

#### Mogelijke verbeteringen

- Grotere ruimtelijke spreiding van de metingen, vooral in oostelijke richting (richting de camping).

## 5.2.4 Meteorologische condities

De monitoring begon in de zomer van 2023 en eindigt volgens plan aan het einde van 2024. Dit betekent dat er slechts één jaar metingen zijn gedaan van het herstel van het systeem. In het najaar van 2024 zijn nog wel metingen gedaan, maar het eventuele herstel van het systeem zal toch de hele winter duren. Een volledige meting hiervan zou dus ook een meting in het voorjaar inhouden. De enige winter waar wel in is doorgemeten, is de winter van 2023-2024. Dit was een historisch natte winter<sup>3</sup>. Hoewel uit de resultaten kwam dat het systeem verzoet is in deze periode, geeft dit nog geen uitsluitsel over toekomstige jaren. In een drogere winter zijn er meerdere scenario's mogelijk in het grotere hydrologische systeem. Aan de ene kant kan het zo zijn dat de zoetwaterbel onder het perceel van Op 't Hof minder verzoet in een drogere winter, omdat er minder zoet regenwater wordt aangevoerd. Aan de andere kant kan een drogere winter ook betekenen dat grote zoetwaterbellen in de omgeving, waardoor de druk op het zoute water kleiner is. Op die manier kan de indringing van oppervlakkig zout of brak water naar de zoetwaterbel onder het perceel kleiner zijn dan in de winter van 2023-2024. Om te weten te komen welke van deze twee situaties spelen in dit systeem, zal er langere tijd gemeten moeten worden.

### Mogelijke verbeteringen

- Metingen uitvoeren over een langer tijdsbestek.

---

<sup>3</sup> <https://www.knmi.nl/over-het-knmi/nieuws/de-natte-lente-van-2024>

## 6 Conclusie en aanbevelingen

De afgelopen jaren zijn in de grotere zoetwaterbellen in Zeeland diepdrains aangelegd. Ten behoeve van de duurzaamheid van de bel, wordt de aanleg van een diepdrain alleen in grote zoetwaterbellen toegestaan. Daarmee blijft zoetwater in ondiepere zoetwatervoorkomens onbenut. In dit project is aan de hand van een proefopzet en modellenstudie onderzocht of kleinere zoetwaterbellen ook duurzaam kunnen worden beheerd en onder welke voorwaarden dat mogelijk is.

### 6.1 Belangrijkste resultaten pilot

Een diepdrain is aangelegd in een kleinere zoetwaterbel. Over twee jaar is ongeveer 4.500 m<sup>3</sup>/jaar onttrokken uit de diepdrain, waarbij aan de hand van peilbuizen en geofysische metingen de effecten op waterstanden en de zoet-zout situatie zijn gemonitord. Op basis van de waterstanden is de maximale verlaging tijdens het groeiseizoen op een afstand van 60 m van de bel ongeveer 15 cm.

Na het eerste groeiseizoen met onttrekking uit de diepdrain zijn op basis van de EC-metingen in de diepe peilbuizen geen verziltingseffecten waargenomen onderaan of aan de rand van de zoetwaterbel. Aan het eind van het tweede onttrekkingsseizoen is op basis van de geofysische metingen de EC van het grondwater op 11 m diepte toegenomen. Dit is een indicatie dat het zoet-zout grensvlak omhooggetrokken is als gevolg van de onttrekking. Onduidelijk is of er ook een effect is aan de rand van de zoetwaterbel. Het is nog niet bekend in welke mate de waargenomen verziltingseffecten zullen herstellen na een winterperiode, daarvoor is het noodzakelijk om de geofysische metingen in het voorjaar van 2025 te herhalen.

### 6.2 Randvoorwaarden systeem

De randvoorwaarden voor duurzaam beheer van een ondiepere zoetwaterbel zijn onderzocht aan de hand van een modelstudie. Daarbij is het effect van de onttrekking op de diepte van het zoet-zout grensvlak in verschillende scenario's vergeleken met de diepte van het zoet-zout grensvlak zonder onttrekking. De effecten zijn beoordeeld na vier jaar onttrekken, waarbij sprake is van twee gemiddelde jaren, één nat jaar, en één droog jaar.

Uit de resultaten van de modelstudie blijkt dat verschillende randvoorwaarden samen bepalen of een bepaalde onttrekkingsniveau tot verziltingseffecten zal leiden, en dan in welke mate. Dit betekent dat het onwaarschijnlijk is dat het bepalen van een duurzaam onttrekkingsniveau terug te leiden is naar één of twee kenmerken van de geohydrologische setting van de zoetwaterbel.

De eerste conclusies richting richtlijnen voor duurzaam beheer van zoetwaterbellen zijn als volgt:

- De weerstand van een eventuele scheidende laag is belangrijk voor de berekende upconing. Bij een hogere weerstand kan een groter volume onttrokken worden.



- De hydrologische setting is belangrijk. Een groter volume kan op een duurzame manier worden onttrokken waar de stijghoogte van het onderliggende pakket relatief laag is en/of het oppervlaktewaterpeil juist relatief dicht bij maaiveld ligt. Dit betekent bijvoorbeeld dat een locatie dicht bij de rand van een diepe polder minder geschikt is.
- De aanwezigheid van geulen op een afstand van 60 m of meer van de diepdrain hebben beperkt invloed op de berekende upconing.
- Bij een zoet-zout grensvlak van 8 m beneden maaiveld, 2 m onder de diepdrain, wordt volgens de berekeningen water met een EC hoger dan 2 mS/cm binnen enkele jaren tot aan de diepdrain getrokken.

### 6.3 Aanbevelingen

De aanbevelingen op basis van de resultaten kunnen als volgt worden samengevat:

- Aanleg
  - o Zie de opgestelde randvoorwaarden in 6.2.
- Gebruik
  - o Bij onttrekking is het belangrijk het systeem langzaam op te starten, zodat er geen lucht bij de pomp komt, daarvoor is een toerengereguleerde pomp nodig
  - o Voor het hergebruik zou het nuttig zijn om beter op bodemvochtgehaltenes in de wortelzone te sturen.
- (Aanvullende) monitoring
  - o Meten over een langere tijdsperiode
  - o Meetlocaties uitbreiden naar het oosten (richting de camping) om zo de oostrand van de zoetwaterbel beter in beeld te krijgen
  - o Aanvullend EC meten in de ondiepe peilbuis op meetlocatie "rand"
  - o Meer verlengde CVES-metingen doen om de geul met een hogere doorlatendheid beter in beeld te krijgen
  - o De diepste peilbuizen dieper plaatsen om de veranderingen in EC aan de onderkant van de zoetwaterbel beter in beeld te krijgen

**Hoofdkantoor**

Van Hogendorpplein 4  
2805 BM Gouda

**Regiokantoor  
Oost-Afrika**

Woreda 03, Bole Sub city  
House No. 4/020  
Addis Abeba

[www.acaciawater.com](http://www.acaciawater.com)

