

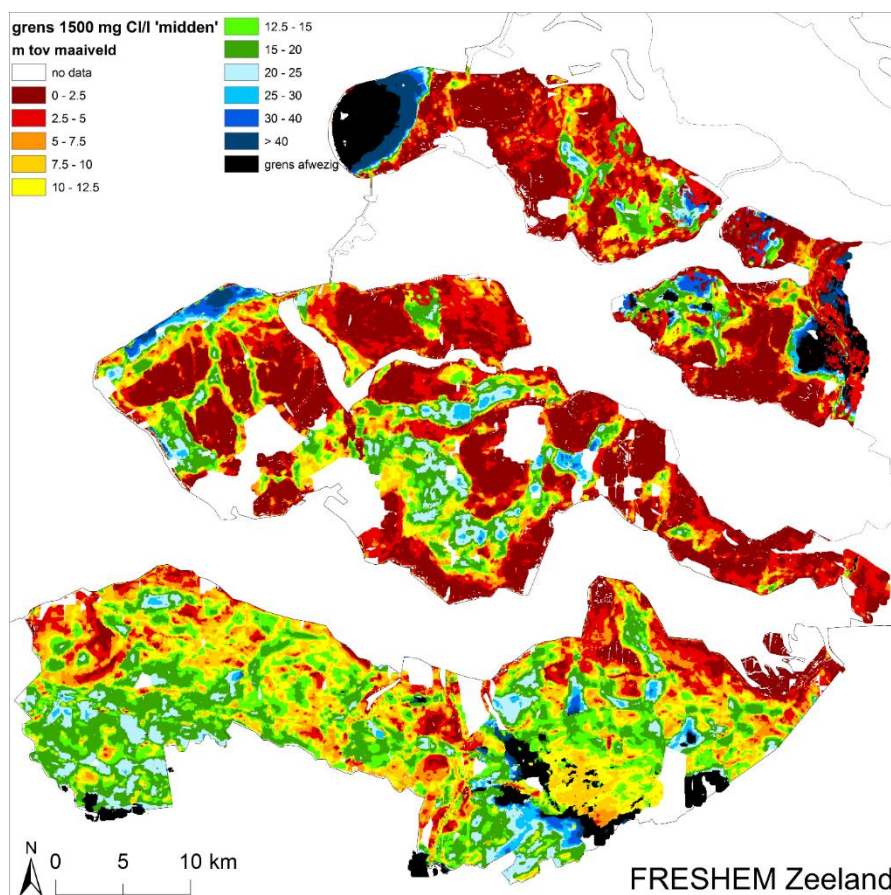
Duurzaam omgaan met kleine zoetwaterbellen

Tessa van Hateren, Anouk Gevaert, Perry Mooij, Nina Sandfort, Arjen Roelandse (Acacia Water)

In Zeeland wordt zoet regenwater voornamelijk opgeslagen in zoetwaterbellen in zandige afzettingen. Omdat wateronttrekkingen alleen worden toegestaan in zoetwaterbellen van 15 meter of dikker, wordt een deel van het beschikbare zoet water niet benut. Acacia Water heeft gekeken of kleinere zoetwaterbellen duurzaam kunnen worden beheerd en onder welke voorwaarden dit mogelijk is. In de onderzochte bel bleek de ondergrens van de zoetwaterbel na twee onttrekkingsjaren iets te zijn gestegen. Het blijft echter nog onduidelijk of er ook een effect is aan de rand van de zoetwaterbel en in welke mate de waargenomen verziltingseffecten zullen herstellen na een winterperiode.

Driekwart van de provincie Zeeland heeft een agrarische bestemming, met een aanzienlijke zoetwatervraag. Tegelijkertijd hebben grote delen van Zeeland geen externe zoetwateraanvoer. Deze gebieden zijn dus geheel afhankelijk van regenwater dat opgeslagen is in de bodem. In Zeeland wordt zoet regenwater voornamelijk opgeslagen in zoetwaterbellen in zandige kreekkruggen, duinen en dekzandgronden (afbeelding 1) [1]. Afhankelijk van de topografie en de bodemopbouw kunnen deze bellen verschillende diktes hebben. Vanwege de duurzaamheid van de bellen wordt een wateronttrekking alleen toegestaan in zoetwaterbellen van 15 meter of dikker. Ook is er een limiet op de hoeveelheid onttrokken water: er mag jaarlijks maximaal 80 mm water gebruikt worden voor beregening, waarbij per kwartaal maximaal 3.000 m³ onttrokken mag worden en per jaar maximaal 8.000 m³. Deze beperkingen moeten voorkomen dat een zoetwaterbel volledig gebruikt wordt, waardoor het hydrologische systeem ingrijpend en permanent zou veranderen.

Er zijn ook dunnere zoetwaterbellen aanwezig waaruit geen water onttrokken mag worden. Hierdoor wordt een deel van het beschikbare zoete water in Zeeland niet benut. In dit onderzoek is gekeken of kleinere zoetwaterbellen duurzaam kunnen worden beheerd en onder welke voorwaarden dit mogelijk is. Als een manier wordt gevonden, kan de zoetwaterbeschikbaarheid in het zoute Zeeland worden vergroot, terwijl dit niet ten koste gaat van de hoeveelheid zoet water die in de ondergrond is vastgelegd.



Afbeelding 1. Zoet- en zoutwatervoorkomens in Zeeland volgens FRESHEM [2]. Hoe roder, hoe ondieper er zout water voorkomt

Proeflocatie en monitoring

Het onderzoek heeft plaatsgevonden in 2023 en 2024 bij akkerbouwrij Maatschap Op 't Hof ten zuiden van Sirjansland. Een aantal van de percelen van deze akkerbouwer bevindt zich boven een kleine zoetwaterbel, die volgens de bestaande regelgeving niet voldoet aan de criteria voor onttrekkingen. Voor dit onderzoek is een (tijdelijke) uitzondering gemaakt.

De bodemopbouw is bepaald met een sondering. Hieruit was af te leiden dat de bodem vanaf maaiveld tot 11 meter diepte voornamelijk uit zandig materiaal bestaat. Op 11 meter is een slecht doorlatende laag (klei/veen) aanwezig. In de zandlaag is op 6 meter diepte een diepdrain geïnstalleerd, voorzien van een elektrische toerengereguleerde onderwaterpomp. Dit type pomp is beter regelbaar dan de zuigpompen die meestal in Zeeland gebruikt worden. Hierdoor kan de onttrekkingshoeveelheid beter gestuurd worden. Vanuit de diepdrain wordt water onttrokken, waarmee de gewassen worden bewaterd door middel van druppelirrigatie. Het gehele systeem is er dus op gericht om zo zuinig mogelijk met de geringe beschikbare hoeveelheid zoet water om te gaan.

Voor het onderzoek is er een uitgebreide monitoring opgezet. Zo is het debiet van de diepdrain vastgelegd. De grondwaterstanden zijn op vier locaties gemeten, elk op twee dieptes in de zandige kreekruig (3 en 8 m diepte, afbeelding 2). Drie van de meetlocaties zijn in een lijn loodrecht op de diepdrain gepositioneerd. De vierde meetlocatie diende als referentie en bevond zich op een naburig perceel. Deze, in totaal acht, peilbuizen zijn gebruikt om na te gaan of de zoetwaterbel in de breedte krimpt bij onttrekking en/of zwelt bij aanvulling. Tweemaal per jaar is er daarnaast een geofysische meting uitgevoerd (Continuous Vertical Electrical Soundings, CVES), om over een lengte van 80 meter

de diepte van het zoet-zoutgrensvlak in beeld te brengen. De efficiëntie van de druppelirrigatie is daarnaast bemeaten met bodemvochtsensoren en een neerslagstation.

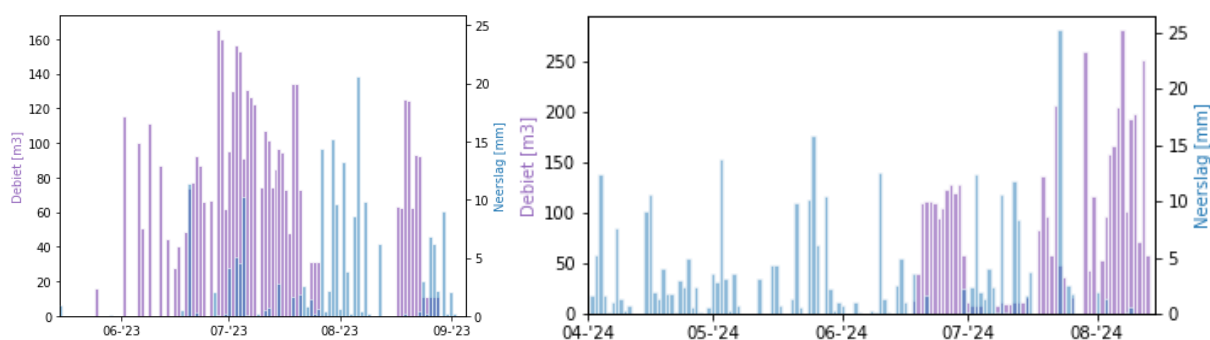


Afbeelding 2. Schematische weergave van de monitoring op het proefperceel. Te zien zijn de diepdrain (blauw), het traject voor de CVES-metingen (rood), de locaties van de peilbuizen (groen) en de regelunit (grijs)

Invloed onttrekking op hydrologisch systeem

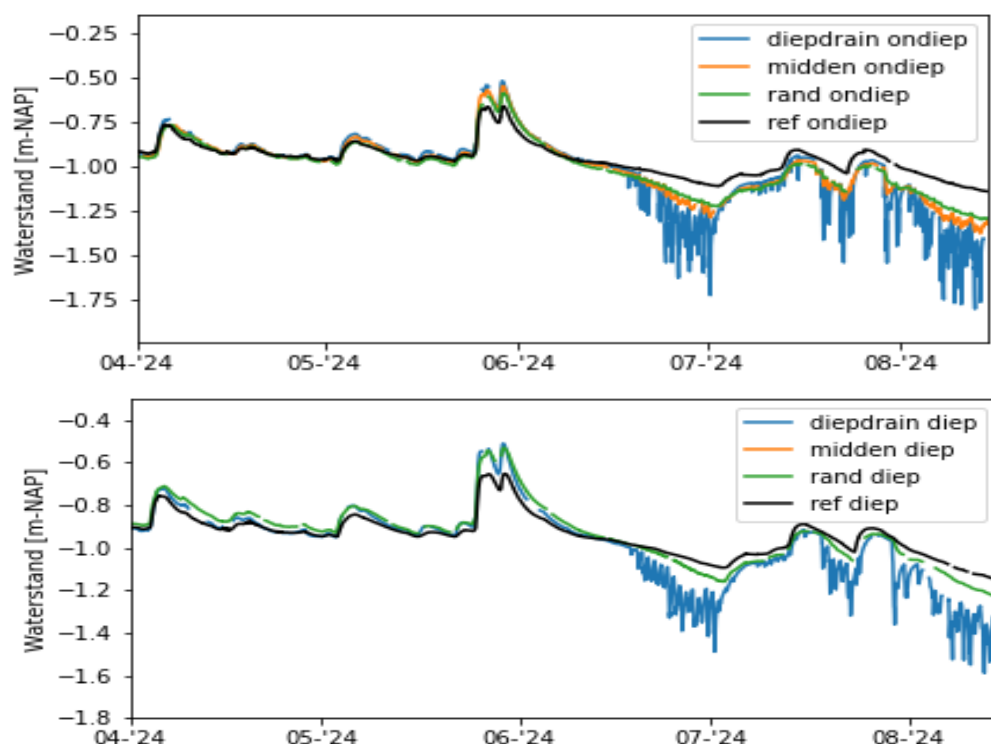
In beide meetjaren is water onttrokken uit de diepdrain (afbeelding 3). In 2023 is in totaal 4.370 m³ onttrokken en in 2024 4.680 m³. Het grootste gedeelte van dit volume is in de periode juni t/m augustus onttrokken. Het gemiddelde dagelijkse debiet was in 2024 met 87 m³/dag ook iets hoger dan de 79 m³/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 sterk over het jaar, van minder dan 10 m³/dag in relatief natte periodes tot een maximum van 282 m³/dag in augustus 2024.



Afbeelding 3. Tijdreeks van gemeten neerslag (blauw) en onttrekking uit de diepdrain (paars) in 2023 (links) en 2024 (rechts)

Het effect van de onttrekking is tijdens de onttrekking duidelijk te zien in de grondwaterstanden vanaf half juni 2024 (afbeelding 4). De grondwaterstand in de referentiepeilbuis is in het voorjaar lager dan die op het proefperceel. Begin juni, nog voor de onttrekking, neemt de grondwaterstand in het proefperceel sneller af dan die op het referentieperceel. Vlak voor de onttrekking begint, zijn de grondwaterstanden bij de ondiepe peilbuizen op het proefperceel dan ook al iets lager dan die op het referentieperceel. Tijdens de onttrekking is er een dagelijkse verlaging in de grondwaterstanden bij de diepdrain te zien. Deze verlaging is het grootst bij de ondiepe peilbuis. Deze dagelijkse variatie is ook te zien in de ‘midden’-peilbuis, maar nog maar nauwelijks in de peilbuis aan de rand van het perceel.



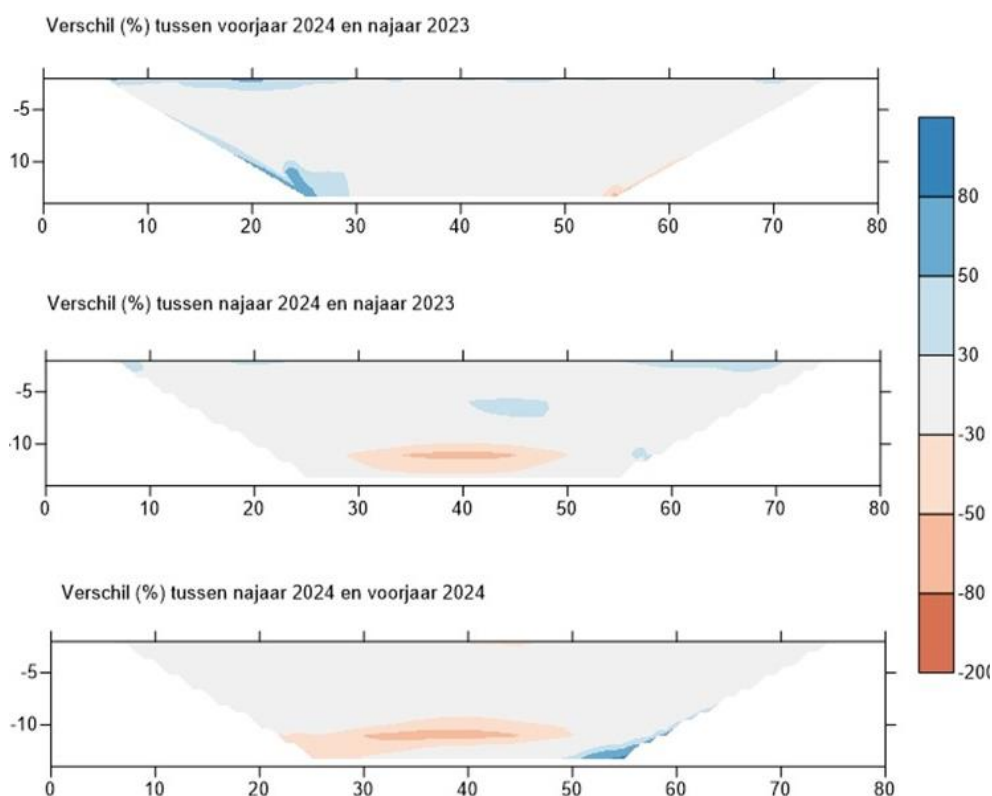
Afbeelding 4. Tijdreeks van gemeten grondwaterstanden in de ondiepe (boven) en diepe (onder) peilbuizen op het proef- en referentieperceel in 2024

Invloed onttrekking op zoutconcentratie

De elektrische geleidbaarheid (EC) van het grondwater is in alle diepe peilbuizen gemeten. Tijdens de onttrekking bleef het water in het pakket zoet, bij de peilbuizen werd een constante EC van rond de 0.5 millisiemens per cm (mS/cm) gemeten. De schadedrempel voor veel gewassen ligt pas bij meer dan 2 mS/cm [4], lagere waardes kunnen dus als zoet geclassificeerd worden. Bij een van de peilbuizen (rand) nam de EC wel lineair toe, maar gezien de constante waarde in de overige peilbuizen en de resultaten van handmetingen, wijst dit op problemen met de sensor. Uit de handmetingen bij deze 'rand'-peilbuizen kwam echter ook naar voren dat de elektrische geleiding bij de ondiepe sensor hoger is (ca. 1.8 mS/cm) dan bij de diepe sensor ca. 0.6 mS/cm). De verwachting was juist dat de diepe peilbuizen eerder een hogere geleidbaarheid zouden meten, door het dichtheidsverschil tussen zout en zoet water. Dit is niet veranderd tijdens de proef, en komt ook niet terug bij de andere peilbuizen. Een verklaring voor dit fenomeen is dan ook nog niet gevonden. Mogelijk is er vanuit de omgeving een toestroom van zout water richting de diepdrain.

De geofysische metingen zijn sinds het najaar van 2023 uitgevoerd, elke keer op dezelfde locatie. De metingen geven een verschil in weerstand weer, waarbij een hogere weerstand zowel drogere als zoetere omstandigheden kan weergeven, en een lagere weerstand nattere of zoutere omstandigheden. Ook het bodemtype kan de weerstand beïnvloeden. Doordat de metingen elke keer op dezelfde locatie zijn gedaan, is het niet aannemelijk dat het bodemtype invloed heeft gehad op eventuele verschillen tussen de verschillende momentopnames.

De eerste geofysische meting is uitgevoerd in het najaar van 2023, na de eerste zomer waarin onttrokken is uit de diepdrain. In 2023 beïnvloedde de onttrekking het zoet-zoutgrensvlak niet duidelijk. Het verschil tussen het najaar van 2023 en het voorjaar van 2024 (afbeelding 5) laat zien dat er in de winter wat verzoeting van het grondwater heeft plaatsgevonden. In 2024 werd er wel een verschil waargenomen. Dit is te zien als een lagere weerstand aan de onderkant van de figuur. Het verschil in weerstand ten opzichte van vorige metingen ligt rond de 80%, wat aangeeft dat het grondwater op deze locatie bijna tweemaal zo zout is geworden. Het gaat hier waarschijnlijk (er bestaat een onzekerheid in de gebruikte formatiefactor) om een toename van 1.8 naar 3 mS/cm. Omdat dit verschil zichtbaar is in meerdere metingen, is het weerstandsverschil een indicatie van een verschil in zoutconcentraties op de langere termijn, zelfs in een nat jaar als 2024. Het is echter ook mogelijk dat de meting net op een andere locatie gedaan is, waardoor de gemeten weerstanden in de bodem iets anders zijn.



Afbeelding 5. Veranderingen in weerstand tijdens de proef. Rood geeft een lagere weerstand (natter/zouter) weer, en blauw een hogere weerstand (droger/zoeter). Op de y-as staat de diepte van de meting in meters en op de x-as de afstand langs het meettracé in meters. Verschillen kleiner dan 30% zijn grijs

Voorwaarden duurzaam gebruik

Het risico bestaat dat er door zoetwateronttrekking zout water uit diepere watervoerende pakketten wordt aangetrokken ('upconing'). Hoewel uit deze proef is gebleken dat de zoetwaterbel onder de huidige omstandigheden duurzaam gebruikt kan worden, betekent dat niet dat dit onder alle omstandigheden het geval is. Om te testen welke voorwaarden er gelden om een kleine zoetwaterbel duurzaam te gebruiken, is daarom een hydrologisch model opgesteld. Hiertoe zijn gegevens van bodem, geohydrologie, oppervlaktewater en grondwatermetingen verzameld, die samen de basis van het conceptuele model vormen. Voor het stromingsmodel is gebruik gemaakt van het MODFLOW6-pakket [3] in combinatie met het BUY-package voor dichtheidsafhankelijke stroming. De randen van het modelgebied zijn zo gekozen dat het oppervlaktewater om de proefpercelen binnen het modelgebied valt.

In het modelgebied is gebruik gemaakt van rekencellen van 50 x 50 m, met verfijningen rond het oppervlaktewater, op de proefpercelen en bij de diepdrain. De kleinste cellen bevinden zich rond de diepdrain, met een grootte van ongeveer 1,5 x 1,5 m. De indeling van modellagen en bijbehorende geohydrologische parameters is gebaseerd op de landelijke ondergrondmodellen GeoTOP en REGIS, de geomorfologische kaart van Nederland en in het veld verzamelde gegevens. De bovenste modellaag komt overeen met de eerste 2 meter van de bodem. Daaronder bestaat het model uit lagen van 1 meter dikte tot een diepte van 18 meter onder maaiveld. Onder in het model is een goed doorlatende laag opgenomen die gebaseerd is op de formaties van Kreftenheye, Peize en Waalre.

Het model is gekalibreerd aan de hand van de grondwaterstandsmetingen bij de zes peilbuizen in het proefperceel. In de kalibratie zijn verschillende modelparameters onderzocht, waaronder de

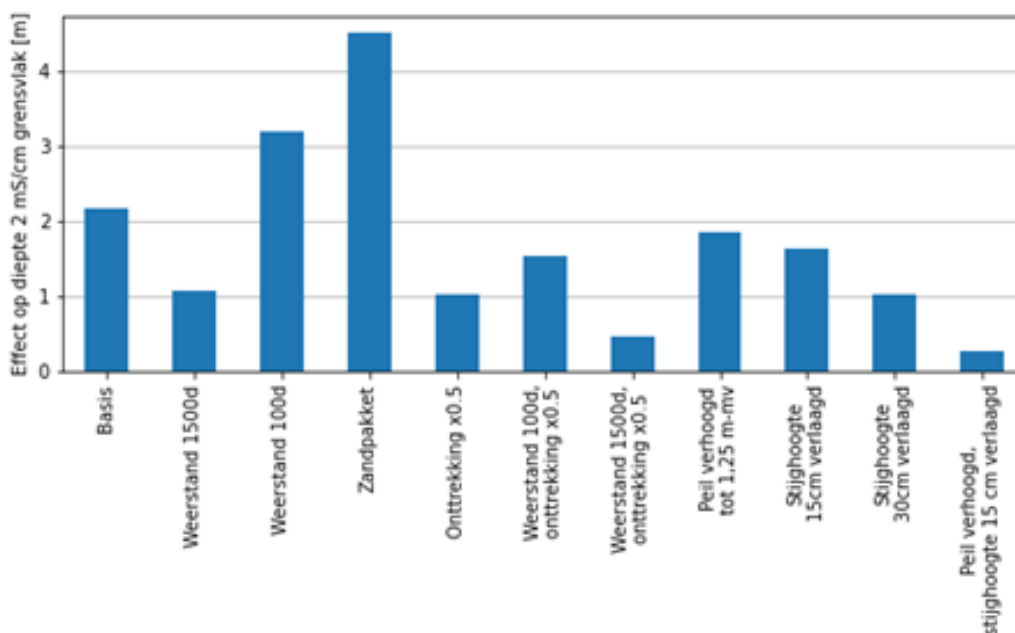
doorlatendheden en weerstanden van modellagen, de weerstanden van de waterlopen, de opbrengstcoëfficiënt, en de stijghoogte van het watervoerend pakket.

Op basis van het gekalibreerde model is een basismodel opgezet, waarmee randvoorwaarden voor het gebruik van vergelijkbare zoetwatervoorkomens in Zeeland doorgerekend kunnen worden. Op de proeflocatie komt aan de onderkant van de zoetwaterbel een dunne laag klei en veen voor, met in de omgeving twee diepe geulen die deze laag doorsnijden. Uit een inventarisatie van kleine zoetwatervoorkomens in Zeeland bleek dat een situatie met een ononderbroken zavelige (zand gemengd met kleideeltjes) weerstandslaag vaker voorkomt. Daarom is ervoor gekozen om de geulen uit het gekalibreerde model te verwijderen, en de weerstand van de weerstandslaag te verlagen. De onderkant van de zoetwaterbel ligt op 11 meter beneden maaiveld. In het basismodel wordt 4.500 m³/jaar onttrokken met de diepdrain.

In de modelstudie zijn vervolgens verschillende voorwaarden getest:

- het onttrekkingsdebiet
- de weerstand van de slecht doorlatende laag aan de onderkant van de zoetwaterbel
- de stijghoogte onder de weerstandslaag
- het oppervlaktewaterpeil
- de dikte van de zoetwaterbel

Voor ieder scenario is het effect van de onttrekking op de zoetwaterbel beoordeeld na vier jaar onttrekken. Voor die vier jaar zijn twee gemiddelde jaren, een nat jaar en een droog jaar gesimuleerd. Als indicator voor verzilting van de zoetwaterbel is gekeken naar de berekende diepte van het zoet-brakgrensvlak direct onder de diepdrain. Het verschil tussen de modelberekeningen mét en zonder onttrekking is gebruikt om te bepalen of er in een bepaald scenario verzilting optreedt. Voor het zoet-brakgrensvlak is een grenswaarde van 2 mS/cm gebruikt, omdat de schadedrempel voor berekening van verschillende veelvoorkomende landbouwgewassen rond deze waarde ligt [4]. Het effect van vier jaar onttrekken op de diepte van het zoet-brakgrensvlak wordt in afbeelding 6 weergegeven voor ieder scenario.



Afbeelding 6. Berekend effect in meters van vier jaar onttrekken uit de diepdrain op de diepte van het 2 mS/cm-grensvlak

De berekende upconing is erg gevoelig voor de weerstand van de slecht doorlatende laag. Bij een verhoging van de weerstand van ongeveer 300 dagen in het basismodel naar 1500 dagen neemt de berekende upconing met de helft af. Als de slecht doorlatende laag geheel ontbreekt (scenario 'zandpakket'), bereikt het zoet-brakgrensvlak op basis van een EC van 2 mS/cm volgens de berekeningen in de loop van het vierde beregeningsseizoen de diepte van de diepdrain.

De berekende upconing is ook erg gevoelig voor het jaarlijks onttrokken volume. Bij een halvering van het volume is de upconing ook ongeveer de helft van het basisscenario. In twee aanvullende scenario's is het gecombineerd effect van het lager onttrokken volume en een verandering in de weerstand van de scheidende laag onderzocht. Met de resultaten hiervan werd bevestigd dat bij hogere weerstanden grotere volumes kunnen worden onttrokken, en andersom.

De stijghoogte onder de weerstandslaag bleek ook een grote invloed te hebben op de berekende upconing. Lagere stijghoogten versterken de infiltratiesituatie, en beperken daarmee de berekende upconing na vier jaar. Dit effect wordt versterkt als het gecombineerd wordt met een hoger oppervlaktewaterpeil. Dit betekent dat locaties in de buurt van diepere polders minder geschikt zijn voor duurzame onttrekking uit kleinere zoetwaterbellen.

Als laatste is de dikte van de zoetwaterbel belangrijk. Als de diepte van het zoet-zoutgrensvlak op 8 meter onder maaiveld ligt, in plaats van de 11 meter in het basismodel, wordt in de loop van het derde groeiseizoen al water onttrokken met een EC hoger dan 2 mS/cm.

Conclusie

In een kleinere zoetwaterbel is een diepdrain aangelegd. Gedurende twee jaar is ongeveer 4.500 m³/jaar onttrokken uit de diepdrain, waarbij aan de hand van peilbuizen en geofysische metingen de effecten op waterstanden en de zoet-zoutsituatie zijn gemonitord. Na het eerste groeiseizoen met onttrekking uit de diepdrain zijn geen verziltingseffecten waargenomen onderaan of aan de rand van de zoetwaterbel. Aan het eind van het tweede onttrekkingsseizoen is echter de EC van het grondwater op 11 meter diepte toegenomen. Dit is een indicatie dat het zoet-zoutgrensvlak 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 nogmaals te herhalen.

De randvoorwaarden voor duurzaam beheer van een kleine zoetwaterbel zoals deze zijn onderzocht aan de hand van een modelstudie. Daarbij is het effect van de onttrekking op de diepte van het zoet-zoutgrensvlak in verschillende scenario's vergeleken met de diepte van het zoet-zoutgrensvlak zonder onttrekking. Uit deze modelresultaten blijkt dat het 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.

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, overeenkomend met bijvoorbeeld een paar meter klei, kan een groter volume onttrokken worden.
- De hydrologische setting is belangrijk. Een groter volume kan op een duurzame manier worden onttrokken waar de stijghoogte relatief laag ligt en het oppervlaktewaterpeil juist relatief dicht bij het maaiveld ligt. Dit betekent bijvoorbeeld dat een locatie dicht bij de rand van een diepe polder minder geschikt is.
- Bij een zoet-zoutgrensvlak op 8 meter beneden maaiveld, dus 2 meter onder de diepdrain, wordt volgens de berekeningen al binnen enkele jaren water met een EC hoger dan 2 mS/cm tot aan de diepdrain getrokken.

Dankwoord

Dit project van het derde Plattelandsontwikkelingsprogramma (POP3) 'Samenwerken voor Zoetwater: Duurzaam gebruik zoetwaterbellen (ZL-00483)' is een samenwerking van Maatschap Gebroeders Op 't Hof en Acacia Water. Het Europees plattelandsontwikkelingsprogramma subsidieert de helft van de kosten. Ook de provincie Zeeland financiert een groot deel, naast een eigen bijdrage van de deelnemende partijen.

Referenties

1. Provincie Zeeland (2021). *Zeeuws Deltaplan zoet water*.
<https://www.zeeland.nl/sites/default/files/2022-02/Zeeuws%20Deltaplan%20Zoet%20Water.pdf>, geraadpleegd op 9 januari 2025.
2. <https://kaarten.zeeland.nl/map/freshem>, geraadpleegd 2 december 2024

3. Langevin, C.D. et al. (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>
4. Dam, A.M van, Clevering, O.A., Voogt, W., Aendekerk, T.G.L., Maas, M.P. van der (2007). *Zouttolerantie van landbouwgewassen, Deelrapport Leven met zout water, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving*. Wageningen University & Research.