Innovatieve putconcepten maken zoetwaterreservoir in verzilte ondergrond mogelijk

Koen Zuurbier, Marcel Paalman (KWR), Siebren van der Linde (Universiteit Utrecht), Dick de Gelder (B-E De Lier), Peter Meeuwse (Meeuwse Handelsonderneming)

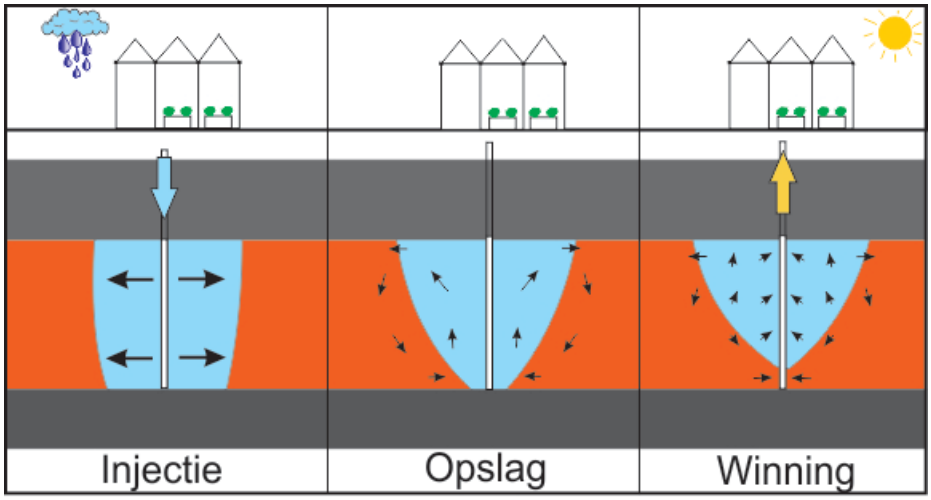
Ondergrondse berging van tijdelijke zoetwateroverschotten voor terugwinning in perioden van vraag (OWB) biedt een oplossing voor huidige en toekomstige watertekorten. Recent zijn innovatieve putconcepten ontwikkeld en gevalideerd om OWB ook op kleine schaal in brak en zout grondwater mogelijk te maken. De crux van deze concepten zit in het optimaliseren van de plaatsing en aansturing van de putfilters voor infiltratie en onttrekking van zoetwater. Meerdere verticale filters maken diepe injectie en ondiepe winning van zoetwater mogelijk in brakke pakketten ('ASR-Coastal'), en met lange horizontale putten kunnen dunne zoetwaterlenzen in een zoute ondergrond worden vergroot voor latere winning ('Freshmaker').

Ondergrondse waterberging (OWB) via putten voor terugwinning in perioden van vraag biedt een oplossing voor watertekorten en staat internationaal bekend als aquifer storage and recovery (ASR [1]). Belangrijke voordelen ten opzichte van alternatieve methoden voor zoetwatervoorziening zijn

- het langer vasthouden en benutten van het gebiedseigen water,
- het beperkte ruimtebeslag,
- de afwezigheid van afvalstromen en
- het behoud of verbetering van waterkwaliteit in de ondergrond.

Deze techniek van waterconservering wordt in het Deltaprogramma Zoetwater [2] erkend als belangrijk element van één van de vijf pijlers die de kern van de toekomstige zoetwaterstrategie vormen: "R*egio's en gebruikers verminderen de vraag naar zoetwater en de kwetsbaarheid bij droogte door zoetwater zuiniger en effectiever benutten".*

Echter, het vasthouden van lokale zoetwateroverschotten voor latere terugwinning en gebruik in watervoerende pakketten ('aquifers') in Laag-Nederland wordt sterk bemoeilijkt door de aanwezigheid van brak en zout grondwater in de ondergrond. Doordat het (geïnfiltreerde) zoetwater lichter is dan het in de bodem aanwezige zoutere water, vindt opdrijving plaats: de zoetwaterbel verplaatst zich omhoog en vervormt daarbij. Vermenging met en af- en vooral opdrijving in het zoutere grondwater kan leiden tot zeer lage terugwinrendementen (het deel van het opgeslagen zoetwater dat met een geschikte kwaliteit kan worden teruggewonnen). In afbeelding 1 is weergegeven hoe het proces van opdrijving leidt tot lage terugwinrendementen.



Afbeelding 1. De infiltratie, opslag en terugwinning van het zoetwateroverschot van een glastuinbouwbedrijf in een aquifer met zouter grondwater via een enkelvoudige put.
Opdrijving leidt in dat geval tot vroegtijdige verzilting aan de onderzijde van de put en daardoor lage terugwinrendementen.

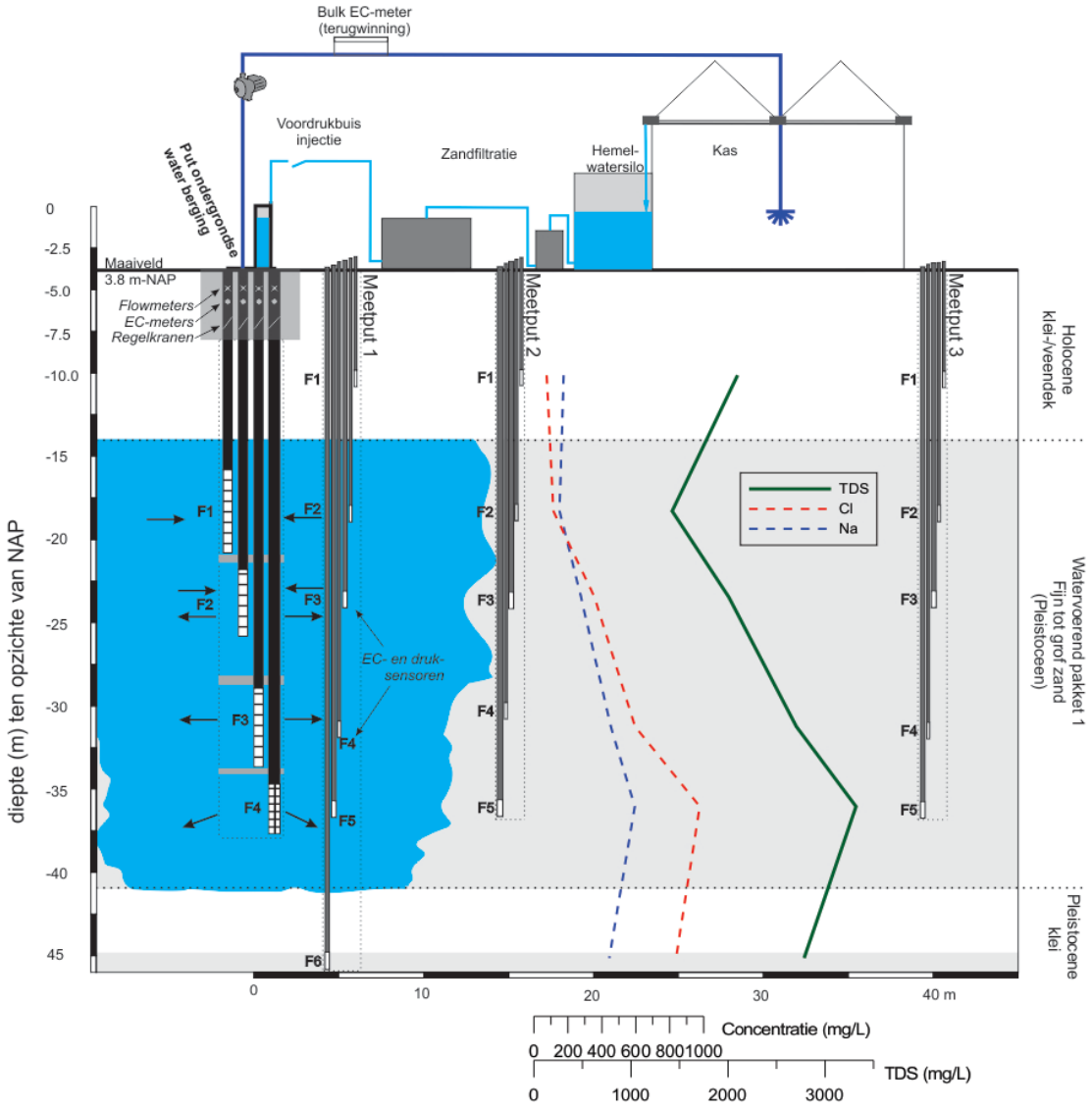
Uitgekiende putconcepten om met OWB-systemen ondanks opdrijving toch acceptabele terugwinrendementen te halen zijn de laatste jaren door KWR ontworpen en getest in samenwerking met installateurs en tuinders. In dit artikel worden de ervaringen met twee ontwikkelde technieken uitgelicht: 'ASR-coastal' om zoetwater op diepte te infiltreren en juist ondiep te winnen, en de 'Freshmaker' om dunne zoetwaterlenzen te vergroten en te winnen via horizontale putten.

'ASR-coastal'
Conventionele OWB (internationaal: ASR) wordt al decennia lang toegepast, waarbij injectie en onttrekking plaatsvindt via enkelvoudige, vrijwel de gehele dikte van de aquifer doorsnijdende putfilters. Er is daarbij geen controle over de diepte waarop het water door de put wordt onttrokken; de samenstelling van het onttrokken water is dan (vrijwel) gelijk aan de gemiddelde samenstelling van het grondwater in de aquifer.

Bij ASR-coastal wordt het lange putfilter vervangen door meerdere korte putfilters op verschillende dieptes in één boorgat. Ieder putfilter wordt hierbij voorzien van een separate, dichte stijgbuis en tussen de putfilters wordt bij het afdichten van het boorgat bentoniet achtergelaten. De term die voor dit nieuwe type put wordt gehanteerd is 'multiple partially penetrating wells' (MPPW). De MPPW geeft controle over de diepte waarop zoetwater wordt geïnfiltreerd en onttrokken. Hierdoor wordt het mogelijk om zoetwater dieper in de ondergrond te infiltreren en het bij watertekorten juist ondiep terug te winnen, waarmee het opdrijvingsprobleem gedeeltelijk wordt omzeild. De bedoeling is verzilting van de winfilters zo lang mogelijk uit te stellen, waardoor het terugwinrendement zal toenemen.

Pilot Nootdorp

Het ASR-coastalconcept is gevalideerd tijdens een pilot bij een glastuinbouwbedrijf in Nootdorp (Zuid-Holland). Via een geavanceerd geautomatiseerd systeem is hierbij met een MPPW het afstromende hemelwater van circa 2 ha kasdek na voorzuivering vooral onder in de eerste (brakke) aquifer geïnfiltreerd en vervolgens door de bovenste filters weer onttrokken tijdens watervraag in het naastgelegen glastuinbouwbedrijf (zie afbeelding 2). De harde eis van de tuinder voor zijn teelt hierbij was dat het water vrijwel ongemengd (<20 mg Cl/l) en vrij van ijzer en mangaan terug uit de aquifer kwam. Rondom het systeem zijn peilbuizen geplaatst, waarbij ook ongestoorde bodemkernen zijn gestoken ter karakterisering van de doelaquifer (afbeelding 2). In de periode januari 2012 tot en met september 2013 zijn de bedrijfsvoering en de verspreiding/kwaliteitsontwikkeling van het zoete water in de aquifer uitvoerig gemonitord. Op basis van de karakterisering en de monitoringsresultaten is een SEAWAT-grondwater-transportmodel opgezet om het systeem te simuleren.

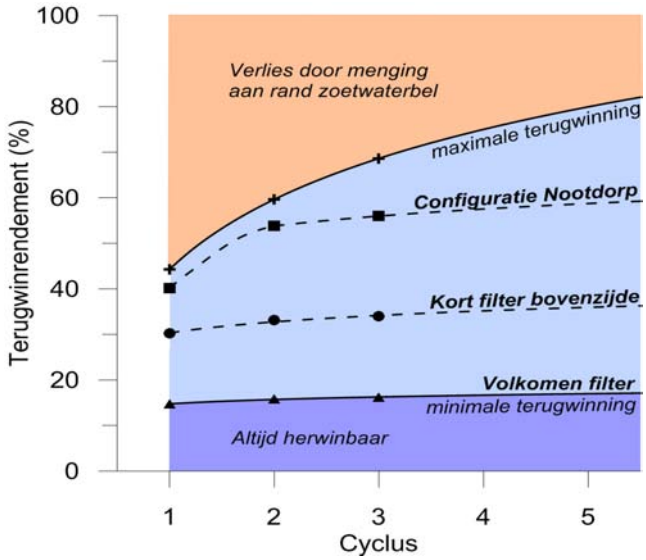


Afbeelding 2. Het ASR-coastal systeem, pilot Nootdorp

TDS = total dissolved solids (het totaal aan opgeloste stoffen in het grondwater)

Rendementsverlies door menging

Tijdens de intensieve monitoringsperiode is bijna 30.000 m^3 zoetwater geïnfiltreerd. In dezelfde periode is zo'n 12.000 m^3 (40%) vrijwel ongemengd teruggewonnen, waarbij alleen in het eerste jaar de winning (voor de proef) is gemaximeerd. In het tweede jaar werd de terugwinning begrensd door de vraag van de tuinder en bleef winbaar zoetwater achter in de aquifer. Met het SEAWAT-model is cyclus 1 (winter/voorjaar/zomer 2012) exact gesimuleerd en is benaderd hoe het maximale terugwinrendement zich zou ontwikkelen in cyclus 2 en 3 (afbeelding 3).



Afbeelding 3. De ontwikkeling van het terugwinrendement van het ASR-coastalsysteem in Nootdorp [3]

Uit deze modellering komen de volgende bevindingen naar voren:

1. In het eerste seizoen is het zoetwaterverlies vrijwel volledig toe te schrijven aan menging (afbeelding 3: rendement met MPPW in Nootdorp bijna gelijk aan maximale terugwinning in situatie zonder opdrijving). Dit betekent dat a) het putsysteem, door het zoetwater ondieper terug te winnen, in staat was het verlies door opdrijving (weergegeven in afbeelding 1) te compenseren en b) dat er nauwelijks winbaar water in de ondergrond achterbleef.
2. De maximale terugwinning zal voor dit systeem op deze locatie echter maximaal 60% zal blijven, wat betekent dat er jaarlijks minimaal 40% van het injectiewater verloren gaat/achterblijft. Na de eerste cyclus blijft de terugwinning dus achter bij de situatie zonder opdrijving (waarbij het verlies door menging uiteindelijk nihil wordt door de opbouw van een brede 'bufferzone' rondom de ongemengde bel).
3. Met een conventioneel systeem (volkomen, enkelvoudige put) of een systeem met een korter, ondiep filter zou het terugwinrendement blijven steken op 17% en respectievelijk 35%. Dit betekent dat de tuinder regelmatig een tekort aan gietwater zou hebben.

De modellering toont aan dat de MPPW onmisbaar is voor een acceptabel rendement uit kleinschalige OWB op deze locatie met brak grondwater. Daarnaast leert de modellering ons ook dat een (uiteindelijk) rendement van 100% met deze opzet nog een utopie is, ondanks dat het verlies door opdrijving vrijwel volledig gecompenseerd wordt: er blijft een 'jaarlijks verlies' van injectiewater bestaan door menging met brak water in de onderste helft van het pakket (ca. 40% verlies voor dit systeem op deze locatie). Dit komt doordat de opdrijving iedere zomer volledige verzilting veroorzaakt onder in de aquifer. Hierdoor wordt geen beschermende 'bufferzone' opgebouwd van gemengd injectiewater en grondwater (zoals in een situatie zonder opdrijving wel gebeurt).

Waterkwaliteitsveranderingen tijdens verblijf in de ondergrond

Behalve door menging, kunnen rendementsverliezen ontstaan doordat chemische processen in de ondergrond het zoetwater ongeschikt voor gebruik bovengronds maken. In Nootdorp is daarom ook de ontwikkeling van de waterkwaliteit vanaf infiltratie tot terugwinning gemonitord. Hieruit kwamen de volgende relevante processen naar voren:

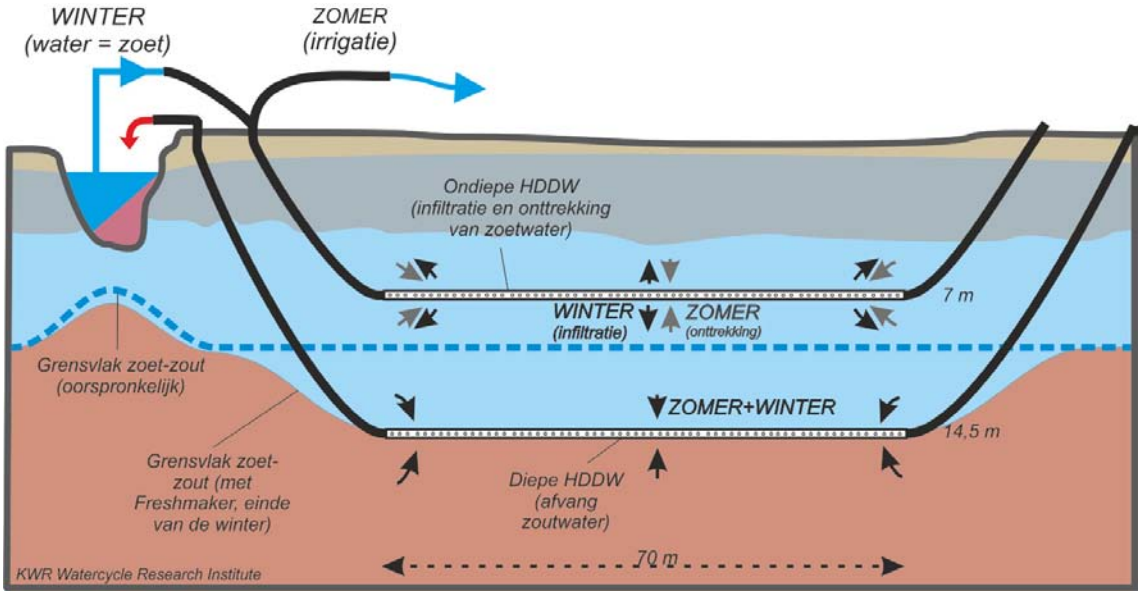
1. **Kationuitwisseling**. Het geïnjecteerde water verandert ondergronds van samenstelling, onder andere doordat calcium (Ca) in het infiltratiewater tijdens verzoeting wordt uitgewisseld met aan het sediment geadsorbeerd Na. Bij zeer strikte kwaliteitseisen kan hierdoor injectiewater ongeschikt raken voor gebruik. Aan de onderzijde vindt het omgekeerde proces plaats: Na wordt daar ingewisseld voor Ca (verzilting). Tijdens verzilting voldoet het water daardoor langer aan de eisen voor Na dan op basis van de elektrische geleidbaarheid (EC) of de Cl-concentratie wordt verwacht. Het effect op het rendement van OWB is afhankelijk van de kwaliteitseisen voor het winwater, de kationuitwisselingscapaciteit van het sediment en de chemische samenstelling van het injectiewater en het oorspronkelijke grondwater.
2. **Redoxprocessen**. De bulk van het (zuurstofrijke) injectiewater wordt bij ASR-coastal geïnfiltreerd in het onderste deel van het watervoerende pakket. Hier vindt oplossing of oxidatie van mineralen in het sediment plaats. De reactiviteit van deze laag is daarom bepalend voor de waterkwaliteitsontwikkeling. Bij conventionele ASR is dat anders, daar bepaalt de gemiddelde reactiviteit van de aquifer de waterkwaliteits-ontwikkeling. In Nootdorp bevatten diepere secties van de aquifer de hoogste gehalten aan pyriet en ijzer (Fe)- en mangaan (Mn)-houdende carbonaten, hetgeen leidde tot mobilisatie van arseen (As), Fe en vooral Mn, terwijl zuurstof en nitraat werden geconsumeerd. Het (vervolgens anoxische) As, Fe- en Mn-houdende water werd teruggewonnen ter plaatse van het ondiepste MPPW-filter (F1, Figuur 2). Door in de tweede cyclus een fractie van het zuurstofhoudende zoetwateroverschot ook middels dit filter te infiltreren werd ondergrondse Fe- en Mn-verwijdering tot stand worden gebracht en werden waterkwaliteitsproblemen voorkomen.

Het ASR-coastalsysteem in Nootdorp doet naar tevredenheid dienst als gietwaterbron voor de lokale tuinder. In 2014 is 46% van het geïnjecteerde water ongemengd weer onttrokken om aan de gietwatervraag te voldoen, waarmee het gemiddelde terugwinrendement uitkomt op

42%. Het is de bedoeling om binnen enkele jaren in Nootdorp opnieuw één cyclus van injectie, opslag en winning intensief te monitoren om zo de prestaties en de duurzaamheid van het systeem op lange termijn te onderzoeken.

De 'Freshmaker'

Ook ondiepe, freatische aquifers met relatief dunne zoetwaterlenzen in zout grondwater komen veel voor in Laag-Nederland. Gevoed door het natuurlijke neerslagoverschot en ontstaan door opbolling van de grondwaterstand boven lokale drainageniveaus kunnen deze lenzen een dikte bereiken tot ca. 30 m. Doorgaans zijn ze echter veel dunner, waardoor significante zoetwaterwinning zonder vermenging met zoutwater uit deze lenzen onhaalbaar is. De Freshmaker richt zich allereerst op deze lenzen. De lenzen kunnen door gelijktijdige kunstmatige infiltratie en diepe afvang van zout grondwater eenvoudig en snel vergroot worden. Vervolgens kan het opgeslagen zoetwater ondiep ongemengd worden onttrokken. Voor deze ingrepen in de ondergrond is gekozen voor een relatief eenvoudige en goedkope versie van de recent ontwikkelde 'horizontal directional drilled well' (HDDW) [4], waarmee over een aanzienlijke lengte (tot 150 m) en op uiterst precies te bepalen dieptes (maximaal 17 m) verdikking van de zoetwaterlens gerealiseerd kan worden (afbeelding 4). Hierbij kunnen behoorlijke volumes (tot ca. 10.000 m^3 per set HDDWs) zoetwater voor latere terugwinning worden opgeslagen.



Afbeelding 4. De configuratie van de Freshmaker in Ovezande

Pilot Ovezande

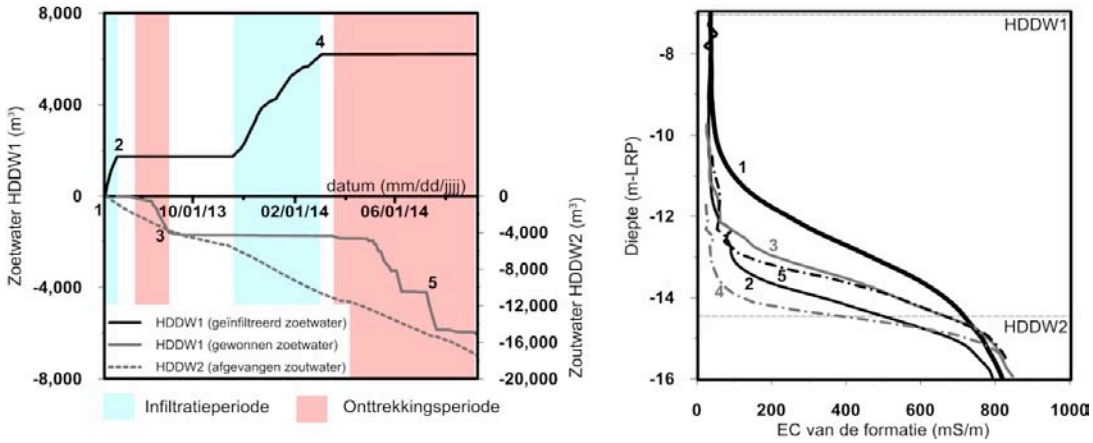
De eerste Freshmaker is in het voorjaar van 2013 gerealiseerd in Ovezande (Zeeland) en wordt sindsdien gebruikt door een lokale fruitteler voor de zoetwatervoorziening. In de winter wordt zoet oppervlaktewater ingenomen en ontdaan van zwevend stof via een in een watergang geïntegreerd zandfilter, waarna infiltratie plaatsvindt via een 7 m diepe HDDW (lengte: 70 m). Daarnaast wordt via een diepere, tweede HDDW (ook 70 m lang) het jaar rond zoutwater afgevangen op 14,5 m diepte met een debiet van ca. 40 m^3/d. Dit zoute water wordt

stroomafwaarts op een watergang geloosd. In de zomer wordt vanuit de verdikte lens zoetwater onttrokken voor direct gebruik via druppelirrigatie en het bijvullen van een bassin. Een chlorideconcentratie <150 mg/l is hierbij vereist.

Resultaat Ovezande

De resultaten van de eerste twee cycli van infiltratie en opslag (2013, 2014) onderschrijven de effectiviteit van de Freshmaker. In het korte seizoen 2013 werd ruim 1.700 m^3 succesvol opgeslagen en herwonnen, in 2014 werd dit uitgebouwd naar bijna 4.500 m^3 (afbeelding 5 links). Met geofysische metingen werd onderschreven dat de zoetwaterlens hierbij inderdaad actief werd verdikt en verdund (afbeelding 5 rechts). Op basis van de veldwaarnemingen werd wederom een SEAWAT-model opgezet en geijkt om de werking van de Freshmaker te simuleren. De belangrijkste uitkomsten van deze modellering zijn [5,6]:

- De diepe afvang van zoutwater is voor de Freshmaker onmisbaar voor het halen van acceptabele terugwinrendementen.
- Een zoutwaterlob (opkegelend door een drainerende nabijgelegen sloot) wordt aangetrokken, waardoor maximale zoetwaterwinning in de eerste paar jaren wat achterblijft. Na deze opstartperiode is de zoutwaterlob echter volledig onttrokken door de diepe afvang en begint zoet- of brakwater vanuit dezelfde sloot te infiltreren. Hierna kan meer dan 6.000 m^3 zoetwater worden gewonnen bij een terugwinpercentage van 100%.
- Injecteren van een groter volume leidt niet tot grotere terugwinvolumes omdat de lens niet verder verdikt kan worden dan de diepte van de (afvang)HDDW.
- De terugwinning moet gespreid over een langere periode (hele zomer) plaatsvinden omdat opkegeling van zoutwater plaatsvindt wanneer met hoog debiet (ten opzichte van de zoutafvang) in korte periode veel zoetwater wordt onttrokken;
- De afvang van zoutwater met de diepe HDDW zou veel efficiënter kunnen worden wanneer deze gestuurd wordt op basis van onttrokken EC. Er zou dan vooral in de winter veel minder zoutwater onttrokken en geloosd hoeven worden.



Figuur 5: Links de geïnfiltreerde en onttrokken watervolumes met de Freshmaker in de periode 2013-2014 en rechts de reactie daarop van het zoet-zout grensvlak (momentopname via geofysiche metingen) ter plaatse van de horizontale putten [5].

m-LRP = m ten opzichte van lokaal referentiepunt

EC= elektrische conductiviteit, een maat voor de zoutconcentratie in het grondwater.

De Freshmakerproef in Ovezande wordt in elk geval doorgezet tot 2017, binnen het onderzoeksprogramma GO-FRESH [7]. Hierbij wordt de werking verder gevalideerd, de robuustheid van het systeem getest en de bedrijfsvoering geoptimaliseerd. Daarnaast wordt in samenwerking met ZLTO op een vijftal locaties in Zeeland de realisatie van nieuwe Freshmakers voorbereid.

Economische meerwaarde en regulering van kleinschalige OWB-technieken

Naast de hydrologische en technische werking zijn de economische meerwaarde en de (juridische en beleidsmatige) regulering van groot belang voor het slagen van OWB. Voor de glastuinbouw blijkt dat OWB economisch concurrerend is met het gangbare alternatief van ontzilting door omgekeerde osmose [7], een techniek die beleidsmatig onder druk staat in verband met het lozen van membraanconcentraat. In zoutere gebieden, zoals het Westland, is wel een grotere schaalgrootte en/of het aanwenden van aanvullende zoetwateroverschotten (woonwijken, bedrijventerreinen) nodig in verband met lagere terugwinrendementen en een grote zoetwatervraag. ASR-coastal wordt daarnaast sinds kort in Noord-Nederland ingezet binnen Spaarwater [9] om de bollen- en aardappelteelt van zoetwater te voorzien.

In Zeeland lijkt ook de Freshmaker een interessante businesscase op te leveren [10]. Daarnaast won het team 'Fresh Force' de Delta Water Award 2015 met een innovatieve businesscase voor toepassing van de Freshmaker in combinatie met een webtool, duurzame energie én een publiek-privaat-investeringsfonds [11].

Tot slot wordt op initiatief van de STOWA en Stichting Waterbuffer door KWR, Sterk Consulting, Acacia Water en Deltares een 'Handreiking zorgvuldige beoordeling ondergrondse waterberging' opgesteld als beoordelingskader dat zowel vergunningverleners als ondernemers kunnen gebruiken. Het doel hiervan is om een duurzaam gebruik van de ondergrond ten behoeve van lokale zoetwatervoorziening via OWB te garanderen én te faciliteren.

Concluderend: van verzilte ondergrond naar waardevol zoetwaterreservoir

Recent zijn innovatieve putconcepten ontworpen en gevalideerd die ondergrondse waterberging (OWB) op kleine schaal in verzilte gebieden mogelijk maken. In dit artikel zijn de concepten 'ASR-coastal' en de 'Freshmaker' uitgelicht, die in pilots in respectievelijk Nootdorp en Ovezande zijn gevalideerd. Deze relatief kleinschalige OWB-pilots hebben in korte tijd veel inzicht gegeven in optimalisatie van ontwerp en bedrijfsvoering. De uitgekiende putconcepten om de controle op geïnfiltreerd zoetwater te vergroten blijken onmisbaar voor succesvolle terugwinning van zoetwater. Verder hebben de OWB-concepten nu al economische meerwaarde voor ondernemers. De verwachting is daarom dat opschaling van OWB in verzilte kustgebieden kan resulteren in grote, winbare zoetwatervoorraden, waarmee een belangrijke bijdrage wordt geleverd aan het verminderen van de afhankelijkheid van het hoofdwatersysteem.

Het ontwikkelen en valideren van deze concepten vond plaats binnen het onderzoeksprogramma Kennis voor Klimaat. De volgende stap is om deze jonge concepten (inter)nationaal gecontroleerd op grotere schaal in te zetten om gebiedseigen zoetwateroverschotten beschikbaar te houden voor perioden van vraag en gebruikers/ gebieden zelfvoorzienend te maken in zoetwater. Hiervoor is doorontwikkeling nodig naar robuuste, bedrijfsklare OWB-systemen, door de succesvolle pilots en de gevormde samenwerkingsverbanden tussen eindgebruikers, toeleveranciers, overheden en kennis-instituten voort te zetten en uit te breiden.

Literatuur

1. Pyne, R.D.G., (2005). Aquifer Storage Recovery - A guide to Groundwater Recharge Through Wells. ASR Systems LLC, Gainesville, Florida, USA, 608 pp.
2. Deltaprogramma Zoetwater, (2014). Water voor economie en leefbaarheid, ook in de toekomst - Advies Deltabeslissing Zoetwater, Voorkeursstrategie Zoetwater, Advies Deltaplan Zoetwater. September 2014.
3. Zuurbier, K.G., Zaadnoordijk, W.J., Stuyfzand, P.J., (2014). How multiple partially penetrating wells improve the freshwater recovery of coastal aquifer storage and recovery (ASR) systems: A field and modeling study. Journal of Hydrology, 509(0): 430-441.
4. Cirkel, D.G., Van der Wens, P., Rothuizen, R.D., & Kooiman, J.W. (2011). Waterwinning met HDD-boringen; Eén horizontaal putfilter voor meerdere verticale. Land + Water 1/2 pp 22-23.
5. Zuurbier, K.G., Kooiman, J.W., Maas, B., Groen, M.M.A., Stuyfzand, P.J., In press. Enabling successful aquifer storage and recovery (ASR) of freshwater using horizontal directional drilled wells (HDDWs) in coastal aquifers. Journal of Hydrologic Engineering.
6. Van der Linde, S.J. (2015). Optimizing the performance of the Freshmaker by studying different operational and hydrogeological variables. KWR2015.009. Beschikbaar via: http://dspace.library.uu.nl/
7. www.go-fresh.info
8. Van der Schans, M., Paalman, M., Zuurbier, K.G. (2014). Potenties ondergrondse waterberging Westland; Technisch achtergrond rapport. KWR 2014.103, KWR, Nieuwegein.
9. www.spaarwater.com
10. Oude Essink, G.H.P., van Baaren, E.S., Zuurbier, K.G., Velstra, J., Veraart, J., Brouwer, W., Faneca Sànchez, M., Pauw, P.S., de Louw, P.G.B., Vreke, J., Schoevers, M. (2014). GO-FRESH: Valorisatie kansrijke oplossingen voor een robuuste zoetwatervoorziening, KvK 151/2014, ISBN EAN 978-94- 92100-12-2, 84 p.
11. http://freshforce.weebly.com