



Ondergrondse waterberging

Ondergrondse waterberging wordt wereldwijd steeds meer toegepast. Hierbij vindt infiltratie van overtollig zoetwater door putten, drains of infiltratievijvers, terwijl terugwinning vooral via putten geschiedt.

1. INLEIDING
2. GERELATEERDE ONDERWERPEN EN DELTAFACTS
3. STRATEGIE: VASTHOUDEN, BERGEN, GEBRUIKEN!
4. SCHEMATISCHE WEERGAVE
5. TECHNISCHE KENMERKEN
6. GOVERNANCE
7. KOSTEN EN BATEN
8. PRAKTIJKERVERINGEN EN LOPEND ONDERZOEK
9. KENNISLEEMTEN
10. BRONNEN & LINKS
11. ERVARINGEN
12. DISCLAIMER

1. Inleiding

Ondergrondse waterberging (Engels: aquifer storage and recovery, ofwel ASR) wordt gedefinieerd als "het infiltreren van water in ondergrondse watervoerende lagen ('aquifers') in perioden van wateroverschot met als doel dit te onttrekken in perioden van droogte" ([Pyne, 2005](#)). Deze techniek wordt wereldwijd steeds meer toegepast, waarbij infiltratie van overtollig zoetwater plaatsvindt door putten of infiltratievijvers, terwijl terugwinning vooral via putten geschiedt. Voor ondergrondse berging wordt doorgaans gekozen omdat ([Zuurbier et al., 2012a](#)):

1. Water op deze wijze voor langere perioden kan worden vastgehouden voor uiteindelijk gebruik;
2. Ruimte voor opslag bovengronds beperkt is;

3. Het water in de ondergrond goed geconserveerd wordt (bv. geen algengroei);
4. Het opgeslagen water beschermd is tegen invloeden van buitenaf (temperatuur, verdamping, vervuiling);
5. Er doorgaans geen (dure) nabehandeling van het water vereist is, waardoor ook afvalstromen worden voorkomen;
6. Er ruimte kan worden gemaakt bovengronds voor opvang van piekneerslag, zonder dat kostbaar zoetwater verloren gaat.

De techniek wordt gebruikt wanneer het oorspronkelijke grondwater een ontoereikende kwaliteit heeft (doorgaans: te zout), of in gebieden waar de kwaliteit al voldoet, maar waar door netto onttrekking schade kan ontstaan door verdroging. Toepassing in Nederland vindt met name plaats bij de drinkwaterbedrijven ([Stuyfzand, 2005](#)) en de glastuinbouw ([Zuid-Holland, 2009](#)), waar grote hoeveelheden regenwater met het kasdek worden opgevangen; een ideaal en goedkoop uitgangswater voor irrigatie. Daarnaast is in de laatste jaren meer aandacht ontstaan voor andere toepassingen, zoals het voorkomen van wateroverlast (bijvoorbeeld in steden met het oog op klimaatadaptatie) of het mogelijk maken van hergebruik van restwater.

2. Gerelateerde onderwerpen en Deltafacts.

Trefwoorden: zoetwatervoorziening, verzilting

Deltafacts: [Regenwaterlenzen](#), [Bodem als buffer](#), [Waterreservoirs op bedrijfsniveau](#), [Brakke kwel](#), [Effecten klimaatverandering op landbouw](#), [Hergebruik van Effluent](#)

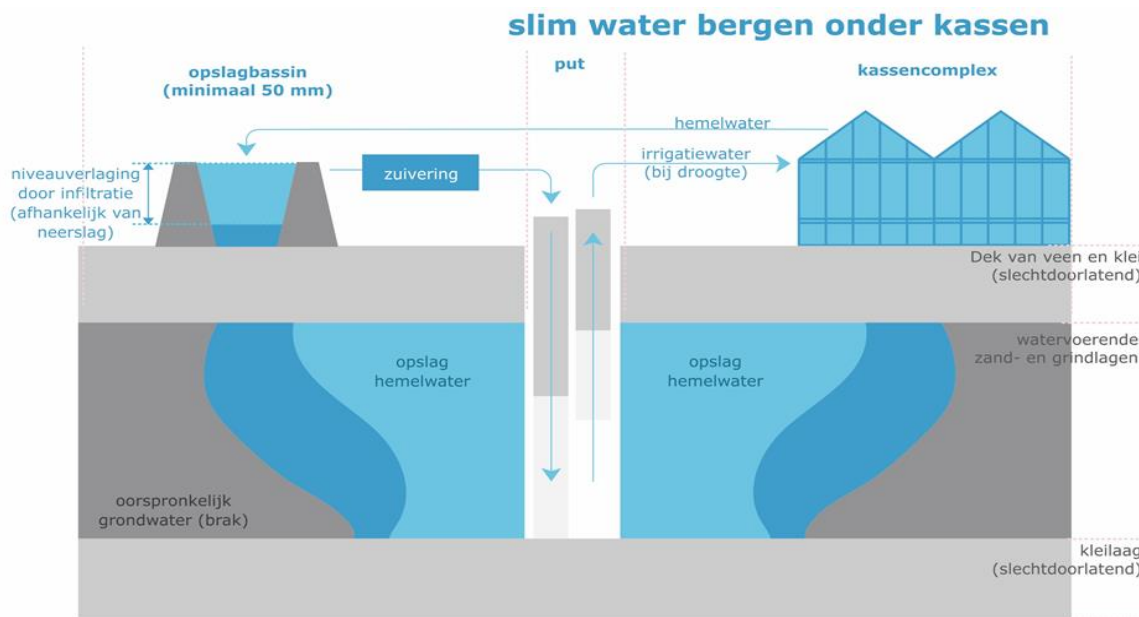
3. Strategie: vasthouden, bergen, gebruiken

Ondergrondse berging heeft als hoofddoel het overbruggen van perioden tussen wateraanbod en watervraag. Zo kan het de zoetwaterbeschikbaarheid in perioden van droogte vergroten. In de land- en tuinbouw kan hierdoor schade in droge perioden voorkomen worden door beregening met zoetwater. Voor drinkwatervoorziening kan het een bijdrage leveren aan het scheren van pieken en de redundantie. Kortom: door ondergrondse waterberging kan het jaarlijkse overschot aan zoetwater effectief worden ingezet.

Aan de andere kant kan ondergrondse waterberging bijdragen aan waterveiligheid. Zo kan wateroverlast in stedelijke gebieden door intense neerslag worden voorkomen door het creëren van bergingsruimte door peilverlaging in bovengrondse

bassins. Het biedt een lokale afvoermogelijkheid, naast de bestaande riolering en het oppervlaktewater. Neerslag kan hierdoor bovengronds beter worden opgevangen en langzaam worden geïnfiltreerd, waarmee dit zoete water ook beschikbaar blijft als zoetwaterbron in droge perioden.

4. Schematische weergave



Figuur 1. Schematische weergave van ondergrondse waterberging ('ASR') ten behoeve van gietwatervoorziening in de glastuinbouw.

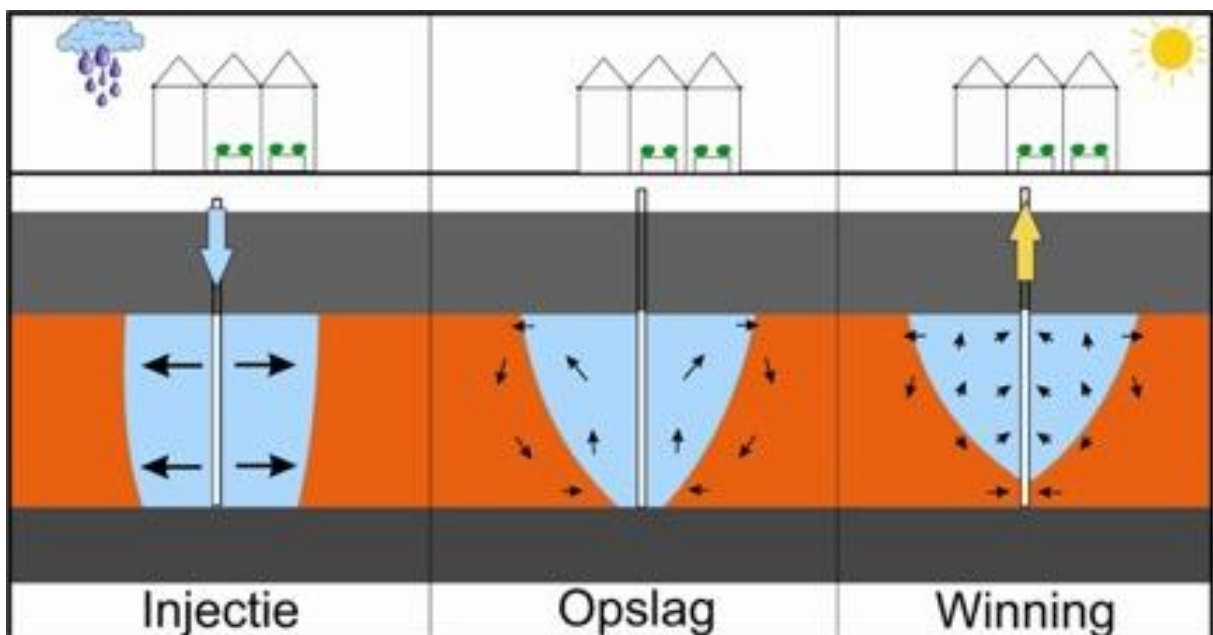
5. Technische kenmerken

Opgevangen hemelwater, ingenomen oppervlaktewater, drinkwater en/of gezuiverd afvalwater wordt in perioden van overvloed geïnjecteerd in watervoerende pakketten. In het geval van hemel- en/of oppervlaktewater wordt dit water aanvullend gezuiverd (bijvoorbeeld door een zandfilter). Hierbij wordt met name zwevend stof verwijderd om zo putverstopping te voorkomen. Ook moeten eventueel aanwezige verontreinigingen (bijvoorbeeld afkomstig van het dak, de straat of uit de lucht) worden verwijderd, zodat voldaan wordt aan de wettelijke eisen om het te mogen infiltreren. Daarnaast kan het ook, zeker bij oppervlaktewater, nodig zijn om de groeipotentie te reduceren om putverstopping te voorkomen. Indien vraag en aanbod van zoetwater bovengronds in evenwicht zijn, wordt er geen water geïnjecteerd of onttrokken en wordt gesproken van een 'opslagfase'. Is er sprake van een zoetwatertekort, dan wordt via putten het zoete water weer onttrokken voor gebruik als drink- of irrigatiewater. Dit proces is volledig te automatiseren, hetgeen

in de glastuinbouw bijvoorbeeld wordt gedaan door het meten van het waterniveau in een kleinere bovengrondse hemelwateropslag: overschrijdt dit door neerslag een maximumniveau dan start infiltratie. Bij overschrijding van een minimumniveau (door watergift in de kas) zal het systeem juist water gaan onttrekken.

Bij ondergrondse waterberging is het terugwinrendement (deel van het geïnjecteerde water dat kan worden teruggewonnen met acceptabele kwaliteit) van belang. Vooral in brakke of zoute pakketten kan het terugwinrendement tegenvallen, met name wanneer strenge eisen worden gesteld aan het onttrokken water, zoals bij drinkwater en de glastuinbouw. Aan het verlies van zoetwater in de brakke ondergrond liggen drie oorzaken ten grondslag:

1. Het geïnjecteerde zoete water stroomt in een gebied met aanzienlijke achtergrondstroming horizontaal af, waardoor al snel zouter (ongeschikt) water van stroomopwaartse zijde wordt gewonnen;
2. Het geïnjecteerde zoete water drijft opwaarts in het zoute water, waardoor aan de onderzijde van de put(ten) zout water wordt teruggewonnen. Dit maakt het terug te winnen mengwater ongeschikt;
3. Aan de rand van de bel vindt vermenging met het weg te drukken zoutere grondwater plaats.



Figuur 2. Injectie, opslag en winning van zoetwater in een brakke of zoute aquifer, waarbij verzilting aan de onderzijde van de put het winwater uiteindelijk ongeschikt maakt.

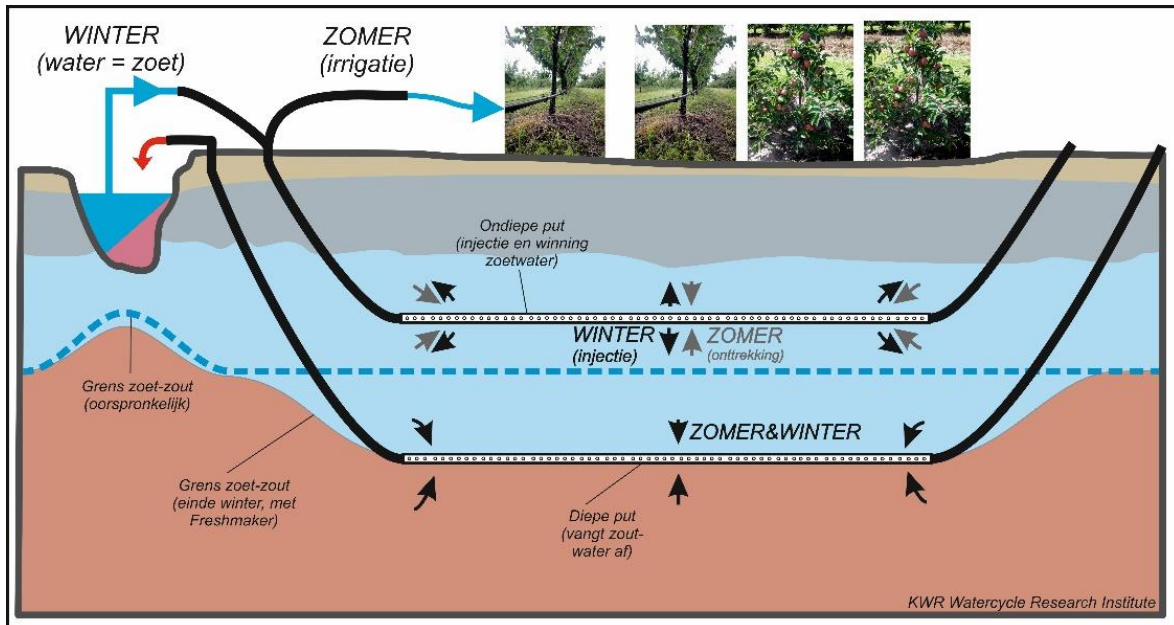
De afname van het terugwinrendement door opdrijving en afdrijving hangt af van de locatie. Belangrijke controlerende parameters zijn de dikte en doorlatendheid ('grofheid') van het pakket, de zoutconcentratie van het oorspronkelijke grondwater, de snelheid van eventuele achtergrondstroming en de afsluiting van het doelpakket door klei-/veenlagen aan boven- en onderzijde.

Daarnaast is ook schaalgrootte van belang: wanneer een groot volume geïnjecteerd wordt en een grote bel wordt gevormd, zal ook het terugwinrendement toenemen. De grootte van de zoetwaterbel is dus limiterend voor het succes in gebieden met brak of zout grondwater. Aan de hand van de minimale schaalgrootte voor succesvolle ondergrondse waterberging is dan ook af te lezen hoe geschikt een bepaalde regio is voor deze techniek. In de Greenport Oostland-Westland, bijvoorbeeld, blijken kleinschalige systemen vooral geschikt in het binnenlandse Oostland, terwijl opschaling vereist is in de kustregio van het Westland (Zuurbier et al., 2013; Van Doorn et al. 2013).

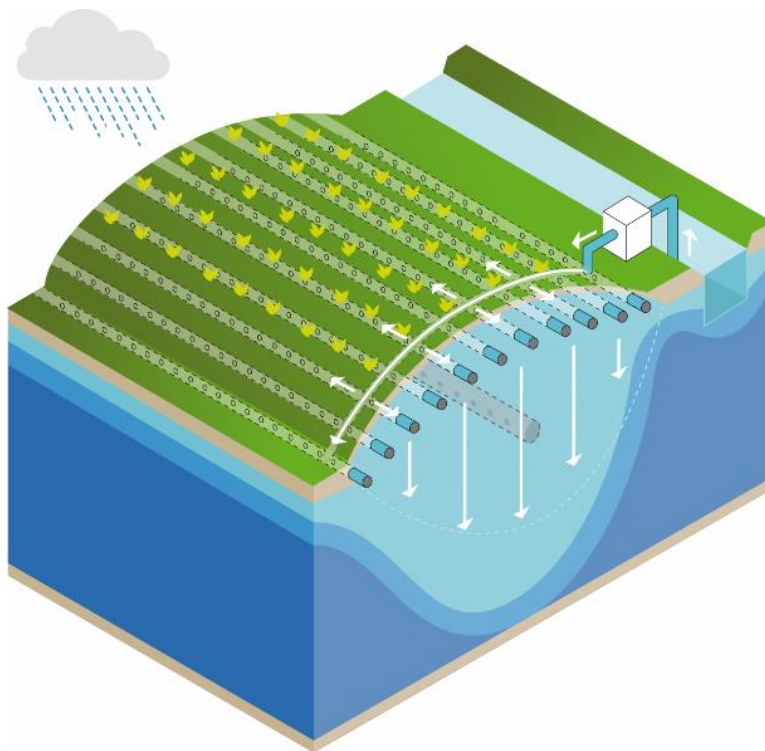
Naast schaalvergroting blijkt uit recent onderzoek dat ook de putconfiguratie het terugwinrendement kan vergroten. Zo blijkt het gebruik van meerdere onvolkomen putten boven elkaar in 1 boorgat voordelig, omdat hiermee het zoete water preferent onderin het pakket ingebracht kan worden, terwijl de terugwinning beperkt kan worden tot de bovenzijde van de aquifer. Het gevolg is dat verzilting van de winputten wordt uitgesteld en het terugwinrendement aanzienlijk wordt verhoogd ([Zuurbier en Stuyfzand, 2012b](#); [Zuurbier et al., 2014](#)).

Verdere optimalisaties zijn denkbaar wanneer ook het opkegelende brakwater wordt onttrokken, zodat dit de winputten niet bereikt (interceptieput of 'zoethouderconcept'). Omdat dit water ongeschikt is voor gebruik, dient dit te worden geloosd (indien mogelijk), ontzilt of elders weer in het grondwater te worden geïnjecteerd (bijvoorbeeld Zuurbier and Stuyfzand (2016); [Van der Valk, 2011](#); [Van Ginkel, 2007](#); [Vink et al., 2010](#)).

Een andere manier is om gebruik te maken van horizontale putten, zoals in Zeeland. Hier komen relatief dunne zoetwaterlenzen voor op (zeer) zout grondwater. Verticale putten zijn in deze situatie gevoelig voor verzilting. In plaats daarvan worden nu horizontale putten en drains ingezet voor infiltratie en onttrekking van zoet en soms ook onderliggend zout grondwater, zoals bij de Freshmaker. Deze technieken zijn ontwikkeld binnen GO-Fresh (www.go-fresh.info).



Figuur 3. Werking van de Freshmaker in Zeeland



Figuur 4. Kreekruuginfiltratiesysteem in Zeeland (Pauw et al., 2015)

6. Governance

In het huidige grondwaterbeheer zijn de Waterschappen bevoegd gezag voor ondergrondse waterberging ten behoeve van beregening, terwijl de Provincies bevoegd gezag zijn voor drinkwatertoepassingen.

Op basis van advies van de Technisch Commissie Bodem ([Technische Commissie Bodem, 2009](#)) en het beleid van de provincie Zuid-Holland en het Hoogheemraadschap van Delfland kan met betrekking tot ondergrondse infiltratie en onttrekking van hemelwater het volgende worden geconcludeerd ([Zuurbier et al., 2012a](#)):

- Het toepassen van ondergrondse infiltratie en onttrekking is onder bepaalde voorwaarden beleidsmatig goed mogelijk. In de praktijk blijkt dit ook het geval daar er in Nederland voor verschillende locaties vergunningen zijn afgegeven (bv. locaties in het glastuinbouwgebied van het Oostland, Agriport A7 etc.);
- Het TCB advies is terughoudend ten aanzien van infiltratie van hemelwater. Belangrijke overweging hierbij is de zorg dat verontreinigingen via het hemelwater in het diepere grondwater terecht kunnen komen. Ook het beleid van het Hoogheemraadschap van Delfland geeft aan dat er geen negatieve effecten mogen optreden. Voor de duurzaamheid van een infiltratiesysteem is het ook belangrijk dat het ingebrachte water zo schoon mogelijk is. Vooral zwevende stof deeltjes, waaraan zich ook het merendeel van de verontreinigingen hecht, dienen voordat injectie plaatsvindt verwijderd te worden. Daarmee voorkomt men ook putverstopping.
- Op basis van de gebiedsgerichte berekeningen, welke uitgevoerd moeten worden bij de vergunningaanvraag, zal duidelijk worden of er negatieve effecten te verwachten zijn op de gebruiksfuncties en/of andere systemen. Hoogheemraadschap Delfland heeft hiertoe een checklist opgesteld. In de praktijk blijkt dat er weinig negatieve effecten optreden bij de al vergunde systemen.

Tot op heden wordt het gebruik van de ondergrond slechts in beperkte mate gestuurd/gereguleerd en concurreert ondergrondse waterberging met andere gebruiksmogelijkheden van aquifers, zoals warmte- koude opslag (WKO) en onttrekkingen en injecties ten behoeve van omgekeerde osmose-installaties. Gezien de voordelen, maar ook specifieke eisen aan de aquifer van ondergrondse

waterberging (welke minder gelden voor de overige toepassingen), is het aan te bevelen geschikte aquifers preferent te gebruiken voor ondergrondse waterberging in gebieden met een grote zoetwatervraag (zoals glastuinbouwgebieden).

Daarnaast dient de kwaliteit van het injectiewater dusdanig te zijn dat duurzaam gebruik van de ondergrond gegarandeerd is. Dit kan worden bereikt door de juiste bereiding van het injectiewater, bijvoorbeeld door scheiding van de verschillende waterstromen in de glastuinbouw (waarbij alleen puur hemelwater overblijft voor injectie) en selectieve inname van zoet oppervlaktewater (buiten groei-/spuitseizoen). Indien nodig kan aanvullende zuivering plaatsvinden. De vraag is echter of de kostprijs is zo'n geval concurrerend blijft ten opzichte van andere manieren van zoetwatervoorziening. Monitoring is noodzakelijk om te kunnen handhaven op de kwaliteit van het injectiewater. Voor het maken van afwegingen omtrent de water kwaliteit is een handreiking opgesteld door STOWA (Zuurbier et al., 2015): <https://www.stowa.nl/publicaties/technisch-juridische-handreiking-risicobeoordeling-ondergrondse-waterberging>

7. Kosten en baten

De kosten van water vanuit ondergrondse waterberging zijn berekend in verschillende studies. Allereerst is gekeken naar de kostprijs per m³ en baten bij opslag van hemelwater in de glastuinbouw (Zuurbier et al., 2012a), in geval van een eenvoudig systeem op geschikte locatie (lage kostprijs, reeds bewezen technieken), en een geclusterd systeem met een geoptimaliseerd putontwerp op een minder geschikte locatie met een lager rendement (hogere kostprijs). Uit deze studie kwam naar voren:

- Kostprijs van ondergronds opgeslagen water komt uit op 0,20 tot 0,70 euro/m³ en is gunstig ten opzichte van drinkwater (~1,20 euro/m³) en water verkregen door lokale ontzilting (omgekeerde osmose, 0,60 tot 1,00 euro/m³);
- Kwaliteit is beter dan drinkwater, oppervlaktewater, bassinwater;
- Er zijn geen kosten voor afvoer van afvalstromen.

Daarnaast zijn de kosten van het toepassen van ondergrondse waterberging in combinatie met brakwaterwinning vergeleken met conventionele brakwaterwinning, zoals dit door tuinbouwbedrijven in het Westland wordt toegepast. Uit dit onderzoek door Zuurbier et al. (2018) blijkt dat de combinatie met ondergrondse waterberging

iets duurder is dan conventionele brakwaterwinning (€ 0.70 versus € 0.64 per m³), maar dat hiermee wel negatieve effecten op het grondwatersysteem kunnen worden tegengegaan. Indien het te infiltreren water verontreinigd is (bijvoorbeeld door zink uit de dakgoten), zal het mogelijk nader gezuiverd moeten worden, hetgeen de kosten per m³ kan verhogen.

De realisatie, bedrijfsvoering en werkelijke kosten van vier recent ontwikkelde, zeer uiteenlopende systemen voor ondergrondse wateropslag in de tuinbouw in gebieden waar zoet oppervlaktewater in droge perioden niet volstaat zijn voor meerdere jaren gemonitord (Zuurbier et al., submitted). Hieruit wordt geconcludeerd dat ondergrondse wateropslag kostentechnisch een interessante methode voor watervoorziening is in vergelijking met opslag bovengronds en alternatieve methoden voor watervoorziening. Bovengrondse opslag valt duurder uit door het forse ruimbetrag en het daardoor ontstaan van productieverlies. Naast geschiktheid van de ondergrond ('terugwinrendement' van opgeslagen water) is ook de verhouding tussen gemiddelde en maximale leveringscapaciteit sterk sturend voor uiteindelijke kostprijs per geleverde m³.

Tabel 1. Relatie tussen kosten OWO (ondergrondse wateropslag), BWO (bovengrondse wateropslag), leidingwater en RO-water (kosten bij zelfde systematiek, uitgaande van brakwater als voeding voor RO (omgekeerde osmose)).

Locatie	Kosten OWO (€/m ³)	Kosten BWO 15 jaar (€/m ³)	Kosten BWO 20 jaar (€/m ³)	Kosten leidingwater	Kosten RO (€/m ³)
Nootdorp	0,58	1,08	1,02	1,00	Niet beschouwd
Westland	0,84	1,63	1,46	0,69	0,96
Dinteloord (bassin in plangebied)	0,51	3,09	2,88	0,43 – 0,90*	Niet toegestaan
Dinteloord (bassin naast plangebied)	0,51	1,26	1,06	0,43 – 0,90*	Niet toegestaan
Ovezande	0,54	1,00	0,78	0,58	Niet mogelijk

*Prijs bij plaatsen tijdelijk opzetstuk op kwadrant van het drinkwaternet, geen vaste aansluiting.

8. Praktijkervaring en lopend onderzoek

In gebieden waarvan bekend is dat de techniek rendoert en het water in de ondergrond dus goed behouden blijft, vindt toepassing al geruime tijd plaats. Voorbeelden van deze gebieden zijn het Oostland (omgeving Bleiswijk, sinds jaren '80), Aalsmeer en de Wieringermeer (sinds ~2007).

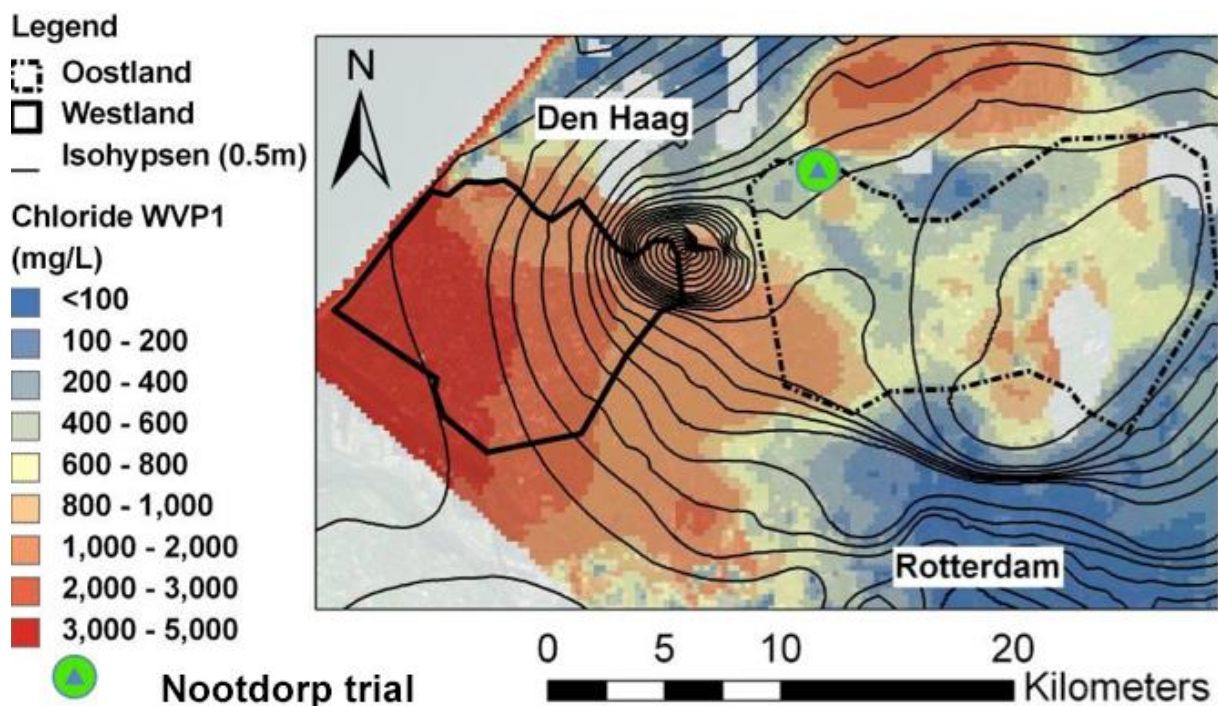
Daarnaast is in gebieden waar ondergrondse waterberging minder potentie heeft (Zeeland, Westland) gekeken naar manieren om het opgeslagen zoete water toch zo goed mogelijk terug te winnen.

Ook is ondergrondse waterberging ingezet voor droogtebestrijding, het voorkomen van wateroverlast en om hergebruik van industrieel restwater mogelijk te maken.

**Optimale ondergrondse waterberging in brak pakket, op kleine schaal:
Veldproef Nootdorp**

In Nootdorp wordt bij een Orchideeënkwekerij (2 hectare, watervraag ~50% v.d. neerslag) onderzocht of zelfvoorzienendheid in zoet gietwater bereikt kan worden door het winterse zoetwateroverschot op te slaan in een brak watervoerend pakket. Terugwinning van het opgeslagen zoete (hemel)water is hier theoretisch beperkt door het spontane opdrijven van de kleine zoetwaterbel in de brakke aquifer (Figuur 2). Een puttensysteem dat in theorie het terugwinrendement van ondergrondse waterberging sterk zou moeten verbeteren wordt hier samen met tuinder en installateur B-E De Lier in de praktijk getest.

Het nieuwe type ondergrondse waterberging is geïnstalleerd in de periode november 2011 tot en met januari 2012. De locatie is gelegen in het noordwesten van de regio Oostland op ca. -4 m-NAP; een gebied met brak en relatief stagnant grondwater in de gekozen aquifer (Figuur 5). De viervoudige put is uitgerust met regelkleppen en

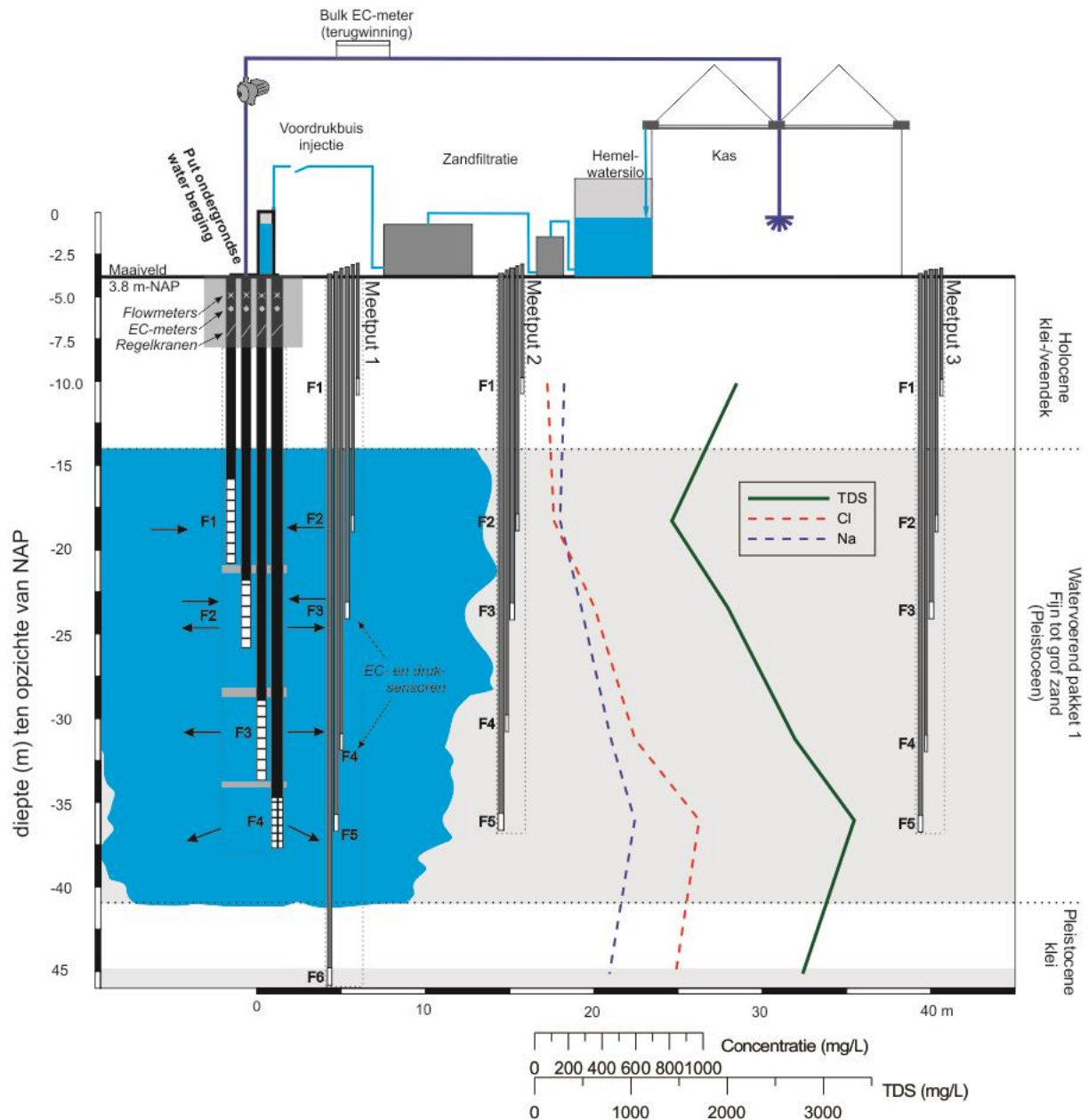


Figuur 5. Locatie van de Nootdorp veldproef. Chlorideconcentraties in doelaquifer zijn gebaseerd op Oude-Essink et al. (2010).

flow- en EC-meters. Daarnaast zijn 3 peilbuisnesten geïnstalleerd om het injectiewater in het pakket te volgen.

ONDERIN INJECTEREN, BOVENIN TERUGWINNEN

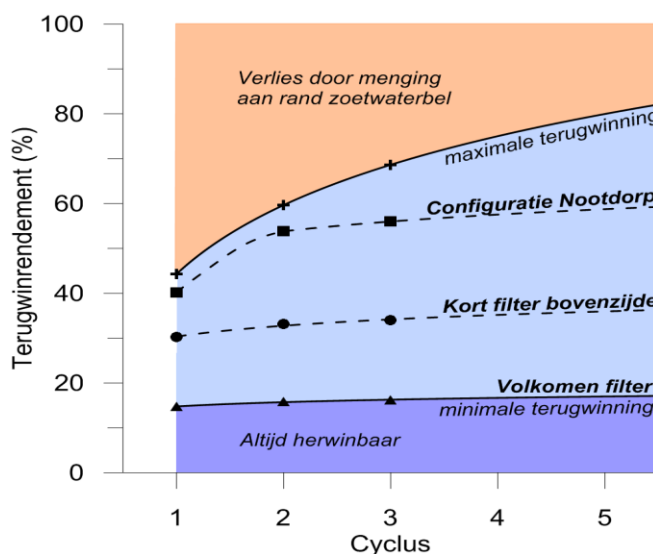
Injectie van zoetwater start automatisch zodra de hemelwatersilo bij neerslag een vooraf gedefinieerd peil overstijgt. Terugwinning start zodra de silo voor watergift ('dagvoorraad') beneden zijn gedefinieerde minimumpeil daalt. De diepte waarop geïnjecteerd en gewonnen wordt is flexibel door de viervoudige put ondergronds en



Figuur 6. Dwarsdoorsnede van de veldproef toont de logistiek van de ondergrondse waterberging en de meetpunten. Tevens is de chemie van het oorspronkelijke grondwater weergegeven. Cl = chloride, TDS = totaal aan opgeloste stoffen.

aansturing bovengronds. Na een eerste injectie- en winfase via alle filters is overgeschakeld op een schema waarbij voornamelijk diep in de aquifer zoetwater wordt ingebracht, terwijl juist bovenin de terugwinning geschiedt. Hiermee wordt getracht het brakwater dat door opdrijving en kwel omhoog beweegt zo ver en zo lang mogelijk van de winputten te houden.

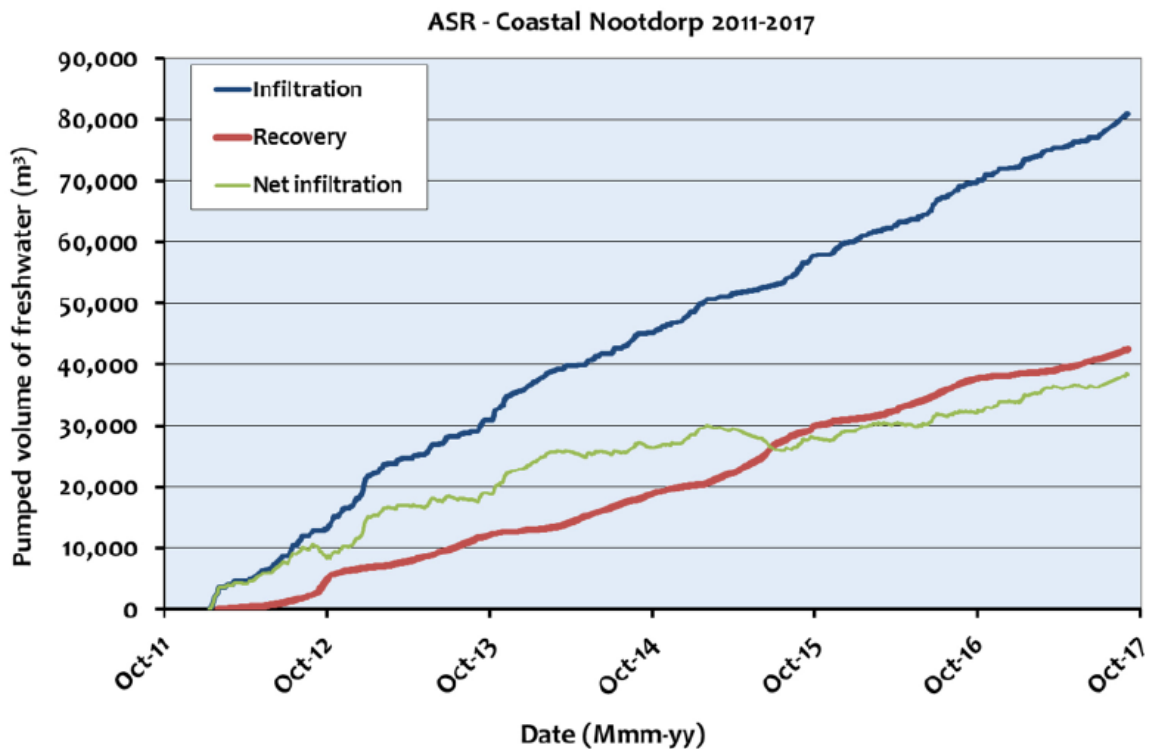
In het eerste jaar heeft dit ertoe geleid dat ruim 40% van het geïnjecteerde water zeer zoet (chloride <18 mg/l) werd teruggewonnen, terwijl dit volgens modellering slechts 15% zou zijn geweest bij gebruik van een conventionele put. In de hierop volgende jaren neemt het rendement toe naar ongeveer 60% (Figuur 7), meer dan voldoende om de tuinder van zoetwater te voorzien. Een hoger rendement is met dit kleinschalige systeem niet te behalen: ongeveer 40% zal structureel aan menging verloren gaan bij het verdringen van het brakke water aan de onderzijde. Als gekozen zou zijn voor een kort enkelvoudig putfilter in de bovenste helft van de aquifer zou het rendement ook verhoogd zijn. Echter, het rendement zou in dat geval blijven steken op ~35% en blijft daarmee fors achter bij de nu gekozen configuratie.



Figuur 7. Het terugwinrendement van de verschillende putconfiguraties zoals gemodelleerd voor de veldproef Nootdorp. Een klein deel (<20%) is eenvoudig terug te winnen. De gekozen configuratie haalt echter ~60% van het geïnjecteerde water terug ([Zuurbier et al., 2014](#)).

Deze veldproef van Kennis voor Klimaat in Nootdorp heeft 2 jaar gelopen. Sindsdien is het systeem in gebruik gebleven voor de gietwatervoorziening van de tuinder. Binnen het project Subsol is van 2015-2017 de bedrijfsvoering langer gemonitord

(Zuurbier et al., 2018). Hieruit bleek dat het systeem altijd aan de vraag van de tuinder kan voldoen. De noodzakelijke terugwinning (voor de watervraag) is 36 tot 38% van het ingebracht water per jaar). Gemiddeld is zo'n 53% van het ingebracht water weer gebruikt.



Figuur 8. Totale volume infiltratiewater en winwater in Nootdorp (2011-2017)

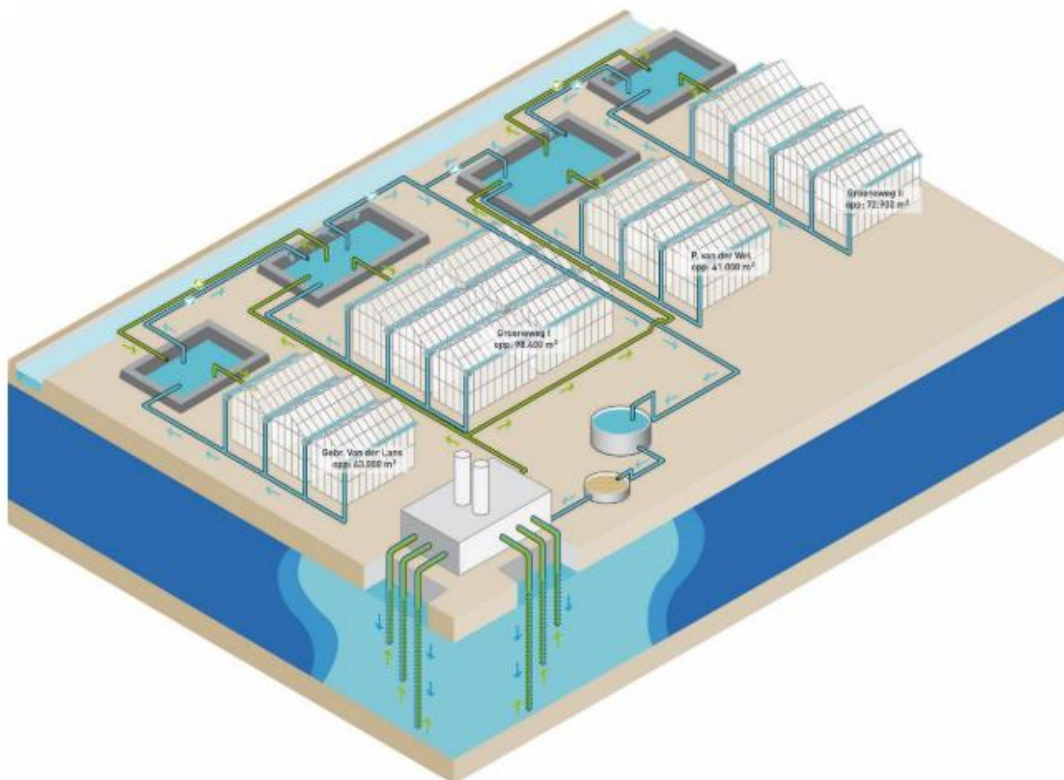
Ondergrondse waterberging in een zout pakket: mitigatie van verzilting in het Westland

In het Westland, waar veel glastuinbouw plaatsvindt, is de vraag naar (zeer zoet) gietwater groot. De brakke ondergrond maakt het echter lastig om ondergronds geborgen regenwateroverschotten goed te benutten door opdrijving en menging met het brakke grondwater. Omdat er bovengronds onvoldoende ruimte is om overtollig regenwater te bergen maar ook omdat de watervraag soms groter is dan het neerslaanbod, maken veel tuinders gebruik van brak grondwater, dat zij ontzilten om er gietwater van te maken. Bij het ontzilten komt naast zoetwater ook een geconcentreerde stroom brakwater (het 'brijn' of concentraat) vrij, die vaak in de diepere ondergrond (die toch al zouter is) wordt geloosd. Deze praktijk leidt vaak tot verzilting op lokale schaal (nog brakker grondwater stroomt richting de onttrekkingsput) maar kan ook de intrusie van zeewater versterken (grootschalige verzilting) (Ros en Zuurbier, 2017).

De veldproef in het Westland was gericht op het optimaal benutten van ondergronds geborgen overtollig neerslagwater met putten met filters op verschillende diepten (Figuur 8), zoals ook het geval was met de veldproef in het Oostland (Nootdorp).

Vergeleken met deze veldproef zijn er echter enkele verschillen van belang:

- Het doelpakket is aanzienlijk zouter (ruim 4.000 i.p.v. maximaal 1.000 mg/l);
- Er worden 4 bedrijven gekoppeld, zodat bijna 30 hectare kasoppervlak benut wordt voor opvang van hemelwater ('opschaling');
- Via 2 boorgaten (met ieder 3 filters) wordt het hemelwater preferent onderin en stroomopwaarts in het pakket geïnjecteerd, terwijl terugwinning voornamelijk bovenin en stroomafwaarts plaatsvindt;
- De diepste filters kunnen na verzilting gebruikt blijven worden voor onttrekking (afvang) van het zoute water onder de bel, om zo verzilting van de winputten te voorkomen ('zoethouderconcept').



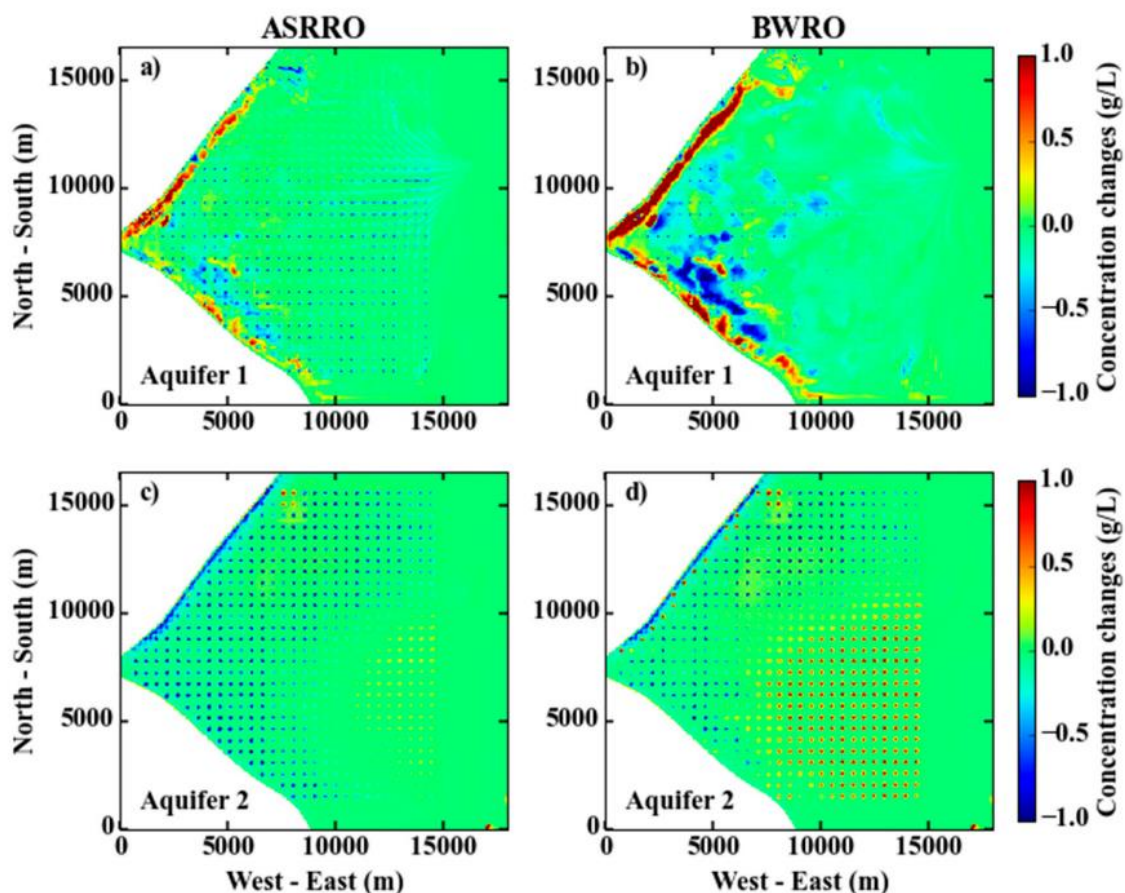
Figuur 9. Opzet van de veldproef Westland met twee putten (elk 3 filters) en mogelijke afvang van dieper zoutwater. Dit zoutwater kan eventueel worden ontzilt om zo meer gietwater te produceren.

Tijdens deze veldproef werd de optimale benutting van het geborgen water belemmerd door een lekkage naar het tweede watervoerende pakket waardoor extra

zout water richting de onttrekkingsputten stroomde. Deze lekkage werd waarschijnlijk veroorzaakt door een oud boorgat voor een WKO-systeem (warmte-koude opslag).

Ondanks deze lekkage hebben de resultaten van deze veldproef laten zien dat met dit concept voldoende gietwater geproduceerd kan worden terwijl de lokale verzilting tegengegaan werd (Zuurbier et al., 2017). Niet alleen werd het water rondom de putten in het eerste watervoerende pakket zoeter, ook werd het concentraat dat in de diepere ondergrond werd geloosd minder zout.

Hoewel het combineren van ondergrondse waterberging met ontzilting (ASRRO) iets duurder is dan conventionele brakwaterwinning (vooral door de hogere investeringskosten), levert de techniek verschillende voordelen op, zoals mitigatie van verzilting en de creatie van ruimte voor waterberging bij piekbuien (Stofberg et al. 2017).



Figuur 10. Verschil in chlorideconcentraties (g/l) wanneer er langdurig (30 jaar) en op grote schaal gebruik zou worden gemaakt van ASSRO (ASR in combinatie met ontzilting, RO) en BWRO (ontzilting van brakwater) in de regio Westland in het eerste watervoerende pakket (a, b) en het tweede watervoerende pakket (c,d) (Ros en Zuurbier, 2017).

In een modelstudie (Ros en Zuurbier, 2017) is onderzocht wat het zou betekenen als waterberging in combinatie met ontzilting langdurig en op grote schaal zou worden toegepast in het Westland (Figuur 10). Hieruit bleek dat deze praktijk verzilting zou kunnen helpen tegengaan, zowel op kleine (lokale verzilting) als grote schaal (indringing van zeewater).

Onderzoek naar toepassing op grote schaal

De studie van Ros en Zuurbier (2017) heeft laten zien dat grootschalige ondergrondse waterberging gunstig kan zijn met betrekking tot verzilting. De tuinbouwbedrijven in het Westland hebben echter verschillende teelten, waardoor een deel van de bedrijven een zeer grote watervraag heeft, en een ander deel een relatief kleine. De eerste groep heeft daarom te weinig regenwater over om de eigen verzilting te mitigeren en de tweede groep heeft geen reden om veel meer regenwater te infiltreren om zelf te gebruiken. Binnen het project [COASTAR](#) (COastal Aquifer Storage And Recovery) is het idee 'Waterbank Westland' verkend (Stofberg en Zuurbier, 2018). Dit concept omvat een systeem waarin brakwaterwinning en ontzilting wordt toegestaan onder voorwaarde dat ter compensatie ook zoetwater wordt geïnfiltrerd (op het eigen bedrijf of door een ander bedrijf in de buurt). Dit zou niet alleen vermindering van de verzilting kunnen opleveren, maar zou ook kunnen bijdragen aan het voorkomen van wateroverlast door piekbuien. Verwacht wordt dat dit concept in de komende jaren verder wordt onderzocht.

Optimale ondergrondse waterberging in een ondiep zout pakket met horizontale putten: De Freshmaker

Dit concept is in de winter van 2012/2013 geïnstalleerd in Ovezande (Zuid-Beveland, Zeeland). Gebruikmakend van twee horizontale putten (aangelegd middels horizontaal gestuurde boringen) wordt beoogd:

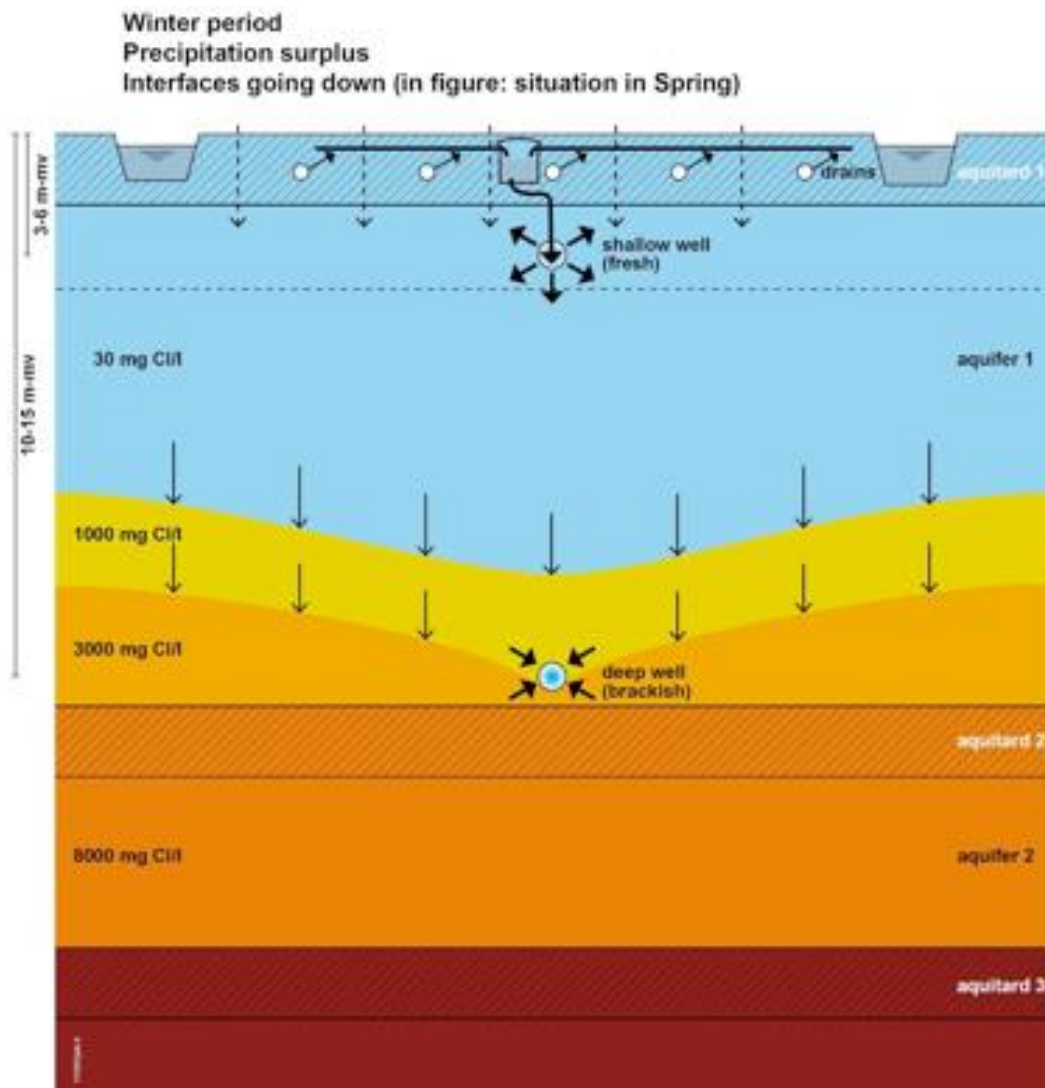
1. Op 7 m-mv zoetwater uit een nabijgelegen zoete watergang na een korte voorzuivering te infiltreren (natte perioden);
2. Zoutwater op ~15 m-mv af te vangen en voor afvoer via oppervlaktewater of injectie in zout grondwaterpakket;
3. Zoetwater terug te winnen voor beregening van een boomgaard (droge perioden).

De natuurlijke zoetwaterlens van zo'n 10 m dikte wordt door de berging over een lengte van ca. 70 m ~5 m dikker. In het voorjaar van 2013 werd voor het eerst zoetwater geïnjecteerd. In de periode tot en met 2017 werd gemiddeld zo'n 5000 m³ zoetwater geborgen en weer gebruikt in de boomgaard (Zuurbier et al. 2018).

Tijdens de veldproef kwamen wel enkele aandachtspunten naar voren:

- Verstopping van de putten door onvoldoende voorbehandeling (nagroei)
- Risico dat het infiltratiewater verontreinigingen bevat (gewasbeschermingsmiddelen), waardoor de infiltratieperiode werd beperkt tot de het late najaar en de winter

Daarnaast bleek dat de Freshmaker geen nadelige invloed had op de lokale hydrologie, en dat er waarschijnlijk sprake was van lichte verzoeting in de omgeving.

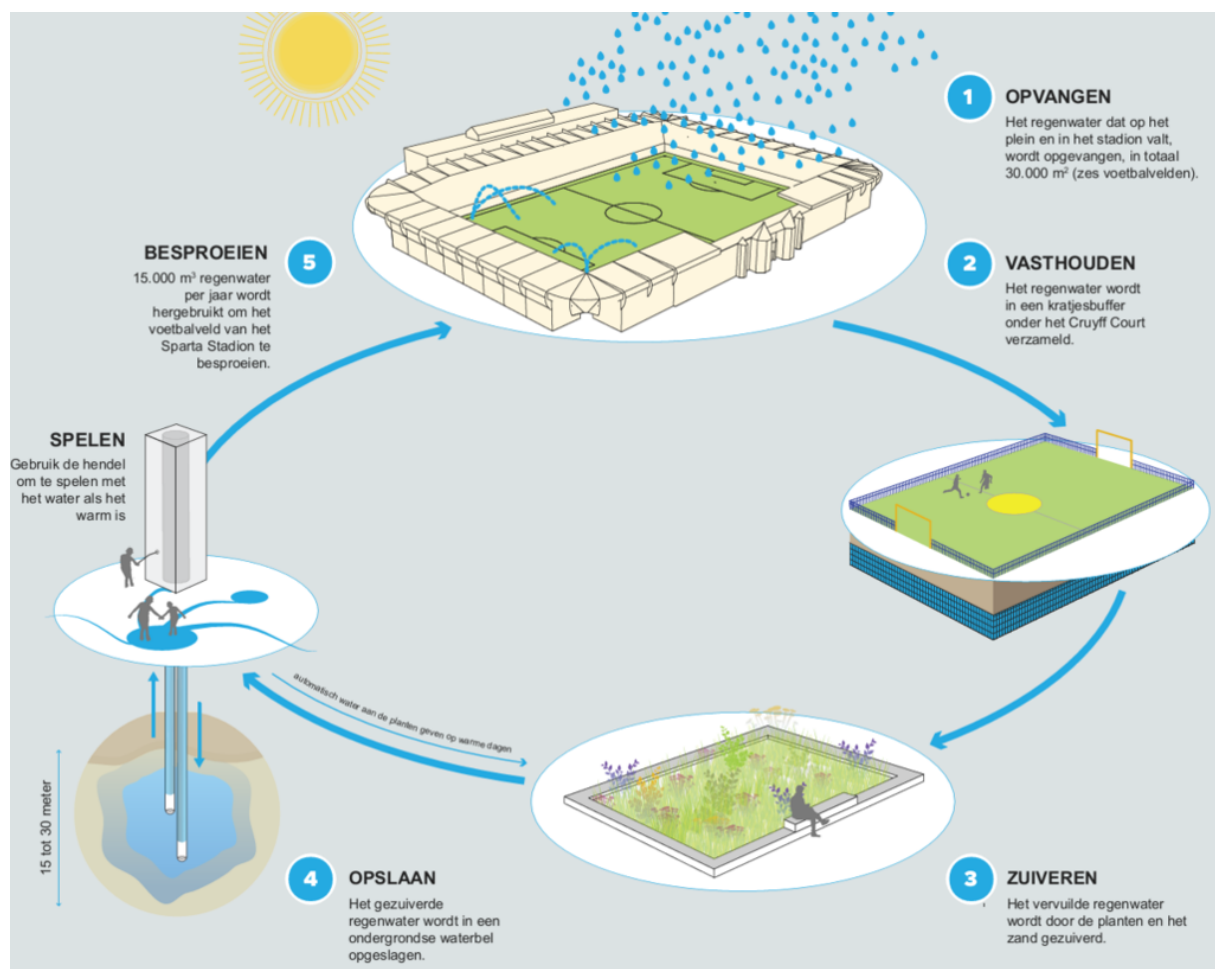


Figuur 11. Werking van de Freshmaker. Zoetwater wordt met een horizontale put ondiep ingebracht, terwijl op grotere diepte zoutwater met een tweede horizontale put wordt onttrokken. Hierdoor wordt de zoetwaterlens vergroot en is zoetwater beschikbaar in de zomer.

Ondergrondse waterberging in stedelijk gebied: Urban Waterbuffer

In gebieden met veel bebouwing kunnen grote buien voor wateroverlast zorgen, omdat het water niet de bodem in kan infiltreren en riolering overbelast kan raken. Naar verwachting zal klimaatverandering ertoe leiden dat dergelijke problemen vaker voorkomen. Daarnaast kunnen langere perioden van droogte ook vaker voorkomen, waardoor het vasthouden van overtollig neerslag gewenst is. In de stad is weinig ruimte om water op te slaan, waardoor de ondergrond een gunstige optie is. Binnen het project [Urban Waterbuffer](#) is ondergrondse waterberging ontwikkeld voor stedelijke gebieden, zoals Rotterdam, Rheden en Den Haag.

Eén van deze voorbeelden is de ondergrondse waterberging nabij het Sparta stadion in Rotterdam, waar regenwater wordt opgevangen, gezuiverd en in de ondergrond (eerste watervoerende pakket, brak) geborgen om te kunnen gebruiken voor de besproeiing van het speelveld (Figuur 12). De zuivering vindt hierbij plaats middels

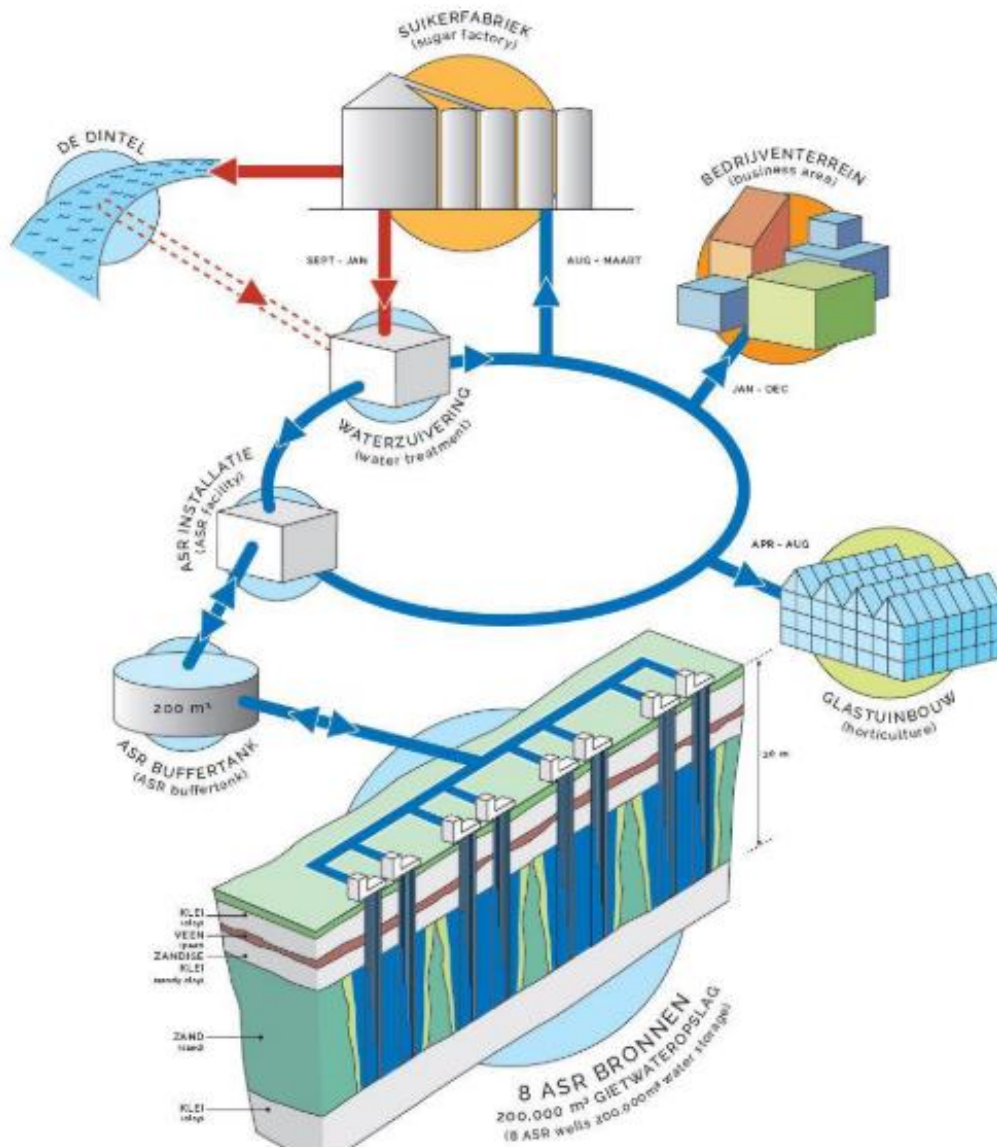


Figuur 12. De Urban Waterbuffer Spangen, nabij het Sparta stadion in Rotterdam (bron: <https://www.urbanwaterbuffer.nl>)

een Blue Bloqs systeem, welke gebaseerd is op het principe van lange zandfiltratie en een helophytenfilter. Het systeem is in 2018 gebouwd en levert sinds de winter van 2019 water aan Sparta. Uit de eerste resultaten lijkt het systeem in staat om het water te voldoende te zuiveren voor infiltratie en veilig hergebruik.

Grootschalige ondergrondse waterberging maakt hergebruik van restwater mogelijk

In Dinteloord wordt sinds 2018 een tuinbouwgebied voorzien van restwater uit de suikerfabriek. Omdat dit restwater in het najaar beschikbaar komt, terwijl de tuinders dit water vooral nodig hebben in de lente en zomer, wordt gebruik gemaakt



Figuur 13. Het systeem van watervoorziening en berging in Dinteloord. Bron: Zuurbier et al., 2018.

van ondergrondse waterberging om deze tijd te overbruggen (Zuurbier et al., 2018). Voorheen werd dit water op de rivier de Dintel geloosd.

Het restwater van de suikerfabriek wordt middels UF en RO gezuiverd, waarna het naar het systeem voor de ondergrondse waterberging wordt geleid (Figuur 13). Een puttenveld met 8 putten met meerdere filters zorgt dat het zoete water in de ondergrond wordt gebracht (60 m³/u) en weer gewonnen kan worden met 200 m³/u bij droogte. Wanneer de tuinbouwbedrijven of andere bedrijven water nodig hebben, wordt dit teruggewonnen en verspreid naar de bedrijven al naar gelang de vraag. In totaal wordt anno 2019 zo'n 200.000 m³/jaar beschikbaar gemaakt. Het doel is om uiteindelijk 300.000 m³/j te kunnen leveren uit de ondergrond. De eisen aan het water zijn hierbij zeer strikt met name op het gebied van natrium (max. 0.1 mmol/l).

Ondergrondse waterberging op de hoge zandgronden: De Stippelberg

Voor het verkennen van de mogelijkheden om ondergrondse waterberging in freatische aquifers te realiseren is in 2012 een pilotstudie voor de Stippelberg gestart. De Stippelberg is een droog en verdroogd bosreservaat in het oosten van de provincie Noord Brabant. Ondergrondse waterberging is kansrijk in dit gebied, omdat (1) agrariërs, terreinbeheerders en de waterbeheerder meerwaarde onttelen aan een verminderde droogtegevoeligheid van het gebied, en (2) de sponswerking van dit verdroogde natuurgebied naar verwachting beter benut kan worden, onder andere vanwege de aanwezigheid van isolerende geologische breuken.

In deze studie wordt de potentie van twee concepten voor het benutten van de sponswerking van natuurgebieden onderzocht. Het eerste concept is het conserveren van het lokale neerslagoverschot door het opstuwen of verontdiepen van regionale drainagemiddelen. Het tweede concept is het aanvoeren en infiltreren van extern water door diepinfiltratie of oppervlakkige infiltratie. Verkennende berekeningen worden uitgevoerd om de effectiviteit van deze maatregelen in te schatten. Tevens gaat in mei 2013 een veldexperiment naar de effectiviteit en effecten van oppervlakkige infiltratie van start. De doelen van dit experiment zijn om (1) de effectiviteit van deze bergingsmaatregel en (2) de effecten op grondwaterstanden en patronen in grondwaterkwaliteit te verifiëren.

9. Kennisleemtes

- Opschaling: wat zijn de te verwachten terugwinrendementen in verschillende regio's?

Hoewel de techniek in steeds meer gebieden wordt ingezet, is alleen in de omgeving Oostland en Aalsmeer de ASR techniek breed bewezen, met circa 100 geïnstalleerde systemen (de eersten dateren van 1983). Studies naar het rendement van deze systemen zijn echter beperkt. Eerste inschattingen van de geschiktheid zijn echter positief (<http://klimaat-effectatlas.wur.nl/fwoo/>). In gebieden waar ASR nog niet in gebruik is maar waar de techniek wordt overwogen om watertekorten te bestrijden, dient vooraf een inschatting te worden gemaakt van de te verwachten terugwinrendementen. Ook de mate waarin kunstmatige infiltratie van oppervlaktewater schade door verdroging op de hoge zandgronden (door beregening en drinkwaterwinning) kan beperken is niet gekwantificeerd.

- Optimalisatie: wat leveren opschaling en verbeterde putconfiguraties op? Binnen Kennis voor Klimaat werd sinds 2011 voor het eerst geprobeerd om theoretische verbeteringen in ASR-systemen in brakke/zoute gebieden verder uit te werken en in de praktijk te brengen. Dit leverde snel inzicht op over de mogelijkheden, maar ook nieuwe inspiratie voor verbeteringen. Duidelijk is ook dat het tijd kost voordat nieuwe concepten in de praktijk (breed) worden toegepast.

- Geochemische reacties en ontwikkeling waterkwaliteit

Bekend is dat er waterkwaliteitsveranderingen plaatsvinden tijdens verblijf in de ondergrond. Dit heeft wereldwijd in sommige gevallen ertoe geleid dat het water ongeschikt werd voor drinkwater. Met name metalen en sporenelementen zoals arseen kunnen mobiliseren vanuit het sediment.

- Wetgeving

De werking en impact van ASR systemen zijn niet goed bekend bij de waterbeheerder (doorgaans de Waterschappen). Ook sluit de regelgeving vaak niet goed aan bij het kleinschalige karakter van de systemen. Hierdoor kan het zijn dat er strenge monitoringseisen worden opgelegd (die bijvoorbeeld opgesteld zijn voor grootschalige infiltratie in drinkwatergebieden), waardoor het opslagsysteem economisch onrendabel wordt. Passende regelgeving die de risico's op grootschalige grondwaterverontreiniging ondervangt, maar ook economisch rendabele

bedrijfsvoering mogelijk maakt is daarom gewenst. De STOWA Handreiking (2015.035) geeft hiertoe de eerste aanzet.

10. Bronnen & links

- Antoniou, E.A., van Breukelen, B.M., Putters, B. and Stuyfzand, P.J., 2012. [Hydrogeochemical patterns, processes and mass transfers during aquifer storage and recovery \(ASR\) in an anoxic sandy aquifer](#). Applied Geochemistry, 27(12): 2435-2452.
- Antoniou, E.A., Hartog, N., van Breukelen, B.M. and Stuyfzand, P.J., 2014. [Aquifer pre-oxidation using permanganate to mitigate water quality deterioration during aquifer storage and recovery](#). Applied Geochemistry, 50: 25-36
- Oude Essink, G.H.P., van Baaren, E.S. and de Louw, P.G.B., 2010. [Effects of climate change on coastal groundwater systems: A modeling study in the Netherlands](#). Water Resources Research, 46: W00F04.
- Pyne, R.D.G., 2005. [Aquifer Storage Recovery - A guide to Groundwater Recharge Through Wells](#). ASR Systems LLC, Gainesville, Florida, USA, 608 pp.
- Ros, S.E.M., Zuurbier, K.G., 2017. The impact of integrated aquifer storage and recovery and brackish water reverse osmosis (ASRRO) on a coastal groundwater system. Water (Switzerland), 9(4): art. no. 273. DOI:10.3390/w9040273
- Stofberg, S.F., Paalman, M., Zuurbier, K., 2017. Evaluation of the improvement of Ecosystem Services as a result of ASR/RO application, KWR Watercycle Research Institute. <https://dessin-project.eu/?wpdmpro=d33-2-evaluation-of-the-improvement-of-ecosystem-services-as-a-result-of-asrro-application>
- Stofberg, S.F., Zuurbier, K.G., 2018. COASTAR T2: Waterbank Westland. KWR 2018.002, KWR, Nieuwegein. <https://www.coastar.nl/wp-content/uploads/COASTAR.-Verkenning-Waterbank-Westland-definitief.pdf>
- Stuyfzand, P.J., 2005. [The Dutch Experience with MARS](#). 306315 300, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
- Technische Commissie Bodem, 2009. [Diepinfiltratie van afvloeiend hemelwater](#). TCB A047(2009).
- Van der Valk, M., 2011. [A fresh-keeper for Noard Burgum](#), TU Delft, Delft.

- Van Doorn, A., Zuurbier, K.G., Paalman, M.A.A., 2013. [Potentie van ondergrondse waterberging voor \(glas\)tuinbouw in Zuid-Holland](#), KWR, Nieuwegein.
- Van Ginkel, M., 2007. [Feasibility study for fresh water storage in saline aquifers by means of the Fresh Storage Saline Extraction well, with a focus on the Red Sea coast](#), Egypt, Delft University of Technology, Delft, 82 pp.
- Vink, K., Rambags, F. and Gorski, N., 2010. [Freshmaker: Technologie voor een duurzame zoetwatervoorziening](#), KWR.
- Zuid-Holland, P., 2009. [Provinciale waterplannen 2010-2015](#), Provincie Zuid-Holland.
- Zuurbier, K.G., Bakker, M., Zaadnoordijk, W.J. and Stuyfzand, P.J., 2013. [Identification of potential sites for small-scale aquifer storage and recovery \(ASR\) in coastal areas using ASR performance estimation tools](#). Hydrogeology Journal, 21 (6), pp. 1373 - 1383.
- Zuurbier, K., Van Dooren, T., Ros, S., 2018. D2.6 – Guide on using ASR-Coastal with treated wastewater for irrigation, <http://www.subsol.org/uploads/deliverables/D2.6 - Guide on using ASR-Coastal with treated wastewater for irrigation.pdf>
- Zuurbier, K., Van Dooren, T., Ros, S., 2018b. Guide on using ASR - Coastal with treated wastewater for irrigation, KWR, Nieuwegein. http://www.subsol.org/uploads/deliverables/D2.6_revised_.pdf
- Zuurbier, K., Van Dooren, T., Ros, S., 2018. Improved Freshmaker Reference site (TRL8). [http://api.kwrwater.nl/uploads/2018/09/SubSol-Improved-Freshmaker-Reference-site.-Improved-Freshmaker-reference-site-in-Ovezande-the-Netherlands-\(TRL8\)-Zuurbier-van-Dooren-Ros-D1.4-\(2018\).pdf](http://api.kwrwater.nl/uploads/2018/09/SubSol-Improved-Freshmaker-Reference-site.-Improved-Freshmaker-reference-site-in-Ovezande-the-Netherlands-(TRL8)-Zuurbier-van-Dooren-Ros-D1.4-(2018).pdf)
- Zuurbier, K., Kooiman, J.W., Groen, M., Maas, B., Stuyfzand, P., 2014. Enabling successful aquifer storage and recovery of freshwater using horizontal directional drilled wells in coastal aquifers. Journal of Hydrologic Engineering, 20(3). [https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000990](https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000990)
- Zuurbier, K.G., Paalman, M. and Stuyfzand, P.J., 2011. [Making innovative water technologies feasible in practice: use of Aquifer Storage and Recovery \(ASR\) in irrigation water supply and water reuse](#), International Water Week 2011, Amsterdam.

- Zuurbier, K.G., Paalman, M. and Zwinkels, E., 2012a. [Haalbaarheid Ondergrondse Waterberging Glastuinbouw Westland](#). KWR 2012.003, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
- Zuurbier, K., Raat, K., 2018. Ondergrondse opslag vindt steeds meer toepassingen in Nederlandse waterbeheer. H2O, (6/7). [http://api.kwrwater.nl/uploads/2019/02/Zuurbier-Raat-Ondergrondse-opslag-vindt-steeds-meer-toepassingen-in-Nederlandse-waterbeheer-H2O-51\(2018\)6-7-p.34-37.pdf](http://api.kwrwater.nl/uploads/2019/02/Zuurbier-Raat-Ondergrondse-opslag-vindt-steeds-meer-toepassingen-in-Nederlandse-waterbeheer-H2O-51(2018)6-7-p.34-37.pdf)
- Zuurbier, K.G., Raat, K.J., Oude Essink, G.H.P., Van Baaren, E.S., Boonekamp, T., 2018b. COASTAR. Management samenvatting COASTAR regio Den Haag – Westland – Rotterdam. AW 2018.001, Allied Waters, Nieuwegein. <https://www.coastar.nl/wp-content/uploads/COASTAR.-Management-samenvatting-definitief.pdf>
- Zuurbier, K., Ros, S., Paalman, M., 2017. Valorisation and demonstration of an ASRRO application in a field application, KWR Watercycle Research Institute. <https://dessin-project.eu/?wpdmpro=d33-1-valorisation-and-demonstration-of-an-asrro-application-in-a-field-application>
- Zuurbier, K.G. and Stuyfzand, P.J., 2012b. [Optimizing small- to medium-scale aquifer storage and recovery in coastal aquifers for irrigation water supply](#), Saltwater Intrusion Meeting (SWIM) 22, Armacao dos Buzios, Brazil, pp. 144-146.
- Zuurbier, K.G., Stuyfzand, P.J., 2017. Consequences and mitigation of saltwater intrusion induced by short-circuiting during aquifer storage and recovery in a coastal subsurface. Hydrology and Earth System Sciences, 21(2): 1173. <https://www.hydrol-earth-syst-sci.net/21/1173/2017/hess-21-1173-2017.pdf>
- Zuurbier, K.G., Zaadnoordijk, W.J. and Stuyfzand, P.J., 2014. How multiple partially penetrating wells improve the freshwater recovery of coastal ASR systems: a field and modeling study. Journal of Hydrology 508, pp. 430 - 441.
- Pauw, P., van Baaren, E., Visser, M., de Louw, P.B., Essink, G.P.O., 2015. Increasing a freshwater lens below a creek ridge using a controlled artificial recharge and drainage system: a case study in the Netherlands. Hydrogeology Journal: 1-16.
- Zuurbier, K. et al., 2015. Technische handreiking risicobeoordeling ondergrondse waterberging. 2015 35, STOWA.

- Zuurbier, K.G., Stuyfzand, P.J., 2016. Consequences and mitigation of saltwater intrusion induced by short-circuiting during aquifer storage and recovery (ASR) in a coastal subsurface (Open Access). Hydrology and Earth System Sciences.
- Zuurbier, K.G., Ter Mors, G., Van Beijnen, F., submitted. Ondergrondse wateropslag in aquifers via ASR en Freshmaker als bron voor irrigatie: kostentechnisch interessant? Vakblad H2O.
- Zuurbier, K.G., van Dooren, T.C.G.W., Ros, S.E.M., Stuyfzand, J.P.Q.a., 2018. Improved ASR-Coastal Reference sites (TRL8). D1.6, SubSol (European Union).

Websites

- www.kwrwater.nl/zoetinzout
- www.kennisvoorklimaat.nl
- <http://knowledgeforclimate.climateresearchnetherlands.nl/climateprooffreshwater>
- www.go-fresh.info
- www.urbanwaterbuffer.nl
- www.subsol.org
- Subsol Knowledge Base: <http://subsol-data.euprojects.net/>

Deze Deltafact is opgesteld door KWR Watercycle Research Institute, maart 2013 en gewijzigd in januari 2016. De Deltafact is opnieuw herzien in februari 2019.

Auteurs

- Koen Zuurbier
- Marcel Paalman
- Arnout van Loon
- Pieter Stuyfzand
- Sija Stofberg

11. Ervaringen

- Ondergrondse waterberging kan een oplossing bieden voor allerlei situaties waarin overschotten en tekorten van water optreden, zoals overschotten van neerslag of restwater en tekorten aan gietwater. De techniek is inmiddels toegepast in omgevingen met tuinbouw, industrie en in de stad.

- Goede ervaringen in glastuinbouwregio's Oostland en Aalsmeer (relatief zoet), waar sinds 1983 al circa 100 systemen zijn gerealiseerd. Recent ook in de gebieden Wieringermeer, Westland, West-Brabant. De techniek past daarbij goed in de bedrijfsvoering;
- Minder goede rendementen worden voorspeld en op kleine schaal ervaren in zoutere gebieden, maar kunnen mogelijk voor een groot deel worden tegengegaan door opschaling en verbeterde putconfiguraties;
- Hoewel directe terugwinning in brakkere gebieden vaak niet of beperkt mogelijk is, biedt ondergrondse waterberging wel mogelijkheden om verzilting tegen te gaan.
- Kwaliteitsverandering door reactiviteit van de ondergrond kunnen het water ongeschikt maken voor drinkwater. Zie bijvoorbeeld de proef ASR Herten (drinkwaterbedrijf WML): water door mobilisatie metalen niet geschikt als drinkwater ([Antoniou et al., 2012](#)). [Antoniou \(2014\)](#) heeft een methode ontwikkeld en succesvol getest om deze mobilisatie tegen te gaan;
- Met name bij gebruik van water rijk aan nutriënten, is verstopping van de infiltratiesystemen een risico. Een relatief uitgebreide zuivering is in dat geval vereist om te voorkomen dat door biologische groei het infiltratiesysteem niet meer werkt.

12. Disclaimer

De in deze publicatie gepresenteerde kennis en informatie zijn gebaseerd op de meest recente inzichten in het vakgebied. Desalniettemin moeten bij toepassing ervan de resultaten te allen tijde kritisch worden beschouwd. De auteurs, STOWA en de evt. opdrachtgever van dit factsheet kunnen niet aansprakelijk worden gesteld voor eventuele schade die ontstaat door toepassing van het gedachtegoed uit deze publicatie.