



Experiment / pilot / Implementatie / in gebruik

## > Brakke kwel

IDEE/VERKENNING



PROOF OF CONCEPT



EXPERIMENT/PILOT



IMPLEMENTATIE/IN GEBRUIK

### INHOUD

#### [INLEIDING](#)

#### [GERELATEERDE ONDERWERPEN EN DELTAFACTS](#)

#### [STRATEGIE \(1 VASTHOUDEN, 2 BERGEN, 3 AANVOEREN\)](#)

#### [TECHNISCHE KENMERKEN](#)

#### [DEFINITIES VAN ZOET-BRAK-ZOUT](#)

#### [GRONDWATER](#)

#### [MAATREGELEN](#)

#### [GOVERNANCE](#)

#### [KOSTEN EN BATEN](#)

#### [PRAKTIJKERVARING EN LOPEND ONDERZOEK](#)

#### [KENNISLEEMTES](#)

#### [LITERATUUR/ LINKS](#)

#### [ERVARINGEN](#)

#### [DISCLAIMER](#)

### INLEIDING

Het grondwater in het laaggelegen Nederlandse kustgebied is op vele plaatsen brak tot zout. Om dat te verklaren moeten we de laatste duizenden jaren in ogenschouw nemen. Tot een paar duizend jaar geleden stroomde zoet regenwater vanuit het hooggelegen land richting de zee, die destijds flink lager stond dan nu. Gaandeweg steeg het zeeniveau en daalde het land door oxidatie van veen, inklinking van klei en abrupte maaiveldsverlagingen (de door mensen in korte tijd gecreëerde polders en droogmakerijen). De kaarten die zijn opgenomen in de schematische weergave (Fig.1) laten zien hoe paleohydrogeografische processen de laatste 7500 jaar hebben plaatsgevonden en grote gevolgen heeft gehad voor de verdeling van zoet en zout grondwater. Zo zijn er tijden geweest dat de zee tijdens regressies ver weg stond, en zich grote zoetwatervoorraden in de ondergrond konden ontwikkelen. Tijdens de Holocene transgressies zijn grote delen van Zeeland, Holland, Flevoland en Friesland overstroomd door het zoute water uit de Noordzee zodat zout water de overwegend zoete watervoerende pakketten kon indringen. Omdat het zoute grondwater zwaarder is dan zoet grondwater, kon het zout geïnfiltrerd water snel in de diepe ondergrond binnendringen en het zoete grondwater verdringen. Door menging (hydrodynamische dispersie), wisselende grondwaterstromingspatronen en meerdere regressies en transgressies van de zee met verschillende concentraties infiltratie water is de overgang tussen zoet en zout lang niet overal scherp. Daarbij heeft de heterogeniteit van de ondergrond (zandpakketten afgewisseld door klei en lemlagen) tot extra menging gezorgd (Kooi en Groen 2001; Kooi e.a., 2000). Door al deze processen zijn in de ondergrond zones met brak grondwater ontstaan, terwijl een stukje verderop het grondwater weer zoet is. Sinds de aanleg van polders en diepe droogmakerijen stroomt als gevolg van de gecreëerde lage polderpeilen het brakke tot zoute grondwater richting het oppervlak, richting de sloten. Al deze processen zijn mooi geïllustreerd in Delsman et al. 2014 (zie in het bijzonder de [numerieke animatie](#)).

Het stromen van zout grondwater vanuit het eerst watervoerende pakket naar het oppervlak wordt zoute kwel genoemd. Er worden drie verschillende typen kwel onderscheiden die verschillen in flux en zoutgehalte (zie Fig. 2) : 1. diffuse kwel van zout grondwater door de slechtdoorlatende deklaag; 2. preferente zoute kwel door zandbanen in de deklaag (oude stroomgeulen) en 3. zoute wellen, waarbij zout grondwater geconcentreerd en met grote snelheid (klein oppervlak, preferente grondwaterstroming) uittreedt (in waterlopen of op het land) ([De Louw et al., 2010](#)). Door dit geconcentreerd met hoge snelheid afvoeren van grondwater trekken de wellen van diep en daardoor zout grondwater aan. Daarom zijn de meeste wellen veel zouter dan de diffuse vormen van kwel. In vele diepe droogmakerijen wordt de verzilting van het oppervlaktewater systeem daardoor ook grotendeels bepaald door deze zoute wellen ([De Louw, 2013](#)). Als de

**aanvoer van regenwater of zoet oppervlaktewater gering is, leidt zoute kwel tot verzilting van het oppervlaktewater, het ondiepe grondwater en soms zelfs de wortelzone. In al deze gevallen spreken we over interne verzilting (Alterra, 2008 factsheet).**

Opgemerkt moet worden dat er in Nederland naast verzilting, ook verzoeting van het water systeem optreedt en lokale opkegeling van zout grondwater door grondwateronttrekkingen: verzoeting en opkegeling is echter niet de focus van deze Deltafact en wordt niet verder behandeld. Het doel van deze Deltafact is onder andere de verschillende aspecten van en maatregelen tegen zoute kwel te behandelen.

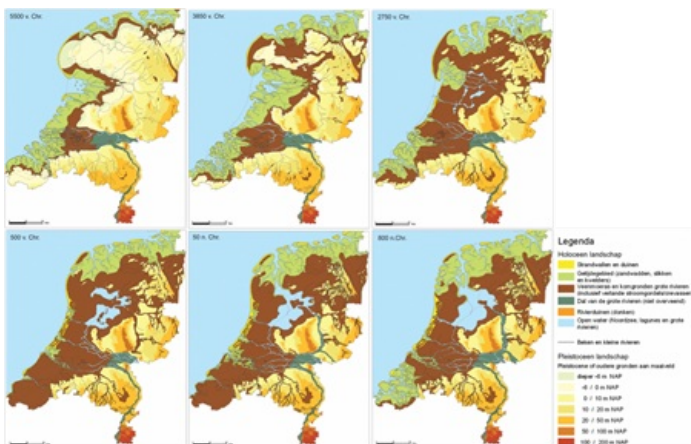


Fig. 1 Reconstructies van het Nederlandse landschap vanaf de laatste ijstijd tot nu (Vos e.a., 2011).

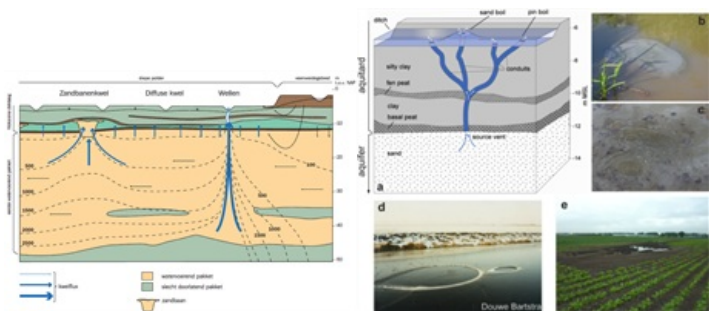


Fig. 2 Drie verschillende typen zoute kwel die verschillen in flux en zoutgehalte, schematische voorstelling van een wel in de deklaag en enkele foto's van wellen; (b) zandwel, (c) methaangas dat via wellen ontsnapt, (d) wellen en ijs, (e) een wel op het land (De Louw, 2013).

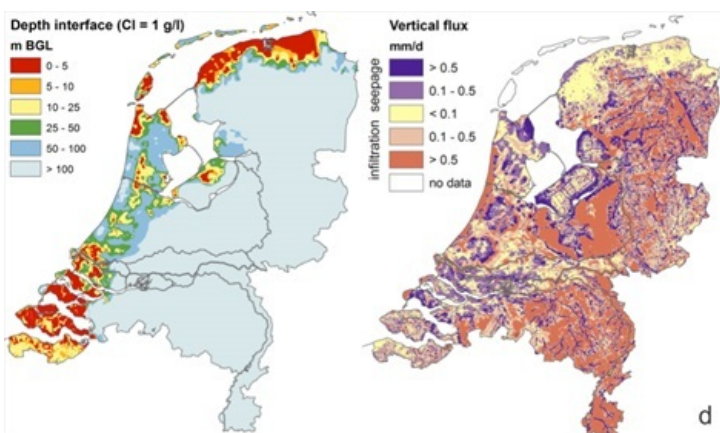


Fig. 3. De diepte van het brak-zout grensvlak, CI-concentratie = 1000 mg/l. (links) en de kwel (blauw) en infiltratieflux (rood) (rechts, modelresultaat NHI 3.0 (De Lange e.a., 2014)).

## GERELATEERDE ONDERWERPEN EN DELTAFACTS

Trefwoorden: grondwater, zoute kwel, zout-zoet, verzilting, Nationaal Hydrologisch Instrumentarium, zoetwatervoorziening, wellen

Deltafacts: [Regenwaterlenzen](#), [Zouttolerante teelten](#), [Peilgestuurde drainage](#)

## STRATEGIE (1 VASTHOUDEN, 2 BERGEN, 3 AANVOEREN)

De sectoren landbouw en natuur zijn gebaat bij de beschikbaarheid van zoet tot licht brak water. Zoute kwel leidt tot verzilting van het oppervlaktewater, ondiep grondwater en in sommige gevallen het bodemwater in de wortelzone en beperkt daardoor de beschikbaarheid van zoet water. In gebieden die kampen met zoute kwel, kan het oppervlaktewater te zout worden voor beregening waardoor gewassen droogteschade kunnen oplopen of kan het zoutgehalte in de wortelzone te hoog worden zodat de groei van gewassen wordt belemmerd en schade optreedt voor de gewassen en/of de natuurlijke vegetatie.

De maatregelen om de negatieve gevolgen van zoute kwel tegen te gaan sluiten aan bij de strategieën vasthouden en bergen:

- Vasthouden van zoet (regen)water tijdens water overschotten (in winter en tijdens zware regenbuien), o.a. met slimme drainage (peilgestuurde drainage);
- Actief bergen van zoet water ondergronds tijdens water overschotten, en het opgeslagen zoete grondwater gebruiken in droge tijden. Enkele proeven in de Zuidwestelijke Delta laten zien dat ondergrondse opslag van zoet water kan leiden tot grotere zoete grondwatervoorraden, waaruit op termijn grondwater kan worden onttrokken voor beregening tijdens droge tijden; zie o.a. [GO-FRESH](#);
- Operationeel zoutwaterbeheer. Tijdelijk afdammen van peilvakken met veel zoute kwel in droge perioden waardoor de rest van de polder zoet wordt gehouden. Het tijdelijk geborgen zout wordt tijdens regenbuien afgevoerd wanneer het sterk verdund wordt.

Over de positie van weerstand bieden en meebewegen zijn ideeën naar voren gekomen, zie bijv. de Metastudie Vraag en Aanbod van zoetwater in de Zuidwestelijke Delta. Voor een aantal deelgebieden is in deze studie de klimaatbestendigheid van het huidige landgebruik en wateraanbod geëvalueerd aan de hand van de bovengrens van de verwachte klimaatverandering. Vervolgens zijn de opties voor lange termijn beleidsstrategieën verkend:

1. weerstand blijven bieden tegen verzilting door systeemaanpassing
2. meebewegen met verzilting en ontkoppelen van landbouwwatergebruik en
3. hybride oplossingen.

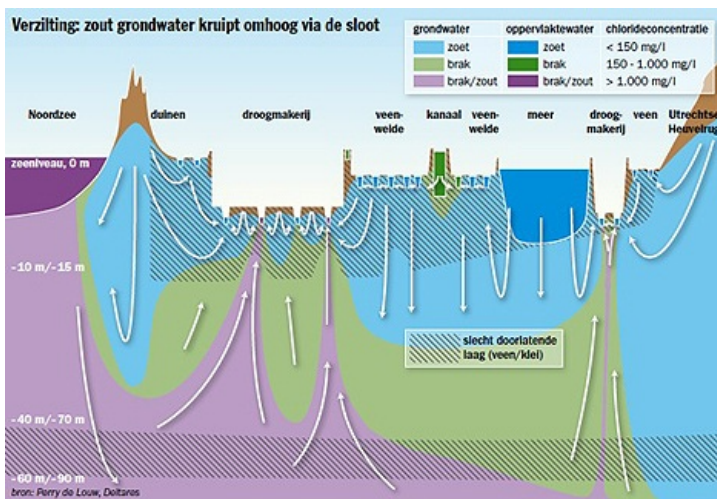


Fig. 4. Vereenvoudigd van regionaal west-oost profiel met grondwaterstromingspatronen en zoutgehalten van grondwater, ter hoogte van de Haarlemmermeerpolder. Verziltig van het grondwatersysteem vindt op regionale schaal plaats omdat het gemiddeld polderpeil enkele meters lager ligt dan het gemiddeld zeeniveau. In de droogmakerij vindt opkegeling van zout grondwater plaats door de wellen die in de polder aanwezig zijn. De zoute wellen zijn hier dominant in de verziltig van het oppervlaktewater.

## TECHNISCHE KENMERKEN

De kwelflux door de deklaag kan berekend worden aan de hand van de volgende formule (Wet van Darcy):

$$q_z = \Delta\phi / c$$

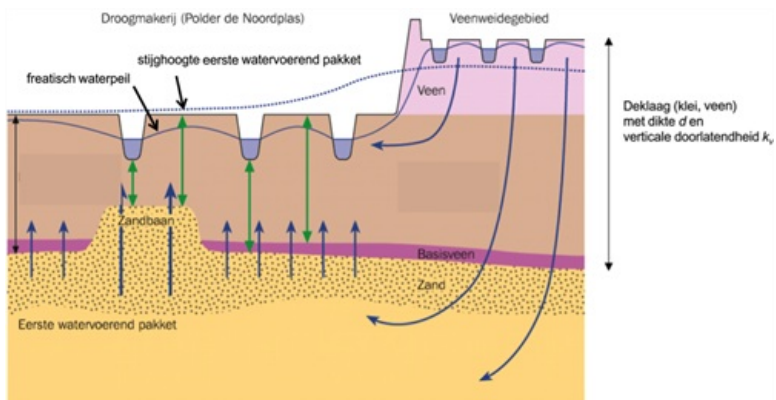
waarbij

$q_z$  = de verticale grondwaterflux door de deklaag = kwel [m/dag],

$\Delta\phi$  = stijghoogteverschil tussen stijghoogte in watervoerend pakket en freatisch waterpeil (bijv. polderpeil of grondwaterstand) [m],

$c$  = hydraulische weerstand van de deklaag [d].

De hydraulische weerstand is als volgt bepaald:  $c = d/k_v$ , waarbij  $d$  de dikte is van de slechtdoorlatende deklaag [m] en  $k_v$  de doorlatendheid is in verticale richting [m/d].



De bepalende factoren per locatie zijn:

1. stijghoogte in watervoerend pakket
2. polderpeil en grondwaterstand
3. hydraulische weerstand slechtdoorlatende laag (dikte en verticale doorlatendheid)

De traditionele manier om zoutvrachten te berekenen is de kwelflux te vermenigvuldigen met de chloride concentratie onderkant deklaag. Echter, recent onderzoek ([De Louw, 2013](#)) heeft uitgewezen dat wellen dominant zijn in de zoutvrachten naar veel diepe polders en dat met deze manier van berekenen de zoutvracht wordt onderschat. In de nieuwe versie van het Nederlands Hydrologisch Instrumentarium zijn de wellen dan ook expliciet in de berekening meegenomen. De traditionele manier van zoutvracht-berekeningen geldt overigens wel voor (ondiepe polders) met nauwelijks wellen zoals de Zuidwestelijke delta en het Noordelijk kustgebied.

## DEFINITIES VAN ZOET-BRAK-ZOUT GRONDWATER

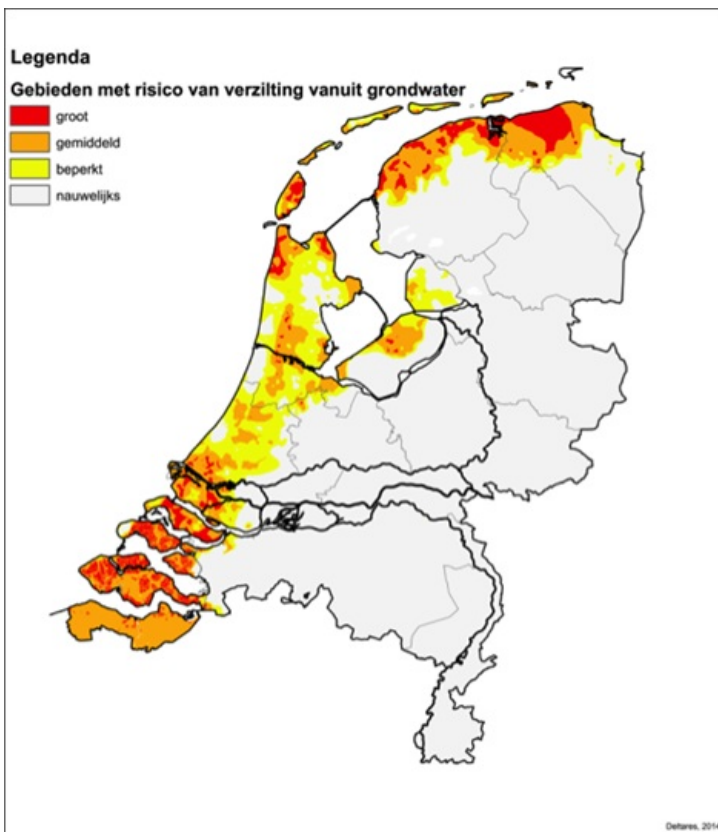
Er zijn verschillende klasse indelingen van zoet, brak en zout grondwater in omloop, afhankelijk van o.a. het gebruiksdoel. Zo heeft de term zoet grondwater voor een bloembollenkweker een andere betekenis dan voor een agrariër die suikerbieten verbouwt. Gangbaar in Nederland voor de drinkwatervoorziening is de klasse indeling van Stuyfzand (1993) en is in West-Nederland de indeling gebaseerd op schadegevoeligheid van gewassen (200, 600 en (200, 600 en 1000  $\text{Cl}^-$  mg/l) en is het waterbeheer hierop afgestemd (Cultuurtechnisch Vademecum). In de Zeeuwse Delta, waar van nature het grondwater zout is, komen nauwelijks chloride concentraties lager dan 150  $\text{mg Cl}^-/\text{l}$  voor. In Zeeland is tevens de term landbouwkundig zoet geïntroduceerd, zijnde 1000  $\text{mg Cl}^-/\text{l}$  als de grens tussen zoet en brak grondwater. Deze grens wordt overigens ook in het buitenland veel gebruikt. In Tabel 1 worden deze definities voor zoet, brak en zout grondwater weergegeven.

Klasse	Chloride concentratie ( $\text{mg Cl}^-/\text{l}$ )
Zoet	< 1000
Brak	1000 - 3000
Zout	> 3000

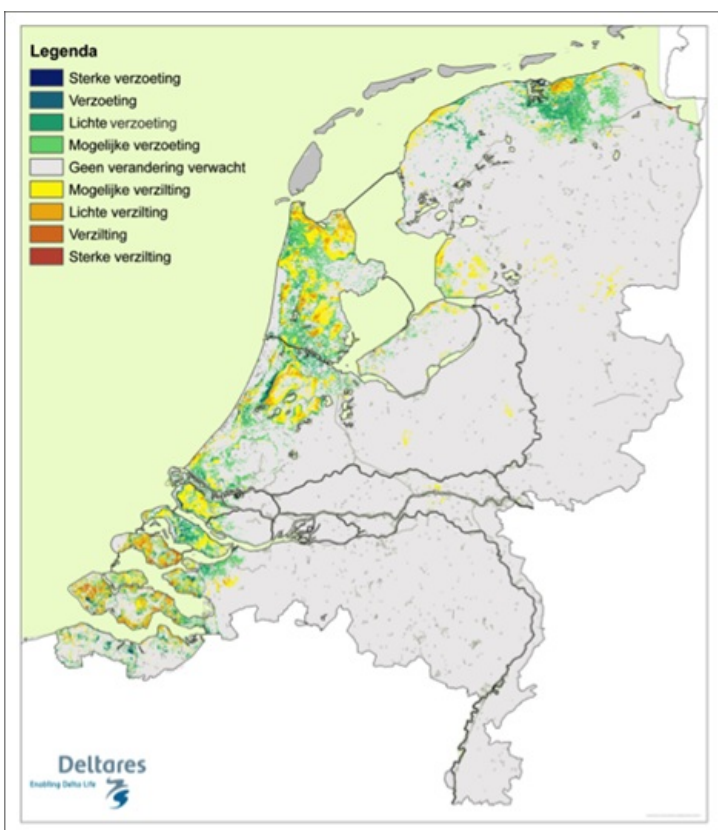
Tabel 1: Een steeds vaker gebruikte definitie voor zoet, brak en zout grondwater. De chloride concentratie, een conservatieve stof die relatief veel bemeten is t.o.v. andere stoffen, is de dominante representant voor het zoutgehalte. ([Oude Essink, 2001](#)).

## MAATREGELEN

Maatregelen tegen zoute kwel worden ingezet om zoet oppervlaktewater te kunnen leveren aan de functies die hiervan afhankelijk zijn. Risico's voor verzilting van het oppervlaktewater door zoute kwel komen uitsluitend voor in de lage delen van Nederland.



Figuur 5. Gebieden met mogelijke zoute kwel (initiële zoet-brak-zout verdeling onderkant deklaag, bron: data ZZRegis en [NHI zoetzout \(De Lange e.a., 2014\)](#))



Figuur 6. Modelberekening NHI zoet-zout: gebieden toename en afname van de zoutconcentratie aan de onderkant van deklaag gedurende de komende 100 jaar. De gebieden met gele tot rode kleur zijn gebieden waar in de toekomst kwel met een steeds hogere zoutconcentratie zal optreden. Het zouter worden van het kwelwater wordt autonome interne verzilting genoemd, kwelfluxen nemen alleen in het kustgebied door zeespiegelstijging een klein beetje toe, maar blijven verder constant. De zoutvrachten nemen daarentegen echter wel toe omdat steeds dieper, en zouter grondwater naar het oppervlak stroomt. Daarnaast neemt het aantal wellen in de diepe polders gestaag toe door vergravingen in de deklaag (bijv. nieuwe of diepere sloten), en dit proces kan ook tot autonome interne verzilting worden gerekend.

De traditionele maatregel tegen zoute kwel met als gevolg brak tot zout oppervlaktewater is doorspoelen. [Voorde en Velstra](#) (2009, p. 10) schrijven hierover: 'In principe is doorspoelen een goede maatregel om de norm (in principe MTR waarde van 200 mg Cl/l) van het oppervlaktewater te waarborgen. De beschikbaarheid van zoetwater van goede kwaliteit staat echter onder druk, ten gevolge van autonome ontwikkelingen zoals:

- de toename van de zoutconcentratie door zoute kwel (autonome verzilting), waardoor meer doorspoelen noodzakelijk wordt,
- de afname van beschikbaar water van goede kwaliteit, door verminderde rivierafvoer en daardoor ook minder beschikbaar water in het IJsselmeer, en door de indringing van zeewater in rivieren.

En een toename van de vraag naar water van goede kwaliteit door:

- de hogere eisen van gebruikers, vanwege hoogwaardige kapitaalintensieve teelten (waardoor meer water van hogere kwaliteit vereist is).'

Er wordt daarom gekeken naar nieuwe maatregelen, die ook in een toekomstig watersysteem voorhanden zijn. In het Acacia rapport over interne verzilting (2009) wordt een onderscheid gemaakt in gebruikersmaatregelen, beheersmaatregelen en beleidsmaatregelen tegen interne verzilting. Hiervan zijn maatregelen 3 en 5 direct van toepassing op zoute kwel:

Gebuyersmaatregelen	Status	Beheersmaatregelen	Status	Beleidsmaatregelen
1) Creëren van eigen zoetwatervoorziening	Deze maatregel kent 4 mogelijkheden; kleine regenwaterlenzen drijvend op zout grondwater, kreekruggen, ASR en ontzilting. Zie Deltafact regenwaterlenzen. Momenteel worden deze lokale maatregelen in het veld getest (zie bijv. <a href="#">GO-FRESH</a> ).	3) Dichten van zoute wellen	<a href="#">Kwelreductietechnieken</a> (modelonderzoek) Veldonderzoek weldichting afgerond afgerond ( <a href="#">De Louw et al., 2012</a> ).	7) Normering
2) Aanpassing agrarisch landgebruik	Hierbij worden bestaande gewassen herverdeeld en wordt er in gebieden met zoute kwel gestreefd naar verbouwen van zout tolerante gewassen, zie <a href="#">Deltafact Zouttolerante teelten</a>	4) Afkoppelen watersysteem	Deze maatregel is van toepassing op gebieden, waarbij het oppervlaktewater een hoger zoutgehalte kent.	8) Ruimtegebruik reguleren
		5) Tegengaan zoute grondwaterkwel (peilopzet)	Peilopzet Polder de Noordplas	9) Brakke watervoorziening ten behoeve van zilte teelten mogelijk maken
		6) Sturen van brakke waterstromen	deze maatregel vindt plaats in combinatie met regulering ruimtegebruik	10) Waterlevering 11) Beprijzing

Op dit moment is de efficiëntie van veel maatregelen nog niet gedetailleerd uitgezocht. Dit vormt op dit moment nog een [kennisleemte](#). Hieronder een weergave van de maatregelen van toepassing op zoute kwel:

#### • Dichten van zoute wellen

Dit kan op twee manieren: injectie van uithardende vloeistoffen en biosealing. Bij injectie van uithardende gels wordt geadviseerd een niet milieubelastende gel te gebruiken. Biosealing is per definitie niet milieubelastend. Het veldonderzoek naar het dichten van zoute wellen ([De Louw et al., 2012](#)) ([De Louw et al., 2007](#)) heeft aangetoond dat het dichten van natuurlijke wellen (wellen die door opbarsting van de deklaag zijn ontstaan) erg lastig is en met de huidige technieken niet kansrijk. Dit komt omdat een relatief groot gebied (gemiddeld 20 bij 20 meter) door de opbarsting is aangetast, onstabiel is en vol scheuren zit. Het dichten van een wel leidt vrij snel tot ontstaan van nieuwe wellen in bestaande scheuren in het onstabiele wellengebied. Het dichten van wellen die zijn ontstaan door bijvoorbeeld het trekken van peilfilters of damwanden, of het dichten van oude gasbronnen is veel eenvoudiger en kansrijker.

- **Aanpassing van het polderwatersysteem** van inlaat, doorstroming, bergen en uitmalen is een kansrijke maatregel voor zoute polders. Hierbij moet er geïdentificeerd worden welke zoute peilvakken er zijn en hier dan een bypass omheen creëren (afkoppelen). Het zoutgebied wordt dan geïsoleerd en er mag in de zomer geen gebruik van worden gemaakt. Dit systeem kan verder worden geoptimaliseerd door het dynamische operationele beheer van uitmalen, inlaten van zoet water, en tijdelijk bergen van zout kwelwater op basis van weersvoorspellingen en real-time zoutmonitoring op strategische locaties in de polder. Het tijdelijk isoleren van peilvakken met veel zoute wellen in droge tijden kan eenvoudig plaatsvinden met behulp van automatische stuwstijlen. Afvoer van het tijdelijk geborgen zoute water vindt vervolgens plaats tijdens regenbuien wanneer zoutconcentraties laag zijn.

#### • Tegengaan zoute kwel

een mogelijkheid hiervoor is het gebruik maken van peilopzet in het oppervlaktewatersysteem. Peilopzet kan effectief zijn bij een flinke peilverhoging (> 0.5 m) in sloten waar grote wellen voorkomen of veel diffuse zoute kwel is. Peilopzet is in sommige gebieden toegepast en het bleek niet eenvoudig voor de waterbeheerder draagvlak te krijgen om het systeem hierop aan te passen. In polder de Noordplas is hier onderzoek naar verricht, zie [ervaringen](#).

Rijnland hiermee omgaat. Vaak is het gebrek aan zoet water een nog groter probleem. Door zoute kwel is in droge perioden het oppervlaktewater vaak te zout om te beregenen en in gebieden zonder wateraanvoer leidt dit tot droogteschade.

Het hebben van zoute kwel in een gebied zorgt voor governance vraagstukken rondom de vraag hoe kan zoute kwel worden voorkomen en hoe zodanig door herinrichting, teeltaanpassingen e.d. worden geanticipeerd dat de zoute kwel wordt benut ipv tegengehouden? Zoute kwel beïnvloedt het landgebruik in het gebied. Een trend die hierin waarneembaar is, is de toename in zelfvoorzienendheid, zie de ervaring op Texel (zoute teelten en zoetwaterbergingsproef en de zoetwaterbergingsproeven in de Zuidwestelijke Delta, o.a. [GO-FRESH \(Oude Essink et al., 2014\)](#) Overheden en belangenorganisaties zien hierbij de urgentie: dit dient te leiden tot bewustwording van deze problematiek bij agrariërs en meer betrokkenheid bij het oplossen van de te verwachte zoetwaterproblematiek door o.a. implementatie nieuwe innovatieve oplossingen als gecontroleerde infiltratie en drainage systemen, in combinatie met participatieve stakeholderprocessen, zoals wordt toegepast in [De Waterhouderij](#).

## KOSTEN EN BATEN

De laatste jaren is een laagdrempelig instrument ontwikkeld dat voor een regio of (deel)stroomgebied snel en interactief inzicht biedt in de huidige zoetwatervoorziening en in de mogelijkheden om in tijden van waterschaarste anders om te gaan met de zoetwatervoorziening: De €ureyeopener. Er zijn met de €ureyeopener reeds een tweetal deelgebieden doorgerekend: het Hoogheemraadschap van Rijnland ([Stuyt e.a., 2012](#)) en het deelgebied Zuidwestelijke Delta en Rijnmond-Drechtsteden ([Schipper e.a., 2014](#)), en er is een pilot afgerond te Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier.

Voor Rijnland zijn zeven waterbeheersmaatregelen doorgerekend. Een voorbeeld: bij een verhoging van het toelaatbare chloridegehalte van het aanvoerwater in alle gebieden in Rijnland met 300 mg/l t.o.v. de referentiesituatie (10% droog jaar) daalt de inlaatbehoefte bij Gouda naar 65 miljoen m<sup>3</sup> (4,1 m<sup>3</sup>/s) (referentie situatie is 114 miljoen m<sup>3</sup>) en stijgt de landbouwschade tot €32,5 miljoen (+30%).

Het veiligstellen van de toekomstige zoetwatervoorziening in de Zuidwestelijke Delta en Rijnmond-Drechtsteden (ZWD-RD) is op verschillende manieren geëffectueerd. Elke maatregel die hiertoe wordt overwogen beïnvloedt het chloridegehalte van het polderwater en daarmee de kwaliteit van het beregeningswater voor de landbouw en de ecologische kwaliteit. Gebruikers kunnen tijdens overleggen met stakeholders (interactief) beoogde maatregelen invoeren; het model berekent dan per omgaande de effecten (waterbehoefte, zoutgehalten regionale wateren, fysieke opbrengstveranderingen landbouw,) alsmede de directe kosten van de maatregelen. Afgaand op de berekende kosten en baten, zijn in elk geval de volgende doorgerekende maatregelen gunstig: 1. waterconservering door infiltratie in kreekruggen (met wateraanvoer); 2. waterconservering door peilopzet zonder wateraanvoer (pilot Vlaanderen); en 3. verlaging van zoutgehalten van de inlaat.

## PRAKTIJKERVARING EN LOPEND ONDERZOEK

### FRESHM Zeeland

FRESH Salt groundwater distribution by Helicopter ElectroMagnetic survey in the Province of Zeeland - FRESHM is een onderzoeksprogramma van Deltares, TNO en BGR. Met behulp van een helikopter wordt de zoet-zoutverdeling van het Zeeuwse grondwater met behulp van elektromagnetische metingen in kaart gebracht. Inmiddels zijn voor de gehele provincie de metingen vanuit de helikopter uitgevoerd. Deltares, TNO en BGR ontwikkelen een aanpak om deze ruwe data te vertalen naar een 3D zoet-brak-zout verdeling van het grondwater. Eind 2016 is alle data beschikbaar.

*Tijdshorizon: 2014-2018*

### Bescherming zoetwaterbel Perkpolder

In de Zeeuwse Perkpolder is in opdracht van Rijkswaterstaat een nieuw buitendijks getijde-natuurgebied aangelegd door 75 ha schor en slik toe te voegen aan de Westerschelde. Deltares onderzoekt sinds 2010 wat de mogelijke effecten hiervan zijn op het aanwezige grondwater in het aangrenzende landbouwgebied. Een bestaande zoetwaterbel waaruit agrariërs grondwater voor beregening onttrekken zou mogelijk kunnen krimpen. Om deze zoetwaterbel te beschermen, is een unieke kwelvoorziening ontworpen en geïnstalleerd die bestaat uit 61 verticale kwelbuizen tot 17 meter diep. Horizontale buizen koppelen de kwelbuizen, die uitkomen in zogenaamde regelputten waar de werking van de kwelvoorziening kan worden geregeld.

*Tijdshorizon: 2010-2018*

### Promotieonderzoek zoute kwel (De Louw, 2013)

In december 2013 is een zesjarig promotieonderzoek naar Zoute kwel afgerond. Uit dit onderzoek kwam naar voren naar zoute wellen dominant zijn in de verzilting van het oppervlaktewater voor veel diepe polders. Dit onderzoek vond plaats in Polder de Noordplaspolder en de Haarlemmermeerpolder. Daarnaast is in de Zuidwestelijke delta onderzoek gedaan naar het voorkomen en dynamiek van dunne regenwaterlenzen onder landbouwpercelen in zoute kwelgebieden. Zoute kwel voorkomt indringing van regenwater waardoor de regenwaterlenzen heel dun zijn (< 2.0m). Op de meeste locaties werd zelfs niet eens zoet grondwater aangetroffen en was het zoute kwelwater al doorgedrongen tot in de onverzadigde zone

*Tijdshorizon: vanaf 2007-2013*

### Verzoeting-verzilting freatisch grondwater in de Provincie Zeeland

In dit project is onderzoek gedaan naar de verzilting van het grondwater in de bovenste meters van de ondergrond onder invloed van zeespiegelstijging en een veranderend klimaat. Het hoofddoel was te kijken welke waterbeheersmaatregelen effectief zijn in het bestrijden van de verzilting in Zeeland in landbouw- en natuurgebieden. Speciale aandacht werd gegeven aan de zogenaamde relatief dunne regenwaterlenzen in landbouwpercelen. Daarnaast is gekeken naar de interactie tussen perceel en sloot over de seizoenen ten aanzien van opwellend zout grondwater. Naast het ontwikkelen van een betrouwbaar 3D modelinstrumentarium voor dichtheidsafhankelijke grondwaterstroming en gekoppeld zouttransport

wordt een uitgebreide meerjarige meetcampagne uitgevoerd waarmee het voorspellend vermogen van het modelinstrumentarium wordt vergroot.

*Tijdshorizon: 2006-2014*

### **Climate Proof Fresh Water Supply (Kennis voor Klimaat Thema 2, Zoetwatervoorziening)**

Het programma heeft als doel: het bijdragen aan het vinden van robuuste, flexibele en lange-termijn oplossingen voor de zoetwatervoorziening van Nederland op verschillende ruimteschalen in een veranderende Delta. De focus van het onderzoek ligt op lokale en regionale oplossingen in Laag Nederland voor land- en tuinbouw en natuur. De zoetwatervoorziening van dit gebied wordt naast droogte vooral bedreigd door verzilting van grond- en oppervlaktewater. In zes samenhangende werkpakketten wordt geanalyseerd hoe dit gebied meer zelfvoorzienend kan worden én hoe aanpassingen in het (hoofd)watersysteem kunnen bijdragen aan de watervoorziening van het gebied. Het bestaat uit zes werkpakketten: WP1: Klimaatverandering in Nederland in Europees perspectief – onze randvoorwaarden; WP2; Adaptatie van zoetwatervoorziening en buffercapaciteit van het gekoppeld grondwater - oppervlaktewater systeem, WP3: Aanpassing functies onder beperking van zoetwater, WP4 Waterberging en -technologie als gereedschap voor regionale zelfvoorzienendheid, WP5 Mogelijke oplossingsstrategieën bezien vanuit onzekerheid en WP6 Case-studies Groene Ruggesraat, Haaglanden en de Zuidwestelijke Delta.

Verschiede promotie onderzoeken binnen dit programma worden kort hier vermeld:

- Promotie onderzoek Joost Delsman: Ontwikkeling van een kwantitatief raamwerk om adaptatie strategieën te optimaliseren voor droogte en verzilting in grond- en oppervlaktewater t.g.v. klimaatverandering. Dit onderzoek is in juni 2015 afgerond en hieronder volgt een korte beschrijving van het onderzoek.
- Promotie onderzoek Pieter Pauw: Vergroten van de robuustheid en flexibiliteit van zoetwaterlenzen in zoute kwelgebieden onder druk van klimaatverandering. Dit onderzoek is in juni 2015 afgerond en hieronder volgt een korte beschrijving van het onderzoek.
- Promotie onderzoek Koen Zuurbier: Ondergrondse waterberging voor een zelfstandige regionale watervoorziening. Dit onderzoek wordt in 2016 afgerond.
- Promotie onderzoek Rianne van Duinen (2015): O.a. onderzoek op de Zeeuwse eilanden en op Goeree-Overflakkee (Zuid-Holland) hoe aan boeren aankijken tegen de risico's van droogte en verzilting. Juist deze gebieden hebben steeds meer met beide problemen te maken. Rianne heeft onderzocht dat risicoanalyses, economische afwegingen en rationele keuzes de belangrijkste onderdelen zijn in het maken van beleidsplannen, maar dat boeren daar juist weinig rekening mee houden en laten zich veelal leiden door hun gevoel en angst. Dit leidt tot onderschatting of overschatting van het probleem.

### **Promotieonderzoek Saline groundwater – surface water interaction in coastal lowlands (Delsman, 2015)**

The research presented in this thesis aims to identify the processes and physiographic factors controlling the spatial variability and temporal dynamics of the exfiltration of saline groundwater to surface water, and hence the contribution of saline groundwater to surface water salinity.

Topics covered include a paleo-hydrogeological model simulation of the Holocene evolution of groundwater salinity as a result of paleo-geographic changes; surface water salinity dynamics in a densely-drained lowland catchment; hydrograph separation in an agricultural catchment; observations of heads, flow, solute concentration and temperature to constrain a detailed, variable-density groundwater flow and transport model; and a model to simulate the salinity dynamics of exfiltrating groundwater to support operational water management of freshwater resources in coastal lowlands. The thesis further outlines the implications of these findings for freshwater management in the Netherlands. It demonstrates that the salinity of groundwater exfiltrating in polders in the Netherlands, and hence surface water salinity, varies on a wide range of spatial and temporal scales.

### **Promotieonderzoek Field and Model Investigations of Freshwater Lenses in Coastal Aquifers (Pauw, 2015)**

Freshwater lenses are convex bodies of fresh groundwater that are underlain by groundwater with a significant higher salinity. In coastal areas, freshwater lenses are of vital importance for ecosystems and freshwater supply. A major problem of sustaining freshwater supply from freshwater lens is saltwater intrusion, i.e., the invasion of saline groundwater into a fresh groundwater body. In many coastal areas saltwater intrusion has led to well closure and reduced freshwater supply. Furthermore, in the future saltwater intrusion is expected to increase due to sea level rise, climate change, land subsidence, and increasing population density in coastal areas. In the Netherlands, these stresses will also have a severe impact on the fresh coastal groundwater reserves. In view of this, a research project aimed at (1) Improving the insight into the modeling of freshwater lenses and (2) defining measures to increase freshwater supply from freshwater lenses.

*Tijdshorizon: 2010-2015*

### **Bepaling van de toekomstige verzilting van het grondwater in Zuid-Holland**

Voor de Provincie Zuid-Holland is een studie uitgevoerd naar de veranderingen binnen zoete grondwaterlichamen onder invloed van autonome ontwikkelingen, verschillende zeespiegelstijgingen, bodemdaling en klimaatverandering. Een 3D numeriek dichtheidsafhankelijk grondwater model (cellen 250\*250m<sup>2</sup>: ~9500 km<sup>2</sup>) is gemaakt om de effecten van menselijk ingrijpen, zoals het effect van brijnlozingen in het tweede watervoerend pakket en landaanwinningen voor de kust, te kwantificeren in termen van toename verzilting en zoutvracht naar het oppervlaktewater systeem (Oude Essink et al., 2010).

*Tijdshorizon: vanaf 2004-2010*

### **Project Klimaatverandering en verzilting Noord-Nederland**

In dit project werken de provincie Groningen en Friesland samen met de waterschappen om antwoorden te vinden op vragen als: in hoeverre is verzilting op dit moment een probleem voor landbouw in Noord-Nederland, maar belangrijker nog in hoeverre zijn er voor de toekomst praktische gerichte oplossingen mogelijk voor de landbouw.

*Tijdshorizon: 2009-2011*

### **GO-FRESH (Valorisatie kansrijke oplossingen ZWD (Kennis voor Klimaat Thema 3)**

GO-FRESH (Geohydrological Opportunities Fresh Water supply, ofwel 'Valorisatie kansrijke oplossingen voor een robuuste



zoetwatervoorziening in laag Nederland') is een Kennis voor Klimaat project in de Zuidwestelijke Delta. Een consortium bestaande uit Deltares (trekker), Alterra, KWR, Acacia, Hogeschool Zeeland en ZLTO onderzoekt in hoeverre lokale maatregelen de zoetwaterbeschikbaarheid voor landbouw kunnen vergroten in gebieden die onafhankelijk zijn van het hoofdwatersysteem (Pauw et al., 2015). Hierbij wordt de ondergrond gebruikt voor opslag van het zoete water in perioden van wateroverschot voor gebruik in droge perioden. Dit project richt zich op twee typen gebieden die door klimaatverandering waarschijnlijk sneller onder druk komen te staan: a. gebieden met kreekkruggen met een wat diepere lens en a. gebieden met zoute kwel en dunne regenwaterlenzen. Binnen GO-FRESH zijn er drie showcases opgetuigd:

1. The Freshmaker: toename zoetwatervoorraad in een kreekrug door injectie zoetwater en onttrekking zout grondwater;
2. Kreekrug Infiltratie Proef: toename zoetwatervoorraad in kreekrug door infiltratie oppervlaktewater;
3. Drains2Buffer: vergroten/behouden zoetwatervoorraad dunne regenwaterlenzen door slimme diepe drainage.

Het project kijkt ook naar de opschaalbaarheid van de oplossingen: naast hydrologische ook economische haalbaarheid. Tevens worden stakeholders nauw betrokken in het project om op termijn de innovatie direct in en met de praktijk te kunnen toetsen. Met dit onderzoek willen we naast het bieden van innovatieve oplossingen voor de huidige en toekomstige zoetwatertekorten ook bijdragen aan de economische vooruitgang van landbouwgebieden en anticiperen op lokale en regionale beleidsvragen. [GO-FRESH](#)  
*Tijdshorizon: 2012-2017*

### **'Fresh Water Options Optimizer' Methode voor het selecteren van lokale zoetwateroplossingen en het afwegen van hun effecten.**

Binnen Kennis voor Klimaat worden kleinschalige oplossingen om de zoetwatervoorziening voor de landbouw te verbeteren ontwikkeld. Hiervoor lopen pilotprojecten waarin bijvoorbeeld de drainage wordt geoptimaliseerd om verzilting terug te dringen en worden oplossingen als 'aquifer storage and recovery' (ASR), kreekruginfiltratie en de freshmaker getest om de bestaande ondergrondse voorraad zoetwater te vergroten. Deze kleinschalige, decentrale oplossingen dragen bij aan een robuustere zoetwatervoorziening van de landbouw.

In dit project is de opschaalbaarheid van dit soort oplossingen naar grotere gebieden beschouwd (Hoogvliet et al, 2014). Hiermee wordt inzicht gegeven in de potentie van de verschillende technieken om de watervoorziening met lokale oplossingen te verbeteren. Dit sluit bijvoorbeeld aan bij de strategische beslissingen die in het kader van het Deltaprogramma worden genomen, en waarbij in Nederlandse regio's wordt ingezet op meer zelfvoorzienendheid of het stabiliseren van de vraag van de regio (Deltaprogramma Zoetwater, 2013). Het project is uitgevoerd door Deltares, Alterra, De Bakelse Stroom en Acacia Water.

### **Alternatieve vormen van duurzaam bodemgebruik en waterbeheer door en voor agrariërs**

(2010 – 2013)

Proefproject om te onderzoeken of en hoe een aantal maatregelen leiden tot verbetering van de bodemvruchtbaarheid en vochttoestand, besparing agrarische watervoorziening, verhoging van gewasproductie en rendementsverbetering en vermindering van nutriëntenbelasting op watergangen. De maatregelen omvatten peilvariaties in de sloot, volledig gecontroleerde drainage (infiltratie middels drainagesysteem en vasthouden water) en permanente ondergrondse dripirrigatie. Het project wordt uitgevoerd door Acacia Water (penvoerder) en Deltares, Alterra, Vrije Universiteit, LTO, HHNK en provincie NH.

*Tijdshorizon: 2010-2013*

### **Kwelreductietechnieken**

Het Hoogheemraadschap van Rijnland brengt verschillende beleidsopties met betrekking tot watervoorziening (met name verziltingsbestrijding en eutrofiëringsproblematiek) in beeld. De opties lopen uiteen van heroverweging van het huidige inlaat/doorspoelbeleid, het accepteren van optredende verzilting tot aan actieve bestrijding van bronnen. Hiertoe zijn verschillende technieken beschikbaar, waarvan de efficiëntie en de effecten nog onduidelijk zijn. In de Achtergrondstudie Kwelreductietechnieken worden een aantal technieken voor kwelreductie in beeld gebracht, met speciale aandacht voor welreductie. Naar aanleiding hiervan is veldonderzoek naar het dichten van wellen uitgevoerd ([De Louw et al., 2012](#)). Zoals al eerder beschreven in deze factsheet bleek het dichten van natuurlijk ontstane wellen (door opbarsting) geen kansrijke methode.

*Tijdshorizon: 2007-2012*

### **De €ureyeopener**

De €ureyeopener is een laagdrempelig instrument dat voor een regio of (deel)stroomgebied snel en interactief inzicht biedt in de huidige zoetwatervoorziening en in de mogelijkheden om in tijden van waterschaarste anders om te gaan met de zoetwaterverdeling. Na de ontwikkeling van de €ureyeopener versie 1.0 voor het beheersgebied van het Hoogheemraadschap van Rijnland is het instrument doorontwikkeld voor de Zuidwestelijke Delta en Rijnmond Drechtsteden, ter ondersteuning van beleidsontwikkeling voor het deelprogramma Zoetwater van het Deltaprogramma. De waterbeheerders willen meer inzicht krijgen in het effect van de huidige zoetwatervoorziening op de baten in de landbouw en welke maatregelen zinvol en kosteneffectief zijn om de zoetwatervoorziening toekomstbestendig te maken. Met het instrument worden kennisvragen rond de regionale zoetwatervoorziening adequaat en eenduidig beantwoord. De meerwaarde van €ureyeopener 2.0 is dat het snel en interactief inzicht biedt in de effectiviteit van potentieel aantrekkelijke opties voor het inlaatregime van zoetwater door de transparante berekening van de water- en zoutbalans en door de effecten op de landbouw in opbrengstveranderingen te vertalen en daarbij de effecten van de maatregelen direct inzichtelijk maakt door accurate specificatie van kosten en baten. Voor de berekening van kosten zijn wel voor een aantal maatregelen aanvullende locatiespecifieke kentallen noodzakelijkerwijs verzameld. Momenteel vind een pilot plaats bij het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier.

*Tijdshorizon: vanaf 2012*

### **Verzilting grondwatersysteem Wetterskip Fryslân**

Met behulp van modelinstrumentaria wordt duidelijkheid geschapen over een aantal effecten van peilveranderingen op wateroverlast, drainagecapaciteit, en met name verzilting in het kustgebied van het Wetterskip Fryslân. Hierbij wordt gekeken naar deelaspecten van de verziltingproblematiek, zoals verzilting van het sloot- en grondwater en zoute kwel.

Tevens worden de modellen gebruikt om verschillende inrichtingsvarianten te analyseren.  
Tijdshorizon: 2006-2012

### **Drinkwater uit zoute kwel, PURO**

Als mogelijk extra maatregel wordt er gekeken of zoutwater kan worden ingezet als bron voor drinkwater. Dit is echter alleen van toepassing in heel specifieke situaties. In het promotie-onderzoek van Frank Smits zijn binnen het beheergebied van Waternet een aantal polders geselecteerd waar het mogelijk zou moeten zijn. Het idee is om onder een diepe polder zout grondwater te winnen, zodat de zoute kwel de sloten in de polder niet meer bereikt. Hiervoor moet de ondergrond nauwkeurig in beeld worden gebracht, moet de winning zorgvuldig worden doorgerekend en moeten ook de effecten op het oppervlaktewater goed worden onderzocht. Een innovatieve manier om het zout grondwater te winnen is het PURO-concept, waarnaar momenteel onderzoek wordt uitgevoerd door Oasen, de TU Delft, Waternet, Grondboorbedrijf Haitjema en Logisticon Water Treatment, met financiering van de InnoWator regeling.  
Tijdshorizon: 2012-2015

### **Spaarwater. Rendabel en duurzaam agrarisch watergebruik in een verziltende omgeving**

Binnen Spaarwater gaat een breed consortium onder leiding van Acacia Institute de uitdaging aan om zoetwater beschikbaar te maken en in de toekomst beschikbaar te houden. Spaarwater omvat vier pilotlocaties met een zestal proeven verspreid over de Waddenregio. Het project onderzoekt de technische en economische toepasbaarheid van eigen zoetwatervoorziening met ondergrondse opslag, verziltingsbestrijding met systeemgerichte drainage en zuinig watergebruik met druppelirrigatie. De oplossingen dragen bij aan het verminderen van ziektedruk en afvoer van bestrijdingsmiddelen en nutriënten naar het oppervlaktewater.  
Tijdshorizon: 2013-2017

### **Technisch-juridische handreiking risicobeoordeling 'ondergrondse waterberging'**

Provincies en waterschappen in Laag-Nederland hebben in 2014 op initiatief en onder regie van de Stichting Waterbuffer en de STOWA de verschillende instituten actief rondom OWB (KWR Watercycle Research Institute, Deltares, Acacia Water) en Sterk Consulting opdracht gegeven om een handreiking op te stellen; een kader voor risicobeoordeling van kleinschalige systemen voor ondergrondse waterberging binnen de bestaande wetgeving. Het achterliggende doel is om zo duurzaam gebruik van de ondergrond ten behoeve van de zoetwatervoorziening efficiënt te garanderen. Het voorgenomen gebruik van de ondergrond wordt hierbij afgezet tegen de functies die de ondergrond voor de samenleving vervult, en de kwaliteiten en waarden die de bodem bezit en die ook behouden dienen te blijven voor toekomstige generaties (Rijkswisie op duurzaam gebruik van de ondergrond, 2010).  
Tijdshorizon: 2014-2015

## **KENNISLEEMTES**

Belangrijke kennisleemtes op het gebied van zoute kwel zijn:

- Op dit moment ontbreekt het aan een overzicht met effectiviteit van de verschillende [maatregelen](#). Belangrijke aspecten hierin zijn ook hoe het opgeschaald kan worden, voor welk gebied is het effectief en hoe vaak kan het ingezet worden. In hoeverre is hydrologische en economische opschaling van zelfvoorzienende zoetwater pilot studies mogelijk. In hoeverre zijn maatregelen die zoute kwel tegengaan en die worden uitgevoerd in een beperkt lokale pilot studies op te schalen naar maatregelen met regionale impact? Heterogeniteit in termen van zoet-zout verdeling, intensiteit zoute kwel en geologische variabiliteit ondergrond) beperken de mate van opschaling van maatregelen.
- Invloed onzekerheden in hydrologische, geologische, meteorologische en agronomische fysische processen op de mate van zoute kwel.
- In hoeverre zijn nationale modelinstrumentaria zoals NHI en het Deltamodel in staat lokale processen uitmondend in zoute kwel betrouwbaar weer te geven? Hoe kunnen numerieke processen in lokale watersystemen worden opgeschaald en worden toegepast in nationale modelinstrumentaria?
- Wat voor een effect heeft verzilting van het grondwatersysteem op ondergrondse infrastructuur (te weten toename corrosie aan stalen buizen)?
- In welke mate kan zoute kwel en verdergaande verzilting worden geaccepteerd?
- In hoeverre kan de ecologie omgaan met grotere variaties in zoutconcentraties van/ in het oppervlaktewater?
- Welke maatregelen op maat zijn waar efficiënt om de invloed van zoute kwel/de verdergaande verzilting af te remmen c.q. te minimaliseren?
- Wat zijn de gevolgen van zoute kwel voor de bodemopbouw/kwaliteit (geochemische processen, effect op hydraulische eigenschappen topsysteem/bodem)?

## **LITERATUUR/ LINKS**

- Bader, E. 2005, [Verziltings- en verzoetingsprocessen in Nederland, met speciale aandacht voor de Wieringermeerpolder](#), VU Aardwetenschappen & TNO Bouw en Ondergrond, p. 61.
- Berg, G. van den (2008) [Geen paniek om verzilting; tijd genoeg om in te spelen op hip onderwerp](#), Boerderij 93, 20, p. 6-9.
- Bosch, S., Wateren, B. van der, Oude Essink, G. en Louw, P. de, 2009, [Zou 't verzilten?](#), Stromingen 15, 3-17.
- Ter Voorde, M. en J. Velstra (2009), [Leven met Zout Water: Overzicht huidige kennis omtrent interne verzilting](#), Acacia Water, Leven met Water en STOWA.
- Alterra Factsheet 2008. M. Paulissen. [Verzilting en natuur: Waar liggen kansen en bedreigingen?](#)
- [Delsman, J.R., Hu-a-ng, K.R.M., Vos, P.C., de Louw, P.G.B., Oude Essink, G.H.P., Stuyfzand, P.J., Bierkens, M.F.P., 2014. Paleo-modeling of coastal saltwater intrusion during the Holocene: an application to the Netherlands. Hydrology and Earth System Sciences 18, 3891-3905.](#)
- De Lange, W. J., G. F. Prinsen, J. C. Hoogewoud, A. A. Veldhuizen, J. Verkaik, G. H. P. Oude Essink, P. E. V. Van Walsum, J. R. Delsman, J. C. Hunink, H. T. L. Massop & T. Kroon (2014). [An operational, multi-scale, multi-model system for consensus-based, integrated water management and policy analysis: The Netherlands Hydrological Instrument](#). Environ.

Model. Softw., 59, 98–108. doi:10.1016/j.envsoft.2014.05.009

- De Louw, P.G.B. Oude Essink, G.H.P. en Maljaars, P. 2007: [Achtergrondstudie kwelreductietechnieken](#), TNO rapport 2007-U-R0357/B, 82 p.
- De Louw, P.G.B., Doornenbal, P., Hendriks, D.M.D., 2012. [Veldonderzoek naar het dichten van wellen](#). Deltares-rapport. 1201949-000, 52pp.
- De Louw, P.G.B., 2013. [Zoute kwel in delta's. Preferente kwel via wellen en interacties tussen dunne regenwaterlenzen en zoute kwel](#). Academisch proefschrift, Vrije Universiteit Amsterdam, ISBN/EAN 9789461085429.
- De Louw, P.G.B., Oude Essink, G.H.P., Stuyfzand, P.J., Van der Zee, S.E.A.T.M., 2010. [Upward groundwater flow in boils as the dominant mechanism of salinization in deep polders](#), The Netherlands. Journal of Hydrology 394, 494-506.
- De Louw, P.G.B., Van de Velde, Y., Van der Zee, S.E.A.T.M., 2011. [Quantifying water and salt fluxes in a lowland polder catchment dominated by boil seepage: a probabilistic end-member mixing approach](#). Hydrology and Earth System Sciences 15, 2101-2117.
- De Louw, P.G.B., Eeman, S., Siemon, B., Voortman, B.R., Gunnink, J., Van Baaren, S.E., Oude Essink, G.H.P., 2011. [Shallow rainwater lenses in deltaic areas with saline seepage](#). Hydrology and Earth System Sciences 15, 3659-3678.
- De Louw, P.G.B., Eeman, S., Oude Essink, G.H.P., Vermue, E., Post, V.E.A., 2013. Rainwater lens dynamics and mixing between infiltrating rainwater and upward saline groundwater seepage beneath a tile-drained agricultural field. Journal of Hydrology 501, 133-145
- De Louw, P.G.B., Vandenbohede, A., Werner, A.D., Oude Essink, G.H.P., 2013. [Natural saltwater upconing by preferential groundwater discharge through boils](#), Journal of Hydrology 490, 74-87.
- Delsman, J. R., G. H. P. Oude Essink, K. J. Beven, & P. J. Stuyfzand (2013). [Uncertainty estimation of end-member mixing using generalized likelihood uncertainty estimation \(GLUE\), applied in a lowland catchment](#). Water Resour. Res., 49, 4792–4806. doi:10.1002/wrcr.20341
- Delsman, J. R., K. R. M. Hu-a-ng, P. C. Vos, P. G. B. De Louw, G. H. P. Oude Essink, P.J. Stuyfzand & M. F. P. Bierkens, (2014). [Paleo-modeling of coastal saltwater intrusion during the Holocene: an application to the Netherlands](#). Hydrol. Earth Sys. Sci., 18, 3891–3905. doi:10.5194/hess-18-3891-2014
- Delsman, J. R., M. J. Waterloo, M. Groen, J. Groen, & P. Stuyfzand (2014). [Investigating summer flow paths in a Dutch agricultural field using high frequency direct measurements](#). J. Hydrol., 519, 3069–3085. doi: 10.1016/j.jhydrol.2014.10.058
- Delsman, J. R., P. Winters, A. Vandenbohede, L. Lebbe & G. H. P. Oude Essink. *The value of diverse observations in conditioning a real-world field-scale groundwater flow and transport model*. Water Resour. Res. (submitted).
- Hoogvliet et al., 2014. [Methode voor het selecteren van lokale zoetwateroplossingen en het afwegen van hun effecten Fresh Water Options Optimizer](#). Stowa rapportnummer 2014-43. KvK rapportnummer KvK141/2014. ISBN 978.90.5773.650.6
- Kooi H, Groen J. 2001. [Offshore continuation of coastal groundwater systems; predictions using sharp-interface approximations and variable-density flow modelling](#). 246: 19–35
- Kooi H, Groen J, Leijnse A. 2000. [Modes of seawater intrusion during transgressions](#). Water Resources Research 36 (12): 3581–3589 DOI: 10.1029/2000WR900243
- Paulissen, M.P.C.P. et al. (2011) [Gevoeligheid van natuurgebieden voor interne verzilting op basis van aanwezige natuurtypen](#), Alterra rapportage 2161
- Oude Essink, G.H.P., 2001. [Density-dependent groundwater flow; Salt water intrusion and Heat Transport](#). Lecture notes IHE, 136 p.
- Oude Essink, G.H.P. en Louw, P.G.B., 2006. [Kwalitatieve beschouwing over de invloed van zoute kwel op de landbouw bij peilwijziging op het Lauwersmeer](#), TNO rapport 2006-U-R0152/A, 17 p.
- Oude Essink, G.H.P., Louw, de, P., Stevens, S., de Veen, B., de, Prevo, C., Marconi, V. en Goes, B. 2009, [Meetcampagne naar het voorkomen van regenwaterlenzen in de Provincie Zeeland, 2007-U-R0925/A, 132p](#).
- Oude Essink, G.H.P. en J. Verkaik. 2010. Verzilting en verzoeting van het grondwater systeem in Nederland onder invloed van klimaatscenario's, gebruikmakend van het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium module Zoet-Zout. Deltares memo 1202273-000-BGS-005, Utrecht
- Oude Essink, G.H.P., E.S. van Baaren, and P.G.B. de Louw 2010, [Effects of climate change on coastal groundwater systems: A modeling study in the Netherlands](#), Water Resour. Res., 46, W00F04, doi:10.1029/2009WR008719.
- Oude Essink, G.H.P., van Baaren, E.S., Zuurbier, K.G., Velstra, J., Veraart, J., Brouwer, W., Faneca Sánchez, 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.
- Pauw, P.S., Van Baaren, E.S., Visser, M. De Louw, P.G.B., Oude Essink, G.H.P., 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*. doi: [10.1007/s10040-015-1264-z](#)
- Pauw, P.S., S. E. A. T. M. Van der Zee, A. Leijnse, J. R. Delsman, P. G. B. De Louw, W. J. De Lange & G. H. P. Oude Essink (2014). [Low-resolution modelling of dense drainage networks in confining layers](#) Groundwater. doi: 10.1111/gwat.12273
- Pauw, P.S., De Louw, P.G.B. and Oude Essink, G.H.P., 2012. [Groundwater salinization in the Wadden Sea area of the Netherlands : quantifying the effects of climate change , sea-level rise and anthropogenic interferences](#). Netherlands Journal of Geosciences 91, 3.
- Post V.E.A., Van der Plicht H., Meijer H.A.J. 2003. The origin of brackish and saline groundwater in the coastal area of the Netherlands. Netherlands Journal of Geosciences - Geologie en Mijnbouw 82 (2): 133–147
- Schipper , P.N.M., Janssen , G.M.C.M. , Polman , N.B.P., Linderhof , V.G.M., van Bakel , P.J.T., Massop , H.T.L., Kselik , R.A.L., Oude Essink , G.H.P. en Stuyt , L.C.P.M. 2014. €ureyeopener 2.1: [Zoetwatervoorziening Zuidwestelijke Delta en Rijnmond-Drechtsteden](#), Eindconcept, 71p.
- Schultz, B.: De waterbeheersing van droogmakerijen, PhD thesis, Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Delft University of Technology, 506 pp., 1992.
- Stuyt, L.C.P.M., van Bakel, P.J.T., Delsman, J., Massop, H.T.L., Kselik, R.A.L., Paulissen, M.P.C.P., Oude Essink, G.H.P., Hoogvliet, M. en Schipper, P.N.M., 2012, [Zoetwatervoorziening in het Hoogheemraadschap van Rijnland](#); Onderzoek met hulp van €ureyeopener 1.0, 93 p. Alterra-rapport 2439.
- Tolk, L. [Zoetwater verhelderd; Maatregelen voor zoetwater zelfvoorzienendheid in beeld](#), KvK-rapportage CONCEPT, 2012.
- Velstra, J. Hoogmoed, M. en Groen, K. (2009) ) [Inventarisatie maatregelen omtrent interne verzilting](#), Acacia, i.o.v. Leven met Water en STOWA.

- Vos, P.C., Bazelmans, J., Weerts, H.J.T., Van der Meulen, M.J., 2011. Atlas van Nederland in het Holoceen-Landschap en bewoning vanaf de laatste ijstijd tot nu. Amsterdam, 93 pp
- Vries, A., de Vries I., de Veraart J.A., Zwolsman G.J., Oude Essink, G.H.P., Baaren, E.S. van; Creusen, R. Buijtenhek, H.S. 2009. [Vraag en aanbod van zoetwater in de Zuidwestelijk Delta, een verkenning](#). 79 p.

Websites:

[Climate Proof Fresh Water Supply](#)  
[GO-FRESH](#)  
[zoetzout.deltares.nl](#)

*Deze Deltafact is opgesteld door Deltares op 25 mei 2012, laatst herzien september 2017*

Auteurs: G. Oude Essink en P. de Louw

De Deltafact is mede gebaseerd op externe interviews en review van:

mevr. B. van der Wateren en dhr. J. van Rooden van het Hoogheemraadschap van Rijnland

Dhr. P. Schipper, Alterra

Dhr. F. Smits, Waternet

## ERVARINGEN

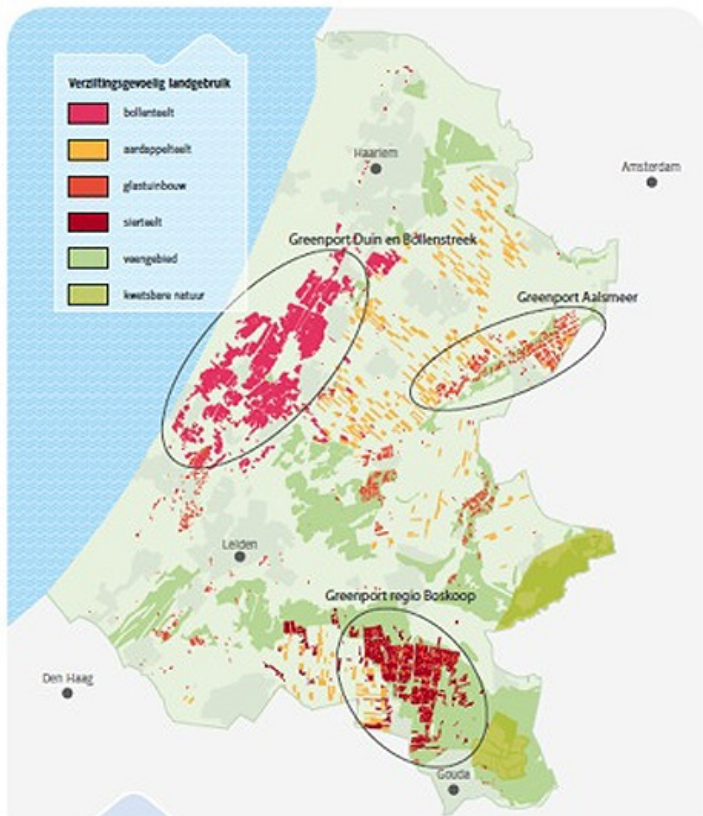
*Interview op 25 april 2012 met mevr. B. van der Wateren en dhr. J. van Rooden van Hoogheemraadschap van Rijnland*

Zout water is in Rijnland geen onbekend fenomeen. Zoute kwel komt vooral voor in diepe droogmakerijen, zoals de Haarlemmerpolder en Polder de Noordplas. Van oudsher wordt er gebruik gemaakt van een systeem van inlaten en uitlaten om het kwelwater weg te spoelen met zoet rivierwater en om zo de waterkwaliteit te verbeteren. Via het gemaal bij Gouda laat Rijnland zoet water (richtlijn 250 mg/l) uit de Hollandse IJssel het beheergebied in stromen. Op drie plaatsen wordt overtollig water het gebied weer uitgemalen. Rijnland heeft een maximale behoefte van 20 m<sup>3</sup> per seconde, waarvan 3 m<sup>3</sup> wordt gebruikt voor doorspoelen. De maatregel doorspoelen ligt voor de hand omdat het zoete water over het algemeen beschikbaar is, en het een goedkope maatregel is (ca. €200.000 per jaar). Echter, problemen ontstaan in extreem droge periodes, wanneer er onvoldoende zoet water beschikbaar is door verzilting bij het inlaatpunt. De doorspoeling wordt dan gereduceerd. Verzilting vormt met name een bedreiging voor kwetsbare teelten (bollen, sierteelt) daar zij vallen onder categorie 3 en 4 van de verdringingsreeks en het eerst getroffen worden bij droogte. Bijzondere natuur, zoals de Nieuwkoopse en Reeuwijkse Plassen (in categorie 1 van de verdringingsreeks) vragen ook zoet water.

Rijnland heeft recentelijk studies uitgevoerd naar het lokaal bestrijden van verzilting. Een maatregel hiervoor is het dichten van wellen. In de periode 2008 - 2011 is een experiment uitgevoerd in polder de Noordplas en de Haarlemmermeerpolder, waar sprake is van een oude kreekkrug met een afsluitende laag, een profiel zonder afsluitende laag en een profiel met gaten in de afsluitende laag. Het blijkt echter dat door het afsluiten de kwel op andere plaatsen kan toenemen. De huidige technieken van dichten zijn ontoereikend. Een belangrijk geïdentificeerde kennisleemte is dan ook het mechanisme van opbarsten en het in beeld brengen hiervan. Meer kennis van de ondergrond is nodig om inzicht te krijgen in de oppervlakte waarover de grond kan opbarsten door drukveranderingen, zodat je handvatten kunt creëren om hier gericht op te sturen.

Een andere maatregel is peilopzet. Ook hiernaar is in de Noordplas onderzoek gedaan (TNO, 2004), waar bij sommige peilvakken wordt gekeken naar een opzet van maximaal 30 cm. Deze maatregel is opgenomen in het peilbesluit met als doel de diffuse kwel te reduceren. Om de peilopzet te realiseren moet het watersysteem worden heringericht met afsluitingen, stuwen en wijziging van afvoerrichting en moeten percelen worden gedraineerd om de ontwatering te verzorgen. Er wordt verwacht dat de eerste resultaten rond 2016 getoond kunnen worden. Tegelijkertijd bestaat er weerstand bij de lokale stakeholders omdat ze bang zijn voor extra overlast in natte perioden.

Onderstaand figuur toont de verziltingsgevoeligheid in landgebruik (Rijnland 2009).



Referenties:

- Het effect van waterbeheer op de chloride- en nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater in Polder de Noordplas
- Syntheserapport: Definitieve water- en stoffenbalans en effecten van verschillende waterbeheersscenario's. TNO, 2004
- [Luw, P.G.B., de, van der Velde, Y., and van der Zee, S.E.A.T.M.: Quantifying water and salt fluxes in a lowland polder catchment dominated by boil seepage: a probabilistic end-member mixing approach, Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss., 8, 151-188, 2011.](#)

## DISCLAIMER

De in deze publicatie gepresenteerde kennis en diagnosemethoden zijn gebaseerd op de meest recente inzichten in het vakgebied. Desalniettemin moeten bij toepassing ervan de resultaten te allen tijde kritisch worden beschouwd. De auteur(s) en STOWA kunnen niet aansprakelijk worden gesteld voor eventuele schade die ontstaat door toepassing van het gedachtegoed uit deze publicatie.