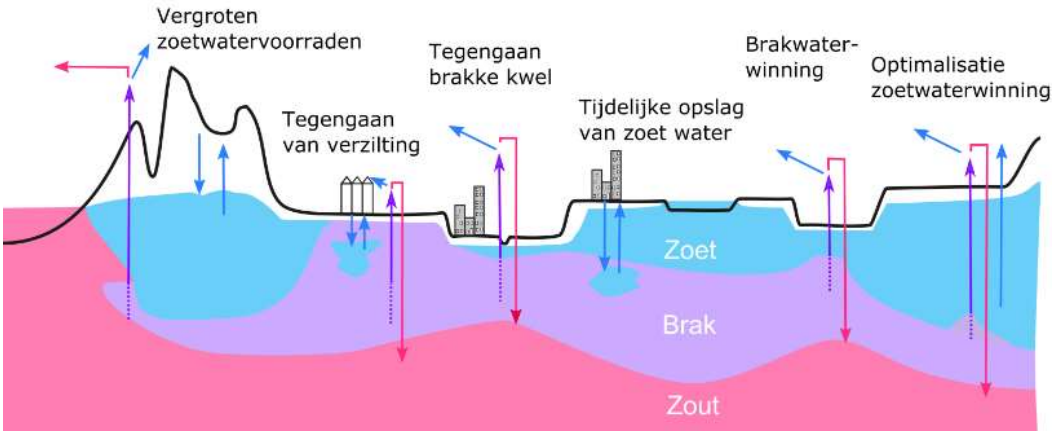
Brakke polders: grondstof voor drinkwater én verzoeting van de polder

Janneke Pouwels, Esther van Baaren, Gualbert Oude Essink, Joachim Hunink, Huite Bootsma (Deltares)

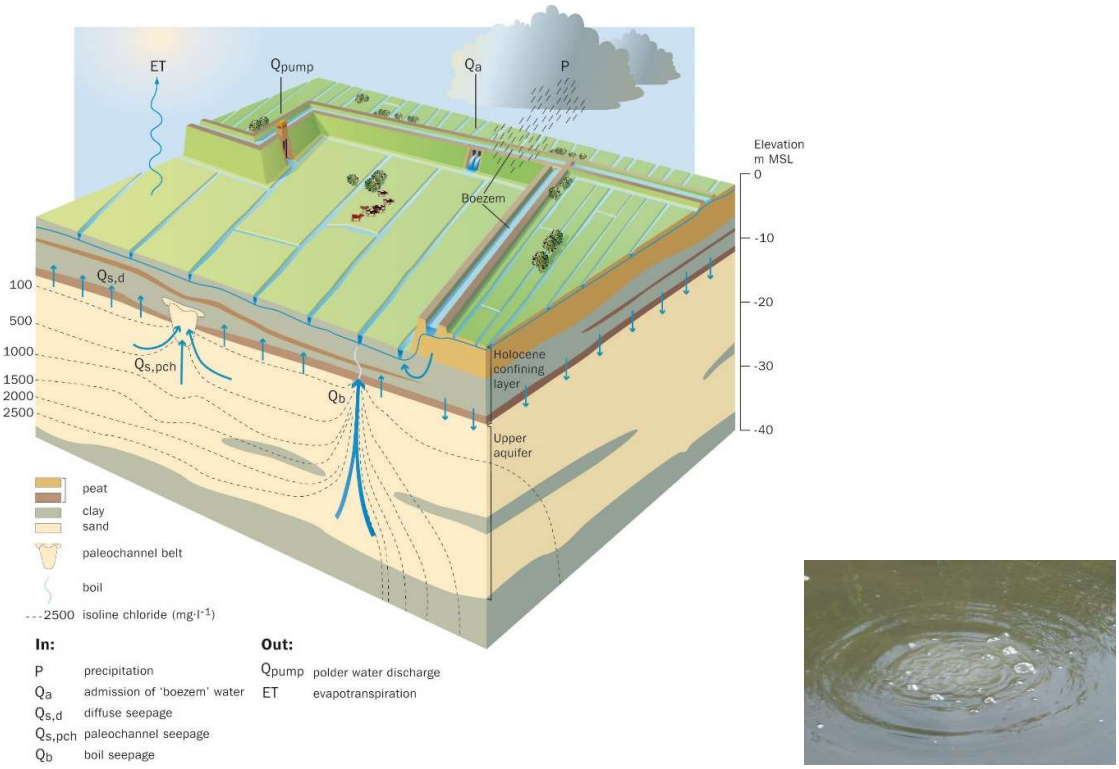
In de kustprovincies van Nederland is het grondwater vaak brak of zout, waardoor dit niet meteen kan worden gebruikt als bron voor drinkwater. Om de groeiende drinkwatervraag in de toekomst op te kunnen vangen, kan het brakke tot zoute grondwater dat opwelt vanuit de ondergrond worden opgevangen en ontzilt. Dit zou in Nederland kunnen zorgen voor een toename in de zoetwaterbeschikbaarheid van maximaal 1.800 miljoen m^3 per jaar, meer dan de huidige totale drinkwaterproductie in Nederland van ongeveer 1.150 miljoen m^3/jaar. Het afvangen van de brakke tot zoute kwel zorgt daarnaast voor een reductie van de zoutvracht en het opbarstingsrisico.

In de kustprovincies van Nederland is het grondwater vaak brak of zout. Daardoor kan dit grondwater meestal niet onmiddellijk worden gebruikt als waterbron voor huishoudelijk, industrieel en agrarisch gebruik. Door de combinatie van een groeiende zoetwatervraag door bevolkingsgroei en economische groei en klimaatverandering kan de zoetwaterschaarste in de toekomst toenemen. Op dit moment werkt een consortium van Deltares, KWR, Arcadis en Allied Waters, in nauwe samenwerking met drinkwaterbedrijven, waterschappen, gemeenten, LTO en de Provincie Zuid-Holland, aan het kennis- en innovatieprogramma COASTAR (COastal Aquifer Storage And Recovery, www.coastar.nl). COASTAR streeft naar grootschalig gebruik van de ondergrond om zoet water op te slaan voor later gebruik. Zoetwateropslag in de ondergrond overbrugt het verschil in tijd en ruimte tussen wateraanbod en -vraag op (supra-)regionale schaal. COASTAR bestrijdt tegelijkertijd verdere verzilting door brak water af te vangen en in te zetten voor de productie van zoetwater. Het via opgevangen brakke kwel onttrokken water kan worden gebruikt voor huishoudelijke, industriële of agrarische doeleinden.

COASTAR heeft een aantal maatregelen ontwikkeld die bijdragen aan een duurzame zoetwaterbeschikbaarheid (zie afbeelding 1). Deze maatregelen zijn onderzocht voor duingebieden, glastuinbouwgebieden en poldergebieden met brakke kwel. Voor deze laatste categorie zijn binnen COASTAR de maatregelen onderzocht voor de Noordplaspolder [1], een laaggelegen polder met ongeveer 8 miljoen m^3 brak kwelwater per jaar [2]. Meer dan 60 procent van de brakke kwel komt via wellen in het ondiepe grondwatersysteem terecht. Wellen zijn gaten in de deklaag die een min of meer open verbinding vormen tussen het eerste watervoerend pakket en het oppervlak. Door deze gaten stroomt brak water met grote snelheid vanuit het eerste watervoerend pakket naar het oppervlak (zie afbeelding 2) [2].



Afbeelding 1. Een schematische weergave van de COASTAR-maatregelen [3]



Afbeelding 2. Links een schematische weergave van de waterfluxen in een diepe polder, met een wel weergegeven met Q_b; rechts een foto van een wel waar water met hoge snelheid naar boven stroomt [2], [4]

De onttrekking van brakke kwel in de Noordplaspolder is doorgerekend met een regionaal 3D-zoet-zout-grondwatermodel van de provincie Zuid-Holland [5]. Uit deze analyse bleek dat de opvang van brakke kwel hydrologisch interessant is en dat per jaar acht miljoen m^3 aan brakke kwel kan worden gezuiverd tot vier tot zes miljoen m^3 drinkwater [1]. De kwelflux kan met maximaal 60 procent worden gereduceerd en dit zorgt ervoor dat de zoutbelasting naar het oppervlaktewatersysteem afneemt met 30 tot 45 procent. Afname van de zoutvracht naar het oppervlaktewatersysteem zorgt voor minder zoutschade aan landbouwgewassen. Een afname van de kwelflux zorgt er bovendien

voor dat de nutriëntenvracht naar het oppervlaktewater afneemt. Daarnaast reduceert de kans op 'opbarsting' van de deklaag. Bij opbarsting van de deklaag neemt lokaal de weerstand in de deklaag af waardoor bijvoorbeeld kades instabiel kunnen worden. Kans op opbarsting is aanwezig als de kweldruk groter is dan de tegendruk van de deklaag [6].

De op te vangen kwel heeft over een langere tijd nog steeds een constante zoutconcentratie, waardoor dit water relatief eenvoudig omgezet kan worden naar zoet water. Aangenomen wordt dat ongeveer 50 tot 75 procent van het onttrokken water door middel van omgekeerde osmose (Reverse Osmosis, RO) omgezet kan worden in zoet water van uitstekende kwaliteit, waardoor nauwelijks nabewerking nodig is. Het zout dat hierbij vrijkomt wordt samen met het overgebleven water opgevangen. Dit zoutere water wordt 'brijn' genoemd. In tegenstelling tot wat de naam doet vermoeden ('brijn is een zoutoplossing met een hogere concentratie dan zeewater), is dit minder zout dan zeewater. Dit brijn kan geïnjecteerd worden in een dieper watervoerend pakket, het kan afgevoerd worden naar zee of het kan hergebruikt worden, bijvoorbeeld om zout mee te produceren.

Het uitgewerkte voorbeeld van de Noordplaspolder toont aan dat de COASTAR-maatregel 'drinkwater uit brakke kwel' een belangrijk, haalbaar onderdeel kan zijn van het oplossen van (zoet)watervraagstukken in de regio Den Haag-Westland-Rotterdam [1]. De zoetwaterwinning uit brakke kwel is momenteel nog niet concurrerend tegen de huidige kostprijs. Als er echter naar bredere baten wordt gekeken, zoals de reductie van de doorspoelbehoefte, de zoutschade en het opbarstingsrisico, kan dit wel concurrerend zijn [7].

Om het belang en de haalbaarheid van deze maatregel voor de zoetwaterbeschikbaarheid te onderstrepen, is de potentie van de maatregel voor brakke poldergebieden in heel Nederland in kaart gebracht met behulp van een kwantitatieve analyse.

Kwantitatieve analyse op landelijke schaal

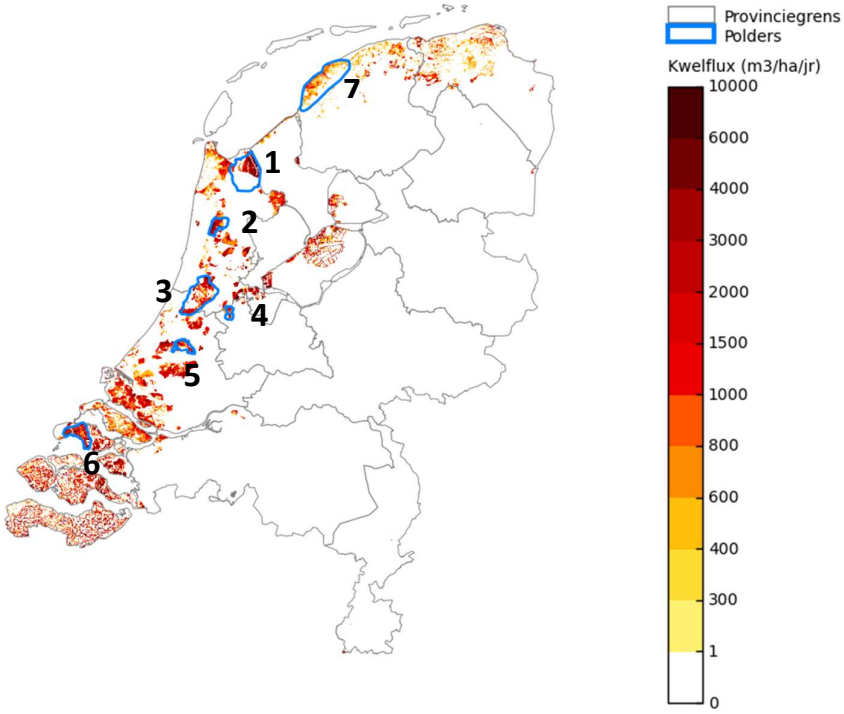
Met versie 3.4 van het Landelijk Hydrologisch Model (LHM [8]) zijn vier scenario's geanalyseerd waarbij de maatregel 'drinkwater uit brakke kwel' is toegepast in poldergebieden met brakke kwel. Deze poldergebieden zijn geselecteerd aan de hand van de volgende twee criteria [9]:

- een kwel groter dan 0,1 mm per dag;
- de scheiding tussen brak en zout grondwater minder dan 50 meter onder maaiveld.

Deze gebieden zijn weergegeven in afbeelding 3. De kwelflux in deze gebieden is weergegeven in afbeelding 4.



Afbeelding 3. De gebieden met brakke kwel waar de COASTAR-maatregel 'drinkwater uit brakke kwel' is toegepast



Afbeelding 4. De kwelflux in poldergebieden met brakke kwel. De poldergebieden waarvoor de analyses zijn uitgevoerd: 1. Wieringermeer, 2. Schermer, 3. Haarlemmermeer, 4. Groot Mijdrecht, 5. Noordplas, 6. Schouwen, 7. NW-Friesland

In de scenario's wordt de brakke kwel onttrokken en ontzilt door middel van RO. In twee scenario's is de hoeveelheid onttrokken water gelijk gesteld aan de kwelflux. Uit de COASTAR-analyses voor de Noordplaspolder blijkt namelijk dat zelfs bij deze onttrekkingsfluxen de grondwaterstanden niet te ver zullen wegzakken [1]. Omdat dit nog niet voor andere poldergebieden in Nederland is aangetoond, wordt in twee andere scenario's de helft van de kwelflux onttrokken. De scenario's zijn

zowel mét als zonder brijninjectie toegepast. Hierbij is aangenomen dat van 50 procent van de onttrokken kwel drinkwater wordt gemaakt en dat 50 procent weer wordt geïnfiltreerd als brijn in de diepere ondergrond. In tabel 1 zijn de vier toegepaste scenario's voor de jaren 1998 – 2006 samengevat.

Tabel 1. De vier scenario's

Scenario	Onttrekking	Brijninjectie
1	Gelijk aan kwelflux	Nee
2	Gelijk aan helft kwelflux	Nee
3	Gelijk aan kwelflux	Ja
4	Gelijk aan helft kwelflux	Ja

Het LHM rekent met modelcellen van 250x250 m^2. Binnen de brakke poldergebieden zijn de grondwateronttrekkingen ruimtelijk gelijkmatig verdeeld over de modelcellen in modellaag 4 van het LHM (meestal het tweede watervoerend pakket). Voor scenario's 3 en 4 zijn ook brijninjecties geplaatst, en wel in modellaag 7. Voor elk van de vier scenario's zijn de volgende variabelen bepaald voor de zeven gekozen poldergebieden (zie afbeelding 4):

- **Toename in zoetwaterbeschikbaarheid**; Deze is gelijk aan de helft van het onttrokken water, omdat aangenomen wordt dat de helft van het brakke water door middel van RO omgezet kan worden naar zoet water. De hoeveelheid onttrokken water wordt bepaald met een kwelkaart van het LHM-model [10].
- **Kwelflux**; De kwelflux is numeriek bepaald door het verschil tussen de grondwaterstand en de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket te delen door de weerstand van de deklaag, afkomstig uit het LHM-model.
- **Zoutvracht**; De zoutvracht is numeriek bepaald door de kwelflux te vermenigvuldigen met de zoutconcentratie in de onderkant van de deklaag [11].
- **Benodigde hoeveelheid water voor peilbeheer**; Dit wordt in het LHM berekend per *district* (een verzameling van een aantal stroomgebiedjes). De hoeveelheid water nodig voor peilbeheer kon alleen worden bepaald voor de polders Haarlemmermeer, Noordplas en Wieringermeer, omdat alleen bij deze polders LHM-districten voorkwamen geheel binnen de grenzen van het desbetreffende poldergebied.
- **Grondwaterstand**; De grondwaterstand is uitgedrukt in GHG (gemiddelde van drie hoogste grondwaterstanden per jaar) en GLG (gemiddelde van drie laagste grondwaterstanden per jaar).
- **Stijghoogte 1^e watervoerend pakket**; Ook de stijghoogte in het 1^e watervoerend pakket is uitgedrukt in GHG en GLG.
- **Opbarstingsrisico**; De opbarstingsindex is berekend door de massa van de deklaag te delen door de kweldruk. Wanneer deze index kleiner is dan 1.1 bestaat er een kans op opbarsting van de deklaag. Per poldergebied en per scenario is het percentage van het oppervlak berekend waarbij de opbarstingsindex kleiner is dan 1.1. Omdat deze gegevens [6] alleen beschikbaar waren voor Zuid-Holland en de directe omgeving, kon het opbarstingsrisico alleen worden berekend voor de polders Haarlemmermeer, Noordplas en Groot-Mijdrecht.

De hoeveelheid water die nodig is voor doorspoeling van de poldergebieden kon voor de scenario's niet worden bepaald met het huidige LHM. Het model neemt namelijk geen zouttransport mee in haar berekeningen, waardoor de doorspoeling in het model niet verandert bij een andere zoutvracht. Aanbevolen wordt om in een verdere analyse ook de benodigde hoeveelheid water voor doorspoeling mee te nemen.

Resultaten

In tabel 2 is per poldergebied en per scenario de toename in waterbeschikbaarheid door de COASTAR-maatregel te zien. Daarnaast laat deze tabel de afname in kwel, zoutvracht en kans op opbarsting zien. Ook de veranderingen in de hydrogeologie (grondwaterstand, stijghoogte van het eerste watervoerend pakket, hoeveelheid water nodig voor peilhandhaving) bij het toepassen van de verschillende scenario's zijn kwantitatief weergegeven.

Uit de resultaten van tabel 1 blijkt dat er per geselecteerd poldergebied jaarlijks 4 tot 24 miljoen m^3 zoet water te winnen valt als alle kwel wordt afgevangen (scenario 1). Om de bovengrens aan te geven: voor heel Nederland zou op deze manier in totaal ruim 1800 miljoen m^3/jaar aan zoetwater kunnen gewonnen worden. Ter vergelijking: dit is meer dan de totale drinkwaterproductie in Nederland, die in 2016 1.150 miljoen m^3 was [12]. Het afvangen van de helft van de kwel (scenario 2) resulteert in een verhoogde zoetwaterbeschikbaarheid van 2 tot 12 miljoen m^3/jaar per geselecteerd poldergebied.

De verandering van de kwelflux is per poldergebied weergegeven in tabel 1 en voor heel Nederland in afbeelding 5. Door het toepassen van de COASTAR-maatregel "onttrekking brakke kwel" kan de kwelflux met 6 tot wel 78 prcent gereduceerd worden, afhankelijk van het scenario, het poldergebied en de hydrogeologische omstandigheden. De kwelreductie is het grootst bij Schouwen, wat waarschijnlijk wordt veroorzaakt door relatief ondiepe onttrekkingen, omdat de geologische basis in Zeeland vrij ondiep zit. De kwelreductie is daarnaast groter bij grotere onttrekkingen en is ook kleiner bij het toepassen van brijninjectie, hoewel dit effect bij het onttrekken van de helft van de kwel minimaal is. Verder valt op dat de kwelreductie ook effect heeft in een zone rondom de poldergebieden waar onttrokken wordt.

Afbeelding 6 geeft de reductie van de zoutvracht voor heel Nederland weer. Ook hier is het effect ook op enige afstand van de onttrekkingen, dus buiten de poldergebieden zelf, merkbaar. In de geselecteerde poldergebieden neemt de zoutvracht met 9 tot 66 procent af, met de grootste afname in Schouwen en de kleinste in Noordwest-Friesland.

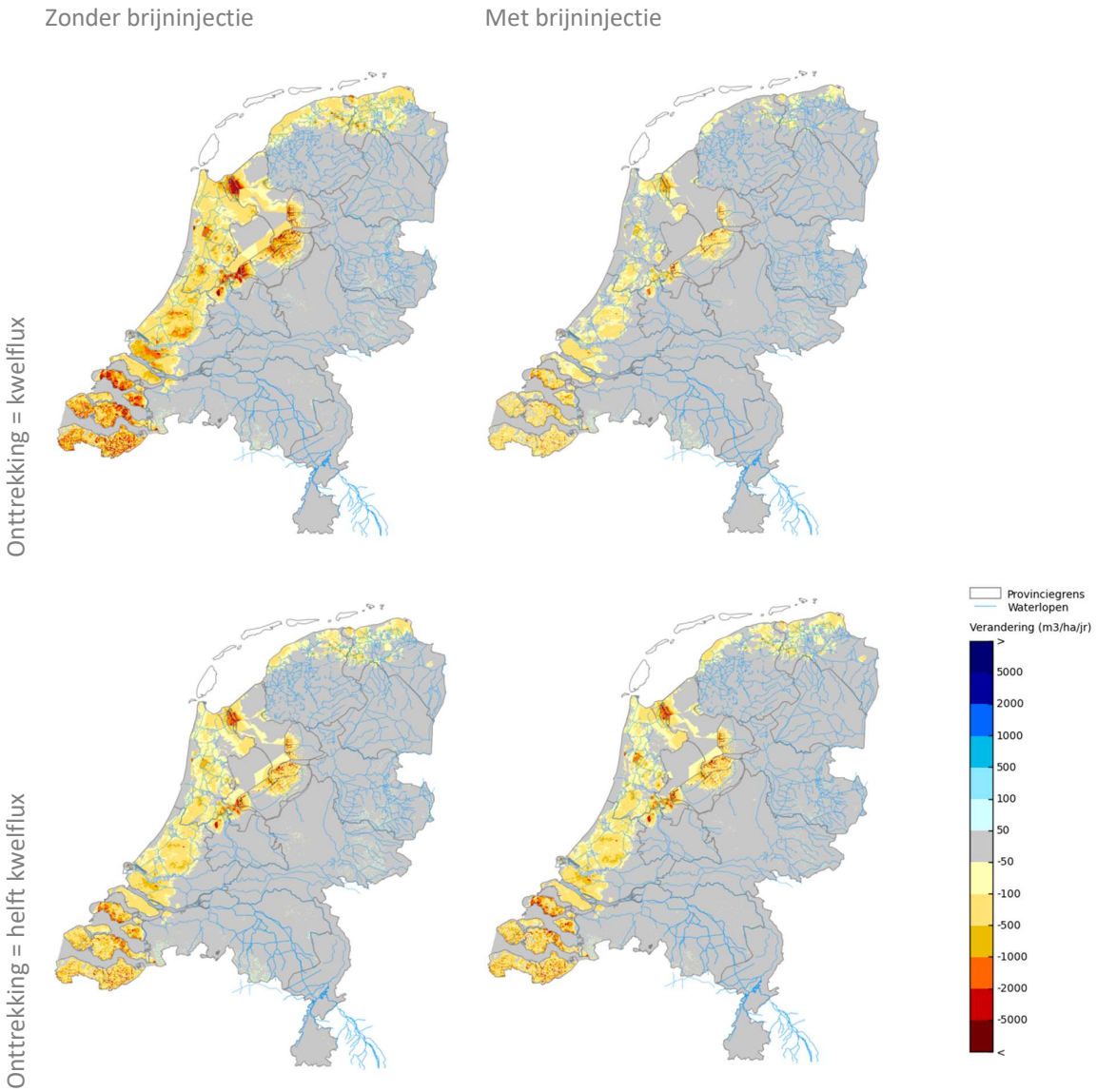
Tabel 2. De zoetwaterbeschikbaarheid, kwelflux, zoutvracht, benodigd water voor peilbeheer, grondwaterstand, stijghoogte 1e watervoerend pakket en opbarstingsrisico per poldergebied, per scenario. Scenario 0 is de referentiesituatie

	Scenario	Groot Mijdrecht (20 km²)	Haarlemmermeer (180 km²)	NW-Friesland (250 km²)	Noordplas (42 km2)	Schouwen (80 km2)	Schermer (50 km²)	Wieringermeer (200 km²)
Extra zoetwater-beschikbaar-heid [Mm³/jr]	0							
	1	5	8	4	4	9	4	24
	2	2	4	2	2	5	2	12
	3	5	8	4	4	9	4	24
	4	2	4	2	2	5	2	12
Kwel [Mm³/jr]	0	16	25	10	8	18	10	72
	1	11	17	6	4	4	6	38
	2	14	21	8	6	11	8	55
	3	15	23	9	7	14	9	63
	4	14	21	8	6	10	7	54
Zoutvracht [kiloton/jr]	0	24	16	58	3	230	38	272
	1	14	11	39	2	78	19	127
	2	19	13	48	3	148	28	197
	3	21	15	53	3	179	31	231
	4	19	13	48	3	133	25	191
Benodigde hoeveelheid water voor peilbeheer [Mm³/jr]	0		0.08		0.08			0.10
	1		0.12		0.14			0.18
	2		0.10		0.10			0.13
	3		0.09		0.09			0.11
	4		0.10		0.10			0.13
Grondwater-stand GHG en GLG [m-mv]	0	0.30 - 0.68	0.65 - 1.41	0.97 - 1.66	0.56 - 1.29	0.61 - 1.25	0.52 - 1.14	0.73 - 1.36
	1	0.31 - 0.73	0.67 - 1.47	0.98 - 1.68	0.58 - 1.37	0.69 - 1.48	0.55 - 1.22	0.79 - 1.46
	2	0.31 - 0.71	0.66 - 1.44	0.97 - 1.67	0.57 - 1.33	0.64 - 1.35	0.53 - 1.18	0.76 - 1.40
	3	0.30 - 0.70	0.65 - 1.42	0.97 - 1.66	0.56 - 1.31	0.63 - 1.30	0.53 - 1.16	0.74 - 1.38
	4	0.31 - 0.71	0.66 - 1.44	0.97 - 1.67	0.57 - 1.33	0.65 - 1.37	0.54 - 1.19	0.76 - 1.41
Stijghoogte 1ste WVP GHG en GLG [m-mv]	0	-0.32 - 0.14	0.32 - 0.75	0.91 - 1.44	0.07 - 0.56	0.46 - 1.01	-0.40 - 0.07	0.19 - 0.67
	1	-0.14 - 0.07	0.52 - 0.97	0.98 - 1.52	0.35 - 0.89	0.67 - 1.37	0.03 - 0.54	0.50 - 1.02

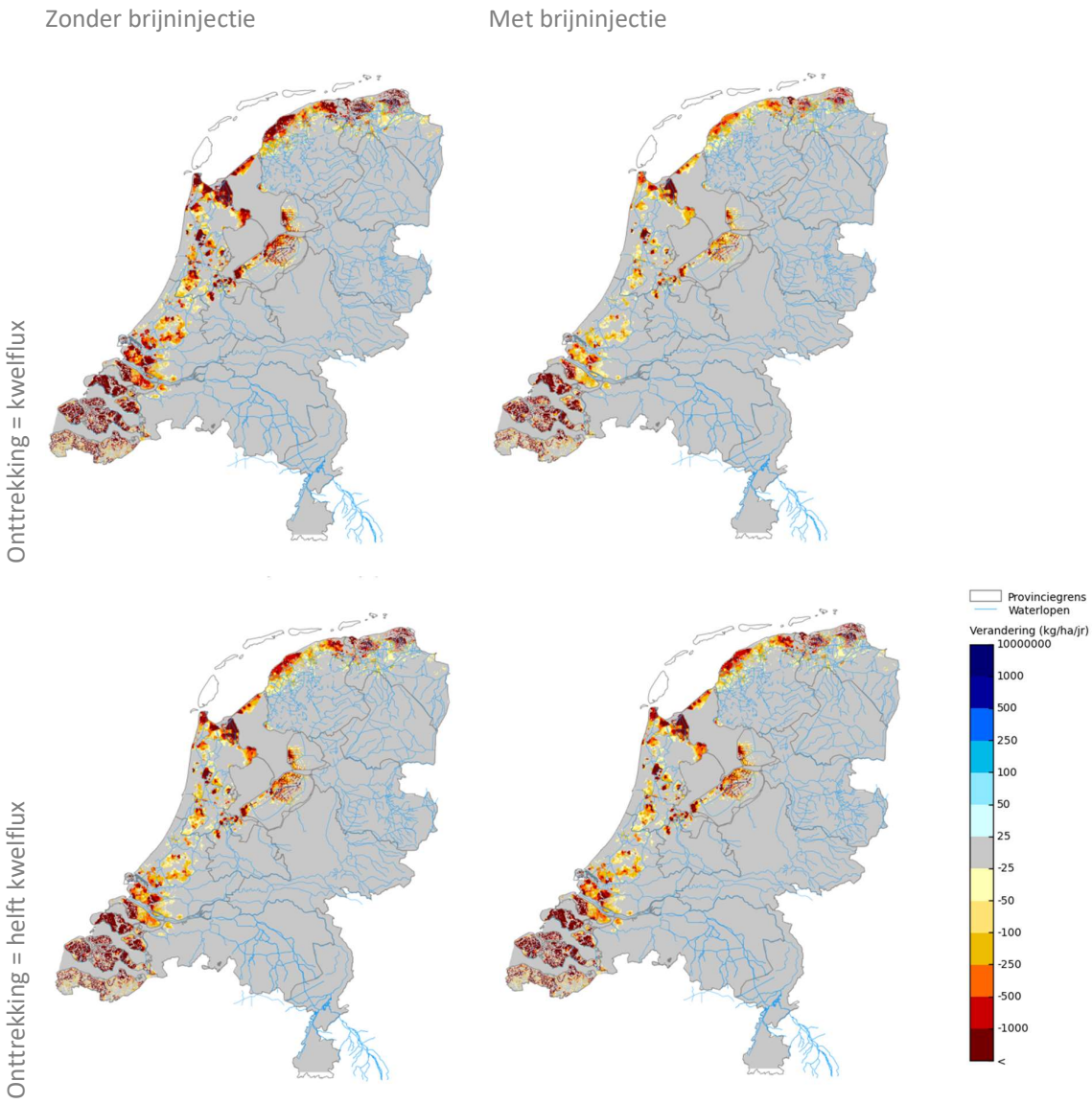
	2	-0.23 - -0.03	0.42 - 0.86	0.95 - 1.48	0.21 - 0.72	0.56 - 1.18	-0.18 - 0.30	0.34 - 0.84
	3	-0.28 - -0.08	0.37 - 0.80	0.93 - 1.46	0.14 - 0.64	0.52 - 1.10	-0.27 - 0.21	0.26 - 0.75
	4	-0.23 - -0.03	0.42 - 0.86	0.95 - 1.48	0.21 - 0.72	0.58 - 1.20	-0.13 - 0.36	0.34 - 0.84
Gedeelte van poldergebied met opbarstings-risico [‰]	0	92	0.7		2.6			
	1	42	0.5		0.7			
	2	63	0.6		2.1			
	3	83	0.6		2.6			
	4	63	0.6		2.1			

Het peilbeheer kon alleen bepaald worden voor de polders Haarlemmermeer, Noordplas en Wieringermeer. De hoeveelheid water die hiervoor nodig is neemt toe, waarbij de meeste toename plaatsvindt bij onttrekkingen gelijk aan de kwelflux, zonder brijninjectie. Door het toepassen van COASTAR-maatregelen is er 10 tot 80 duizend m^3/jaar meer nodig voor peilhandhaving, maar deze getallen vallen in het niet bij de extra zoetwaterbeschikbaarheid van 2 tot 24 miljoen m^3/jaar.

De grondwaterstanden dalen met maximaal 23 centimeter, waardoor effecten van de grondwaterstanddalingen laag zullen zijn. De stijghoogte van het eerste watervoerend pakket kan wel tot 36 centimeter dalen, maar deze stijghoogte heeft bovengronds veel minder effect en zal daarom minder belangrijk voor bovengronds landgebruik. Tabel 1 laat verder een daling zien in het landoppervlak per poldergebied met een opbarstingsrisico. Groot-Mijdrecht heeft momenteel relatief gezien een groot landoppervlak met een opbarstingsrisico. Bij de Noordplas en het Wieringermeer is dit relatieve oppervlak veel kleiner.



Afbeelding 5. De verandering in de kwel (m^3/ha/jr) bij onttrekkingen gelijk aan de kwelflux (boven) of de helft van de kwelflux (onder). Deze situaties zijn toegepast zonder (links) en met brijninjectie (rechts). Gele/rode kleuren geven een afname van de kwel weer



Afbeelding 6. De verandering van de zoutvracht (kg/ha/jr) bij onttrekkingen gelijk aan de kwelflux (boven) of de helft van de kwelflux (onder). Deze situaties zijn toegepast zonder brijninjectie (links) en met brijninjectie (figuren rechts). Gele/rode kleuren geven een afname van de zoutvracht weer

Conclusies en aanbevelingen

Deze eerste analyse toont aan dat het afvangen van kwel voor een significant hogere zoetwaterbeschikbaarheid zorgt, tot wel ruim 1.800 miljoen m^3 per jaar. Hierdoor kunnen toekomstige zoetwatertekorten veroorzaakt door klimaatverandering en een grotere watervraag mogelijk worden opgevangen. Het afvangen van de kwel zorgt daarnaast voor een vermindering van de zoutvracht in laag Nederland van 9 tot 66 procent, waardoor gewassen minder zoutschade zullen ondervinden. Ook zal de nutriëntenvracht naar de sloten afnemen door het afvangen van de kwel, waardoor de waterkwaliteit in de sloten verbetert. Verder zorgt de verlaging van de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket voor een reductie in het opbarstingsrisico, waardoor mogelijk

minder herstelwerkzaamheden nodig zijn om bijvoorbeeld instabiele kades als gevolg van opbarsting te repareren.

Er is wel meer water nodig om het peilbeheer te handhaven, maar dit is minder dan 1 procent van de extra zoetwaterwinning die bereikt wordt. Aan de andere kant zal er minder water nodig zijn voor de doorspoeling van de sloten, vanwege de verminderde zoutvracht.

Deze analyse is uitgevoerd met het LHM 3.4, dat geen dichtheidsverschillen in het grondwater meeneemt in haar berekeningen. Dit moet in acht worden genomen bij het interpreteren en gebruiken van de resultaten van deze analyse. Aanbevolen wordt om de analyse opnieuw uit te voeren als dichtheidsverschillen zijn opgenomen in het LHM. Ook wordt aanbevolen om de zoet-brak-zout-verdeling van het grondwater verder te karteren. Nu zijn zoutconcentraties gebaseerd op interpolatie van enkele puntmetingen.

De berekeningen zijn uitgevoerd onder de aanname dat het polderwater van voldoende kwaliteit (zoet) moet blijven. Voor de toekomst is het interessant om ook te onderzoeken of COASTAR een alternatief kan zijn voor gebruik van zoet water in perioden van extreme droogte. Voor peilhandhaving en doorspoelen kan dan wellicht een hogere chlorideconcentratie geaccepteerd worden, omdat voor bijvoorbeeld beregening van gewassen COASTAR beschikbaar is. Wij bevelen verdere uitwerking van deze toepassing aan.

Vanwege alle positieve effecten van het wegnemen van de kwel op de hydrologie, landbouw, stabiliteit van de ondergrond en de waterkwaliteit, wordt aanbevolen de COASTAR-maatregelen verder uit te werken op technisch, beleids-, organisatorisch en juridisch vlak (EU-regelgeving, verantwoordelijkheden etc.) en uiteindelijk ook echt in de praktijk te brengen, te beginnen in een aantal pilotprojecten. Dit is in lijn met de intentieverklaring die op 18 mei 2018 door elf partijen is ondertekend (zie www.coastar.nl).

Referenties

1. Stofberg, S.F., Zuurbier, K.G., Janssen, G., Oude Essink, G.H.P., Van Baaren, E.S., Boonekamp, A.M.H., De Buck, W., Huizebos, J., Schetters, M., & Zwolsman, G. (2018). COASTAR. Verkennende strategische brakwaterwinning. KWR2018.028.

2. De Louw, P.G.B., van der Velde, Y. & Van Der Zee, S.E.A.T.M. (2013). Quantifying water and salt fluxes in a lowland polder catchment dominated by boil seepage: a probabilistic end-member mixing approach, Hydrol. Earth Syst. Sci., 15(7), 2101–2117, doi:10.5194/hess-15-2101-2011, 2011.

3. COASTAR, www.coastar.nl

4. De Louw, P.G.B. (2013). Saline seepage in deltaic areas. Preferential groundwater discharge through boils and interactions between thin rainwater lenses and upward saline seepage. PhD thesis, Vrije Universiteit Amsterdam, ISBN/EAN 9789461085429.

5. Oude Essink, G.H.P., van Baaren, E.S., & De Louw, P.G.B. (2010). Effects of climate change on coastal groundwater systems: A modeling study in the Netherlands. Water Resources Research, 46(10), 1-16. https://doi.org/10.1029/2009WR008719)

6. Erkens, G., De Louw, P.G.B., Bootsma, H., Stafleu, J., Van den Akker, J. & Kooi, H. (2018). Huidig en toekomstig opbarstingsrisico in de provincie Zuid-Holland, Deltares rapport 11200024.

7. Postma, J.C. en Klooster, J.P.G.N. (2018): COASTAR. Kosten, baten en financiering van drie cases in de regio Rotterdam – Westland – Den Haag. Arcadis C03091.000163.

8. Landelijk Hydrologisch Instrumentarium, www.nhi.nu

9. Galvis Rodriguez, S., Oude Essink, G.H.P. & Van Baaren, E. (2018). COASTAR leaflet.

10. De Louw, P., Sànchez, M.F., Oude Essink, G., Prinsen, G., Van der Bolt, F., Vergroesen, T., en Van Walsum, P (2014).: Integrale analyse Zout NHI 3.01 en aanbevelingen voor NHI 3.02 en verder.

11. Oude Essink, G.H.P., Houtman, H. en Goes, B.J.M. (2005): Chloride-concentratie onderkant deklaag in Nederland, TNO-rapport, NITG 05-056-A, Utrecht.

12. Geudens, P.J.J.G. & Van Grootveld, J. (2017). Drinkwaterstatistieken 2017. Vewin.