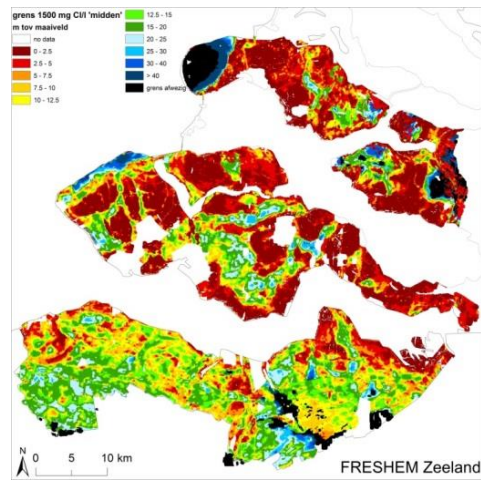
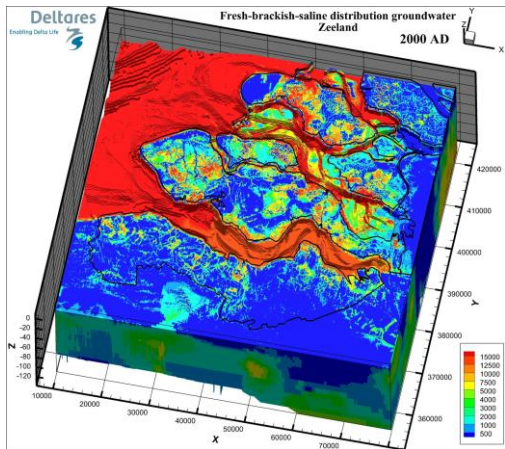
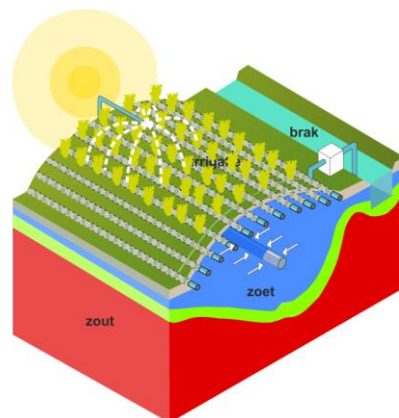
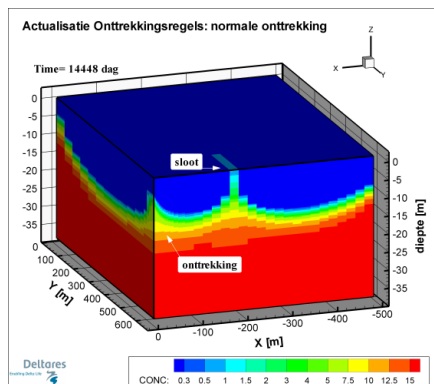


# Zoet grondwater in de Zuidwestelijke Delta

## Een schat onder druk



Gualbert Oude Essink, PhD, en vele anderen



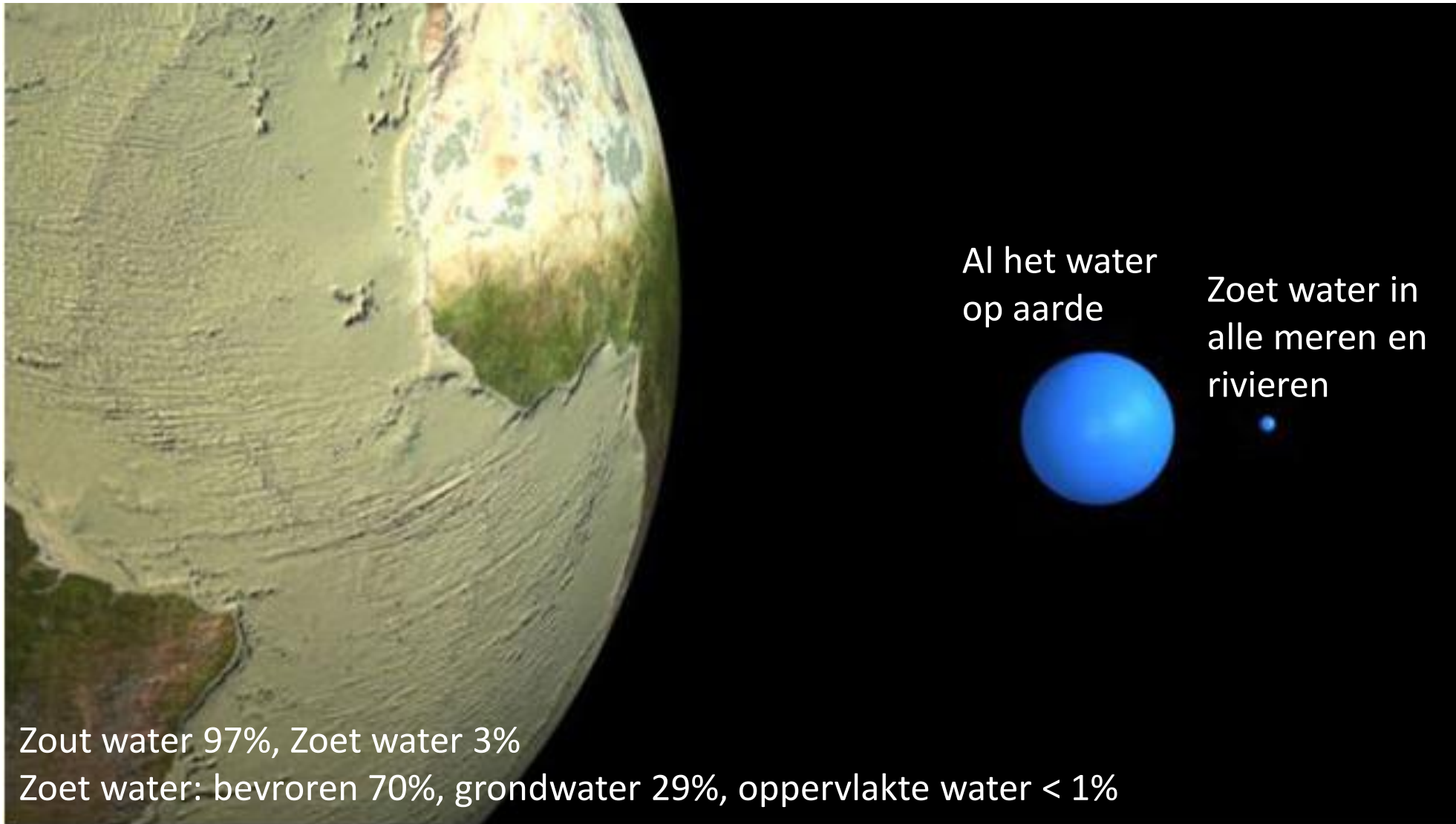
# Zuidwestelijke Delta

**Deltares**

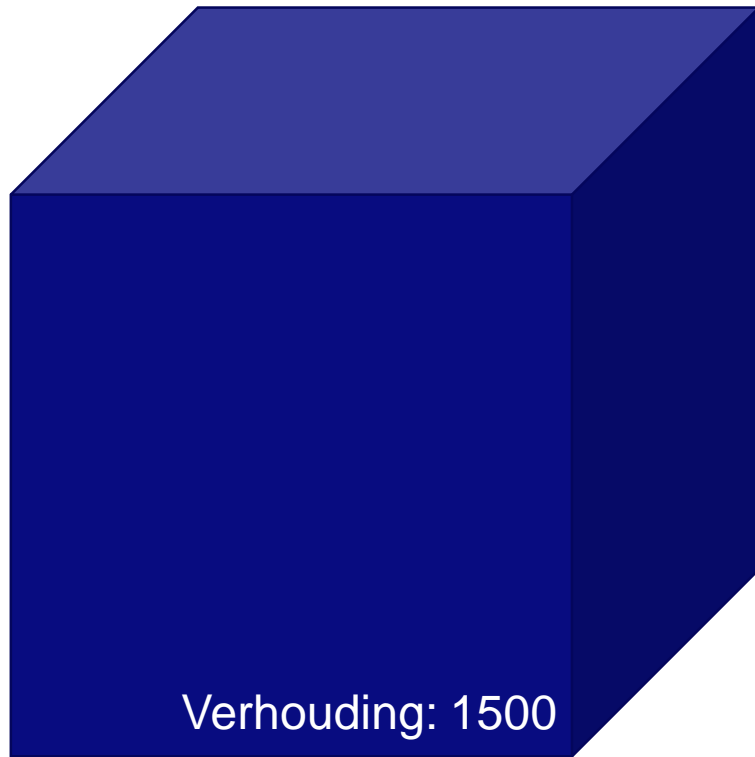
20231005, Kenniscommunity dag ZWD



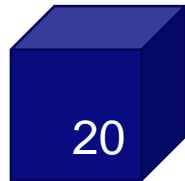
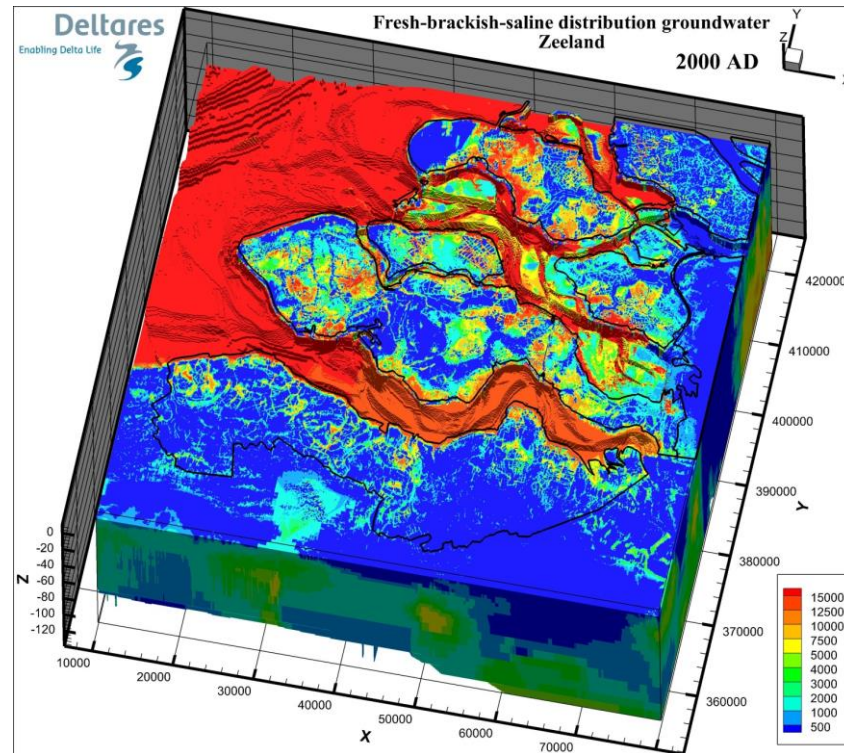
# Zoet water is schaars



# Zoet grondwater in Zeeland



in ondergrond Zeeland beschikbaar  
~35 miljard m<sup>3</sup> zoet water



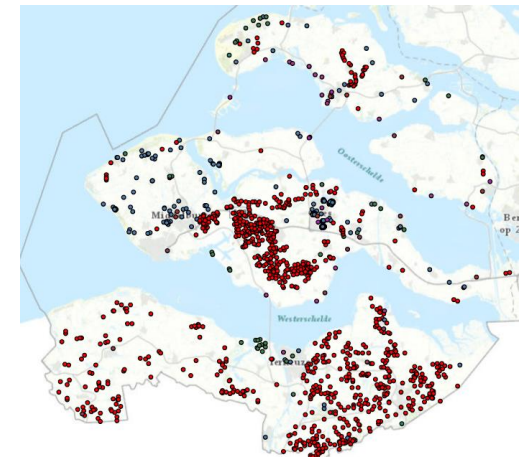
grondwateraanvulling  
~0,5 miljard m<sup>3</sup>/jaar



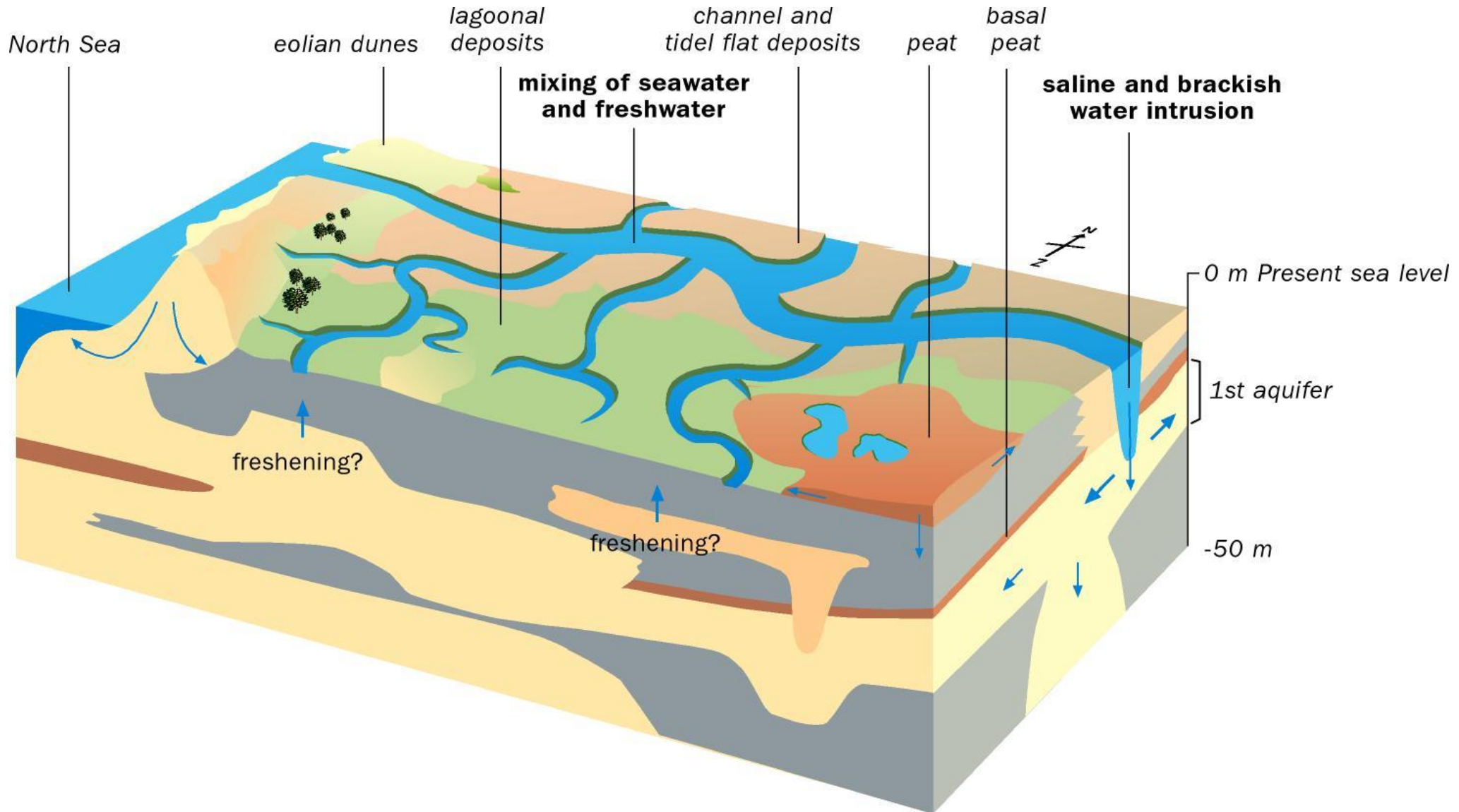
grondwateronttrekking  
~25 miljoen m<sup>3</sup>/jaar

- Schouwen-Duiveland: 1.4 km<sup>3</sup>
- Walcheren, Beveland, etc: 8.0 km<sup>3</sup>
- Zeeuws-Vlaanderen: 26.0 km<sup>3</sup>

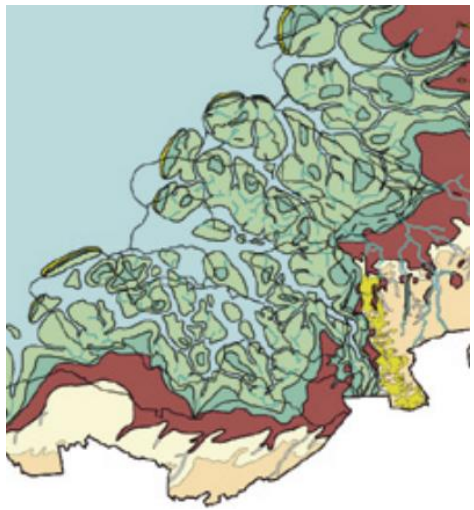
(geheel NL: ~1100 km<sup>3</sup>)



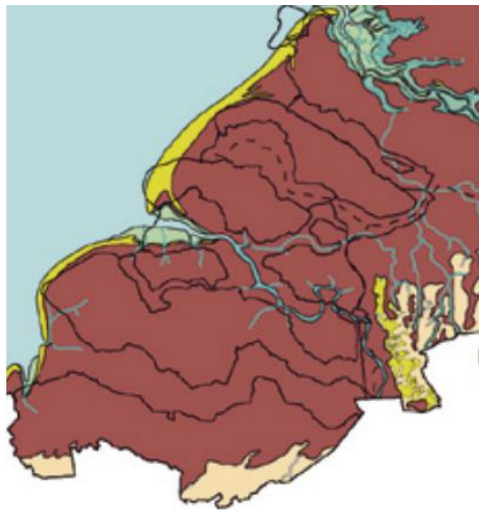
# Nederland in verleden, vóór menselijke invloeden (~4000 vChr.)



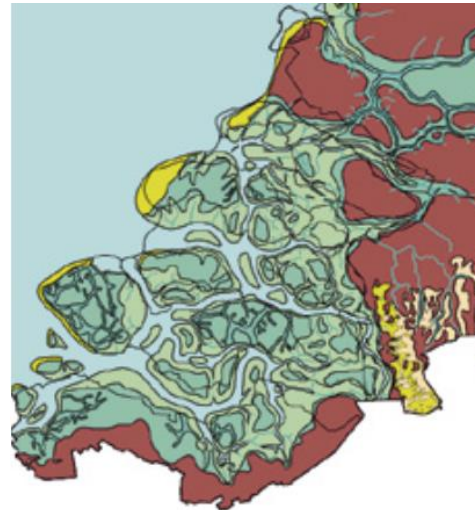
# Landschappelijke ontwikkeling over de laatste ~6000 jaar



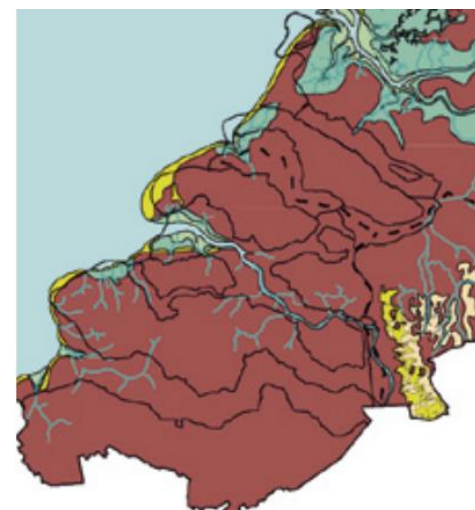
3850 v. Chr.



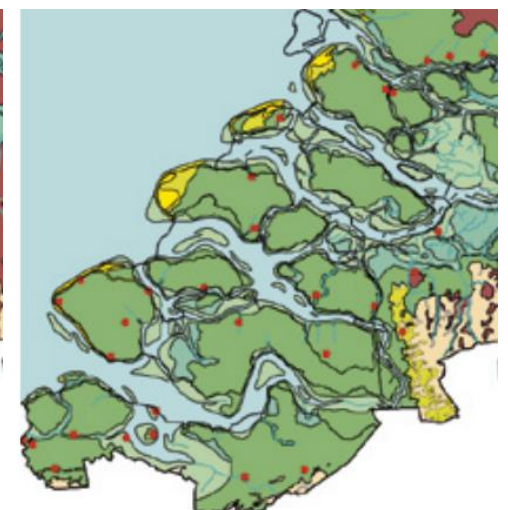
1500 v. Chr.



800 n. Chr.



100 n. Chr.

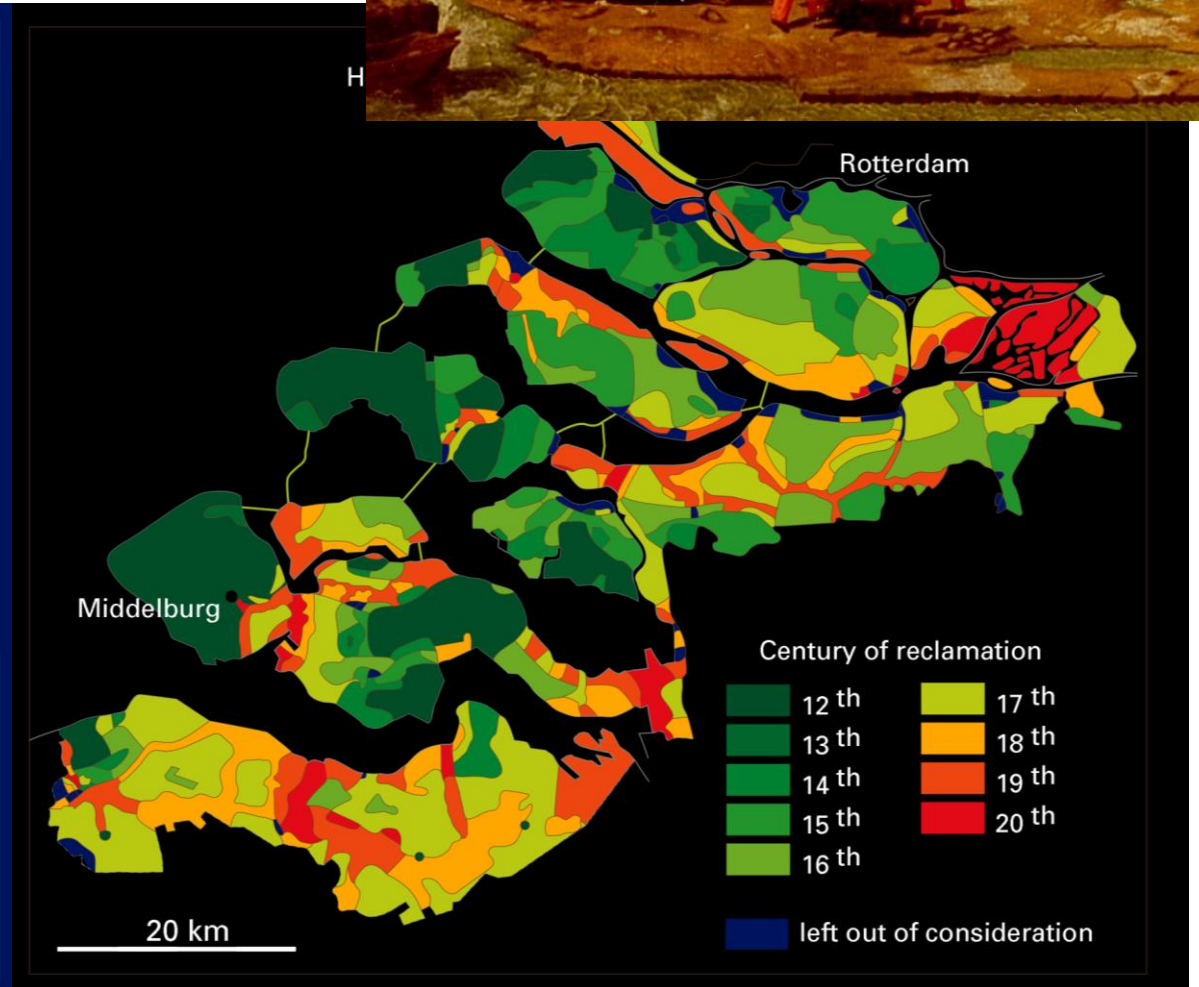
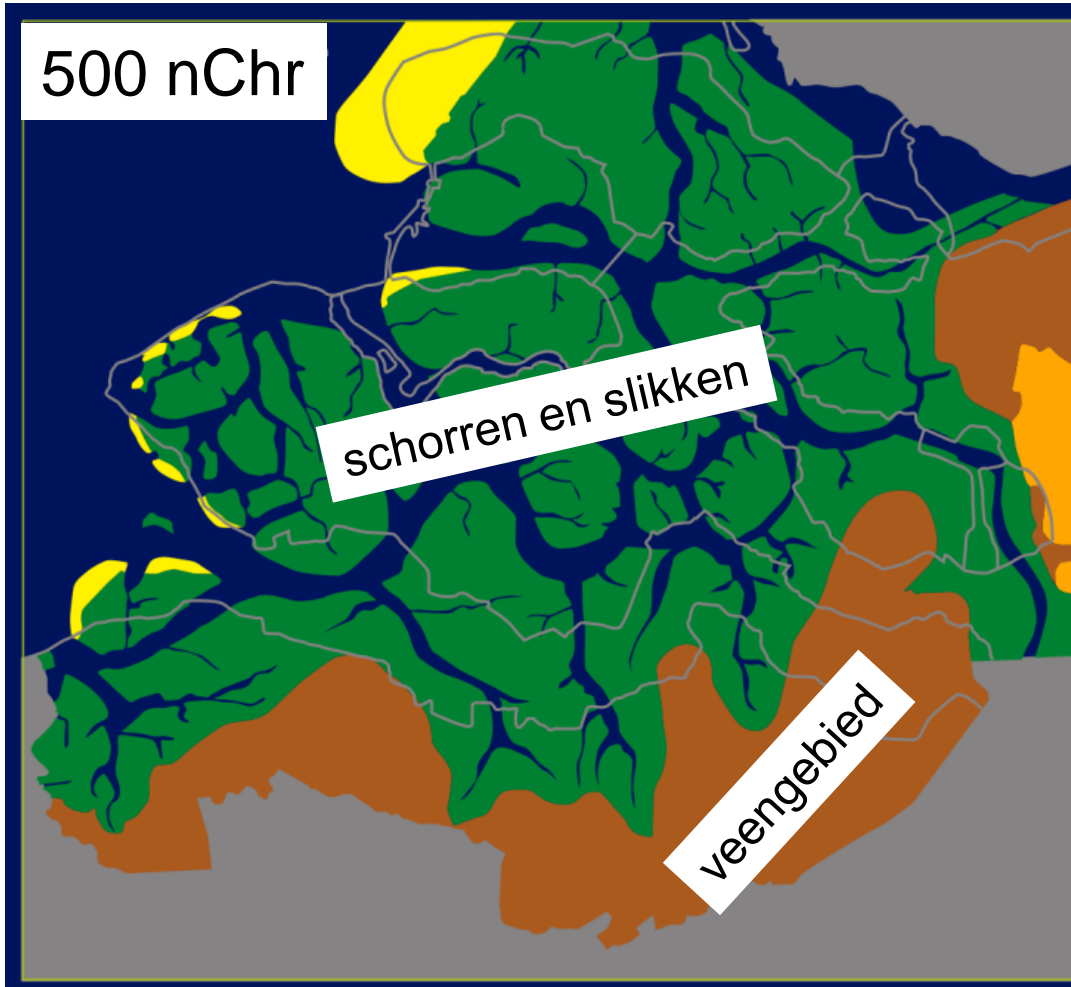


1500 n. Chr.

Zoet grondwater in de Zuidwestelijke Delta: een schat onder druk

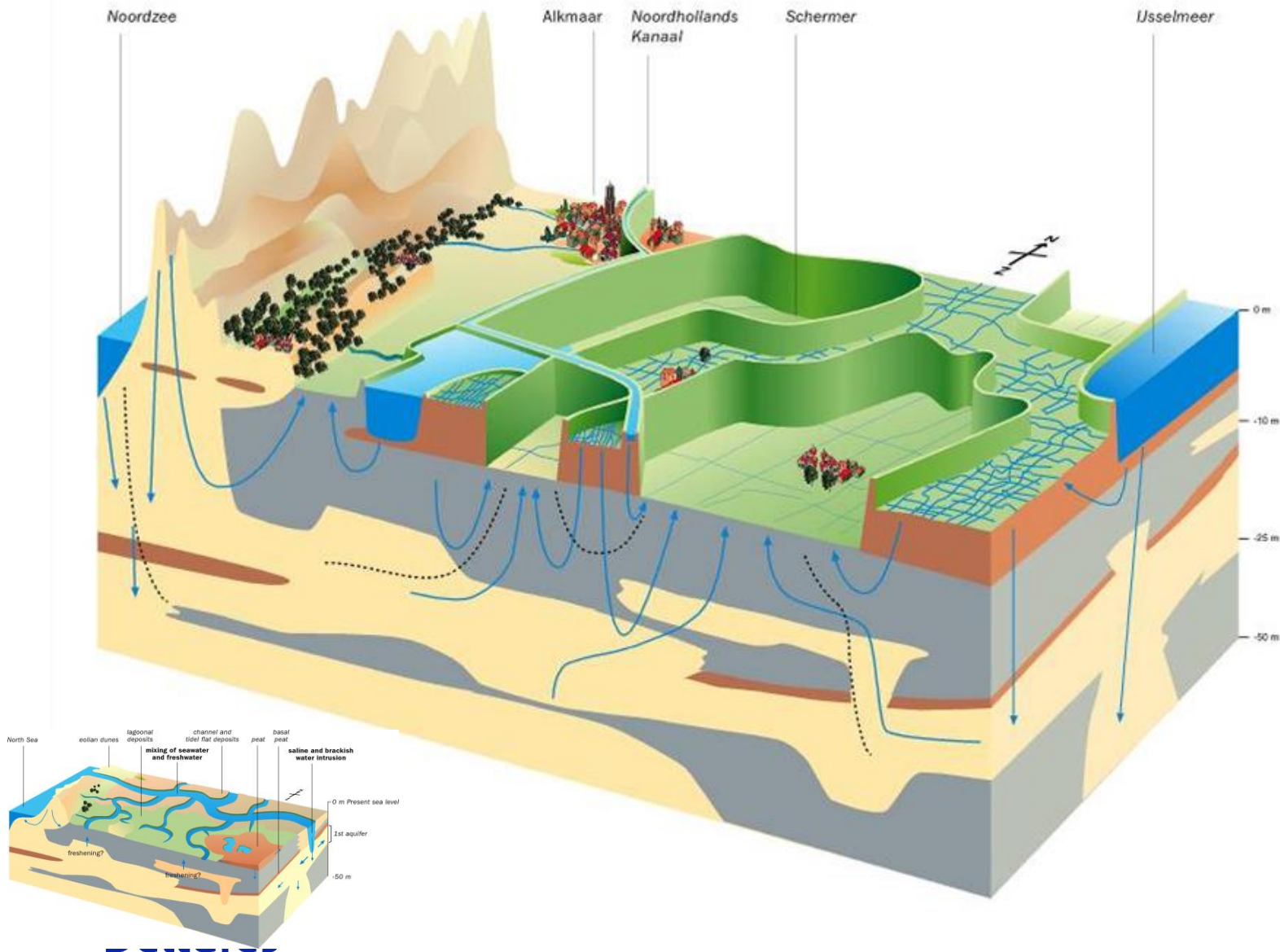
Vos, P.C., 2015. Origin of the Dutch coastal landscapes; Long-term landscape evolution of the Netherlands during the Holocene, described and visualized in national, regional and local palaeogeographical map series. Utrecht University.

# Vorming van het Zeeuwse landschap



Zoet grondwater in de Zuidwestelijke Delta: een schat onder druk

# Het huidige grondwatersysteem in Nederland



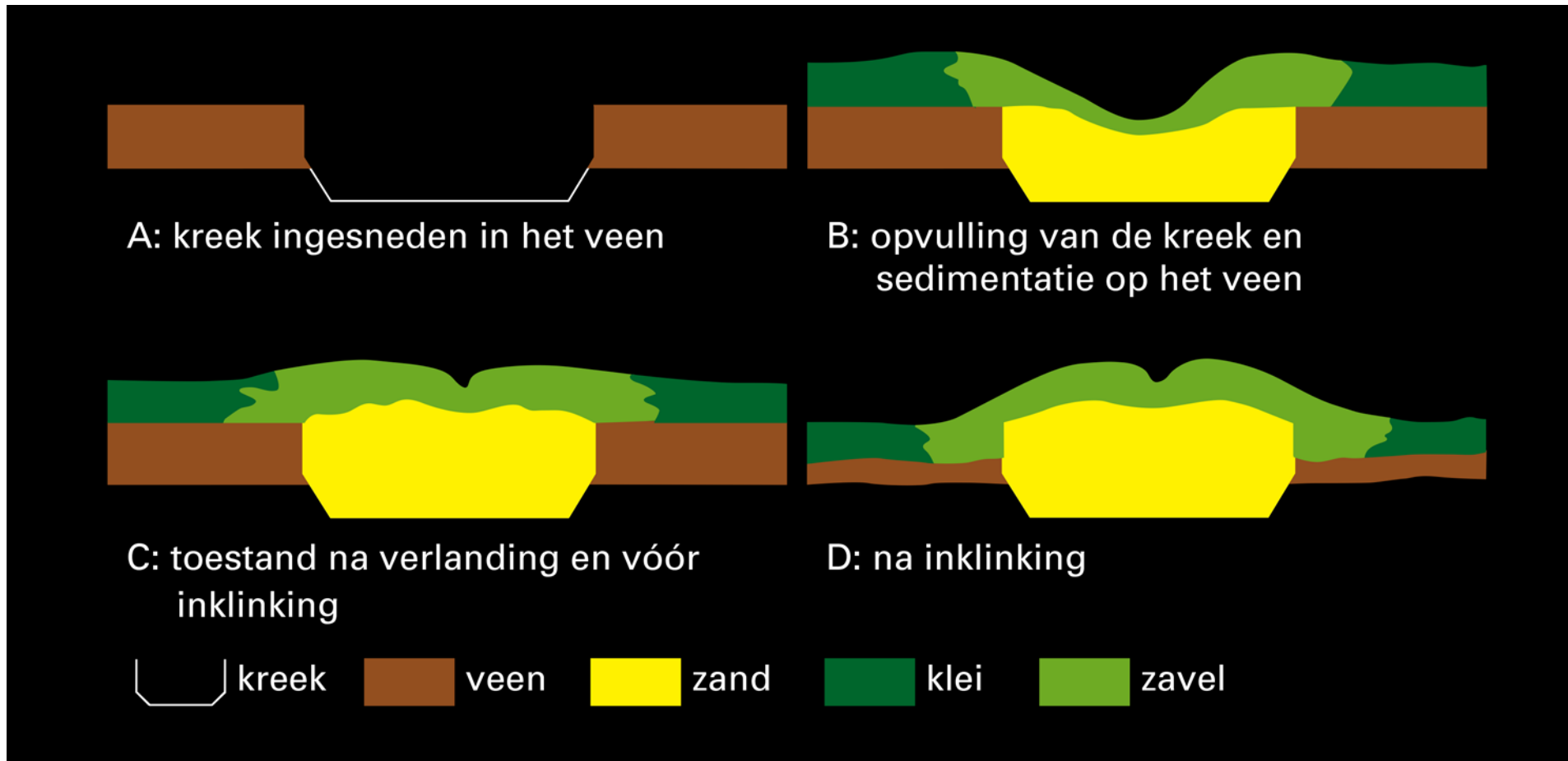
**Peilverlagingen** in het verleden hebben **grondwaterstromingen** richting binnenland veroorzaakt

Historie (palaeohydrogeologie) belangrijk: grondwaterstroming is een **traag proces**

Het **verleden heeft nog steeds invloed** op de **verdeling** van zoet-brak-zout grondwater

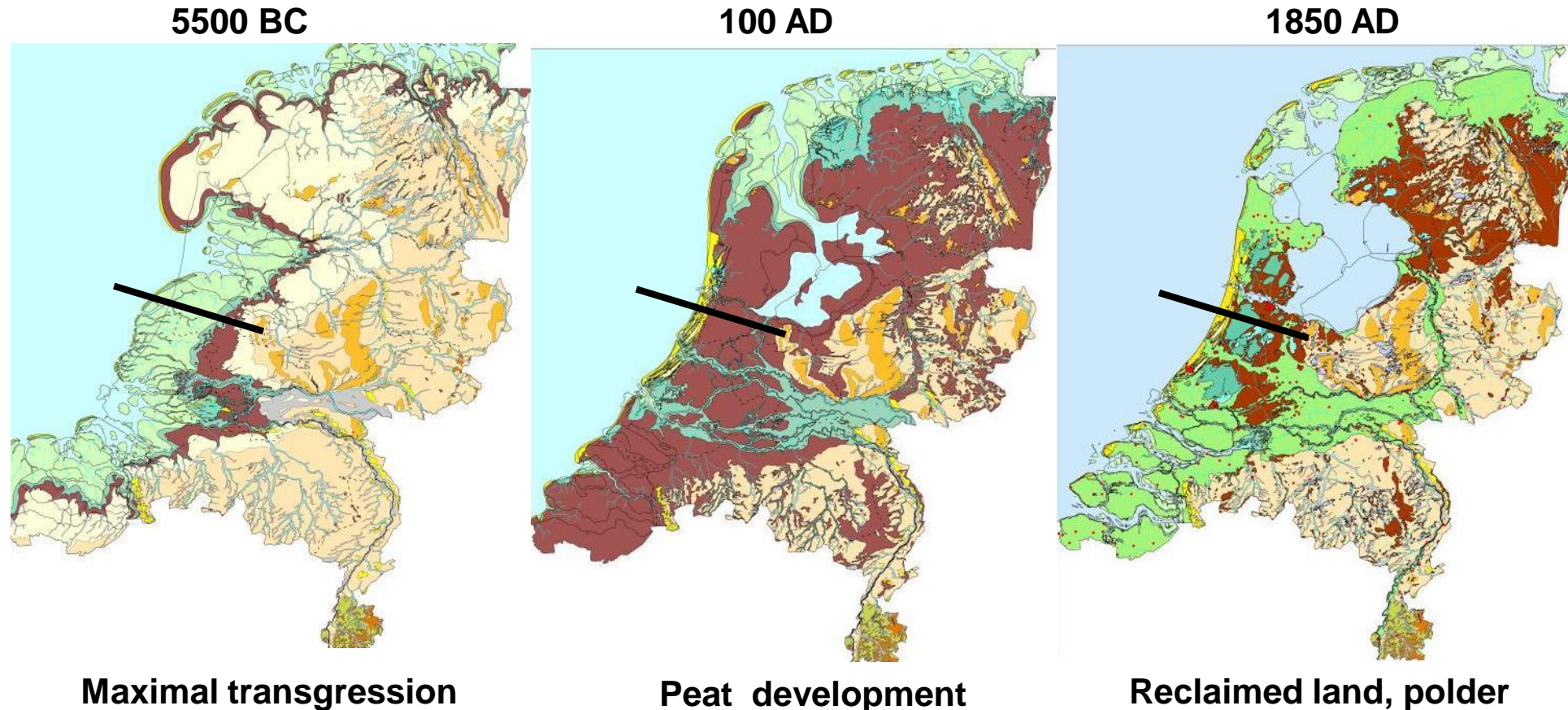
Zoet-zout verdeling kan op **korte afstand sterk variëren**

# Kreekruggen: door inklinking nu hoger dan omgeving





# Example: paleo hydrogeographical reconstructions, Holland



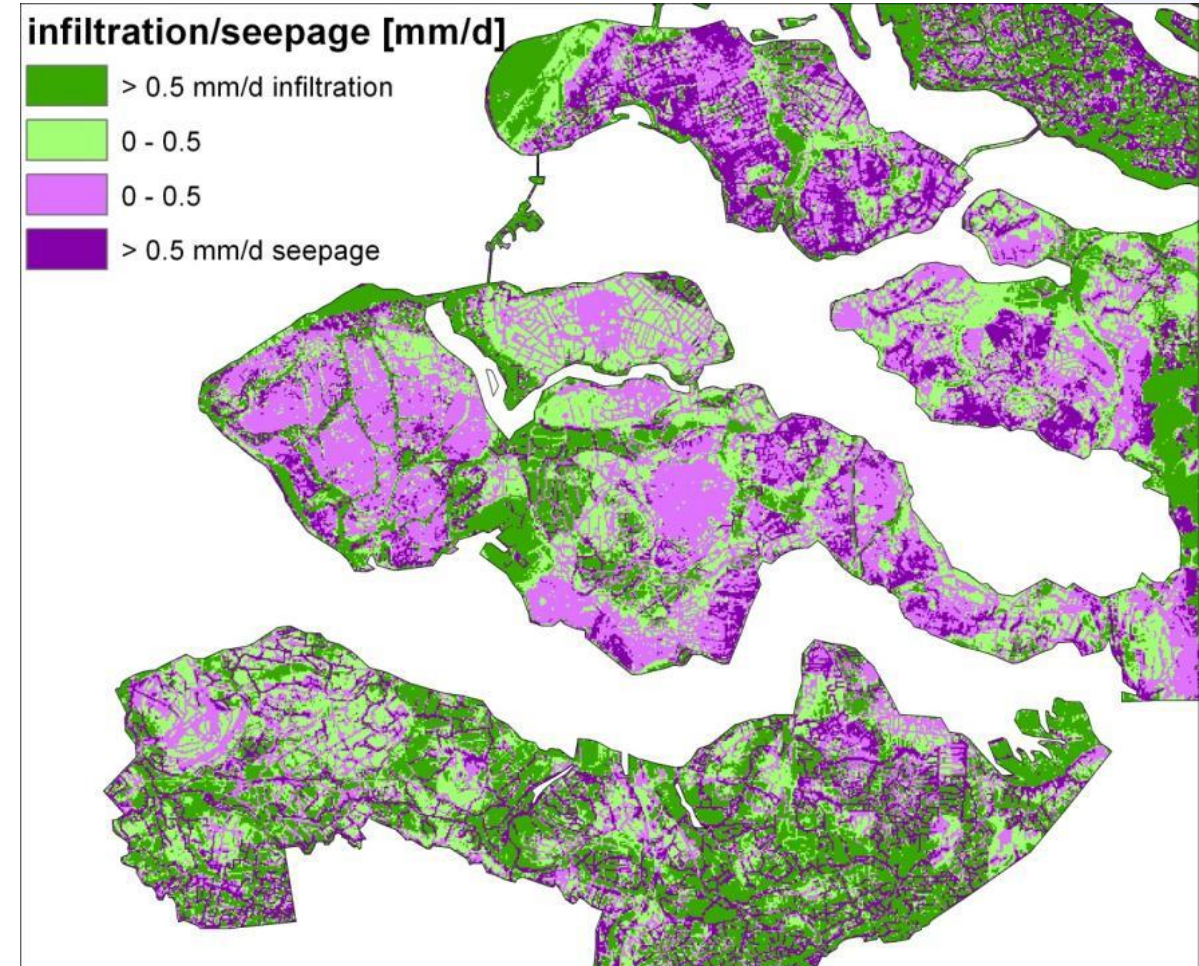
To better estimate the initial fresh-saline distribution and groundwater fluxes

Uitleg en computeranimatie video op: <https://www.nemokennislink.nl/publicaties/oud-zout-rukt-op/>

Article: 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(10), 3891–3905, doi: [10.5194/hess-18-3891-2014](https://doi.org/10.5194/hess-18-3891-2014).

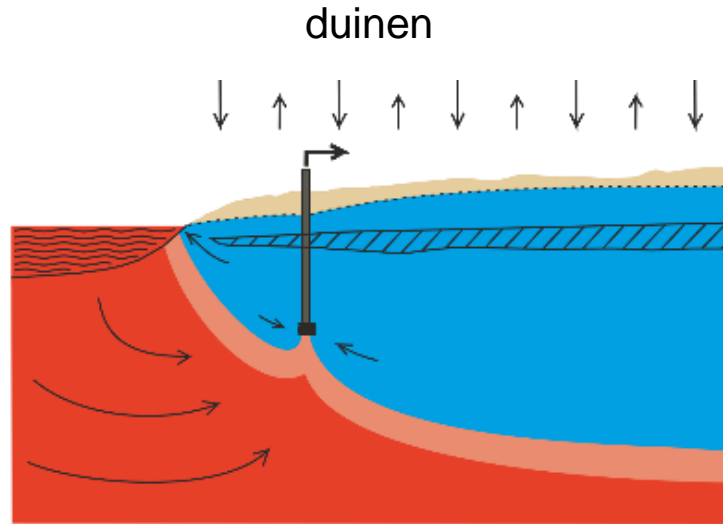
# Wat betekent dit voor het grondwater?

- Grondwater is op geringe diepte brak tot zout, in de bodem gezakt toen Zeeland nog zee was
- Met name oud land ligt onder zeeniveau: brak grondwater stroomt naar oppervlakte
- Patroon van brakke kwel in poelgronden, en diepere zoetwaterlenzen onder kreekkruggen
- Dunne regenwaterlenzen in poelgronden
- Kwel wordt 'aangetrokken' door sloten: in nieuw land met name sloten zout

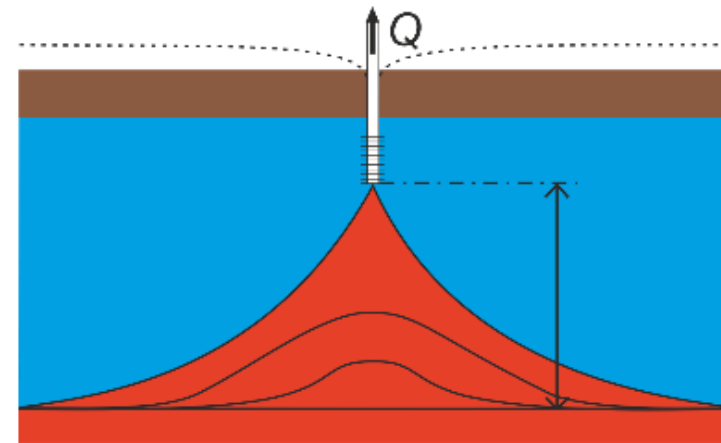


Paarse kleuren: (brakke) kwel: grondwater stroomt naar boven  
Groene kleuren: neerslag infiltreert: diepere zoetwaterlenzen

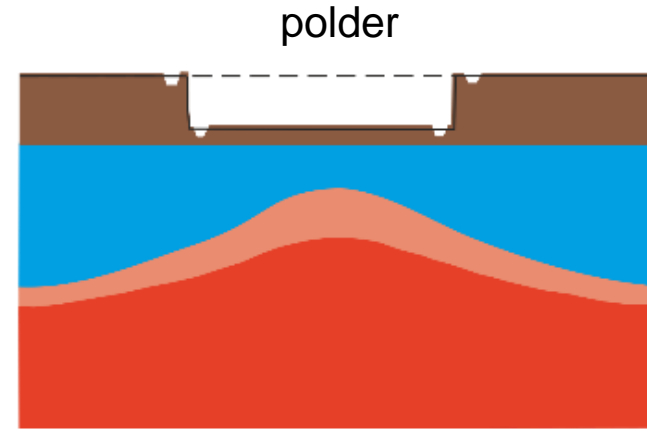
# Lokale verziltingsprocessen in het grondwatersysteem



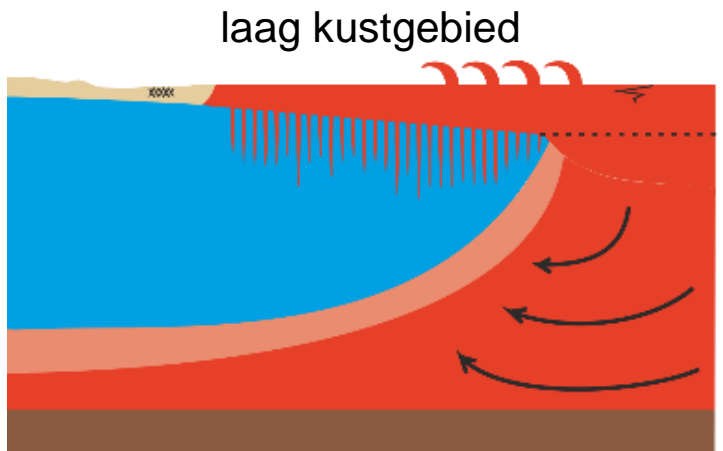
a. zoutwaterintrusie (lateraal)



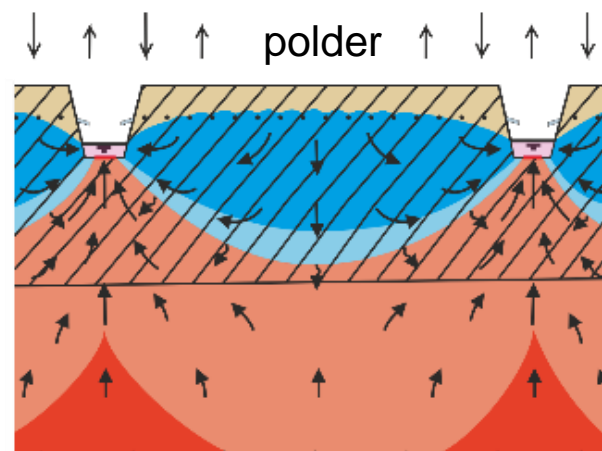
b. opkegeling onder een onttrekkingsput



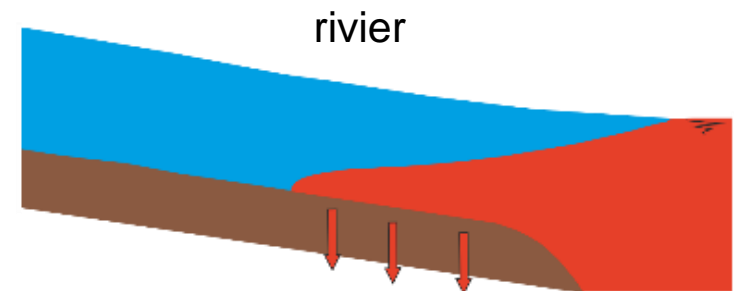
c. opkegeling zout grondwater onder diepe polder



d. verzilting grondwater systeem na overstroming



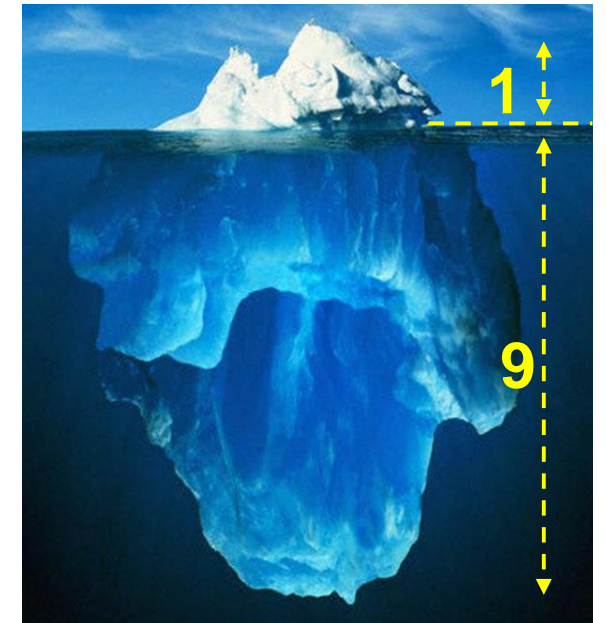
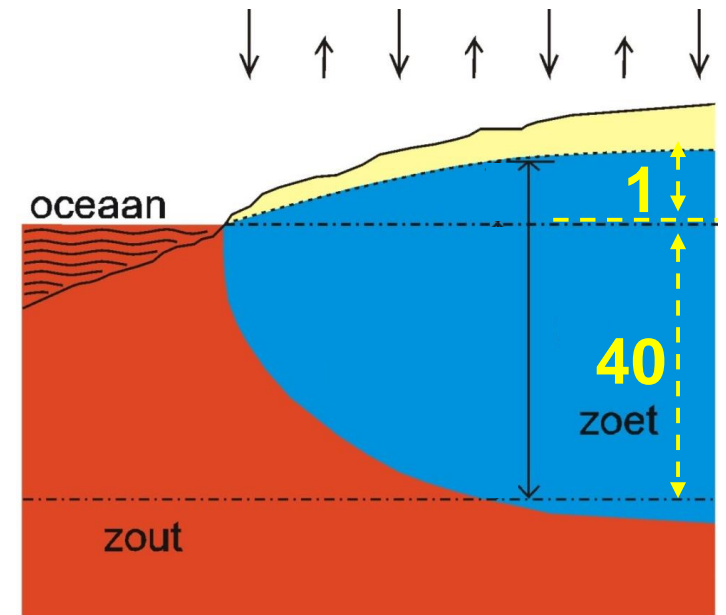
e. dunne zoetwaterlens en zoute kwel



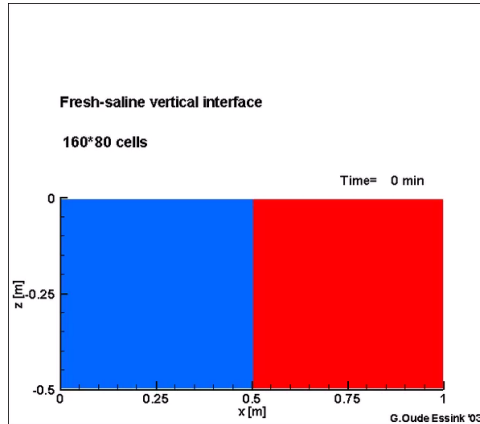
f. zoutwaterintrusie oppervlaktewatersysteem

# Zoet-zout grondwater stroomt

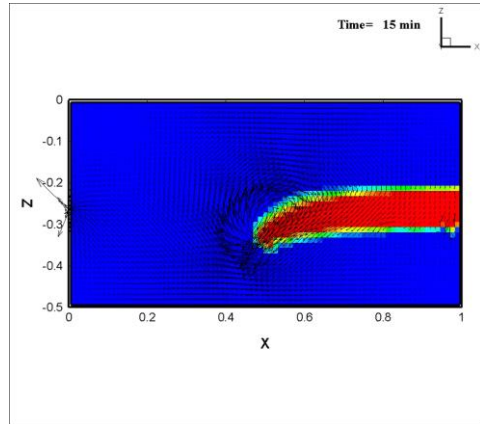
- Zoet grondwater drijft op zout grondwater door dichtheidsverschillen
- 'Badon Ghyben-Herzberg relatie'
- Zout verplaatst door meebewegen met stromend grondwater en door menging ('hydrodynamische dispersie')
- Zout in grondwater stroomt erg langzaam (orde meters per jaar)



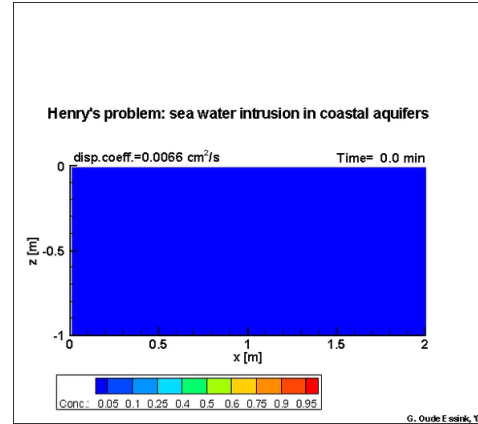
# Animaties zout-zout



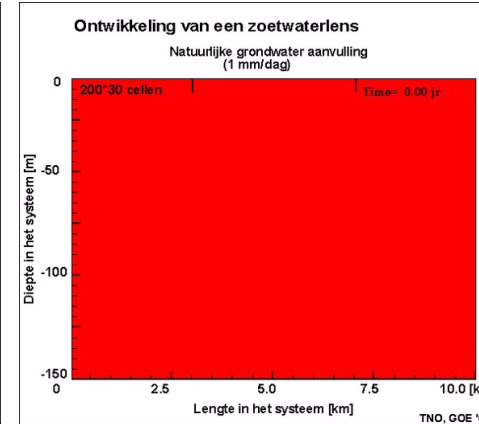
[link](#)



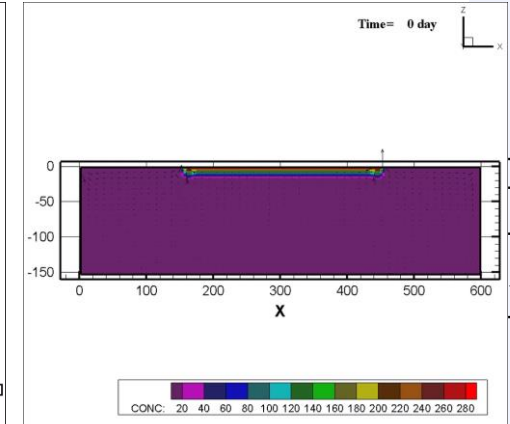
[link](#)



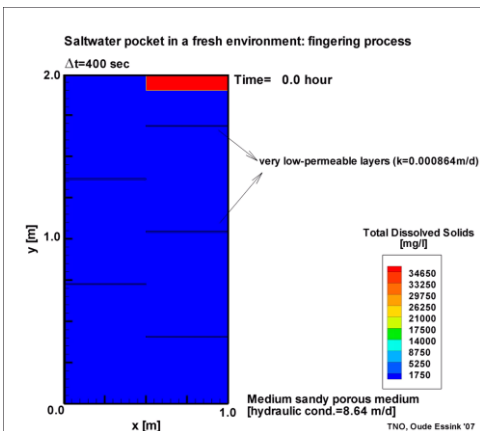
[link](#)



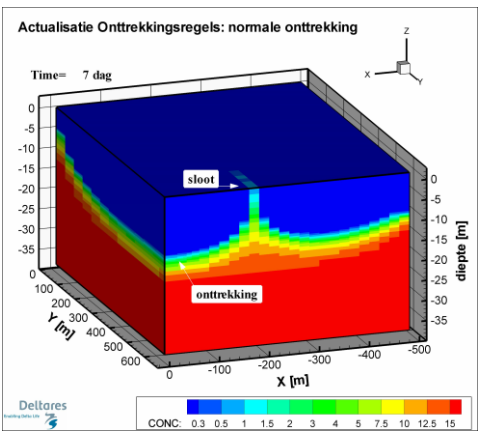
[link](#)



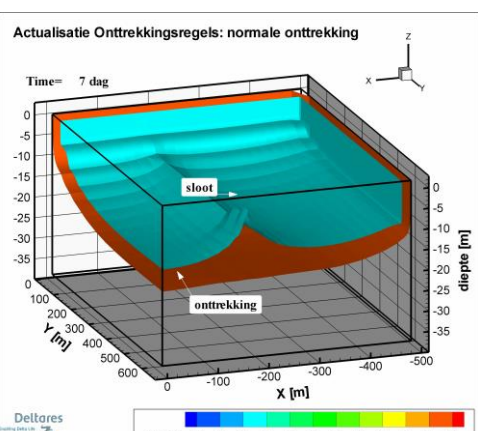
[link](#)



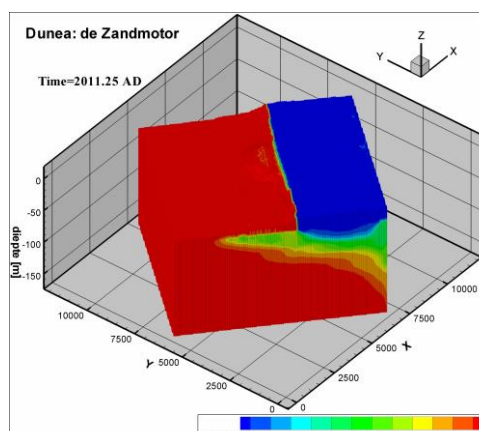
[link](#)



[link](#)



[link](#)

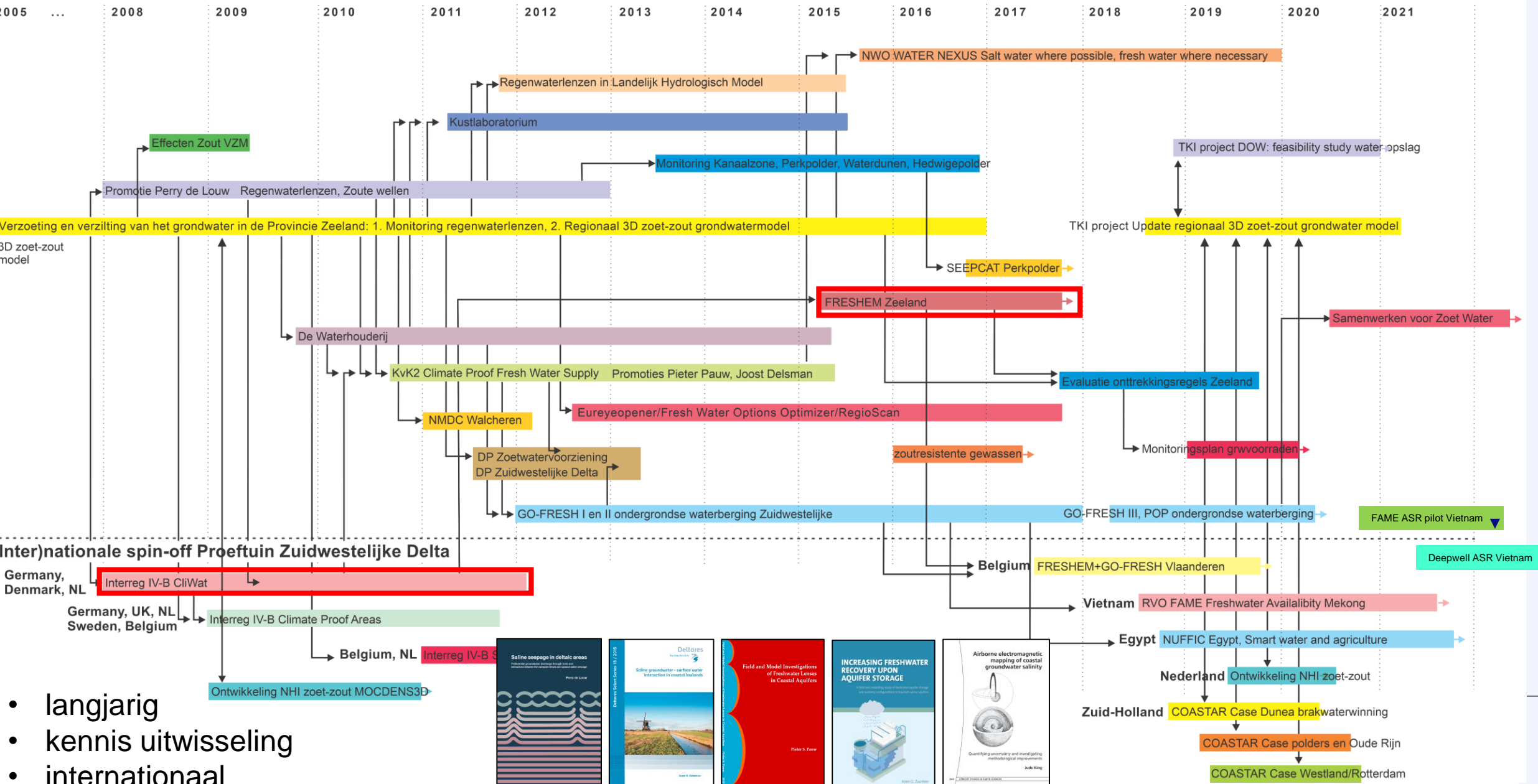


[link](#)

Deltares

# De ZWDelta heeft een lange staat van dienst op zoet-zout grondwater onderzoek

Verziltingsonderzoek Deltares, focus Proeftuin Zuidwestelijke Delta



- langjarig
- kennis uitwisseling
- internationaal

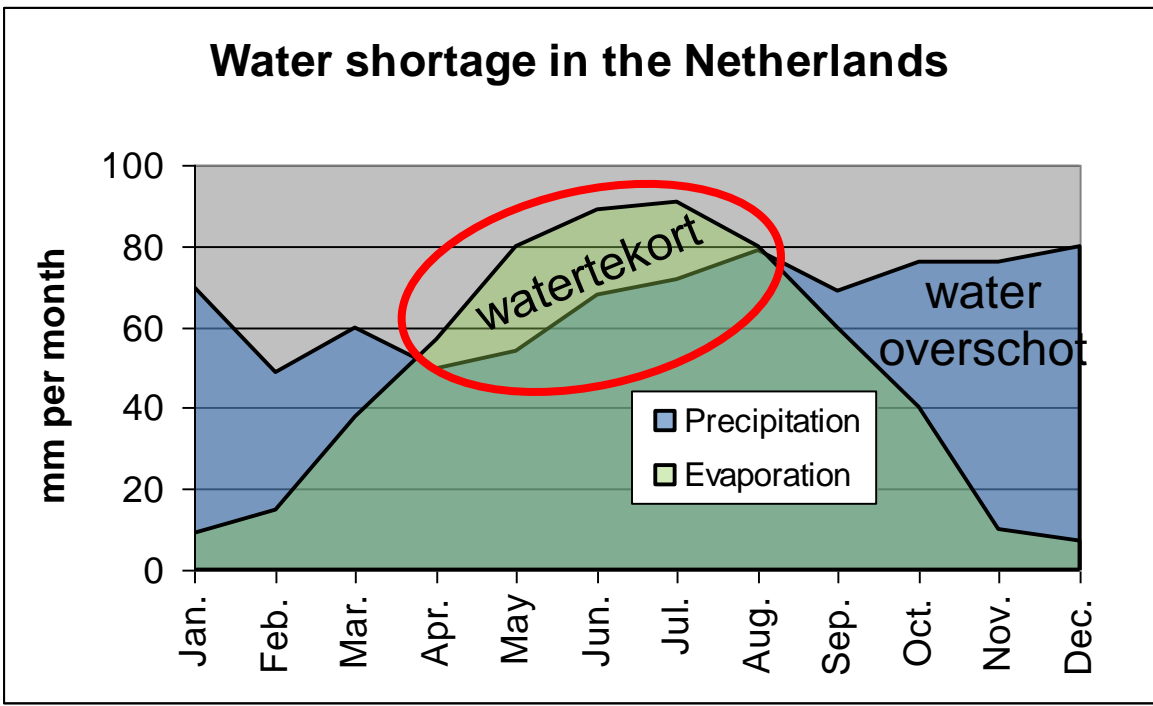


Zoet grondwater in de Zuidwestelijke Delta: een schat onder druk

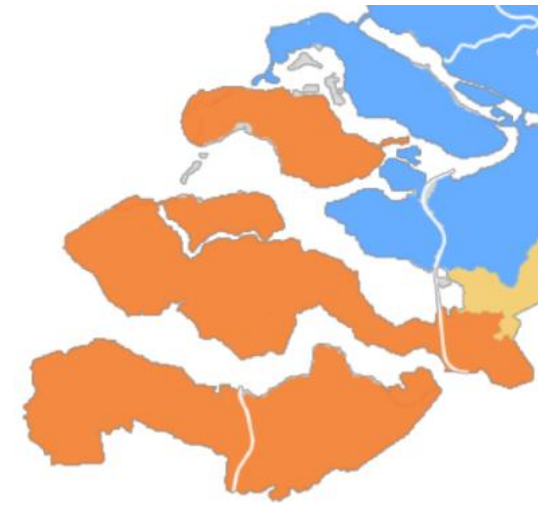
# Zeven componenten op weg naar een duurzame lokale zoet grondwatervoorziening

1. Urgentie en bewustwording bij relevante waterbeheerders, beleidsmakers en investeerders
2. Water systeembegrip, kennis en data, open en op orde
3. Inzicht in (het verschil in) watervraag en -aanbod
4. Uitvoeren en leren van pilots / demonstraties
5. Deelname van stakeholders
6. Afstemming met beleid en regulering
7. Opschaling en communicatie

# 1 Waterschaarste in een waterrijke delta, omgeven door zout



Geen externe aanvoer van zoetwater



## Te veel zout in het water is een probleem

Meng 2 liter zeewater met 100 liter zoet water:

- boven drinkwaternorm (lange termijn gezondheidseffecten)
- schade aan sommige gewassen en de natuur



Drinkwater



Zoutschade gewassen



Kwetsbare natuur

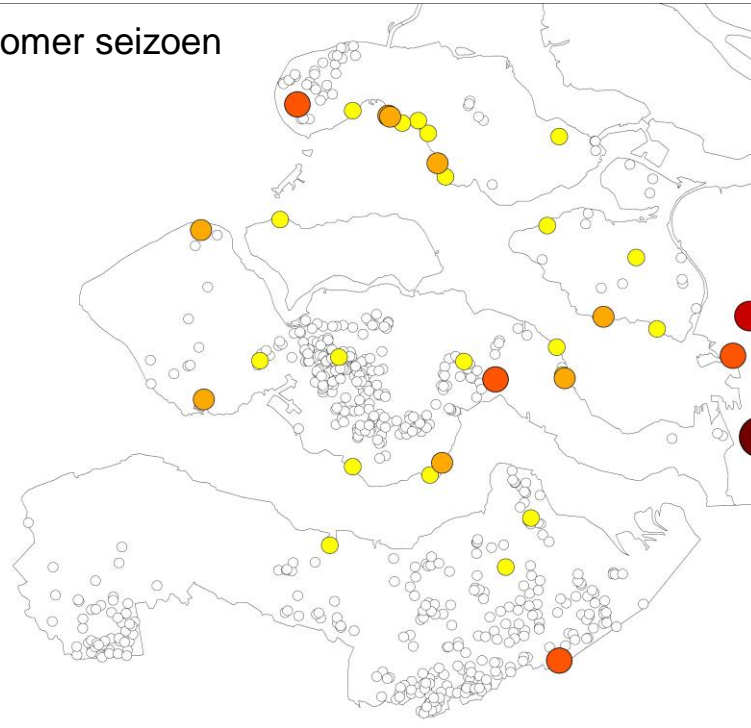


# 1 Gevoel van urgentie betreffende onttrekkingen

## Grondwater onttrekkingen Zeeland, voornamelijk besproeien gewassen



Zomer seizoen



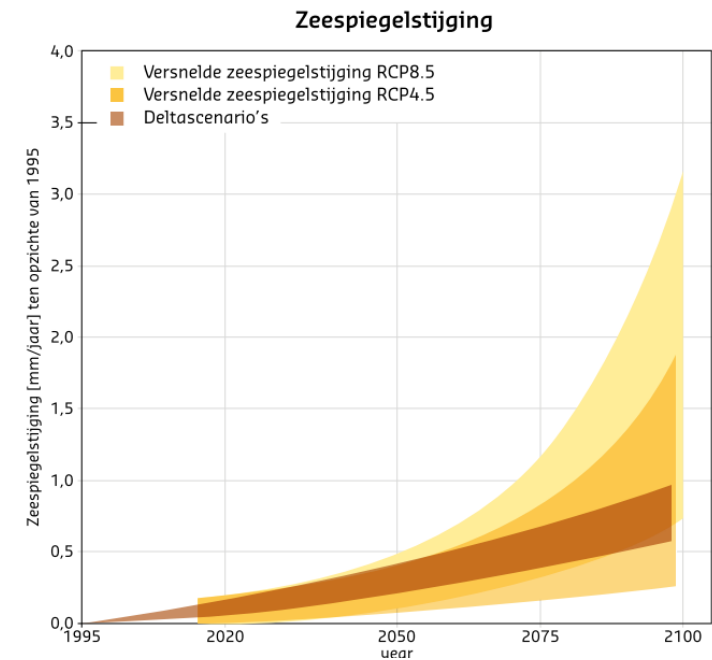
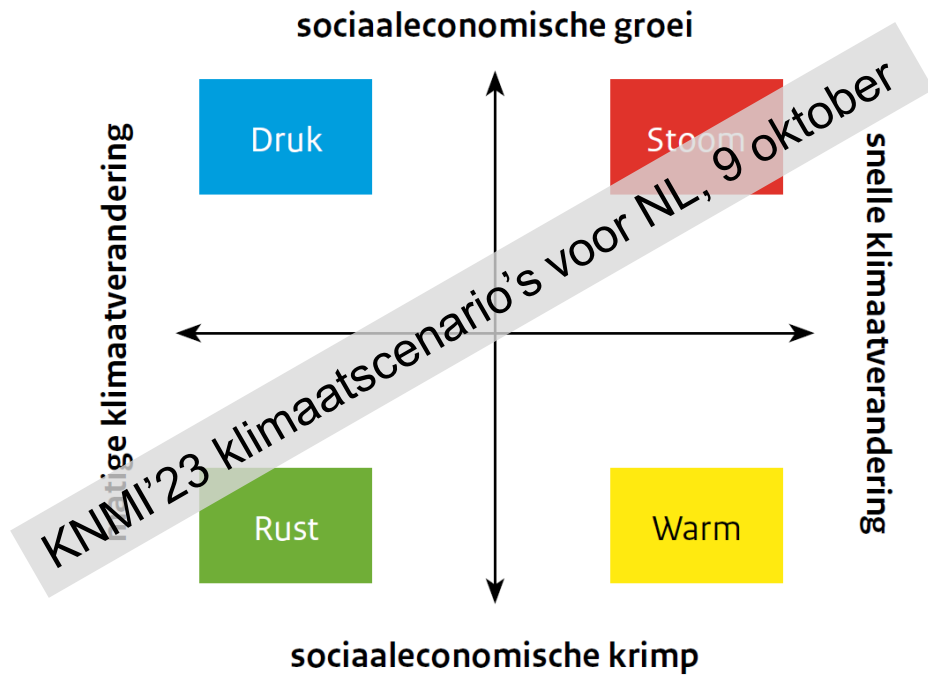
### Groundwater extractions (m3/day)

- onttrekking > 10000 m3/d
- 5000 - 10000
- 1000 - 5000
- 100 - 1000
- 25 - 100
- onttrekking 0 - 25 m3/d
- infiltratie 0 - 25 m3/d

## Zeeuwse boeren plaatsen veel meer grondwaterpompen

**MIDDELBURG** - Het aantal Zeeuwse boeren dat grondwater oppompt, is explosief gestegen. In 2017 ging het nog om 60 installaties, inmiddels zijn dat er meer dan 200.

# 'De Toekomst': wat staat ons te wachten?



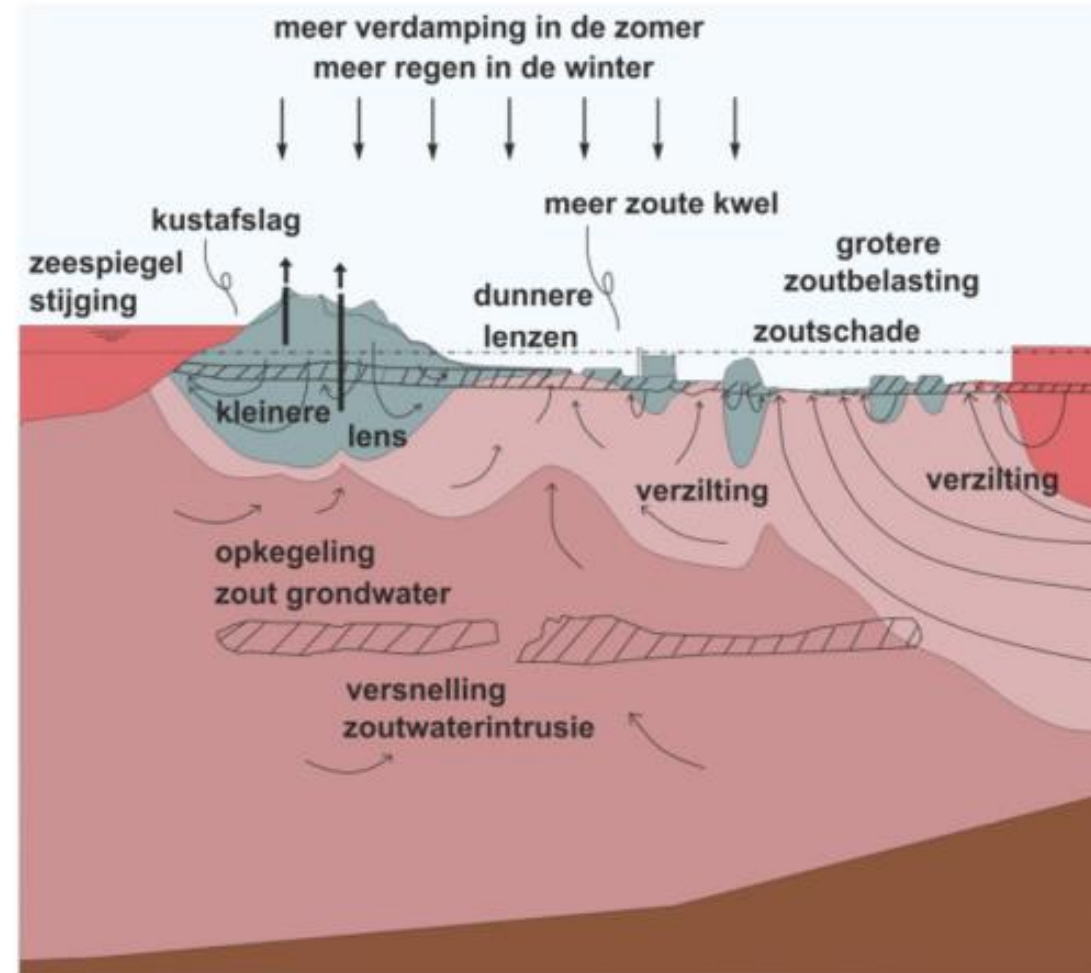
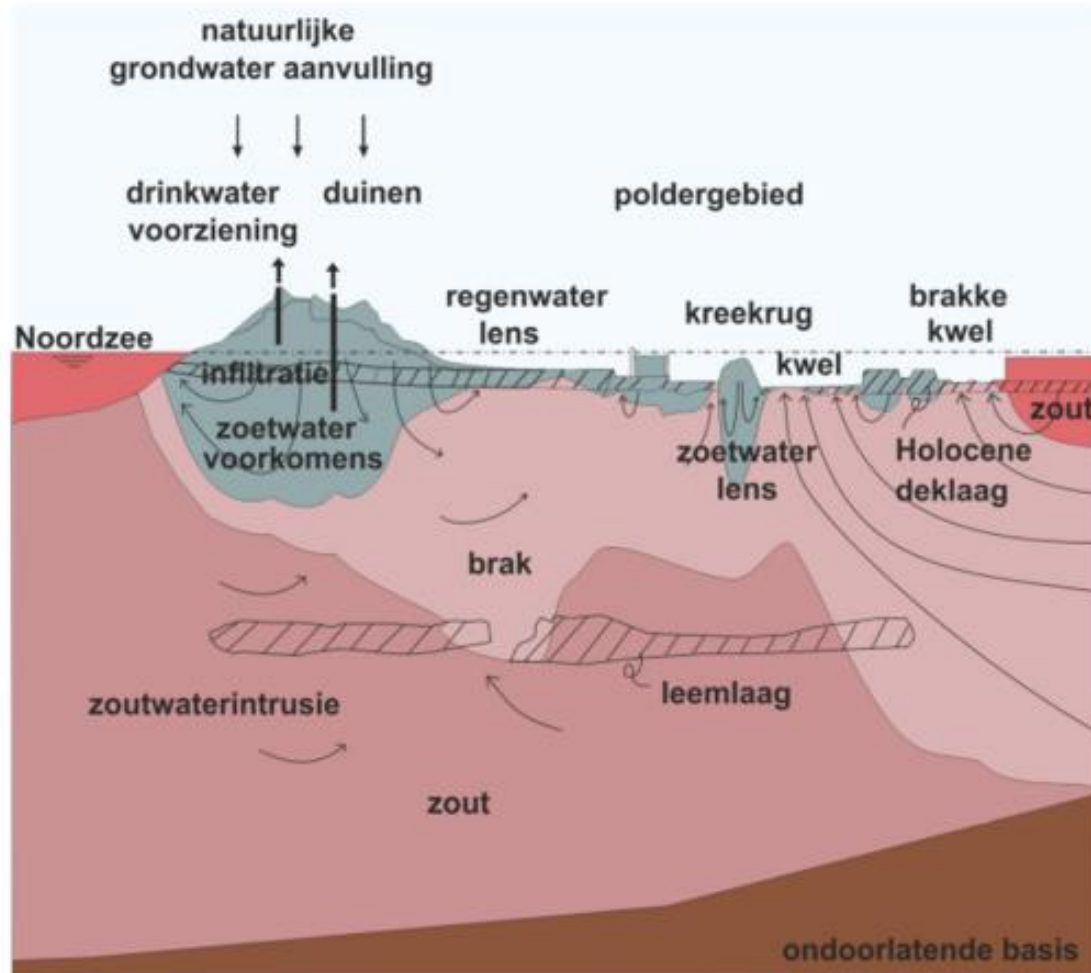
**'Droogte dreigt ramp te worden' - de zomer van 1976 was nóg erger**



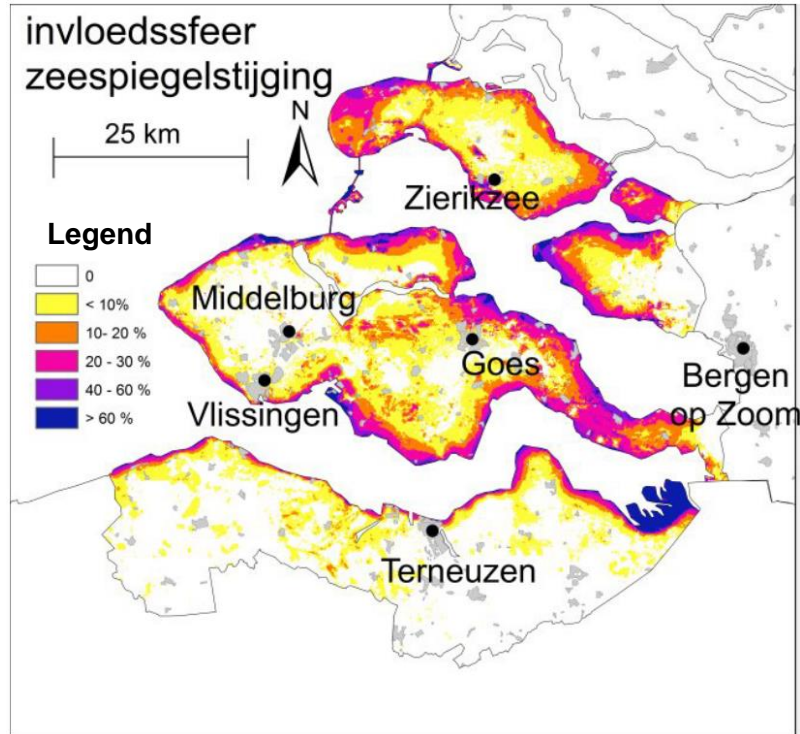
**'WAPENEN TEGEN CLUSTERBUIEN  
KAN NIET'**



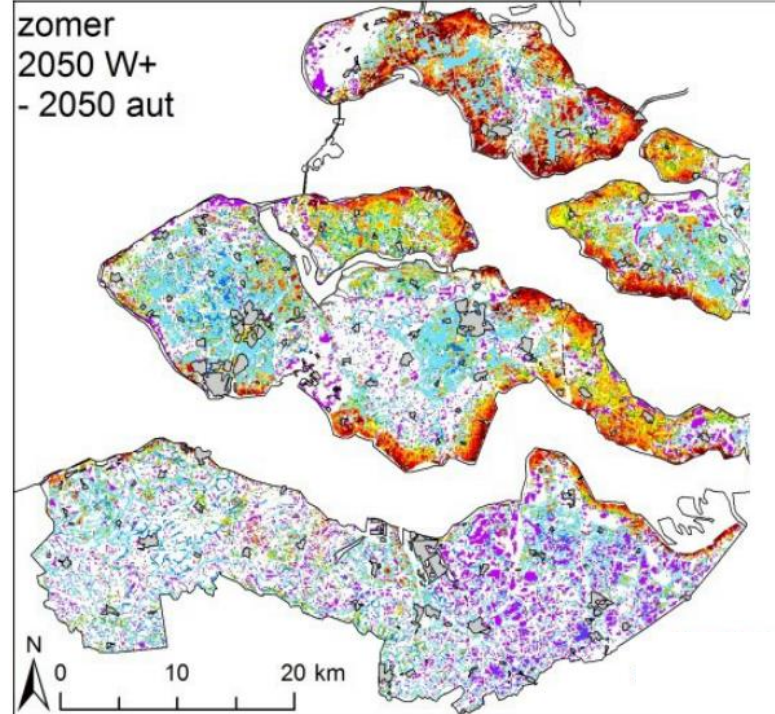
# Zeeuwse zoetwatervoorraden in de toekomst...



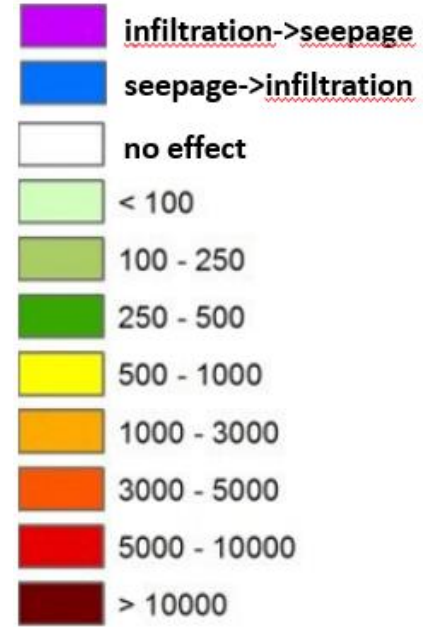
# 2 Effecten zeespiegelstijging grondwater



## Meer zoutvracht naar maaiveld

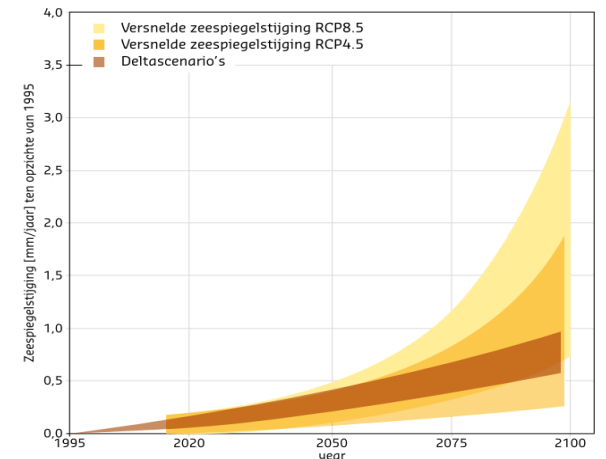


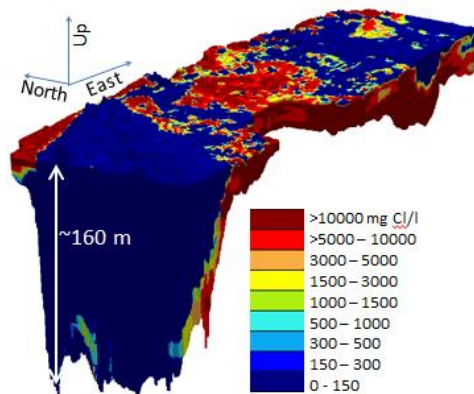
### Change in salt load [increase in kg/ha/yr]



- Meer brakke kwel door zeespiegelstijging
- Afname hoeveelheid zoet grondwater
- Meer drogere zomers:
  - ➔ mogelijk verdwijnen dunne regenwaterlenzen,
  - ➔ meer grondwater wordt uit kreekruigen onttrokken

### Accelerated sea-level rise (incl. Antarctic mass loss)





### Methode:

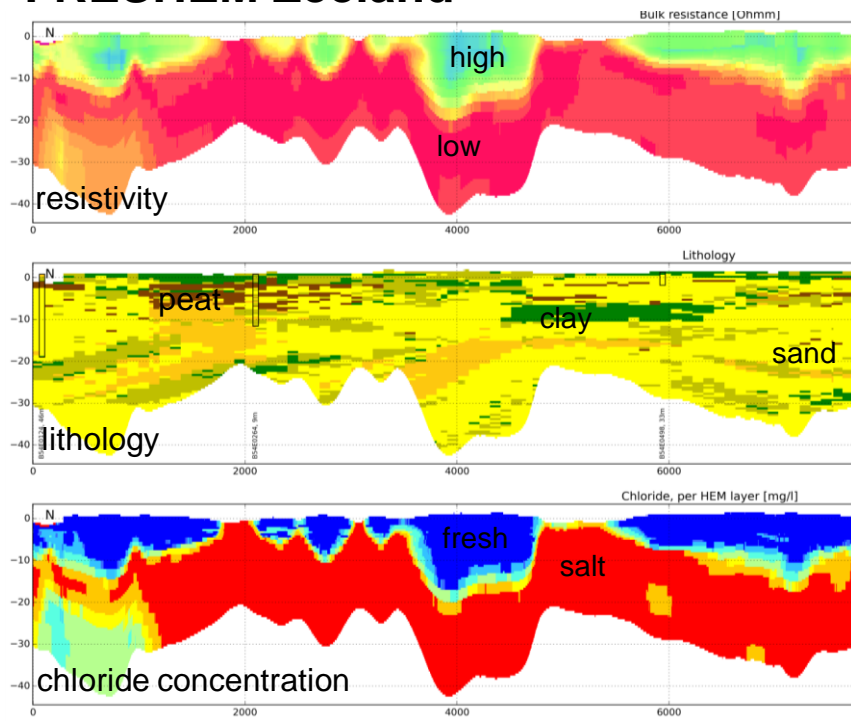
Combinatie helikoptermetingen met data en kennis over de ondergrond en processen in zoet-zout grondwater

### Resultaat:

- Karteren 3D zoet-zout grondwater verdeling
- Karteren klei lagen

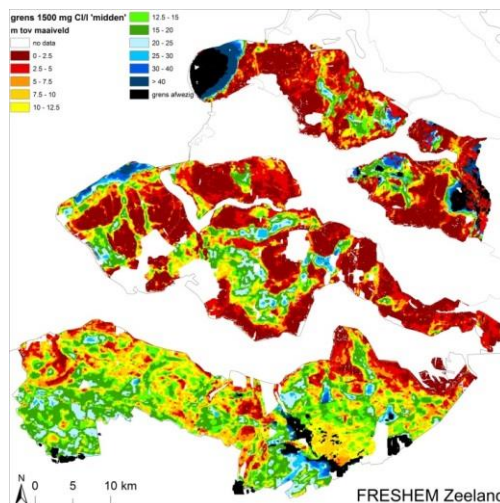


## FRESHM Zeeland

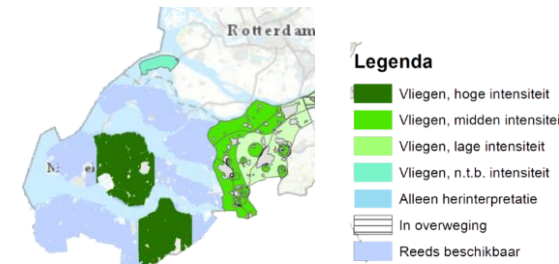


### Toepassingen:

- strategische zoetgrondwatergebruikers en beleidsmakers
- ondersteuning van ondergrondse waterberging in de kustzone
- het brakwaterpotentieel identificeren
- grondwatermodellen en monitoring verbeteren



## FRESHM NL (2024-2027)

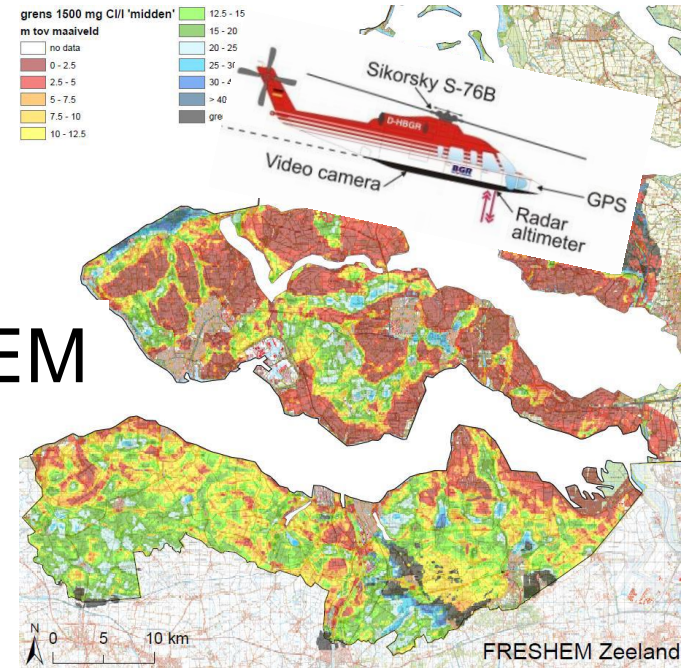
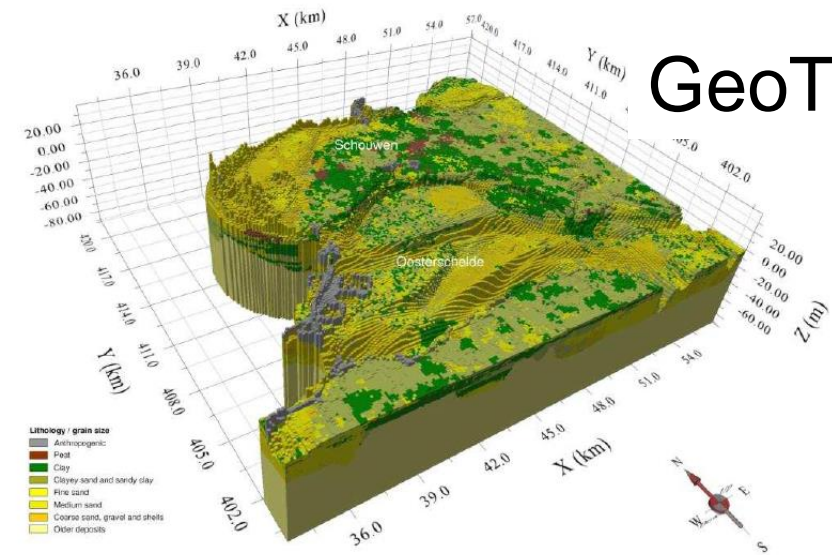


### Internationale projecten:

- Project in Vlaanderen, België
- Pilot Mekong delta, Vietnam

# Het nieuwe Zeelandmodel

## GeoTOP



## FRESHEM

### Model Update

iMOD - WQ



iMOD Python

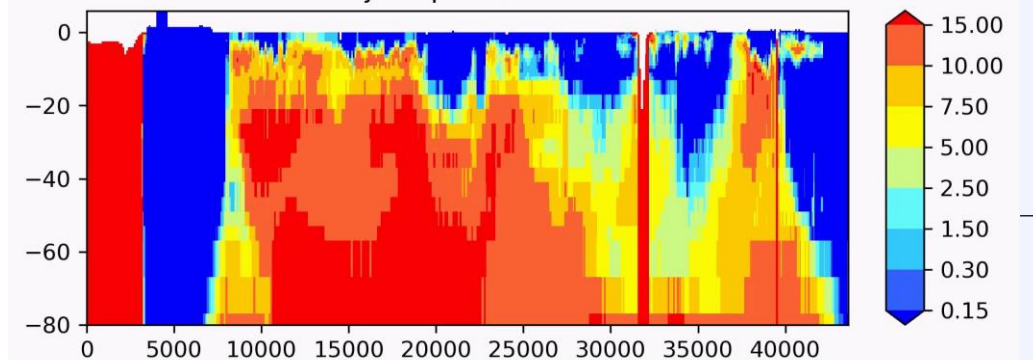


Deltares

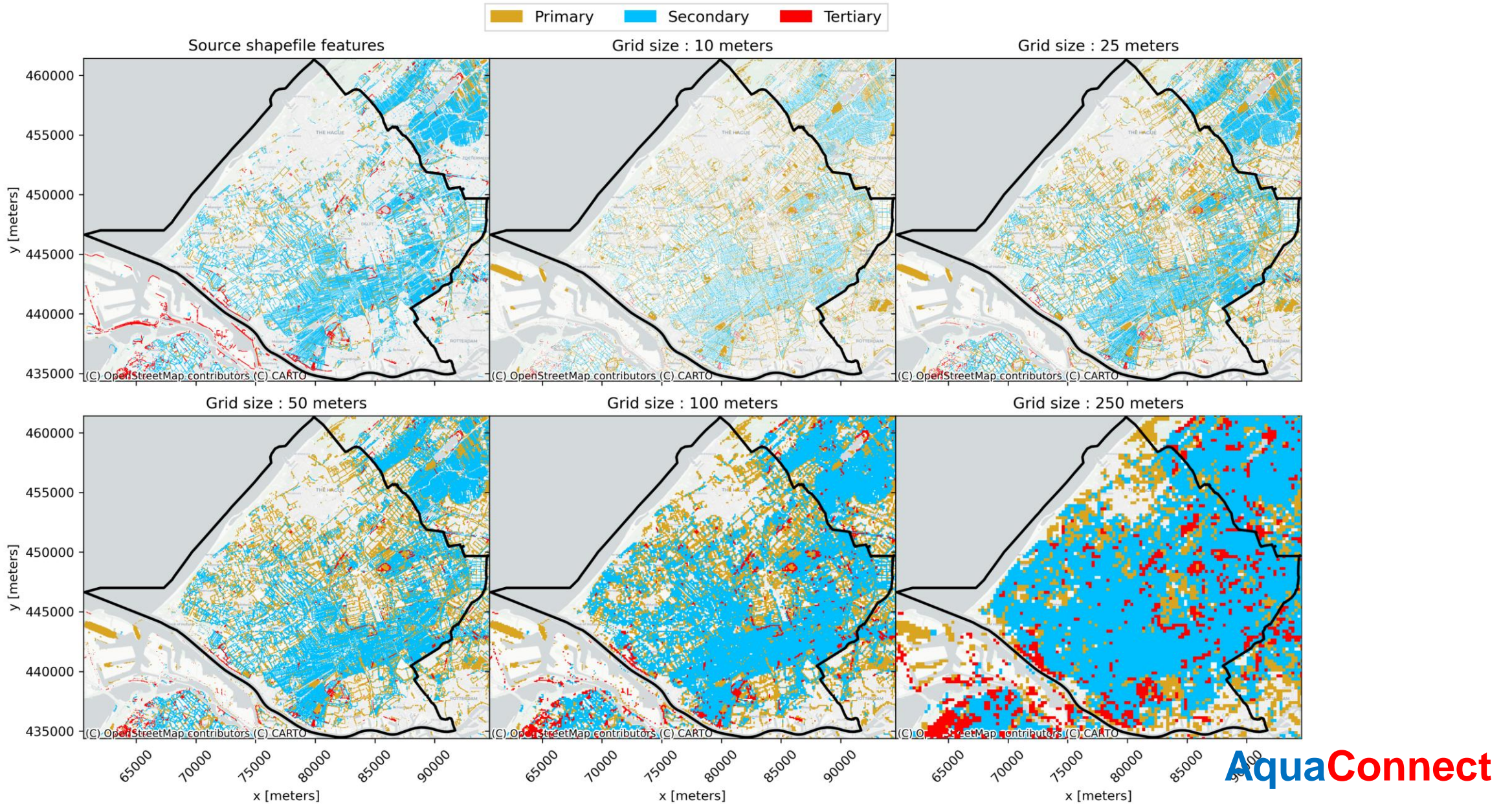
MODFLOW6, parallel,  
high resolution

Transect Schouwen-Duiveland

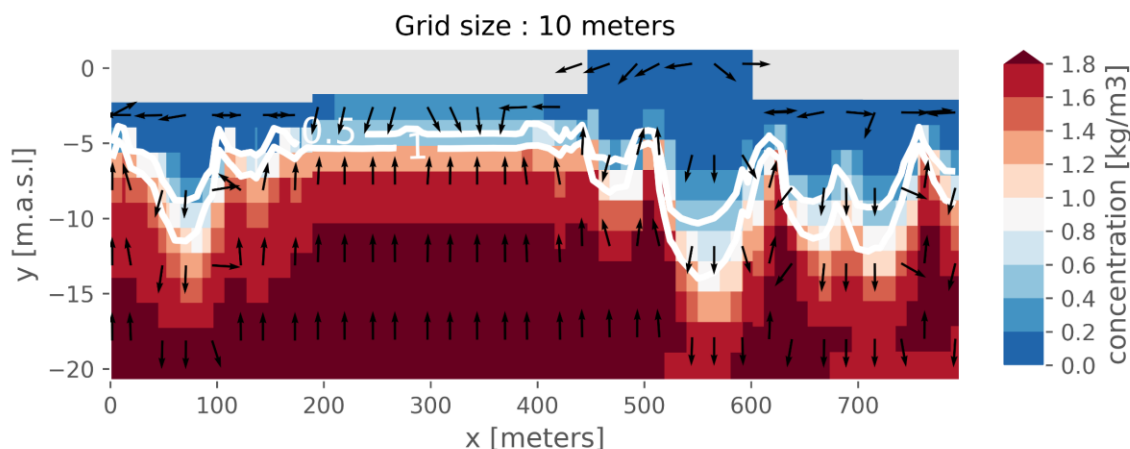
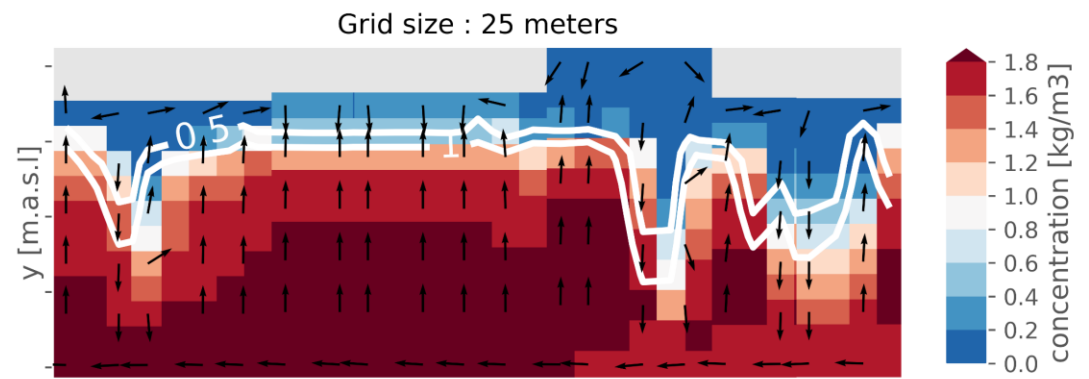
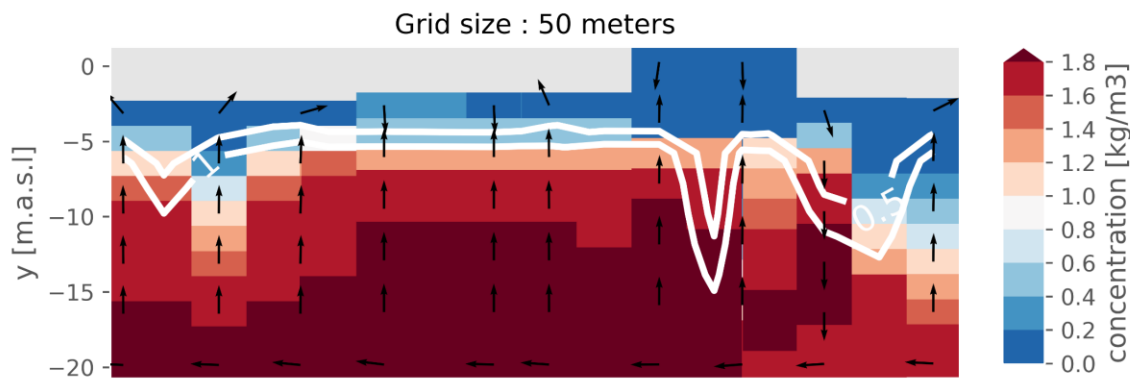
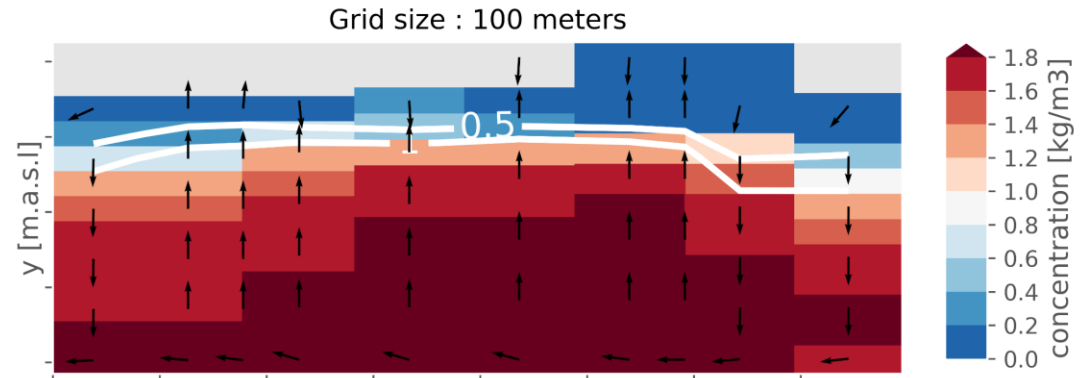
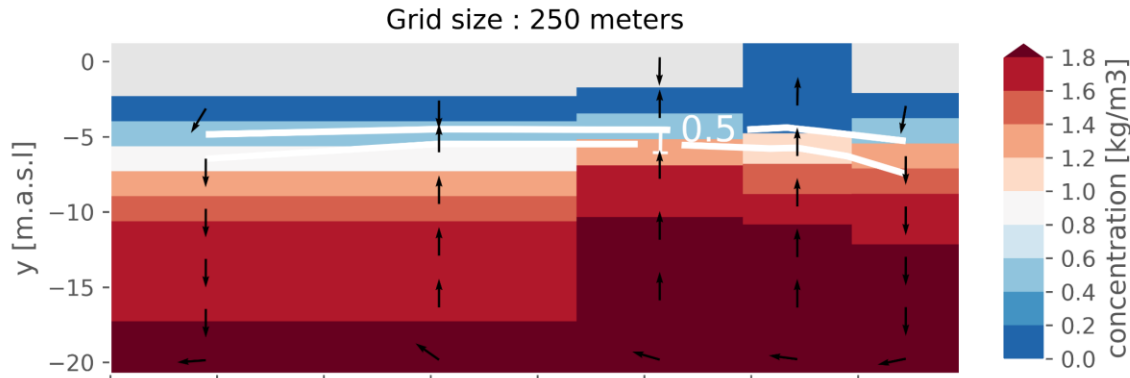
Tijdstap 20200701



# Hyperresolution groundwater modelling: testing effect different grid sizes on groundwater salinity



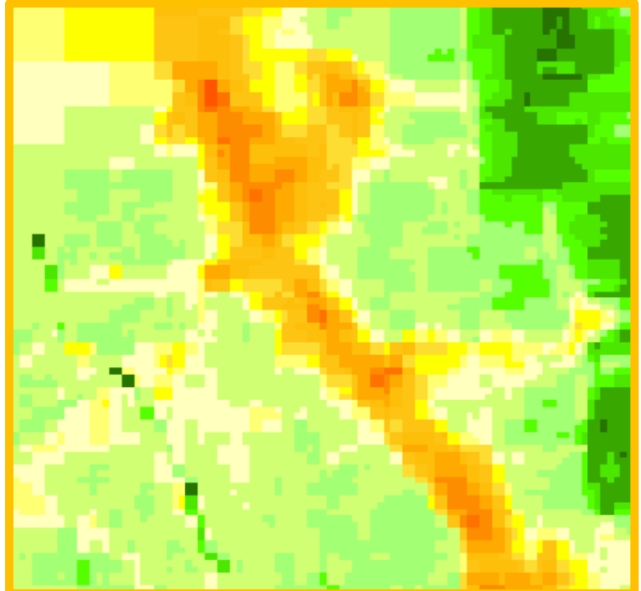
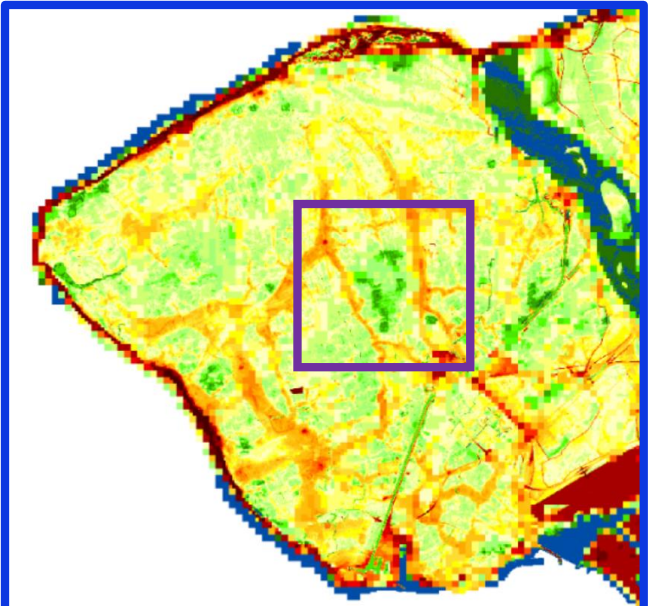
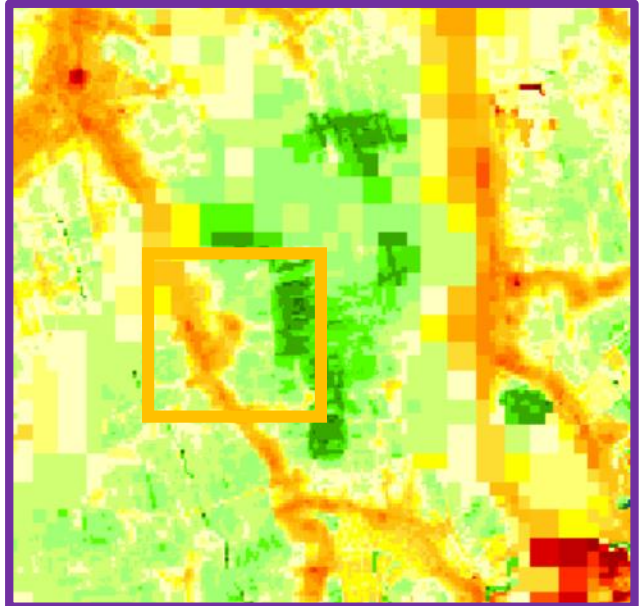
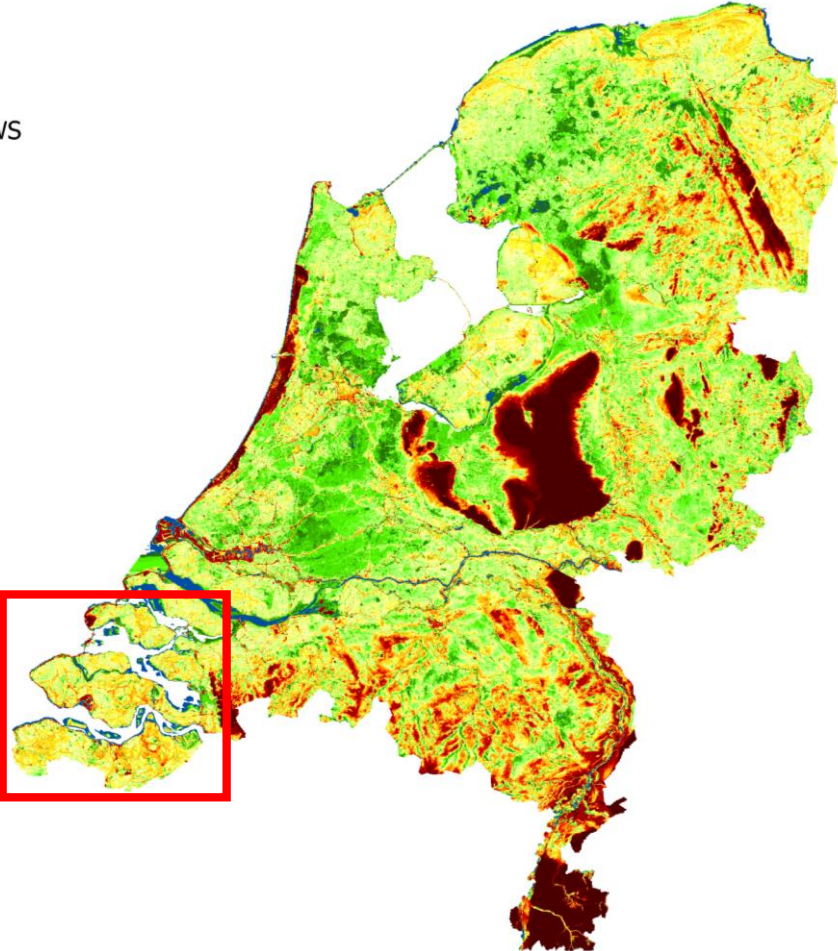
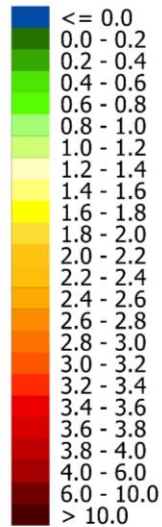
# Hyperresolution groundwater modelling: testing effect different grid sizes on groundwater salinity





# Testing MODFLOW6 parallel: effect of different grid sizes: NL with 1 billion cells

Stationaire GWS (m-mv)

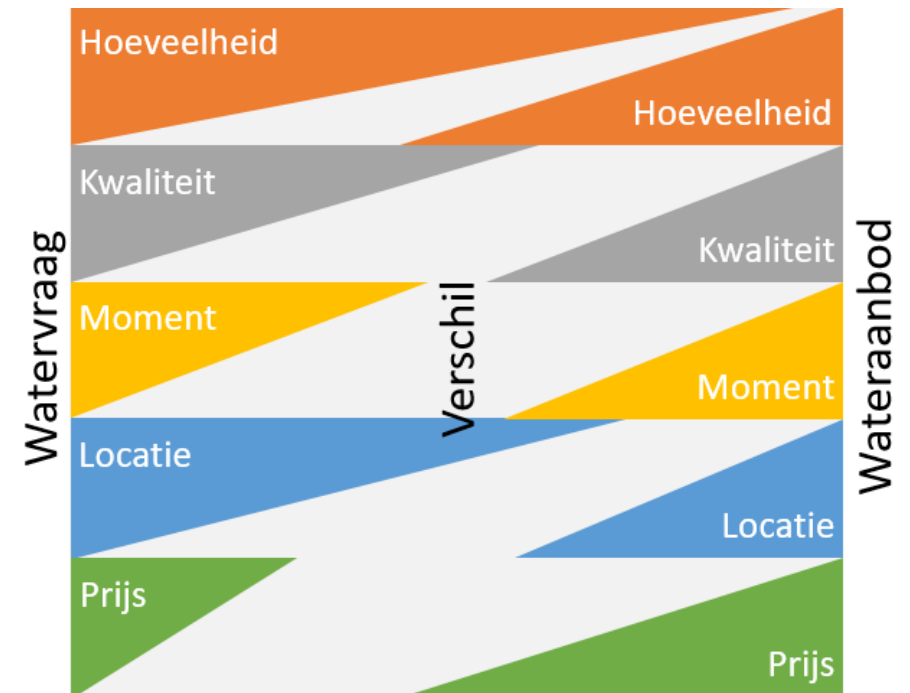


Deltares

# Watervraag en aanbod over de tijd

*Leveren van voldoende water van de juiste kwaliteit op het juiste moment en op de juiste locatie tegen redelijke kosten*

1. Hoeveelheid m<sup>3</sup> zoetwater
2. Kwaliteit van het water
3. Moment over het seizoen
4. Locatie in de regio
5. Prijs per m<sup>3</sup> water, over het seizoen en in de toekomst



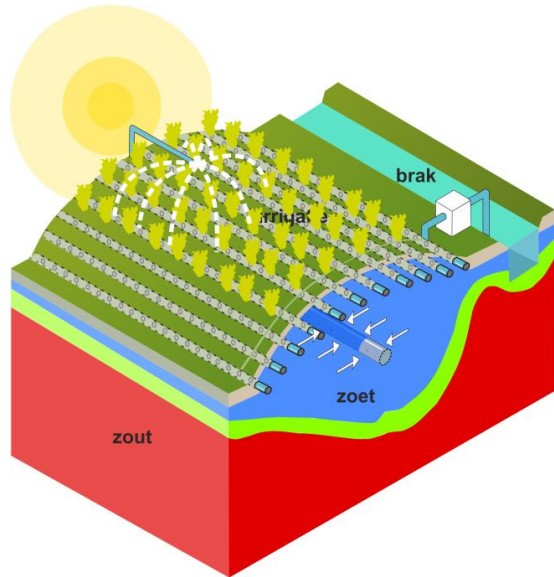
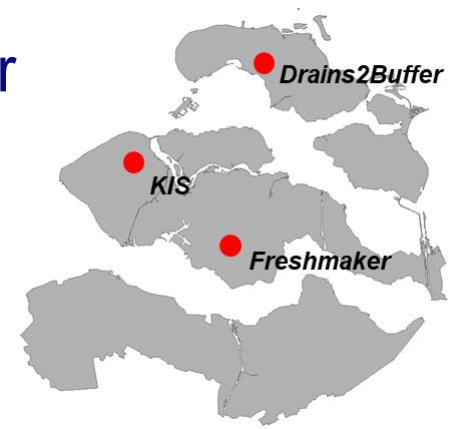
# Lokaal pilots: zoete grondwaterreserves vergroten en/of beheren voor agrariërs (voorbeelden ASR Zeeland, GO-FRESH)

## Doel:

- Creëer nieuwe zoete grondwaterbronnen
- Gebruik bestaand zoet grondwater indien mogelijk

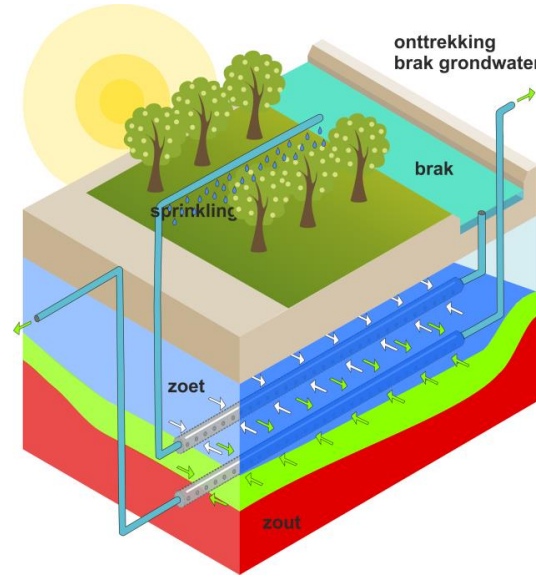
## Methode:

- Pilot testen rendement ondergrondse waterberging



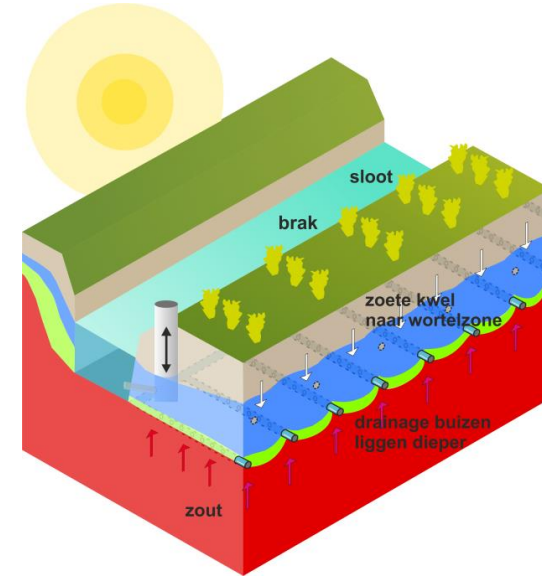
### Kreekrug Infiltratie Systeem

verhoging grondwaterstand door infiltratie opp. water en peilgestuurde drainage, daardoor diepere zoetwaterlens



### Freshmaker

injectie zoet water én onttrekking zout grondwater

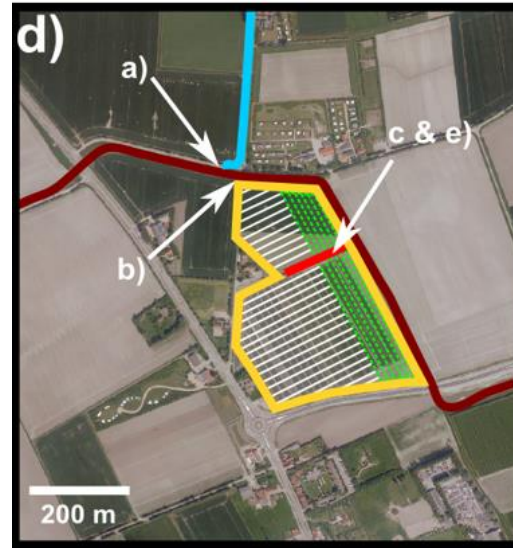
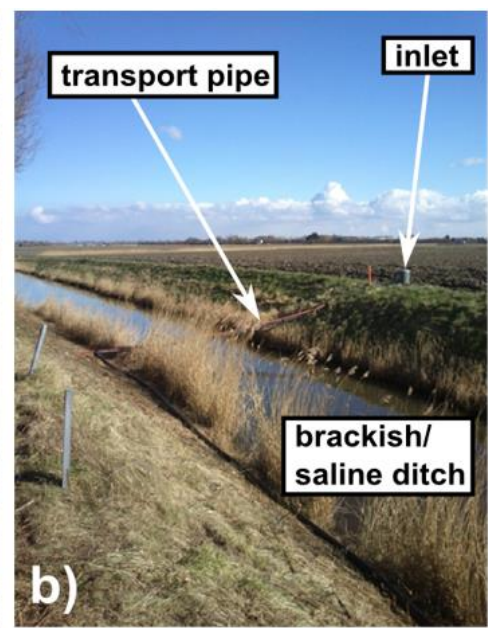
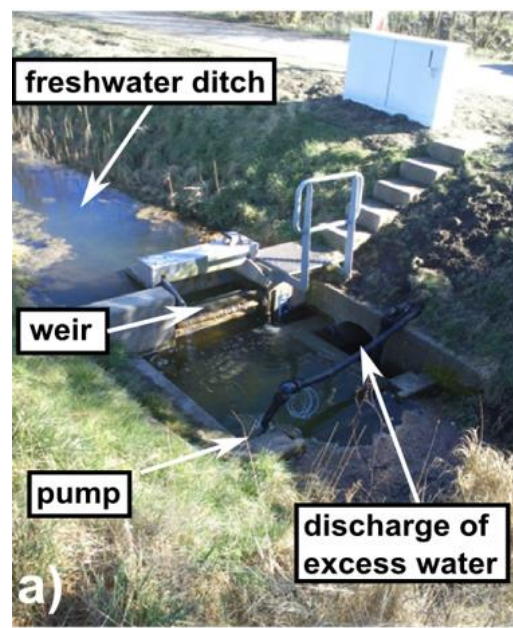


### Drains2Buffer

slimme diepe drainage beschermt dunne zoete regenwaterlens

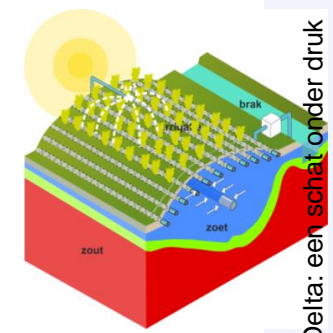
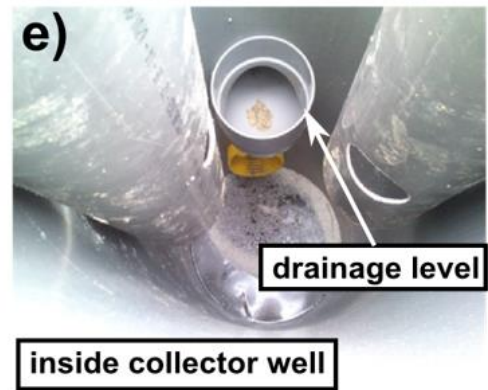


# Infrastructuur Kreekrug Infiltratie Systeem: buizen, drainage, pompen



**legend**

- extent CARD system
- separating ditch & collector wells
- freshwater ditch
- brackish/saline water ditch
- artificial recharge
- controlled drainage



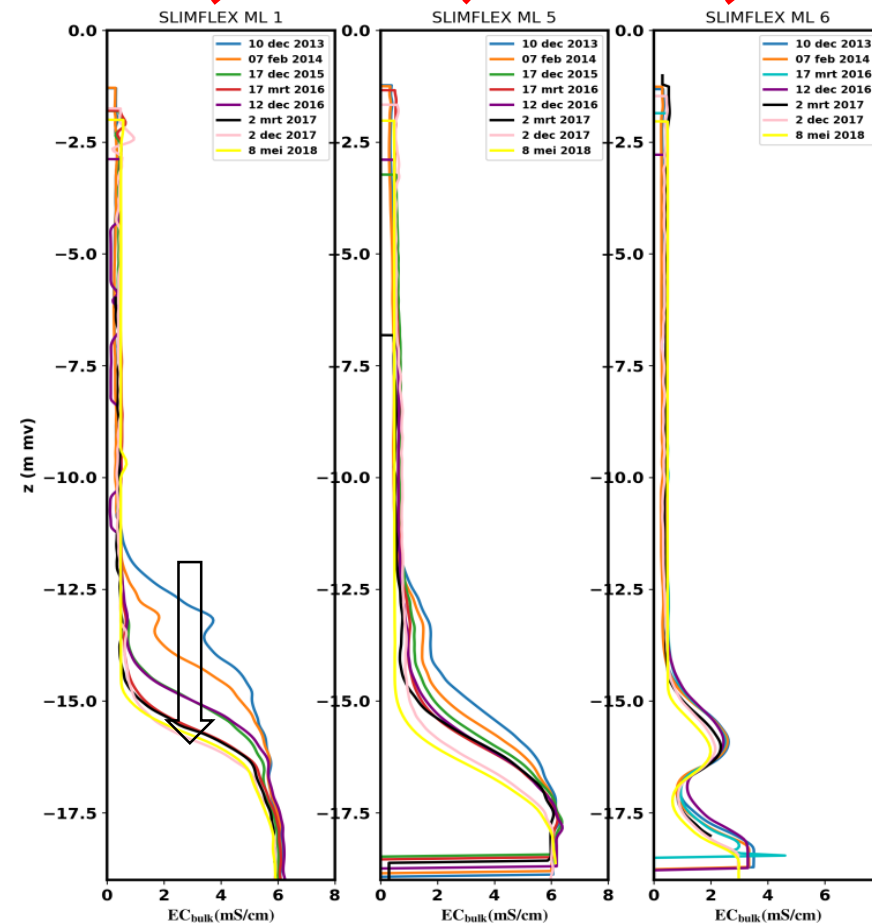
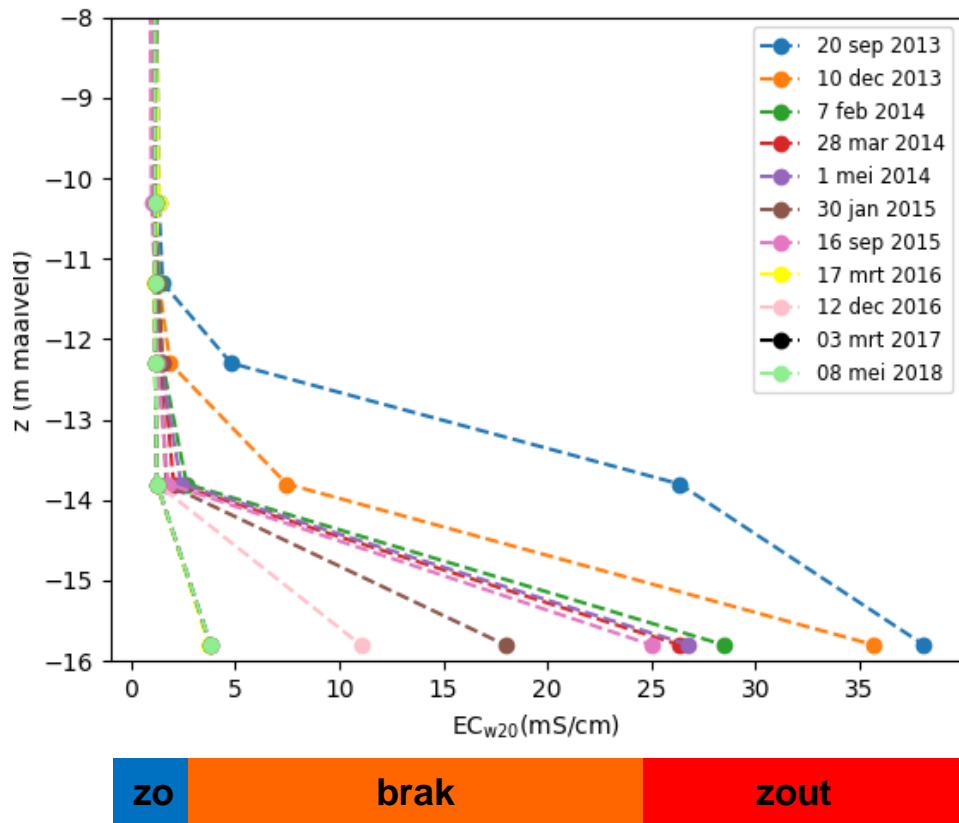
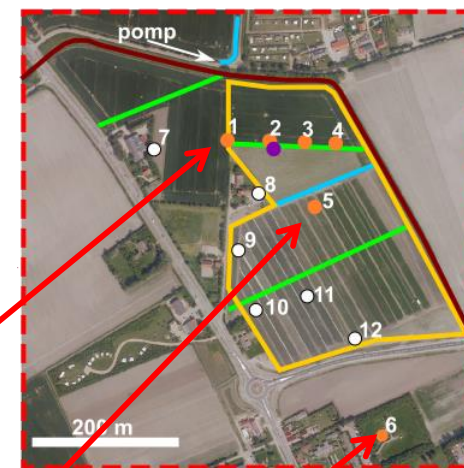
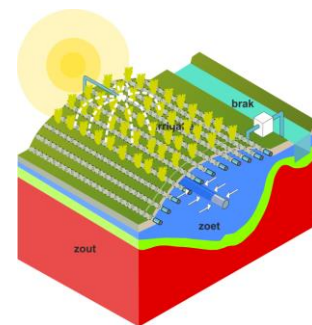
Zoet grondwater in de Zuidwestelijke Delta: een schat onder druk



# Resultaten Kreekrug Infiltratie Systeem 2017

Verdieping zoetwaterlens 3-4 meter:

~60.000 m<sup>3</sup> extra zoet water geborgen in de ondergrond



# Zoutbestendige gewassen op verzilte gronden

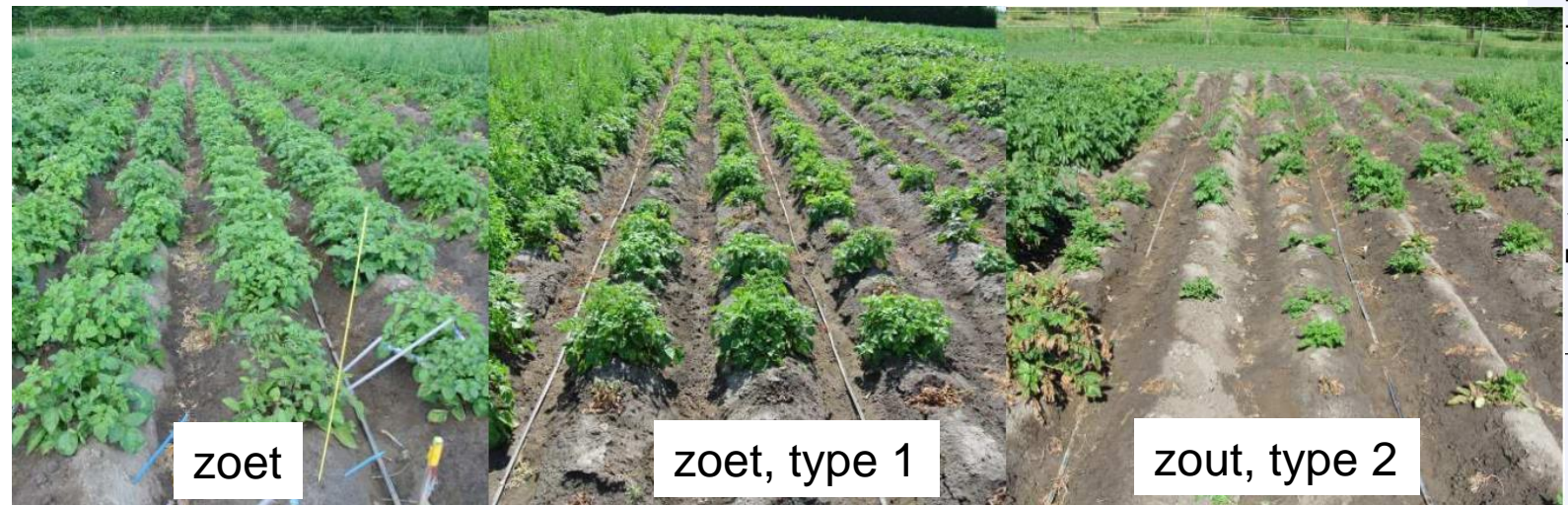


# Druppelirrigatie, zoutbestendige gewassen

- Verschillende proeven met druppelirrigatie
- Irrigatie-efficiëntie met druppelirrigatie veel hoger dan normale irrigatie / minder water nodig
- Niet goedkoop, maar minder risico op misoogsten
- Info: o.a. <https://northsearegion.eu/salfar/>, The Salt Doctors

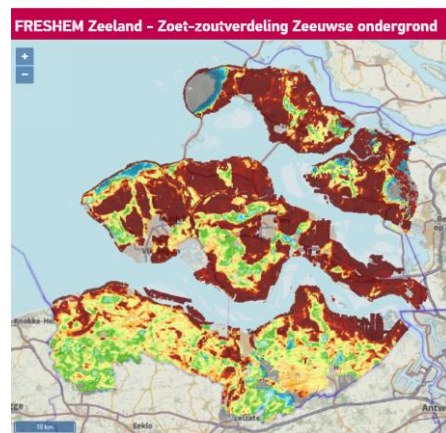
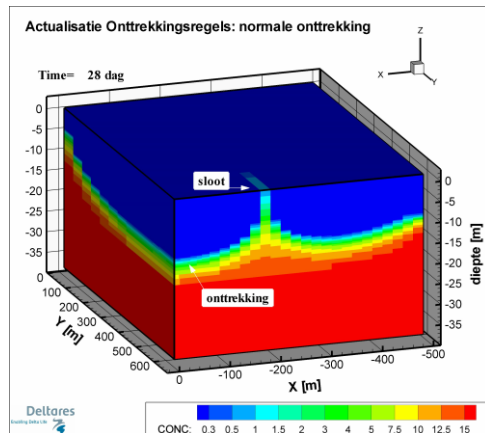
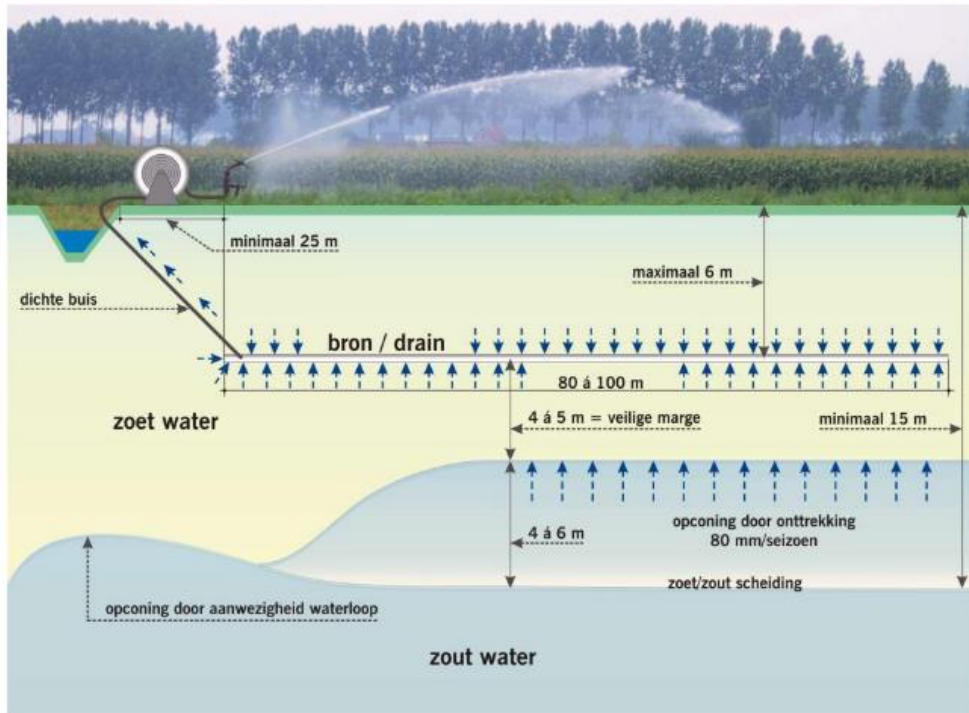


bron: Acacia Water)

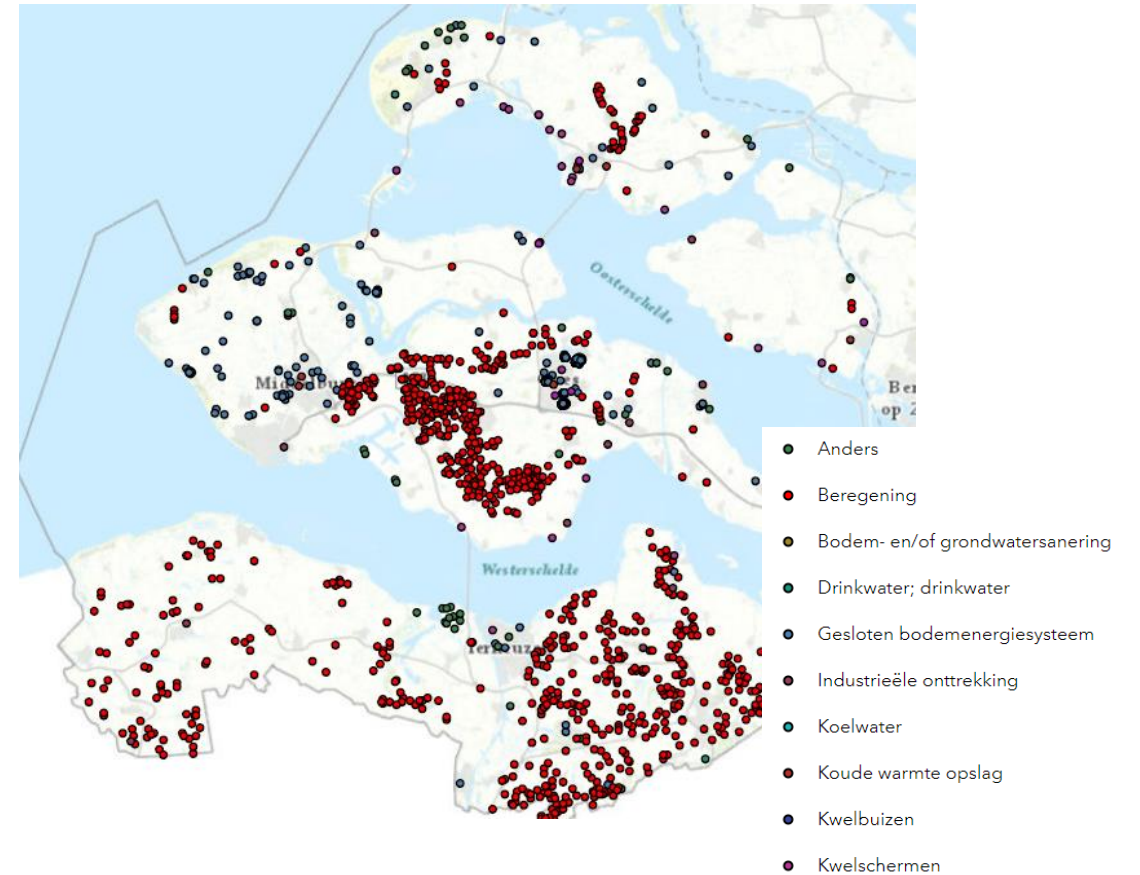


# Evaluatie grondwateronttrekkingsregels Provincie Zeeland

## Evaluatie grondwater onttrekkings regels



## Grondwater onttrekkingen Zeeland



Oude Essink, G.H.P., Pauw, P.S., 2018. Evaluatie en verdiepend onderzoek naar grondwateronttrekkingsregels in de provincie Zeeland. Deltares Rapport. 1231011-001, 157 p.



# Combineer initiatieven lokale duurzame zoet grondwatervoorziening

## Case Zeeland

*"there is no solution that fits all"*



# Dank voor uw aandacht!

## ‘En tevens’:

1. **waterbesparing** in landbouw, drinkwatersector en industrie **bevorderen**.
2. werkelijke **grondwateronttrekkingen** beter **registreren**.
3. **landgebruik beter afstemmen** op lokale omstandigheden in bodem en (grond)water.
4. capaciteit van **regenwaterinfiltratie verhogen**, met name in stedelijk gebied.
5. **afvalwater** in een circulaire economie **(her)gebruiken**.
6. zoet grondwater **bewaren** als strategische reserve voor een **onzekere toekomst**.
7. **operationeel grondwater management** van zoete grondwatervoorraden **bevorderen**.
8. **ontzilten** van **brak grondwater** als een alternatieve (aanvullende) bron **onderzoeken**.
9. **pilots faciliteren** om ervaring mee op te doen, innovaties stimuleren en showcases realiseren voor **opschaling**.

# Extra links en literatuur

1. DeltaLife Deltares: [Salinisation, the slow disaster](#)
2. Effecten zeespiegelstijging grondwater
  - Deltafacts: [Effecten zeespiegelstijging voor het beheer van zoet grond- en oppervlaktewater](#)
  - Deltares rapport: Delsman, J.R., America, I., Mulder, T., 2022. [Grondwaterverziltting en watervraag bij een stijgende zeespiegel; Kennisprogramma Zeespiegelstijging, spoor II](#). Deltares rapport 11208039-009-BGS-0001 89.
3. GO-FRESH (Valorisatie kansrijke oplossingen robuuste zoetwatervoorziening): [link rapport](#)
4. Begrip grondwater in het kustgebied
  - FRESHEM Zeeland:
    - Link kartering: <https://www.zeeland.nl/water/zoet-water/zoet-zoutverdeling-zeeuwse-ondergrond>
    - Rapport Deltares:
    - Artikel: [link](#)
  - Evaluatie en verdiepend onderzoek naar grondwateronttrekkingsregels in de provincie Zeeland: [rapport link](#)
  - Verzoeting en verziltting van het grondwater in de Provincie Zeeland; Regionaal 3D model voor zoet-zout grondwater: [rapport link](#)
  - Het langetermijnegeuegen van de zoet-zoutverdeling. 2019, Stromingen 33: [link](#).
5. Wiki <http://freshsalt.deltares.nl/>
  - Rapporten, artikelen zoet-zout grondwater: [link](#)
  - Oude Essink, G.H.P., Kaandorp, V.P., 2022. Zoetwatervoorziening in het Waddengebied: tussen zoet en zout, Waddenacademie, rapport 2022-01, Leeuwarden: [link](#)

# Aanbevelingen om de onderlinge communicatie tussen de regio's te verbeteren:

1. Breng (toegepaste) wetenschappers en praktijkmensen uit verschillende sub-disciplines samen
2. Waddenfonds, Kennis Centrum verzilting, Deltaprogramma Zoetwater, NWO en andere subsidieverstrekkingen houden elkaar op de hoogte betreffende relevante onderzoekprogramma's
3. Beheer meta-data van bestaande en afgesloten projecten centraal
4. Communiceer kennis op verschillende manieren (nieuwsbrief, sociale media, events, etc.)
5. Organiseer samen congressen zoetwaterbeschikbaarheid laaggelegen kustgebieden en geef (online) cursussen en webinars
6. Plaats technische componenten van de projecten (databases, toolboxes) op open source sites en deel peer-reviewed publicaties open-access
7. Deel opgedane praktische en wetenschappelijke kennis via guidelines, richtlijnen, protocollen en best practices
8. Deel kennis om ondergrondse waterbergingstechnieken robuuster, flexibeler en veerkrachtiger te maken

*Oude Essink, G.H.P., Kaandorp, V.P., 2022. Zoetwatervoorziening in het Waddengebied: tussen zoet en zout, Waddenacademie, rapport 2022-01, Leeuwarden.*