

# ACTUALISATIE ZOUTMODELLERING



*Een geactualiseerd zoet-zout modelinstrumentarium is nodig om de effecten van autonome ontwikkelingen en menselijk handelen op de verzilting van het grondwater in beeld te brengen.*

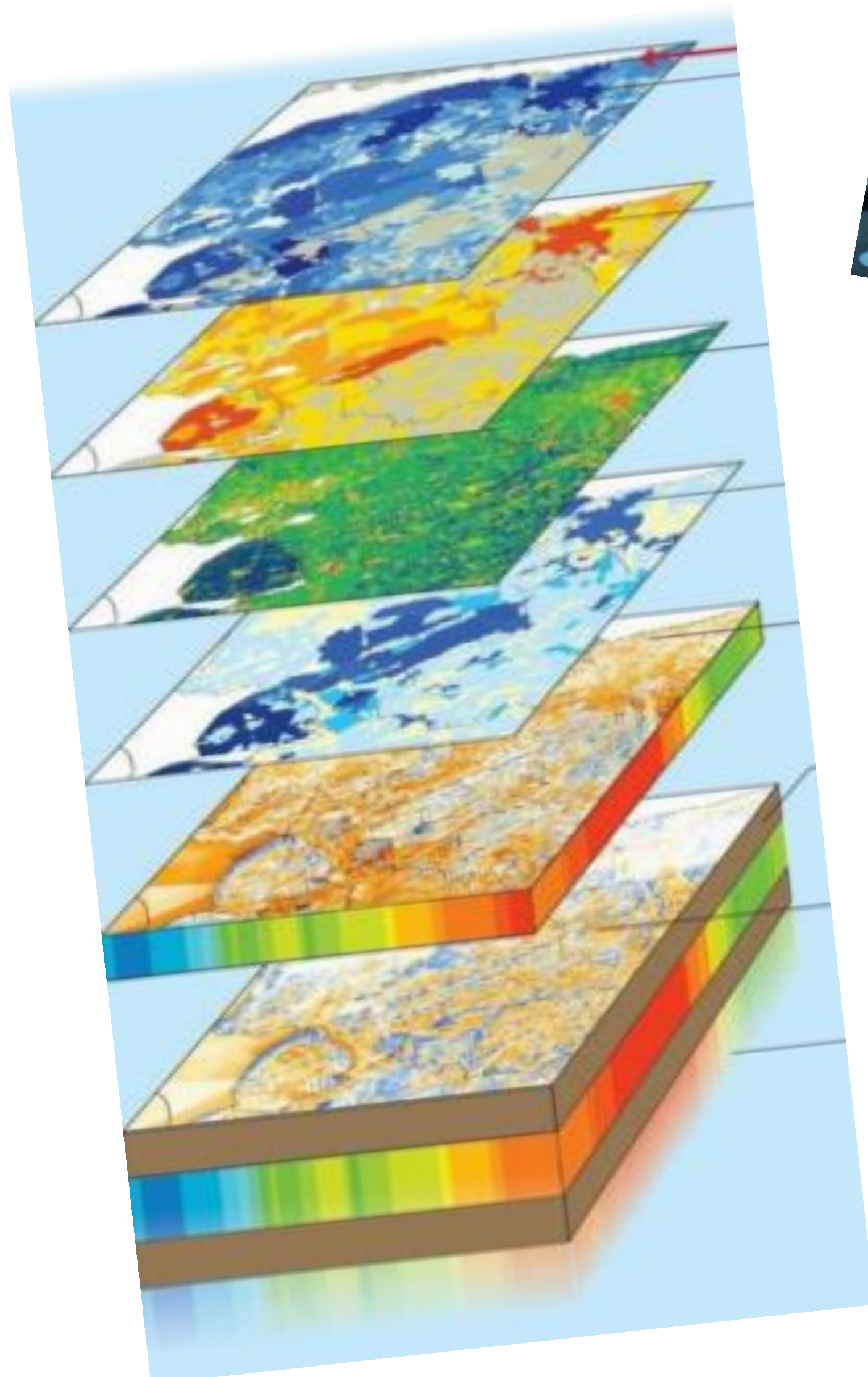
Zoet grondwater is essentieel voor de bereiding van drinkwater, landbouw, natuur en industriële doeleinden. Ondergrondse activiteiten nemen echter toe, denk daarbij aan bodemenergie, ondergrondse waterberging, winning van brakwater en lozing van brijn. Tegelijkertijd worden de zoete grondwatervoorraden bedreigd door versnelde zeespiegelstijging en klimaatverandering.

Binnen het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium is gestart met de actualisatie van de zoutmodellering. Hierbij wordt een open toolbox NHI zoet-zout ingericht, met daarin geactualiseerde data en gereedschappen die nodig zijn voor de modellering van zoet-zout in de ondergrond. Op basis van deze toolbox wordt daarnaast een landsdekkend zoet-zout grondwatermodel ontwikkeld.

*Op te leveren producten (medio 2020):*

- Databestanden inschatting huidige chlorideverdeling grondwater
- Tools om zoet-zout grondwatermodellen op te zetten (python)
- Landelijk zoet-zout grondwatermodel (LHM zoet-zout)

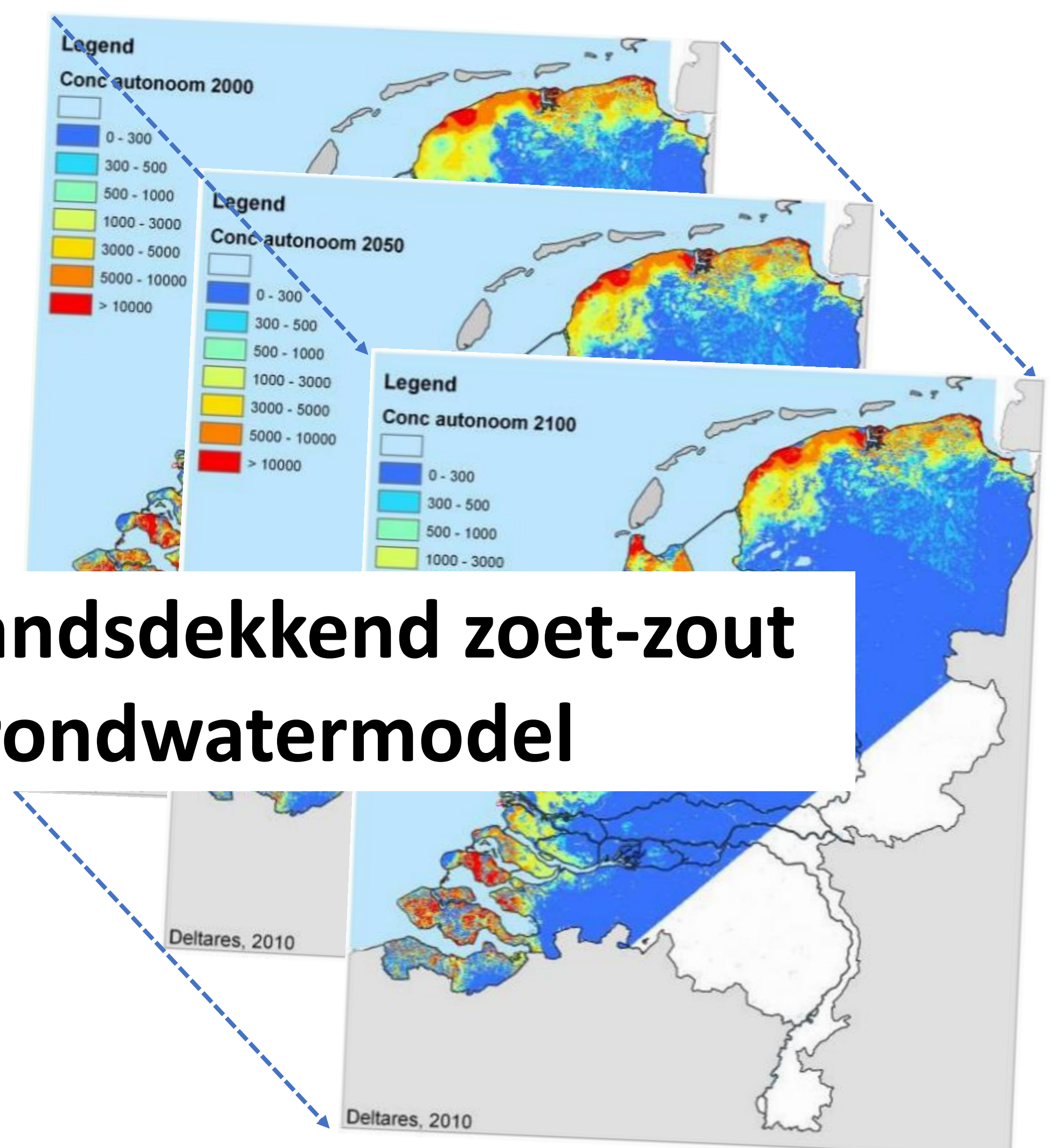
## Toolbox zoet-zout



Gereedschappen

Geactualiseerde data

## Landsdekkend zoet-zout grondwatermodel



*Het Nederlands Hydrologisch Instrumentarium (NHI):*

- Een verzameling van open data, gereedschappen en modelcodes,
- Zowel op nationaal als op regionaal niveau,
- Betere samenwerking binnen de Nederlandse waterwereld,
- Lagere maatschappelijke kosten,
- Laatste stand van de techniek ('state of art'),
- Bruikbaar voor de vragen in het hedendaagse waterbeheer ('fit for purpose').

Bij de actualisatie van de zoutmodellering zijn verschillende partijen betrokken.

Uitvoering:



*Interesse om op de hoogte te worden gehouden van de ontwikkelingen ten aanzien van zoet-zout binnen het NHI? Meld je dan aan voor de klankbordgroep bij Mark Kramer (mark.kramer@rijnland.net). Of neem voor meer informatie contact op met projectleider Joost Delsman (joost.delsman@deltares.nl).*



# COASTAR wereldwijd

## COastal Aquifer STORAGE And Recovery

Toepassing van grootschalige ondergrondse oplossingen voor een robuuste zoetwaterlevering in combinatie met tegengaan verzilting, voorkomen wateroverlast en bodemdaling door i) het gat te dichten tussen waterlevering en watervraag in ruimte en tijd door ondergrondse opslag van water en ii) het gebruik van brak grondwater. COASTAR concepten zijn toepasbaar in kustgebieden wereldwijd – van stedelijke delta's tot landbouwgebieden en kleine eilanden.

Contact: [info@coastar.nl](mailto:info@coastar.nl)  
Website: [COASTAR.nl](http://COASTAR.nl)

Esther van Baaren<sup>1</sup>, Liduin Bos-Burgering<sup>1</sup>, Klaasjan Raaij<sup>2</sup>, e.a.

<sup>1</sup>Deltares, The Netherlands, <sup>2</sup>KWR Watercycle Research Institute, The Netherlands

**Ondergrondse opslag en hergebruik van stedelijk afvalwater**  
**Mexico**

reclaimed water, microbiological safe irrigation water, freshwater well secured, inland, prevention saline upconing, brackish water extraction, saline

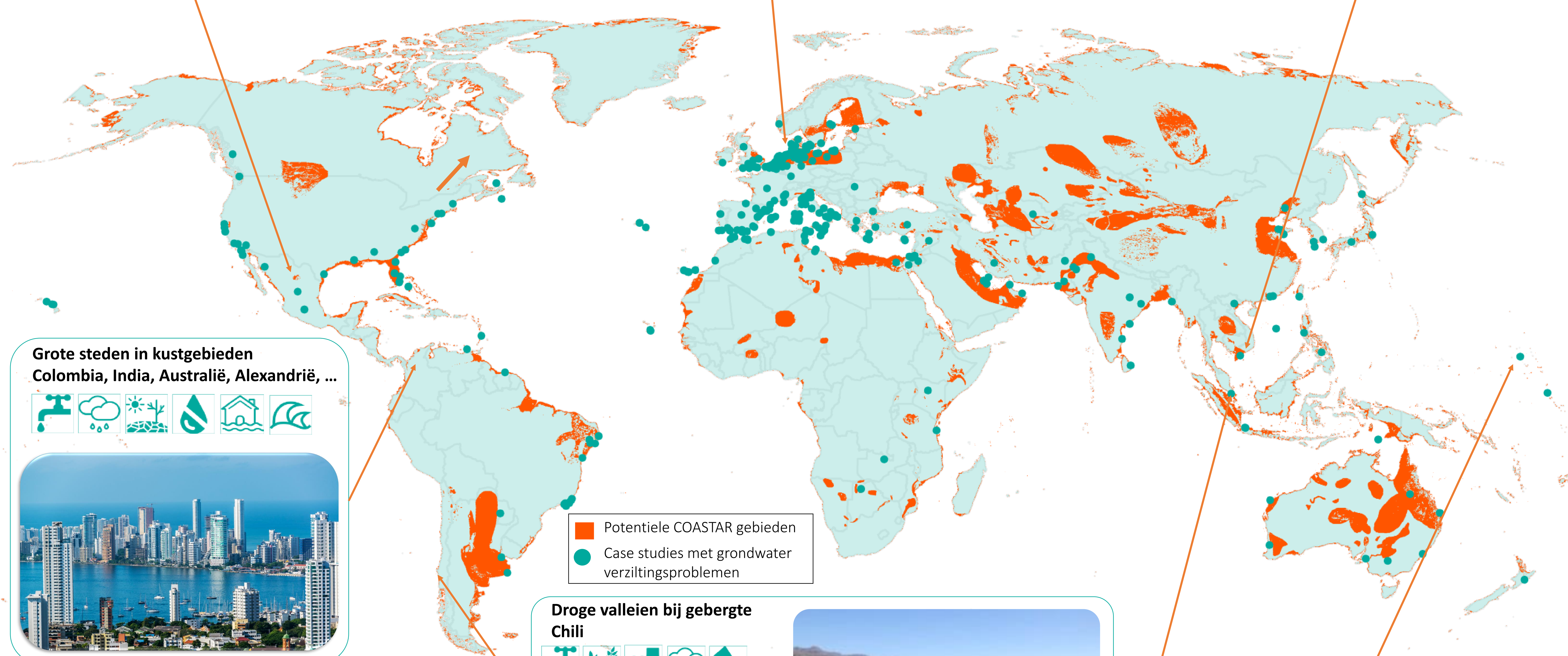
**Brakwaterwinning kwelgebieden Nederland**

- De zuivering van brakke kwel naar drinkwater heeft een rendement van 50-75%
- Zoetwaterproductie NL 1800 miljoen m<sup>3</sup>/jaar
  - drinkwatervraag NL 1150 miljoen m<sup>3</sup>/jaar
  - Zoetwaterproductie Wieringermeer (1) 24 miljoen m<sup>3</sup>/jaar; Noordplaspolder (5) 4 miljoen m<sup>3</sup>/jaar
- Reductie zoutbelasting naar oppervlaktewater 9 – 66%
- Weinig invloed op gemiddeld hoogste en gemiddeld laagste grondwaterstand
- Afname opbarstingsrisico deklaag

1. Wieringermeer, 2. Schermer, 3. Haarlemmermeer, 4. Groot Mijdrecht, 5. Noordplaspolder, 6. Schouwen, 7. NW-Friesland

Provinciegrens Polders  
Kwelflux (m<sup>3</sup>/ha/jr) 10000  
6000, 4000, 3000, 2000, 1500, 1000, 800, 600, 400, 300, 1, 0

**Landbouwgebieden in Vietnam**



**Grote steden in kustgebieden**  
**Colombia, India, Australië, Alexandrië, ...**

**Droge valleien bij gebergte**  
**Chili**

**Inpoldering en industrialisering**  
**Singapore**

**Kleine eilanden**

SeepCat system

**Symbolen**

**Watergebruik**

- Huishoudelijk gebruik
- Landbouwgebruik
- Industrieelgebruik

**Waterbron**

- Rioolafvalwater
- Neerslag/oppervlaktewater-overschot
- Brak grondwater
- Grondwater onder eilanden (incl. teruggewonnen eilanden)

**Uitdagingen**

- Zoutwaterintrusie
- Droogte
- Overexploitatie
- Zeespiegelstijging
- Overstroming
- Bodemdaling



# COASTAR regio Zuid-Holland: de cases

## COastal Aquifer STORAGE And Recovery

Toepassing van grootschalige ondergrondse oplossingen voor een robuuste zoetwaterlevering in combinatie met tegengaan verzilting of voorkomen wateroverlast door i) het gat te dichten tussen waterlevering en watervraag in ruimte en tijd door ondergrondse opslag van water en ii) het gebruik van brak grondwater.

Esther van Baaren<sup>1</sup>, Liduin Bos-Burgering<sup>1</sup>, Klaasjan Raaf<sup>2</sup>, e.a.

Contact: info@coastar.nl  
Website: COASTAR.nl

<sup>1</sup>Deltares, The Netherlands, <sup>2</sup>KWR Watercycle Research Institute, The Netherlands

### A1. Brakwaterwinning (diepe) polders



#### Eigenschappen

- Polder onder zeeniveau
- Ondiep brak grondwater in contact met oppervlakte water
- Zoutgevoelige landbouwgewassen

#### Uitdagingen

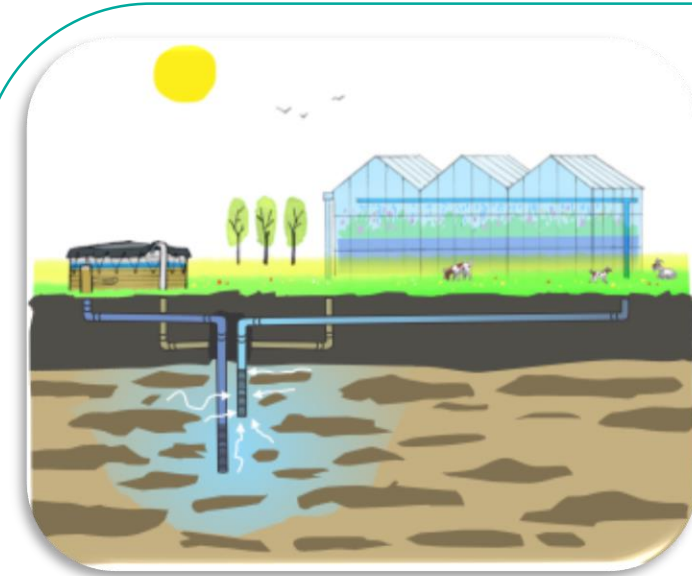
- Autonome verzilting
- Toename zoutschade landbouwgewassen
- Toename zoetwatertekorten in droge perioden
- Toename drinkwatervraag

#### COASTAR maatregelen

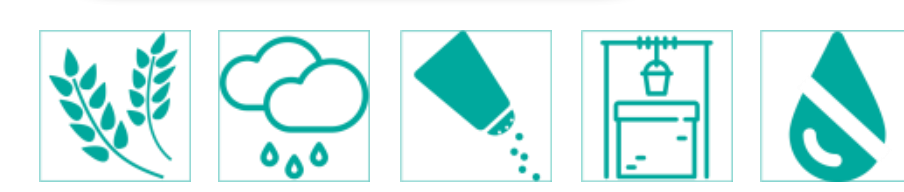
- Brak grondwater als bron voor drinkwater
- Toepassen van omgekeerde osmose op brak grondwater
- Terugdringen van kwel, zoutvrucht en opbarstingsrisico deklaag
- Terugdringen zoutschade gewassen in polders en omgeving
- Status: onderzoeksfase

#### Werkzaamheden

- Modelstudie voor het in kaart brengen van o.a. risico's, effecten, baten, onzekerheden en gevoeligheden van brakwaterwinning in de Middelburg Tempelpolder
- MKBA



### A3. Westland: droge voeten, voldoende gietwater



#### Eigenschappen

- 4000 ha. glastuinbouwgebied Greenport, hoogwaardige gewassen
- Brak watervoerend pakket, ontzilt grondwater gebruik voor irrigatie
- Regenwaterbeschikbaarheid en irrigatiewatervraag zijn in disbalans

#### Uitdagingen

- Oppervlakkige afstroming met overstroming tot gevolg
- Verzilting van het grondwater als gevolg van onttrekkingen en diepe polders, versterkt door brakke grondwateronttrekkingen en infiltratie van concentraat (=rest product van omgekeerde osmose)

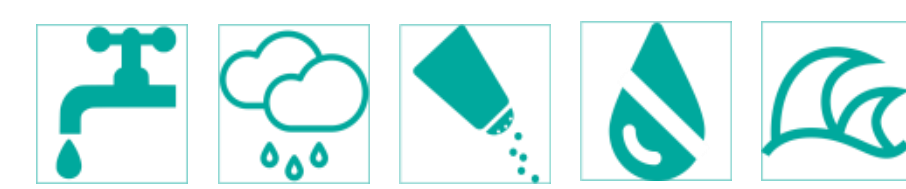
#### COASTAR maatregelen

- Het in balans brengen van grondwateraanvulling en onttrekking door infiltratie van het neerslagoverschot
- Aquifer management via waterbanking: (financieel) promoten infiltratie, per gebruik betalen van grondwateronttrekkingen
- Status: in werking (ASR pilots)/onderzoeksfase (water bank)

#### Werkzaamheden

- Kwantitatieve uitwerking Waterbank voor Westland
- Modelstudie voor het in kaart brengen van effecten en risico's op lokale en regionale schaal.
- Beantwoording van bestuurlijke, juridische en financiële vraagstukken

### A2. Brakwaterwinning kust(duinen)



#### Eigenschappen

- Belangrijk gebied voor drinkwaterlevering
- Zoete grondwaterlens in zoute ondergrond
- Bestaand robuust systeem voor infiltratie van rivierwater en onttrekking van zoet grondwater

#### Uitdagingen

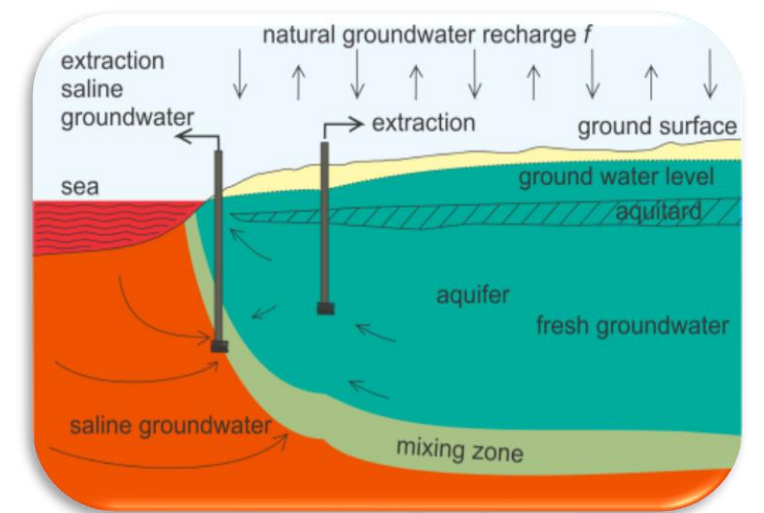
- Toename in drinkwatervraag en wens voor het vergroten van waterbronnen
- Zeespiegelstijging
- Onderbrekingen in rivierwateropname door vervuiling

#### COASTAR maatregelen

- Brakwaterwinning voor drinkwaterproductie
- Vergroten van de zoetwaterlens: overbruggen langere periode bij calamiteiten
- Status: onderzoeksfase

#### Werkzaamheden

- Modelstudie voor het in kaart brengen van de optimale inrichting, procedé en duurzaamheid van de grondwaterwinningen in kustgebieden.
- MKBA



### A4. Rotterdam



#### Eigenschappen

- Dichtbebouwd stedelijk gebied
- Lokale watervraag
- Lokaal wateroverlast

#### Uitdagingen

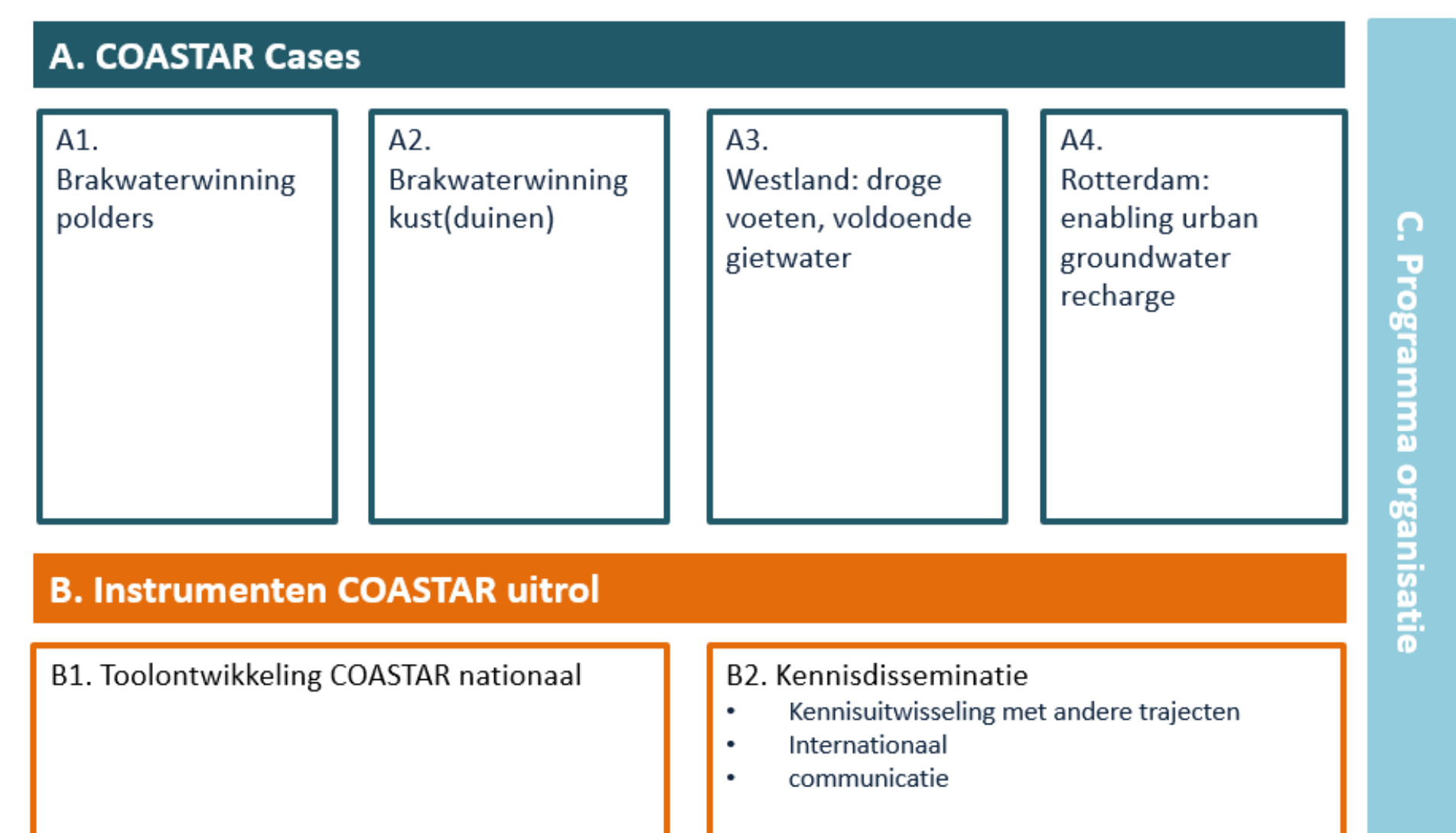
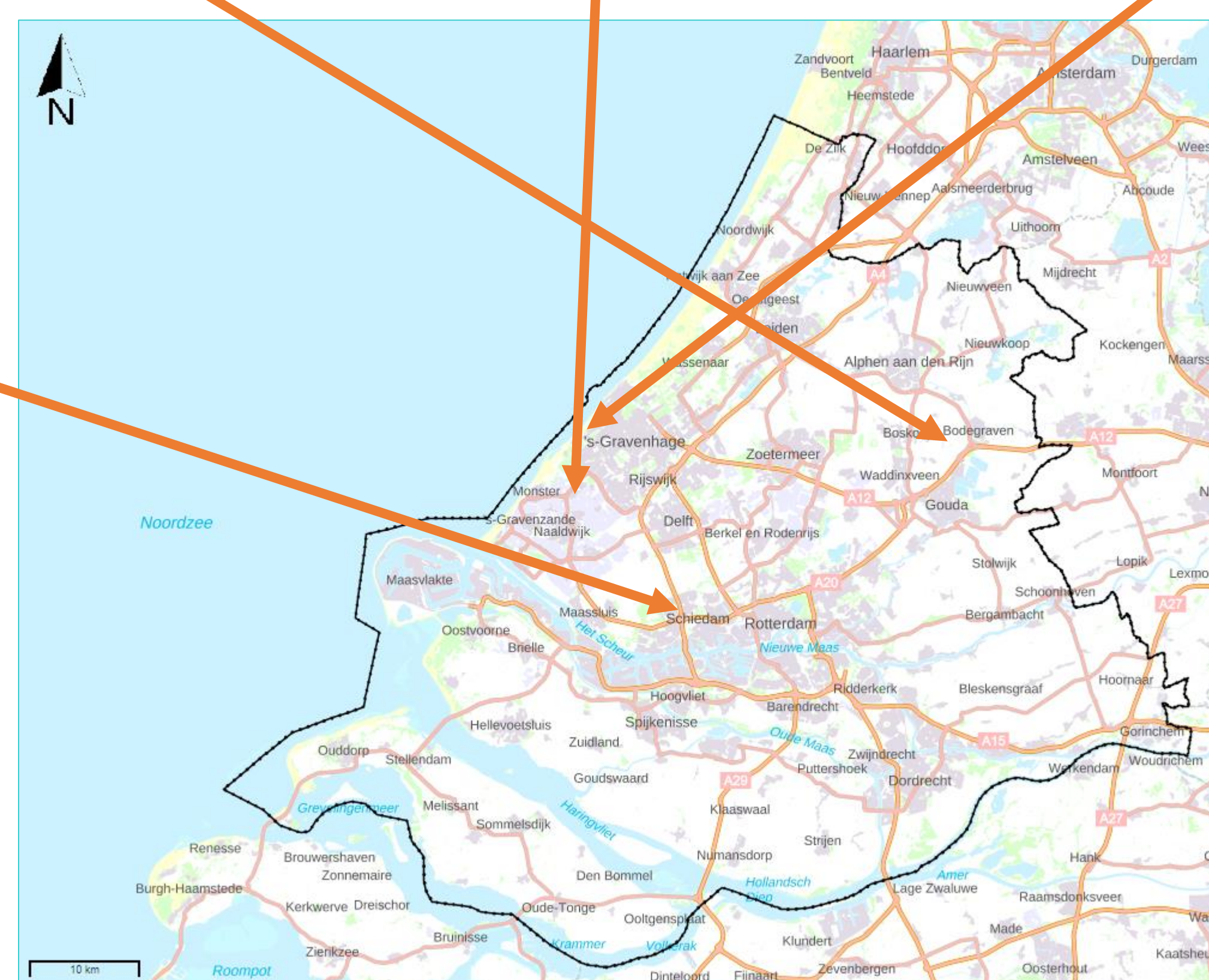
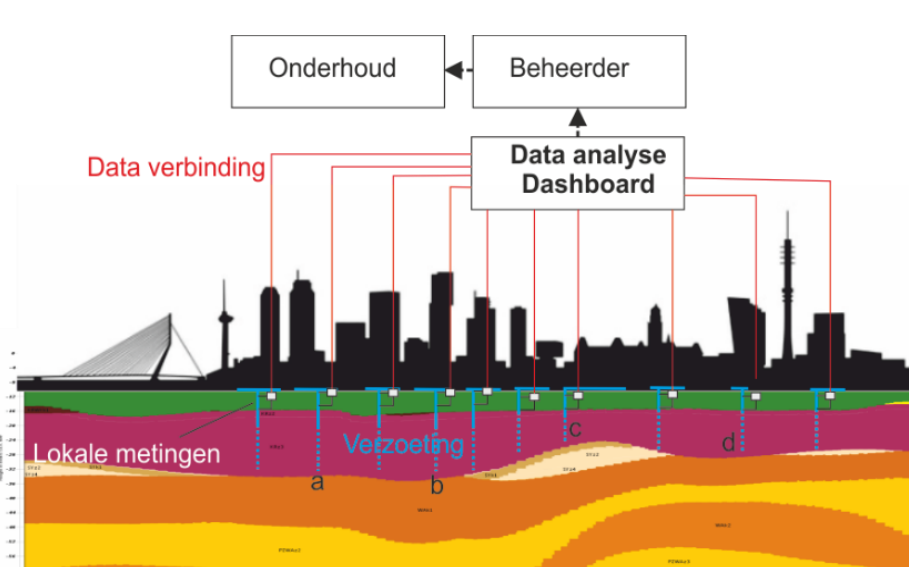
- Klimaatadaptatie in de stad
- Droogte
- Wateroverlast

#### COASTAR maatregelen

- Wateroverschotten in de stad afvoeren naar diepere ondergrond voor aanvulling van het grondwater en eventueel later gebruik
- Een extra afvoermogelijkheid wateroverschotten

#### Werkzaamheden

- Ontwerp meet- en regelsysteem voor beheer en grip op prestaties van bestaande systemen



### Nationale opschaling

#### Doelstellingen

- Inbreng regio bij DPZW, o.a. via aanlevering factsheets;
- Technische uitwerking cases i.c.m. opschaling ter inspiratie voor andere locaties in Zuid-Holland;
- Technische uitwerking cases i.c.m. opschaling ter inspiratie voor andere locaties in Nederland;
- Het in kaart brengen van gebieden met potentie voor de COASTAR maatregelen en deze combineren met de te verwachten kosten en baten per maatregel



Symbolen	Uitdagingen
Watergebruik	Zoutwaterintrusie
Huishoudelijk gebruik	Droogte
Landbouwgebruik	Overexploitatie
Waterbron	Zeespiegelstijging
Rioolafvalwater	
Neerslag/oppervlaktewater-overschot	
Brak grondwater	





# Fijn zand en wateropslag, hopeloos verhaal of toch niet?

## Vertrekpunt

Als landbouwprovincie heeft Zeeland behoefte aan zoet water. Ondanks koppeling aan het landelijke zoete hoofdwatersysteem in het oosten (Volkerak-Zoommeer) en bescheiden externe aanvoer elders, zijn veel boeren voor hun zoete water aangewezen op neerslag. Op jaarbasis bestaat een neerslagoverschot, maar seizoensal is er een variabele onbalans met een overschot in de winter en een zomers tekort. De elegantste manier om deze onbalans te beperken, is door het winterse overschot op te slaan in de bodem en het daar in de zomer naar behoefte aan te onttrekken. Er is dus een logische interesse in de factoren die de opslagmogelijkheden bepalen.

Van nature zijn hier en daar aanzienlijke zoetwatervoorraden aanwezig in de Zeeuwse ondergrond (zie figuur 1). Een maaiveldligging boven NAP en een goeddoorlatende bodem zorgen voor infiltratie van regen die daarmee in de loop van de tijd het oorspronkelijke zoute water in de ondergrond heeft weggedrukt. De duinen vormen een extreem voorbeeld, door de hoge ligging en grofzandige ondergrond. Het zout zit er vaak op meer dan 100 meter diepte. Binnendijks liggen kreekkruggen meestal iets hoger dan de omgeving en hebben een zandige ondergrond. Ook daar hebben zich zoetwatervoorraden gevormd, vaak met een dikte van 20-30 meter. Deze gebieden bieden gelegenheid tot mijning van zoet water, iets wat in toenemende mate gebeurt. Door de zandige ondergrond vindt 's winters infiltratie plaats, zodat de voorraad zoet water op peil blijft (uitgaand van onttrekking volgens de regels). Door de goede doorlatendheid van de ondergrond zijn de onttrekkingsdebieten relatief hoog en bieden gelegenheid tot directe beregning. Door de oogharen heen zijn de contouren van de figuren 1 en 2 overeenkomstig.

De in deze poster beschouwde vraag is nu of in de gebieden zonder goeddoorlatende bodem toch mogelijkheden zijn voor wateropslag?

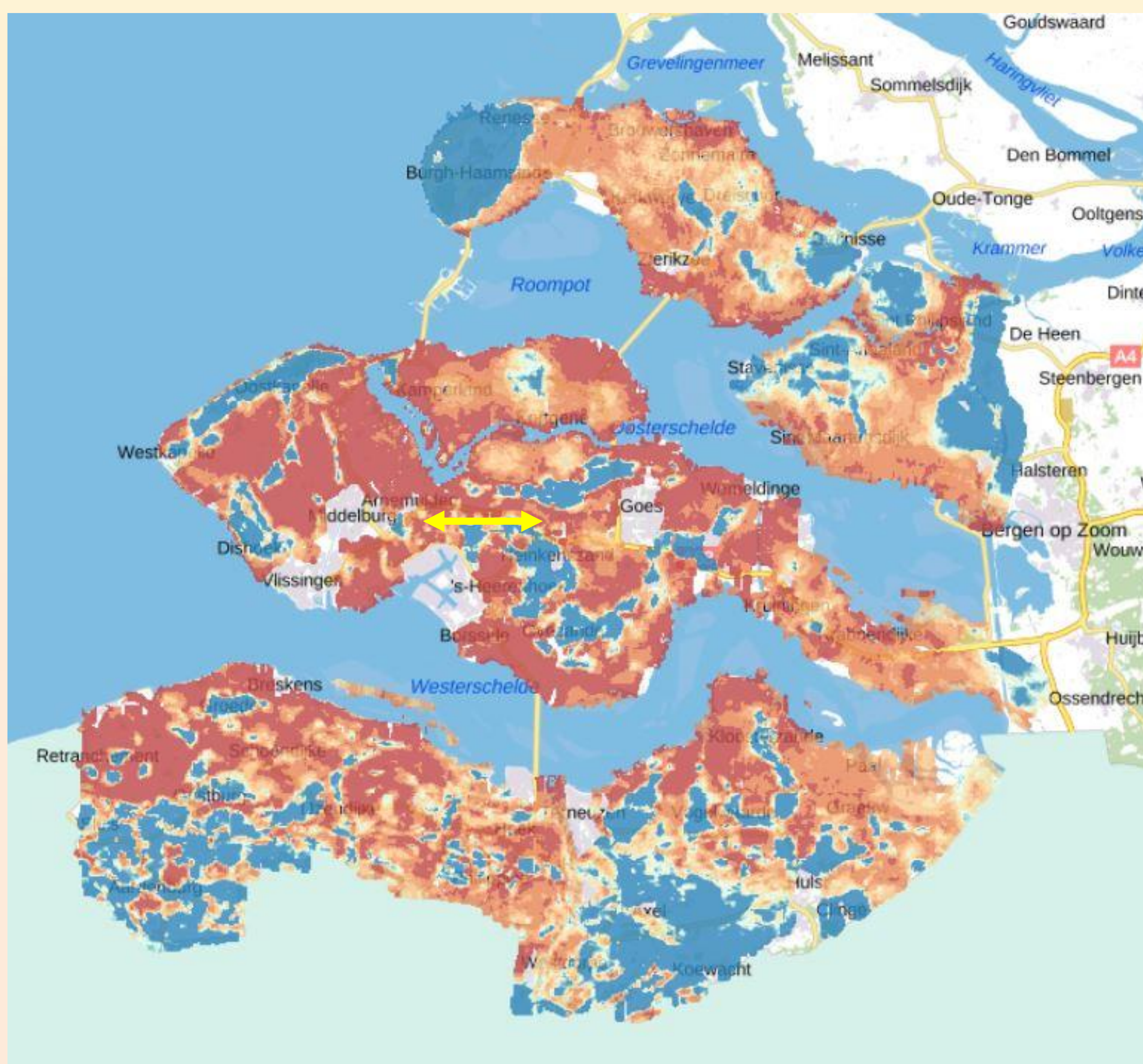


Fig. 1 Horizontale zoet-zoutdoorsnede op 15 m -NAP. Blauw is zoet, rood zout (Freshem Zeeland).

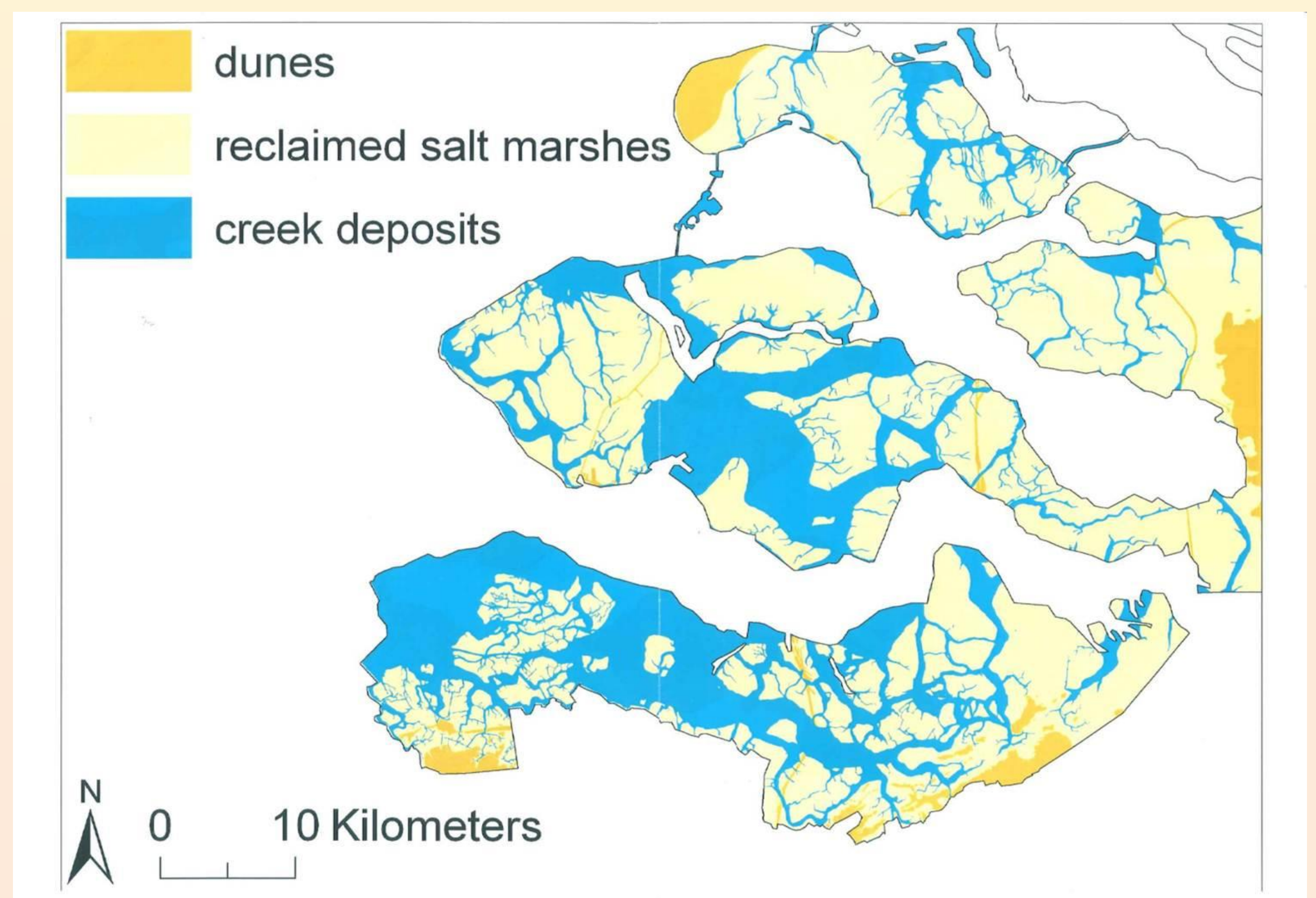


Fig. 2 Globale aanduiding van dek- en duinzanden, kreekkruggen en voormalige schorgebieden (Bron Deltares)

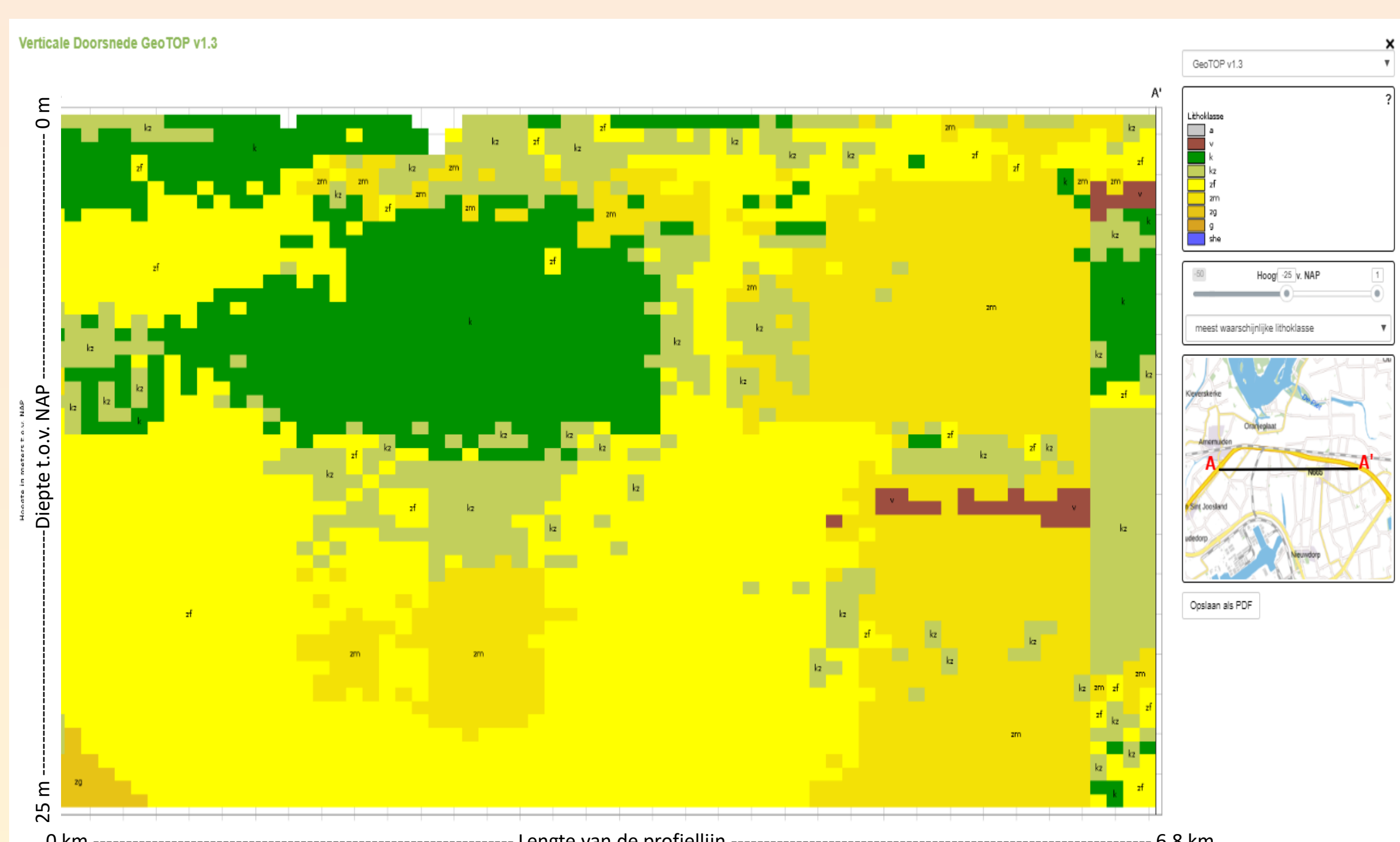


Fig. 3 Profiel van de lithologie volgens de gele pijl in fig. 1 (Bron: GeoTop). Groen is klei, Lichtgroen kleiig zand, lichtgeel fijn zand en donkergeel matig grof zand. Westelijk zit relatief veel klei en is het grondwater op 15 m diepte zout. Oostelijk is het pakket zandig en het water zoet.

## Gedachtegang

- **Significante zoetwateropslag kan niet in een matig doorlatende toplaag.** De kans op natschade en/of onbewerkbaarheid van het land is dan te hoog. Een praktische diepte voor opslag is in de zone van 5-10 m -mv, omdat daarin relatief goedkoop diepdrains kunnen worden aangelegd.
- **Actief water infiltreren in en onttrekken aan een matig doorlatende ondergrond kan alleen met laag debiet.** Klei is waarschijnlijk te compact om er reële gelegenheid voor te bieden. Kleiig zand of fijn zand bieden potentieel meer kansen.
- **Voordeel van matige doorlatendheid is dat zoet water beter wordt "opgesloten".** De uitwisseling met de omgeving is beperkt, dus het opdrijven van een zoete bel verloopt langzamer dan in een goed doorlatende ondergrond. De voorraad blijft waarschijnlijk langer "fris".
- **Vanwege het relatief lage onttrekkingsdebiet, ligt het voor de hand meerdere diepdrains aan te leggen,** die een groter somdebiet genereren en de kans op zoutopkegeling beperken. Ondanks de koppeling van meerdere drains, lijkt een resulterend debiet groot genoeg isom regulier te beregenen onaannemelijk. Subirrigatie via een samengesteld drainagesysteem biedt perspectief
- **Infiltratie kan potentieel via dezelfde diepdrains, maar ingeval van een toevallig redelijk doorlatende toplaag kan ook subirrigatie plaatsvinden via een samengesteld en peilgestuurd drainagesysteem.**

## Zoektocht

Op basis van de gedachtegang uit het rechtse kader zal gezocht worden naar locaties die aan de volgende voorwaarden voldoen:

- **Beschikbaar zoet water voor infiltratie.** Dat kan een zoete stroom oppervlaktewater zijn, maar ook onvervuild drainwater uit het eigen perceel.
- **Een matig doorlatende ondergrond in de zone tussen 5-10 m -mv.**
- **Een kleilaag op <10 m -mv geldt als aanbeveling, als een soort bodem onder de voorraad die zoute opkegeling beperkt.**
- **Een eigenaar met zelfbeheersing, die accepteert dat deze voorziening slechts een klein debiet kan leveren en dus een consequente infiltratie vraagt en een voorzichtige onttrekking.**

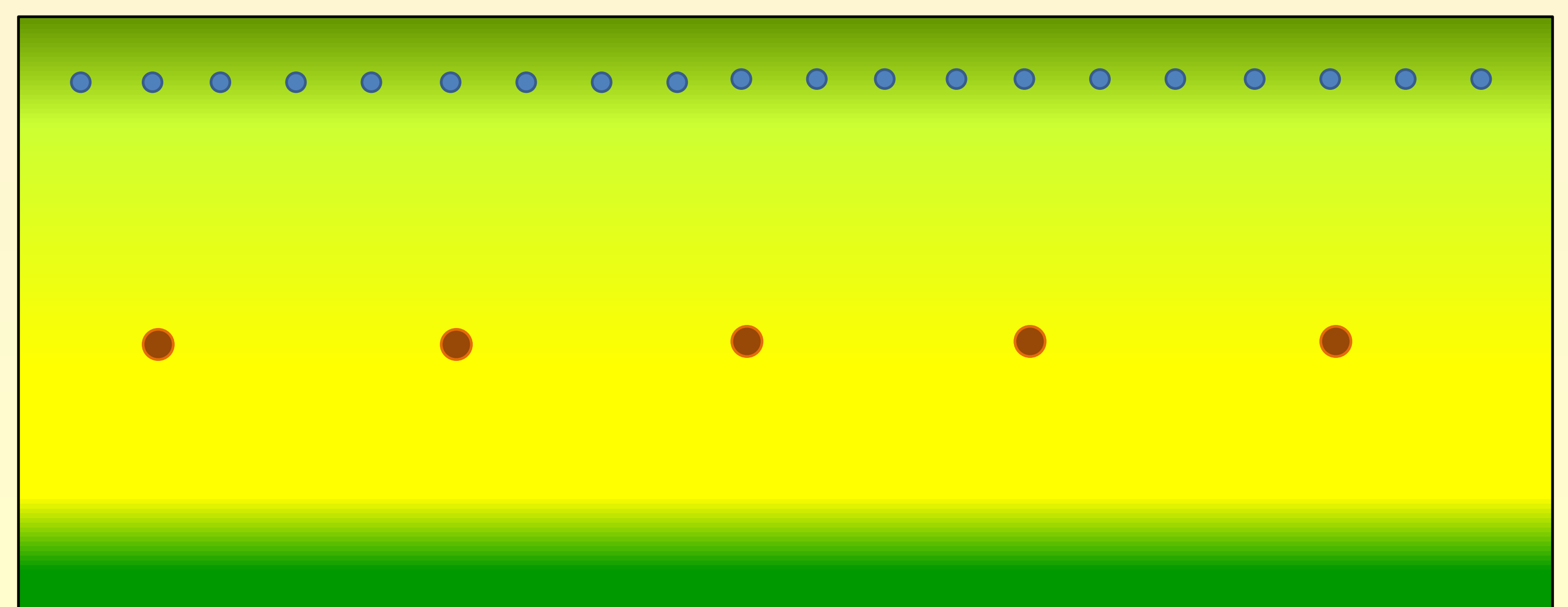


Fig. 4 Schematisch ideaalbeeld van proeflocatie, met een ondiep samengesteld peilgestuurd drainagesysteem en een meervoudige (gekoppelde) set horizontale diepdrains op 5-6 m -mv.



# Duurzaam gebruik ondiep grondwater

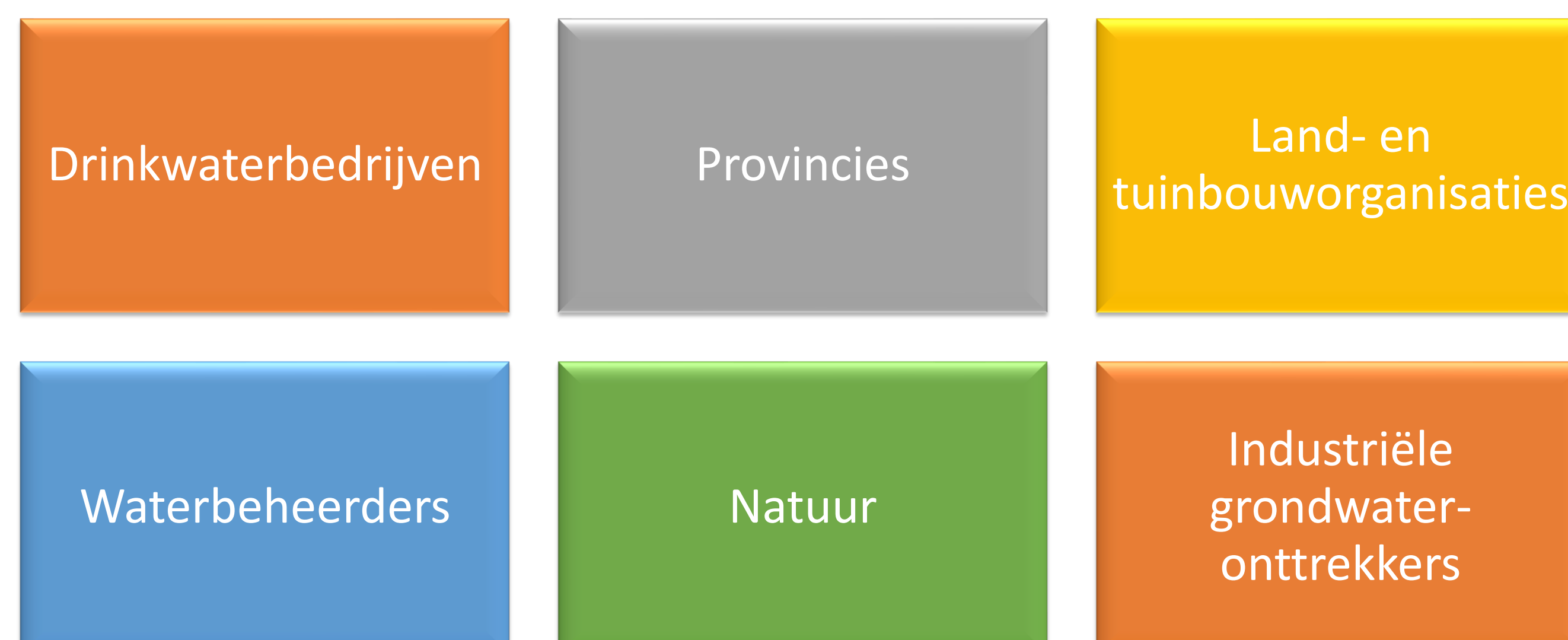
## Aanleiding en doel



### Duurzaam:

- Zonder aantasting van de grondwateraanbod
- Zonder onomkeerbare schade aan grondwaterafhankelijke functies

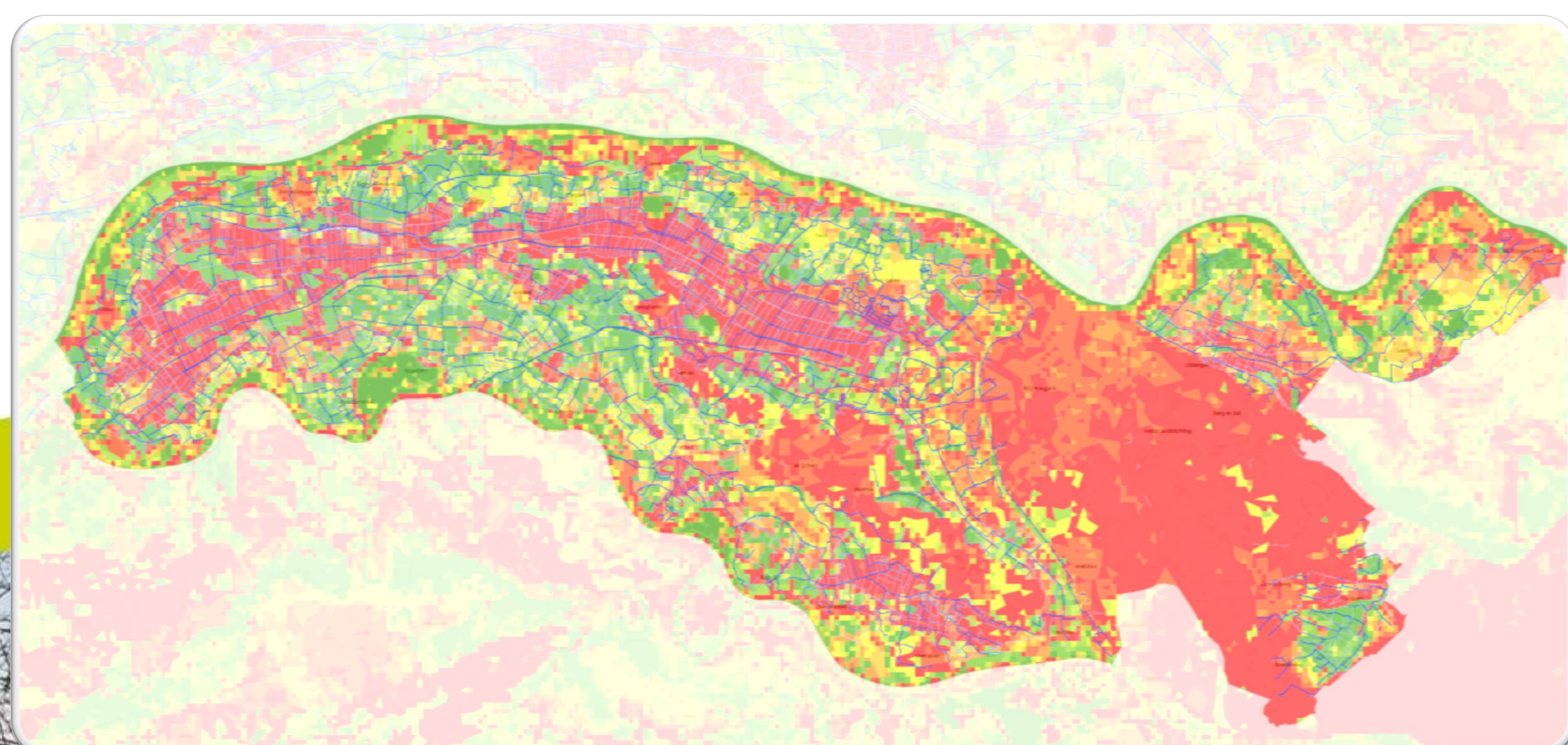
## Te betrekken partijen



## Onderzoeksvragen

- Bepaal de **geschiktheid van MORIA**
- **Actualiseren van de RVZR4** voor kenmerkende droogtejaren in Referentie2017 en Stoom2050:
  - Bepaal de **waterbehoefte**.
  - Bepaal het **'technisch' wateraanbod van het hoofwatersysteem**.
  - Bepaal het **watertekort oppervlaktewater**.
- Onderzoek mogelijkheden voor duurzaam gebruik van ondiep grondwater:
  - Bepaal samen met de stakeholders de **grondwaterbehoefte** om het watertekort oppervlaktewater te beperken.
  - Bepaal het **aanbod hernieuwbaar ondiep grondwater**.
  - Bepaal a.d.h.v. varianten, die afgeleid zijn van de wensen van de stakeholders, de **effecten van duurzaam gebruik van ondiep grondwater zonder en met actieve voorraadvorming op**:
    - Bijdrage aan beperken watertekort oppervlaktewater
    - Grondwateraanbod (kwantiteit en kwaliteit)
    - Grondwaterafhankelijke functies
- Vertaal de onderzochte varianten door naar concrete maatregelenpakketten en beleidsvoornemens.

## Proces



sterke dijken  
schoon water

Wat kan deze studie voor jou betekenen?



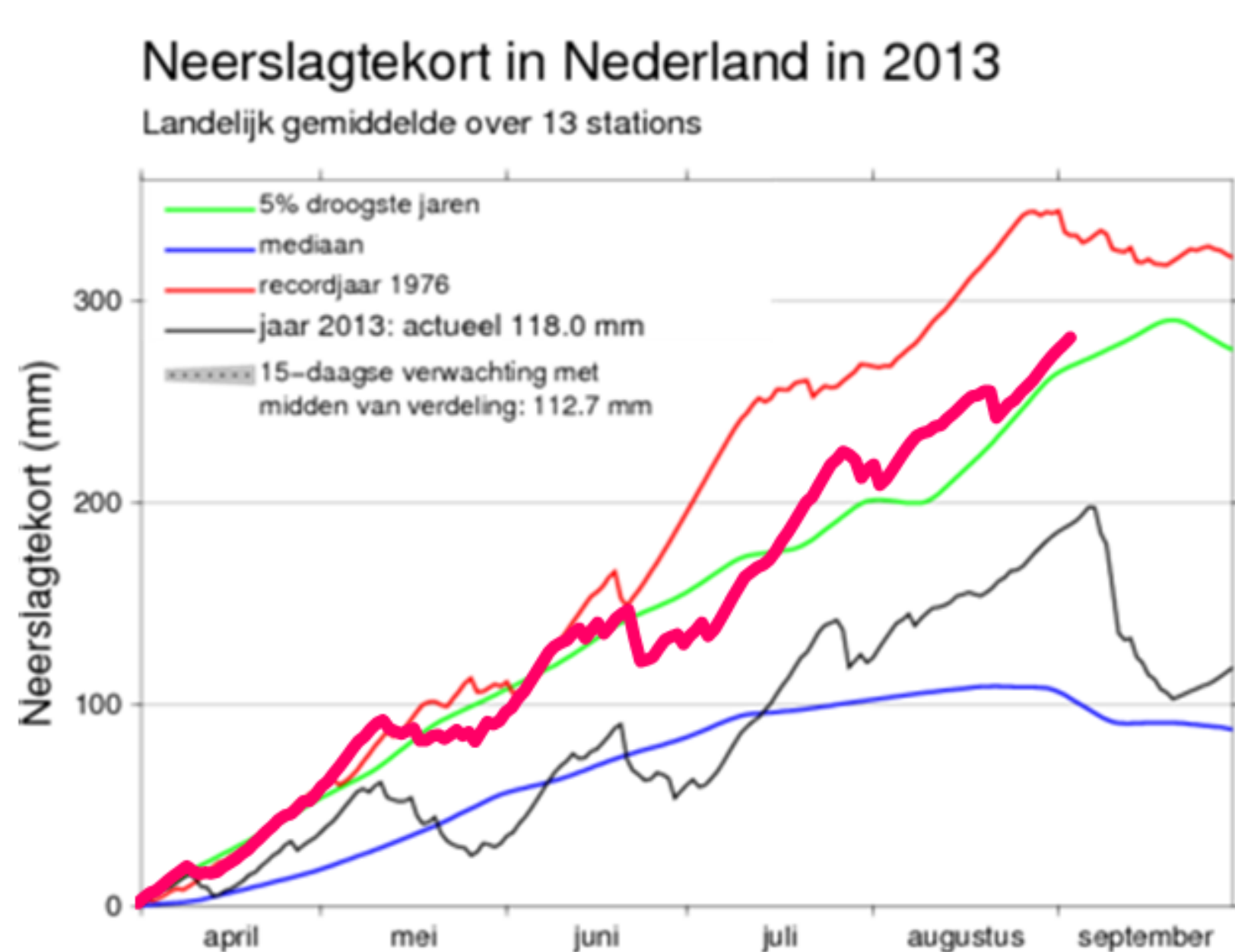
# Zoete Toekomst Texel

De ambitie om Texel volledig zelfvoorzienend te maken voor zoetwater

Texel is voor de zoetwatervoorziening volledig afhankelijk van regenwater en de drinkwaterleiding met het vaste land. Landbouw en natuur zijn de twee grote waterbehoefte functies op Texel. De klimaatscenario's voorspellen dat de zomers droger worden afgewisseld met zware regenval. De ambitie van 'Zoete toekomst Texel' is om het eiland volledig zelfvoorzienend voor zoetwater.

## Texel is Nederland in het klein

Texel is Nederland in het klein met zijn duinen en polders, maar ook qua landbouw. Bloembollen, akkerbouw en veeteelt zijn de landbouwbedrijven die op Texel aanwezig zijn. Op Texel worden alleen niet de opbrengsten bereikt zoals op het vaste land. Water vormt namelijk een belangrijke beperkende factor op het eiland. Texel heeft geen externe wateraanvoer en er valt gemiddeld minder neerslag op Texel dan in de rest van het land. Texel is daarmee wel representatief voor de opbrengst bij een te verwachten extremer klimaat in Nederland.

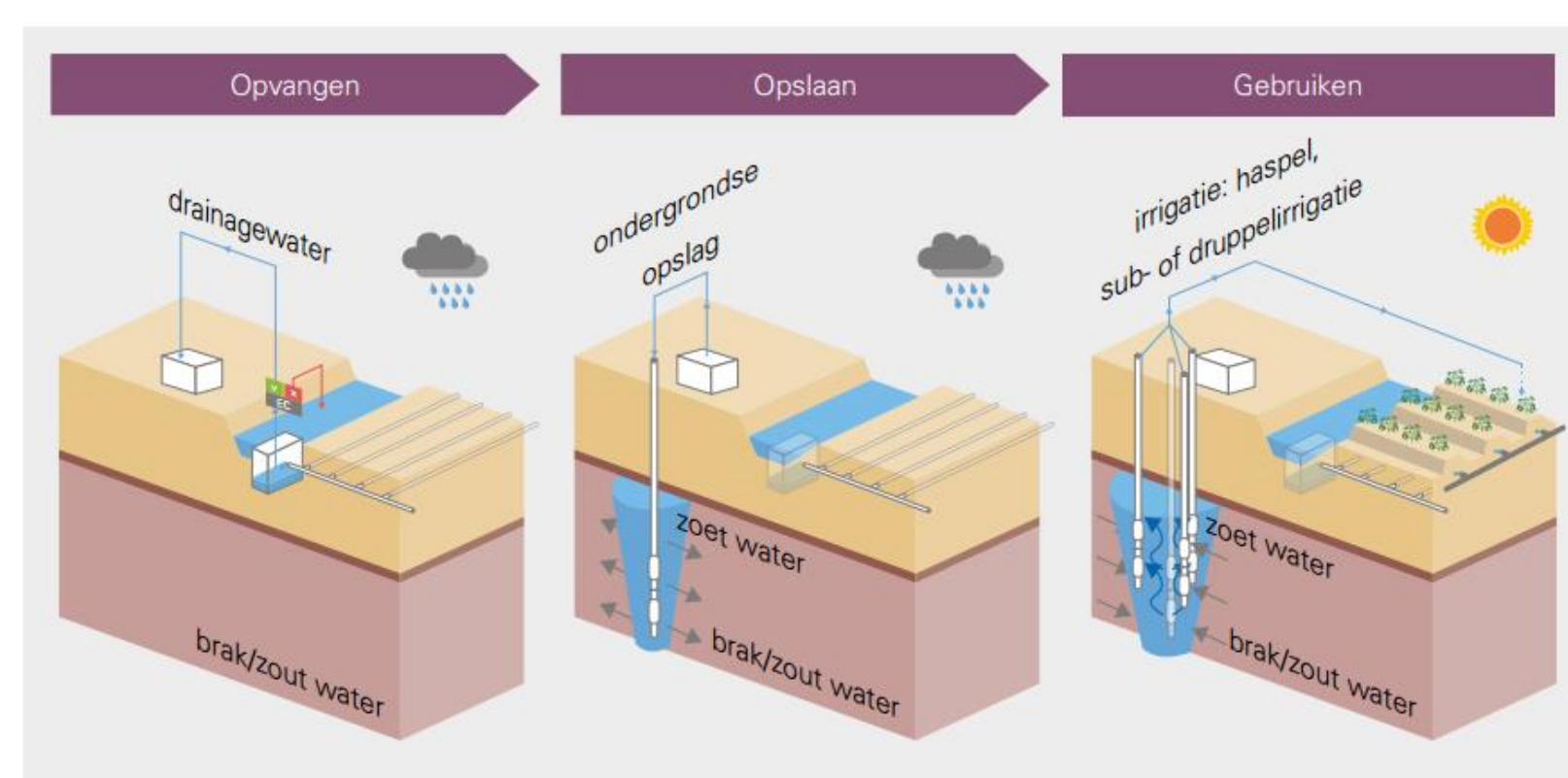


Een normaal jaar als 2013 in de Bilt (gemiddelde voor Nederland) is op Texel heel anders. Op Texel komt dit normale jaar overeen met een zeer droog jaar en deels zo droog als 1976. Een droogte zoals die in de Bilt maar 1x per 100 jaar voorkomt. Het neerslagtekort voor 2013 in de Bilt is de zwarte lijn. Het neerslagtekort voor Texel is in roze weergegeven.

In een redelijk normaal jaar als 2017 is de gewasschade per ha van ruim € 3000,- vastgesteld voor akkerbouwbedrijven op Texel. Dit zijn de schades die nu naar voren komen op het vaste land van Noord-Holland, Friesland en Groningen in het extreem droge jaar 2018.

## Urgentie & maatregelen

Jaarrond valt er wel voldoende neerslag om aan de vraag van de landbouw te kunnen voldoen. Het probleem is dat de neerslag valt op het moment dat er geen behoefte is aan irrigatiewater (zie huidige watervraag Texel). Daarom wordt jaarlijks ca. 44 miljoen m<sup>3</sup> uitgeslagen op de Waddenzee. Als dit water vastgehouden kan worden levert dit perspectief voor landbouw en natuur.

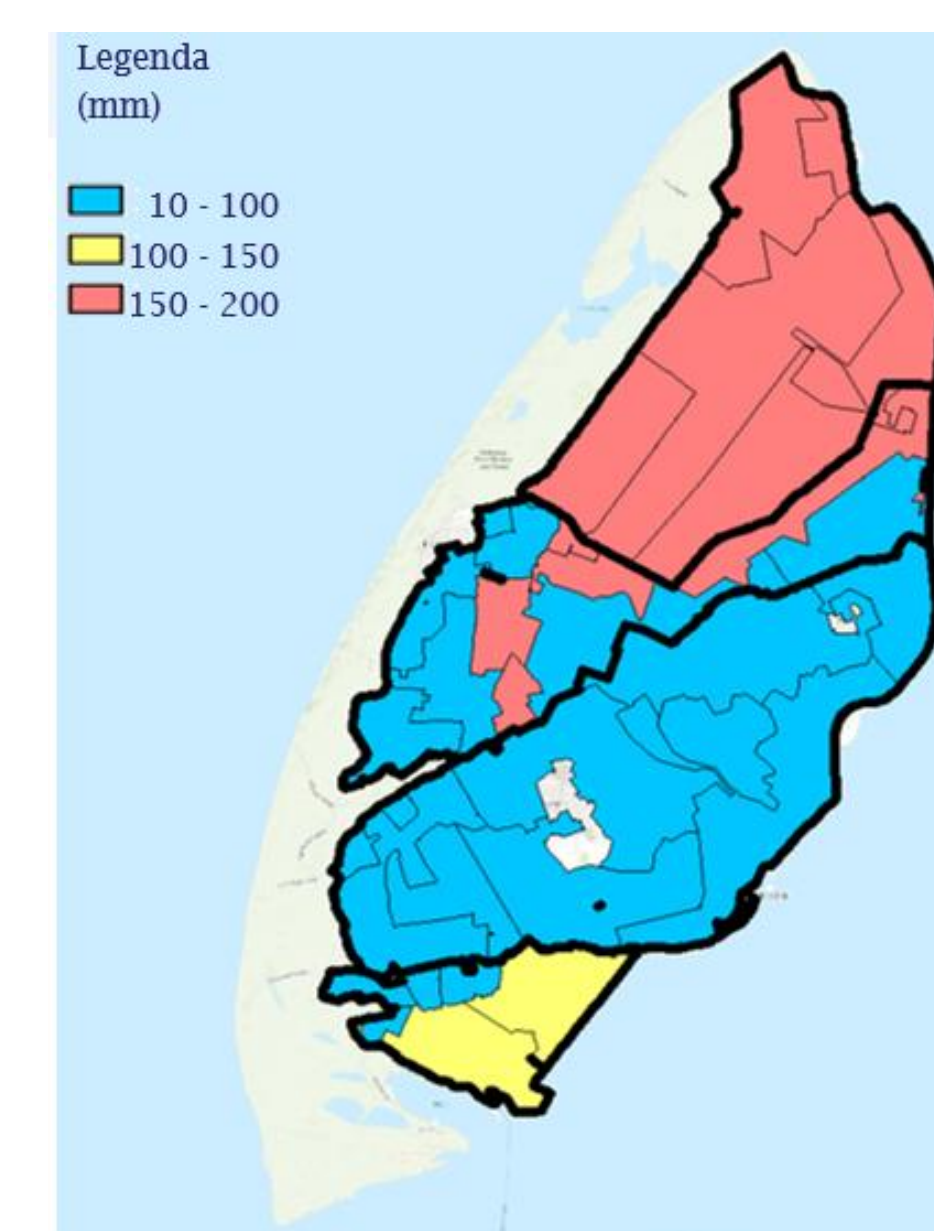


De primaire doelstelling van Zoete Toekomst is om de zelfvoorzienendheid voor zoet water voor de landbouw en natuur op Texel te realiseren. De ambitie is om tot opbrengsten te komen die op het vaste land 'normaal' zijn door aanvoer van water uit het IJsselmeer. Dit primaire doel wordt gerealiseerd aan de hand van een aantal subdoelstellingen:  
De ontwikkeling van systemen voor volledige zelfvoorziening van zoetwater op tenminste twee locaties;

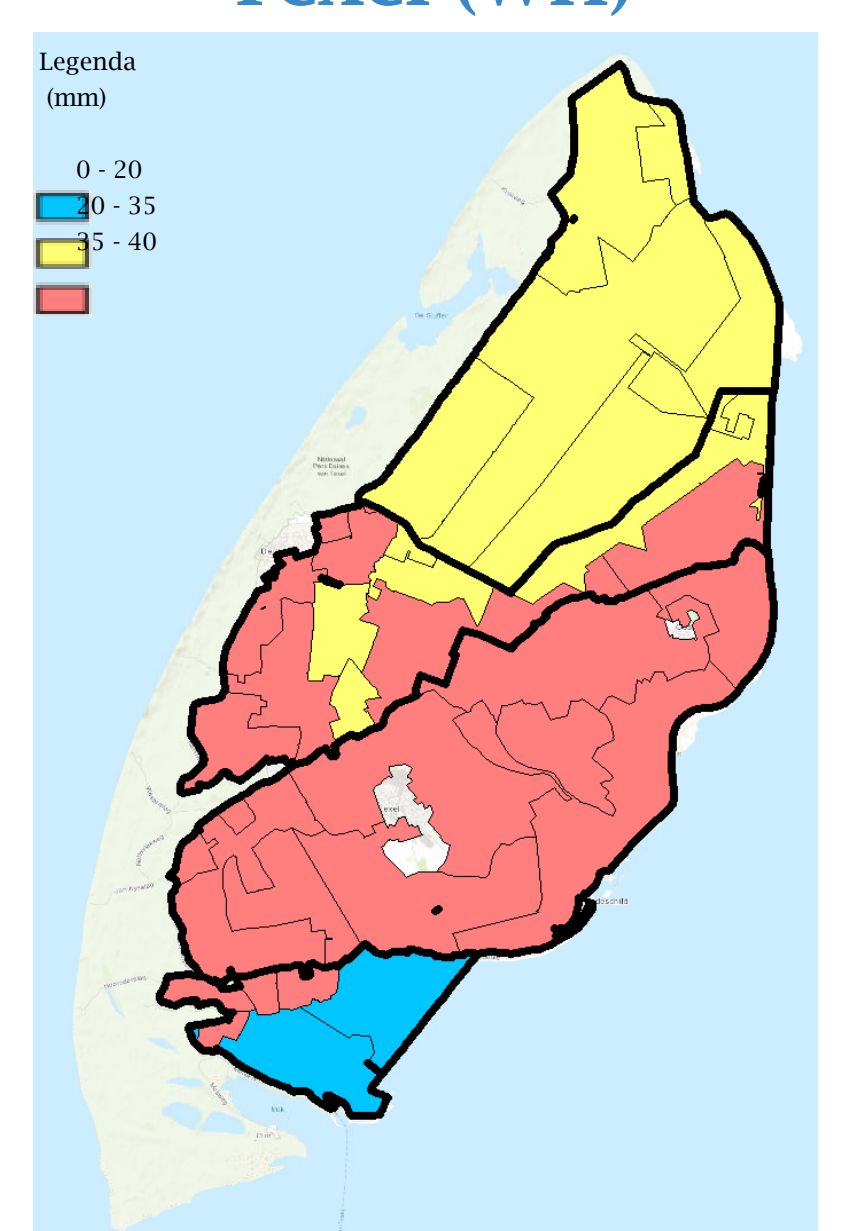
- toepassing van een innovatieve componenten om technisch en economische haalbare systemen te ontwikkelen;
- systeemontwikkeling dat resulteert in een dempend effect op de afvoerpieken van extremen neerslag;

- komen tot een blauwdruk voor een watercoöperatie van zoetwatervoorraden;
- komen tot financieringsarrangementen om de systemen, al dan niet in combinatie met een water coöperatie, gefinancierd te krijgen.

## Huidige watervraag Texel

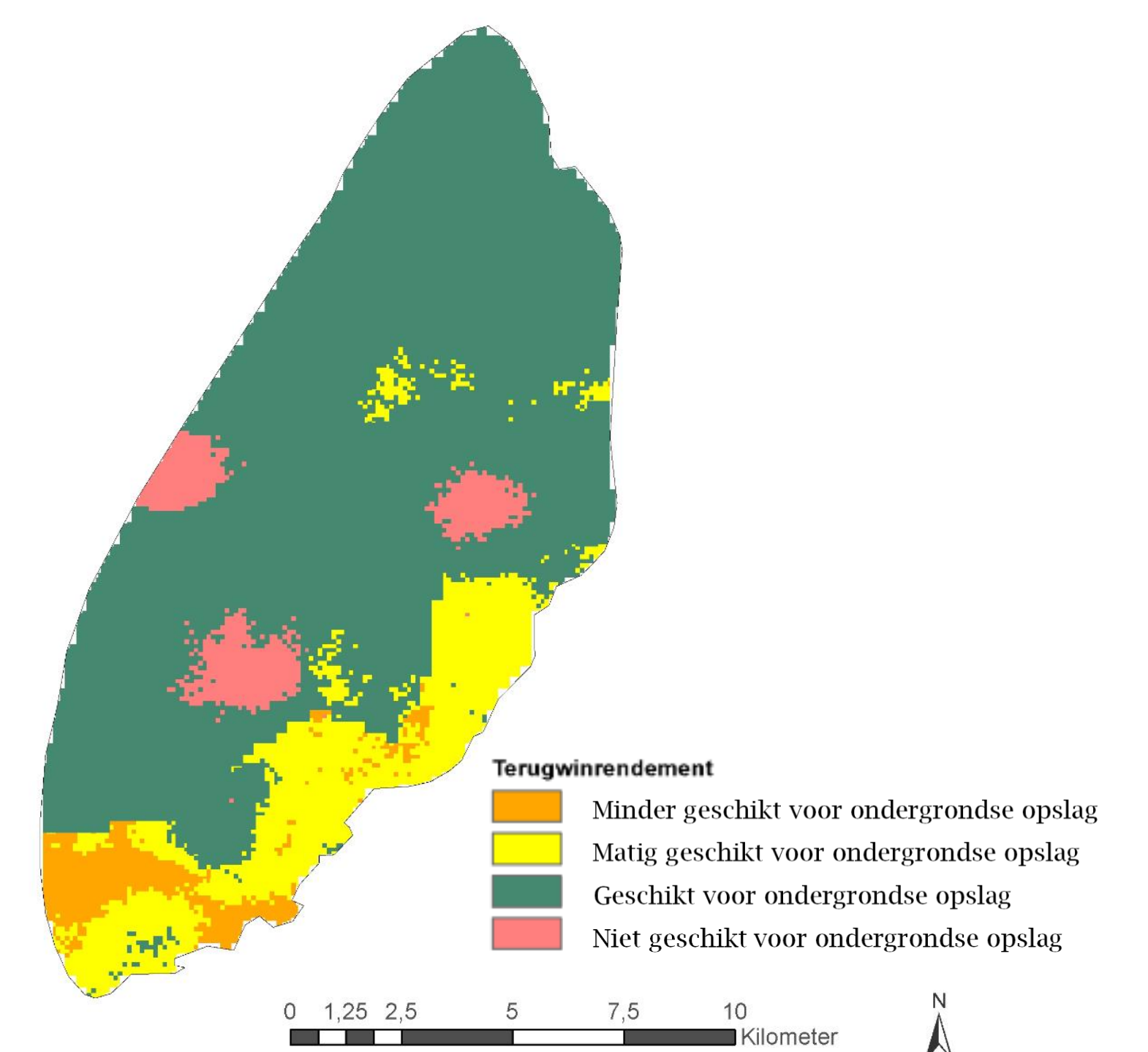


## Toename watervraag Texel (WH)



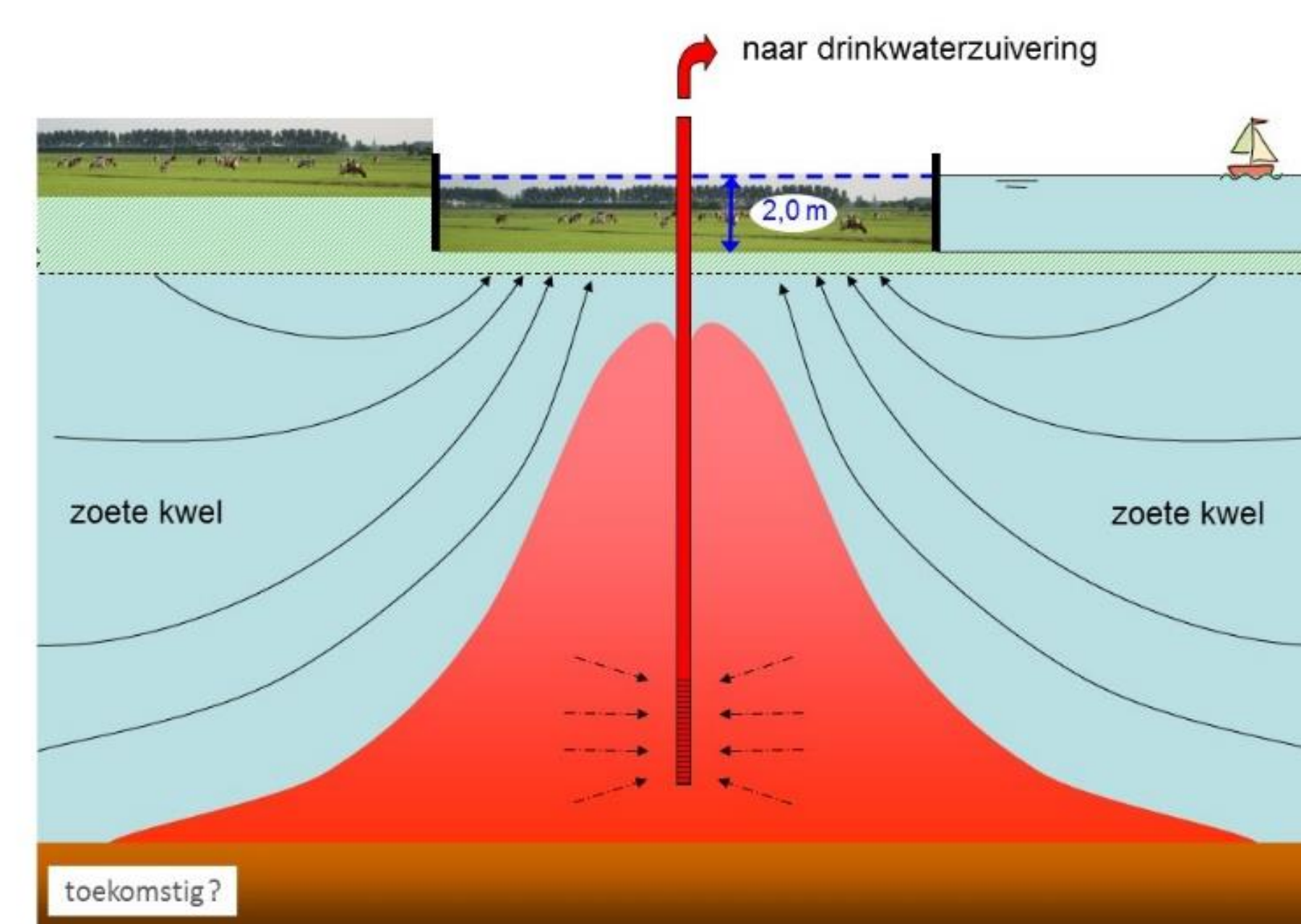
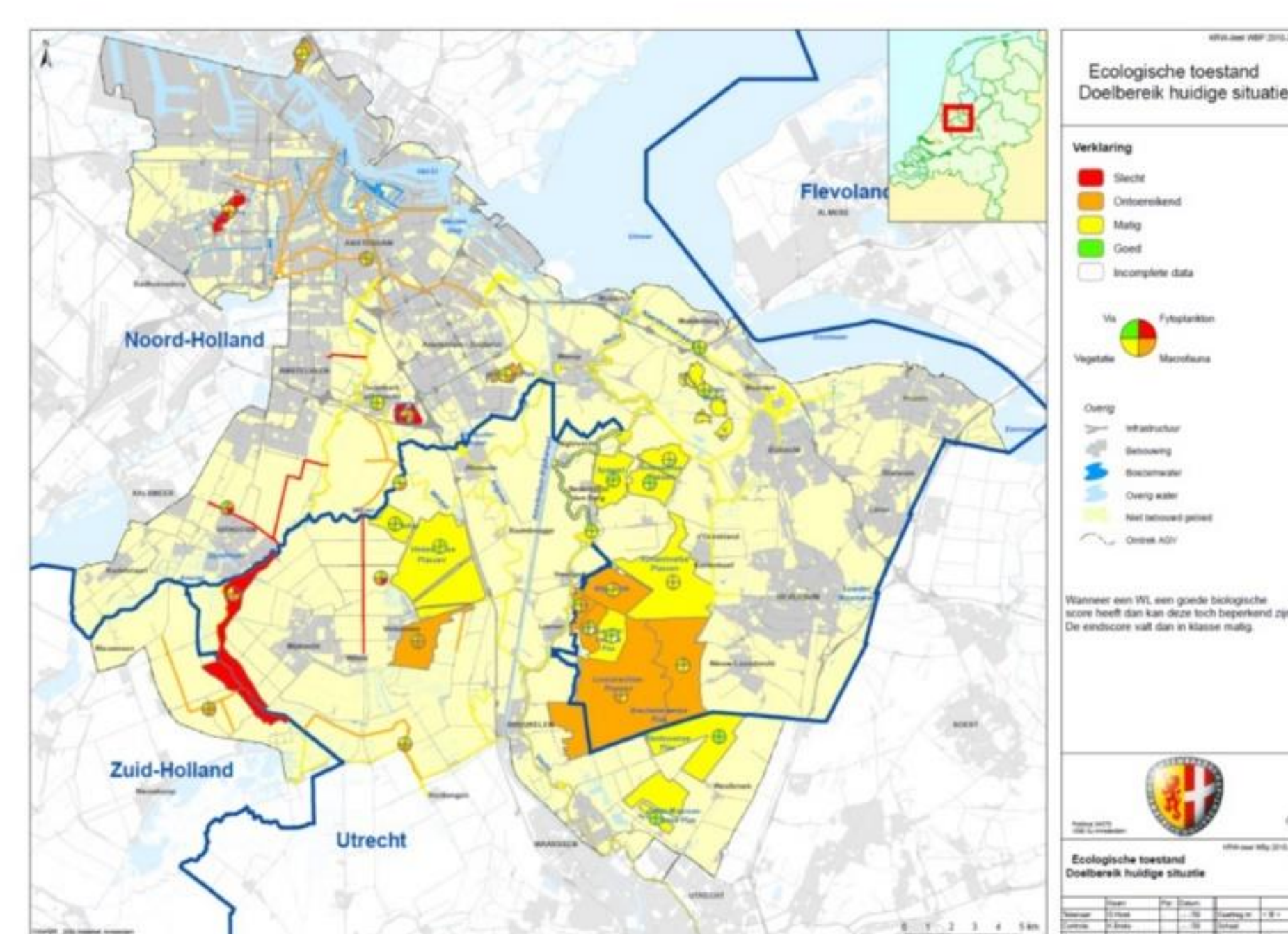
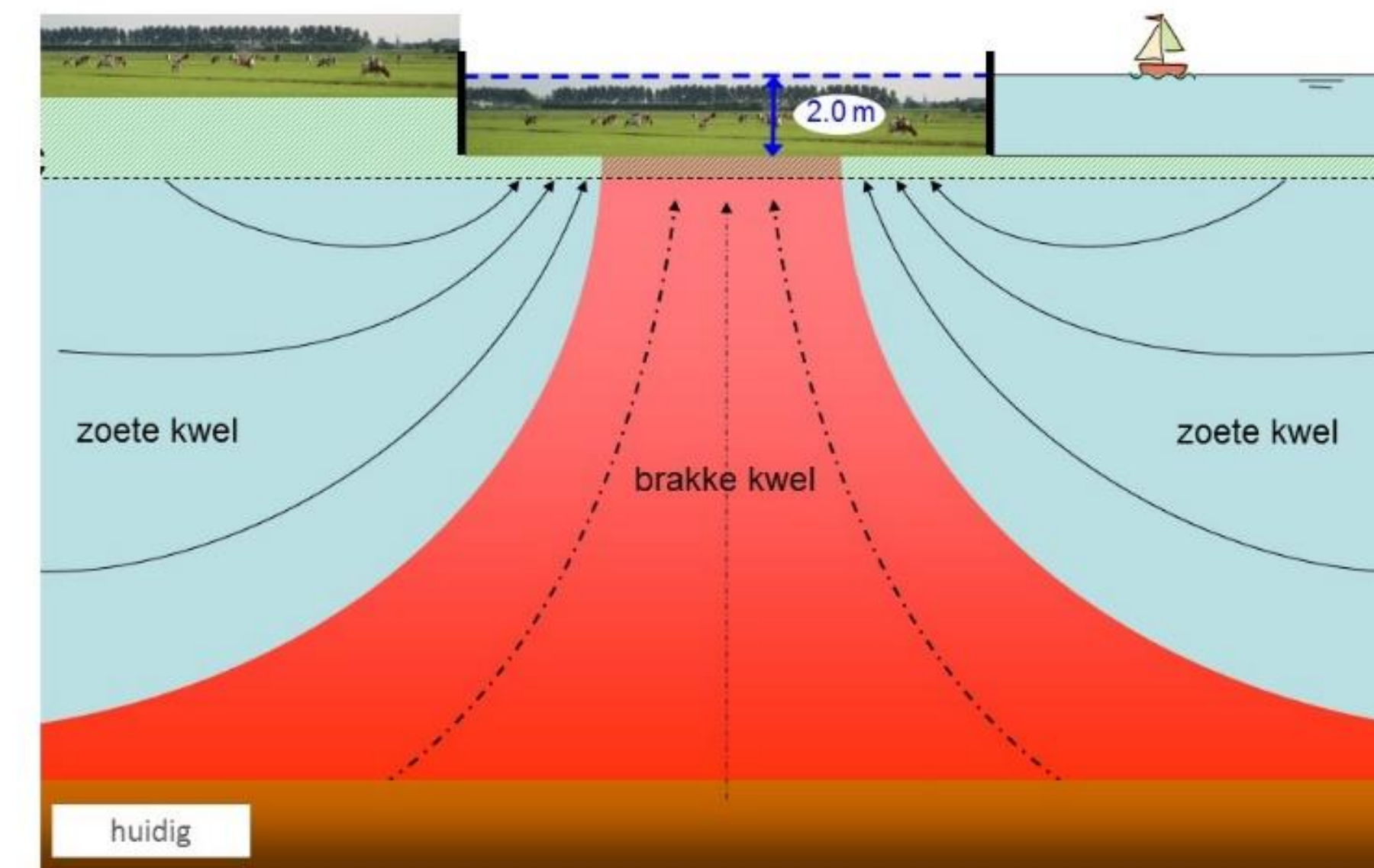
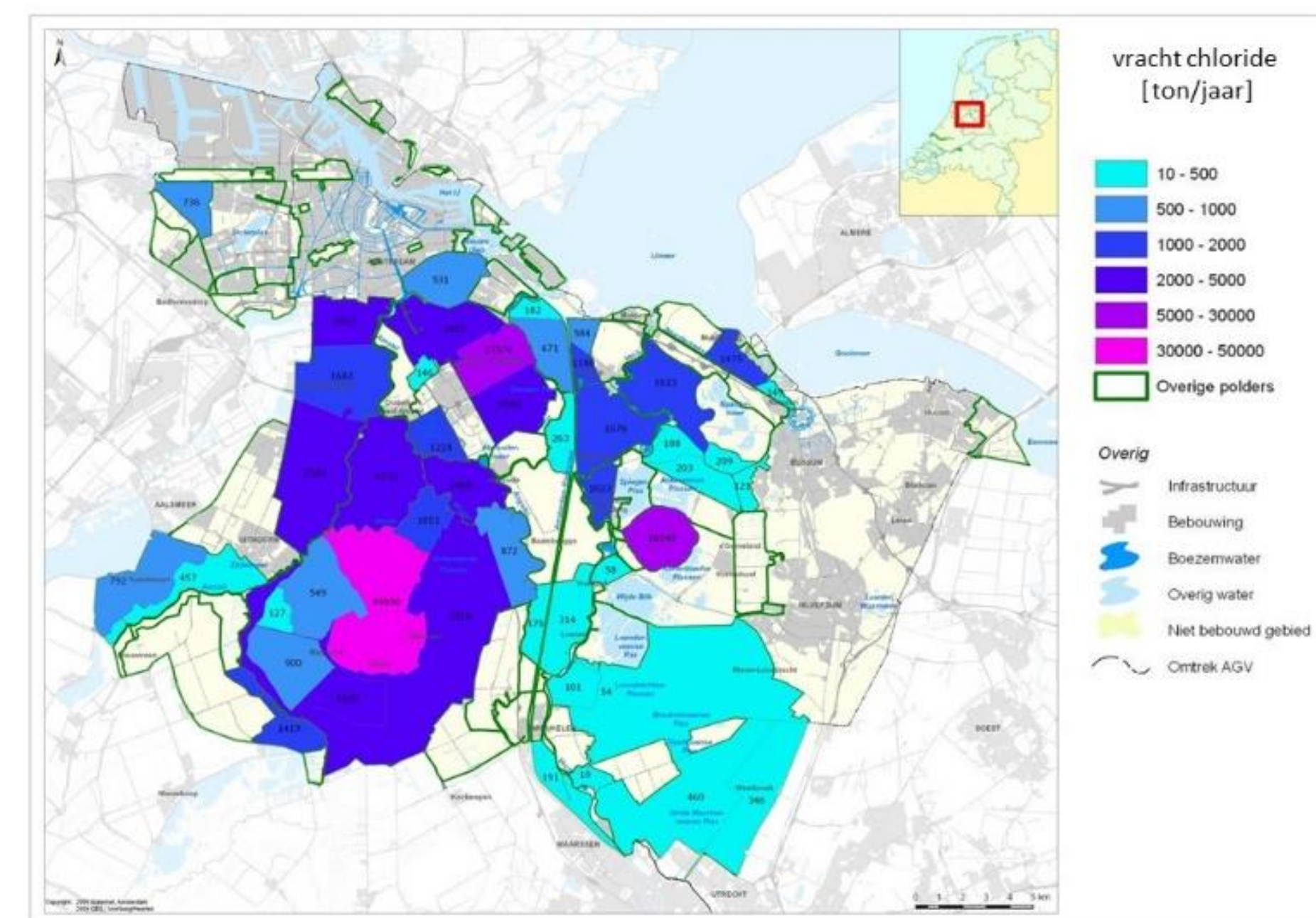
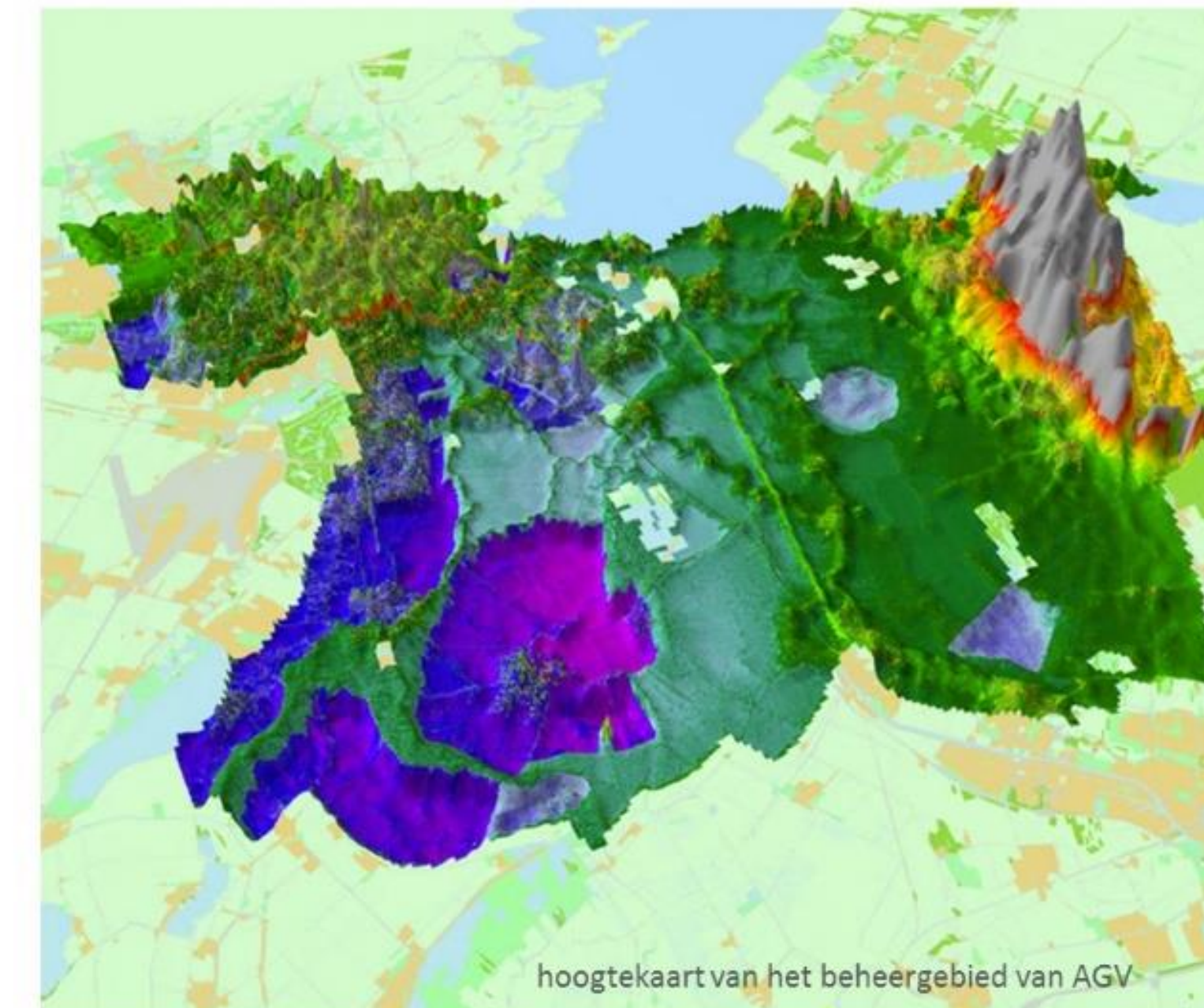
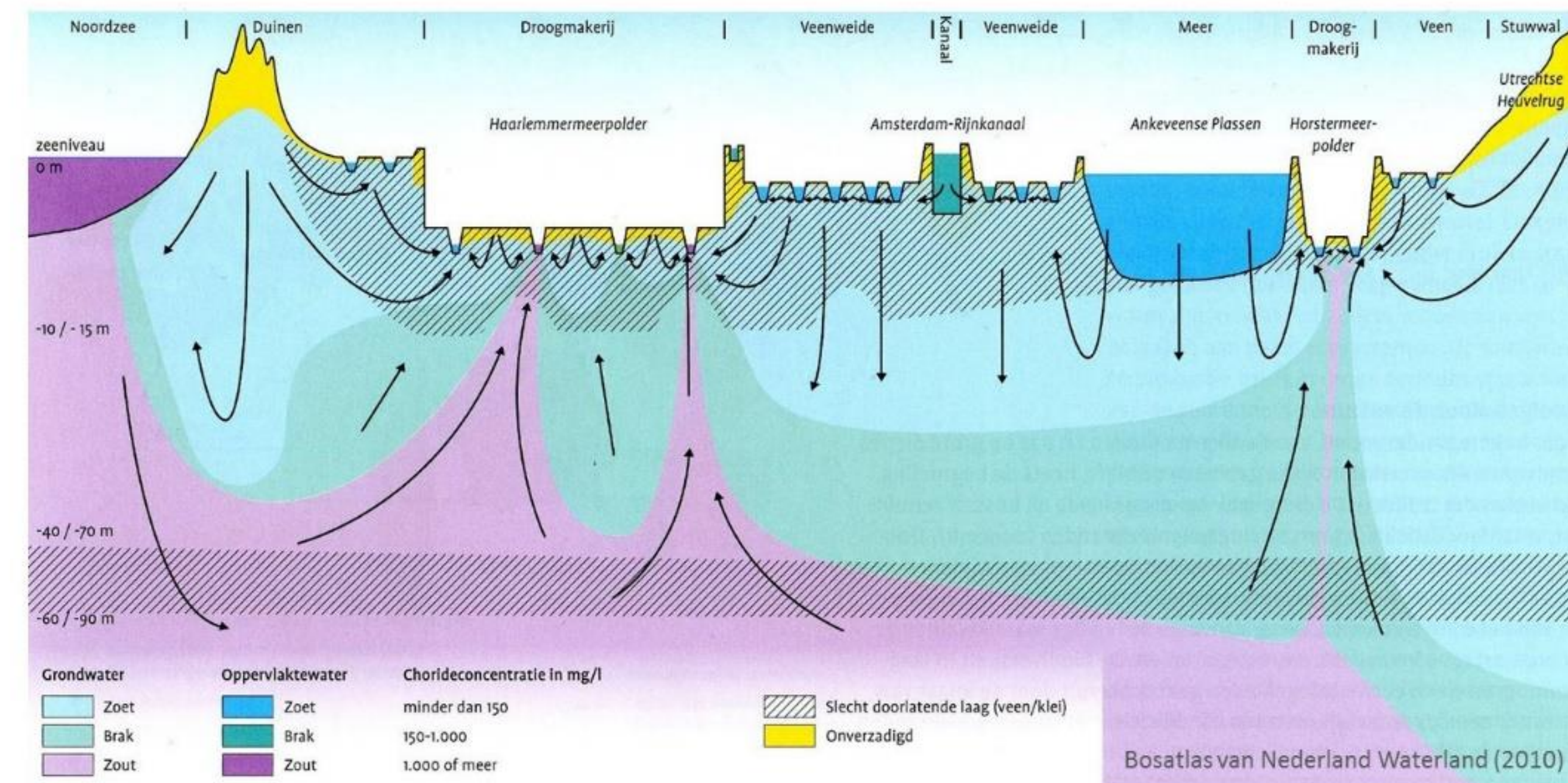
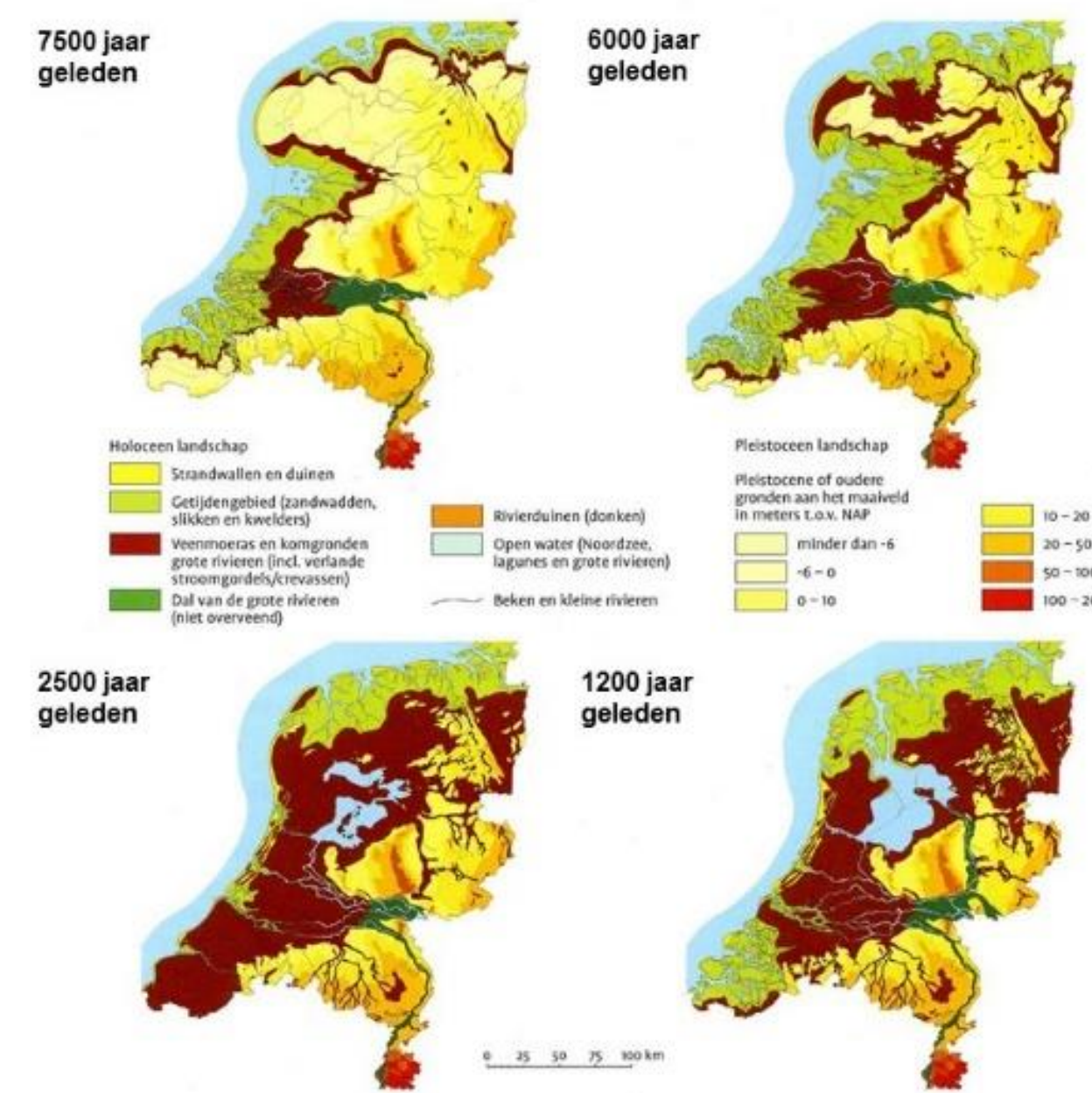
## Haalbaarheid op Texel

De conclusie van de voorstudie "Zoetwatervoorziening Texel" is dat zelfvoorzienendheid mogelijk is op Texel met perceelwater en duinwater. Het systeem met de grootste technische en economische haalbaarheid is een middelgroot onder:





# Zuinig met zoet water: temmen van brakke kwel?



## Brakke kwel zorgt voor problemen met de kwaliteit van oppervlaktewater

Duizenden jaren geleden lag de kustlijn in Nederland meer landinwaarts. Zee-water infiltreerde in de ondergrond en is daar nog steeds als brak grondwater aanwezig. Doordat diepe polders zijn aangelegd krijgt dit oude brakke grondwater de kans om als kwel naar het oppervlaktewater te stromen.

Waternet beheert dergelijke diepe polders, bijvoorbeeld de polder Horstermeer waar omgerekend per dag meer dan 60 tankauto's met zee-water worden uitgemalen. De brakke kwel maakt minder dan 20 % uit van de totale kwel, maar zorgt voor meer dan 80 % van de vrachten chloride en sulfaat. Nu moet dit brakke water worden doorgespoeld en hiervoor wordt jaarlijks onder andere 140 miljoen kubieke meter zoet water uit het Markermeer gebruikt.

Het water uit het Markermeer is weliswaar zoet, maar bevat relatief veel sulfaat en heeft een hard karakter. Door de brakke kwel en het water uit het Markermeer worden veel waterkwaliteits-doelstellingen niet gehaald. Bovendien komt vanwege de verwachte klimaatveranderingen de aanvoer van zoet water uit het Markermeer steeds verder onder druk te staan.

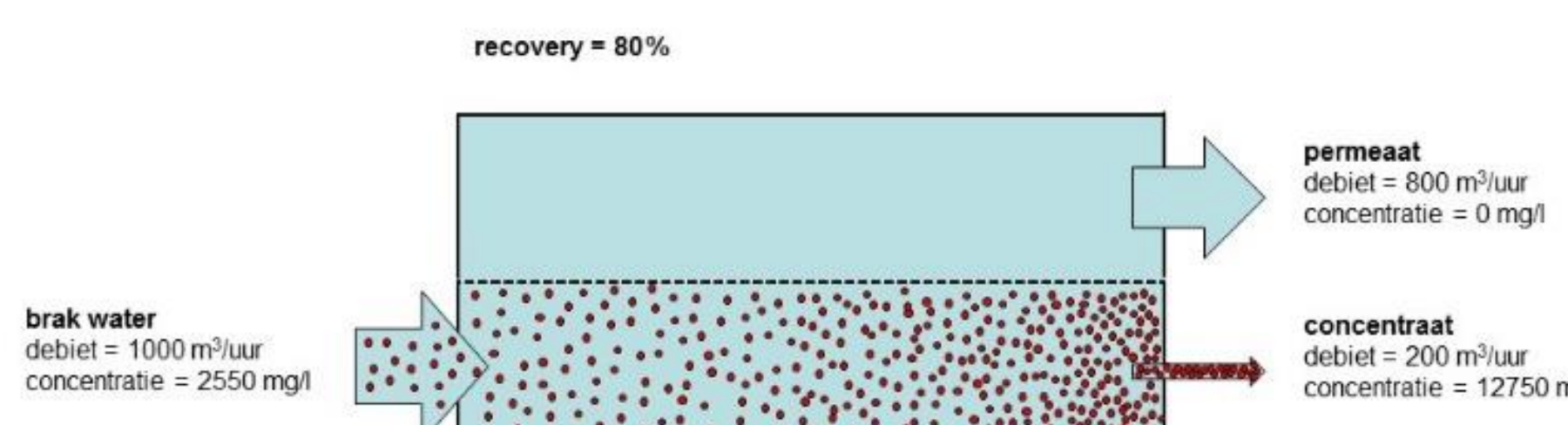
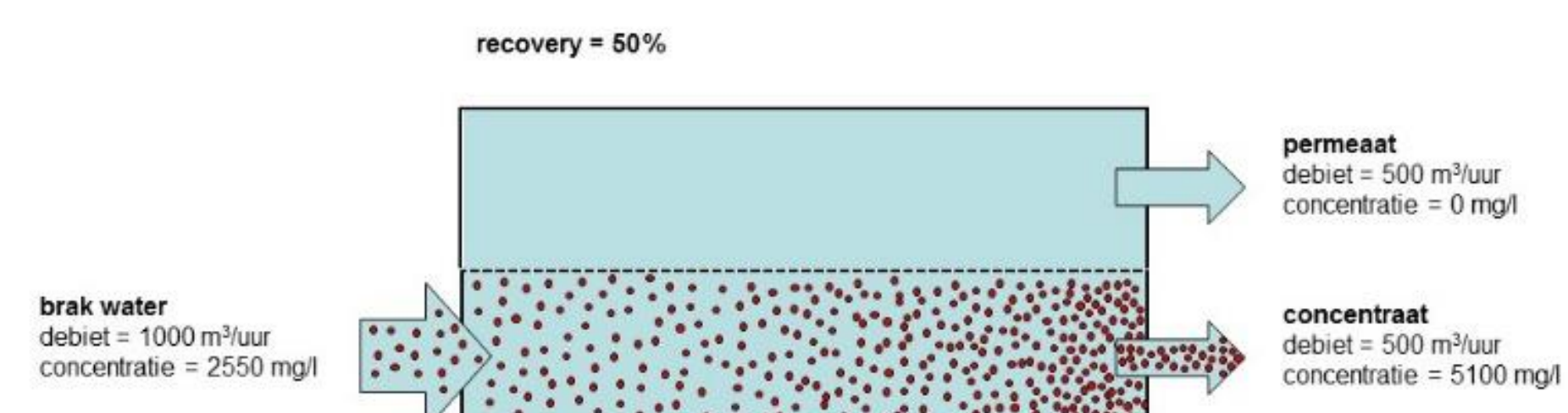
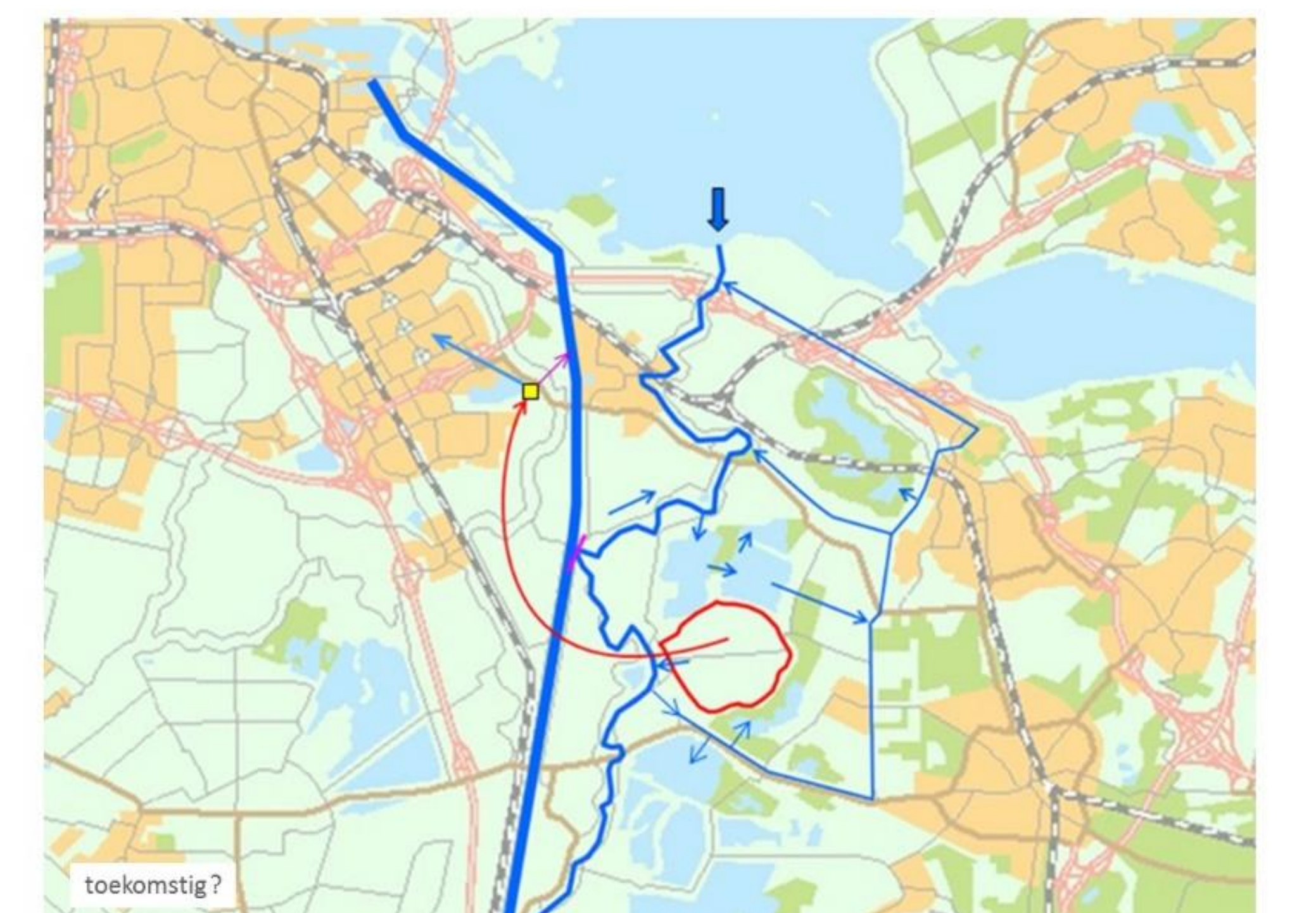
Een innovatief idee is om het brakke water gericht op te pompen onder de Horstermeer, zodat het niet meer het oppervlaktewater bereikt. Dit brakke grondwater zou een mooie derde bron vormen voor het drinkwater van Amsterdam en omgeving. Omdat het water in de prehistorie is gefiltreerd, bevat het geen humane verontreinigingen als medicijnresten, pesticiden en/of nano-deeltjes. En omdat het vanwege dichtheidsverschillen niet gemengd is, heeft het een verder onberispelijke kwaliteit... behalve natuurlijk dat zout!

Het zout kan goed worden verwijderd met reverse osmose filtratie. Daarmee wordt op Weesperkarspel het brakke water gescheiden in heel zuiver water (permeaat) en water met alle opgeloste stoffen die ook in het brakke water zaten (concentraat).

Het permeaat wordt bijgemengd met het gezuiverde water uit de Bethunepolder. Hierdoor wordt het drinkwater nog beter van kwaliteit. Ook hoeft er minder te worden onthard en dit scheelt chemicaliën en CO<sub>2</sub>-uitstoot. Een extra bron is welkom, want de drinkwaterproductie voor Amsterdam en omgeving moet de komende jaren groeien.

Het concentraat wordt getransporteerd naar de RWZI Weesp. Daar wordt het belucht, verdunt met effluent en geloosd op het Amsterdam-Rijnkanaal. Normaal gesproken zou daar geen vergunning voor worden afgegeven, maar de huidige zoutvracht uit de Horstermeer wordt ook al afgevoerd via dezelfde route. Het Amsterdam-Rijnkanaal wordt wel iets zouter, maar dat lijkt op deze locatie geen kwaad te kunnen. En als het al een nadeel is, dan wordt dat ruimschoots gecompenseerd door het voordeel van een veel minder grote water-vraag uit het Markermeer ten opzichte van de huidige situatie.

Deze innovatieve oplossing bestrijkt de hele watercyclus. Omdat Waternet de hele watercyclus beheert, sluit dit onderzoek goed aan bij haar doelstellingen.

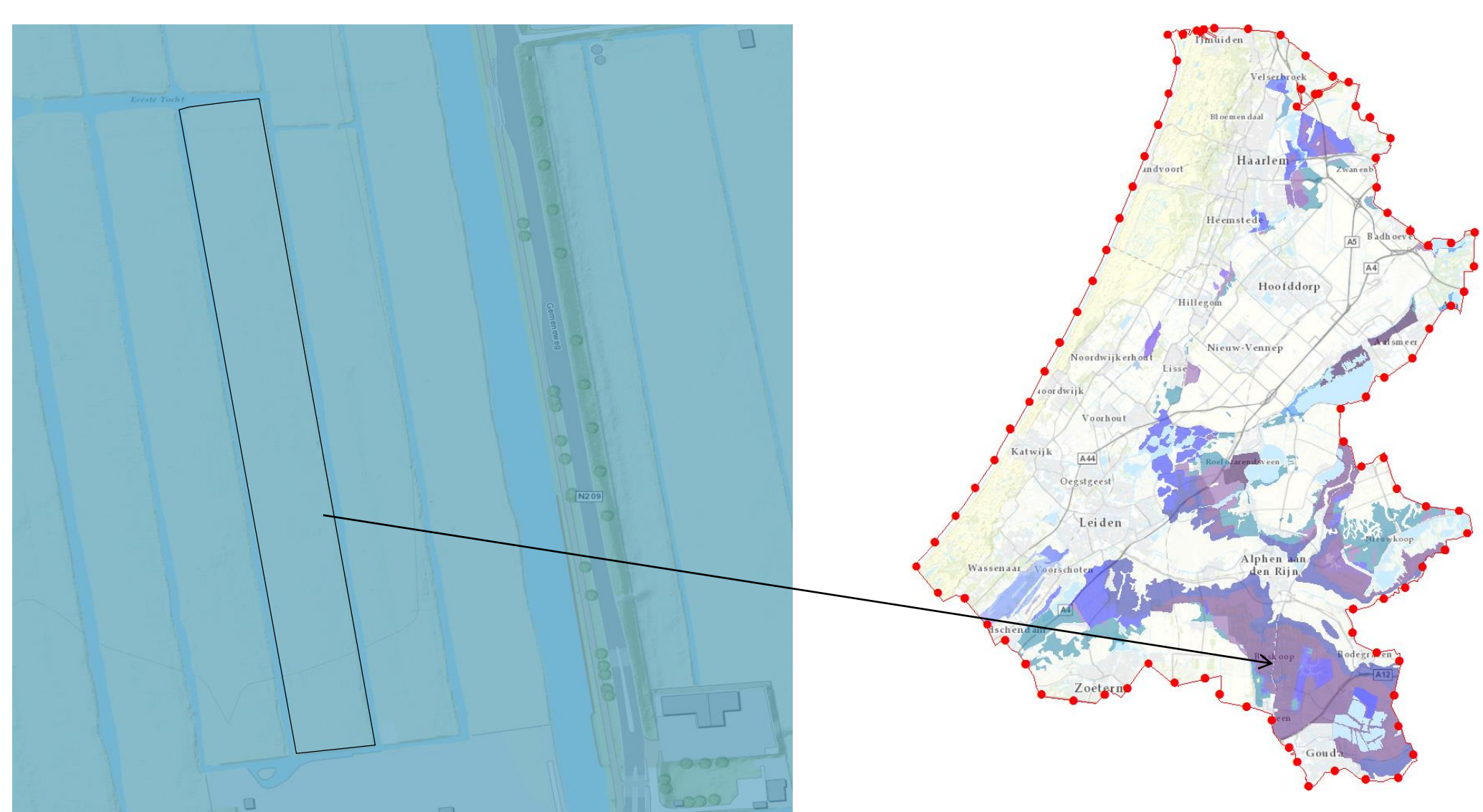




# WATERVRAAG ONDERWATERDRAINAGE

In het veenweidegebied is het verminderen van maaiveld daling een belangrijk thema.

Onderwaterdrainage wordt gezien als een manier om de laagste grondwaterstanden te verhogen en is daarmee een van de mogelijkheden om maaiveld daling te verminderen. Voor het verhogen van de grondwaterstanden is extra water nodig. In deze studie is bekeken hoeveel de watervraag toeneemt bij grootschalige toepassing van onderwaterdrainage.



## Van pilot op perceelschaal naar grootschalige toepassing

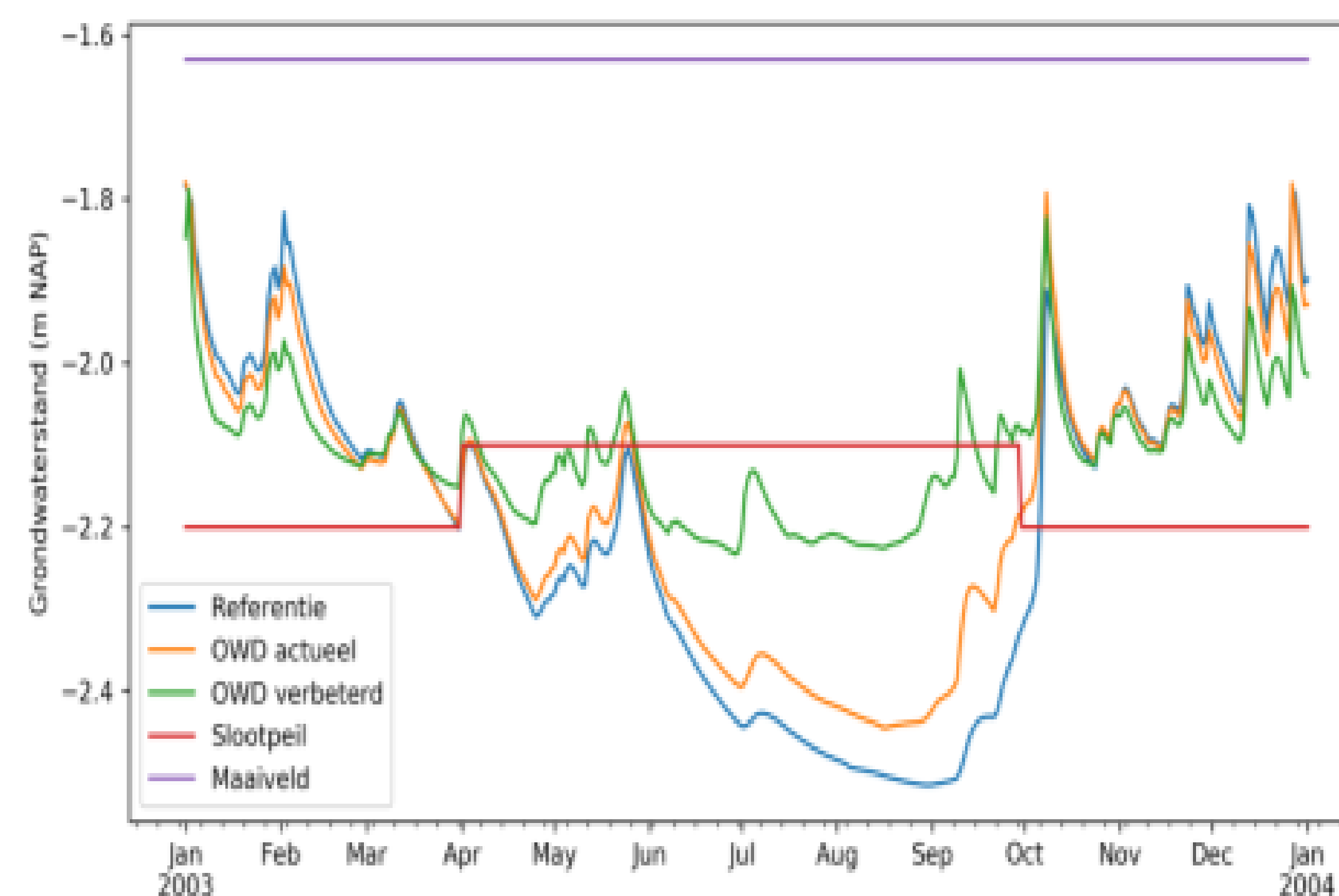
In eerdere praktijkstudies is op perceelniveau onderzoek gedaan naar de effecten van onderwaterdrainage in veenweidegebieden. Bij de pilots met goed functionerende drains worden de laagste grondwaterstanden 5-15 cm hoger.

Deze inzichten zijn meegenomen in een modelstudie waarbij de effecten van grootschalige toepassing van onderwaterdrainage op de regionale watervraag in West Nederland is onderzocht.

## Twee varianten onderzocht

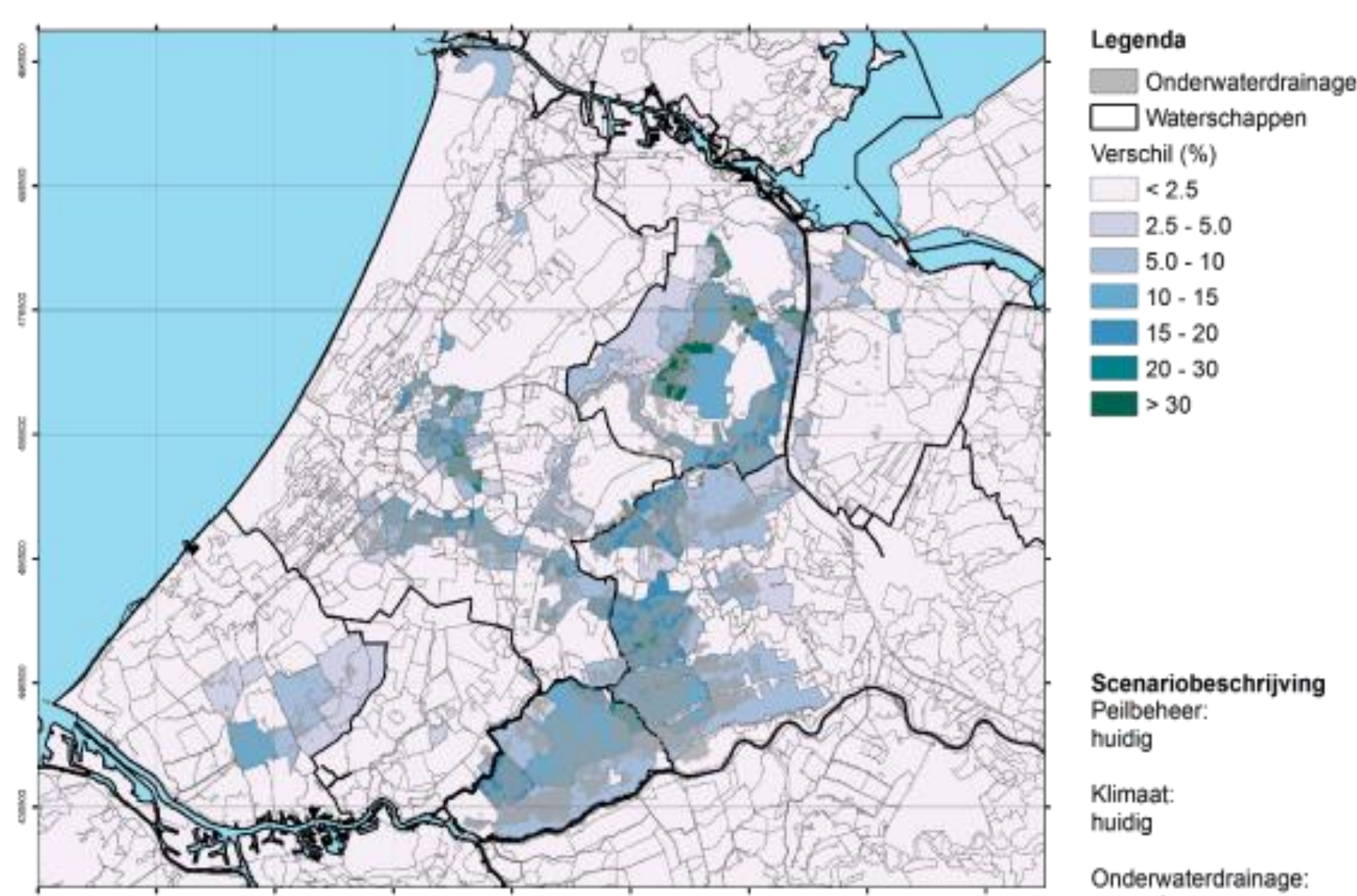
In de studie zijn twee varianten van onderwaterdrainage onderzocht:

1. Traditionele toepassing van onderwaterdrainage, waarbij de laagste grondwaterstanden met circa 5 tot 10 cm worden verhoogd;
2. Onderwaterdrainage waarbij het effect op de laagste grondwaterstanden gemaximaliseerd is. Bij proeven met drukdrainage is het mogelijk gebleken om de laagste grondwaterstanden met circa 30 tot 40 cm te verhogen.

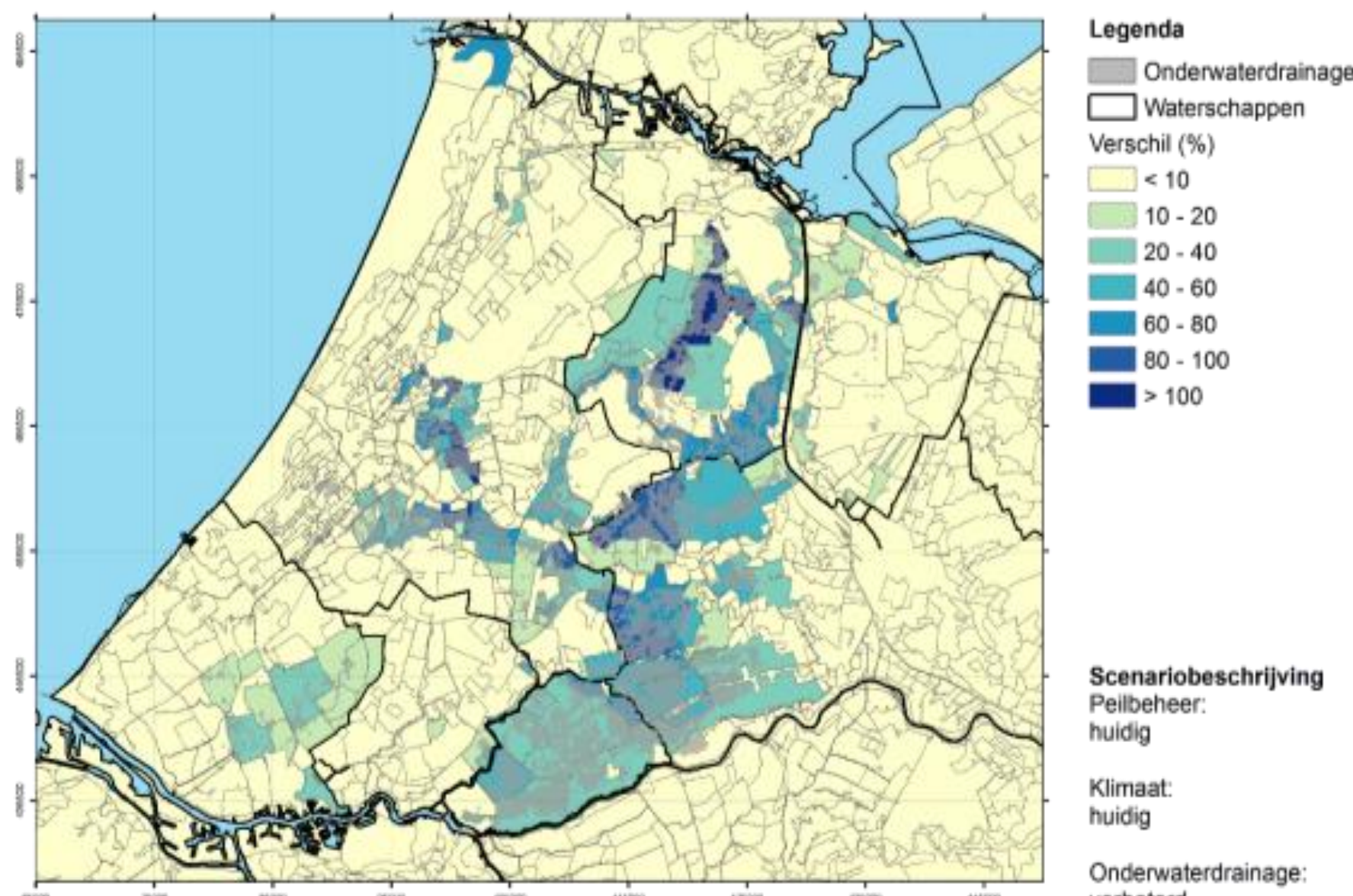


Tijdreeksen van de gemodelleerde grondwaterstand in de Krimpenerwaard voor 2003.

De tweede variant heeft een groter effect op het beperken van de bodemdaling, maar dit leidt ook tot een grotere toename van de watervraag. Uit de berekeningen is overigens ook gebleken dat het effect van klimaatverandering op de berekende watervraag kleiner is dan het effect van het al dan niet toepassen van onderwaterdrainage.



Toename in watervraag bij traditionele toepassing van onderwaterdrainage.



Toename in watervraag bij verbeterde onderwaterdrainage.



# Van meteorologische tot hydrologische droogte – methode en toepassing voor duiden van droge omstandigheden

Ruud Bartholomeus<sup>1,2</sup>, Marjolein van Huijgevoort<sup>1</sup>, Janine de Wit<sup>1</sup>, Jos van Dam<sup>2</sup>, Gé van den Eertwegh<sup>3</sup>

<sup>1</sup>KWR Water Research Institute, Nieuwegein, ruud.bartholomeus@kwrwater.nl

<sup>2</sup>Wageningen UR Soil Physics and Land Management, Wageningen

<sup>3</sup>KnowH2O, Berg en Dal

De zomer van 2018 was bijzonder droog. Op de hogere zandgronden van Nederland ontstonden er daardoor problemen met de watervoorziening voor landbouw en natuur. Van den Eertwegh et al. (2019) beschrijven de resultaten van Fase 1 (van 3) van een project naar de gevolgen van droogte voor de hogere zandgronden van Nederland. In deze fase is o.a. een uniforme werkwijze voor de analyse van droge omstandigheden en de doorwerking van meteorologische droogte in verschillende compartimenten in het bodem-water-systeem opgezet.

## Doorwerking van droogte

Droge omstandigheden planten zich voort van *meteorologische droogte* naar *bodemvocht* en *hydrologische droogte* (Fig. 1). Hierbij treedt een vertraging en demping op. Meerdere meteorologische droogtegebeurtenissen kunnen zo leiden tot één langer en gedempter signaal in de hydrologische droogte, dat ook vaak later zichtbaar wordt. Om deze verschillende kenmerken van elk type droogte goed in kaart te brengen, is het belangrijk om alle hydrologische variabelen (neerslag, werkelijke verdamping, bodemvocht, afvoer en grondwater) mee te nemen in de evaluatie. Met gestandaardiseerde indices voor elke variabele is een onderlinge vergelijking tussen droogtecompartimenten én gebieden mogelijk.

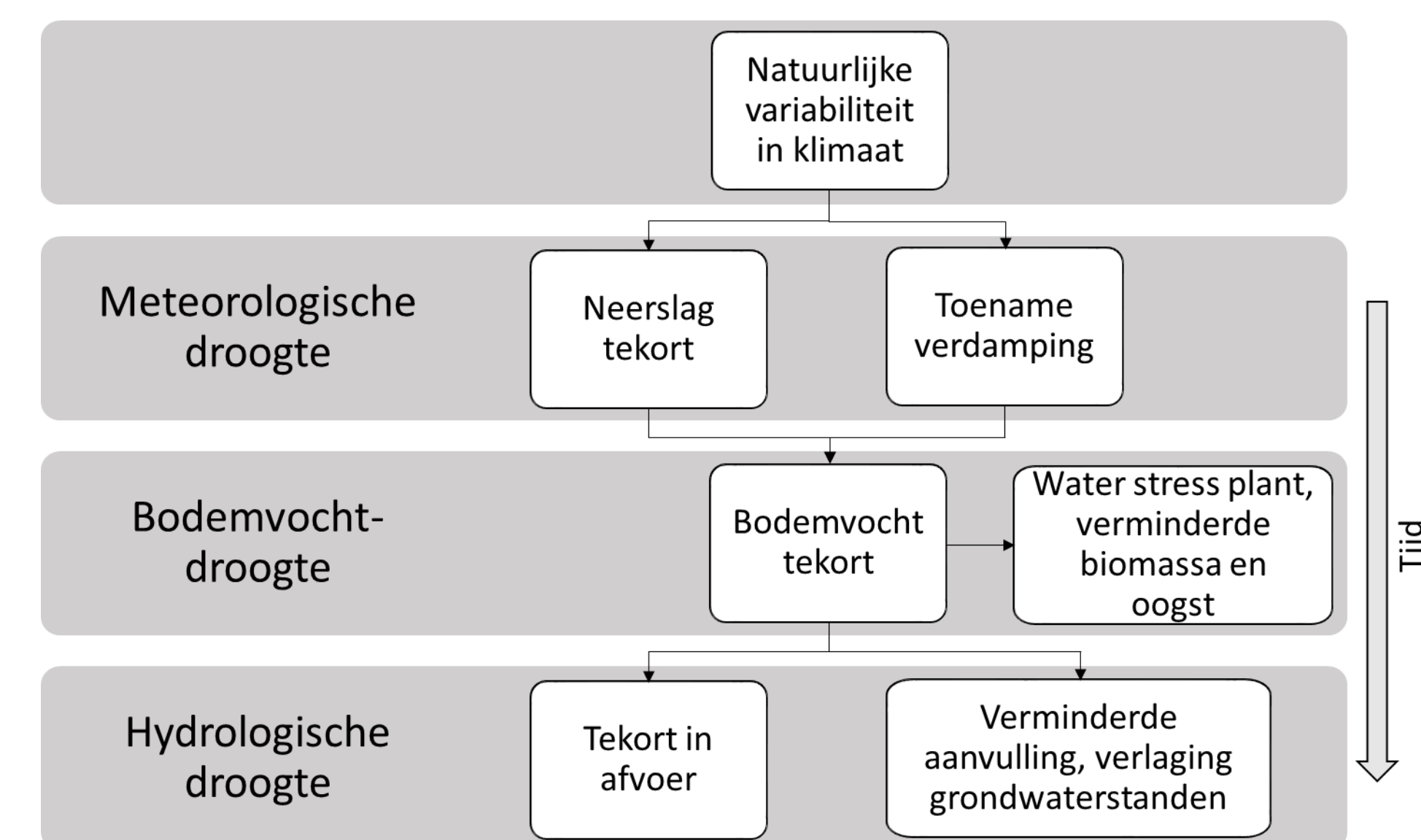
## Droogte-indices

Droogte-indices zijn bepaald voor neerslag (SPI), neerslagtekort (SPEI), bodemvocht (SMI), afvoer (SRI) en grondwater (SGI). Op basis van (uit metingen of simulaties) geschatte normaal verdeelde anomalieën kan de kans op voorkomen of herhalingstijd van droogte in elk compartiment worden bepaald. Waarde index: 0 tot -0.99: enigszins droog; -1 tot -1.49: matig droog; -1.5 tot -1.99: zeer droog; -2 of minder: extreem droog.

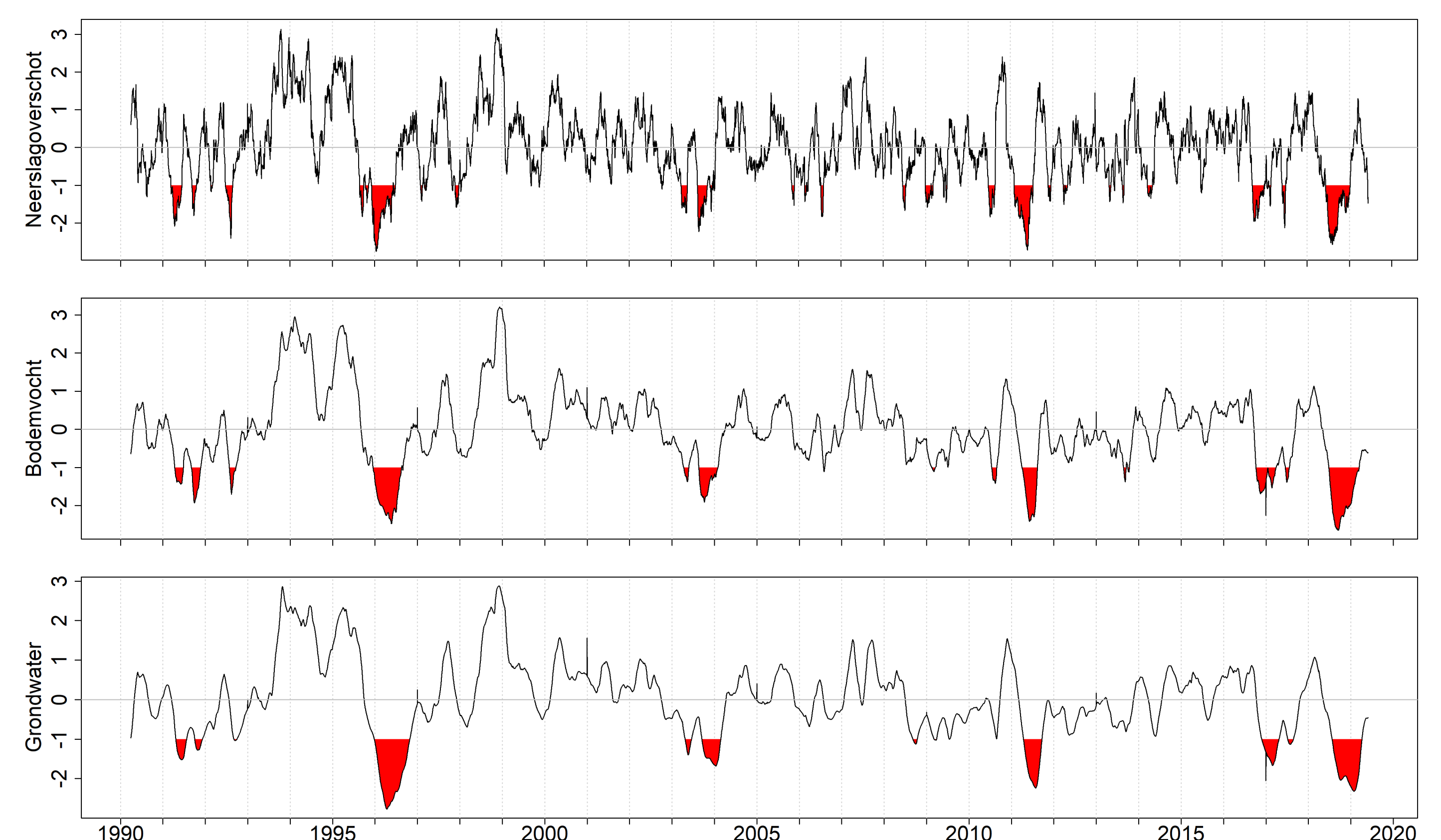
## Voorbeeld

Fig. 2 en 3 tonen reeksen van gestandaardiseerde indices waarin te zien is hoe droog de zomer van 2018 was ten opzichte van de periode 1990-2019. Daarnaast zijn de verschillen zichtbaar tussen de droogtetypes.

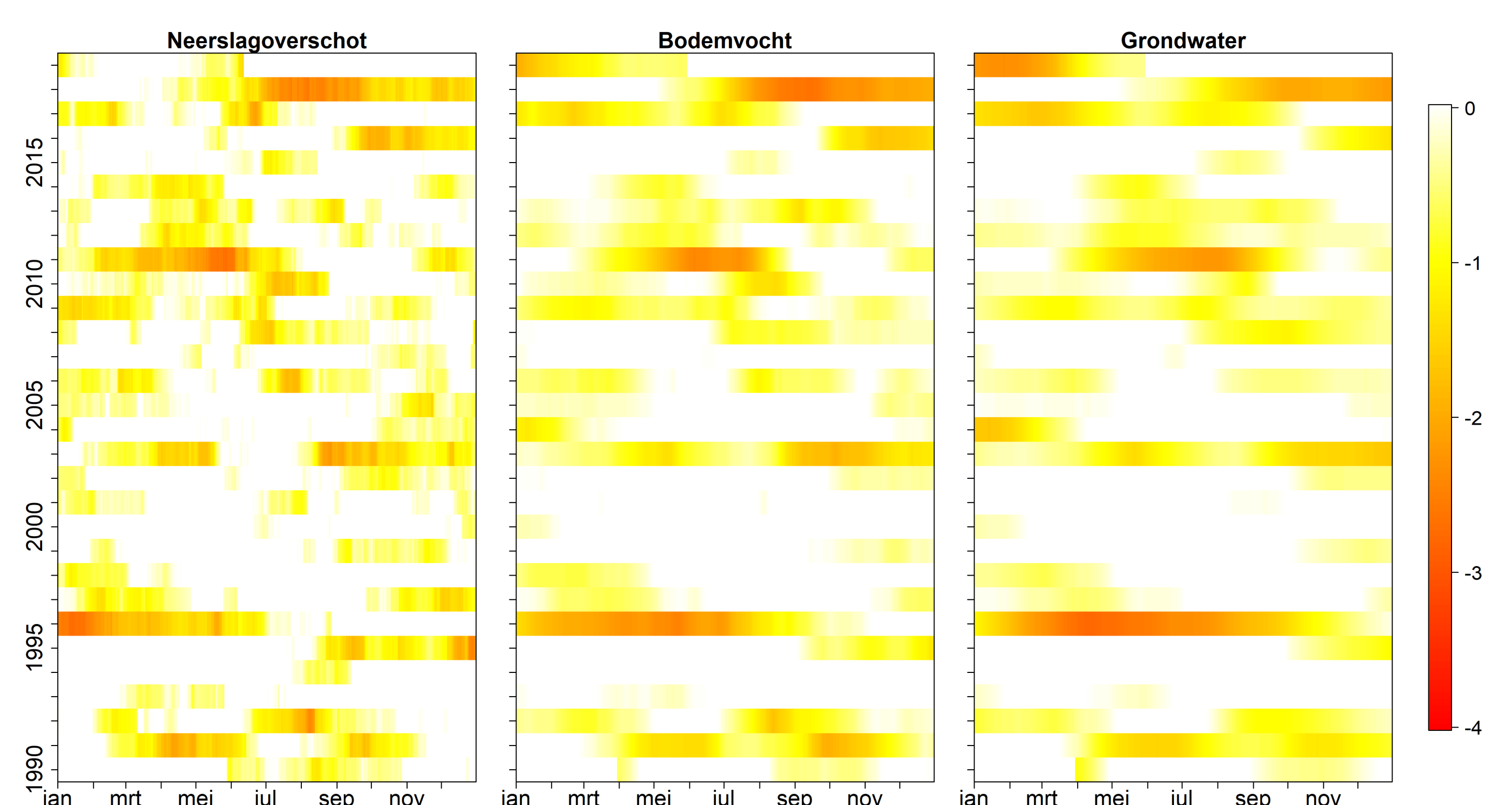
De start en het herstel van de meteorologische droogte zijn veel eerder zichtbaar dan die van de hydrologische droogte. In maart 2019 was er nog steeds sprake van hydrologische droogte, terwijl de meteorologische droogte al eind 2018 over was. Dit geeft een beeld van de reactiesnelheid van het hydrologische systeem en herstel in verschillende compartimenten.



Figuur 1: Schematisch overzicht van de voortplanting van droogte door de verschillende droogtecompartimenten. Figuur ontleend aan Stahl (2001) en Van Loon et al. (2012).



Figuur 2: SWAP Hupsel – droogte-indices. Metingen met simulaties verlengd tot 1 juni 2019 en tevens zijn aanvullende toestandsvariabelen gesimuleerd met SWAP, waarmee een droogte-index voor bodemvocht kan worden opgesteld. De rode vlakken betreffen de periodes met matige (-1) tot extreme (<=-2).



Figuur 3: Weergave van de waarden van de berekende droogte-indices over tijd voor 1990-2019 voor de Hupsel voor neerslagoverschot, bodemvocht en grondwaterstand, gebaseerd op simulaties met SWAP. Het kleurverloop van wit-geel-oranje-rood geeft de waarde van de droogte-indices, van enigszins droog (<0) tot extreem droog (<=-2).



# Droogte detectie van uit de lucht

Effecten van droogte zichtbaar door middel van remote sensing

Dion van Deijl<sup>1</sup>,  
Gé van den Eertwegh<sup>1</sup>,  
Peter Hoefsloot<sup>2</sup>,  
<sup>1</sup>KnowH2O, deijl@knowh2o.nl  
<sup>2</sup>HSS

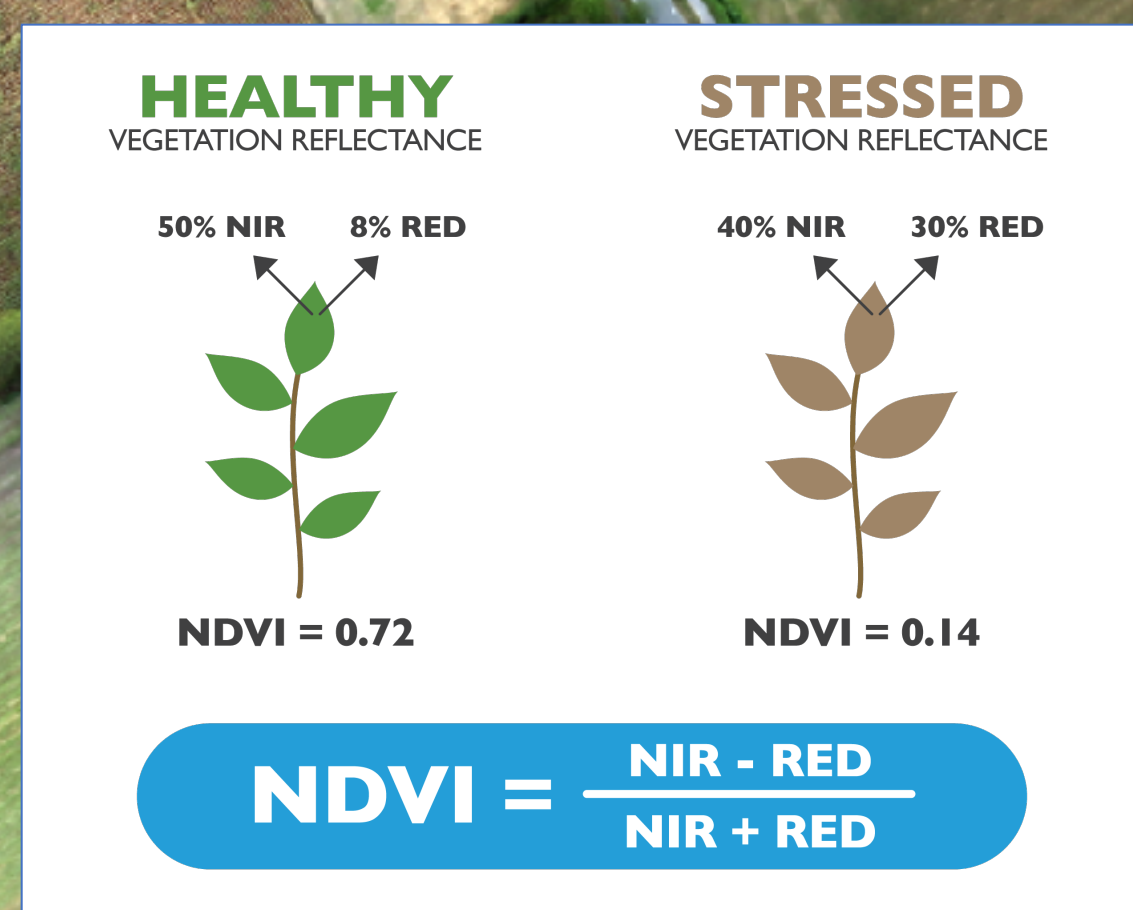
## Platformen, sensors en indices

Voor de analyse is er gebruik gemaakt van twee verschillende platformen. Een platform is het voortuig van de sensor. Elk platform heeft zijn voor- en nadelen. Hierbij kan worden gedacht aan kosten, maar ook verstoringen van het signaal door bijvoorbeeld atmosfeer of wolken. Daarnaast is er vaak een verschil in ruimtelijke en temporele resolutie. De twee gebruikte platformen zijn satellieten (sentinel-2) en airborne (vliegtuigen).



Deze platformen hebben verschillende sensoren waarmee bijvoorbeeld reflectie en oppervlaktetemperatuur kan worden gemeten. De reflectie wordt in verschillende golflengtes gemeten. Een range aan golflengtes wordt gemeten in een zogenaamde 'band'. Zo heeft de sensor van de sentinel-2 satelliet 13 bands.

Met de gemeten reflectie in verschillende golflengtes kunnen de vegetatie-indices NDVI en NDWI berekend worden. Deze indices zijn een maat voor de toestand van de vegetatie i.c. de groenheid (gezondheid, productie) en de hoeveelheid water aanwezig in de vegetatie. De NDVI heeft een sterke relatie met de fotosynthese van een plant en laat daarom zien hoe gezond het gewas is ('groenheid'). De NDWI is gerelateerd aan de vochthuishouding van een plant en geeft een maat voor de hoeveelheid water in de vegetatie.



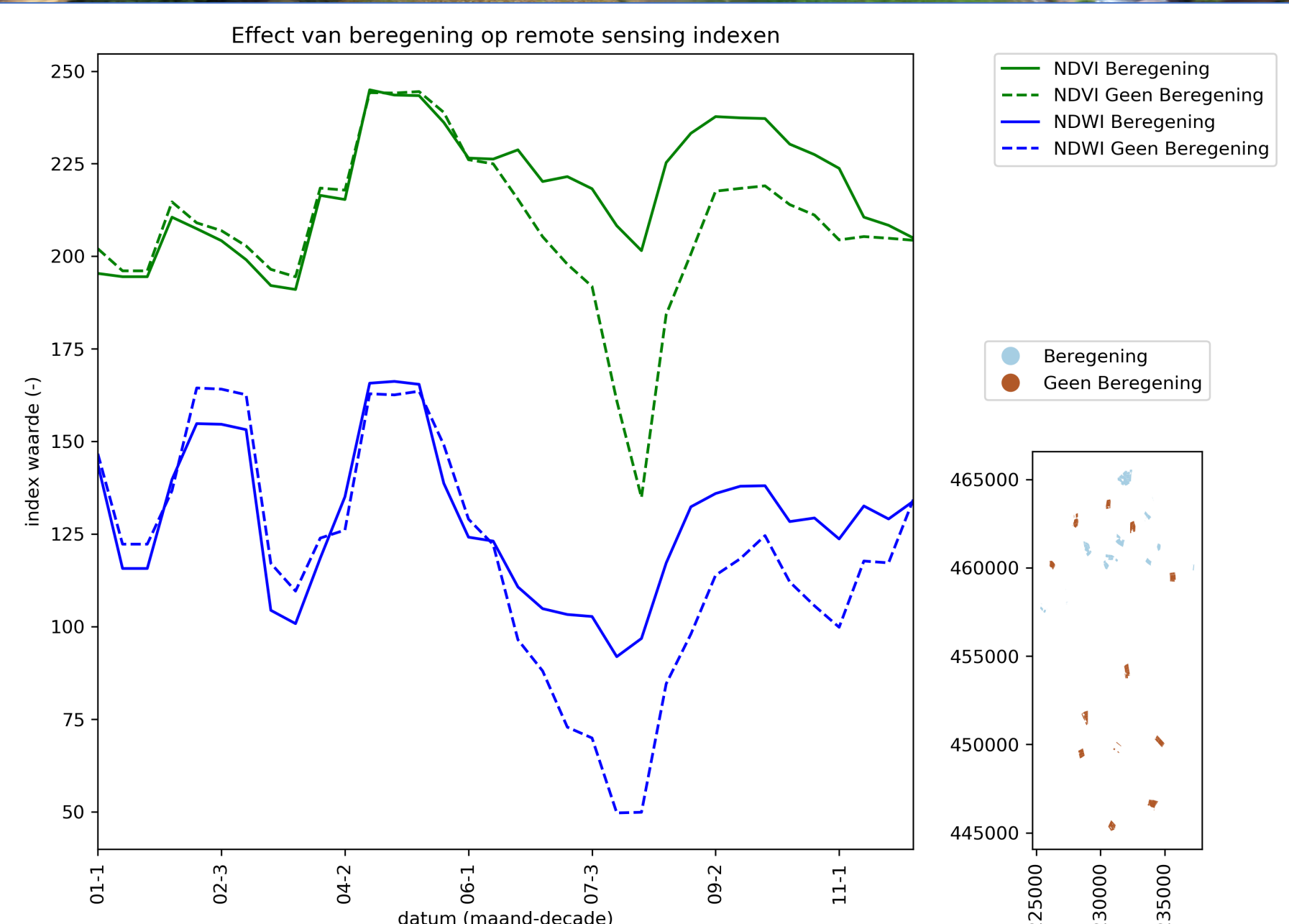
## Berekening

Voor een aantal specifieke percelen binnen de Provincie Gelderland is bekend of deze zijn berekend (Teun Spek, 2019). De percelen zijn onderverdeeld in twee groepen: 1) geen irrigatie, graspercelen die niet zijn berekend in de zomer van 2018 en 2) irrigatie, graspercelen die wel zijn berekend in de zomer van 2018. Berekening onder droge condities leidt in principe tot hogere NDWI- en NDVI-waarden door een lager vochttekort in de bodem. Het effect van berekening is duidelijk zichtbaar in de indices NDVI en NDWI in de grafiek hieronder. Voor berekende percelen zijn beide indices vanaf juni 2018 hoger. Daarbij loopt de NDWI in de tijd gezien iets voor op de NDVI.

Daarnaast is op airborne beelden berekening duidelijk zichtbaar met thermische infrarood. Met links (achtergrond van deze poster) een airborne RGB beeld en rechts verschillende indices en thermische infrarood (TIR) voor een perceel met berekening.

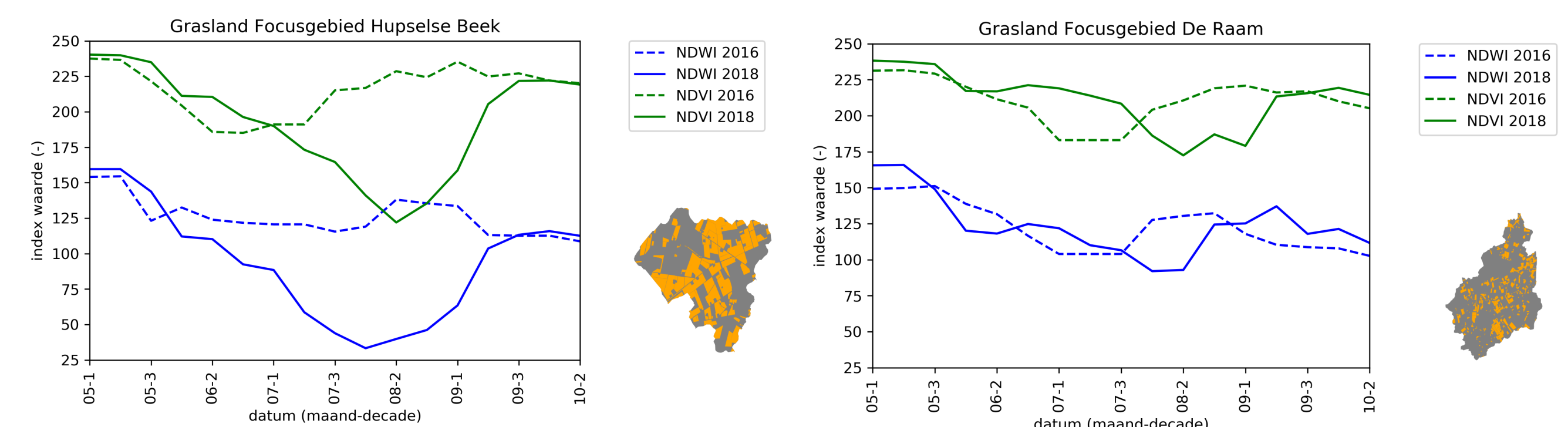


De beide indices kunnen aldus worden gebruikt om een kaart te maken waarop zichtbaar is dat er (waarschijnlijk) berekening heeft plaatsgevonden. Op deze kaart staan percelen met bepaalde gewassen (Basis Registratie Percelen BRP) die waarschijnlijk zijn berekend tijdens de droogte. Hiermee kan een basis gelegd worden voor een inschatting van het berekende areaal en de totale berekening in een gebied.

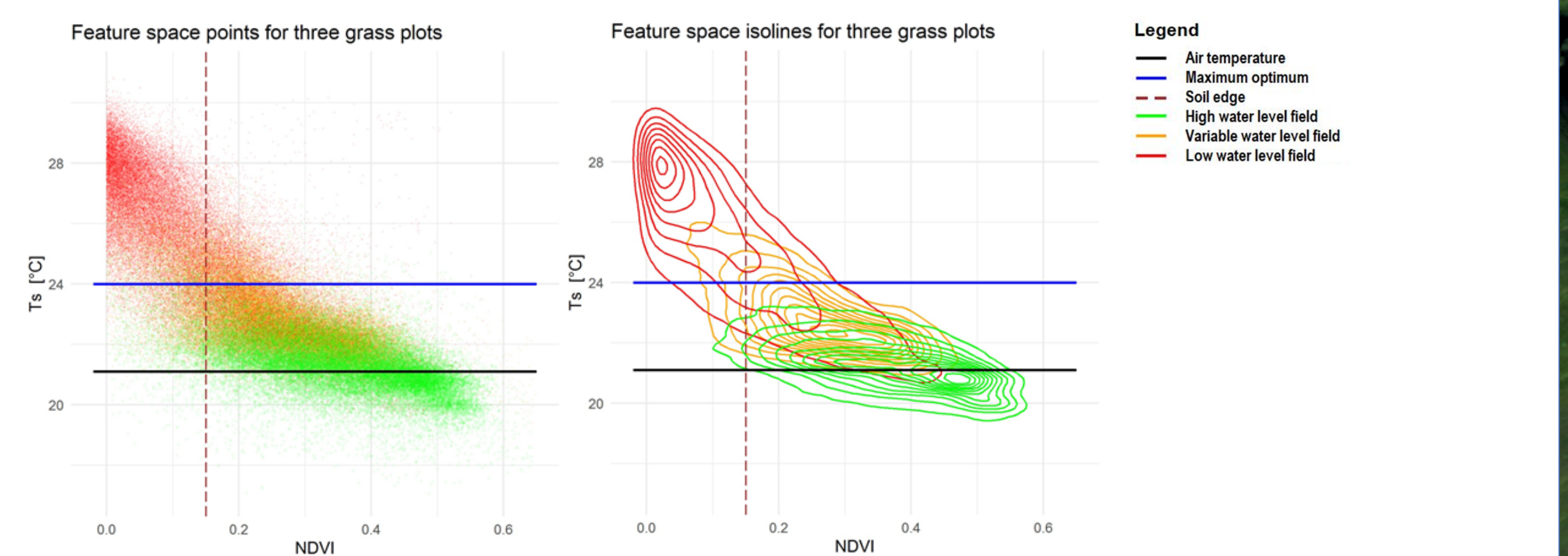


## Vegetatie

Voor het stroomgebied van de Hupselse Beek zijn de NDVI en NDWI voor 2016 en 2018 uitgezet voor 1 mei t/m medio oktober. Te zien is dat de berekende NDVI en NDWI beduidend lager waren in 2018 vergeleken met 2016 in de maanden juni t/m september. In de zomer van 2018 is de gemiddelde vegetatie-groenheid in Hupsel minder hoog dan in de zomermaanden van 2016. Daarnaast is te zien dat de NDVI een vertraging in de tijd kent in vergelijking met de NDWI. Tijdens droogte neemt eerst de NDWI af (minder water in vegetatie) en vervolgens daalt ook de waarde van NDVI (minder gezonde vegetatie). In het stroomgebied kan niet berekend worden uit grond- of oppervlaktewater, wegens de geringe watervoorraad in het gebied. Er vindt ook geen wateraanvoer plaats. In De Raam kan wel worden berekend en heeft andere gebiedseigenschappen, wat duidelijk zichtbaar is in de indices. Remote sensing beelden leveren aldus informatie op over de droogte-toestand van de begroeiing.

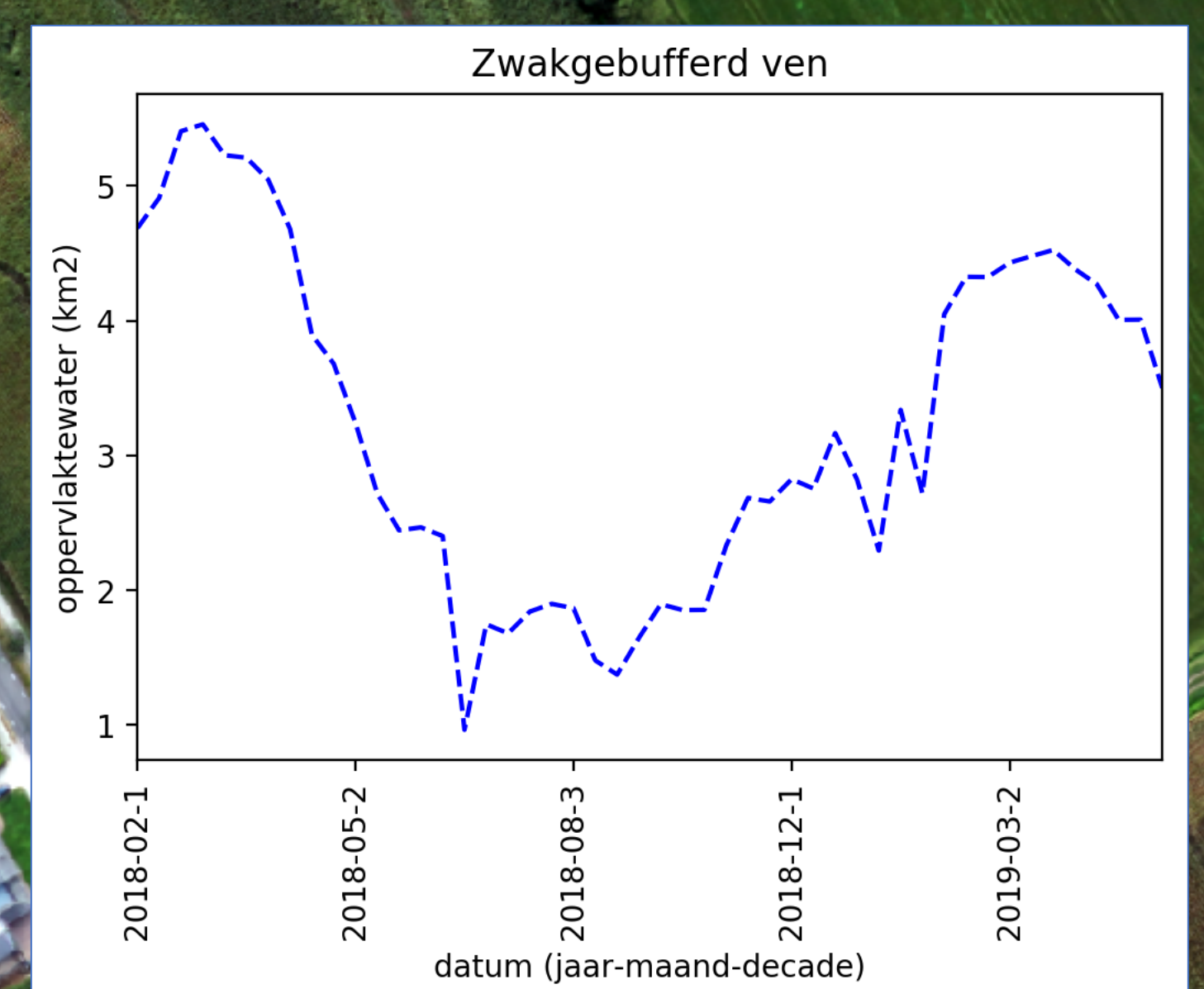


Naast de standaard vegetatie indices is er gekeken naar de thermische droogte index (TVDI; Sandholt et al. (2002)). Deze index is gebaseerd op een vegetatie-index (NDVI) en de oppervlaktetemperatuur (TIR). De variatie van deze twee parameters zijn in een 'feature space plot' weergegeven, waarin drie velden in de regio Someren zijn gebruikt met een wisselende vochthuishouding (droog, droog-nat, nat). De 'feature space plot' toont welk effect de droogte (vochthuishouding) heeft op de verschillende parameters (NDVI en TIR). (ACT-team, WUR, 2019)



## Droogval

Tijdens de droogte van 2018 zijn beken en vennen drooggevallen door dalende grondwaterstanden in stroomgebieden. Droogval van een beek of ven kan grote effecten hebben op de flora en fauna van het watersysteem. Om deze droogval via remote sensing beelden te detecteren, is een verkenning gedaan voor vennen met het waterdetectie-product van Sentinel 2, in combinatie met de nationale natuurbeheertype-kaart (bron: Bij12). Met de natuurbeheertype-kaart zijn alle gekarteerde vennen geselecteerd van het type N06.05 (natuurbeheertype: zwak gebufferde vennen). Vervolgens is voor elk satellietbeeld van 2018 het aantal open-water gedetecteerde pixels gesommeerd. Te zien is dat in het voorjaar en de zomer van 2018 het totale areaal open-water van vennen van het natuurbeheertype daalt, richting februari/maart 2019 stijgt en daarna weer daalt. Remote sensing informatie kan dus worden gebruikt om vlakdekkend uniform vast te stellen en hoe snel, in welke mate ven-systemen droogvallen. NB: de open-water-detectie werkt alleen voor waterlichamen met enige omvang, door de pixelgrootte van 20 m. Dat maakt het lastig/onmogelijk om (smalle) beken te analyseren met de waterdetectie van Sentinel-2.









# Boeren Meten Water

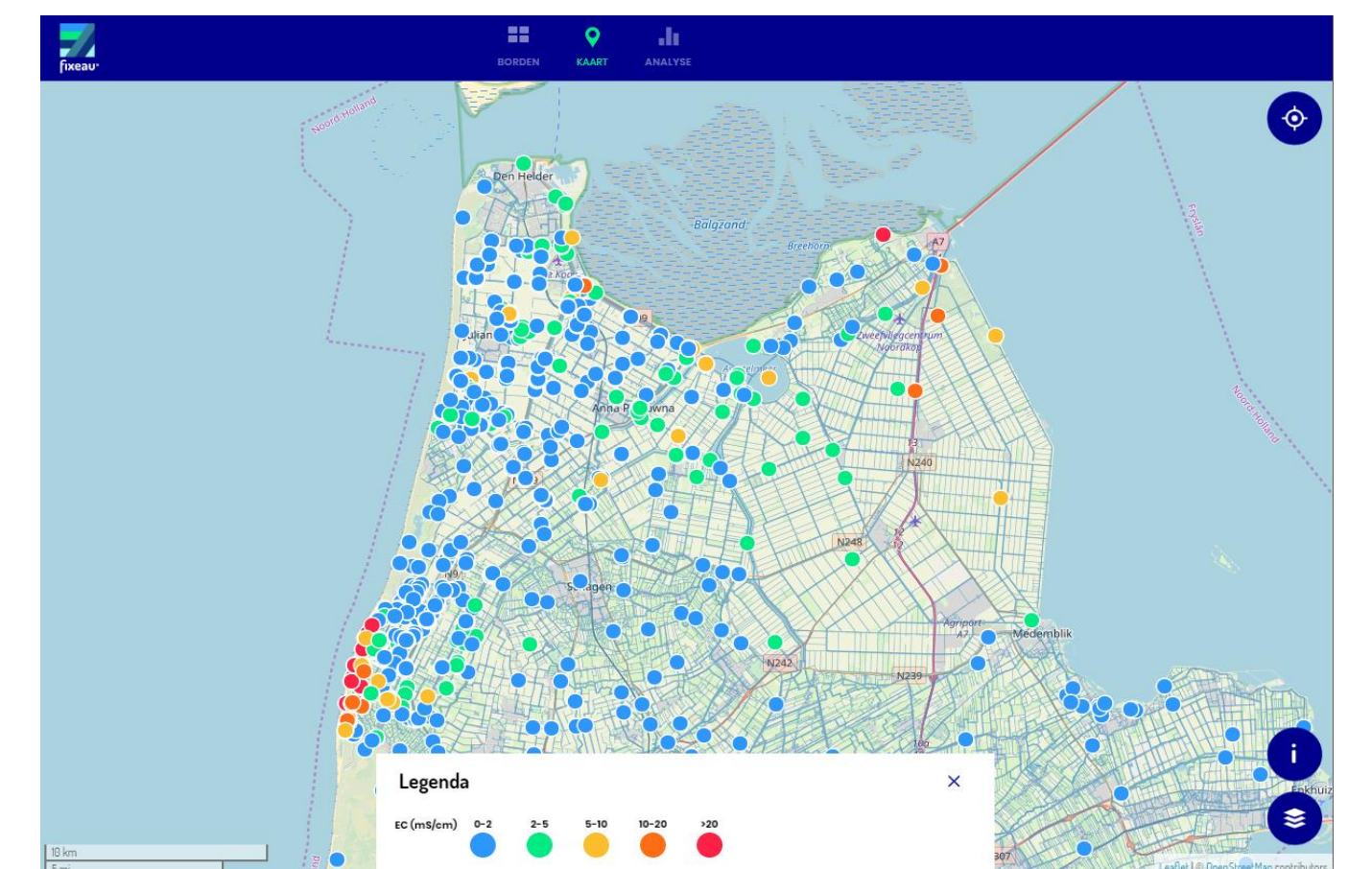
## Participatieve monitoring met boeren en waterbeheerders

Speelt verzilting of bodemdaling ook op mijn perceel? En zo ja, in welke mate? Welke maatregel kan ik nemen? Met 'Boeren Meten Water', een initiatief van Acacia Water, LTO Noord en waterschappen, krijgen agrariër en waterschap antwoord op deze vragen.

### Samenwerking agrariërs en waterschappen

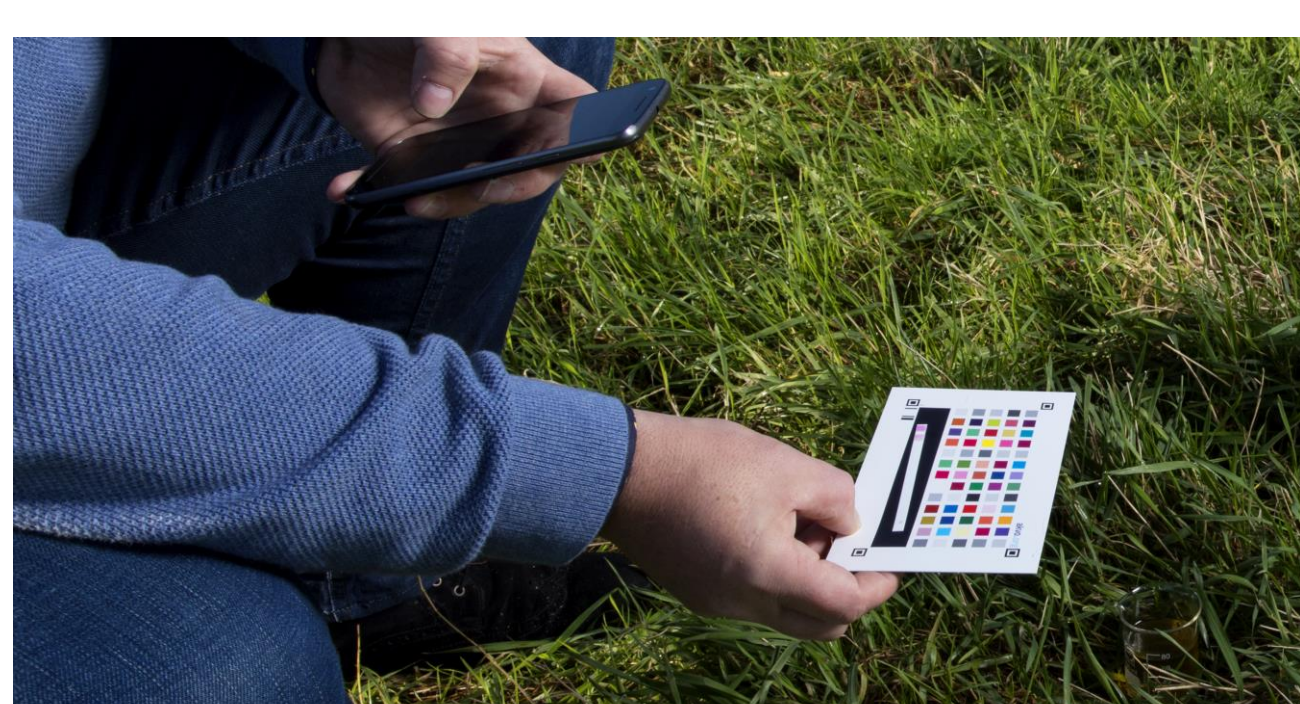
Samenwerking tussen agrariërs en waterschappen is cruciaal binnen Boeren Meten Water. Door samen de waterkwaliteit, bodemvocht en waterstanden in perceel, drain en sloot te meten, komt er meer inzicht in de huidige situatie van verzilting of bodemdaling en wordt duidelijk waar maatregelen nodig zijn. Gezamenlijke metingen hebben als voordeel dat de actuele staat van oppervlaktewater en waterstanden, drain- en grondwater voor het hele gebied of meetnet bekend wordt. Door samen te meten en data te delen, kunnen eventuele discussies op basis van dezelfde informatie worden gevoerd. Dat helpt bij het maken van keuzes. Bijvoorbeeld om te beregenen (is de waterkwaliteit betrouwbaar?), het land op te gaan (is het perceel niet te nat?) of meer door te spoelen (is het zoutgehalte te hoog?).

al meer dan 10.000 metingen



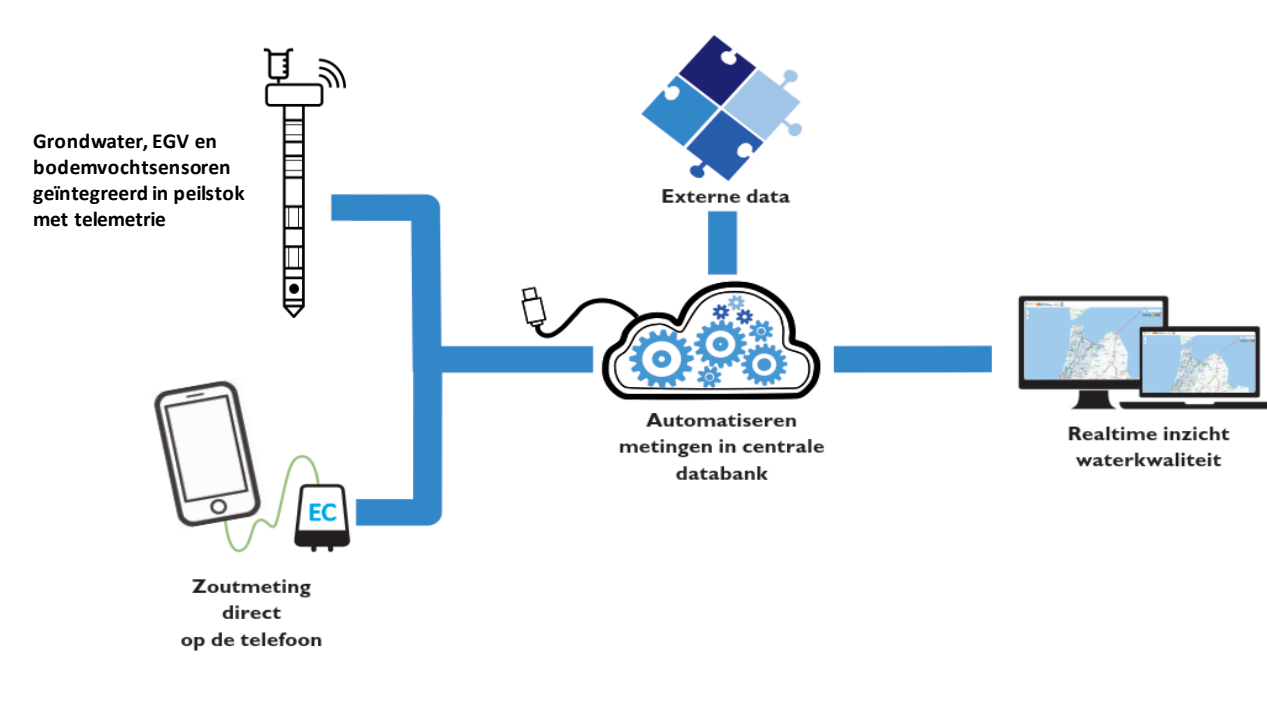
### Metten met de Aqua Mobile

Het meten binnen Boeren Meten Water gebeurt met de Aqua Pin en/of de Aqua Mobile. Met de Aqua Mobile is eenvoudig het zoutgehalte in de sloot te bepalen. Hiervoor is een elektrische geleidbaarheidssensor (EC-sensor) aan te sluiten op de Aqua Mobile. De uitkomst van de meting is vervolgens via de Fixeau Mobile App direct beschikbaar op de eigen Android-mobiel én op een online platform. Dit leidt tot realtime inzicht in de huidige staat van oppervlaktewater of grondwater.



### Metten met de Aqua Pin

De Aqua Pin bestaat uit verschillende sensoren en kan, afhankelijk van welke sensoren de gebruiker afneemt, de grondwaterstand meten (ten opzichte van maaiveld en NAP), het zoutgehalte van het grondwater en bodemvocht. De Aqua Pin is modulair opgebouwd, zodat het aantal, type en de positie van de sensoren aan te passen is aan de lokale veldomstandigheden. De Aqua Pin is eenvoudig te installeren in het veld en kan eenvoudig naar elke gewenste plek worden verplaatst.



### Platform: inzicht in metingen en advies

Metingen van de Aqua Pin en Aqua Mobile komen direct online binnen op een webplatform. De centraal verzamelde informatie verschaft inzicht in de huidige situatie. Beoogd wordt dat met de doorontwikkeling op termijn voorspellingen kunnen worden gegeven met betrekking tot oppervlaktewater, grondwater en bodemvocht. Hiermee kan mogelijk zelfs advies gegeven worden over bijvoorbeeld de beregening of de draagkracht van de bodem. Gegevens op het platform zijn zichtbaar voor eigenaren van de meetapparatuur en worden, als het openbaar beschikbaar maken niet gewenst is, uitsluitend gedeeld binnen de pilot of het meetcollectief.

### Waar wordt gemeten?

'Boeren Meten Water' gaat van start met verschillende pilots in veenweide- en verziltingsrisico-gebieden in Friesland, Groningen en Noord-Holland. Er zijn ook projecten gestart in Zuid-Holland, Zeeland en Brabant. Gedurende het project vinden periodiek bijeenkomsten plaats met boeren en waterschap waarin we het meten evalueren en de resultaten bekijken. Hoe bevalt het meten? Welke verbeteringen zijn denkbaar aan Aqua Pin, Aqua Mobile of website? Wat betekenen de resultaten en wat kun je ermee?



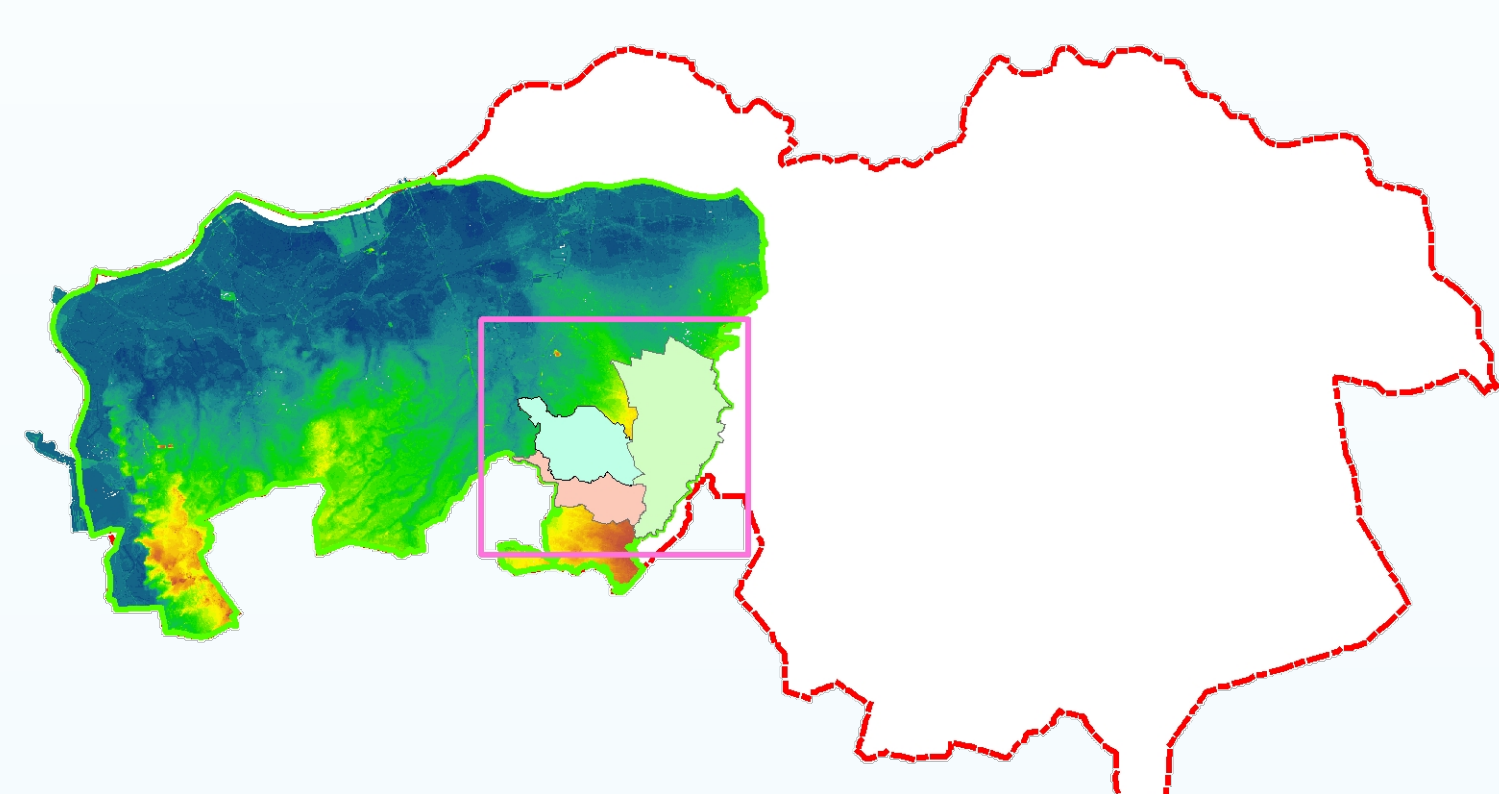
Europees Landbouwfonds voor Plattelandsontwikkeling: Europa investeert in zijn platteland

Verdere medewerking en financiering ook op andere locaties van: Wetterskip Fryslân, Waterschappen Noorderzijlvest, Delfland, Rijnland, HHNK, Brabantse Delta, Scheldestromen, Provincies Noord-Holland, Friesland, Groningen, Drenthe en Zeeland, gemeente Schouwen Duiveland en ZLTO



# Klimaatrobuuste bovenlopen beeksystemen

## Hoge Zandgronden



### Doelstellingen

- Effecten klimaatverandering op basisafvoer
- Haalbaarheid hydrologische omstandigheden voor flora en fauna van beeksystemen
- Maatregelen vergroten grondwateraanvulling
- Effecten op landbouw, bebouwd gebied en natte natuur



### Potentiële maatregelen vergroten basisafvoer

- Reduceren verdamping
  - Wijzigen vegetatie natuurgebieden
  - Wijzigen landbouwteelten
- Vergroten infiltratie van neerslag
  - Evenwijdig aan hoogtelijnen ploegen
  - Infiltratiedammen en dammetjes
  - Infiltratiegeultjes
  - Infiltratie drains
  - Infiltratiedepressies
  - Maaiveldhellingen verkleinen
  - Infiltratie met putten en pompen
  - Afkoppelen en infiltreren hemelwaterafvoer
- Reduceren grondwateronttrekkingen
  - Landbouwberegening
  - Drinkwater
- Reduceren snelle afvoercomponenten
  - Stromingsweerstand in beken verhogen
  - Peilgestuurde drainage uitbreiden
  - Landbouwdrainagebuizen verwijderen
  - Beekbodems verhogen
  - Bodems van sloten verhogen
  - Sloten dempen



Functie	Kenmerk	Indicatoren
Bovenlopen beken	Beekmilieu (aquatische ecologie)	Waterdiepten, stroomsnelheden, afvoerdebieten
Natte natuurparels	Grondwaterafhankelijke vegetatie	Verandering grondwaterstanden
Landbouw	Landbouwproductie	Verandering grondwaterstanden
Bebouwd gebied	Wateroverlast	Verandering hoogste grondwaterstanden