

# GRONDWATER ATLAS VAN FRYSLÂN



provinsje fryslân  
provincie fryslân 



# Voorwoord

Met trots leg ik u de Grondwateratlas van Fryslân voor. Met gepaste trots, want als pas geïnstalleerde gedeputeerde mag ik u nu al zo'n prachtige atlas over de grondwaterstudie Fryslân presenteren. Daarom wil ik ook van de gelegenheid gebruik maken gedeputeerde Sietske Poepjes hier te noemen. Dit waardevolle document is met name onder haar verantwoordelijkheid tot stand gekomen.

Deze atlas is een samenvatting van de strategische grondwaterstudie Fryslân. De Grondwateratlas vertelt ons het verhaal over de werking van het Friese grondwatersysteem: vroeger, nu en in de toekomst. In samenwerking met drinkwaterbedrijf Vitens en het Wetterskip Fryslân kwam de atlas tot stand.

Met de doorkijk naar de toekomst kunnen we ons de komende jaren voorbereiden en anticiperen op de ontwikkelingen die volgens de berekeningen op ons af komen. Zoals verdroging, vernatting, zeespiegelstijging, verzilting en veranderingen in grondwaterstromen. Juist omdat het grondwater met zo veel andere activiteiten blijkt samen te hangen, is het goed om te weten hoe we bij alle plannen die we maken ook het grondwater beïnvloeden en andersom.

Het grondwater heeft een belangrijke functie voor natuur en landbouw. Genoeg grondwater van voldoende kwaliteit is noodzakelijk voor de landbouwproductie en voor de instandhouding van natuur. Ook kunnen we hiermee zorgen dat er de komende decennia - én daarna - voldoende en schoon grondwater voorhanden is voor de drinkwatervoorziening en de industrie. Zodat de Mienskip er in de toekomst ook nog van kan genieten.

In het nieuwe bestuursakkoord geven we aan dat we voor de inwoners van Fryslân het geluk op 1 willen zetten. Dat we willen bijdragen aan de brede welvaart van Fryslân. En dat we dit vooral samen willen doen. Daarom hoop ik dat deze grondwaterstudie een zetje in die richting is. Om samen met alle betrokkenen van grondwater te gaan kijken wat we kunnen doen met de resultaten en hoe we hier met elkaar handen en voeten aan kunnen geven.

Voor de komende bestuursperiode geldt dat we met de resultaten van deze studie aan de slag moeten.

Douwe Hoogland  
Gedeputeerde Water

September 2019





*Veenweidegebied bij De Deelen*

# Aanleiding Grondwaterstudie Fryslân

*Elke dag gebruiken de inwoners van Fryslân grondwater. Het water dat in Fryslân uit de kraan stroomt, komt namelijk uit de grond! Het grondwater is dus de bron van ons drinkwater. Daarom worden hier hoge eisen aan gesteld. De condities van het grondwater zijn echter niet alleen van belang voor de kwaliteit van het drinkwater. Het grondwater is ook belangrijk voor de groei van de gewassen in de landbouw, maar ook voor de natuur in onze provincie. Een goed beheer van het grondwater is dus van essentieel belang voor de Friese samenleving en voor onze economie.*

De provincie Fryslân is verantwoordelijk voor het grondwaterbeleid. Wetterskip Fryslân beheert het grondwater en voor Vitens is het grondwater de bron van het drinkwater.



Maar het klimaat is aan het veranderen. De zeespiegel stijgt en de hoeveelheden **neerslag** en **verdamping** nemen toe. Er is een steeds grotere kans op wateroverlast en op hittegolven. Daarnaast daalt de **bodem** als gevolg van veenafbraak in het **veenweidegebied** en door delfstofwinning (van gas en zout). Wat voor invloed hebben deze veranderingen op het Friese grondwatersysteem? En wat betekent dit dan voor de toekomst?

## Grondwater en drinkwaterwinning

In Fryslân zijn **grondwater** en **drinkwater** direct met elkaar verbonden. Bij een aantal drinkwaterwinningen is het **zoutgehalte** in de waterwinputten toegenomen door het

aantrekken van zout grondwater dat zich in de **ondergrond** bevindt. Om de toestroom van zout grondwater naar deze drinkwaterwinningen te beperken kan minder water opgepompt worden dan in eerste instantie volgens vergunningen was toegestaan en de bedoeling was.

Daar komt bij dat bestuurlijk is afgesproken om de drinkwaterwinning Terwisscha (nabij Appelscha) in omvang terug te brengen om zo de (ongewenste) invloed op de natuur van Nationaal Park Drents-Friese Wold tegen te gaan. Deze afspraak kan alleen worden nagekomen als er op andere plaatsen meer grondwater opgepompt wordt om tot de gewenste en benodigde hoeveelheid drinkwater voor Fryslân te komen.

Met dit in ogenschouw genomen: waar kunnen we in de toekomst nog op een duurzame wijze drinkwater winnen? En hoe kunnen we nieuwe winningen starten, zonder dat daar zout grondwater wordt aangetrokken?

## Invloed toepassingen ondergrond

We bedenken steeds meer toepassingen voor het gebruik van de ondergrond, waar het grondwater zich bevindt. Voorbeelden hiervan zijn geothermie (aardwarmte) en Warmte Koude Opslag (**WKO**) voor de energievoorziening. Op landelijk niveau is afgesproken dat de drinkwatervoorziening niet samengaat met mijnbouw, **geothermie** en WKO.

Er zijn dus keuzes nodig waar we in de toekomst bodemenergiesystemen toestaan en waar de drinkwaterwinning voorrang krijgt.

Met name in het zuiden van Fryslân hebben we een grote voorraad zoet grondwater. In de **Structuurvisie Ondergrond** is dat ook opgemerkt. Het is één van de vier gebieden in Nederland die aangewezen is als mogelijkheid voor een Nationale Grondwater Reserve (NGR). Maar in dit gebied zitten al de winningen Oudega, Spannenburg en Oldeholtpade (zie kaart bij 11.1). Er moet een balans zijn tussen aanvulling van de zoetwatervoorraad via neerslag en het gebruik van deze grondwatervoorraad. Als er meer grondwater wordt opgepompt dan er wordt aangevuld, zijn we niet duurzaam bezig. De provincie Fryslân wil duurzame grondwaterwinningen, winningen die toekomstbestendig zijn. Zit er in het zuiden van Fryslân nog wel genoeg reservevoorraad? Of gebruiken we die nu al op?

Voor provincie Fryslân, Wetterskip Fryslân en drinkwaterbedrijf Vitens waren al deze vragen een belangrijke aanleiding om een uitgebreide grondwaterstudie te starten naar de toestand en toekomst van het Friese grondwatersysteem.

### Grondwaterstudie Fryslân

Deze grondwaterstudie is te beschouwen als een zoektocht naar de werking van het Friese grondwatersysteem. Om te begrijpen hoe de huidige situatie is ontstaan moeten we teruggaan naar een ver verleden. De reden hiervoor is dat het grondwatersysteem traag is. Het betekent ook dat onze huidige ingrepen merkbare effecten hebben tot in de verre toekomst.

We hebben het watersysteem integraal willen bekijken. Dat wil zeggen in één keer voor

heel het vasteland van Fryslân, rekening houdende met alle ontwikkelingen die spelen zoals **klimaatverandering, zeespiegelstijging en bodemdaling**.

Hoe verder in de tijd (verleden en toekomst) en hoe dieper in de ondergrond, hoe groter de onzekerheden. Dat betekent dat we soms aannames moesten doen. Van het heden en het recente verleden zijn metingen beschikbaar, maar van het verre verleden uiteraard niet. De modeluitkomsten moeten dan ook vooral worden gezien als indicaties in welke richting het Friese grondwatersysteem zich in de toekomst gaat ontwikkelen. Het zijn dus geen exacte voorspellingen van **grondwaterstanden** en/of chlorideconcentraties.

Deze grondwateratlas is een samenvatting van drie jaar onderzoek waarin we betrokkenen en geïnteresseerden willen informeren over het Friese grondwatersysteem: het verleden, het heden en de toekomst. De Grondwaterstudie Fryslân vormt een bouwsteen en afwegingskader voor toekomstig ruimtelijk beleid. Daarmee wordt bij de huidige beslissingen rekening gehouden met de lange termijn, maar ook met de hele lange termijn in het voordeel van toekomstige generaties.


#### Leeswijzer

Achterin het boek vindt u een kaart van Fryslân.

Op de kaart vindt u de belangrijkste gebieden die in dit boek genoemd staan.

De gekleurde woorden in de tekst worden toegelicht in de begrippenlijst achterin.

Wilt u meer weten over een bepaald onderwerp.

De  verwijzen naar een webpagina of filmpjes op internet.





## AANLEIDING

### 1. Grondwater in Fryslân

8

### 2. Grondwatersysteem in Fryslân

- 2.1 Ondiep en diep grondwater
- 2.2 Effecten door stroming grondwater
- 2.3 Grondwaterbalans in Fryslân
- 2.4 Grondwaterkwaliteit

10

## THEMA'S

### 5. Zandgebied

- 5.1 Huidige situatie
- 5.2 Toekomstige ontwikkelingen
- 5.3 Doorgerekende maatregelen
- 5.4 Kanskaart

58

### 6. Veenweidegebied

- 6.1 Geschiedenis
- 6.2 Huidige situatie
- 6.3 Toekomstige ontwikkelingen
- 6.4 Doorgerekende maatregelen
- 6.5 Kanskaart

64

### 7. Noordelijk zeeleigebied

- 7.1 Geschiedenis
- 7.2 Huidige situatie
- 7.3 Toekomstige ontwikkelingen
- 7.4 Doorgerekende maatregelen
- 7.5 Kanskaart

72

## BEVINDINGEN

### 12. Conclusies

108

### 13. Aanbevelingen

112

### Tenslotte

- Begrippen
- Bronnen
- Colofon

114

### 3. De geschiedenis van het Friese grondwatersysteem

- 3.1 De geschiedenis van Fryslân in een notendop
- 3.2 Reconstructie zout/zoet verhouding Friese grondwatersysteem
- 3.3 Vergelijking gemeten en berekende zout/zoet verhouding van het grondwater

26

### 4. De toekomst van het Friese grondwatersysteem

- 4.1 Autonome ontwikkeling
- 4.2 Resultaten berekeningen

40

### 8. Friese boezem

- 8.1 Geschiedenis
- 8.2 Huidige situatie
- 8.3 Autonome ontwikkeling
- 8.4 Uitgevoerde modelberekeningen

82

### 9. IJsselmeer en Lauwersmeer

- 9.1 Huidige situatie
- 9.2 Toekomstige ontwikkelingen
- 9.3 Doorgerekende maatregelen

88

### 10. Waddeneilanden

- 10.1 Geschiedenis
- 10.2 Huidige situatie
- 10.3 Toekomstige ontwikkelingen

92

### 11. Grondwaterwinningen voor drinkwatervoorziening

- 11.1 Geschiedenis
- 11.2 Huidige situatie
- 11.3 Toekomstige ontwikkelingen
- 11.4 Uitgevoerde modelberekening
- 11.5 Kansencarta toekomstige duurzame drinkwaterwinningen

96





# 1. Grondwater in Fryslân

Wanneer je aan Fryslân denkt, denk je aan water. Je denkt aan meren, sloten en vaarten. Aan het IJsselmeer en de Waddenzee. En misschien zelfs wel aan de Noordzee. Maar het meeste water in Fryslân zie je niet. Dit water zit namelijk in de grond onder onze voeten.

Wist u dat de hoeveelheid grondwater in Fryslân veel groter is dan het oppervlaktewater van alle Friese meren, het Friese deel van het IJsselmeer en de Waddenzee bij elkaar opgeteld?

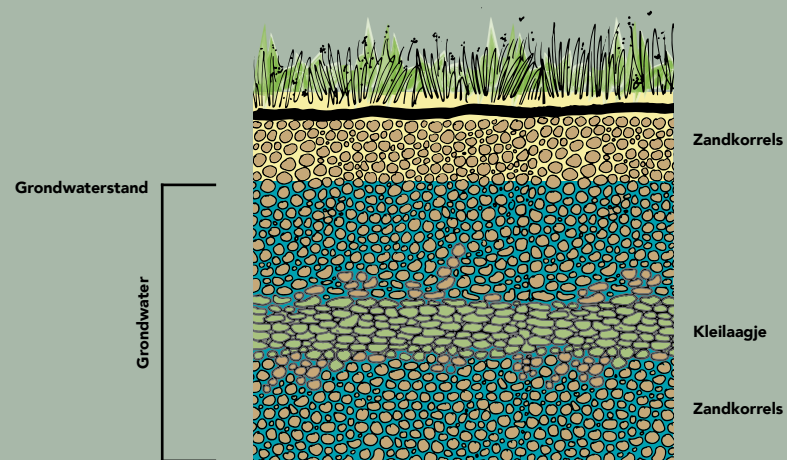


De Friese ondergrond is een opeenstapeling van aparte lagen bestaande uit zand, klei en soms veen. Al die lagen bestaan uit losse korreltjes. Hiertussen zit ruimte. Tot maximaal een paar meter diep is deze ruimte opgevuld met lucht. Maar dieper in de grond is deze ruimte gevuld met water. Dat water noemen we grondwater.

## Grondwater

Als de ruimte tussen de bodemdeeltjes volledig is opgevuld met water hebben we het over grondwater. In de bovenste delen is de grond wel vochtig, maar is een groot deel van de ruimte opgevuld met lucht. Hier spreken we van **bodemvocht**.

Het bovenste niveau waarbij de ruimte tussen de bodemdeeltjes nog wel volledig gevuld is met water noemen we de grondwaterstand. Door een gat in de grond te boren en een (peil)buis te plaatsen, kan de grondwaterstand worden gemeten. Hoe zo'n meting in zijn werk gaat, kunt u op dit filmpje zien. [\[https://www.youtube.com/watch?v=2XbN1fqdyYk\]](https://www.youtube.com/watch?v=2XbN1fqdyYk)



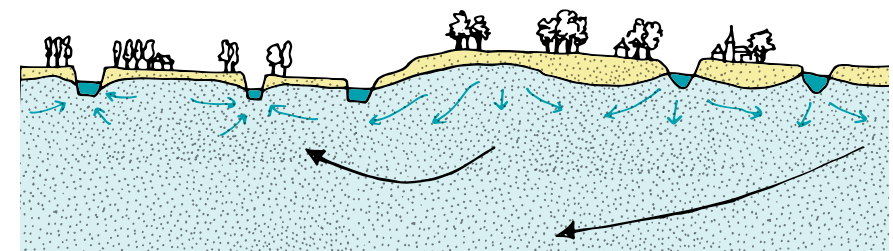
## Invloed van grondwater

Grondwater heeft grote invloed op de wijze waarop we de grond kunnen gebruiken. Landbouw, wonen, natuur, energieopslag en natuurlijk drinkwater, het zijn functies die alleen mogelijk zijn als we het grondwater beïnvloeden, sturen én gebruiken. Daar is de mens al eeuwen lang mee bezig. En dat is tegenwoordig zo vanzelfsprekend dat we er amper nog bij stilstaan.

Als het grondwater niet te diep staat, kan het vocht optrekken tot in de wortelzone. Als het grondwater te dicht aan het maaiveld komt, wordt de grond zompig, neemt de draagkracht van de grond af en kunnen de landbouwmachines niet meer het land op. Doordat de poriën dan gevuld zijn met water is er geen zuurstof beschikbaar voor de wortels. Het gewas kan (deels) afsterven door een overschot aan water; er ontstaat natschade. Als het grondwater te diep onder maaiveld staat, droogt de bovengrond uit en ontstaat droogteschade aan het gewas. Grondwaterafhankelijke natuur, zoals vochtige hooilanden en laagveenmoerassen, heeft juist het gehele jaar een hoge grondwaterstand nodig.

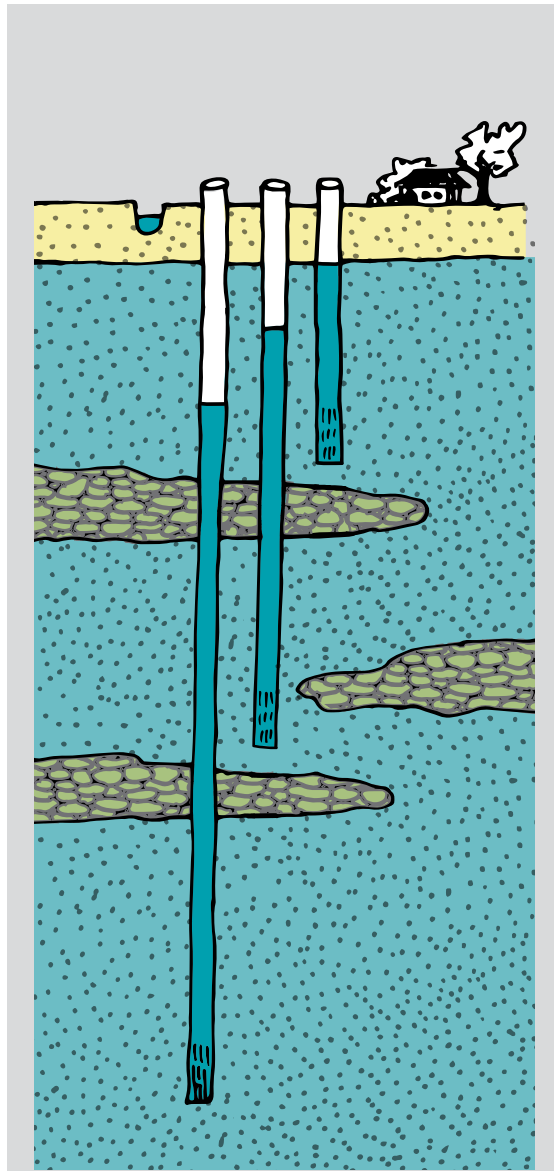
## Peilbeheer

Gelukkig kunnen we de grondwaterstand beïnvloeden. Als er rond de percelen een sloot gegraven wordt en in de sloot een lager peil ingesteld is, zal het grondwater vanuit de percelen naar deze sloot stromen. Wetterskip Fryslân beheert de peilen in de sloten, vaarten, kanalen en meren in onze provincie. Soms is de aanwezigheid van een sloot onvoldoende voor het beheer van de grondwaterstand. In dat geval worden er drainagebuizen in het perceel gelegd waardoor de afvoer van overtollig regenwater verbeterd. De ondergrond is doorlatend, hierdoor kan het grondwater stromen. Grondwater stroomt niet snel. Een verplaatsing van tientallen meters per jaar is al heel wat. Doorgaans is het grondwater behoorlijk schoon, maar soms neemt het verontreinigingen of zout mee. Dat laatste gebeurt vooral in de buurt van de zee. Als het grondwater te zout is, kunnen we het niet meer gebruiken. Het is dan ongeschikt om er drinkwater van maken en ook voor landbouwgewassen is het grondwater te zout.





## 2. Grondwatersysteem in Fryslân



Meting diepe grondwater.

*In dit hoofdstuk wordt een toelichting gegeven op de grondwaterstanden, de grondwaterstroming en de grondwaterkwaliteit op het vaste land van Fryslân.*

### 2.1 Ondiep en diep grondwater

Verschillende vormen van landgebruik stellen verschillende eisen aan het grondwater. Voor landbouw is het bijvoorbeeld van belang dat er sprake is van een **grondwaterstand** die voldoende ruimte geeft aan de gewassen om te wortelen. In deze paragraaf gaan we in op de grondwaterstanden in de provincie Fryslân.

#### Gemiddeld Hoogste en Laagste Grondwaterstand

De grondwaterstand varieert het gehele jaar. In perioden dat er veel regen valt zoals in de herfst en de winter, wordt het grondwater aangevuld en stijgt de grondwaterstand. Daardoor is er met name aan het einde van de winter doorgaans sprake van relatief hoge grondwaterstanden.

Daarnaast wordt de grondwaterstand beïnvloed door **verdamping**. In het voorjaar en in de zomer is de verdamping in het algemeen groter dan de hoeveelheid neerslag die er valt. Hierdoor zijn meestal aan het einde van de zomer de grondwaterstanden het laagst.

Om te beoordelen of de grondwatersituatie optimaal is voor het gebruik van de grond (bijvoorbeeld landbouw), wordt de **Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand** (GHG) en **Gemiddeld Laagste Grondwaterstand** (GLG) berekend. Deze begrippen zijn heel precies gedefinieerd zoals op pagina 12 nader toegelicht.

#### Wat is een grondwatermodel?

Voor de Grondwaterstudie Fryslân zijn twee grondwatermodellen ontwikkeld. Een model voor de waterkwantiteit en een grondwaterkwaliteitsmodel.

#### Model grondwaterkwantiteit

Als de grondwaterstand op de ene plaats hoger staat dan op een andere plek, gaat het grondwater stromen. Maar hoe stroomt het dan? En hoe beïnvloedt die stroming de grondwaterstanden? Met grondwatermodellen kan dit worden uitgerekend. In een driedimensionaal computermodel worden de stromingsprocessen in de ondergrond nagebootst. De opbouw van de ondergrond wordt vertaald naar de weerstand die grondwater ondervindt als het door de grond stroomt. Soms is er veel weerstand (kleilagen) en soms weinig (lagen met grof zand). Aan het computermodel worden de waterpeilen van sloten en meren toegevoegd. Verder wordt er een hoeveelheid regen die er valt (of is gevallen) ingevoerd. Nadat de opbouw van de ondergrond, de waterpeilen en de neerslag zijn ingevoerd rekent het computermodel de grondwaterstroming en de grondwaterstanden uit. Aan de hand van gemeten grondwaterstanden van verschillende grondwatermeetpunten wordt vergeleken of het computermodel de werkelijkheid goed berekent.

#### Model grondwaterkwaliteit

Nadat de grondwaterstanden en de grondwaterstroming zijn uitgerekend, kan in het kwaliteitsmodel de concentratie van een bepaalde stof worden ingevoerd. Voor de Grondwaterstudie Fryslân is gerekend met chloride (zout) in het grondwater. Langs de Friese kust heeft het grondwater een hele hoge concentratie zout. In het zuidoosten van Fryslân is het grondwater zoet. Als gevolg van grondwaterstromingen verandert de verdeling van zout en zoet grondwater. Deze veranderingen in concentraties als gevolg van grondwaterstroming worden uitgerekend met het grondwaterkwaliteitsmodel.

### Gemiddelde Hoogste Laagste Grondwaterstad

In het verleden zijn honderden grondwatermeetpunten ingericht. Van oudsher is het gebruikelijk om hier twee keer per maand (halverwege en aan het eind van de maand) een meting uit te voeren. Dat levert voor dat punt in totaal 24 metingen per jaar op. Jaarlijks wordt er gekeken naar de drie hoogste waarden uit de reeks. Achtereenvolgens wordt de gemiddelde hoogste waarde berekend (GH3). Hetzelfde wordt jaarlijks gedaan voor de drie laagste waarden (LG3).

Door dit te herhalen voor een meetperiode van acht jaar, worden de Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG) en de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) bepaald.



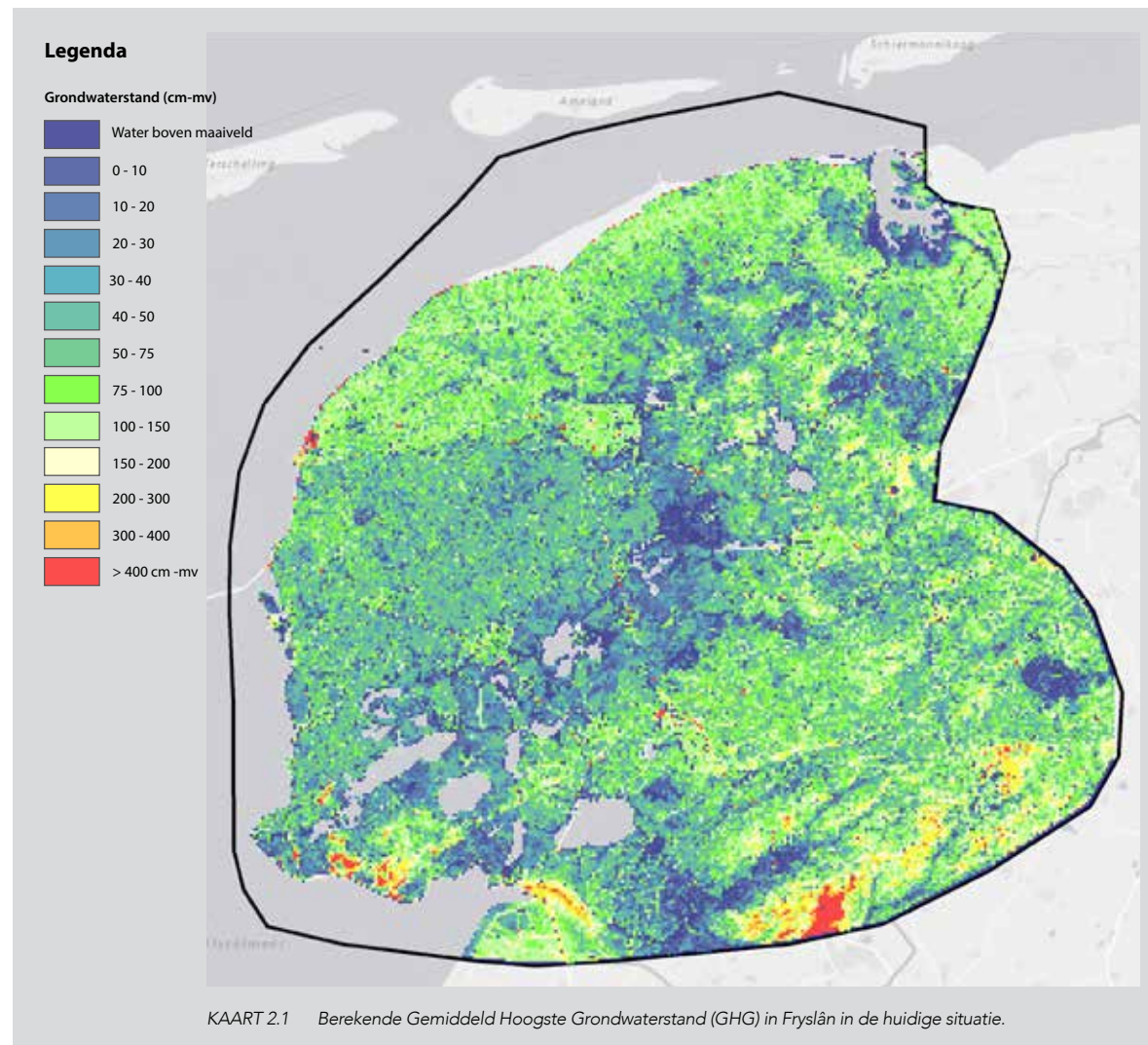
Figuur A is een voorbeeld van de GH3 en de LG3 voor één meetjaar.

Voor veel vormen van landgebruik en voor veel gewassen weten we welke hoge en lage grondwaterstanden optimaal zijn. Aan de hand van deze twee getallen kunnen we beoordelen of grondgebruik en grondwaterstand in overeenstemming zijn met elkaar.

Tegenwoordig wordt veelal gemeten met zogenaamde automatische dataloggers waardoor bijvoorbeeld elke dag de grondwaterstand kan worden gemeten.



Grondwatermeetpunt.



Op kaart 2.1 is de Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG) in de huidige situatie afgebeeld, zoals die met het **grondwatermodel** is doorgerekend voor de periode 2000 - 2010. De standen zijn weergegeven ten opzichte van maaiveld. Op de zandgronden en in het **kleigebied** is de GHG het diepst. Hier is het dus het droogst (geelgroene kleur). In de veengebieden en natuurgebieden komen de hoogste grondwaterstanden voor (blauwe kleur).

Naast de GHG is ook de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) met het grondwatermodel berekend. De GLG is afgebeeld op kaart 2.2. Net als bij de GHG-kaart zijn ook hier de klei- en zandgebieden het droogst. Maar in de zomerperiode zakt ook in het veengebied de grondwaterstand relatief ver uit. Dit wordt veroorzaakt door de zogenaamde **diepontwatering** in het Friese **veenweidegebied**. Alleen in de natuurgebieden in het **veengebied** (zoals It Bûtefjild bij Hurdegaryp en Nationaal Park De Alde Feanen bij Earnewâld) blijft de GLG in verhouding vrij hoog.

U leest meer over dit onderwerp in Hoofdstuk 6 Veenweidegebied.

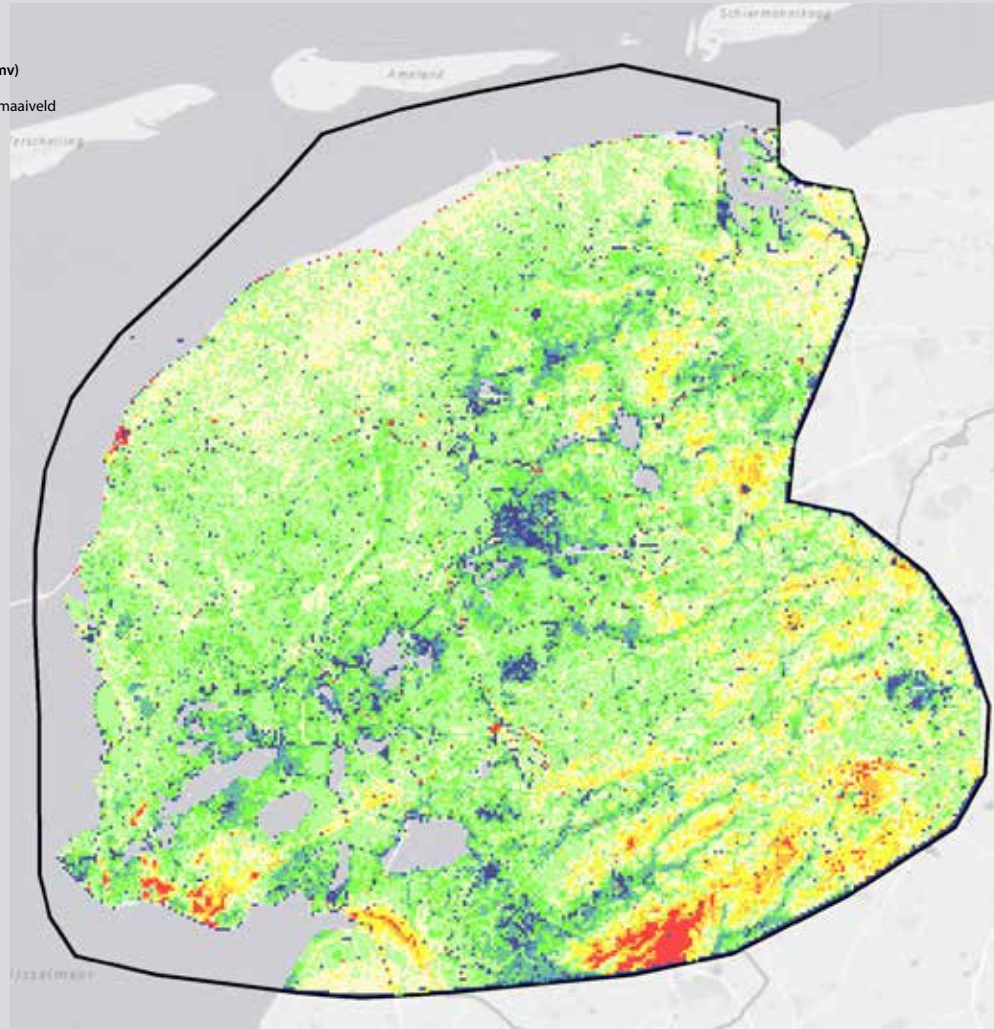


### Diepontwatering

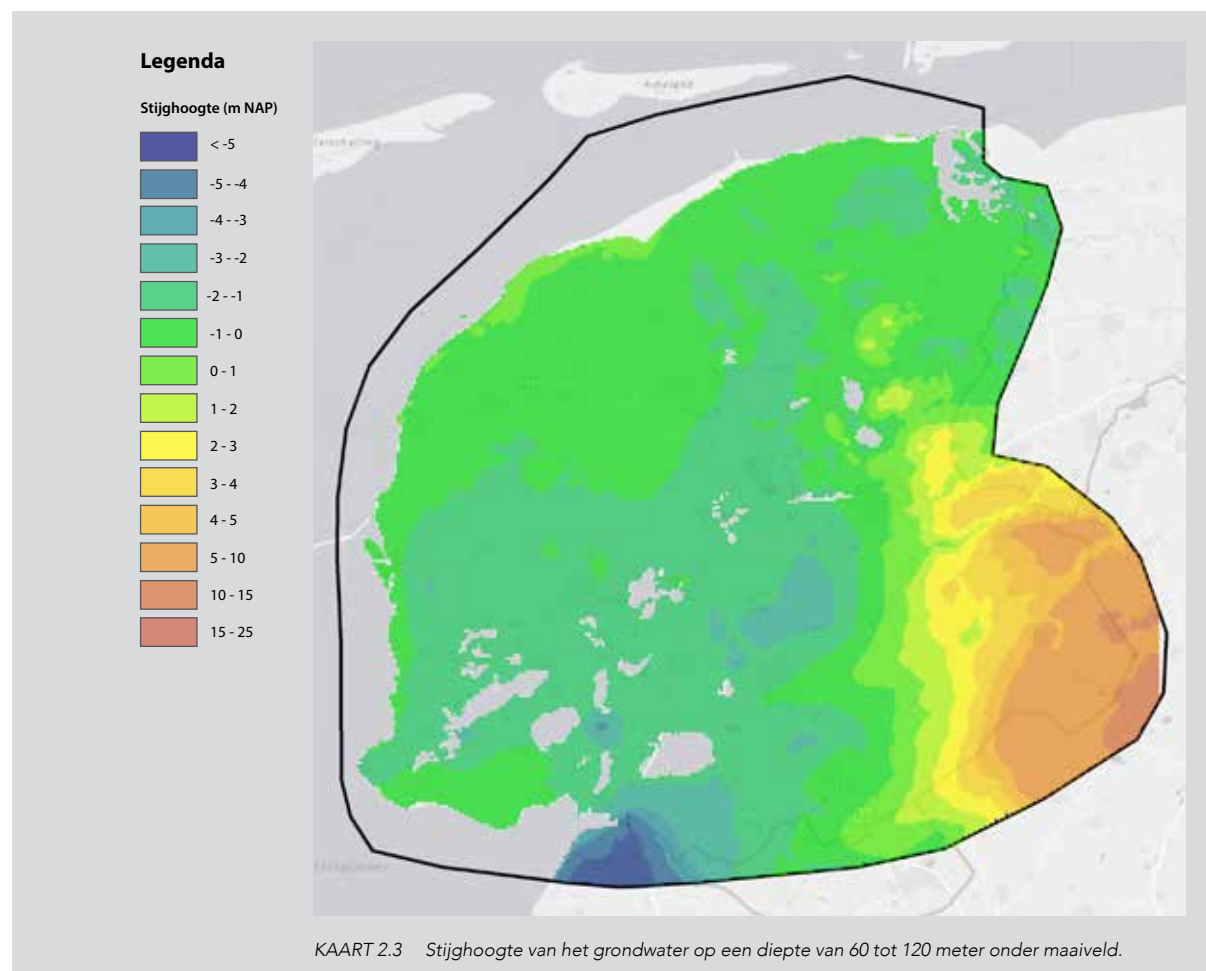
In de tweede helft van de vorige eeuw werd **diepontwatering** gepromoot door de Rijksoverheid. Met de herinnering aan voedselschaarste tijdens de Tweede Wereldoorlog nog vers in het geheugen, werden boeren van overheidswege gestimuleerd om de agrarische sector te moderniseren en te intensiveren. Er werden ruilverkavelingen opgezet waarbij karakteristieke sloten werden gedempt en nieuwe rechte, diepe waterlopen werden gegraven om de waterhuishouding beter te reguleren. Ook in het veenweidegebied werden polderpeilen verlaagd tot wel 120 centimeter onder maaiveld. Dit noemen we diepontwatering. De draagkracht van de bodem werd hierdoor groter, waardoor het land kon worden bewerkt met zwaardere landbouwmachines. Door de minder natte omstandigheden in het veengebied werd ook de grasproductie groter.

### Legenda

#### Grondwaterstand (cm-mv)



KAART 2.2 Berekende Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) t.o.v. maaiveld in de provincie Fryslân (2000 – 2010).



### Stijghoogte

De druk van het diepe grondwater wordt op de zelfde manier gemeten als de ondiepe grondwaterstanden: we boren een gat in de grond en zetten er een soms meer dan 100 meter lange (peil)buis in, die alleen aan de onderkant is geperforeerd. Het water in de buis stijgt naar een niveau dat ons informatie geeft over de druk van het water op de diepte van de onderkant van de buis. Zo kunnen we zien of er sprake is van kwel of infiltratie. Meting diepe grondwater, zie illustratie pagina 11.

### Diepe grondwaterstanden

Naast ondiep grondwater is ook diep grondwater van belang. De druk van het diepe grondwater (die we afleiden uit de **stijghoogte** van het water in een grondwaterstandsbuis) bepaalt namelijk hoe het grondwater op regionale schaal stroomt. Daarom is het belangrijk om ook de drukverdeling van het diepe grondwater te kennen.

Waterbedrijf Vitens gebruikt het diepe grondwater als bron voor ons drinkwater. Vitens wil graag weten hoe het grondwater naar de winputten stroomt en is dus geïnteresseerd in de drukverdeling op diepte.

In kaart 2.3 is die drukverdeling weergegeven op een diepte van ca. 100 meter. Dat is het niveau van de winputten van Vitens.

In vergelijking met de GHG en GLG is de diepe grondwaterstand veel gelijkmatiger. Op de kaart van het ondiepe grondwater zie je bij wijze van spreken elk slootje terug. Op 100 meter diepte zijn al die details uitgevlakt. Toch volgt de diepe grondwaterstand ook op hoofdlijnen de contouren van het maaiveld. De hoogste standen van het diepe grondwater vinden we onder de zandgebieden in het zuidoosten van Fryslân en onder het **kleigebied** in het noordwesten.

De laagste standen (diepe stijghoogtes) vinden we onder de veengebieden met hun lage polderpeilen en onder de Noordoostpolder. Met de laagste grondwaterstanden in het midden van Fryslân doet dit patroon denken aan een soepbord.

## 2.2 Effecten door stroming grondwater

Grondwater kan zich verplaatsen. Tussen de bodemdeeltjes door stroomt het grondwater van hoge naar lage druk. Om die stroming van hoog naar laag te begrijpen worden de grondwaterstanden gemeten ten opzichte van een vast peil. In Nederland gebruiken we daarvoor het niveau van het Normaal Amsterdams Peil (**NAP**).

De patronen van de stijghoogte van het diepe grondwater op kaart 2.3 zijn bepalend voor de stroming van het grondwater. Water stroomt immers altijd van hoog naar laag. Omdat in Fryslân de veenpolders zo laag liggen en ook nog lage polderpeilen hebben, stroomt het diepe grondwater hier naar toe. Hetzelfde geldt voor de nóg dieper gelegen Noordoostpolder (zie kaart 2.3).

### Kwel en infiltratie

Op de hogere zandgronden in het zuidoosten van Fryslân voeren de sloten niet al het regenwater af dat aan het grondwater wordt toegevoegd. Dit water stroomt door naar het diepere grondwatersysteem. In grondwaterterminen noemen we dit de **infiltratiegebieden**. Die diepe systemen kunnen tot wel een paar honderd meter diep reiken, maar kunnen niet voller worden dan ze al zijn. Dus als er plaatsen zijn waar er extra water aan het diepe systeem wordt toegevoegd, moeten er ook plaatsen zijn waar het diepere grondwater weer wordt afgevoerd. De plaatsen waar dit (diepere) grondwater weer naar boven komt, noemen we **kwelgebieden**. Op de laagste gebieden in de provincie Fryslân zien we dat ook daadwerkelijk gebeuren.

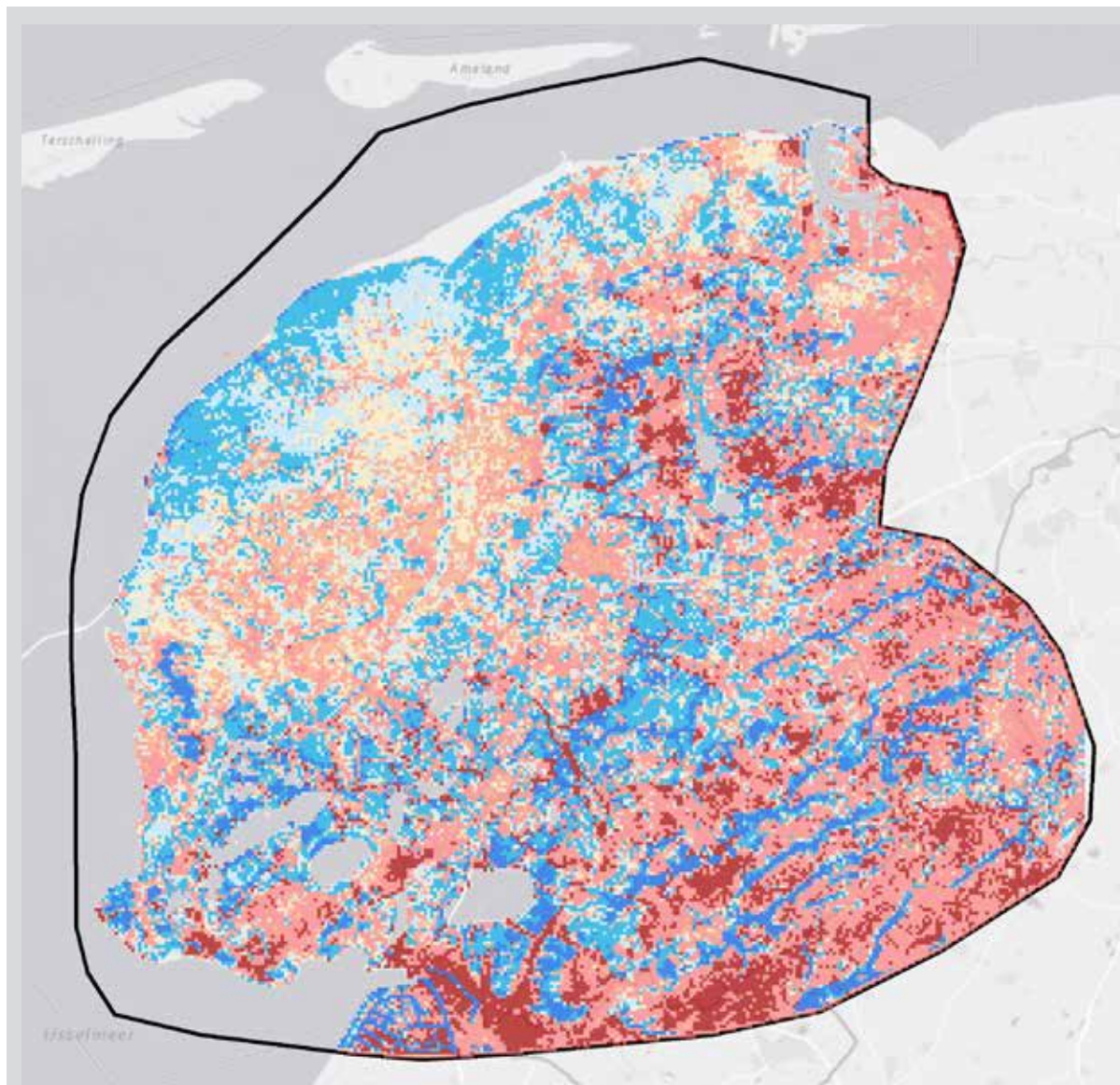
Vroeger waren het met name de beekdalen die al het water vanuit de omgeving aantrokken. Tegenwoordig zijn het in Fryslân vooral de diepere veenpolders die grondwater aantrekken.



#### Foto van kwelverschijnselen

Hier stroomt grondwater naar de oppervlakte. De rode kleur is van ijzer in het grondwater dat als het ware gaat roesten omdat het in contact komt met de zuurstof uit de lucht. De blauwe kleur is van ijzerbacteriën.





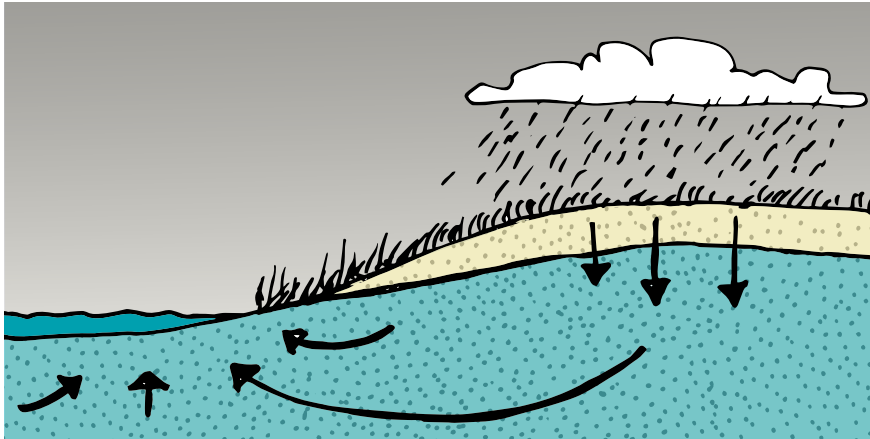
### Legenda

#### Kwel / infiltratie

<span style="color: red;">■</span>	Sterke infiltratie
<span style="color: lightcoral;">■</span>	Matige infiltratie
<span style="color: orange;">■</span>	Zeer lichte infiltratie
<span style="color: yellow;">■</span>	Intermediair
<span style="color: lightblue;">■</span>	Zeer lichte kwel
<span style="color: blue;">■</span>	Matige kwel
<span style="color: darkblue;">■</span>	Sterke kwel

Kaart 2.4 geeft het berekeningsresultaat van de kwel- en infiltratiegebieden in Fryslân weer. Volgens deze kaart infiltreert met name in het oosten van Fryslân veel water (rood). In de beekdalen is nog steeds sprake van kwel (blauw). Ook in het veenweidegebied in het midden van Fryslân komt veel grondwater naar boven. En langs de Friese Waddenkust zien we eveneens een zone van (zout) kwelwater.

KAART 2.4 Berekende kwel en infiltratie.



### Wat is kwel? Wat is infiltratie?

Regendruppels die op de grond vallen, sijpelen via de bodem naar het grondwater; dit noemen we infiltratie. Door dit proces verzamelen zich steeds meer waterdruppels bij het grondwater. Hierdoor stijgt de grondwaterstand. Door de zwaartekracht van de aarde wil water altijd van hoog naar laag stromen. Dat geldt ook voor grondwater. Het grondwater stroomt door de bodem naar plekken met een lagere grondwaterstand. Wanneer deze lage plekken verzadigd zijn, stroomt het diepe grondwater weer naar boven. Dit noemen we kwel.

Kwelwater is doorgaans schoon water. Vaak is het eeuwen tot duizenden jaren oud en door de bodemdeeltjes helemaal schoon gefilterd. In deze gebieden zien we vaak bijzondere natuur ontstaan.

## 2.3 Grondwaterbalans in Fryslân

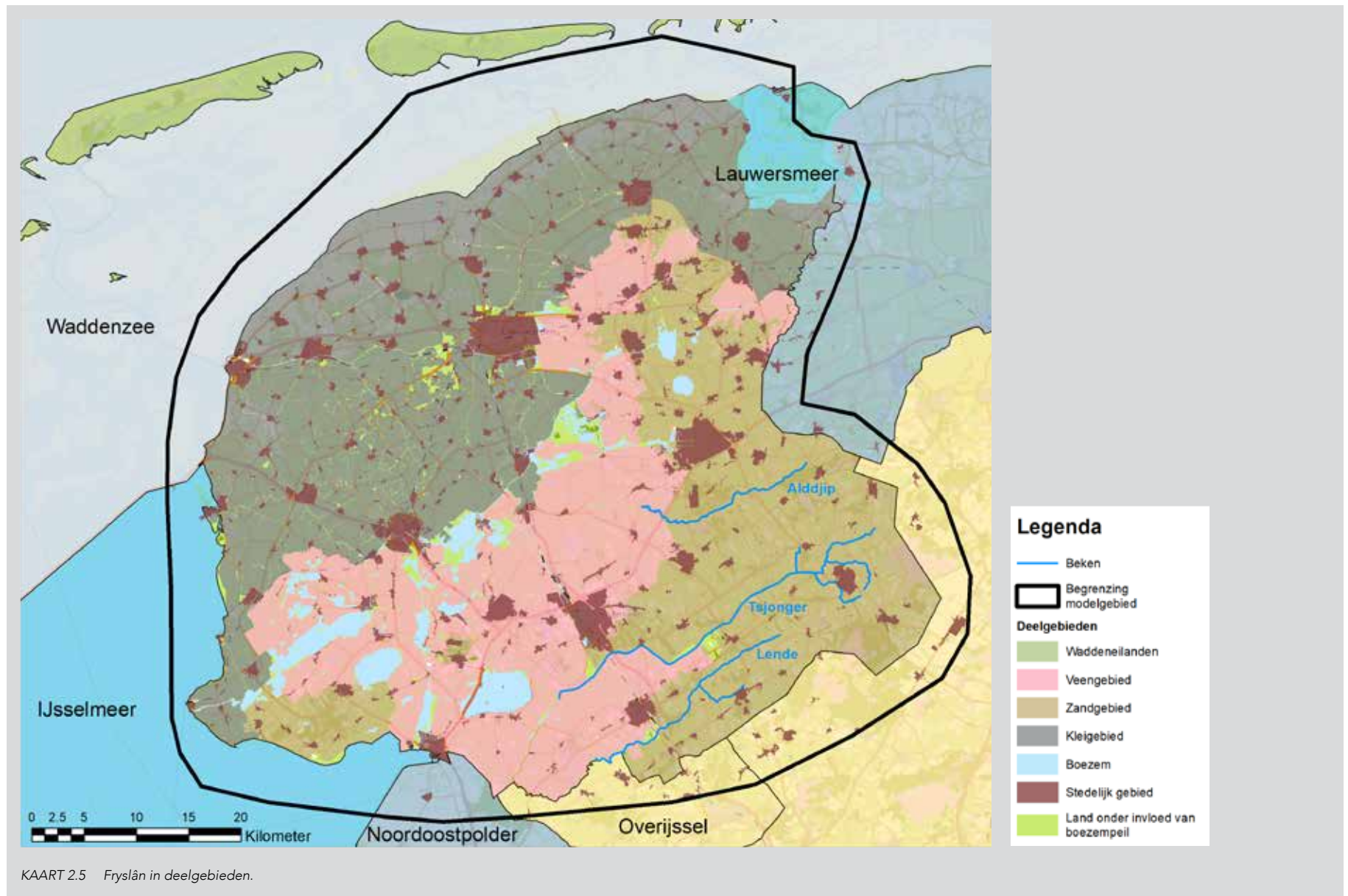
Elk jaar valt er ruim 3.000 miljoen m<sup>3</sup> neerslag op het vasteland van de provincie Fryslân. Ongeveer 1.800 miljoen m<sup>3</sup> daarvan verdampt. Er blijft dus zo'n 1.200 miljoen m<sup>3</sup> water over dat in de bodem trekt. Veel van dit water stroomt al snel weer naar de lokale sloten en wordt via vaarten en meren afgevoerd naar de Waddenzee. Daarnaast wordt jaarlijks ongeveer 50 miljoen m<sup>3</sup> grondwater gebruikt voor drinkwater, maar ook de industrie onttrekt elk jaar een paar miljoen m<sup>3</sup> grondwater.

Om te kijken hoeveel grondwater Fryslân binnenkomt en er weer uitgaat, is een waterbalans opgesteld.

Niet alleen door neerslag, maar ook via de ondergrond komt er grondwater de provincie binnen stromen. In totaal gaat het hierbij om ongeveer 100 miljoen m<sup>3</sup> per jaar. Maar er stroomt ook grondwater de provincie uit. Jaarlijks stroomt zo'n 50 miljoen m<sup>3</sup> grondwater naar andere provincies. Er komt dus meer grondwater de provincie binnen dan dat eruit gaat.

Grondwater komt binnen vanuit de provincies Drenthe en Overijssel en vanuit het IJsselmeer en de Waddenzee. Vooral vanuit de Waddenzee stroomt relatief veel zout grondwater onze provincie binnen – ongeveer 47 miljoen m<sup>3</sup> per jaar. Verder stroomt er elk jaar circa 12 miljoen m<sup>3</sup> richting de Noordoostpolder waar de polderpeilen nog lager zijn dan in het midden van Fryslân.

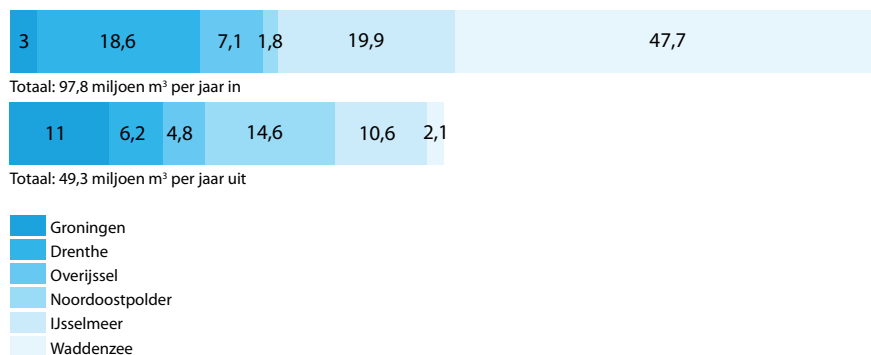
*Dit is myn lân!  
De kostelikste greide spint  
Om my syn reach en nimt my de  
wrâlden yn  
Obe Postma - Op it Jelsumer binnenpaad*



KAART 2.5 Fryslân in deelgebieden.

We kunnen de provincie opdelen in drie delen: de zandgebieden in het zuidoosten, de kleigebieden in het noordwesten en de laaggelegen veengebieden in het midden. Vanuit de zandgebieden stroomt er jaarlijks ruim 50 miljoen m<sup>3</sup> grondwater weg. Voor een groot deel stroomt dit naar het veengebied. Het veengebied trekt jaarlijks in totaal zo'n 72 miljoen m<sup>3</sup> grondwater aan. Dat water komt dus uit de zandgebieden, maar voor een deel ook uit de kleigebieden en uit de Friese boezem.

In de kleigebieden komt er meer water binnen dan dat er weer wegstroomt. Voor een groot deel wordt dit overtollige, zoute grondwater door sloten en achtereenvolgens via de Friese boezem weer terug naar de Waddenzee gevoerd. Een deel van dit zoute grondwater stroomt echter in zuidoostelijke richting naar het veengebied. Daardoor wordt het zoete grondwater verdrongen.



Figuur B Diagram grondwaterbalans Fryslân

Voor een aantal polders is berekend hoeveel water er wordt afgepompt. Voor de polders van het Veendistrict in het midden van de provincie Fryslân is uitgerekend dat het gemaal de *Fjouwer Krite* (*Gersloot*) jaarlijks zo'n 16 miljoen m<sup>3</sup> grondwater wegpompt.

Dit komt boven op de hoeveelheid die als gevolg van de regen afgevoerd moet worden. 16 miljoen m<sup>3</sup> grondwater is bijna een derde deel van de hele drinkwaterbehoefte van Fryslân. Dit grondwater wordt dus als overtollig water door het gemaal afgevoerd naar de Friese boezem. Jammer dat dit schone grondwater niet hoogwaardig wordt gebruikt, bijvoorbeeld voor de drinkwatervoorziening.





*gemaal Fjouwer Kritten bij Gersloot*

## 2.4 Grondwaterkwaliteit

Alle stoffen die in water kunnen oplossen, kunnen in principe ook in het grondwater voorkomen. Onder natuurlijke omstandigheden vinden we bijna altijd calcium en waterstofcarbonaat in het grondwater en afhankelijk van de omstandigheden ook sulfaat, fosfaat, ijzer, ammonium en nitraat. Als gevolg van menselijke activiteiten kunnen echter stoffen in ongewenst hoge concentraties aanwezig zijn. Denk hierbij aan mineralen als gevolg van (over)bemesting, bestrijdingsmiddelen en andere verontreinigingen. Ook medicijnresten en industriële producten komen we soms in **oppervlaktewater**, maar ook in het grondwater tegen.

Toch is het grondwater in de provincie Fryslân behoorlijk schoon. De bodem werkt namelijk als een soort natuurlijk reinigingsfilter. In Fryslân is die reinigende werking goed ontwikkeld. Bij geen enkel grondwaterkwaliteitsmeetpunt worden de normen voor nitraat overschreden. Veel verontreinigingen worden chemisch afgebroken of worden geabsorbeerd aan de bodemdeeltjes. Dat is een belangrijke beweegreden voor Vitens om het grondwater te gebruiken als grondstof voor het drinkwater. Het Friese grondwater bevat van nature wel relatief hoge concentraties methaan, kalk, ammonium en ijzer. Maar deze stoffen worden bij de zuivering door Vitens verwijderd.



KAART 2.6 Meetpunten grondwaterkwaliteit in Fryslân, bemonsteringsronde 2015.

Provincie Fryslân meet de kwaliteit van het grondwater op tientallen meetpunten. De watermonsters worden in een laboratorium onderzocht. Volgens de Europese Kaderrichtlijn Water (KRW) moet om de zes jaar gerapporteerd worden over de kwaliteit van het grondwater.



### Provinciaal Meetnet Grondwaterkwaliteit

In Nederland zijn de provincies verantwoordelijk voor het bewaken van de grondwaterkwaliteit. In 2019 zijn alle analyseresultaten van het Provinciaal Meetnet Grondwaterkwaliteit op een rij gezet. Voor meerdere grondwatermeetpunten zijn er meetreeksen vanaf 1980. Dat betekent dat we niet alleen de huidige situatie kunnen analyseren, maar ook onderzoek kunnen doen naar veranderingen van de chemische samenstelling van het grondwater. Er is bij deze analyse onderscheid gemaakt naar vier thema's: Vermesting, Verzilting, Verzuring en Zware Metalen.

De analyse uit 2019 heeft de volgende resultaten opgeleverd:

- Op basis van de meetresultaten is een nadelige invloed door **vermesting** op de kwaliteit van het Friese grondwater niet aangetoond. De concentratie van nitraat is overal laag.
- Afhankelijk van de locatie van de grondwatermeetpunten treden ofwel **verziltings**processen op door zout grondwater, ofwel verzoetingsprocessen door regenwater.
- **Verzuring** van het grondwater is niet vastgesteld.
- Er wordt voor een aantal **zware metalen** niet voldaan aan de normen. Het is echter de vraag of de relatief hoge concentraties aan zware metalen zijn veroorzaakt door de mens of dat het een gevolg is van de nabijheid van **zeewater**.

### Landelijke meetronde grondwaterkwaliteit

In 2015 is een landelijke meetronde grondwaterkwaliteit uitgevoerd waar ook Fryslân aan deelnam. Behalve naar algemene stoffen zoals hiervoor beschreven is er ook onderzocht of er gewasbeschermingsmiddelen, geneesmiddelen en industriële producten in het grondwater worden gemeten. In totaal zijn er 450 stoffen onderzocht. De resultaten zijn gerapporteerd in het kader van de **Europese Kaderrichtlijn Water (KRW)**.

De algemene conclusie uit dit onderzoek is dat het grondwater in Fryslân in goede chemische toestand verkeert. Dat wil niet zeggen dat er geen chemische stoffen in het grondwater zitten. Voor de KRW is sprake van een goede chemische toestand als in 80% van de monsters de norm voor de betreffende stof niet wordt overschreden. Ook zijn er voor veel 'nieuwe' stoffen (zoals medicijnresten) nog geen gezondheidsnormen opgesteld.

Op basis van een algemene norm zijn in 17% van de ondiepe grondwatermonsters sporen van geneesmiddelen gevonden. Ook in 17% van de meetpunten werden sporen gevonden van gewasbeschermingsmiddelen (in 4% van de gevallen boven de norm). In 6% van de grondwatermeetpunten zijn afbraakproducten van gewasbeschermingsmiddelen aangetroffen. Tenslotte werden in 13% van de monsters overige milieuvreemde stoffen waargenomen. De meest voorkomende milieuvreemde stof in het grondwater is EDTA, die we kennen als vervanger van fosfaat in wasmiddelen. Deze stof wordt in één op de drie grondwatermonsters aangetroffen en is daarmee de meest voorkomende 'vreemde' stof in het grondwater in Fryslân.

Het eindbeeld is dus dat het grondwater in Fryslân het predicaat 'goede chemische toestand' verdient. De waargenomen stoffen laten echter zien dat de mens wel degelijk de kwaliteit van het grondwater aan het beïnvloeden is. Het grondwater is dus kwetsbaar voor verontreinigingen. De concentraties zijn vooralsnog zo laag dat er geen risico's zijn voor de volksgezondheid.

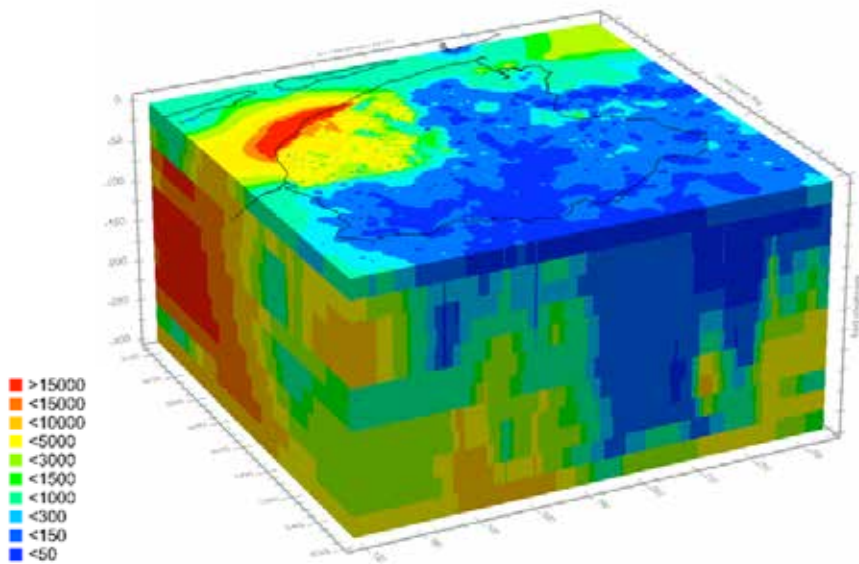


Grondwater meetpuntsensor.

### Zout (grond)water

Zeewater is te zout om van te leven. Dat geldt voor de mens, maar ook voor veel dieren en gewassen. Als er te veel chloride (zout) in het grondwater zit, is het minder geschikt om te worden gebruikt voor de drinkwatervoorziening. Drinkwater mag volgens de **drinkwaternorm** namelijk maximaal 150 mg/liter chloride bevatten, terwijl diep zout grondwater wel meer dan 15.000 mg/liter chloride bevat. Een klein beetje zout kan dus een grote hoeveelheid grondwater ongeschikt maken voor gebruik als drinkwater. Om gewassen te besproeien mag er wel iets meer chloride in zitten dan volgens de drinkwaternorm, maar zeker boven de 1000 mg/l is het schadelijk voor de gewassen. De ligging van Fryslân aan zee brengt wat dat betreft risico's met zich mee.

Elke liter Noordzeewater bevat 25 gram zout. Dat zout is helemaal opgelost in het water. Als dit zoute water de bodem in trekt, neemt het grondwater het zout gewoon mee. Als we ons realiseren dat er jaarlijks 47 miljoen m<sup>3</sup> water vanuit de Waddenzee door de ondergrond Fryslân instroomt, weten we ook dat er jaarlijks een flinke zoutvracht binnenstroomt.



Figuur C Driedimensionaal beeld van de huidige zout – zoet verdeling van het grondwater in de provincie Fryslân (zoet is blauw, zout rood en oranje).

### Metten is weten

Niet alleen door provincie Fryslân, maar ook door Wetterskip Fryslân en Vitens wordt regelmatig gemeten hoe het zit met de verdeling van zoet en zout water in sloten en in het grondwater. Dat kan op een directe manier, door grondwater op te pompen en in een laboratorium te meten hoeveel chloride er in zit.

Daarnaast zijn er geavanceerde meettechnieken, bijvoorbeeld door met een helikopter met meetapparatuur over het land te vliegen. Op deze manier wordt elektromagnetisch geleidingsvermogen van het grondwater gemeten. Sommige gebieden zijn intensief onderzocht, voor andere gebieden zijn amper metingen beschikbaar.





In opdracht van provincie Fryslân zijn 2017 in het kader van de Grondwaterstudie Fryslân alle beschikbare gegevens bij elkaar gebracht. Kennisinstituut Deltares heeft op basis van al deze meetgegevens een driedimensionaal beeld gemaakt van de huidige verdeling tussen zout en zoet grondwater (zie figuur C).



In dit filmpje wordt uitgelegd hoe de directe manier van grondwatermeten in zijn werk gaat.  
👁️ [<https://www.youtube.com/watch?v=dDC8i6zAzaU>].

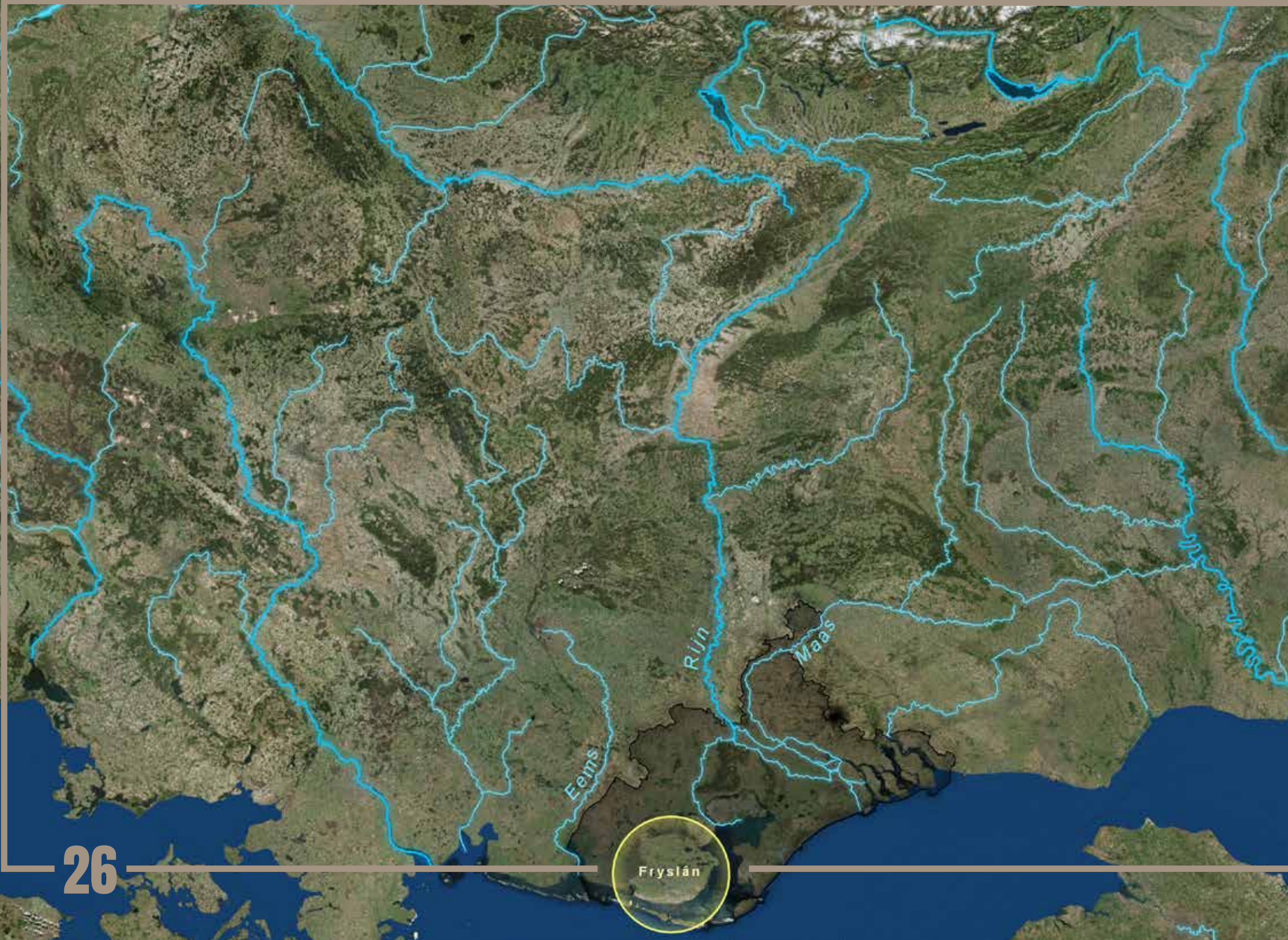
*Seediken swije stuf  
As tsjin it swier basalt  
De see in andert slacht.*

*Stoarmen oer dunen en Waad  
Ha har oer folk en lân  
D'ienwen troch gjin kear ferpraat.*

*Willem Abma - Uit: Fryslân*



**Paesens Moddergat**



Eems

Rijn

Maas

Fryslân

# 3. De geschiedenis van het Friese grondwatersysteem

Om te begrijpen hoe het Friese grondwatersysteem functioneert, moeten we terug naar de ontstaansgeschiedenis van Fryslân. Twee dingen zijn daarin bepalend. Ten eerste is Fryslân op geologische schaal relatief jong. In de geologie gaan we vaak miljoenen jaren terug in de tijd, maar voor het ontstaan van Fryslân moeten we ongeveer 200.000 jaar terug in de geschiedenis. Ten tweede Fryslân is na de laatste ijstijd steeds het overgangsgedebied tussen zee en land geweest. Vanuit Midden-Europa vormden rivieren als de Maas, Rijn en Eems een uitgebreid deltagebied. Fryslân ligt helemaal aan het uiteinde hiervan.

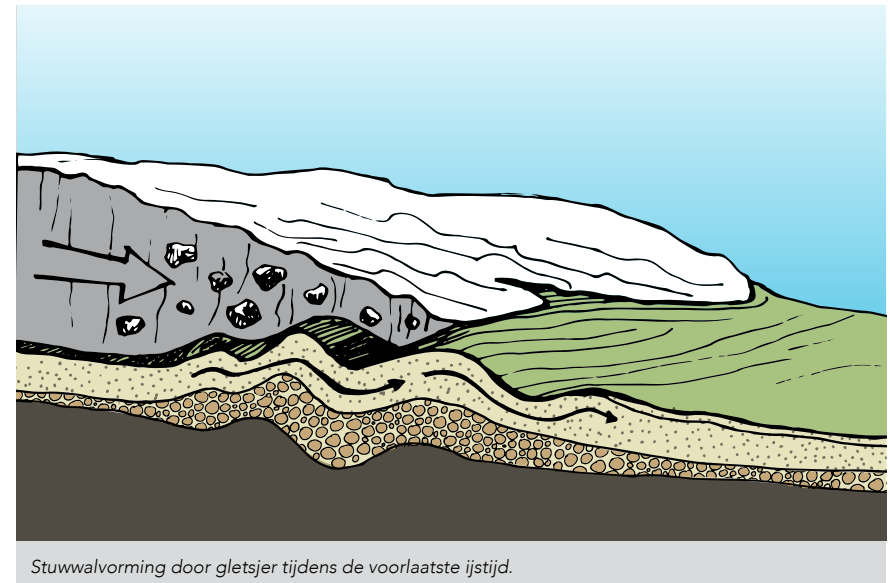


## 3.1 De geschiedenis van Fryslân in een notendop

Tijdens de voorlaatste ijstijd (het Saalien), zo'n 230.000 – 126.000 jaar geleden, was Fryslân bedekt met een dik laag ijs. Als een bulldozer schoof deze ijskolom het bodemmateriaal voor zich uit. Op deze wijze zijn de stuwwallen van Gaasterland ontstaan, net als de Woldberg bij Steenwijk. Ook voerde het ijs veel gesteente mee dat onderweg door de ijsmassa werd vergruisd en in Fryslân als **keileem** is afgezet. Het gebied dat door dit geologische proces aanmerkelijk opgehoogd werd noemt men het Drents Plateau.

Tijdens de laatste ijstijd (het Weichselien), die ongeveer 100.000 jaar geleden begon, voerden aanhoudende stormen een grote hoeveelheid stuifzand aan. Dit zand werd over de hele provincie afgezet als een laag dekzand.

Zodoende bestaan de hogere zandgronden van Fryslân (inclusief Gaasterland) uit (kei)leem en dekzand.



Stuwwalvorming door gletsjer tijdens de voorlaatste ijstijd.

## Zandvlakte

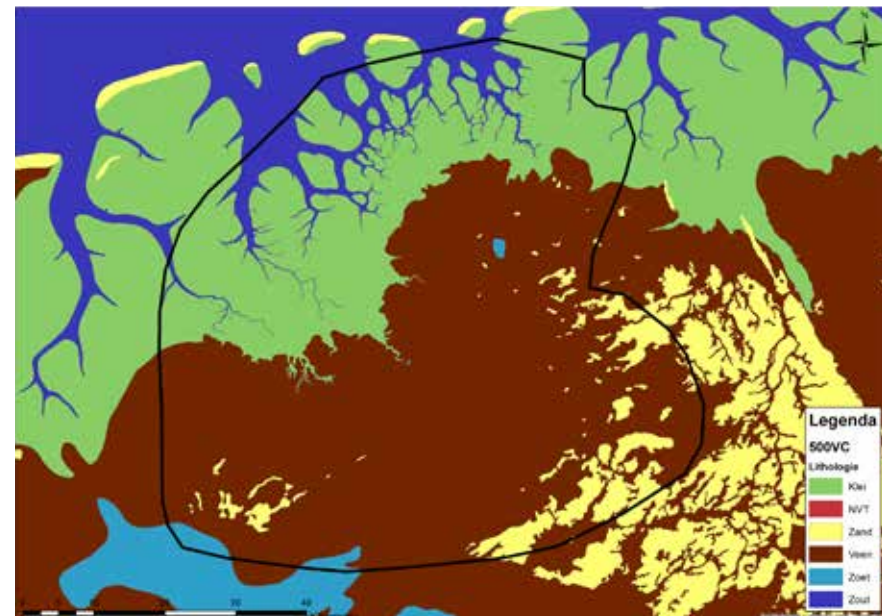
Zo'n 12.000 jaar geleden kwam er een einde aan de laatste ijstijd. Fryslân was een kale zandvlakte die doorsneden werd door een aantal beken die van zuidoost naar noordwest stroomden. Het gebied rond Appelscha lag toen ook al op de huidige 10 m+NAP, het noordwesten van Fryslân op ruim 10 meter onder NAP. Omdat het zeeniveau nog tientallen meters lager lag (heel veel zeewater was vastgelegd in gigantische ijspoolkappen), lag de Noordzee tot voorbij Engeland droog.



KAART 3.1 Fryslân was duizenden jaren geleden een kale zandvlakte.

## Ontstaan noordwestelijke kleigronden

De zeespiegel steeg verder waardoor uiteindelijk bij stormvloed de zee over het land stroomde. Grote delen van het veen werden weggeslagen, maar na elk hoogwater bleef er dun laagje klei op het land achter. Op deze manier werd het noordwesten van Fryslân langzaam opgehoogd met klei. Het zoete water vanuit het zuidoosten kon zo steeds moeilijker wegstromen.



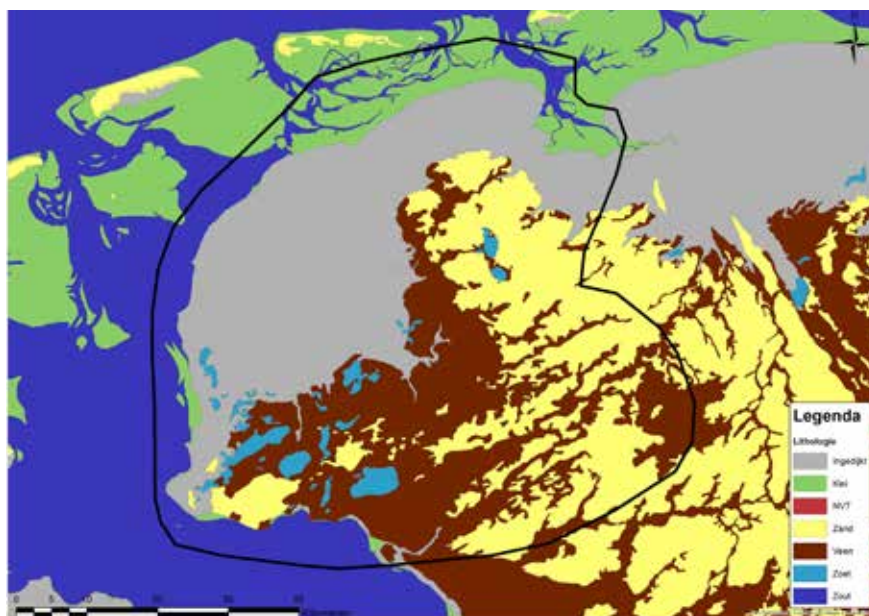
KAART 3.2 Het ontstaan van de noordwestelijke kleigronden en veengebieden in het midden van Fryslân 500 voor Christus. De Zuiderzee was eerst een zoetwaterplas (Flevomeer), die in de loop der eeuwen met de Noordzee werd verbonden.

## Moerassen

In de daaropvolgende 10.000 jaar warmde de aarde op en kwam er een uitbundige plantengroei tot ontwikkeling. Er waren toen echter nog geen sloten en vaarten, daardoor stagneerde het (grond)water en ontstonden uitgestrekte moerassen. Door de natte, zuurstofloze omstandigheden werden afgestorven plantenresten niet verteerd. Hierdoor ontstond een veenlaag van enkele meters dik.

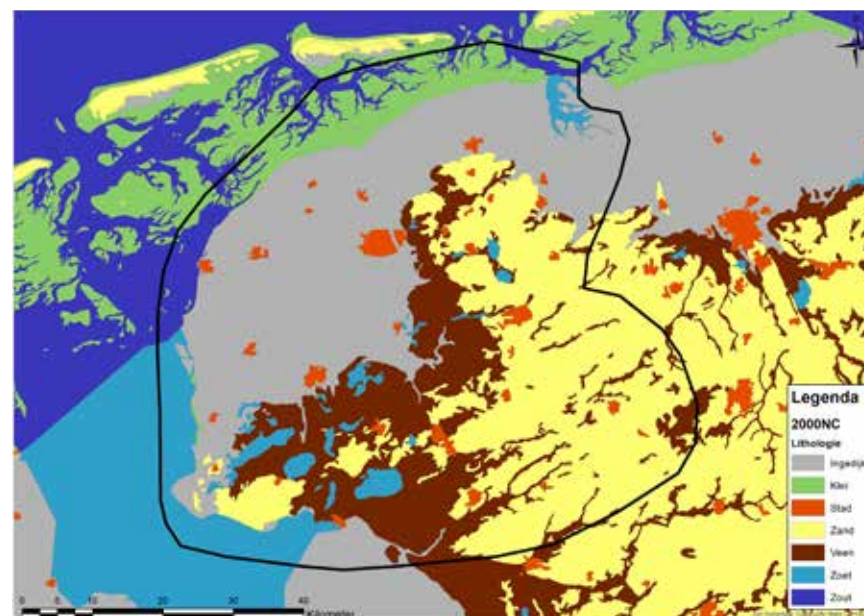
### Ontginning en veenwinning

Vanaf de middeleeuwen werd de invloed van de mens op het landschap steeds groter. Men woonde op terpen, maar overstromingen hinderden de landbouw. Er werden dijken aangelegd waardoor het land niet meer overstroemde. De veengebieden waren zompige moerassen, maar met het graven van slootjes werden ze begaanbaar gemaakt. Het veen werd afgegraven en gedroogd. Als turf was het veen een geschikte brandstof.



KAART 3.3 Rond 1800 waren grote delen van Fryslân bedijkt en werd veen op steeds grotere schaal afgegraven.

Met name in de vorige eeuw gingen deze processen hard. De dijken werden op deltahoogte gebracht. De hoge kleigronden in het noordwesten werden drooggelegd door slootpeilen van soms twee meter onder maaiveld. Afgegraven veengebieden werden ingepolderd en drooggemalen zodat ze alsnog als landbouwgrond konden worden gebruikt. Binnen ruilverkavelingen werden de peilen in de sloten nog verder verlaagd. De mens nam de gronden definitief in bezit.



KAART 3.4 In de afgelopen 200 jaar is de invloed van de mens op het landschap steeds verder toegenomen. Een deel van het veen is afgegraven en verdwenen en het stedelijk gebied is behoorlijk uitgebreid.

## 3.2 Reconstructie zout/zoet verhouding Friese grondwatersysteem

Om meer te leren over het ontstaan van het huidige grondwatersysteem is de geschiedenis van het Friese grondwatersysteem in kaart gebracht van 5.000 v.Chr. tot heden.

Met modelberekeningen is geprobeerd om de geschiedenis van het grondwater na te bootsen. Veel informatie is afgeleid uit de **paleo-geografische kaarten** die door kennisinstituut Deltares zijn gemaakt (Vos en de Vries, 2013). Door het uitvoeren van de modelberekeningen op basis van deze kaarten snappen we nu beter hoe het provinciale grondwatersysteem werkt.



Paleo-geografische kaarten laten een reconstructie van het historische landschap zien. Ze zijn gebaseerd op alle mogelijke informatie zoals geologie, archeologie, etc. Deze kennis is gebruikt om de geschiedenis van het grondwater in Fryslân te reconstrueren.

Deze informatie is van belang, omdat het Friese landschap de afgelopen millennia grote veranderingen heeft ondergaan. Vooral de veranderende rol van de zee was van groot belang voor de verdeling van het zoet en zout grondwater in Fryslân.

### Zout - zoetverdeling

In en onder de Waddenzee bevat het (grond)water veel zout. Zeezout bestaat vooral uit natriumchloride. Om te kwantificeren hoeveel zout het water bevat, kijken we met name naar de **chlorideconcentratie**. Zeewater bevat bij de Waddenzee per liter 15 gram chloride. Meestal drukken we dit uit in een chlorideconcentratie van 15.000 mg/l. Op die manier kunnen we het beter vergelijken met de drinkwaternorm, die stelt dat drinkwater maximaal 150 mg/l mag bevatten.



Op basis van **paleo-geografische kaarten** is met het grondwaterkwaliteitsmodel de verandering in de **chlorideverdeling** door de eeuwen heen berekend. In deze paragraaf zien we kaarten van de chlorideverdeling van het ondiepe en het diepe grondwater. Met diep grondwater wordt hier een diepte bedoeld van grofweg van 60 tot 120 m-NAP. Op deze diepte pompt Vitens het grondwater op voor de drinkwatervoorziening. De blauwe kleur staat voor zoet grondwater, met een concentratie lager dan 150 mg/l. De eerste tint lichter blauw geeft aan dat de drinkwaternorm wel wordt overschreden, maar niet extreem. Via geel en oranje worden de concentraties steeds hoger. De rode kleur geeft aan dat er feitelijk sprake is van zeewater.

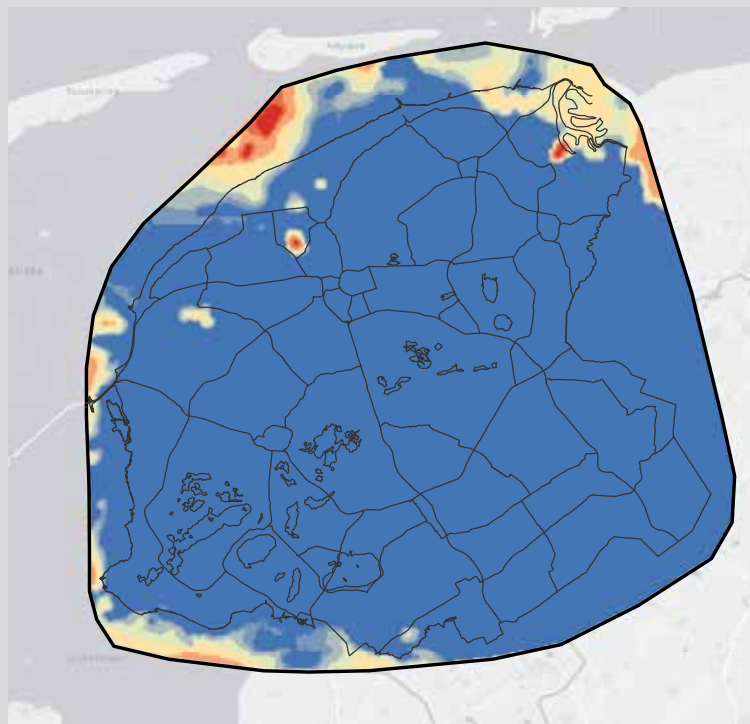
*Waar de dijk het land ternauwernood omarmt,  
De akkers wegduiken in een vrouwenschouder  
En de zee meesmuidend strandt in een looper  
Van hemelsbreed waddengrijs afwezig lispelend  
In een onvermoebaar zuchtende wind*

*Michaël Zeeman - Uit: Moddergat.*

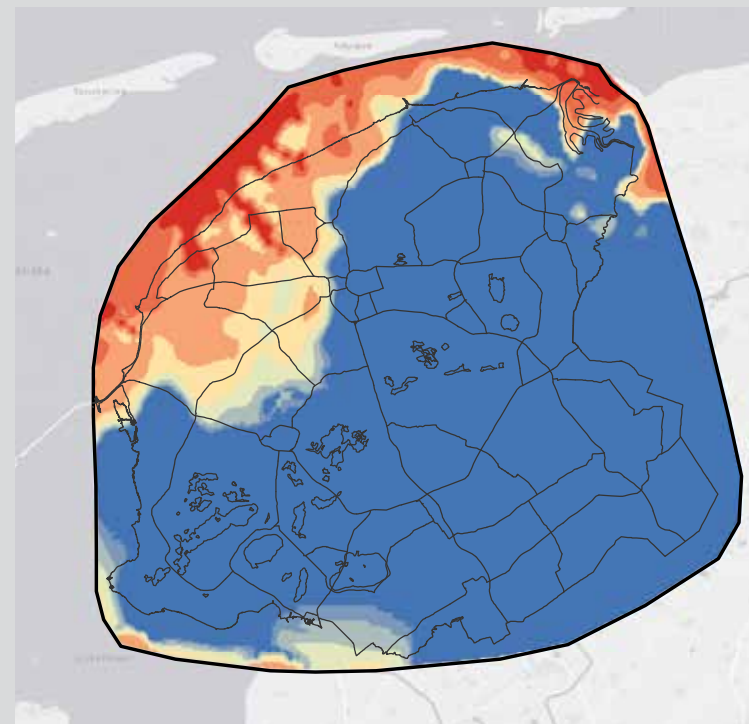


KAARTEN 3.5 Berekende verdeling van het zoete (blauw), brakke (geel en oranje) en zoute (rood) ondiepe grondwater op enkele meters onder NAP voor de afgelopen 7000 jaar.

5.000 v. Chr

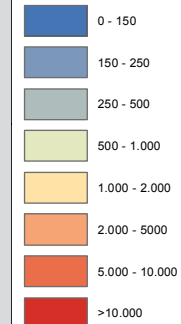


1.000 v. Chr



### Legenda

Concentratie Cl (mg/l)



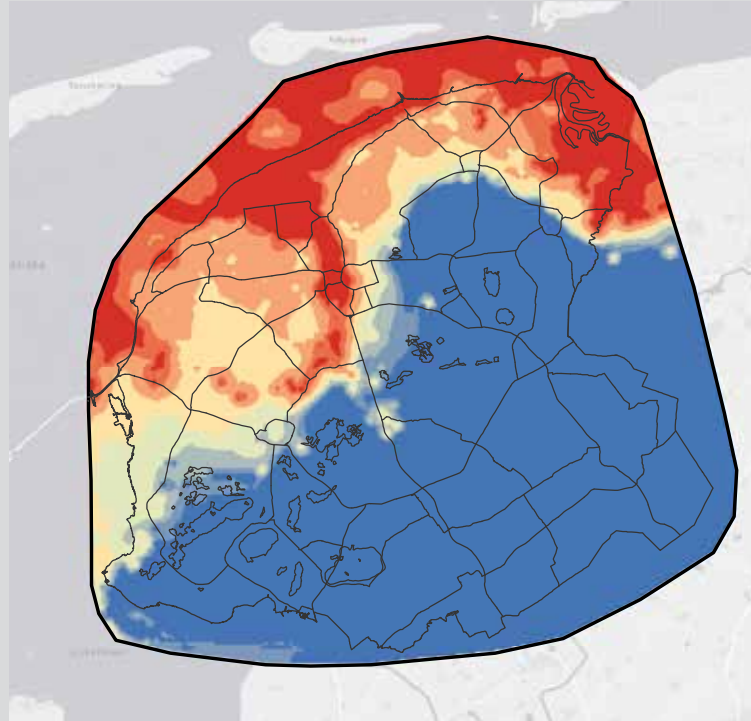
### Ondiep grondwater

Het ondiepe grondwater wordt in hoge mate beïnvloed door de aanvulling van het grondwater van bovenaf. Zo'n 5.000 jaar v. Chr. is het grondwater bijna nog volledig zoet.

Door de stijging van de zeespiegel is er rond 1.000 jaar v. Chr. in het noordwesten in een flink gebied zout en **brak** grondwater aanwezig. In het westen van Fryslân ontstaat vanuit het Flevomeer het Almere. Deze binnensee is aanzienlijk zoeter dan de Noordzee (blauwe kleur). Dit komt omdat het Almere dan nog een smalle geul is, die door de rivieren de IJssel en de Overijsselse Vecht van **zoet water** wordt voorzien. In de Middeleeuwen ontstaat hier de Zuiderzee.

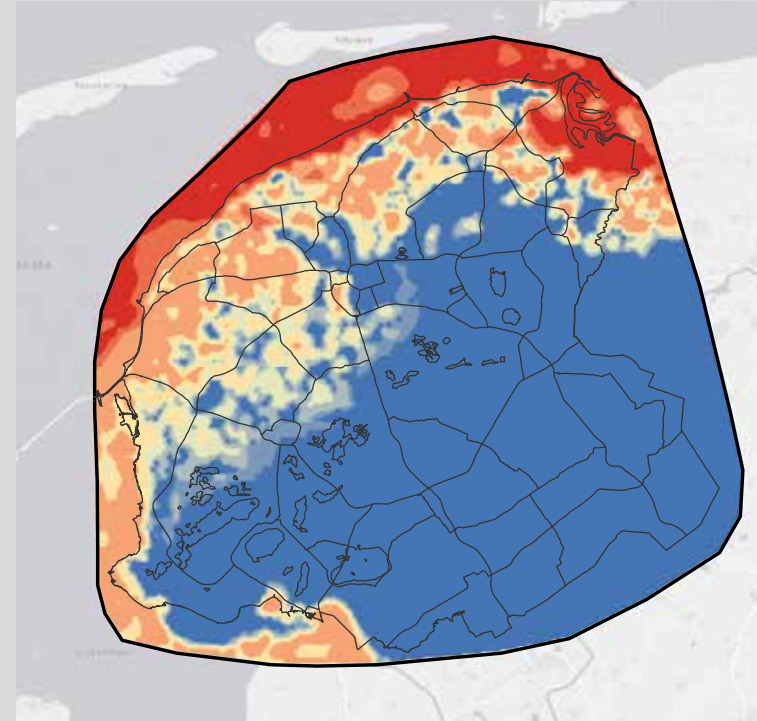


1500 n. Chr



Op de kaart van 1500 na Chr. is te zien dat vanaf 1.000 v. Chr. de **verzilting** duidelijk is toegenomen. Ook de aanwezigheid van de Middellzee is duidelijk zichtbaar in het patroon van het zoute grondwater (rode kleur).

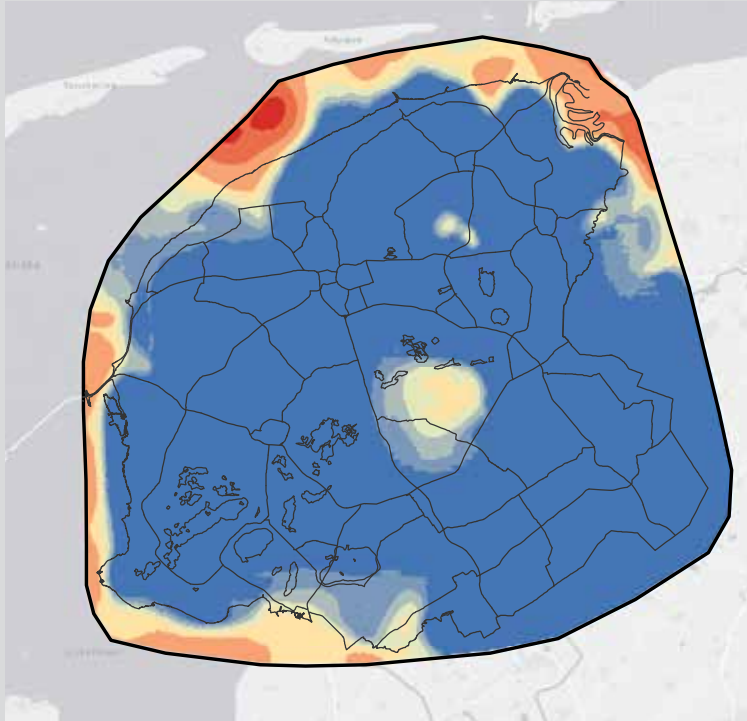
1930 n. Chr



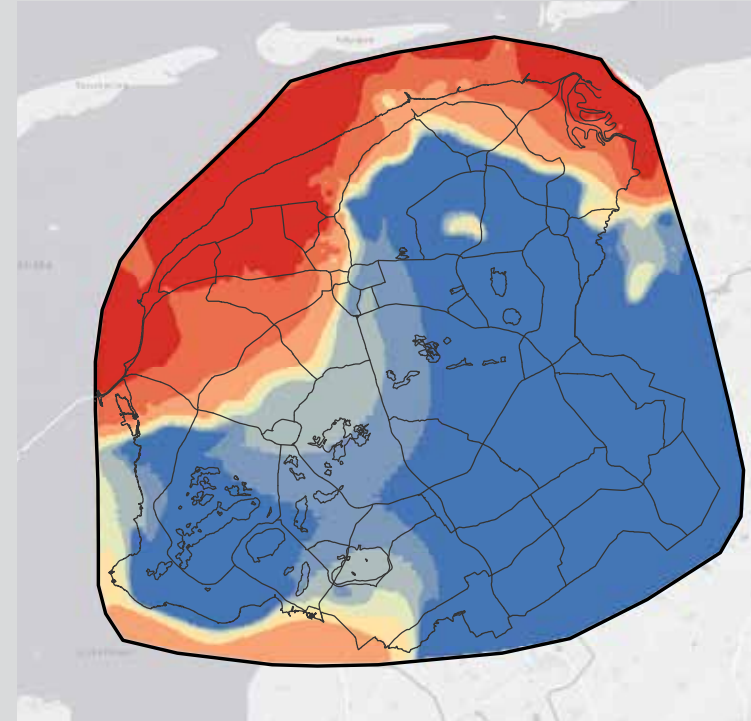
In 1930 is een groot deel van het ondiepe grondwater weer verzoet door de bedijking in de afgelopen eeuwen. Na de bedijking werd het ondiepe grondwater alleen nog gevoed met zoet regenwater. Wel is te zien dat de Zuiderzee in het westen van Fryslân een stuk zouter is geworden (oranje kleur).

KAARTEN 3.6 Berekende chlorideverdeling voor het diepe grondwater in de afgelopen 7000 jaar.

5.000 v. Chr

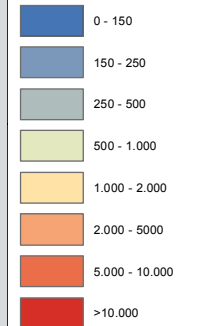


1.000 v. Chr



### Legenda

Concentratie Cl (mg/l)

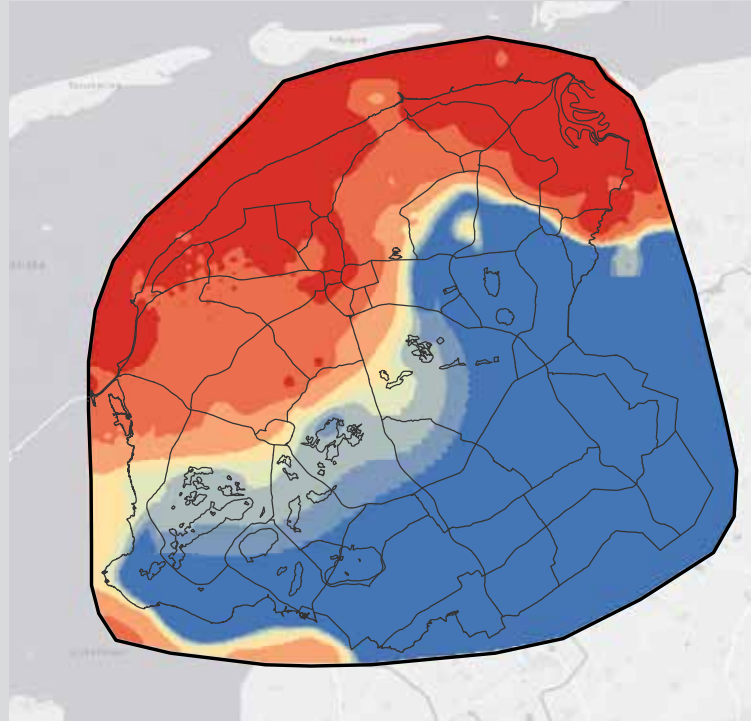


### De ontwikkeling van het diepe grondwater

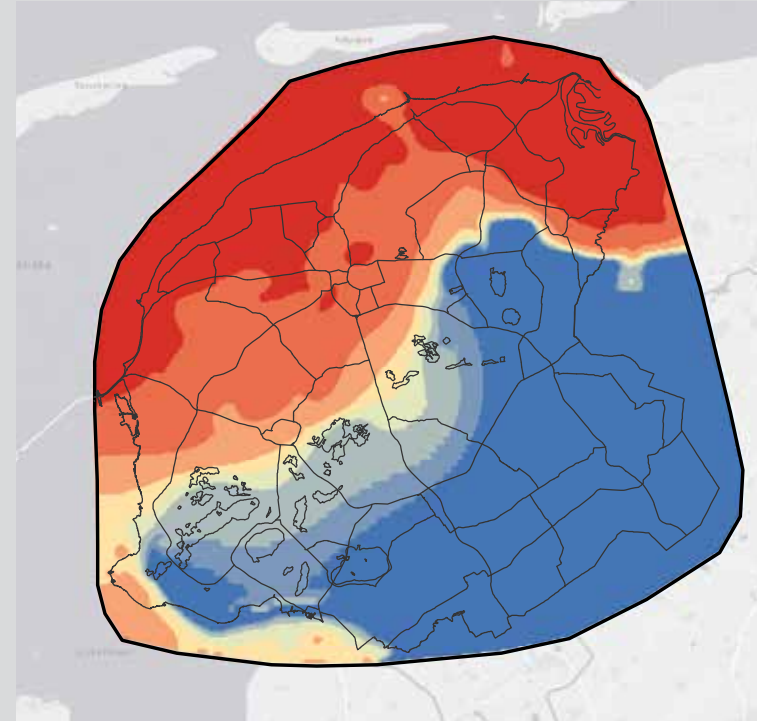
Op een diepte van circa 100 meter zien we soortgelijke patronen als bij het ondiepe grondwater. Maar er zijn ook verschillen. In 5.000 voor Chr. ontstaan in het binnenland brakke vlekken. Het blijkt namelijk dat er in de hele diepe ondergrond (dieper dan 200 meter onder NAP) nog zout grondwater voorkomt. Het gaat om zand en kleilagen die miljoenen jaren geleden op de bodem zijn afgezet in een periode dat heel Fryslân nog zee was. Tot op de dag van vandaag vinden we op die grote diepte nog **brak** en zout water.

Opmerkelijk is dat het binnendringen van het zoute grondwater in het diepe zandpakket sneller gaat dan in het ondiepe zandpakket. Enerzijds komt dat doordat de diepe zandlagen beter waterdoorlatend zijn en de grondwaterstroming daardoor gemakkelijker gaat. Daarnaast veroorzaakt zout grondwater zelf ook een landinwaartse stroming doordat het zoute grondwater zwaarder is dan zoet grondwater.

1500 n. Chr



1930 n. Chr

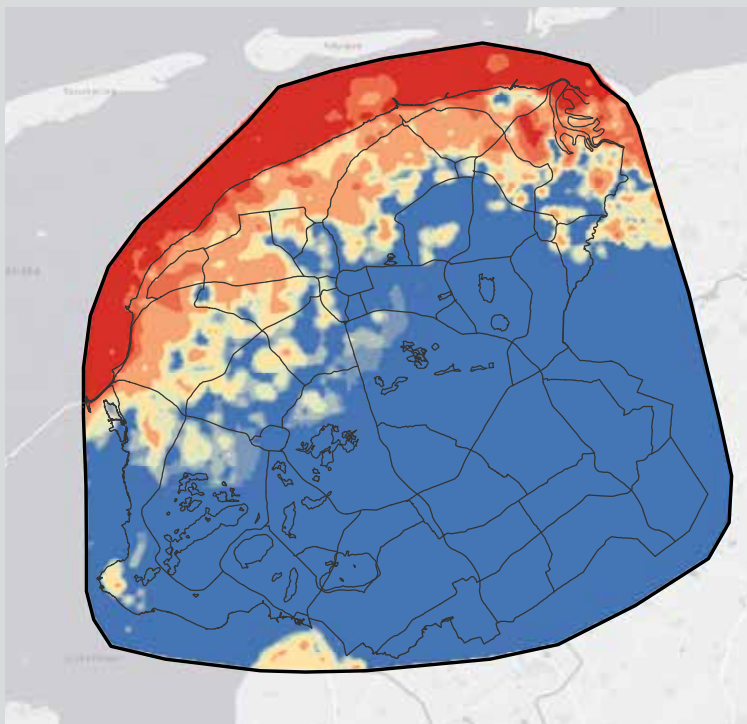


Rond het begin van onze jaartelling is er een soort van evenwicht tussen zoet en zout grondwater tot stand gekomen. Het zoute grondwater kon namelijk niet verder stromen. Het werd als het ware tegengehouden door de afstroming van **zoet water** vanuit het zuidoosten.

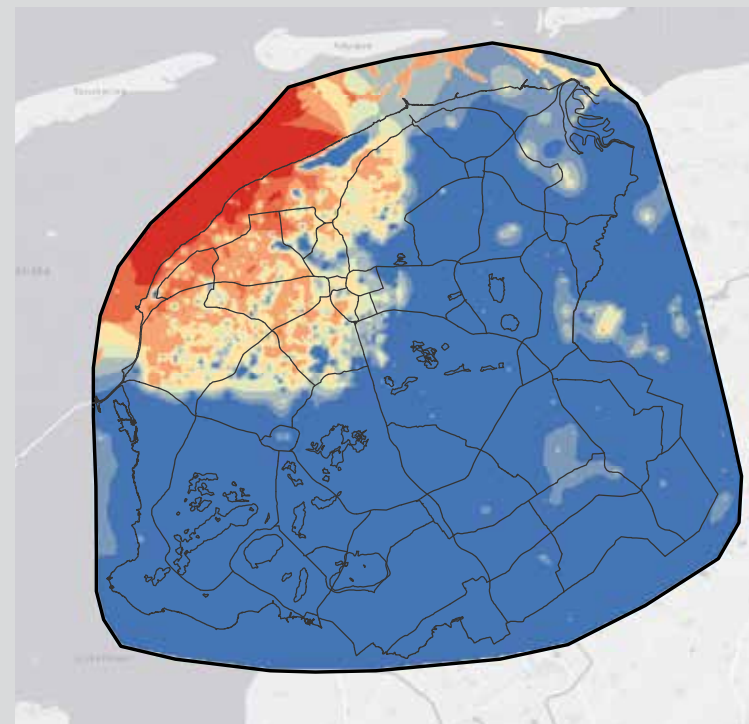
Vanaf 1800 komt dit evenwicht weer in beweging, vooral omdat in de veenpolders in het midden van Fryslân veen wordt afgegraven en peilen worden verlaagd. In bovenstaande kaart is de situatie rond 1930 weergegeven.

KAARTEN 3.7 Berekende en gemeten chlorideverdeling ondiep grondwater voor 2015.

### Berekend

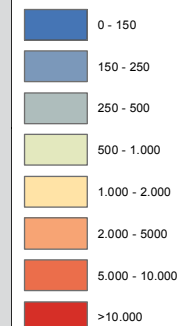


### Gemeten



### Legenda

Concentratie Cl (mg/l)



### Waar staan we nu?

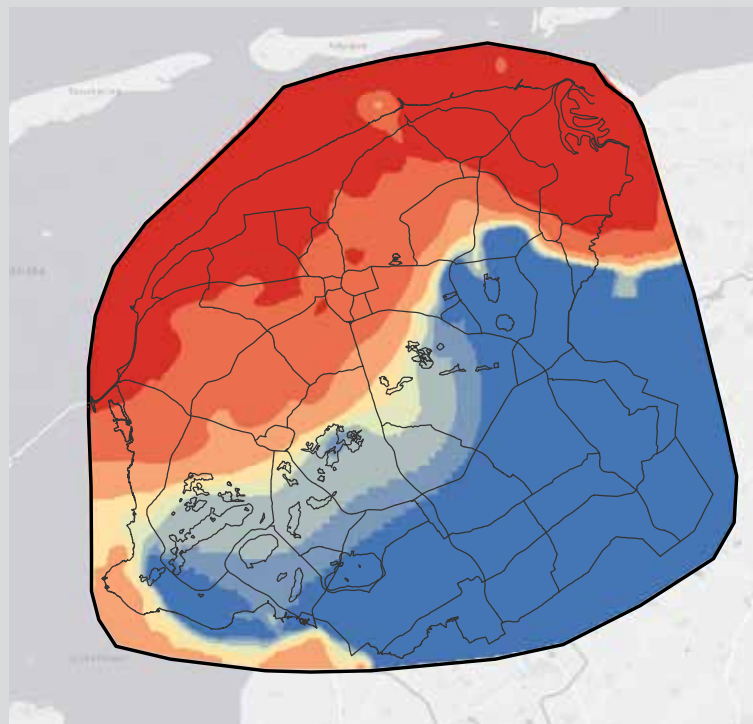
We hebben de modelberekening in eerste instantie doorgezet tot het jaar 2015. Sinds 1930 lijkt er niet veel veranderd. Toch is de trend zichtbaar: traag maar gestaag trekt het zoute grondwater via het diepe zandpakket verder het land in. Op plaatsen waar dit water naar boven stroomt, bijvoorbeeld in diep ontwaterde polders, wordt dit brakke en zoute water ook ondiep waargenomen.

### 3.3 Vergelijking gemeten en berekende zout/zoet verhouding van het grondwater

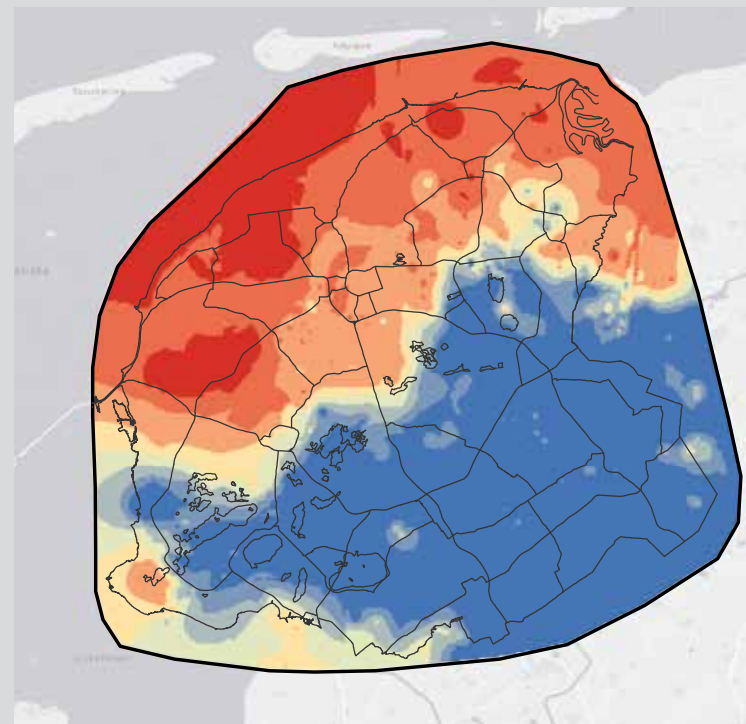
De berekende zout-zoet verdeling (zie paragraaf 3.2) voor het jaar 2015 kan worden vergeleken met meetresultaten. Deze vergelijking is uitgevoerd aan de hand van het driedimensionale beeld dat kennisinstituut Deltares op basis van alle metingen heeft vervaardigd (zie paragraaf 2.4). Door de berekende modelresultaten te vergelijken met de meetresultaten kan worden beoordeeld of het grondwatermodel goed genoeg presteert. Snappen we voldoende hoe het grondwatersysteem functioneert?

KAARTEN 3.8 Berekende en gemeten chlorideverdeling diep grondwater voor 2015.

### Berekend

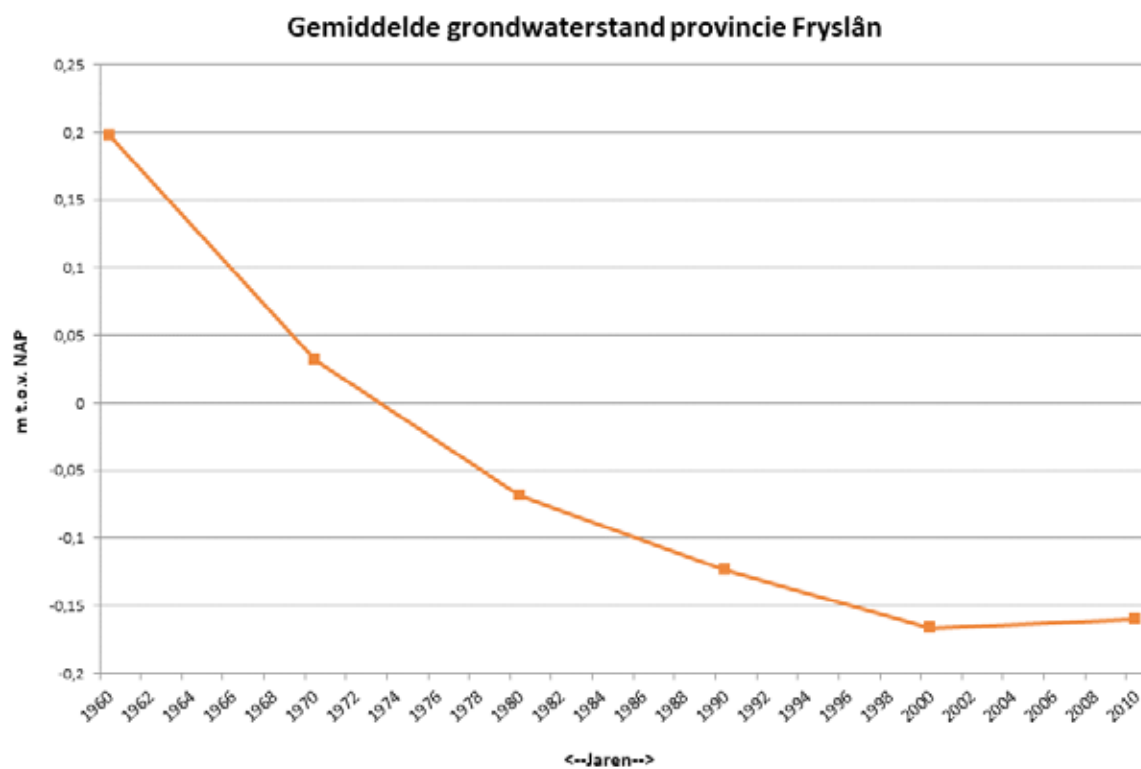


### Gemeten



In het ondiepe grondwater komt het beeld in het noordwesten en zuidoosten van de provincie goed overeen met het beeld dat uit de metingen is afgeleid. In het noordoosten en zuidwesten berekent het model een zoutere situatie dan uit het 3D-beeld naar voren komt. Voor het noordoosten is nagegaan wat hier de oorzaak van is. Het blijkt dat er in dit gebied amper grondwatermetingen beschikbaar zijn. Het 3D-beeld op basis van de metingen is hier dus onvolledig waardoor het modelresultaat betrouwbaarder is.

Voor het diepe grondwater berekent het model in het noorden wat te hoge zoutconcentraties (rood), maar het overall-beeld komt goed overeen met het 3D-beeld op basis van de metingen. De resultaten zijn dus goed met elkaar vergelijkbaar. Dat betekent dat we in grote lijnen inzicht hebben in de werking van het Friese grondwatersysteem. Met vertrouwen kan nu de toekomstige ontwikkeling van het grondwater worden doorgerekend.



Figuur D Gemiddelde grondwaterstand Provincie Fryslân in de afgelopen 60 jaar.

### Zestig jaar grondwaterstandsmetingen

Continu worden er in Fryslân grondwaterstandsmetingen uitgevoerd. Voor een aantal meetpunten op het vaste land van Fryslân gebeurt dat al tientallen jaren. Deze meetreeksen geven ons informatie hoe de afgelopen decennia de grondwaterstanden veranderd zijn.

Om hier een beeld van te krijgen, zijn voor 42 van deze lange meetreeksen per decennium gemiddelde waarden bepaald. Hierdoor ontstaat een beeld over de gemiddelde grondwaterstand van Fryslân in de afgelopen 60 jaar.

De grafiek laat zien dat in Fryslân tussen de zestiger en negentiger jaren de grondwaterstanden gemiddeld zo'n 30 cm zijn gedaald. Daarna stabiliseerden de grondwaterstanden.

Dit komt overeen met het beeld dat tot en met de jaren 90 via ruilverkavelingen en waterbeheersingsplannen op grote schaal **peilverlagingen** zijn doorgevoerd. Een goede **drooglegging** voor de landbouw was daarvoor de belangrijkste aanleiding. Daarna kwam de problematiek van verdroging meer op de agenda. In en rond bepaalde natuurterreinen worden nu zelfs vernattingsmaatregelen uitgevoerd.



Want hen verbindt het open wijde  
Land dat aan alle zijden  
Uitziet op zijn einder  
onder grenzen tussen beide

Pieter Boskma - Vit; lied van stad en land





# 4. De toekomst van het Friese grondwatersysteem

Wat er in de toekomst gaat gebeuren weet niemand. Er zijn wel veranderingen die we kunnen zien aankomen (zoals klimaat), maar veel dingen ook niet. Als we willen uitrekenen hoe in de toekomst de situatie gaat veranderen, zullen er aannames moeten worden gedaan over toekomstige ontwikkelingen. Op die manier ontstaat er wel een beeld van waar we naar toe gaan en wat we er aan kunnen doen.

## 4.1 Autonome ontwikkeling

Onder de **autonome ontwikkeling** verstaan we alle verwachte ontwikkelingen bij huidig beleid. Sommige ontwikkelingen zijn nu al in gang gezet, en als we dat weten, kunnen we ze maar beter in de berekeningen meenemen. We hebben ons daarbij onder andere gebaseerd op scenario's voor **klimaatverandering** en **zeespiegelstijging** zoals die ook in veel andere studies worden gebruikt. Ook hebben we een aantal beleidsbeslissingen meegenomen. Als een besluit formeel bestuurlijk is genomen, hebben we in de studie aangenomen dat het ook daadwerkelijk gaat gebeuren. Dit geldt onder meer voor het peilbeleid volgens de **Veenweidevisie** en de reductie van de drinkwaterwinning Terwisscha (zie kaart 11.1). Een aantal van deze besluiten moet echter nog wel worden uitgevoerd.

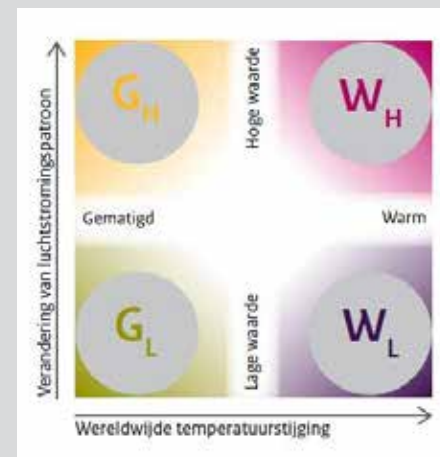
### IJsselmeerpeil

De verhoging van het zomerpeil van het IJsselmeer (van 0,40 naar 0,20 m-NAP) is doorgevoerd in 2018. In de reconstructie van de historische ontwikkelingen (tot 2015) is deze ingreep dus niet meegenomen, maar natuurlijk wel in de autonome ontwikkeling.

### Ontwikkeling verandering in neerslag en verdamping

Het klimaat, de hoeveelheid neerslag maar ook de verdamping veranderen. Hoe het klimaat precies gaat veranderen, weten we nog niet. Om daar inzicht in te krijgen heeft het KNMI in 2014 vier **klimaatscenario's** gepresenteerd. Alle scenario's zijn aannemelijk. Ze geven de bandbreedte aan waarin het klimaat kan veranderen. In de Grondwaterstudie Fryslân hebben we drie van deze vier scenario's doorgerekend. Bij het vierde scenario verwachten we uitkomsten die ergens tussen de andere drie scenario's inliggen.

De klimaatscenario's lopen tot 2085. Als we het model door laten rekenen tot (ver) na 2100 gaan we ervan uit dat de veranderingen in neerslag en verdamping in hetzelfde tempo doorgaan. Bij het doorrekenen van mogelijke maatregelen is in de berekeningen uitgegaan van het Gh-klimaatscenario. Dit is een wat Gematigd scenario onder invloed van hoge drukgebieden (hoge waarden).



Door het KNMI zijn vier **klimaatscenario's** ontwikkeld (GL, Gh, WL en Wh). Daarbij staat **G** voor gematigd en **W** voor warm klimaatscenario. De letter **L** staat voor overheersende lage drukgebieden (lage waarden / nattere zomers) en **H** voor overheersende hoge drukgebieden (hoge waarden / droge zomers; zoals de zomer van 2018). Deze veranderingen in het klimaat gaan invloed hebben op ons grondwatersysteem.



Scenario 2050	GL	GH	WL	WH
Zeespiegelstijging	15 - 30 cm	15 - 30 cm	20 - 40 cm	20 - 40 cm
Neerslag (jaar)	+ 4%	+ 2,5%	+ 5,5%	+ 5%
Toename verdamping	+ 3%	+ 5%	+ 4%	+ 7%
Neerslag zomer	+ 1,2%	- 8%	+ 1,4%	- 13%
Verdamping zomer	+ 4%	+ 7%	+ 4%	+ 11%
Scenario 2085	GL	GH	WL	WH
Zeespiegelstijging	25 - 60 cm	25 - 60 cm	45 - 80 cm	45 - 80 cm
Neerslag (jaar)	+ 5%	+ 5%	+ 7%	+ 7%
Toename verdamping	+ 2,5%	+ 5,5%	+ 6%	+ 10%
Neerslag zomer	+ 1%	- 8%	- 5%	- 23%
Verdamping zomer	+ 3,5%	+ 8,5%	+ 9%	+ 15%

Tabel: verandering ten opzichte van huidige situatie bij verschillende klimaatscenario's.



### Ontwikkeling zeespiegelstijging

Wanneer het op aarde warmer wordt, smelt er poolijs en stijgt de zeespiegel. De laatste eeuw is de zeespiegel gestegen met bijna 2 mm per jaar. De meeste scenario's gaan er van uit dat die stijging de komende jaren versnelt. Bij een warm **klimaatscenario** (Wh) leidt dit tot gemiddeld 62 cm stijging in 2085 en bij het Gh-scenario gemiddeld tot 42 cm stijging.

Als we doorrekenen tot (ver) na 2100, nemen we aan dat de zeespiegel in het zelfde tempo door blijft stijgen. Dat betekent dat de zeespiegel in de verre toekomst nog meters hoger komt te staan dan nu. Er is gecontroleerd of er voldoende water (ijs) op de wereld is om de zeespiegel meters te laten stijgen. Dat is inderdaad het geval.



Indien al het ijs op de poolkappen zou wegsmelten stijgt de zeespiegel ruim 65 meter...  
(<https://hetweermagazine.nl/artikelen/67-meter-zeespiegelstijging>)



### Ontwikkeling toekomstige drinkwatervoorziening

Vitens verwacht voor de toekomst dat na een korte periode van lichte stijging, de drinkwatervraag zal stabiliseren en vervolgens (als gevolg van krimp van de bevolking) licht zal dalen. In de berekeningen is aangenomen dat de vraag naar drinkwater stabiel blijft.

Verder is in de berekeningen de bestuurlijke afspraak verwerkt dat de winning in Terwisscha ergens tussen 2021 en 2026 gereduceerd wordt van 7,5 naar 3,25 miljoen m<sup>3</sup>/jaar.

### Ontwikkeling bodemdaling

De bodem daalt omdat het veen wordt afgebroken. Daarbij is de toekomstige daling van de veenbodem berekend aan de hand van een model dat is ontwikkeld door Wageningen Environmental Research (WUR). Bij het opstellen van de **Veenweidevisie** is destijds ook gebruik gemaakt van dit rekenmodel.

**Bodemdaling** als gevolg van gas- en zoutwinning wordt eveneens meegenomen in de **autonome ontwikkeling**, maar zal naar verwachting na enkele decennia niet meer optreden als deze activiteiten niet meer op het vasteland in Fryslân plaatsvinden.

### Ontwikkeling slootpeilen

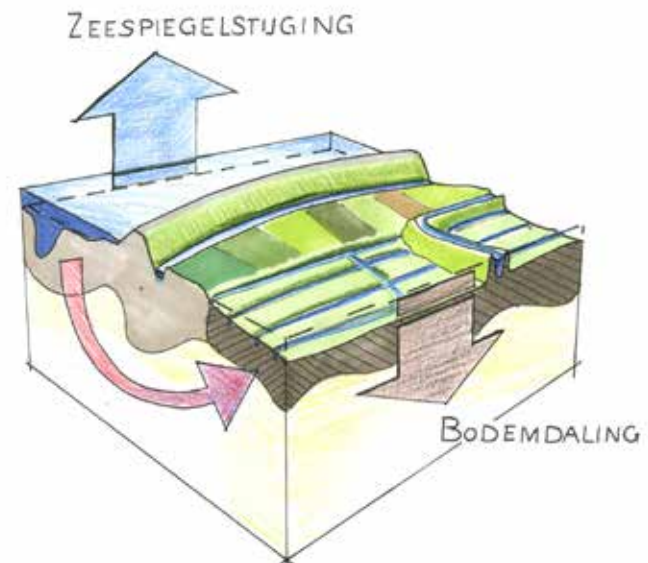
De peilen van het oppervlaktewater veranderen alleen in de veengebieden. Conform de **Veenweidevisie** (2015) volgen de polderpeilen de daling van het veen. Daarbij wordt een bepaalde maximale drooglegging aangehouden, afhankelijk van het bodemtype en veendikte (uitvoering **Generiek Peilbeleid** Veenweidevisie). Zie ook hoofdstuk 6 Veenweidegebied.

## 4.2 Resultaten berekeningen

In eerste instantie is de **autonome ontwikkeling** van het Friese grondwatersysteem berekend tot het jaar 2085. Er is onderzocht hoe de situatie ten opzichte van 2015 gaat veranderen bij drie verschillende klimaatscenario's. Er is hiervoor een aantal onderdelen onder de loep genomen, die in deze paragraaf worden toegelicht.

### Verandering van gemiddelde grondwaterstanden

Met het ontwikkelde grondwatermodel voor deze studie is uitgerekend hoe de grondwaterstanden in de toekomst gaan veranderen. Dat is berekend door te kijken naar veranderingen op twee momenten; de gemiddeld hoge grondwaterstanden (einde van de winter / GHG) en de gemiddeld lage grondwaterstanden (einde van de zomer / GLG). Zie ook paragraaf 2.1 uitleg GHG/GLG.



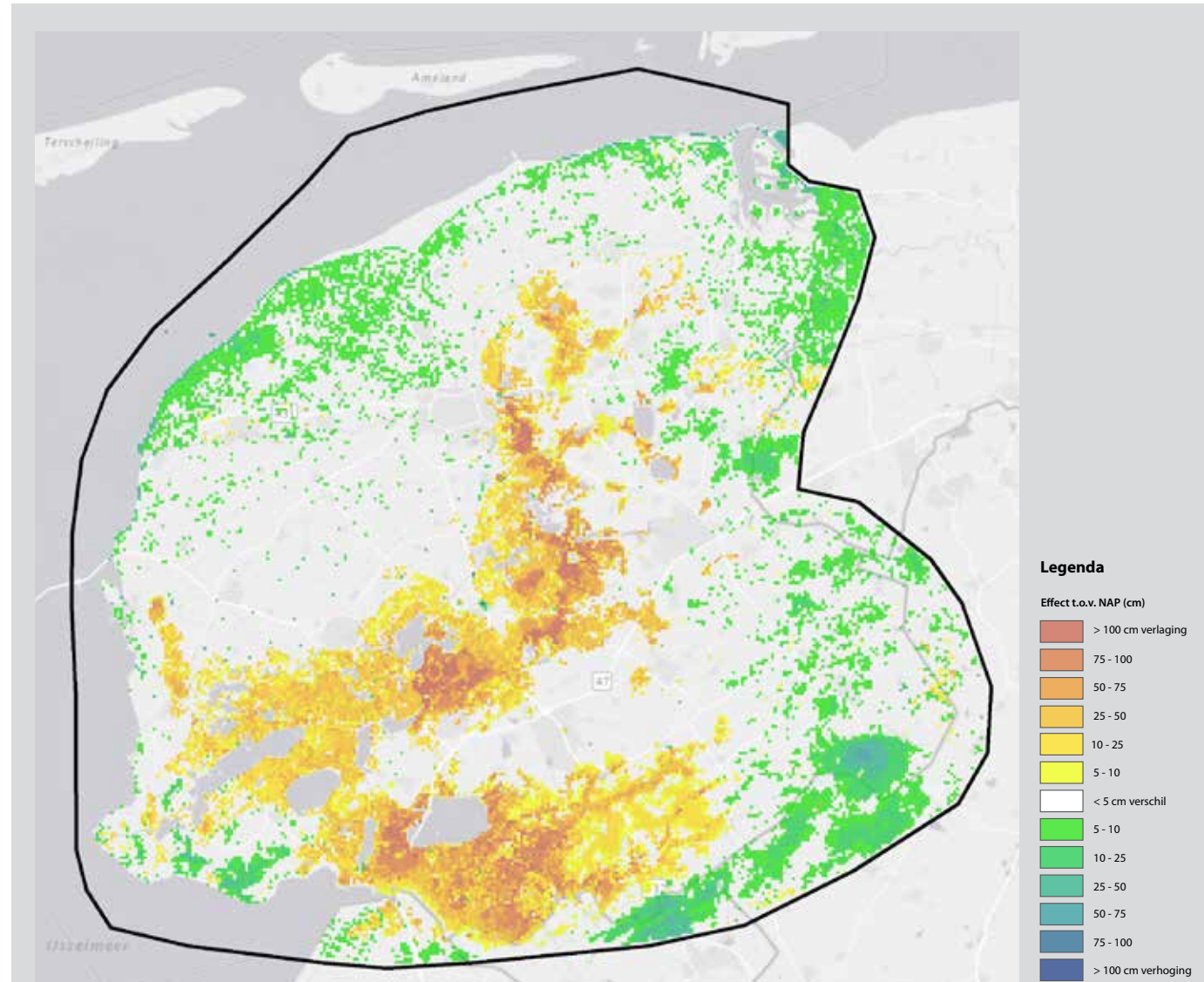
## Onderdeel Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG)

In alle vier klimaatscenario's valt er jaargemiddeld meer neerslag, wat deels gecompenseerd wordt door een hogere verdamping.

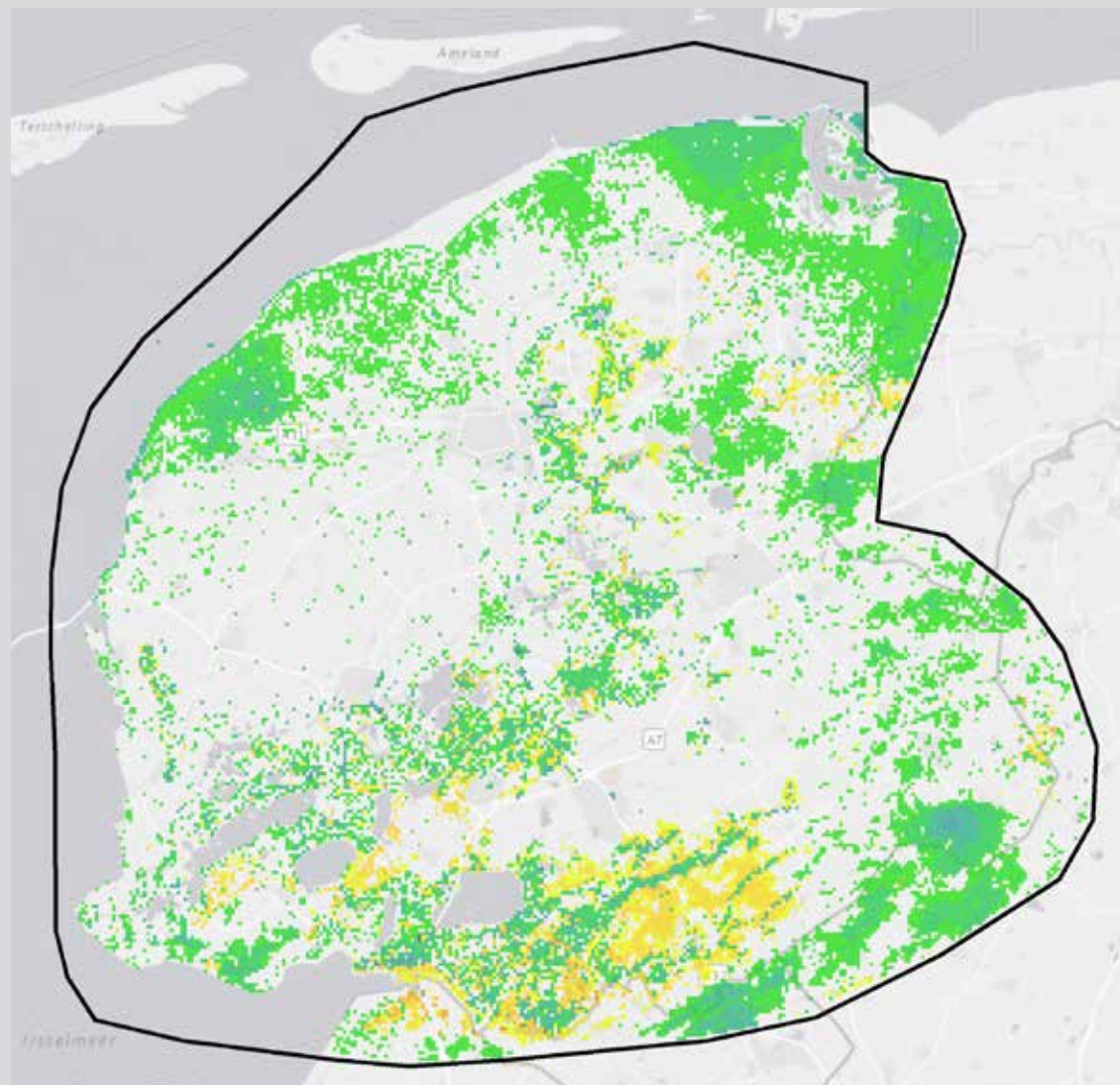
Bij het Gh en Wh-scenario valt er zomers echter (veel) minder regen. Als we naar de toekomst kijken volgens het klimaatscenario Gh (gematigde klimaatverandering met drogere zomers), dan zien we veranderingen in de gemiddeld hoge grondwaterstanden (GHG) tussen 2015 en 2085 (zie kaart 4.1).

Ten opzichte van NAP daalt in de veengebieden de GHG in sommige delen met meer dan een meter, ondanks de hogere neerslag. Deze daling van het grondwater wordt vooral veroorzaakt door de maaiveld daling als gevolg van veenafbraak. Conform de provinciale Veenweidevisie volgen de polderpeilen de daling van de veenbodem. Daarbij wordt voor het veenweidegebied een maximale drooglegging van 90 centimeter gehanteerd.

In het noorden (kleigebied) en het zuidoosten (**zandgebied**) van Fryslân wordt een lichte stijging van de grondwaterstand berekend. Dit komt door de toename van neerslag in de herfst/winter. Verder is in het uiterste zuidoosten op de kaart een groene vlek te zien. Dit is de grondwaterstijging die het gevolg is van het reduceren van de drinkwaterwinning Terwisscha. In de rest van Fryslân verandert de GHG amper of stijgt licht.



KAART 4.1 Verandering van de GHG (einde winter) ten opzichte van NAP als gevolg van de autonome ontwikkeling bij het Gh-scenario in 2085.



KAART 4.2 Verandering van de GHG (einde winter) ten opzichte van maaiveld als gevolg van de autonome ontwikkeling bij het Gh-scenario in 2085.

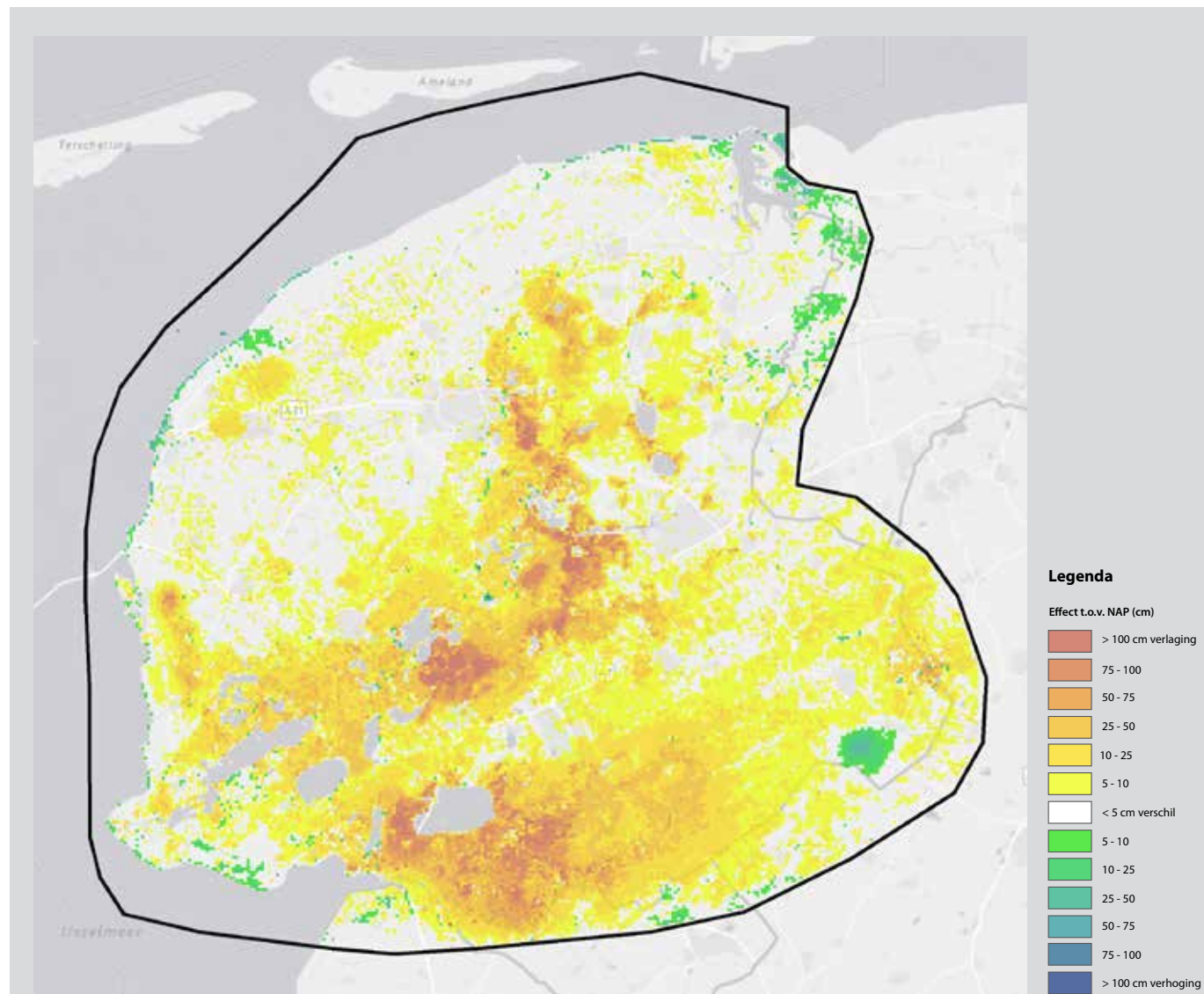
De grondwaterstanden kunnen ten opzichte van NAP dus behoorlijk dalen, maar als we de toekomstige grondwaterstand vergelijken met de toekomstige (gedaalde) bodemhoogte in 2085 is de verandering minder ingrijpend. Daarom is in kaart 4.2 de verandering van de grondwaterstand vergeleken met de berekende maaiveldhoogte in 2085.

In het veenweidegebied wordt het zelfs natter dan in de huidige situatie. Wat opvalt is dat ook de beekdalen, vooral De Tsjonger, natter worden. Dit komt doordat het veen in deze gebieden in de toekomst door de afbraak van veen gaat verdwijnen. Hierdoor stroomt er vanuit de omliggende hogere zandgronden meer grondwater naar de beekdalen. De zandgebieden worden daardoor juist droger, ondanks de grotere neerslag die in de herfst/winter valt.

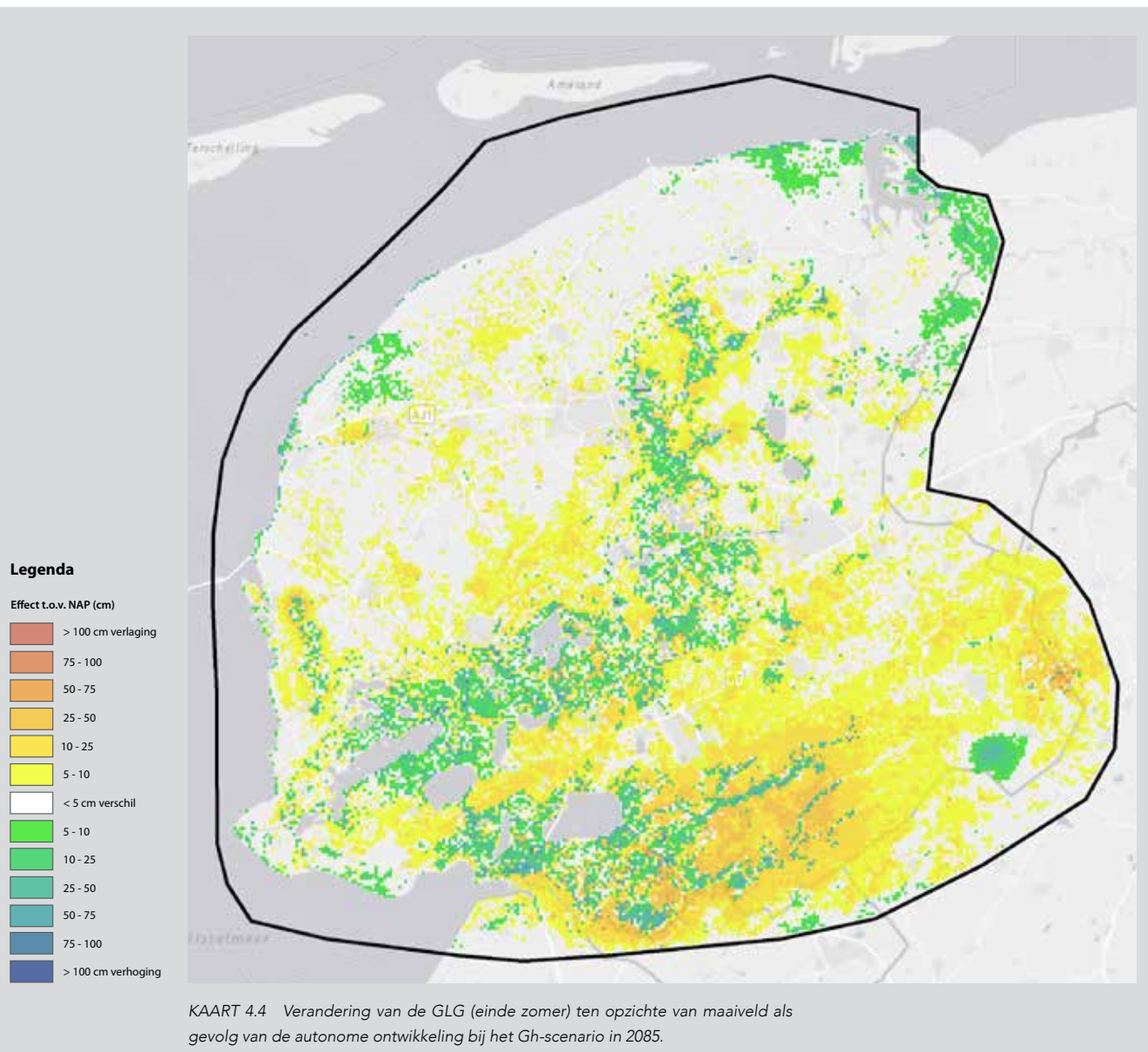
### Gemiddeld Laagste Grondwaterstand

Kijken we naar de Gemiddeld Laagste Grondwaterstanden (na de zomer / GLG) met als kader weer het klimaatscenario Gh, dan zien we dat er in bijna heel Fryslân sprake is van een daling van de grondwaterstand (zie kaart 4.3).

In veel gevallen gaat het om een daling van 5 tot 25 cm. De grotere dalingen (van 50 cm tot ruim 100 cm) zijn het gevolg van de daling in het Friese veenweidegebied. De groene rand (stijging GLG) langs de Waddenzee wordt veroorzaakt door de zeespiegelstijging. In Gaasterland ligt eveneens een smalle groene strook als gevolg van de verhoging van het IJsselmeer-zomerpeil. Verder is er alleen nog een stijging van de grondwaterstand te zien rond Terwisscha als gevolg van de beperking van de drinkwateronttrekking.



KAART 4.3. Verandering van de GLG (einde zomer) ten opzichte van NAP als gevolg van de autonome ontwikkeling bij het Gh-scenario in 2085.



Ook voor deze resultaten geldt dat wanneer de bodemdaling wordt meegerekend (dus toekomstige maaiveldhoogte als uitgangspunt), de daling van de grondwaterstand relatief minder is (zie kaart 4.4).

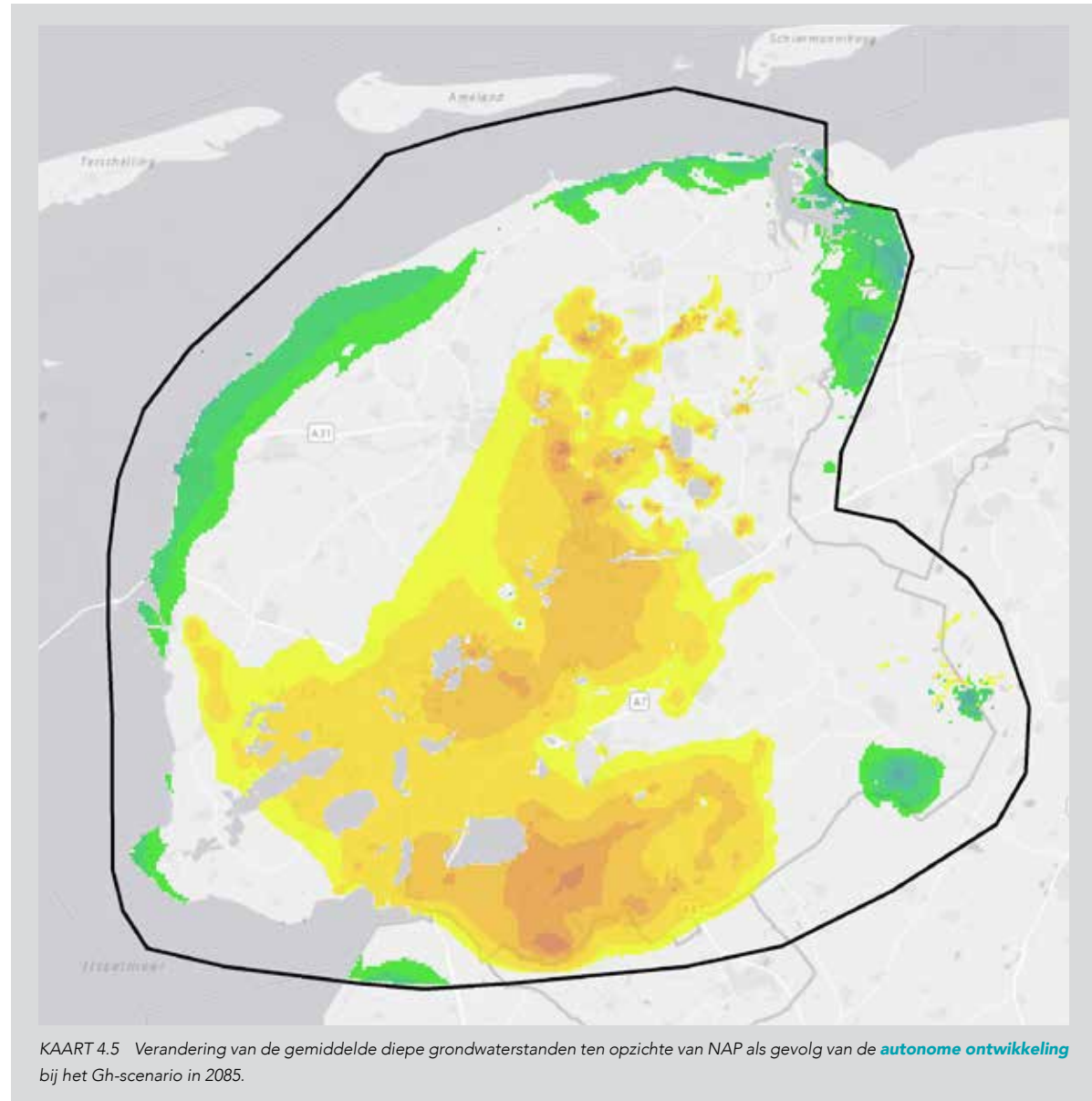
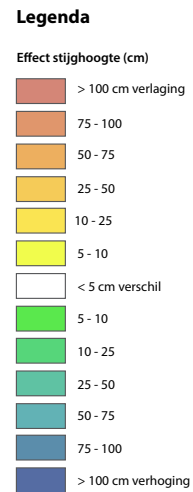
De gele vlekken in de veengebieden zijn vrijwel verdwenen. Sterker nog: de veengebieden kleuren licht groen (stijging GLG). Ten opzichte van de nieuwe maaiveldhoogte in 2085 stijgt dus de GLG. Dit komt mede doordat er in de toekomst meer grondwater (kwe) naar de veengebieden stroomt. Dit veroorzaakt echter wel een daling van de GLG op de hoger gelegen zandgronden.

In het noorden zien we donkere kleuren rond Franeker en rond het Lauwersmeer. Dit is het gevolg van bodemdaling door gas- en zoutwinning die niet gecorrigeerd wordt met peilverlagingen.

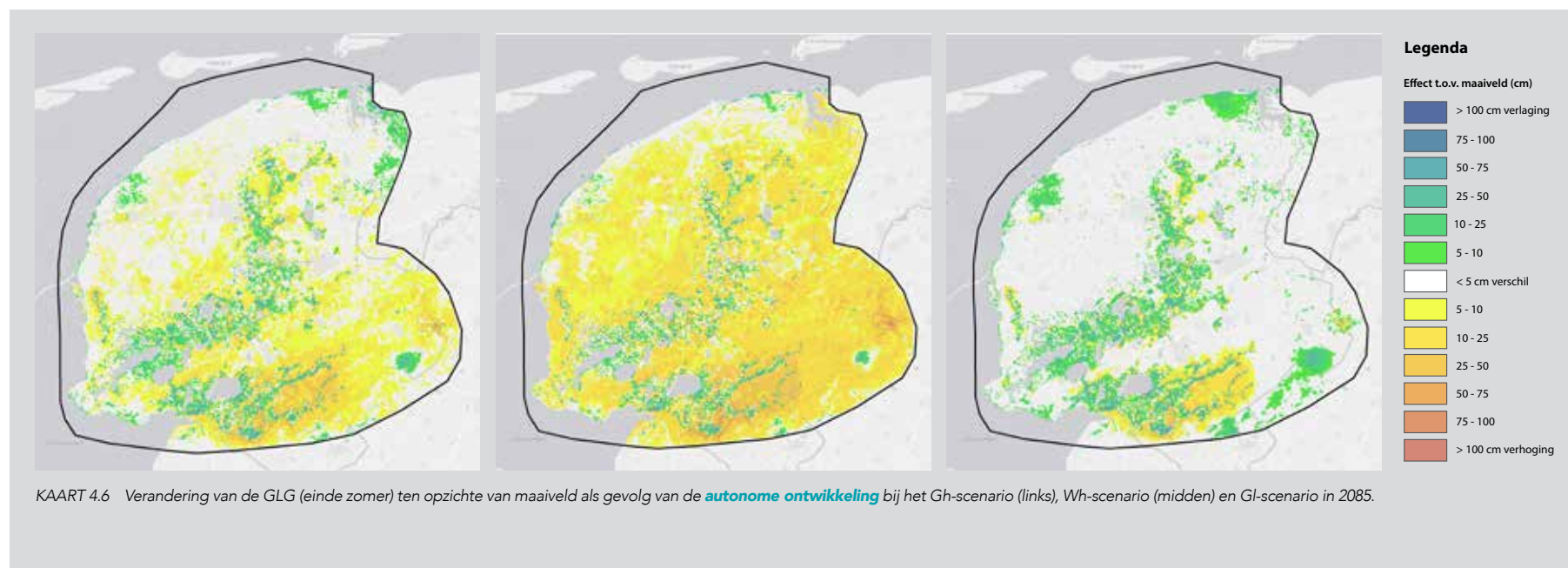
Ook zien we de beekdalen van De Lende en De Tsjonger groen kleuren en het gebied er tussenin oranje. In de beekdalen verdwijnt het veen, achtereenvolgens worden de polderpeilen naar beneden aangepast. Deze peilverlaging trekt het grondwater uit de omgeving aan, waardoor de zandgronden tussen De Lende en De Tsjonger juist droger worden.

### Onderdeel veranderingen diepe grondwaterstand (stijghoogte)

De veranderende grondwaterstanden werken ook door op het diepere grondwater (zie kaart 4.5). De stijging van de zeespiegel heeft invloed op ongeveer 100 meter diepte tot enkele kilometers landinwaarts. Verder is de stijging van het diepe grondwater rond drinkwaterwinning Terwisscha zichtbaar. Onder de veengebieden daalt dit diepe grondwater tot een meter. Deze lagere **stijghoogte** onder het veengebied trekt grondwater aan vanuit de omgeving.







### Andere klimaatscenario's

Naast het **Gh**-klimaatscenario zijn er twee andere klimaatscenario's voor de **autonome ontwikkeling** doorgerekend. Deze andere klimaatscenario's geven met name voor de lage grondwaterstanden in 2085 toch wel een ander beeld (zie kaarten). Let wel, bij deze scenario's is de bodemdaling door veenafbraak en gas- en zoutwinningen al meegerekend! Op de kaarten zien we dus de GLG ten opzichte van de toekomstige (gedaalde) maaiveldhoogte in 2085.

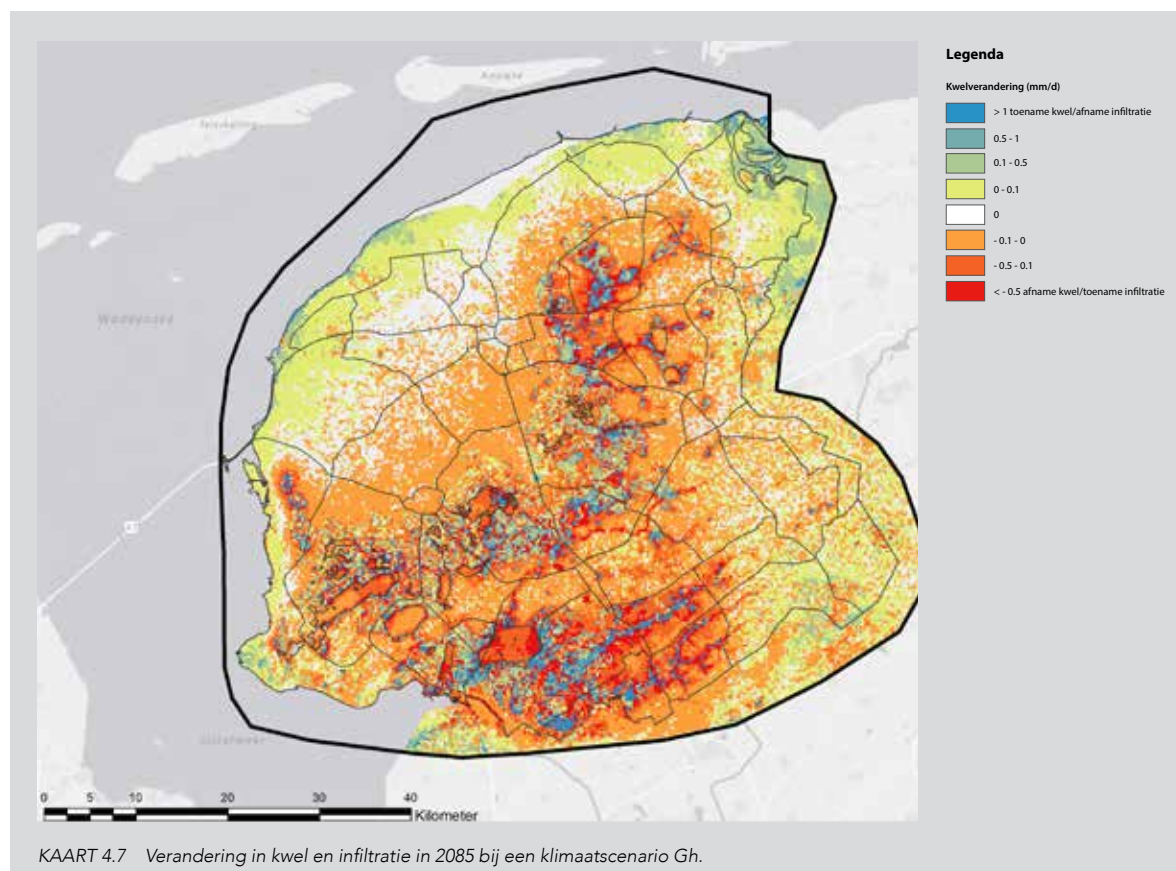
Bij het **Wh**-scenario (elk jaar een nog drogere zomer dan in 2018) wordt heel Fryslân wel erg droog. Bij het **Gl**-scenario zien we vooral in de veengebieden een iets hogere zomergrondwaterstand. Dat wordt veroorzaakt doordat de bodem daalt en de kwel toeneemt. In alle drie scenario's wordt het gebied tussen De Tsjonger en De Lende droger.

## Onderdeel grondwaterbalans

Als gevolg van de autonome ontwikkeling veranderen niet alleen de grondwaterstanden. Ook op de grondwaterbalans verschuift een aantal posten. De hoofdlijnen blijven overeind, maar er zijn enkele verschuivingen. De belangrijkste verschuivingen bij een Gh-klimaatsscenario zijn:

- De hoeveelheid instromend grondwater vanuit het IJsselmeer neemt netto toe van 10 naar 13 miljoen m<sup>3</sup>/jaar. Het gaat deels om zoet, deels om brak en/of zout grondwater. De oorzaak hiervan is deels de zomerpeilverhoging van het IJsselmeer en deels de **peilverlagingen** (als gevolg van maaiveld daling) in de veengebieden;
- De hoeveelheid instromend zout grondwater vanuit de Waddenzee neemt netto toe van 47 naar 53 miljoen m<sup>3</sup>/jaar. Voornaamste oorzaak hiervan is de stijging van de zeespiegel. Het instromend grondwater moet in hoofdzaak door de sloten vlak achter de dijk worden opgevangen en afgevoerd. Een deel van het grondwater stroomt echter verder landinwaarts;
- De hoeveelheid toestromend grondwater naar de veengebieden neemt toe van 72 naar 105 miljoen m<sup>3</sup>/jaar. Dat is een toename van 46%. Het extra toegestroomde grondwater zal voor een groot deel door de gemalen van Wetterskip Fryslân naar de boezem verpompt moeten worden.

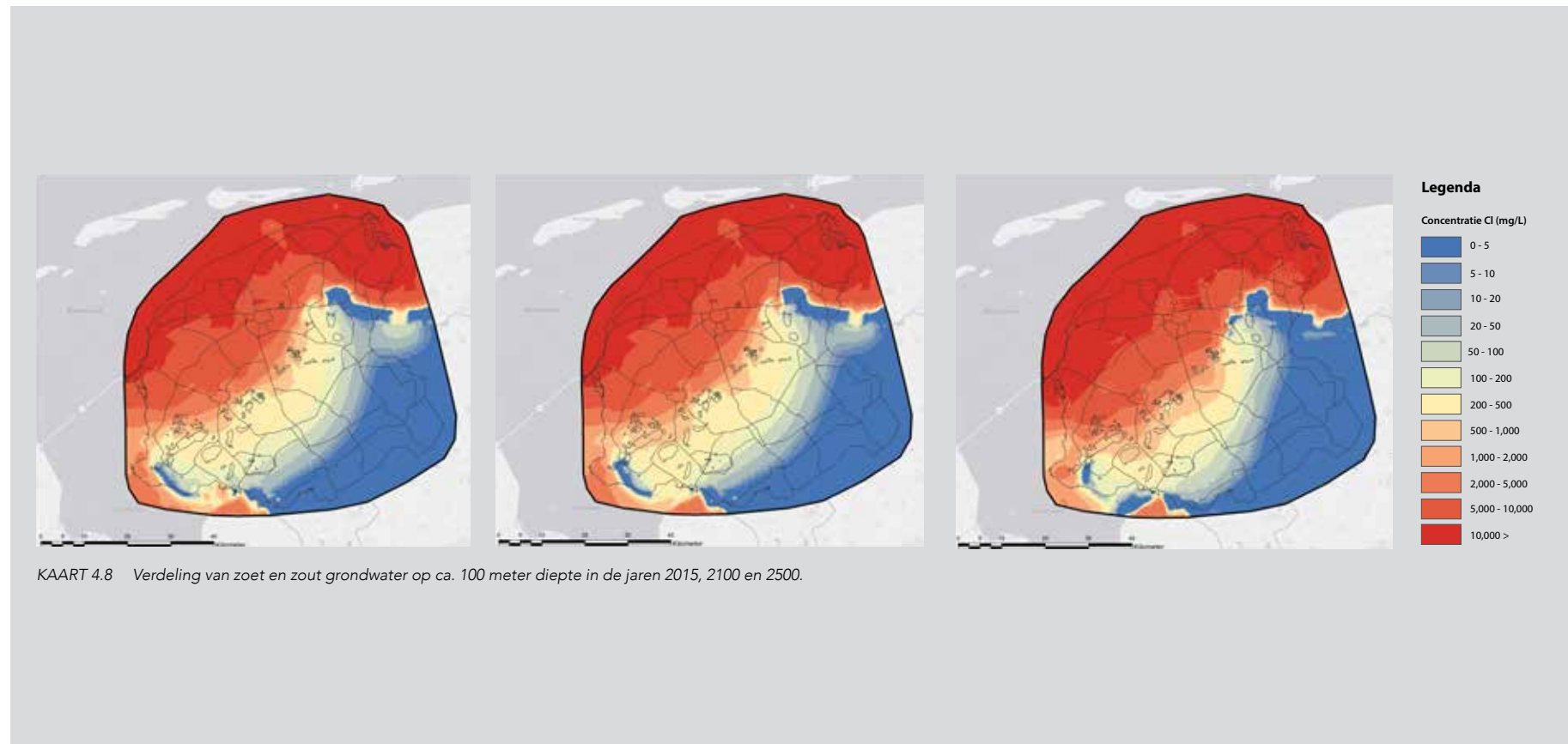
Bij het Wh-klimaatsscenario is de toename vanuit het IJsselmeer gelijk aan het Gh-scenario omdat de oorzaken erachter ook gelijk zijn. De instroom vanuit de Waddenzee neemt bij het Wh-scenario toe tot 57 miljoen m<sup>3</sup>/jaar. Deze toename wordt veroorzaakt doordat de zeespiegel in dit klimaatsscenario harder stijgt dan in het Gematigde klimaatsscenario (Gh). De toestrooming naar de veengebieden neemt ook iets verder toe: 109 miljoen m<sup>3</sup>/jaar.



## Onderdeel kwel en infiltratie

De veranderingen van de grondwaterbalans hebben ook gevolgen voor de berekende hoeveelheden kwel en infiltratie. Eerder is beschreven dat de toestroom van grondwater naar het Friese veenweidegebied in de toekomst toeneemt. Dat is terug te zien op de kaart met verandering in kwel en infiltratie (kaart 4.7). De lichte blauwe en donkerblauwe kleur op de kaart geeft aan dat de **kwel** toeneemt. Dit zijn de

veengebieden en de beekdal. De oranje en rode kleuren indiceren dat de **infiltratie** toeneemt. Dit zijn vooral de zandgebieden direct langs het veengebied en langs de beekdal. Maar we zien ook dat bij verschillende Friese meren er in de toekomst meer water gaat infiltreren. Voorbeelden hiervan zijn de Fluessen, Hegemer Mar, Snitser Mar en Tsjûkemar. Om het peil van de Friese boezem te



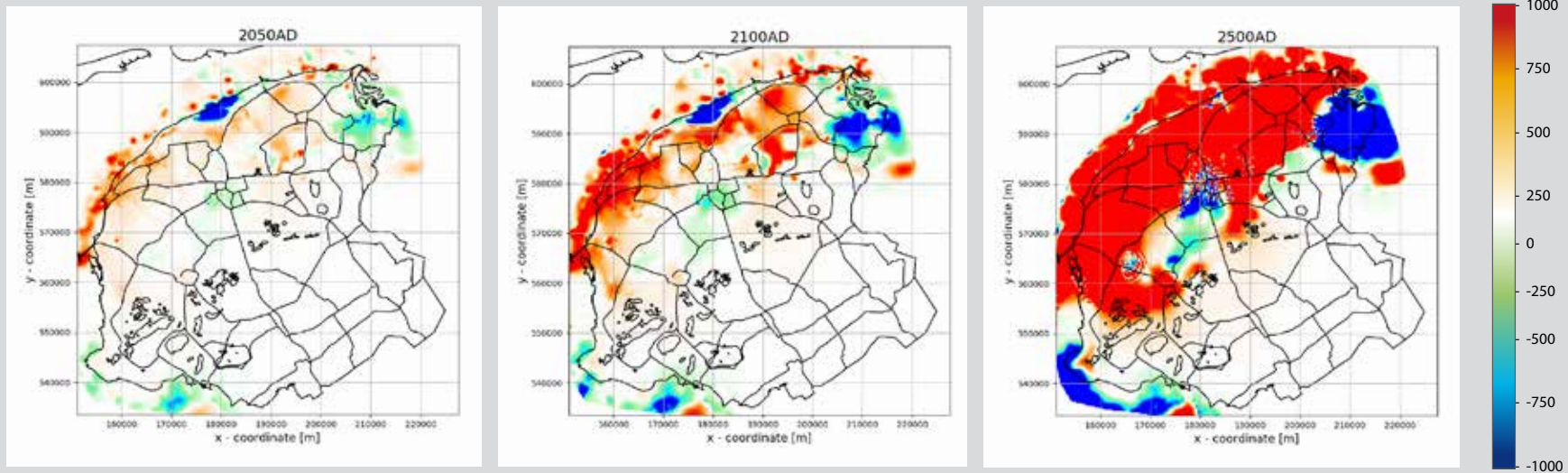
handhaven dient in perioden van droogte dus meer water ingelaten te worden vanuit het IJsselmeer. De vraag naar zoet oppervlaktewater wordt dus groter door de toename van toestroom van grondwater naar het Friese Veenweidegebied.

### Onderdeel verzilting

In bovenstaande kaarten zijn de resultaten van de berekeningen te zien voor de zout-zoet verhouding in het diepe grondwater voor het Gh-klimaatscenario. Rood is zout grondwater en blauw is zoet grondwater. Tot aan 2100 verandert er niet heel veel. Toch gaat de verzilting van het Friese grondwater door.

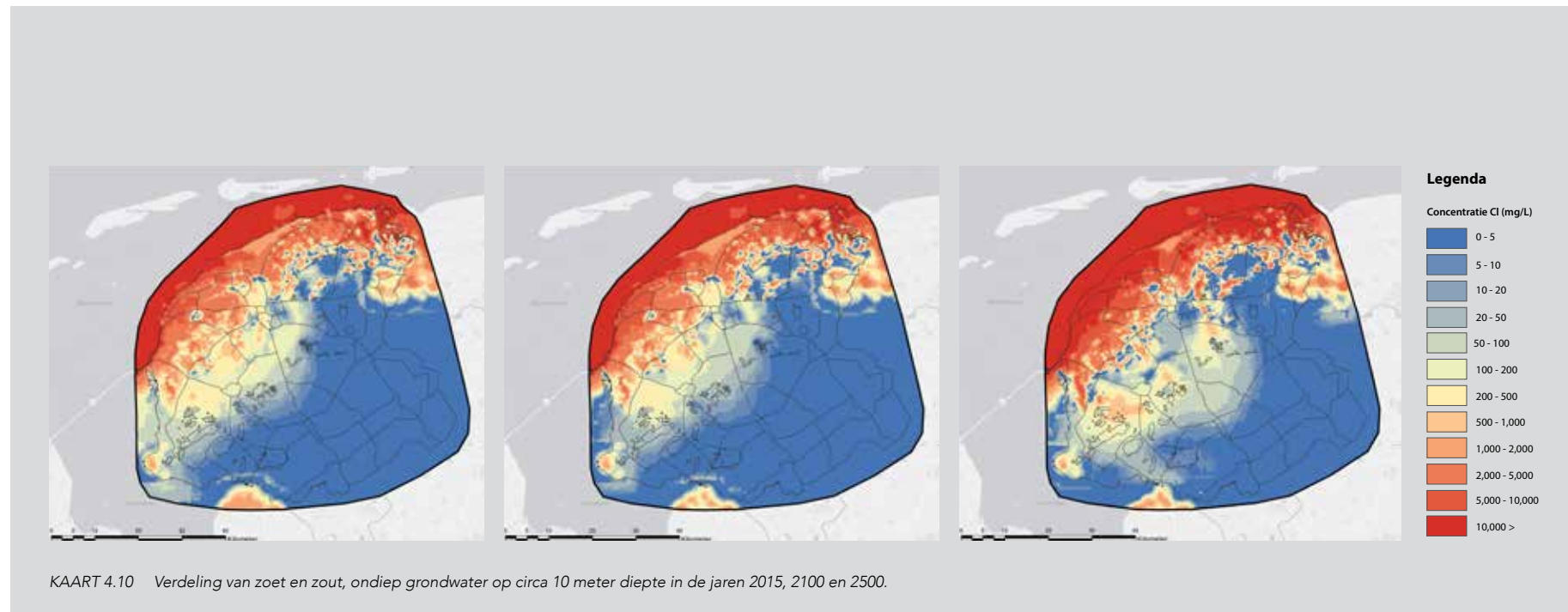
Traag maar gestaag dringt het zoute grondwater het binnenland in. Op de hele lange termijn (het jaar 2500) krijgen ook gebieden ten zuidoosten van Leeuwarden en ten zuiden van Sneek met zout grondwater te maken.

Vershil in Cl concentratie [mg/l]



KAART 4.9 Verandering van de chlorideconcentratie in het diepe grondwater na 2015 op ca. 100 meter diepte in de jaren 2050, 2100 en 2500.

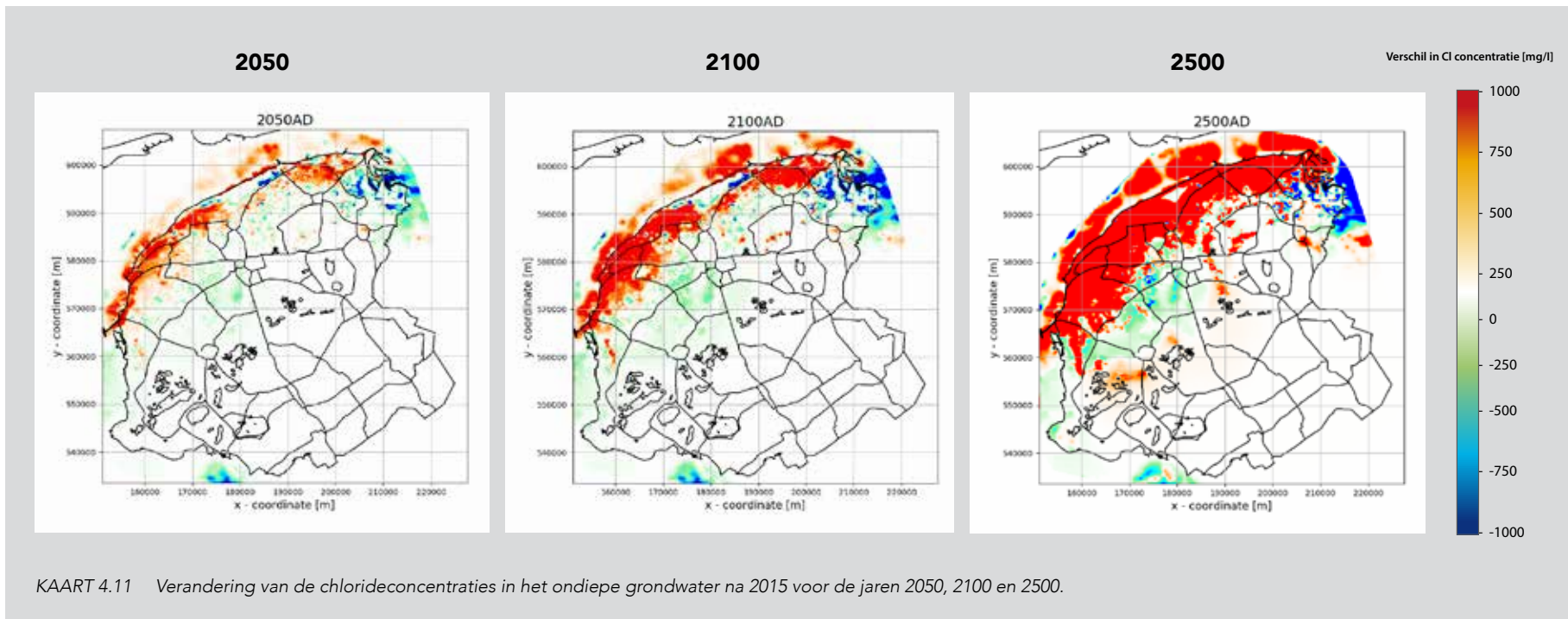
De situaties lijken behoorlijk identiek. Daarom is in bovenstaande kaarten de toename van de chlorideconcentratie (zout) ten opzichte van 2015 weergegeven. Duidelijk is te zien dat vanaf het referentiejaar 2015 de chlorideconcentraties in het grondwater toenemen met meer dan 1.000 milligram chloride per liter.



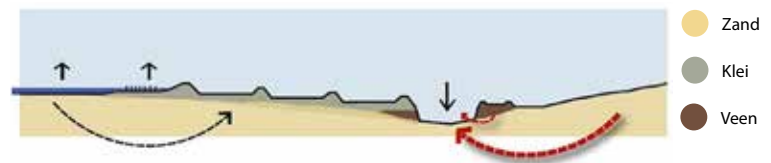
Dat het diepere grondwater zouter wordt, is voor de meeste mensen geen direct probleem. Enkele drinkwaterwinningen van Vitens krijgen op den duur wél te maken met verhoogde chlorideconcentraties door de toenemende verzilting. Het diepere grondwater zorgt uiteindelijk voor een verdere verzilting van het ondiepe grondwater. De verzilting komt dus van onder af. Dat vormt een probleem voor de landbouw doordat het grondwater te zout wordt voor de gewassen.

*Er is geen einde en geen begin,  
Aan deze tocht, geen toekomst, geen verleden  
Alleen dit wonderlijke gespleten heden*

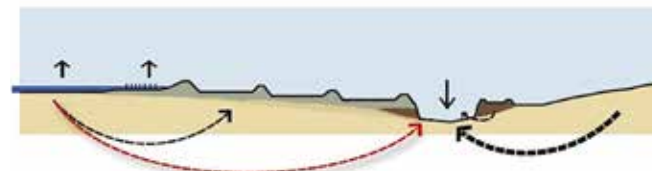
*M. Vasalis - Uit: Afsluitdijk*



Op kaart 4.11 is te zien dat vanaf het referentiejaar 2015 de chlorideconcentraties ook in het ondiepe grondwater toenemen met meer dan 1.000 milligram per liter.



Aanzuigende werking zoet grondwater door steeds diepere veenpolders; natuurkernen en beekdalen verdrogen.

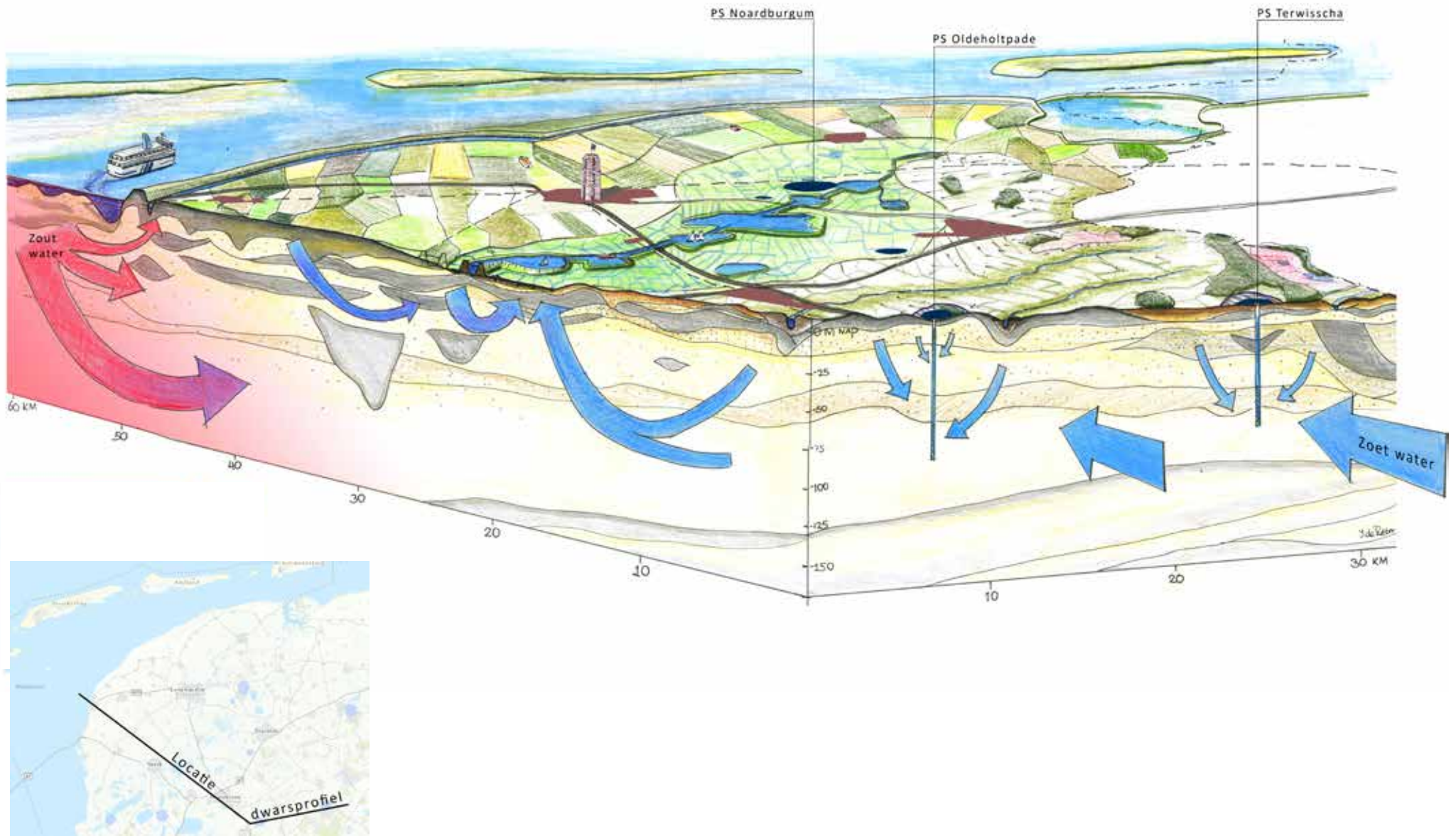


Verzilt diepe veenpolders door aanzuigende werking brak grondwater.



*De Lende*

# Grondwatersituatie provincie Fryslân





# Thema's

In de vorige hoofdstukken is een toelichting gegeven op de geschiedenis, de huidige toestand en de toekomst van het Friese grondwatersysteem. In de volgende hoofdstukken wordt dit per deelgebied beschreven. Ook worden hier de rekenresultaten van mogelijke maatregelen en ontwikkelingen toegelicht. Waar deze deelgebieden zich bevinden is afgebeeld op de laatste pagina van de Grondwateratlas.

## 5. Zandgebied

- 5.1 Huidige situatie
- 5.2 Toekomstige ontwikkelingen
- 5.3 Doorgerekende maatregelen
- 5.4 Kanskaart

58

## 6. Veenweidegebied

- 6.1 Geschiedenis
- 6.2 Huidige situatie
- 6.3 Toekomstige ontwikkelingen
- 6.4 Doorgerekende maatregelen
- 6.5 Kanskaart

64

## 7. Noordelijk Zeekleigebied

- 7.1 Geschiedenis
- 7.2 Huidige situatie
- 7.3 Toekomstige ontwikkelingen
- 7.4 Doorgerekende maatregelen
- 7.5 Kanskaart

72

## 8. Friese boezem

- 8.1 Geschiedenis
- 8.2 Huidige situatie
- 8.3 Autonome ontwikkeling
- 8.4 Uitgevoerde modelberekeningen

82

## 9. IJsselmeer en Lauwersmeer

- 9.1 Huidige situatie
- 9.2 Toekomstige ontwikkelingen
- 9.3 Doorgerekende maatregelen

88

## 10. Waddeneilanden

- 10.1 Geschiedenis
- 10.2 Huidige situatie
- 10.3 Toekomstige ontwikkelingen

92

## 11. Grondwaterwinnings voor drinkwatervoorziening

- 11.1 Geschiedenis
- 11.2 Huidige situatie
- 11.3 Toekomstige ontwikkelingen
- 11.4 Uitgevoerde modelberekening
- 11.5 Kanskaart toekomstige duurzame drinkwaterwinnings

96



# 5. Zandgebied

Het zandgebied is qua ontstaansgeschiedenis het oudste gebied in Fryslân. Dit deelgebied bestaat uit zand- en (kei)leemlagen die in de laatste ijstijd (meer dan 10.000 jaar geleden) en één na laatste ijstijd (circa 200.000 jaar geleden) zijn afgezet door wind en ijs (zie ook hoofdstuk 3 paragraaf 3.1).

## 5.1 Huidige situatie

Het **zandgebied** heeft een oppervlakte van circa 80.000 hectare en ligt boven **NAP**.

De hoogste delen liggen in de omgeving van Appelscha met een hoogte van circa tien meter boven NAP. Een belangrijk deel van dit gebied bestaat uit het zogenaamde coulissenlandschap met houtwallen, singels, bosschages en zandwegen. Naast landbouwgronden komen in het zandgebied van Fryslân ook heide, bossen en venen voor.

De berekeningen met het grondwatermodel geven aan dat het zandgebied vooral kan worden gekenmerkt als infiltratiegebied. Een uitzondering hierop vormen de beekdalen, hier is sprake van kwel.

### Beekdalen

In Fryslân liggen verschillende beekdalen. Drie belangrijke beekdalen in Fryslân zijn (van zuid naar noord) De Lende, De Tsjonger en Alddijp. De stroomrichting van alle drie beken is globaal van oost naar west. De beekdalen vormen een bijzonder element binnen het zandgebied van Fryslân. Op de kaart in paragraaf 2.2 is te zien dat er in de beekdalen sprake is van kwel. Door de aanwezigheid van deze kwel hebben zich op een aantal plekken bijzondere, grondwaterafhankelijke vegetaties ontwikkeld. Hier komen zeldzame plantensoorten voor als klokjesgentiaan, spaanse ruiter, echte koekoeksbloem, dotterbloem en verschillende soorten orchideeën.



Gevlekte Orchidee



Dotterbloem



Koekoeksbloem

Jaarlijks infiltreert er netto ruim 50 miljoen m<sup>3</sup> grondwater naar de diepere ondergrond. Dit grondwater stroomt vervolgens grotendeels richting het lager gelegen Friese veenweidegebied. Op verschillende plaatsen in het zandgebied is op geringe diepte een slecht doorlatende **keileemlaag** aanwezig. Vooral gebieden met (ondiepe) keileem kunnen in de herfst/winter behoorlijk nat zijn. Maar in de zomer zakt nagenoeg overal in het zandgebied de grondwaterstand vaak diep weg.

## 5.2 Toekomstige ontwikkelingen

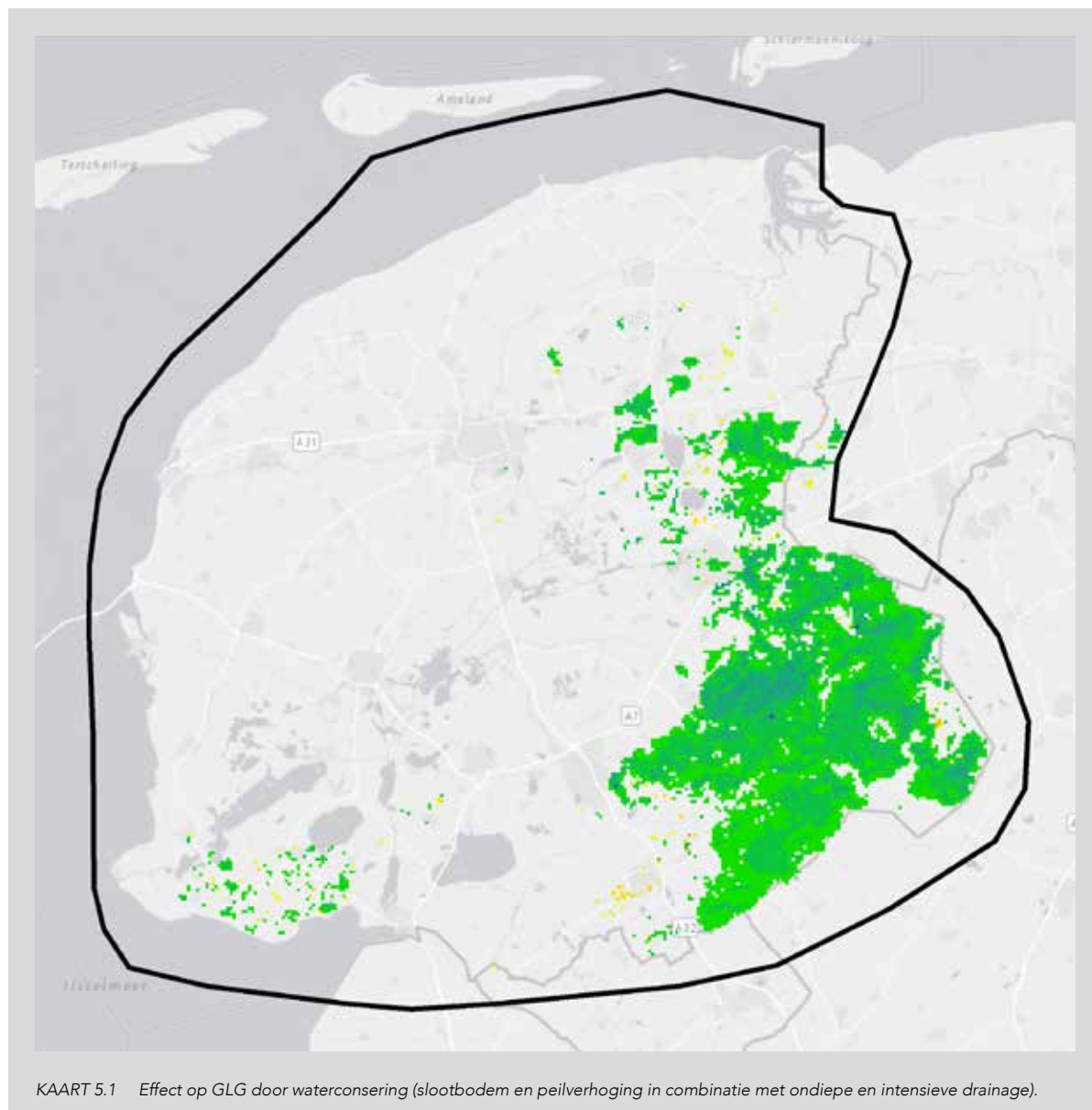
Volgens de KNMI-klimaatscenario's worden de winters in de toekomst natter en de zomers droger. Dat vertaalt zich evenredig naar de toekomstige grondwaterstanden. In de herfst/winter zal het grondwater hoger komen dan in de huidige situatie, terwijl volgens berekeningen de gemiddelde laagste grondwaterstand (GLG) in de toekomst dieper uitzakt dan nu. De bandbreedte van grondwaterstanden wordt dus groter. Zie ook de kaarten 4.1 tot en met 4.4.

Op kaart 4.3 is in het zuidoosten een groene vlek te zien. Hier wordt de grondwaterstand permanent hoger dan op dit moment het geval is. Dit is het gevolg van de halvering van de drinkwaterwinning Terwisscha (zie kaart 11.1). Verder is op kaart 4.4 te zien dat de grondwaterstand op de hogere zandgronden langs De Tsjonger permanent lager komt te liggen dan in de huidige situatie. Door veenafbraak en inklinking daalt het maaiveld in het dal van De Tsjonger. Om voldoende drooglegging voor de landbouw te behouden dienen de polderpeilen in het dal evenredig mee te dalen. Het gevolg hiervan is een lagere grondwaterstand in het beekdal. Die verlagingen stralen uit naar de grondwaterstanden in de naastgelegen hogere zandgronden (de flanken van het Tsjongerdal).

*Mei niget eagje ik it lânskip oer:  
Dit is it gea fan fearten, puollen en reiden  
Fan bûnt strewelleguod en wâldste greiden;  
Hjir is gjin nee te keap*

*Gemeente Tytsjerksteradiel*





### 5.3 Doorgerekende maatregelen

Gelet op eerder geschetste ontwikkelingen wordt het zandgebied van Fryslân in de toekomst dus gevoeliger voor droogte dan nu. Daarom zijn scenario's doorgerekend om meer water in dit deelgebied van Fryslân vast te houden, Bijvoorbeeld door middel van verhoging van slootbodems en/of peilverhogingen. De berekeningen tonen aan dat effectieve maatregelen zijn om de grondwaterstand in de zomer te verhogen.

Om nattere situaties in de herfst/winter het hoofd te bieden kan ondiepe **drainage** met een kleinere onderlinge drainafstand uitkomst bieden. De berekeningen tonen aan dat een combinatie van slootbodemverhoging en/of peilverhogingen met de aanleg van peilgestuurde drainage of ondiepe drainage effectief is. Deze maatregelen versterken elkaar. Zie kaart 5.1.

#### Legenda

Effect t.o.v. NAP (cm)	
[Dark Red]	> 100 cm verlaging
[Red]	75 - 100
[Orange]	50 - 75
[Light Orange]	25 - 50
[Yellow]	10 - 25
[Light Yellow]	5 - 10
[White]	< 5 cm verschil
[Light Green]	5 - 10
[Green]	10 - 25
[Teal]	25 - 50
[Blue-Teal]	50 - 75
[Blue]	75 - 100
[Dark Blue]	> 100 cm verhoging

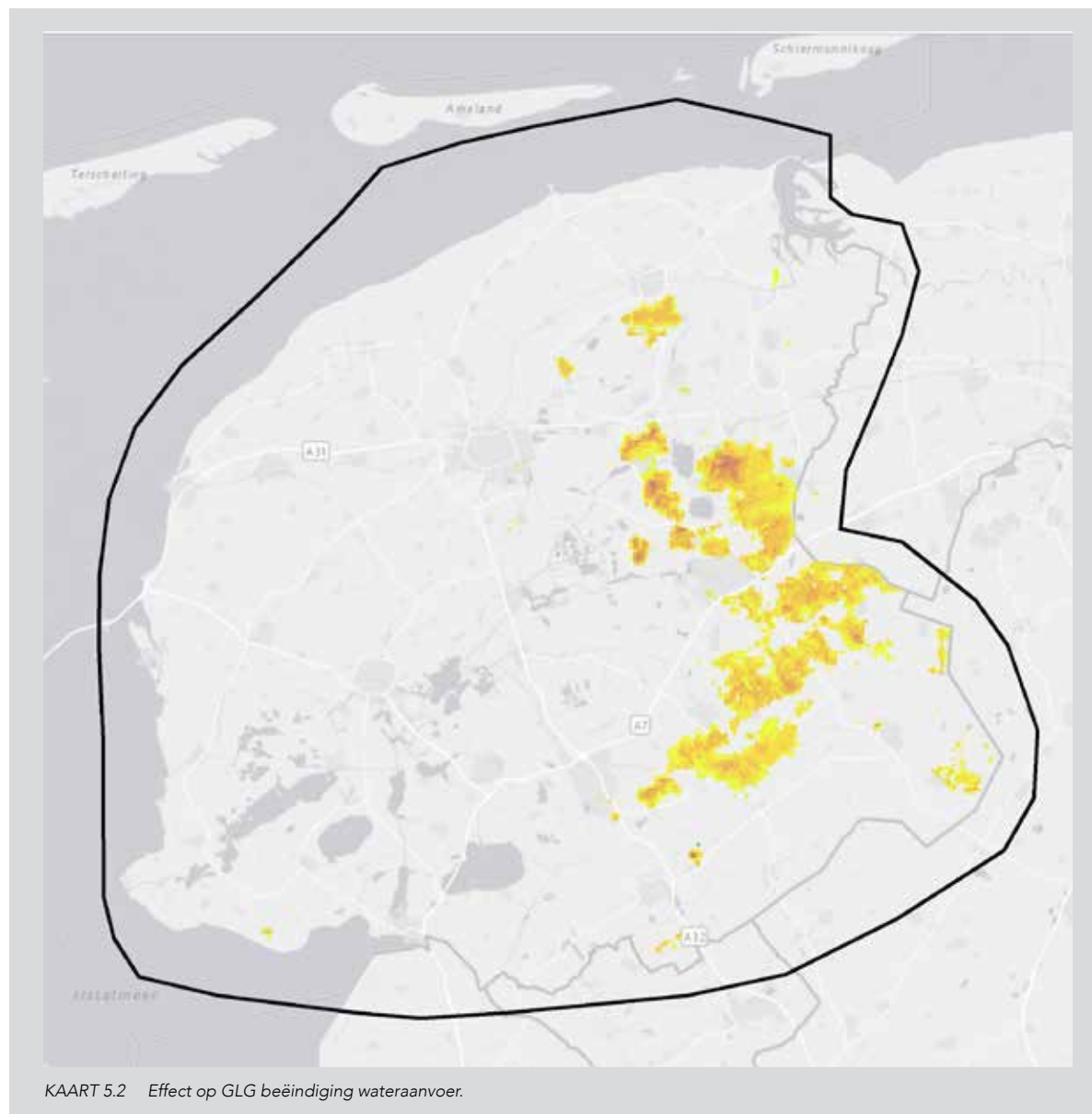
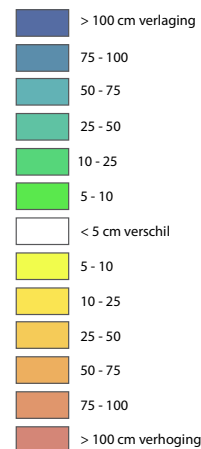
Door het uitvoeren van maatregelen om (grond)water te conserveren kan de daling van de grondwaterstand door autonome ontwikkeling zelfs ruimschoots worden gecompenseerd.

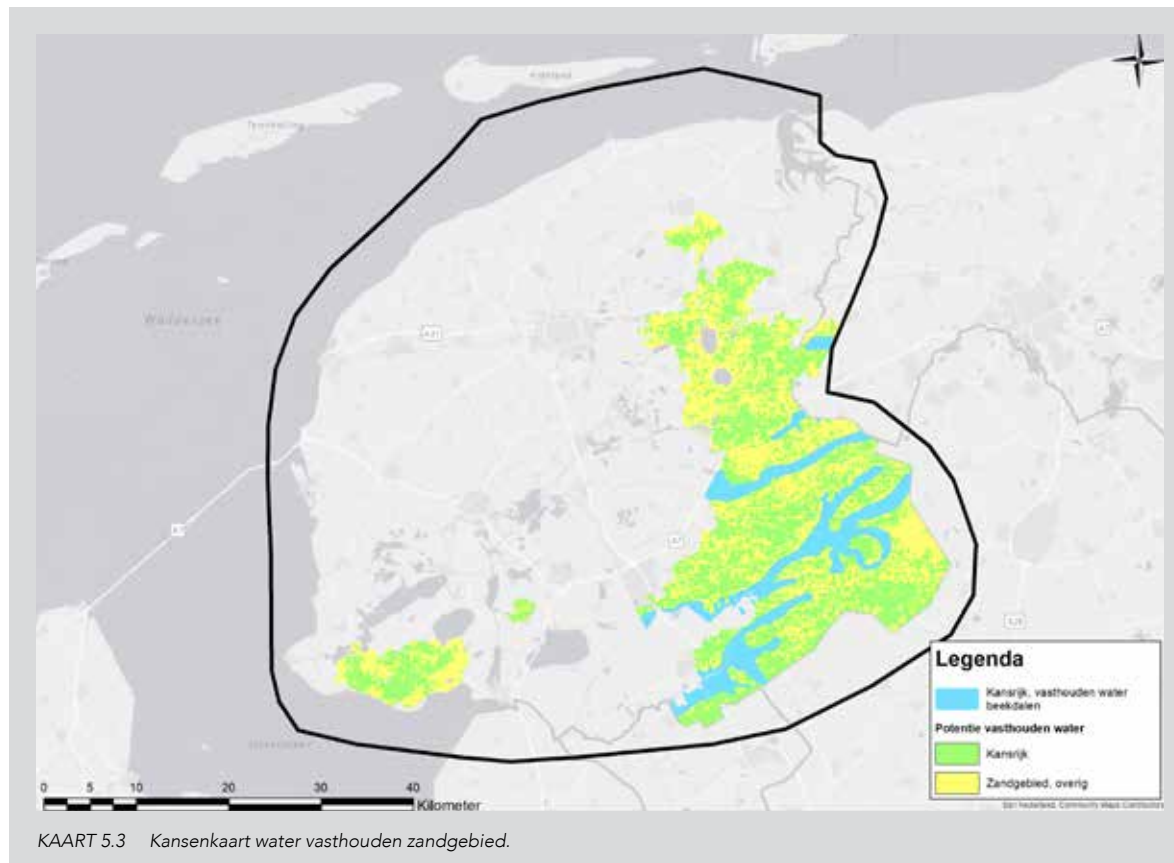
Op dit moment voert Wetterskip Fryslân in het groeiseizoen water aan vanuit het IJsselmeer. Via zogenaamde opvoergemalen wordt het water naar een deel van de zandgronden van Fryslân opgepompt. Berekeningen met het grondwatermodel tonen aan dat het stopzetten van deze aanvoer een verlaging van de grondwaterstand tot gevolg heeft. Zie kaart 5.2.

Daarbij dient te worden opgemerkt dat bij de berekeningen er vanuit is gegaan dat in de huidige situatie water vanuit de aanvoersloten altijd infiltreert naar het grondwater. Daardoor kan het negatieve effect van stopzetten van wateraanvoer in sommige delen overschat worden.

#### Legenda

Effect t.o.v. maaiveld (cm)





## 5.4 Kansenskaart

Op basis van de uitgevoerde berekeningen is een kansenskaart voor het vasthouden van (grond)water gemaakt voor het zandgebied van Fryslân. Gebieden die in de huidige situatie een lage GHG hebben in combinatie met de aanwezigheid van relatief veel ont- en afwateringsmiddelen zijn kansrijk om meer water vast te houden. Slootboderverhoging of peilverhoging zijn volgens de berekeningen effectieve maatregelen om grondwater te conserveren. Zeker als hierbij tevens bestaande, gangbare **drainage** wordt vervangen door ondiepe, intensievere drainage of peilgestuurde drainage.

Ook in de beekdalen kan meer (grond)water worden vastgehouden door bijvoorbeeld het uitvoeren van beekherstelprojecten, zoals momenteel in de Lende en Alddijp plaatsvinden. Door veenbehoud in de beekdalen kan eveneens een daling van de grondwaterstand in het zandgebied worden voorkomen.



Peilgestuurde drainage.



Bij peilgestuurde drainage wordt water niet meteen afgevoerd, maar wordt het deels vastgehouden in de bodem. De drains komen samen in een ontwateringsbassin, waar een peil ingesteld kan worden. Door de peelhoogte te variëren kan de intensiteit van de drainage worden vastgesteld. Dit instrument biedt hiermee de mogelijkheid om in te spelen op de veranderende omstandigheden.





# 6. Veenweidegebied

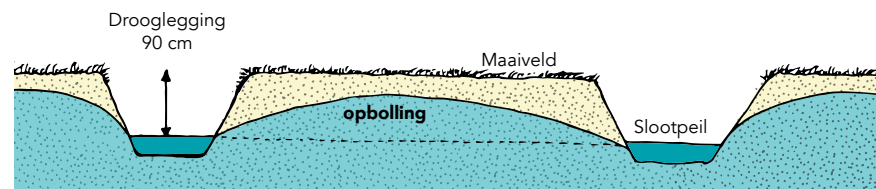
*In het midden van de provincie Fryslân ligt het veenweidegebied. Dit laaggelegen gebied ligt ingeklemd tussen de hogere zandgronden en het zeekleigebied.*

## 6.1 Geschiedenis

In het midden van Fryslân bevonden zich vroeger uitgestrekte veengebieden. Aanvankelijk is dit veen ontstaan onder invloed van toestromend grondwater (laagveenmoerassen). Doordat er duizenden jaren geleden nog geen sloten en greppels waren stagneerde het toegestroomde water. In deze natte, zuurstofloze omstandigheden werden plantenresten niet afgebroken. Dit zorgde voor een opeenstapeling van organisch materiaal; laagje voor laagje. Door de groei van het veen ontstond hoogveen. Hoogveen wordt onder invloed van regenwater gevormd. Daarmee 'groeit' het land boven het grondwater uit en vormt het een eigen, nieuwe grondwaterspiegel.

Veel van dat veen is in het verleden afgegraven en als brandstof gebruikt. Grote hoeveelheden werden als turf verkocht en door de turfschippers getransporteerd naar gebieden buiten Fryslân. Delen waar het veen afgegraven werd, zijn later weer drooggelegd, zodat men deze polders kon gebruiken voor de landbouw. Door verlaging van het polderpeil is ook het grondwater verlaagd tot soms wel een paar meter onder NAP.

In de jaren 70 tot en met eind jaren 80 van de vorige eeuw en op enkele locaties tot begin deze eeuw (zoals in de Echtenervenpolder) vonden grootschalige ruilverkavelingen plaats. Hierdoor is de landbouwkundige verkaveling sterk verbeterd. Percelen zijn vergroot en de **drooglegging** is groter geworden (**peilverlagingen**).



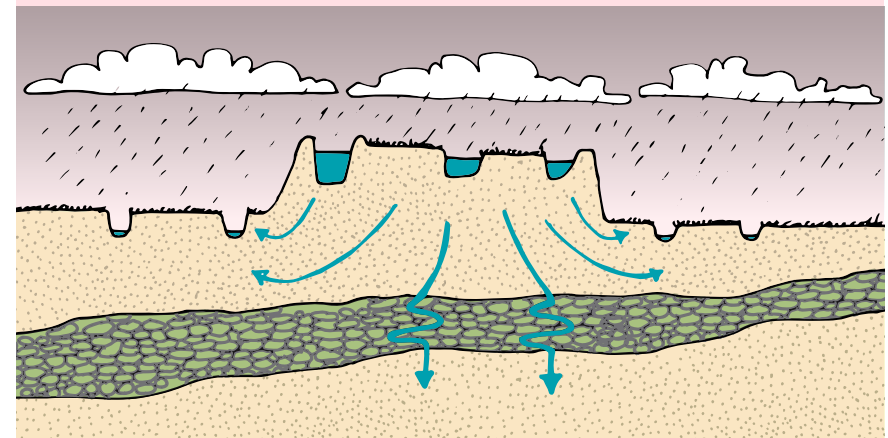
Vóór de ruilverkavelingen waren de droogleggingen veelal 40 tot 60 centimeter. Tijdens de ruilverkavelingen zijn deze vergroot naar 90 centimeter of meer. Dit heet **diepontwatering**. Door deze diepontwatering zijn de mogelijkheden voor de landbouw sterk verbeterd. De productie nam hierdoor toe met zeker 20 procent. De draagkracht van de bodem werd groter en de groei van de grassen verbeterde.

## De tegenstrijdigheid van de Friese laagveenmoerassen

Ongeveer tweehonderd jaar geleden waren de huidige laagveenmoerassen de laagste plekken in het veengebied van Fryslân. Het waren natte, moeilijk te bewerken gebieden. Namen als Rottige Meenthe en Unlân fan Jelsma spreken voor zich. In veel van deze veenmoerassen werd vroeger veen uitgegraven voor de turfwinning. De petgaten van de veenaafgraving liggen er nog altijd als stille getuigen. In deze gebieden broeden tegenwoordig vogels als de purperreiger, de zwarte stern en de roerdomp. Verder komen er zeldzame vlinders voor, zoals de zilveren maan en de grote vuurvlinder. Ook de otter leeft in deze gebieden.

Begin vorige eeuw kreeg men oog voor de natuurwaarde en biodiversiteit van deze laagveenmoerassen. Natuurorganisaties, zoals It Fryske Gea, begonnen de eerste gebieden aan te kopen. De moerassen werden veilig gesteld voor de toekomst door de hoge waterpeilen te handhaven. De gebieden rondom deze laaggelegen laagveenmoerassen werden echter verder in cultuur gebracht voor de landbouw. Sloten werden gegraven en peilen verlaagd. Het gevolg hiervan was dat de landbouwgebieden rondom de veenmoerassen begonnen te dalen door de afbraak van veen.

Decennia lang ging dit proces door, waardoor de omliggende gebieden steeds lager kwamen te liggen ten opzichte van de laagveenmoerassen. Doordat in deze natuurgebieden een hoog waterpeil werd gehanteerd, daalden de veenmoerassen veel minder snel. De van oorsprong laaggelegen moerassen liggen tegenwoordig dus hoger in het landschap dan het omliggende landbouwgebied. Tegenstrijdig; dat zeker. Het grondwater lekt nu vanuit de laagveenmoerassen naar de omgeving. Dit veroorzaakt verdroging van deze natuurgebieden.

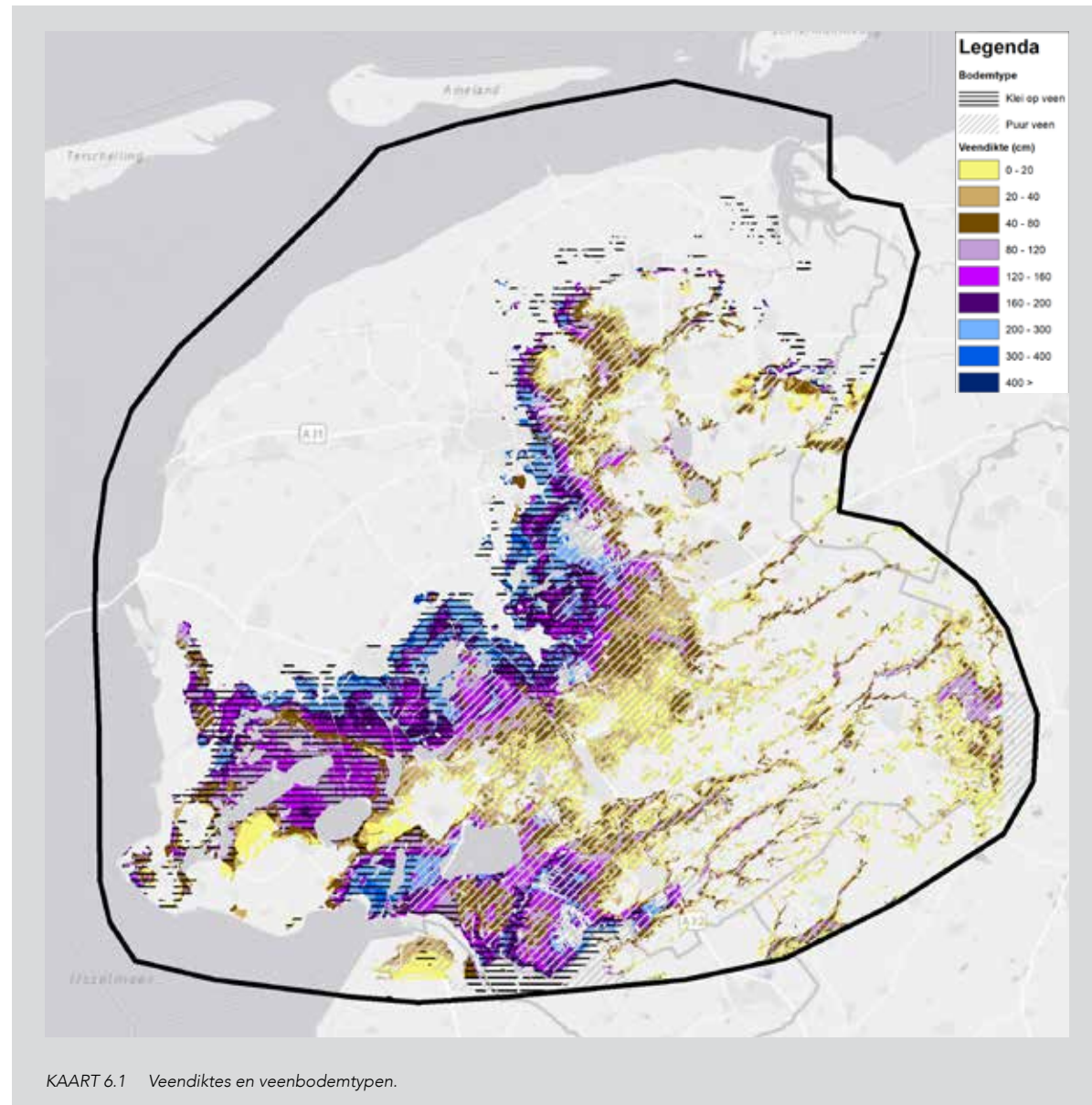


## 6.2 Huidige situatie

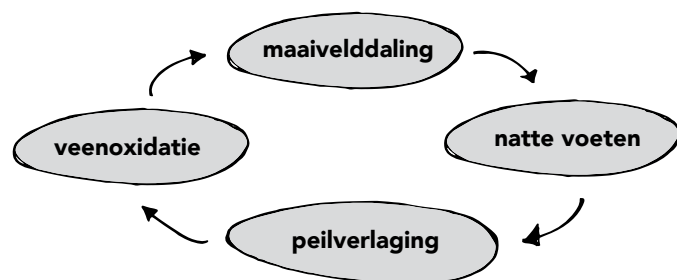
Het huidige Friese veenweidegebied heeft een oppervlakte van circa 70.000 ha. Dit is exclusief de Friese meren, die horen namelijk bij de Friese boezem (zie hoofdstuk 8). Het veengebied bestaat voornamelijk uit graslanden (veenweide) dat in gebruik is bij (melk)veehouderijen. Ongeveer 52.000 hectare is in gebruik als landbouwgebied. Daarnaast bestaat een belangrijk deel van het veengebied uit natuurgebied. Van de in totaal 15.000 hectare natuurgebied bestaat een kleine 10.000 hectare uit laagveenmoerassen, zoals De Alde Feanen, De Deelen en De Mieden.

Het veengebied bestaat uit verschillende bodemtypen. In het oosten liggen de zogenaamde pure veenbodems. Dit zijn veenbodems zonder kleidek. Meer westelijk liggen de klei-op-veenbodems en in het uiterste noordwesten van het Friese veenweidegebied bevinden zich de kleibodems met een veenondergrond. De veendiktes variëren van 0,4 tot 2,5 meter in het oosten tot enkele meters in westen. De dikste veenpakketten liggen rondom de Alde Feanen, het Snitser Mar en langs de Grutte Brekken ten noorden van Lemmer. Hier komen veendiktes voor van soms wel 4 meter. Onder het veen bevindt zich meestal een dunne zandlaag en daaronder ligt een leemlaag (keileem).

In het algemeen zijn de polderpeilen in het Friese veenweidegebied relatief laag. Conform de Veenweidevisie wordt een maximale drooglegging van 90 cm gehanteerd. De grondwaterstand volgt deze lage polderpeilen waardoor het veen droog komt te staan en wordt afgebroken (oxidatie en inklinking). Als gevolg hiervan daalt de bodem. De pure veenbodems zonder beschermend kleidek dalen het snelst met meer dan 1 cm per jaar. De klei-op-veenbodems dalen iets minder snel met minder dan 1 cm per jaar.

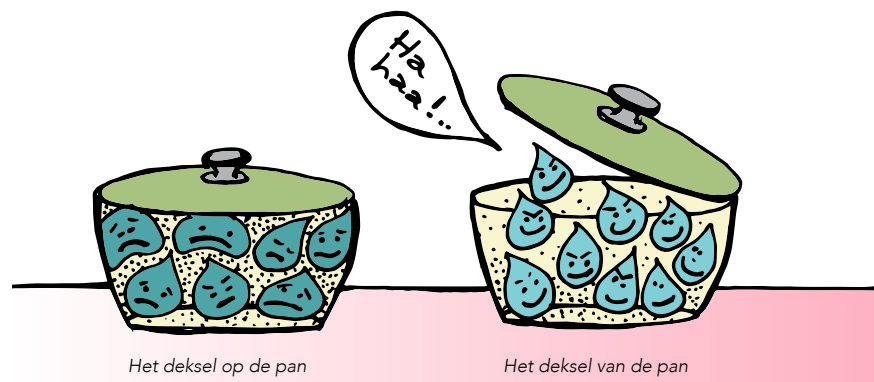


Zolang het peil niet verlaagd wordt, komt het maaiveld steeds dichtër naar het grondwater en wordt de bodem nat en zompig. Om deze bodemdaling te compenseren worden de polderpeilen na verloop van tijd weer naar beneden bijgesteld waarmee ook de grondwaterstand verder wordt verlaagd en het veen opnieuw droog komt te staan. Enzovoorts.



Het Friese veengebied ligt momenteel ongeveer 1 tot 3 meter onder NAP. Het veengebied ligt daarmee meters lager dan het oostelijk gelegen zandgebied van Fryslân. Het veengebied ligt ook lager dan het noord(west)elijk gelegen zeekleigebied.

Daardoor stroomt nu ook grondwater vanuit het noordwesten richting het Lage Midden van onze provincie. Jaarlijks stroomt ongeveer zo'n 72 miljoen m<sup>3</sup> grondwater naar het veengebied. Veën is slecht doorlatend. Daardoor biedt het veen weerstand tegen grondwaterstromingen van onderaf. Veën is als het ware 'de deksel op de pan'. Als die veënlaag verdwijnt door oxidatie, ondervindt het diepere grondwater steeds minder weerstand om naar boven te stromen.



Petgat in laagveenmoeras.

### 6.3 Toekomstige ontwikkelingen

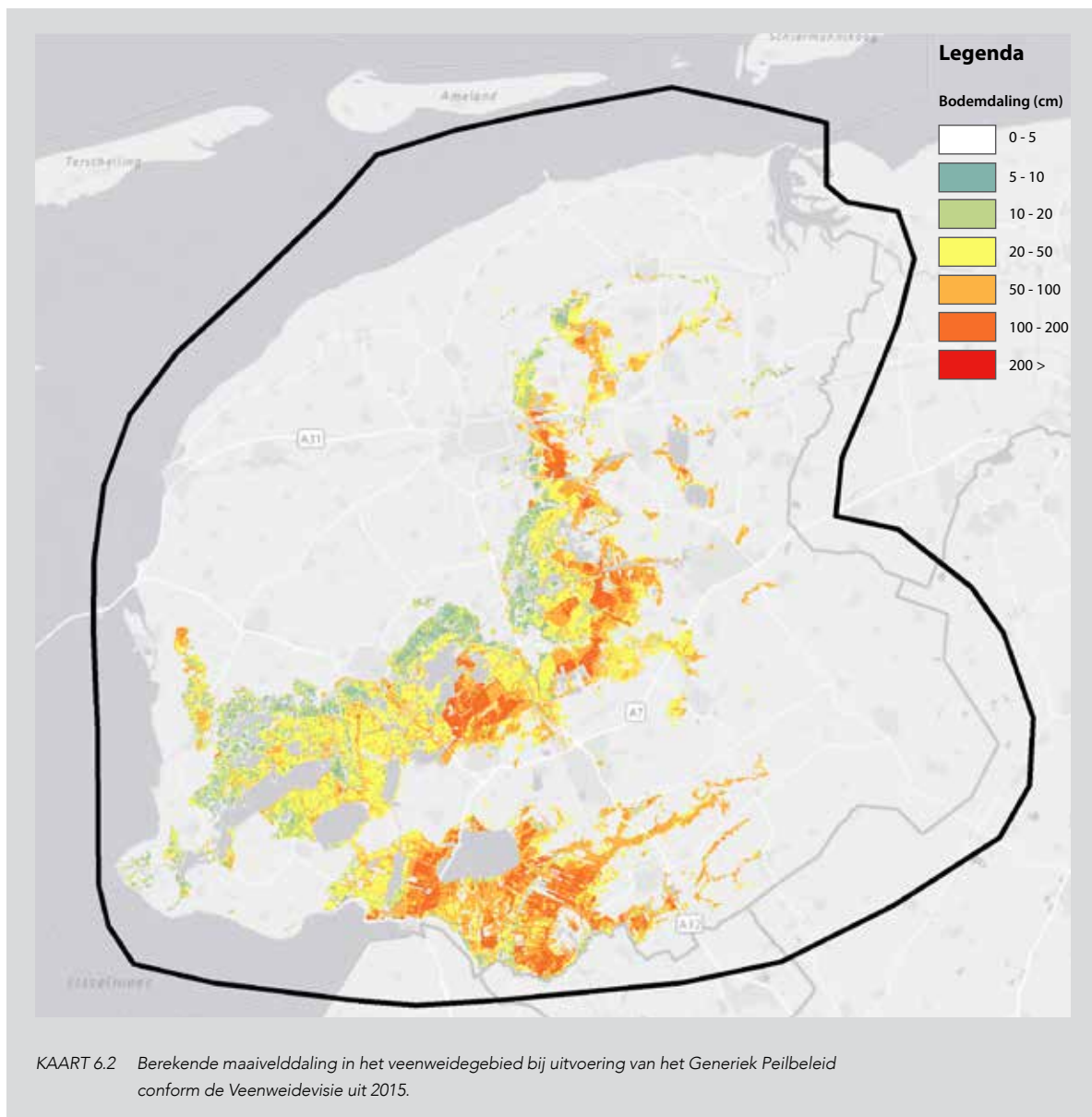
Door veenaafbraak komt het veengebied in onze provincie steeds lager te liggen ten opzichte van de omgeving.

Op kaart 6.2 hiernaast zien we de berekende toekomstige daling van het Friese veengebied tot 2085 bij uitvoering van het Generiek Peilbeleid volgens de in 2015 vastgestelde Veenweidevisie.

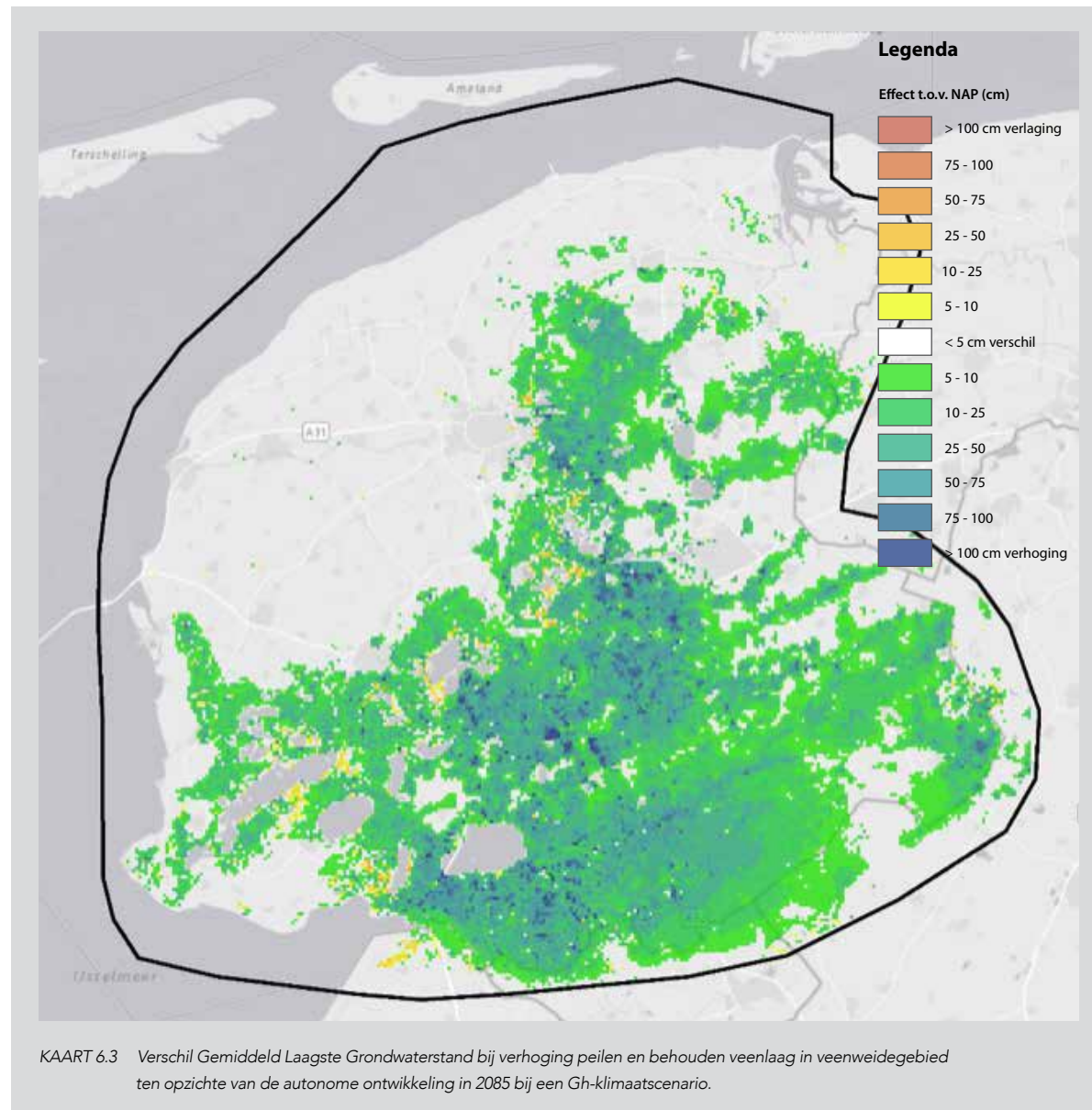
Opvallend is dat met name in het midden van het veengebied nog relatief grote maaiveld dalingen worden berekend. Dit zijn de pure veenbodems zonder kleidek, maar met (nu nog) een veenlaag van enkele meters. Op basis van de Veenweidevisie wordt voor dit bodemtype een drooglegging van maximaal 90 centimeter voorgestaan. Bij een dergelijke drooglegging daalt het veen met ruim 1 cm per jaar.

#### Grondwaterbalans

Door de maaiveld daling daalt de grondwaterstand in het veenweidegebied, maar ook in de omgeving van het veengebied. Ook stroomt er steeds meer grondwater naar dit lage deel van Fryslân. De gemalen van Wetterskip Fryslân pompen vervolgens dit toegestroomde grondwater weg naar de Friese boezem. Miljoenen kubieke meters grondwater worden zo jaarlijks uit de veenpolders gepompt. Hierdoor ontstaat in het midden van onze provincie als het ware een steeds grotere grondwateronttrekking die nu al een dominante invloed heeft op het grondwatersysteem in Fryslân. De jaarlijkse toestroom van grondwater naar het veengebied neemt toe van 72 miljoen m<sup>3</sup> nu naar 105 miljoen m<sup>3</sup> in 2085 bij het Gh-klimaatsscenario. Een stijging van 46%. We pompen dus meer grondwater weg om de veengebieden droog te houden dan waterleidingbedrijf Vitens voor de drinkwatervoorziening nodig heeft.



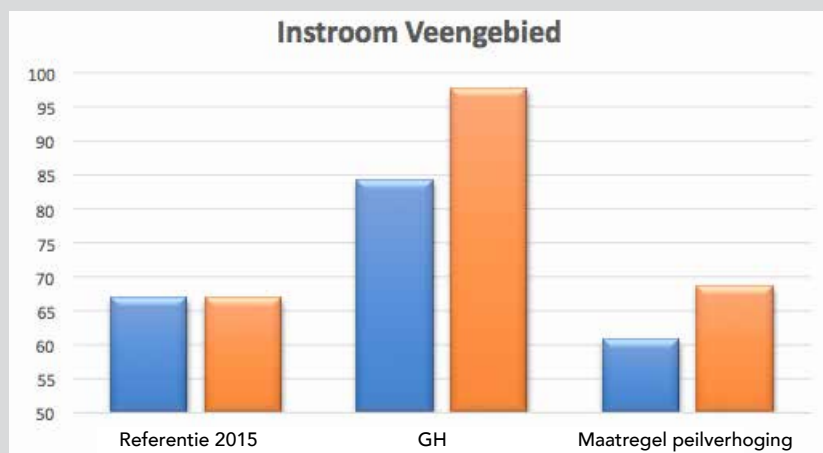
KAART 6.2 Berekende maaiveld daling in het veenweidegebied bij uitvoering van het Generiek Peilbeleid conform de Veenweidevisie uit 2015.



## 6.4 Doorgerenade maatregelen

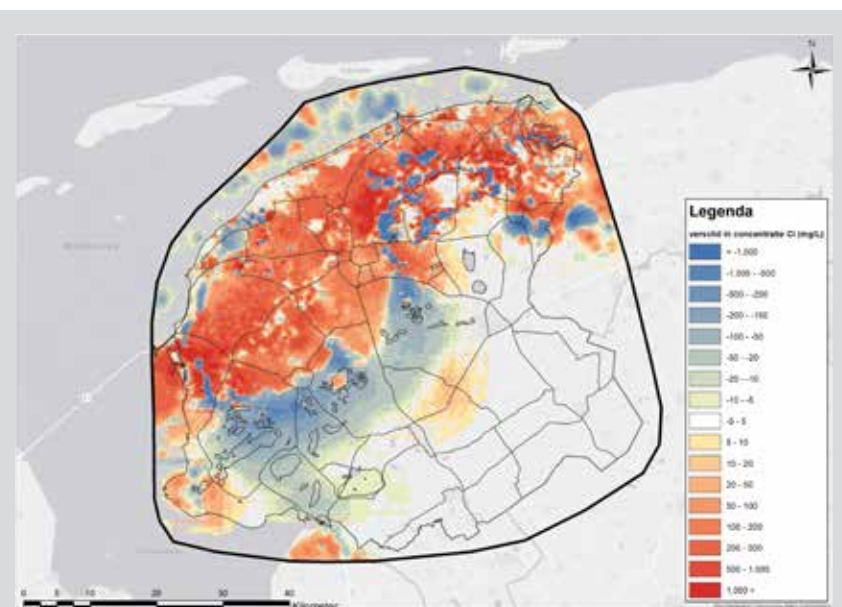
Om de invloed van het veengebied op het grondwatersysteem te onderzoeken is een berekening uitgevoerd waarbij modelmatig de peilen in het veengebied zijn verhoogd tot een drooglegging van circa 30 cm. Daarbij is aangenomen dat de huidige veendikte niet meer verder afneemt. De effecten op het Friese grondwatersysteem zijn erg groot (zie kaart 6.3). In het veengebied stijgt de GLG ten opzichte van de autonome ontwikkeling in 2085 met 50 tot 100 centimeter. In het zandgebied stijgt de GLG met 5 tot 50 cm. De berekende maatregel in het veengebied werkt dus door in het zandgebied tot aan de oostgrens van de provincie Fryslân! Deze berekening toont dus duidelijk de dominante invloed van het veenweidegebied op het Friese grondwatersysteem aan.

Er is ook doorgerekend wat het effect van deze maatregel is op de grondwaterbalans. Door de hogere peilen in het veengebied, in combinatie met het behouden van de veenbodem, stroomt er volgens de berekening minder (zout) grondwater naar het veengebied ten opzichte van de huidige situatie. In vergelijking met de autonome ontwikkeling neemt de toestroom van grondwater zelfs fors af. De toestroom kan zo tot eind deze eeuw rond het huidige niveau gehandhaafd blijven, maar er blijft wel sprake van een toestroom van grondwater. Dit wordt geïllustreerd in de onderstaande staafdiagrammen (figuur E).



Figuur E Toestroom van grondwater naar het veengebied van Fryslân in de huidige situatie (Referentie) en bij autonome ontwikkeling (GH). Peilverhoging in combinatie met behoud van de veenbodem is weergegeven in de rechter diagram voor respectievelijk 2050 en 2085.

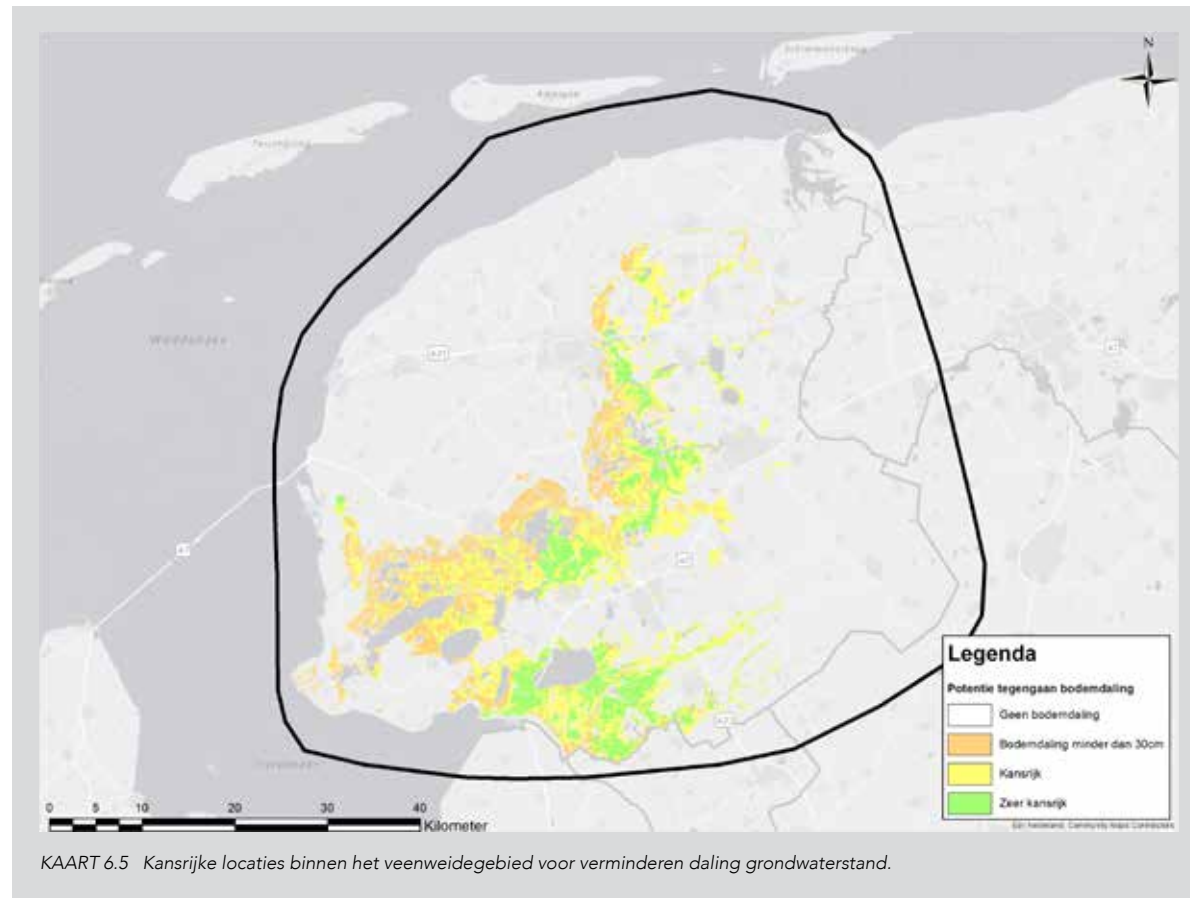
Door het toepassen van deze maatregel verzilt het grondwater in het westelijk veenweidegebied op lange termijn ook minder dan bij autonome ontwikkeling. Dit wordt geïllustreerd in kaart 6.4. Maar in het noordwestelijk gelegen kleigebied neemt de verzilting hierdoor enigszins toe.



KAART 6.4 Minder verzilting van diep grondwater onder westelijk veenweidegebied voor het jaar 2500 ten opzichte van de autonome ontwikkeling door hogere peilen in het veenweidegebied in combinatie met behouden van de veenbodem.

Wat ropt dy iene fûgel bliid,  
 Wat klint syn wuille klear en wiid,  
 No tear en fyn,  
 Dan sterk en stoer,  
 De fjilden oer,  
 De loftten yn;  
 Wat rop dy ien fûgel bliid:  
 Hy sjongt in komstige tiid.

Fedde Schurer - *Uit: Hope*



KAART 6.5 Kansrijke locaties binnen het veenweidegebied voor verminderen daling grondwaterstand.

## 6.5 Kansenskaart

Op kaart 6.2 is te zien dat in de komende decennia het maaiveld in het veenweidegebied nog decimeters gaat dalen bij uitvoering van het Generiek Peilbeleid Veenweidevisie. Met name bij de pure veenbodems zonder kleidek bedraagt deze daling 1 tot 1,5 meter tot 2085.

Als gevolg hiervan zal juist hier bij het huidige veenweidebeleid een forse daling van de grondwaterstand optreden (zie hoofdstuk 4).

Hier liggen dus kansen om de daling van de grondwaterstand af te remmen. De berekeningen tonen aan dat een peilverhoging in combinatie met veenbehoud een effectieve maatregel is om daling van de grondwaterstand te verminderen. Dit is weergegeven op de kansenskaart hiernaast (Kaart 6.5).





# 7. Noordelijk zeekleigebied

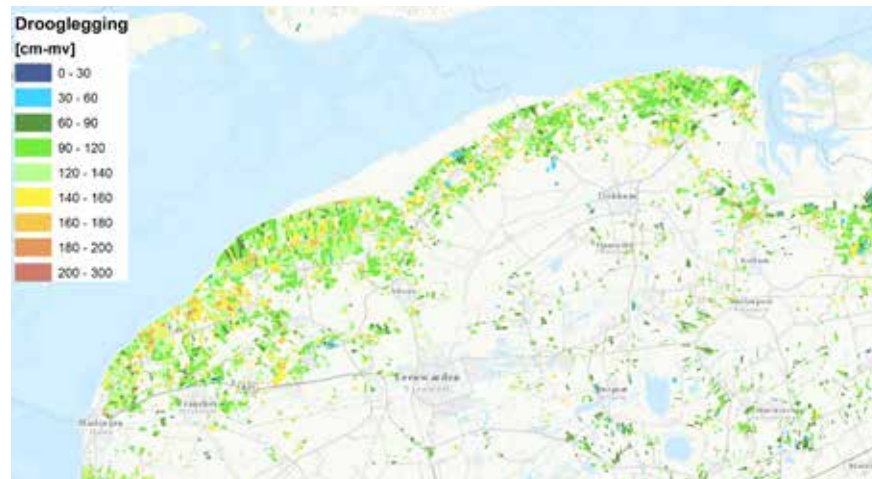
Het zeekleigebied in het noordwesten en noorden van Fryslân heeft een oppervlakte van ruim 135.000 hectare. De dikte van de klei neemt vanaf het Friese veenweidegebied in noordwestelijke richting toe van enkele decimeters tot een meters dikke laag.

## 7.1 Geschiedenis

Zoals de naam al aangeeft is het noordelijk zeekleigebied gevormd door de zee. Voordat het kleigebied in de (late) middeleeuwen werd bedijkt bestond dit deel van Fryslân uit een uitgestrekt **kwelder**landschap met terpen. Bij hoogwater werd jaarlijks een laagje slib door de zee afgezet. Zo groeide de kleilaag in dit gebied. Door de bedijking (vanaf circa 1000 na Chr.) is het bovenste deel van het grondwater verzoet onder invloed van regenwater. Maar nog altijd is op enkele meters diepte het zoute grondwater aanwezig. Er heeft zich dus een dunne zoetwaterlens op het zoute grondwater ontwikkeld.

## 7.2 Huidige situatie

Het zeekleigebied van Fryslân is vandaag de dag een belangrijk gebied voor de Friese landbouw. Het landgebruik in de noordelijke schil van het kleigebied is vooral akkerbouw en vollegrondstuinbouw. De Greidhoeke in het westen van Fryslân bestaat vooral uit graslanden die in gebruik zijn bij de (melk)veehouderij. In het algemeen zijn de droogleggingen in het zeekleigebied relatief groot.

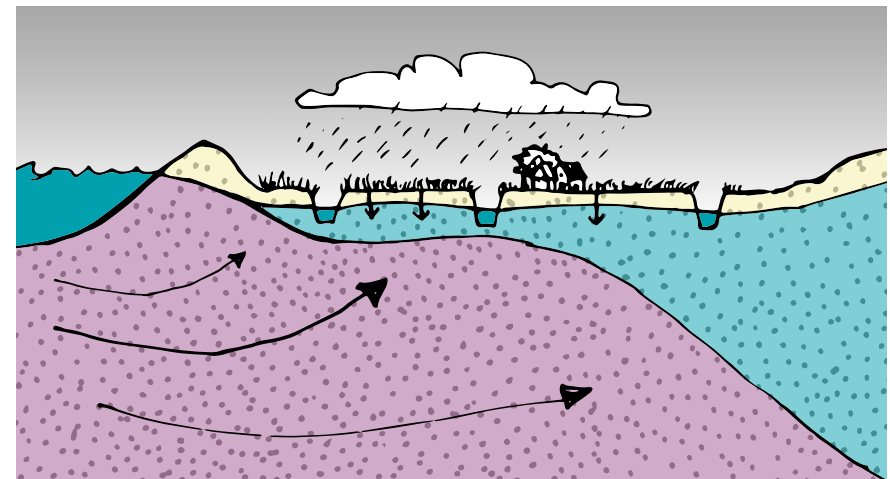


Kaart 7.1 Droogleggingen bouwland in deel van het zeekleigebied.

Vanuit de Waddenzee stroomt jaarlijks onder de zeedijk ongeveer 47 miljoen m<sup>3</sup> grondwater naar het zeekleigebied van Fryslân. Een deel van dit zoute grondwater stroomt door richting het Friese veenweidegebied. In het zeekleigebied komt het zoute grondwater als zoute kwel naar boven. Een groot deel van het zoute kwelwater stroomt naar de drainage en de sloten in het gebied. Daardoor is in grote delen van de noordelijke kleipolders het oppervlaktewater te zout voor bijvoorbeeld beregening. Voor de beregening van vollegronds tuinbouwgewassen en bloembollen is dan ook aanvoer van zoet oppervlaktewater nodig. Daarom voert het waterschap zoet water vanuit de Friese boezem naar het gebied, om de sloten door te spoelen. Om doorspoeling mogelijk te maken zijn speciale voorzieningen aanwezig zoals inlaten en stuwen.

## 7.3 Autonome ontwikkeling

De stijging van de zeespiegel veroorzaakt een toename van de zoute kwel in dit gebied. Dit wordt versterkt door de bodemdaling door gas- en zoutwinning in het kleigebied. De toestroming van zout grondwater onder de zeedijk door, neemt tot 2085 toe met 17 tot 25% (afhankelijk van met welk klimaatscenario wordt gerekend). Door toename van de zoute kwel en grotere verdamping in de zomer wordt de zoetwaterlens in het bovenste deel van de bodem steeds dunner en neemt het chloridegehalte in het oppervlaktewater toe. Dit noemen we **verzilting**. Zie paragraaf 4.2.



Een deel van dit zoute grondwater stroomt door richting het Friese veenweidegebied.

## 7.4 Doorgerekende maatregelen

Om de verzilting van het kleigebied tegen te gaan zijn diverse mogelijke maatregelen doorgerekend.

### Meestijgen met de zeespiegelrijzing

Aan het begin van dit hoofdstuk is opgemerkt dat de droogleggingen in het zeekeleigebied in het algemeen relatief groot zijn (kaart 7.1). Vanuit landbouwkundig oogpunt is er nog wel ruimte om deze droogleggingen enigszins te verkleinen. Deze ruimte kan benut worden om de polderpeilen mee te laten stijgen met de zeespiegelstijging (tegendruk). De peilen in het grondwatermodel zijn verhoogd totdat de droogleggingen nergens groter zijn dan 1 meter.

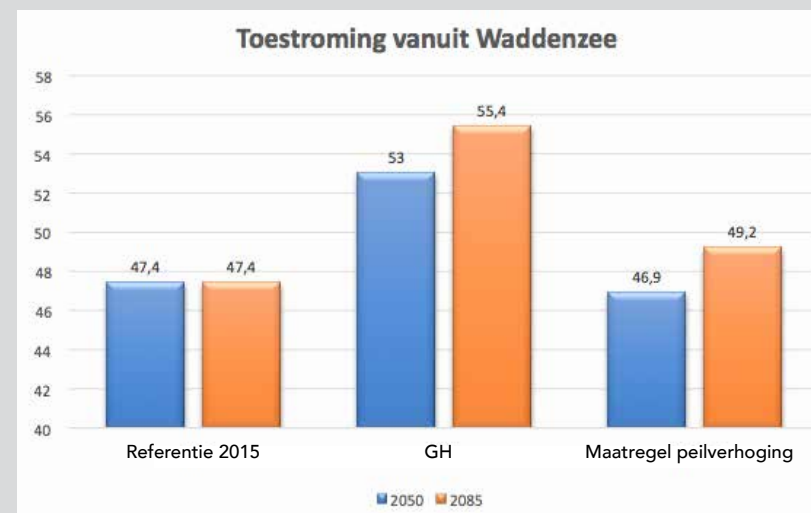
De staafdiagrammen in figuur F laten zien dat bij autonome ontwikkeling de toestroom van grondwater vanuit de Waddenzee toeneemt. Door de peilen in de kleipolders evenredig met de zeespiegelstijging te verhogen neemt de toestroom van grondwater in de toekomst niet of nauwelijks toe.

Op kaart 7.2 is te zien dat de kwel in de polder inderdaad afneemt ten opzichte van de autonome ontwikkeling door het toepassen van deze maatregel. Deze effectieve maatregel kan een aantal decennia worden toegepast. Maar let wel; indien de zeespiegel in de toekomst (na 2100) nog verder stijgt kunnen de polderpeilen niet verder worden verhoogd omdat dit een goed landbouwkundig gebruik van het gebied onmogelijk maakt. Met het toepassen van deze maatregel kunnen we dus tijd kopen.

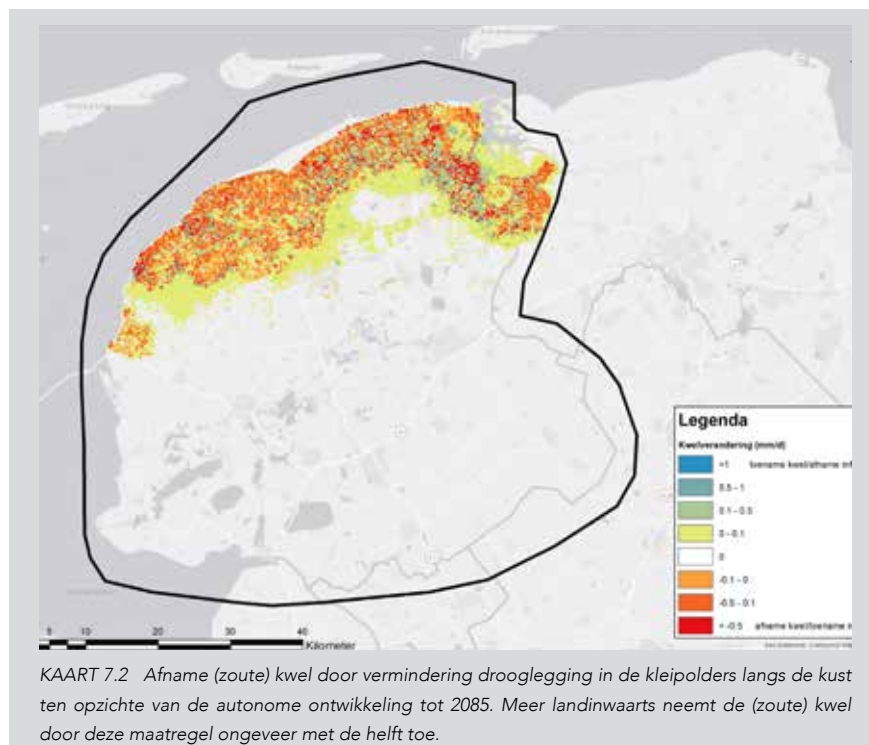
Bij toepassing van deze maatregel dient wel rekening te worden gehouden met het zogenaamde **waterbed-effect**. Dit betekent dat als op de ene locatie de (water)druk wordt verhoogd door peilverhoging er op de andere plek (waar deze maatregel niet wordt uitgevoerd) meer zoute kwel naar boven kan komen.



Terpenlandschap bij Lytsewierrum.



Figuur F Toestroom van grondwater in mln. m3/jaar vanuit de Waddenzee in de huidige situatie (2015) (Referentie), bij autonome ontwikkeling (GH-klimaatscenario) en bij vermindering van de drooglegging in delen langs de kust in het zeekeleigebied.



Kaart 7.2 toont dat op de plekken waar maatregelen worden getroffen de kwel afneemt ten opzichte van de autonome ontwikkeling. Op locaties meer landinwaarts neemt de (zoute) kwel juist toe! Berekeningen hebben aangetoond dat het **waterbed-effect** niet één op één is. Bij 100% afname van de kwel (verzoeting) op de plek waar de maatregel wordt uitgevoerd neemt de (zoute) kwel op andere locaties ongeveer met de helft toe. Netto wordt de verzoeting dus groter. Bij het opstellen van toekomstige waterbeheerplannen dient rekening te worden gehouden met dit effect.

### Maatregel toepassen antiverziltingsdrainage

Het op grote schaal toepassen van antiverziltingsdrainages is eveneens als maatregel doorgerekend. **Antiverziltingsdrainage** is een innovatieve wijze van draineren die ontwikkeld is binnen het project Spaarwater (Bron: Acacia Water 2019).

Meer informatie over spaarwater: [www.spaarwater.com](http://www.spaarwater.com)

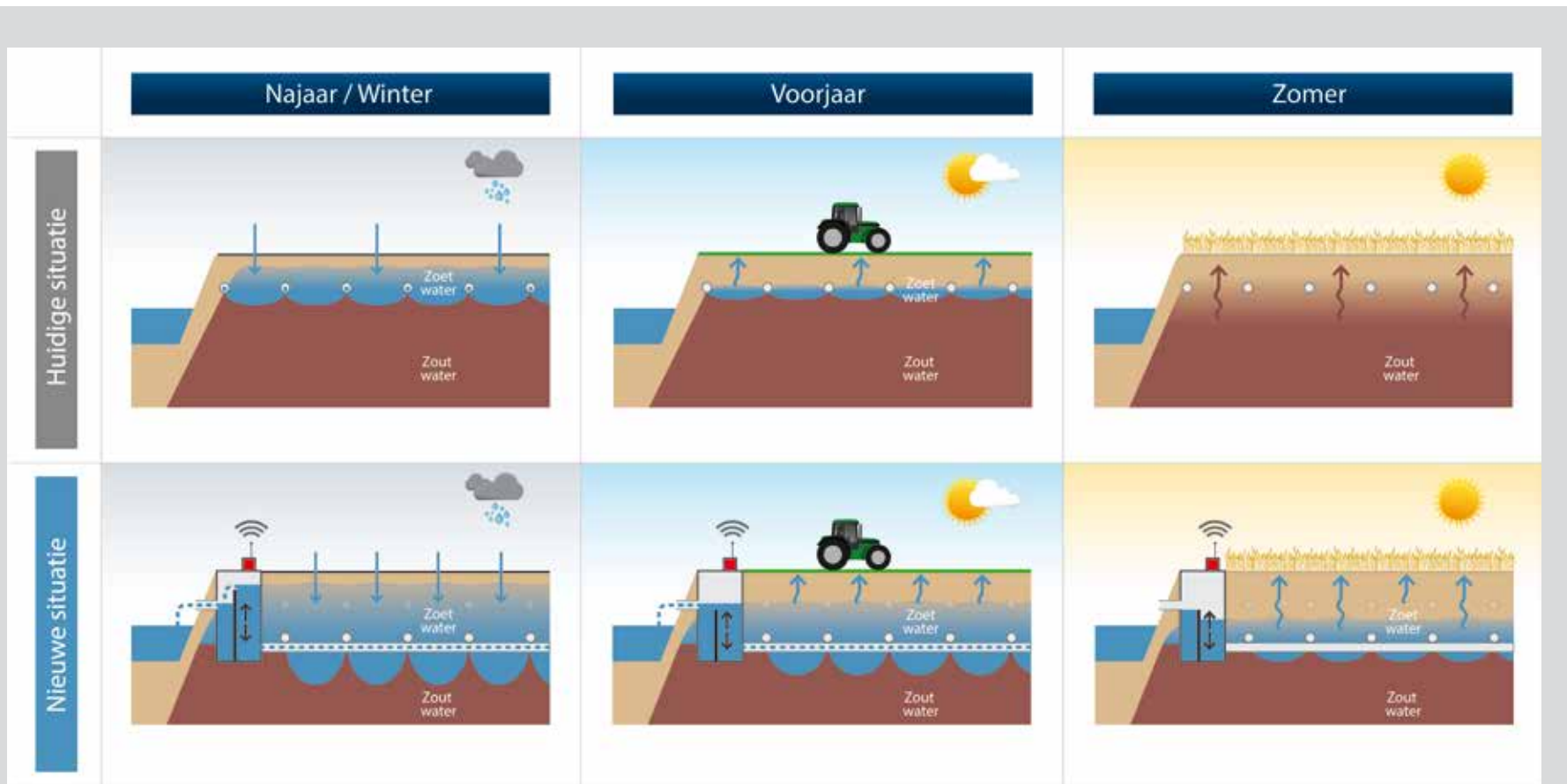


Regenwaterlenzen ontstaan tussen de drainagebuizen. De lenzen functioneren als een zoetwaterbuffer tussen de gewaswortels en het zoute grondwater. In droge perioden verdwijnen de lenzen snel door verdamping en wordt het risico op oogstverlies groot. Opbrengsten lopen dan terug door zout- en droogteschade. Waterbeschikbaarheid in het perceel kan worden vergroot door de regenwaterlenzen groter te maken. Door de drainage die al in het perceel ligt aan te passen of te vervangen tot '**antiverziltingsdrainage**' kan actief worden gestuurd op de grondwaterstanden.

In de praktijk lukt het om de zoetwaterlenzen te vergroten door middel van peilopzet met antiverziltingsdrainage. In de Spaarwaterprojecten Hornhuizen (provincie Groningen) en Herbaijum zijn de lenzen met 15 – 20 cm toegenomen tijdens de proeven.

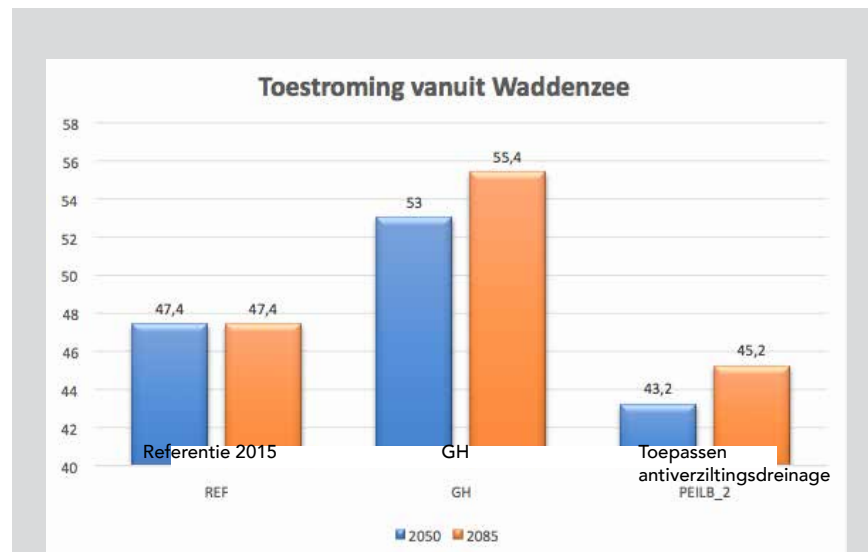
Drainage wordt aangesloten op een verzamelleiding en een regelput. De grondwaterstand in het perceel kan met behulp van de regelput actief worden gestuurd. Hiermee verlaagt de agrariër het peil als een natte periode wordt voorspeld of als hij het land op wil met landbouwmachines. Door het peil hierna weer te verhogen wordt water gebufferd in de lenzen voor tijden van droogte.





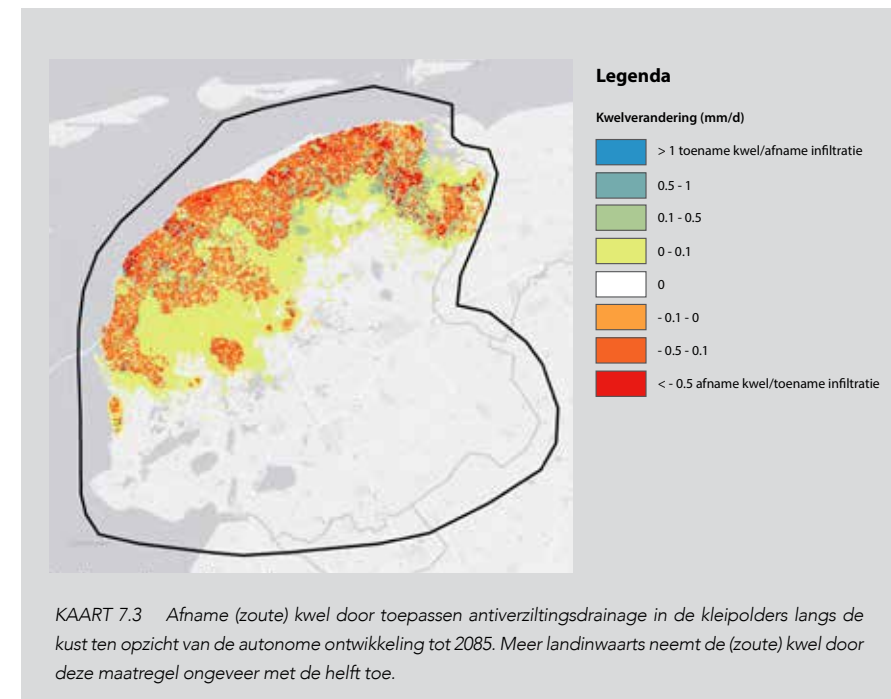
Figuur G Toename zoetwaterlens door toepassing antiverziltingsdrainage bron: Acacia Water, 2019.

De berekeningen tonen aan dat de verzilting inderdaad kan worden verminderd door het toepassen van deze nieuwe drainagetechniek (Zie figuur H). In die zin zijn de resultaten van deze maatregel goed vergelijkbaar met de maatregel 'Meestijgen met de zeespiegelstijging'. Ten opzichte van de huidige situatie en de autonome ontwikkeling vermindert de toestroom van zout grondwater bij deze maatregel zelfs nog meer.



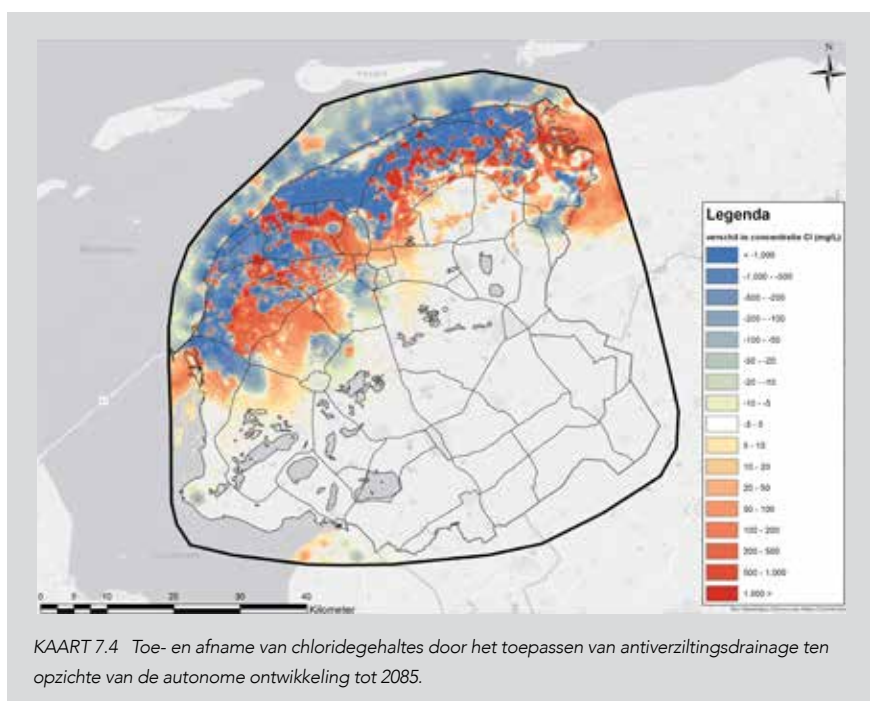
Figuur H Toestroom van (zout) grondwater vanuit de Waddenzee in mln. m³/jaar in de huidige situatie (2015) (REFerentie), bij autonome ontwikkeling (GH-klimaatscenario) en bij toepassing antiverziltingsdrainage in delen langs de kust in het zeeleigebied.

Op onderstaande kaart 7.3 is te zien dat de (zoute) kwel inderdaad afneemt als gevolg van het toepassen van antiverziltingsdrainage ten opzichte van de autonome ontwikkeling tot 2085. Maar we zien dat bij grootschalig toepassen van deze maatregel ook hier het **waterbed-effect** optreedt. Meer landinwaarts neemt de (zoute) kwel namelijk juist toe met ongeveer de helft.



KAART 7.3 Afname (zoute) kwel door toepassen antiverziltingsdrainage in de kleipolders langs de kust ten opzichte van de autonome ontwikkeling tot 2085. Meer landinwaarts neemt de (zoute) kwel door deze maatregel ongeveer met de helft toe.

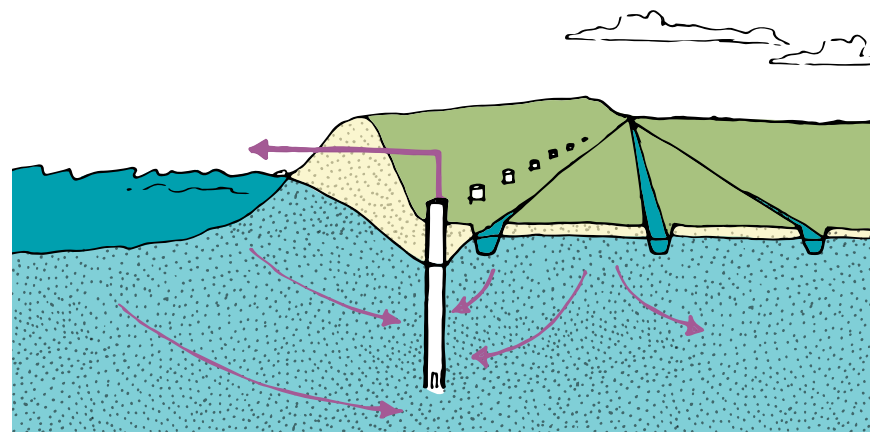
De resultaten op kaart 7.4 zijn berekend met het grondwaterkwaliteitsmodel. Op deze kaart wordt de verzoeting en de verzilting als gevolg van het grootschalig toepassen van **antiverziltingsdrainage** getoond. Op de plek waar **antiverziltingsdrainage** wordt toegepast verzoet het grondwater (blauw), terwijl op andere locaties juist verzilting optreedt (rood). Dit is het **waterbed-effect**.



Met een combinatie van de maatregel 'Meestijden met de zeespiegelstijging' en het toepassen van antiverziltingsdrainage wordt het effect versterkt. Er treedt meer verzoeting op, maar ook hier zien we het **waterbed-effect**.

## Maatregel verticale drainage

Door Kennisinstituut Deltares is in Zeeland de afgelopen jaren ervaring opgedaan met het toepassen van verticale drainage direct achter de kustlijn (De Louw, 2017). Met behulp van een reeks verticale buizen van ongeveer 15 - 25 meter diep wordt het zoute kwelwater weggevangen. Eenmaal opgevangen in de buizen, wordt het zoute water verzameld in kleine waterlopen en teruggepompt naar zee. Hierdoor neemt de druk van het zoute kwelwater op de **zoetwaterlens** af. Onderzoek en monitoring wezen eind 2015 uit dat de voorziening in de provincie Zeeland goed genoeg functioneerde en in staat was om de effecten van de lokale zeespiegelstijging te compenseren.

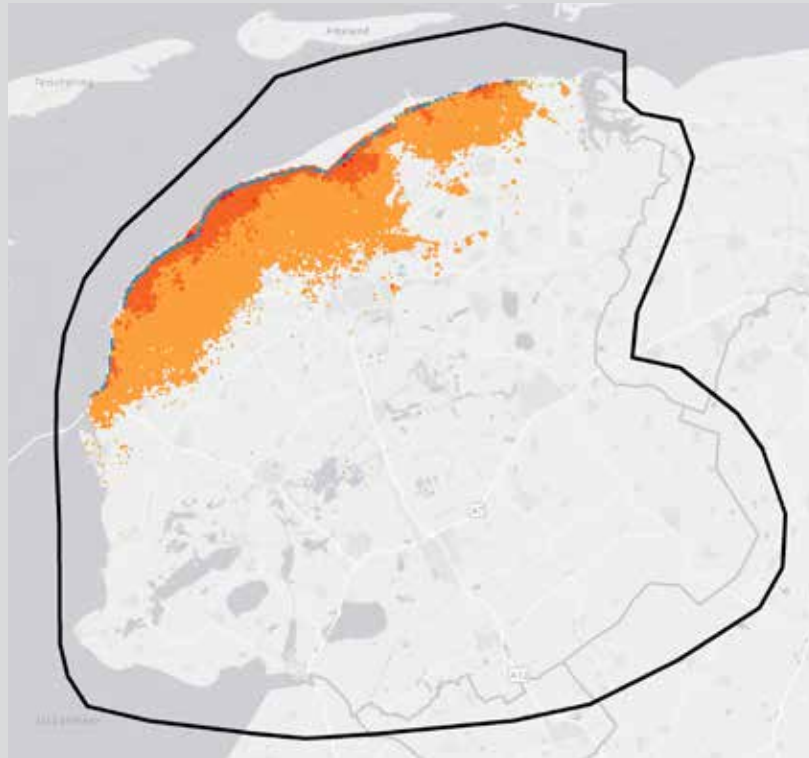


Met het grondwatermodel is uitgerekend wat het effect is van het toepassen van deze nieuwe techniek voor Fryslân. Modelmatig is de gehele Friese kustlijn langs de Waddenzee voorzien van verticale drainage. Het betreft een lengte van ongeveer 70 kilometer met om de 100 meter een verticale drain.

De modelresultaten zijn veelbelovend. De verzilting is significant minder dan bij autonome ontwikkeling. Op kaart 7.5 is duidelijk te zien dat de hoeveelheid zoute kwel afneemt ten opzichte van de autonome ontwikkeling tot 2085. Nadeel is wel dat er door deze maatregelen meer zout grondwater wordt aangetrokken en moet worden afgevoerd, zo'n 13 miljoen m<sup>3</sup> per jaar.

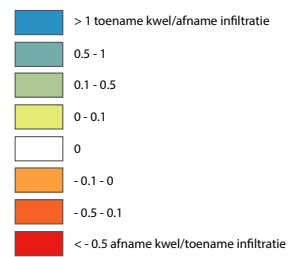
Kaart 7.6 geeft aan dat ten opzichte van de autonome ontwikkeling tot 2100 er verzoeting in plaats van verzilting optreedt in het gebied achter de Friese kust. Deze berekeningen zijn uitgevoerd met het grondwaterkwaliteitsmodel.

KAART 7.5 Afname (zoute) kwel ten opzichte van de autonome ontwikkeling in 2085 door het toepassen van verticale drainage direct achter de kustlijn langs de Waddenzee.

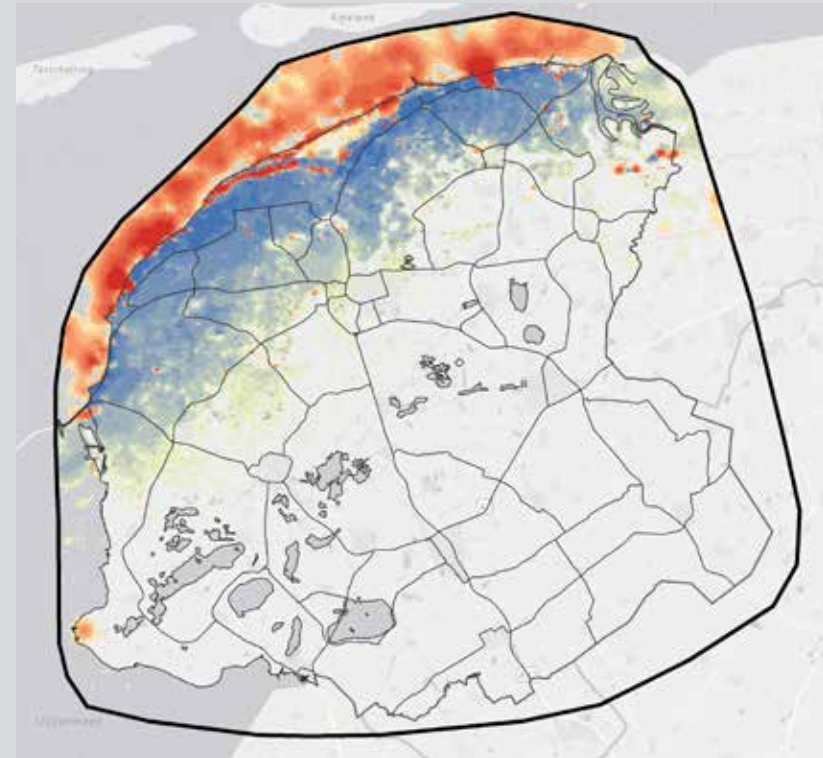


**Legenda**

Kwelverandering (mm/d)

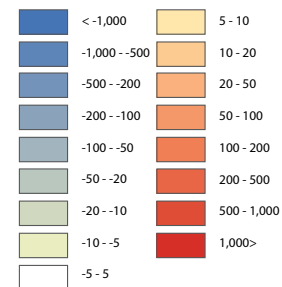


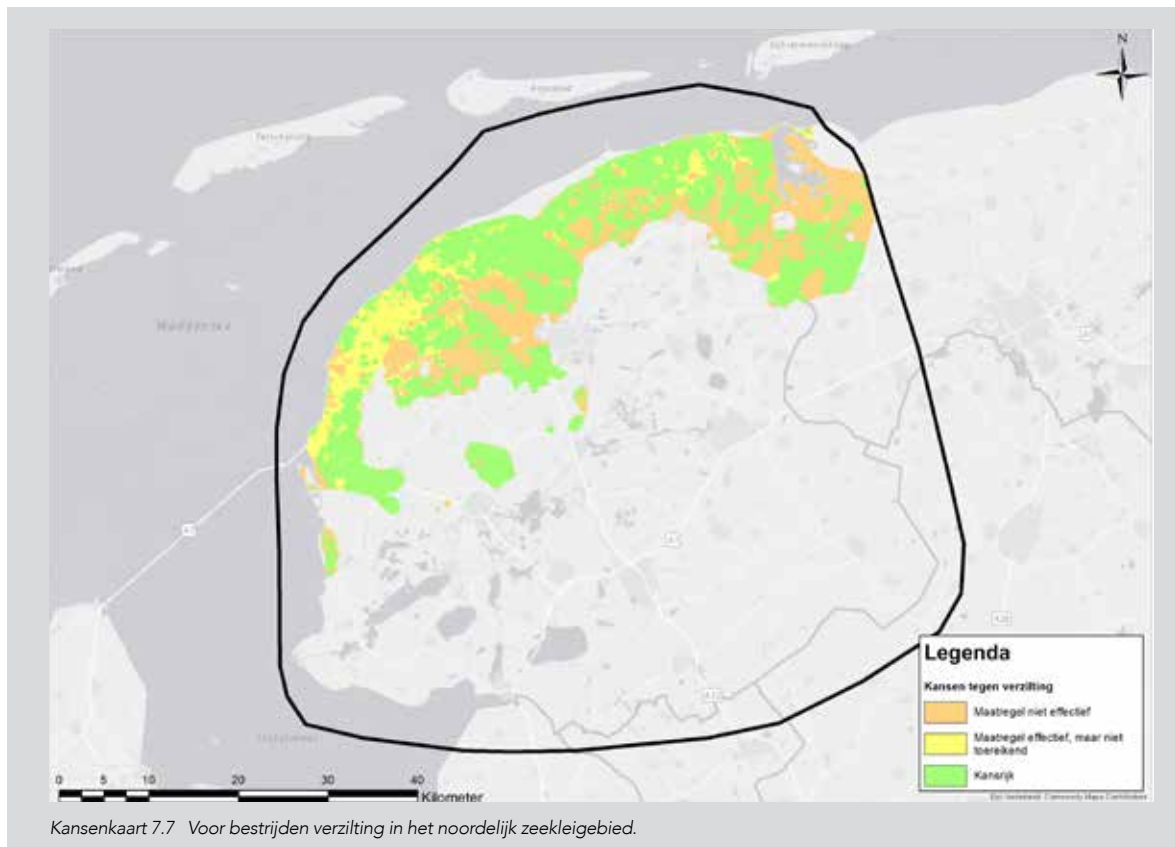
KAART 7.6 Afname van het chloridegehalte van het ondiepe grondwater in 2010 op het vaste land achter de Waddenzeedijk.



**Legenda**

verschil in concentratie Cl (mg/L)





## 7.5 Kanskaart

Op basis van de rekenresultaten zijn er in het akkerbouwgebied direct achter de Waddenzeedijk verschillende mogelijkheden om de toekomstige verzilting af te remmen. De komende decennia kunnen diverse maatregelen worden toegepast. De kanskaart geeft aan waar een combinatie van antiverziltingsdrainage en meestijgen met de zeespiegelstijging effectief is.

Berekeningen tonen echter ook aan dat op de lange termijn (na 2100) en bij een toenemende zeespiegelstijging de verzilting uiteindelijk toch doorgaat. Op lange termijn zullen de doorgerekende technische maatregelen waarschijnlijk dus onvoldoende uitkomst bieden.







*Noarderleech bij Hallum, Bûtendyks*



## 8. Friese boezem

De Friese boezem bestaat uit een uitgebreid stelsel van vaarten, kanalen en meren globaal tussen Stavoren en Dokkumer Nieuwe Zijlen. Dit boezemsysteem heeft in totaal een oppervlakte van ongeveer 15.000 hectare.

### 8.1 Geschiedenis

Vroeger was de boezem vele malen groter dan nu. Geschat wordt dat rond 1800 de boezem nog een omvang had van circa 100.000 hectare (Ter Haar en Polhuis, 2004). Een groot deel hiervan bestond uit zogenaamde boezemlanden (Bûtlân).

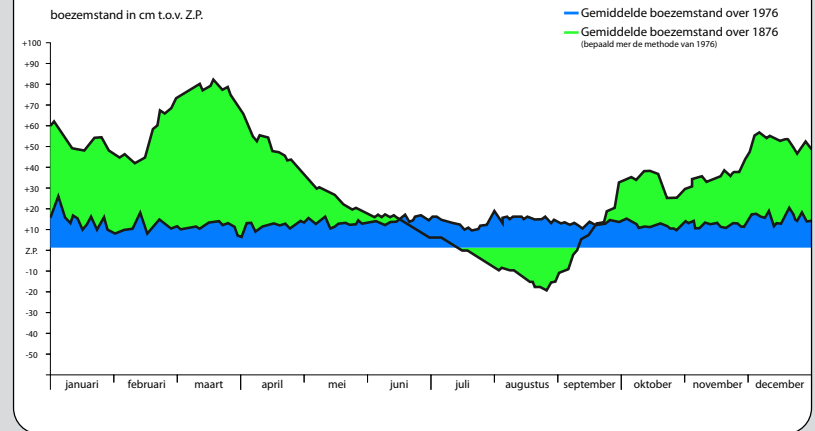


**Bûtlân** of **boezemland** is de benaming voor laaggelegen land grenzend aan het boezemwater. Bij een hoge waterstand op de boezem kan het fungeren als ruimte voor extra waterberging.

Bij hoogwater stroomden deze boezemlanden regelmatig over en kon er dus veel boezemwater worden opgevangen. In de afgelopen twee eeuwen is een groot deel van dit buitendijkse land ingepolderd. Er resteert nu nog 3.000 hectare bûtlân. Daarmee is ook de **bergingscapaciteit** van de Friese boezem in de afgelopen twee honderd jaar flink afgenomen.

Het waterpeil van de boezem fluctueerde vroeger veel meer dan tegenwoordig (zie figuur 1). Door de bouw van twee grote boezemgemaal en met de aanleg van nieuwe zeesluizen wordt het vastgestelde boezempeil tegenwoordig veel beter gehandhaafd.

### Gemiddelde boezemstand



Figuur 1 De gemiddelde boezemwaterstand vroeger (1876) en nu.

### 8.2 Huidige situatie

De Friese boezem heeft niet alleen een aan- en afvoerfunctie van water, maar is ook van belang voor bijvoorbeeld de waterrecreatie, de beroepsvaart en de natuur in Fryslân.

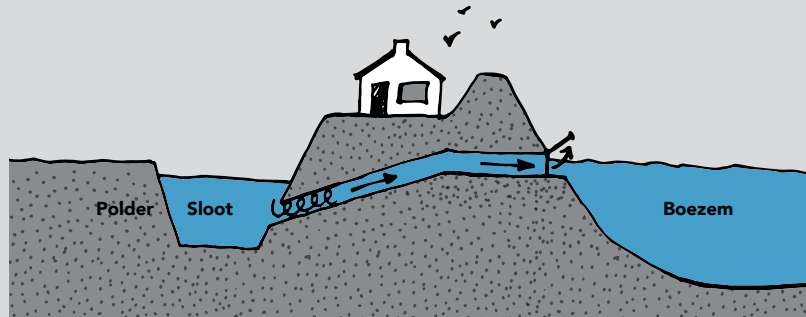
Het huidige boezempeil is 0,52 m onder **NAP**. Dit peil is aanzienlijk hoger dan het peil in de meeste (veen)polders. Op locaties met veel boezemwater, zoals in de Friese meren, wordt de grondwaterstand mede beïnvloed door het boezempeil.

### Hoe werkt een boezemsysteem?

Met behulp van gemalen wordt het water uit de polders op de boezem geloosd. De peilen in de polders zijn dus lager dan het boezempeil. Het zandgebied van de provincie Fryslân vormt hierop een uitzondering. Dit gebied ligt hoger waardoor het water vrij kan afstromen naar de boezem. Om de boezem te ontlasten van piekafvoeren vanaf het zandgebied is het vasthouden en bergen van (grond)water op de hogere zandgronden dus een effectieve maatregel.

Bij eb wordt het water van de Friese boezem, onder andere via het Lauwersmeer, onder vrij verval gespuid op de Waddenzee. Door de stijgende zeespiegel wordt dat in de toekomst steeds lastiger en komt er een moment dat dit niet meer mogelijk is.

Naast spuien op de zee kan het boezemwater ook naar het IJsselmeer worden gepompt middels het Hooglandgemaal bij Stavoren en het Wouda(stoom)gemaal bij Lemmer.



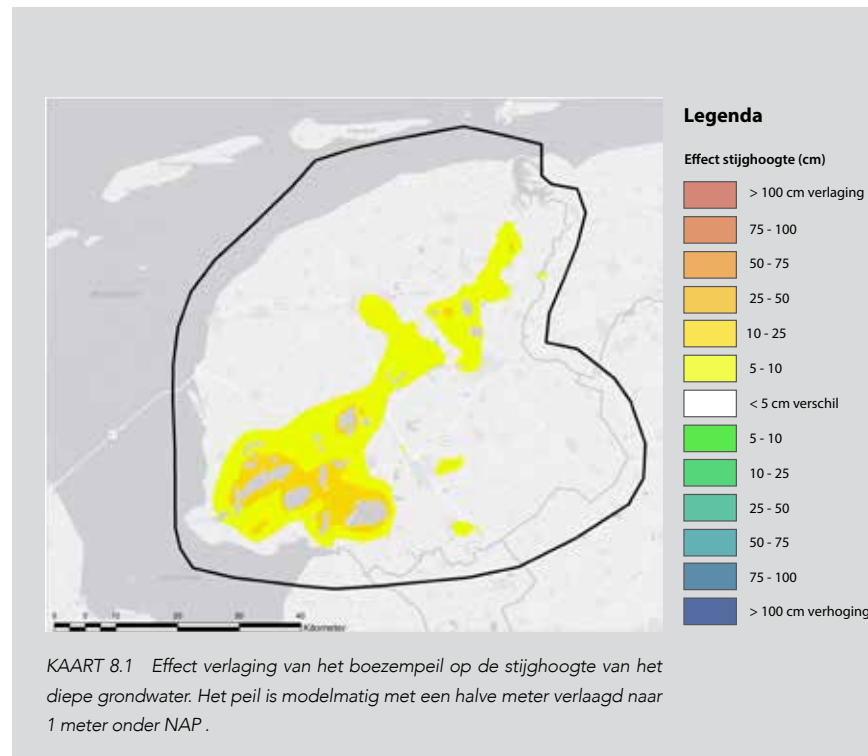
### 8.3 Autonome ontwikkeling

Voor het doorrekenen van de autonome ontwikkeling is uitgegaan van het huidige boezempeil en de huidige oppervlakte van de boezem. Het peil van de boezem is voor het berekenen van de toekomstige situatie dus niet veranderd.

*Ik gaf de wolken aan de lucht terug  
Er was geen wind het stormde  
langs de hekken van de vaart het was doodstil*

*Kees 't Hart - Uit; Wandeling*





## 8.4 Uitgevoerde modelberekeningen

Voor het boezemsysteem zijn verschillende maatregelen doorgerekend.

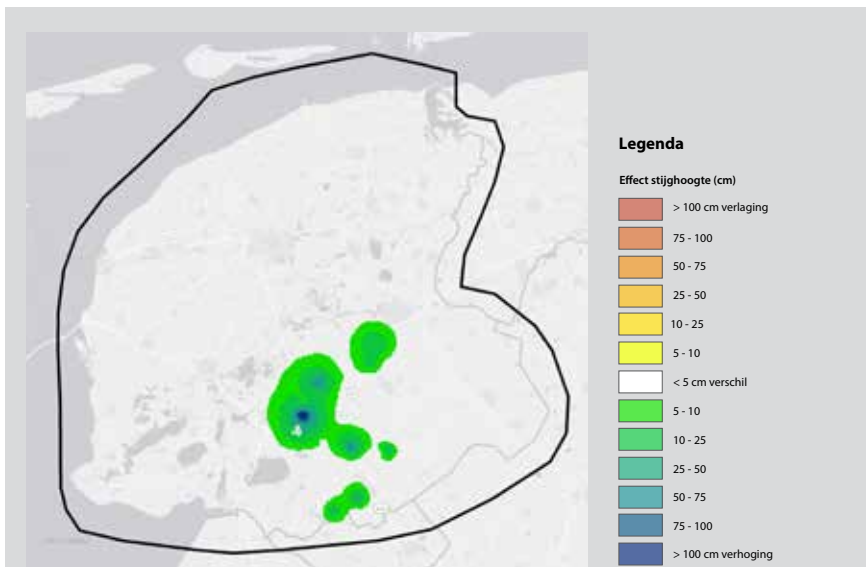
### Maatregel verhogen en verlagen boezempeil

Om de invloed van de boezem op het grondwatersysteem te kunnen bepalen zijn een tweetal scenario's doorgerekend waarbij het peil van de Friese boezem respectievelijk met 50 cm is verhoogd (tot 0 meter NAP) en met 50 cm is verlaagd (tot 1 meter onder NAP). Op kaart 8.1 is te zien wat een verlaging van het Friese **boezempeil** naar 1 m onder NAP voor effect heeft op het diepe grondwatersysteem. Het verhogen van het boezempeil heeft een vergelijkbaar effect, maar dan omgekeerd.

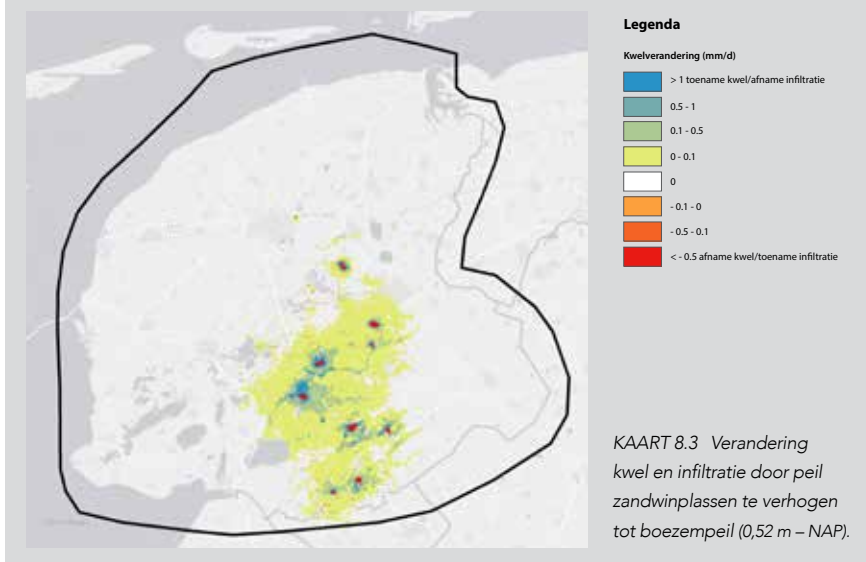
Duidelijk is dat met name rond de Friese meren in het zuidwesten van Fryslân, het boezempeil van invloed is op de **stijghoogte** (grondwaterdruk) van diepe grondwatersysteem.



Poldergemeal Ringwiel tussen Oudega (FM) en Gaastmeer



KAART 8.2 Effect verhogen peilen zandwinplassen tot boezemniveau op het diepe grondwater.

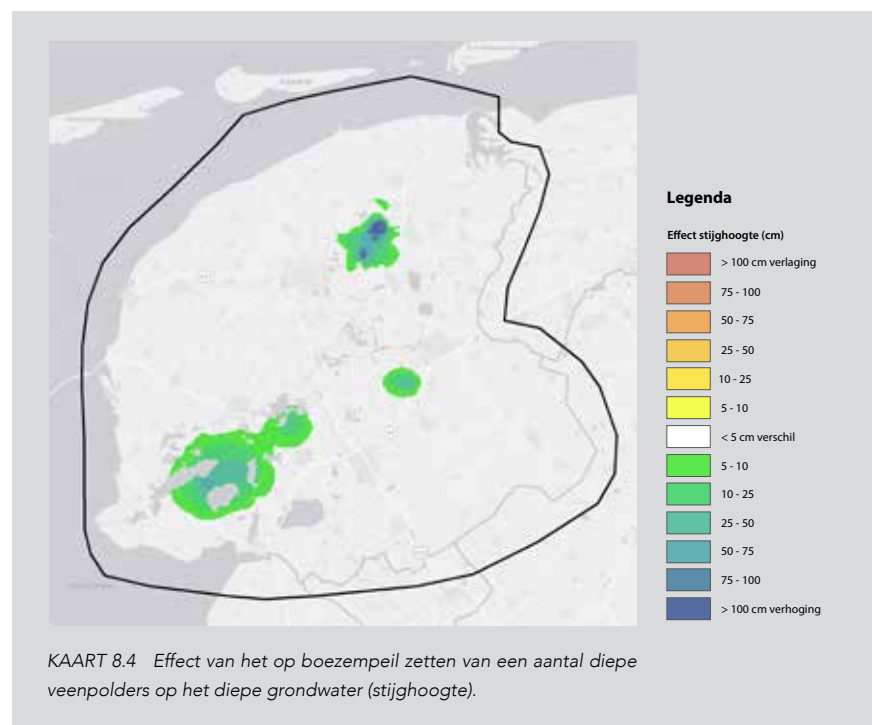


KAART 8.3 Verandering kwel en infiltratie door peil zandwinplassen te verhogen tot boezempeil (0,52 m – NAP).

### Maatregel huidige zandwinplassen op boezempeil zetten

In het veengebied van Fryslân liggen verschillende **zandwinplassen**. Veel van deze plassen staan onder invloed van het polderpeil waardoor hier veel grondwater naar toestroomt. In dit scenario is het peil in deze plassen verhoogd tot boezemniveau. Hierdoor ontstaan dus wateren die hetzelfde peil hebben als de Friese meren.

De effecten van deze maatregel worden getoond op kaart 8.2. Het blijkt dat door het verhogen van het peil van de **zandwinplassen** naar boezemniveau de **stijghoogte** van het diepe grondwater wordt verhoogd. Met name nabij natuurgebieden kan dit een effectieve maatregel zijn om de verdroging te verminderen. De plassen trekken namelijk geen grondwater meer aan (**kwel**), maar gaan juist water **infiltreren** richting het diepere grondwater (zie kaart 8.3).



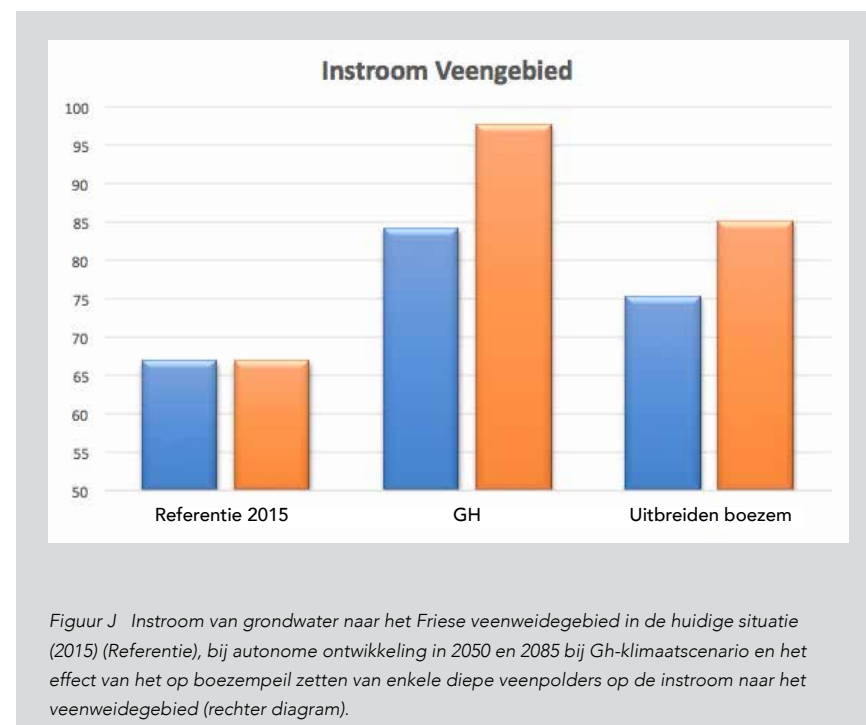
### Maatregel lage veenpolders op boezempeil zetten

Om wateroverlast door klimaatverandering te voorkomen heeft Wetterskip Fryslân een opgave om het boezemsysteem tot het jaar 2035 nog uit te breiden met 600 hectare.

Het kan uit strategisch oogpunt interessant zijn om deze uitbreiding op locaties te doen waar dit een meerwaarde kan hebben voor het grondwatersysteem. Daarmee kan zowel het beheer van het oppervlaktewater als het grondwater worden geoptimaliseerd. Daarom is onderzocht wat het effect is van het op boezempeil zetten van een aantal diepe kwelpolders. Het gaat daarbij om polders die in potentie veel zout grondwater kunnen aantrekken.

De geselecteerde polders bevinden zich vooral op de overgang van het veengebied naar het zeeleigebied. De gedachte hierbij is om een waterbuffer te creëren tussen het zoute en zoete grondwater.

In dit scenario is het peil in deze polders verhoogd tot boezempeil. De effecten van deze maatregel op het diepere grondwater (stijghoogte) zijn te zien op kaart 8.4.



Opvallend is dat deze berekende maatregel niet veel effect heeft op de ondiepe grondwaterstand (GHG en GLG) rondom deze onder water gezette polders, maar dat er wel veel effecten zijn op het diepere grondwater (de stijghoogte). In die zin is deze maatregel vergelijkbaar met het verhogen of verlagen van de peilen van de Friese boezem en het op boezempeil zetten van diverse zandwinplassen in het veengebied. Ook deze twee maatregelen hadden vooral veel invloed op het diepe grondwater (de stijghoogte).

Kortom: met het uitbreiden van de Friese boezem in lage veenpolders wordt met name de stijghoogte van het diepe grondwater beïnvloed. Daardoor heeft deze maatregel ook invloed op de toestroom van de hoeveelheid grondwater naar het veengebied. In figuur J is te zien dat door deze maatregel de instroom van grondwater naar het veengebied minder toeneemt dan bij autonome ontwikkeling.





# 9. IJsselmeer en Lauwersmeer

*Fryslân ligt aan twee zoetwatermeren: het IJsselmeer in het zuidwesten en het Lauwersmeer in het noordoosten. Beide meren hebben veel overeenkomsten. In het verleden hadden deze wateren een open verbinding met de Waddenzee. In 1932 werd de Zuiderzee afgesloten door de Afsluitdijk; het IJsselmeer was ontstaan. Een kleine 40 jaar later gebeurde hetzelfde met de Lauwerszee. Door afdamming ontstond in 1969 het Lauwersmeer.*

## 9.1 Huidige situatie



Het IJsselmeer heeft een oppervlakte van ruim 110.000 hectare. Hiervan heeft het Friese deel een oppervlakte van circa 45.000 hectare. Het Lauwersmeer heeft een wateroppervlakte van 2.400 hectare.

Zowel het IJsselmeer als het Lauwersmeer zijn van groot belang voor de natuur (Natura 2000-gebieden) en de (water)recreatie. Daarnaast zijn deze meren van grote betekenis voor het waterbeheer. Het IJsselmeer is dé grote zoetwatervoorraad voor de noordelijke helft van Nederland. Het Lauwersmeer is van belang voor de berging en de afvoer van water vanuit de Groninger en Friese boezem.



### Natura 2000

Planten en dieren laten zich niet tegenhouden door landsgrenzen. Natura 2000 richt zich daarom op het behoud en de ontwikkeling van gebieden in heel Europa. Natura 2000 is de overkoepelende naam voor gebieden die worden beschermd vanuit de Vogel- en Habitatrichtlijn. Volgens deze Europese richtlijnen moeten lidstaten specifieke diersoorten en hun natuurlijke leefomgeving (habitat) beschermen om de biodiversiteit te behouden.

Bron: <https://www.synbiosys.alterra.nl/natura2000/gebiedendatabase.aspx?main=natura2000&subj=n2k>



Beide meren worden vanuit het zuiden gevoed met zoet (rivier)water. Het IJsselmeer met name vanuit de IJssel, maar ook vanuit andere watersystemen zoals de Overijsselse Vecht. Het Lauwersmeer wordt gevoed vanuit het Reitdiep, de Lauwers en de Dokkumer Ee. De Groninger boezem en de Friese boezem voeren langs deze weg (een deel van) het water af naar zee.

Beide meren hebben een zomer- en winterpeil onder NAP, dat is dus lager dan het gemiddelde zeeniveau. Toch hebben beide meren geen gemalen. Er wordt gebruik gemaakt van het tij. Alleen bij laag water (eb) op de Waddenzee gaan de sluizen open en wordt het water geloosd op de Waddenzee. Op die manier wordt op het Lauwersmeer een zomer- en winterpeil gehanteerd van resp. 0,83 m en 0,93 m - NAP, en op het IJsselmeer van resp. 0,20 en 0,40 m - NAP.

Omdat het IJsselmeer en het Lauwersmeer sinds de afdamming niet meer in contact staan met het zoute zeewater zijn beide meren verzoet. Wel is sprake van zoute dijkkwel vanaf de Waddenzee. In de ondergrond onder de meren bevinden zich nog grote voorraden zout grondwater.

Het IJsselmeerpeil is hoger dan de peilen in de polders op het vaste land in Fryslân. Dit betekent dat er een risico bestaat van ondergrondse instroom van zout grondwater richting deze polders.

Vanaf de hoger gelegen stuwwallen van Gaasterland en door de aantrekkende werking van de Noordoostpolder op het grondwater stroomt langs de zuidkust circa 10 miljoen m<sup>3</sup>/jaar richting het IJsselmeer. Maar bij de Friese westkust stroomt juist ruim 19 miljoen m<sup>3</sup>/jaar grondwater richting het vaste land. Jaarlijks stroomt er dus

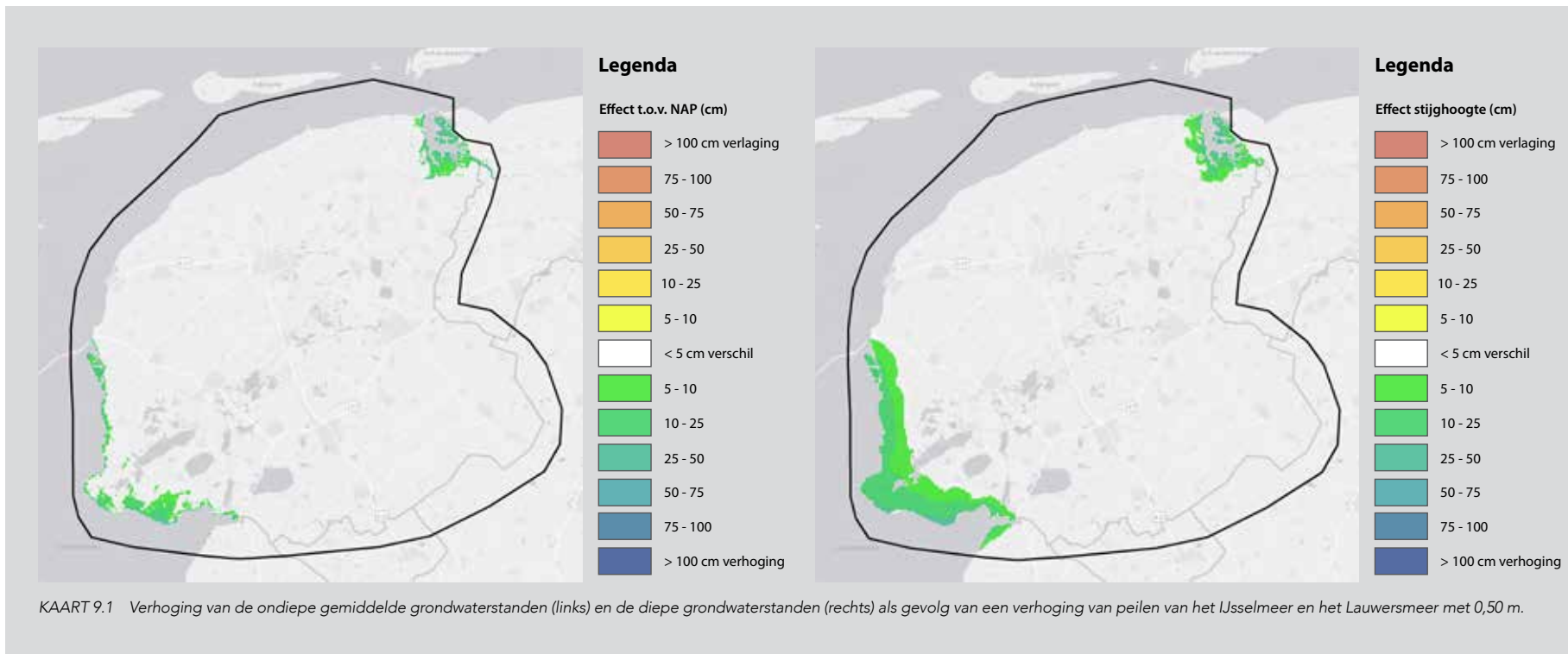
bijna 10 miljoen m<sup>3</sup> meer grondwater het vaste land in dan er richting het IJsselmeer uitstroomt.

Voor het Lauwersmeer is er geen grondwaterbalans berekend. Maar vanwege een kleinere grens en een lager peil in het Lauwersmeer dan in het IJsselmeer, is de verwachting dat het om een kleinere hoeveelheid gaat. Overigens is vanwege het lage peil in het Lauwersmeer ten opzichte van de Waddenzee ook hier een mate van verzilting te verwachten.

## 9.2 Toekomstige ontwikkelingen

Bij autonome ontwikkeling en volgens het Gh-klimaatscenario neemt in de toekomst de instroom van grondwater vanuit het IJsselmeer naar het vaste land van Fryslân toe van 10 naar 13 miljoen m<sup>3</sup>/jaar in 2050 en naar 14 miljoen m<sup>3</sup>/jaar in 2085.

Of in de toekomst de huidige peilen te handhaven zijn, is twijfelachtig. Met het stijgen van de zeespiegel zal het steeds moeilijker worden om onder vrij verval te blijven lozen zonder de peilen in de meren te verhogen. Bij de huidige peilen is dat in de toekomst alleen mogelijk indien er (grote) gemalen worden gebouwd om het water kunstmatig weg te pompen. Voor het IJsselmeer zijn inmiddels plannen ontwikkeld om die gemalen te gaan bouwen.

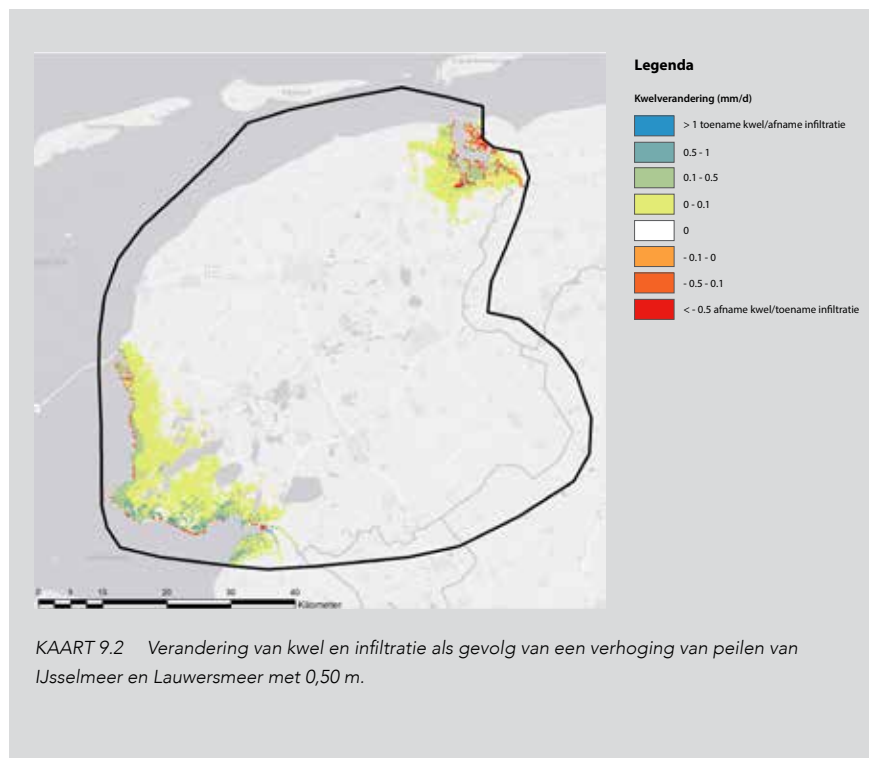


### 9.3 Doorgerkende maatregelen

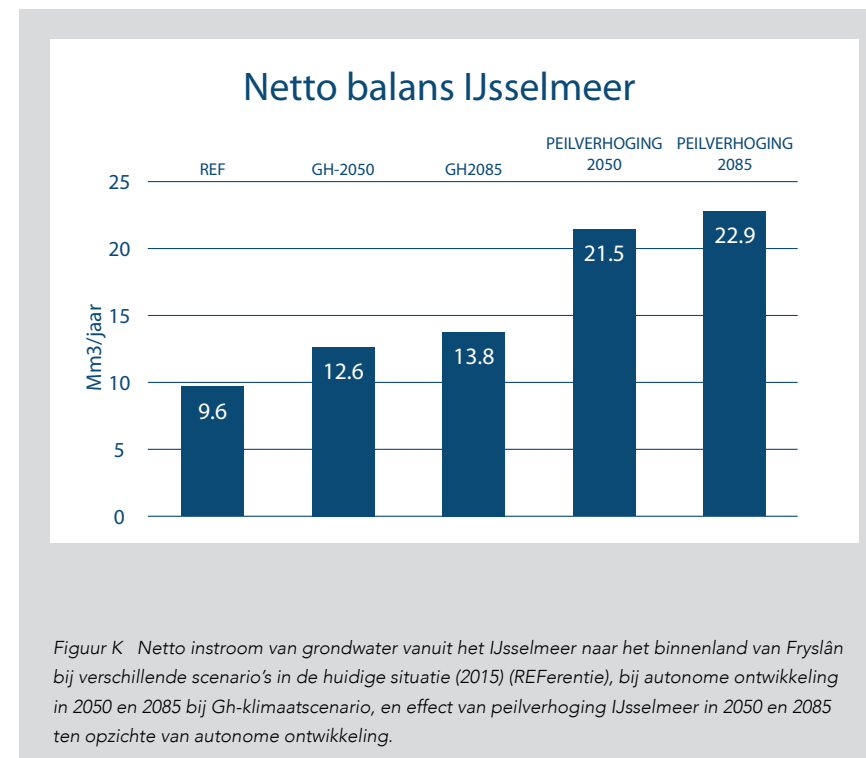
Het is denkbaar dat er in de toekomst een discussie gaat worden gevoerd of de peilen in beide meren niet verhoogd moeten worden, zodat de bouw van gemalen uitgesteld kan worden. Om te begrijpen wat dit betekent voor het grondwater is in één berekening doorgerkend wat het effect is als in beide meren het peil gedurende het hele jaar 50 cm hoger wordt dan nu het geval is.

Een peilverhoging van de beide meren straalt in het ondiepe grondwater maar in een beperkte mate uit naar de omgeving (zie kaart 9.1 links). De (onveranderde) slootpeilen zorgen ervoor dat kort achter de dijk de grondwaterstanden weer op het zelfde niveau blijven als voor de peilverhoging. Ook de hoge weerstand van de kleibodem draagt ertoe bij dat de

peilverhoging op het IJsselmeer en het Lauwersmeer nauwelijks invloed heeft op het ondiepe grondwater. In het diepe grondwater reikt de uitstraling van de peilverhoging wat verder landinwaarts dan bij het ondiepe grondwater. Dat komt omdat het effect van de slootpeilen op een diepte van 100 meter wordt uitgevlakt en doordat de bodem hier beter doorlatend is.



De hoeveelheid kwel naar de polders neemt enigszins toe, zoals ook te zien is in bovenstaande kaart 9.2. Ook is te zien dat door de peilverhoging het Lauwersmeer op veel plekken meer gaat infiltreren (rode kleur).



In bovenstaande figuur K is de instroom van grondwater naar het IJsselmeer weergegeven bij verschillende scenario's.

We zien dat bij een autonome ontwikkeling volgens het Gh-klimaatsscenario de instroom toeneemt van 10 naar 13 mln. m<sup>3</sup>/jaar in 2050 en 14 mln m<sup>3</sup>/jaar in 2085. Bij een peilverhoging met 0,50 m van het IJsselmeer komt hier ruim 9 mln. m<sup>3</sup>/jaar bij. Een aanzienlijk deel van dit water zal hoge concentraties chloride bevatten (zout grondwater).

Voor het Lauwersmeer zijn deze hoeveelheden niet gekwantificeerd.



# 10. Waddeneilanden

Op de overgang van de Waddenzee naar de Noordzee bevinden zich de vier Friese Waddeneilanden.

## 10.1 Geschiedenis

Geologisch gezien zijn de Waddeneilanden nog relatief jong. Ongeveer 6.000 jaar geleden lag de zeespiegel nog 5 meter lager dan het huidige zeeniveau. Door vloedstromen ontstond een lange rij zandbanken, een zogenaamde strandwal. Tussen 3.500 en 750 jaar v. Chr. lagen er in het noorden twee lange **strandwallen**. De westelijke strandwal liep van Alkmaar tot Vlieland, de noordelijke van Terschelling naar Ameland. De strandwallen werden gescheiden door het Vlie, dat een verbinding vormde tussen Almere en de Noordzee.

Onder deze strandwallen begon het grondwater te verzoeten. Aan de landzijde van deze strandwallen werden moerassen gevormd en hier ontwikkelde zich hoogveen.



In de Middeleeuwen werden op de Waddeneilanden verschillende kwelders bedijkt. Hiermee ontstonden de huidige eilandpolders.

Het huidige Waddengebied was 2.000 jaar v.Chr. één groot veengebied. In de eeuwen daarna werd een deel van het achterliggende veen door de zee weggeslagen en vormden zich zandplaten en kwelders: de Waddenzee was ontstaan.



## 10.2 Huidige situatie

Kenmerkend voor de Waddeneilanden zijn de duingebieden die meters boven zeeniveau uittorenen. Op Vlieland is dat ruim 40 meter. Aan de zuidkant van de eilanden liggen op diverse plekken nog **kwelders**. Bij hoogwater staan deze kwelders onder water.

De vier Waddeneilanden zijn erg belangrijk voor de natuur. Van het totale landoppervlak heeft 80% een natuurbestemming. In totaal gaat het om 18.000 hectare natuur, Waddenzee en Noordzee niet meegerekend. Verder zijn de Waddeneilanden van grote betekenis voor recreatie en toerisme. Jaarlijks bezoeken ruim 1,5 miljoen toeristen de Friese Waddeneilanden.

De neerslag die op zandgronden van de duinen valt trekt de grond in (**infiltratie**). Hierdoor wordt het grondwater onder de duinen aangevuld met zoet water. Omdat zoet water een lager soortelijk gewicht heeft dan zout water, drijft het zoete grondwater als het ware op het zoute grondwater. Het zoete grondwater drukt het zoute grondwater weg naar de diepte, waardoor er onder de eilanden een zoetwaterbel is ontstaan.

Door de aanwezigheid van dit zoete grondwater is er op de Waddeneilanden drinkwater beschikbaar en landbouw mogelijk. Dit grondwater is ook van belang voor de natuur. Op diverse plekken op de Waddeneilanden komen duinvalleien voor met een grondwaterafhankelijke vegetatie. Hier staan planten als parnassia, moeraswespenorchis, wintergroen, gagel en Amerikaanse veenbes (cranberry op Vlieland en Terschelling). Ook langs de binnenduinrand komen op sommige plekken grondwaterafhankelijke vegetaties voor.



Drinkwaterzuiveringsgebouw Vlieland.

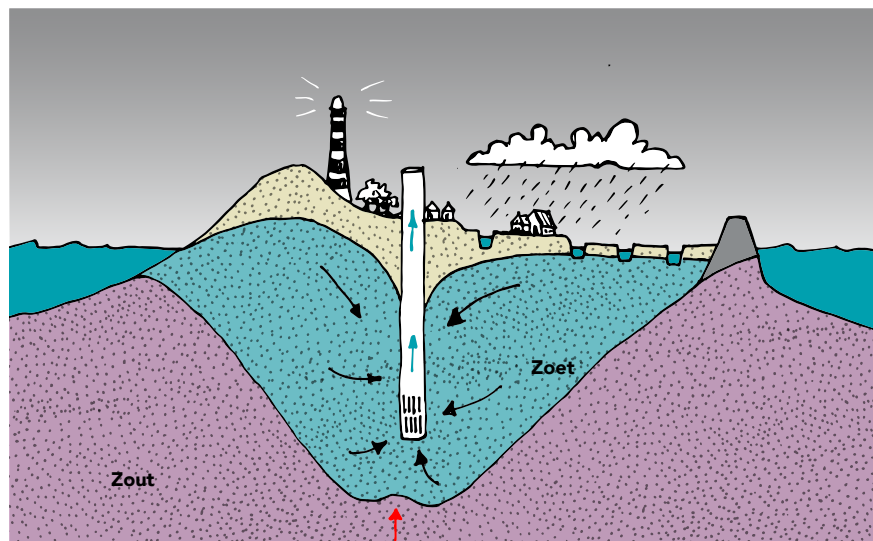
Qua grondwatersysteem zijn alle vier de Friese eilanden geïsoleerde watersystemen: een stabiele, opbollende zoetwaterbel, aan de onderkant ingesloten door zout grondwater.

Ook op de eilanden is in de loop van de vorige eeuw een openbare drinkwatervoorziening tot stand gebracht. Op zich wonen er niet zo veel mensen op de eilanden. Vlieland en Schiermonnikoog tellen slechts ca. 1.000 vaste bewoners. Maar er komen wel veel toeristen. De drinkwatervraag kent hierdoor in het toeristisch hoogseizoen een veel grotere piekfactor dan op het vasteland.

Voor het drinkwater wordt opgepompt grondwater als bron gebruikt. Omdat in vergelijking met het vasteland het zoute grondwater nog dichterbij is, is verzilting van het drinkwater op de eilanden een reëel risico.



Vlieland en Schiermonnikoog zijn zelfvoorzienend qua drinkwater.  
Voor Ameland en Terschelling wordt ook drinkwater vanaf het vasteland aangevoerd  
via de Wadleiding.



Zoet en zout grondwater waddeneiland met drinkwaterwinning.

### 10.3 Toekomstige ontwikkelingen

Alhoewel in het kader van de Grondwaterstudie Fryslân geen berekeningen zijn uitgevoerd voor de afzonderlijke Waddeneilanden is uit eerdere studies bekend dat verzilting van het grondwater hier een reële bedreiging is. Net als bij de kuststreek van het vaste land van Fryslân zal door stijging van de zeespiegel er meer zout grondwater naar de eilandpolders stromen. Bij gelijkblijvend polderpeil zal de zoet – zoutgrens ondieper komen te liggen. De maatregel ‘Meestijgen met de zeespiegel’ is een mogelijkheid om verdere verzilting tegen te gaan.

In 2018 heeft Deltares een rapport gepresenteerd over de mogelijk effecten van versnelde zeespiegelstijging op ons land (Deltares, 2018). Voor de Waddeneilanden heeft Deltares berekend dat de zeespiegelstijging een negatief effect heeft op de zoetwatervoorraden onder de duinen. Volgens het rapport gaan de zoetwatervoorraden geleidelijk afnemen. Op lange termijn, na het jaar 2200, verdwijnen alle zoetwaterlenzen die op dit moment een dikte hebben van 60 tot 80 meter. De zoetwaterlenzen onder de duinen op de Waddeneilanden hebben ook deze dikte. Het betekent dat de zoetwaterlenzen op lange termijn niet meer kunnen worden ingezet voor de drinkwatervoorziening.

Net als op het vasteland van Fryslân, zal door toenemende neerslag en verdamping ook op de Waddeneilanden de grondwaterstand meer gaan fluctueren.

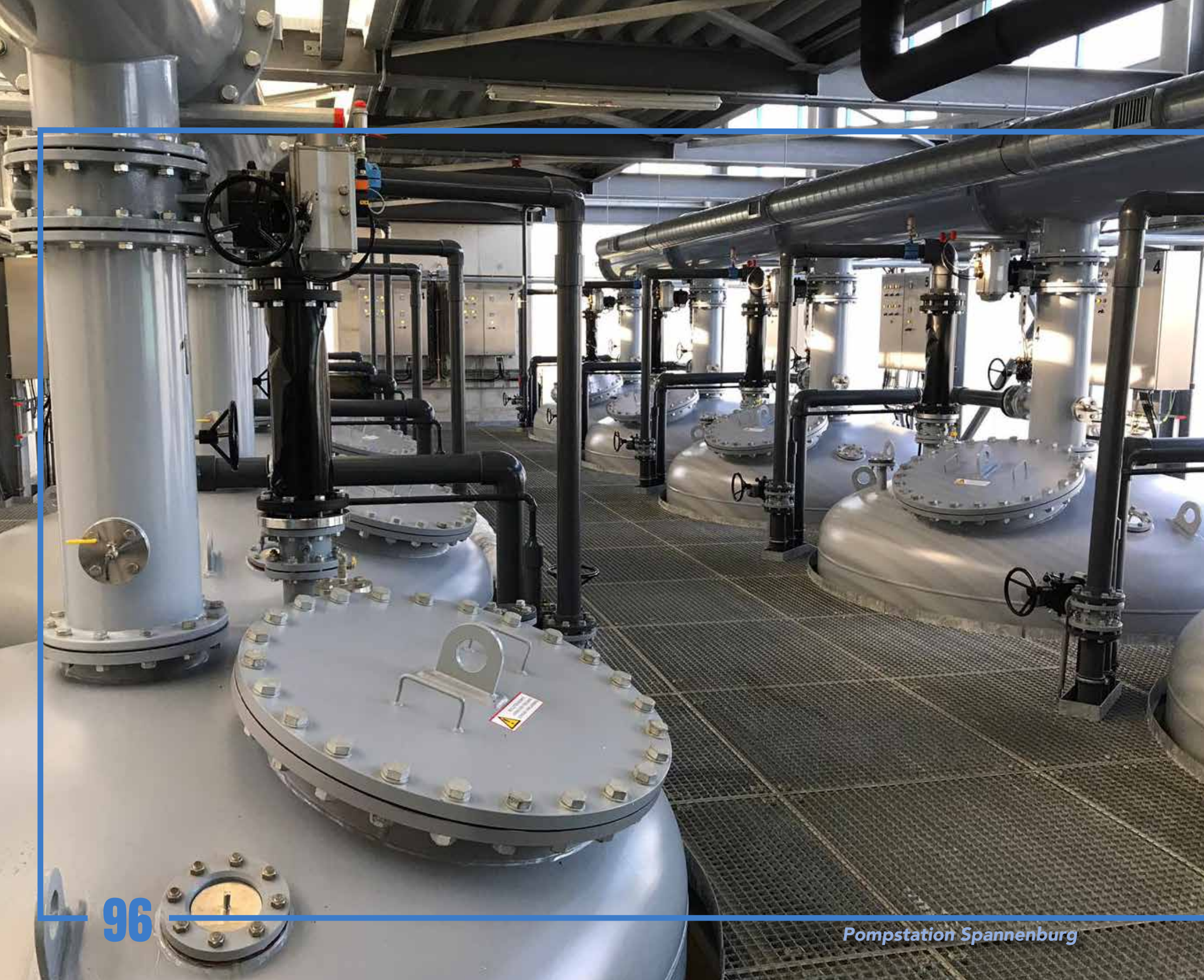
In de winter treden daardoor hogere grondwaterstanden op dan nu, terwijl in de zomer de grondwaterstanden juist dieper zullen uitzakken. In de zomermaanden wordt het dus droger. Dit kan een toename van droogteschade en verdroging veroorzaken. Bovendien hebben de Waddeneilanden, in tegenstelling tot het vaste land van Fryslân, geen mogelijkheid tot aanvoer van zoet oppervlaktewater (zoals uit het IJsselmeer). Dat maakt deze eilanden extra kwetsbaar voor droogte.

### **Salt Spray**

Ook op de Waddeneilanden wordt regelmatig onderzoek gedaan naar de chemische samenstelling van het grondwater. Wat daarbij opviel was dat juist onder bospercelen de chlorideconcentratie hoger was dan gemiddeld. In meerdere meetpunten lag de chlorideconcentratie rond de drinkwaternorm, in meerdere meetpunten er zelfs erboven. Na enig literatuuronderzoek bleek dit fenomeen al bekend te zijn en benoemd onder de term 'Salt Spray'.

Een harde zeewind voert kleine zoutwater-druppeltjes mee het land op, zeker als er ruige golven zijn. Die druppeltjes komen neer op alle voorwerpen die ze tegenkomen. Bomen hebben een groot oppervlak, meer dan gras of open zand. Op de bladeren of naalden van de bomen komen dus meer kleine druppeltjes terecht dan op grassprietten. Als het daarna gaat regenen, spoelt dat zout er van af en infiltreert met het regenwater mee naar het grondwater.

(Kok, 2007)





# 11. Grondwaterwinningen voor drinkwatervoorziening

*Grondwater is de bron voor ons drinkwater in Fryslân. Veranderingen in het Friese grondwatersysteem kunnen daarom ook invloed hebben op de drinkwatervoorziening.*

## 11.1 Geschiedenis

Tot ver in de 19de eeuw werd door particuliere (regen)waterputten in drinkwater voorzien. Deze werden gevuld door regenwater vanaf de daken, grondwater of direct uit het oppervlaktewater. Voor de openbare voorziening waren in de steden pompen beschikbaar, waarmee water uit het (ondiepe)grondwater werd gepompt. Vooral in de steden traden in droge zomers tekorten op, wanneer de regenwaterputten leeg raakten en het oppervlaktewater verziltte en vervuilde. Cholera kwam dan ook met enige regelmaat voor.

Vanwege aanhoudende problemen met de kwaliteit van het drinkwater in Leeuwarden komt een openbare drinkwatervoorziening in beeld. In 1884 stemt de gemeenteraad van Leeuwarden in met het leveren van (oppervlakte)water uit het Pikmar bij Grou via een drinkwaterleiding naar Leeuwarden. Het droge jaar van 1921 gaf aanleiding tot oprichting van een bedrijf dat niet alleen de stad, maar ook omliggende gemeenten van drinkwater zou voorzien. Zodoende werd het drinkwaterbedrijf N.V. Intercommunale Waterleiding Gebied Leeuwarden (IWGL) opgericht. In 1925 startte een waterpompstation in Noardburgum voor de winning van grondwater.

De oppervlaktewaterwinning bij Grou werd bij de ingebruikname van het winstation in Noardburgum gestopt. Bij deze keuze speelde mee dat het oppervlaktewater in Fryslân een hoger chloridegehalte had dan nu het geval is, mede omdat het huidige IJsselmeer toen nog Zuiderzee was. Ook in Sneek en Heerenveen werden in deze periode waterleidingmaatschappijen opgericht. Door fusies ontstond in 1977 N.V. Waterleiding Friesland (WLF) die de gehele provincie van drinkwater voorzag. In 2002 fuseerden verschillende waterleidingmaatschappijen tot drinkwaterbedrijf Vitens.

De huidige verspreiding van drinkwaterwinningen is historisch gegroeid. De drinkwaterwinning bij Oldeholtpe de werd in 1939 ontwikkeld, Spannenburg in 1940 en Appelscha (Terwisscha) volgde in 1960. De drinkwatervoorziening op de Friese Waddeneilanden is in de jaren 50 van de vorige eeuw ontstaan. De winning van grondwater voor de drinkwatervoorziening nam in de periode 1944 tot heden toe van bijna 7 miljoen m<sup>3</sup>/per jaar tot ruim 50 miljoen m<sup>3</sup>/jaar.

Omdat steeds meer gebieden op de openbare drinkwatervoorziening waren aangesloten, was de productie op de winlocatie Noardburgum toegenomen tot ongeveer 25 miljoen m<sup>3</sup>/jaar. Vanwege het optreden van verzilting werd de waterwinning in Noardburgum in de jaren negentig verschoven naar Ritskebos en afgebouwd naar 8 miljoen m<sup>3</sup>/ jaar. Nieuwe drinkwaterwinlocaties bij Oudega, Nij Beets en Garyp moesten de verminderde winning in Noardburgum en de verdere groei van het drinkwaterverbruik opvangen. Helaas bleek ook de winning bij Garyp snel te verzilten waardoor er maar ongeveer de helft kan worden gewonnen van de hoeveelheid die in de jaren tachtig vergund is.

Vitens is tegenwoordig verantwoordelijk voor de drinkwatervoorziening in de provincies Utrecht, Gelderland, Overijssel, Flevoland en Fryslân en een klein gedeelte van Drenthe en Noord-Holland.





KAART 11.1 Ligging drinkwaterlocaties in Fryslân.

## 11.2 Beperkte zuivering

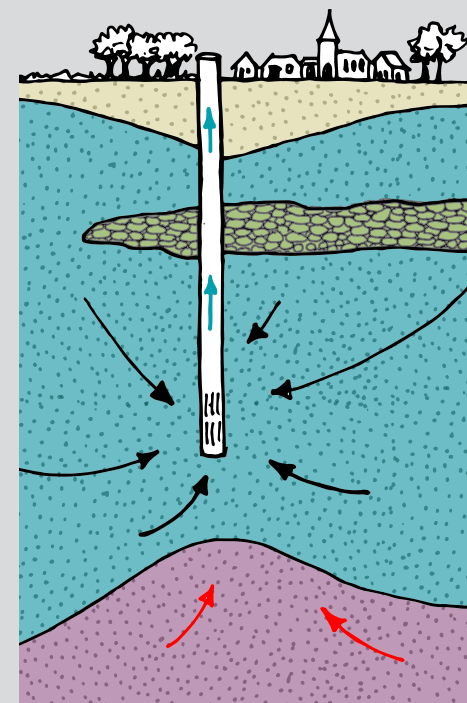
Diep grondwater is niet gelijk geschikt als drinkwater. Er is nog een beperkte zuivering nodig. Volgens de drinkwaternormen bevat het water van nature onder andere te hoge concentraties ijzer, ammonium en methaan. Met behulp van beluchting en zandfiltratie worden deze stoffen verwijderd. Ook de hardheid van het water (kalkconcentratie) is op de meeste locaties te hoog. Daarvoor zijn er onthardingsinstallaties in gebruik genomen. Vitens is verantwoordelijk voor de kwaliteit van het afgeleverde drinkwater. Daarom doet Vitens ook al vaak onderzoek naar de stoffen die in het grondwater zitten in de omgeving van hun winningen. Het opgepompte water in Fryslân bevat verder geen verontreinigingen.

### Wadleiding

De Waddeneilanden Vlieland en Schiermonnikoog zijn qua drinkwaterproductie zelfvoorzienend. Op Ameland en Terschelling wordt een deel van het drinkwater op het eiland zelf gewonnen, maar het meeste drinkwater wordt via de zogenaamde Wadleiding vanaf het vasteland van Fryslân aangevoerd naar deze twee eilanden. Drinkwaterwinning Noardburgum voorziet Ameland van drinkwater. Terschelling ontvangt via de Wadleiding drinkwater van productielocatie Spanneburg.

### Hoe werkt een drinkwaterwinning?

Een winlocatie bestaat uit meerdere pompputten. Een winput is een diepe buis in de grond. Op de diepte waar het water aan de zandige bodem onttrokken moet worden is deze buis voorzien van een perforatie. In Fryslân is dat meestal op circa 60 tot 120 meter diepte. In de buis hangt een pomp die het water oppompt, waardoor het grondwater door de openingen toe komt stromen. Dit veroorzaakt een verlaging van de druk in het grondwater en afhankelijk van de bodemopbouw ook een verlaging van de grondwaterstand in de omgeving van de buis. Als gevolg van de onttrekking stroomt het grondwater door de bodem naar de pompput toe. Als er in de omgeving van de pompput zout grondwater zit, kan dit worden aangetrokken wanneer er te veel water wordt opgepompt. Dit is in het verleden bij de grondwaterwinning Noardburgum gebeurd.





### 11.3 Toekomstige ontwikkelingen

De grondwaterwinning Terwisscha van Vitens ligt in Natura 2000-gebied en Nationaal Park Drents-Friese Wold nabij Appelscha. Bekend is dat deze winning een verlaging van de grondwaterstand veroorzaakt en daarmee verdroging van de grondwaterafhankelijke natuur in dit gebied. Samen met provincie Drenthe is er om die reden een bestuurlijke afspraak ondertekend om over een paar jaar de winning Terwisscha terug te brengen van 7,5 naar 3,25 miljoen m<sup>3</sup>/jaar.

Een deel van deze drinkwaterreductie moet worden opgevangen door het ontwikkelen van een nieuwe grondwaterwinning. Hiervoor vinden voorbereidingen plaats nabij het dorpje Luxwoude. De nieuwe winning Luxwoude moet ook voorzien in de toenemende vraag naar drinkwaterwinning vanuit de industrie.

Daarnaast werkt Vitens aan het ontwikkelen van een nieuwe winlocatie nabij de huidige drinkwaterwinning Nij Beets. Tot nu toe zijn er geen verziltingsproblemen bij de bestaande winning, maar helemaal zonder risico voor verzilting is de winning Nij Beets niet. Tenslotte wordt ook gewerkt aan een levering van jaarlijks 3 miljoen m<sup>3</sup>/jaar vanuit de provincie Drenthe.

In de modelberekeningen zijn de huidige winningen en hoeveelheden drinkwater als autonome ontwikkeling meegenomen. Omdat er aan de reductie van Terwisscha een bestuurlijk besluit ten grondslag ligt, is deze ook in de autonome ontwikkeling verwerkt.

*En dan, it wetter, wetter, wetter  
Hiettyd wer it wetter, wetter,  
It wetter, altyd wer it wetter.*

*Tjebbe Hettinga - Vit: De Wolken*

## 11.4 Uitgevoerde modelberekeningen

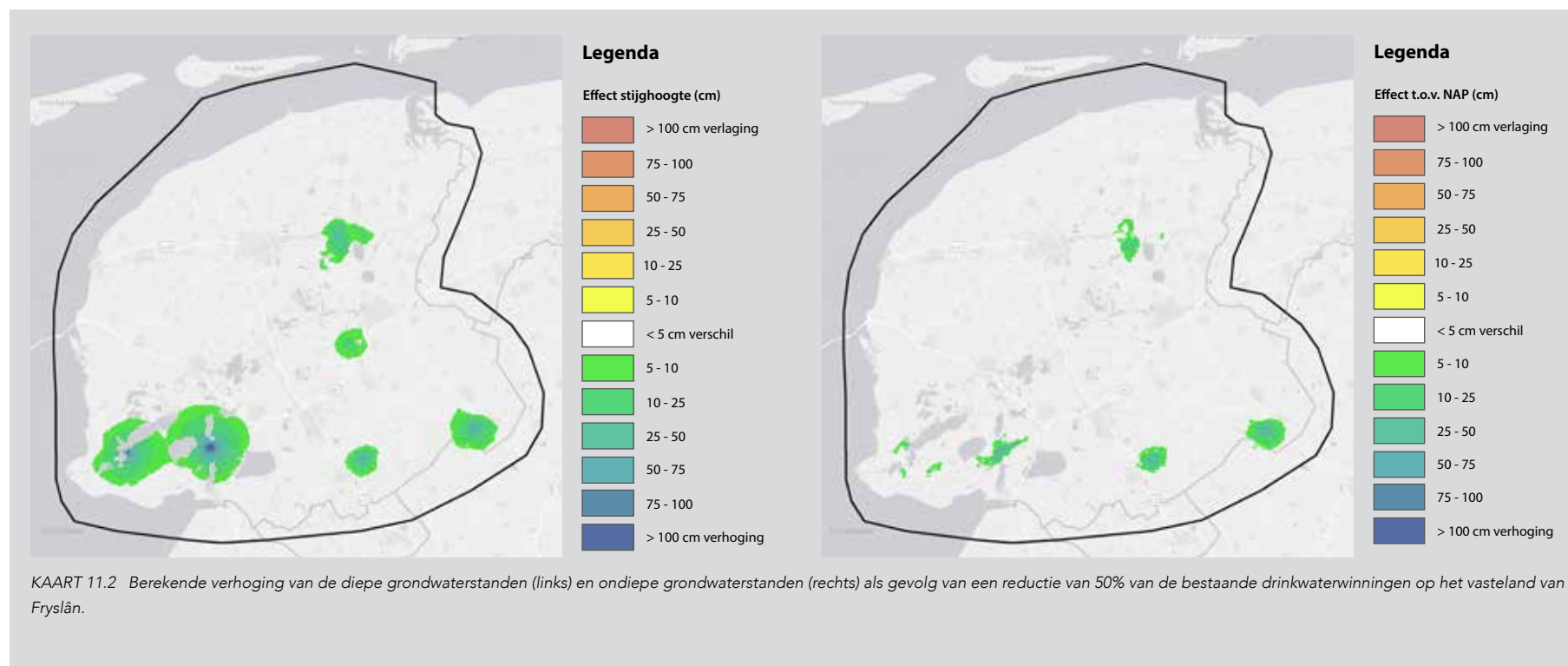
In het kader van de grondwaterstudie Fryslân zijn diverse modelberekeningen uitgevoerd aangaande de drinkwatervoorziening in onze provincie.

### Scenario Effect reductie en toename hoeveelheid drinkwater

Om een indruk te krijgen van de invloed van de winningen op het diepe en ondiepe grondwater, is met het grondwatermodel een berekening uitgevoerd met een reductie van 50% van de hoeveelheid gewonnen drinkwater en een berekening met een toename 50%. In onderstaande kaart 11.2 is de berekende stijging van de grondwaterstanden weergegeven bij 50% reductie. De resultaten moeten gezien worden als indicaties, omdat het een provincie-breed model betreft dat niet specifiek afgeregeld is op lokale omstandigheden.

De daling van de grondwaterstand bij een toename van de drinkwaterwinning van 50% is vrijwel spiegelbeeldig en dus niet als aparte figuur weergegeven.

Op de kaarten is te zien dat de diepe grondwaterstanden stijgen als gevolg van de 50%-reductie van de drinkwaterwinningen. Afhankelijk van de bodemopbouw kan dit doorwerken tot bovenin waardoor ook het ondiepe grondwater stijgt. Bij Oldeholtpade wordt voor het ondiepe grondwater een bijna even grote verhoging berekend als voor het diepe grondwater. Bij Oudega is de bodemopbouw en de positionering van de winning in het grondwatersysteem anders waardoor er op het ondiepe grondwater nauwelijks effect wordt berekend.



### Energietransitie en Aanvullende Strategische Voorraden

Nederland moet van het aardgas af. Dus moeten we op zoek naar andere manieren om warmte op te wekken of vast te leggen. Daarbij wordt onderzocht of ook gebruik kan worden gemaakt van de bodem. Er bestaan twee verschillende bodemenergiesystemen: **Geothermie** en **Warmte Koude Opslag** (WKO). Bij geothermie wordt gebruik gemaakt van de aardwarmte kilometers diep in de ondergrond. WKO-systemen slaan warm of koud water op in het grondwater. Beide systemen maken dus gebruik van de ondergrond. Dit kan echter een negatieve invloed hebben op de kwaliteit van het grondwater.

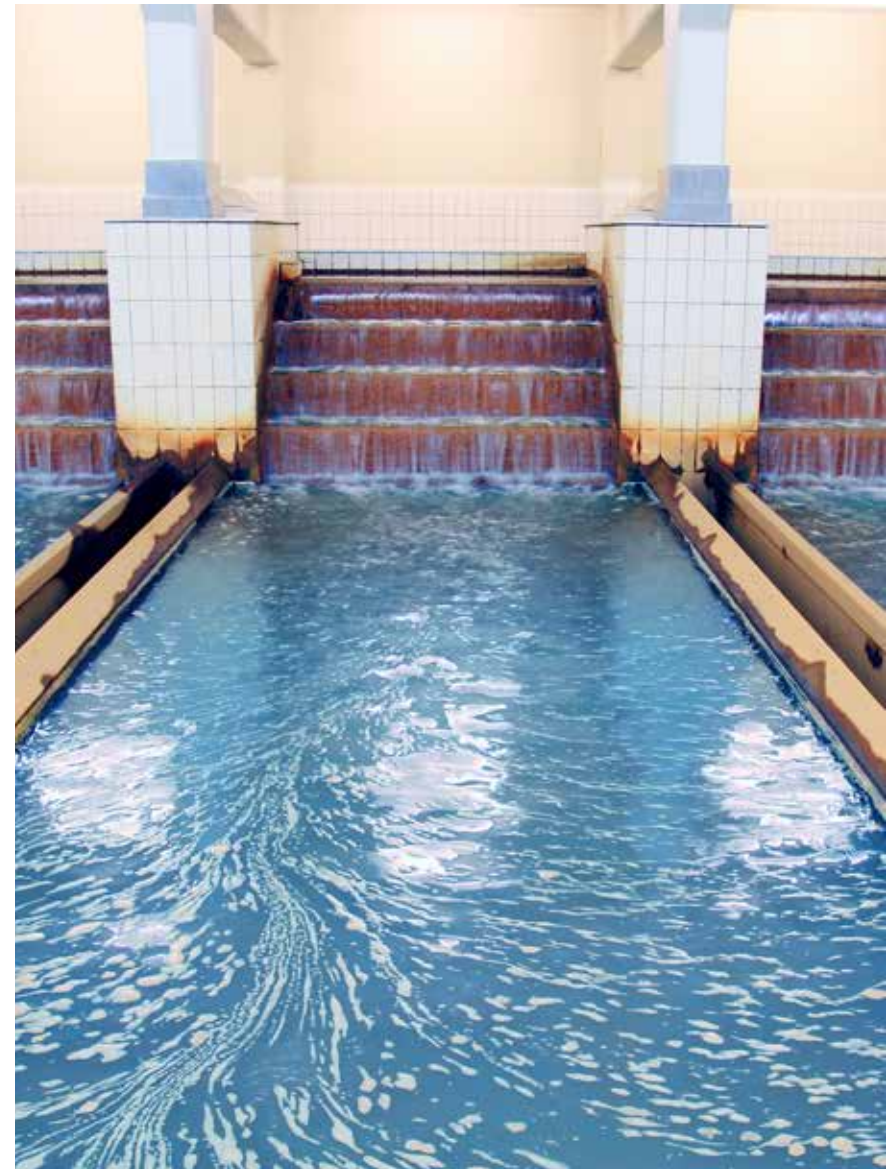
Als bij aanleg of gebruik van de installatie iets mis gaat, kan het grondwater verontreinigd raken. Sowieso is het niet gewenst dat slecht doorlatende bodemlagen lek geboord worden, omdat deze lagen het grondwater tegen verontreinigingen beschermen. De insteek is daarom dat bodemenergiesystemen en drinkwaterwinning niet samengaan. De provincie heeft rond de drinkwaterwinningen grondwaterbeschermingsgebieden ingesteld. Binnen grondwaterbeschermingsgebieden zijn WKO en geothermie niet toegestaan. Daarmee lijken de bestaande drinkwaterwinningen adequaat beschermd.

Maar biedt dit voldoende perspectief als de komende decennia de vraag naar drinkwater sterk gaat groeien? Als dan buiten de grondwaterbeschermingsgebieden overal bodemenergie aanwezig is, kan er nergens meer een nieuwe drinkwaterwinning worden gestart. In de **Structuurvisie Ondergrond** (STRONG) hebben de provincies met het Ministerie van Infrastructuur en Milieu afgesproken om nu al gebieden aan te wijzen die veilig gesteld worden om in de toekomst (indien nodig) drinkwaterwinning op nieuwe locaties mogelijk te maken. Men gebruikt hiervoor de term '**Aanvullende Strategische Voorraden**' (ASV's). Uiterlijk in 2021 zullen alle provincies zo nodig ASV's aanwijzen om ervoor te zorgen dat de drinkwatervoorziening tot 2050 geborgd is, zelfs bij een extreme groei van de drinkwatervraag.

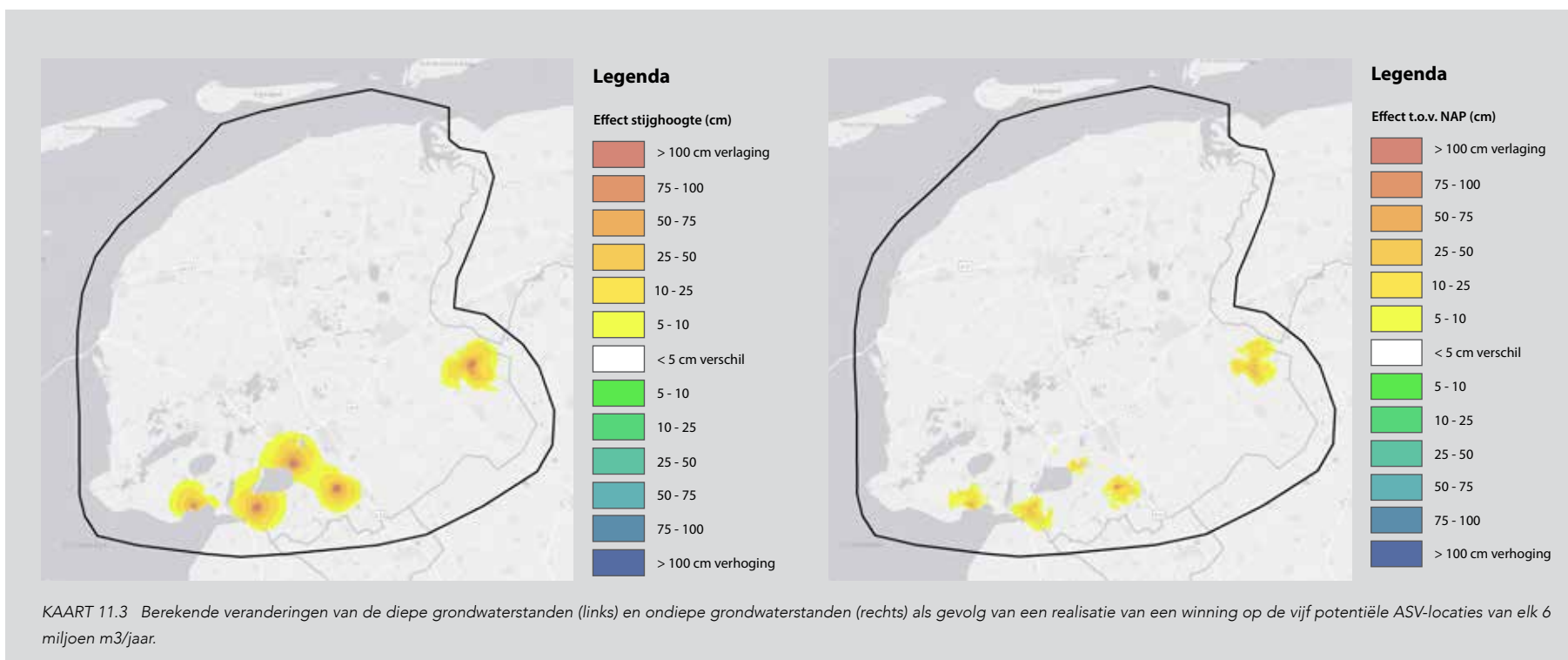
### Scenario Aanvullende Strategische Voorraden (ASV)

In het kader van het landelijke traject Structuurvisie Ondergrond (STRONG) dienen alle provincies aan te geven of het nodig is om zogenaamde Aanvullende Strategische Voorraden (ASV's) aan te wijzen. (Zie tekstblok hierboven.)

Op basis van de resultaten van deze grondwaterstudie wordt invulling gegeven aan de ASV's. Voor Fryslân houden we, conform landelijke regels, rekening met ruim 20 % groei van de drinkwatervraag. Na realisatie van alle lopende plannen hebben we hiervoor nog voor 6 mln. m<sup>3</sup>/jaar aan ASV-ruimte nodig. Mogelijk kunnen aanvullend ook voor andere doeleinden ASV's worden aangewezen. Als een winning blijkt te verzilt, moet er immers toch drinkwater geproduceerd kunnen worden.



Filterbakken - Drinkwaterwinning Noardburgum.



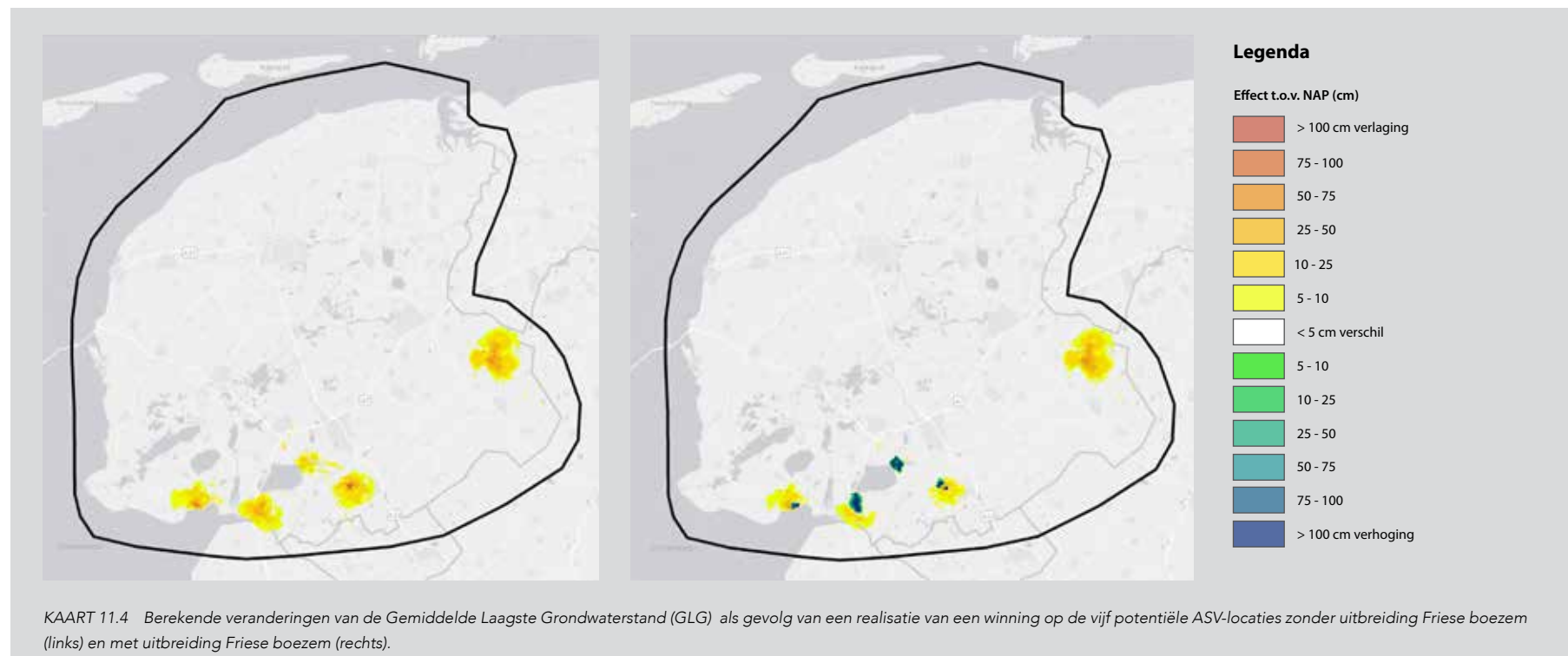
De volgende vraag is hoe en waar zo'n ASV-locatie moet worden aangewezen. Ten eerste is ervan uitgegaan dat een eventueel in de toekomst te realiseren winning een bepaalde minimale capaciteit moet hebben. Een te kleine winning is namelijk niet optimaal economisch te exploiteren, een te grote heeft te veel impact op de omgeving. Er is van uitgegaan dat voor een nieuw te realiseren winning de balans ligt bij een capaciteit van 6 miljoen m<sup>3</sup>/jaar.

Vervolgens is in het kader van deze studie gekeken waar eventueel zo'n nieuwe winning mogelijk zou kunnen zijn. Gebieden waar volgens de modelberekeningen verzilting op kan treden vallen af. Ook is rekening gehouden met de huidige grondwaterbalans. Tevens is de door Vitens uitgevoerde Bronnenstudie (Royal Haskoning, 2008) meegenomen bij het bepalen van potentiële ASV-locaties. Op basis van deze informatie zijn bij wijze van expert

judgement vijf locaties geselecteerd waarvoor in één berekening is doorgerekend wat de effecten zijn als bij alle vijf locaties een nieuwe (fictieve) winning gestart wordt van 6 miljoen m<sup>3</sup>/jaar. Het gaat hierbij dus om indicatieve locaties die in een vervolgfase nog nader moeten worden uitgewerkt.

De resultaten hiervan worden getoond op kaart 11.3. In totaal gaat het dan om 30 miljoen m<sup>3</sup>/jaar. Dit is voor Fryslân dus veel meer dan nodig is, maar hiermee creëren we ruimte voor het nader bepalen van de daadwerkelijke ASV-locatie(s).

We zien op de linker kaart dat de vijf potentiële locaties een onderling vergelijkbare invloed op de diepe grondwaterstanden (**stijghoogte**) hebben.



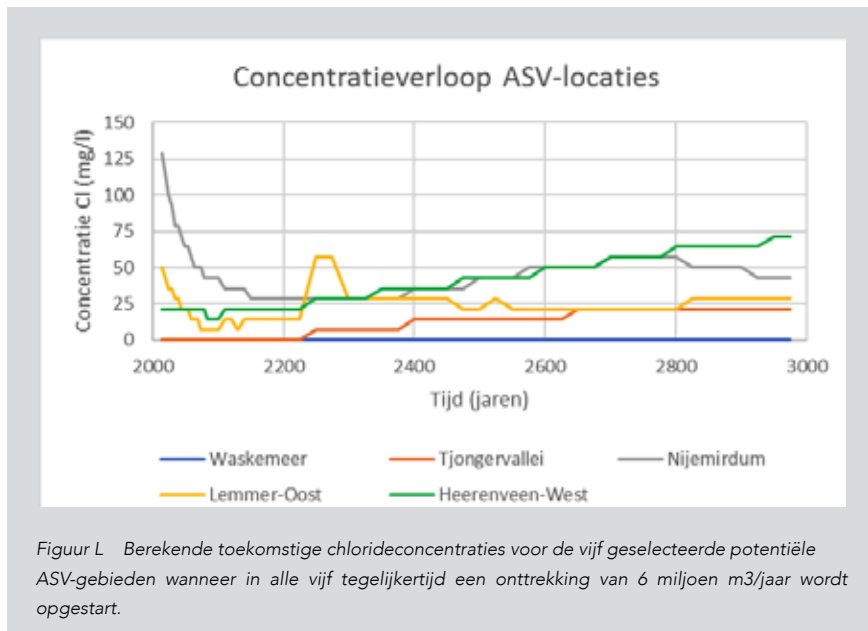
Op de rechter kaart zien we dat de doorwerking naar het ondiepe grondwater per locatie wel verschilt. Met name de locatie in oost Fryslân bij Waskemeer laat grotere verlagingen zien, terwijl juist hier meer kwetsbare natuur aanwezig is. Deze locatie wordt daarom als niet erg kansrijk beoordeeld.

De locatie juist ten westen van Heerenveen, nabij het Tsjükemar laat de minste beïnvloeding van het ondiepe grondwater zien. Waarschijnlijk komt dit door de bodemopbouw en de aanwezigheid van een groot boezemwater in de buurt van deze potentiële drinkwaterwinning. Een vergelijkbaar resultaat zagen we namelijk bij de winning Oudega (SW) op kaart 11.2. De winning Oudega ligt ook nabij een groot boezemmeer De Fluessen.

### Scenario Aanvullende Strategische Voorraden combineren met boezemuitbreiding

Blijkbaar kunnen door de aanwezigheid van een boezemsysteem de effecten van een drinkwaterwinning worden verkleind (zie hoofdstuk 8). Dit is nader onderzocht door bij vier potentiële ASV-locaties de Friese boezem uit te breiden. De effecten van een combinatie van uitbreiding boezem met een nieuwe drinkwaterwinning is afgebeeld op kaart 11.4.

Bij de locatie nabij Waskemeer is uitbreiding van de boezem niet mogelijk, omdat het maaiveld met een hoogte van ongeveer 6 meter + NAP ver boven boezempeil ligt. De andere vier locaties liggen lager dan het peil van de Friese boezem. Uitbreiding van de boezem leidt dan tot een hoger waterpeil.

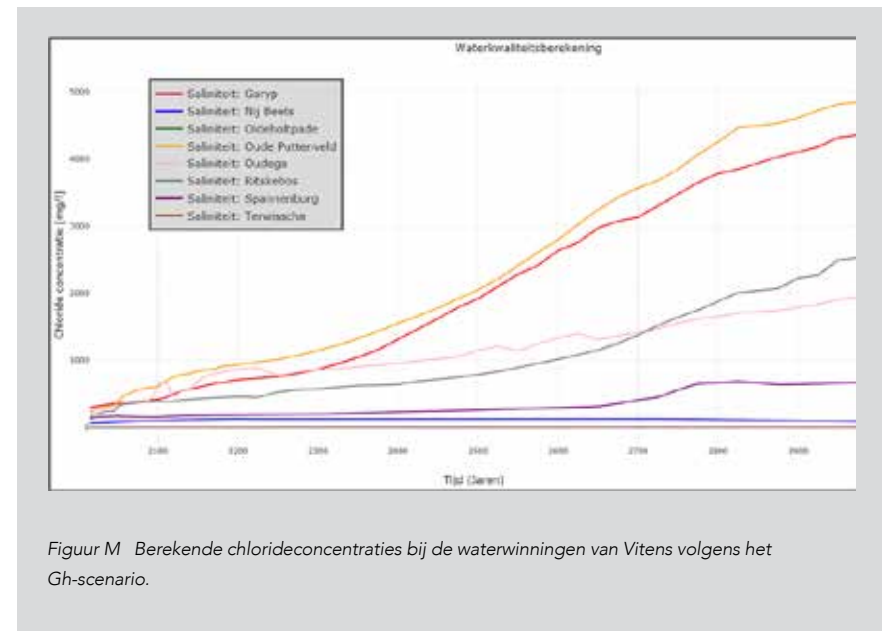


Uitbreiding van de Friese boezem op deze locaties kan inderdaad de daling van de grondwaterstand rond een nieuwe drinkwaterwinning verkleinen. Bij een tweetal locaties ten westen en ten oosten van het Tsjûkemar is zelfs sprake van een verhoging van de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand. De GLG gaat bij uitvoering van deze combi-maatregel dus structureel omhoog (minder droog). Het realiseren van een nieuwe drinkwaterwinning in combinatie met uitbreiding van de Friese boezem lijkt dus erg kansrijk.

### Verziltig van huidige drinkwaterwinningen

Zoals in de vorige paragrafen is aangegeven, bestaat er bij drinkwaterwinningen een risico op verziltig. Drinkwater mag volgens de normen maximaal 150 mg/liter chloride bevatten. Er zijn wel zuiveringstechnieken om chloride uit het water te verwijderen, maar hierdoor neemt het energiegebruik sterk toe, lopen de kosten op en er ontstaat een reststroom met ingedikt grondwater. Ook is er extra grondwater nodig voor het zuiveringsproces. Het is daarom het beste om het zoute grondwater te mijden.

Met het **grondwatermodel** is doorgerekend welke concentraties we in de toekomst kunnen



verwachten op de winlocaties van Vitens. Het model is helaas niet nauwkeurig genoeg om voor de afzonderlijke winningen exacte uitspraken te doen. Het geeft echter wel de grote lijnen weer en die geven aan dat met name de winningen Noardburgum en Garyp kwetsbaar zijn voor verziltig.

Figuur M geeft de resultaten voor het Gh-scenario weer, maar alle andere doorgerekende scenario's gaven vergelijkbaar oplopende concentraties te zien.

Volgens het grondwaterkwaliteitsmodel neemt de verziltig in de toekomst alleen maar verder toe. Garyp en Noardburgum gaan op de zeer lange termijn (na 2100) verziltten.

Bij geen van de doorgerekende scenario's was dit proces te stoppen. Het proces gaat weliswaar traag, maar gestaag. Hetzelfde geldt voor de winning Oudega (gemeente SW), waar op dit moment nog geen signalen van verziltig zijn gemeten. Volgens de berekeningen met het grondwatermodel is ook deze winning op de lange termijn gevoelig voor verziltig.



Als deze berekeningen uitkomen, betekent dit voor de drinkwatervoorziening dat binnen de komende 80 jaar er nog meer nieuwe, vervangende drinkwaterlocaties moeten worden gevonden in Fryslân.

Wellicht kunnen de potentiële ASV-locaties hier een rol in vervullen. Dit kan een reden zijn om niet te weinig ASV-ruimte te reserveren en zuinig te zijn op onze zoete grondwatervoorraden.

### **Potentiële ASV-locaties verziltingsgevoelig?**

Voor de mogelijke ASV-locaties is ook met het grondwaterkwaliteitsmodel uitgerekend hoe de chlorideconcentraties zich gaan ontwikkelen. Volgens de berekeningen blijven de potentiële winlocaties, zelfs op de zeer lange termijn, binnen de drinkwaternorm van 150 mg/liter chloride (zie figuur L). Ook is gecontroleerd wat de invloed is van de ASV-onttrekkingen op de chlorideconcentraties van de winningen Oudega en Spannenburg. Die invloed blijkt verwaarloosbaar.



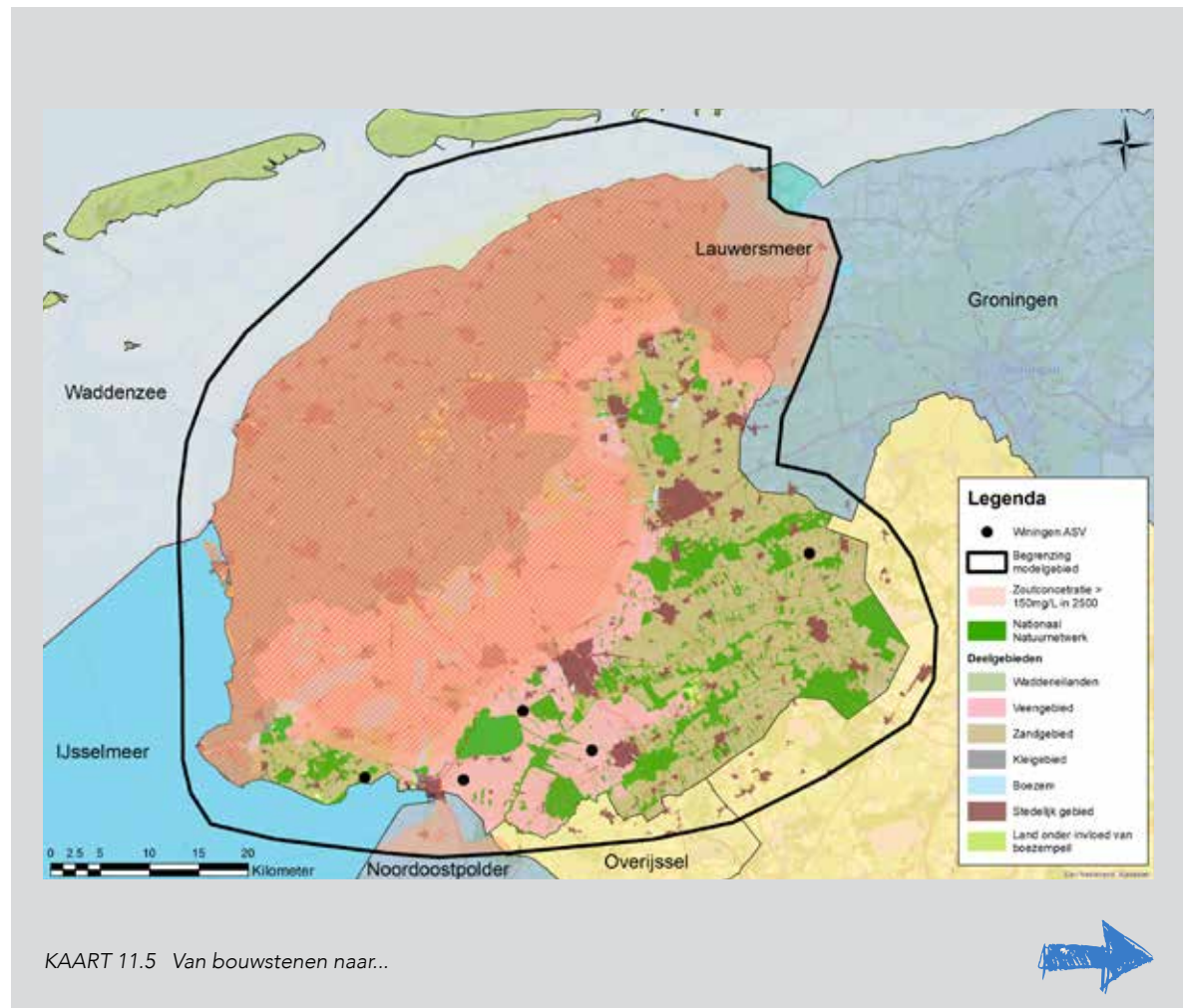
*Het zuiveringsgebouw van de drinkwaterwinning Noardburgum.*

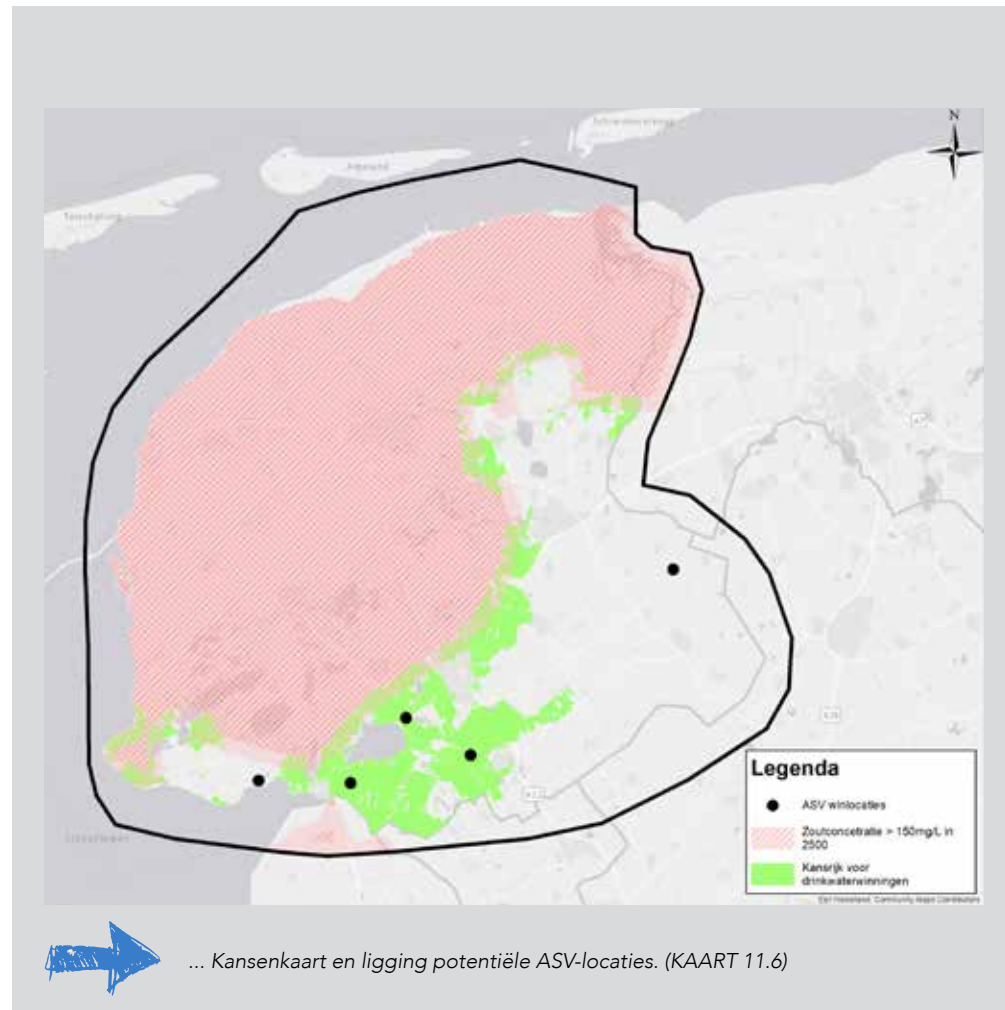


*Pompput.*

## 11.5 Kanskaart toekomstige duurzame drinkwaterwinningen

Op basis van de modelberekeningen (onder andere toename verzilting in de toekomst) en de bronnenstudie van Vitens (RoyalHaskoning,t 2008) is een kanskaart voor toekomstige, duurzame drinkwaterwinningen gemaakt. Het zuidelijke en oostelijke veenweidegebied zijn op deze kaart kansrijke locaties voor nieuwe drinkwaterwinningen in de toekomst. Volgens de grondwaterbalans van Fryslân stroomt veel grondwater naar het Friese veenweidegebied. Door de maaiveldvaling en bijbehorende polderpeilverlagingen neemt dit in de toekomst alleen maar toe. Het toegestroomde grondwater wordt nu als overtollig water door de gemalen van Wetterskip Fryslân weggepompt naar de Friese boezem. Een hoogwaardiger gebruik doet meer recht aan dit schone grondwater. Een koppeling van een nieuwe drinkwaterwinning in dit gebied met uitbreiding van de Friese boezem is volgens de modelberekeningen ook erg kansrijk.







## 12. Conclusies

*De Grondwaterstudie Fryslân was een omvangrijk project waarvan we veel geleerd hebben. De belangrijkste leerpunten op een rij:*

Het Friese grondwatersysteem is een traag systeem dat in de afgelopen duizenden jaren is gevormd. Menselijke ingrepen uit een ver verleden (zoals de turfwinning) hebben nog altijd invloed op ons huidige grondwatersysteem.

Berekeningen laten voor de toekomst een stijging van de gemiddelde grondwaterstand in de herfst/winter zien (natter dan nu) en een daling van de gemiddelde grondwaterstand in de zomer (droger dan nu). De grondwaterstand gaat in de toekomst dus meer fluctueren (hoog/laag). De grootte van deze fluctuaties wordt vooral bepaald door de mate van klimaatverandering.

Door de huidige inrichting van het watersysteem is de zout - zoet verhouding van het grondwater in onze provincie niet stabiel. Daardoor verplaatst het zoute grondwater zich in zuidoostelijke richting en neemt de voorraad zoet grondwater af. Op langere termijn gaat daardoor een groot deel van noordwest Fryslân verzilten, inclusief een aantal veenpolders in de omgeving van Sneek en Grou. In de zuidoostelijke helft van onze provincie is het risico op verzilting minimaal.

Het veenweidegebied heeft door de lage ligging en de diepere polderpeilen een dominante invloed op bijna het hele grondwatersysteem van Fryslân. De grondwaterstanden in het zandgebied zijn verlaagd onder invloed van de lage polderpeilen in het veenweidegebied. In de toekomst daalt de bodem in dit gebied nog verder door veenafbraak. De polderpeilen volgen deze bodemdaling. Daarbij is gerekend met het zogenaamde Generieke peilbeleid uit

de Veenweidevisie. De grondwaterstand zal hierdoor in de toekomst nog zeker decimeters dalen. De toestroming van zout grondwater wordt vergroot onder invloed van de lage peilen in het veenweidegebied.

Er zijn verschillende maatregelen doorgerekend. Daaruit blijkt dat we in staat zijn om de waterstromen te beïnvloeden, maar niet om te keren. Op de middellange termijn (tot 2050 – 2100) kan met bepaalde maatregelen de verzilting worden afgeremd. Maar op lange termijn gaat de verzilting langzaam maar zeker door. Het handelingsperspectief van waterhuishoudkundige maatregelen is daardoor beperkt. Zeespiegelstijging en daling van het veengebied versterken de verzilting.

### Zeekleigebied

De ondergrondse toestroom van zout grondwater vanuit de Waddenzee neemt bij autonome ontwikkeling door zeespiegelstijging in de toekomst (2085) toe met circa 20% (verzilting).

Door het toepassen van antiverziltingsdrainages en meestijgen met de zeespiegelstijging kan de toename van de toestroom van zout grondwater op de middellange termijn (tot 2050 – 2100) worden gestabiliseerd. Nadeel van deze maatregelen is dat op sommige andere locaties de verzilting enigszins kan toenemen (het zogenaamde waterbed-effect). Peilopzet in het noordelijk zeekleigebied zorgt ervoor dat de verzilting in de zone ten zuiden van dit gebied toeneemt. Het verhogen van peilen in de veenpolders zorgt voor een toename van de verzilting van het zuidelijk deel van het zeekleigebied.

Verticale drainage (kwelputten) direct achter de Waddenzeedijk is volgens de berekeningen een effectieve maatregel om verzilting van het noordelijk zeekleigebied tegen te gaan.

### Veenweidegebied

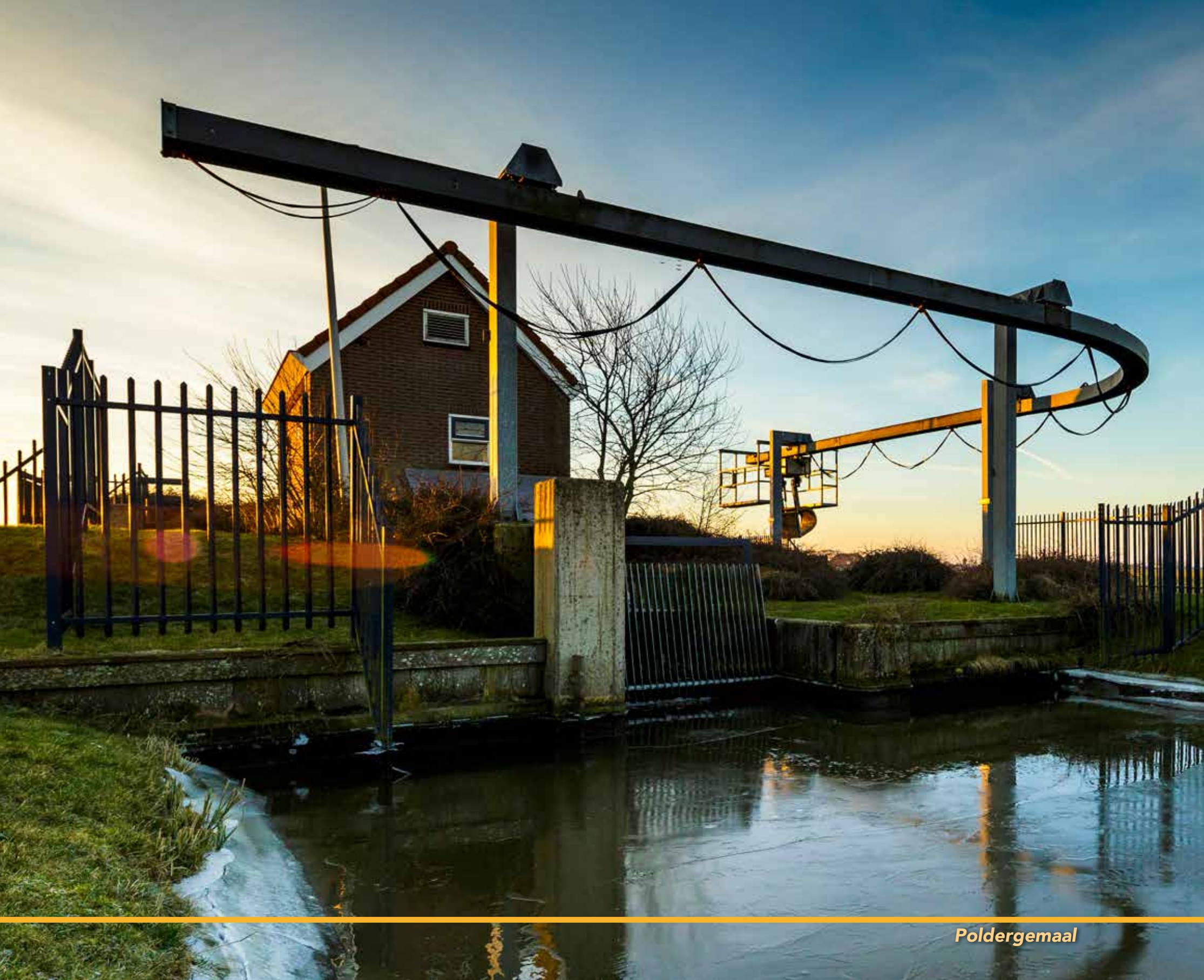
Het Friese veenweidegebied vormt een laaggelegen zone tussen het noordelijk zeekleigebied en het zuidoostelijk gelegen zandgebied. Toestromend grondwater vanuit zowel het kleigebied als het zandgebied wordt opgevangen en weggepompt door de gemalen van het waterschap. Daarmee fungeert het veengebied als een hydrologische barrière: het grondwater kan niet verder landinwaarts stromen dan naar het laagste punt.

Door veenafbraak daalt het veengebied in de toekomst verder. In combinatie met peilverlagingen neemt de toestroom van grondwater naar het veenweidegebied daardoor in de toekomst toe met circa 50%. De dominante invloed van het veengebied op het grondwatersysteem wordt dus steeds groter.

Peilverhoging in het veengebied en het onder water zetten van diepe veenpolders zijn effectieve maatregelen om het verziltingsproces te vertragen. Afhankelijk van het type maatregel en de schaal waarop deze wordt toegepast, bedraagt deze vertraging enkele jaren tot ruim 100 jaar. Op de langere termijn wordt het effect toch weer ongedaan gemaakt door de verdergaande zeespiegelstijging, bodemdaling en klimaatverandering. De mate van klimaatverandering (o.a. zeespiegelstijging) is daarom medebepalend voor de snelheid van het verziltingsproces.

### Zandgebied

Op de hogere zandgronden van onze provincie zijn goede mogelijkheden om (grond)water vast te houden. Door verontdieping van slootbodems en/of peilverhogingen stijgt de grondwaterstand van zowel het ondiepe als het diepe grondwater in het zandgebied. In combinatie met ondiepe, intensieve drainage of peilgestuurde drainage



wordt dit effect versterkt. Met deze maatregelen kan de daling van de grondwaterstand in de zomer bij autonome ontwikkeling ruimschoots worden gecompenseerd.

### **Friese boezem**

Het peil van de Friese boezem beïnvloedt de stand van het diepe grondwater (stijghoogte). Eventuele peilverhogingen of peilverlagingen van de Friese boezem werken dus door tot in het diepe grondwatersysteem. Vooral in de omgeving van de Friese Meren, in het zuidwesten van onze provincie, is de invloed van het peil van de Friese boezem op het (diepe) grondwater relatief groot.

Door uitbreiding van de boezem op strategische plekken (bijvoorbeeld diepe kwelpolders) kan de toestroom van zout grondwater vanuit het noordwesten vertraagd worden.

Door het peil in bestaande zandwinplassen te verhogen naar boezempeil kan de grondwaterstand van het diepe grondwater (stijghoogte) worden verhoogd. Bij zandwinplassen nabij natuurgebieden kan deze maatregel daarom een positieve bijdrage leveren aan de verdrogingsbestrijding.

### **Waddeneilanden**

Alhoewel voor de vier Waddeneilanden geen modelberekeningen zijn uitgevoerd is wel duidelijk geworden dat klimaatverandering ook hier invloed gaat hebben. Door de zeespiegelstijging stroomt in de toekomst meer zout grondwater vanuit de Waddenzee naar de eilandpolders. Daarnaast neemt in de toekomst door de zeespiegelstijging de dikte van de zoetwaterlens onder de duinen af. Verder gaat door de klimaatverandering de grondwaterstand meer fluctueren: in de herfst/winter een hogere grondwaterstand en in de zomer een lagere

grondwaterstand dan in de huidige situatie. Risico op droogteschade en verdroging in de zomer neemt daardoor toe, terwijl er in de herfst/winter sprake kan zijn van meer wateroverlast.

### **Drinkwaterwinning**

Bij het beantwoorden van de vraag waar we in de toekomst nog duurzaam drinkwater kunnen winnen, hebben we rekening te houden met de invloed van een winning op de omgeving en het risico van verzilting van de winning. In deze studie is in een kansenkaart (kaart 11.5) weergegeven welke locaties in Fryslân het meest kansrijk zijn. In het zuidelijk en oostelijk deel van het veenweidegebied van de provincie Fryslân liggen goede kansen voor nieuwe drinkwaterwinningen. Het grondwater stroomt in de huidige situatie al naar het veenweidegebied, maar wordt vervolgens als overtollig kwelwater weggepompt door de gemalen van het waterschap richting de Friese boezem. Een meer hoogwaardig gebruik van dit schone grondwater is duurzamer. Verder zijn deze delen van het veenweidegebied niet verziltingsgevoelig. Een combinatie van uitbreiding boezem met de inrichting van een nieuwe drinkwaterwinningslocatie in dit deel van het veenweidegebied is volgens modelberekeningen kansrijk.

Volgens de berekeningen gaat een aantal bestaande drinkwaterwinningen op lange termijn (ongeveer na 2100) verzilten. Het gaat daarbij om de winningen Noardburgum, Garyp, Oudega en op zeer lange termijn ook Spannenburg.

Ook op lange termijn is er in de provincie Fryslân voldoende zoet grondwater aanwezig voor de drinkwatervoorziening. In het zuidoosten van Fryslân is geen verzilting te verwachten. De Drinkwaterwinningen Terwisscha en Oldeholtgade gaan daarom volgens berekeningen niet

verzilten. Ook Nij Beets blijft volgens de berekeningen vrij van verzilting, maar recente metingen geven aan dat er wel degelijk sprake is van een risico van verzilting. Ter plaatse van de doorgerekende potentiële **ASV-locaties** is ook op lange termijn geen verzilting te verwachten.

*De taal fan greide en boulan  
Yn 't oerâld idioom fan grien en griis.  
Wa wurdt ea wiis út har ferhaal?*

*Willem Abma - Uit: Fryslân*





## 13. Aanbevelingen

Op basis van de conclusies in het vorige hoofdstuk worden de volgende aanbevelingen gedaan:

- De resultaten van de Grondwaterstudie Fryslân inzetten als bouwsteen en afwegingskader voor toekomstig ruimtelijk beleid. Dit geldt onder andere voor het drinkwaterbeleid, de energietransitie en de toekomst van het veenweidegebied en het zeekleigebied. Voor het veengebied liggen er goede kansen om verdere daling van de grondwaterstand in de provincie Fryslân tegen te gaan. En in het zeekleigebied kan op de middellange termijn de verzilting worden gestabiliseerd.
- Verder uitwerken water vasthouden voor de hogere zandgronden van de provincie Fryslân.
- Onderzoeken toepassing verticale drainage langs de Waddenzeekust.
- Bij de uitbreiding van de Friese boezem door Wetterskip Fryslân dient ook rekening te worden gehouden met de Strategische Grondwaterstudie Fryslân. Dit kan worden geborgd in de nog op te stellen Boezemvisie.
- Meetplan opstellen voor het structureel monitoren van de zout – zoet grens in de ondergrond van de provincie Fryslân;
- Uitvoeren kwantitatieve en kwalitatieve modelberekeningen voor de Waddeneilanden in lijn met de grondwaterstudie voor het vaste land van de provincie.
- Uitwerken Aanvullende Strategische Voorraden (STRONG) op basis van de kansenkaart toekomstige, duurzame drinkwaterwinningen. Geadviseerd wordt om daarbij voldoende ruimte te reserveren. Dit in verband met de verziltingsrisico's van enkele bestaande drinkwaterwinningen.

# Begrippen

**Aanvullende Strategische Voorraad (ASV):** Door de provincie aan te wijzen gebieden die veilig gesteld worden om in de toekomst als wingebied voor de drinkwatervoorziening te kunnen functioneren. De afspraak komt voort uit de Structuurvisie Ondergrond (STRONG)\*.

**Antiverziltingsdrainage:** Vorm van drainage waarbij percelen ontwaterd kunnen worden als dat nodig is, maar het drainagepeil omhoog kan voor het conserveren van (zoet) neerslagwater. Op die manier kan een buffervoorraad zoet grondwater\* (zoetwaterlens) worden opgebouwd.

**Autonome ontwikkeling:** Alle verwachte ontwikkelingen bij het huidige beleid en voorziene ontwikkelingen (bijvoorbeeld klimaatverandering). Het is de situatie die ontstaat als de huidige ontwikkelingen doorgaan en we verder niets anders doen dan dat we op dit moment (via bestuurlijke besluiten) hebben afgesproken. De autonome ontwikkeling is doorgerekend op basis van drie klimaatscenario's. De effecten van maatregelen zijn doorgerekend bij het Gh-scenario.

**Bergingscapaciteit:** Het vermogen om piekafvoeren van water een tijdlang op te vangen en vast te houden. In perioden met veel neerslag kan zo voorkomen worden dat andere gebieden onder water lopen.

**Bodem:** De zone tussen maaiveld en 1,20 meter onder maaiveld.

**Bodemdaling door delfstoffenwinning:** Als uit de diepe ondergrond delfstoffen weggehaald worden (zoals zout of gas) neemt de druk daar af. Hierdoor zakt de bodem langzaam een beetje in elkaar. De bodem daalt van onderaf.

**Bodemdaling door veenoxidatie:** Als veen te lang droog ligt, verteert het als gevolg van interactie met zuurstof uit de buitenlucht. Hierdoor daalt de bodem van bovenaf.

**Bodemvocht:** Het bovenste water in de ondergrond\* boven het grondwater\*, in de situatie waarbij de ruimte tussen de bodemdeeltjes (zand, klei, veen) deels opgevuld is met water en deels met lucht.

**Brak water:** Een tussenvorm van zoet en zout (grond)water.

**Chlorideconcentratie:** De hoeveelheid in (grond)water opgelost chloride. Chloride maakt onderdeel uit van keuzenzout (natriumchloride) en is in hoge concentraties aanwezig in zeewater\*.

**Chlorideverdeling:** Driedimensionaal beeld van de ruimtelijke verdeling van

chlorideconcentraties\* in het grondwater\*. Dit beeld geeft inzicht in de verspreiding van zoet en zout grondwater.

**Diepontwatering:** Bij ruilverkavelingen (tweede helft vorige eeuw) toegepaste werkwijze om ook veengebieden te ontwateren door rechte sloten met een polderpeil van soms 1,20 meter onder maaiveld.

**Drainage:** Ontwatering van een perceel doormiddel van geperforeerde buizen in de bodem. Hiermee wordt voorkomen dat de grondwaterstand te hoog wordt voor het landbouwkundig gebruik. Tegenwoordig wordt in het veenweidegebied ook zogenaamde Onderwaterdrainage ingezet om in de zomerperiode, bij lage grondwaterstanden juist oppervlaktewater te infiltreren naar het grondwater. Deze drainagebuizen hebben dus niet alleen een afvoerfunctie van grondwater, maar ook een aanvoerfunctie voor oppervlaktewater naar het grondwater.

**Drinkwater:** Het door een openbaar drinkwaterleidingbedrijf bij consumenten afgeleverd water van zodanig hoge kwaliteit, dat het geschikt is voor menselijke consumptie.

**Drinkwaternorm:** Grenswaarde (chemisch, microbiologisch, fysiek), opgenomen in het Drinkwaterbesluit waaraan afgeleverd drinkwater\* moet voldoen.

**Drooglegging:** De afstand tussen het maaiveld en het peil in de naastgelegen sloot.

**Filter:** Onderste, geperforeerde deel van een peilbuis\* of drinkwaterwininput, waardoor het grondwater hier de buis vrij in en uit kan stromen.

**Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG):** Stand van het grondwater\* zoals die aan het einde van de winterperiode in een normaal meteorologisch jaar verwacht kan worden. Voor een exacte definitie, zie paragraaf 2.1.

**Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG):** Stand van het grondwater\* zoals die aan het einde van de zomerperiode in een normaal meteorologisch jaar verwacht kan worden. Voor een exacte definitie, zie paragraaf 2.1.

**Generiek peilbeleid:** Een uitvoeringsmaatregel uit de Veenweidevisie (2015) is het zogenaamde Generiek peilbeleid. Nergens in het veenweidegebied mag de drooglegging nog groter zijn dan 90 cm. Aanvullend wordt voor de klei-op-veenbodems een hoger zomerpeil gehanteerd met een drooglegging van gemiddeld 60 cm. Dit peilbeleid is vastgelegd in het Provinciaal Waterhuishoudingsplan en in het Waterbeheerplan van het waterschap.

**Geothermie:** Een energiesysteem waarbij warm tot heet grondwater vanaf één tot enkele kilometers diepte naar boven wordt gepompt, de warmte wordt afgetapt, en het afgekoelde grondwater even verderop op dezelfde diepte weer in de bodem wordt teruggebracht.

**Grondwater:** Het water in de ondergrond\* in de situatie waarbij alle ruimte tussen de bodemdeeltjes (zand, klei, veen) volledig opgevuld is met water. Zie ook: oppervlaktewater\*.

**Grondwatermodel:** Rekenkundige computersimulatie van grondwaterstanden, -stroming en/of verplaatsing van in het grondwater\* opgeloste stoffen.

**Grondwaterstand:** Het bovenste niveau van het grondwater\* waaronder de ruimte tussen de bodemdeeltjes volledig is opgevuld met water en waarboven de ruimte deels opgevuld is met lucht, en deels met water (bodenvocht\*).

**Infiltratie:** De situatie waarbij het grondwater\* onder invloed van de drukverdelingen in neerwaartse richting stroomt en aan het diepere grondwater ten goede komt. Zie ook kwel\*.

**Keileem:** Doorgaans lemig ontwikkelde bodemlaag, ontstaan in de één na laatste ijstijd, toen een tientallen meters hoge gletsjertong de onderliggende bodemlagen verpulverde en versmeerde. De bodemlaag biedt hoge weerstand tegen grondwaterstroming.

**Kleigebied:** Eén van de drie in deze studie onderscheiden deelgebieden. Het betreft de zeekleigronden in het noorden en westen van de provincie. Zie ook veengebied\* en zandgebied\*.

**Klimaatscenario:** Formulering van de toekomstige mate van verandering van temperatuur, neerslag\* en verdamping\*. Omdat er veel onzekerheid over is, zijn er door het KNMI in 2014 vier varianten afgeleid, die alle vier even waarschijnlijk zijn. De werkelijke ontwikkeling zal ergens in het midden uitkomen.

**Klimaatverandering:** Structurele verandering van temperatuur, neerslag\* en verdamping\*.

**KRW- Europese Kaderrichtlijn Water:** Europese regelgeving die eisen stelt aan hoeveelheden, de ecologische toestand en chemische samenstelling van grondwater\* en oppervlaktewater\*.

**Kwel:** De situatie waarbij het grondwater onder invloed van de drukverdelingen in opwaartse richting stroomt. Het kwelwater kan door sloten worden afgevangen of in het uiterste geval aan maaiveld naar buiten treden. Zie ook: infiltratie\*.

**Kwelder:** Buitendijks gebied dat bij hoog water door de zee wordt overstroomd, maar onder normale condities boven het zeeniveau ligt.

**Model grondwaterkwaliteit:** Rekenkundige computersimulatie van de verplaatsing van in het grondwater opgeloste stoffen als gevolg van de berekende grondwaterstroming. In onze situatie hebben we ons beperkt tot de verplaatsing van chloride als onderdeel van de zoutwater-problematiek.

**Model grondwaterkwantiteit:** Rekenkundige computersimulatie van grondwaterstanden\* en de stroming die hiervan het gevolg is. In onze situatie zijn er geen afzonderlijke berekeningen uitgevoerd naar de grondwaterstroming.

**Neerslag:** De hoeveelheid water die in de vorm van regen, sneeuw, hagel, etc. vanuit de atmosfeer op de aarde terecht komt.

**Normaal Amsterdams Peil (NAP):** Eenduidige referentiehoogte waarmee hoogtemetingen in heel Nederland worden vergeleken. Hierbij is in het verleden uitgegaan van het toenmalige gemiddelde zeeniveau tussen eb en vloed.

**Ondergrond:** Het geheel aan vaste delen onder de oppervlakte.

**Oppervlaktewater:** Het water in sloten, plassen en meren, waarbij de bovenkant van het water boven de ondergrond staat. Zie ook: grondwater\*.

**Paleo-geografische kaarten:** Kaarten die een reconstructie van het historische landschap laten zien. Ze zijn gebaseerd op alle mogelijke informatie zoals geologie, archeologie, etc. En tonen de historische ligging van de zee, kwelders, beeklopen, veen- en kleigronden.

**Peilbeheer:** Het geheel aan maatregelen om tot gewenste waterstanden in het oppervlaktewater\* te komen, zodanig dat de grondwaterstanden\* de optimaal gewenste situatie zo dicht mogelijk benaderen.

**Peilbuis:** Verticale buis geplaatst in een gat in de ondergrond\* (enkele tot honderden meters diep) waarvan de onderkant waterdoorlatend is, zodanig dat de grondwaterdruk in de ondergrond uit de stand van het water in de buis kan worden afgeleid.



**Peilverlaging:** Het verlagen van de waterstanden in de sloten met als doel (of gevolg) dat de grondwaterstanden ook lager worden.

**Stijghoogte:** De waterstand in een peilbuis\* op basis waarvan de druk van het grondwater\* op de diepte van het filter\* kan worden afgeleid.

**Strandwal:** Een langgerekte zandbank die boven zee uitsteekt en ontstaan is door golfwerking, getijden en branding.

**Structuurvisie Ondergrond (STRONG):** Gezamenlijke visie van de Ministeries van Economische Zaken en van Infrastructuur en Milieu (2018), waarin gezocht wordt naar een balans in het gebruik van de ondergrond, onder meer ten behoeve van de drinkwatervoorziening, mijnbouw en de energietransitie.

**Veengebied:** Eén van de drie in deze studie onderscheiden deelgebieden. Het betreft het midden en zuiden van de provincie. Zie ook: kleigebied\* en zandgebied\*.

**Veenweidegebied:** Het Friese veenweidegebied is uniek. Het gebied kenmerkt zich door een open landschap en laaggelegen weilanden met een veenbodem. Het gebied bestaat grotendeels uit grasland voor de (melk)veehouderij. Verder herbergt het veengebied belangrijke natuurwaarden.

**Veenweidevisie:** De in 2015 door Provinciale Staten vastgestelde visie voor het Friese veenweidegebied. In deze visie is een aantal maatregelen voorgesteld voor de toekomst van het veengebied\*.

**Verdamping:** De hoeveelheid water die ofwel direct van het aardoppervlak ofwel via planten, bomen en gewassen door de atmosfeer wordt opgenomen.

**Vermesting:** Overdaad aan meststoffen vanuit met name de landbouw. Deze mineralen kunnen in (te) hoge concentraties uitspoelen naar het grondwater en/of naar het oppervlaktewater.

**Verzilting:** De toename van de hoeveelheid chloride in het grondwater\*.

**Verzuring:** Het zuurder worden van het grondwater\* als gevolg van menselijke activiteiten en/of atmosferische invloed (zure regen).

**Warmte Koude Opslag (WKO):** Een energiesysteem waarbij de relatieve kou van het grondwater op een diepte van tientallen tot honderd meter in de zomer wordt gebruikt, bijvoorbeeld om gebouwen te koelen. Dezelfde warmte die daarbij in het grondwater wordt opgeslagen wordt in de winter gebruikt om dezelfde gebouwen te verwarmen. Zie ook: gesloten WKO-systeem\* en open WKO-systeem\*.

**Waterbed-effect:** Het verschijnsel waarbij een maatregel om zout (grond)water (bijvoorbeeld met een peilverhoging) weg te drukken er toe leidt dat het zoute water in de omgeving juist omhoog gedrukt wordt.

**Zandgebied:** Eén van de drie in deze studie onderscheiden deelgebieden. Het betreft de oostelijke zandgronden, Gaasterland en een stukje bij Sint Nicolaasga. Zie ook: kleigebied\* en veengebied\*.

**Zandwinplas:** Veelal diepe waterplas met beperkte omvang die ontstaan is omdat het oorspronkelijke zand is gewonnen voor gebruik met name in de wegen- en stedenbouw.

**Zeespiegelstijging:** Het geleidelijk structureel omhoogkomen van de zeespiegel, mede onder invloed van het afsmelten van de ijskappen aan de Noord- en Zuidpool.

**Zeewater:** (Grond)water met een hoog zoutgehalte. Het zeewater rondom Nederland bevat iets minder zout dan oceaanwater. Rondom de Waddenzee spreken we van zeewater bij een chlorideconcentratie in de orde van 15.000 mg/l.

**Zoet water:** (Grond)water met een chlorideconcentratie lager dan 150 mg/l.

**Zoetwaterlens:** Voorraad(je) zoet grondwater bovenop zout grondwater\* tot in de diepe ondergrond\*. De voorraad heeft aan de bovenkant een bolle vormen, aan de onderkant een holle vorm. Bij drainerende sloten of drains komen beide grensvlakken bij elkaar, waardoor de voorraad de vorm krijgt van een lens.

**Zoutgehalte:** Het totaal aan in het water opgeloste zouten. Bij zeewater en zout grondwater zijn natrium en chloride de voornaamste componenten.

**Zware metalen:** Metalen met een hoge atoommassa. In de praktijk kijken we bij grondwater vooral naar arseen, lood, nikkel en zink.

# Bronnen

## Aan de Grondwateratlas Fryslân liggen vier studies ten grondslag, die beschreven worden in de volgende rapportages:



- Caljé, Ruben en Wouter Beekman, 2017. Oriënterende modelberekening verzilting Fryslân. Projectnummer 16.16.84, Adviesbureau Artesia, Schoonhoven, 10 februari 2017. Zie ook: <https://www.youtube.com/watch?v=6ED886nvp3c>

- Rus, JanSiem, 2017. Grondwatersysteembeschrijving Fryslân. Rapport 188, Adviesbureau Hunzebreed, december 2017.
- Oude Essink, Gualbert en Andrea Forzoni, 2017. 3D zoet-zout verdeling grondwater in de provincie Fryslân. Project 11201095-000, Deltares, december 2017.
- Vermulst, Hank en Siebren van der Linde, 2019 (in prep.). Brede grondwaterstudie Fryslân. Referentie WATBF1395R001D1.0, HaskoningDHV Nederland B.V., april 2019.

## Daarnaast is gebruik gemaakt van de volgende bronnen:



- Acacia Water, 2019. Spaarwater, Rendabel en duurzaam agrarisch watergebruik en waterbeheer in de verziltende Waddenregio, Hoofdrapport 2016-2018. Zie [http://www.spaarwater.com/content/27227/download/clnt/87095\\_Spaarwater\\_Hoofdrapportage\\_januari\\_2019.pdf](http://www.spaarwater.com/content/27227/download/clnt/87095_Spaarwater_Hoofdrapportage_januari_2019.pdf)

- Baggelaar, Paul en Eit van der Meulen, 2019. Toestand en trends grondwaterkwaliteit provincie Fryslân, Tweede concept. Icastat en AMO, 13 maart 2019.
- Deltares, 2018. Mogelijke gevolgen van versnelde zeespiegelstijging voor het Deltaprogramma. Een verkenning. Deltares rapport 11202230-005-0002, september 2018.
- Gildemacher, F, 2015. Het Friese water. Uitgeverij Bornmeer, ISBN 978 90 5615 360 1, 2015.

- Haar G. ter, P.L. Polhuis, 2004. De loop van het Friese water. Geschiedenis van het waterbeheer en de waterschappen in Friesland. Franeker, 2004.

- Hut R.M.G. van der, Wymenga E. en de Jong R., 2014. Waterberging in natuurgebieden in Fryslân, Actualisatie 2014. Altenburg & Wymenga ecologisch onderzoek (rapportnummer 1947). Feanwâlden, 2014.



- Jansen, P.C, E.P. Querner en C. Kwakernaak, 2007. Effecten van waterpeilstrategieën in veenweidegebieden, een scenariostudie in het gebied rond Zegveld. Alterra-rapport 1516, ISSN 1566-7197. Alterra Wageningen, 2007. zie: <http://edepot.wur.nl/29635>.



- Kok, Arjan, 2006. Salanization above sea level on the Dutch Wadden islands. Proceedings 1st SWIM-SWICA Joint Saltwater Intrusion Conference, Cagliari-Chia Laguna, Italy - September 24-29, 2006. Zie: [http://www.swim-site.nl/pdf/swim19/pages\\_147\\_150.pdf](http://www.swim-site.nl/pdf/swim19/pages_147_150.pdf)



- Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut en Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2015. KNMI'14 klimaatscenario's voor Nederland, herziene uitgave 2015. Zie: [http://www.klimaatscenarios.nl/images/Brochure\\_KNMI14\\_NL.pdf](http://www.klimaatscenarios.nl/images/Brochure_KNMI14_NL.pdf)



- Louw, Perry de, 2017. Presentatie kwelvoorziening Perkpolder Seepcat, Deltares. Zie: <https://www.youtube.com/watch?v=RNpNydggQqY>

- Makkink, ir. H.J., ir. M.L.M. Balemans, ing. E.J. Schrama en ing. I. Leunk, 2010. Kennisdocument Putten(velden). Ontwerp, aanleg en exploitatie van pompputten. Update 2010. KWR-rapport KWR2011.014.

- Provinciale Waterstaat van Friesland, 1978. Jaarverslag 1976. Leeuwarden, 1978.

- Provincie Fryslân, 2016. Grondwaterkwaliteit provincie Fryslân 2015, De resultaten van de metingen in het grondwater naar algemene stoffen, gewasbeschermingsmiddelen, geneesmiddelen en andere milieuvreemde stoffen in 2015. Afdeling Stêd en Plattelân, 28 november 2016.

- Royal Haskoning DHV, 2008. 3e Fase bronnenonderzoek Friesland. Eindrapport fase 3A/B. Rapport 9S4540, 30 september 2008.



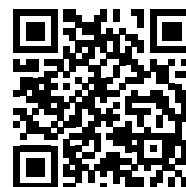
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat en Ministerie van Economische Zaken en Klimaat, 2018. Structuurvisie Ondergrond. juni 2018. Zie: <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2018/06/11/structuurvisie-ondergrond>



- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2018. Drinkwaterbesluit. Zie: <https://wetten.overheid.nl/BWBR0030111/2018-07-01>



- Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, webpagina over Natura 2000. zie: <https://www.synbiosys.alterra.nl/natura2000/default.aspx?main=natura2000>



- Provincie Fryslân, 2015. Feangreidefisy, 21 januari 2015. Zie: <https://www.veenweidefryslan.frl/over-ons>



- Vos, P. en S. de Vries 2013. 2e generatie palaeogeografische kaarten van Nederland (versie 2.0). Deltares, Utrecht. Zie: <https://www.landschapinnederland.nl/bronnen-en-kaarten/paleogeografische-kaarten>



- Website Europese Kaderrichtlijn Water. Zie: <https://www.rivm.nl/kaderrichtlijn-water-krw>



- Wolters, H.A., G.J. van den Born, E. Dammers, S. Reinhard, 2018, Deltascenario's voor de 21e eeuw, actualisering 2017. Deltares, mei 2018. Zie: [https://media.deltares.nl/deltascenarios/Deltascenarios\\_actualisering2017\\_hoofdrapport.pdf](https://media.deltares.nl/deltascenarios/Deltascenarios_actualisering2017_hoofdrapport.pdf)



#### Leeswijzer

Scan de QR- code met uw telefoon en u wordt gelijk naar de website doorverwezen.

# Colofon

De Grondwateratlas van Fryslân is een samenvatting van de Strategische Grondwaterstudie Fryslân. Deze studie is in een samenwerkingsverband tussen Vitens, Wetterskip Fryslân en Provincie Fryslân uitgevoerd.

## **Uitgave:**

Provincie Fryslân in samenwerking met Wetterskip Fryslân en Vitens.

## **Teksten:**

Harry Boukes, Amarins de Haan en Johan Medenblik, provincie Fryslân.

Met medewerking van Jan van Rijen en Jiska Waaijberg van Wetterskip Fryslân en Feike Bonnema en Ate Oosterhof van drinkwaterbedrijf Vitens.

Verder hebben aan de Grondwaterstudie Fryslân meegewerkt:

Wiebe Terwisscha van Scheltinga (Wetterskip Fryslân), Sjoerd Rijkema (Vitens), Jan Siem Rus (bureau Hunzebreed), Daniël van Buren (provincie Fryslân), Hank Vermulst, Siebren van der Linde, Jan Jaap Pape en Ben van der Wal (Royal Haskoning DHV), Willem Jan Zaadnoordijk (TNO), Henk Pullen (DriePM Management Consultancy).

De gedichten zijn afkomstig uit de bundel Dit is myn lân.

Een uitgave van de provincie Fryslân, gemaakt als nieuwjaarsgeschenk voor het jaar 1998.

ISBN: 90-80243-2-3

## **Fotoverantwoording:**

Daniël Hartog Photography	Pagina 8 en 112
Feike Bonnema, Vitens	Pagina 23, 96, 101, 105
Yka van der Veen	Pagina 6, 7, 42, 116
Wetterskip Fryslân	Pagina 10, 84, 85, 93, 110
Boppe Fryslân, provincie Fryslân	Pagina 24, 25, 30, 31, 55, 64, 92
Johan Medenblik, provincie Fryslân	Pagina 3, 4, 5, 12, 16, 27, 38, 39, 40, 58, 59, 60, 63, 67, 72, 74, 80, 81, 82, 88, 95, 99, 107, 108

## **Verantwoording illustraties:**

Bureau Peter de Ruyter, Landschapsarchitectuur	Pagina 54
Acacia Water	Pagina 76
Johan de Putter, Atelier voor Water & Landschap	Pagina 1, 43 en 56
Harry Boukes en Welmoed Wijtzes, provincie Fryslân	Pagina 26

De overige illustraties zijn gemaakt door Yka Ontwerpt (Yka van der Veen).

**Vormgeving:** Yka Ontwerpt (Yka van der Veen).

**Druk:** Rekladruk, Gytsjerk.

## **Verantwoording/disclaimer**

De Grondwateratlas Fryslân is een samenvatting van een aantal recent uitgevoerde hydrologische onderzoeken in het kader van de Strategische Grondwaterstudie Fryslân. Binnen deze onderzoeken zijn onder meer berekeningen met grondwatermodellen uitgevoerd, waarvan de belangrijkste resultaten hier worden gepresenteerd. De wetenschappelijke verantwoording van deze berekeningen, alsmede de aannamen en beperkingen van de berekeningen zijn te vinden in onderliggende rapportages.

De berekeningen hadden tot doel om de werking van het Friese watersysteem op hoofdlijnen in beeld te brengen en om inzicht te krijgen in de toekomstige ontwikkelingen van het grondwatersysteem van Fryslân. De berekeningen zijn daarom uitgevoerd op het schaalniveau van de hele provincie. Dat leidt onvermijdelijk tot afwijkingen van de werkelijkheid op lokaal niveau. Aan de hier gepresenteerde kaartbeelden kunnen dan ook geen rechten ontleend worden over lokale situaties, nu en in de toekomst.

Alle foto's en teksten mogen NIET worden verveelvoudigd, gekopieerd, gepubliceerd, opgeslagen, aangepast of gebruikt in welke vorm dan ook, online of offline, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de samenstellers.

Samensteller(s) van deze uitgave zijn zich volledig bewust van hun taak een zo betrouwbaar mogelijke uitgave te verzorgen. Niettemin kunnen zij geen aansprakelijkheid aanvaarden voor onjuistheden die eventueel in deze uitgave voorkomen.

Leeuwarden, december 2020

Eerste druk: augustus 2019

Tweede druk: december 2020