


Klimaatonderzoek Texel





**Klimaatonderzoek Texel**

referentie	projectcode	status
HHN35-1/stam2/005	HHN35-1	concept 03
projectleider	projectdirecteur	datum
ir. Th.G.J. Witjes	ir. P. de Jong	23 augustus 2011

autorisatie	naam	paraaf
goedgekeurd	ir. Th.G.J. Witjes	



<b>INHOUDSOPGAVE</b>	<b>blz.</b>
<b>1. INLEIDING</b>	<b>1</b>
<b>2. REFERENTIESITUATIE</b>	<b>3</b>
2.1. Inleiding	3
2.2. Referentiemodel	3
2.3. Resultaten referentiesituatie	8
<b>3. KLIMAATSSCENARIO'S</b>	<b>13</b>
3.1. Inleiding	13
3.2. Resultaten G scenario (gematigde klimaatsverandering) bij een gemiddeld jaar	15
3.3. Resultaten G scenario (gematigde klimaatsverandering) bij een extreem droog jaar	17
3.4. Resultaten W+ scenario (extreme klimaatsverandering) bij een extreem droog jaar	19
<b>4. CONCLUSIES</b>	<b>21</b>
laatste bladzijde	<b>21</b>
<b>BIJLAGEN</b>	<b>aantal blz.</b>
-	



## 1. INLEIDING

In het kader van het Deltaprogramma voor Noorderkwartier wordt binnenkort voor Texel een bijeenkomst georganiseerd waarbij met de zogenaamde ruimtescanner de consequenties in beeld worden gebracht van bepaalde toekomstscenario's. De ruimtescanner is met name gebaseerd op socio-economische parameters. Het hoogheemraadschap wil naast deze parameters, ook de veranderingen in het watersysteem, die ontstaan als gevolg van klimaatsveranderingen, meenemen in deze beschouwing.

### **Doel**

Doel van het project is een eerste inzicht te krijgen van de veranderingen in het watersysteem op Texel als gevolg van de klimaatsveranderingen. Dit betekent dat voor het jaar 2050 de veranderingen van de grondwaterstand en de zoutconcentraties in de poldergebieden inzichtelijk worden gemaakt en in een formaat worden aangeleverd zodat presentatie met touchtables mogelijk is.

### **Werkwijze en resultaat op hoofdlijnen**

Het watersysteem op Texel kent een grote diversiteit in type systemen (duinsystemen, polders, vrij afwaterende gebieden, keileemsysteem). Daarnaast is een grote afwisseling in het zoutgehalte in het grondwater aanwezig, die het watersysteem op Texel extra bijzonder maakt, maar ook extra gevoelig voor de veranderingen die veroorzaakt worden door klimaatveranderingen.

Om de veranderingen in het (grond)watersysteem in beeld te brengen is een grondwatermodel gebruikt dat de veranderingen in grondwaterstanden, kwel en chlorideconcentraties berekend waarbij rekening wordt gehouden met het feit dat zout grondwater zwaarder is dan zoet grondwater. Met dit model zijn diverse klimaatscenario's berekend en is de invloed op het watersysteem bepaald. Dit heeft geresulteerd in kaarten waarop de veranderingen in de hoogste (HG3) en laagste (LG3) grondwaterstand zijn gepresenteerd ten opzichte van het referentiejaar 2010. Vervolgens zijn de veranderingen van de chlorideconcentraties in het ondiepe grondwater berekend en eveneens op kaart gepresenteerd.

Als referentiejaar is 2010 gekozen, omdat dit het meest recente jaar is en het de bedoeling is een beeld te krijgen van de veranderingen in het watersysteem als gevolg van klimaatsveranderingen ten opzichte van de huidige situatie. Dit is in afwijking van hetgeen in de 'deltaberekeningen' wordt gedaan. In dat kader wordt veelal een gemiddeld jaar (1967) en een extreem droog jaar (1976) berekend onder de huidige klimaatcondities en met diverse andere klimaatsscenario's. Dit levert veelal een groot aantal kaarten op. Maar aangezien deze jaren bij de meeste mensen niet meer actief in het geheugen staan, maken dergelijke berekeningen het niet eenvoudig om de resultaten, mede door het grote aantal kaarten die berekend worden, te communiceren.

Hoewel de hoeveelheid neerslag in 2010 als jaar redelijk gemiddeld was, zijn de verschillen gedurende het jaar wel erg groot (zie hoofdstuk 2 Referentiesituatie). Daardoor kunnen de berekeningsresultaten alleen op hoofdlijnen beoordeeld worden. Dit sluit overigens ook beter aan bij het detailniveau van de modellering.

Extra complicerende factor bij het in beeld brengen van veranderingen in het watersysteem op Texel is de grote variatie in het zoutgehalte in het grondwater en daarmee samenhangend de dichtheid. Door deze dichtheidsverschillen is feitelijk het watersysteem 'continue' in beweging. Ook zonder klimaatsveranderingen verandert het watersysteem op Texel! In het volgende hoofdstuk wordt hier nader op ingegaan.

**Leeswijzer**

In hoofdstuk 2 is de referentiesituatie beschreven. Vervolgens zijn in hoofdstuk 3 de berekeningsresultaten van de verschillende klimaatscenario's voor het jaar 2050 gepresenteerd en voorzien van een beknopte analyse. Tot slot zijn de belangrijkste conclusies in hoofdstuk 4 weergegeven.



## **2. REFERENTIESITUATIE**

### **2.1. Inleiding**

Voor het klimaatonderzoek Texel is gebruik gemaakt van het eerder ontwikkelde zoet/zout grondwatermodel in het kader van het Groot Geohydrologisch Onderzoek Texel (Witteveen+Bos, 2000). Dit is een MODFLOW-model, waarbij rekening is gehouden met dichtheidsverschillen en waarbij de zoet-zout beweging met het programma MocDense3D is gemodelleerd. Deze modellen zijn omgezet naar een thans meer gebruikelijk MODFLOW/SEAWAT-formaat. Dit omgezette model vormt de basis voor de berekeningen van de referentiesituatie en de klimaatscenario's.

### **2.2. Referentiemodel**

Als referentiesituatie voor de door te rekenen klimaatscenario's is voor de grondwaterstand, in aansluiting met de andere klimaatsonderzoeken die voor het beheersgebied van het hoogheemraadschap zijn uitgevoerd, de huidige situatie (2010) gekozen. Hiervoor zijn de neerslag en verdampingsgegevens over het jaar 2010 ingevoerd, rekening houdend met het huidige landgebruik. Het model is instationair doorgerekend met stappen van 14 dagen, met voorafgaand een inrekenjaar.

Voor de chlorideconcentraties in het ondiepe grondwater is een andere referentiesituatie berekend, te weten de situatie 2050 zonder klimaatsverandering (autonome ontwikkeling). De redenen hiervoor zijn:

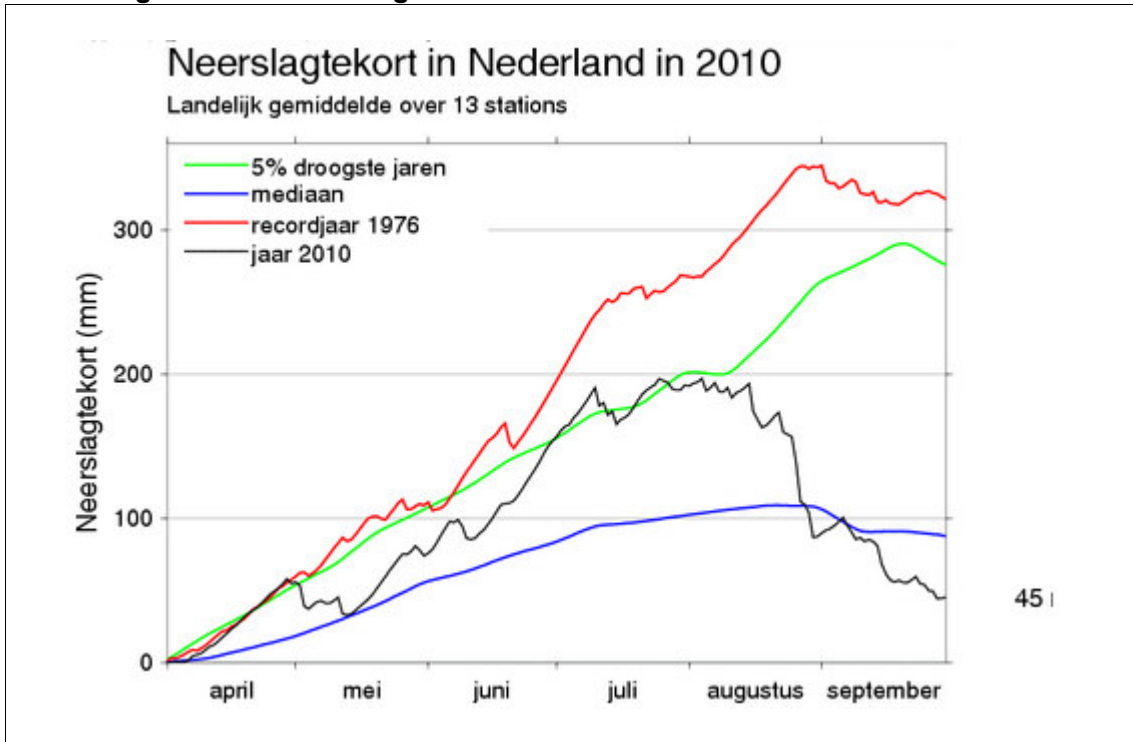
- er is beperkte informatie aanwezig van de startwaarden van de chlorideconcentraties in het grondwater, waardoor deze startwaarden voor 2010 nog een relatief grote invloed hebben op de berekende chlorideverdeling;
- het doel van de studie is het in beeld brengen van het effect van de klimaatsverandering. Aangezien het grondwatersysteem van Texel qua chlorideverdeling niet in evenwicht is (en dus ook in de tijd aan verandering onderhevig is: autonome ontwikkeling), wordt door de keuze van het jaar 2050 autonome ontwikkeling (waarbij voor de berekening uitgegaan is van de huidige neerslag en verdamping gebeurtenissen) een referentiesituatie berekend die geschikt is om te vergelijken met de resultaten van de klimaatscenario's. Alleen door het vergelijken met deze referentiesituatie wordt helder welke veranderingen veroorzaakt worden door de klimaatsveranderingen.

Met het ondiepe grondwater wordt in deze studie bedoeld de 'bovenste modellaag' in het grondwatermodel.

#### **Weerkerarakteristieken 2010**

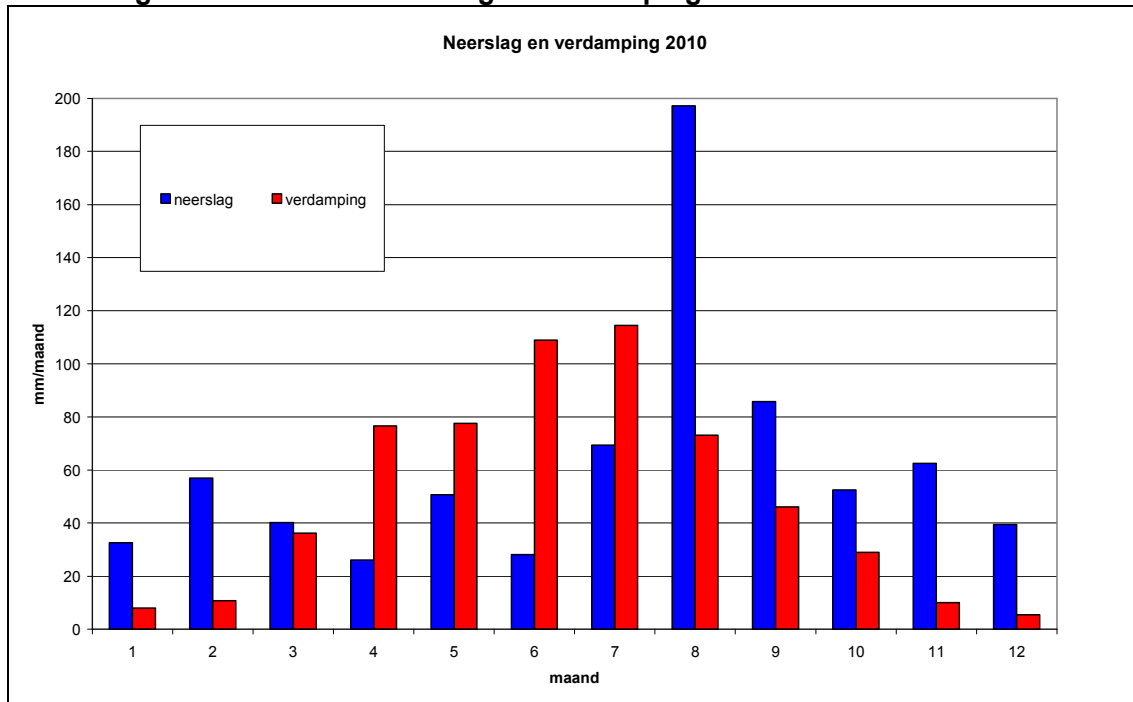
De winter van 2009 op 2010 was koud en kende een neerslagsom (201 mm) die iets boven het langjarige gemiddelde (194 mm) lag. Bijzonder was wel de hoeveelheid sneeuw en de frequentie waarmee de sneeuw viel. De temperatuur in de lente van 2010 was exact gelijk aan het langjarig gemiddelde. Met 132 mm neerslag was de lente van 2010 droog aangezien het langjarig gemiddelde 166 mm neerslag is. Opvallend hierbij is dat met name maart en april droog waren met 47 mm neerslag in maart en 27 mm neerslag in april (afbeelding 2.2.). In mei viel er 57 mm wat exact gelijk is aan het langjarige gemiddelde. De zomer van 2010 kende twee gezichten. Juni was zeer droog met gemiddeld 23 mm neerslag tegenover een langjarig gemiddelde van 71 mm. Na een vrij normale juli maand (76 mm) volgde de op één na natste augustus sinds 1901 met 170 mm neerslag tegenover een langjarig gemiddelde van 62 mm.

**Afbeelding 2.1. Neerslagtekort 2010**



De herfst van 2010 was qua neerslag redelijk gemiddeld met 241 mm tegenover een langjarig gemiddelde van 235 mm. Ook de individuele maanden weken niet veel af van het gemiddelde, september was iets natter dan normaal, oktober iets droger en november zo goed als gemiddeld. December 2010 verliep tot slot droog met slechts 47 mm neerslag tegenover een langjarig gemiddelde van 79 mm.

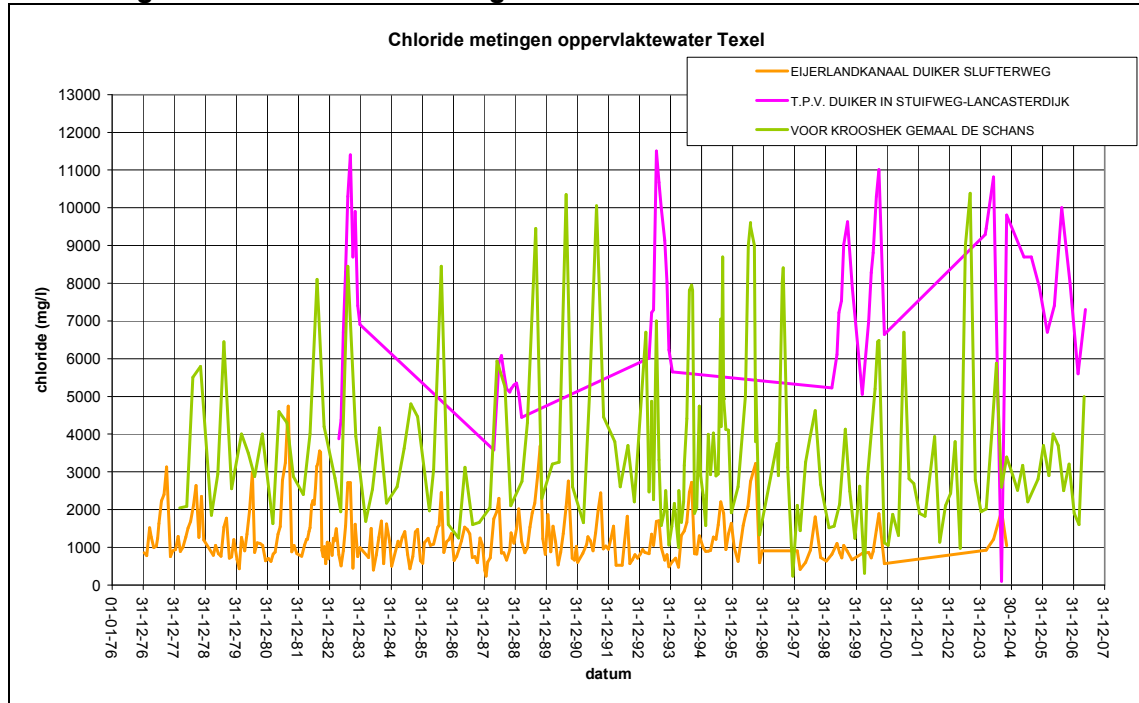
**Afbeelding 2.2. Maandneerslag en verdamping 2010**



## Chloridegehalten

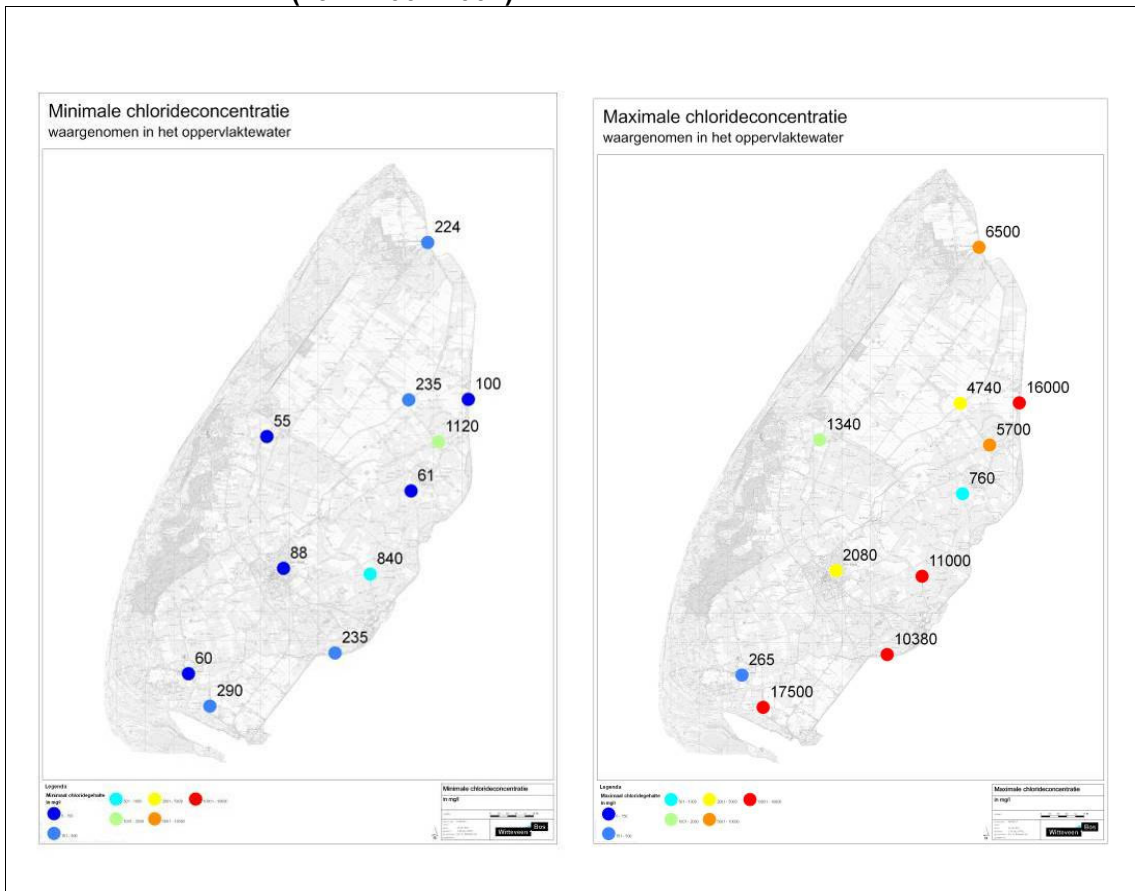
Om inzicht te krijgen in de huidige verziltingstoestand zijn chloride metingen van het oppervlaktewater Texel opgevraagd (bron <http://www.12tux.nl/pmw/index.php?n=Vb.Vb> ). In onderstaande afbeelding zijn voor een drietal punten de gegevens uitgezet.

**Afbeelding 2.3. Chloride metingen Texel**



Wat opvalt, zijn de sterke fluctuaties in de chloride concentratie door het jaar heen en dat de bandbreedte van de fluctuatie ook varieert afhankelijk van de locatie. Zo fluctueren de gemeten chlorideconcentraties in het meetpunt in het Eijerlandkanaal tussen gemiddeld circa 500 tot 5.000 mg chloride/liter en bij het krooshek bij gemaal De Schans variëren de meetwaarden tussen gemiddeld 500 en 10.000 mg chloride/liter.

**Afbeelding 2.4. Chloridegehalten minimaal en maximaal gemeten gehalten (1977-2004/2007)**

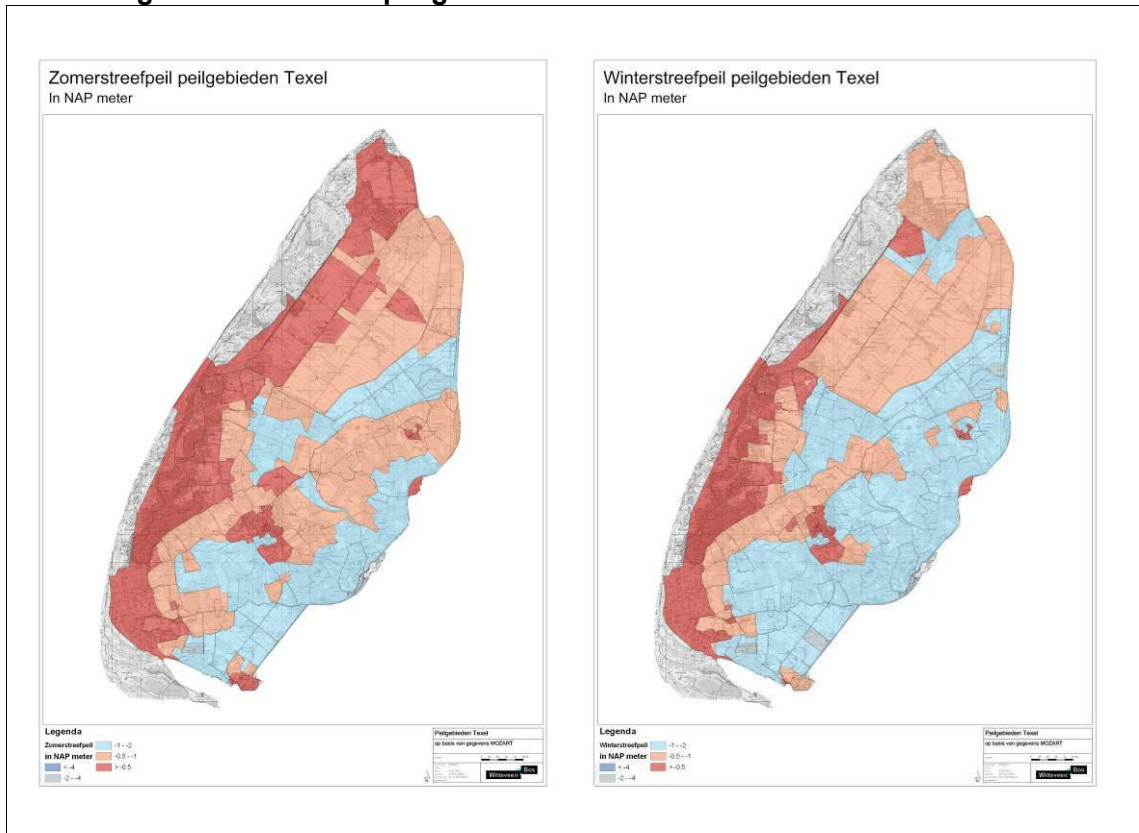


## Streefpeilen

In onderstaande afbeelding 2.5. zijn de winter- en zomerstreefpeilen opgenomen. Deze kaartjes zijn geschematiseerd en indicatief en geven de streefpeilen in vijf klassen aan. In werkelijkheid zijn er lokaal veel verschillen. Voor de grondwatermodellering zijn de daadwerkelijke peilen ingevoerd.

Op geheel Texel liggen bijna alle streefpeilen beneden NAP. Alleen tegen de duinen aan zijn lokaal enkele kleine gebiedjes met een streefpeil tussen NAP en NAP+1 meter (niet op de afbeeldingen te zien). Duidelijk is te zien dat de streefpeilen aan de duinzijde en bij Den Burg hoger zijn (donker rood: streefpeilen boven NAP-0,5 m) dan aan de kant van de Waddenzee (licht blauw: streefpeilen tussen NAP-1,0 en -0,2 m.). Het feit dat de streefpeilen hoofdzakelijk lager zijn dan zeeniveau, is een belangrijke 'motor' achter de verzilting die autonoom (dus zonder klimaatsveranderingen) optreedt.

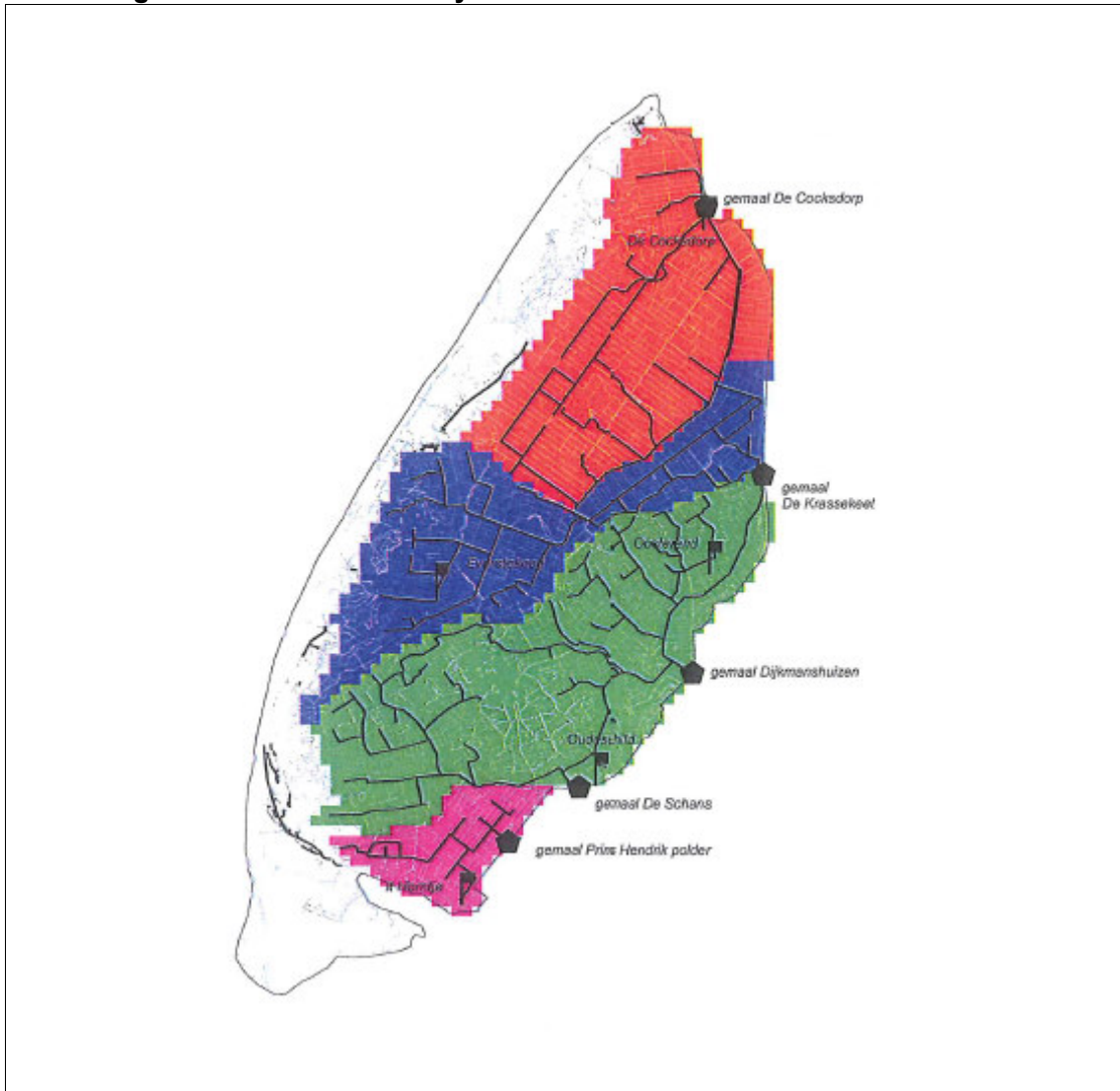
**Afbeelding 2.5. Peilen peilgebieden**



In afbeelding 2.6. is het hoofdwatersysteem weergegeven (bemalingseenheden, hoofdwaterlopen en gemalen):

- in rood de bemalingseenheid Eijerland dat bemalen wordt door gemaal De Cocksdorp;
- in donkerblauw bemalingseenheid Waal en Burg/Het Noorden dat bemalen wordt door gemaal De Krassekeet;
- in groen bemalingseenheid Gemeenschappelijke polders met de gemalen Dijkmanshuizen en De Schans;
- in cyaan bemalingseenheid Prins Hendrik polder met het gelijknamige gemaal.

**Afbeelding 2.6. Hoofdwatersysteem**



### 2.3. Resultaten referentiesituatie

Voor het referentie jaar 2010 zijn de LG3 (gemiddelde van de laagste 3 berekende grondwaterstanden op 14-daagse basis), de HG3 (gemiddelde van de hoogste 3 grondwaterstanden op 14-daagse basis) en de chlorideconcentratie in het ondiepe grondwater in 2050 weergegeven. De afbeeldingen zijn weergegeven in afbeelding 2.7. (LG3 en HG3) en 2.8. (chlorideconcentratie).

In algemene zin zakt in een groot deel op Texel de grondwaterstand gedurende de zomer uit naar meer dan 1,5 m beneden maaiveld. Uitzonderingen hierop zijn de bemalingseenheden Eijerland, waar de grondwaterstand uitzakt tot circa 1,0-1,25 m - mv, en delen van de Prins Hendrik Polder. De hoogste grondwaterstanden laten een meer wisselend beeld zien. De duinen en de keileemsystemen zijn duidelijk waarneembaar omdat ook de hoogste grondwaterstanden meer dan 1,5 m beneden maaiveld blijven.

Ook bemalingseenheid Eijerland is duidelijk te herkennen doordat daar over een groter gebied de hoogste grondwaterstanden ten opzichte van maaiveld voorkomen (0,25-0,75 m beneden maaiveld). De overige gebieden laten een grotere diversiteit zien. Dit wordt vooral veroorzaakt door de grote diversiteit binnen de peilgebieden (zowel veel verschillende streefpeilen als een wisselend maaiveldverloop).

Afbeelding 2.8. geeft het berekeningsresultaat van de autonome ontwikkeling in 2050 (referentiesituatie voor de chlorideconcentraties). In de chlorideconcentraties in het ondiepe grondwater komen de verschillende deelsystemen duidelijk naar voren: de duinen en het keileemsysteem rond Den Burg zijn bovenin duidelijk zoet (chlorideconcentratie lager dan 100 mg Cl/l). De binnenduinrandzone is eveneens duidelijk waarneembaar met chlorideconcentraties van 100-200 mg/l.

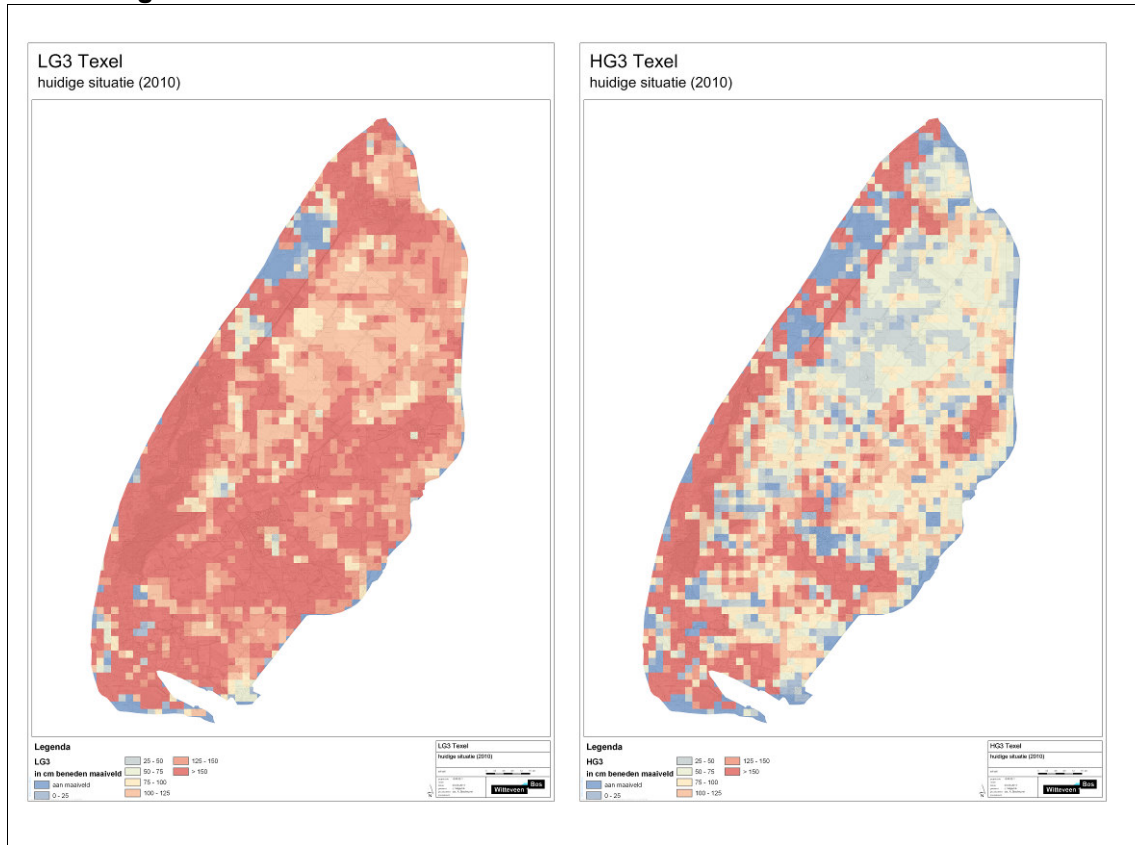
Bemalingsgebied Polder Eijerland is brak met chloride concentraties variërend van 500-1.500 mg Cl/l. In het benedenstroomse deel van dit bemalingsgebied, in de omgeving van gemaal De Cocksdorp is het duidelijk zouter, met waarden boven 2.000 mg Cl/l. Dit gebiedje heeft ook een lager streefpeil dan in het overige deel van het bemalingsgebied (circa 0,2 - 0,4 m lager).

In het aangrenzende bemalingsgebied Waal en Burg/Het Noorden is het over het algemeen zouter dan bemalingsgebied Eijerland. Dit wordt vooral veroorzaakt doordat over het algemeen in de lager gelegen gebieden rond Rommelpot/Molenkil/Westerkolk en het Buiten- en Binnenzwin (natuurreservaat De Bol) ook een lager streefpeil wordt gehanteerd dan in de omgeving. De chlorideconcentratie in het ondiepe grondwater varieert globaal van 1.500-2.500 mg Cl/l.

Bemalingsgebied Gemeenschappelijke polders is vooral in het bovenstroomse deel (winterstreefpeil tussen NAP-1,2 en -1,4 m) en in de strook aan de waddenkust tussen de gemalen Dijkmanshuizen en De Schans (streefpeil tussen NAP-1,4 en -1,6 m) het zoutst (1.500-2.500 mg Cl/l). Het noordelijk deel van dit bemalingsgebied, waar hogere streefpeilen worden gehanteerd, kent over de gehele lengte een zoeter/brakker gebied met chlorideconcentraties variërend van 100-500 mg Cl/l.

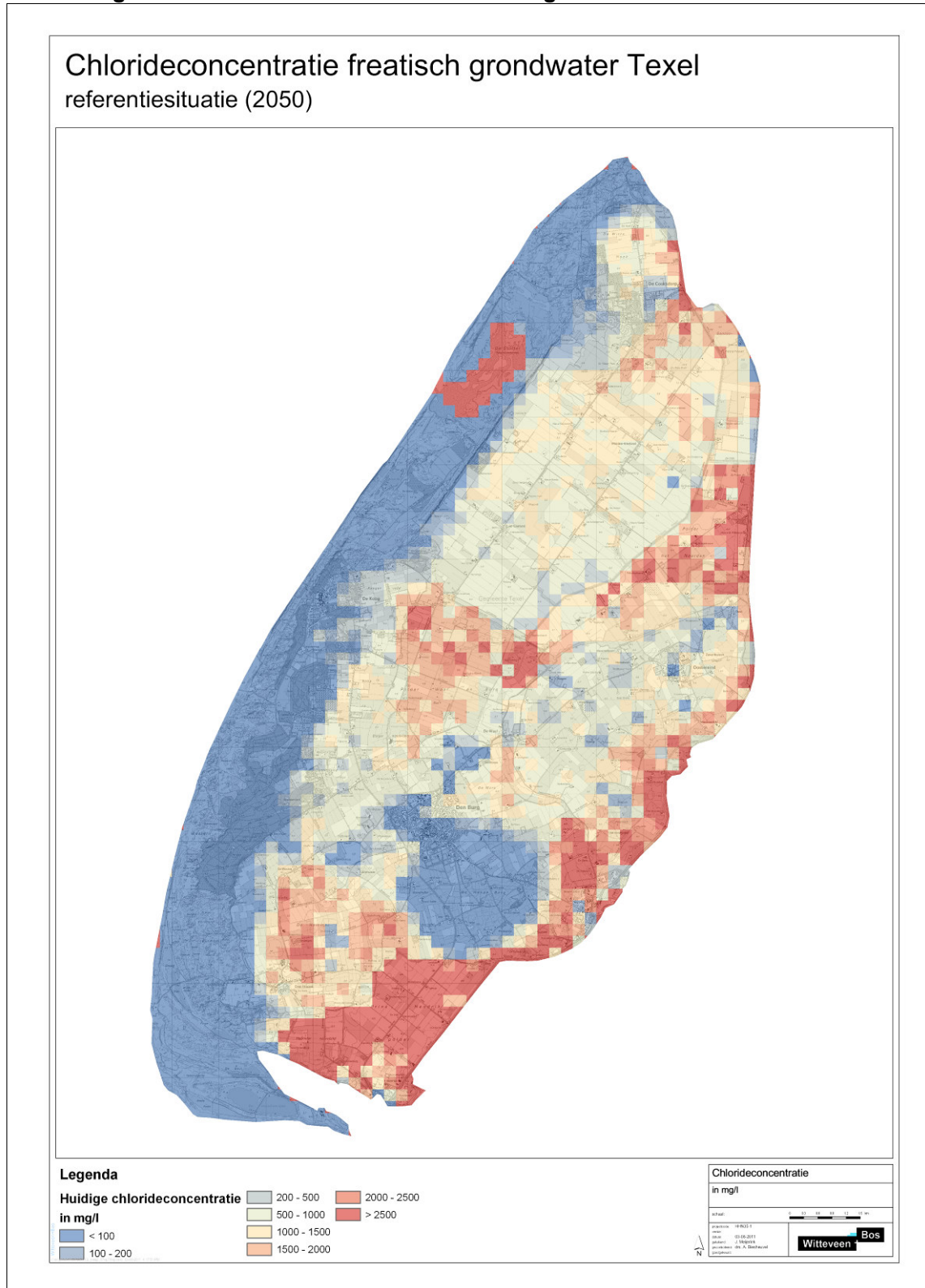
De Prins Hendrik polder heeft de laagste (winter)streefpeilen van rond NAP-1,8 m en is het zoutste systeem op Texel, met chlorideconcentraties die over het algemeen hoger zijn dan 2.500 mg Cl/l.

## Afbeelding 2.7. LG3 en HG3 referentiesituatie



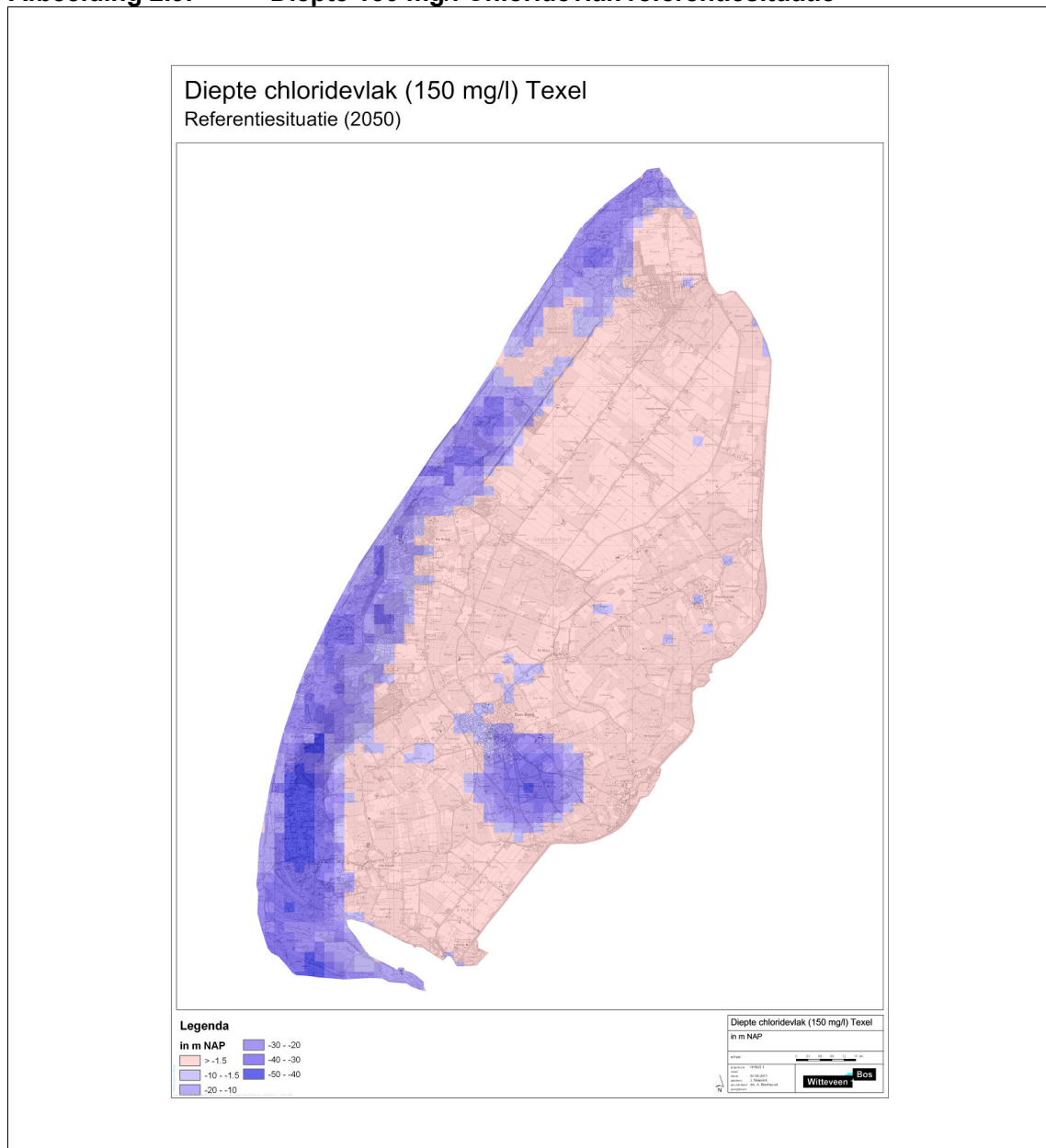


**Afbeelding 2.8. Chlorideconcentratie deklaag referentiesituatie**



In afbeelding 2.9. is de diepte van het chloridegrensvlak weergegeven in m NAP. In het over grote deel van Texel ligt het grensvlak ondieper dan NAP-1,5 meter. Dit betekent dat feitelijk gemiddeld genomen het grondwater tot bovenin licht brak tot zout is en dat de teelt van gewassen die gevoelig zijn voor hogere chlorideconcentraties plaatsvindt op de zoetwaterlens die tijdens de winter wordt gevormd en gedurende de zomer langzaam verdwijnt. In het duin- en het keileemsysteem ligt het grensvlak enkele tientallen meters beneden NAP. Hier is sprake van een zoetwaterbel. (NB de verspreid gelegen lichtblauwe blokjes zijn een gevolg van modelonnauwkeurigheden. In deze afbeelding zijn deze modelonnauwkeurigheden het best zichtbaar, maar soortgelijke onnauwkeurigheden komen ook in de andere afbeeldingen voor. Vandaar dat de berekeningsresultaten vooral op hoofdlijnen moet worden bekeken en geïnterpreteerd).

**Afbeelding 2.9. Diepte 150 mg/l Chloridevlak referentiesituatie**



### **3. KLIMAATSSCENARIO'S**

#### **3.1. Inleiding**

Om een beeld te krijgen van de invloed van de klimaatsveranderingen op het watersysteem van Texel, zijn een drietal klimaatscenario's doorgerekend:

1. berekening 2010 tot 2050 met G (gematigde klimaatsverandering) en vervolgens met de chlorideverdeling van 2050 de situatie '67 onder de klimaatsverandering conform G (gematigd jaar onder gematigde klimaatsverandering);
2. berekening 2010 tot 2050 met G en vervolgens met de chlorideverdeling van 2050 de situatie '76 onder de klimaatsverandering conform G (extreem droog jaar onder gematigde klimaatverandering);
3. berekening 2010 tot 2050 met W+ (extreme klimaatsverandering) en vervolgens met de chlorideverdeling van 2050 de situatie '76 onder de klimaatsverandering conform W+ (eigenlijk extreem droog jaar onder extreme klimaatsverandering).

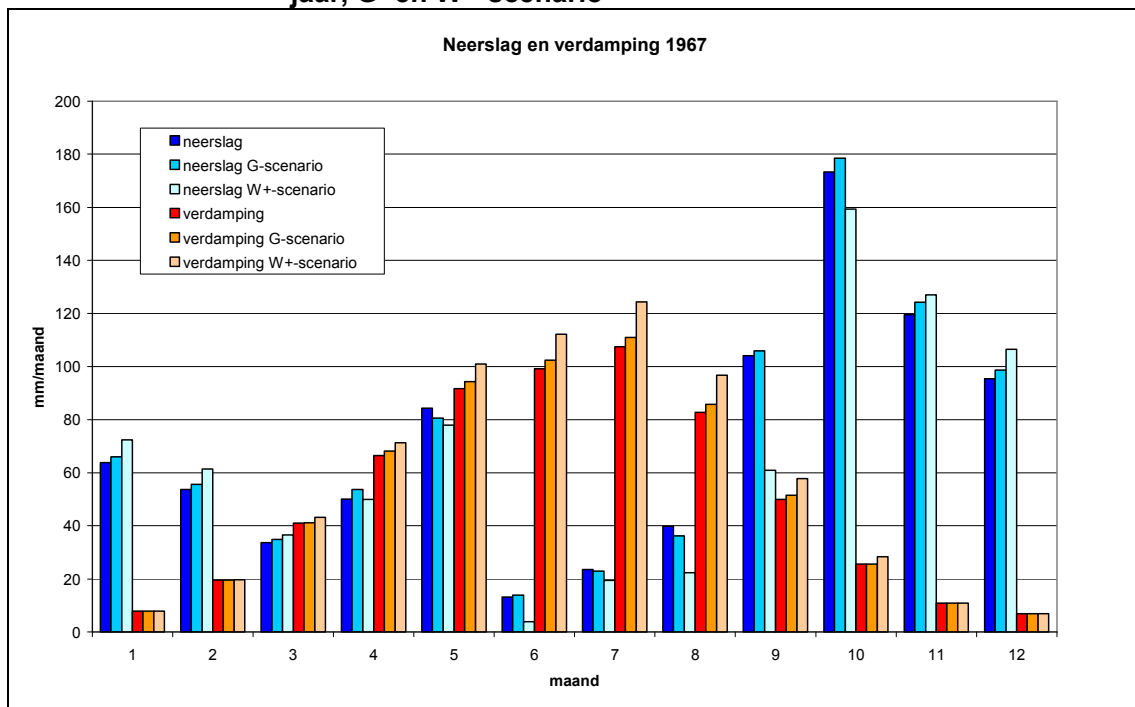
Bij de 'G' en 'W+' scenario's is rekening gehouden met de wijziging in de neerslag en de verdamping conform de KNMI scenario's. In afbeelding 3.1 is de karakterisering van de klimaatsscenario's voor de verdamping en de neerslag weergegeven voor het gemiddelde jaar 1967. Voor het extreem droge jaar 1976 en het jaar 2010 is deze karakterisering opgenomen in respectievelijk afbeelding 3.2 en 3.3.

In de berekeningen voor de klimaatscenario's G en W+ is daarnaast uitgegaan van zeespiegelstijging en bodemdaling. De in het model verwerkte zeespiegelstijging bedraagt 15 cm in de G scenario's en 35 cm in het W+ scenario.

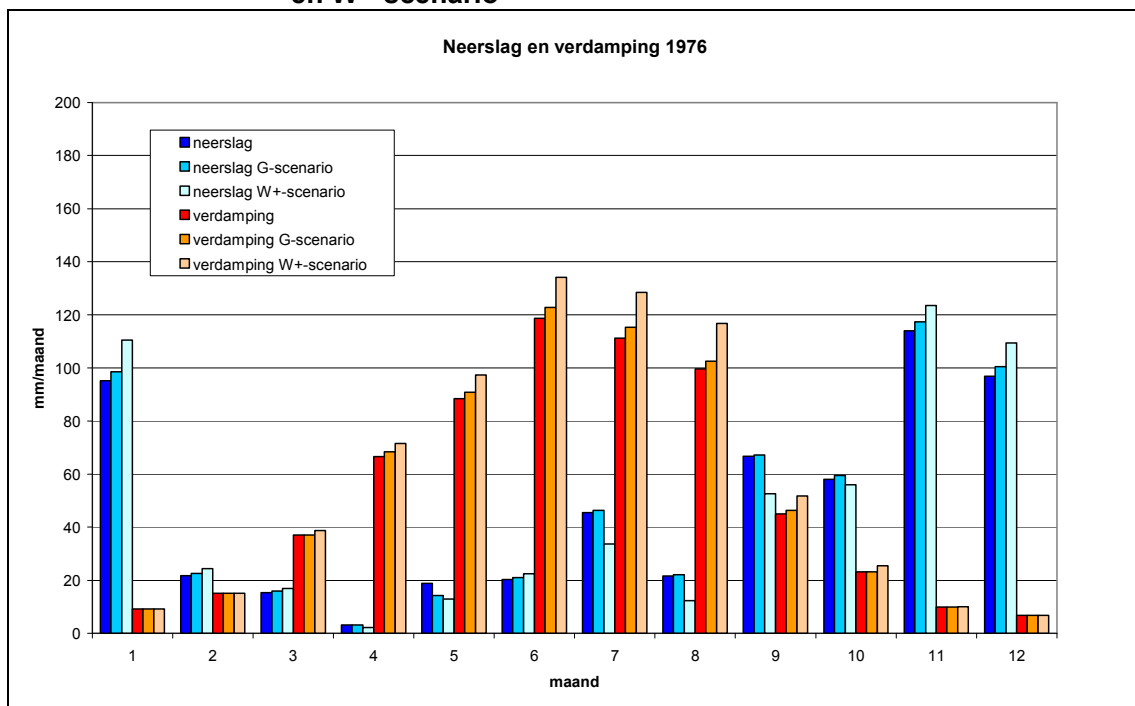
Voor alle berekeningen is het huidig landgebruik als uitgangspunt gehanteerd, omdat nu onze inschatting is dat die niet significant verandert in relatie tot een verandering van de verdamping.

Bij de berekeningen is de verandering van het chloridenveld (en daarmee de dichtheidsverschillen tussen zoet- en zoutgrondwater) tijdens de modelberekeningen meegenomen.

**Afbeelding 3.1. Maandneerslag en verdamping gemiddeld en extreem droog jaar, G- en W+-scenario**



**Afbeelding 3.2. Maandneerslag en verdamping extreem droog jaar, huidig, G- en W+-scenario**



Wanneer 1976 (extreem droog jaar) vergeleken wordt met 1967 (gemiddeld jaar) dan is te zien dat met uitzondering van januari (iets natter dan gemiddeld) en december (gemiddeld) de neerslag gedurende het gehele jaar beduidend minder is in 1976 dan in 1967.

2010 laat ten opzichte van 1967 een droge eerste helft zien en een extreem natte augustus maand, gevolgd door drie redelijk gemiddelde maanden en een droge december maand (zie afbeelding 2.2)

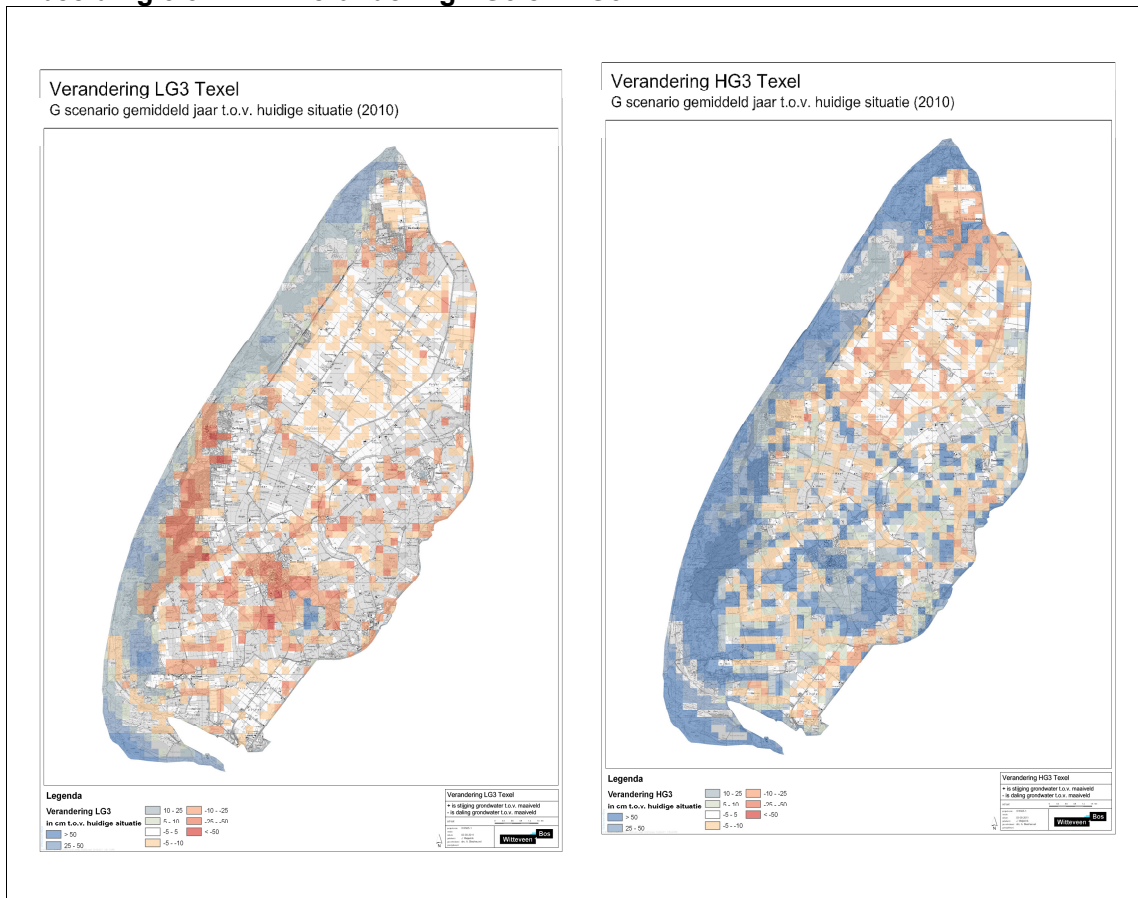
### 3.2. Resultaten G scenario (gematigde klimaatsverandering) bij een gemiddeld jaar

In afbeelding 3.3. zijn de veranderingen voor een gemiddeld jaar (1967) met het klimaat-scenario G ten opzichte van de huidige situatie 2010 gepresenteerd. Het beeld is gemê-leerd. Te zien valt dat zowel de laagste drie als hoogste drie grondwaterstanden onder dit scenario in een gemiddelde situatie in de duinen stijgen als gevolg van een toename van de neerslagintensiteit en neerslaghoeveelheden op jaarbasis.

Voor de laagste grondwaterstanden laten de poldergebieden in grote lijnen zien dat door de toename van de verdamping de grondwaterstanden verder wegzakken. Hoewel 2010 een droog voorjaar kende en daardoor ver uitzakkende grondwaterstanden, valt op dat bij dit klimaatscenario ook in een gemiddeld jaar de laagste grondwaterstanden verder weg-zakken in de bemaalde gebieden dan in 2010.

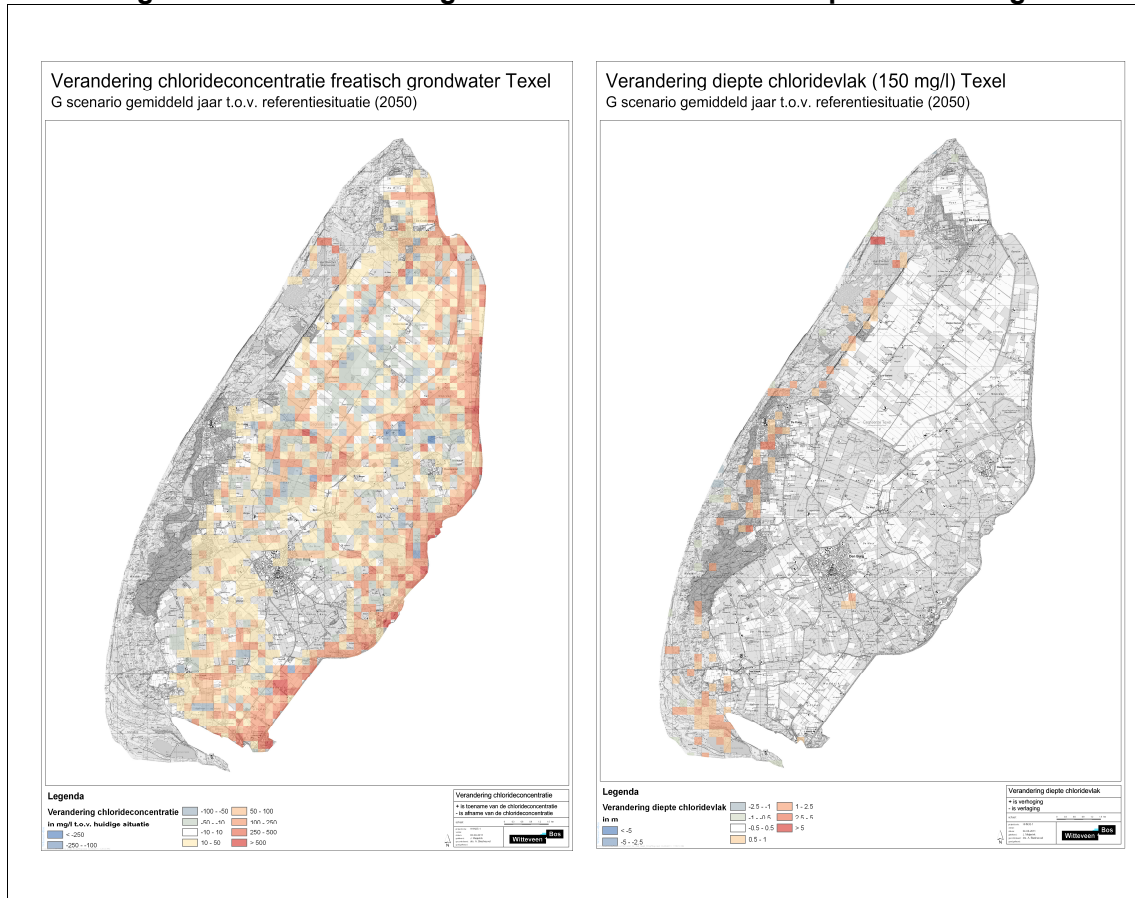
Dat in een aantal poldergebieden (dit is het meest duidelijk in bemalingsgebied Eijerland aangezien dit bemalingsgebied vrij uniform is) voor de hoogste grondwaterstanden wordt berekend dat deze eveneens dalen bij dit scenario komt waarschijnlijk doordat het hoogste grondwaterstanden in 2010 optreden tijdens de zomer als gevolg van het hogere zomer-peil in combinatie met het feit dat juist de zomermaand augustus in 2010 extreem nat was.

**Afbeelding 3.3. Verandering LG3 en HG3**



In afbeelding 3.4. is de verandering van de chlorideconcentratie in het freatische grondwater en de verandering van de diepteligging van het zoet-zout grensvlak (150 mg Cl/l) gepresenteerd ten opzichte van de referentiesituatie 2050.

**Afbeelding 3.4. Verandering chlorideconcentratie en diepte zoet-zout grensvlak**



In de duinen en het keileemsysteem treedt geen verandering van de chlorideconcentratie op in het bovenste deel van het grondwater: het is zoet en het blijft zoet. De omvang van de zoetwaterbel lijkt iets af te nemen (lichte stijging van de diepte van het zoet-zoutgrensvlak), maar de berekende resultaten vallen bijna in de modelonnauwkeurigheden. Dit betekent dat de omvang van de zoetwaterbellen nauwelijks afneemt bij dit klimaatscenario *in vergelijking met de autonome ontwikkeling*. Het is niet uitgesloten dat als gevolg van de autonome ontwikkeling de zoetwaterbellen in omvang veranderen. Die berekening is niet uitgevoerd.

De bemalen gebieden laten een toename van de chlorideconcentratie zien aan in de kuststrook aan de Waddenzee en in een aantal hoofdwatgangen. Dit wordt vermoedelijk veroorzaakt door de toename van de zoute kwel. In de overige delen van de bemalen gebieden wordt feitelijk weinig verandering bij dit klimaatscenario berekend. De meeste veranderingen variëren tussen een afname van de chlorideconcentratie van 50 tot een toename van 50 mg Cl/l. Dat is ongeveer 5% van de berekende concentraties voor de referentiesituatie en zit daarmee eigenlijk binnen de onnauwkeurigheid van de modellering.

### 3.3. Resultaten G scenario (gematigde klimaatsverandering) bij een extreem droog jaar

In afbeelding 3.5. zijn de veranderingen voor een extreem droog jaar (1976) met het klimaatscenario G ten opzichte van de huidige situatie 2010 gepresenteerd.

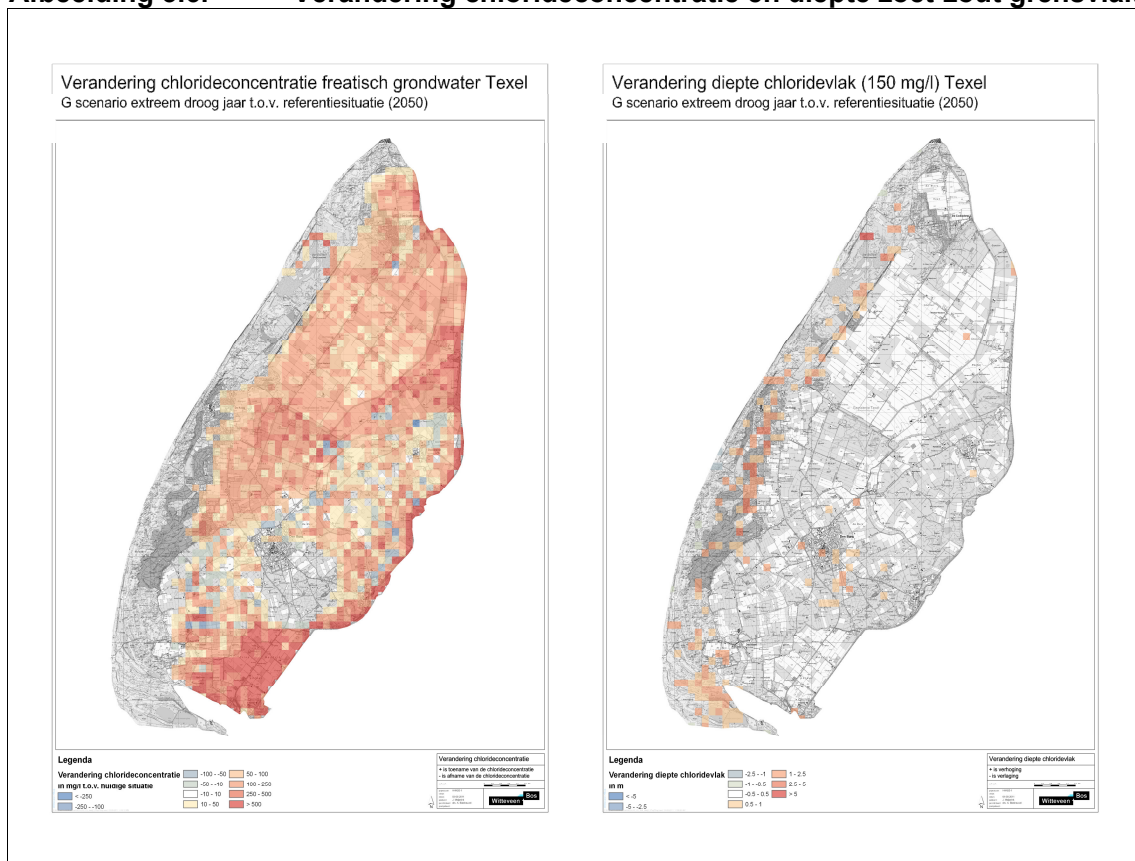
Deze berekening laat zien dat de laagste en hoogste grondwaterstanden in de bemaalde gebieden circa 10-25 cm verder wegzakken in een extreem droog jaar bij dit klimaatscenario. Dit is het meest duidelijk in het bemalingsgebied Eijerland. De rest van Texel laat een gemengder beeld zien. In het duingebied en in het keileemsysteem zakken de laagste grondwaterstanden circa 50 cm verder uit dan in 2010.

Er is geen berekening gemaakt in hoeverre dit verder uitzakken van de grondwaterstand bepaald wordt door de klimaatsverandering of door het feit dat 1976 een extreem droog jaar is geweest.

**Afbeelding 3.5. Verandering LG3 en HG3**



### Afbeelding 3.6. Verandering chlorideconcentratie en diepte zoet-zout grensvlak



Afbeelding 3.6 laat zien dat bij dit klimaatsscenario in nagenoeg geheel Texel de chlorideconcentratie in het freatische grondwater stijgt in een extreem droog jaar. Met name de nu reeds zoutere gebieden (de gebieden met de lagere polderpeilen en de kuststrook aan de zijde van de Waddenzee) laten de grootste verandering zien. Hier wordt een toename van 250-500 mg chloride per liter tot meer dan 500 mg chloride per liter berekend. In het overig deel, met uitzondering van het duin- en keileemsysteem, is de toename orde grootte 50-250 mg chloride per liter. Dat de toename in deze gebieden minder is, wil niet zeggen dat de ernst van de verandering minder is. Het zijn nu reeds kwetsbare systemen met een beperkte zoetwaterbeschikbaarheid.

Het rechter deel van afbeelding 3.6 laat zien dat de zoetwaterbellen iets meer afnemen dan in een gemiddeld jaar bij hetzelfde klimaatsscenario. Ook hier geldt voor beide berekeningen dat het niet duidelijk is of de veranderingen worden veroorzaakt door de klimaatverandering of door het feit dat dit een extreem droog jaar is.



### 3.4. Resultaten W+ scenario (extreme klimaatsverandering) bij een extreem droog jaar

De berekening voor dit W+ scenario laten, zoals in afbeelding 3.7 te zien is, ongeveer hetzelfde beeld zien als de berekening onder het G scenario. De effecten zijn iets groter, dat wil zeggen de grondwaterstanden zakken verder weg.

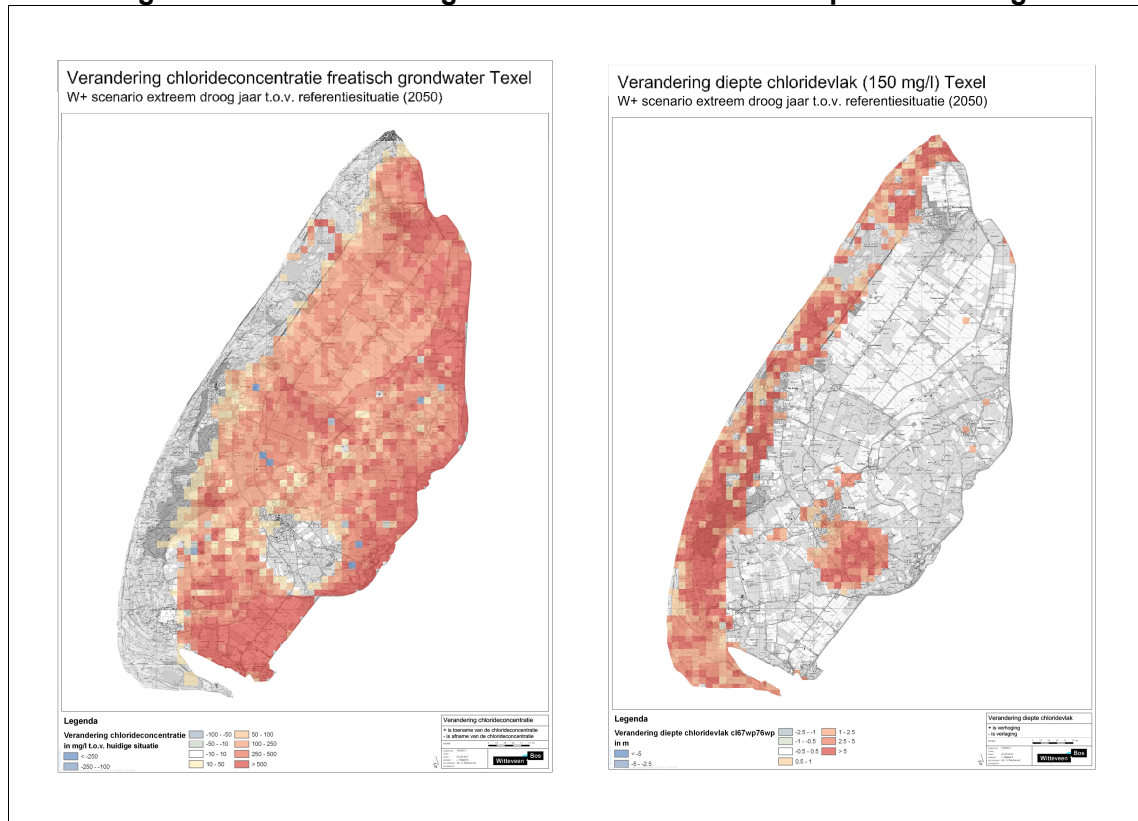
De toegevoegde waarde van deze berekeningen is echter meer dat nu een vergelijking mogelijk is tussen het effect van de verschillende klimaatsscenario's door de resultaten in afbeelding 3.5 te vergelijken met 3.7 (extreem droog jaar onder G versus extreem droog jaar onder W+). In het G scenario zakten de laagste grondwaterstanden over het algemeen 10-25 cm verder uit dan in 2010, in het W+ scenario neemt dit duidelijk toe en wordt in delen van de bemaalde gebieden 20-50 cm berekend. Dat de hoogste grondwaterstanden onder G en onder W+ voor een extreem droog jaar bijna dezelfde resultaten laten zien, wordt wellicht veroorzaakt doordat de verschillen in de grondwateraanvulling tussen beide scenario's relatief beperkt zijn voor de wintersituatie.

**Afbeelding 3.7. Verandering LG3 en HG3**



Afbeelding 3.8 laat de veranderingen van de chlorideconcentraties en de diepte van het zoet-zout grensvlak zien voor een extreem droog jaar onder klimaatscenario W+. Ook hier geldt dat vergelijking met de berekeningen zoals gepresenteerd in afbeelding 3.6 meer informatie oplevert dan vergelijking met 2010. Duidelijk is te zien dat op heel Texel, met uitzondering van de duin- en keileemsystemen, de chlorideconcentratie in het freatische grondwater onder klimaatscenario W+ meer toeneemt dan onder G. Ook de dikte van de zoetwaterbel in de duinen en in het keileemsysteem neemt duidelijk meer af onder W+ dan onder G.

**Afbeelding 3.8. Verandering chlorideconcentratie en diepte zoet-zout grensvlak**



#### 4. CONCLUSIES

De berekeningsresultaten dienen met voorzichtigheid bekeken te worden. De uitkomsten zijn niet altijd eenduidig maar laten wel een lijn zien. Dit wordt veroorzaakt door de onnauwkeurigheden in de berekeningen (weinig informatie voor calibratie op chlorideconcentraties) en aangezien het referentiejaar een bijzondere meteorologie kende met een relatief droog voorjaar en een zeer natte maand augustus.

De berekeningen laten vooral een resultaat zien ten opzichte van de huidige situatie (2010). Daardoor is het niet altijd duidelijk of de veranderingen die berekend zijn veroorzaakt worden door de meteorologie van het betreffende jaar, of door de aangenomen klimaatsverandering.

Over het algemeen laten de berekeningen zien dat de laagste grondwaterstanden in de toekomst, als gevolg van de klimaatsverandering verder weg zullen zakken. Bij een gematigd klimaatscenario zijn de veranderingen weliswaar beperkt en treden de veranderingen niet overal op, maar aan de andere kant wordt Texel gekenmerkt door kwetsbare watersystemen in relatie tot de zoetwatervoorziening en kan elke kleine verandering hierin grote (landbouwkundige) consequenties hebben.

De hoogste grondwaterstanden laten een minder duidelijk beeld zien. Wellicht wordt dit veroorzaakt doordat het effect van de klimaatsverandering minder duidelijk tot uitdrukking komt in de verandering van de hoogste grondwaterstanden: de verschillen tussen het huidige klimaat en de diverse klimaatsscenario's is voor de wintersituatie relatief beperkt en de onderzochte gebieden zijn bemalen gebieden met een gereguleerd peil.

Voor de chlorideconcentratie in het freatische grondwater laat het G klimaatscenario zien dat in de polders met een lager streefpeil, in de polders grenzend aan de Waddenkust en in de hoofdwatgangenen de toename van de chloride concentratie het grootst is. De overige gebieden laten nauwelijks een verandering zien (minder dan 5 %). Onder het W+ scenario neemt de chlorideconcentratie in het freatisch grondwater op bijna heel Texel toe.

De omvang van de zoetwaterbel in het duinsysteem en het keileemsysteem (diepte van het chloridevlak) neemt bij het G scenario niet af (resultaten vallen weg tegen de modelonnauwkeurigheden). Bij het W+ scenario is wel een afname te verwachten.