

Bijlage 1

Het watersysteem van Schiermonnikoog mee in detail

Morfologie, hoogteligging en reliëf

Schiermonnikoog is een klein eiland met een compacte duinkern en een naar het oosten aflopend en versmallend duin- en kweldergebied. De hoofdvormen van het modeleiland zijn op Schiermonnikoog nog zeer goed te herkennen (zie beheerplan Natura 2000):

Eilandkop: onbegroeide strandvlakte aan de westzijde;

Duinboogcomplex: jonge duinbogen en valleien tegen een oud duingebied aan (nabij dorp).;

Washovercomplex: systeem van geulen en duinruggen, nu grotendeels afgesloten door een stuifdijk;

Eilandstaart: met gekerfde zeereep aan de noordzijde en kwelders/kwelderkreken aan de zuidzijde.;

Strand en vooroever: breed strand aan de noordzijde van het eiland.



Afbeelding xx Modelleiland geprojecteerd op Schiermonnikoog (naar beheerplan Natura 2000)

Op Schiermonnikoog ligt het buitenwater (Noordzee en Waddenzee) relatief ver weg van het centrale duingebied, waardoor het afstromende grondwater in sterke mate opgevangen kan worden (in de vorm van kwelwater) door de omringende kweldergebieden en strandvlaktes. Naast het natuurlijke gebied van duinen, strandvlaktes en kwelders komen op Schiermonnikoog ook twee grotere gebieden voor waarvan de morfologie en waterhuishouding in sterke mate door de mens zijn bepaald. Dit betreft de Banckspolder en de Westerplas. Geomorfologisch is de Banckspolder een ingedijkt kweldergebied (1860) met thans een landbouwfunctie en behoort zij

niet tot de Natura 2000-gebieden. De inrichting en waterhuishouding (peilbeheer) van de Bankspolder heeft echter een grote invloed op het hydrologische systeem van het duingebied.

Een ander kenmerk van Schiermonnikoog, van belang voor het hydrologisch systeem, is de dynamiek van de vormverandering van het eiland. Zo is het eiland sinds de middeleeuwen geleidelijk aan opgeschoven naar het oosten. De duincomplexen in het oosten, zoals de Kobbeduinen zijn relatief jong. De laatste decennia vindt echter ook een sterke aangroei van het eiland plaats in het noorden, ten noorden van de Oosterduinen. De aangroei van het eiland heeft gevolgen voor de ontwikkeling van de zoetwaterbel, die hieronder wordt besproken. Door verbreding van het eiland wordt de drainagebasis in noordelijke richting verlegd, waardoor de grondwaterstanden in het duingebied zullen toenemen. In welke mate dit plaats vindt hangt af van de ontwikkeling en met name de toekomstige hoogteligging (drainagebasis) van het 'groene' strand.

Grondwaterstand

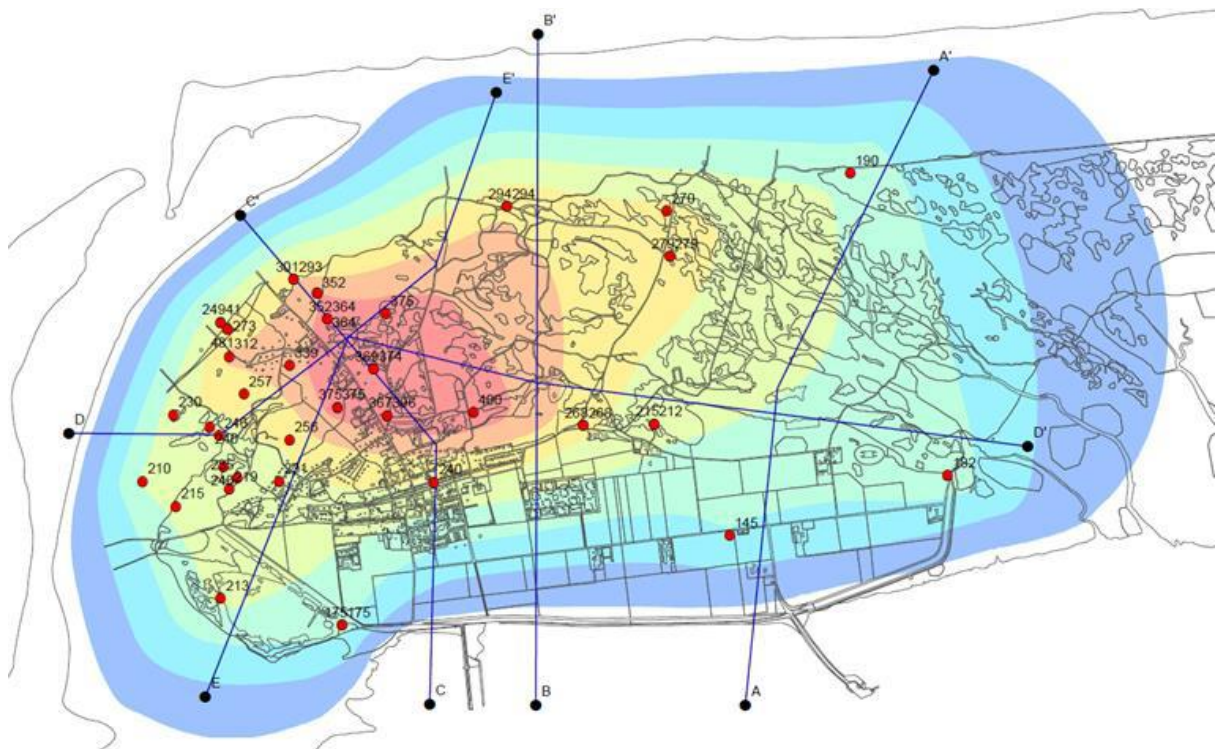
Waar grondwater zich in principe onder de oppervlakte bevindt, en dus onzichtbaar is, stijgt in de duinvalleien periodiek het grondwater tot boven het maaiveld. Als dat niet verbonden is aan een afvoersysteem blijft het daar staan. Het niveau beweegt mee met de grondwaterstand. Via ondergrondse afvoer zijgt het water in droge perioden geleidelijk weg, om na een natte periode weer omhoog te komen. Voorbeelden van deze duinvalleien zijn het Kapenglop en Hertenbosvallei.



Hertenbosvallei in januari 2024, onder extreem natte omstandigheden (Foto: Arjen Kok)



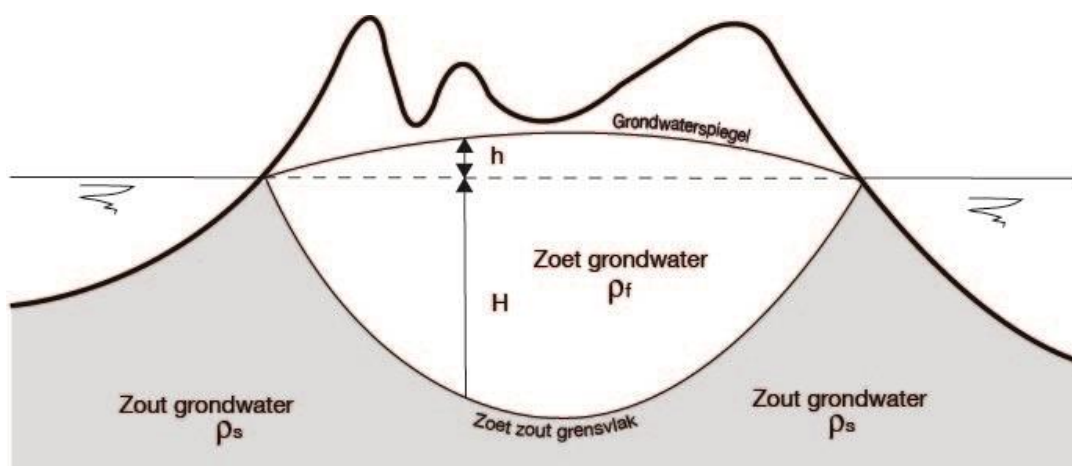
Kapenglop in januari 2024, onder extreem natte omstandigheden (Foto: Arjen Kok)



De hoogste grondwaterstanden op Schiermonnikoog liggen in het oude duingebied ten noorden van het dorp, ofwel in het -door hoge duinruggen- ingesloten gebied (rond de Badweg en het Kapenglop). Dit is in lijn met het in paragraaf 2.1 geschetste hydrologisch beeld, waarbij we het eiland als één zandlichaam mogen beschouwen. Afzonderlijke duinruggen die volgens de kaart van het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN) aanwezig zijn, leiden niet tot (zichtbare) detailopbollingen. In de winterperiode kan de grondwaterstand nabij de IJsbaan reiken tot NAP +3,75 m/ NAP +4,00 m.

Kwaliteit grondwater

Het eiland is een zoet water-enclave in een zoutwater-omgeving van Noordzee en Waddenzee. Zout water (chlorideconcentratie meer dan 10.000 mg/L) is onbruikbaar voor de mens en veel diersoorten. De beschikbaarheid van zoet water is van levensbelang voor mens, fauna en flora. Zoet water (chlorideconcentratie minder dan 150 mg/L) wordt continu aangevoerd in de vorm van neerslag, dringt de grond in en vormt daar een voorraad zoet grondwater. Het opbollende zoete grondwatervolume leidt ertoe dat het zoute grondwater naar de diepte weggedrukt wordt. Volgens de theorie van Ghyben-Herzberg zou elke meter opbolling het zoute water een factor 40 keer zo diep weggedrukken (zie paragraaf 2.1).



Figuur xx : Schematische uitwerking van de theorie van Ghyben - Herzberg

Met lagere grondwaterstanden van ca. NAP +2,50 m en hogere van meer dan NAP +3,50 m in het midden van het eiland zou dat ertoe moeten leiden dat het grensvlak tussen zoet en zout water zich uiteindelijk rond NAP -120 m zou bevinden. Een systematische kartering van het grensvlak ('mede op basis van geo-elektrisch onderzoek') is voor het laatst uitgevoerd in 1985 (Rus, 2011). Volgens die kartering lag het diepste punt van het grensvlak op iets meer dan NAP -80 m. Deze kartering is in juli 2024 op een paar plekken geverifieerd en bevestigd met veldonderzoek en zal met een groot onderzoek, genaamd 'Freshem', opnieuw worden gedaan, naar verwachting in 2025 / 2026.



Figuur xx Diepteligging van het zoet/zout-grensvlak 1985 (Rus, 2011).

De zoetwaterbel volgt op hoofdlijnen de opbolling van het grondwater in het duingebied, al lijkt het diepste punt van het grensvlak wat oostelijker te liggen dan de hoogste grondwaterstanden. Dat het grensvlak minder diep ligt dan het volgens de theorie van Ghyben-Herzberg zou moeten liggen, duidt erop dat het nog niet in evenwicht is of dat er zich in de ondergrond weerstandsbiedende kleilagen bevinden. Het laatste is het meest waarschijnlijke.

De waterbalans van Schiermonnikoog - Kwantificering van de waterstromen

Het gebied van Schiermonnikoog binnen de zeewaterbescherming is bij benadering 10 km² groot. Dus een regenbui van 10 mm brengt 100.000 m³ zoet water in het gebied (5.000 m x 2.000 m x 0,01 m).

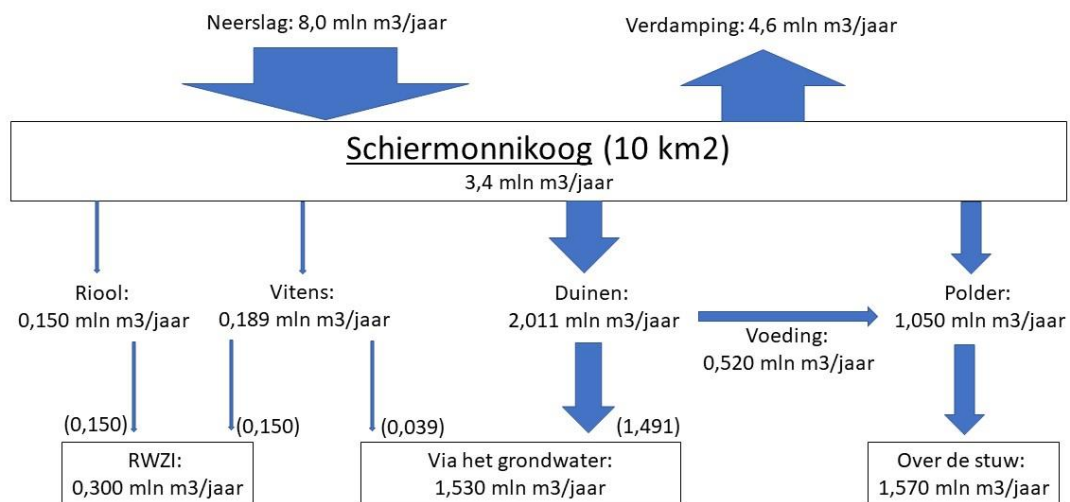
Omdat Schiermonnikoog een eiland te midden van zout zeewater is, is er geen aanvoer van zoet oppervlaktewater mogelijk. De enige bron van zoet water is dus de neerslag. De hoeveelheid aangevoerd zoet water is de neerslag minus de verdamping.

Voor de neerslag kunnen we een gemiddelde waarde van 800 mm/jaar aanhouden. De verdamping is vaak minder precies bekend. De begroeiing is met name een bepalende factor voor hoeveel water er verdampt. Op onbegroeide zandgrond zakt het regenwater makkelijk en snel naar het grondwater zodat er weinig kan verdampen. Bij open water is er continu water beschikbaar en verdampt er dus veel. Gewassen nemen met hun wortels water op uit de bodem en soms kan ook het grondwater benut worden. Grasland is jaarrond aanwezig, al verdampt vooral water in het voorjaar. Akkerbouwgewassen groeien alleen in het groeiseizoen en laten na de oogst een kale grond achter. Bij bossen is er verschil tussen naaldbomen, die het hele jaar door water verdampen en loofbomen waarbij dat stopt als in de herfst de bladeren van de bomen vallen.

Hydrologen werken graag met kengetallen voor het verschil tussen neerslag en verdamping: de grondwateraanvulling. Voor Schiermonnikoog kunnen dan de volgende waarden worden aangehouden:

	Oppervlakte (km ²)	Grondwateraanvulling (mm/jaar)	Hoeveelheid (mln. m ³ /jaar)
Gras (polder)	3,5	300	1,05
Bebouwd	0,5	200	0,1
Bos	1,5	250	0,38
Open water	0,5	150	0,08
duin	4,0	450	1,8

Voor het hele eiland levert dat jaarlijks 3,4 mln. m³ infiltrerend zoet grondwater. Het grootste deel ervan komt aan het duingebied ten goede. Een deel daarvan zal via het rondwater naar de polder afstromen. In (Van Dooren, 2019) wordt deze hoeveelheid geschat op 0,52 mln. m³/jaar. In de polder zelf (3,5 km², 300 mm/jaar) wordt jaarlijks 1,1 mln. neerslagoverschot aan het grondwater toegevoegd.



Figuur . Indicatieve waterbalans Schiermonnikoog.

Als bron voor de drinkwatervoorziening onttrekt Vitens zoet grondwater, uit de zoetwaterbel, nabij de Hertenbosvallei en Westerplas. De afgelopen jaren schommelde de onttrokken hoeveelheid rond 180.000 m³/jaar, maar was in 2021 gestegen tot 189.000 m³, ruim 5 % van de jaarlijkse grondwataanvulling.

De helft van het geproduceerde drinkwater op het eiland wordt verbruikt door “klein verbruikers”, woonhuizen en vakantiehuizen. De andere helft van het drinkwater afgenomen door 50 aansluitingen met de grootste afname, dat zijn voornamelijk..... Naast de agrarische bedrijven zijn er geen industriële activiteiten op het eiland. Zwembad?

Na gebruik als drinkwater wordt het grootste deel van het water naar de rioolwaterzuivering (RWZI) afgevoerd. Voor bovenstaande waterbalans is aangenomen dat het om 150.000 m³/jaar gaat. Hier wordt jaarlijks ruim 300.000 m³ water verwerkt, wat betekent dat er niet alleen gebruikt drinkwater wordt verwerkt, maar ook regenwater. (checken met rapport RWZI)

In 2017 is een analyse uitgevoerd naar het functioneren van de riolering op Schiermonnikoog (RHDHV, 2017). Hierin is beschreven dat naar schatting 13,3 ha. verhard gebied op het gemengde stelsel aangesloten is. Uit de analyse van verpompte hoeveelheid ontstaat het beeld dat de oppervlakte aangesloten verhard gebied toeneemt bij extreme neerslag, mogelijk als gevolg van afstroming van verhard oppervlak. Slechts een klein deel van Schiermonnikoog is afgekoppeld. De gemeente heeft wel plannen om meer verhard oppervlak af te gaan koppelen. De hoeveelheid regenwater die via de riolering afgevoerd kan worden is beperkt. Als er meer regen in het riool terecht komt dan verwerkt kan worden, gaat het in eerste instantie naar twee bergbezinkbassins. Van hieruit kan het op een later tijdstip alsnog naar de RWZI worden afgevoerd. De totale hoeveelheid regenwater dat via de RWZI verwerkt wordt, zou dan ook 150.000 m³/jaar bedragen. Na het zuiveringsproces te hebben doorlopen, wordt het water geloosd in de Waddenzee.

Als er zo veel regen valt dat ook de bezinkbassins het niet meer aankunnen, is er een overstort naar de waterloop aan de zuidkant van de polder. Als deze overstort in werking treedt, wordt er dus ongezuiverd regen- en rioolwater op de waterloop van het poldersysteem en uiteindelijk de Waddenzee geloosd. (is er iets te zeggen hoe vaak deze actief is?)

Het slotensysteem in de polder heeft te maken met verschillende waterstromen als bron:

- het oppervlaktewater dat via de waterloop vanaf de IJsbaan en de camping via de Klimaatstoot naar de polder wordt gevoerd;
- het water dat via de ondergrond vanuit de duinen naar de polder stroomt en daar opkwelt;
- het overtollig regenwater dat in de polder zelf valt;
- het water dat bij extreme neerslag via de overstorten in de poldersloten terecht komt.

Volgens inschattingen van het Wetterskip Fryslân wordt er jaarlijks 1 à 2 mln m³ via de stuw aan de zuidkant van de polder onder vrij verval op de Waddenzee afgevoerd. In bovenstaande waterbalans komen we op 1,57 mln m³/jaar. Om de balans sluitend te maken, moet er 1,53 mln m³/jaar vanuit de duinen naar de Noordzee en Waddenzee afstromen.

Klimaatverandering

In 2023 heeft het KNMI vier nieuwe klimaatscenario's gepresenteerd. In deze klimaatscenario's wordt uitgegaan van een scenario met hoge uitstoot van broeikasgassen, waarin de opwarming rond 2100 is toegenomen tot 4,9°C, en een scenario met lagere uitstoot van broeikasgassen, waarin de mondiale opwarming beperkt blijft tot 1,7°C rond 2100. De doorwerking van deze opwarming zorgt voor droge zomers en nattere winters in Nederland. Het KNMI houdt rekening met een nat scenario (Ln en Hn) waarin de winters sterk vernatten en de zomers licht verdrogen, en een droog scenario (Ld en Hd) waarin de winters licht vernatten en de zomers sterk verdrogen. De gevolgen van deze scenario's zijn als uitgangspunten gebruikt voor het opstellen van adaptieve lange termijn strategieën voor toekomstbestendige investeringsbeslissingen.

Klimaatverandering heeft een tweeledig effect op het hydrologisch systeem. Zomers worden droger, winters worden natter. Op een eiland wat geheel afhankelijk is van het regenwater heeft dat gevolg voor zoetwateraanvulling en -beschikbaarheid en dus diepte en vorm van de zoetwaterbel onder het eiland. Een ander aspect van klimaatverandering is zeespiegelstijging. Het stijgen van het zeewater heeft effect op het evenwicht tussen zoet en zout grondwater, dus ook weer op de vorm en diepte van de zoetwaterbel. Door hogere zeewaterstanden nemen de verziltingsrisico's aan de wadzijde aan de rand van polder toe. Zeespiegelstijging is de meest dominante klimaatfactor op Schiermonnikoog en heeft invloed op zoetwaterbeschikbaarheid en daarmee landbouw, natuur en drinkwater en in mindere mate waterveiligheid. Schiermonnikoog staat als eiland tussen de Noordzee en de Waddenzee, onder directe invloed van zeespiegelstijging.

Droogte

Droogte ontstaat als er meer water verdampt dan dat wordt aangevuld als neerslag, dit is een belangrijke stressfactor veroorzaakt door klimaatverandering. In alle vier de scenario's die het KNMI schetst in haar rapport neemt het neerslagtekort toe in de zomermaanden; in de zomermaanden zal minder neerslag vallen en neemt de verdamping toe door de stijgende gemiddelde temperatuur in deze maanden (KNMI'23 klimaatscenario's, 2023). In het droogste scenario (Hd) is een toekomstige gemiddelde zomer zelfs ongeveer even droog als de extreemste zomers nu. Deze droogte wordt veroorzaakt door een toename van oostenwinden in de zomer, die drogere lucht aanvoeren. Deze effecten zullen naar verwachting sterker zijn in het zuiden van het land, maar ook zeker op een relatief geïsoleerd systeem als Schiermonnikoog zal dit grote gevolgen kunnen hebben. De neerslagtekorten die de verschillende scenario's van het KNMI voorspellen, tonen aan dat de extremen van nu (2018, 2020) de nieuwe normaal zullen zijn in 2100.

Neerslag & wateroverlast

In alle vier de klimaatscenario's neemt in 2100 de neerslag in de winter toe (met 4-24%) en neemt de neerslag in de zomer af (met 2-29%). De jaarlijkse neerslaghoeveelheid in 2100 verandert in drie van de vier scenario's weinig (0-3%), de verschillen tussen de seizoenen worden echter uitvergroot. In het natte scenario met hoge emissies (Hn) neemt de jaarlijkse neerslag in 2100 toe met 8% ten opzichte van 1990-2020. Dit wordt gedomineerd door een toename in winterneerslag van 24%. De winter van 2023 – 2024 was hiervan een voorbeeld.

In de scenario's wordt geschetst dat de extremen groter worden, de condities om zware buien te vormen komen vaker voor en condities passend bij lichte zomerse buien worden zeldzamer. Hierdoor kunnen er in de toekomst zwaardere en intensere buien verwacht worden, er zal meer regen uit één bui vallen en tevens zal deze grotere hoeveelheid regen in een kortere tijd vallen. Doordat de neerslag vaker zo intensief is dat deze niet meer geleidelijk in de ondergrond opgenomen kan worden neemt hiermee ook de kans op wateroverlast toe.

Zeespiegelstijging

Rond 2100 voorspellen de klimaatscenario's voor de scenario's met een lage uitstoot (Ld, Ln) een zeespiegelstijging tussen de 26 en 73 cm. En in de scenario's met een hoge uitstoot (Hd, Hn) tussen de 59 en 124 cm. De meest extreme zeespiegelstijging in 2100 kan zelfs 2,5 meter zijn, dan moeten onzekere processen zoals het instabiel worden van de Antarctische Ijskap wel al voor 2100 optreden. Schiermonnikoog staat onder directe invloed van zeespiegelstijging. De waterveiligheidsopgave maar ook de beschikbaarheid van zoetwater wordt bepaald door de mate van zeespiegelstijging.

Toekomstige ontwikkelingen

De diepte van de zoetwaterbel wordt bepaald door het hoogteverschil tussen het zeeniveau en de opbolling tussen de kusten. Het zeeniveau bedraagt momenteel ca. NAP +0,20 m en is de afgelopen decennia met 0,2 mm/jaar gestegen. De verwachting is dat onder invloed van klimaatverandering deze stijging zal versnellen. De schattingen lopen uiteen van 0,3 m tot 1,2 meter stijging tot 2100. Er is voor het Integraal Waterplan een grondwatermodel gemaakt, om de toekomstige situatie in beeld te brengen.

Daar waar de opbolling mee kan stijgen met de zeespiegel, zal ook de ligging van het zoet/zout-grensvlak niet veranderen. Daar waar de peilen beheerst worden, kan het zoete water niet mee stijgen, en wordt het grensvlak geleidelijk omhoog gedrukt. Dit is een traag proces: het duurt decennia voordat er sprake is van een nieuw evenwicht. Omgekeerd is het proces ook traag: als er wordt ingezet op het vergroten van de zoetwatervoorraad, kost de opbouw tientallen jaren. Het is dan zaak om er op tijd aan te beginnen om nu al een voorraad op te bouwen, waar de bewoners over vijftig tot honderd jaar of misschien wel langer van kunnen profiteren.

Ook laterale toestroming van zout grondwater vanuit zee moet worden voorkomen. Op dit moment is volgens het peilbesluit het laagste peil in de polder NAP +0,65 m. Zo lang dat (in de praktijk, niet alleen op papier!) hoger is dan de zeespiegel is er sprake van netto uitstroming van zoet grondwater naar de zee. Vanaf het moment dat de zeespiegel structureel hoger komt dan het polderpeil achter de dijk, komt er een zoute grondwaterstroming op gang. De verwachting is dat dit rond of al voor 2100 in gang gezet wordt. Het is dan nog wel mogelijk om met regenwater zoetwaterbellen op te bouwen tussen de sloten, maar in de sloten zelf zal zich in toenemende mate zoute kwel manifesteren. Door nu consistent te streven naar hogere peilen, kunnen we decennia tot eeuwen 'tijd kopen'.

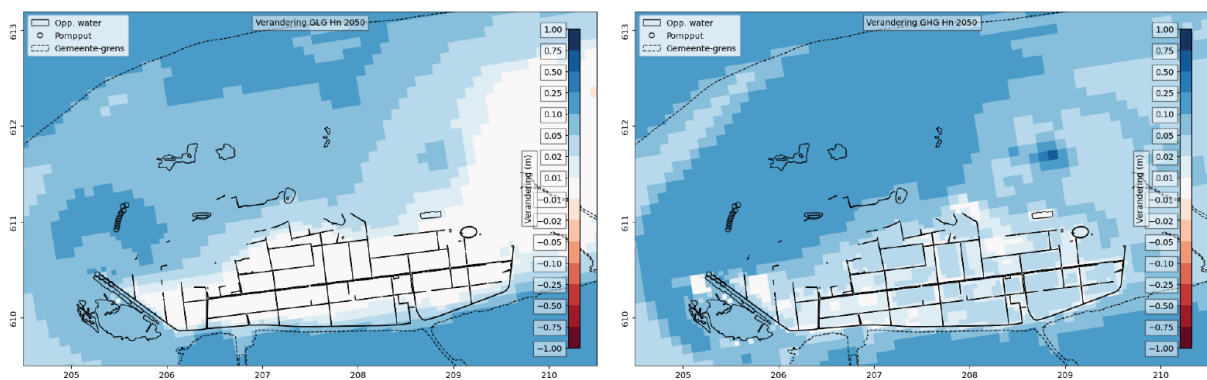
De berekeningen met het grondwatermodel laten de volgende voorspellingen zien:

- Voor 2050 leidt scenario Hn (hoge uitstoot met opwarming, meer neerslag en een zeespiegelstijging van 22 cm), tot een stijging van de Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG) met enkele decimeters en de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) van enkele centimeters, vooral in de duinen. In de polder stijgt de GHG op de meeste plekken met enkele centimeters en de GLG neemt daar niet tot nauwelijks toe. De zoetwaterbel groeit in de

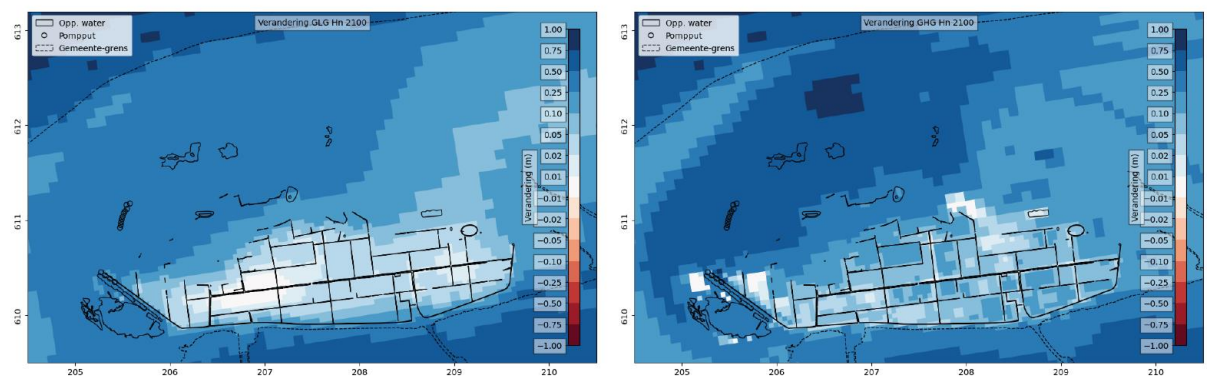
duinen omdat het zoet-zoutgrensvlak een paar meter daalt en de zoetwaterbel krimpt in de polder omdat het grensvlak daar enkele meters stijgt;

- Voor 2100 leidt scenario Hn (zeespiegelstijging van 76 cm), leidt in 2100 tot een stijging van de GHG en de GLG met decimeters, vooral in de duinen. In de polder stijgen de GHG en de GLG op de meeste plekken met enkele centimeters. De zoetwaterbel groeit alleen in het centrale deel en de zoetwaterbel krimpt fors in de polder;
- Voor 2050 leidt scenario Hd (hoge uitstoot met opwarming, droger, zeespiegelstijging van 22 cm) tot een stijging van de GHG met enkele centimeters. De GLG daalt in duinen en polder. Er is een grotere krimp van de zoetwaterbel;
- Voor 2100 leidt scenario Hd tot een stijging van de GHG met enkele decimeters. De GLG stijgt licht in de duinen en daalt in de polder. De zoetwaterbel krimpt vrijwel overal omdat het zoet-zoutgrensvlak vele meters omhoogkomt.

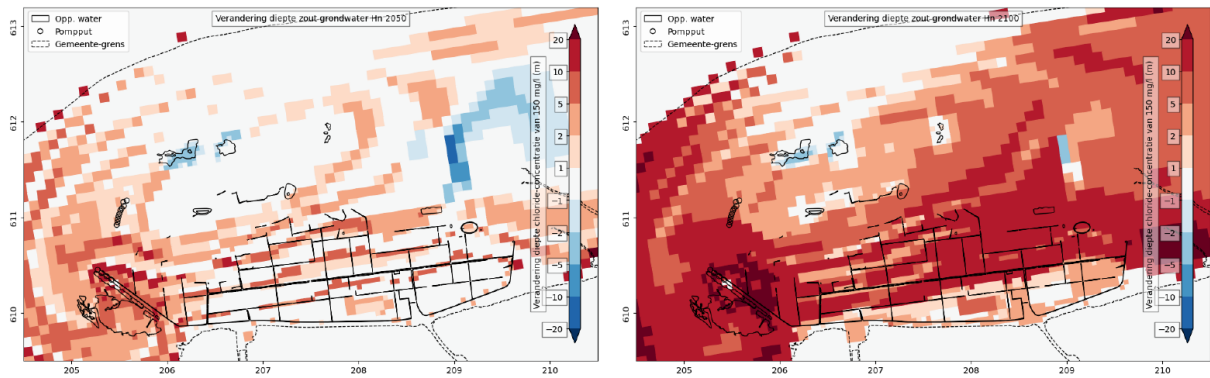
Bovenstaande situaties zijn in plaatjes verwerkt, deze zijn hieronder te zien. De verandering van de zoetwaterbel is in de plaatjes aangegeven als de veranderde diepteligging van het zoet-/zoutgrensvlak, in hoeverre dat daalt of stijgt. De veranderende grondwaterstand is weergegeven als verandering van GHG en GLG.



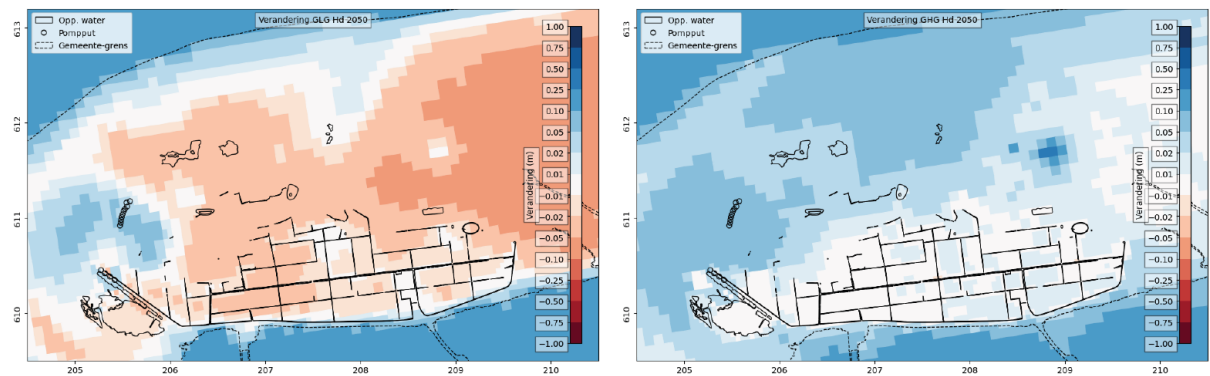
Figuur x, Verandering GLG (links) en GHG (rechts) bij scenario Hn in 2050



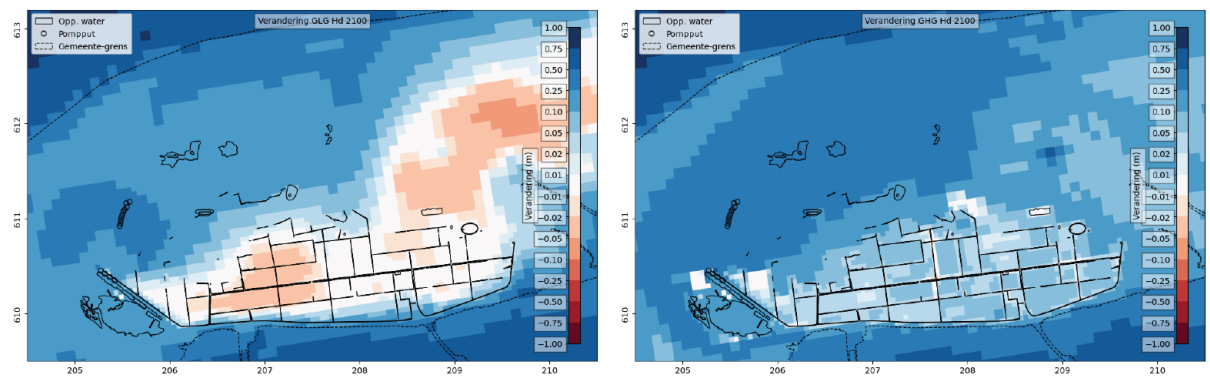
Figuur 4.17: De verandering van de GLG (links) en de GHG (rechts) bij scenario Hn in 2100.



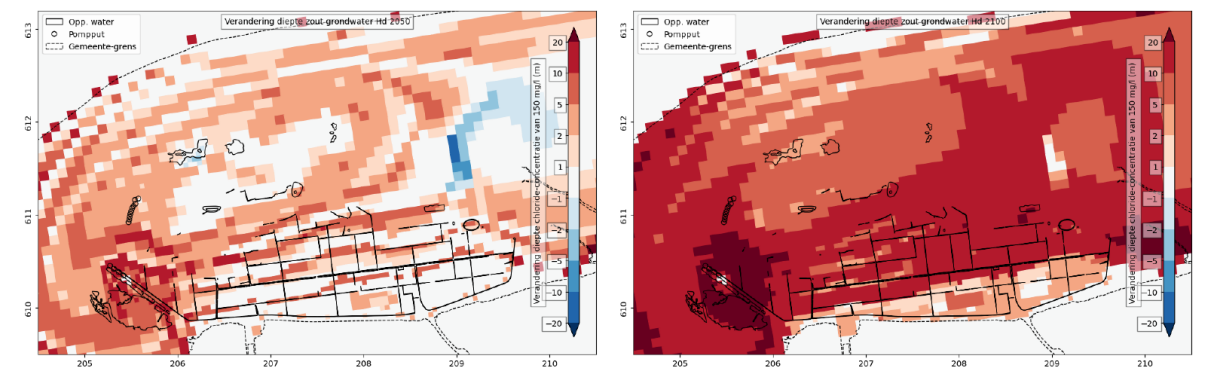
Figuur 4.11: De verandering van de hoogte van het 150 mg/l grensvlak in 2050 (links) en 2100 (rechts) bij scenario Hn.



Figuur 4.14: De verandering van de GLG (links) en de GHG (rechts) bij scenario Hd in 2050.



Figuur 4.16: De verandering van de GLG (links) en de GHG (rechts) bij scenario Hd in 2100.



Figuur 4.10: De verandering van de hoogte van het 150 mg/l grensvlak in 2050 (links) en 2100 (rechts) bij scenario Hd.