

Nulmeting grondwater Hedwigepolder



Nulmeting grondwater Hedwigepolder

Auteur(s)

Nulmeting grondwater Hedwigepolder

Opdrachtgever	Provincie Zeeland
Documentgegevens	
Versie	0.1
Datum	24-08-2020
Projectnummer	1220543-000
Document ID	1220543-000-BGS-0015
Pagina's	63
Classificatie	
Status	definitief

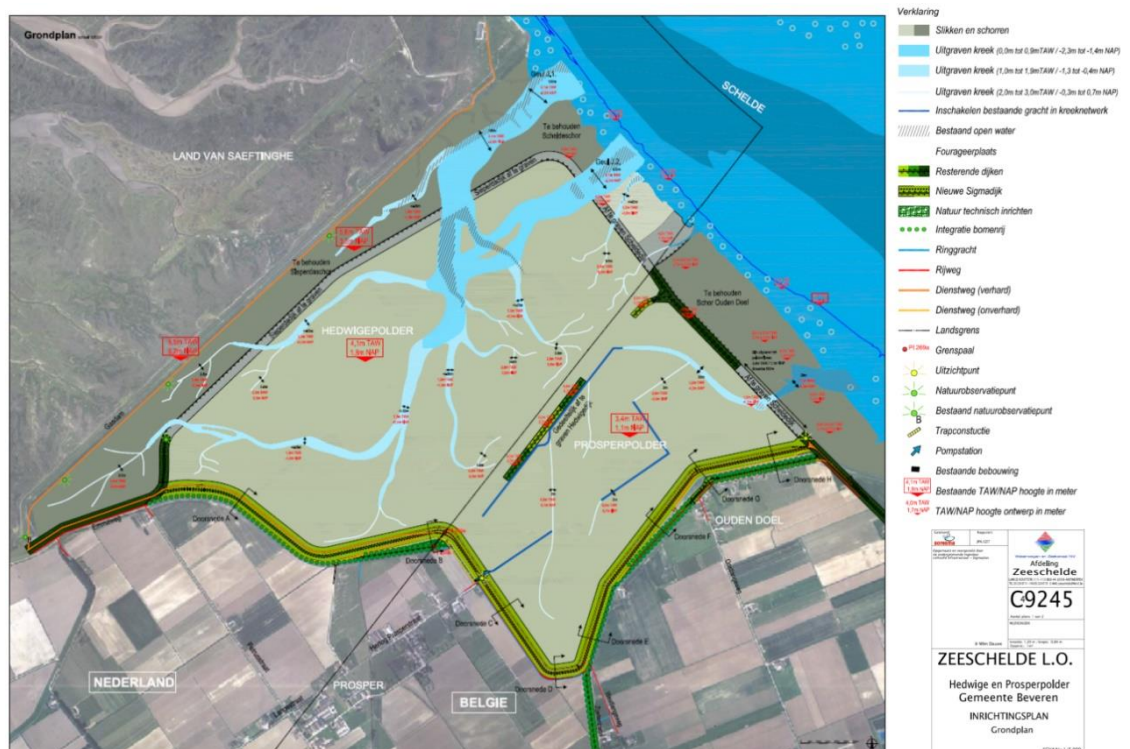
Inhoud

1	Inleiding	6
2	Gebiedsbeschrijving	8
2.1	Historie Hedwigepolder	8
2.2	Geohydrologische opbouw	9
2.3	Grond- en oppervlaktewatersysteem	11
3	Het meetnet en monitoringplan	13
3.1	Inleiding	13
3.2	Stijghoogte	13
3.3	Grondwaterstand	14
3.4	Zoutgehalte en afvoer polderwater	15
3.5	Diepte grensvlak zoet zout (brak) grondwater: SlimFlex-metingen en FRESHEM	15
3.6	Dikte regenwaterlenzen in zoute kwelgebieden: EC-prikstokmetingen en bodemonsters	17
4	Resultaten T0-meting: september 2015 – december 2019	18
4.1	Grondwaterstand en stijghoogte	18
4.2	Diepte grensvlak zoet-zout (brak)grondwater	23
4.2.1	FRESHEM-resultaten	23
4.2.2	Slimflex-metingen en EC-grondwater	26
4.2.3	Zoutprofielen op basis van bodemonsters	28
4.3	Zoutgehalte en afvoer polderwater	30
4.3.1	Methode	30
4.3.2	Resultaten	33
4.3.3	Conclusie	34
4.3.4	EC-metingen slootwater en slootbodem	34
4.4	Verwachte effecten	35
5	Voorstel voor vervolgmonitoring	38
6	Conclusies en aanbevelingen	40
6.1	Conclusies	40
6.2	Aanbevelingen	41
7	Referenties	43
A	Topotijdreis Hedwigepolder	44
B	Grondwaterstand en stijghoogtemetingen	47

C	SlimFlex-metingen	50
D	FRESHEM-resultaten	54
E	Enkele foto's van de meetpunten	61

1 Inleiding

De uitvoering van het inrichtingsplan Hedwigepolder (zie Figuur 1.1) heeft mogelijk gevolgen voor het watersysteem in het aangrenzende gebied. Daarom is in dit gebied een nulmeting van het watersysteem voorzien. Dit betreft het Nederlandse agrarisch gebied ten zuidwesten van het plangebied. De algemene doelstelling van de nulmeting is het in beeld brengen van het watersysteem in de nul-situatie (verder aangeduid als T0), dat wil zeggen de situatie voorafgaand aan de waterhuishoudkundige ingrepen die gepaard gaan met de uitvoering van het inrichtingsplan Hedwigepolder. Het inrichtingsplan voorziet in de ontwikkeling van een getijdegebied met kreken. Uiteraard dient het monitoringnetwerk ook geschikt te zijn voor het volgen van effecten als gevolg van de herinrichting, na de nulmeting.



Figuur 1.1 Kaart inrichtingsplan Hedwigepolder (Ni) en Prosperpolder (Be).

De specifieke doelstellingen van de nulmeting zijn:

1. Bepaling van (a) de overgangsdiepte van zoet naar zout (brak) grondwater in de ondergrond van het gebied dat grenst aan het plangebied en (b) fluctuaties van deze overgangsdiepte in de tijd;
2. Bepaling van (het tijdsverloop van) stijghoogten en grondwaterstanden grenzend aan het plangebied;
3. Bepaling van de dynamiek van het zoutgehalte van het polderwater (= opp. water) grenzend aan het plangebied.

De T0-meting betreft alleen het Nederlands grondgebied en is in 2 fasen opgesplitst:

- Fase 1: opstellen monitoringplan
- Fase 2: uitvoering T0-meting conform monitoringplan

In 2015 is het monitoringplan (fase 1) opgesteld (De Louw en Van Baaren, 2015) op basis waarvan het meetnet is ingericht. Dit meetnet is in augustus 2015 gereed gekomen en vanaf 1 september 2015 wordt er conform het monitoringplan gemeten. De meetresultaten tot en met december 2019 vormen de T0-meting die in deze rapportage wordt beschreven (fase 2).

In hoofdstuk 2 wordt een korte gebiedsbeschrijving gegeven. Hoofdstuk 3 behandelt het meetnet en de toegepaste meetmethoden. In hoofdstuk 4 worden de meetresultaten van de T0-meting gepresenteerd. Een voorstel voor vervolgmonitoring voor de periode (1) tot de start, (2) tijdens en (3) na uitvoering van het inrichtingsplan Hedwigepolder wordt in hoofdstuk 5 besproken. Hoofdstuk 6 geeft de belangrijkste conclusies en aanbevelingen weer.

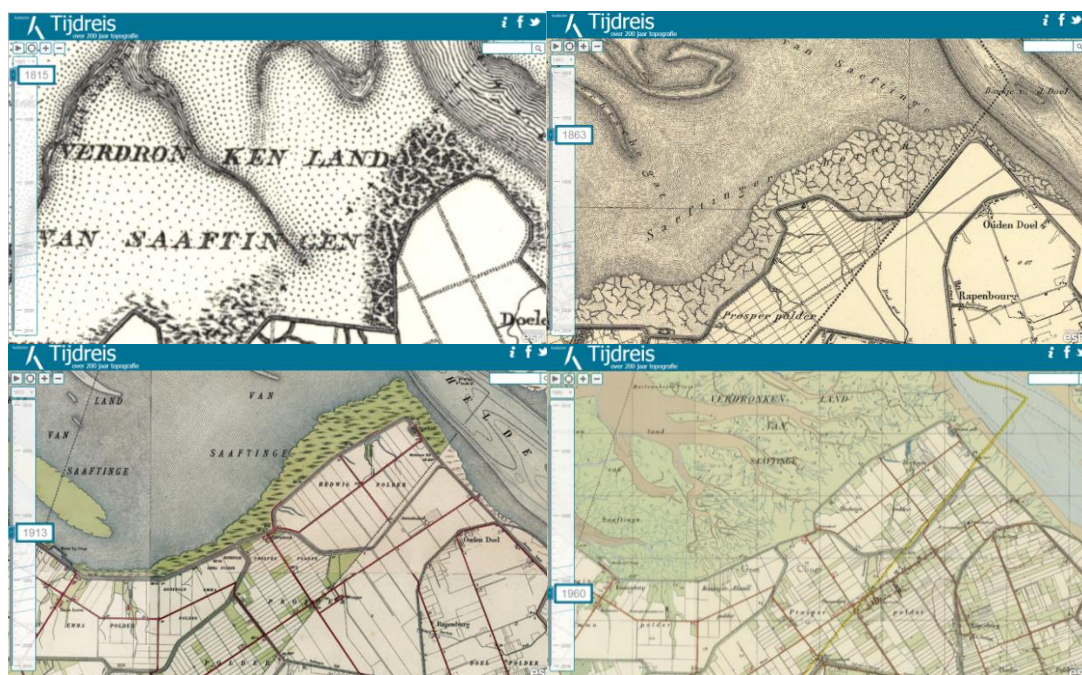
2 Gebiedsbeschrijving

In dit hoofdstuk wordt een korte gebiedsbeschrijving gegeven. Achtereenvolgens worden de volgende onderwerpen behandeld: de historie van de Hedwigepolder, geohydrologische opbouw en het grond- en oppervlaktewater systeem.

2.1 Historie Hedwigepolder

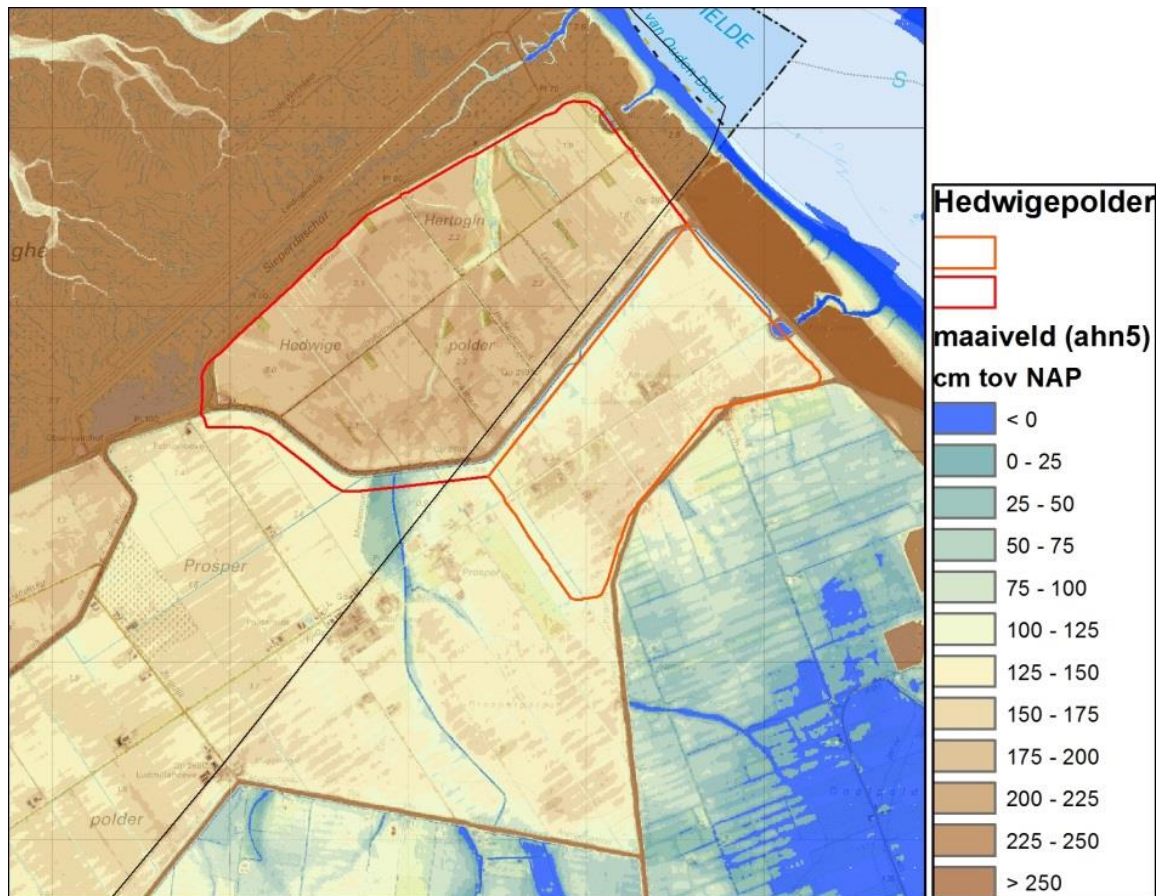
De Hertogin Hedwigepolder (verder aangeduid als Hedwigepolder) grenst in het zuiden, zuidwesten en oosten aan de Prosperpolder (deels Vlaams, deels Nederlands), in het westen en noorden aan het Land van Saeftinghe en in noordoosten aan de Westerschelde (Figuur 1.1).

Tijdens de late-Middeleeuwen is het gebied meerdere malen opnieuw ingedijkt na verwoesting door verschillende stormvloed. In de 16e eeuw waren de huidige Prosperpolder, Doelpolder en Hedwigepolder volledig ingedijkt en onderdeel van het Land van Saeftinghe. In 1584 werden de dijken om militair-strategische redenen doorgestoken en liepen de polders (m.u.v. de Doelpolder) onder water en werd het verdronken land begraven onder nieuwe afzettingen. Rond 1672 zijn de Hedwige- en Prosperpolder opnieuw ingedijkt. Enkele decennia later, bij de stormvloed van 1715 was de schade aan dijken zo groot dat opnieuw inpolderen te kostbaar was. Opnieuw werd het verdronken land bedolven onder een nieuwe laag sediment en kon er wederom zout water de bodem infiltreren. Rond 1846 werd de Prosperpolder weer ingedijkt en in 1907 werd tot slot ook de Hedwigepolder weer ingepolderd (zie Figuur 2.1). In Bijlage A staan enkele topografische kaarten vanaf het jaar 1815 weergegeven die een goed beeld geven van de ontwikkeling van de Hedwigepolder en Prosperpolder gedurende de laatste 2 eeuwen.



Figuur 2.1 Topografische kaarten voor verschillende jaren. Aan het eind van de 19^e eeuw was de Prosperpolder al ingedijkt terwijl de Hedwigepolder nog deel uitmaakte van het Verdronken Land van Saeftinghe (uit: <http://www.topotijdreis.nl>).

Door opslibbing liggen de meest recente polders hoger dan de oude polders, hier is namelijk meer tijd geweest voor afzetting van sedimenten en minder tijd voor inklinking. Daarom ligt de Hedwigepolder ook enkele decimeters hoger dan de omliggende Prosperpolder en is het huidige Land van Saeftinghe het hoogste stuk land in de omgeving (Figuur 2.2).

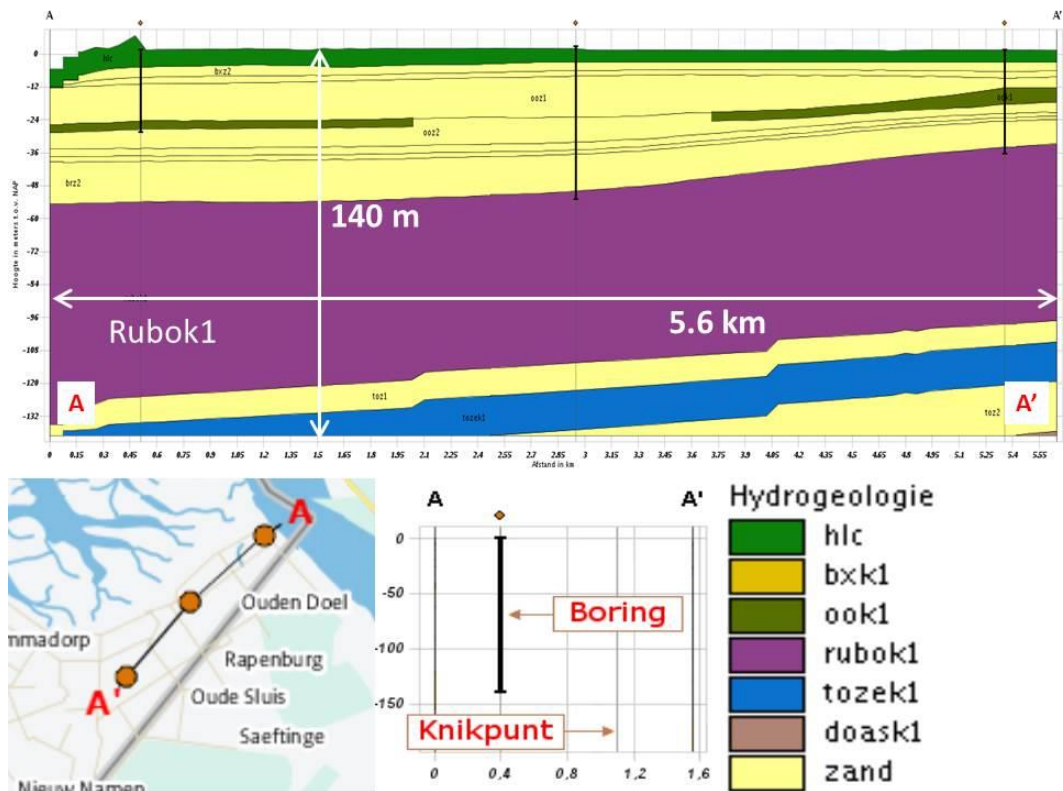


Figuur 2.2 Maaiveldveldhoogte Nederland [AHN5] en België [DHM-Vlaanderen].

2.2 Geohydrologische opbouw

Geohydrologische basis en eerste watervoerend pakket

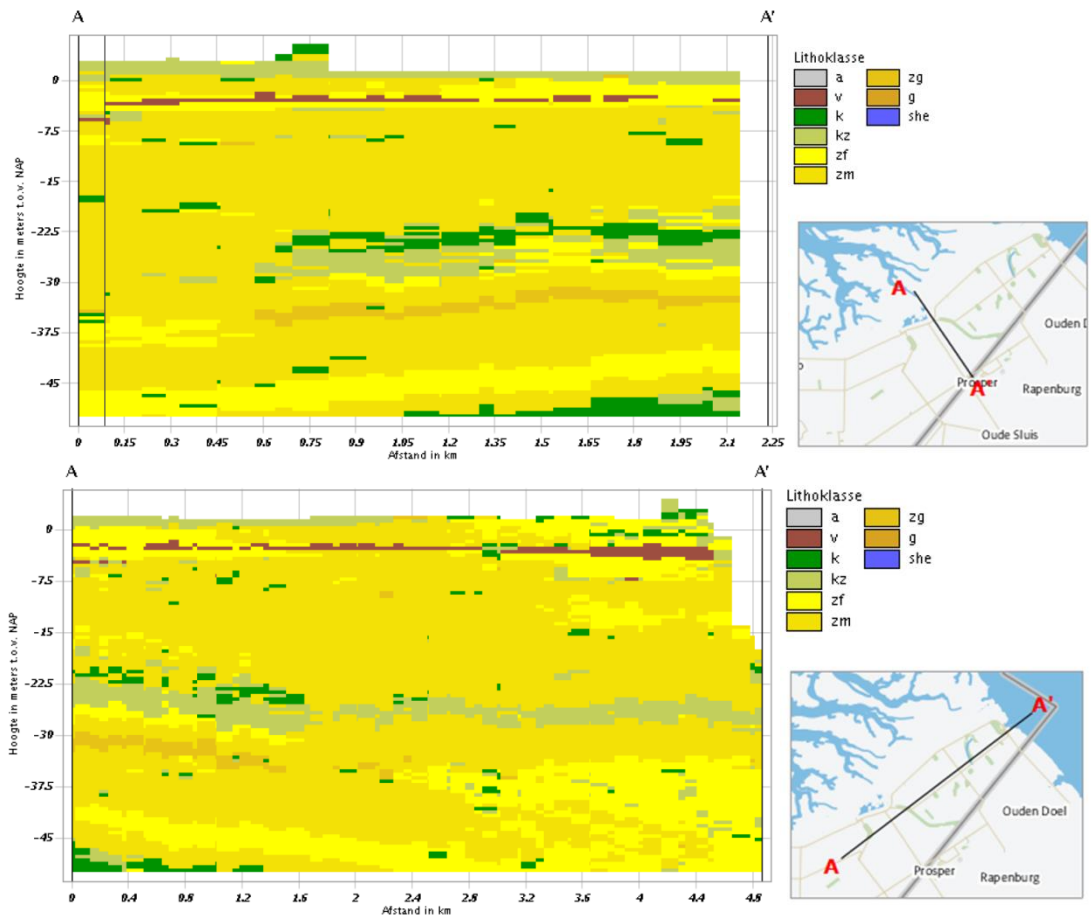
De Boomse klei (ook wel formatie van Rupel, 'Rubok1' in Figuur 2.3) heeft een hoge hydraulische weerstand en geldt als geohydrologische basis in het oosten van Zeeuws-Vlaanderen (Van Baaren et al., 2015; REGIS II, 2005). De Boomse klei ligt ter hoogte van de Hedwigepolder op ongeveer -50 m NAP (Figuur 2.3). Het eerste watervoerend pakket bestaat uit de zanden van de formatie van Boxtel, Oosterhout en Breda en rust op deze geohydrologische basis. Geohydrologisch vormen alle formaties die rusten op de Boomse klei één watervoerende laag. Echter, in dit watervoerend pakket bevindt zich een niet-continue kleiige eenheid onder de deklaag, in de Formatie van Oosterhout ('ook1' in Figuur 2.3), die lokaal het eerste watervoerende pakket in twee delen splitst.



Figuur 2.3 Hydrogeologische opbouw met geohydrologische basis (Boomse klei, Rubok1) en eerste watervoerend pakket. Het watervoerend pakket bestaande uit zand is aangegeven met de kleur geel, alle andere kleuren stellen een slechtdoorlatend pakket voor bestaande uit kleiige afzettingen. Linksonder is de locatie van de doorsnede en rechtsonder de legenda [Doorsnede REGIS II v2.1 uit DINOloket].

Deklaag en lithologisch profiel

Bovenop het eerste watervoerend pakket bevindt zich de Holocene deklaag. De dikte en doorlatendheid van deze deklaag zijn medebepalend voor de interactie tussen grond- en oppervlaktewater en voor de kwelintensiteit. In Figuur 2.4 is te zien dat de ondiepe ondergrond zandig is met af en toe inschakelingen van klei en kleig zand. Ook is duidelijk een dunne laag veen zichtbaar die ook wel wordt aangeduid als Hollandveen. Deze veenlaag is vrijwel in de hele Hedwige- en Prosperpolder aanwezig en heeft een dikte van 0.5 – 1.5 meter en een diepteligging van ongeveer -2 tot -4 m NAP (Figuur 2.4).



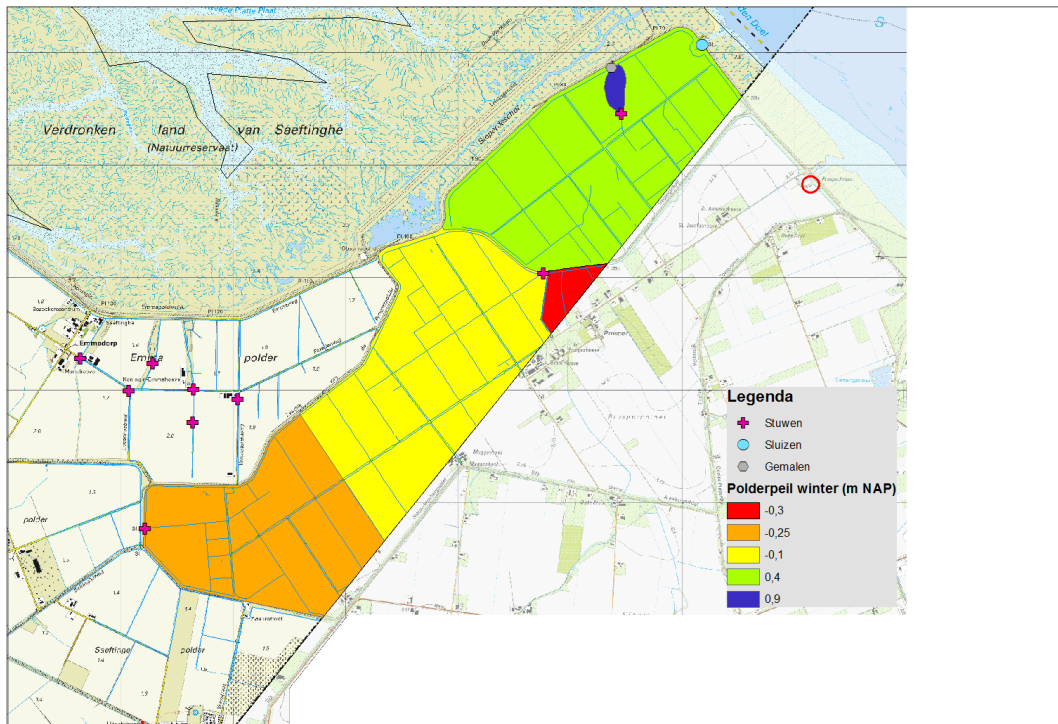
Figuur 2.4 Dwarsdoorsnede van de lithologisch opbouw a. noord-zuid (boven) en b. west-oost (onder) (bron: Geotop). Verklaring van de lithoklassen in de legenda: a = antropogeen, v = veen, k = klei, kz = kleilig zand, zf = fijn zand, zm = matig fijn zand, zg = grof zand, g = grind en she = schelp.

2.3 Grond- en oppervlaktewatersysteem

De regionale grondwaterstroming loopt van het Land van Saeftinghe richting de Hedwigepolder en vervolgens richting de Prosperpolder, van noordwest naar zuidoost (De Louw en Van Baaren, 2015). De stijghoogte in de Hedwigepolder is hoger dan in zowel het Nederlandse als het Vlaamse deel van de Prosperpolder. Er treedt dus grondwaterstroming op van de Hedwigepolder richting de Prosperpolder. Voor het grootste deel van het gebied wordt de freatische grondwaterstand ondieper dan 2 m-mv aangetroffen. In Hoofdstuk 4 en 5 wordt het grondwatersysteem uitgebreider beschreven (T0-beschrijving), waarin ook de T0-metingen zijn meegenomen.

De Hedwigepolder is momenteel een autonome hydraulische entiteit: het ontvangt geen oppervlaktewater van andere polderstukken. Het polderwater wordt in het noordoosten op de Schelde uitgemalen via een suatiesluis (keersluis). In de huidige situatie wordt in de Hedwigepolder gestreefd naar een zomer- en winterpeil van +0.4 m NAP (Figuur 2.5). Ter hoogte van de oude stroomgeul wordt het waterpeil op +0.9 m NAP gehandhaafd omdat dit een natuurgebied betreft. De lage ligging van de oude stroomgeul is duidelijk zichtbaar op de maaiveldkaart (Figuur 2.2). In de zomer kan in de polder het peil niet worden gehandhaafd omdat veel sloten droog vallen en er geen wateraanvoer is (MER, 2009).

Het polderpeil in de Prosperpolder wordt in de winter gehanteerd op -0.1 m NAP (oostelijk deel) en -0.25 (westelijk deel). In de zomer wordt voor de gehele Prosperpolder een peil van 0.2 m NAP gehanteerd. De oude afwatering van de Nederlandse Prosperpolder (oostelijk deel) gebeurde via een slotenstelsel dat aansluit en uitmondt in de Schelde ter hoogte van Prosperhaven in Vlaanderen. In de nieuwe situatie wordt het water via het nieuwe gemaal in de nieuwe zeedijk aan de rand van de Vlaamse Prosperpolder uitgemalen. Het westelijk deel van de Prosperpolder watert via een stuw af naar de Louise polder.



Figuur 2.5 Winterpeil Hedwigepolder en Nederlands gedeelte Prosperpolder en locaties van stuwen, sluizen en gemalen (bron: Waterschap Zeeuws-Vlaanderen). Binnen de rode cirkel ligt de Prosperhaven, de oude locatie waar het water de polder wordt uitgemalen.

3 Het meetnet en monitoringplan

3.1 Inleiding

Het monitoringplan nulmeting Hedwigepolder richt zich op de volgende aspecten van het grond- en oppervlaktewatersysteem:

1. Stijghoogte eerste watervoerende pakket
2. Grondwaterstand
3. Diepte grensvlak zoet-zout (brak) grondwater
4. Dunne regenwaterlenzen in zoute kwelgebieden
5. Afvoer en zoutgehalte polderwater

De nulmeting brengt de situatie van het Nederlandse deel van de Prosperpolder dat grenst aan het plangebied in kaart vóór de herinrichting van het gebied. Het meetnet dat nodig is voor het in beeld brengen van de nul-situatie moet ook geschikt zijn om effecten van de herinrichting te kunnen meten.

In Figuur 3.1 staan de meetlocaties weergegeven en in Tabel 3.1 staan de details van de meetpunten en monitoring. In Bijlage E staan foto's weergegeven van enkele meetpunten. Hieronder worden de verschillende meetpunten en monitoringactiviteiten uitgebreid beschreven.

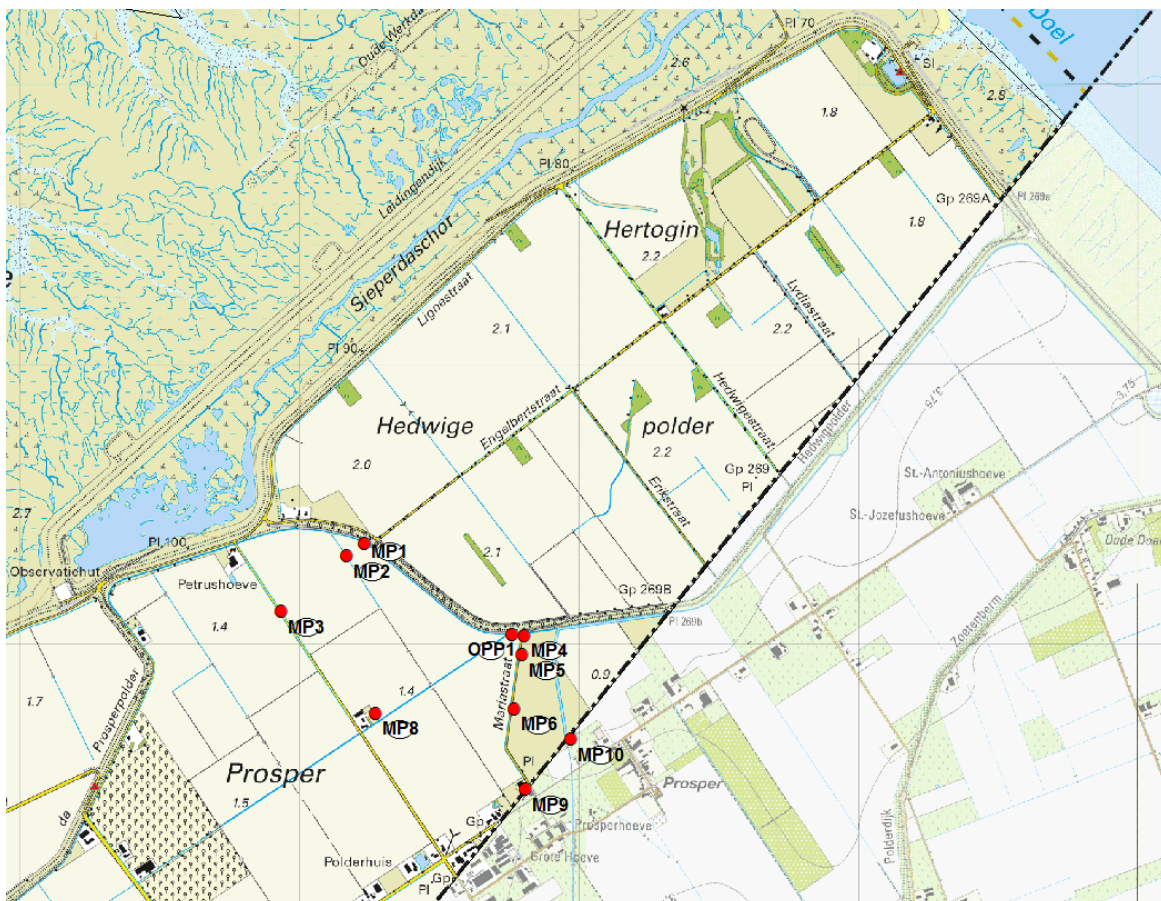
3.2 Stijghoogte

De herinrichting zal voor het plangebied (de Hedwigepolder) leiden tot een vergelijkbaar of gemiddeld iets lager oppervlaktewaterpeil dan in de huidige situatie. Het peil zal zeer sterk gaan fluctueren door eb en vloed waardoor twee keer per dag Westerscheldewater het gebied in en uit zal stromen. Deze veranderingen in het herinrichtingsgebied kunnen mogelijk een effect hebben voor de omgeving buiten de Hedwigepolder. Als hier sprake van is, zal de uitstraling naar de omgeving plaatsvinden via de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket, wat daarmee een belangrijke parameter is om te monitoren. Bij een eventuele toename van de stijghoogte in het aangrenzende gebied zal de kwel daar toenemen (in kwelgebieden), infiltratie afnemen (in infiltratiegebieden), kunnen grondwaterstanden mogelijk (licht) stijgen en zoetwaterlenzen mogelijk krimpen. Deze verwachtingen vormden de basis voor de inrichting van het meetnet (De Louw en Van Baaren, 2015).

Om de eventuele uitstralingseffecten goed te kunnen monitoren, zijn de meetpunten geplaatst in raaien op verschillende afstanden van het plangebied. Zoals de zeer globale verkennende berekeningen laten zien (De Louw en Van Baaren, 2015), beperken significante uitstralingseffecten zich tot een zone langs de dijk (50-300 meter). Voor een goed beeld van de uitstraling zijn de meetpunten per raai geplaatst op globaal de volgende afstanden van het plangebied: 25-30 m, 100-110 m en 300-400 m (Figuur 3.1). Gezien het beperkte oppervlak van het Nederlandse deel dat grenst aan het plangebied zijn 2 raaien van 3 meetpunten voldoende. Het filter van de stijghoogte-meetpunten bevindt zich op 14-15 meter beneden maaiveld, midden in het watervoerende pakket.

Alle stijghoogteteetpunten (mp1 t/m mp6 en mp8) zijn uitgerust met automatische drukopnemers die worden ingesteld met een meetfrequentie van 1 uur. De drukopnemers zijn op een telemetrisch systeem aangesloten zodat de metingen op afstand en real-time kunnen worden bekeken om uitval van de drukopnemers voortijdig te signaleren. De drukopnemers en het telemetrisch systeem zijn door Koenders Instruments geïnstalleerd en wordt door hen beheerd en operationeel gehouden.

Regelmatig zijn handmetingen uitgevoerd voor validatie van de automatische metingen en is het meetnet visueel gecontroleerd.



Figuur 3.1 Locatie van de meetpunten

Tabel 3.1 Technische gegevens van meetpunten

Meetpunt	Type	Meting	Sensor	X-coor	Y-coor	MV-hoogte	MP-hoogte	MP-hoogte	MP-hoogte	Filter diepte	SlimFlex meting
						m NAP	m NAP	m-mv	verlengd		
mp1	ondiep	telemetrisch	S5412s1_1	72231	372361	1.46	1.92	0.46	verlengd	2-3	
mp1	diep	telemetrisch	S5412s2_1	72231	372361	1.47	1.90	0.43		14-15	ja
mp2	ondiep	handmatig		72167	372316	1.27	1.80	0.53		2-3	
mp2	diep	telemetrisch	S5414_s1_1	72167	372316	1.27	1.74	0.47		14-15	ja
mp3	ondiep	handmatig		71933	372119	1.79	2.30	0.51		2-3	
mp3	diep	telemetrisch	S5417_s1_1	71933	372119	1.79	2.24	0.45		14-15	ja
mp4	ondiep	telemetrisch	S5409_s1_1	72803	372030	0.37	1.67	1.30	mrt-2016	2-3	
mp4	diep	telemetrisch	S5409_s2_1	72803	372030	0.38	1.68	1.30	mrt-2016	14-15	ja
mp5	ondiep	telemetrisch	S5411_s1_1	72792	371961	0.13	1.57	1.44	mrt-2016	2-3	
mp5	diep	telemetrisch	S5411_s2_1	72792	371961	0.13	1.56	1.43	mrt-2016	14-15	ja
mp6	ondiep	handmatig		72764	371770	0.43	0.96	0.53		2-3	
mp6	diep	telemetrisch	S5415_s1_1	72764	371770	0.43	1.84	1.41	mrt-2016	14-15	ja
mp8	ondiep	telemetrisch	S5410_s1_1	72267	371754	1.59	2.10	0.51		2-3	
mp8	diep	telemetrisch	S5410_s2_1	72268	371754	1.59	2.05	0.46		14-15	ja
mp9	ondiep	telemetrisch	S5416_s1_1	72807	371482	1.27	1.79	0.52		2-3	
mp10	ondiep	telemetrisch	S5413_s1_1	72969	371661	0.65	1.21	0.56		2-3	
opp1	opp	telemetrisch	S5408_s1_1	72759	372036		0.74				

3.3 Grondwaterstand

Een hogere stijghoogte kan leiden tot een hogere (freatische) grondwaterstand. Echter, de grondwaterstand wordt in belangrijke mate bepaald door de lokale ontwaterings situatie (drainagediepte- en afstand, slootpeil en -afstand) en effecten op de grondwaterstand zullen daardoor beperkt zijn. Een eventuele verhoging van de grondwaterstand zal zich vooral in de zomerperiode manifesteren wanneer het grondwaterpeil zich onder het drainagepeil bevindt. Om dit te kunnen monitoren is op alle 7 locaties waar de stijghoogte wordt gemeten, een

freatisch meetpunt geplaatst. Vier hiervan zijn met een automatische drukopnemer en telemetrisch systeem uitgerust, de overige drie worden ieder kwartaal handmatig gemeten.

Daarnaast hebben 3 van de 4 bewoners in het potentiële uitstralingsgebied aangegeven een freatisch meetpunt op hun erf te willen hebben. Hiermee kan de nul-situatie van de grondwaterstand rond hun huis worden vastgelegd en kunnen eventuele veranderingen als gevolg van de herinrichting worden vastgesteld. Daarbij dient te worden opgemerkt dat het niet in de verwachting ligt dat de herinrichting tot een dusdanige grondwaterstandsverhoging gaat leiden dat de huizen hierdoor wateroverlast zullen ondervinden. Alle drie de freatische meetpunten (mp8 t/m mp10) zijn uitgerust met een automatische sensor en telemetrisch systeem. Op locatie mp8 is naast een ondiepe peilbuis, ook een diepe peilbuis geplaatst voor het volgen van de dikte van de zoetwaterlens.

3.4 Zoutgehalte en afvoer polderwater

In het uitstralingsgebied zal de hoeveelheid kwel en het zoutgehalte van de kwel mogelijk iets toenemen. De zoutbelasting van het oppervlaktewater zal dan ook iets toenemen. Het is daarom zinvol om het zoutgehalte van het oppervlaktewater te meten op een locatie waar het polderwater het gebied verlaat (zie Figuur 3.1). Op deze locatie is een stuw (stuw Mariastraat) aanwezig waardoor tevens de afvoer van het polderwater kan worden bepaald op basis van het gemeten peil.

Zowel de afvoer als het zoutgehalte varieert zeer sterk in de tijd als gevolg van neerslag. Het is daarom noodzakelijk om zowel de afvoer als het zoutgehalte hoogfrequent te meten (meefrequentie 1 uur). Het zoutgehalte wordt met een EC-sensor gemeten. Voor het bepalen van de afvoer wordt het peil boven de stuw extra nauwkeurig geregistreerd met een nauwkeurigheid van 1-2 mm.

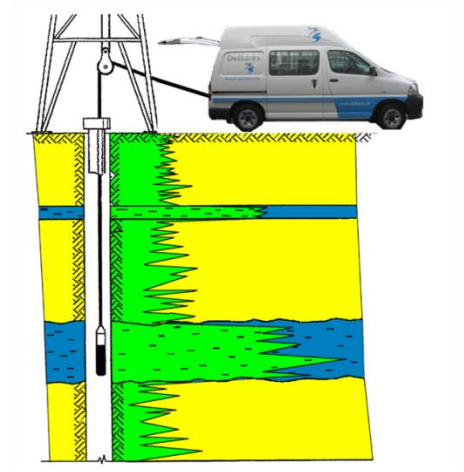
3.5 Diepte grensvlak zoet zout (brak) grondwater: SlimFlex-metingen en FRESHEM

Voor de nulmetingen in de gebieden Waterdunen, Perkpolder en Rammegors zijn goede ervaringen opgedaan met de SlimFlex-methode voor het volgen van het zoet-zout grondwater grensvlak in de tijd. De SlimFlex is een smalle sonde die in een bestaande peilbuis wordt neergelaten en voor elke 10 cm diepte de geleidbaarheid van de bodem (ook wel bulk-conductiviteit genoemd, of afgekort EC-bulk) meet met behulp van elektromagnetische metingen. De EC-bulk omvat zowel de geleidbaarheid van het bodemmateriaal als van het water. Hiervoor kan gecorrigeerd worden wanneer de exacte lithologische opbouw bekend is met bijbehorende formatiefactoren en deeltjesgeleidbaarheden. Echter, in de huidige studie wordt deze correctie niet uitgevoerd omdat de lithologische opbouw niet exact bekend is en het verloop van de EC-bulk al veel informatie over de zoet-zout verdeling geeft.

De SlimFlex-metingen zijn wel gecorrigeerd voor een referentie-temperatuur van 25 °C zodat ze te vergelijken zijn met gangbare metingen met een EC-meter. Een EC-meter corrigeert namelijk automatisch naar een te kiezen referentie-temperatuur (in dit geval 25 °C).

Uitgaande van een gemiddelde bodemtemperatuur van 10.5 °C, dient de gemeten EC-bulk met de SlimFlex te worden vermenigvuldigd met een factor van 1.38 om de EC-bulk bij een referentie-temperatuur 25 °C te verkrijgen. In de bovenste 3-4 meter zijn fluctuaties in bodemtemperatuur het grootst en daarmee de afwijking van de toegepaste constante bodemtemperatuur van 10.5 °C. Hierdoor kunnen er fluctuaties zichtbaar zijn in de bodemgeleidbaarheid die te wijten zijn aan temperatuur variaties.

Uit onderzoek is gebleken (De Louw, 2013; Pauw, 2015) dat het grensvlak tussen het zoete en zoute grondwater nauwelijks varieert als gevolg van de seizoenen. Voor een goed beeld van de nul-situatie zijn daarom 1 á 2 metingen per jaar voldoende waarbij het is aan te bevelen om zowel in de winter als in zomer metingen te doen. De SlimFlex-metingen zijn op drie momenten (dec 2015, sep 2016, mei 2017) uitgevoerd in de 7 diepe buizen (mp1-mp6 en mp8).



Figuur 3.2 Uitvoering van een EM-Slimflex-meting

Op 9 maart 2015 zijn in het kader van het project FRESHEM elektromagnetische (EM) metingen m.b.v. een helikopter (HEM-metingen) verricht waarmee de zoet-zout verdeling van de ondergrond van de Hedwigepolder en omgeving in beeld is gebracht (Van Baaren et al., 2017). Deze metingen vormen een belangrijk onderdeel van de nulmeting van het zoet-zout grensvlak omdat de ruimtelijke variatie van het grensvlak op deze manier goed in beeld is gebracht. De resultaten zijn sinds begin 2017 beschikbaar en worden in Hoofdstuk 4 besproken. De FRESHEM-resultaten worden weergegeven in chlorideconcentraties (mg/l) van het grondwater. Hoe de gemeten EC-bulk waarden zijn geconverteerd naar Cl-gehaltenes, staat uitgebreid beschreven in Van Baaren et al. (2017). Dat rapport beschrijft tevens uitgebreid de opzet van de meetcampagne en de methoden voor het verwerken van de meetgegevens, evenals hoe met de onzekerheid is omgegaan.



Figuur 3.3 Het uitvoeren van Elektromagnetische metingen vanuit een helikopter (BGR-systeem) voor het in kaart brengen van het zoutgehalte in de ondergrond van Zeeland: het FRESHEM-project.

3.6 Dikte regenwaterlenzen in zoute kwelgebieden: EC-prikstokmetingen en bodemmonsters

In zoute kwelgebieden worden zeer dunne regenwaterlenzen aangetroffen die van groot belang zijn voor de landbouw omdat deze regenwaterlenzen de capillaire opstijging van zout kwelwater belemmeren. Onderzoek (De Louw, 2013) heeft uitgewezen dat een toename van zoute kwel mogelijk kan leiden tot dunnere regenwaterlenzen en het is daarom zinvol om de nul-situatie van de regenwaterlenzen voor enkele percelen in beeld te brengen.

Doordat deze regenwaterlenzen zo dun zijn wordt geen nauwkeurige bepaling van de dikte verkregen uit de Helikopter-metingen. Om een beeld te krijgen van de huidige situatie van deze dunne regenwaterlenzen kunnen metingen met de TEC-probe (EC-prikstok) worden uitgevoerd. Met deze prikstok is het mogelijk om voor elke 10 cm het zoutgehalte van het grondwater te bepalen voor de bovenste 2 tot 4 meter.

Echter, de TEC-probe bleek niet te gebruiken in de Prosperpolder door de aanwezigheid van zeer zandige bodems in de bovenste 2-4 meters. De prikstok kan dan niet in de bodem worden gedrukt en is eigenlijk alleen geschikt voor een zachtere bodem zoals klei en veen.

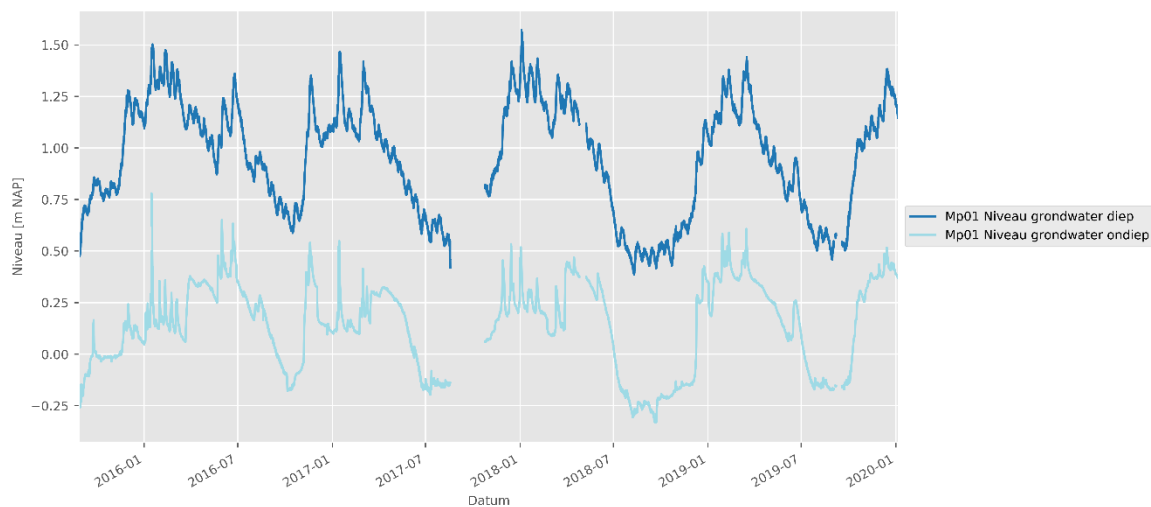
Daarom is een andere methode toegepast. Op 5 locaties zijn bodemmonsters genomen (ieder 25 cm tot een diepte van 225 cm) waarvoor in het lab het zoutgehalte van het bodemwater is bepaald. Hiervoor wordt de aangepaste Saturated Paste methode (De Louw et al., 2017) toegepast. Dit is bewerkelijker dan het gebruik van de TEC-probe maar geeft wel nauwkeurige zoutgehaltes.

4 Resultaten T0-meting: september 2015 – december 2019

4.1 Grondwaterstand en stijghoogte

Alle metingen van de grondwaterstand en stijghoogte staan weergegeven in Bijlage B en worden samengevat in Figuren 4.1-4.3. Figuur 4.1 laat zien dat de stijghoogte voor MP1 gemiddeld 86 cm hoger ligt dan de freatische grondwaterstand. Dit betekent dat er in de huidige situatie grondwater uit het eerste watervoerende pakket naar het freatische systeem stroomt, wat we kwel noemen. Het relatief grote stijghoogteverschil van 0.86 m laat zien dat er een significante weerstandsbiedende laag tussen het ondiepe meetpunt (2-3 m diep) en het diepe meetpunt (14-15 m diep) aanwezig is. Volgens de profielen van Geotop (zie Figuur 2.4) en de boringen en sonderingen kan hier alleen de 0.5-1.0 m dikke Hollandveenlaag op ongeveer -3 m NAP voor verantwoordelijk zijn. De rest van de ondiepe ondergrond bestaat uit zand of zandige klei.

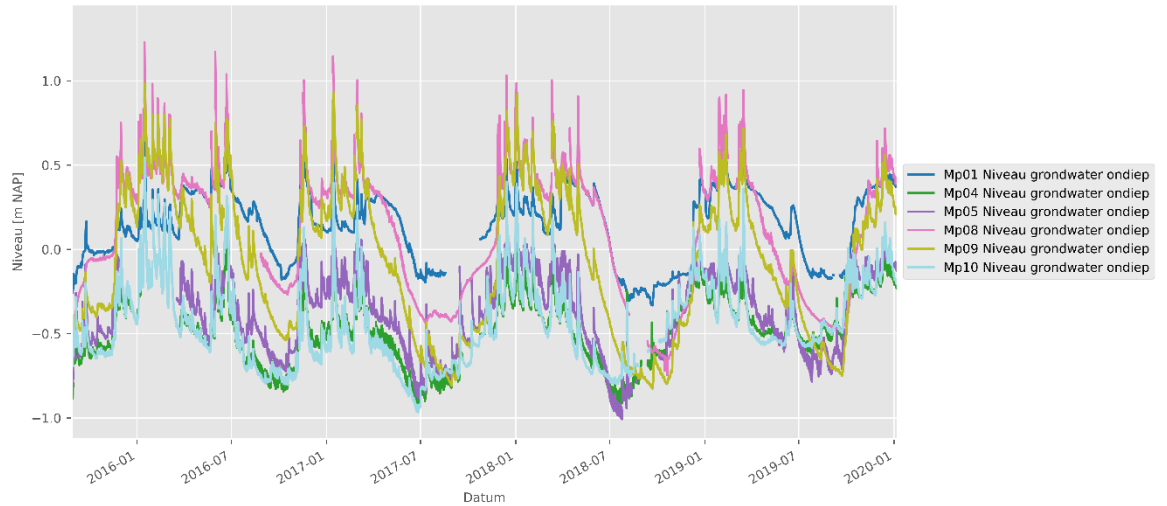
Niet alleen voor MP1 maar voor alle meetpunten wordt een hogere stijghoogte dan de freatische grondwaterstand gemeten (zie Tabel 4.1). Het stijghoogteverschil lijkt af te nemen met afstand van de Hedwigepolder. Voor MP1 en MP4, de meetpunten het dichtst bij de Hedwigepolder, is het stijghoogteverschil gemiddeld respectievelijk 0.87 en 1.01 m en voor de verder weg gelegen meetpunten MP3, MP6 en MP8 respectievelijk gemiddeld 0.49, 0.64 en 0.42 m. Het gehele studiegebied kan dus in de huidige situatie als kwelgebied worden aangemerkt. Voor de meetpunten MP4, MP5 en MP6 staat de stijghoogte zelfs voor een groot deel van het jaar gemiddeld enkele decimeters boven maaiveld. Voor MP1 en MP2 gebeurt dit alleen tijdens de hoogste pieken.



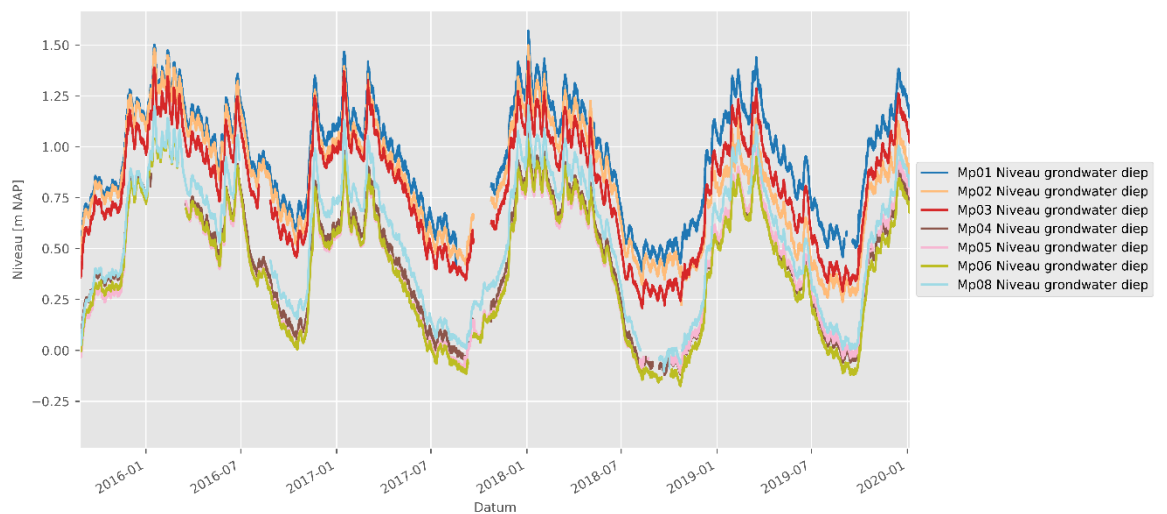
Figuur 4.1 Tijdsreeks van freatische grondwaterstand (ondiep) en stijghoogte (diep) voor meetpunt MP1

Wat verder opvalt, is de sterkere reactie van de freatische grondwaterstand op neerslag dan die van de stijghoogte (vergelijk Figuur 4.2 met 4.3). Zowel de stijging door neerslag en daling door drainage en verdamping is sterker en laat een piekerig verloop zien. Voor de diepere meetpunten (filter op 14-15 m) onder de veenlaag is dit grillig verloop gedeeltelijk uit gedempt, hoewel de effecten van neerslagbuien nog wel duidelijk tot uiting komen. De verschillen tussen de tijdreeksen van freatische meetpunten zijn ook veel groter dan die tussen de diepe meetpunten. Dit komt doordat de freatische grondwaterstand sterk door de lokale (ontwaterings)situatie wordt bepaald terwijl de diepere stijghoogte een meer regionaal beeld laat zien.

De metingen laten duidelijk zien dat de stijghoogte van transect Mp1-Mp3 veel hoger ligt dan transect Mp4-6. Dit heeft grotendeels te maken met de afstand tot het 2 tot 4 m hoger gelegen Land van Saeftinghe. Dit schorregebied kent de hoogste grondwaterstanden en stijghoogten van het gebied en beïnvloeden regionaal de stijghoogte van de Prosperpolder (en Hedwigepolder). Er vindt dan ook grondwaterstroming plaats van het Land van Saeftinghe richting de Prosperpolder. Wanneer per transect wordt gekeken dan is ook een afname van de stijghoogte in westelijke richting te zien. Dit geeft een aanwijzingen voor een grondwaterstroming van de Hedwigepolder richting de Prosperpolder wat wordt veroorzaakt door de hogere ligging van de Hedwigepolder met een 0.5 m hoger winterpeil dan de Prosperpolder.



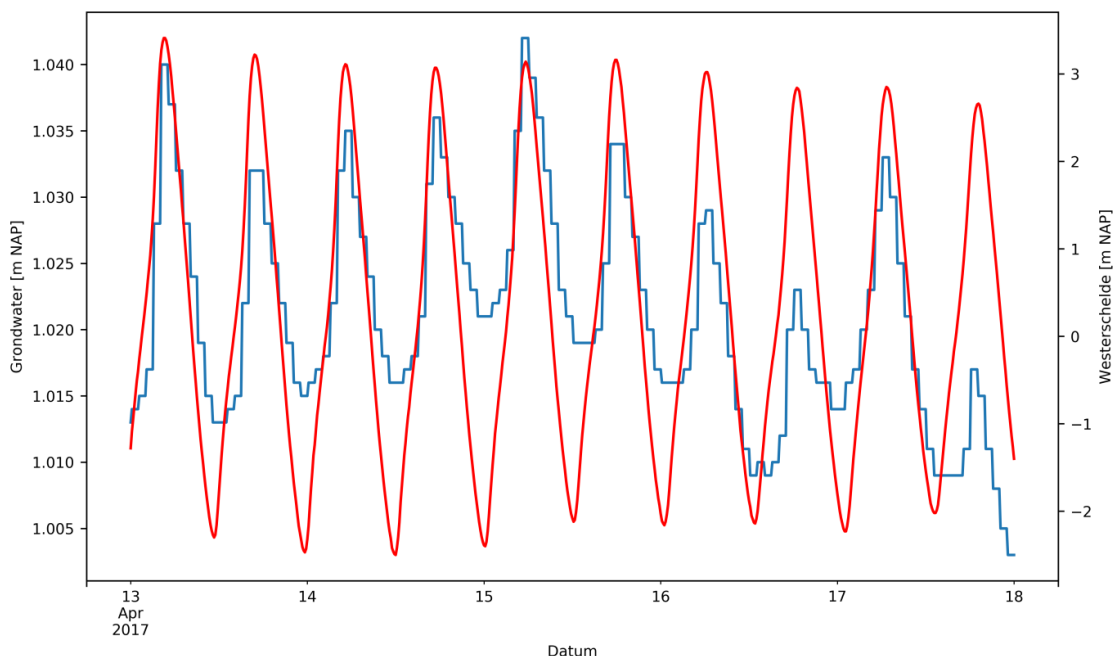
Figuur 4.2 Tijdreeksen van alle freatische (ondiepe) meetpunten uitgerust met datalogger.



Figuur 4.3 Tijdreeksen van alle stijghoogte (diepe) meetpunten uitgerust met datalogger.

Effect van getijden

Bij hoog water neemt in de Westerschelde de druk op het eerste watervoerende pakket toe. Dit resulteert in een stijhoogtegolf in het eerste watervoerende pakket, zie bijvoorbeeld Figuur 4.4. De amplitude is echter klein, en bedraagt slechts enkele centimeters. De golf dempt snel uit terwijl deze zich onder de aanliggende gebieden verplaatst: de Hedwigepolder en het verdrinken land van Saeftinghe.



Figuur 4.4. Respons van de grondwaterstand voor meetpunt Mp01 – Diep (blauw) op de getijden van de Westerschelde (rood), voor 5 dagen in april 2017. Westerschelde waterstanden zijn afkomstig van het Rijkswaterstaat meetpunt “Prosperpolder” (RWS, 2018). Let op het verschil tussen de linker en rechter verticale as.

De stijhoogtemetingen laten de volgende reacties op de getijdebewegingen in de Westerschelde zien:

1. Een kleine dubbeldagelijkse fluctuatie in alle peilbuizen. Deze fluctuaties komen één op één overeen met de fluctuaties van de waterstand in de Westerschelde (eb en vloed);
2. De fluctuatie laat dikwijls een enigszins asymmetrisch patroon zien: de stijging verloopt sneller dan de daling, en de pieken zijn scherper dan de dalen. Dit geldt niet voor de getijdeschommelingen in de Westerschelde: deze zijn in vergelijking nagenoeg symmetrisch;
3. Vooral de diepe meetpunten mp1, mp2, en mp3 lijken een vrij grote dubbelmaandelijke fluctuatie te laten zien (zie Figuur 4.3). Deze fluctuatie is veel moeilijker / niet te herkennen in de ondiepe tijdseries door hun grillige aard. Een dubbelmaandelijke periode komt overeen met die van springtij en doortij.

In de tijdseries is geen vertraging zichtbaar tussen de piek in de waterstand van de Westerschelde en die in de stijhoogte. De meetfrequentie voor de stijhoogtemetingen is eenmaal per uur ten opzichte van eenmaal per 10 minuten van de waterstand, dus het is mogelijk dat de meting de stijhoogtepiek mist. We kunnen echter wel concluderen dat de vertraging minder dan één uur bedraagt. Omdat de getijden een periode van 12 uur en 25 minuten kennen, zal het hoogste punt verschuiven ten opzichte van het meetmoment. Het is

dan theoretisch wel mogelijk om een vertraging per meetpunt te bepalen, ook al is de meetfrequentie slechts uurlijks.

Tabel 4.1: Enkele kenmerken van de meetpunten: stijghoogteverschil tussen diep (14-15 m) en ondiep (2-3 m) meetpunt (obv automatische metingen en handmetingen) Geschatte maximale getijde-amplitudes per meetpunt uitgerust met een automatische drukopnemer (er bestaat geen meetpunt 07). Voor de ondiepe meetpunten kan niet eenvoudig een dubbelmaandelijke amplitude geschat worden, vanwege hun grilligheid.

Meetpunt	Diepte	Stijghoogteverschil tussen diep en ondiep meetpunt (m)	Dubbeldagelijkse amplitude (cm)	Dubbelmaandelijke amplitude (cm)
Mp1	Ondiep		0.5	Niet waargenomen
	Diep	0.87	1.0	10
Mp2	Diep	0.73	1.0	10
Mp3	Diep	0.49	1.0	10
Mp4	Ondiep		1.0	Niet waargenomen
	Diep	1.01	1.0	< 5
Mp5	Ondiep		0.7	Niet waargenomen
	Diep	0.78	1.0	< 5
Mp6	Diep	0.64	0.7	< 5
Mp8	Ondiep		0.3	Niet waargenomen
	Diep	0.42	0.5	< 5
Mp9	Ondiep		0.3	Niet waargenomen
Mp10	Ondiep		0.4	Niet waargenomen

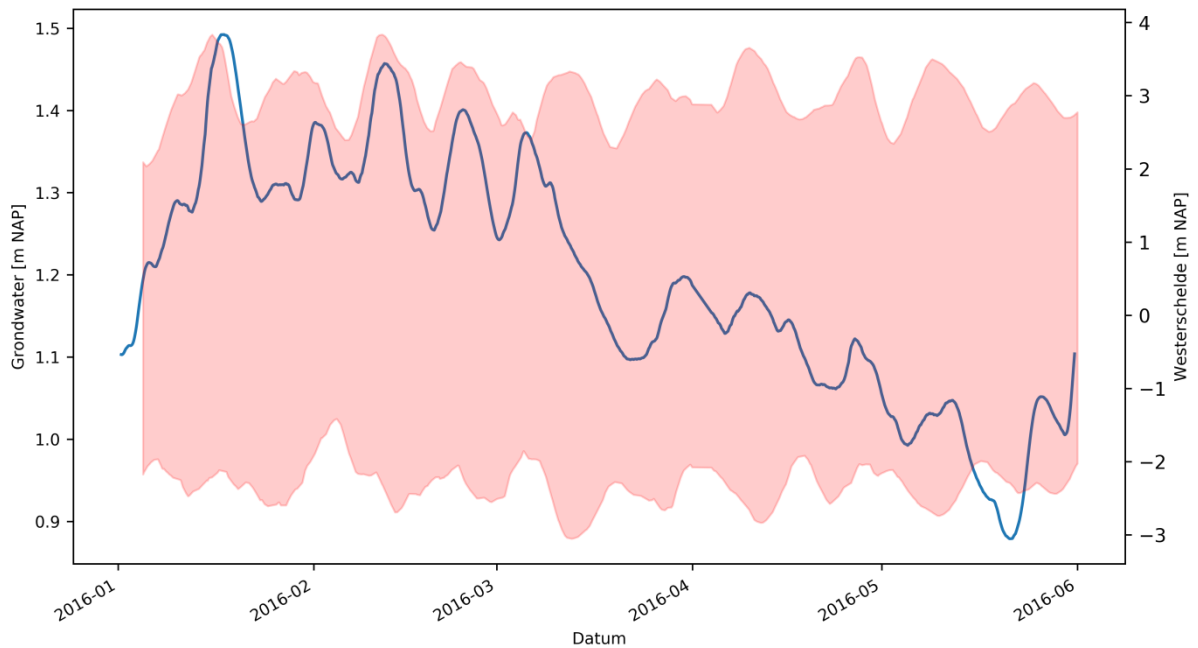
Tabel 4.1 toont per meetpunt de geschatte dubbeldagelijkse amplitude als gevolg van eb en vloed in de Westerschelde. Deze bedraagt in de Prosperpolder maximaal zo'n 1 cm, en treedt sterker op aan de randen van de polder (meetpunten mp1, mp2, mp3, en mp4), en sterker in het eerste watervoerende pakket dan in het freatische pakket. Voortplanting van effecten van eb en vloed in het grondwater vinden plaats in het watervoerende pakket onder de veenlaag. Daarom zijn de effecten ook duidelijker zichtbaar in de diepe meetpunten dan in de ondiepe meetpunten.

De dubbeldagelijkse amplitude is zeer gering (max. 1 cm) in vergelijking tot die van de Westerschelde (200-250 cm). Dit wordt veroorzaakt tot de relatief grote afstand tot de Westerschelde (~2.7 km ten oosten, ~4.7 ten noorden). Het Land van Saeftinghe ligt wel dichtbij, ongeveer 450 meter van mp1, echter het grootste deel van dit gebied ligt ruim boven NAP en stroomt maar een paar keer per maand onder, in tegenstelling tot de geulen die iedere eb en vloed cyclus vol en leeglopen. De geulen beslaan maar een klein oppervlak ten opzichte van de rest van het gebied en hebben daarom minder invloed op de stijghoogte in de Prosperpolder.

De oorzaak van de asymmetrie is hoogstwaarschijnlijk ook te vinden in Saeftinghe: tijdens hoogtij vult de bodem zich snel met water, en tijdens laagtij draineert deze in verhouding langzaam. Voor Saeftinghe resulteert snelle verzadiging en langzame drainage in een gemiddelde freatische stijghoogte die hoger ligt dan de gemiddelde waterstand in de Westerschelde. Dit betekent verder dat springtij tot hogere stijghoogtes leidt (ook al ligt het laagtij lager tijdens springtij): de hogere waterstanden "tellen zwaarder" dan de lagere waterstanden gedurende springtij.

Figuur 4.5 toont de respons van de stijghoogte in een diep meetpunt op de spring- en doottijcyclus. De dubbelmaandelijke amplitude als gevolg van de spring- en doottijcyclus is beduidend groter dan de dubbeldagelijkse amplitude door eb en vloed, maar ook grilliger. Tabel 4.1 toont voor de diepe meetpunten de dubbelmaandelijke amplitude. Terwijl de

dubbeldagelijkse amplitude het sterkst is aan de polderranden, is de dubbelmaandelijke amplitude het sterkst (~10 cm) aan de westzijde (meetpunt mp1, mp2, mp3), waar de polder aan het verdrongen land van Saeftinghe grenst.



Figuur 4.5. Voortschrijdend gemiddelde (periode één dag) voor stijghoogte voor meetpunt Mp01 – Diep (blauw) voor de periode januari tot en met mei, 2016. De roze band geeft hoogtij en laagtij aan voor de Westerschelde; spring- en doottij is duidelijk herkenbaar uit de tweemaandelijke pieken en dalen.

In tegenstelling tot de dubbeldagelijkse getijcyclus lijkt de stijghoogte (soms) wel aanzienlijk vertraagd te reageren op de spring- en doottij cyclus. Deze vertraging is niet constant: soms lijkt de stijghoogte piek snel te volgen op springtij, soms duur het langer. Deze vertraging is echter niet kenmerkend voor de geohydrologische kenmerken van het watervoerende pakket van de Prosperpolder: uit het dubbeldagelijkse getij blijkt immers dat de stijging van de Westerschelde binnen één uur effect heeft op de stijghoogte in Prosperpolder. In plaats daarvan is deze vertraging waarschijnlijk kenmerkend voor de verzadigingsgraad van Saeftinghe. Als Saeftinghe voor springtij onverzadigd is, vult het zich nog bij de hoge waterstanden na springtij, ook al is de absolute piek van springtij reeds gepasseerd. Dit is ook een verklaring van de variërende amplitude: als Saeftinghe voor springtij al verzadigd is, resulteert springtij in weinig extra berging heeft springtij weinig effect op de stijghoogte in de Prosperpolder. Daarnaast speelt mogelijk de seizoenale variatie nog een rol.

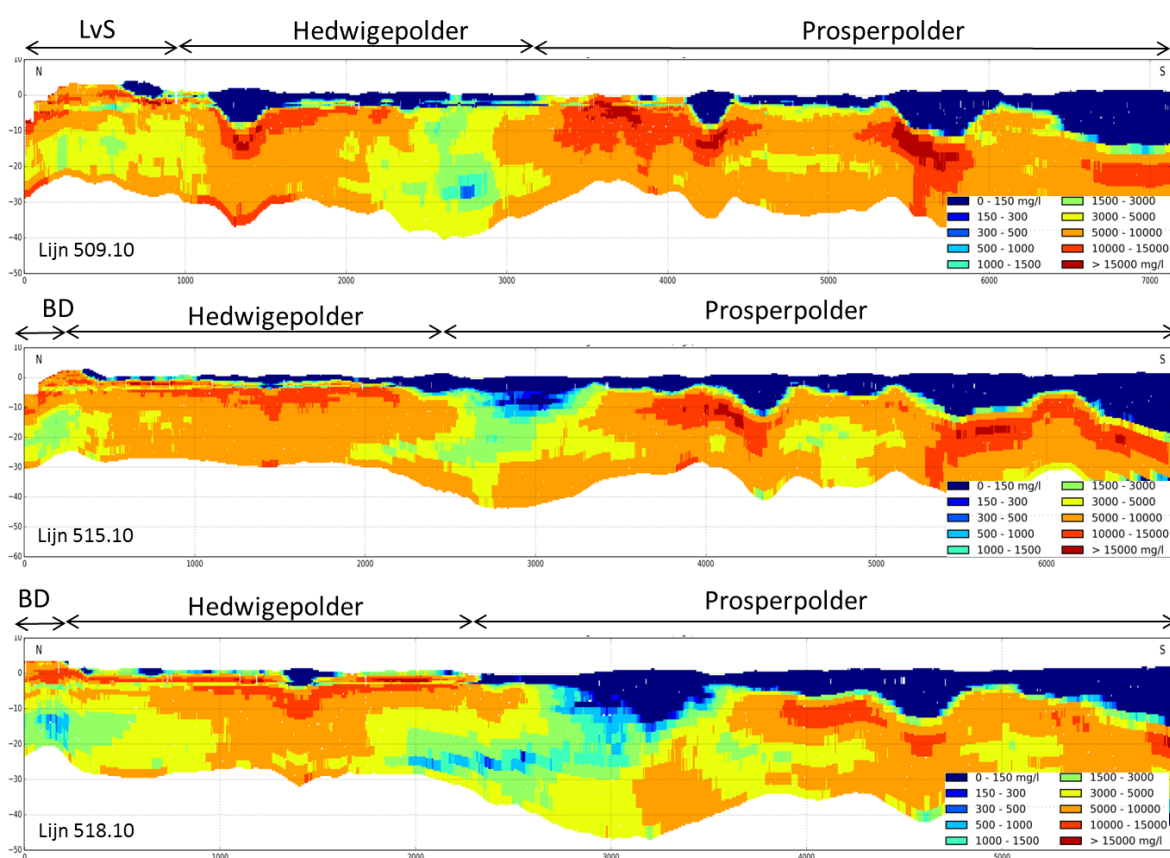
De meetgegevens tonen aan dat dubbelmaandelijke fluctuaties veel sterker tot uiting komen in de stijghoogtemetingen dan de dubbeldagelijkse metingen. Dit is conform de theorie: snelle fluctuaties planten zich veel sneller voort dan langzame, maar ze dempen ook veel sneller uit (Maas, 1998).

4.2 Diepte grensvlak zoet-zout (brak)grondwater

4.2.1 FRESHEM-resultaten

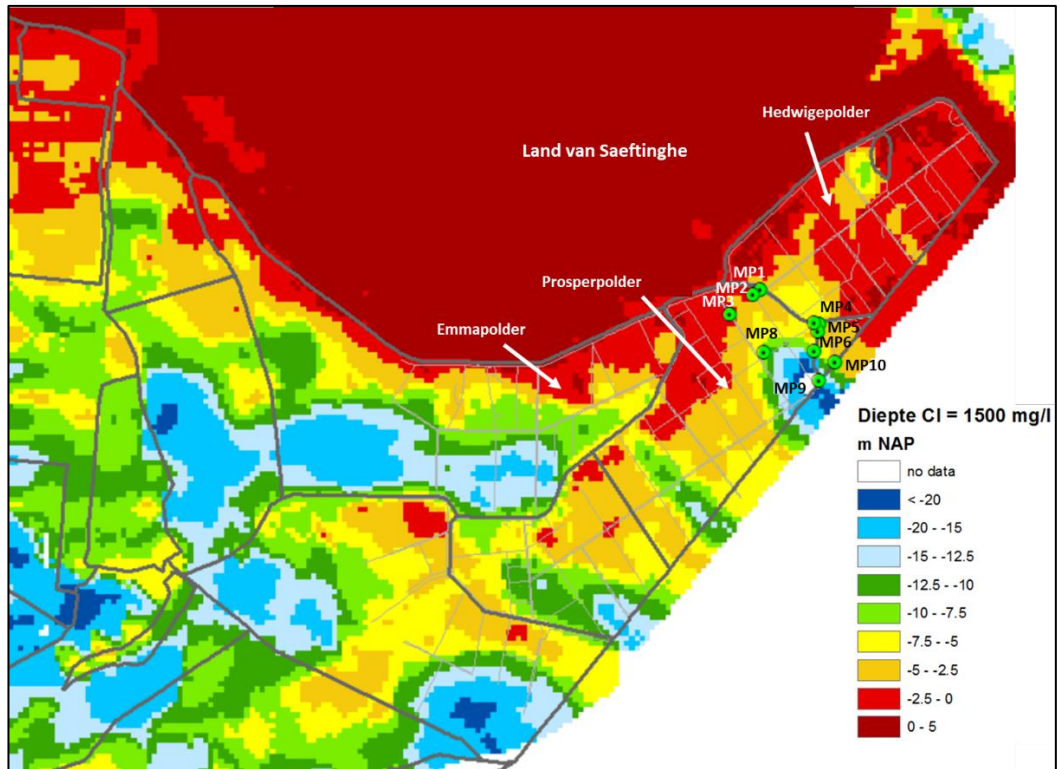
De FRESHEM meetcampagne (Van Baaren et al., 2017) levert een gebiedsdekkend beeld op van de zoutverdeling in de ondergrond. Voor de Hedwigepolder en de Prosperpolder zijn de vlieglijnen verdicht voor een nauwkeuriger ruimtelijk beeld. De vlieglijnen liggen ongeveer 100 m uit elkaar en op de vlieglijn is voor elke 4 m een meting uitgevoerd. In Bijlage D staan de vlieglijnen weergegeven.

Voor elke vlieglijn zijn gedetailleerde dwarsprofielen gemaakt van het zoutgehalte van het grondwater (Cl-concentratie in mg/l) die allen in Bijlage D staan weergegeven. Daarbij dient te worden opgemerkt dat de resultaten een bepaalde onzekerheid hebben die te maken heeft met de inversie-methode, gebruik van formatiefactoren en deeltjesgeleidbaarheid en met de geologische opbouw. In het FRESHEM-project is hierbij zo goed mogelijk rekening gehouden door een 100-tal realisaties uit te voeren. In Bijlage D wordt per vlieglijn de 25-, 50- en 75-percentiel waarden gepresenteerd. Echter, de verschillen tussen de realisaties zijn niet groot waardoor met de 50-percentiel waarden een goede indruk kan worden verkregen van de zoet-zoutverdeling van de ondergrond. In Figuur 4.6 staan 3 kenmerkende dwarsdoorsnedes weergegeven (zie Bijlage D voor locatie van de dwarsdoorsnedes).



Figuur 4.6 Dwarsdoorsnedes (noordoost-zuidwest) met Cl-concentratie van het grondwater (mg/l) voor vlieglijnen 509.10, 515.10 en 518.10 (50-percentiel waarden – midden)

Naast deze 2D-resultaten heeft het FRESHEM-project ook een geïnterpoleerd 3D-beeld opgeleverd. Voor voxels van 100x100 m en 0,5 m dik is voor het gehele gebied een zoutgehalte bekend. Uit deze 3D-beelden zijn verschillende grensvlakken geëxtraheerd. Het grensvlak van 1500 mg/l staat weergegeven in Figuur 4.7 en geeft een goede indicatie van de dikte van de zoetwaterlenzen.



Figuur 4.7 De diepte van het grensvlak CI=1500 mg/l op basis van de FRESHEM-metingen (in m NAP)

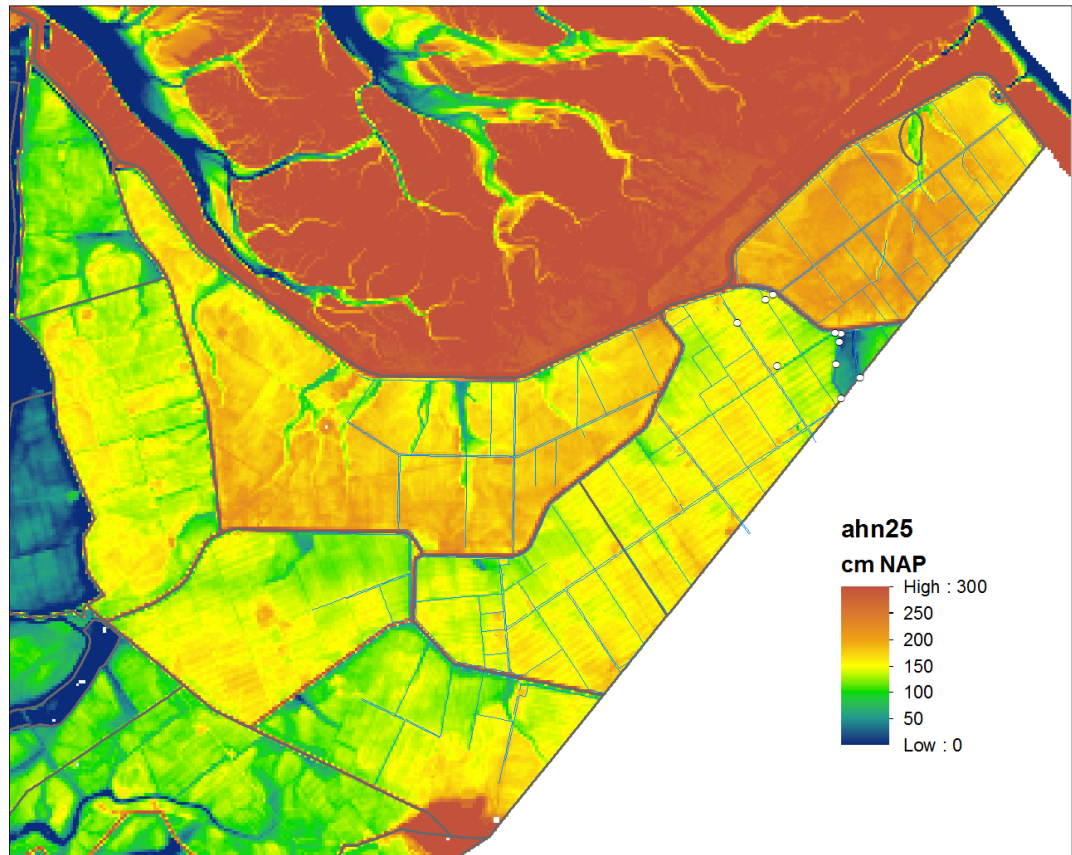
Zowel de CI-profielen (Figuur 4.6) als de diepte van het CI=1500 mg/l-grensvlak (Figuur 4.7) laten duidelijk zien dat de zoetwaterlenzen in de Hedwigepolder dunner zijn dan in de Prosperpolder. In het grootste deel van de Hedwigepolder zijn deze veelal dunner dan 3 meter maar in sommige gebieden kunnen ze tot 7-8 m dik zijn, bijvoorbeeld het gebiedje ten westen van het natuurgebiedje (oude getijdegeul).

Vlieglijn 509.10 (zie figuur 4.6) gaat min of meer over de meetpunten Mp1 en Mp2 en laat zien dat in de Hedwigepolder een dunne zoetwaterlens aanwezig is en dat deze in de Prosperpolder verdwijnt. Ter hoogte van de meetpunten wordt het brak-zoute grondwater erg ondiep aangetroffen, conform de EC-metingen van het grondwater (Tabel 4.2). Figuur 4.7 laat zien dat dit noordelijk deel van de Prosperpolder dat aan het Land van Saeftinghe grenst duidelijker zouter is dan het zuidelijke deel.

De zuidelijker gelegen vlieglijn 515.10 doorsnijdt het transect van meetpunten Mp4-6. Het brak-zoute grondwater aan de rand van de Prosperpolder zit hier volgens de FRESHEM-resultaten dieper (3 tot 6 m beneden maaiveld) dan bij transect mp1-mp3. Voor meetpunt Mp4 komt dit overeen met de SlimFlex-meting, echter de SlimFlex-metingen en EC-metingen van het grondwater voor meetpunten Mp5 en Mp6 laten een compleet brak-zout diepteprofiel zien vanaf de grondwaterspiegel. Mogelijk onderschat FRESHEM hier het zoutgehalte van het grondwater. Volgens Figuur 4.7 lijkt de zoetwaterlens zich uit te breiden in westelijke richting tot een dikte van meer dan 20 m ter hoogte van meetpunt Mp9. Mp9 heeft alleen een freatisch filter (2-3 m diep) dat zoet grondwater geeft (zie Tabel 4.1). In Vlaanderen is een EM39-meting uitgevoerd in een meetpunt ongeveer 200 m ten zuiden van Mp 9 en deze meting laat ook een dikke zone met zoet grondwater zien (> 10m).

Meer naar het zuidwesten in de Prosperpolder wisselen dikkere en dunnere zoetwaterlenzen zich af. Er is een duidelijke relatie met maaiveldhoogte te zien (vergelijk Figuur 4.7 met 4.8). Bijvoorbeeld ter hoogte van Nieuw-Namen dat meer dan 3 m boven NAP ligt, wordt een dikke zoetwaterlens van meer dan 20 m aangetroffen. Ook in het zuidelijke deel van de hoger gelegen Koningin Emmapolder worden grote aaneengesloten zoetwaterlenzen aangetroffen.

In het noordelijke deel van de Emmapolder zit het zoute grondwater ondieper en hier is mogelijk het effect van verzilting vanuit Saeftinghe te zien. Voor de Prosperpolder komt het zoute grondwater verder landinwaarts, mogelijk komt dat door de diepere ligging van de polder met lagere polderpeilen daardoor grotere grondwaterfluxen vanuit Saeftinghe richting de Prosperpolder.



Figuur 4.8 Hoogte van het maaiveld (in cm NAP)

Samengevat laten de FRESHEM-metingen de volgende resultaten zien:

- de FRESHEM-resultaten bevestigen grotendeels het beeld van SlimFlex- en EC-metingen (zie volgende paragraaf). Echter, het lijkt dat voor sommige locaties de FRESHEM-resultaten t.o.v. de SlimFlex- en EC-metingen het grensvlak tot het brak-zoute grondwater (Cl = 1500 mg/l) overschat (dieper).
- De FRESHEM-resultaten geven ruimtelijk een goed beeld van de variaties in de diepteligging van het zoet-brakke grensvlak in de ondergrond en dikte van zoetwaterlenzen.
 - De Hedwigepolder is zouter dan de Prosperpolder.
 - Het noorden van de Prosperpolder, grenzend aan het Land van Saeftinghe is zouter met dunnere zoetwaterlenzen dan het zuidelijk deel.
 - Het zuidelijk deel van de Prosperpolder kent enkele dikkere zoetwaterlenzen van meer dan 15 m dik.
 - Er is over het algemeen een duidelijke relatie tussen zoetwatervoorcomens en maaiveldhoogte, hoe hoger het maaiveld hoe zoeter. Echter, ook de ontstaansgeschiedenis speelt een rol. De Hedwigepolder werd later ingepolderd en stond daardoor langer onder invloed van zee waardoor het zouter is dan de oudere Prosperpolder.

4.2.2 Slimflex-metingen en EC-grondwater

Zoals de FRESHEM-resultaten laten zien, wordt het gebied gekenmerkt door het zeer ondiep voorkomen van brak-zout grondwater. Dit wordt bevestigd door de metingen van de elektrische geleidbaarheid (verder aangeduid met EC) van het grondwater in de verschillende ondiepe en diepe meetpunten. De EC van diepe meetpunten varieert van 9 tot 17 mS/cm (vergelijkbaar met een chloride-gehalte van ongeveer 2800 tot 5900 mg/l). De ondiepe meetpunten van Mp1, Mp8, Mp9 en Mp10 geven zoet grondwater terwijl de overige ondiepe meetpunten brak-zout grondwater leveren (EC > 6.9 mS/cm). EC-waardes beneden de 2.5 mS/cm kunnen als zoet worden beschouwd. Ter vergelijking, zeewater heeft een EC van ongeveer 54 mS/cm.

Tabel 4.2 De gemeten EC van het grondwater in de verschillende ondiepe en diepe meetpunten (26-maart-2018). De EC-metingen zijn verricht na minimaal 1.5x het volume van de peilbuis te hebben afgepompt.

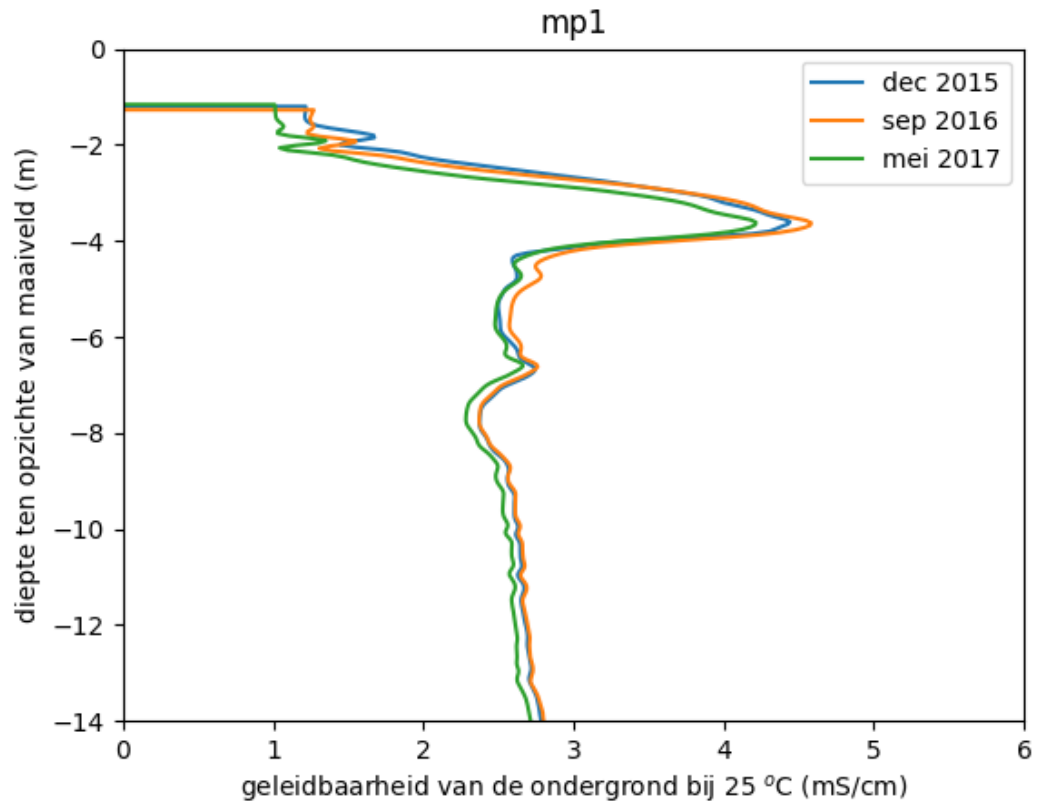
Meetpunt	EC (mS/cm)		EC (mS/cm)		EC (mS/cm)
MP1 - ondiep	1.7	MP4 - ondiep	6.9	MP8 - ondiep	1.3
MP1 - diep	9.2	MP4 - diep	15.7	MP8 - diep	8.9
MP2 - ondiep	9.5	MP5 - ondiep	11.4	MP9	0.4
MP2 - diep	9.7	MP5 - diep	13.1		
				MP10	1.6
MP3 - ondiep	9.7	MP6 - ondiep	8.5		
MP3 - diep	17.0	MP6 - diep	9.4		

Voor de diepe meetpunten zijn op drie momenten SlimFlex metingen uitgevoerd (zie Bijlage C voor alle resultaten). In Figuur 4.9 staat een voorbeeld gegeven voor MP1.

Alle meetpunten laten voor alle drie de tijdsmomenten een zelfde verloop zien van het zoutgehalte met de diepte. Het zout-profiel lijkt dus gedurende de meetperiode relatief constant gebleven. De waargenomen variaties in absolute zin worden veelal veroorzaakt door het meetinstrument zelf. Alleen voor de bovenste 3-4 meter treden er significante fluctuaties in absolute waarden op die waarschijnlijk zijn toe te schrijven aan seizoenselijke temperatuurvariaties in de ondiepe ondergrond. De SlimFlex-metingen zijn wel gecorrigeerd voor temperatuur, maar hierbij is uitgegaan van een constante temperatuur van 10.5 graden voor het gehele dieptetraject. Dit is prima voor de metingen dieper dan 3-4 meter waarbij de bodemtemperatuur gedurende het jaar rond de 10-11 graden blijft maar ondieper spelen de seizoensinvloeden een grotere rol. Gedurende de meetperiode zijn er geen significante veranderingen opgetreden in factoren die zoet-zoutverdeling kunnen beïnvloeden en het is dan ook conform de verwachting dat de zoet-zout verdeling gedurende de meetperiode niet is veranderd. Ook seizoensinvloeden komen niet tot uiting in veranderingen in het zoutprofiel, conform de verwachting (De Louw, 2013; Pauw, 2015).

MP1 laat voor de bovenste 4 meter een sterke toename van het zoutgehalte met de diepte zien, van 1 mS/cm (EC-bulk) naar 4.5 mS/cm (Figuur 4.9). Dit geeft zeer waarschijnlijk de overgang weer van zoet grondwater op 1.5-2.5 m-mv naar brak-zout grondwater in het traject 2.5 tot 4 m-mv. Op 4 m-mv vindt een plotseling daling plaats van 4.5 mS/cm naar 2.7 mS/cm wat de overgang van Hollandveen (hogere EC-bulk) naar zand (lagere EC-bulk) aangeeft. Vanaf 4.2 m-mv blijft de EC-bulk redelijk constant met de diepte. De EC-metingen van het grondwater (Tabel 4.2) bevestigen de SlimFlex-metingen, op 2-3 m diepte wordt een EC-water van 1.7 mS/cm aangetroffen en op 14-15 m diepte een EC-water van 9.2 mS/cm.

MP8 laat een zelfde verloop van de geleidbaarheid zien als MP1 (van zoet naar brak-zout), tevens bevestigd door de EC-metingen van het grondwater (Tabel 4.2). Ook MP8 lijkt een zoete toplaag te hebben. De overige meetpunten laten aan de top direct brak-zout grondwater zien, eveneens bevestigd door de EC-metingen van het ondiepe grondwater. Ook is duidelijk zichtbaar in zowel de SlimFlex-metingen als de EC-metingen dat het diepere grondwater voor de meetpunten MP3, Mp4 en Mp5 significant zouter is dan de overige diepe meetpunten (13-17 mS/cm versus 9-10 mS/cm). Mp4 lijkt op ongeveer 1-1.75 m-mv brak-zout te zijn waaronder het zoeter wordt tot ongeveer 3 m-mv. Vanaf 3 m-mv neemt het zoutgehalte weer geleidelijk toe tot 6 m-mv waaronder het relatief constant blijft.



Figuur 4.9 SlimFlex-metingen voor MP1 voor drie momenten.

In het kader van de grondwatermodellering zijn op de Linkerscheldeoever in Vlaanderen enkele EM-39 geofysische boorgatmetingen uitgevoerd in bestaande en nieuwe meetputten (Claas en Lebbe, 2012). Locatie 7 is de enige in de nabijheid van de Hedwigepolder en ligt op ongeveer 750 meter afstand ten zuiden van de Hedwigepolder (zie De Louw en Van Baaren, 2015: Figuur 3.1). Het gemeten zoutprofiel laat voor deze locatie een geleidelijke toename van de geleidbaarheid van de bodem (sediment en poriënwater) zien, van 0.5 mS/m bij de grondwaterstand tot 2.0 mS/m op 30 meter diepte, wat een geleidelijke overgang van zoet naar lichtbrak aangeeft. Deze meting laat een minder zout profiel zien dan de SlimFlex-metingen waar een geleidbaarheid van 2.0 mS/cm binnen 2-5 m diepte wordt aangetroffen. Dit meetpunt 7 geeft dus waarschijnlijk het voorkomen van een dikkere zoetwaterlens (> 10 m) aan die ook deels in het zuidelijk Nederlandse deel van de Prosperpolder is aangetroffen.

De geringe of afwezige zoetwaterlens wordt veroorzaakt door de huidige grondwatersituatie. De stijghoogtemetingen tonen duidelijk aan dat we te maken hebben met een kwelgebied. Met een stijghoogte tot in de wortelzone en zelfs boven maaiveld, is het bijna niet mogelijk een zoetwaterlens te ontwikkelen. De verticale kwelstroom richting het maaiveld verhindert dat regenwater de bodem ver kan indringen.

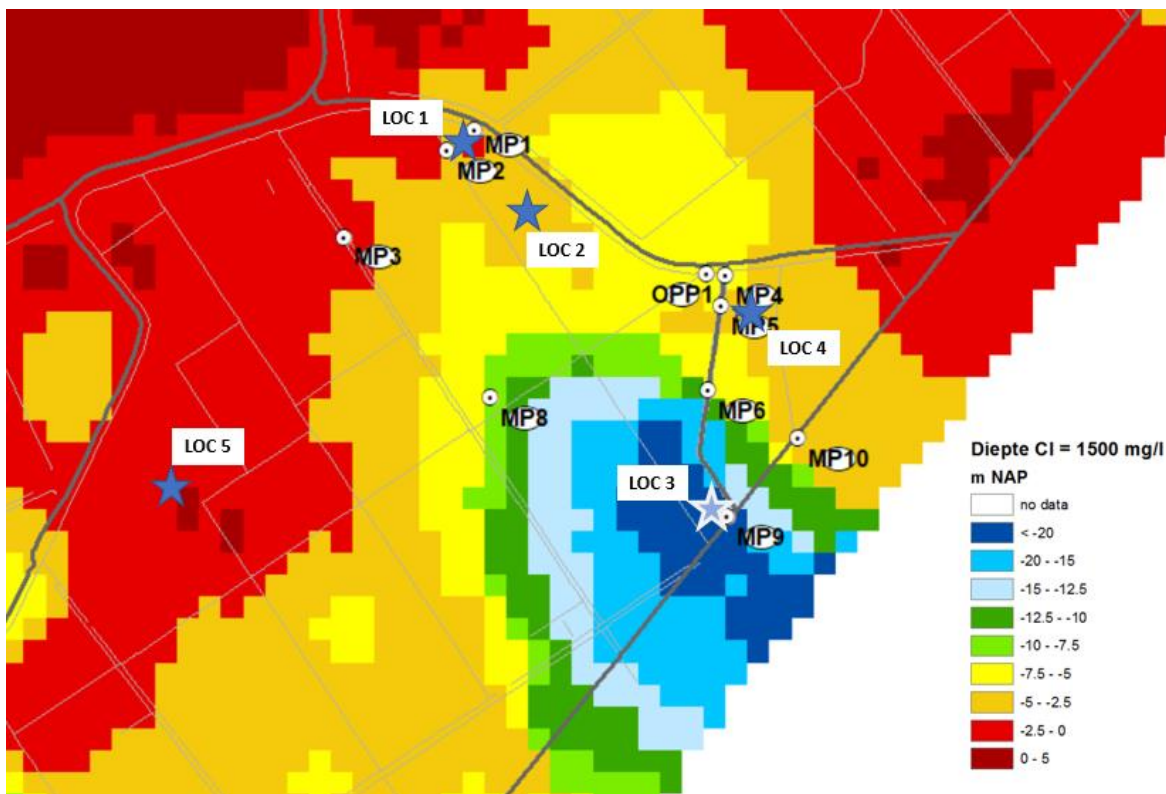
Samengevat laten de SlimFlex-metingen en de EC-metingen van het grondwater uit de ondiepe en diepe filters het volgende zien:

- Op de meetpunt-locaties is er nauwelijks sprake van een zoetwaterlens; of deze is afwezig of deze is slechts 1 á 2 meter dik. Dit wordt veroorzaakt door de omhoog gerichte kwelstroom in dit deel van de Prosperpolder.
- Het diepere grondwater is brak-zout (9 tot 17 mS/cm) maar veel minder zout dan in de meeste gebieden in Zeeland wordt aangetroffen (Schouwen-Duivenland 35-45 mS/cm; Walcheren 40-45 mS/cm, Perkpolder 30-35 mS/cm). Een mogelijke oorzaak van de aanwezigheid van minder zout grondwater in vergelijking met de rest van Zeeland, zou de verdunning van het zeewater door de afvoer van de Schelde kunnen zijn geweest tijdens zee-inundaties.
- De zoutverdeling in de ondergrond vertoont geen aantoonbare variaties in de tijd.

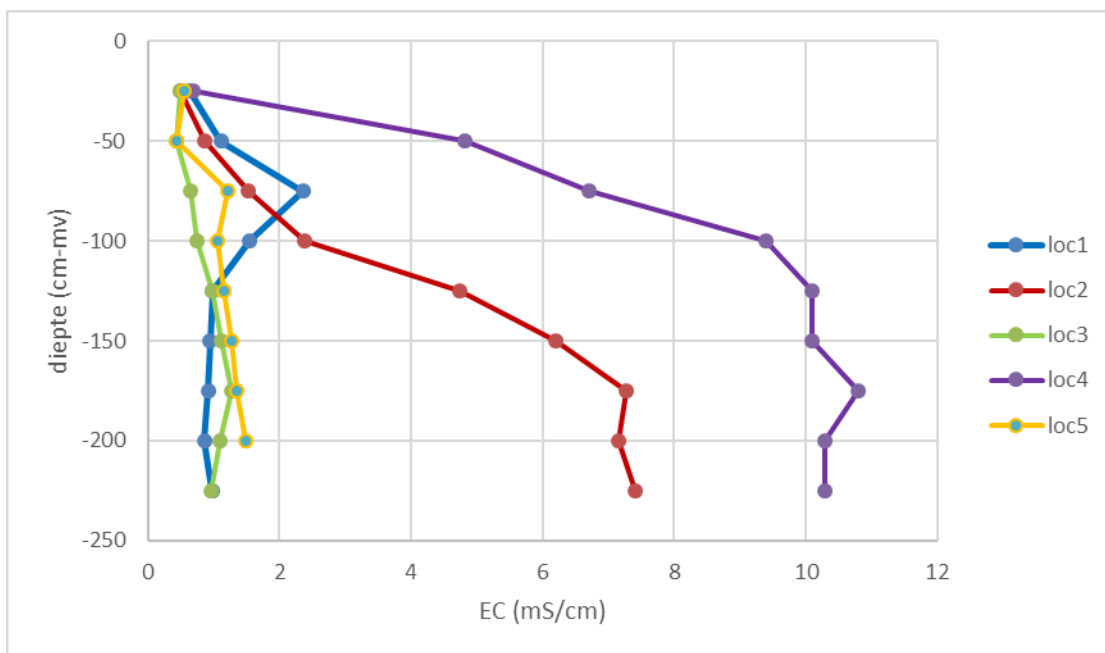
4.2.3 Zoutprofielen op basis van bodemmonsters

De zoutprofielen op basis van bodemmonsters geven nauwkeurigere informatie over het ondiepe zoutprofiel (bovenste 2 m) dan de SlimFlex-metingen. In Figuur 4.10 staan de 5 locaties weergegeven waar de bodemprofielen zijn gestoken op 9 januari 2020. In Figuur 4.11 staan de resultaten weergegeven. De grondwaterstand zit gemiddeld op 100 cm-mv, de waarden boven de grondwaterstand geven dus het zoutgehalte van het bodemvocht en onder de grondwaterstand die van het grondwater. Voor locatie 4 stond de grondwaterstand op slechts 40 cm-mv.

Locatie 1 en 2 liggen dicht bij elkaar op ongeveer 100 meter van de Hedwigepolder en laten een groot verschil in zoutprofiel zien. Locatie 1 is helemaal zoet tot minimaal 225 cm beneden maaiveld (diepte tot waar de metingen reiken). Voor locatie 2 begint het zoutgehalte op ongeveer 75 cm-mv op te lopen. Een overgangszone is zichtbaar tussen 75 en 175 cm-mv waar het zoutgehalte oploopt tot ruim 7 mS/cm. Dit laat zien dat op korte afstand er grote verschillen kunnen zijn in zoutprofiel. Locatie 3 ligt op een zoetwaterbel en laat dan ook een totaal zoet profiel zien. Locatie 4 ligt een het laaggelegen perceel, iets ten oosten van meetpunt 4. In dit lage perceel is kwel aanwezig waardoor er nauwelijks zoet water kan infiltreren. Hier wordt dan ook zeer ondiep (50 cm-mv) zout grondwater aangetroffen. Het zoutgehalte loopt op tot ruim 10 mS/cm op ongeveer 100 cm-mv en neemt dan met de diepte niet verder toe. Locatie 5 ligt in een perenboomgaard waar volgens FRESHM zout grondwater ondiepe voorkomt. De metingen laten in ieder geval een zoet profiel zien tot 225 cm-mv.



Figuur 4.10 De 5 locaties (aangeduid met ster) van de zoutprofielen op basis van bodemonsters



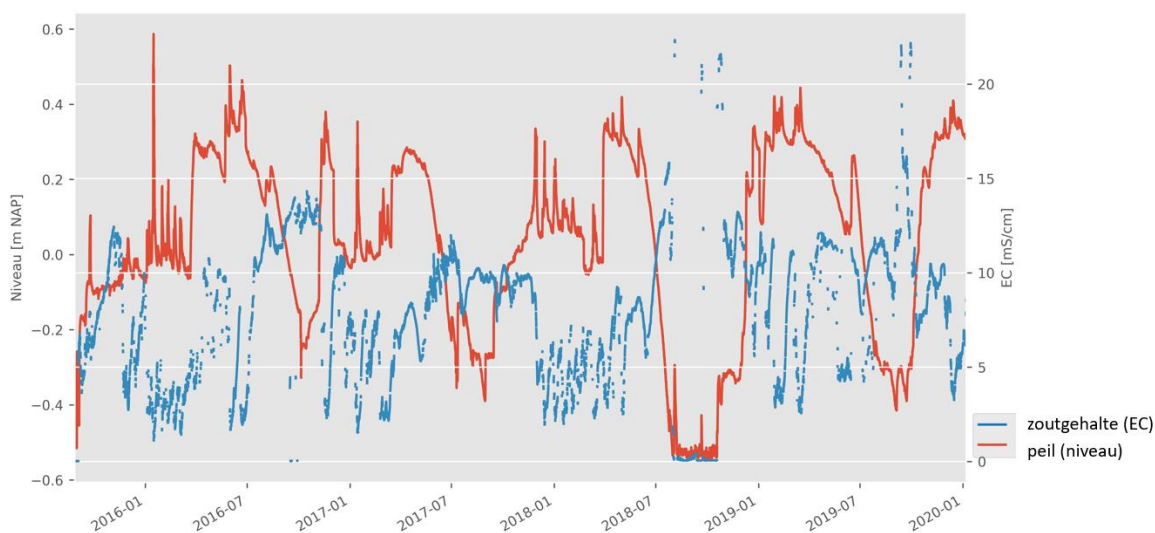
Figuur 4.11 Zoutgehalte (EC in mS/cm) van het bodemwater voor de 5 locaties (zie Figuur 4.10).

4.3 Zoutgehalte en afvoer polderwater

Sinds september 2015 wordt het peil en zoutgehalte bij stuw Mariastraat ieder uur gemeten (zie Figuur 4.12), hier verlaat het oppervlaktewater de Prosperpolder. In de figuur is te zien dat het zoutgehalte van het polderwater oploopt als de afvoer (lager peil) afneemt. Dit komt doordat het aandeel zoute kwel toeneemt in droge perioden. Als het regent en de polderafvoer neemt toe, dan neemt het zoutgehalte weer af. Het zoutgehalte varieert over het algemeen tussen 2.5 en 7.5 mS/cm gedurende het nattere winterhalfjaar en tussen 7.5 en 12 mS/cm gedurende het drogere zomerhalfjaar. Duidelijk is het effect van de droge zomer van 2018 in de grafiek terug te zien toen er voor langere periode geen afvoer was en het zoutgehalte opliep door indamping van het stilstaande water tot boven 20 mS/cm.

Wanneer een Q-h relatie bekend is bij de stuw, dan kan met het gemeten peil de afvoer van het polderwater (per uur) worden bepaald als ook de zoutvrachten die de polder verlaten. Mogelijke significante veranderingen in kwel als gevolg van de ontpoldering van de Hedwigepolder zouden dan kunnen worden gemeten. Echter, de Q-h relatie van de stuw is niet bekend. Maar het is wel mogelijk om toch een beeld van de hoeveelheid kwel te krijgen, door een gecombineerde water- en zoutbalans van de polder. Zowel de methode als de resultaten worden in deze paragraaf beschreven. Bij verbetering van de Q-h relatie door het waterschap, kunnen de berekeningen worden herhaald voor een nauwkeurigere schatting.

In de laatste paragraaf worden de resultaten van de EC-routing in het oppervlaktewater gepresenteerd en besproken.



Figuur 4.12 Het gemeten oppervlaktewaterpeil (rood) en zoutgehalte (Ec in mS/cm, blauw) bij stuw Mariastraat (meetpunt Opp1)

4.3.1 Methode

De huidige kwelflux kan bepaald worden met behulp van de volgende waterbalans:

$$P - ET - Q_{stuw} + Q_{kwel} = \Delta S$$

Met P neerslag, ET de evapotranspiratie, Q_{stuw} het debiet over de stuw, Q_{kwel} de kwelflux, en ΔS de bergingsverandering. Over een hydrologisch jaar (1 april tot 1 april) kunnen we aannemen dat de bergingsverandering verwaarloosbaar is en in principe zijn de eerste drie termen bekend, en kan de kwelflux als restterm bepaald worden. De onzekerheid in Q_{stuw} is echter zeer groot zonder aanvullende informatie / kalibratiemeting van de stuw. De gemeten EC kan wel functioneren als kweltracer, en uit de resulterende mengverhouding van het

water in de polder kan (grofweg) worden afgeleid wat het aandeel kwelwater is in de waterbalans.

Neerslag levert geen zout, en verdamping voert geen zout af, zodat voor de zoutbalans geldt:

$$Q_{kwel} \cdot EC_{kwel} - Q_{stuw} \cdot EC_{stuw} = \Delta S_{zout}$$

We nemen ook verwaarloosbare zoutbergingsverandering aan over een hydrologische jaar, zodat we de kwelflux kunnen afleiden zonder een exact stuwdebiet te berekenen:

$$Q_{kwel} = \frac{EC_{stuw} / EC_{kwel}}{1 - (EC_{stuw} / EC_{kwel})} (P - ET)$$

Hier rest de vraag welke EC_{stuw} te nemen: het zoutgehalte van de kwel is constant in de tijd, maar de EC_{stuw} varieert sterk. Zo neemt in tijden van een neerslagtekort het zoutgehalte in de sloten behoorlijk toe. In zulke gevallen zal het debiet over de stuw ook klein zijn (of zelfs 0). Om de zoutbalans te sluiten moet EC_{stuw} in de bovenstaande vergelijkingen de EC debietgewogen zijn.

Voor elke EC uit de overstorthoogte van de stuw kan bijbehorend een relatief debiet geschat worden. Deze kan berekend worden uit de gemeten waterstand, en het ingestelde (zomer- of winter)peil. De EC waarden kunnen dan gewogen worden met dit relatieve debiet. De aanname is dat op deze manier eventuele systematische onzekerheden op elkaar weggedeeld worden, en het antwoord wordt onafhankelijk van het oppervlak van het brongebied.

Relatief debiet

De specificaties van de stuw (uit de data van waterschap Scheldestromen):

Tabel 4.3 Specificaties stuw Mariastraat.

code	KST838
naam	Stuw Mariastraat
inlaatfunctie	Nee
soort stuw	Stuw met klep
kruinvorm	rechthoek
regelbaarheid stuw	Regelbare, niet-automatische stuw
minimale kruinhoogte (m NAP)	-0.71
maximale kruinhoogte (m)	0.78
constructiebreedte stuw (m)	4.64
constructiehoogte stuw (m)	0.93
doorstroombreedte stuw (m)	1.3

Onderstaande informatie is gebaseerd op Boiten, 1995. Het debiet van een klepstuw zoals die bij de Mariastraat in de Prosperpolder kan als volgt worden berekend uit de klepgeometrie en de waterhoogte:

$$Q = \left(\frac{2}{3}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot g^{\frac{1}{2}} \cdot B \cdot C \cdot h^{\frac{3}{2}}$$

met Q debiet, B de breedte tussen de betonwanden, g zwaartekrachtsversnelling, C de afvoercoëfficiënt, en h de overstorthoogte.

Waar de afvoercoëfficiënt berekend wordt als:

$$C = C_D \cdot C_c \cdot C_v \cdot D_{dr}$$

Met:

- C_D als karakteristieke afvoercoëfficiënt, afhankelijk van kruinvorm, klephoek en overstorthoogte.
- C_c als contractiecoëfficiënt, die wordt bepaald door de vorm en afmetingen van ophangarmen en stoelementen, klephoek, en overstorthoogte.
- C_v coëfficiënt voor aanstroomsnelheid ter plaatse van h meetpunt.
- C_{dr} reductiefactor voor gestuwde afvoer

We hebben te weinig data om C_c , C_v , en C_{dr} te bepalen. Voor deze drie coëfficiënten nemen we de standaardwaarde van 1.0 aan. C_{dr} kent een relatief grote spreiding (van 0.90 tot 1.35) en is wel bepaald aan de hand van tabellen (Boiten, 1995). De klephoek is niet bekend, maar kan worden afgeleid uit de minimale en maximale kruinhoogte, aangenomen dat het scharnierpunt op minimale kruinhoogte ligt, en dat de lengte van de klep het verschil tussen minimale en maximale kruinhoogte is. Zomerpeil en winterpeil leveren dan klephoeken van 52 en 65 graden op.

De volgende waarden zijn voor C_D genomen (geldig voor een rechthoekige klepstuw, licht afgeronde kruin (kruin R1 in Boiten, 1995), met klephoek 60 graden):

Tabel 4.4 Waardes van C_D voor verschillende overstorthoogtes (Boiten, 1995)

overstorthoogte (m)	C_D (-)	overstorthoogte (m)	C_D (-)
0.01	1.278	0.15	1.239
0.02	1.353	0.20	1.236
0.03	1.340	0.25	1.234
0.04	1.258	0.30	1.230
0.05	1.248	0.35	1.225
0.06	1.241	0.40	1.221
0.08	1.239	0.45	1.220
0.10	1.240	0.50	1.220
0.12	1.240		

De debietgewogen EC is dan berekend als:

$$\overline{EC}_{stuw} = \frac{\sum_{t=0}^{t=T} Q_{stuw}^*(t) \cdot EC_{stuw}(t)}{\sum_{t=0}^{t=T} Q_{stuw}^*(t)}$$

met

$$Q_{stuw}^*(t) = C_D(h(t)) \cdot h^{3/2}(t)$$

Waar t het tijdstip is, en T het einde van de waterbalansperiode is.

4.3.2 Resultaten

De methode is toegepast voor de metingen tot mei 2018. In Tabel 4.5 staan de gebruikte waarden voor de referentiemeting van de kwelbepaling. Voor de EC van het kwelwater is 13.5 mS/cm gebruikt. Dit is de maximale waarde die bij de stuw is gemeten (Figuur 4.11), er van uitgaande dat de afvoer op dat moment volledig uit kwelwater bestond. Deze waarde is in lijn met EC-metingen van het grondwater en de SlimFlex-metingen.

Een EC van 13.5 mS/cm komt overeen met ongeveer een Cl-concentratie van ongeveer 4.4 g/l.

Om enige onzekerheid in de gebruikte parameters mee te nemen, is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd door parameterwaarden of gegevensbronnen te variëren. Zo zijn bijvoorbeeld neerslag -en verdampingsgegevens van verschillende meteostations gebruikt, is het zoutgehalte van de kwel aangepast en is gevarieerd met het zomer- en winterpeil.

Tabel 4.5 Beschrijving referentieberekening waterbalans voor de kwelbepaling

Variable	Waarde
Bron neerslag	Station Rilland
Bron referentieverdamping	Station Vlissingen
Periode	1 april – 2016 tot 1 april 2018
EC _{kwel}	13.5 mS/cm
moment peilopzet zomerpeil	1 april
moment peilopzet winterpeil	1 september
zomerpeil	0.20 m NAP
winterpeil	-0.10 m NAP
afgewaterd oppervlak Prosperpolder	390 ha

Het afgewaterd oppervlak is geschat aan de hand van de shapefile van het noordelijke peilgebied van de Prosperpolder dat binnen Nederland valt (316 ha) plus het Belgische deel (74 ha) dat binnen dit peilgebied lijkt te vallen (in totaal 390 ha). Dit oppervlak is uitsluitend gebruikt voor de berekening van het debiet van de stuw en de zoutvracht en heeft geen invloed op de afgeleide kwelflux.

Tabel 4.6 De geschatte kwelfluxen voor verschillende parameter-waarden: resultaten van de gevoeligheidsanalyse. P is neerslag, ET evapotranspiratie, en Q het stuwdebiet, de zoutvracht is uitgedrukt in de hoeveelheid keukenzout (NaCl) dat de polder verlaat.

Scenario	Aangepaste waarde	P (mm/d)	ET (mm/d)	Kwel (mm/d)	Q (m ³ /d)	Zoutvracht (kg/d)
Referentie	-	2.42	1.83	0.41	3900	11500
EC _{kwel}	12.0	2.42	1.83	0.51	4300	12500
EC _{kwel}	15.0	2.42	1.83	0.35	3600	11000
zomeropzet	1 mei	2.42	1.83	0.48	4200	13500
winteropzet	1 oktober	2.42	1.83	0.39	3800	11000
zomerpeil	0.18	2.42	1.83	0.39	3800	11000
winterpeil	-0.08	2.42	1.83	0.40	3800	11500
jaar 1	april 2016 – april 2017	2.39	1.85	0.38	3600	11000
jaar 2	april 2017 – april 2018	2.45	1.81	0.44	4200	12500
neerslag	Vlissingen	2.19	1.83	0.26	2400	7500
verdamping	Kloosterzande	2.42	1.70	0.50	4800	14000

Uitgaande van een gemiddelde kwelflux van 0.40 mm/d en een gemiddeld stijghoogteverschil tussen het ondiepe (2-3m) en diepe grondwater (14-15 m) van 0.70 m, kan de gemiddelde hydraulische weerstand van de Hollandveenlaag (op ~ -3 m NAP) diepte worden geschat. Deze komt dan op 1750 dagen. Mogelijk is het Hollandveen niet alleen verantwoordelijk voor deze weerstand en spelen ook horizontale kleilaagjes een rol.

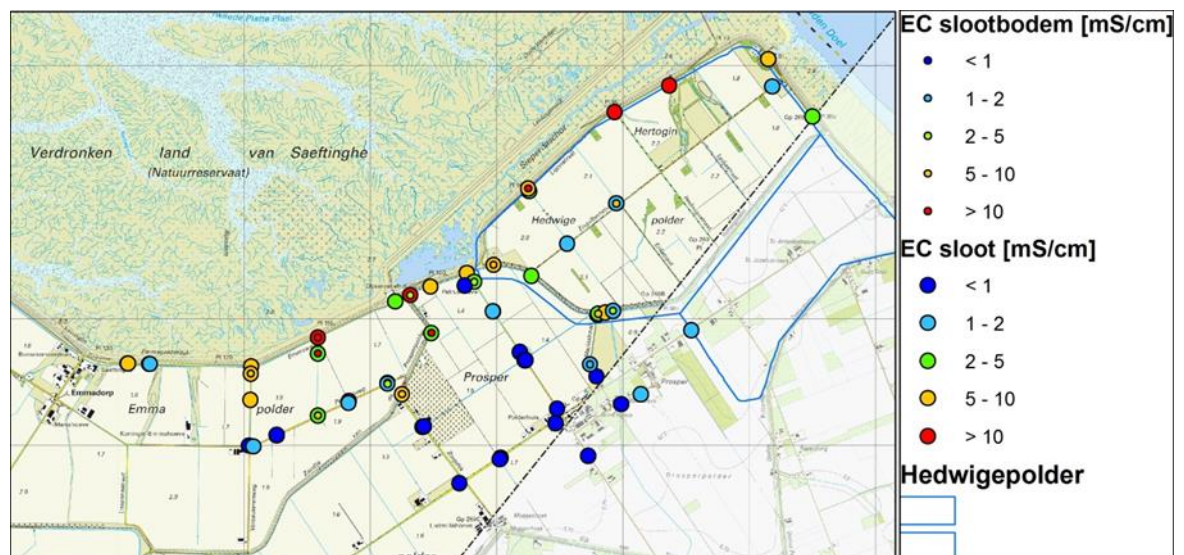
4.3.3 Conclusie

De gemiddelde kwelflux voor het gehele peilgebied bedraagt ca. 0.40 mm/d. De variaties tussen de verschillende scenario's zijn niet heel groot. Neerslag en verdamping hebben met deze methode de grootste invloed op de berekende kwelflux.

Uitgaande van het afwaterende oppervlak van de Prosperpolder horende bij de stuw Mariastraat van 390 ha, verlaat er gemiddeld 3800 m³ water en 11 ton zout (NaCl) per dag de polder via de stuw.

4.3.4 EC-metingen slootwater en slootbodem

Op 2 september 2014 zijn EC-metingen (elektrische geleidbaarheid) uitgevoerd van het slootwater met behulp van een EC-meter en van het grondwater onder de slootbodem met behulp van de EC-prikstok (Figuur 4.12). Uit de prikstokmetingen blijkt dat het grondwater onder de slootbodem langs de noordwestelijke dijk zout is, wat wijst op zoute kwel. Ook in de 2e sloot, ongeveer 500-700 m van de dijk, worden verhoogde zoutgehalten in de sloot aangetroffen. De EC-metingen van het slootwater laten zien dat het slootwater nabij de Belgische grens in de Prosperpolder op het moment van de meting zoet is; hier is geen of minder sprake van zoute kwel. Er dient echter te worden opgemerkt dat de EC-metingen na een natte periode eind augustus zijn uitgevoerd waardoor verdunning van het zoute kwelwater in de sloot door neerslag is opgetreden. De gemeten gelaagdheid van het zoutgehalte in de sloot (hoe dieper hoe zouter) tonen aan dat zoet water over het zoute (kwel)water wordt afgevoerd. De prikstokmetingen in de sloot geven daarmee een veel beter beeld van de locaties waar zoute kwel optreedt. Bijna alle prikstokmetingen laten verhoogde zoutconcentraties in de slootbodem zien (m.u.v. van één meting, sloot parallel aan Mariastraat nabij Belgische grens) wat aanduidt dat zoute kwel bijna overal een rol speelt.



Figuur 4.12 EC metingen sloten en slootbodem (m.b.v. prikstok) d.d. 2 september 2014.

4.4 Verwachte effecten

Door een nulmeting te doen, kan straks inzichtelijk gemaakt worden of er sprake is van effecten van het nieuwe intergetijdengebied. In de komende jaren, tot in ieder geval 5 jaar na afronding van het project, zal de grond- en oppervlaktewatermonitoring worden voortgezet. De nulmeting geeft de huidige stand van zaken weer en geeft geen voorspelling van de toekomstige situatie. Echter, op basis van de huidige systeemkenmerken en expert-judgement kan het volgende opgemerkt worden over de te verwachten effecten.

Effecten planten zich voort via de stijghoogte in het watervoerende pakket

De herinrichting van de Hedwigepolder tot intergetijdengebied leidt tot een andere waterhuishoudkundige situatie. Een eventueel effect hiervan, plant zich voort (verspreidt zich) via de stijghoogte in het zogenaamde eerste watervoerende pakket. Dit pakket is minimaal 20 m en maximaal 45 m dik en wordt aan de bovenkant begrensd door een 0.5 tot 1.5 m dikke veenlaag (niet overal aanwezig). Het meten van de stijghoogte in dit watervoerend pakket (op 14-15 m diepte) vormt dan ook het belangrijkste element van het grondwater monitoringsprogramma. Immers, wanneer de stijghoogte niet of nauwelijks verandert, zijn er geen of nauwelijks effecten voor de omgeving. Deze stijghoogte is dus belangrijk om via monitoring in de gaten te houden.

Grondwaterstand en stijghoogte in het getijdegebied

De toekomstige stijghoogte in het getijdegebied is de meest onzekere factor in de schatting van de verwachte effecten. Hoeveel de stijghoogte in het watervoerend pakket onder de Hedwigepolder wordt verhoogd of verlaagd door de herinrichting, wordt bepaald door (1) de veranderingen van het oppervlaktewaterpeil, (2) de mate van ontwatering aan het oppervlak door geulen (dichtheid, breedte en diepte van de geulen zijn hierbij belangrijk) en (3) de opbouw en doorlatendheid van de ondergrond.

Het toekomstige gemiddeld oppervlaktewaterpeil van het getijdegebied (ongeveer het gemiddeld Westerscheldepeil) wordt naar verwachting iets lager dan het oorspronkelijke polderpeil van +0.4 m NAP. Echter, tijdens vloed zal het gebied zich tweemaal daags vullen met Westerscheldewater en dit water zal de bodem indringen waardoor de grondwaterstand zal stijgen. Het hangt van de doorlatendheid van de bodem en het netwerk aan geulen af, hoe snel de grondwaterstand weer daalt tijdens eb. De grondwaterstand in het getijdegebied beïnvloedt de stijghoogte in het getijdegebied: een hogere grondwaterstand leidt tot een hogere stijghoogte. Hoeveel dit is hangt af van het voorkomen van slechtdoorlatende klei- en veenlagen (dikte en doorlatendheid). Ondanks dat het gemiddeld oppervlaktewaterpeil iets lager wordt na herinrichting, is de verwachting dat de grondwaterstand in het getijdegebied zal stijgen ten opzichte van de oorspronkelijke situatie en daarmee waarschijnlijk een verhogend effect zal hebben op de stijghoogte. Hoeveel de gemiddelde grondwaterstand zal stijgen is onzeker en hangt af van de snelheid waarmee het grondwater wordt gedraineerd tijdens eb. Metingen in het intergetijdengebied van Perkpolder laten zien dat de grondwaterstand tijdens eb hoog blijft hangen en niet veel verder uitzakt dan maximaal 25 cm onder maaiveld. Een vergelijkbare situatie kan in het intergetijdengebied van de Hedwigepolder worden verwacht.

De geulen zouden ook direct effect kunnen hebben op de stijghoogte wanneer deze zo diep zijn dat ze in direct contact staan met het watervoerend pakket. Wanneer het peil in de geulen dan kan dalen tot ongeveer de laagste laagwaterstand zou dit een verlagend effect op de stijghoogte kunnen hebben. Echter, vermoedelijk zullen de toekomstige geulen niet door de veenlaag snijden waardoor de geulen niet in direct contact komen te staan met het watervoerend pakket en waardoor ze dan ook minder effect zullen uitoefenen op de stijghoogte.

Daarnaast dient het effect van zout water hier nog te worden genoemd. Zout water is namelijk zwaarder dan zoet water en geeft daardoor een extra druk. De Westerschelde ter hoogte van de Hedwigepolder (meetpunt Baalhoek) heeft een gemiddeld chloride gehalte van ongeveer 8.5 g/l en daarmee een gewicht dat 1.1% hoger is dan dat van zoet water. Het vullen van het watervoerende pakket onder de Hedwigepolder met het zoute Westerschelde water kan daarmee leiden tot een 5 tot 25 cm hogere stijghoogte.

Effecten op de grondwaterstand, kwel en zoutverdeling in het aangrenzend gebied

Zoals hierboven aangegeven, zal de stijghoogte in het getijdegebied zeer waarschijnlijk toenemen, maar met hoeveel is onbekend. Hoe meer deze zal toenemen, hoe groter de effecten in het aangrenzend gebied. Voor de Hedwigepolder laten eerdere verkennende berekeningen zien dat uitstralingseffecten zich beperken tot een zone van 50-300 m langs de dijk (De Louw en Van Baaren, 2015). De effecten zijn het grootst direct langs de dijk en nemen logaritmisch met de afstand af. Daarbij is het belangrijk te noemen dat het gebied direct grenzend aan het Land van Saeftinghe al sterk beïnvloed wordt door dit hoger-gelegen gebied met een veel hoger peil. Hierdoor zullen effecten van de nieuwe intergetijdengebied minder doorwerken voor het gebied nabij Saeftinghe. Het zuidelijke gebied zal daarom vermoedelijk meer effecten kennen dan het noordelijke gebied. Voor de uitstralingszone (het gebied dat mogelijk wordt beïnvloed door de herinrichting Hedwigepolder) geldt dat bij een hogere stijghoogte, de kwelflux toe zal nemen. Dit kan leiden tot een grotere bijdrage van kwel in de sloten waardoor het zoutgehalte iets zal toenemen. Het huidige slotwater is al zout en wordt dan vermoedelijk iets zouter. Dit wordt gemonitord. De toename van de kwelflux zal nauwelijks tot geen effect hebben op de grondwaterstand voor gedraineerde percelen. Buisdrainage voorkomt dat de grondwaterstand stijgt als gevolg van toenemende kwel.

In een deel van het uitstralingsgebied zijn reeds dunne regenwaterlenzen aanwezig (< 1.5 m) en voor een deel van het gebied zit het brak-zoute water dieper dan 2.5 m. Een toename van de kwel kan betekenen dat de regenwaterlenzen dunner worden. Een dunnere lens kan leiden tot een groter risico op een hoger zoutgehalte in de wortelzone. Echter, uitgebreid onderzoek naar dunne regenwaterlenzen in zoute kwelgebieden (de Louw, 2013) heeft uitgewezen dat drainage ook sterk de dikte van de regenwaterlens beïnvloed. Het effect van toename van de kwel is hierdoor minder groot als drainage aanwezig is. Echter, extra of nieuwe drainage kan juist leiden tot het aantrekken van zout grondwater. Bovendien bleek uit dit onderzoek dat in de meeste zoute kwelgebieden in Zeeland de wortelzone zoet bodemwater bevat, ondanks de aanwezigheid van slechts een dunne zoetwaterlens. De kans op een toename van het zoutgehalte in de wortelzone door de herinrichting wordt daarom klein geacht. Voor de gebieden met een dikkere lens dan 2.5 m wordt helemaal geen negatief effect voor de wortelzone verwacht.

Indien sprake is van een toename van de stijghoogte onder de Hedwigepolder zal er meer grondwater vanuit de Hedwigepolder richting de Prosperpolder stromen en dit kan langs de dijk leiden tot hogere zoutgehaltes van het grondwater. Zoals hierboven gemeld, zal dit vermoedelijk geen effect hebben op het zoutgehalte in de wortelzone. Bovendien is het grondwater voor het grootste deel van het uitstralingsgebied al zout (zie paragraaf 4.2) en zal dit iets zouter kunnen worden. De zoetwaterbel onder meetpunt 9 ligt vermoedelijk te ver om beïnvloed te worden door de herinrichting.

Monitoring van effecten

Zoals uit het bovenstaande blijkt, zijn de genoemde effecten op de stijghoogte nog onzeker. Met iets grotere zekerheid kan worden gezegd dat effecten op het ondiepe systeem waar de landbouw van afhankelijk is zoals de grondwaterstand en het zout in de wortelzone, zeer waarschijnlijk klein of verwaarloosbaar zullen zijn. Belangrijk is het feit dat effecten nauwgezet zullen worden gemonitord. Veranderingen van de stijghoogte als gevolg van het inlaten van water in de Hedwigepolder, zullen direct zichtbaar worden. Mochten deze effecten dusdanig hoog blijken te zijn, dan is het altijd nog mogelijk om direct in te grijpen door mitigerende maatregelen te nemen. Ook deze maatregelen zullen dan snel effect hebben op de stijghoogte, grondwaterstand en kwel, waardoor effecten op korte termijn teniet kunnen worden gedaan. Veranderingen van zoutgehaltes in de ondergrond gaan veel langzamer waardoor tijdig kan worden ingegrepen om deze verandering te stoppen door mitigerende maatregelen zodra blijkt dat het effect op de stijghoogte te groot is. Ook het zoutgehalte in de ondergrond zal voor de verschillende meetpunten worden gemonitord en is een extra check om te zorgen dat de situatie niet nadelig verandert.

5 Voorstel voor vervolgmonitoring

Het monitoringplan zoals uitgevoerd gedurende de periode september 2015 – december 2019 blijkt goed aan de gestelde monitoringdoelen te voldoen. Er wordt daarom aanbevolen om de vervolgmonitoring voort te zetten zoals beschreven in Hoofdstuk 3. Het gaat hierbij om zowel de periode tot de herinrichting van de Hedwigepolder naar getijdegebied als de monitoring in de periode na de herinrichting. Samengevat gaat het daarbij om:

- Voortzetten automatische en telemetrische monitoring van grondwater en stijghoogte (frequentie 1 uur) voor de meetpunten aangegeven in Tabel 3.1.
- Voortzetten automatische en telemetrische meting van EC en waterpeil van het oppervlaktewater ter hoogte van de Stuw Mariastraat (code KST838).
- Handmetingen van alle ondiepe en diepe meetpunten weergegeven in Tabel 3.1, inclusief de EC en het peil van het oppervlaktewater bij Stuw Mariastraat (frequentie ieder kwartaal).
- Jaarlijkse SlimFlex-meting in alle diepe meetpunten weergegeven in Tabel 3.1. De laatste meting is uitgevoerd in 2017 en er wordt aanbevolen om deze jaarlijkse meting in 2020 te hervatten.

Aanvullend achten wij het zeer zinvol om het meetnet uit te breiden met een drietal locaties in de Hedwigepolder waar de stijghoogte op verschillende dieptes wordt gemeten. De verhoging van de stijghoogte in de Hedwigepolder als gevolg van het nieuwe getijdegebied, bepaalt het effect op de stijghoogte buiten de polder. Door deze te meten, kan nauwkeuriger worden vastgesteld wat de effecten in het aangrenzend gebied zijn. De effecten van het peilregime van het nieuwe getijdegebied op de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket, worden bepaald door de samenstelling van de ondergrond en maaiveldhoogte (areaal en duur van inundatie) en de diepte van de geulen. Deze meetpunten zouden minimaal 3 maanden vóór het in werking treden van het nieuwe getijdegebied moeten worden geïnstalleerd en uitgerust met automatische drukopnemers.

Aanvullende aanbevelingen en aandachtspunten zijn:

- Het moment dat er water in de Hedwigepolder gaat stromen is een uiterst belangrijk moment omdat dan goed het effect van de nieuwe situatie op de stijghoogte in de verschillende meetpunten kan worden bepaald (directe impuls-response). Daarom dient rond deze periode het meetnet volledig op orde te zijn (bijv. geen kapotte sensoren). Daarnaast wordt aanbevolen om alle meetpunten zonder automatische drukopnemers, tijdelijk (minimaal 1 maand vóór en 2 maanden na) uit te rusten met automatische drukopnemers.
- Vóór het in werking treden van het getijdegebied dient voor een 3 tot 5-tal locaties het ondiepe zoutprofiel (tot 3-3.5 m diepte) te worden bepaald in de Prosperpolder. Dit is nodig om een inschatting te geven van de dikte van de regenwaterlens en risico op verzilting van de wortelzone door toename van kwel. Aangezien de TEC-prikstok in de zandige ondergrond niet kon worden gebruikt, is deze meetmethode niet toegepast. Een goed maar iets bewerkelijker alternatief is het nemen van bodemmonsters (elke 10 cm) waarvan het zoutgehalte in het lab wordt bepaald volgens de aangepaste Saturated Paste methode (De Louw et al., 2017).
- Vóór het in werking treden van het getijdegebied, kunnen TEC-prikstokmetingen in de sloten van de Prosperpolder worden uitgevoerd voor het bepalen van de locaties met zoute kwel (in aanvulling op de metingen in 2014, zie Figuur 4.12). De prikstokmetingen dienen te worden uitgevoerd voor de sloten gelegen binnen 1 km van de Hedwigepolder en het liefst in een droge periode. In tegenstelling tot de zandige percelen kunnen de prikstokmetingen wel worden uitgevoerd in de sloten door de aanwezigheid van een slibrijke en verzadigde slootbodem.

- De Q-h relatie van de stuw Mariastraat van het waterschap Scheldestromen dient te worden verbeterd voor een nauwkeurigere bepaling van de afvoer. Met een betrouwbare Q-h relatie van de stuw kan met de huidige meetopstelling en reeds ingewonnen metingen een goede inschatting worden gemaakt van het huidige water- en zoutbezwaar en veranderingen in de toekomst.

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Conclusies

Mogelijke effecten van de herinrichting van de Hedwigepolder tot intergetijdengebied op het grondwatersysteem van het aangrenzende gebied, zullen zich manifesteren en voortplanten via de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket en dit is daarmee de belangrijkste parameter om te monitoren.

Door een eventuele toename van de stijghoogte in het aangrenzende gebied kan de kwel toenemen (in kwelgebieden), infiltratie afnemen (in infiltratiegebieden), freatische grondwaterstanden (mogelijk licht) stijgen en zoetwaterlenzen mogelijk krimpen. De T0-meting is daarom ook gericht op het meten van deze elementen, met de meeste aandacht voor de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket. In paragraaf 4.4 wordt ingegaan op mogelijke effecten als gevolg van de herinrichting tot intergetijdengebied.

Effecten op de stijghoogte zijn ook gemakkelijker te meten dan effecten op de freatische grondwaterstand. Dit komt omdat de grondwaterstand een grilliger verloop vertoont dan de stijghoogte door directe invloed van neerslag, verdamping en ontwatering. Door deze beïnvloeding zullen ook effecten op de grondwaterstand minder groot zijn dan op de stijghoogte. Daarbij verplaatsen de effecten vanuit het eerste watervoerende pakket minder goed door naar het freatisch systeem door de aanwezigheid van de weerstandsbedende Hollandveen laag op ~-3 m NAP.

Het monitoringplan zoals uitgevoerd gedurende de periode september 2015 – december 2019 (T0-meting) blijkt goed aan de gestelde monitoringdoelen te voldoen. De T0-metingen beschreven in dit rapport, geven een goed beeld van T0-situatie van het grondwatersysteem. De T0-situatie is de referentiesituatie vóór herinrichting van de Hedwigepolder tot getijdengebied. De T0-meetperiode is lang genoeg om na de herinrichting van de Hedwigepolder tot intergetijdengebied eventuele significante effecten op de grondwaterstand, stijghoogte en zoet-zout grensvlak op de meetlocaties vast te stellen.

De T0-metingen laten het volgende zien:

- Op alle meetlocaties in de Prosperpolder met een diep en ondiep filter is een kwelsituatie aanwezig: de diepe stijghoogte is hoger dan de freatische grondwaterstand. Het gemiddelde stijghoogteverschil is 0.70 m met toenemend stijghoogteverschil richting de Hedwigepolder.
- De kwel wordt veroorzaakt door de hoger gelegen Hedwigepolder (met hoger winter- en zomerpeil) en het Land van Saefthinghe waar hogere grondwaterstanden worden aangetroffen. Uit de analyse van de metingen is een gemiddelde kwelflux voor het oostelijke deel van de Prosperpolder geschat op 0.40 mm/d.
- Met een gemiddelde geschatte kwelflux van 0.40 mm/d en een gemiddeld stijghoogteverschil van 0.70 m, kan een gemiddelde hydraulische weerstand van de Hollandveenlaag (op ~ -3 m NAP diepte) worden bepaald van 1750 dagen. Deze waarde is van belang voor het eventueel kwantificeren van de effecten met een grondwatermodel. Tevens geldt, hoe hoger deze weerstand, hoe verder effecten zich kunnen voortplanten.
- Het getijde van de Westerschelde werkt door tot in het grondwater in de Prosperpolder. Daarbij zijn de effecten groter in het watervoerende pakket onder de Hollandveenlaag dan er boven (freatisch).

- De 2-maandelijkse cyclus van spring en doortij werkt sterker en verder door (effecten tot 10 cm) dan de 2-daagse eb en vloed cyclus (effecten tot 1 cm). Echter, de effecten op de stijghoogte van spring- en doortij laten wel een vertraging zijn terwijl effecten van eb en vloed zich snel zonder zichtbare vertraging (meetfrequentie is 1 uur) voortplanten.
- De zoutmetingen in de Prosperpolder (EC-grondwater, EC-oppervlaktewater, SlimFlex en FRESHM) tonen aan dat er nauwelijks sprake van een zoetwaterlens. Dit wordt veroorzaakt door de aanwezige omhoog gerichte kwelstroom. Op enkele locaties, meer ten westen in de Prosperpolder, komen enkele zoetwaterlenzen met een dikte tot 20 m voor. Dit zijn over het algemeen wat hoger gelegen gebieden waar de kwelstroom afwezig is en infiltratie van regenwater dieper kan reiken. Op 5 locaties is de dikte van de regenwaterlens bepaald en op 2 locaties is deze dunner dan 2 meter.
- Het diepere grondwater is brak-zout (9 tot 17 mS/cm) maar veel minder zout dan in de meeste gebieden in Zeeland wordt aangetroffen (Schouwen-Duiveland 35-45 mS/cm; Walcheren 40-45 mS/cm, Perkpolder 30-35 mS/cm).
- De zoutverdeling in de ondergrond vertoont geen aantoonbare variaties in de tijd.
- De kwel die optreedt in de Prosperpolder is brak-zout met een gemiddelde EC van 13.5 mS/cm. Dit leidt tot een verhoogd zoutgehalte van het oppervlaktewater, variërend van 2.5 tot 13.5 mS/cm afhankelijk van de hoeveelheid bijmenging van neerslagwater (via ondiep gedraineerd grondwater) in het oppervlaktewater. Gemiddeld verlaat er 11 ton zout (NaCl, keukenzout) per dag het oostelijke deel van de Prosperpolder.

6.2 Aanbevelingen

- Er wordt aanbevolen om de vervolgmonitoring zoals beschreven in Hoofdstuk 5 voort te zetten gedurende de periode tijdens de werkzaamheden en na de herinrichting van de Hedwigepolder. De laatste SlimFlex-metingen zijn uitgevoerd in 2017 en er wordt aanbevolen om deze jaarlijkse monitoring in 2020 te hervatten.
- Het is zeer zinvol t.b.v. de nauwkeurigheid waarmee eventuele effecten als gevolg van de herinrichting kunnen worden bepaald, om het meetnet uit te breiden met een drietal locaties in de Hedwigepolder waar de stijghoogte op verschillende dieptes wordt gemeten (2-3 m, 7-8 m, 14-15 m). Deze meetpunten zouden minimaal 3 maanden vóór het in werking treden van het nieuwe getijdegebied moeten worden geïnstalleerd en uitgerust met automatische drukopnemers.
- Het moment van het in werking treden van het getijdegebied is een cruciale periode om effecten op de grondwaterstand en stijghoogte goed te meten. Gedurende deze periode dient het meetnet volledig in werking te zijn.
- Daarnaast wordt aanbevolen om alle meetpunten zonder automatische drukopnemers in deze cruciale periode, tijdelijk (minimaal 1 maand vóór en 2 maanden na) uit te rusten met automatische drukopnemers.
- Vóór het in werking treden van het getijdegebied, kunnen additionele TEC-prikstokmetingen in de sloten van de Prosperpolder worden uitgevoerd voor het verder afbakenen van locaties met zoute kwel.
- De Q-h relatie van de stuw Mariastraat van het waterschap Scheldestromen dient te worden verbeterd voor een nauwkeurigere bepaling van de afvoer en zoutvrachten.

- Voor het bepalen van de verwachte korte –en lange termijn effecten van het nieuwe getijdegebied op het aangrenzende grondwatersysteem, is een dichtheidsafhankelijk, zouttransport grondwatermodel een geschikt instrument. Er wordt aanbevolen om zo'n grondwatermodel voor het gebied op te stellen en de effecten te kwantificeren.
- Ongeveer een half jaar nadat er Westerschelde-water in de Hedwigepolder gaat stromen dient een tijdreeksanalyse van de metingen te worden uitgevoerd om de effecten van de herinrichting op de stijghoogte te kunnen bepalen.

7 Referenties

Boiten, W., 1995. Het opstellen van de afvoerkrommen van klepstuwen. Rapport 52 Vakgroep Waterhuishouding, Wageningen.

De Louw, P.G.B. en Van Baaren, E., 2015. Nulmeting Hedwigepolder grond- en oppervlaktewater. Monitoringplan. Deltares-rapport 1210110-000-BGS-0006.

De Louw, P.G.B., 2013. Zoute kwel in delta's. Preferente kwel via wellen en interacties tussen dunne regenwaterlenzen en zoute kwel. Academisch proefschrift, Vrije Universiteit Amsterdam, ISBN/EAN 9789461085429.

IMDC (International Marine & Dredging Consultants) en Universiteit van Gent, 2013. Ontwikkeling van een numeriek modelinstrument voor de waterhuishouding op de Linkerscheldeoever. Fase 2: Opbouw van het modelinstrument. Deelrapport 4.1 'Opbouw en kalibratie van het numerieke modelinstrumentarium in de huidige toestand – Grondwatermodel'. Versie 4.

IMDC (International Marine & Dredging Consultants) en Universiteit van Gent, 2013. Ontwikkeling van een numeriek modelinstrument voor de waterhuishouding op de Linkerscheldeoever. Fase 2: Opbouw van het modelinstrument. Rapport 5.1 Modelleringsontwikkelingsstappen 1, 2 en 3 – Grondwatermodel'. Versie 4.

KNMI, 2018. Dagwaarden neerslagstations. <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/monv/reeksen>, laatst bezocht: april 2018

Maas, K., 1998. Over grondwatergetijden. Stromingen 4 – 1998. Uitgave van de Nederlandse Hydrologische Vereniging.

MER, 2009. Ontwikkeling van een intergetijdengebied in Hedwige- en Prosperpolder: Definitief MER – tekstbundel. Referentienummer Soresma/1286593002.

REGIS II, 2005. Hydrogeologisch model van Nederland. Rapport: Vernes, R.W., Van Doorn, Th.H.M. Van gidslaag tot hydrogeologische eenheid. Uitleg over het opstellen van de dataset. TNO rapport NITG 05-038-B. Website: www.dinoloket.nl.

Rijkwaterstaat, www.waterinfo.rws.nl/kaart/waterhoogte-t-o-v-nap/, laatst bezocht in april 2018.

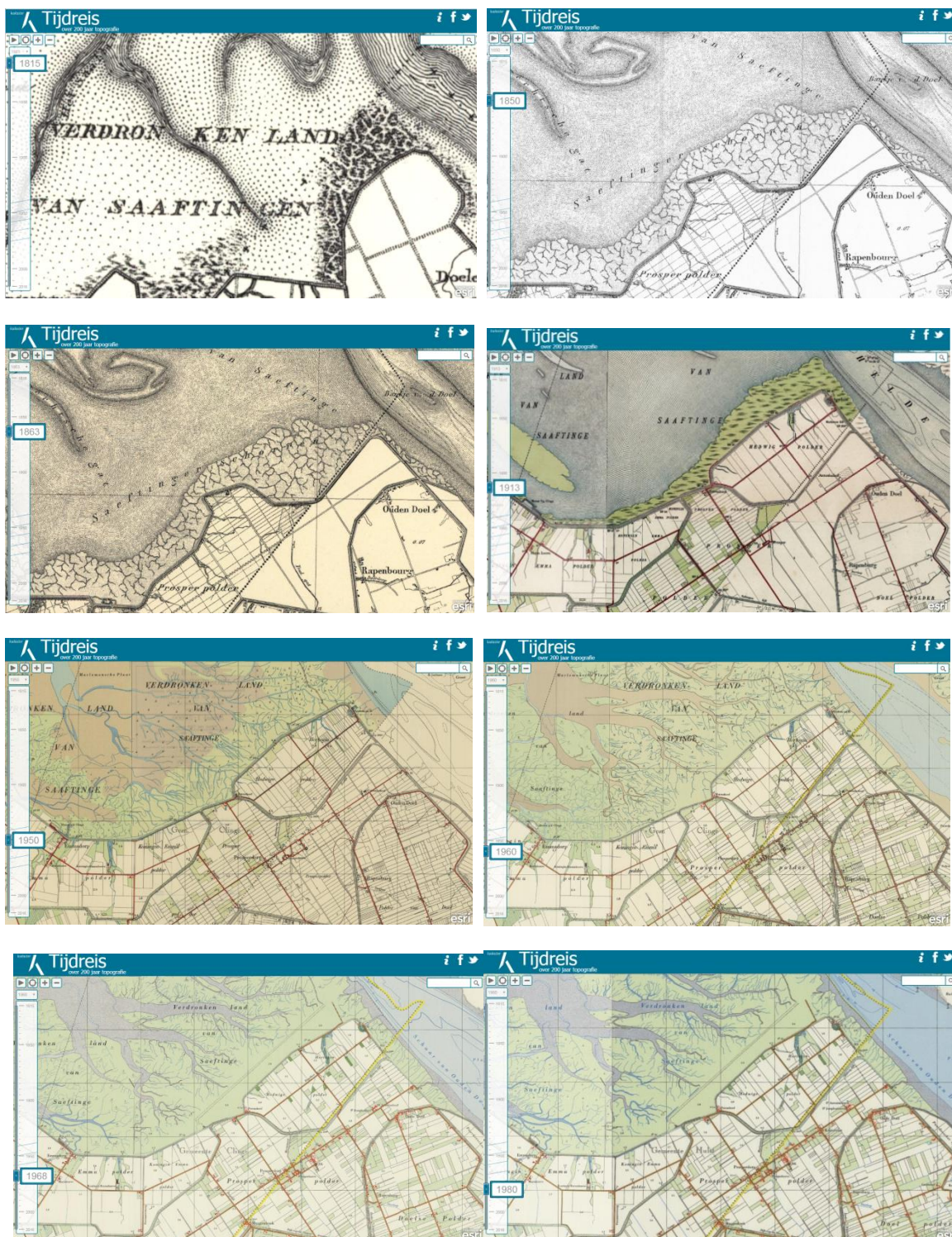
Stafleu, J., Maljers, D.M., Busschers, F.S., Gunnink, J.L., Schokker, J., Dambrink, R.M., Hummelman, H.J., Schijf, M.L., 2013. GeoTop modeling. TNO-report 2012-R10991, 216pp.

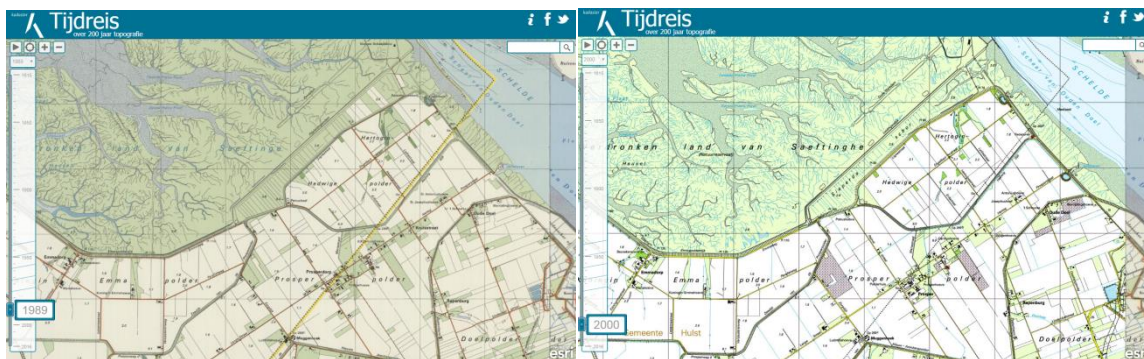
Van Baaren et al., 2017. FRESHEM Zeeland. FREsh Salt groundwater distribution by Helicopter ElectroMagnetic survey in the Province of Zeeland. Deltares-TNO-BGR report.

Claus, J. en L. Lebbe, 2012. EM-39 geofysische boorgatmetingen Linkerscheldeoever. Rapport Universiteit Gent.

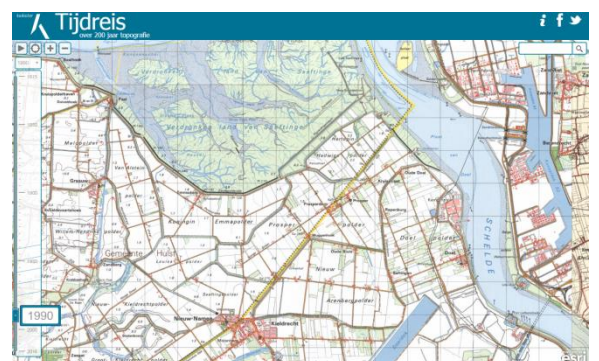
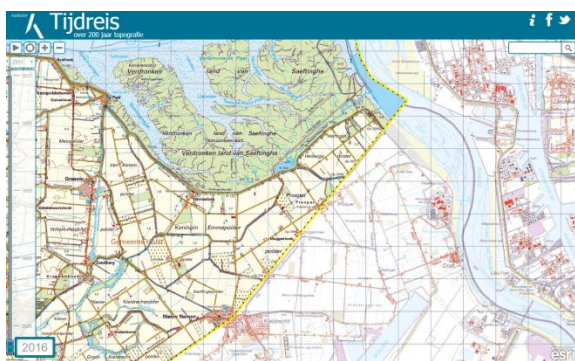
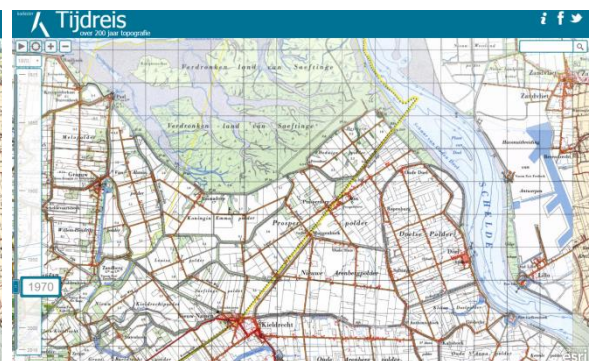
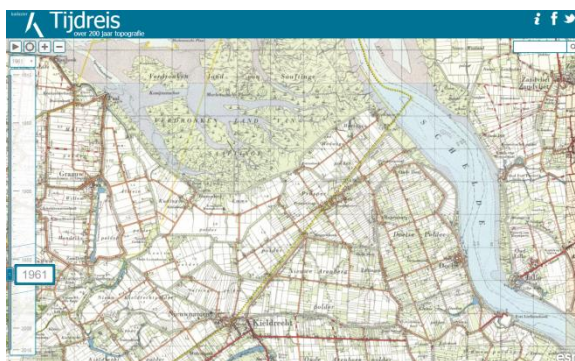
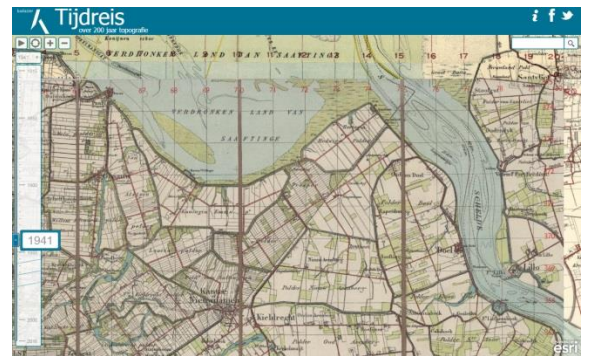
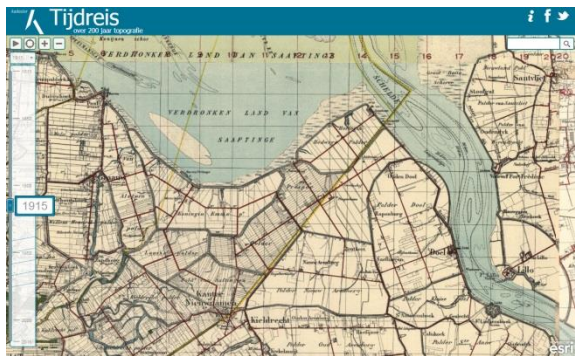
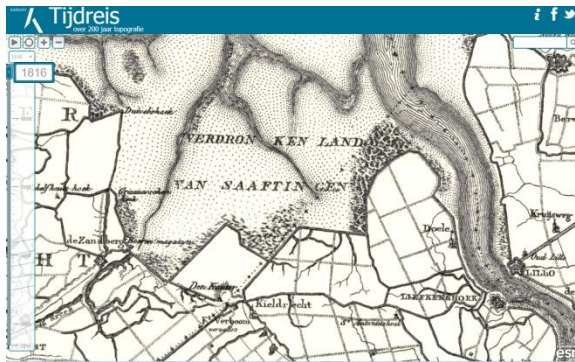
A Topotijdreis Hedwigepolder

(bron: www.topotijdreis.nl)

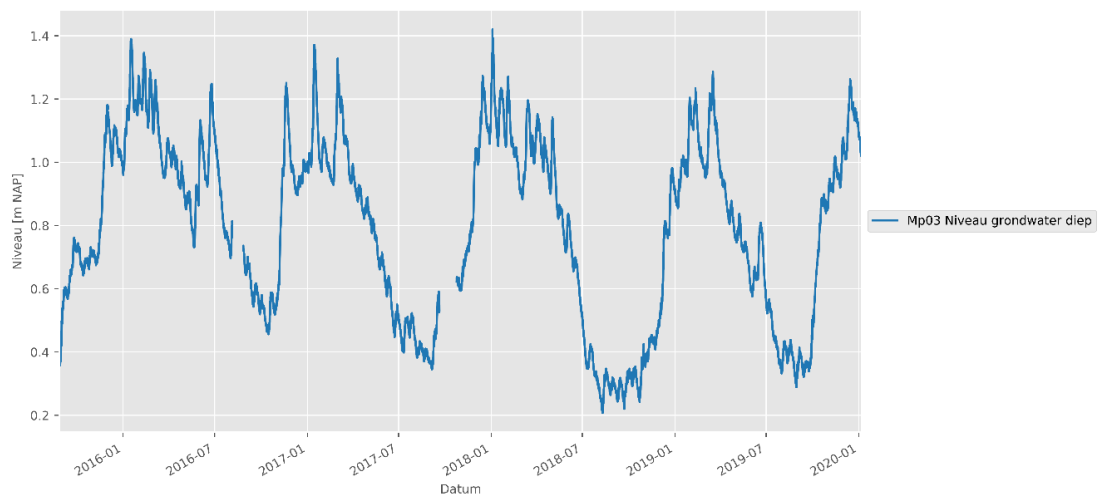
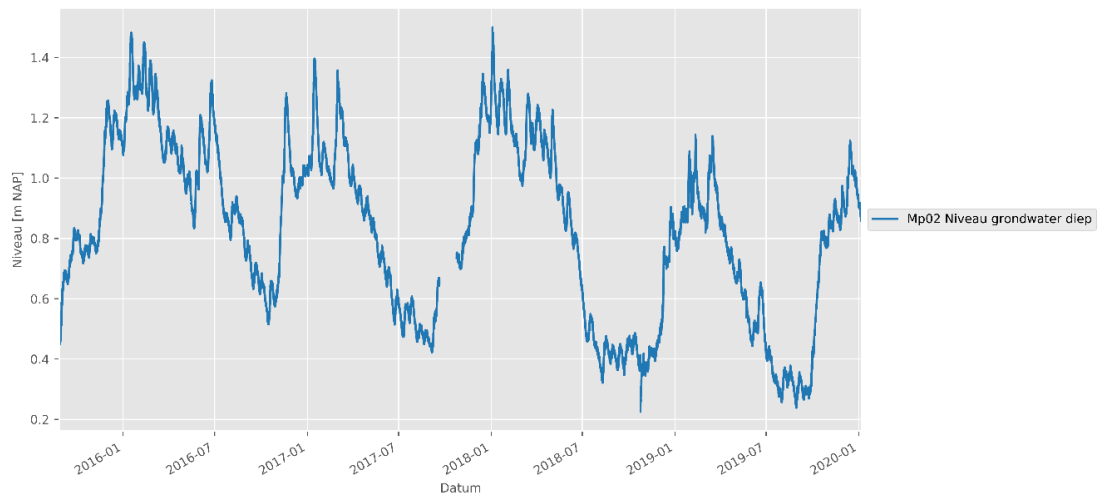
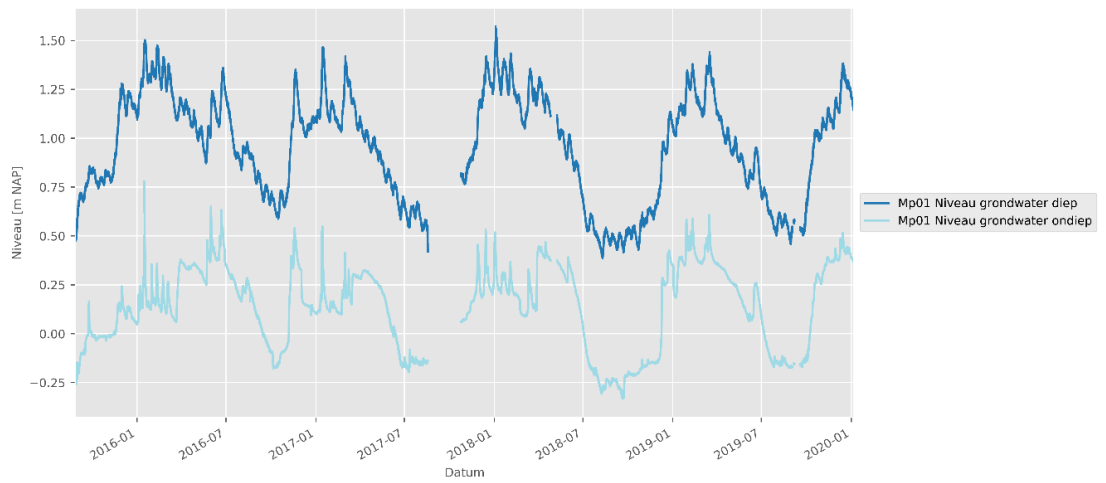


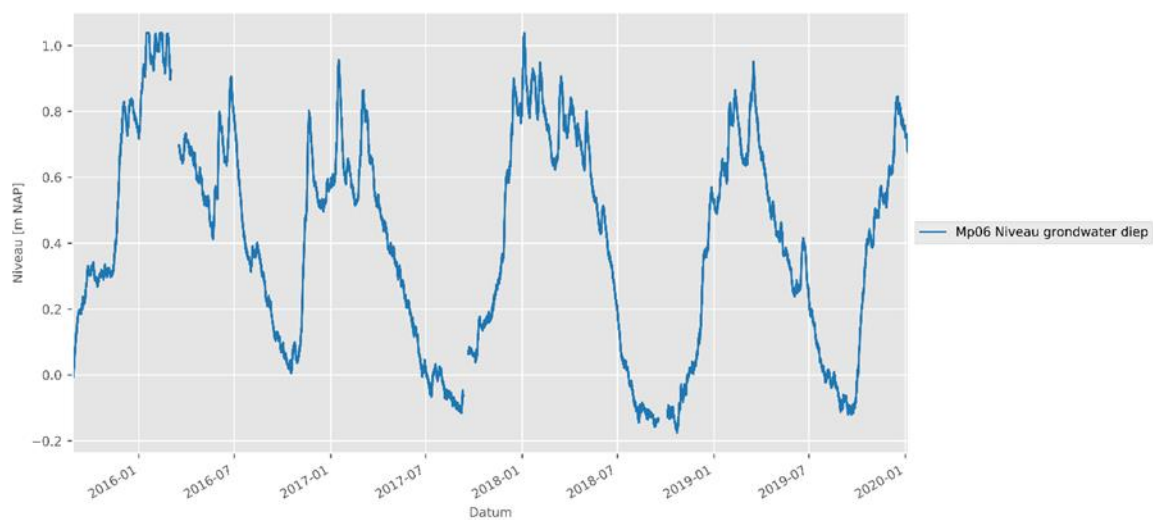
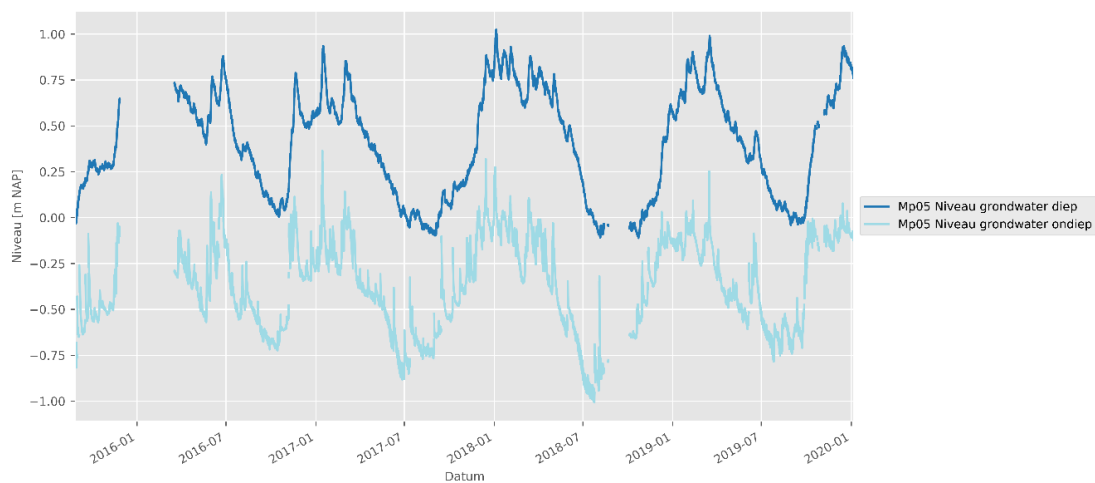
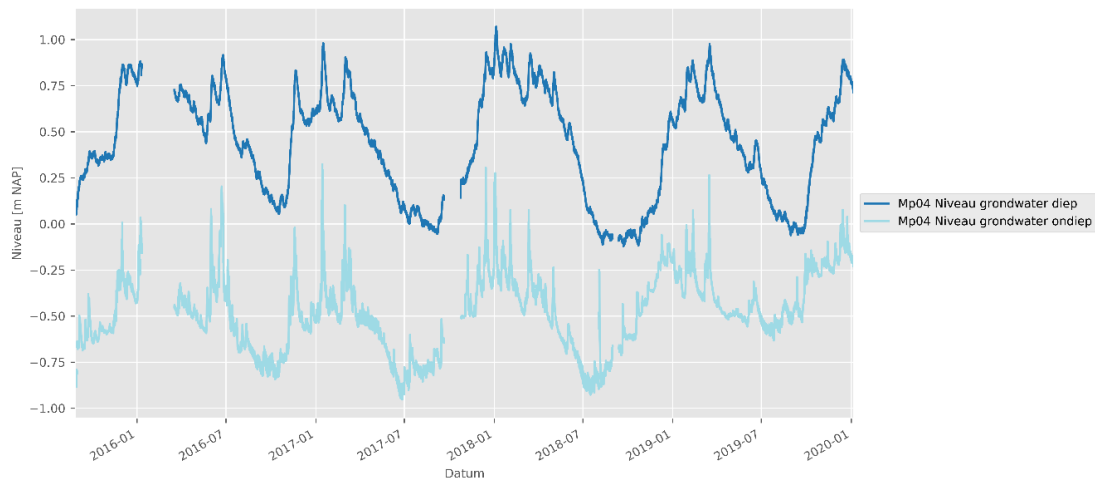


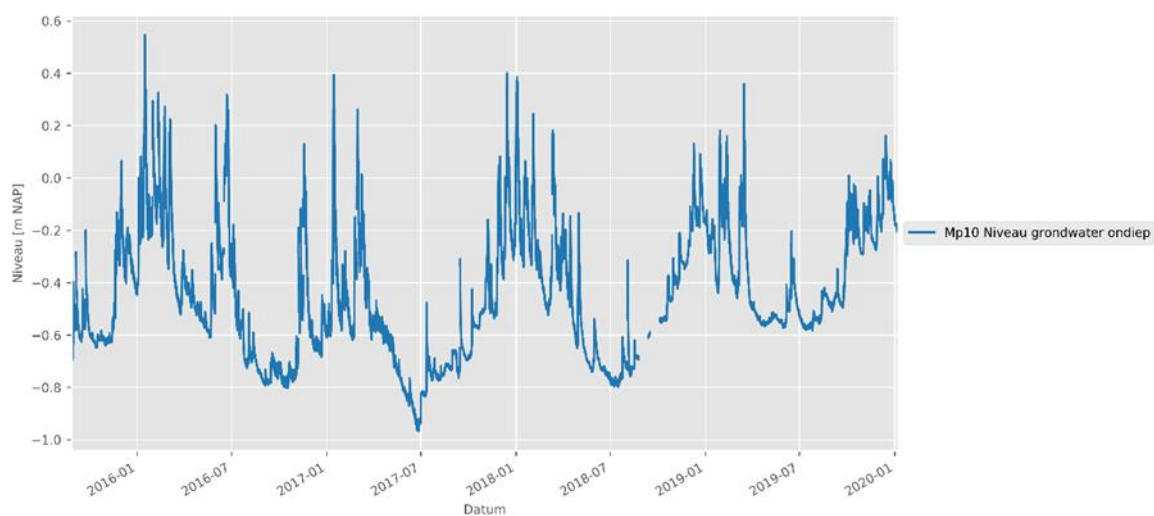
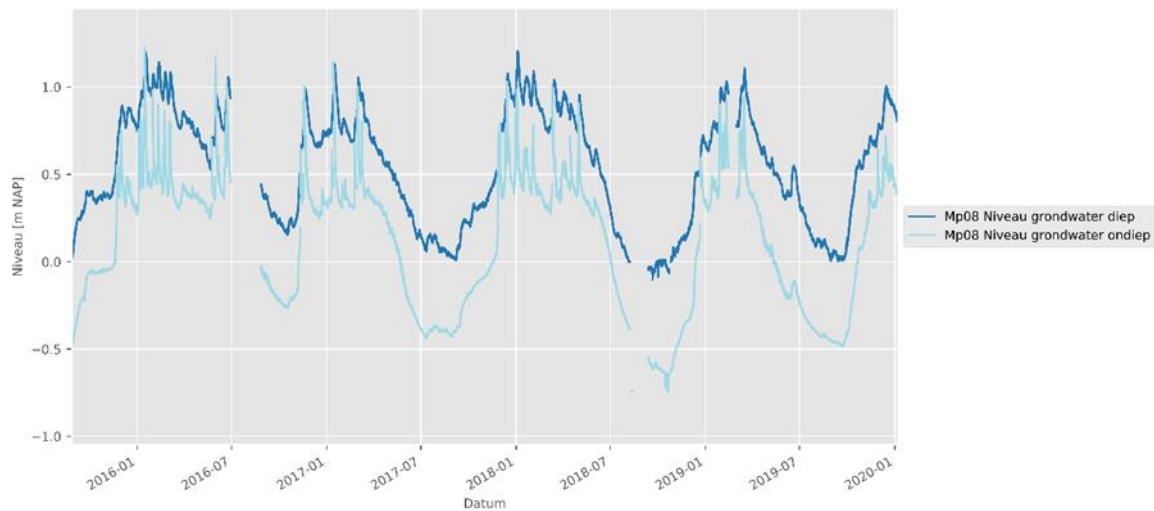
Regionale topokaarten



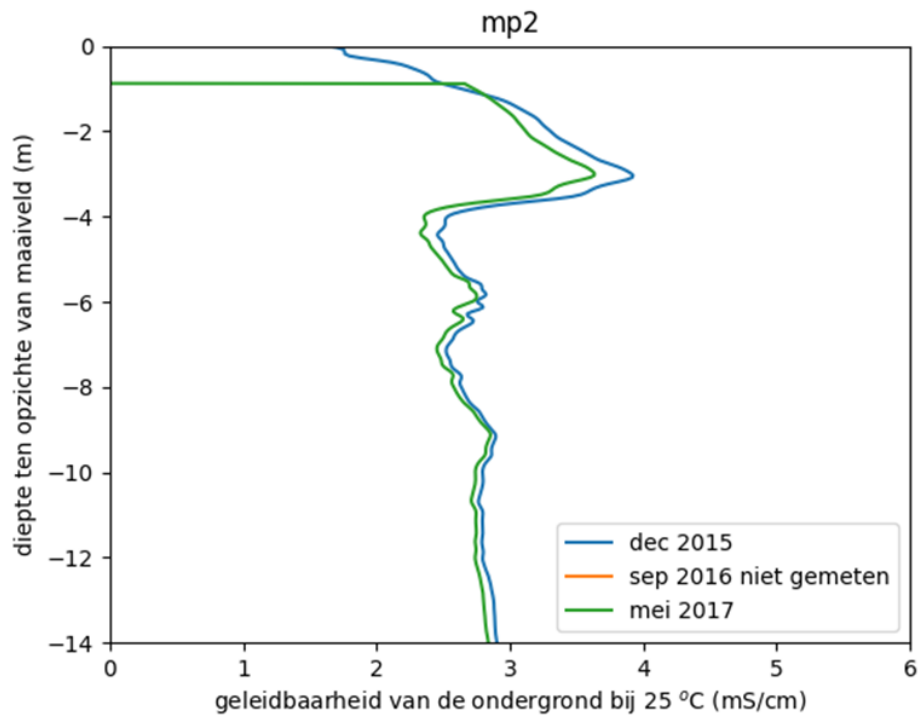
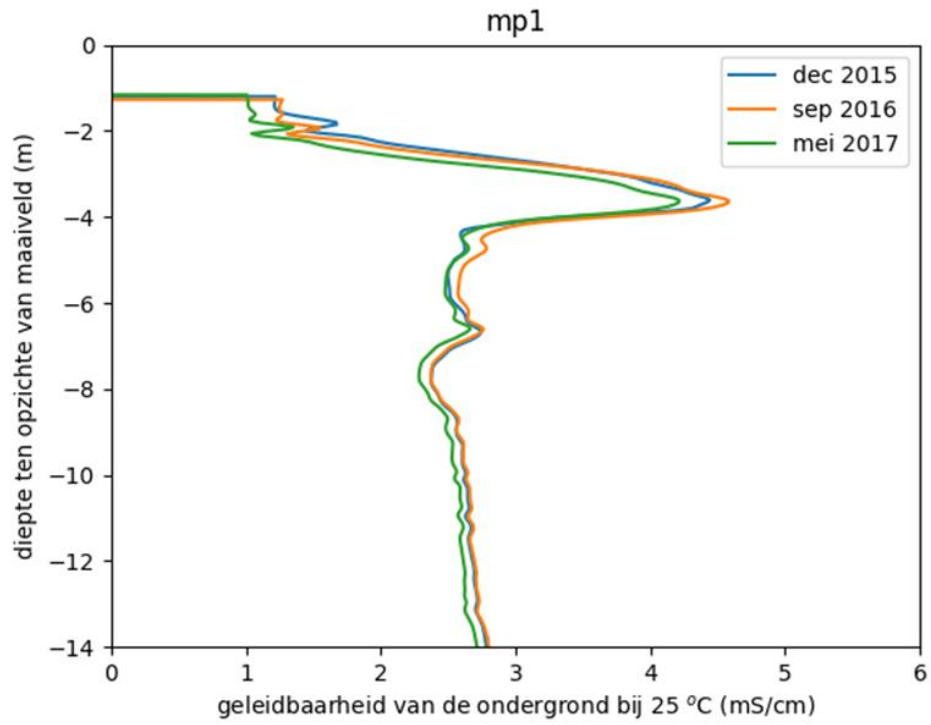
B Grondwaterstand en stijghoogtemetingen

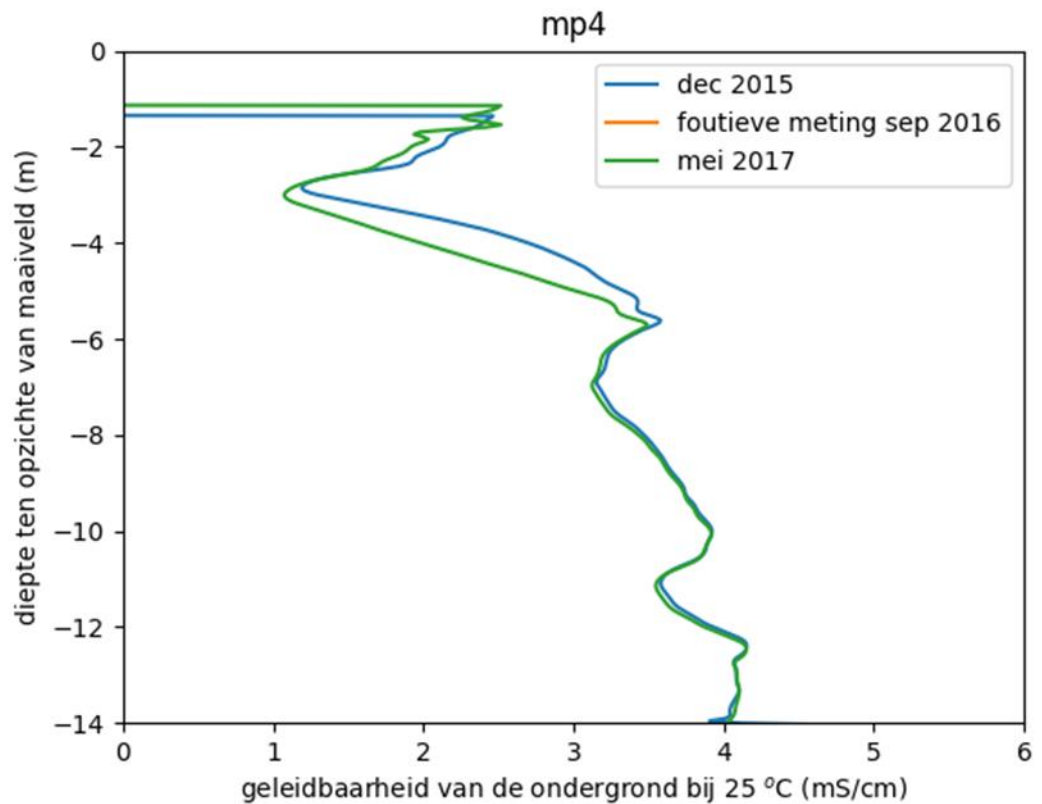
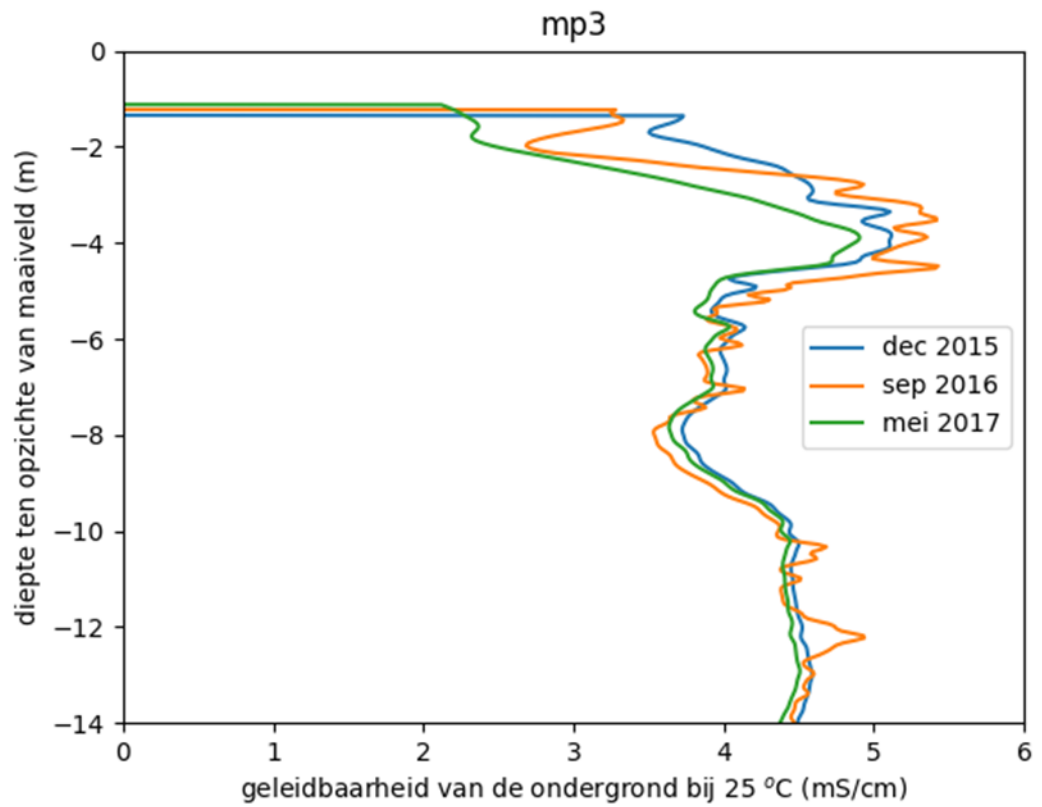


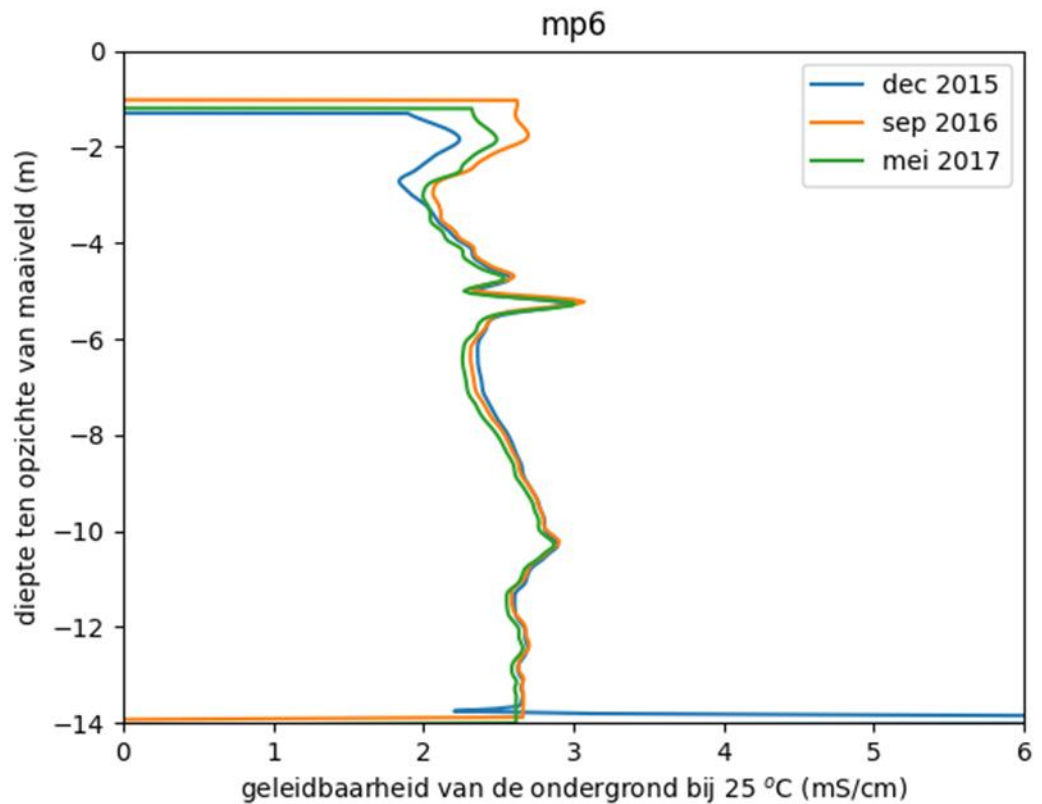
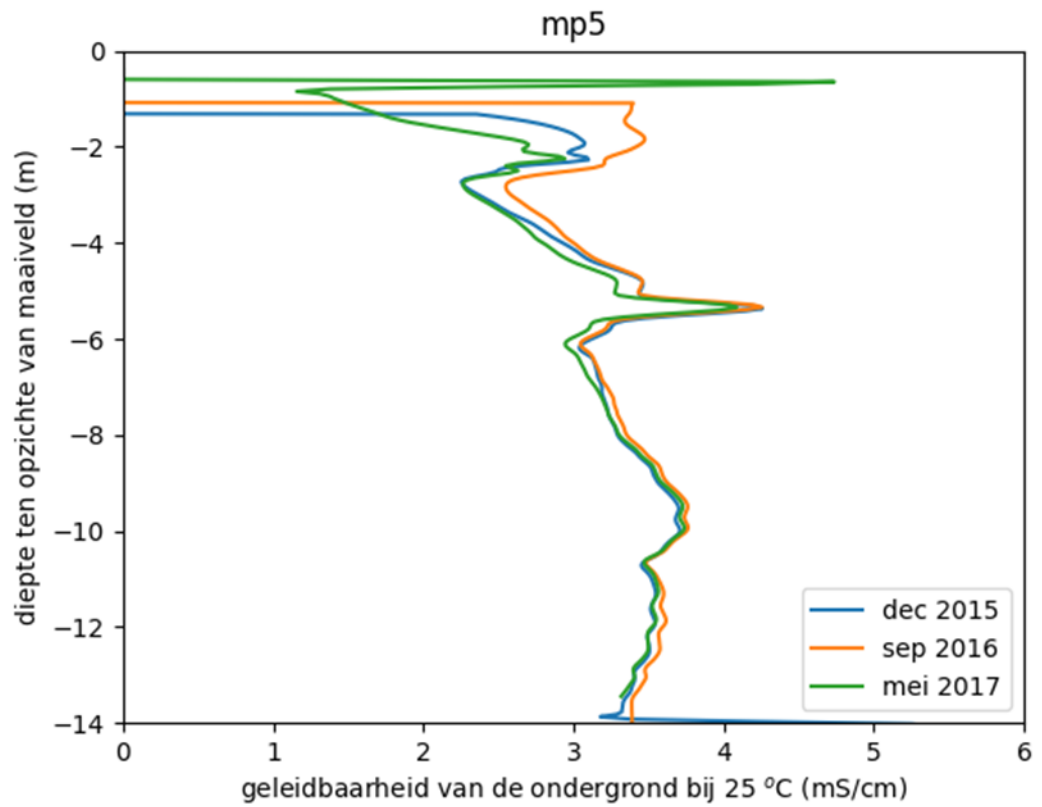


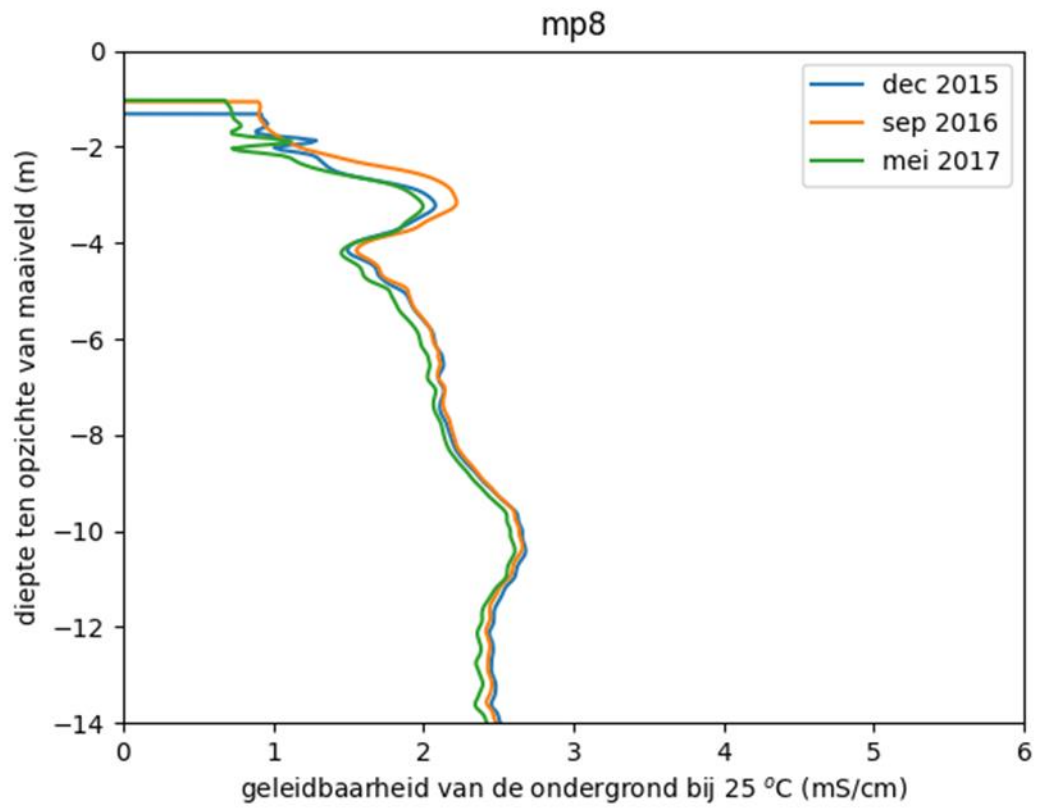


C SlimFlex-metingen

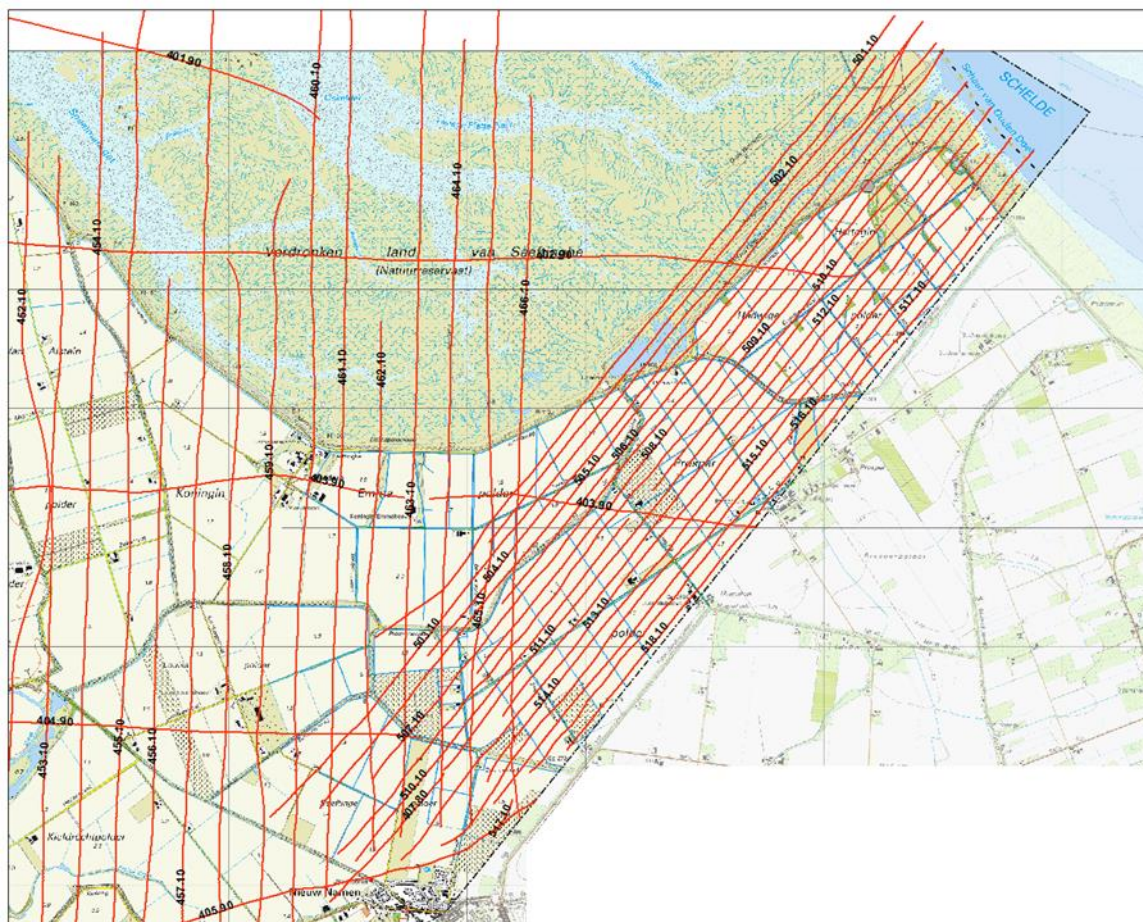








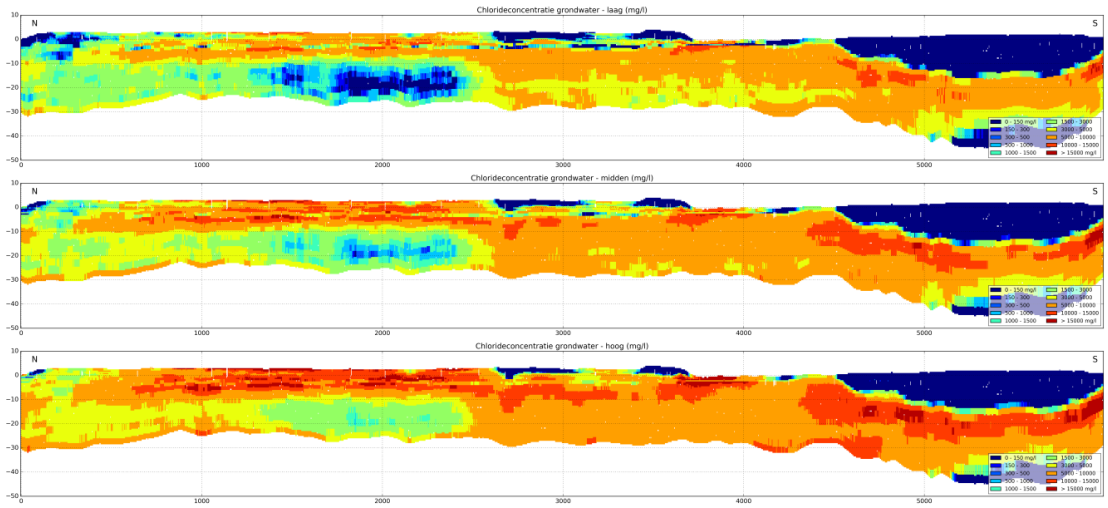
D FRESHEM-resultaten



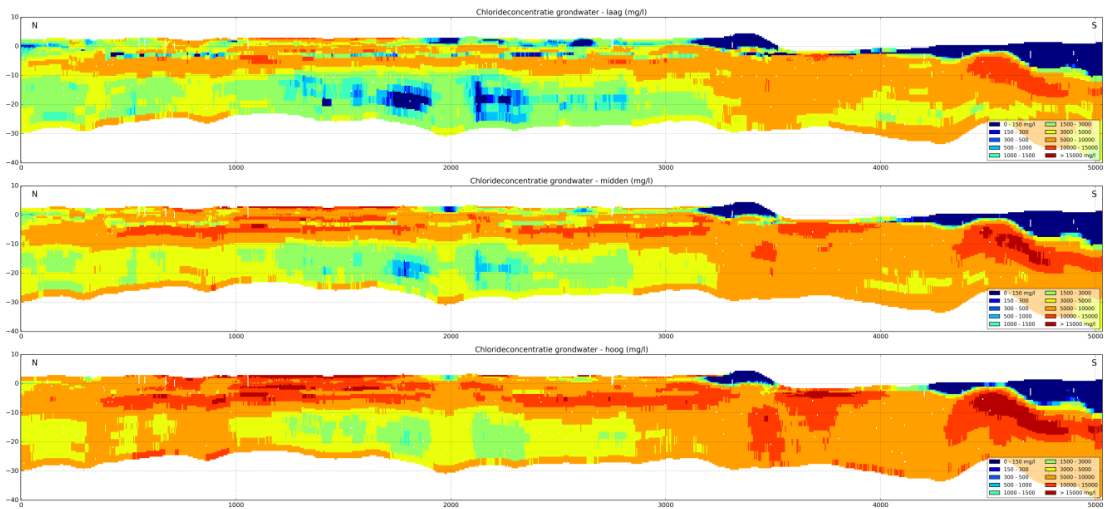
In de figuur hierboven staan de vlieglijnen weergegeven waarvoor met een helikopter elektromagnetische metingen zijn uitgevoerd voor het in kaart brengen van de zoutzoutverdeling van de ondergrond.

Hieronder volgen de zoutzout-profielen van enkele van deze vlieglijnen. Het zoete grondwater is aangegeven met de kleur blauw, het brak-zoute grondwater wordt met oplopend zoutgehalte weergegeven met kleuren van groen, geel, oranje naar rood.

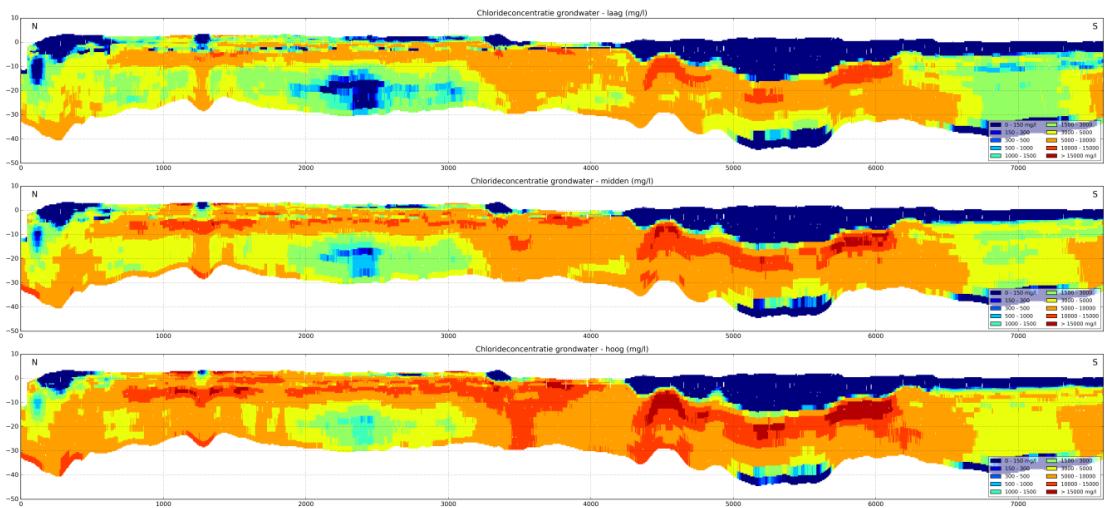
Zeeuws-Vlaanderen, vlieglijn 501.1



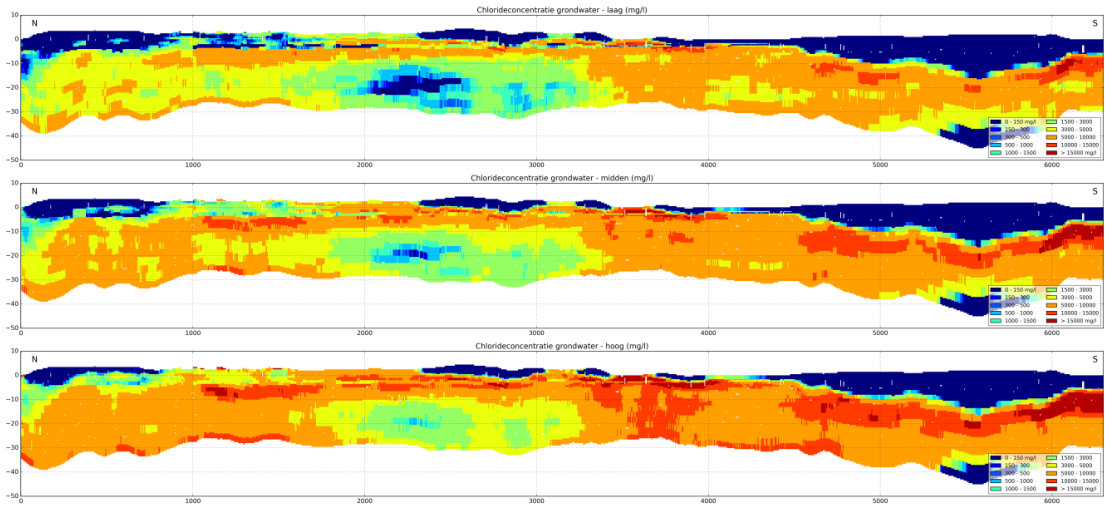
Zeeuws-Vlaanderen, vlieglijn 502.1



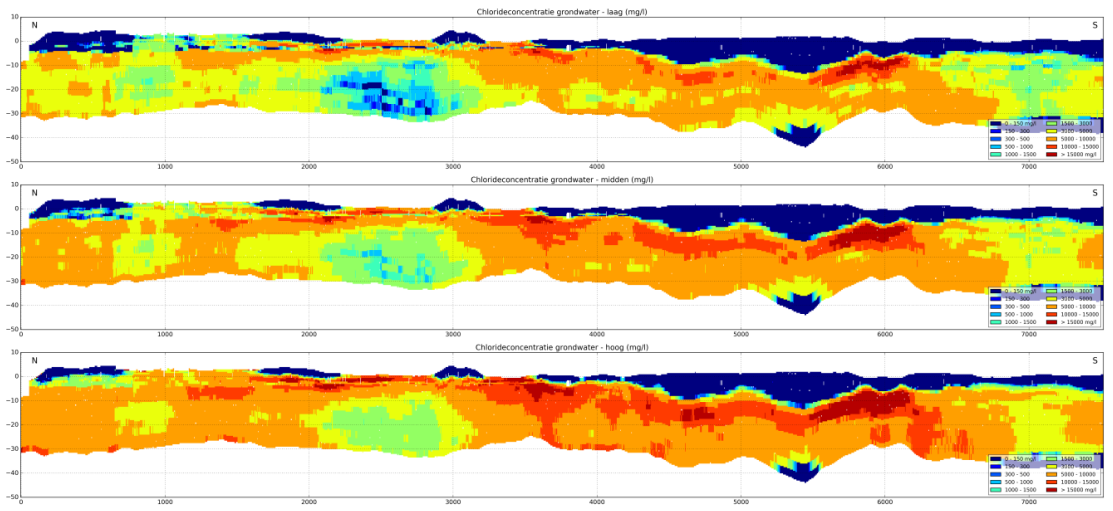
Zeeuws-Vlaanderen, vlieglijn 503.1



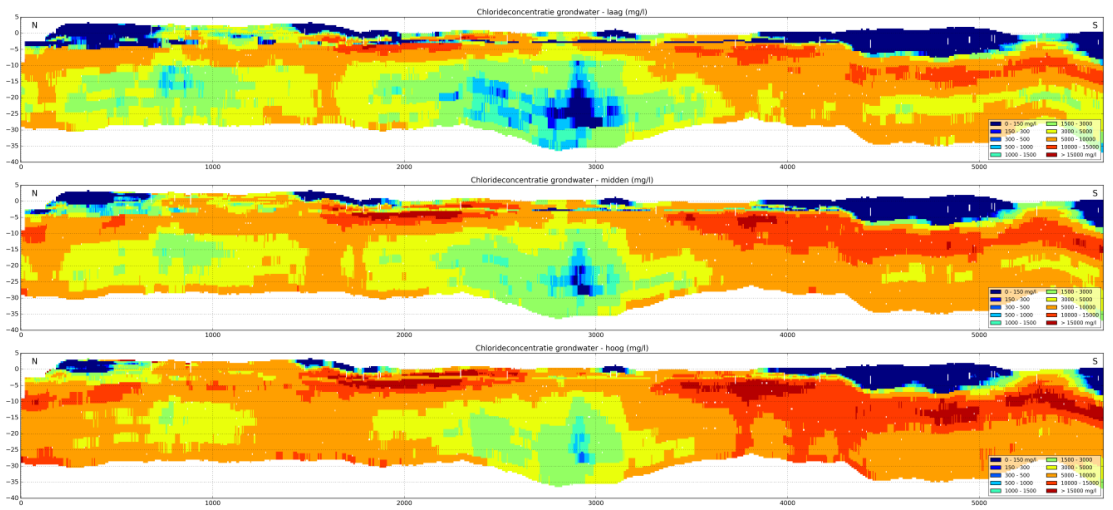
Zeeuws-Vlaanderen, vlieglijn 504.1



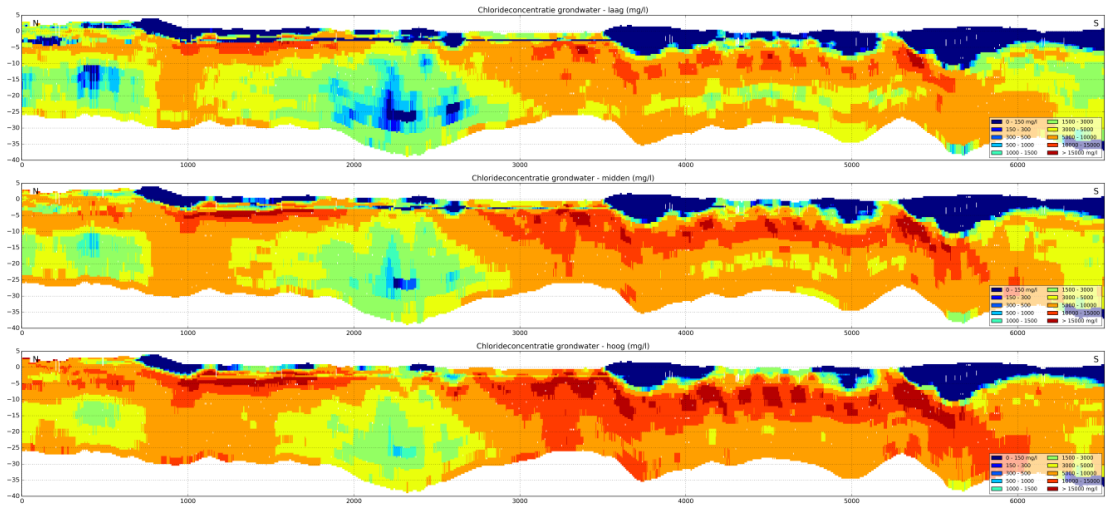
Zeeuws-Vlaanderen, vlieglijn 505.1



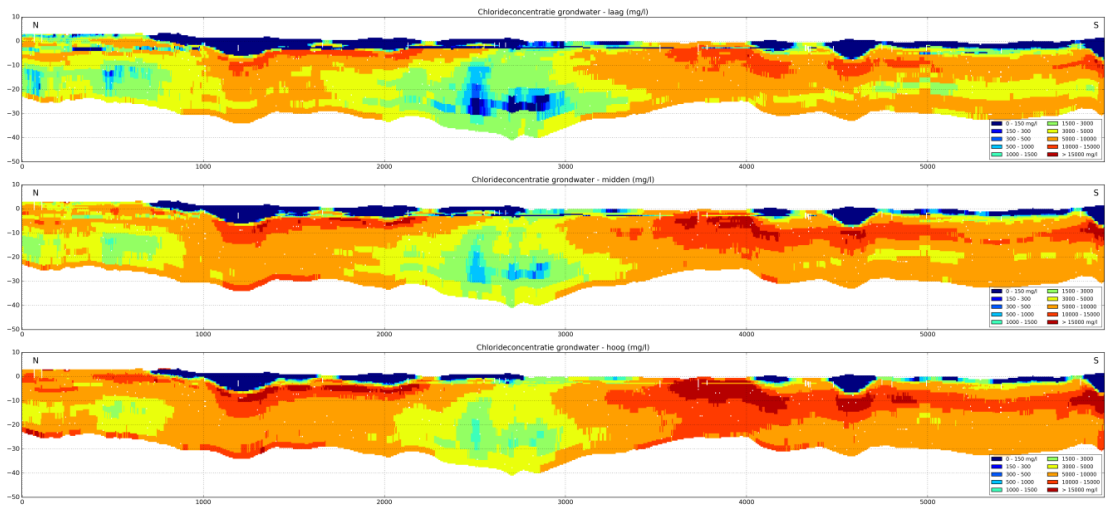
Zeeuws-Vlaanderen, vlieglijn 506.1



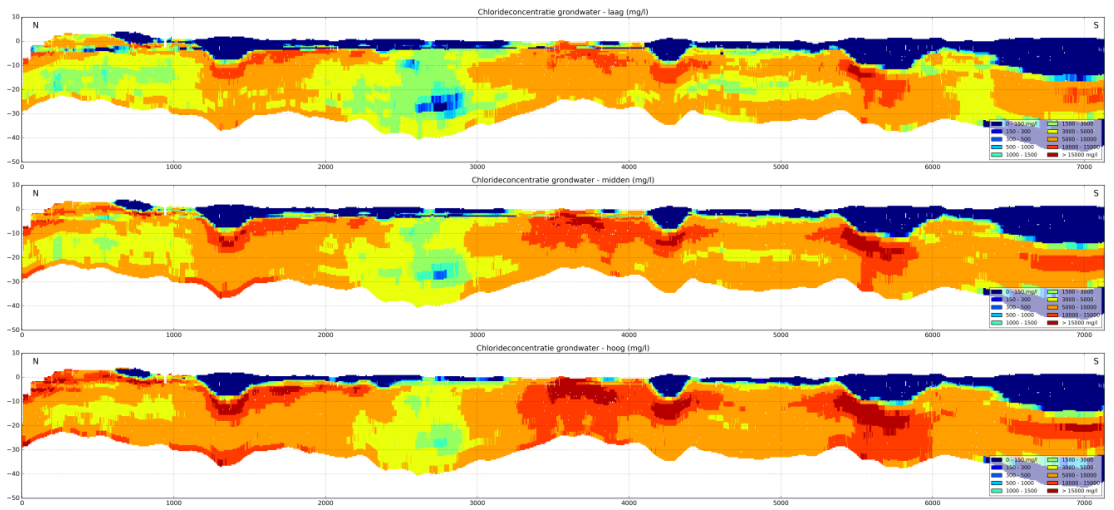
Zeeuws-Vlaanderen, vlieglijn 507.1



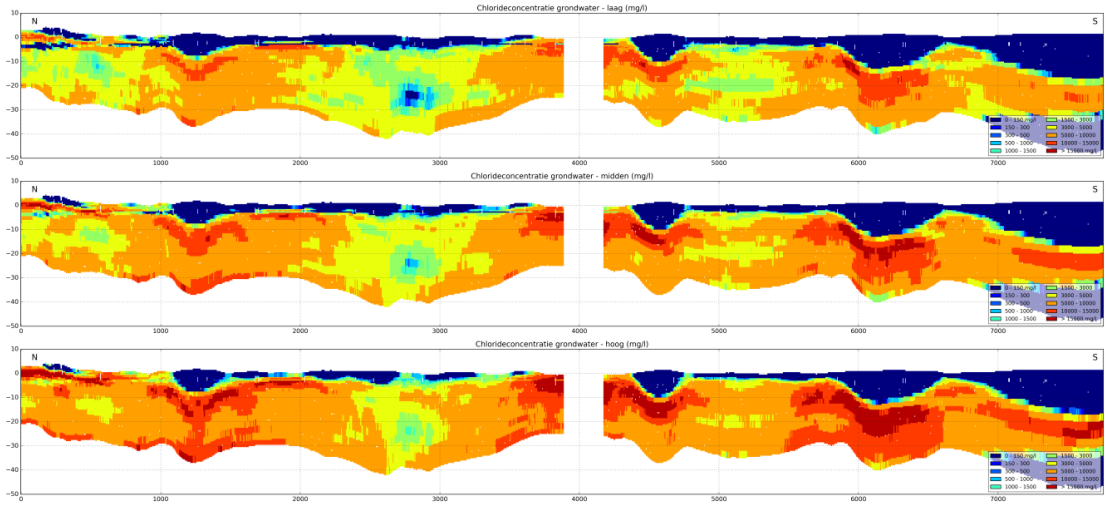
Zeeuws-Vlaanderen, vlieglijn 508.1



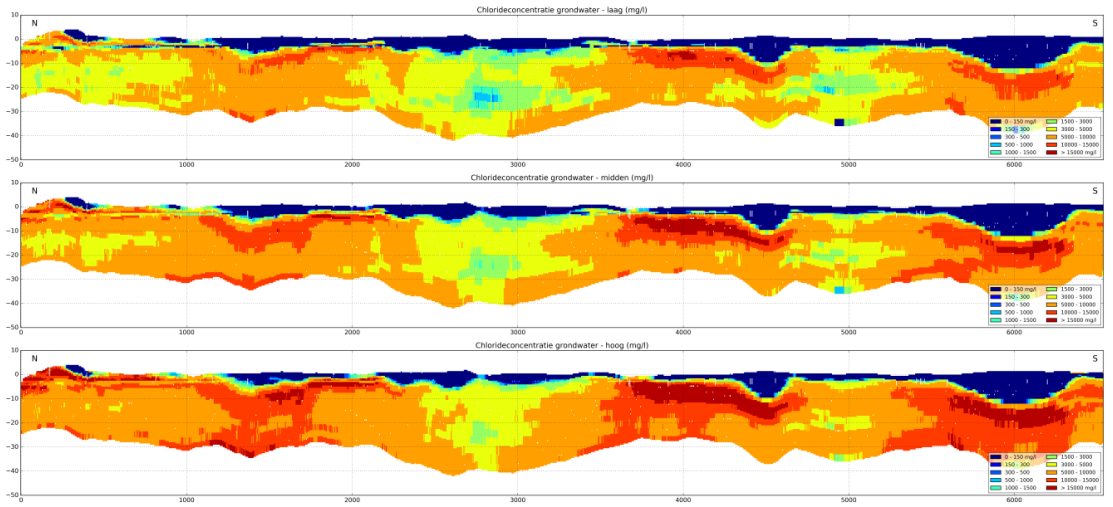
Zeeuws-Vlaanderen, vlieglijn 509.1



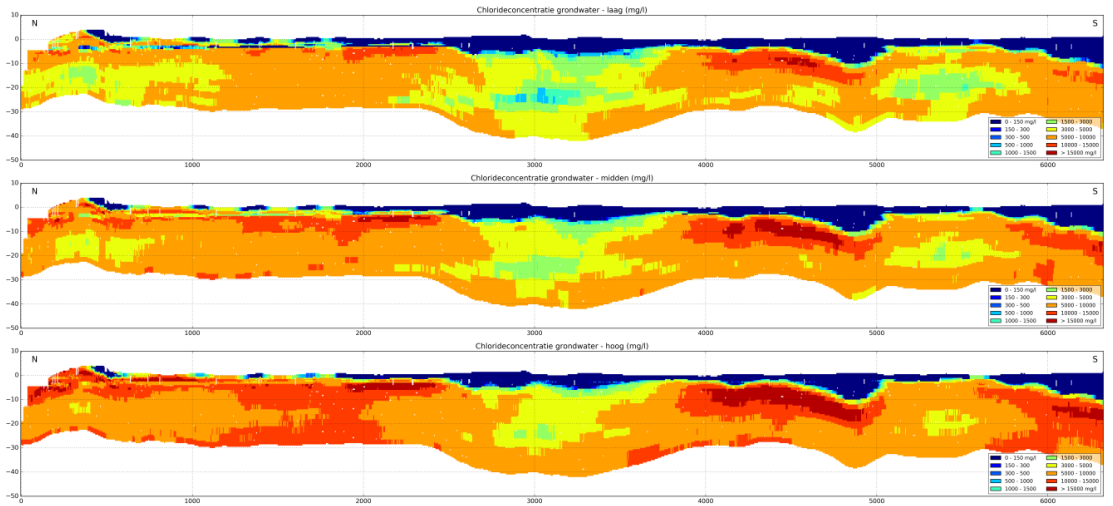
Zeeuws-Vlaanderen, vlieglijn 510.1



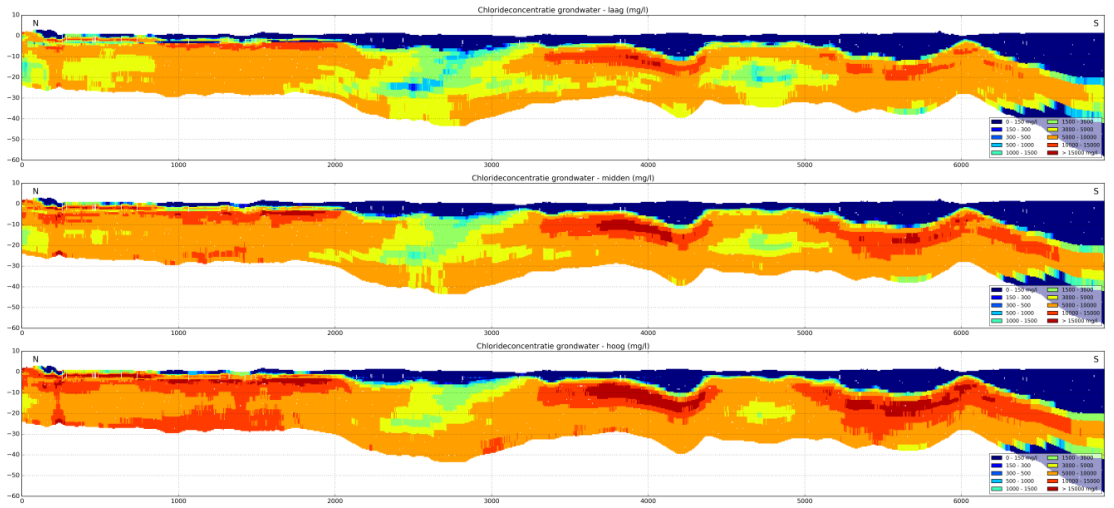
Zeeuws-Vlaanderen, vlieglijn 511.1



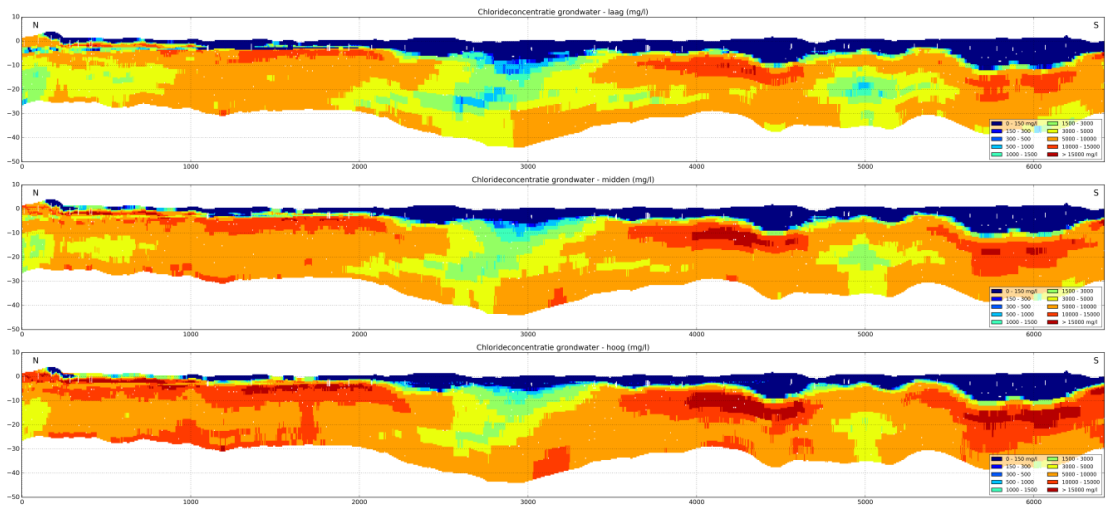
Zeeuws-Vlaanderen, vlieglijn 512.1



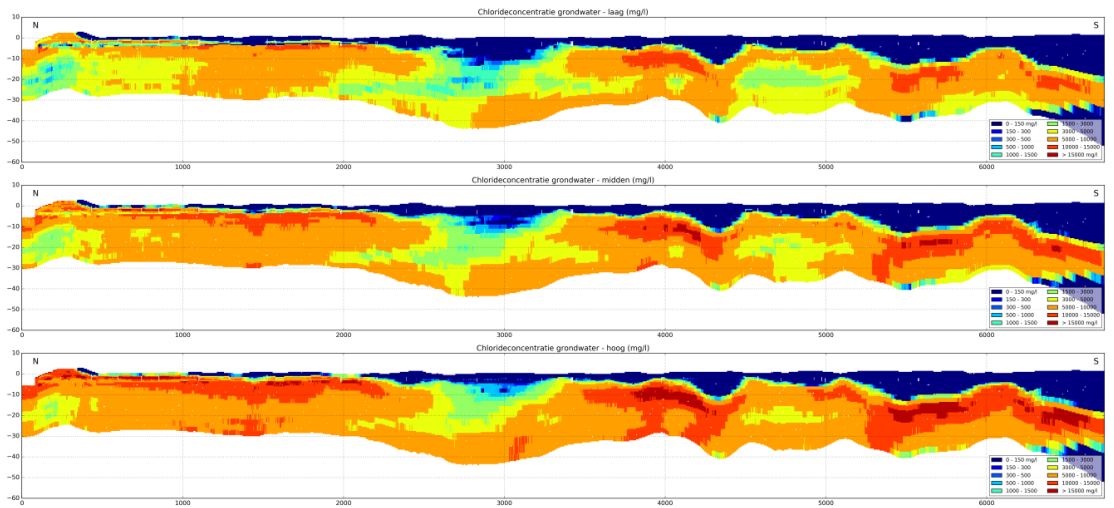
Zeeuws-Vlaanderen, vlieglijn 513.1



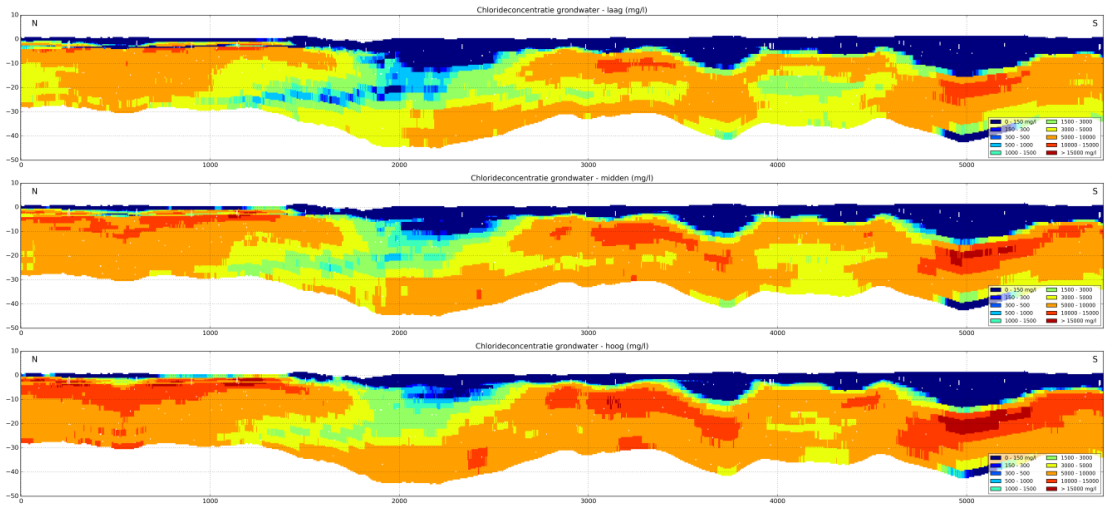
Zeeuws-Vlaanderen, vlieglijn 514.1



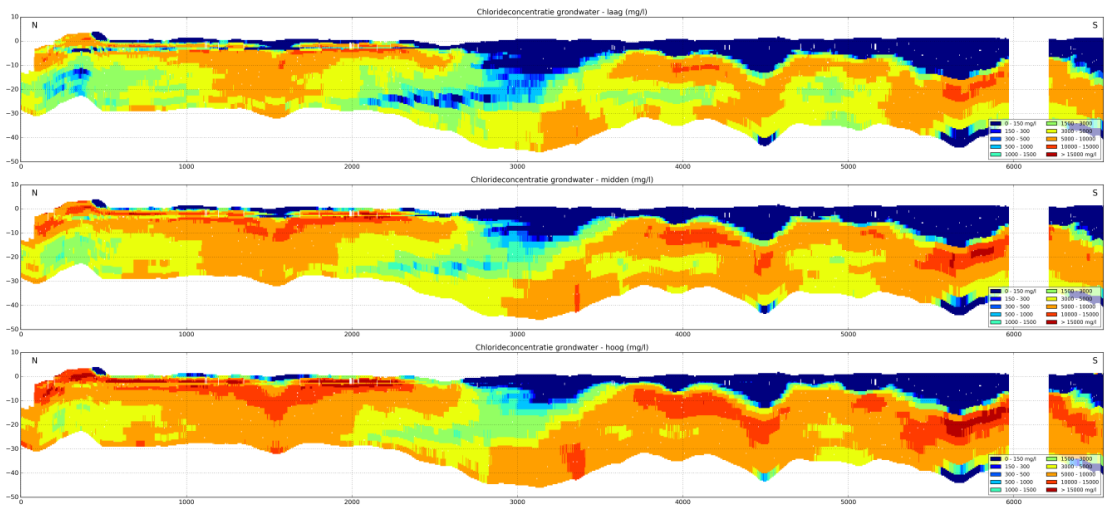
Zeeuws-Vlaanderen, vlieglijn 515.1



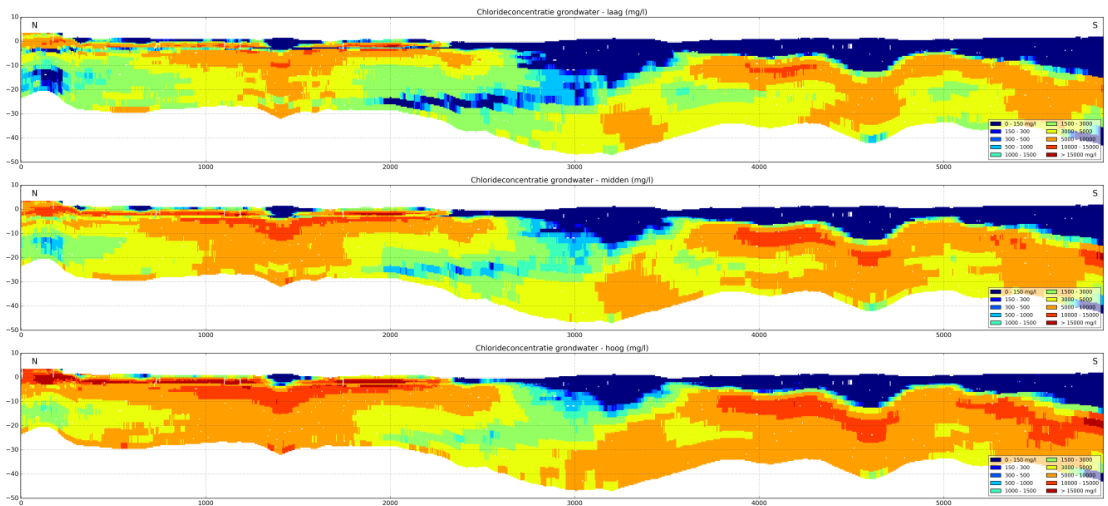
Zeeuws-Vlaanderen, vlieglijn 516.1



Zeeuws-Vlaanderen, vlieglijn 517.1



Zeeuws-Vlaanderen, vlieglijn 518.1



E Enkele foto's van de meetpunten



Meetpunt Mp8



Meetpunt Mp5



Het oppervlaktewater meetpunt Opp1 bij stuw Mariastraat Sensoren en telemetriesysteem in peilbuiskoker





Ondergelopen meetpunt Mp5 op 15 januari 2016



Land is onder water gelopen vanuit sloot op 15 januari 2016, Mp4 op rechterhoek perceel zichtbaar



Opp-meetpunt waar het peil en zoutgehalte wordt gemeten, op 15 januari 2016

Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

Deltares

www.deltares.nl