

**Metingen grondwatersysteem  
Perkpolder en werking  
kwelvoorziening**

Rapportage meetjaren 2014 en 2015



**Metingen grondwatersysteem  
Perkpolder en werking  
kwelvoorziening**

Rapportage meetjaren 2014 en 2015

Perry de Louw  
Martijn Visser  
Pieter Doornenbal  
Pieter Pauw

1210613-000

**Titel**

Metingen grondwatersysteem Perkpolder en werking kwelvoorziening




<b>Opdrachtgever</b>	<b>Project</b>	<b>Kenmerk</b>	<b>Pagina's</b>
Rijkswaterstaat WVL	1210613-000	1210613-000-BGS-0015	45

**Trefwoorden**

Perkpolder, monitoring, grondwater, stijghoogte, kwelvoorziening

**Samenvatting**

In het kader van de gebiedsontwikkeling Perkpolder is een getijdengebied ingericht in de Oostelijke Perkpolder waarbij de zeedijk binnenwaarts is verplaatst. Dit heeft mogelijke effecten op het aangrenzende grondwatersysteem. Een verwachte toename van de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket heeft voor het aangrenzende gebied mogelijk tot gevolg (1) toenemende zoute kwel, (2) hogere grondwaterstanden en (3) afnemende zoetwaterbel voor het achterliggende landbouwgebied. Om mogelijke effecten te kunnen vastleggen, is een nulmeting (T0-meting) uitgevoerd en gerapporteerd door Deltares (2014). Om de voor de landbouw belangrijke zoetwaterbel van Kloosterzande te beschermen, is in 2015 een kwelvoorziening geïnstalleerd. Monitoring is nodig voor een optimale aansturing van deze kwelvoorziening, om de werking van de kwelvoorziening in de gaten te houden en om effecten te kunnen volgen (eventueel negatieve effecten op tijd te signaleren). In deze rapportage worden de monitoringresultaten van 2014 en 2015 beschreven en zullen de eerste inzichten in de werking en inregeling van de kwelvoorziening worden besproken.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
	jan. 2016	Perry de Louw		Jelle Buma		Harm Duel	
		Martijn Visser					
		Pieter Doornenbal					
		Pieter Pauw					

**Status**

definitief

## Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>De kwelvoorziening</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Het meetnet</b>	<b>5</b>
3.1	Inleiding	5
3.2	Stijghoogte	6
3.3	Grensvlak zoet-zout grondwater	7
3.4	Afvoer kwelvoorziening: debiet en zoutgehalte	8
<b>4</b>	<b>Meetresultaten 2014-2015</b>	<b>9</b>
4.1	Meetresultaten stijghoogte	9
4.2	Meetresultaten grensvlak zoet-zout grondwater	12
4.3	Meetresultaten debiet en zoutgehalte kwelvoorziening	13
<b>5</b>	<b>Inregeling van de kwelvoorziening</b>	<b>16</b>
<b>6</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>18</b>
6.1	Conclusies	18
6.2	Aanbevelingen	20
<b>7</b>	<b>Literatuur</b>	<b>21</b>
	<b>Bijlage(n)</b>	
<b>A</b>	<b>Gegevens van meetpunten en monitoringfrequentie</b>	<b>A-1</b>
<b>B</b>	<b>Stijghoogtemetingen</b>	<b>B-2</b>
<b>C</b>	<b>SlimFlex-metingen</b>	<b>C-1</b>

## 1 Inleiding

In het kader van de gebiedsontwikkeling Perkpolder is een getijdengebied ingericht in de Oostelijke Perkpolder waarbij de zeedijk binnenwaarts is verplaatst. Op 25 juni 2015 is de dijk doorgestoken en is het getijdegebied in werking getreden.

Het nieuwe getijdegebied heeft mogelijke effecten op het aangrenzende grondwatersysteem. Een verwachte toename van de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket heeft mogelijk voor het aangrenzende gebied tot gevolg (1) toenemende zoute kwel, (2) hogere grondwaterstanden en (3) afnemende zoetwaterbel voor het achterliggende landbouwgebied.

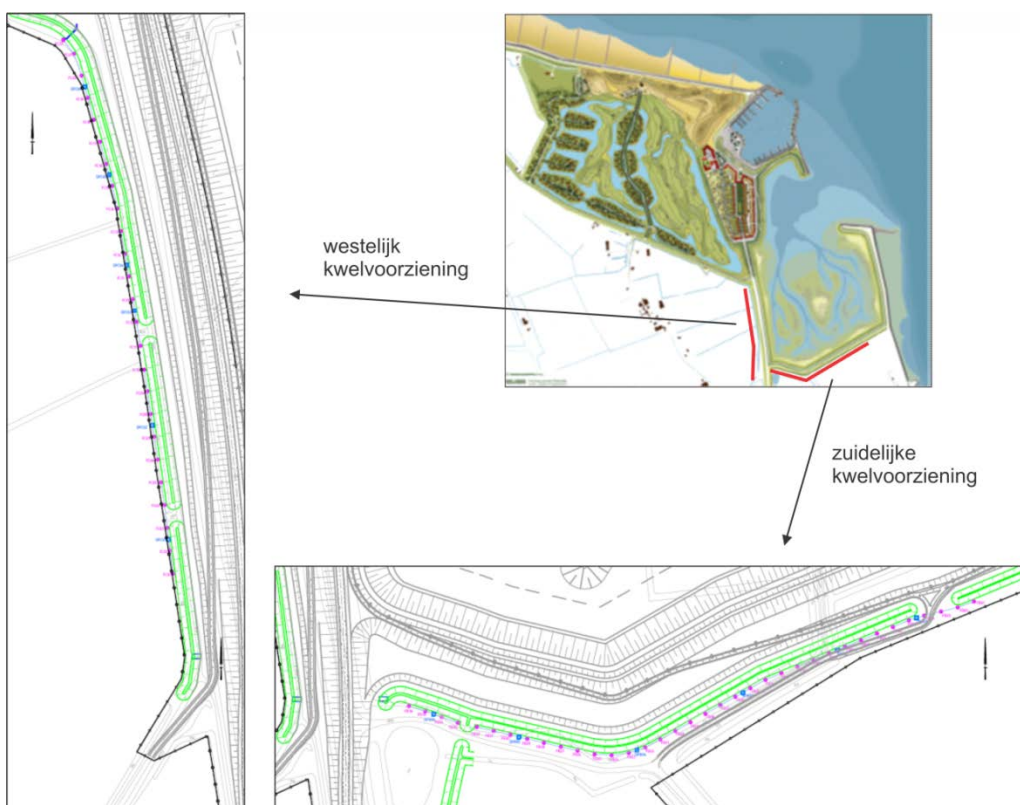
Om mogelijke effecten te kunnen vastleggen, is een nulmeting (T0-meting) uitgevoerd die gestart is in maart 2011. Het doel van deze T0-meting is het in beeld brengen van het grondwatersysteem vóór de ontwikkeling van het getijdegebied voor wat betreft de (1) dieptes van zoet, brak en zout grondwater, (2) stijghoogten en (3) freatische grondwaterstanden. De meetresultaten tot december 2013 (ruim 2.5 jaar aan metingen) zijn gerapporteerd in Buma (2014). De metingen vanaf begin 2014 tot de dijkdoorbraak kunnen tevens tot de T0-meting worden gerekend en zullen in deze rapportage worden behandeld.

Op basis van de nulmeting en verschillende berekeningen en analyses is geconcludeerd dat ter bescherming van de zoetwaterbel van Kloosterzande een kwelvoorziening nodig is. Deze zoetwaterbel is van belang voor de landbouw. De boeren onttrekken er grondwater uit voor beregening van hun gewassen in droge perioden. Door de ontwikkeling van het getijdegebied is deze zoetwaterbel dichtbij de nieuwe zeedijk komen te liggen en daardoor kwetsbaar geworden voor verzilting. De kwelvoorziening is in 2015 geïnstalleerd. Monitoring is nodig voor een optimale aansturing van de kwelvoorziening, de werking van de kwelvoorziening in de gaten te houden en om effecten te kunnen volgen (eventueel negatieve effecten op tijd te signaleren). De monitoringactiviteiten die hiervoor nodig zijn, zijn beschreven in het monitoringprotocol (De Louw, 2014a) en benodigde aanvullende meetpunten en meetactiviteiten zijn in 2015 uitgevoerd.

In deze rapportage worden de monitoringresultaten van 2014 en 2015 beschreven en zullen de eerste inzichten in de werking en inregeling van de kwelvoorziening worden besproken.

## 2 De kwelvoorziening

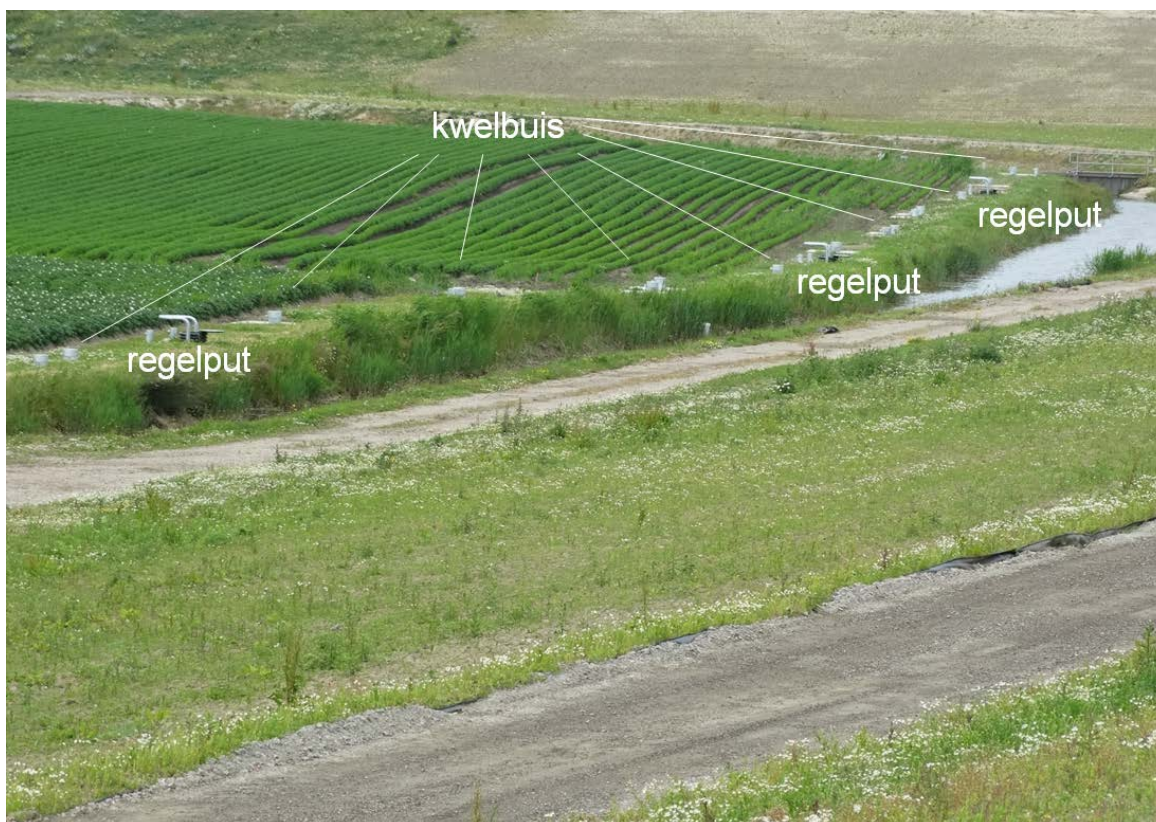
Er wordt verwacht dat de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket zal toenemen door de ontwikkeling van het nieuwe getijdegebied met als gevolg toenemende zoute kwel en mogelijk afnemende zoetwaterbel voor het achterliggende landbouwgebied. Uit deze zoetwaterbel in de kreekrug van Kloosterzande wordt in droge tijden zoet grondwater onttrokken voor beregening van landbouwpercelen. Uit onderzoek van Witteveen+Bos (2010) en Royal Haskoning (2012) is geconcludeerd dat een kwelvoorziening nodig is als mitigerende maatregel ter bescherming van de zoetwaterbel. In 2014 is een beknopte second opinion uitgevoerd op het voorgestelde ontwerp van de kwelvoorziening en in overleg met het waterschap Scheldestromen, DLG en aannemer Van Oord is het ontwerp van de kwelvoorziening aangepast (De Louw, 2014b). Het type kwelvoorziening is in de loop van de tijd steeds aangepast. In de beginfase zijn zandpalen voorgesteld, gevolgd door verticale kwelbuizen en daarna een horizontale diepdrain. Gedurende de uitvoering van de second opinion is het type kwelvoorziening weer veranderd van horizontale diepdrain naar verticale kwelbuizen dat daarmee zijn definitieve vorm kreeg. Deze verandering en de argumenten zijn besproken in De Louw (2014b).



*Figuur 2.1 De ligging van de westelijke en zuidelijke kwelvoorziening. Op de detailtekening geven de roze punten de positie van de verticale kwelbuizen weer en in blauw zijn de regelputten weergegeven. Groen geeft de ligging van de sloot weer.*

In Figuur 2.1 is de ligging van westelijke en zuidelijke kwelvoorziening te zien met daarop aangegeven alle kwelbuizen en regelputten. De kwelvoorziening ligt vrijwel direct achter de de nieuwe zeedijk, direct grenzend aan het landbouwgebied en een sloot (zie Figuur 2.1). De

totale lengte van de kwelvoorziening is ruim één kilometer. Tabel 2.1 geeft meer details van de kwelvoorziening.



Figuur 2.2 Foto van westelijke kwelvoorziening met ligging kwelbuizen en regelputten

Tabel 2.1 Enkele details van de westelijke en zuidelijke kwelvoorziening

	Westelijke kwelvoorziening	Zuidelijke kwelvoorziening
Totale lengte	500 m	500 m
Aantal verticale kwelbuizen	25	36
Diepte kwelbuizen	12 m-mv	17 m-mv
Filterdiepte	7 tot 12 m-mv	7 tot 17 m-mv
Filterlengte kwelbuizen	5 m	10 m
Afstand tussen kwelbuizen	20 m	15 m
Aantal kwelbuizen op de regelput	3 tot 5	4 tot 7

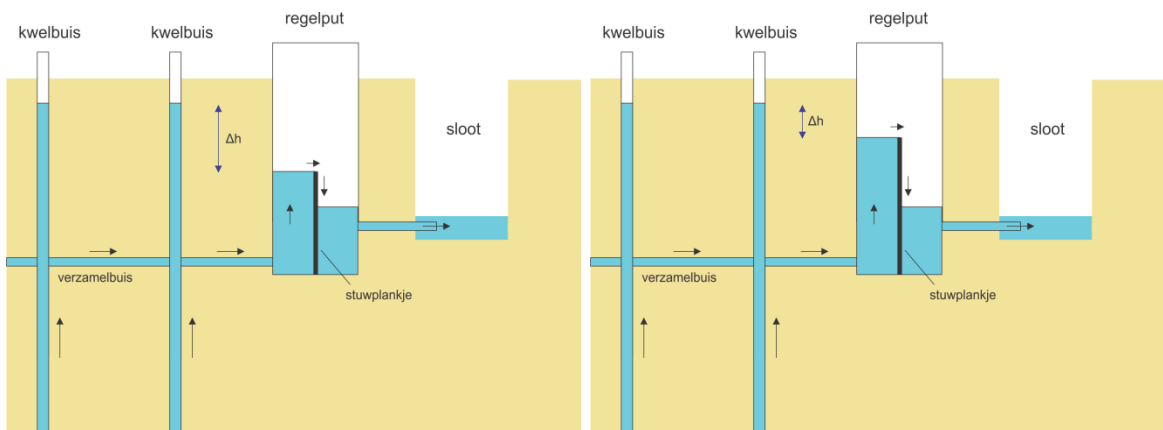
De gerealiseerde kwelvoorziening is een onttrekkingsstelsel op basis van vrij verval (door stijghoogtedruk in het eerste watervoerende pakket) bestaande uit een reeks van verticale kwelbuizen die grondwater uit het eerste watervoerende pakket afvoeren. De verticale kwelbuizen zijn over een afstand van ongeveer 80-100 m aan elkaar gekoppeld door middel van een verzamelleiding die uitkomt in een zogenaamde regelput. In de regelput kan het drainageniveau van de kwelbuizen worden ingesteld en daarmee de werking van de kwelvoorziening worden geregeld. De kwelvoorziening wordt geacht de toename van de stijghoogte als gevolg van de inrichting te compenseren om te voorkomen dat de zoetwaterbel krimpt.

De kwelvoorziening voert grondwater af wanneer de stijghoogte hoger is dan het peil in de regelput. Hoe groter het verschil tussen de stijghoogte en het peil in de regelput, hoe meer grondwater de kwelvoorziening afvoert. In Figuur 2.4 is de werking van de kwelvoorziening schematisch weergegeven. Het peil in de regelput kan worden verhoogd met behulp van een stuwplankje (zie Figuur 2.3 en Figuur 2.4) waardoor de kwelvoorziening minder grondwater

zal afvoeren. Wanneer de kwelvoorziening helemaal open staat (zonder stuwplankje), dan is het peil in de regelput gelijk aan het oppervlaktewaterpeil en werkt de kwelvoorziening maximaal. Het zomerpeil is ongeveer 20 cm hoger dan het winterpeil. De kwelvoorziening kan per regelput ook worden dichtgedraaid zodat er geen enkel grondwater wordt afgevoerd.



Figuur 2.3 Foto van een regelput met stuwplankje.



Figuur 2.4 Schematische weergave van de kwelvoorziening met ondergrondse verbinding van kwelbuizen, uitkomende in regelput die vervolgens afwatert op sloot.  $\Delta h$  geeft het stijghoogteverschil weer tussen de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket en het gestuwd peil in de regelput; hoe groter  $\Delta h$ , hoe meer grondwater de kwelvoorziening afvoert.  $\Delta h$  kan worden beïnvloed door het stuwpeil in de regelput te veranderen: vergelijk de situatie in de linker figuur (laag peil, grote  $\Delta h$ , hoge afvoer kwelvoorziening) met de situatie in de rechter figuur (hoog peil, kleine  $\Delta h$ , lage afvoer kwelvoorziening).



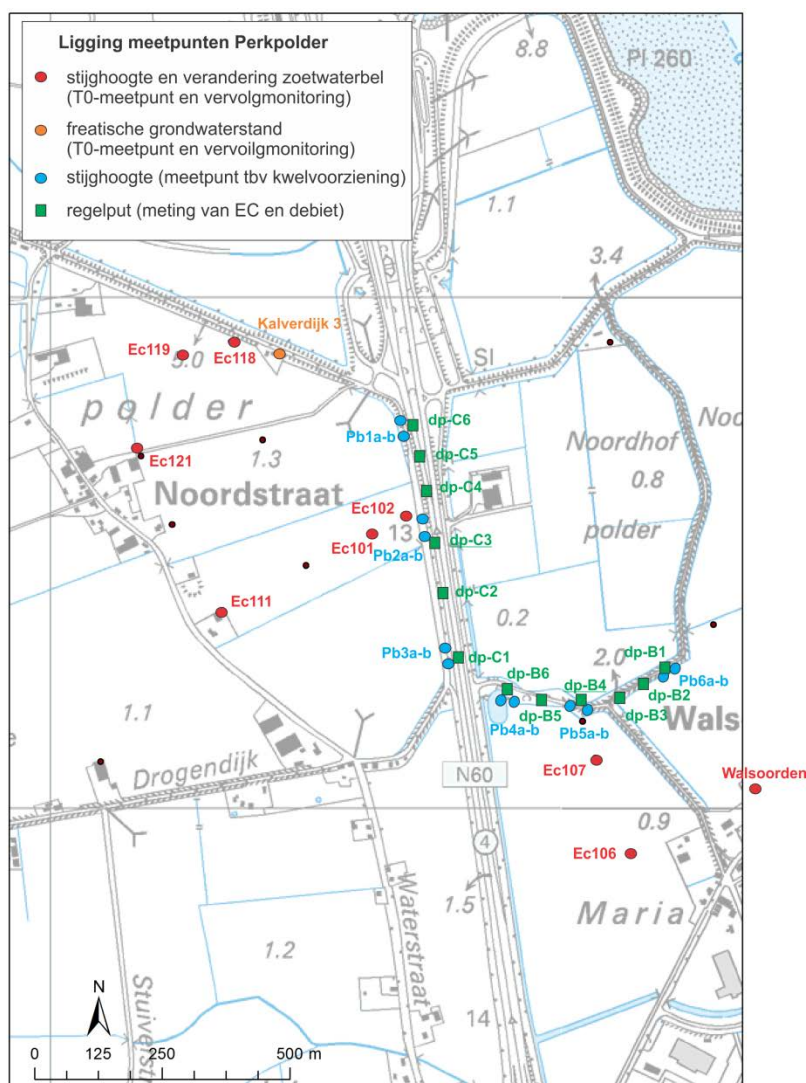
### 3 Het meetnet

#### 3.1 Inleiding

Zoals beschreven in het monitoring-protocol kwelvoorziening en nulmeting grondwater Perkpolder richt de monitoring zich op de volgende aspecten van het (grond)watersysteem:

- Stijghoogte eerste watervoerende pakket (en freatische grondwaterstand).
- Zoet-zout grensvlak ofwel dikte zoetwaterbel (SlimFlex-metingen).
- Afvoer kwelvoorziening (debiet en zoutgehalte).

Ten opzichte van de nulmeting zijn de meetpunten grenzend aan de westelijke Perkpolder vervallen (eind 2013) omdat onduidelijkheid ontstond over de verdere ontwikkeling van dit gebied en er voldoende meetjaren beschikbaar waren voor een volwaardige nulmeting. In 2015 zijn er nieuwe meetpunten bijgeplaatst ter hoogte van de kwelvoorziening en aan de rand van Walsoorden.



Figuur 3.1 Het huidige grondwatermeetnet Perkpolder

Figuur 3.1 geeft de ligging van alle meetpunten die deel uitmaken van het huidige monitoringprogramma dat bestaat uit 2 doelen:

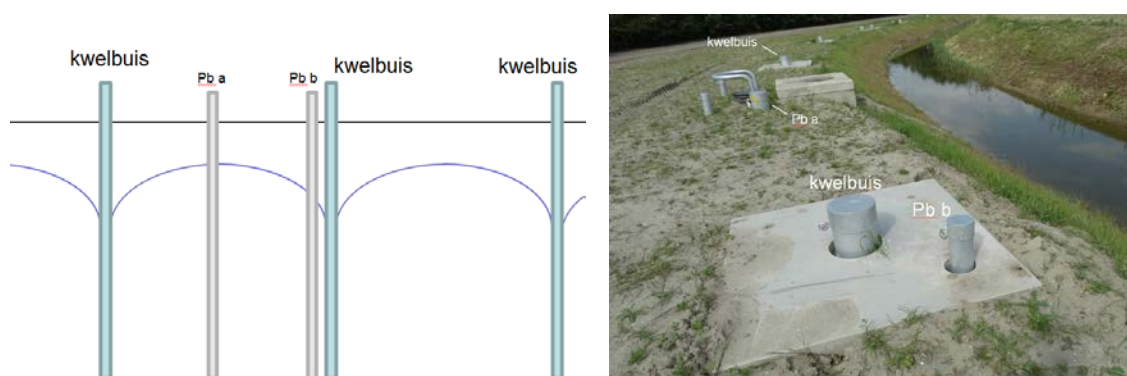
- (1) Vervolgmonitoring: het meten van eventuele effecten als gevolg van het getijdegebied
- (2) Monitoring van de werking van de kwelvoorziening en optimale inregeling hiervan.

### 3.2 Stijghoogte

Het nieuwe getijdegebied leidt tot een gemiddeld hoger peil ten opzichte van de oude situatie (polderpeil) waardoor de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket ook toeneemt. Uitstralingseffecten naar de omgeving zullen plaatsvinden via de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket. Dit is daarmee de belangrijkste parameter om te monitoren. Door een toename van de stijghoogte zal kwel toenemen (in kwelgebieden), infiltratie afnemen (in infiltratiegebieden), grondwaterstanden (mogelijk licht) stijgen en zoetwaterlenzen zullen mogelijk krimpen. Om de uitstralingseffecten goed te kunnen monitoren, zijn de meetpunten geplaatst in raaien op verschillende afstanden van het getijdegebied. Op sommige locaties wordt tevens de freatische grondwaterstand gemeten. Gegevens van de verschillende meetpunten staan weergegeven in bijlage A.

Het doel van de kwelvoorziening is de toename van de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket als gevolg van de inrichting te compenseren zodat de zoetwaterbel niet wordt aangetast. Het volgen van de stijghoogte is dus een eerste en directe indicatie of de kwelvoorziening werkt en op basis waarvan de werking van de kwelvoorziening kan worden aangestuurd. Daarom zijn in 2015 nieuwe stijghoogteteelpunten ter hoogte van de kwelvoorziening geplaatst (zie Figuur 3.1). Op 6 locaties is een stijghoogteteelpunt geplaatst (a) tussen twee kwelbuizen (aangeduid met code a) en (b) één bij een kwelbuis (aangeduid met code b). Namelijk, het effect van de kwelvoorziening op de stijghoogte is groter bij een kwelbuis dan in het midden tussen twee kwelbuizen (zie Figuur 3.2).

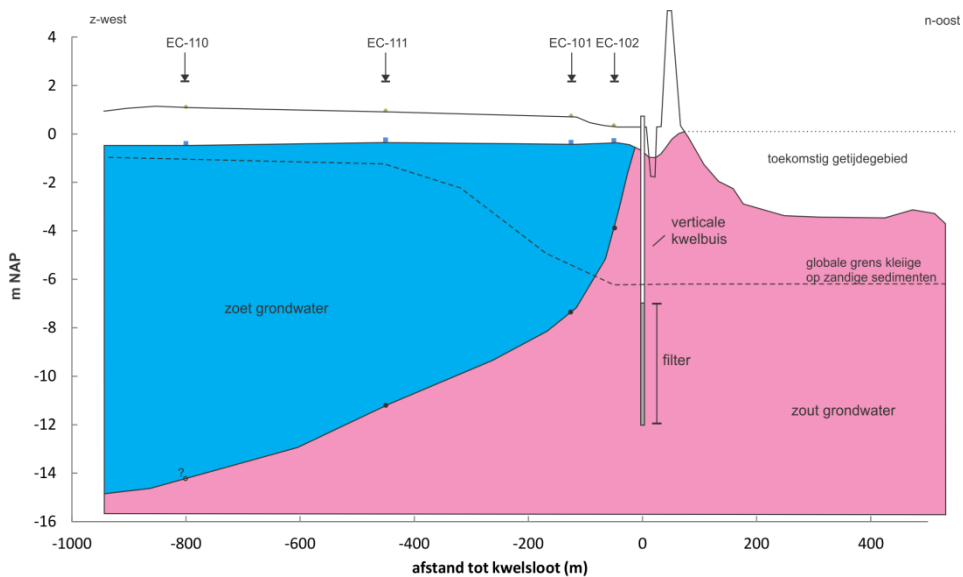
De meeste meetpunten worden ieder uur automatisch gemeten met een zogenaamde 'Diver' (zie bijlage A). Iedere 3 maanden worden Divers uitgelezen en worden handmetingen uitgevoerd. Op 2 meetlocaties ter hoogte van de kwelvoorziening (Pb 2 en Pb 5) wordt de stijghoogte telemetrisch gemeten en kan op elk gewenst moment de huidige meting worden bekeken. Op beide meetlocaties (Pb 2 en Pb 5) gaat het om de stijghoogte tussen twee kwelbuizen (Pb 2a, Pb 5a), bij een kwelbuis (Pb 2b, Pb 5b) en het gestuwde peil in de regelput (Pb 2EC, Pb 5EC).



Figuur 3.2 De ligging van de peilbuizen ten opzichte van de kwelbuizen. Pb a ligt tussen 2 kwelbuizen en Pb b bij een kwelbuis. Het effect van een kwelbuis op de stijghoogte is groter dicht bij een kwelbuis dan tussen 2 kwelbuizen.

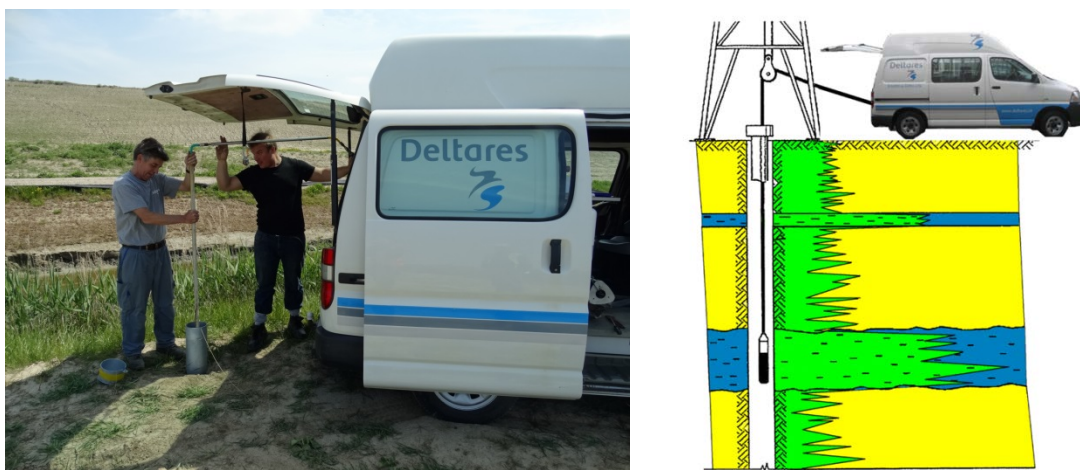
### 3.3 Grensvlak zoet-zout grondwater

De zoetwaterbel van Kloosterzande wordt door boeren gebruikt om uit te beregenen. Deze zoetwaterbel is met de ontwikkeling van het getijdegebied dicht bij de Westerschelde komen te liggen. Dit is te zien in Figuur 3.3 waarin voor vier locaties de gemeten dikte van de zoetwaterlens staat weergegeven. Veranderingen in de dikte van deze bel dienen daarom te worden gevolgd. Veranderingen van de dikte van de zoetwaterbel gaan veel minder snel dan veranderingen in stijghoogte waardoor de meetfrequentie niet zo groot hoeft te zijn, 1 keer per jaar is voldoende.



Figuur 3.3 Een dwarsnede waarin de gemeten dikte van de zoetwaterbel ( $T_0$ ) en ligging kwelvoorziening en nieuw getijdegebied

De dikte van de zoetwaterbel wordt gemeten met behulp van de EM-Slimflex. De EM-Slimflex wordt in een peilbuis gelaten (zie Figuur 3.4) en voor iedere 5 centimeter wordt een meting verricht. Hierdoor ontstaat een diepteprofiel van de geleidbaarheid van ondergrond en op deze manier kan de overgangszone tussen het zoete en zoute grondwater in beeld worden gebracht.



Figuur 3.4 Uitvoering EM-Slimflex in Perkpolder (meetpunt Pb-3a, 22 mei 2015)

### 3.4 Afvoer kwelvoorziening: debiet en zoutgehalte

Het debiet van de verticale kwelbuizen geeft in combinatie met de stijghoogtemetingen een indicatie van de werking van de kwelvoorziening. Daarnaast is het totale onttrekkingsdebiet, samen met het zoutgehalte, van belang voor het bepalen van het lozingsdebiet en de zoutlast op het oppervlaktewater. Veranderingen in zoutgehalte geven overigens ook informatie over de werking van de kwelvoorziening.

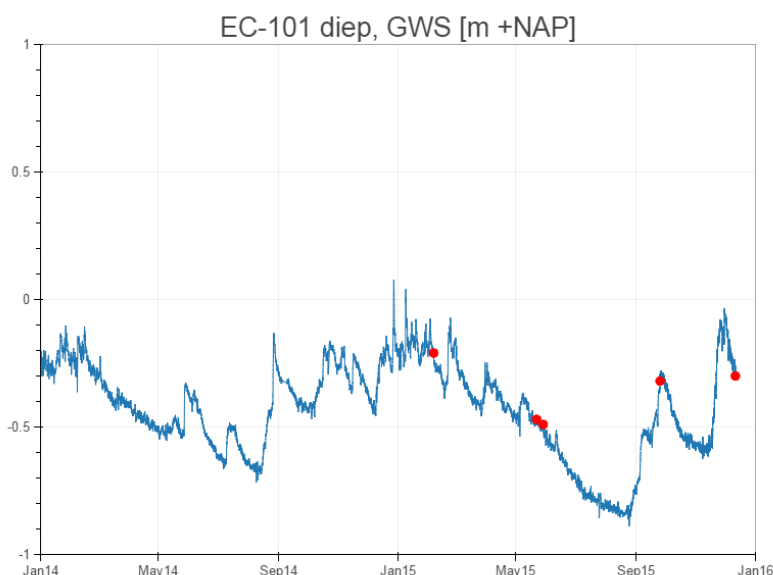
Voor 2 regelputten wordt zowel het debiet als het zoutgehalte van de afvoer van de kwelvoorziening automatisch ieder uur en telemetrisch gemeten. Voor de westelijke kwelvoorziening wordt dit gedaan bij meetpunt Pb2 en voor de zuidelijke kwelvoorziening bij meetpunt Pb5. De debietmeter is geplaatst in de horizontale afvoerpijp van de regelput naar de sloot. De debietmeter is van het type Arad-Octave van firma Revaho en maakt gebruik van een dubbele ultrasonische meting voor het meten van het debiet. Tevens wordt het zoutgehalte van de kwelvoorziening in alle regelputten ieder half jaar gemeten. Het handmatig meten van de afvoer van de regelputten is wenselijk maar op het moment lastig uit te voeren in verband met het ontbreken van waterdichte stuwplankjes. Wanneer de nieuwe waterdichte stuwplankjes gereed zijn, kan de snelheid van peilstijging na plaatsen van een stuwplankje worden gemeten. De stijging van het peil is een maat voor het debiet.

## 4 Meetresultaten 2014-2015

### 4.1 Meetresultaten stijghoogte

#### Periode 2014-2015

In bijlage B staan voor alle meetpunten de totale beschikbare meetreeksen weergegeven voor het jaar 2014-2015. Voor sommige meetpunten mist een deel van de meting in het jaar 2014 en een aantal meetpunten zijn pas in het jaar 2015 geplaatst (meetpunten in Walsoorden en ter hoogte van de kwelvoorziening). De hoofdfrequentie metingen van alle nieuw geplaatste meetpunten zijn gestart ongeveer 1.5 maand vóór dat de dijk is doorgestoken op 25 juni 2015 waardoor een eventueel direct effect als gevolg van het nieuwe getijdegebied in de metingen zichtbaar zou zijn.



Figuur 4.1 Het stijghoogteverloop van meetpunt EC-101(diep) voor de periode 2014-2015

Voor meetpunt EC-101(diep) staat het verloop in Figuur 4.1 weergegeven, de overig tijdreeksen staan in bijlage B. Bijna alle diepe meetpunten vertonen een vergelijkbaar verloop door het jaar heen met daarbij een vergelijkbare reactie op neerslag en verdamping. Over het algemeen in de winter en bij ondiepe grondwaterstanden, is de reactie op neerslag sterker. Dit komt doordat er minder water in de onverzadigde zone kan worden geborgen en de grondwaterstand sneller stijgt bij een zelfde hoeveelheid neerslag.

Meetpunten die afwijken van het algemene patroon worden hieronder opgesomd.

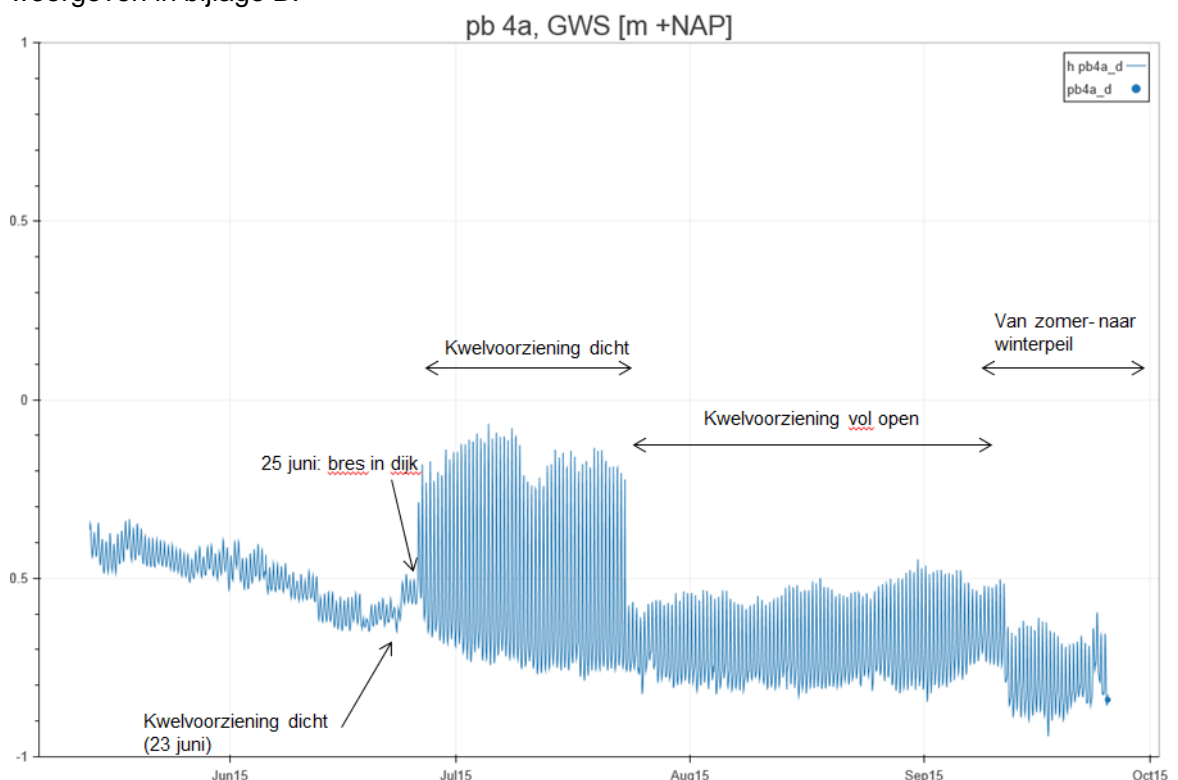
- Meetpunt EC-102 (diep) vertoont na 18 februari 2015 een heel ander patroon dan ervoor. Als de gehele tijdreeks wordt bekeken na deze datum, dan kan worden geconcludeerd dat het meetpunt niet meer goed functioneert. Het meetpunt is vermoedelijk afgebroken a.g.v. landbouwwerkzaamheden waardoor er via het maaiveld eenvoudig water in kan stromen. Dit verklaart de snelle stijging en langzaam zakken van de waterstand. De handmetingen corresponderen met de Diver-metingen wat aangeeft dat de Diver nog goed functioneert.
- Meetpunt EC-106 (diep) vertoont een grillig patroon, en wijkt daarmee sterk af van de andere meetpunten. Wanneer wordt ingezoomd, dan wordt een grotere getijdefluctuatie waargenomen dan meetpunt EC-107 dichtbij de Westerschelde. Het 1m-lange filter van EC-106 zit op ongeveer dezelfde diepte als het filter van EC-107, -7m

respectievelijk -8.5 m NAP. Voor de grotere fluctuaties, inclusief de grotere getijdefluctuatie, is vooralsnog geen verklaring gevonden.

- Meetpunt EC-121 (diep) vertoont een vergelijkbaar patroon maar laat gedurende de zomerperiode (rond 10 en 14 juni, 2 en 14 juli en 14 augustus) plotselinge dalingen zien van de stijghoogte. Dit is een bekend patroon en kan worden toegeschreven aan grondwateronttrekkingen uit de zoetwaterbel van Kloosterzande ten behoeve van beregening. De onttrekkingen zijn bevestigd door de akkerbouwer.

#### Effect van nieuw getijdegebied en kwelvoorziening

Het directe effect van het doorbreken van de dijk op 25 juni 2015, ofwel het in werking treden van het getijdegebied, is in sommige meetpunten goed zichtbaar. Ook het aanzetten van de kwelvoorziening kan in de reeksen worden waargenomen. De grootste effecten zijn uiteraard te zien in de nieuw geplaatste meetpunten ter hoogte van de kwelvoorziening die sinds 22 mei 2015 de stijghoogte registreren. Als voorbeeld is in Figuur 4.2 de tijdreeks van meetpunt Pb 4a weergegeven met daarin aangegeven de verschillende relevante gebeurtenissen. Op basis van deze figuur worden kort de gebeurtenissen en effecten besproken. Alle andere meetreeksen ter hoogte van de kwelvoorziening laten een vergelijkbaar patroon zien en staan weergegeven in bijlage B.



Figuur 4.2 Het stijghoogteverloop van meetpunt Pb 4a en daarin aangegeven de verschillende gebeurtenissen die effect hebben gehad op de stijghoogte

- Periode voor 23 juni, kwelvoorziening staat open en stijghoogte vertoont een getijdefluctuatie van ongeveer 8 tot 10 cm.
- Op 23 juni, 2 dagen voor opening van de bres, wordt de kwelvoorziening dicht gezet om daarna puur alleen het directe effect van het getijdegebied op de stijghoogte te kunnen vaststellen. De stijghoogte stijgt hierdoor licht, ongeveer 7 cm.
- Op 25 juni is de bres in de dijk gemaakt en stroomt er voor het eerst water het nieuwe getijdegebied in waarna duidelijk een stijging van de stijghoogte zichtbaar is en een

vergroting van de getijdefluctuatie. De pieken van de getijdewerking nemen gemiddeld 38 cm toe maar ook de dalen worden dieper zodat een gemiddelde stijghoogteverhoging wordt gemeten van ongeveer 13 cm. De getijdefluctuatie wordt ongeveer 60 centimeter.

- Op 23 juli om negen uur in de ochtend wordt de kwelvoorziening maximaal open gezet zodat het directe effect van de kwelvoorziening op de stijghoogte kan worden bepaald. Voor Pb-4a daalt hierdoor de gemiddelde stijghoogte met ongeveer 22 centimeter.
- Op 11 september is het oppervlaktewaterpeil door het waterschap verlaagd van zomerpeil naar winterpeil waardoor de gemiddelde stijghoogte ongeveer 13 cm daalt.

Alle nieuw geplaatste meetpunten ter hoogte van de kwelvoorziening laten vergelijkbare effecten zien. De directe effecten van het ontstaan van het nieuwe getijdegebied op 25 juni en het maximaal in werking treden van de kwelvoorziening op 23 juli staan voor alle meetpunten samengevat in Tabel 4.1. In de tabel is te zien dat het effect op de gemiddelde stijghoogte als gevolg van het getijdegebied minder groot is dan het effect van het open zetten van de kwelvoorziening. Dit betekent dus dat de kwelvoorziening, voor dit moment in het jaar, de stijghoogte meer kan verlagen dan nodig is. En daarom kan dan ook worden geconcludeerd dat de kwelvoorziening goed functioneert. Het effect van het getijdegebied ter hoogte van de kwelvoorziening is gemiddeld voor alle meetpunten 16 centimeter, het effect van de kwelvoorziening is gemiddeld 29 centimeter. Ook voor de bestaande meetpunten EC102 en EC107 in het landbouwgebied zijn directe effecten zichtbaar van 2 tot 8 centimeter. Uit de metingen blijkt ook dat de gemiddelde stijghoogte tussen 2 kwelbuizen bijna evenveel kan worden verlaagd als bij een kwelbuis (zie bijlage B).

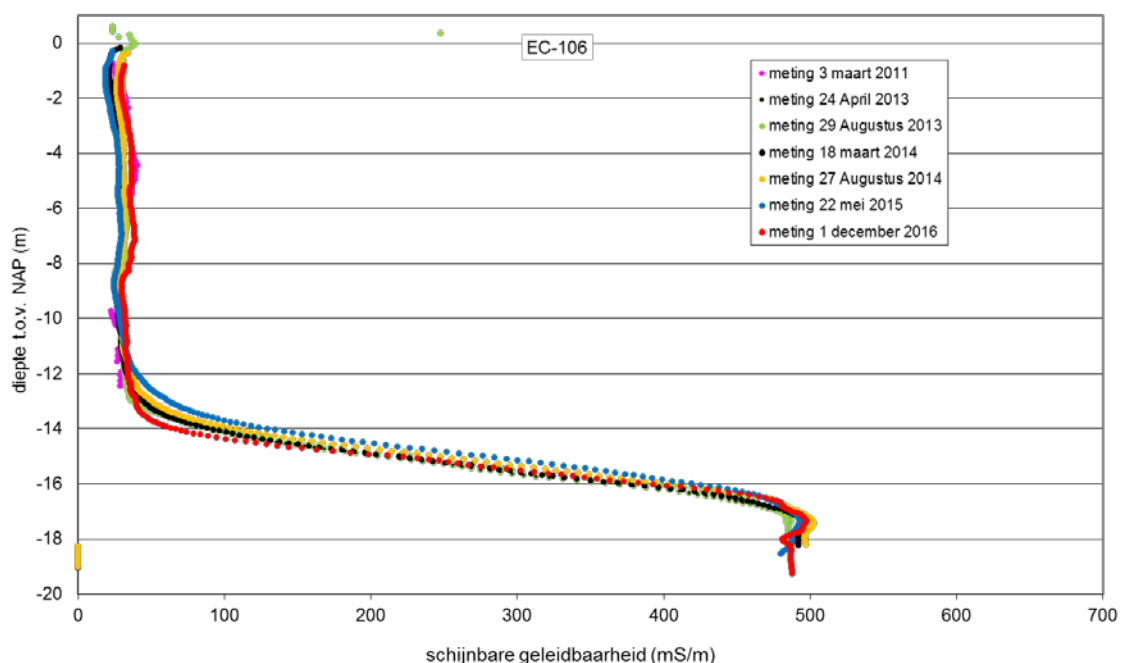
Tabel 4.1 Effecten op de stijghoogte samengevat voor de meetpunten. Voor de in groen aangemerkte meetpunten is er een verandering opgetreden.

meetpunt	getijdeamplitude (m)			effect door	effect door
	voor 25 juni	na 25 juni kwelv. dicht	na 25 juni kwelv. open	getijdegebied (m)	kwelvoorziening (m)
EC-101 diep	0.02	0.02	0.02	0	0
EC-102 ondiep	0.04	0.08	0.05	0.02	-0.03
EC-102 diep	0.11				
EC-106 diep	0.07	0.07	0.07	0	0
EC-107 diep	0.03	0.06	0.03	0.02	-0.08
EC-111 ondiep	0.02	0.02	0.02	0	0
EC-111 diep	0.02	0.02	0.02	0	0
EC-118 diep	0.03 tot 0.06	0.03 tot 0.06	0.03 tot 0.06	0	0
EC-119 diep	0.02	0.02	0.02	0	0
EC-121 diep	0.01	0.01	0.01	0	0
Walsoorden ondiep	0.10	0.12	0.11	?0.02	?-0.04
Walsoorden diep	0.10	0.13	0.08	?0.02	?-0.04
Kalversdijk	0.04	0.05	0.05	0	0
Pb1a	0.08	0.78	0.43	0.16	-0.26
Pb2a	0.05	0.80	0.35	0.23	-0.28
Pb2b	0.03	0.50	0.08	0.29	0.36
Pb3a	0.04	0.35	0.24	0.06	-0.10
Pb4a	0.08	0.60	0.20	0.13	-0.22
Pb5a	0.07	0.55	0.13	0.12	-0.29
Pb5b	0.06	0.44	0.01	0.12	-0.38
Pb6a	0.24	0.90	0.32	0.17	-0.39

Een belangrijke opmerking die hier gemaakt dient te worden, is dat alleen directe effecten op deze manier uit de reeksen kunnen worden gehaald. Om de langere termijneffecten in beeld te brengen, dient over een langere monitoringperiode een stijghoogteanalyse te worden uitgevoerd, waarbij ook de gehele reeks gedurende de nulmeting dient te worden meegenomen. Daarnaast is een grondwatermodel nodig waarmee een inschatting kan worden gemaakt wanneer en tot op welke afstand de maximale effecten op de stijghoogte verwacht kunnen worden, wat de lange termijn effecten op de zoetwaterlens zijn en wat de effecten van de kwelvoorziening zijn. Tevens kan met het grondwatermodel een optimale inregeling van de kwelvoorziening worden vastgesteld.

## 4.2 Meetresultaten grensvlak zoet-zout grondwater

Sinds 2012 wordt regelmatig (1 á 2 keer per jaar) de zoutverdeling van het grondwater gemeten met de SlimFlex. Op 22 mei 2015 zijn ook de nieuw geplaatste meetpunten ter hoogte van de kwelvoorziening en bij Walsoorden bemeaten. Deze meetronde kan als een nulmeting worden gezien. Op 1 december 2015, ruim 5 maanden na opening van de dijk, heeft er weer een SlimFlex-meetronde plaatsgevonden. Dit is de eerste meting sinds het ontstaan van het nieuwe getijdegebied. In Figuur 4.3 zijn de SlimFlex-metingen te zien van meetpunt EC-106, de metingen van alle andere meetpunten staan weergegeven in Bijlage C. Het zoet-zout grensvlak ligt op -15 m NAP en verandert nauwelijks in de tijd gedurende de nulmeting en ook niet als gevolg van het nieuwe getijdegebied. Ook de andere meetpunten laten een relatief stabiel grensvlak zien (zie bijlage C). Dit is conform de verwachting en de bevindingen van de PhD-onderzoeken van De Louw (2013) en Pauw (2015). Daarbij dient te worden opgemerkt dat veranderingen van de zoet-zout verdeling in het grondwater vele malen langzamer gaan dan veranderingen van de stijghoogte. Dit komt omdat het bij de zoet-zout verdeling gaat om het daadwerkelijk verplaatsten van waterdeeltjes en bij de stijghoogte gaat het primair om drukverplaatsing.



Figuur 4.3 De SlimFlex-metingen voor meetpunt EC-106



Bij het uitvoeren van de SlimFlex-metingen kunnen er onnauwkeurigheden optreden in de absolute waarde van de meting en de diepteregistratie. Hiervoor zijn een aantal oorzaken aan te wijzen.

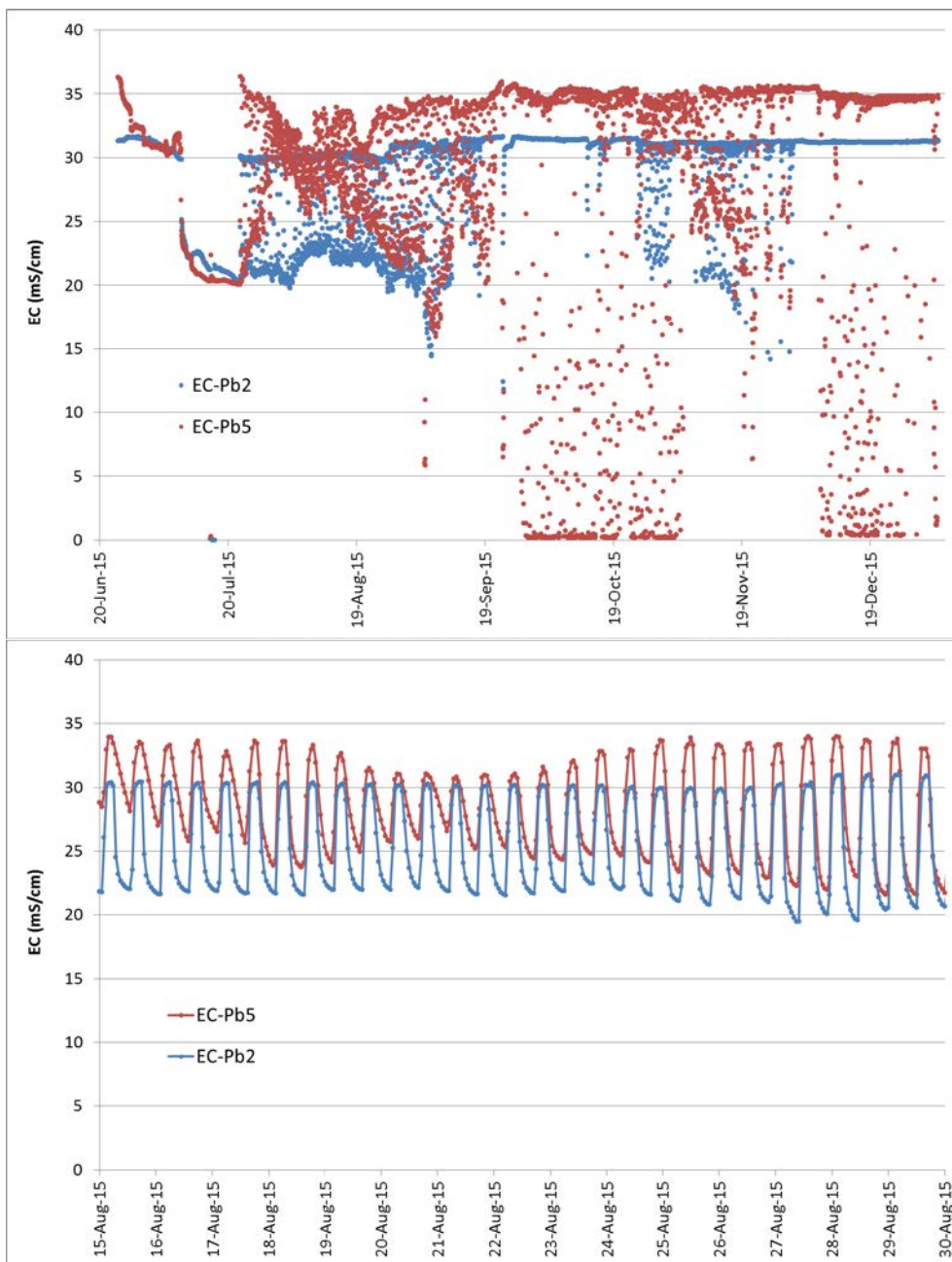
- Diepteregistratie wordt onnauwkeuriger bij grotere afstand van de meetwagen tot het meetpunt (afstanden van meer dan 150 meter komen voor i.v.m. toegankelijkheid landbouwpercelen en vermijden gewasschade, bijv. meetpunt EC-107, EC-101);
- De diepte van de meting wordt in het veld gerefereerd ten opzichte van maaiveld. Door landbewerkingen kunnen er maaiveldverschillen optreden van 30 cm waardoor de diepteregistratie kan afwijken;
- Gebruik van verschillende typen SlimFlex-sondes (verschil in spoelafstand en absolute meetwaarden);
- De zonnewind als ook radiogolven kunnen de elektromagnetische metingen beïnvloeden waardoor absolute waarden kunnen verschillen.
- Het zogenaamde skin-effect wat inhoudt dat de indringingsdiepte minder groot wordt bij een grotere geleiding.

De Slimflex-metingen zijn gecorrigeerd voor bovengenoemde variaties in diepteregistratie en absolute waarden. Dit is alleen gedaan wanneer met redelijke zekerheid kon worden aangenomen dat variaties zijn veroorzaakt door bovengenoemde oorzaken. Als eerste correctiestap zijn de absolute waarden gestandaardiseerd naar een gemiddeld minimale waarde (zoet bereik) en gemiddelde maximale waarde (zoute deel). Daarna heeft een eventuele verticale correctie plaatsgevonden wanneer uitschieters door lithologische variaties (veelal kleilaagjes) niet op dezelfde diepte worden aangetroffen in de metingen. In de tijd zou de diepte van deze uitschieters namelijk niet mogen veranderen. De gepresenteerde metingen (Figuur 4.3 en bijlage C) laten de gecorrigeerde meetwaarden zien volgens deze methode.

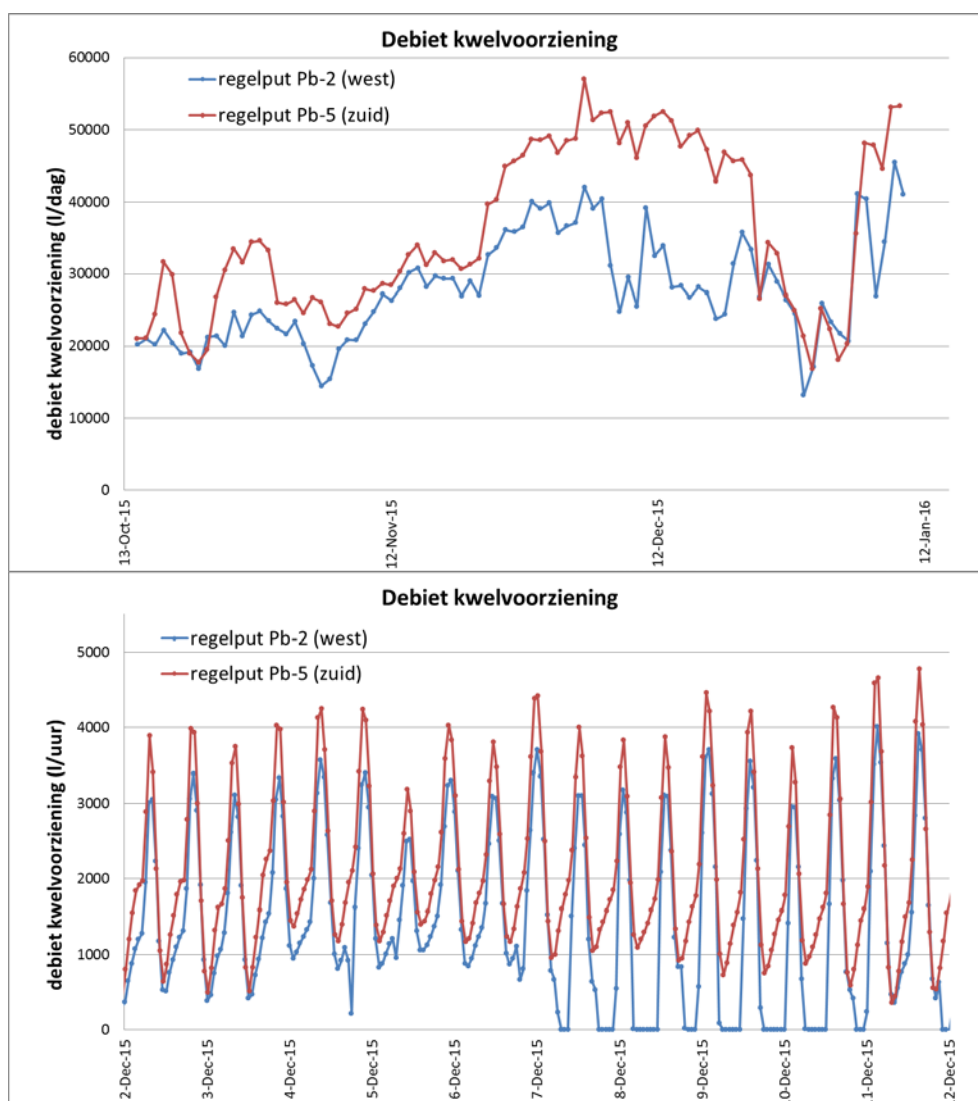
### 4.3 Meetresultaten debiet en zoutgehalte kwelvoorziening

In twee regelputten bij meetpunt Pb-2 en Pb-5 worden het zoutgehalte en de afvoer van de kwelvoorziening automatisch en telemetrisch gemeten. In de onderstaande grafieken staan de meetresultaten weergegeven.

Het zoutgehalte van het water in de regelput laat voor beide meetpunten een waarde zien van ongeveer 20 mS/cm voor de periode na de bres in de dijk met de kwelvoorziening dicht (zie Figuur 4.4). Bij een dichte kwelvoorziening stroomt er oppervlaktewater de regelput in en het zoutgehalte van het oppervlaktewater was in die periode ongeveer 20 mS/cm. Op 23 juli wordt de kwelvoorziening open gezet waardoor het zoutgehalte stijgt door de afvoer van kwelwater uit de kwelvoorziening. De maximale waarde komt overeen met het zoutgehalte van het kwelwater en is voor meetpunt Pb-2 ongeveer 30 mS/cm en voor Pb-5 ongeveer 34 mS/cm. Handmetingen bevestigen deze waarden. Er wordt een variatie waargenomen die het gevolg is van de getijdewerking (zie Figuur 4.4). Bij hoogtij en daardoor maximale stijghoogte is de afvoer van de kwelvoorziening maximaal en bestaat het water uit 100% kwelwater. Bij een lagere stijghoogte wordt er minder kwelwater afgevoerd en is er meer bijmenging van het oppervlaktewater waardoor het zoutgehalte daalt. Op 11 september wordt het oppervlaktewaterpeil in de sloot verlaagd (van zomerpeil naar winterpeil) waardoor de kwelvoorziening meer water gaat afvoeren. Hierdoor en door het lagere peil is er nauwelijks meer bijmenging met oppervlaktewater waardoor de getijdewerking in zoutgehalte verdwijnt. We zien wel dat voor meetpunt Pb-5 de EC-waarde regelmatig daalt naar de waarde nul. Dit wordt veroorzaakt door het feit dat de EC-diver tijdens eb droog komt te hangen.



Figuur 4.4 Het zoutgehalte (elektrische geleidbaarheid EC) voor het water in de regelput voor meetpunten Pb-2 en Pb-5, voor de gehele meetperiode en ingezoomd voor de maand augustus.



Figuur 4.5 Het debiet van 2 regelputten waarop 3 (Pb-2) en 7 (Pb-5) verticale kwelbuizen zijn aangesloten, in liter/dag (boven) en liter/uur (onder)

De afvoer van de kwelvoorziening is sterk gerelateerd aan de stijghoogte, hoe hoger de stijghoogte, hoe groter de afvoer. Dit is goed te zien in Figuur 4.5 waar het debiet een getijdefluctuatie laat zien; hoogtij leidt tot een hogere stijghoogte en tot een hogere afvoer. In de grafiek is te zien dat voor sommige momenten de afvoer zelfs nul wordt (Pb 2 vanaf 7 december). In dit geval is de stijghoogte lager dan het oppervlaktewaterpeil waardoor er mogelijk weer een kleine hoeveelheid water via de verticale kwelbuis het watervoerend pakket in stroomt. Dit terugstromen wordt niet door de debietmeter geregistreerd en de geregistreerde afvoer is dus een overschatting van het werkelijke netto debiet.

De regelput bij Pb-2 (westelijke kwelvoorziening) voert gemiddeld 28.000 liter per dag af en hierop zijn drie verticale kwelbuizen aangesloten. Op de regelput bij Pb-5 (zuidelijke kwelvoorziening) zijn zeven verticale kwelbuizen aangesloten en deze voert gemiddeld 36.000 liter per dag af. Wanneer deze waarden worden geëxtrapoleerd naar de totale kwelvoorziening dan wordt totaal 416 m<sup>3</sup>/dag afgevoerd. Echter, de netto afvoer zal dus minder zijn omdat er ook water terugstroomt.

## 5 Inregeling van de kwelvoorziening

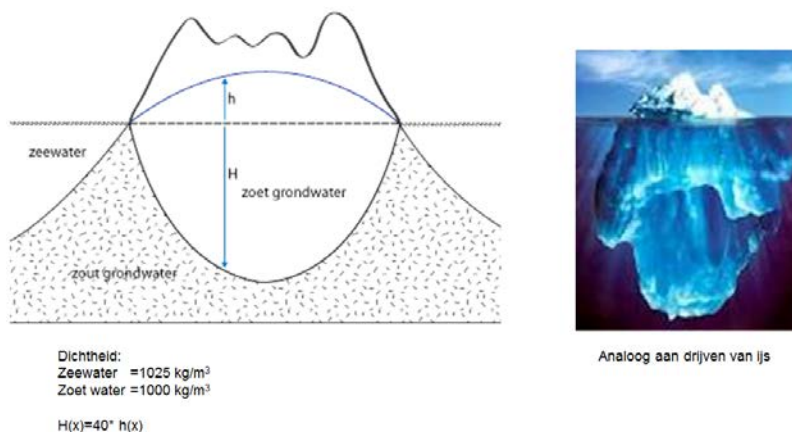
De stijghoogtemetingen en debietmetingen laten zien dat de kwelvoorziening goed werkt. Uit de metingen blijkt dat ter plaatse van de kwelvoorziening de stijghoogte meer kan worden verlaagd dan het effect van het nieuwe getijdegebied (zie Tabel 4.1). Dit biedt perspectief om de zoetwaterbel zelfs wat te laten groeien. Hoe het proces van groeien en krimpen van een zoetwaterbel werkt, wordt geïllustreerd aan de hand van een voorbeeld van het Badon-Ghyben Herzberg principe (zie onderstaande tekstbox). Het voorbeeld laat zien hoe het nieuwe getijdegebied en de kwelvoorziening invloed kan hebben op het groeien en krimpen van de zoetwaterbel.

### Badon-Ghyben Herzberg (BGH) relatie en zoetwaterbel van Kloosterzande

In de onderstaande figuur is een zoetwaterbel onder een eiland in zee te zien. Door de opwaartse druk van het zwaardere zoute water drijft de lichtere zoetwaterbel als het ware in het zoute grondwater, analoog aan het drijven van het lichtere ijs in water. Afhankelijk van de dichtheid van het zoete en zoute water is er een evenwicht tussen het zoete water wat boven de zeespiegel uitsteekt ( $h$ ), aan de bovenkant begrenst door de freatische grondwaterstand, en wat onder de zeespiegel wordt aangetroffen ( $H$ ). De wet van Archimedes is hierop van toepassing waarbij de opwaartse kracht die de zoetwaterbel in het zoute water ondervindt, even groot is als het gewicht van de verplaatst hoeveelheid zout water. Deze wet toepassend en uitgaande van zoetwater met dichtheid  $1000 \text{ kg/m}^3$  en zout water met dichtheid  $1025 \text{ kg/m}^3$ , is de dikte van de zoetwaterbel  $H$  (vanaf zeeniveau) ongeveer 40 keer de opbolling van het freatische grondwater  $h$  ten opzichte van zeeniveau ( $H = 40 \times h$ ). Dit wordt de BGH-relatie genoemd. Hierbij dient te worden opgemerkt dat wordt uitgegaan van ideale, homogene omstandigheden die in werkelijkheid bijna nooit optreden en dat de werkelijke dikte dus zal afwijken van de theoretische dikte volgens de BGH-relatie.

Als we dit voorbeeld toepassen op de zoetwaterbel van Kloosterzande, dan kunnen we zeggen dat de stijghoogte in het zoute deel van het eerste watervoerend pakket analoog is aan de zeespiegel in het voorbeeld.  $h$  is dan gelijk aan de freatische grondwaterstand ten opzichte van deze stijghoogte. Hieruit blijkt dat de dikte van de lens is te beïnvloeden door veranderingen van  $h$  (de freatische grondwaterstand) of veranderingen van de stijghoogte. Bij een gemiddeld hogere freatische grondwaterstand ( $h$ ) zal de zoetwaterlens een nieuwe evenwicht zoeken en groeien, immers de dikte van de lens moet volgens het evenwicht gelijk zijn aan  $41 \times h$ . In de situatie dat de stijghoogte (in het voorbeeld zeeniveau) stijgt en de freatische grondwaterstand blijft gemiddeld op hetzelfde absolute niveau (bijvoorbeeld door drainage), dan zal  $h$  (ten opzichte van de stijghoogte) afnemen met als gevolg dat de dikte van de lens afneemt. Dit is gelijk aan de situatie in Perkpolder zonder kwelvoorziening omdat de ontwikkeling van het getijdegebied leidt tot een gemiddeld hogere stijghoogte. Met de kwelvoorziening proberen we de extra stijging van deze stijghoogte te compenseren. Dit betekent ook dat als we de stijghoogte juist extra zouden verlagen door de kwelvoorziening harder te laten werken (daardoor neemt  $h$  toe ten opzichte van de stijghoogte), we de lens zelfs zouden kunnen laten groeien.

Het groeien en krimpen van de lens is een langzaam proces omdat het hierbij gaat om het daadwerkelijk verplaatsten van water, in tegenstelling tot veranderingen in de stijghoogte die voornamelijk door drukverplaatsing plaatsvinden (vrijwel instantaan). Bij het groeien van een lens gaat het om aanvulling van extra zoetwater. Als daarvoor het natuurlijk jaarlijks neerslagoverschot van bijvoorbeeld  $200 \text{ mm}$  / jaar beschikbaar is, dan zou de lens kunnen groeien met maximaal  $60 \text{ cm}$  per jaar (bij een porositeit van  $1/3$ ). Nu is nooit het totale neerslagoverschot beschikbaar door de efficiënte afvoer via drains en sloten. Echter, wanneer extra water wordt aangevoerd en geïnfilterd, kan de lens veel sneller groeien. Dit test Deltares op Walcheren met de Go-Fresh kreekruuginfiltratieproef (Oude Essink et al., 2014).



Figuur: Een zoetwaterbel onder een eiland in de zee. Volgens het Badon-Ghyben Herzberg principe is in het gegeven voorbeeld de dikte van de zoetwaterbel gelijk aan 41 keer de opbolling van de freatische grondwaterstand boven de zeespiegel (links). Een zoetwaterbel in zout grondwater is analoog aan het drijven van ijs in water (rechts).

De kwelvoorziening heeft twee uiterste standen, (1) dicht of (2) open zonder stuwplankje. Met stuwplankjes in de regelput kan de kwelvoorziening verder worden ingesteld tussen deze 2 uiterste standen. In hoofdstuk 2 is uitgelegd hoe dit werkt.

Uit praktisch oogpunt wat betreft het operationeel beheer van de kwelvoorziening, is het wenselijk om gedurende lange perioden een vast peil in de regelput te hanteren. Dit is ook wat betreft het effect op de zoetwaterbel een prima uitgangspunt. Namelijk, het gaat voor het groeien of krimpen van de zoetwaterbel om de gemiddeld jaarlijkse stijghoogte en niet om dagelijks fluctuaties.

Uit eerdere tests is gebleken dat bij plaatsing van de stuwplankjes in de regelput behoorlijke lekkage optrad waardoor het gewenste peil in de regelput niet kon gehandhaafd worden. Er trad lekkage op tussen de bodem van de regelput en het onderste plankje en tussen de stuwplankjes zelf. Aannemer Van Oord is momenteel bezig dit systeem te optimaliseren. Om lekkage tussen de plankjes onderling te voorkomen, is er voor gekozen om één stuwplankje per gewenst stuwpeil te hanteren. Met twee stuwhoogtes zijn er voldoende mogelijkheden om de kwelvoorziening in te stellen. Op basis van de metingen is gekozen voor een stuwhoogte van -0.60 m NAP en -0.30 m NAP. De instelmogelijkheden voor de regelput worden dan:

- Kwelvoorziening dicht
- Kwelvoorziening open, stuwplankje in regelput: peil = -0.30 m NAP
- Kwelvoorziening open, stuwplankje in regelput: peil = -0.60 m NAP
- Kwelvoorziening open, geen stuwplankje: peil = polderpeil zomer -0.8 m NAP
- Kwelvoorziening open, geen stuwplankje: peil = polderpeil winter -1.1 m NAP

Op basis van de eerste metingen en inzichten in de effecten van het getijdegebied en kwelvoorziening op de stijghoogte, wordt de volgende instelling van de kwelvoorziening voorgesteld:

- Winterperiode: kwelvoorziening helemaal open, zonder stuwplankje
- Zomerperiode: kwelvoorziening helemaal dicht

De zomer- en winterperiode vallen samen met het instellen van het zomer- en winterpeil. Dit is de meest praktische instelling en leidt mogelijk tot het groeien van de lens. In de winterperiode is de stijghoogte namelijk het hoogst en zal de grootste verlaging moeten plaatsvinden. Wanneer de kwelvoorziening dan helemaal wordt opengezet, zal er vermoedelijk meer grondwater worden afgevoerd dan nodig is om het effect van het getijdegebied te compenseren en zou de zoetwaterbel zelfs kunnen groeien. Immers, gedurende de winterperiode is er een neerslagoverschot dat de bel kan aanvullen. Het af te voeren kwelwater is zout maar zal in de winterperiode worden verdund door het neerslagoverschot. Bovendien wordt het oppervlaktewater gedurende de winterperiode niet gebruikt voor beregening. Het dicht zetten van de kwelvoorziening in de zomer heeft dan als voordeel dat er dan geen extra zoutbelasting van het oppervlaktewater optreedt. Daarnaast zal er in de zomer met het dichtzetten van de kwelvoorziening geen extra verlaging van stijghoogte en grondwaterstand plaatsvinden en daardoor geen extra verdroging. Het is theoretisch zelfs mogelijk dat grondwaterstanden in de zomer iets hoger liggen (door de invloed van het getijdegebied) waardoor er mogelijk minder droogteschade optreedt.

Verdere optimalisatie zal in het jaar 2016 moeten plaatsvinden wanneer langere meetreeksen beschikbaar zijn en er tevens nog enkele testen met de kwelvoorziening kunnen worden uitgevoerd (open, dicht en installaties van de nog te vervaardigen stuwplankjes). Belangrijke ondersteuning bieden modelberekeningen waarmee berekend kan worden of de instelling het gewenste directe effect heeft op de stijghoogte (korte termijn) en wat de gevolgen zijn voor de zoetwaterbel op langere termijn (tientallen jaren).

## 6 Conclusies en aanbevelingen

### 6.1 Conclusies

Gedurende het jaar 2015 is de kwelvoorziening gereed gekomen, is het meetnet uitgebreid ten behoeve van de kwelvoorziening en is op 25 juni het nieuwe getijdegebied in werking getreden. Op basis van de meetresultaten kunnen de volgende conclusies worden getrokken.

- Met de uitbreiding van het meetnet rondom de kwelvoorziening voldoet het meetnet aan alle monitoringdoelen (vervolgmonitoring effecten, inregelen kwelvoorziening, monitoring werking kwelvoorziening). Er is geen aanleiding om de monitoringcampagne te veranderen (intensiveren, extensiveren, uitbreiden of inkrimpen).
- Effecten van het nieuwe getijdegebied manifesteren zich duidelijk in de stijghoogte op de rand van het landbouwgebied (ter hoogte van de kwelvoorziening) en voor enkele meetpunten in het landbouwgebied op korte afstand van het getijdegebied (< 100 m). Ook zijn directe effecten op de freatische grondwaterstand zichtbaar. Er dient te worden opgemerkt dat het hier directe zichtbare effecten betreffen, langere termijn effecten die op grotere afstand van het getijdegebied plaatsvinden, kunnen niet uit de huidige meetreeksen worden gehaald. Daarvoor zijn langere meetreeksen nodig die met behulp van tijdreeksanalyse moeten worden geanalyseerd.
- De SlimFlex-metingen laten geen veranderingen zien in het zoet-zout grensvlak als gevolg van de het nieuwe getijdegebied. Er kunnen verschillende meetfouten optreden bij het uitvoeren van de SlimFlex-metingen en daar is waar mogelijk voor gecorrigeerd.
- De metingen van de stijghoogte tonen aan dat de kwelvoorziening goed werkt. De stijghoogte kan ter plaatse van de kwelvoorziening meer worden verlaagd dan nodig is, waardoor mogelijk de zoetwaterbel kan groeien.
- Op basis van de eerste metingen en testen met de kwelvoorziening is een eerste opzet voor de instelling van de kwelvoorziening gemaakt. In 2016 zal deze instelling verder geoptimaliseerd moeten worden met een goede onderbouwing (zie aanbeveling).
- Met de eerste versie stuwplankjes kon door lekkage het gewenste peil in de regelput niet worden gehandhaafd. Een tweede versie wordt momenteel vervaardigd door Van Oord.

## 6.2 Aanbevelingen

- Meetpunt EC-102 (diep) is vermoedelijk iets onder maaiveld afgebroken waardoor de meetreeks vreemde waarden vertoont. Dit meetpunt dient zo snel mogelijk hersteld te worden.
- Meetreeks EC-106 (diep) vertoont een piekerig verloop en wijkt daarmee af van alle andere diepe stijghoogtemeetpunten. Mogelijk is de Diver hiervan de oorzaak en er wordt aanbevolen tijdelijk een 2<sup>e</sup> Diver erbij te hangen om dit vast te stellen en dan eventueel te vervangen.
- Voor enkele peilbuizen is de NAP-hoogte niet bekend (o.a. door herstel / verlenging van bestaande peilbuizen). Voor deze meetpunten dient de NAP-hoogte te worden ingemeten met DGPS.
- Inspectie van het meetnet dient regelmatig plaats te vinden om tijdig kapotte meetpunten te signaleren. Herstelwerkzaamheden dienen dan zo snel mogelijk plaats te vinden.
- De instelling van de kwelvoorziening dient in het jaar 2016 verder geoptimaliseerd te worden. Hiervoor zijn de volgende acties nodig:
  - In de winterperiode de kwelvoorziening 1 maand dicht zetten zodat effecten in de winterperiode zichtbaar worden;
  - Effect van nieuwe waterdichte stuwplankjes testen;
  - Uitvoeren van modelberekeningen om effecten van verschillende instellingen te evalueren voor zowel korte termijn effecten op de stijghoogte als lange termijn effecten op de stijghoogte en zoetwaterbel.
- Tijdreeksanalyse op meetreeksen is nodig om niet-direct zichtbare effecten uit de reeks te kunnen filteren. De vervaardigde tijdreeksmodellen kunnen steeds opnieuw worden gebruikt om effecten uit de steeds langer wordende tijdreeksen te analyseren.

## 7 Literatuur

Buma, 2011. Plan Perkpolder. Nulmeting grondwater. Rapport, referentie 12017872-000-BGS-0005.

Buma, 2014. Nulmeting grondwater Perkpolder. Eindrapport. Deltares-rapport 1205442-000-BGS-0010.

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, 198 p.

De Louw, 2014a. Monitoring protocol kwelvoorziening Perkpolder. Groeidocument – 3 oktober 2014. Deltares-rapport 1209917-000-BGS-0004.

De Louw, 2014b. Second opinion kwelvoorziening Perkpolder. Deltares-rapport 1209917-000-BGS-0003.

Oude Essink, G.H.P., van Baaren, E.S., Zuurbier, K.G., Velstra, J., Veraart, J., Brouwer, W., Faneca Sánchez, M., Pauw, P.S., de Louw, P.G.B., Vreke, J., Schoevers, M., 2014. GO-FRESH: Valorisatie kansrijke oplossingen voor een robuuste zoetwatervoorziening, KvK 151/2014, ISBN EAN 978-94-92100-12-2, 84 p.

Pauw, P.S. (2015). Field and model investigations of freshwater lenses in coastal aquifers. Academisch proefschrift, Wageningen University, ISBN/EAN 9789462572928, 158 p.

Pauw, P.S., Van Baaren, E.S., Visser, M. De Louw, P.G.B., Oude Essink, G.H.P., 2015, Increasing a freshwater lens below a creek ridge using a controlled artificial recharge and drainage system: a case study in the Netherlands, Hydrogeology Journal. doi: 10.1007/s10040-015-1264-z.

Royal Haskoning, 2012. Afweging varianten kwelvoorziening. Notitie, referentie 9T9564.F0/N0004/LMOY/NTEK/Rott. Auteurs: Leslie Mooyaart en Leon Brouwer.

Royal Haskoning, 2012. Kwelvoorziening Perkpolder. Toelichting op ontwerp diepdrainage. Conceptrapport, referentie 9T9564.F0/R0001/903703/Rott. Auteurs: Leslie Mooyaart en Leon Brouwer.

Witteveen+Bos, 2010. Analyse varianten watersysteem Perkpolder. Rapport, referentie MDB221-11/boeg3/009.

Witteveen+Bos & Royal Haskoning, 2010. Geohydrologisch effect omputten oostelijke Perkpolder. Rapport, referentie MDB221-16/abdm/008.



## A Gegevens van meetpunten en monitoringfrequentie

In onderstaande tabel staan enkele gegevens van de meetpunten en de frequentie van monitoring.

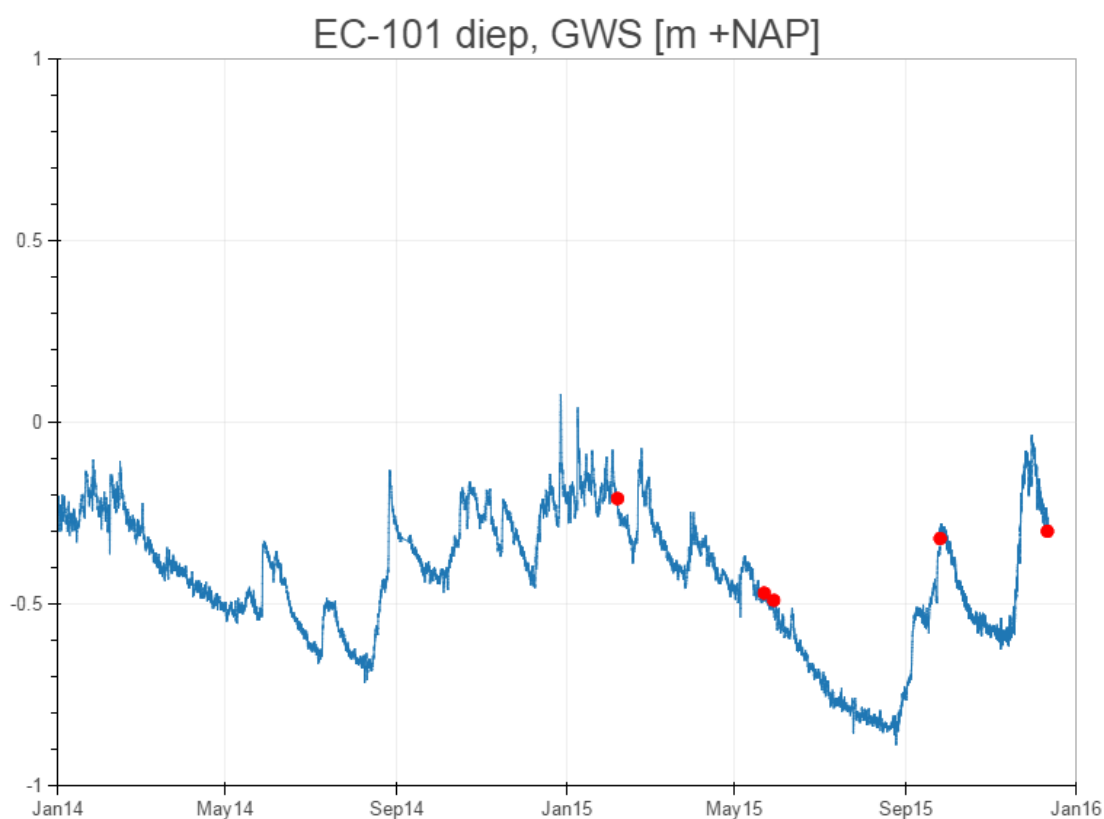
	Onderkant	Eind-	Diver-nr dec 2015	Bovenkant	Maaiveld-	Stijghoogte		Zoet-zout	Kwelvoorziening		
	filter	diepte		peilbuis	hoogte	Frequentie	Handmeting	grensvlak	Debiet	EC	Peil
	m-mv	m-mv		m NAP	m NAP	Diver	en uitlezen	SlimFlex	regelput	regelput	regelput
EC-101 ondiep	4.5	4.5	geen	?	0.80		kwartaal				
EC-101 diep	6.0	12.0	D7175	?	0.80	ieder uur	kwartaal	jaarlijks			
EC-102 ondiep	4.5	4.5	H2437	?	0.23	ieder uur	kwartaal				
EC-102 diep	9.0	10.0	D7158	?	0.23	ieder uur	kwartaal	jaarlijks			
EC-106 diep	8.5	20.0	D7174	1.62	1.15	ieder uur	kwartaal	jaarlijks			
EC-107 diep	10.0	12.0	J1328	1.18	0.77	ieder uur	kwartaal	jaarlijks			
EC-111 ondiep	4.5	4.5	J2695	1.43	1.08	ieder uur	kwartaal				
EC-111 diep	9.0	11.0	G6197	1.57	1.08	ieder uur	kwartaal	jaarlijks			
EC-118 ondiep	4.5	4.5	geen	?	0.90		kwartaal				
EC-118 diep	11.0	11.0	D7182	1.51	0.90	ieder uur	kwartaal	jaarlijks			
EC-119 ondiep	4.5	4.5	geen	?	1.01		kwartaal				
EC-119 diep	12.0	12.0	D7173	1.47	1.01	ieder uur	kwartaal	jaarlijks			
EC-121 diep	~10.0	~10.0	D7183	0.66	0.66	ieder uur	kwartaal	jaarlijks			
Kalverdijk 3	3.2	3.2	S7119	1.55	1.23	ieder uur	kwartaal				
Walsoorden-ondiep	3.0	3.0	T1551	2.03	1.50	ieder uur	kwartaal				
Walsoorden-diep	10.0	14.0	T1549	2.01	1.52	ieder uur	kwartaal	jaarlijks			
pb 1a	12.0	12.0	U1646	0.52	0.45	ieder uur	kwartaal				
pb 1b	12.0	12.0	geen	0.54	0.39		kwartaal				
pb 2a-laag	8.0	8.0	geen	0.34	0.22		kwartaal				
<b>pb 2a-midden</b>	12.0	12.0	U1797	0.31	0.22	<b>ieder uur</b>	kwartaal	jaarlijks			
pb 2a-hoog	18.0	18.0	geen	0.20	0.22		kwartaal				
<b>pb 2b</b>	12.0	12.0	U1813	0.13	0.06	<b>ieder uur</b>	kwartaal				
pb 3a	12.0	12.0	U1817	0.94	0.89	ieder uur	kwartaal				
pb 3b	12.0	12.0	geen	0.98	0.80		kwartaal				
pb 4a	12.0	12.0	U1801	0.26	0.26	ieder uur	kwartaal	jaarlijks			
pb 4b	12.0	12.0	geen	0.30	0.20		kwartaal				
pb 5a-laag	8.0	8.0	geen	0.87	0.70		kwartaal	jaarlijks			
<b>pb 5a-midden</b>	12.0	12.0	T1540	0.83	0.70	<b>ieder uur</b>	kwartaal				
pb 5a-hoog	18.0	18.0	geen	0.78	0.70		kwartaal				
<b>pb 5b</b>	12.0	12.0	T1547	0.83	0.51	<b>ieder uur</b>	kwartaal				
pb 6a	12.0	12.0	T1541	0.74	0.66	ieder uur	kwartaal				
pb 6b	12.0	12.0	geen	0.81	0.54		kwartaal				
<b>Regelput bij Pb 2</b>									<b>ieder uur</b>	<b>ieder uur</b>	<b>ieder uur</b>
<b>Regelput bij Pb 5</b>									<b>ieder uur</b>	<b>ieder uur</b>	<b>ieder uur</b>
<p>Opm1. Voor een aantal meetpunt (aangegeven met ?) is de NAP-hoogte niet exact bekend ivm verlengen peilbuis.  Voor deze meetpunten dient een nieuwe NAP-meting te worden gedaan</p> <p>Opm2. De vetgedrukte meetpunten zijn uitgerust met een telemetrisch systeem voor verzenden van de meetdata.</p>											

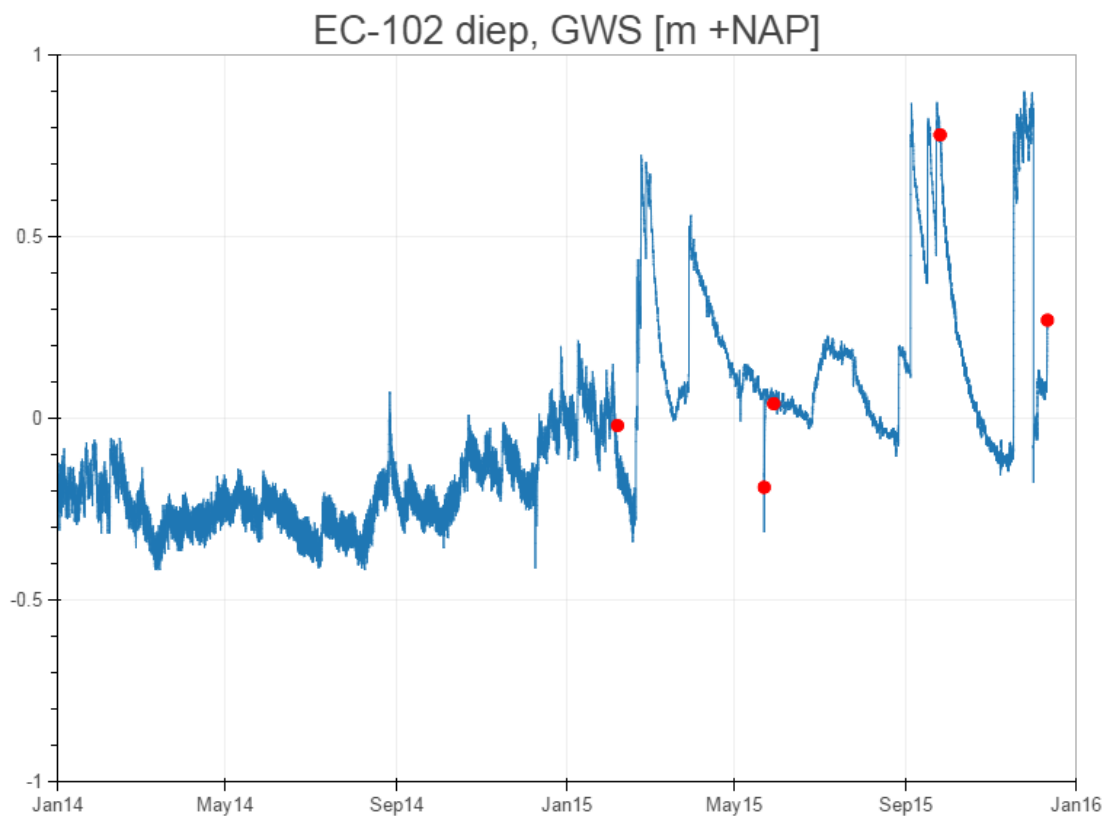
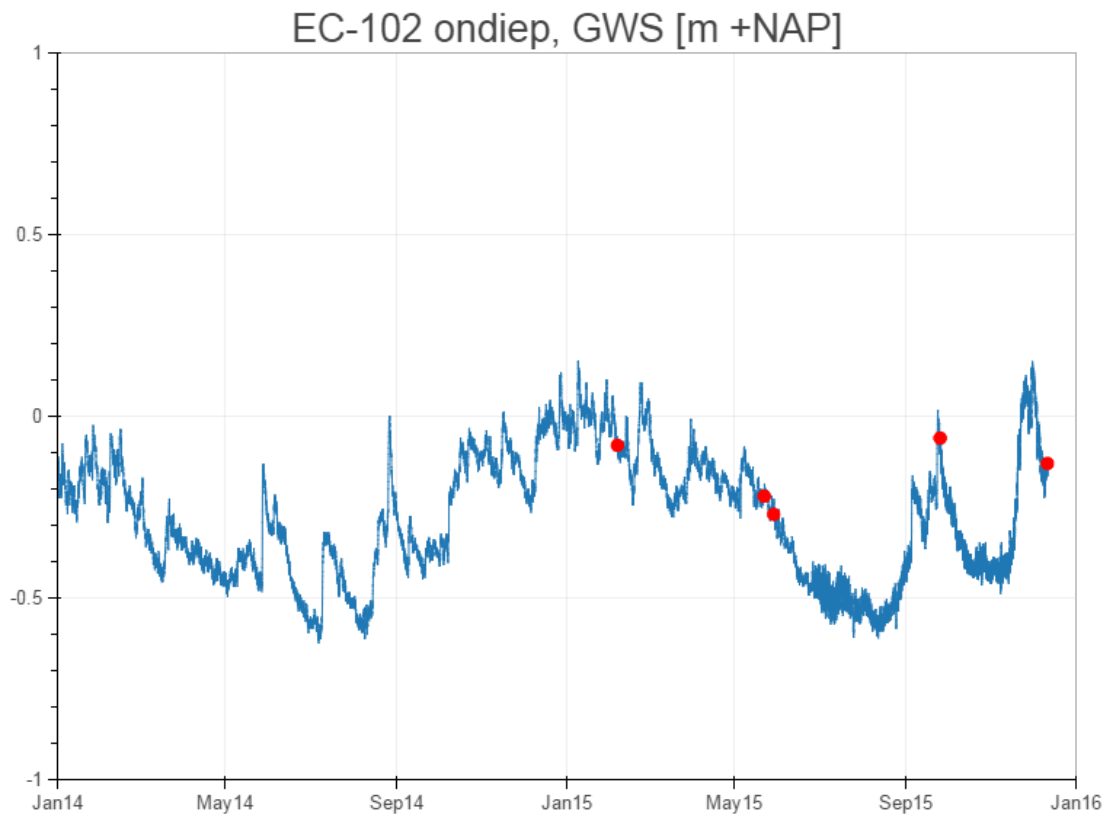
## B Stijghoogtemetingen

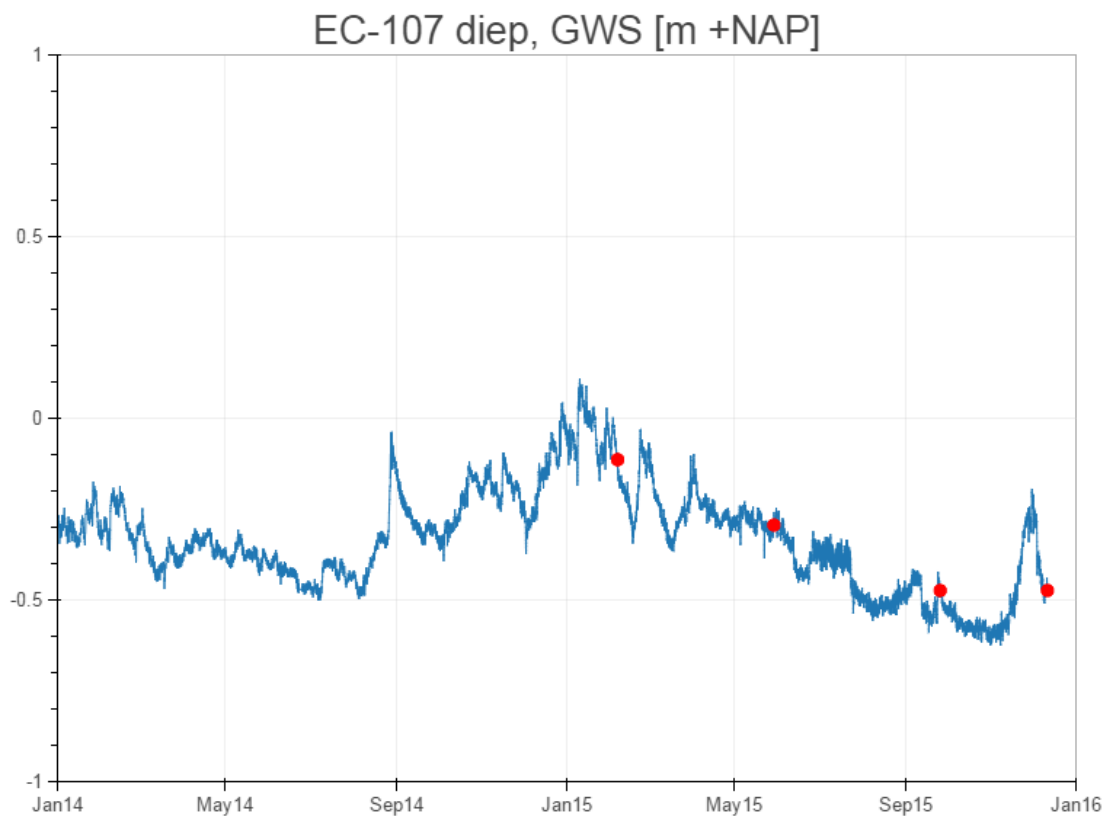
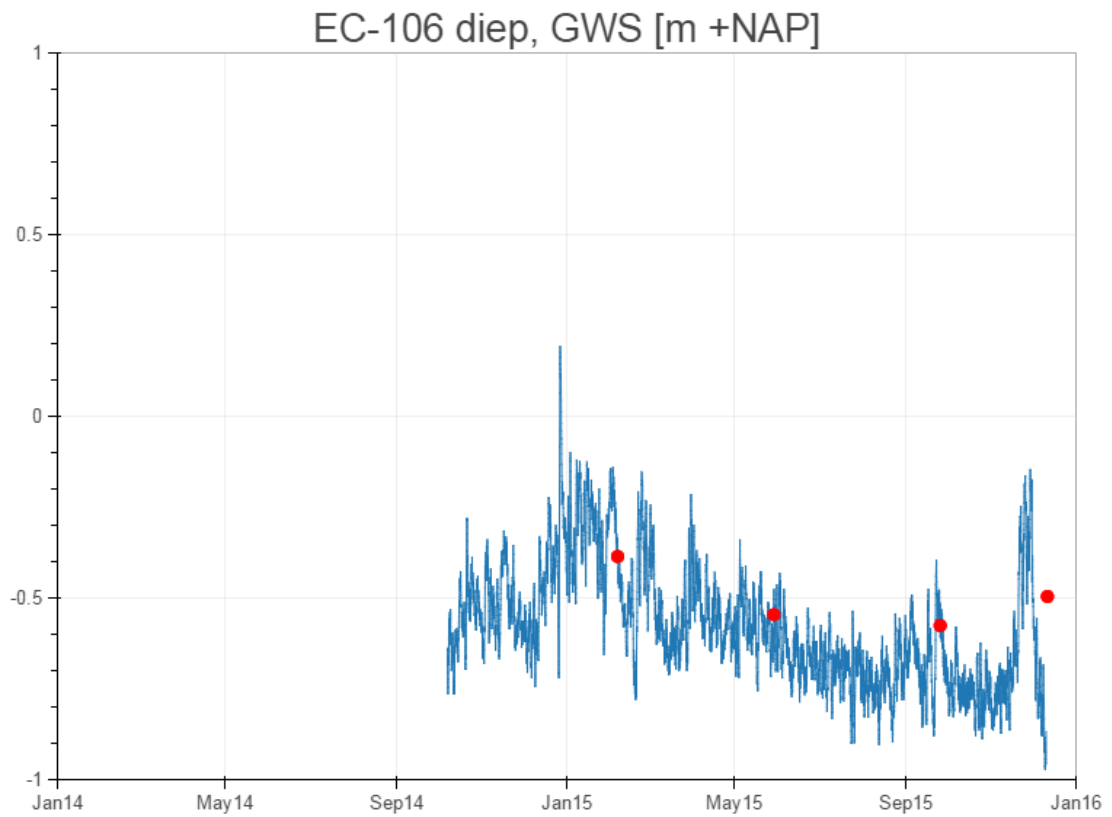
In deze bijlage staan alle meetreeksen weergegeven van de meetpunten uitgerust met een automatische drukopnemer ('Diver'). De rode punten geven de handmetingen aan.

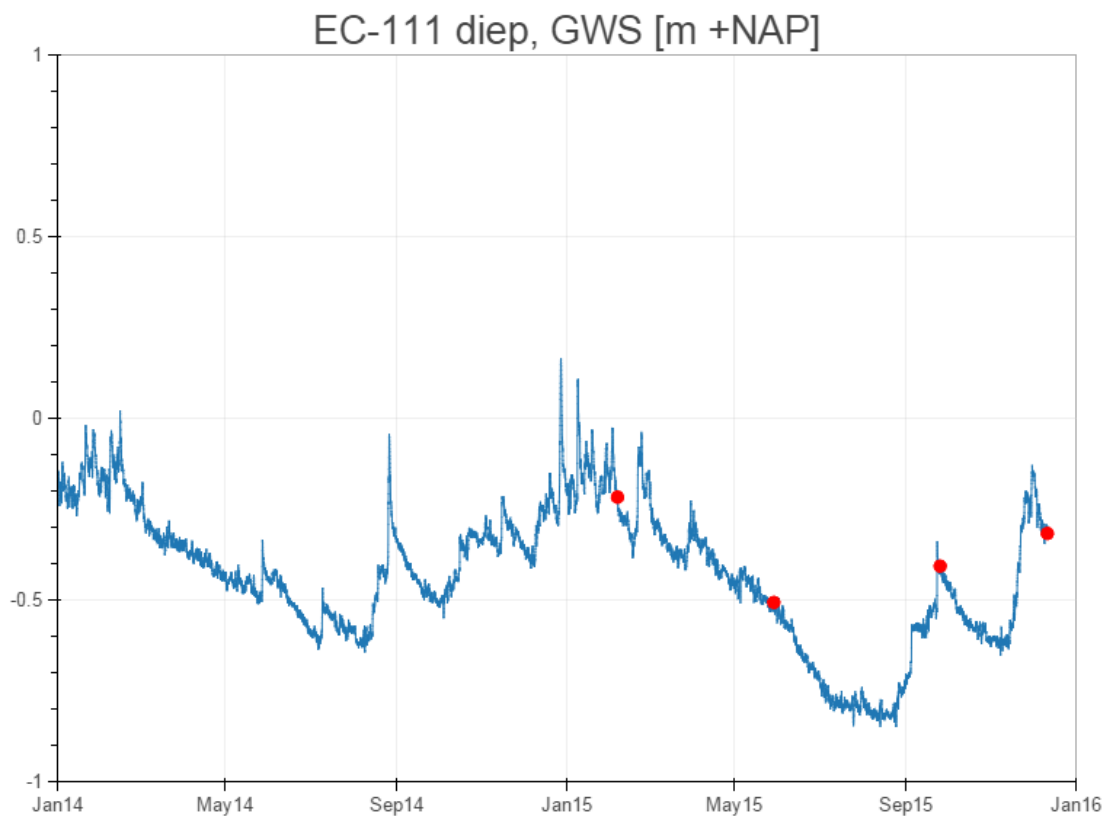
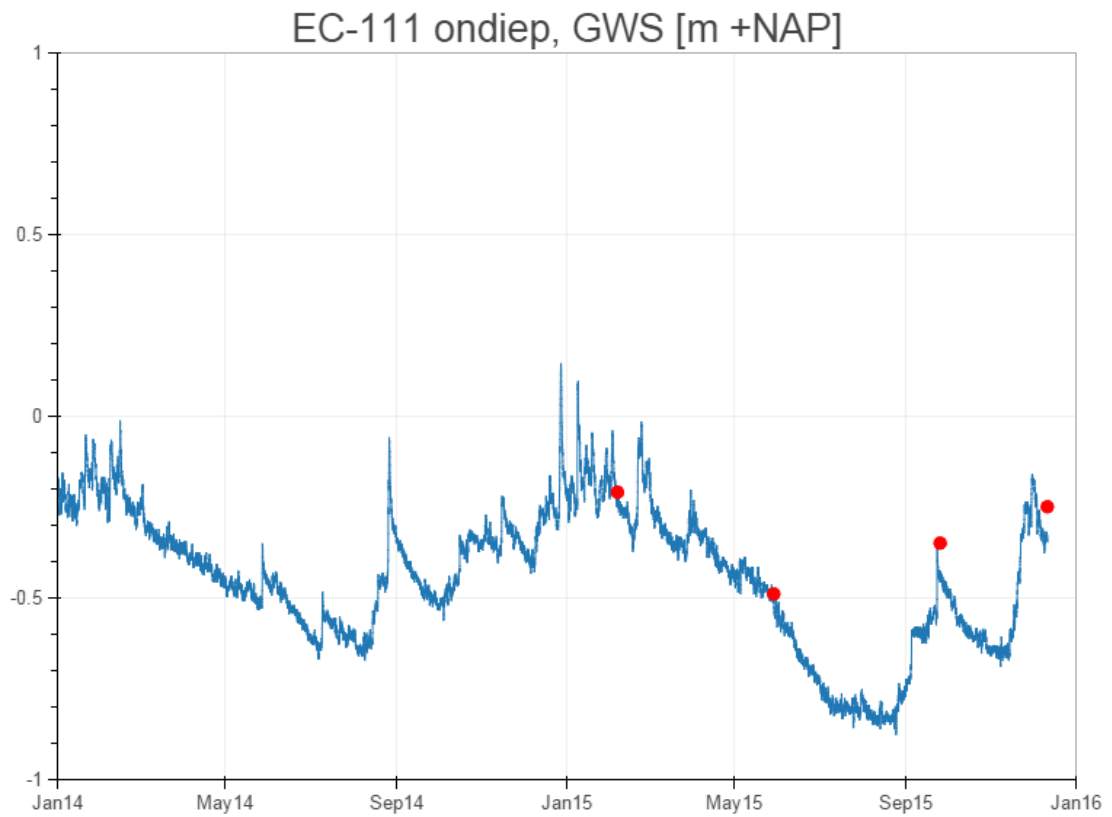
Tevens zijn enkele grafieken weergegeven waarin de meetreeksen van enkele meetpunten zijn gecombineerd.

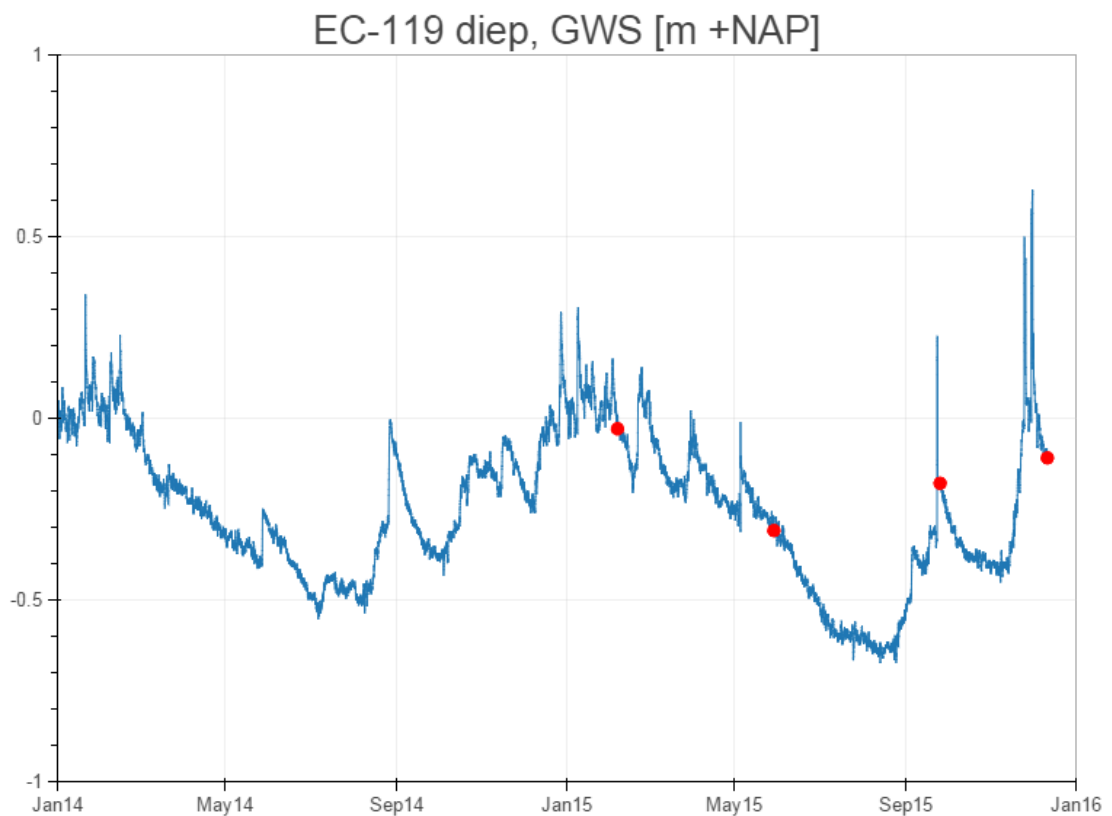
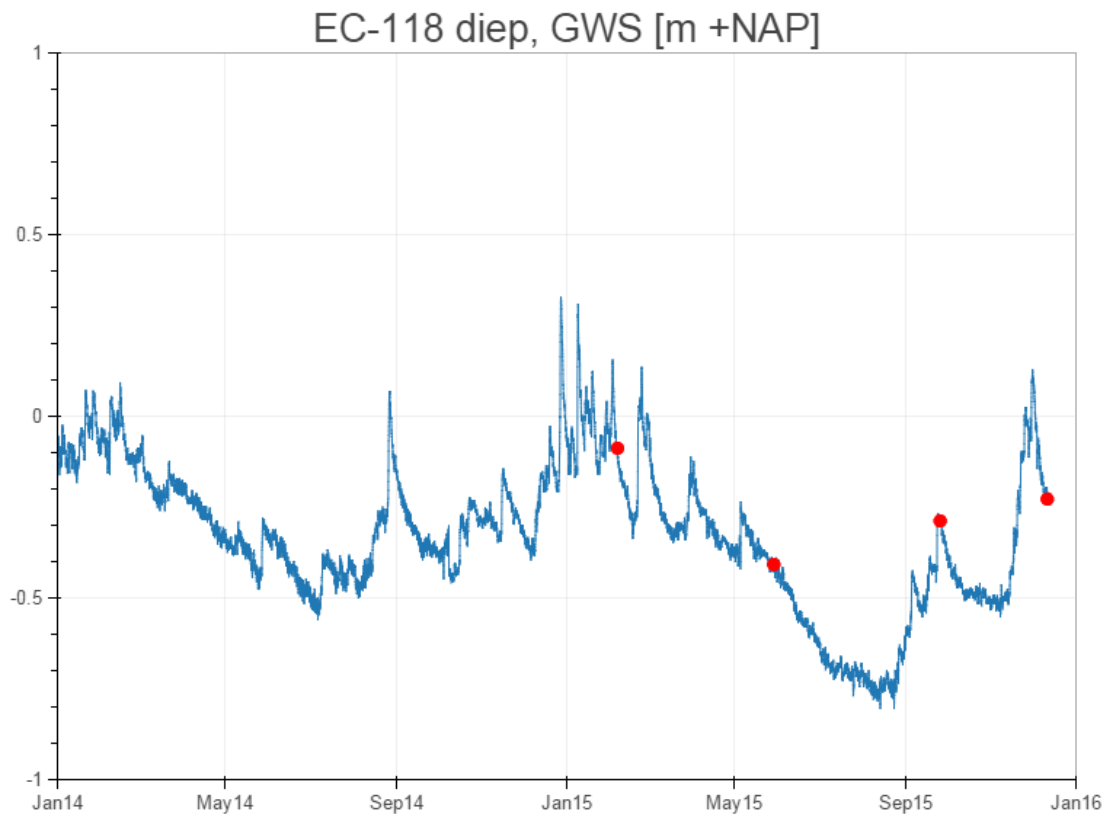
De meetpunten aangeduid met 2-2EC en 5-5EC geven het peil in de regelput aan bij de meetpunten Pb2 en Pb5.

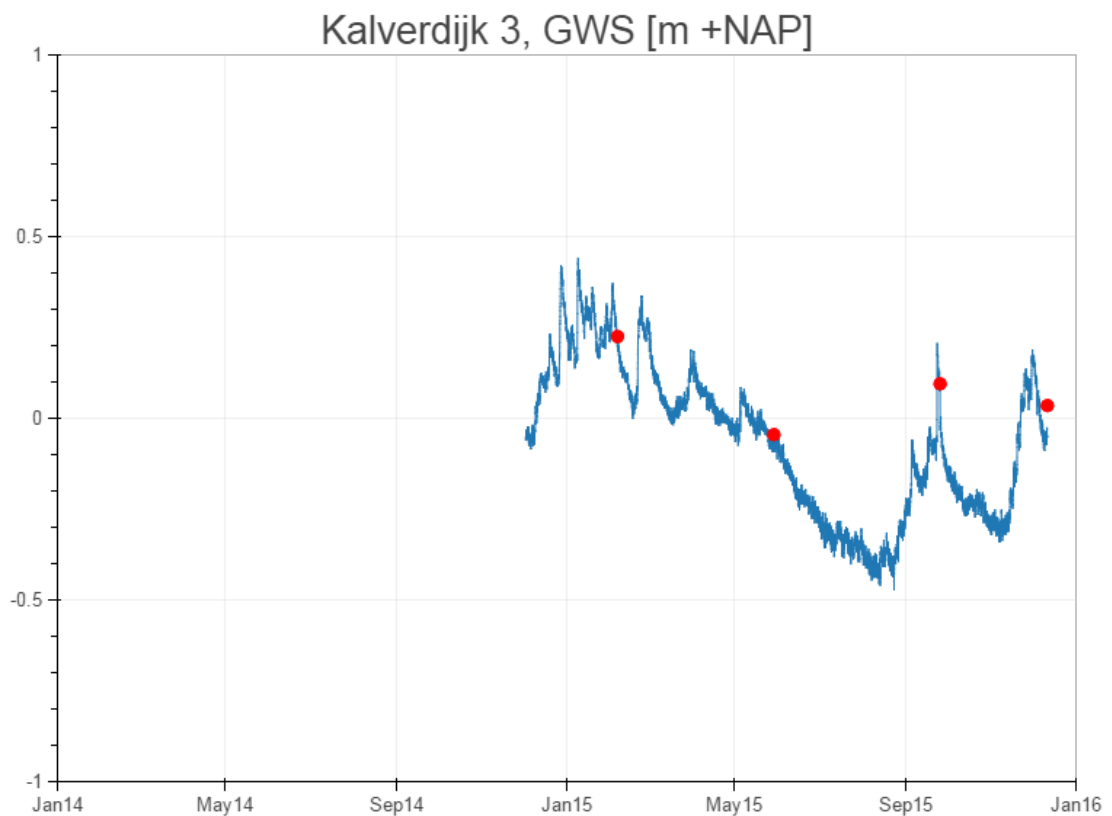
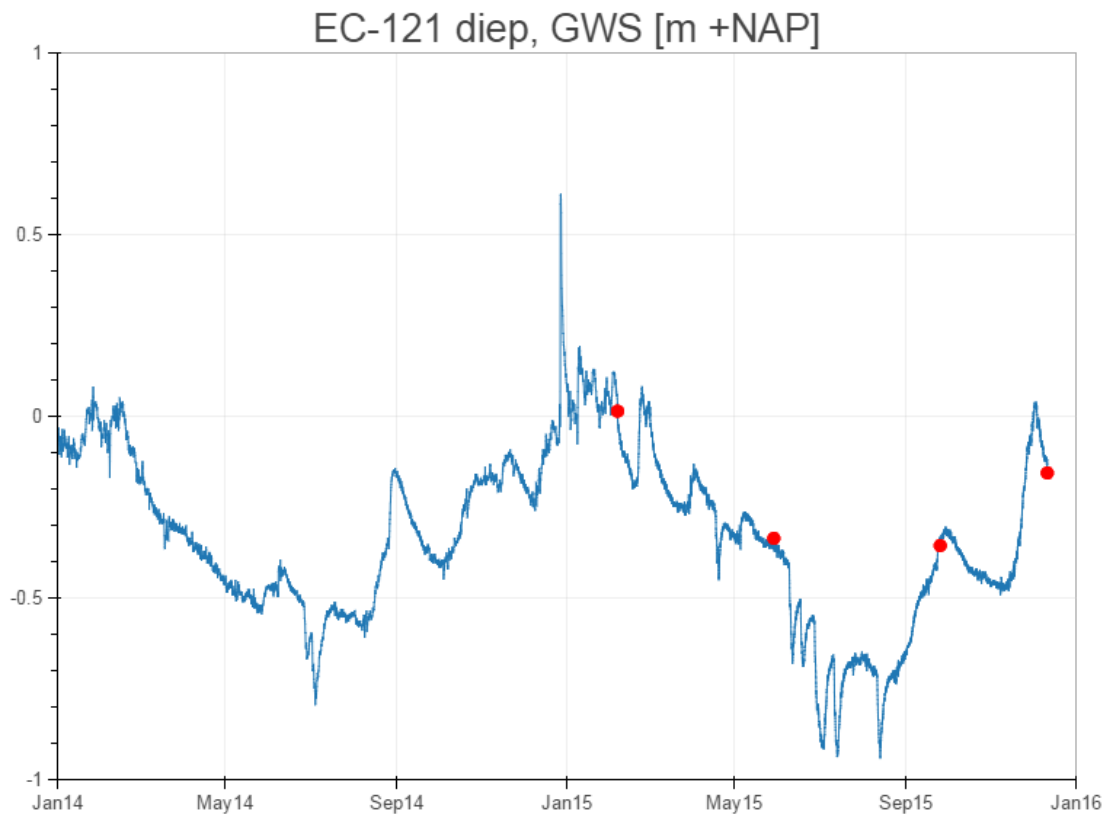


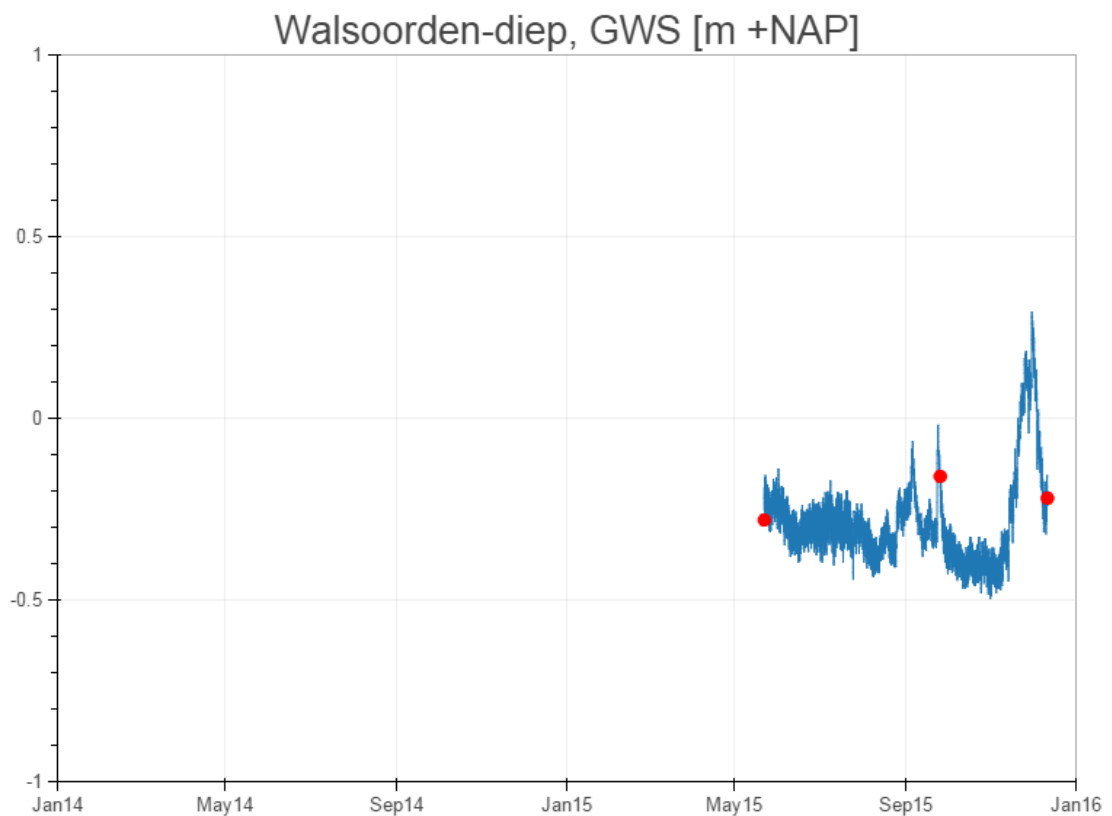
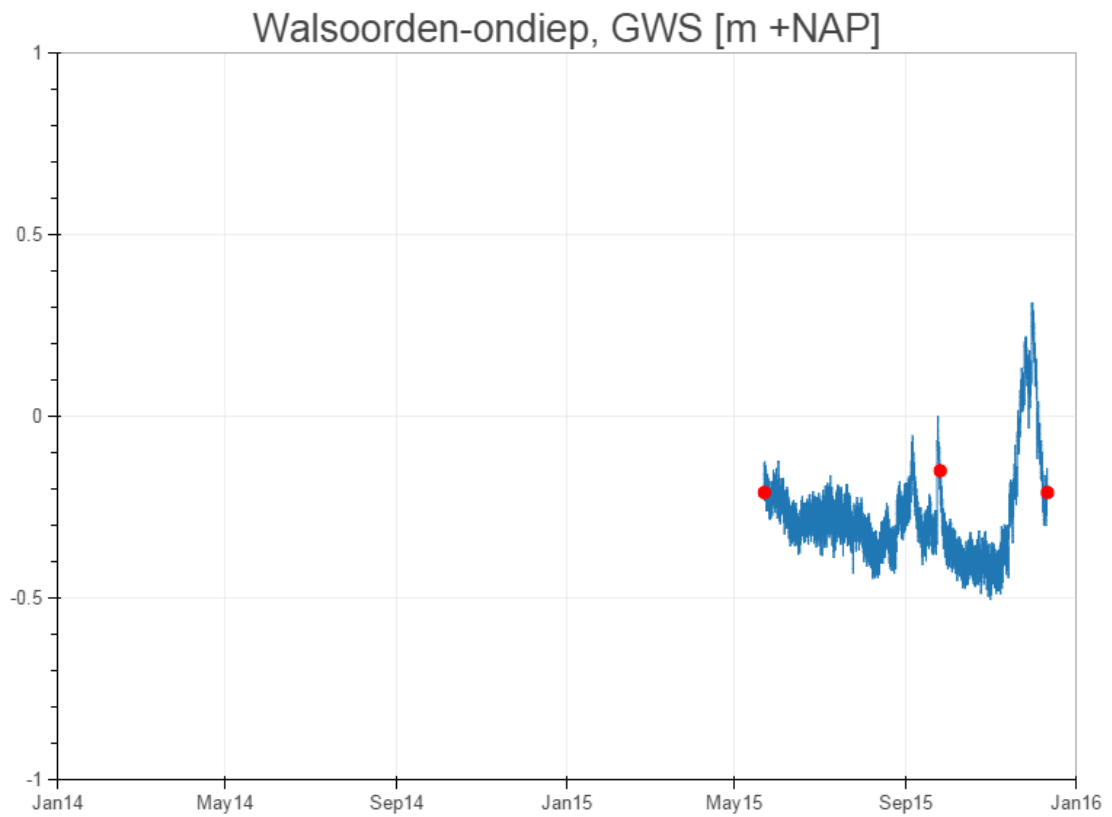




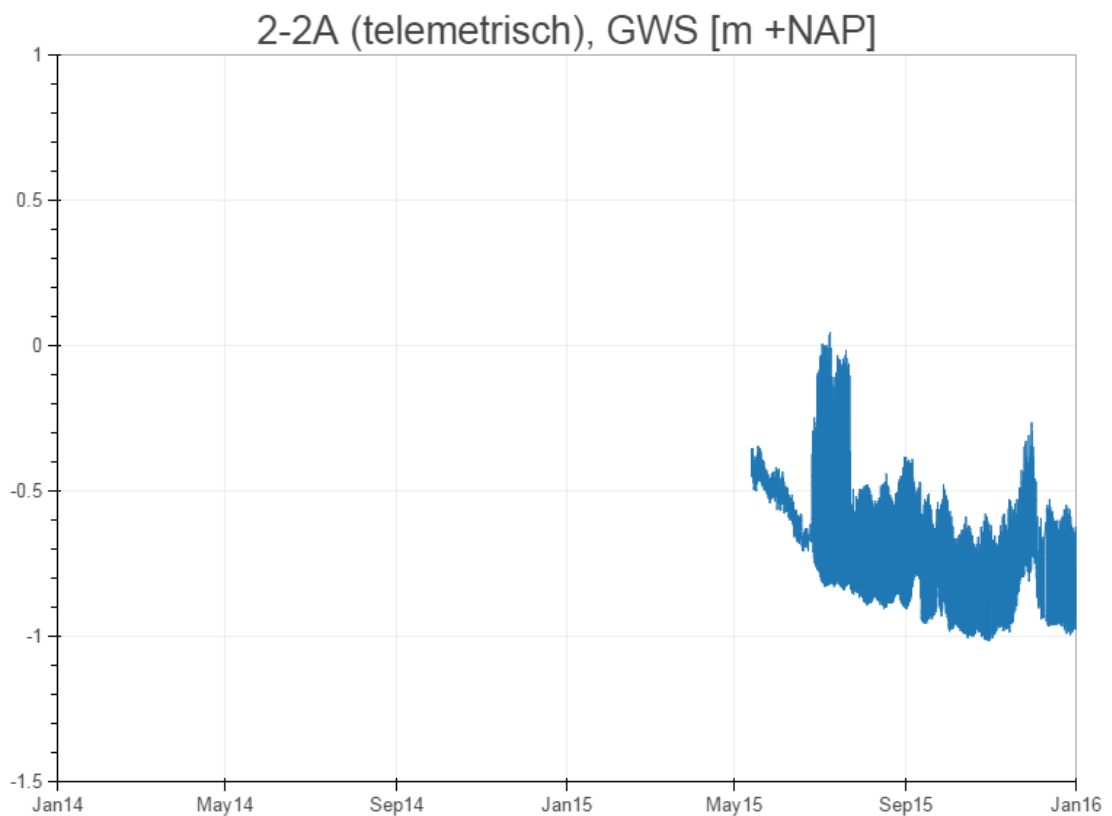
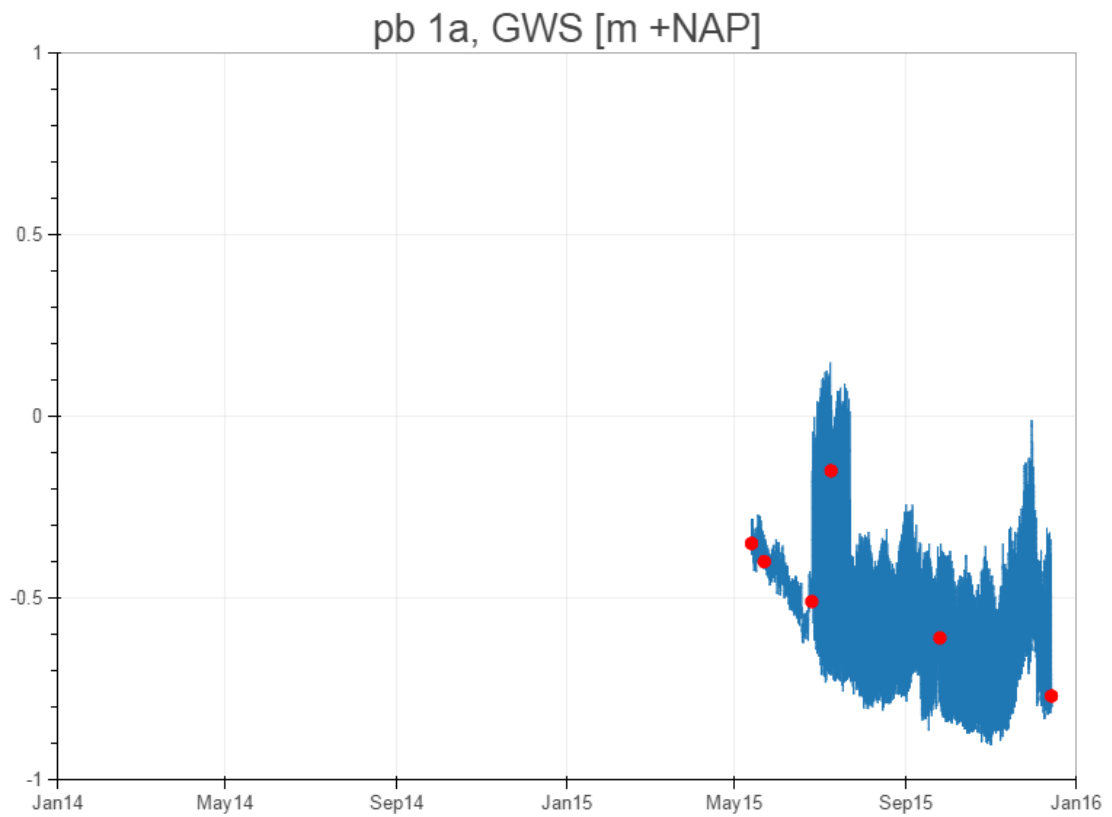


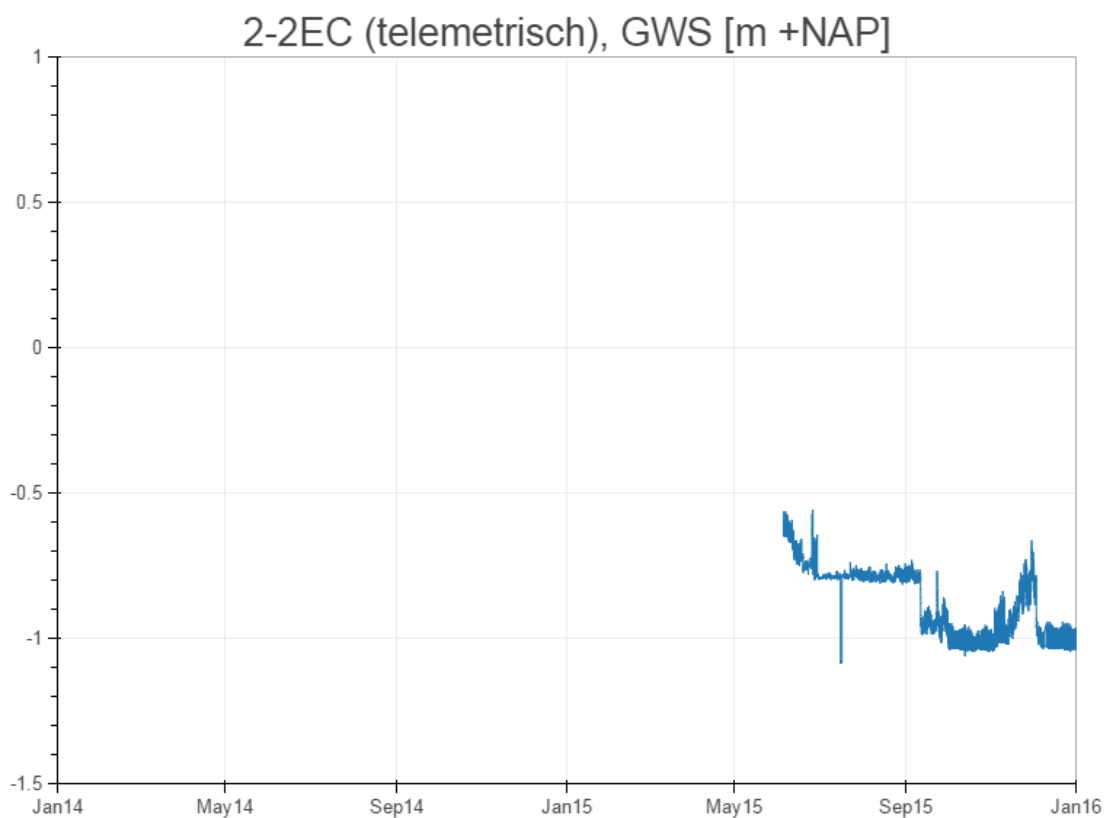
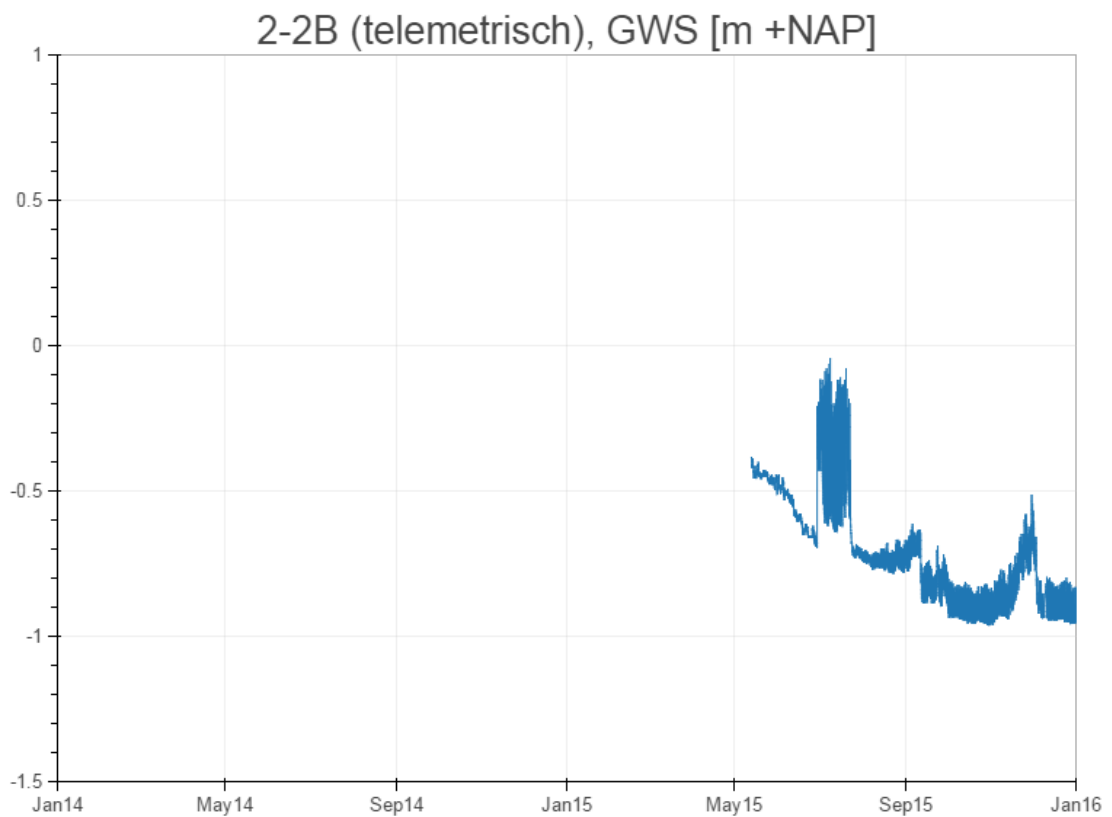


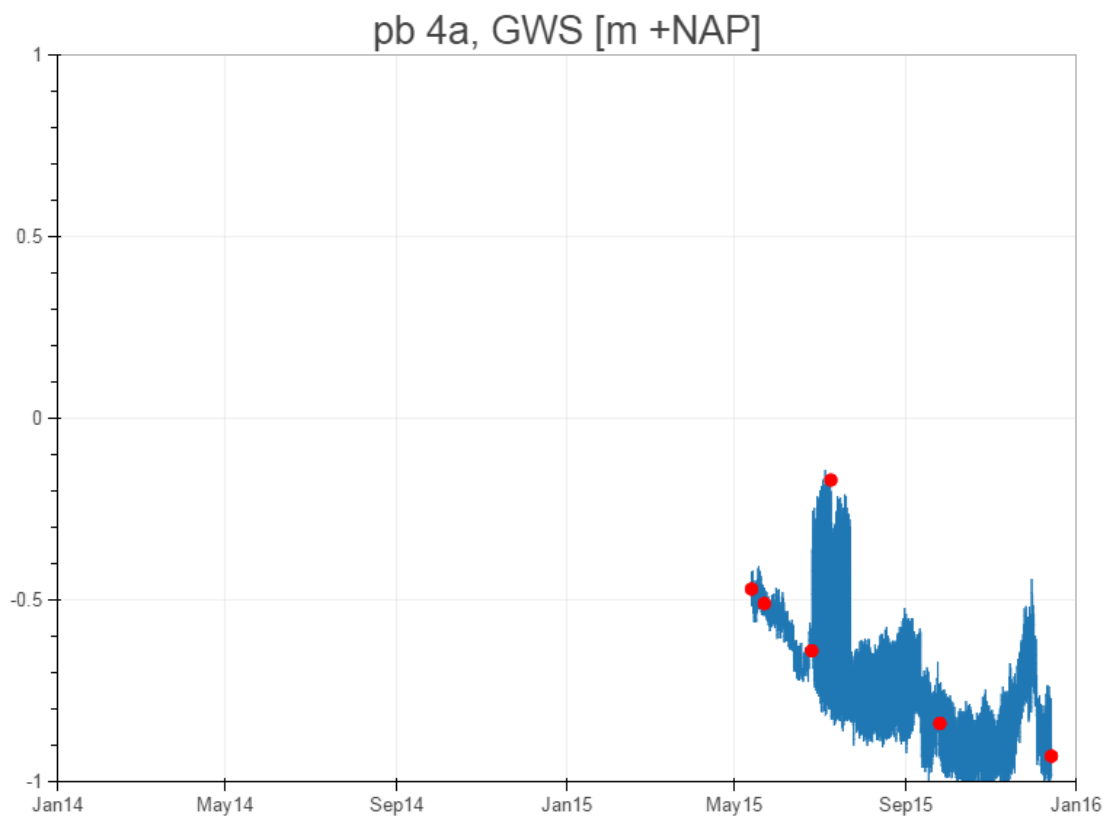
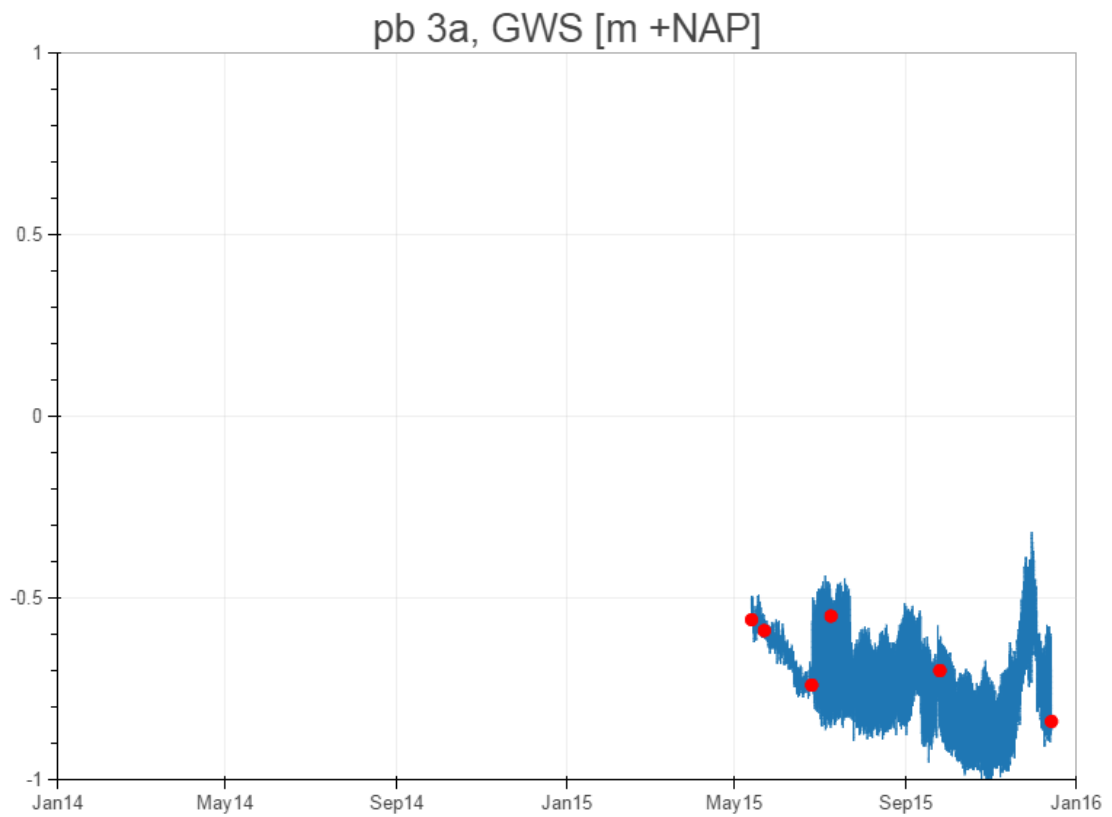


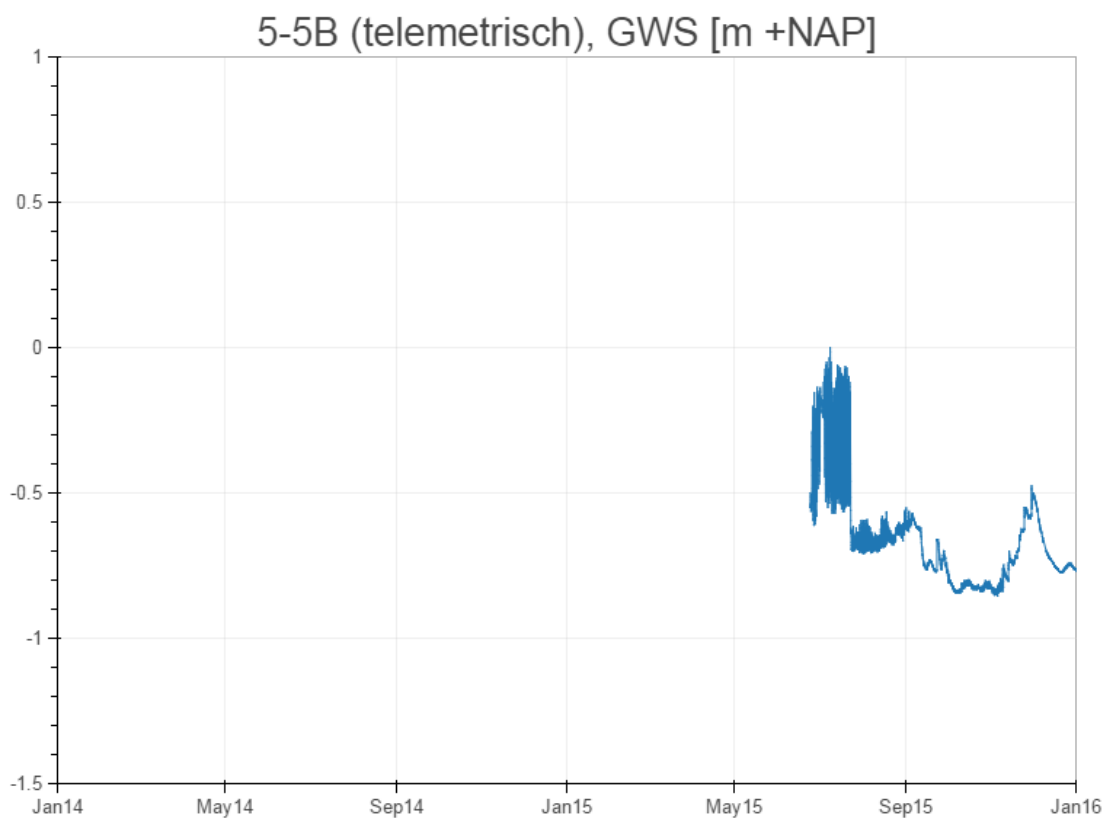
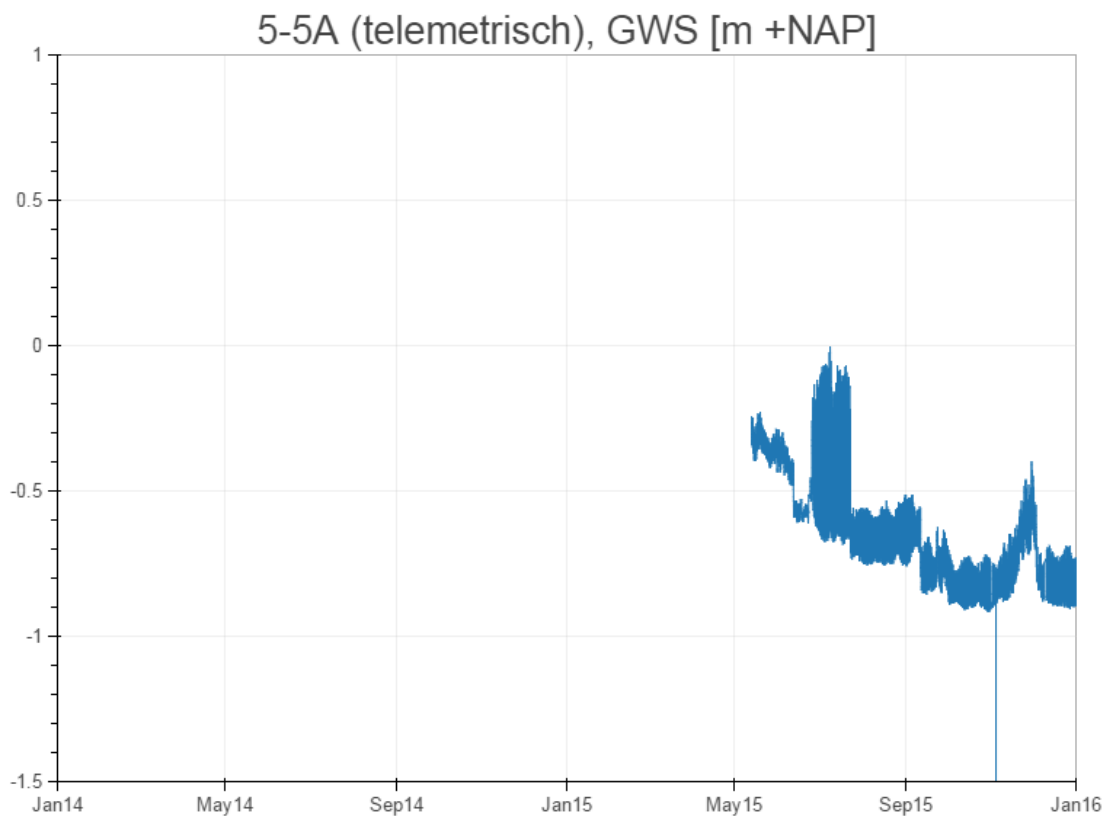


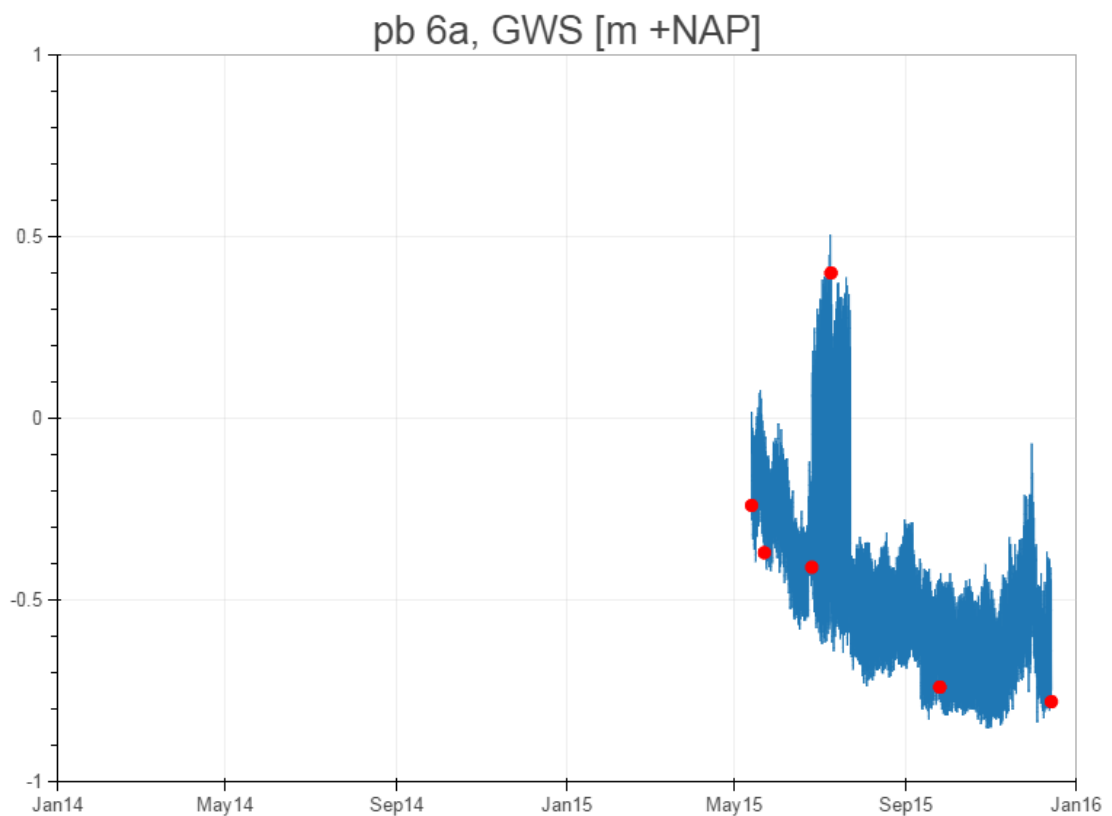
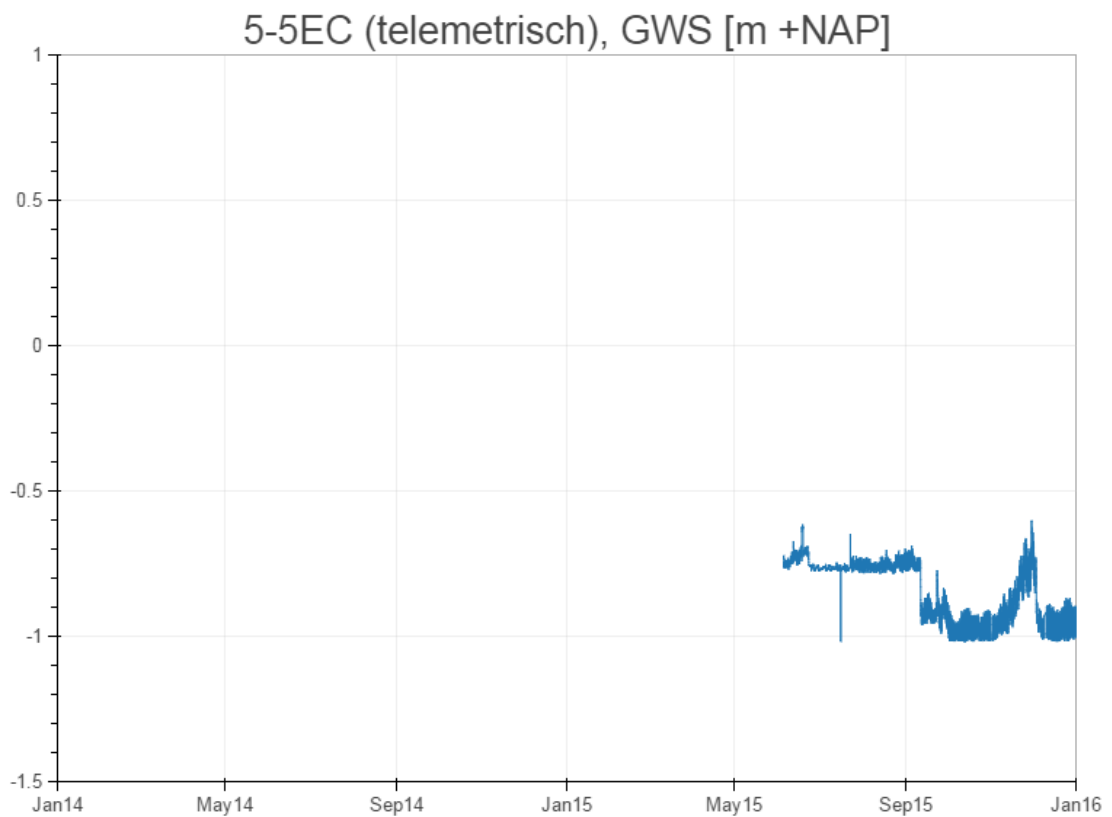


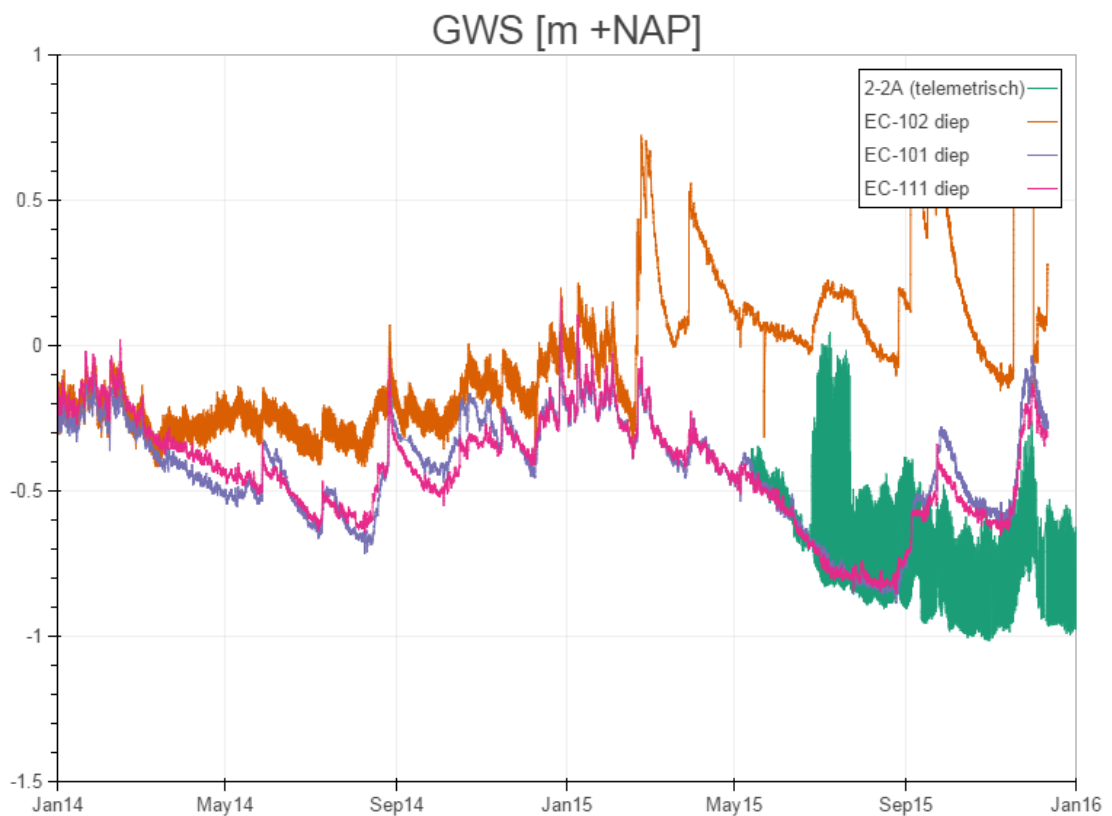
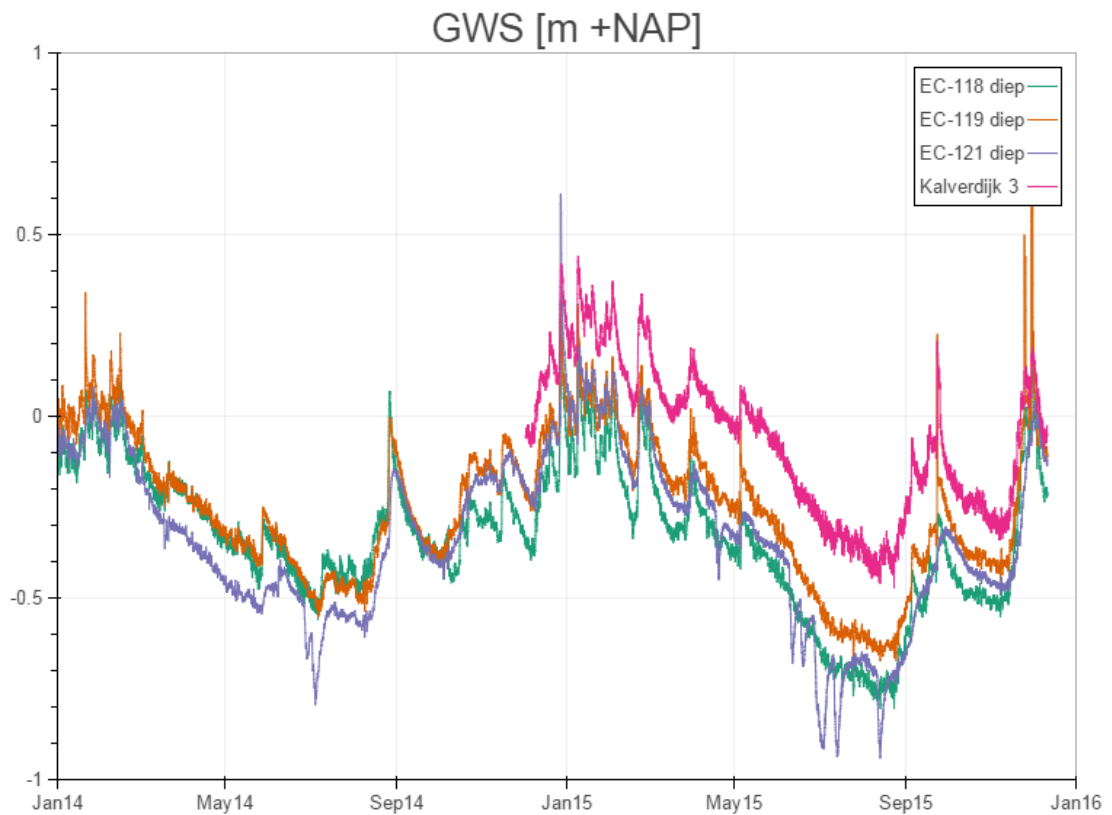


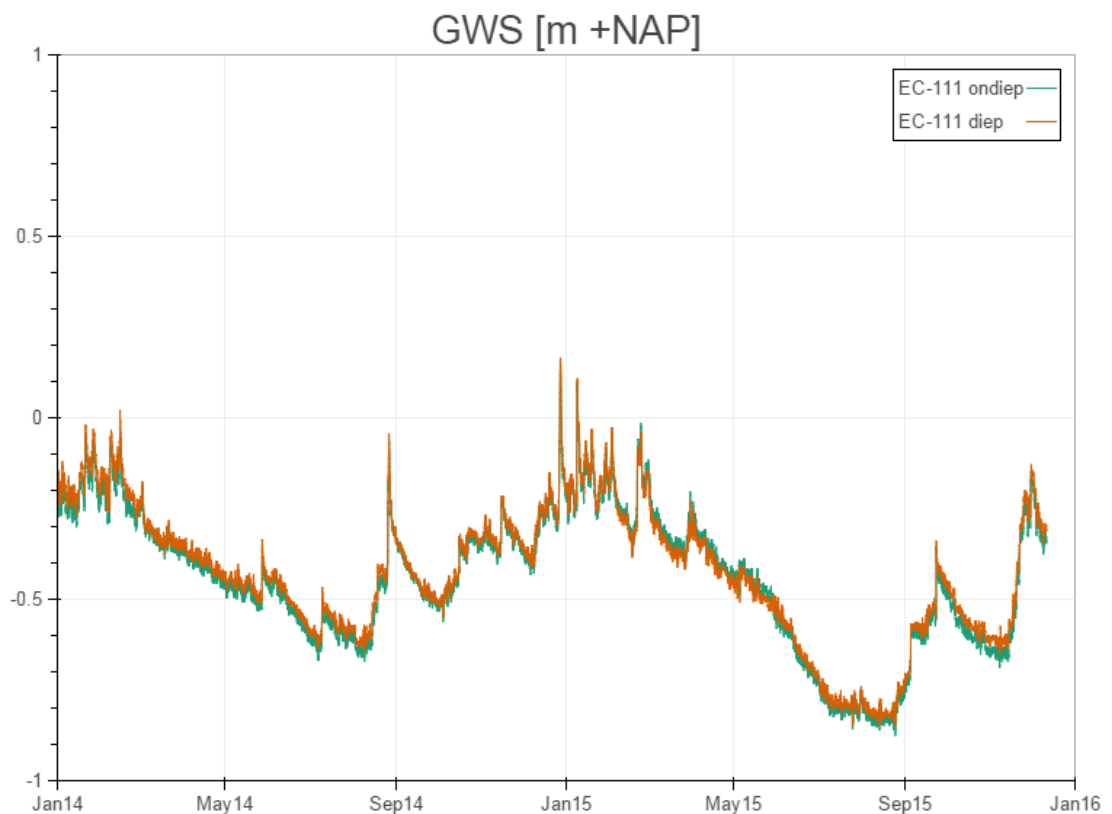
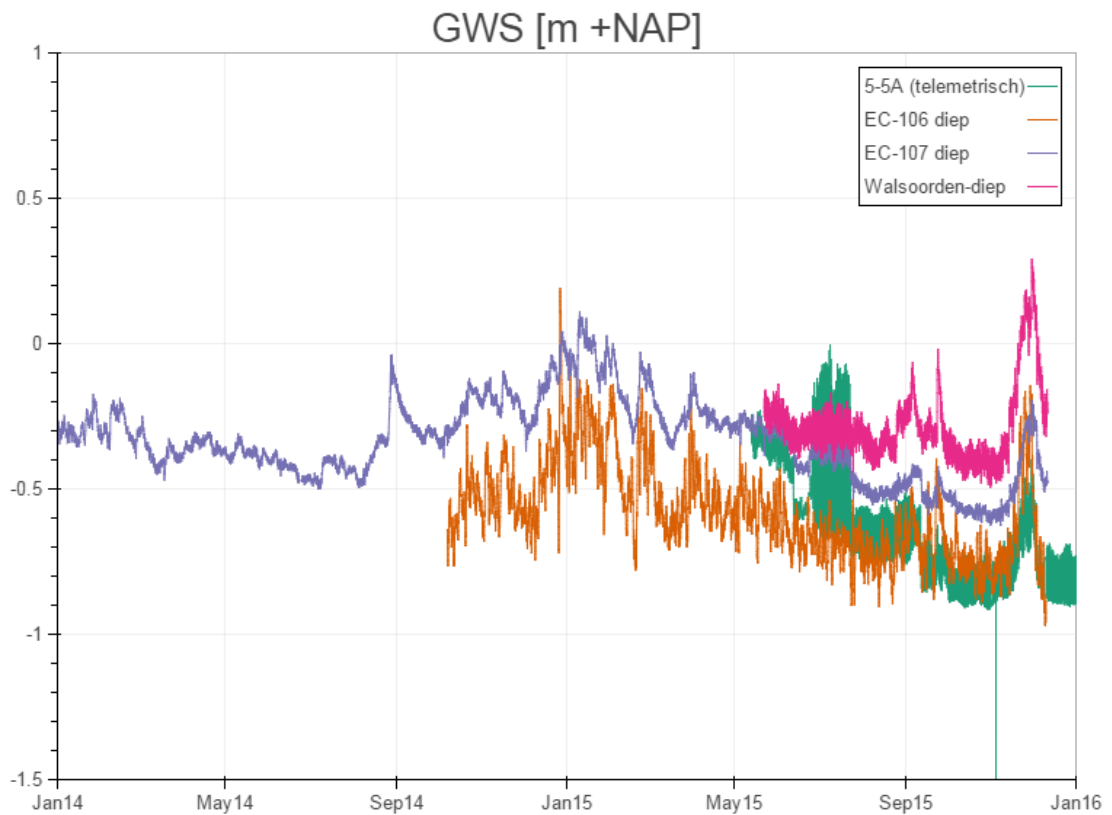


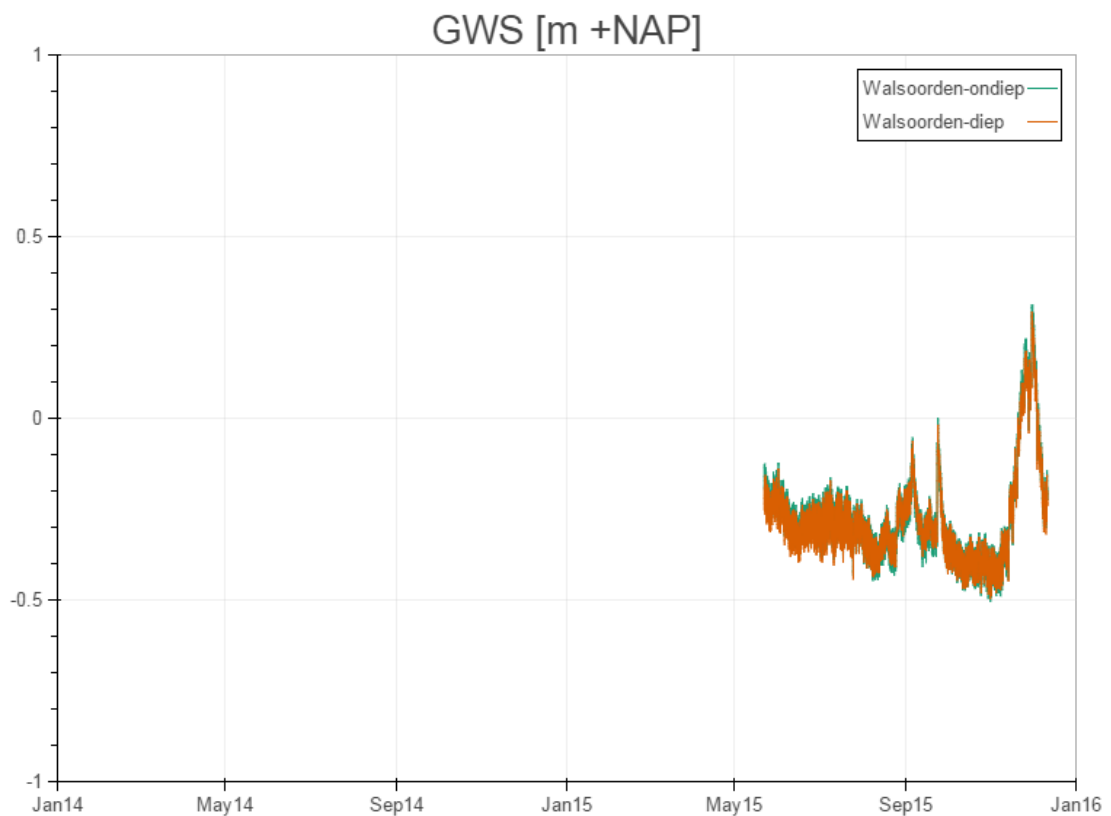
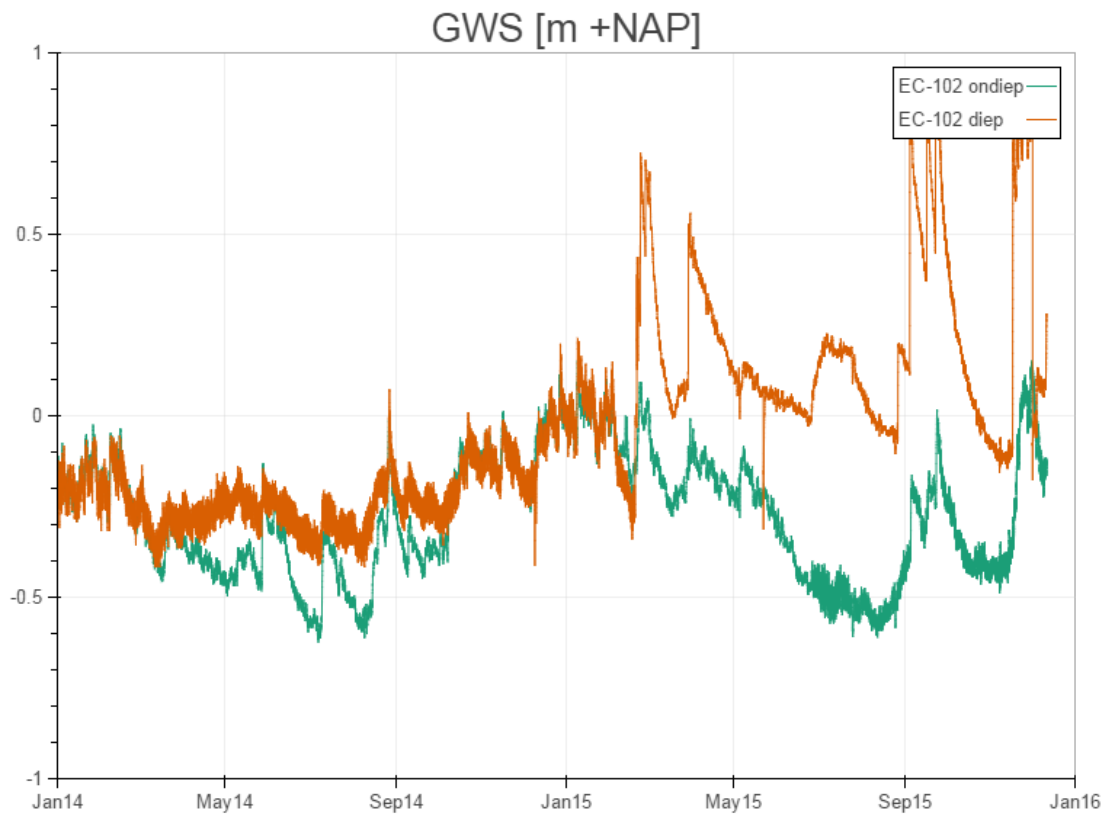




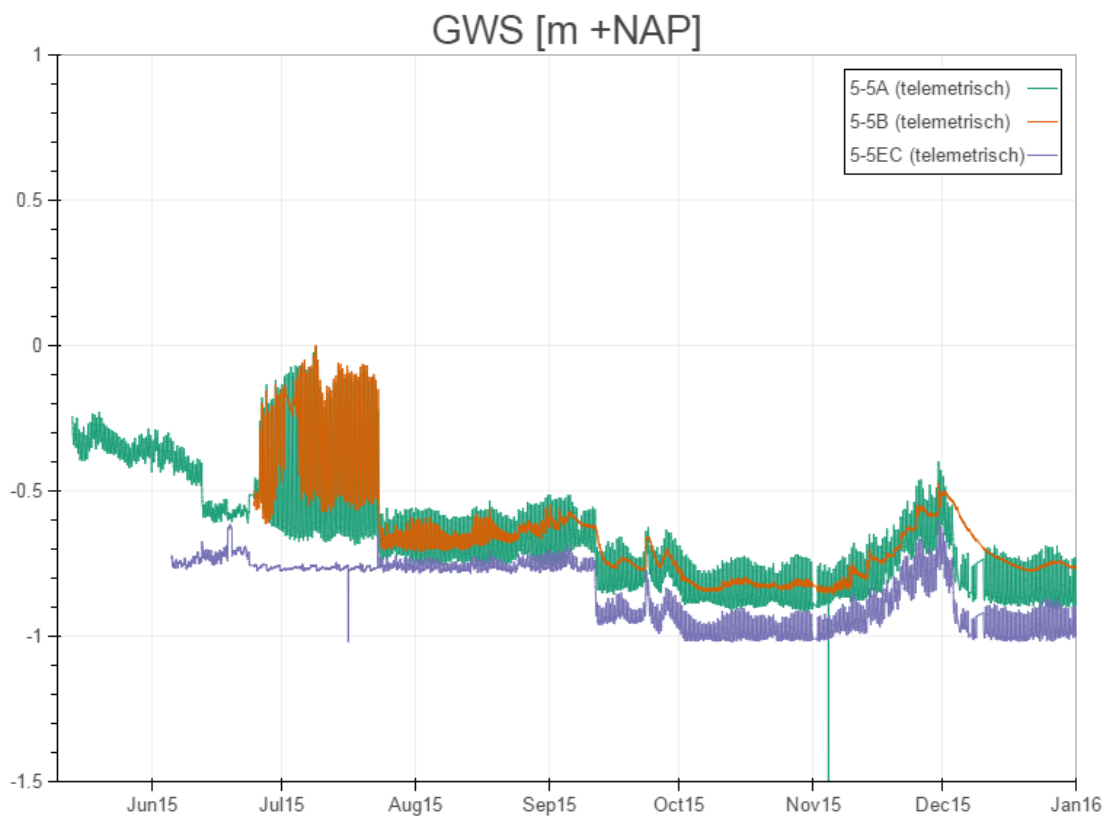
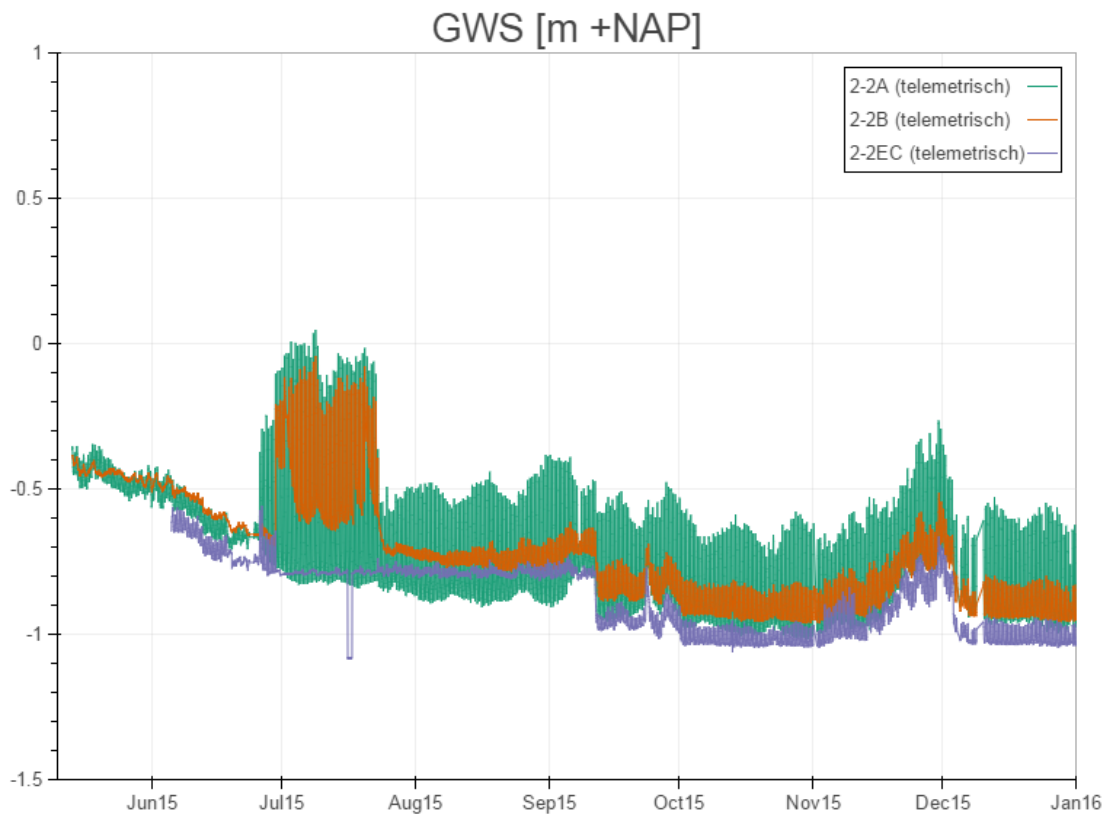












## C SlimFlex-metingen

