

Modelberekening nieuwe peilbeheervariant Getij Grevelingen

Addendum op zes peilvarianten d.d. 2022



Modelberekening nieuwe peilbeheervariant Getij Grevelingen
Addendum op zes peilvarianten d.d. 2022

Auteur(s)

Arno Nolte

Frank Kleissen

Socorro Rodrigo

Modelberekening nieuwe peilbeheervariant Getij Grevelingen

Addendum op zes peilvarianten d.d. 2022

Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Zee en Delta (SITO-PS)
Contactpersoon	P. Paulus
Projectreferenties	SITO-PS Kennis voor gebiedsbenadering Zuidwestelijke Delta
Trefwoorden	Grevelingenmeer, doorlaatmiddel, peilbeheer, getij, waterstand, waterbalans, D-HYDRO

Documentgegevens

Versie	1.0
Datum	01-12-2025
Projectnummer	11211550-006
Document ID	11211550-006-ZKS-0002
Pagina's	30
Classificatie	
Status	Definitief

Auteur(s)

	Arno Nolte Frank Kleissen Socorro Rodrigo	

Samenvatting

Dit rapport is een technische vastlegging van de uitgevoerde berekeningen voor aanvullende peilbeheervarianten B4 en B4*. Voor de synthese met andere doelindicatoren en de vergelijking met de andere peilbeheervarianten wordt verwezen naar de rapportage 'Synthese doelindicatoren en duiding: Effect en effectiviteit van peilbeheervarianten op de waterkwaliteit en ecologie van de Grevelingen' van Deltares en Wageningen Marine Research (2025).

De varianten B4 en B4* zijn doorgerekend als aanvullende ontwerpopties binnen het project Getij Grevelingen, met als doel een robuustere balans tussen getijslag, waterkwaliteit en technische haalbaarheid. Beide varianten realiseren een gemiddelde getijslag van circa 40 cm, vergelijkbaar met de eerder onderzochte variant B3, maar met aangepaste peilbeheergrenzen.

Voor variant B4* is gekozen voor een effectief doorstroomoppervlak van 621 m², waarmee de gewenste getijslag wordt gerealiseerd binnen de gestelde randvoorwaarden. De verschillen tussen B4 en B4* zijn marginaal en treden vooral op bij lage zeespiegelstijgingen en grote doorstroomoppervlakken.

De hydrodynamische berekeningen met het D-HYDRO model zijn uitgevoerd in 2D, nadat betrouwbare 3D simulaties onmogelijk bleken door technische beperkingen. Een vergelijking tussen berekende waterstanden met het 2D en 3D model gaf aan dat daartussen minimale verschillen zijn. Vergelijkingen tussen het 0D en 2D model tonen een hoge mate van overeenstemming in waterstandsvariatie en getijslag, waarmee de betrouwbaarheid van de resultaten wordt bevestigd.

Voor de B4* variant zijn in dit rapport geen waterkwaliteitsberekeningen uitgevoerd. De verwachting is dat de resultaten voor waterkwaliteit gelijk zullen zijn aan die van variant B3, aangezien de gemiddelde getijslag identiek is.

Inhoud

	Samenvatting	4
	Inhoud	5
1	Inleiding	6
1.1	Aanleiding	6
1.2	Nieuwe peilbeheervarianten B4 en B4*	6
1.3	Doelstelling	6
1.4	Leeswijzer	7
2	Berekening 0D waterbalans model	8
2.1	Korte beschrijving 0D waterbalans model	8
2.2	Actualisatiecheck van het 0D-waterbalansmodel	8
2.2.1	Aanpassing python	8
2.2.2	Resultaat check	9
2.3	Berekening B4 variant en bijstelling naar B4* variant	10
2.4	Keuze grootte doorlaatmiddel B4* variant	13
3	Berekening hydrodynamisch model (D-HYDRO)	16
3.1	Korte beschrijving D-HYDRO model	16
3.2	Actualisatie en aanpassing model	16
3.2.1	Door modelprobleem noodzakelijke aanpassing naar 2D	17
3.2.2	Vergelijking effect aanpassingen	18
3.3	Modelresultaten D-HYDRO	22
4	Referenties	23
A	Waterstanden D-HYDRO model alle peilvarianten in relatie tot bovenpeil	24

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Getij Grevelingen is een gezamenlijk project van Rijk en regio dat tot doel heeft de waterkwaliteit en ecologische toestand van het Grevelingenmeer te verbeteren door het gedeeltelijk herstellen van het getij. Sinds de aanleg van de Grevelingendam (1964) en Brouwersdam (1971) is het meer afgesloten van de zee, waardoor de natuurlijke dynamiek van eb en vloed verdween. Dit leidde tot aanpassing en verslechtering van de onderwaternatuur en langdurig zuurstofloze condities in de diepe delen van het meer. Het Getij Grevelingen project onderzoekt en ontwikkelt maatregelen om via een nieuw doorlaatmiddel in de Brouwersdam weer beperkt getij toe te laten. Hierdoor neemt de dynamiek toe en de zuurstofuitputting in de diepe delen af, wat het bodemleven en het voedselweb ten goede komt.

In het kader van het project Getij Grevelingen is in 2022 een reeks peilbeheervarianten doorgerekend met een 0D waterbalansmodel en een D-HYDRO hydrodynamisch en waterkwaliteitsmodel (Deltares, 2022a, 2022b). In 2022 is een Taskforce Getij Grevelingen ingesteld om te onderzoeken of binnen het beschikbare budget een ecologisch effectieve oplossing mogelijk is. De Taskforce heeft op 8 mei 2023 haar eindrapport opgeleverd aan de ministeries van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) en Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV, nu LNVN). Het rapport bevat een vergelijking van varianten, een ecologisch masterplan en een kostenraming. De uitkomsten liggen momenteel ter besluitvorming voor bij de betrokken ministers.

Naar aanleiding van voortschrijdend inzicht en aanvullende ontwerpopties zijn nieuwe varianten B4/B4* gedefinieerd met als doel een alternatieve balans tussen getijslag, waterkwaliteit en technische haalbaarheid.

1.2 Nieuwe peilbeheervarianten B4 en B4*

In 2025 zijn twee nieuwe peilbeheervarianten toegevoegd aan het project Getij Grevelingen: B4 en B4* (Getij Grevelingen, 2025). Beide varianten beogen een gemiddelde getijslag van circa 40 cm, gerealiseerd met een nieuw doorlaatmiddel in de Brouwersdam. Ten opzichte van variant B3 is bij B4 en B4* de hoogste peilbeheergrens verhoogd met als doel een robuustere getijwerking en verbeterde waterkwaliteit.

Bij variant B4 fluctueert het peil van het Grevelingenmeer tussen maximaal NAP +0,10 m en minimaal NAP -0,55 m (buiten broedseizoen), en tussen NAP 0,00 m en NAP -0,65 m tijdens het broedseizoen. Bij variant B4* is de minimale waterstand gedurende het hele jaar constant op NAP -0,55 m, terwijl de maximale peilgrens gelijk is aan die van B4.

1.3 Doelstelling

Rijkswaterstaat heeft Deltares gevraagd deze nieuwe varianten op dezelfde wijze door te rekenen en te beoordelen op het doelbereik voor waterkwaliteit en ecologie conform de eerdere studie (Deltares en Wageningen Marine Research, 2022). Omdat de getijslag van 40 cm identiek is aan de B3 variant en de getijslag de voornaamste factor is voor de waterkwaliteit, wordt in dit addendum alleen de waterstand voor de nieuwe varianten berekend. Tenslotte worden de modelresultaten ook op dezelfde wijze aan Wageningen Marine Research (WMR) opgeleverd voor een ecologische beoordelingen en wordt door Deltares en WMR samen de synthese aangevuld met de nieuwe variant.

Doel van dit addendum is het vastleggen van de modelaanpak en resultaten voor de varianten B4 en B4*, en deze in de context van de eerdere studies te duiden. De relevante eerdere rapporten zijn:

- Deltares (2022a): Optimalisatie Getij Grevelingen peilbeheerscenario's met het 0D waterbalansmodel; Deltares rapport 11206580-005-ZKS-0003, november 2022. [LINK](#)
- Deltares (2022b): Effect en effectiviteit van zes varianten op de zuurstofdoelindicatoren van het Grevelingenmeer; Onderdeel van Getij Grevelingen; Deltares rapport 11206580-006-ZKS-0006, november 2022. [LINK](#)
- Deltares en Wageningen Marine Research (2022): Synthese doelindicatoren en duiding: Effect en effectiviteit van peilbeheervarianten op de waterkwaliteit en ecologie van de Grevelingen; Deltares rapport 11206580-006-ZKS-0010, november 2022. [LINK](#)

Het addendum op de gezamenlijke Deltares en WMR synthese wordt vastgelegd in een aparte rapportage (Deltares en Wageningen Marine Research, 2025).

1.4 Leeswijzer

Dit rapport is een technische vastlegging van de uitgevoerde berekeningen en bijhorende duiding. Voor achtergrond en uitleg van de aanpak wordt verwezen naar de eerder genoemde studies.

Hoofdstuk 2 beschrijft de berekeningen met het 0D waterbalansmodel. Hoofdstuk 3 behandelt de D-HYDRO berekeningen en resultaten.

2 Berekening 0D waterbalans model

Dit hoofdstuk beschrijft in het kort de stappen die nodig waren voor het uitvoeren van de benodigde berekeningen, met als basis het model zoals die in 2022 is gebruikt. Vervolgens leveren de uitgevoerde grafieken en tabellen een overzicht van de met het 0D model bereikte resultaten.

2.1 Korte beschrijving 0D waterbalans model

Het 0D waterbalansmodel voor het Grevelingenmeer is een rekeninstrument (python-script) dat de waterstand in het meer simuleert op basis van de waterstanden in de Noordzee en de Oosterschelde, en de debiet-vervalrelaties van de kunstwerken (Brouwerssluis, Flakkeese spuisluis en het doorlaatmiddel). Het model werkt met een tijdstap van 10 minuten en rekent op basis van vrij verval, zonder ruimtelijke verdeling (vandaar "0D").

Een centrale functie van het model is de optimalisatie van het aantal openingen per getijfase (eb en vloed), zodat een zo natuurlijk mogelijk getij ontstaat binnen vooraf gedefinieerde peilgrenzen. Hierbij wordt het aantal openingen zodanig gekozen dat het maximale peil bij vloed en het minimale peil bij eb niet wordt overschreden. Dit voorkomt onnodige sluiting van openingen en maximaliseert de getijwerking.

Het model houdt rekening met diverse randvoorwaarden en ontwerpkeuzes, zoals:

- Zeespiegelstijging
- Effectief doorstroomoppervlak doorlaatmiddel (m^2), d.w.z. afvoercoëfficiënt = 1
- Type doorlaatmiddel (vrijstromend of verdronken; B4* is 'vrijstromend')
- Sluitcriterium (maximaal 20 cm verval bij sluiting)
- Verminderde capaciteit tijdens het broedseizoen
- Onderhoudsperiodes (80% beschikbaarheid)

De uitvoer bestaat uit tijdreeksen van waterstanden en debieten, cumulatieve verdelingen van getijslag en inzet van openingen, en zogenaamde regenbooggrafieken. Deze laatste tonen de relatie tussen zeespiegel, doorstroomoppervlak en kengetallen zoals gemiddelde waterstand en getijslag, en vormen een belangrijk hulpmiddel bij de dimensionering van het doorlaatmiddel.

Deze modelaanpak is beschreven in detail in het rapport *Optimalisatie Getij Grevelingen peilbeheersscenario's met het 0D waterbalansmodel* (Deltares, 2022a).

2.2 Actualisatiecheck van het 0D-waterbalansmodel

Het oorspronkelijke 0D model is in python opgezet en hierbij is gebruik gemaakt van python-versie 3.7 terwijl door hardware- en softwareaanpassing deze inmiddels is geüpdatet naar versie 3.12.11. Een update van de python-versie kan tot gevolg hebben dat afhankelijkheden (modules en pakketten waar gebruik van gemaakt wordt) ook moeten worden geüpdatet.

2.2.1 Aanpassing python

De aanpassing van de python versie had relatief weinig consequenties, maar een paar aanpassingen was wel noodzakelijk. De belangrijkste wijziging zat in de post-processing routine *Plot_summariesV5.py* die de zogenaamde regenbooggrafieken (en samenvattende uitvoerstatistieken) genereert.

In plaats van dataframemethodes moest worden overgestapt naar numpy routines voor het genereren van de data (X, Y, Z) die voor de grafieken worden gebruikt:

Oude code (python 3.7):

```
X=df.columns.values
Y=df.index.values
Z=df.values
```

Vervangen door (python 3.12.11):

```
X = np.array(dftmp[xname])
Y = np.array(dftmp['Zeespiegelstijging'])
Z = np.array(dftmp['Gem. getijslag'])
```

Hierbij is xname of het effectieve oppervlak ('Eff. Oppervlak') of het aantal kokers ('Kokers') in het doorlaatmiddel. Voor de huidige sommen is het effectieve oppervlak gebruikt.

In het gegeven voorbeeld is de getijslag de weergegeven variabele als functie van het effectieve oppervlak een zeespiegelstijging. Voor de andere variabelen (zoals waterstand en debieten) is deze aanpassing ook doorgevoerd. Er kan verder nog worden opgemerkt dat, in python 3.7, `df = dftmp.pivot` is gebruikt. Deze functionaliteit was in 3.12.11 echter niet meer nodig, omdat in 3.12.11 `np.array` als alternatief is gebruikt voor het genereren van X, Y en Z voor de regenbooggrafieken.

Inhoudelijk zijn er geen aanpassingen geweest.

2.2.2 Resultaat check

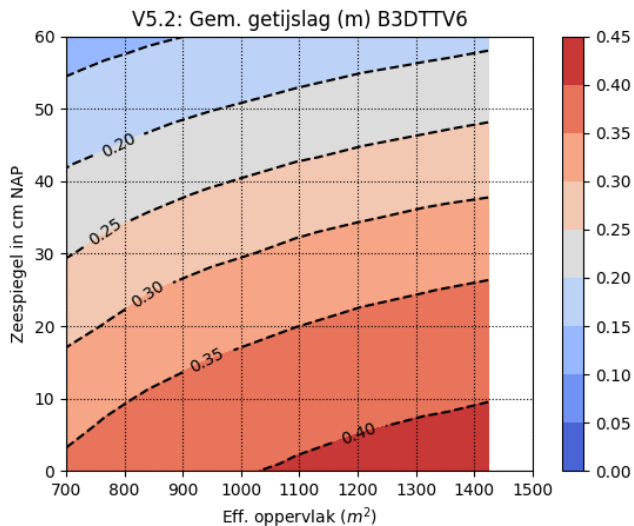
Variante B3 is gebruikt om te checken of modelresultaten niet zijn veranderd ten gevolge van de codewijzigingen en/of door het gebruik van een update van python naar versie 3.12.11. De resultaten van de oorspronkelijke berekeningen zijn eerder al gepubliceerd (Deltares, 2022a). In deze aanvullende studie zijn de in Tabel 4-9 van dat rapport gepubliceerde indicatoren vergeleken met de getallen die met Python versie 3.12.11 zijn gegenereerd van run B3DTTV6 (vrijstromende kokers met een bodemligging op NAP -6 m).

Data die in de uitvoer `2010B3DTTV6K1424_GrevSum.csv` zijn opgenomen, zie Tabel 2-1, zijn gelijk aan die in 2022 zijn gepubliceerd, waaruit geconcludeerd kan worden dat de beide versies dezelfde resultaten leveren.

Scenario	SLR	Gem. WL	Gem. getij	Qin doorlaat	Qout doorlaat	Qin BS	Qout BS	Qin FSS	Qout FSS
B3DTTV6K1424Z10P-55	10	-0.332	0.399	742.9	-876.2	162.6	-77.1	99.4	-51.6
B3DTTV6K1424Z40P-55	40	-0.279	0.289	444.1	-650.5	179.7	-42.0	105.0	-36.1

Tabel 2-1 Resultaten B3 (python 3.12.11) gemiddeld over de periode 2010-2018 identiek aan Tabel 4-9 (python 3.7) in Deltares (2022a)

Ook de zogenaamde regenbooggrafieken leveren dezelfde resultaten op, bijvoorbeeld Figuur 2-1 en ook dit figuur geeft dezelfde resultaten weer als in 2022.



Figuur 2-1 Getijslag als functie van het effectieve oppervlak en zeespiegelstijging (python 3.12.11) gemiddeld over de periode 2010-2018

Uit de vergelijking tussen beide sommen (Python 3.7 en 3.12.1) zijn geen significante verschillen gevonden.

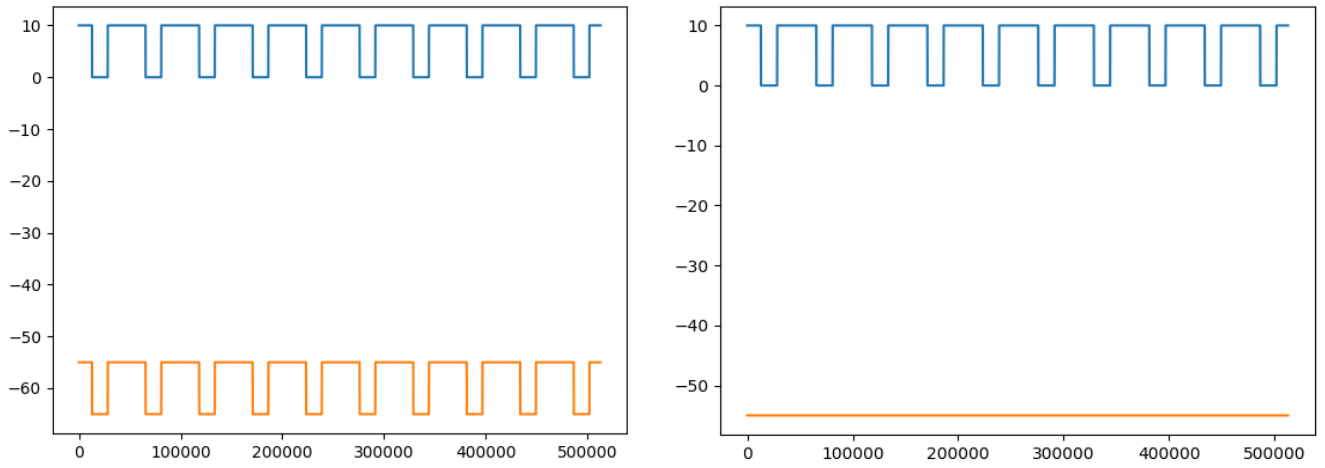
2.3 Berekening B4 variant en bijstelling naar B4* variant

Variante B4 is gebaseerd op B3 (met vrijstromende kokers) met als verschil dat het hoogwaterpeil van NAP -10 cm naar NAP +10 cm. Dit levert de volgende peilbeheergrenzen voor Variante B4 (met runreferentie B4DTTV6) op:

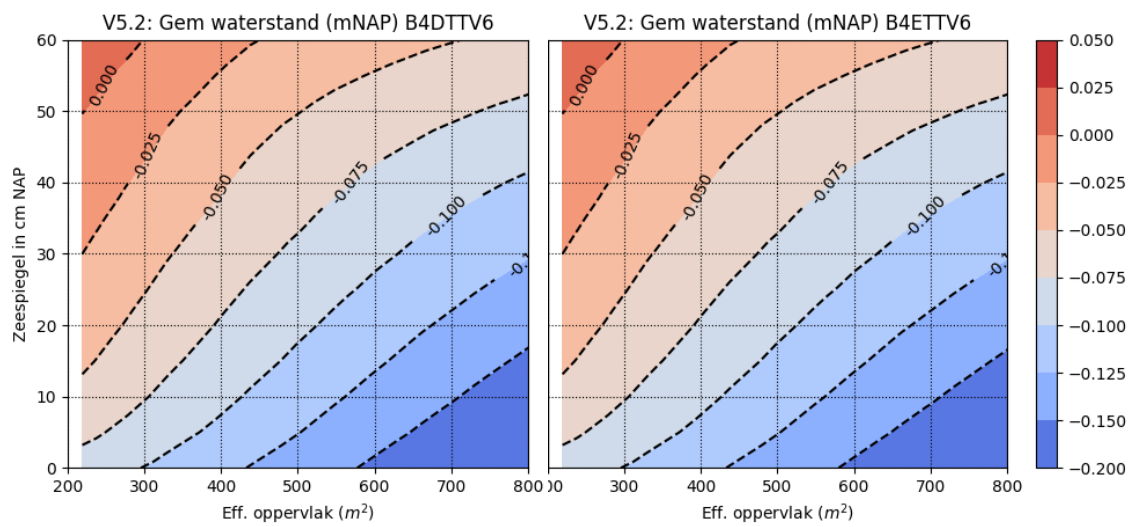
- Buiten broedseizoen:
 - Maximum peil: NAP +0,10 m
 - Minimum peil: NAP -0,55 m
- Binnen broedseizoen (van 1 april t/m 15 juli):
 - Maximum peil NAP 0,0 m
 - Minimum peil NAP -0,65 m

Het effect van de verlaging van het laagwaterpeil gedurende het broedseizoen bleek uitermate gering waardoor ook een variante B4* (run referentie B4ETTV6) is opgezet waarbij het minimum peil tijdens het broedseizoen gelijk is aan de rest van het jaar, dus op NAP -0,55 m. Het peilbeheer zoals dit in beide varianten voor de periode 2010-2018 is toegepast staan in Figuur 2-2.

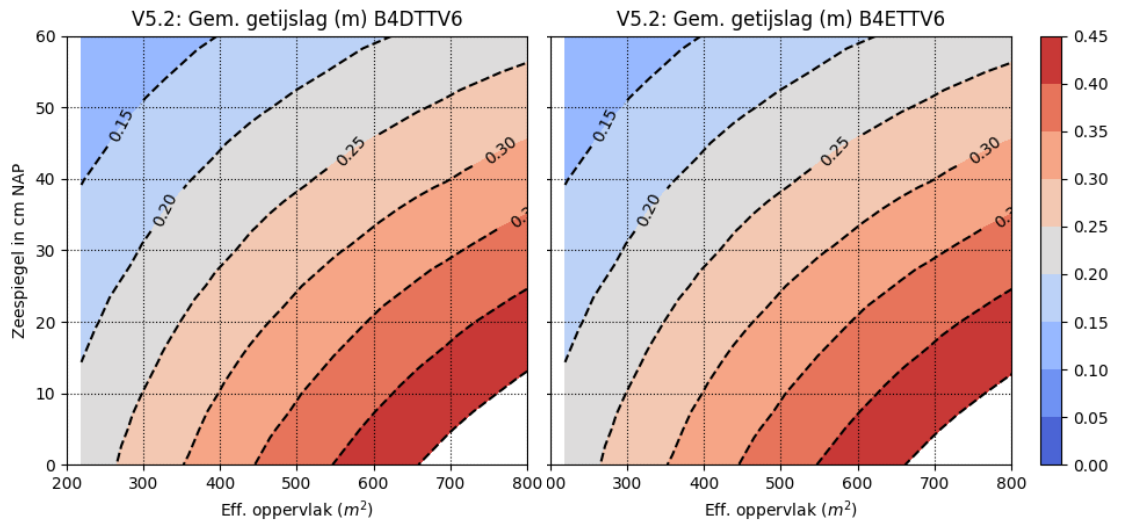
De regenbooggrafieken van de waterstanden en getijslagen staan in Figuur 2-3 en Figuur 2-4.



Figuur 2-2 Peilbeheer voor B4 (links) en B4* (rechts), in cm NAP (verticaal) vs modeltijd (s) (horizontaal); let op dat de y-as niet gelijk is.

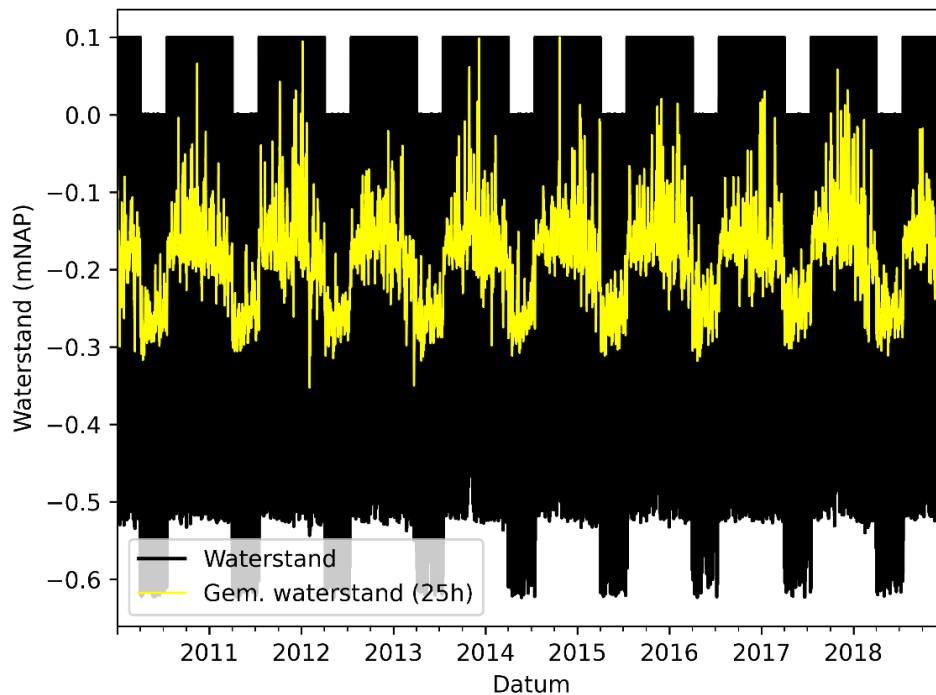


Figuur 2-3 Variant B4 (links) en B4* (rechts) waterstand gemiddeld over de periode 2010-2018 als functie van het effectieve oppervlak en zeespiegelstijging.



Figuur 2-4 Gemiddelde getijslag gemiddeld over de periode 2010-2018 van Variant B4 (links) en B4* (rechts) als functie van het effectieve oppervlak en zeespiegelstijging.

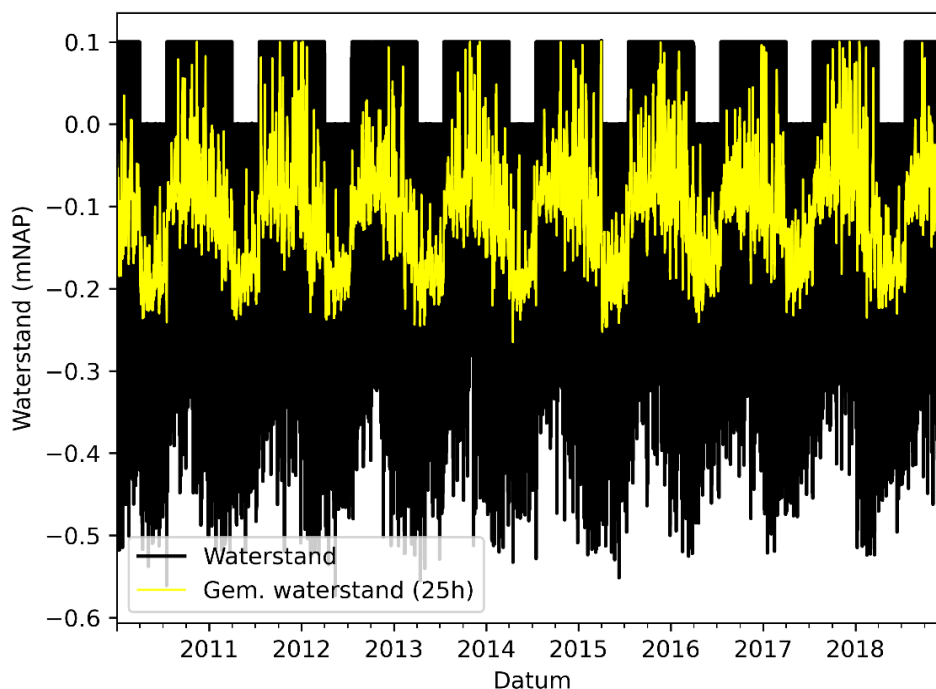
De verschillen tussen B4 en B4* zijn zeer klein en alleen net zichtbaar wanneer het effectief oppervlak groot is bij een lage zeespiegelstijging, dus rechts onder in Figuur 2-4.



Figuur 2-5 Variant B4 gemodelleerde waterstanden (B4DTTV6K840, zss = 0cm).

Het effect van het onderpeil op de getijslag voor een scenario kan inzichtelijk worden gemaakt vanuit Figuur 2-5 en Figuur 2-6 voor de B4 variant met een effectief oppervlak van 840 m². Deze figuren betreffen een scenario met een zeespiegelstijging van respectievelijk 0 cm en 40 cm. Dit laat zien dat tijdens het broedseizoen (met een minimumpeil van NAP -0,65 m) de waterstand onder de NAP -0,55 m komt, terwijl dat voor een zeespiegelstijging van 40 cm niet meer het geval is. In het laatste geval een verhoging van het minimumpeil van NAP -0,65 m naar NAP -0,55 m geen invloed meer heeft op de resultaten.

Naarmate het doorstroomoppervlak kleiner wordt, is de spuicapaciteit bij eb onvoldoende om de waterstand onder NAP -0,55 m te laten dalen.



Figuur 2-6 Variant B4 gemodelleerde waterstanden (B4DTTV6K840, zss = 40 cm).

2.4 Keuze grootte doorlaatmiddel B4* variant

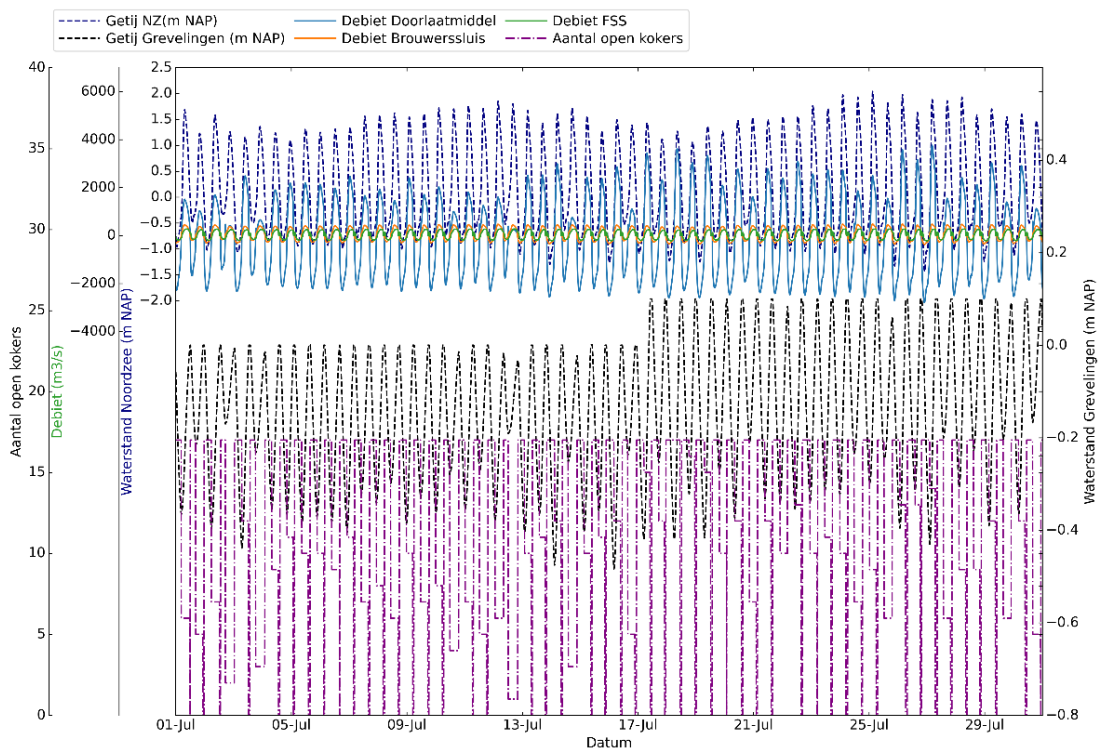
Voor variant B4* zijn 4 scenario's doorgerekend met verschillende zeespiegelstijgingen en een, na overleg met RWS, geselecteerde configuratie met een totaal effectief oppervlak van 621 m². Dit levert het overzicht op voor de gemiddelde waterstand, getijslag en debieten voor 2017 (Tabel 2-2).

ZSS	Gem. WL (m NAP)	Gem. getij (m)	Qin doorlaat (m ³ /s)	Qout doorlaat (m ³ /s)	Qin BS (m ³ /s)	Qout BS (m ³ /s)	Qin FSS (m ³ /s)	Qout FSS (m ³ /s)
5	-0.1329	0.3949	763.7	-821.6	141.6	-105.7	88.4	-66.5
19	-0.1229	0.3777	707.9	-782.0	146.5	-100.1	91.3	-63.8
33	-0.0824	0.2836	433.6	-583.3	169.9	-73.9	105.6	-51.9
38	-0.0740	0.2630	373.6	-538.8	174.5	-68.3	108.4	-49.3

Tabel 2-2 Samenvattende resultaten (gemiddeld over 2017) voor Variant B4* (B4ETTV6K621¹)

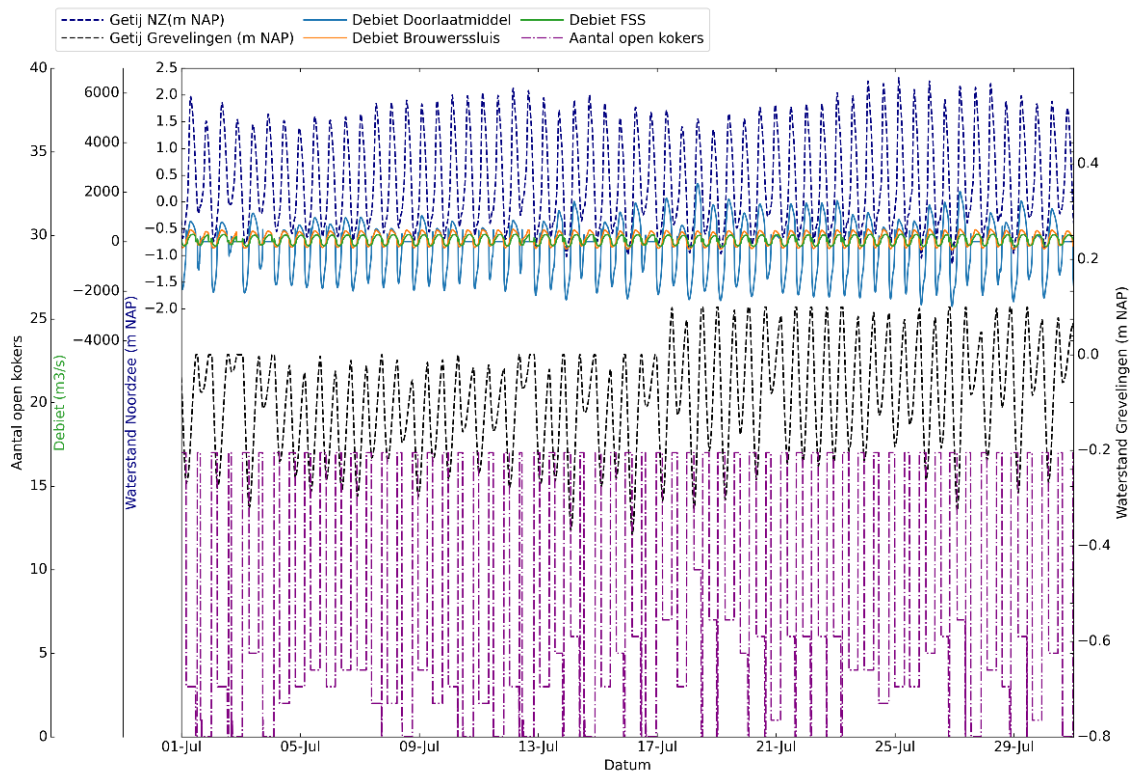
Onderstaande figuren (Figuur 2-7 en Figuur 2-8) geven een overzicht van de belangrijkste tijdreeksen van het OD model rondom het einde van het broedseizoen (juli 2017) voor een zeespiegelstijging van 10 cm en 38 cm.

¹ Referentie archief berekening: p:\11211550-006-grevelingen-0d-model\B4run1\results_nohypsoV5.2\2017B4ETTV6K621_GrevSum.csv



WetincV5.2, File: 201704TTV66821_debieten_SIR_10

Figuur 2-7 Variant B4* tijdreeksen van waterstanden, debieten en inzet kokers in juli 2017 (zss 10 cm). Het effectief doorstroomoppervlak per koker is $36,5 \text{ m}^2$ (17 kokers = $620,5 \text{ m}^2$ doorstroomoppervlak).



Versie:V5.2, File: 2017B4ETTV6K621_debieten_SLR_38

Figuur 2-8 Variant B4 tijdreeksen van waterstanden, debieten en inzet kokers in juli 2017 (zss 38 cm). Het effectief doorstroomoppervlak per koker is 36,5 m² (17 kokers = 620,5 m² doorstroomoppervlak).*

Uit beide figuren is af te leiden dat het onderpeil in deze periode niet wordt bereikt terwijl dit wel het geval is voor het bovenpeil. Tijdens uitstroom van de Grevelingen naar de Voordelta zijn (vrijwel) altijd alle kokers in gebruik. Tijdens instroom zijn niet alle kokers in gebruik, omdat het waterstandsverschil tussen Noordzee en Grevelingen dan groter is en een kleiner doorstroomoppervlak voldoende is. Bij 10 cm zeespiegelstijging is er een grote variatie van soms maar enkele tot meer dan tien kokers in gebruik tijdens de instroom (Figuur 2-7). Bij een zeespiegelstijging van 38 cm wordt bij instroom nog minder capaciteit van het doorlaatmiddel gebruik en volstaan vaak 3 tot 6 kokers (Figuur 2-8). Bij een verhoogde zeespiegel is de laagste ebwaterstand in de Grevelingen hoger en bij een gelijk maximum peil betekent dit een afname in de getijslag.

3 Berekening hydrodynamisch model (D-HYDRO)

Dit hoofdstuk beschrijft de uitgevoerde aanpassingen aan het D-HYDRO model waarmee de waterstandsvariatie van de B4* peilbeheervariant in het Grevelingenmeer is uitgerekend. Actualisatie van het model was nodig vanwege aanpassingen in software en de hardware sinds 2022. Deze actualisatie bracht problemen met het model aan licht, wat leidde tot aanpassing van een 3D-aanpak naar een 2D-aanpak.

3.1 Korte beschrijving D-HYDRO model

Het D-HYDRO model is een driedimensionaal (3D) rekeninstrument voor hydrodynamica en waterkwaliteit en is onderdeel van de zesde generatie modelschematisaties voor Rijkswaterstaat. Het model simuleert stroming, temperatuur, zoutgehalte, zuurstofhuishouding en ecologische processen in het Grevelingenmeer op basis van tijdreeksen van debieten en randvoorwaarden uit de Noordzee en Oosterschelde.

Voor het project Getij Grevelingen is het model toegepast op het jaar 2017, met een verticale laagdikte van 0,5 meter. Deze resolutie is gekozen op basis van validatieonderzoek, waarbij bleek dat het model met deze laagdikte de gemeten zuurstofprofielen in de diepe delen van het meer het beste reproduceert.

Het model is online gekoppeld: de hydrodynamische module (D-Flow FM) en de waterkwaliteitsmodule (D-Water Quality) werken gelijktijdig samen. Hierdoor kunnen interacties tussen stroming en ecologische processen nauwkeurig worden meegenomen. De debieten door de Brouwerssluis, Flakkeese spuisluis en het doorlaatmiddel worden als tijdreeksen ingevoerd, afkomstig uit het 0D waterbalansmodel.

De modeluitvoer bestaat uit tijdreeksen en ruimtelijke verdelingen van parameters zoals zuurstofconcentratie, primaire productie, stroomsnelheid en bodemschuifspanning. Deze worden gebruikt om ecologische doelindicatoren te berekenen, zoals zuurstofindringdiepte en zuurstofindexscore. Het model is geschikt voor vergelijkend scenario-onderzoek en vormt een essentieel instrument voor het beoordelen van de effectiviteit van peilbeheervarianten.

3.2 Actualisatie en aanpassing model

Voor de berekening is gebruik gemaakt van de volgende modelschematisatie van Rijkswaterstaat die via de IPLO-omgeving² is opgevraagd:

- dflowfm3d_dwaq-grevelingen-j19_6-v2b

Actualisatie van deze versie was nodig vanwege een nieuw rekencluster bij Deltares (h7 in plaats van h6) die niet compatibel is met de eerder gebruikte softwareversie (D-Flow FM Version 1.2.110.68190) en overgestapt moest worden naar de meest recente softwareversie (Release 2025.02 D-Flow FM Version 2.2.28).

Ter controle van de actualisatie is ook in eerste instantie de B3 variant en in tweede instantie de B2 variant met 10 cm zss met de nieuwe hardware en software opnieuw doorgerekend.

² <https://iplo.nl/thema/water/applicaties-modellen/modelschematisaties/zuidwestelijke-delta/>

3.2.1 Door modelprobleem noodzakelijke aanpassing naar 2D

Bij de berekeningen op de nieuwe hardware en software traden twee problemen op, die ertoe leidden dat overgestapt moest worden naar een 2D berekening in plaats van een 3D berekening. De problemen waren als volgt en worden hieronder verder toegelicht

- Numerieke instabiliteit in relatie tot te kleine rekentijdstap
- Numerieke instabiliteit in relatie tot droogvallende rekencel en extreem hoge saliniteit

Numerieke instabiliteit in relatie tot te kleine rekentijdstap

Met de B3 en de B4* tijdseries uit het 0D-waterbalansmodel als randvoorwaarden en alle overige instellingen gelijk kon de D-HYDRO 3D modelberekening niet succesvol uitgevoerd worden. De berekening crashte op een te kleine rekentijdstap. De kleine tijdstap wordt veroorzaakt door een relatief groot debiet in een relatief kleine rekencel (klein volume). Een numeriek criterium is dat het volume in een rekencel niet binnen één tijdstap vervangen mag worden. Waarom de B3 variant in 2022 wel en de identieke B3 variant nu met de nieuwe hardware en software niet succesvol was, is niet bekend. In vergelijking met de in 2022 uitgevoerde berekeningen is geconstateerd dat deze 2022 berekeningen ook zeer dicht bij het numerieke criterium zaten en waarschijnlijk nog net wel uitgevoerd konden worden.

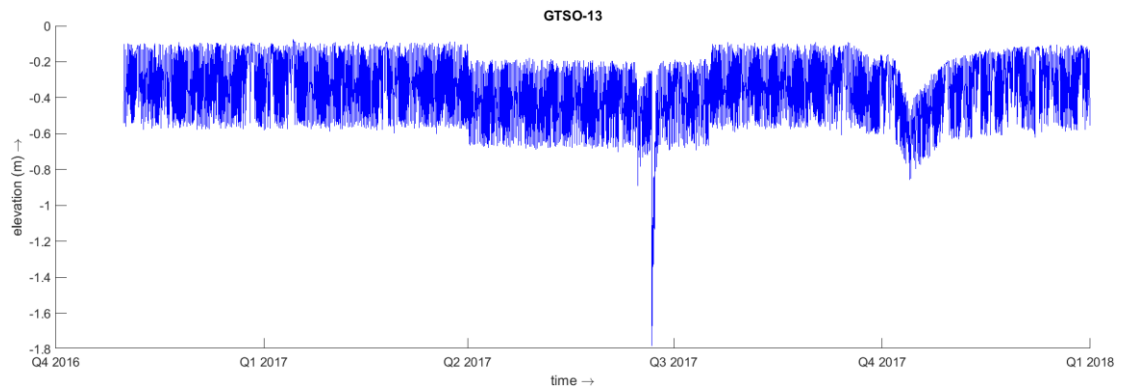
Aanpassingen in het model om de debietreeks van het doorlaatmiddel over 10 in plaats van 5 locaties horizontaal te verdelen en aansluitend om de bodemdiepte lokaal te vergroten, waren wel succesvol voor de B3 variant maar niet voor de B4* variant. Beide aanpassingen zorgen ervoor dat het debiet over meer rekencellen verdeeld wordt en per rekencel dus een kleiner debiet in- of uitstroomt en de rekentijdstap zou moeten vergroten. Het is niet duidelijk, waarom deze aanpassing voor de B3 variant wel en voor de B4* variant niet tot een goed resultaat leidde.

Omdat niet tijdig een oplossing voor dit probleem gevonden kon worden, is de berekening omgezet van 3D naar een 2D berekening. Omdat in dit addendum de modelberekening alleen voor waterstand gebruikt wordt, is dat acceptabel, omdat de berekening van de waterstand tussen een 2D en een 3D model nagenoeg gelijk is. Voor waterkwaliteitsparameters is dit niet het geval, maar omdat in dit addendum voor de B4* variant geen waterkwaliteitsuitvoer opgeleverd wordt, is dat niet blokkerend. De aanpassing naar 2D resulteerde voor de B4* variant in een geslaagde berekening (zie paragraaf 3.3).

Numerieke instabiliteit in relatie tot droogvallende rekencel en extreem hoge saliniteit

De aanpassing van in eerste instantie de B3 variant en in tweede instantie de B2 variant leidde tot een nieuw modelprobleem en identiek in beide varianten B2 en B3. De gemodelleerde waterstand liet een grote tijdelijke afwijking zien van maximaal circa 100 cm ten opzichte van de waterstand van het 0D-waterbalansmodel (Figuur 3-1 voor de B3 variant).

Deze afwijking is door de D-HYDRO ServiceDesk in de berekening voor de B2 variant getraceerd naar een plotselinge enorme toename van de saliniteit (tot vele miljoenen g/m³) in één rekencel in één tijdstap. Deze modelfout komt waarschijnlijk door een instabiliteit in de transportsolver bij droogvallende rekencellen. Aanpassing van de modelparameter *EPSHU* (Threshold water depth for wet and dry cells) van 0,0001 m naar 0,01 m, zorgde ervoor dat ook de B2 variant in 2D berekend kon worden. Deze B2 variant met 10 cm zss is vervolgens gebruikt voor de controle op het mogelijk effect van nieuwe hardware en software en op de aanpassing van 3D naar 2D.



Figuur 3-1 Probleem met berekende waterstand (in m NAP) in het 2D model voor de B3 variant met 10 cm zeespiegelstijging; modelparameter EPSHU = 0,0001 m; getoond is locatie GTSO-13 in het midden van het Grevelingenmeer.

3.2.2 Vergelijking effect aanpassingen

Om het effect van de aanpassingen (hardware, software, 2D) te kunnen beoordelen zijn de volgende vergelijkingen uitgevoerd:

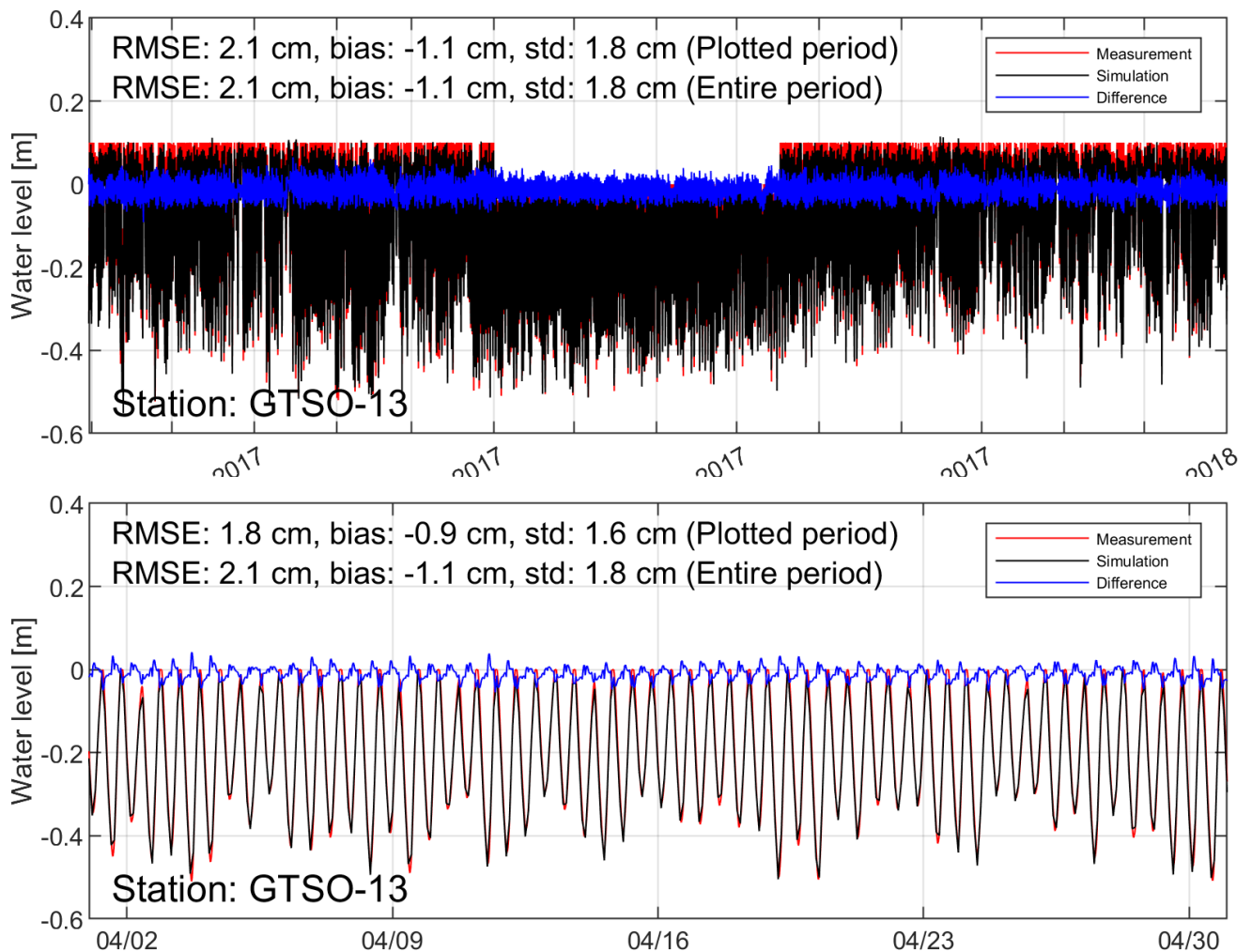
- Berekende waterstand en getijslag met het 0D model vs het 2D model; deze vergelijking is voor de nieuwe B4* variant gedaan.
- Berekende waterstand en getijslag 2022 berekening vs. 2025 berekening; deze vergelijking is voor de B2 variant met 10 cm zeespiegelstijging gedaan.

Vergelijking waterstand 0D vs 2D in de B4 variant*

Figuur 3-2 toont de waterstand voor de B4* variant met 10 cm zss berekend met het 0D-waterbalansmodel en met het 2D model op locatie GTSO-13 in het midden van het meer. Figuur 3-2 laat zien dat de waterstandsvariatie in beide modellen in zeer grote mate het identieke patroon volgen. De waterstand in GTSO-13 in het 2D-model is gemiddeld 1,1 cm lager dan het de waterstand in het 0D-waterbalansmodel. Omdat de waterstand in het 2D model ruimtelijk varieert, is een exacte match niet mogelijk.

De berekende jaargemiddelde getijslag over 2017 in variant B4* met 10 cm zeespiegelstijging in het 2D model op locatie GTSO-13 is 38,68 cm hetgeen nagenoeg identiek is aan de jaargemiddelde getijslag van 38,77 cm in het 0D-waterbalansmodel (zie Tabel 2-2).

Op basis van deze vergelijking wordt geconcludeerd dat er een goede vergelijking is tussen het 0D-waterbalansmodel en het 2D model.



Figuur 3-2 Vergelijking berekende waterstand (in m NAP) met het 0D-waterbalansmodel (rood, in de legenda als 'Measurement' aangegeven) en het 2D model (zwart op locatie GTSO-13, legenda 'Simulation') voor variant B4 met 10 cm zss. De blauwe lijn geeft het verschil weer. Bovenste plot voor de hele rekenperiode en onderste plot een uitsnede voor april 2017.*

Effect van hardware, software en 2D in de B2 variant

Figuur 3-3 toont de berekende waterstand voor de B2 variant met 10 cm zeespiegelstijging voor de oude berekening uit 2022 in 3D en de nieuwe berekening uit 2025 in 2D. De vergelijking laat zien dat er gedurende de berekening een afwijking ontstaat die oploopt tot circa 5 cm aan het eind van de berekening. De nieuwe 2D berekening uit 2025 blijft netjes binnen de peilgrenzen van deze B2 variant en komt goed overeen met de berekende waterstand uit het 0D-waterbalansmodel uit 2022 (figuur niet getoond).

De hoogwaterstanden in de oude berekening uit 2022 lopen op tot circa NAP -0,05 m, wat circa 5 cm boven het beoogde bovenpeil van NAP -0,10 m is. De oude 0D-waterbalans berekening uit 2022 voor deze B2 variant met 10 cm zeespiegelstijging blijft wel binnen de peilgrenzen (figuur niet getoond).

Op basis van deze vergelijking is geconstateerd dat de nieuwe 2D berekening uit 2025 beter is voor gemodelleerde waterstanden dan de oude 3D berekening uit 2022. Het verschil in getijslag tussen beide berekeningen zal veel kleiner zijn, omdat in de 3D berekening zowel hoog- als laagwaterstanden oplopen en de getijslag dus wel vrijwel gelijk zal zijn (niet uitgerekend).

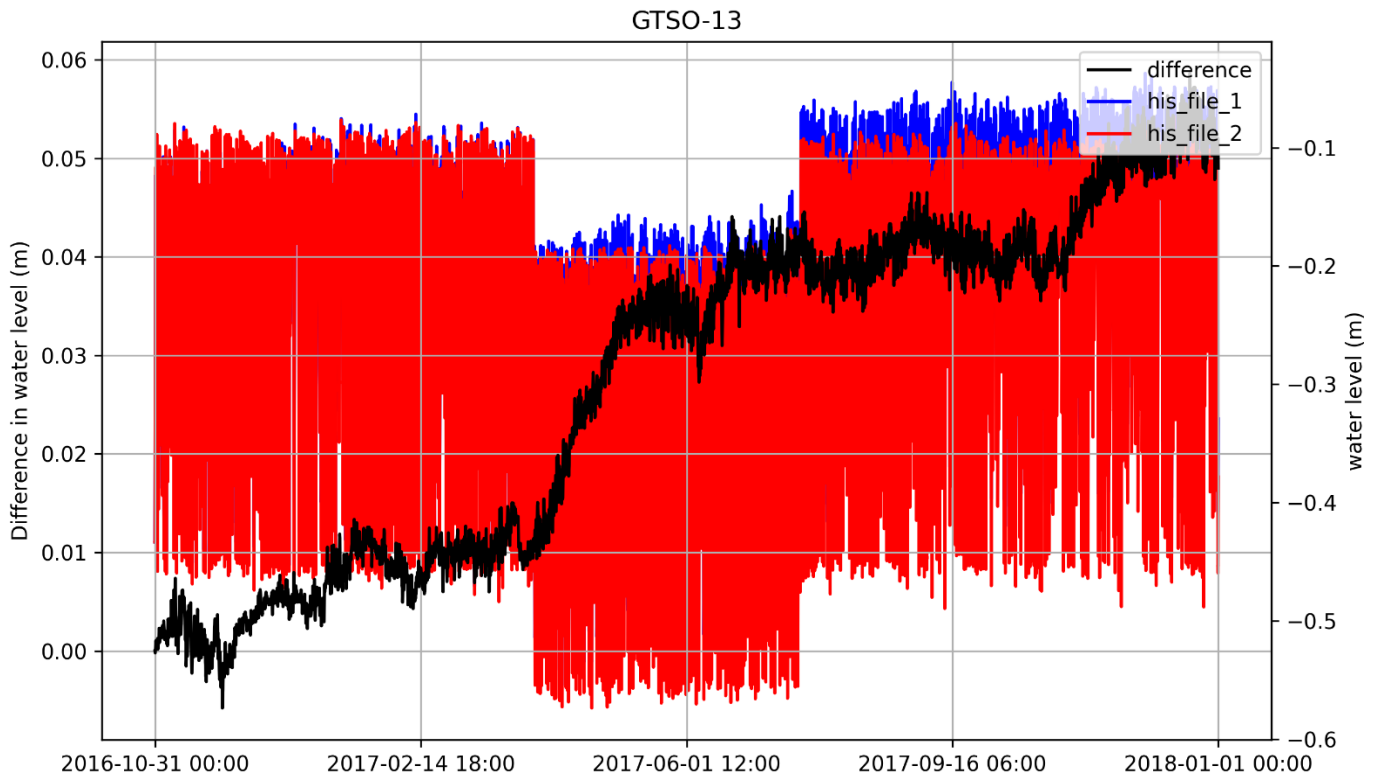
Het effect op waterkwaliteit zal daardoor naar verwachting ook zeer klein tot afwezig zijn. Waardoor de afwijking in de oude 3D berekening uit 2022 ontstaat is niet bekend en is niet nader uitgezocht³.

Na deze observatie voor de B2 variant is ook voor de overige peilvarianten uit de 2022 studie een vergelijking gemaakt voor de berekende waterstand in relatie tot het bovenpeil. De figuren in bijlage A laten zien dat meerdere peilvarianten een afwijking laten zien, maar ook dat de afwijking niet consistent hetzelfde is voor alle peilvarianten. Zo laat variant B1 met 10 cm zss een kleine afwijking naar beneden zien en komen de hoogwaterstanden in variant B1 met 38 cm zss juist goed overeen met het bovenpeil. Variant B2 met 38 cm zss laat een kleine positieve afwijking zien en variant B3 met 10 cm zss een relatief forse afwijking van circa 8 cm naar boven in vergelijking met de 5 cm afwijking aan het eind van de rekenperiode van variant B2 met 10 cm zss.

In 2022 zijn deze afwijkingen niet opgemerkt, zeer waarschijnlijk simpelweg omdat de vergelijking toentertijd niet gemaakt is. De consequenties voor getijslag en waterkwaliteitsparameters waaronder de zuurstofdoelindicatoren zijn zeer waarschijnlijk minimaal, omdat getijslag nagenoeg identiek zal zijn en getijslag de voornaamste factor is voor waterkwaliteit inclusief en de zuurstofdoelindicatoren.

Voor de ecotopen en dan met name de hooggelegen ecotopen die op basis van de modeluitvoer door WMR worden berekend, heeft de afwijking waarschijnlijk wel gevolg. De waterstanden worden als percentielen aan WMR aangeleverd, waarbij de hoge percentielen (95%, 99%, 99,9%) beïnvloedt worden door de afwijking die enkele centimeters in absolute hoogteligging van de overstroming kan opleveren. Bij een in theorie gelijkblijvende hellingshoek van het bodemprofiel zal het areaal (in hectare) dan weer wel gelijk blijven, maar zal de locatie van het areaal iets hoger of iets lager liggen afhankelijk van de richting van de afwijking. Echter, in de praktijk is de hellingshoek niet gelijk en zal er een afwijkend areaal berekend worden.

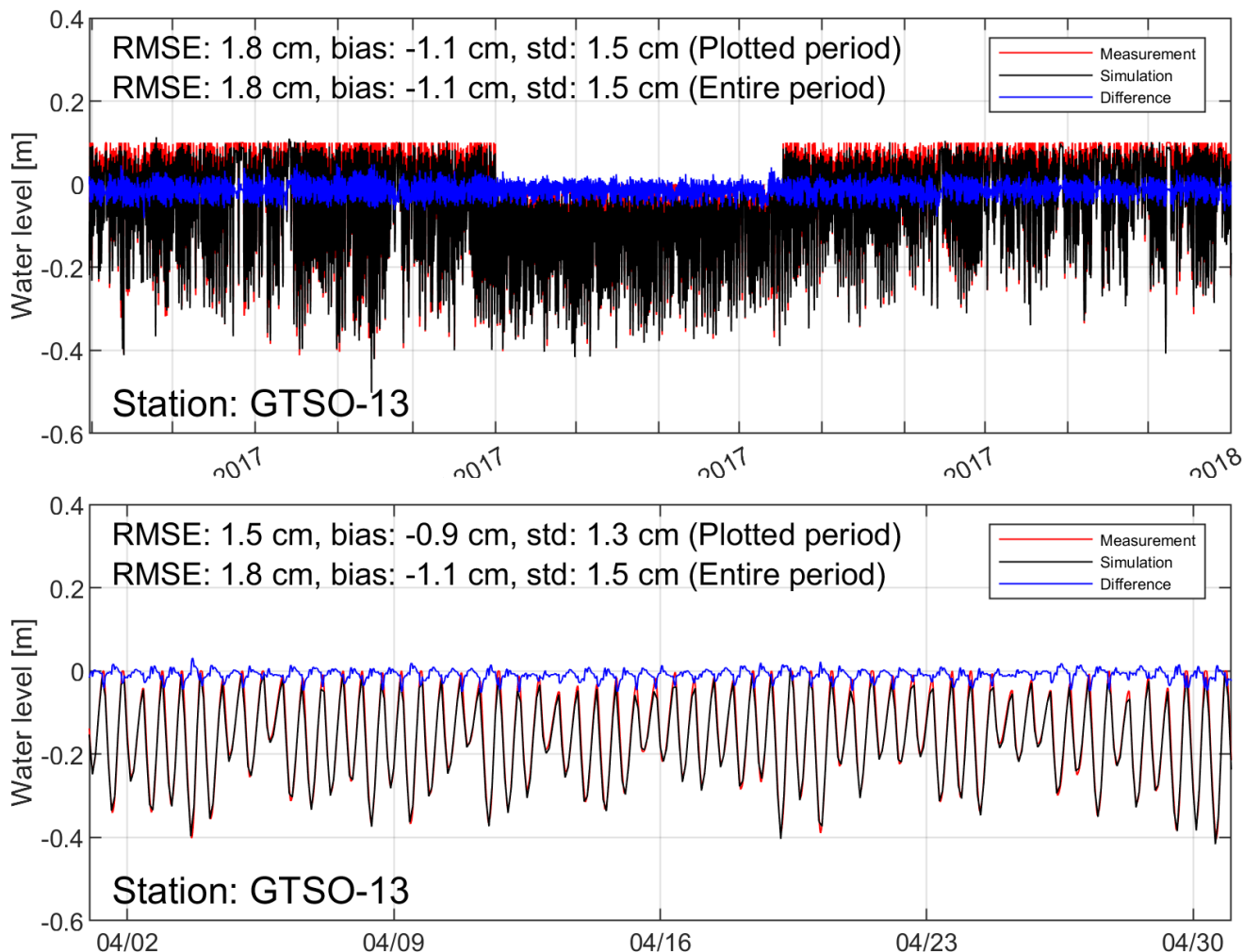
³ Als hypothese wordt gesteld dat het te maken heeft met de wijze waarop de sluitfout in de totale waterbalans - naast de drie doorlaatmiddelen ook de poldergemalen, neerslag en verdamping - in het 3D model is verwerkt. Het is echter onbekend en onduidelijk hoe dezelfde waterbalans in de oude berekening uit 2022 (in 3D) en de nieuwe berekening uit 2025 (in 2D, vergeleken voor de B2 variant met 10 cm zss) tot een verschil kan leiden.



Figuur 3-3 Vergelijking berekende waterstand (in m NAP, rechter y-as) in de nieuwe 2025 berekening (rood) en de oude 2022 berekening (blauw) voor variant B2 met 10 cm zss op locatie GTSO-13. De zwarte lijn geeft het verschil weer (in m, linker y-as).

3.3 Modelresultaten D-HYDRO

De berekende waterstand op locatie GTSO-13 voor B4* met 10 cm zss is eerder getoond in Figuur 3-2. De berekende waterstand op locatie GTSO-13 voor B4* met 38 cm zss is hieronder weergegeven in



Figuur 3-4 Vergelijking berekende waterstand (in m NAP) met het 0D-waterbalansmodel (rood, in de legenda als 'Measurement' aangegeven) en het 2D model (zwart op locatie GTSO-13, legenda 'Simulation') voor variant B4* met 38 cm zss. De blauwe lijn geeft het verschil weer. Bovenste plot voor de hele rekenperiode en onderste plot een uitsnede voor april 2017.

Ten behoeve van de ecotopenberekening door WMR zijn de volgende percentielen van voorkomen over het jaar 2017 in GIS-formaat (shapefile) aan WMR aangeleverd. Dit is ook gedaan voor de B2 variant met 10 cm zss (2D berekening), opdat WMR een vergelijking met de 2022 berekening kan uitvoeren voor het effect van verschillen in hardware, software en overstap naar 2D en de onbedoelde afwijkingen in de 3D berekening uit 2022.

- 1-percentiel
- 5-percentiel
- 7-percentiel
- 25-percentiel
- 50-percentiel
- 75-percentiel
- 93-percentiel
- 95-percentiel
- 99-percentiel
- 99,99-percentiel

4 Referenties

Deltares (2022a): Optimalisatie Getij Grevelingen peilbeheerscenario's met het 0D waterbalansmodel; auteurs Frank Kleissen, Arno Nolte en Maaïke Maarse, Deltares rapport 11206580-005-ZKS-0003, november 2022. [LINK](#)

Deltares (2022b): Effect en effectiviteit van zes varianten op de zuurstofdoelindicatoren van het Grevelingenmeer; Onderdeel van Getij Grevelingen; auteurs Arno Nolte en Luuk van der Heijden, Deltares rapport 11206580-006-ZKS-0006, november 2022. [LINK](#)

Deltares en Wageningen Marine Research (2022): Synthese doelindicatoren en duiding: Effect en effectiviteit van peilbeheervarianten op de waterkwaliteit en ecologie van de Grevelingen; auteurs Arno Nolte (Deltares), Luuk van der Heijden (Deltares) en Jeroen Wijsman (WMR), Deltares rapport 11206580-006-ZKS-0010, november 2022. [LINK](#)

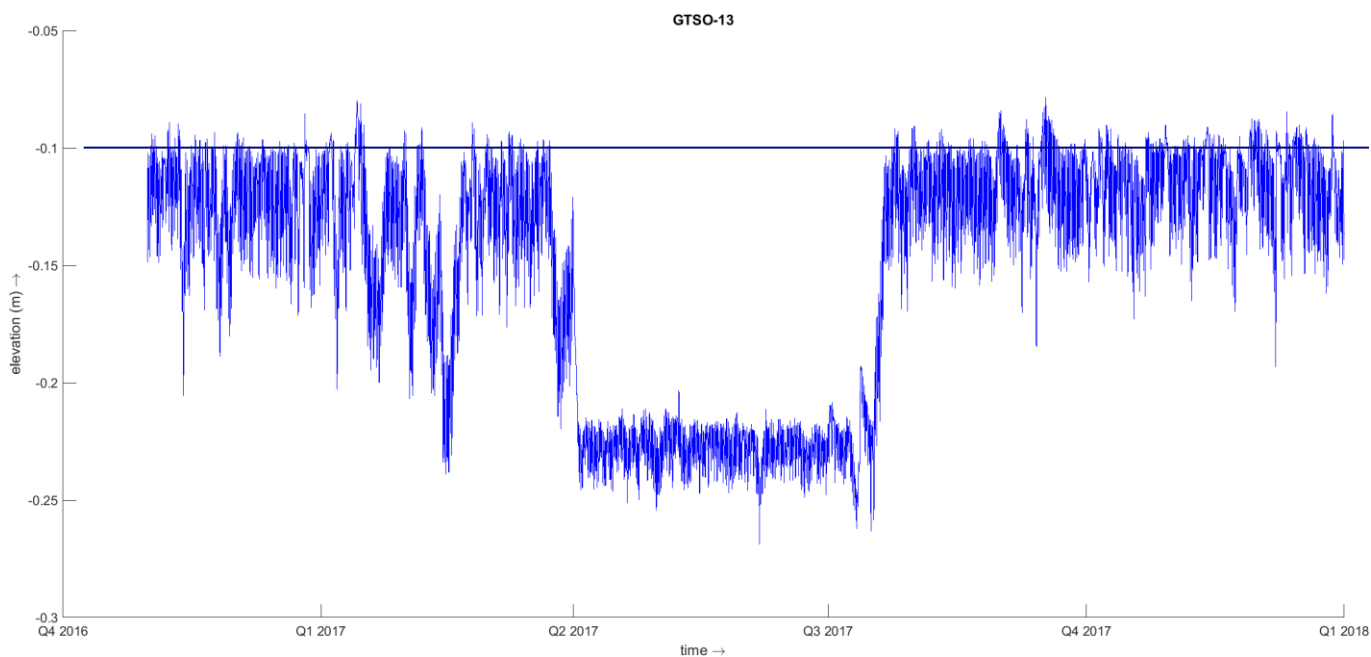
Deltares en Wageningen Marine Research (2025): Synthese doelindicatoren en duiding: Effect en effectiviteit van peilbeheervarianten op de waterkwaliteit en ecologie van de Grevelingen; Aanvulling 2025 met nieuwe peilbeheervariant; auteurs Arno Nolte (Deltares), Luuk van der Heijden (Deltares) en Jeroen Wijsman (WMR), Deltares rapport 11211550-006-ZKS-0003, december 2025. [LINK](#)

Getij Grevelingen (2025): Nota definitie peilbeheerscenario's, Beschrijving van de peilbeheerscenario's behorende bij de varianten, versie 9, 14 augustus 2025.

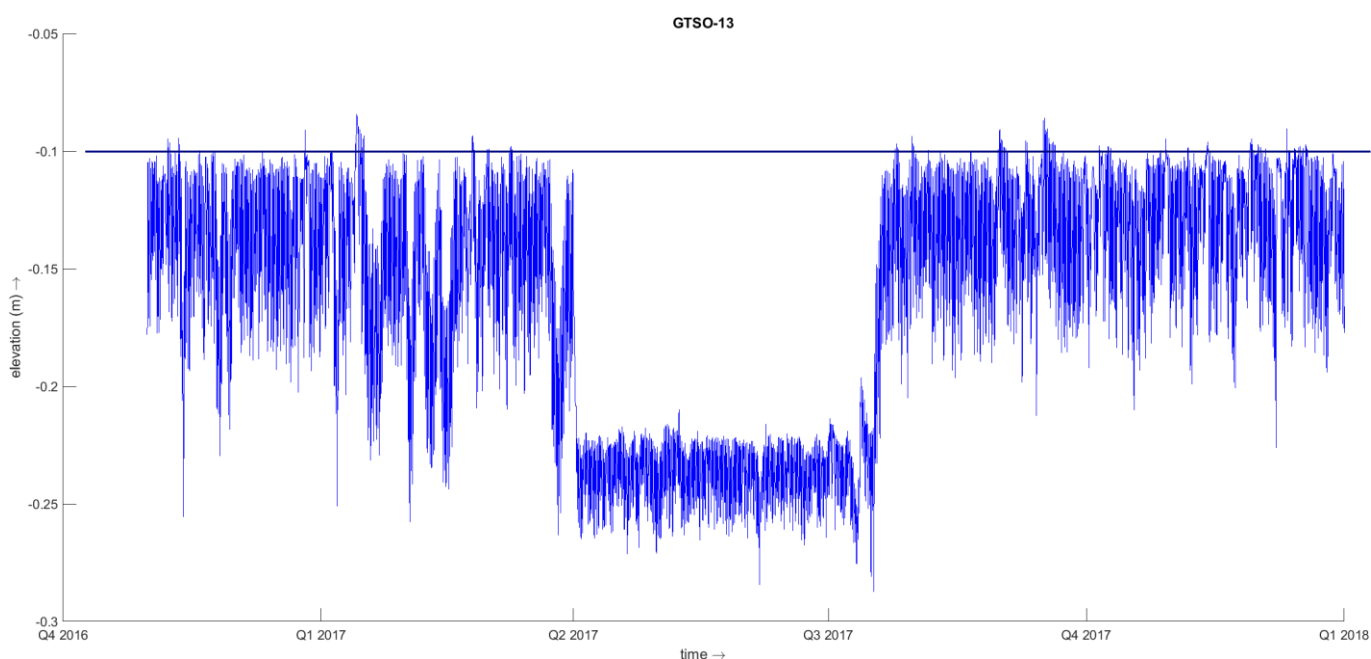
A Waterstanden D-HYDRO model alle peilvarianten in relatie tot bovenpeil

- p:\archivedprojects\11206811-002-d-hydro-grevelingen\simulaties\Jaarsom2017_scenarios_run5\computations\scen\
- p:\11211550-006-grevelingen-0d-model\simulaties\Jaarsom2017_scenarios_run5\computations\scen\

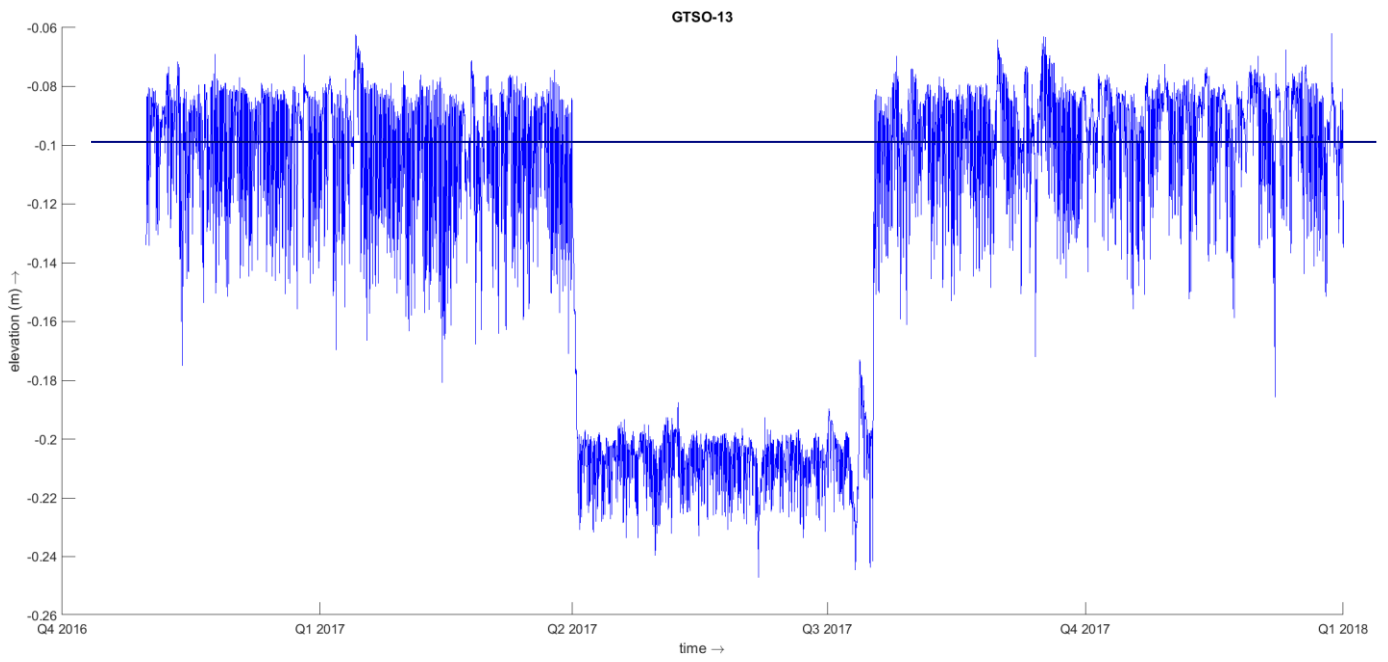
A0_SLR10



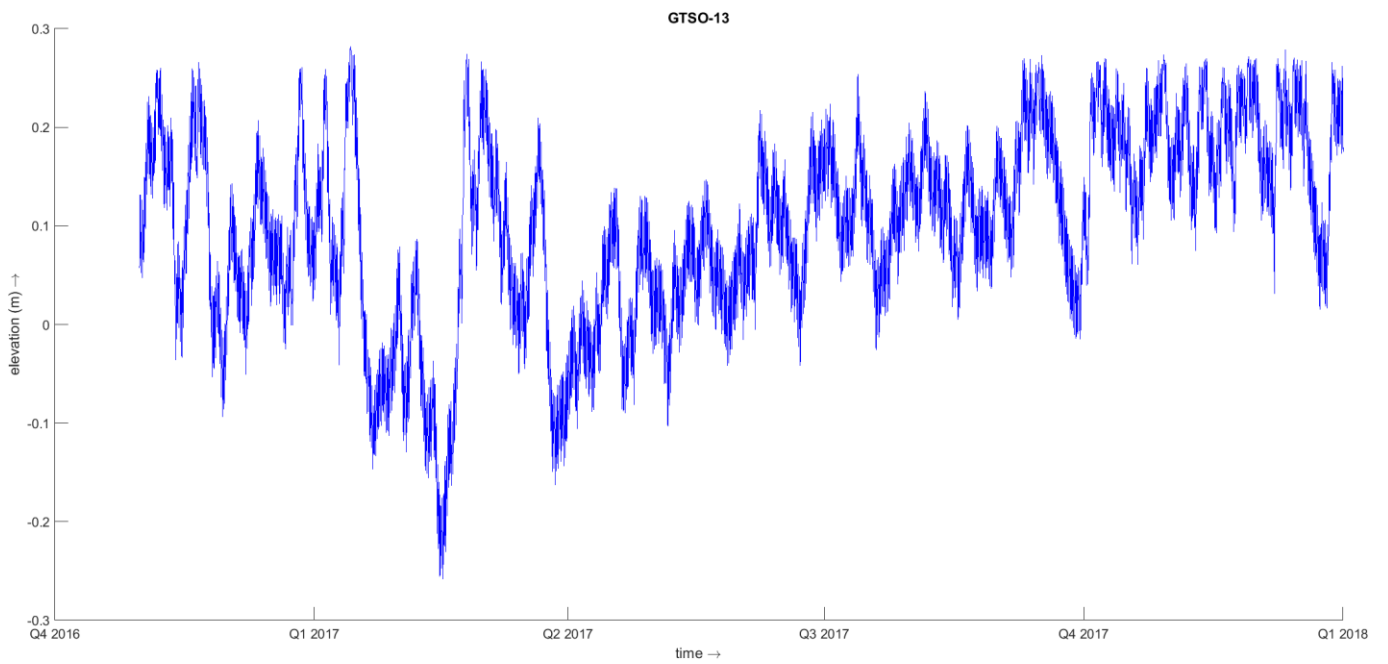
A1_SLR10



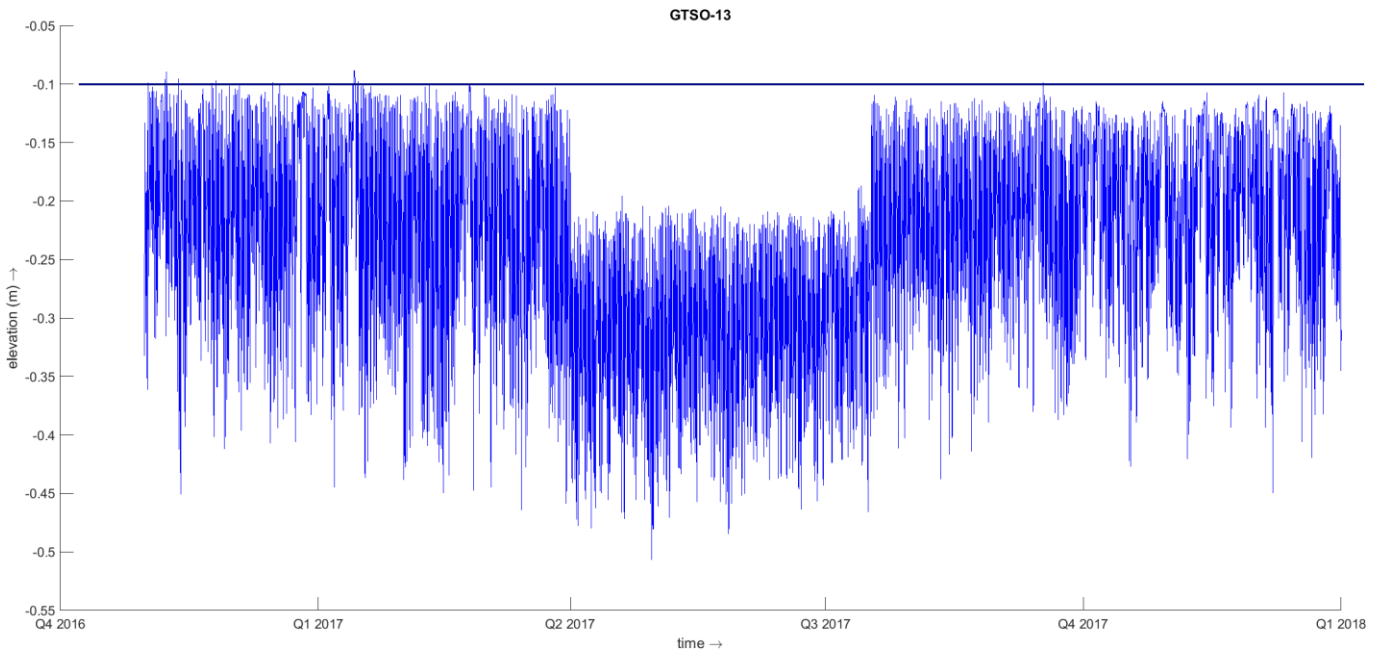
A1_SLR38



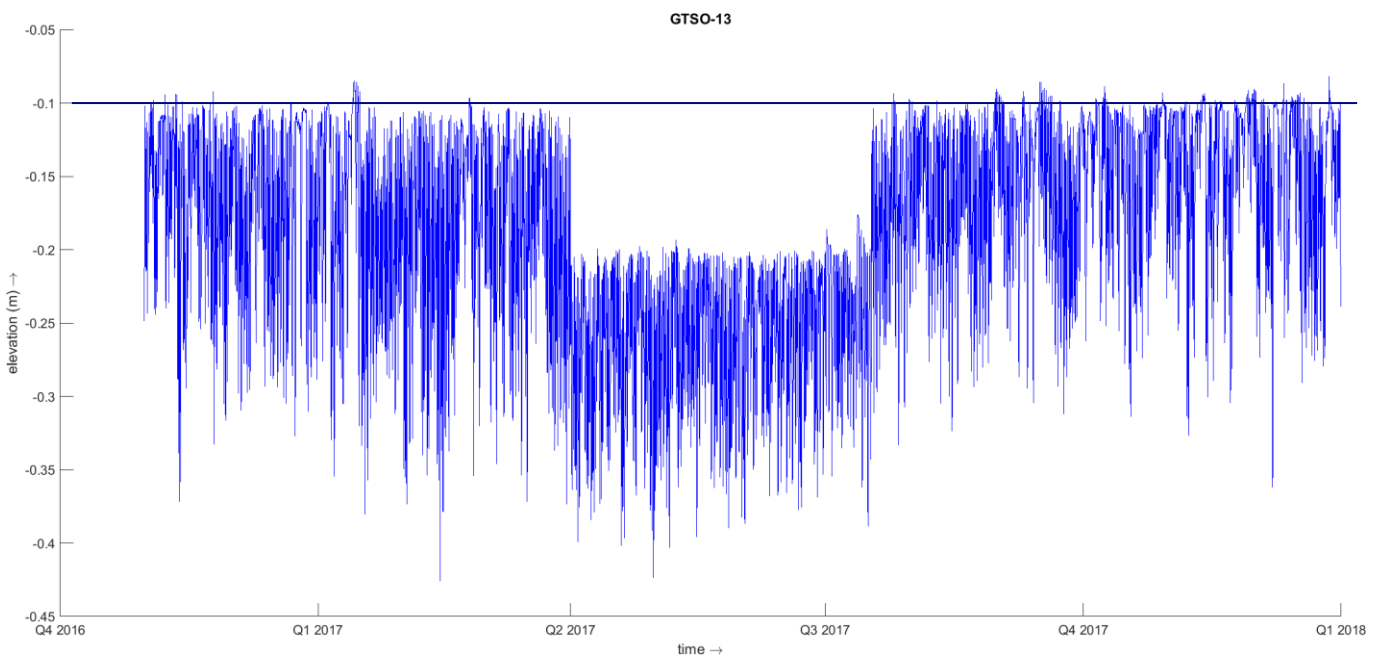
A3_SLR10



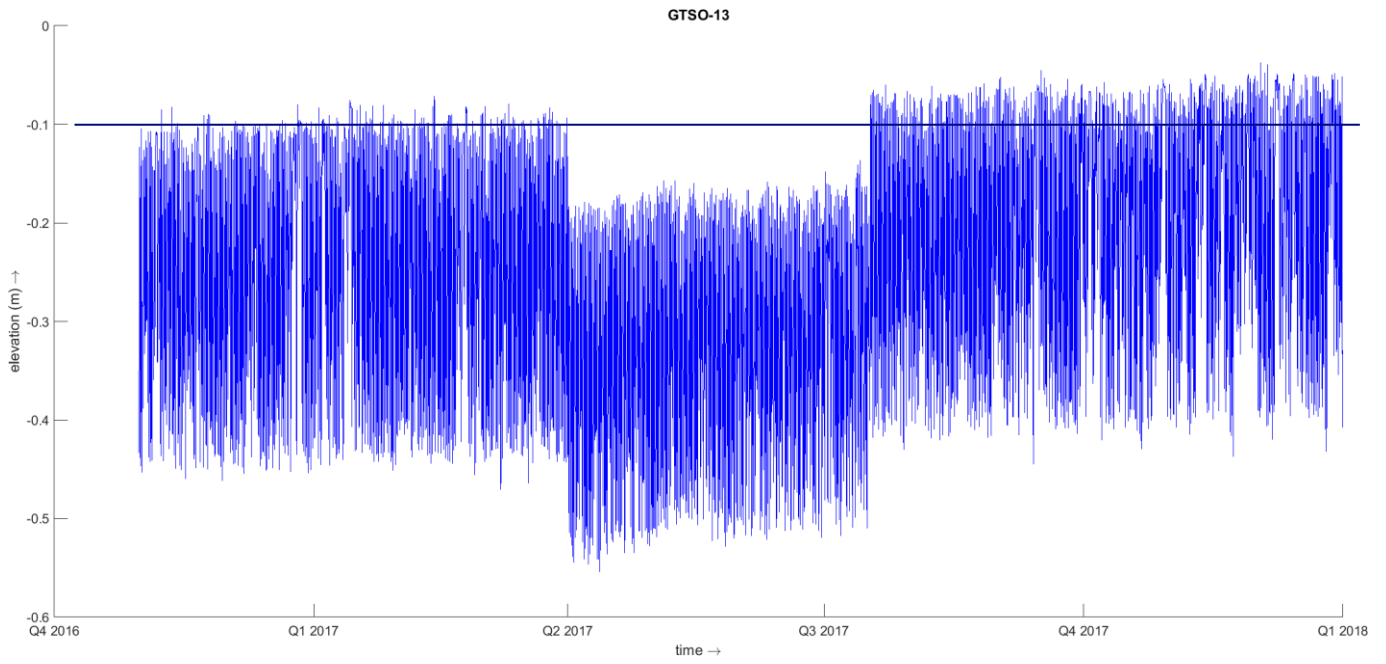
B1_SLR10



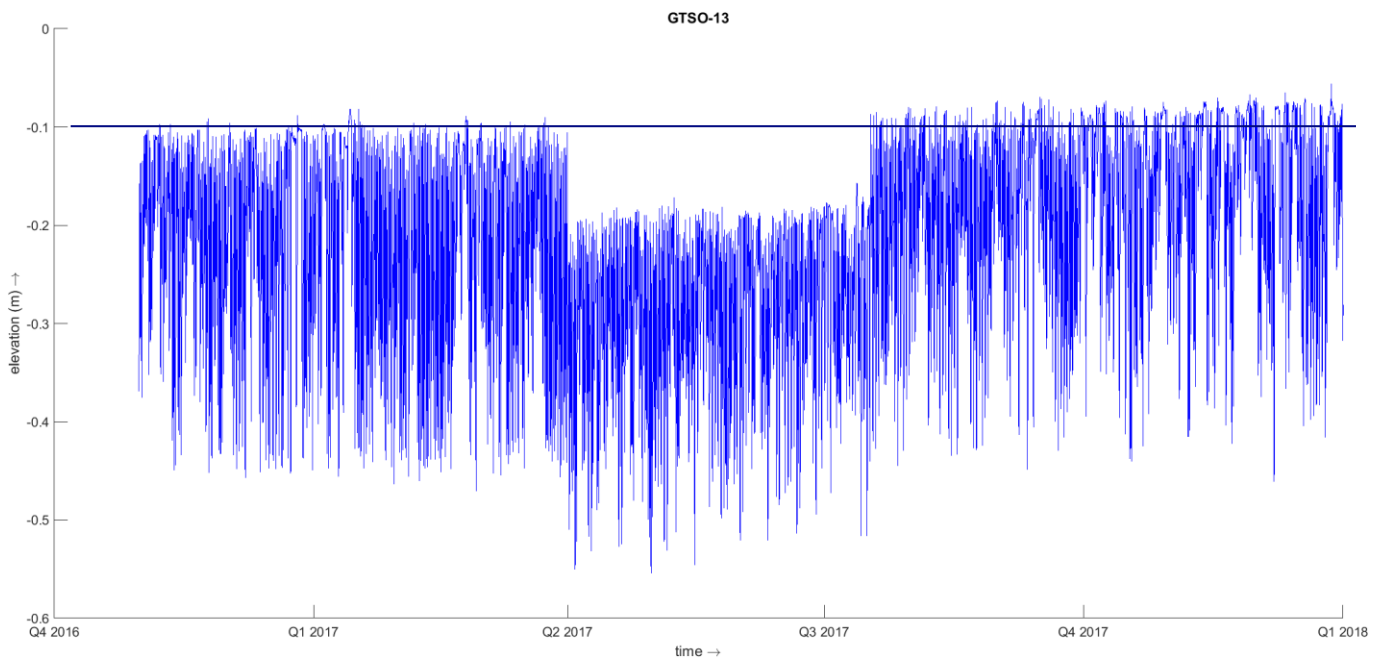
B1_SLR38



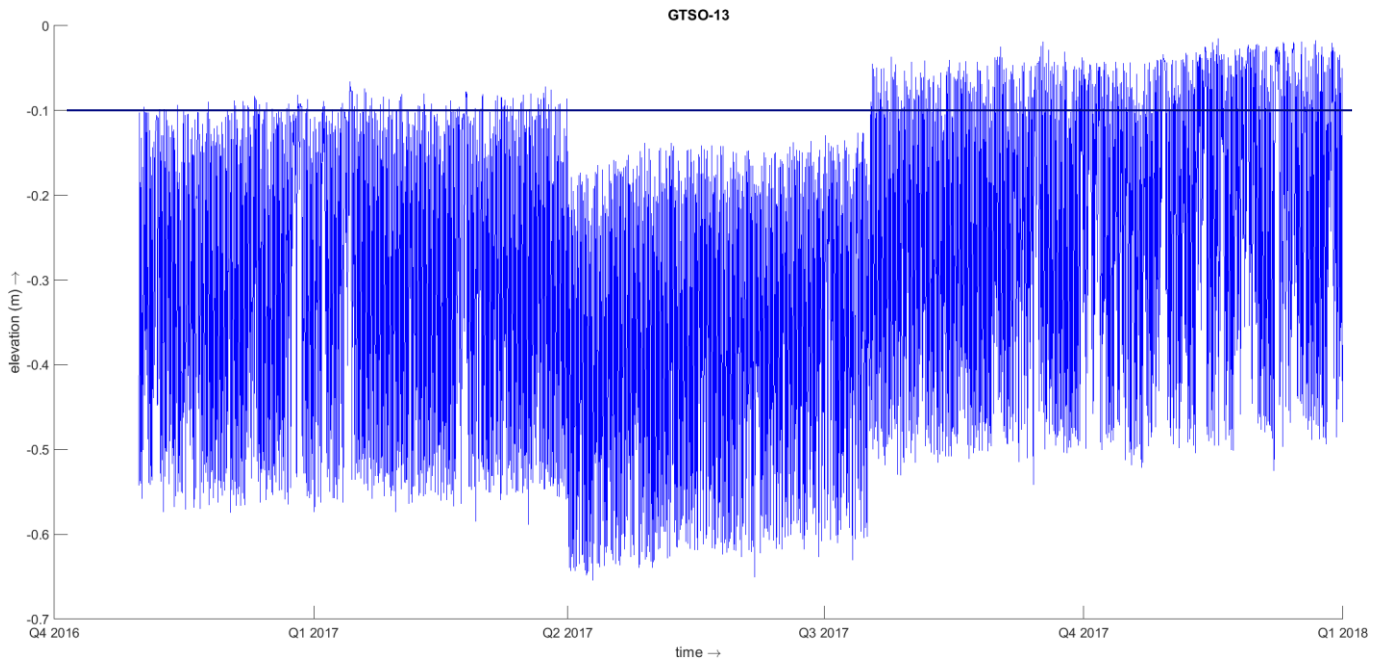
B2_SLR10



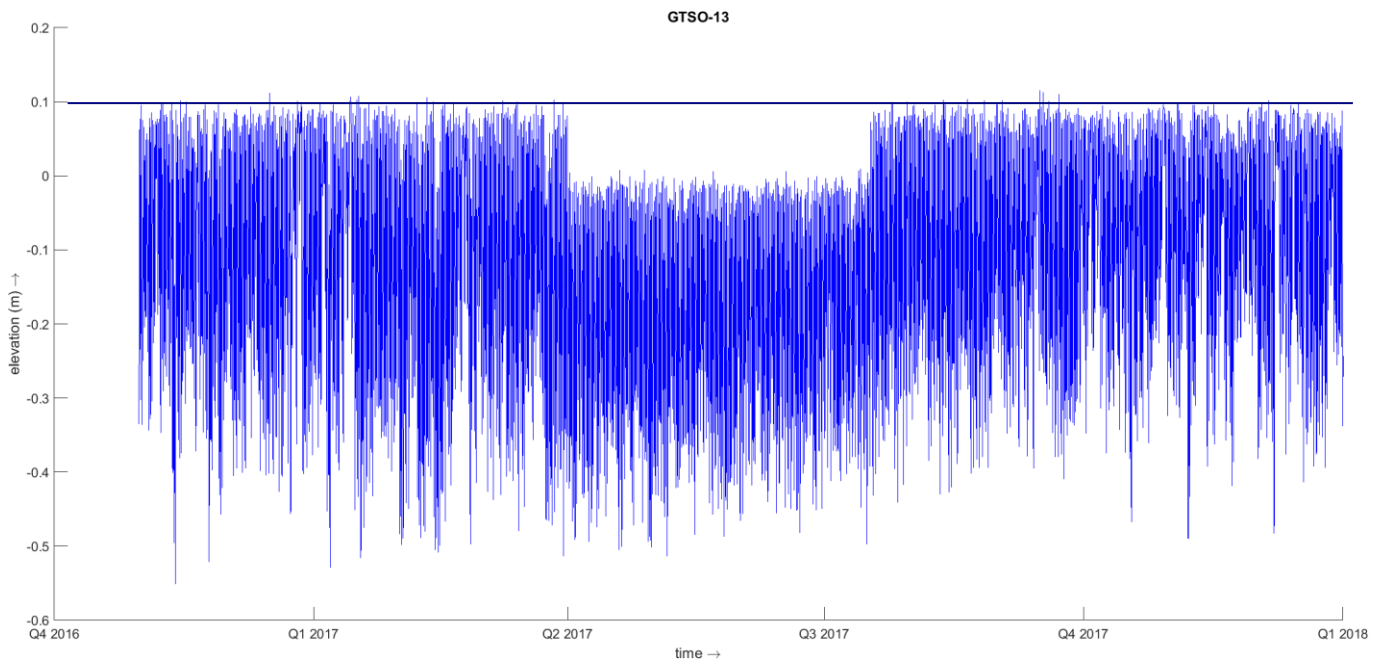
B2_SLR38



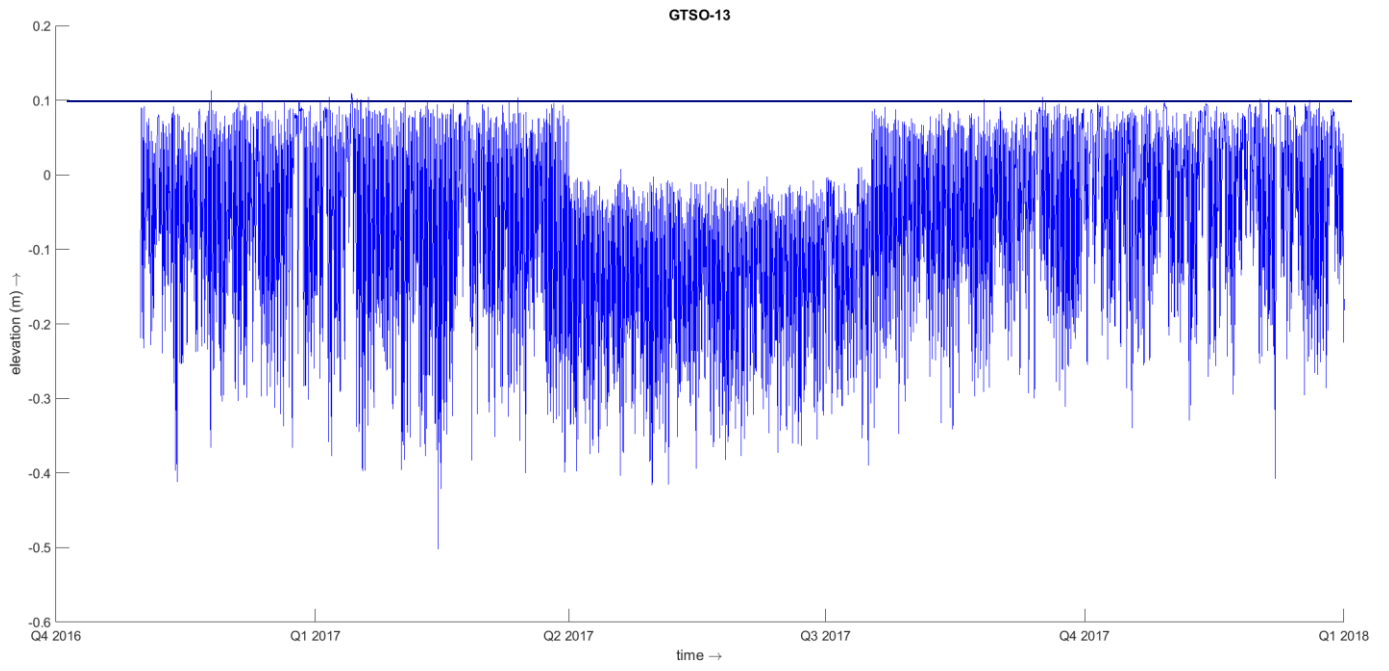
B3_SLR10



B4_SLR10 (nieuw)



B4_SLR38 (nieuw)



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