

Modelontwikkeling D-HYDRO Oosterschelde en Veerse Meer

Twee zesde generatie Rijkswaterstaatmodellen



Modelontwikkeling D-HYDRO Oosterschelde en Veerse Meer

Twee zesde generatie Rijkswaterstaatmodellen

Meinard Tiessen
Remco Plieger
Julien Groenenboom
Gundula Winter
Julius Sumihar

Titel

Modelontwikkeling D-HYDRO Oosterschelde en Veerse Meer

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
Martin Scholten (RWS)	11203715-008	11202221-008-ZKS-0005	50

Trefwoorden

D-HYDRO, D-Flow Flexible Mesh, zesde-generatie model, hydrodynamica, Oosterschelde


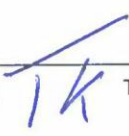

Samenvatting

Dit rapport beschrijft de stappen die zijn uitgevoerd voor het maken van het zesde generatie D-HYDRO Oosterschelde model en het zesde generatie D-HYDRO Veerse Meer model. De beoogde toepassing van beide modellen is in eerste instantie het beschrijven van waterstanden en stromingen in 2D. Voor beide schematisaties geldt echter dat deze in de toekomst ook voor 3D toepassingen gebruikt kunnen worden.

De modelopzet van het zesde generatie D-HYDRO modellen van de Oosterschelde en het Veerse Meer gebruiken een vergelijkbare opzet, welke is gebaseerd op de generieke, technische en functionele specificaties beschreven in Spruyt et al. (2017) en Minns et al. (2019). De rekenroosters van beide gebieden bestaan uit zoveel mogelijk regelmatige driehoeken, gebieden met variërende resolutie of oriëntatie zijn aan elkaar verboden door middel van onregelmatige driehoeken.

Het D-HYDRO Oosterschelde model is gekalibreerd aan de hand van de jaarsom van 2016 op de keringsformulering en de bodemruwheid coëfficiënt. De stroomsnelheden en neervorming nabij de kering worden (kwalitatief) goed door het Oosterschelde model beschreven. De waterstandsverwachtingen van het model voor 2016, 2013, 2007 en 1990 laten een goede overeenkomst zien met de gemeten waardes (RMSE in Oosterschelde voor jaarsom 2016: 0.056m, 2013: 0,051m, 2007: 0,048m, 1990: 0,040m (alle meetlocaties)) welke veelal beter is dan WAQUA ScalOost (2013: 0,061m) en IMPLIC (2007: 0,083m).

Het D-HYDRO model van het Veerse Meer is alleen getoetst aan de hand van de windgedreven lokale op- en afwaaiing. Op basis van het simuleren van een storm in november 2007 en de Sinterklaasstorm 2013, blijkt dat het model de lokale wind-gedreven waterstandsverschillen goed kan reproduceren, specifiek als een lokaal windstation wordt gebruikt voor de windfocering.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
0.1	sep. 2019	Meinard Tiessen Remco Plieger Julien Groenenboom Gundula Winter Julius Sumihar		Theo van der Kaaij		Frank Hoozemans	
1.0	dec. 2019	Meinard Tiessen Remco Plieger Julien Groenenboom Gundula Winter Julius Sumihar		Theo van der Kaaij		Toon Segeren	

Status:
definitief

Inhoud

1 Inleiding	1
1.1 Achtergrond	1
1.2 Doel	1
1.3 Activiteiten 2017	2
1.4 Activiteiten 2018	2
1.5 Activiteiten 2019	3
1.6 Gebruikte programmatuur en hardware:	4
1.7 Organisatie en bijdragen	4
1.8 Leeswijzer	5
1.9 Terminologie	6
2 Systeembeschrijving	7
2.1 Oosterschelde	7
2.2 Veerse Meer	9
3 Beschikbare data	11
3.1 Geometrie in Baseline	11
3.2 Randvoorwaarden en meetgegevens	11
3.2.1 Randvoorwaarden	11
3.2.2 Meetdata	11
4 Modelbouw	15
4.1 Inleiding	15
4.2 Rooster	15
4.2.1 Methodiek	15
4.2.2 Roostereigenschappen	18
4.2.3 Gridconvergentie	18
4.4 Projectie vanuit Baseline	19
4.5 Randvoorwaarden	20
4.5.1 Open randen	20
4.5.2 Lateralen	21
4.5.3 Meteorologie	23
4.5.4 Initiële condities	24
4.6 Schematisatie kunstwerken	24
4.6.1 Barriers	25
4.7 Overige numerieke instellingen	26
5 Kalibratie en validatie Oosterschelde	27
5.1 Kalibratiemethodiek	27
5.1.1 Kalibratieparameters	27
5.1.2 Kalibratieprocedure	27
5.2 Kalibratie- en validatieperiod(en)	27
5.3 Resultaten kalibratie	28
5.3.1 Keringsformulering	28
5.3.2 Ruwheid	31
5.4 Resultaten validatie	35
5.4.1 Stroomsnelheden en debiet (2016 en 2014)	35

5.4.2	Waterstanden (2013)	37
5.4.3	Waterstanden (2007)	40
5.4.4	Waterstanden (1990)	41
5.5	Conclusies	43
6	Kalibratie en validatie Veerse Meer	41
6.1	Kalibratie	41
6.1.1	November 2007 Storm: Kalibratie windforcering	41
6.2	Sinterklaasstorm 2013: Toetsing lokale waterstandsopzet	43
6.3	Conclusies	44
7	Modeltoepassing	45
7.1	Toetsing voor gebruikstoepassingen	45
7.2	Rekentijden en parallelisatie	45
8	Conclusies en aanbevelingen	47
8.1	Conclusies	47
9	Referenties	49
A	Bijlage: Roostergeneratie	A-1
A.1	Oosterschelde	A-1
A.2	Veerse Meer	A-8
A.3	Koppeling naar omliggende gebieden	A-9
B	Bijlage: roosterpunten en bodemhoogte nabij havens en kanaalmondingen	B-1
B.1	Overzicht van havens en kanaal mondingen in de Oosterschelde	B-1
C	Bijlage: Lijst gebruikte numerieke instellingen	C-1
D	Bijlage: Definitie modelbeoordeling	D-1
D.1	Achtergrond	D-1
D.2	Definitie	D-1
D.2.1	Kalibratie	D-1
D.2.2	Validatie	D-1
D.2.3	Verificatie	D-1
D.3	Goodness-of-fit criteria	D-1
D.3.1	Bias	D-2
D.3.2	Standaardafwijking	D-2
D.3.3	Root Mean Square Error (<i>RMSE</i>)	D-2
D.3.4	Relatieve bias	D-2
D.3.5	Variatiecoëfficiënt	D-3
D.3.6	Verskil in waarden rond extremen	D-3
D.3.7	Verskil in tijdstip van extremen	D-3
D.3.8	Overschrijdingsduur	D-3
D.3.9	Gemiddelde over stations	D-3
D.4	Middelingsduur variabelen	D-4
D.5	Nauwkeurigheidscriterium	D-4
E	Kalibratiemethodiek	E-1

F Bijlage: Kalibratie	F-1
F.1 Stromingspatronen 2016	F-1
F.2 Waterstanden 2016	F-3
G Bijlage: Validatie	G-1
G.1 Debietraaien 2016	G-1
G.3 Waterstand Sinterklaasstorm 2013	G-8
G.3.1 D-HYDRO Oosterschelde	G-8
G.3.2 WAQUA ScalOost	G-13
G.4 Waterstanden 2007	G-18
G.4.1 Periode 02-10-2007 t/m 09-10-2007	G-18
G.4.2 Periode 08-11-2007 t/m 11-12-2007	G-23
G.4.3 Periode 01-12-2007 t/m 08-12-2007	G-28
G.5 Waterstanden keringssluitingen 1990	G-33
G.5.1 Periode 26-02-1990 t/m 03-02-1990	G-33
G.5.2 Periode 20-09-1990 t/m 23/09-1990	G-36
G.5.3 Periode 05-10-1990 t/m 09-10-1990	G-39
G.5.4 Periode 10-12-1990 t/m 14-12-1990	G-42
H Bijlage: Waterbalans Veerse Meer tijdens Sinterklaasstorm (2013)	H-1
H.1 Aanleiding	H-1
H.2 Waterstandsverloop op basis van vaste meetpunten	H-2
H.3 Waterbalans op basis van geleverde debieten	H-3
H.4 Berekening sluitpost waterbalans	H-3
I Bijlage: Maatregellijst(en)	I-1
J Bijlage: Dataoverzicht	J-1
K Bijlage: Toetsing	K-1

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Sinds 2017 is in het kader van de projecten KPP - Hydraulica Schematisaties Zout (2017 – 2019) (projectnummers 11200570, 11202221 en 11203715) gewerkt aan een nieuw zesde generatie, D-HYDRO model van de Oosterschelde. Dit model vervangt het in 2015 opgezette 5^e generatie WAQUA-model van de Oosterschelde (Kaaij, 2015).

In 2016 is een verkenning uitgevoerd naar de opzet van zesde generatie D-HYDRO waterbewegingsmodellen voor de verschillende te onderscheiden watersystemen: “Estuaria en Zeeën”, “Meren” en “Rivieren”, zie (Spruyt, et al., 2016). Aansluitend is in 2017 begonnen met de ontwikkeling van een zesde generatie D-HYDRO Oosterschelde model. De ontwikkeling van het rooster/netwerk heeft daarbij over meerdere jaren gelopen, vanwege voortschrijdend inzicht op het gebied van zowel roostergeneratie, rekentijden als gridkeuzes. Deze inzichten zijn uiteindelijk geïntegreerd in de functionele specificaties (Spruyt/Minns, versie 2019). In 2019 is gestart met de modelontwikkeling van het D-HYDRO model van het Veerse Meer.

1.2 Doel

Het doel van dit project is het bouwen van een nieuw zesde generatie Oosterscheldemodel op basis van de D-HYDRO-Suite software dat geschikt is voor toepassingen als Wettelijk BeoordelingsInstrumentarium (WBI), het uitvoeren van morfologische studies en waterkwaliteitsberekeningen. Daarom hebben er vooraf en gedurende het onderzoek gesprekken plaatsgevonden met een aantal gebruikersgroepen. Bij de verdere modelontwikkelingen is, zoveel als mogelijk, rekening gehouden met de wensen uit deze gebruikersgroepen (Tiessen, 2017; Tiessen, 2018; Tiessen, 2019).

Dit geldt met name voor:

- de wens dat het model ook in 3D-mode toegepast moet kunnen worden. Deze mogelijkheid is in de gemaakte modelkeuzes meegenomen. Er is echter geen uitgebreid onderzoek uitgevoerd naar het modelgedrag in 3D.
- de wens dat het model ook langs de teen van de dijk voldoende resolutie heeft om uitvoer van waterstanden voor WBI uit de berekeningsresultaten te kunnen halen. WBI hanteert daarbij in verband met droogval en de ligging van schorren en slikken, uitvoer van waterstanden op teen van de dijk, 50 meter van de dijk en 150 meter van de dijk.

RWS heeft bij dit project tevens verzocht om rekening te houden met de volgende activiteiten:

- 1) Modelresultaat (waterstanden en stroomsnelheden) dienen te worden vergeleken met het huidige Oosterschelde modellen (WAQUA ScalOost¹ en IMPLIC).
- 2) Er dient nabij de kering ook validatie op stroming te worden gedaan t.b.v. de positionering van neren en in relatie tot de ontgrondingskuilen.

¹ In deze modelvergelijking is het 5^e generatie WAQUA model van de Oosterschelde niet meegenomen, omdat dit model randvoorwaarden en randlocaties gebruikt die niet overeenkomen met de in D-HYDRO gehanteerde modelrand. Voor het D-HYDRO model is met RWS afgesproken om gebruik te maken van de domeinrand op de randpalenlijn, omdat deze locatie van de randvoorwaarden ook door RWS-ZD operationeel wordt gebruikt op de Oosterscheldekering. Om toch een eerlijke vergelijking te geven tussen een model met een gestructureerd rooster en het D-HYDRO model, worden hier de resultaten vergeleken met het bij RWS-ZD operationele WAQUA ScalOost model (wiens modelrand en forcering wel overeenkomen met het D-HYDRO model).

- 3) De standaard parameters moeten in overeenstemming worden gekozen met de standaardinstellingen van zesde generatie modellen. Indien hiervan wordt afgeweken moet dit worden toegelicht.

Dit rapport beschrijft:

- het definitief maken van het rooster van het zesde generatie D-HYDRO Oosterschelde model inclusief de stappen op het gebied van de kalibratie en validatie op basis van waterstanden, stromingen en debiettraaien.
- het definitief maken van het rooster van het zesde generatie D-HYDRO Veerse Meer model, inclusief de stappen van kalibratie/validatie op basis van waterstanden.

1.3 Activiteiten 2017

Voor het zesde generatie D-HYDRO model van de Oosterschelde is gestart met het stapsgewijs wijzigen van het rekenrooster van het 5^e generatie model (met betrekking tot roostervorm en afmetingen) met telkens controle naar waterstanden en stroompatronen door de uitkomst te vergelijken met de resultaten uit het 5^e generatie model.

Half november 2017 is er een voorlopig rooster van het D-HYDRO opgeleverd aan RWS-WVL en RWS-ZD. De kwaliteit van dit rooster voldeed op een aantal vlakken niet en ook zijn er toen aandachtspunten geconstateerd ten aanzien van de consistentie met andere D-HYDRO roosters voor de Nederlandse Wateren, zoals bijvoorbeeld het Markermeer. Naar aanleiding daarvan is eind 2017 in overleg met RWS besloten om in deze tussenfase van het project vooral te richten op het verkennen van een aantal roostervarianten/ontwerpen, met daarbij de focus op resoluties, rekentijden 2D/3D en de aansluitingen met andere recentelijk opgeleverde D-HYDRO roosters van detailmodellen.

Een vijftal roostervarianten zijn eind 2017 bedacht en getest om de verschillende aanpakken voor de roostergeneratie uit te proberen (Vatvani en van der Kaai, 2017). Deze roostervarianten en hun karakteristieken zijn tijdens een overleg met RWS (25 januari 2018) besproken waarin afgesproken is om te kiezen voor een rooster met waar mogelijk driehoeken en slechts indien nodig vierkanten/rechthoeken (Tiessen, 2018). Daarnaast zal het rooster grotendeels bestaan uit zo veel mogelijk volledig regelmatige driehoeken (perfecte gladheid en orthogonaliteit). Het rooster zal geen geulen volgen, de resolutie zal fijn genoeg zijn om deze bathymetrische kenmerken in het rekenrooster te kunnen beschrijven.

1.4 Activiteiten 2018

Er is tijdens het overleg (25 januari 2018) geconcludeerd dat er nog een aantal zaken nader onderzocht dienen te worden, zoals of de resolutie en celtype (driehoekig of vierhoekig rooster) substantiële invloed heeft op de gemodelleerde stroomsnelheid in zowel het binnengebied van de Oosterschelde, nabij de inloop van het Kanaal van Zuid Beveland als nabij de Oosterscheldekering.

Uit het onderzoek (Groenenboom, 2018) naar de invloed van roosters op stromingspatronen in de Oosterschelde is vervolgens gebleken dat het effect van de roosterresolutie in het binnengebied van de Oosterschelde en nabij de monding van het Kanaal door Zuid-Beveland op de gemodelleerde magnitudes van de stroomsnelheden erg klein is. Op basis van deze conclusie en eerdere bevindingen is besloten om een in Groenenboom (2018) beschreven rooster met regelmatig /uniform 100 meter driehoeksresolutie te gebruiken in het binnengebied van de Oosterschelde. Er werd ook voorgesteld om nabij de domeinrand in het binnengebied een resolutie van 50 meter te hanteren. De wens voor het nauwkeurig volgen van de kustlijn

met driehoeken is aanleiding geweest om ook de rest van het rekenrooster driehoekig uit te voeren.

Er is in 2018 ook gekeken naar de invloed van de in D-HYDRO Suite geïmplementeerde keringsformulering: Op basis van een waterstandsvergelijking (Roompot Binnen en Roompot Buiten) is als startpunt gekozen voor de keringsformulering “BarrierAdvection = 1”, wat betekent dat de hoge stroomsnelheden direct op de kering in de advectietermen worden meegenomen (in het 5^e generatie WAQUA Oosterschelde model was dit niet het geval). In de tweede helft van 2018 is aan de hand van gemeten stroomsnelheden nabij de kering gekeken welke keringsformulering uiteindelijk gebruikt moet worden.

Naast het onderzoek naar de invloed van de keuze van de keringsformulering is in 2018 het D-HYDRO-model van de Oosterschelde gekalibreerd op bodemruwheid. Dit is gedaan aan de hand van vergelijking tussen gemeten waterstanden op basis van een jaarsom van 2016, waarbij vooraf een actualisatie is gedaan van het model op basis van de Baseline-nl-j16_5_w3-gebiedsschematisatie.

Daarnaast zijn de resultaten van de jaarsom 2016 gebruikt voor een validatie van stroomsnelheden met behulp van debiets- en stroomsnelheidsraaien uitgevoerd in 2016. Tot slot is het model op waterstanden vergeleken met de resultaten van het operationele WAQUA-ScalOost model voor de Sinterklaasstorm 2013.

1.5 Activiteiten 2019

Oosterschelde

In 2019 is op basis van feedback van RWS een laatste aanpassing aan het rooster van de Oosterschelde gemaakt. Het rooster is nabij de kleinere havens en enkele sluizen verder verfijnd om een fysisch realistische waterstandsvoorspelling in deze havens mogelijk te maken. In het eerdere rooster was door gebruik van grovere cellen nabij een aantal havens, de havenmonding te ondiep geworden na projectie in Baseline, omdat de hoekpunten van deze cellen op ondiepe delen lagen. Door het rooster zo te maken dat tussen de twee havenhoofden twee roostercellen liggen, wordt de bodem in deze vernauwing fysisch realistisch en lager.

Daarnaast bleek uit de resultaten van 2018 dat in de gebruikte Baseline projectie (Baseline-nl-j16_5_w3) nog niet de correcte bodemhoogte was gehanteerd voor enkele havens en ondiepere gebieden. Dit is alsnog in 2019 gedaan: Het updaten van de Baseline-gegevens is buiten dit project uitgevoerd, maar heeft veel doorlooptijd gekost. De bodem is vervolgens gecorrigeerd door gebruik te maken van de meest recente Baseline projectie (Baseline-zwd-j19_6-w4), welke aansluitend is gebruikt voor de definitieve simulaties.

Waar in 2018 gebruik werd gemaakt van een ruimtelijk uniforme bodemruwheid, is in 2019 overgegaan op het gebruik van de in Baseline gehanteerde ruwheden op basis van ecotopen en vegetatie (Spruyt et al. 2017): Hierbij wordt voor het winterbed² een fysische ruwheid uit Baseline opgelegd, terwijl voor het zomerbed nog steeds door de modelleur een

² De benaming “winter-” en “zomerbed” is voor een gebied als de Oosterschelde niet voor de hand liggend. Hier wordt echter voor de beschrijving van de bodemruwheid aan vast gehouden, omdat de ruwheidsbepaling gebaseerd is op de methodiek die wordt gehanteerd in rivieren. Voor getijdegebieden wordt met het “winterbed” de buitendijkse gebieden bedoeld die onder normale omstandigheden (geen stormopzet) droog staan. Het “zomerbed” is het gedeelte van het domein dat onder normale omstandigheden onder water staat. Hieronder vallen ook de intergetijdengebieden.

ruwheidswaarde kan worden opgelegd (op basis van fysische eigenschappen). Aansluitend is op basis van de jaarsom van 2016 een ruimtelijk uniforme zomerbedruwheid afgeleid.

Met het oog op het effect van bovenstaande veranderingen op de resultaten, is aansluitend kort gekeken of deze aanpassingen (rooster en bodem nabij kleinere havens en ruwheid van droge gebieden) leiden tot veranderingen in de vergelijking tussen metingen en model. Zowel qua waterstanden als stroomsnelheden (2016 en 2013) bleken de resultaten niet significant te veranderen.

Naast de in 2018 uitgevoerde stroomsnelheidsvalidatie voor 2016, is in 2019 ook voor 2014 gekeken naar de vergelijking tussen gemeten en gemodelleerde stroomsnelheden. Waar in 2016 sprake was van metingen aan de binnenzijde van de Oosterschelde kering, waren die in 2014 aan de zeezijde van de Oosterschelde kering (wederom in de Roompot) beschikbaar.

Aansluitend is een waterstandsvalidatie uitgevoerd voor 2007 (gebruikmakend van een project met Baseline-zwd-j17), waarbij specifiek is gekeken naar de stormsluiting van de Oosterscheldekering, en is ook 1990 gesimuleerd wanneer de Oosterscheldekering 7 keer is gesloten.

Veerse Meer

Voor het Veerse Meer is in 2019 een 2D D-HYDRO model gemaakt: Een rooster is opgezet volgens de zelfde richtlijnen als voor het Oosterschelde-model en geprojecteerd op Baseline (Baseline-zwd-j19_6-w4). Daarnaast zijn randvoorwaarden en windforceringen afgeleid.

Voor dit model zijn twee periodes gesimuleerd: Een storm in november 2007 en de Sinterklaasstorm (2013). Deze simulaties hebben tot doel de lokale windgedreven op- en afwaaiing te simuleren. Voor 2007 is een gevoeligheidsonderzoek gedaan naar de optimale windforcering. De 2013 som was bedoeld als toetsing van de gehanteerde instellingen.

1.6 Gebruikte programmatuur en hardware:

- ArcGIS (ArcMap 10.1)
- Baseline-schematisatie: zwd-j19_6-w4
- Baseline-software: 6.1.1 (2041)
- Bas2FM (versie 1.0.11)
- D-Flow FM (versie 1.2.13.62682)
- Linux/Window 32/64 bits

1.7 Organisatie en bijdragen

De volgende personen zijn bij dit project betrokken:

- Meinard Tiessen (auteur en deelprojectleider D-HYDRO Oosterschelde)
- Remco Plieger (projectmedewerker)
- Julien Groenenboom (projectmedewerker)
- Julius Sumihar (auteur)
- Gundula Winter (auteur)
- Theo van der Kaaij (reviewer)
- Wouter Kranenburg (plaatsvervangend reviewer, 2018)

1.8 Leeswijzer

De twee watersystemen en gebieden met de voor de modellering belangrijkste functies wordt beschreven in hoofdstuk 2. De gebruikte data wordt beschreven in hoofdstuk 3. De schematisatie op het D-HYDRO rooster wordt beschreven in hoofdstuk 4. Hoofdstuk 5 beschrijft de kalibratie en validatie van het D-HYDRO Oosterschelde model en hoofdstuk 6 die van het D-HYDRO Veerse Meer model. De modeltoepassing wordt in hoofdstuk 7 gegeven. In hoofdstuk 8 wordt het rapport geconcludeerd.

1.9 Terminologie

In dit rapport worden de volgende definities gebruikt:

Nederlandse term	Beschrijving	Voorbeeld
<i>gebiedsschematisatie</i>	Een beschrijving van een specifiek gebied of water-/grondwatersysteem, voor een specifieke periode	baseline-rijn-j15_5-v1 (software: Baseline, watersysteem: Rijn, periode: 2015)
<i>Modelschematisatie</i>	= modelsoftware + gebiedsschematisatie Een rekenkundig model van een specifiek gebied of water-/grondwatersysteem gebouwd met specifieke modelsoftware, voor een specifiek systeem en een specifieke periode	waqua-rijn-j15_5-v1 (software: WAQUA. watersysteem: Rijn, periode: 2015)
<i>modelsoftware</i>	Een software pakket waarmee modelschematisaties kunnen worden doorgerekend aan de hand van een numerieke implementatie van fysische processen	D-HYDRO, WAQUA
<i>Modelsoftwaresuite</i>	Een samenhangend geheel van modelsoftware systemen	D-HYDRO, SIMONA

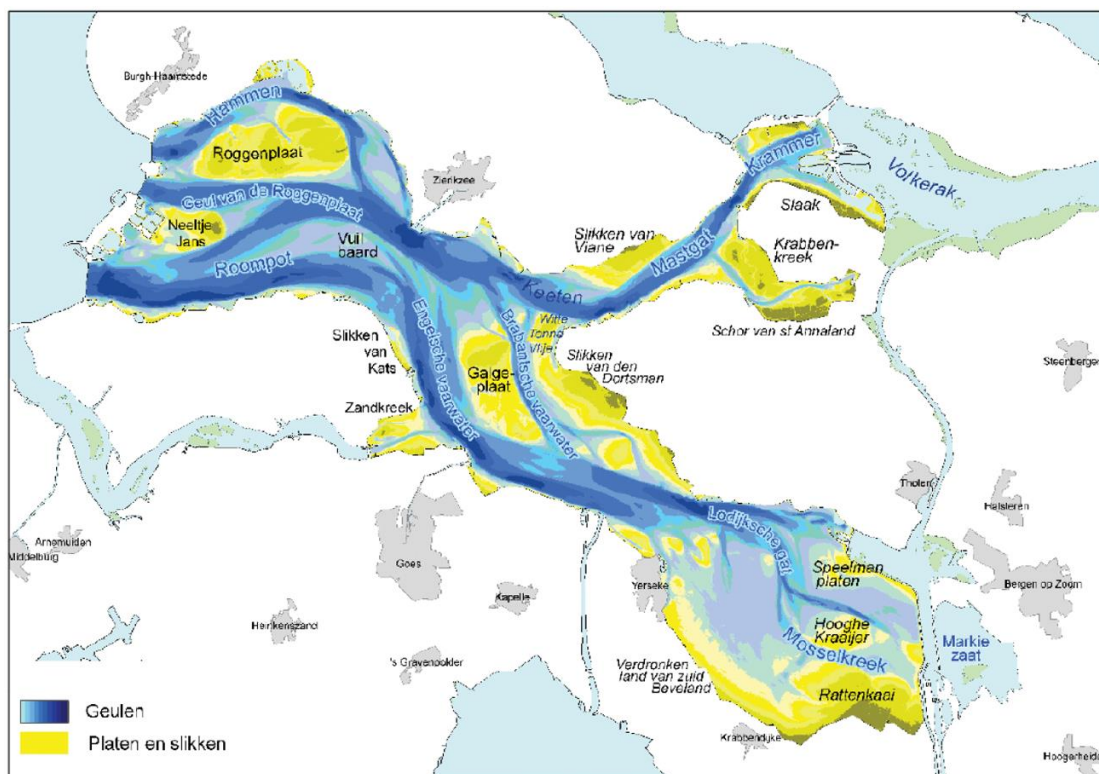
Wanneer alleen het woord 'model' wordt gebruikt, wordt hier specifiek een 'modelschematisatie' mee bedoeld.

2 Systeembeschrijving

2.1 Oosterschelde

De hieronder beschreven systeembeschrijving is grotendeels afkomstig uit het rapport van de ontwikkeling van het vijfde generatie WAQUA-model (Kaaij, 2015).

Door het gebied lopen een aantal grotere geulen, waaronder Roompot, Hammen, Geul (Schaar) van Roggenplaat, Engelsche vaarwater, Keeten, Mastgat, Zijpe, Krammer, Lodijksche gat, Marollegat. Tevens zijn er een aantal platen (o.a. Roggenplaat, Neeltje Jans, Vuilbaard, Galgeplaat) en slikken (o.a. Slikken van Viane en van Kats, Verdrongen land van Zuid Beveland, Speelmanplaten, Hooghe Kraaijer). Een overzicht van het Oosterschelde gebied is te zien in Figuur 2.1. een onderdeel dat daaraan nog ontbreekt is de “Rammegors” dit natuurgebied vormt het oostelijke uiteinde van de Krabbenkreek en vormt de overgang met de Eendracht, wat onderdeel is van het Volkerak-Zoommeer.



Figuur 2.1 Gebiedsoverzicht Oosterschelde (bron:Staatscourant <https://zoek.officiëlebekendmakingen.nl/stcrt-2011-18645.html>).

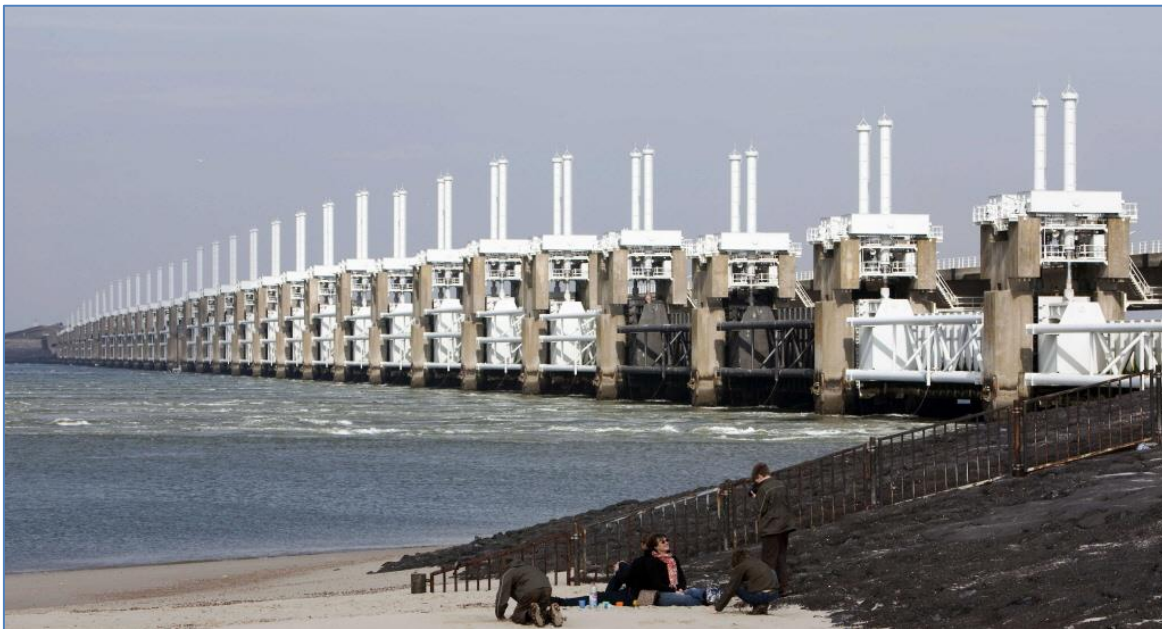
Bij de Krammersluizen en de Bergse Diepsluis wordt water uit het Volkerak-Zoommeer gespuid op de Oosterschelde (hoofdzakelijk zoetwaterverlies vanuit het schutproces). Het Kanaal door Zuid-Beveland vormt de verbinding tussen de Westerschelde en de Oosterschelde. Het is aan de zijde van de Westerschelde afgesloten met een sluiscomplex bij Hansweert. Het peil van het kanaal is onderhevig aan getij, zodat er een sterke wateruitwisseling met de Oosterschelde optreedt.

In het zuiden van de Oosterschelde wordt middels het doorlaatmiddel Katse Heule water vanuit het Veerse Meer met de Oosterschelde uitgewisseld. Daarnaast lozen er verschillende poldergemalen en uitwateringssluizen water op de Oosterschelde.

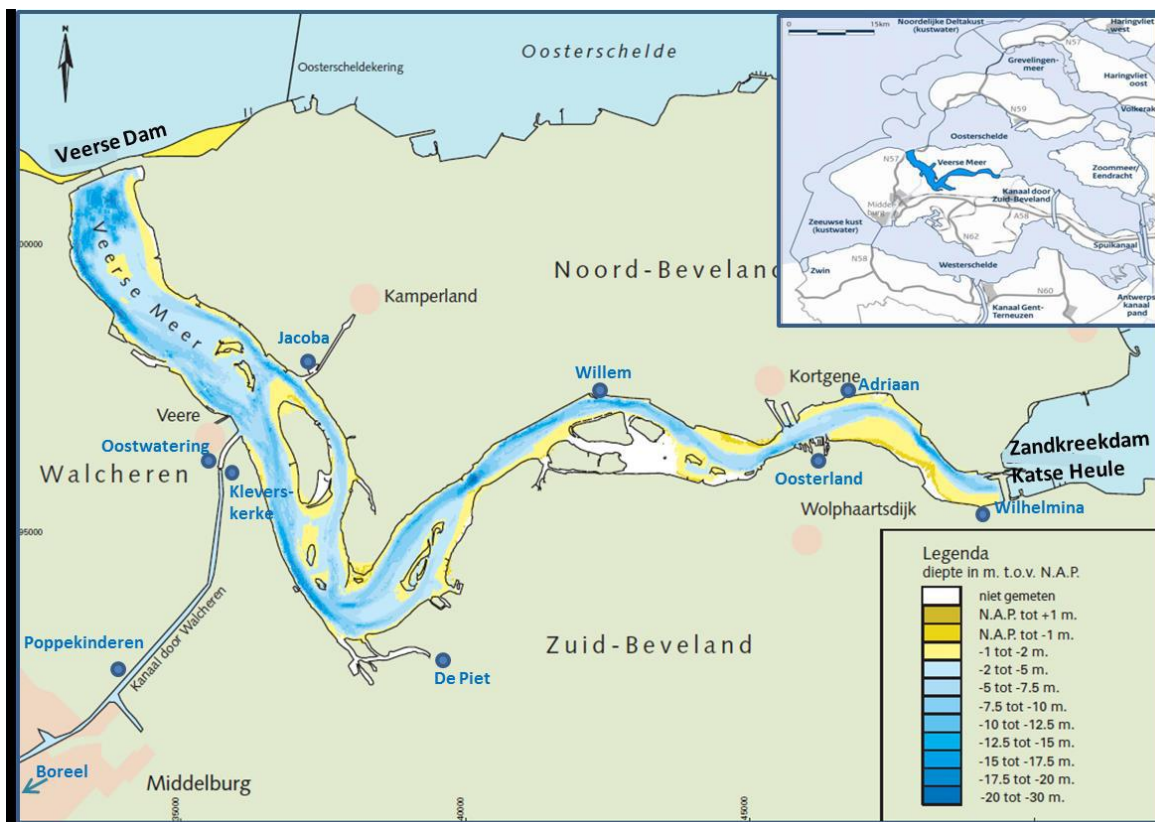
In het westen van de Oosterschelde bevindt zich de Oosterscheldekering, welke bij gevaarlijk hoogwater (stormvloeden) en bij calamiteiten met verontreinigingen in de Voordelta wordt ingezet om de Oosterschelde van de Noordzee af te sluiten. De kering bestaat uit drie afzonderlijke delen die elk een toegangseul tot de Oosterschelde, Hammen, Schaar en Roompot (Figuur 2.2), af kunnen sluiten.

In het totaal bestaat de gehele Oosterscheldekering uit 62 schuiven, Hammen 15 stuks, Schaar 16 stuks en Roompot 31 stuks. Elk van de schuiven is 42 m breed (netto 39,5 m). Hun hoogte varieert tussen 6 en 12 m. Als de waterstandsvoorspelling aan de zeezijde van de kering, meetstation Roompot Buiten, boven NAP+3 m uitkomt, dan sluiten de schuiven. Het precieze sluitmoment wordt momenteel bepaald op basis van een groot aantal IMPLIC berekeningen met verschillende sluitmomenten waarbij de berekende waterstand te Stavenisse het daadwerkelijke sluitmoment bepaald.

Als de kering open staat dan is er een open verbinding tussen de Noordzee en Oosterschelde. De opening wordt aan de bovenzijde begrensd door een vaste hoge betonnen koker ('bovenbalk') die zich over de volledige lengte van de kering uitstrekt van NAP + 1 m tot NAP+5,8 m (bij Hammen is dit 0,2 m lager), zie Figuur 2.3. Deze bovenbalk vormt bij gesloten schuif een integraal onderdeel van de kerende wand in het sluitgat.

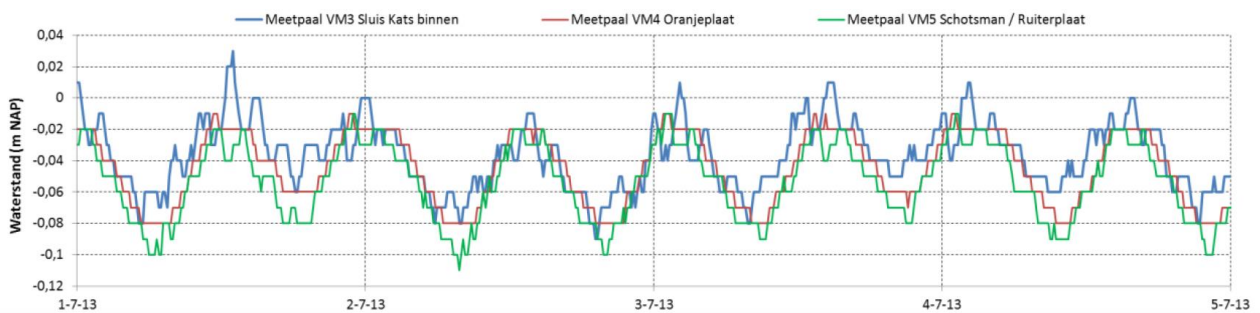


Figuur 2.2 De Oosterscheldekering (het Roompot deel)



Figuur 2.4 Gebiedsoverzicht Veerse Meer (bron: Prins & Vergouwen, 2015)

Het meer is qua bodemligging nog relatief onveranderd gebleven na afsluiting, met een hoofdgeul en aan de westzijde een nevengeul en daar tussen verschillende platen (Figuur 2.4). Als gevolg van het in- en uitlaten van water via de Katse Heule is er ook weer sprake van een (zeer) beperkt getij op het Veerse Meer (Figuur 2.5), van minder dan 10 cm.



Figuur 2.5 Waterstandsverloop op het Veerse Meer

In het verleden is voor dit gebied een 3D model ontwikkeld (Nolte et al, 2004), en daarnaast is een basis voor een 1D (SOBEK3) model opgeleverd bij het 5^e generatie SOBEK3 model van de Oosterschelde. In dit project zal worden gewerkt aan een 2D model, welke in de toekomst mogelijk ook voor 3D doeleinden kan worden ingezet.

3 Beschikbare data

3.1 Geometrie in Baseline

De D-HYDRO schematisaties voor de Oosterschelde en Veerse Meer is in eerste instantie opgebouwd vanuit de landelijke Baselineboom (Baseline-nl-j16_5-w3) welke in 2019 is verbeterd met de geactualiseerde Baseline boom van de Zuidwestelijke Delta (zwd-j19_6-w4, zie van Doornik, 2019). In deze Baseline-boom zijn officiële databronnen van RWS gebruikt zoals AHN, DTB, lodingen en andere bestanden. Nadat een definitief rooster is opgesteld, wordt een projectie gedaan en worden afgeleide bestanden aangemaakt voor het D-HYDRO model.

3.2 Randvoorwaarden en meetgegevens

3.2.1 Randvoorwaarden

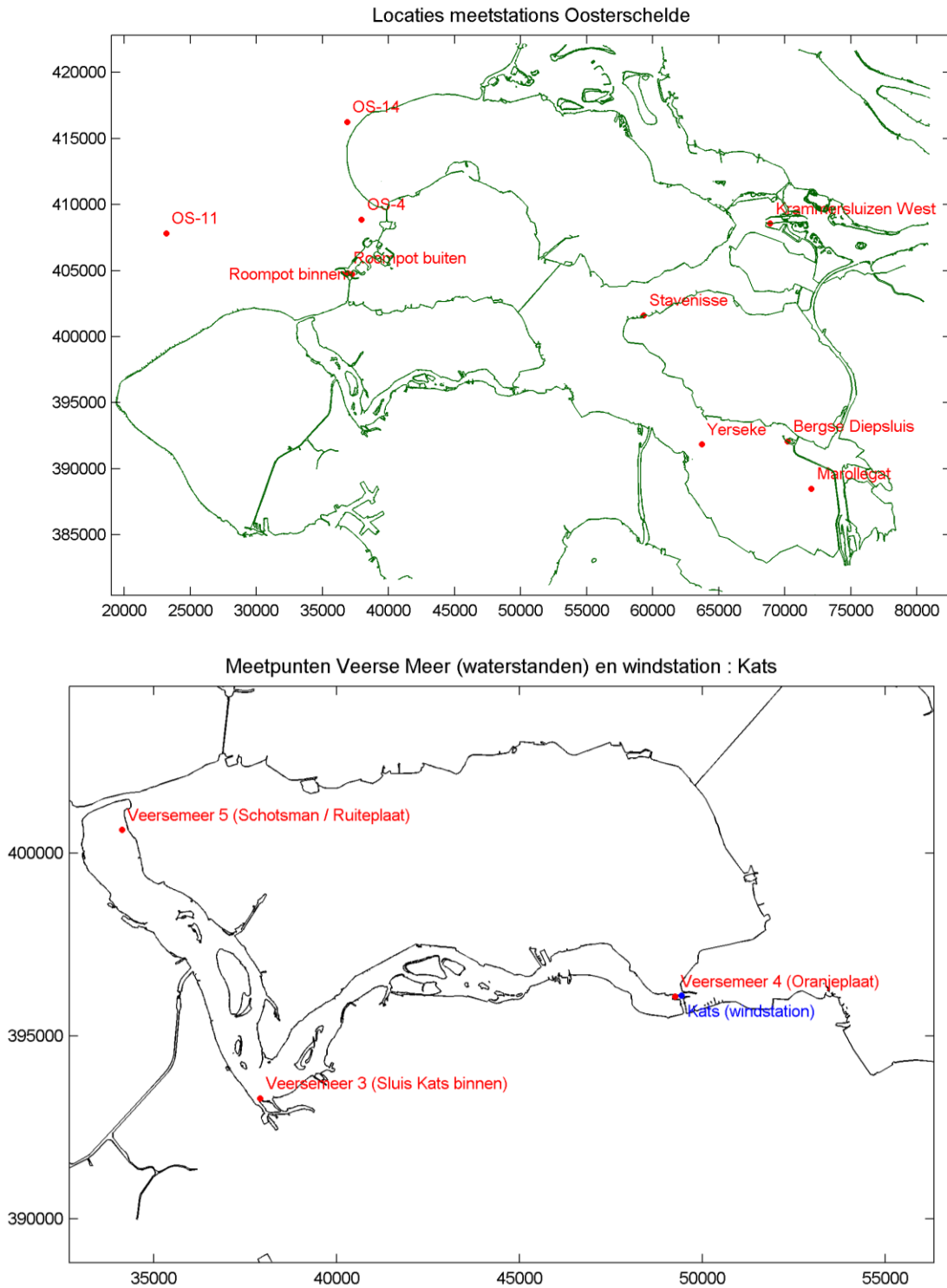
De randvoorwaarden van het zesde generatie D-HYDRO Oosterschelde model zijn waterstanden voor op de open modelranden, schuifstanden van de Oosterscheldekering (voor lek gecorrigeerd), en windsnelheden en –richtingen bij de op zee gelegen meetlocatie BG2 (Brouwershavense Gat 2). De locaties van de open randen (in de vorm van waterstandstijdreeksen) van het model zijn identiek aan die van het vierde generatie WAQUA ScalOost model – zoals dat operationeel bij RWS-ZD draait. De data voor de randvoorwaarden voor de periode 1990 t/m 2016 is medio 2018 geleverd door RWS ZD.

Het Veerse Meer is een afgesloten meer zonder open randen, waar als randvoorwaarden de afvoer bij Katse Heule en de debieten van de gemalen als lateralen zijn opgelegd. Daarnaast wordt in het model de meteorologie (neerslag en wind) ook opgelegd. De randvoorwaarden zijn geen langdurige tijdreeks, maar beschrijven alleen twee stormperiodes (7-11-2007 – 12-11-2007 en 2-12-2013 – 9-12-2013), (Groenenboom, 2017). De meteo gegevens zijn afkomstig van het KNMI.

3.2.2 Meetdata

Waterstandsmetingen

Figuur 3.1 geeft een overzicht van de vaste waterstandsmetpunten van Rijkswaterstaat in de omgeving van de Oosterschelde en het Veerse Meer die in de twee D-HYDRO modelschematisaties zijn opgenomen.

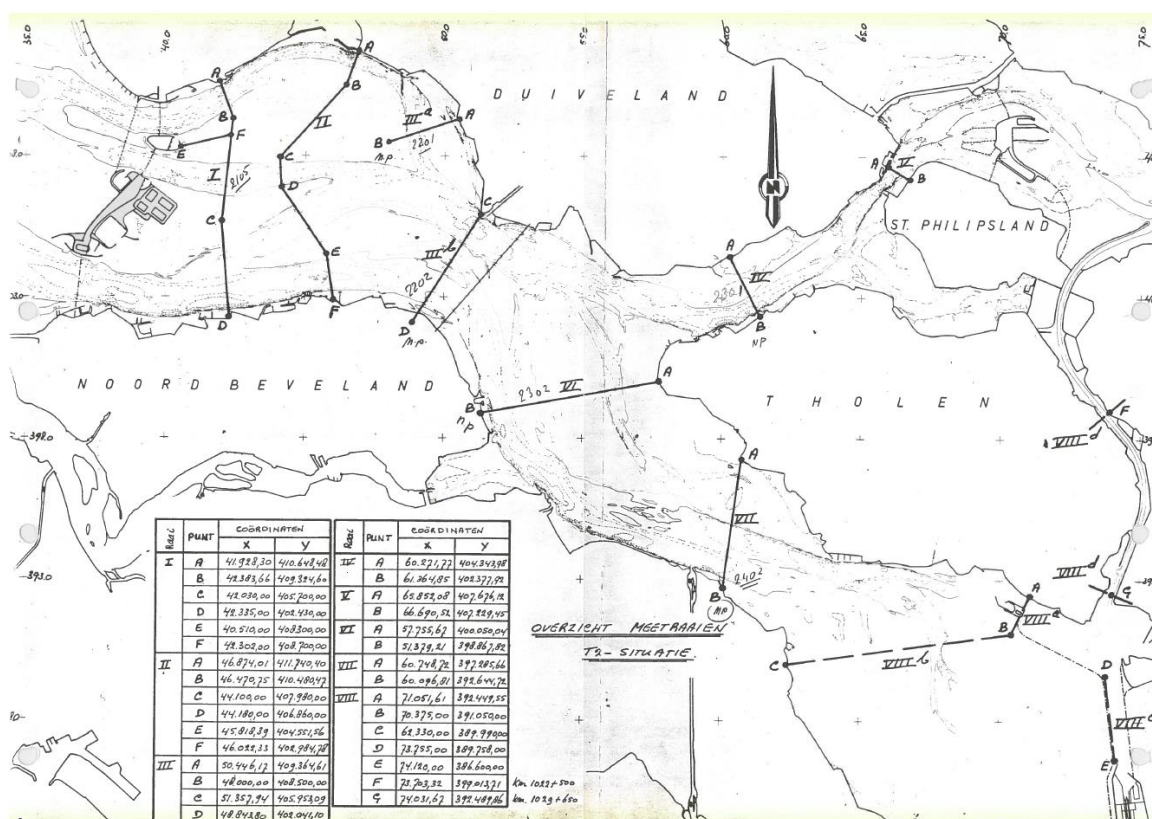


Figuur 3.1 Waterstandsmetpunten in en rond de Oosterschelde en het Veerse Meer waarvoor metingen beschikbaar zijn in dit project. In het Veerse Meer is ook het meteorologische meetstation KATS weergegeven,

Stroomsnelheidsmetingen

In 2014 en 2016 zijn door RWS stroomsnelheidsmetingen uitgevoerd aan zeezijde (2014) en binnenzijde (2016) van de Oosterscheldekering om neervorming en stroming in de ontgrondingskuilen te onderzoeken. Dit betreft drie vaste locaties en varende ADCP-metingen (22 juni 2016 en 28 november 2014).

Daarnaast zijn er in 2016 stroomsnelheidsmetingen uitgevoerd over verschillende standaardraaien (resultierend in stroomsnelheids- en debietraaien over een getijperiode). De gemeten raaien zijn 1 (a, b, c), 3b, 4 en 7.



Figuur 3.2 Vaste debietraaien in de Oosterschelde (bron: RWS).

4 Modelbouw

4.1 Inleiding

Hieronder volgt een korte beschrijving van de verschillende overleggen en beslissingen die samen met RWS zijn genomen om tot een rekenrooster voor zowel de Oosterschelde als het Veerse Meer te komen.

- Tijdens het voortgangsoverleg op 25 januari 2018 (Tiessen, 2018) over het D-HYDRO Oosterscheldemodel is besloten om:
 - te kiezen voor een rooster met, waar mogelijk, driehoeken en slechts indien nodig vierkanten/rechthoeken (Tiessen, 2018).
 - het rooster grotendeels te laten bestaan uit zoveel mogelijk volledig regelmatige driehoeken (perfecte gladheid en orthogonaliteit).
 - Het rooster geen geulen te laten volgen, omdat de gekozen resolutie fijn genoeg is om deze bathymetrische kenmerken in het rekenrooster te kunnen beschrijven en omdat de posities van deze geulen in de loop der tijd kunnen veranderen.
- Begin 2018 is een onderzoek uitgevoerd naar de invloed van de resolutie en celtype op de gemodelleerde stroomsnelheid in zowel het binnengebied van de Oosterschelde, nabij de inloop van het Kanaal van Zuid Beveland als nabij de Oosterscheldekering (Groenenboom, 2018). De conclusie van het onderzoek is dat het effect van de roosterresolutie in het binnengebied van de Oosterschelde en nabij de monding van het Kanaal door Zuid-Beveland op de gemodelleerde magnitudes van de stroomsnelheden erg klein is. Er wordt voorgesteld om een regelmatige 100 meter driehoeksresolutie te gebruiken in het binnengebied van de Oosterschelde. Om de kustlijn, dijken en kunstwerken in het modeldomein goed te kunnen volgen (en zo aan de wens van Rijkswaterstaat om een boundary-fitted rekenrooster te maken te kunnen voldoen) wordt voorgesteld een resolutie nabij de domeinrand in het binnengebied van 50 meter te hanteren.
- Daarnaast is op basis van Groenenboom (2018) ook besloten om een driehoekig rooster met vergelijkbare resolutie (~45m) uit te voeren voor een gebied van enkele kilometers zeewaarts en landinwaarts van de Oosterscheldekering.
- Op 15 januari 2019 (Tiessen, 2019) werd aansluitend besloten om nabij verschillende havens en sluizen het rooster van de Oosterschelde nader te verfijnen.
- Het Veerse Meer model is los opgezet van het Oosterschelde model. Zoveel als mogelijk zijn dezelfde instellingen zoals in het Oosterschelde model gebruikt. Wanneer hiervan is afgeweken, is dit specifiek benoemd.

4.2 Rooster

4.2.1 Methodiek

In een eerdere studie, Groenenboom en Tiessen (2018), zijn verschillende manieren van roostergeneratie onderzocht en is vastgesteld wat een efficiënte manier is voor het opzetten van een D-HYDRO Oosterscheldemodel. In overeenstemming met de conclusies uit deze eerdere rapportage, is het volgende stappenplan gebruikt om het rekenrooster te generen:

- 1 Bij de drie delen van de Oosterscheldekering (Hammen, Schaar, Roompot) zijn volledig regelmatige driehoekige rekenroosters gegenereerd die uitgelijnd zijn met de keringen en waarvan de resolutie zo gekozen is dat elke afzonderlijke schuif beschreven wordt door 1 roostercel.

- 2 Voor het binnengebied (begrensd door de Oosterscheldekering en de normtrajectenlijn uit Baseline) en het buitengebied (begrensd door de Oosterscheldekering en de randpalenlijn) zijn volledig regelmatige driehoekige rekenroosters gemaakt.
- 3 Om de dammen, dijken en kunstwerken nabij het Rammegors, de Bergse Diepsluis en de Krammersluizen uit te lijnen met het rekenrooster, zijn hier deelroosters voor ontwikkeld die vervolgens zijn toegevoegd aan de andere delen om tot het overall rooster te komen. Dit geldt niet voor de Flakkeese Spuisluis en de Katse Heule. Bij koppeling van het Oosterschelde rooster met de omliggende gebieden (respectievelijk Grevelingen Meer en Veerse Meer) worden deze kunstwerken gemodelleerd als een verbinding tussen twee niet op elkaar aansluitende roostercellen.
- 4 De modelrand is gebaseerd op de normtrajectenlijn uit Baseline. Deze rand is omgezet naar een polygoon en verfijnd naar 50 meter. Vervolgens is er een deelrooster aangemaakt tussen deze lijn en het regelmatige driehoekenrooster van het binnengebied.
- 5 Tussen de met hierboven beschreven stappen gecreëerde roosters, is bewust een kleine opening gehouden. Door het opvullen van deze ruimte met driehoekige rekencellen ontstaat uiteindelijk een rooster met zoveel mogelijk regelmatige driehoeken, waarbij enkele onregelmatige driehoeken op de overgangen onvermijdelijk zijn om deze gebieden (met verschillende oriëntatie en/of resolutie) met elkaar te verbinden, zoals al staat beschreven in Groenenboom en Tiessen (2018).
- 6 Een laatste aanvullende stap is uitgevoerd op verzoek van RWS. Zij spraken de wens uit om bepaalde haventjes en sluiskomsten in hoger detail te modelleren. Hiervoor zijn aanvullende gebieden verfijnd met onregelmatige driehoekige cellen.

Deze regels leiden tot een rekenrooster dat voor grote delen van het gebied bestaat uit gelijkzijdige driehoeken, en waarbij op specifieke locaties (voornamelijk langs kusten en ondieptes) in beperkte mate onregelmatige cellen worden toegepast om verfijningen en anders uitgelijnde regelmatige gebieden te koppelen. Voor het Veerse Meer is een vergelijkbaar stappenplan doorlopen, met uitsluiting van stap 1 over de Oosterscheldekering. Een detail van het Oosterschelde rooster wordt in Figuur 4.1 weergegeven, voor verdere figuren van het rooster voor de Oosterschelde en het Veerse Meer rooster wordt verwezen naar in Bijlage A.



Figuur 4.1 D-HYDRO Oosterschelde netwerk in de omgeving van de Oosterscheldekering.

4.2.2 Roostereigenschappen

De eigenschappen van het netwerk voldoen aan de generieke specificaties zoals beschreven in Spruyt et al. (2017) en zijn in lijn met de bevindingen van Tiessen et al (2018) over het gebruik van driehoekige en vierhoekige roosters.

Het grootste gedeelte van het rooster bestaat uit volledig regelmatige driehoekige rekencellen, wat betekent dat het netwerk in deze gebieden een perfecte gladheid, aspect ratio en orthogonaliteit heeft. Enkel in sommige overgangsbieden tussen roosterdelen met een verschillende oriëntatie of resolutie worden afwijkende waarden voor deze parameters gevonden, het aantal cellen dat niet voldoet aan de voorgeschreven specificaties (bijv. een orthogonaliteit $> 0,02$) is daarbij zo beperkt mogelijk gehouden.

4.2.3 Gridconvergentie

In de vorige studie (Groenenboom en Tiessen, 2018), is gebleken dat het effect van de resolutie van het rekenrooster op de gemodelleerde stroompatronen zeer beperkt is. De uiteindelijke resoluties zijn daarom gebaseerd op de wensen van de gebruiker (voldoende hoge resolutie in interessegebieden) en om praktische redenen. Zo is de locatie waar het verfijnde rooster nabij de Oosterscheldekering overgaat op het grove (100m) rooster zo gekozen dat de kleinere overgangscellen niet leiden tot tijdstapbeperkingen. Dat bepaalde delen van het gebied verfijnd worden is dus niet alleen gedaan omdat dit de nauwkeurigheid van de modelresultaten verbeterd, maar ook ervoor te zorgen dat het model in 3D-mode bruikbaar is en dat de tijdstapbeperkingen niet tot te grote rekentijden resulteert.

4.3 Koppeling met andere modellen

Alhoewel in dit project geen koppeling naar andere delen wordt gerealiseerd, worden de mogelijkheden daartoe wel in beschouwing genomen, en zoveel mogelijk meegenomen in de rooster-opzet. Het gaat hierbij voornamelijk om:

- Koppeling tussen Oosterschelde en Veerse Meer: Beide modellen worden binnen dit project ontwikkeld. Alhoewel beide modellen niet gezamenlijk worden opgezet of gedraaid, wordt voor beide modellen een vergelijkbare aanpak gehanteerd, en sluiten de roostercellen op de overgangsgebieden op elkaar aan.
- Koppeling Oosterschelde – Grevelingen: Het Slaak vormt onderdeel van de Oosterschelde welke via een scheepvaartsluis en de Flakkeesse spuisluis in contact staat met de Grevelingen. Het rooster voor D-HYDRO model van de Grevelingen is in 2019 ontwikkeld (Groeneboom, 2019). De roosters in beide gebieden zijn op elkaar en deze kunstwerken uitgelijnd.
- Koppeling Oosterschelde – Volkerak-Zoommeer: Alhoewel het rooster voor het Volkerak-Zoommeer model nog in ontwikkeling is, zijn de overgangsgebieden zo gemodelleerd dat deze te koppelen zijn met het te ontwikkelen model. De belangrijkste overgangen zullen de kunstwerken vormen (Krammersluizen en Bergse Diepsluis) maar ook gebieden waar de grens van beide waterlichamen samenvalt (de Oesterdam, de Philipsdam en ter hoogte van de Rammegors) zullen de rooster waar mogelijk op elkaar worden uitgelijnd.
- Koppeling Oosterschelde – Westerschelde: De ontwikkeling van het zesde generatie Schelde-Estuarium- model (Westerschelde & Zeeschelde) is nog niet gestart, maar het Oosterschelde-rooster wordt wel zo opgezet dat koppeling via het Kanaal door Zuid Beveland (Hansweert sluis) mogelijk is. Daarnaast is ook een koppeling met de Westerschelde via de Noordzee mogelijk.
- Overgang aan zeezijde: In dit project worden randvoorwaarden aan zeezijde opgelegd op de “randpalenlijn”, echter het rooster beschrijft ook een deel van de Noordzee (zie Figuur A.17). Dit Noordzee-deel vormt een onderdeel van een “Kuststrook rooster” en

waarmee de koppeling met het RMM-model (aan noordzijde) en het nog te ontwikkelen Westerschelde-model (aan zuidzijde) mogelijk wordt gemaakt.

Overgang aan zeezijde: In dit project worden randvoorwaarden opgelegd op de “randpalenlijn” (zie Figuur A.1 voor locatie domeinranden), echter het rooster zal ook een deel van de Noordzee beschrijven. Dit Noordzee-deel vormt deel van een “Kuststrook schematisatie” en daarmee de koppeling met het RMM-model (aan noordzijde) en het nog te ontwikkelen Westerschelde-model (aan zuidzijde) mogelijk maken.

4.4 Projectie vanuit Baseline

Na de voltooiing van de roostergeneratie, is met behulp van Bas2FM de Baselineboom (zwd-j19_6-w4³) op het netwerk geprojecteerd. Het resultaat hiervan zijn modelinvoerbestanden waarin de geometrie van dunne dammen, overlaten, droge gebieden en de bathymetrie uit Baseline gehaald zijn en worden toegepast in de modelschematisatie.

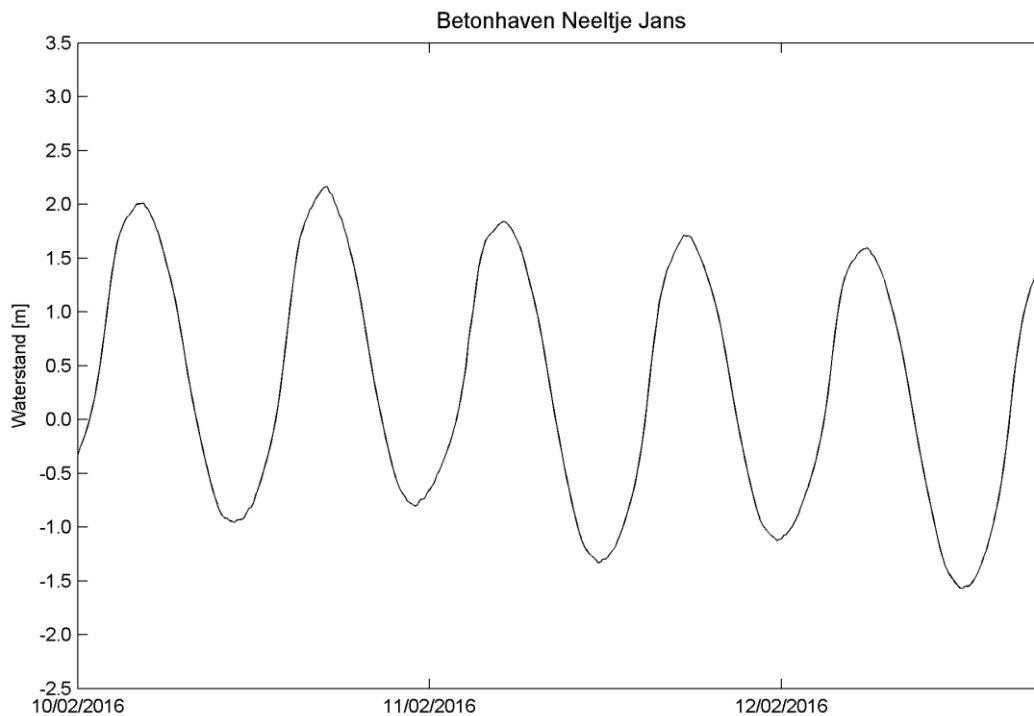
Baseline prikt de bodemhoogte op het roosterpunt in het bodemhoogtemodel van Baseline. Dit kan, afhankelijk van de resolutie van het model, tot onnauwkeurige representatie leiden van kleinere ingangen en kanalen. Daarom is op 16 locaties langs de Oosterschelde het rooster gecontroleerd en waar nodig aangepast om een correcte bodemrepresentatie te verkrijgen.

Naar aanleiding van bovenstaand aandachtspunt zijn figuren van de roosterpunten en het bodemhoogtemodel van Baseline op de verschillende locaties (havens en sluizen) gemaakt, dit wordt in onderstaande paragraaf nader beschreven.

4.4.1 Beschrijving bodem in havens

In 2019 is het rooster in een aantal havens verfijnd omdat de wens van RWS was om ook in deze havens een realistische waterstandsvoorspelling te kunnen generen. Dit was met een grof rooster veelal onmogelijk gebleken omdat bij de projectie van de bodem aan de hand van Baseline ondieptes ontstonden (nabij havenhoofden) die in werkelijkheid niet bestonden. Als oplossing is het rooster nabij deze havens aangepast. In Bijlage B is een overzicht weergegeven van de verschillende havens en de gewenste aanpassingen aan het rekenrooster. Veelal betrof dit het verfijnen van het rooster zodat tussen de havenhoofden twee bodempunten kwamen te liggen. In deze bijlage is aansluitend voor verschillende havens het waterstandverloop weergegeven nadat het rooster is aangepast.

³ Voor het merendeel van de simulaties is deze projectie gebruikt. Voor het simuleren van 2007 zijn echter de Baseline gegevens uit 2007 gebruikt.



Figuur 4.2 Waterstanden voor een periode in 2016 binnen de betonhaven Neeltje Jans, na aanpassing van het rooster.

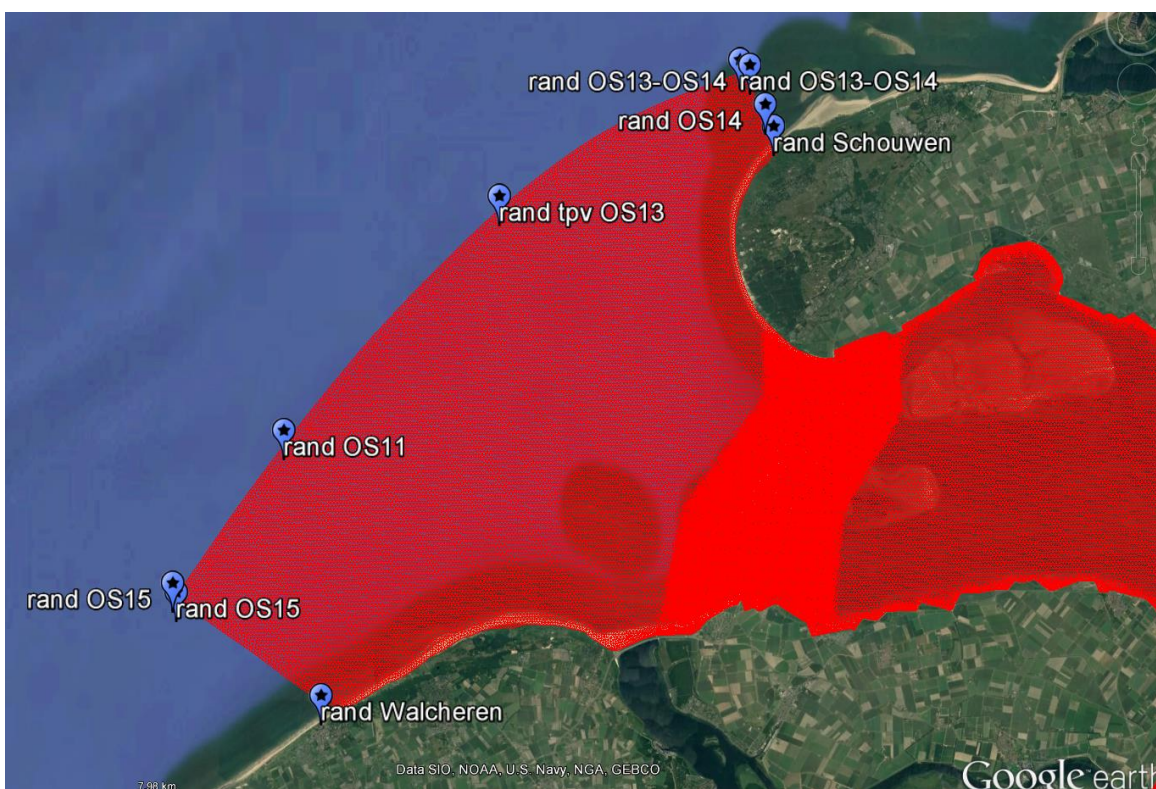
4.5 Randvoorwaarden

4.5.1 Open randen

Langs de open randen van het D-HYDRO Oosterschelde model worden waterstanden gespecificeerd op acht locaties (zie Figuur 2.1 voor de steunpunten) zoals deze ook gebruikt worden voor randvoorwaarden van het WAQUA-ScalOost model. In dit project zijn de tijdseries van de waterstanden op de drie zee randen verkregen van RWS-Z&D. De randvoorwaarden komen overeen met die gebruikt voor het WAQUA-ScalOost model. De randvoorwaarden voor dit model zijn afgeleid door de verhouding van het M2-getij en fase uit de meetlocaties OS11 en OS14 te verschuiven. De coëfficiënten voor de verschillende steunlocaties zijn als volgt gedefinieerd:

Tabel 4.1 Coëfficiënten voor afleiden randvoorwaarden voor WAQUA-ScalOost (persoonlijke communicatie met Piet Lievense, RWS-ZD)

Lok	m2-amp	m2-fas		Lok	m2-amp	m2-fas
OS11	132.30	120.4	→	scop1	140.20	117.7
OS11	132.30	120.4	→	scop2	138.40	112.4
OS11	132.30	120.4	→	scop3	138.40	112.4
OS11	132.30	120.4	→	scop4	132.30	120.4
OS11	132.30	120.4	→	scop5	120.50	126.9
BG2	108.30	130.1	→	scop6	112.50	135.6
OS14	119.30	135.2	→	scop7	116.20	135.8
OS14	119.30	135.2	→	scop8	118.20	136.1

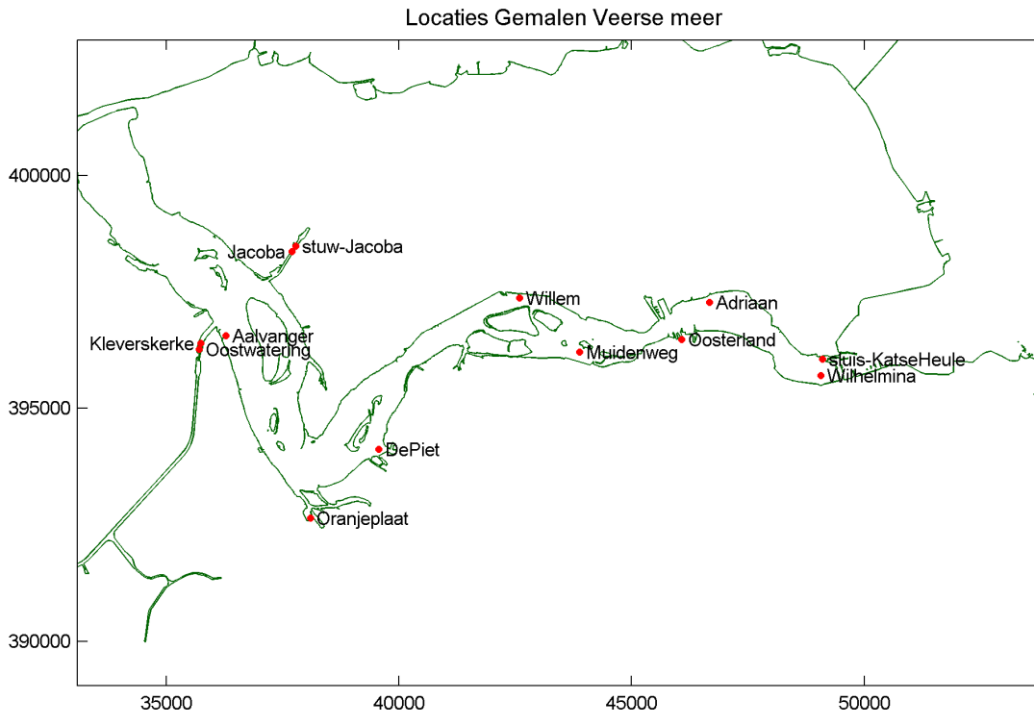


Figuur 4.3 Locaties van de open randvoorwaarden

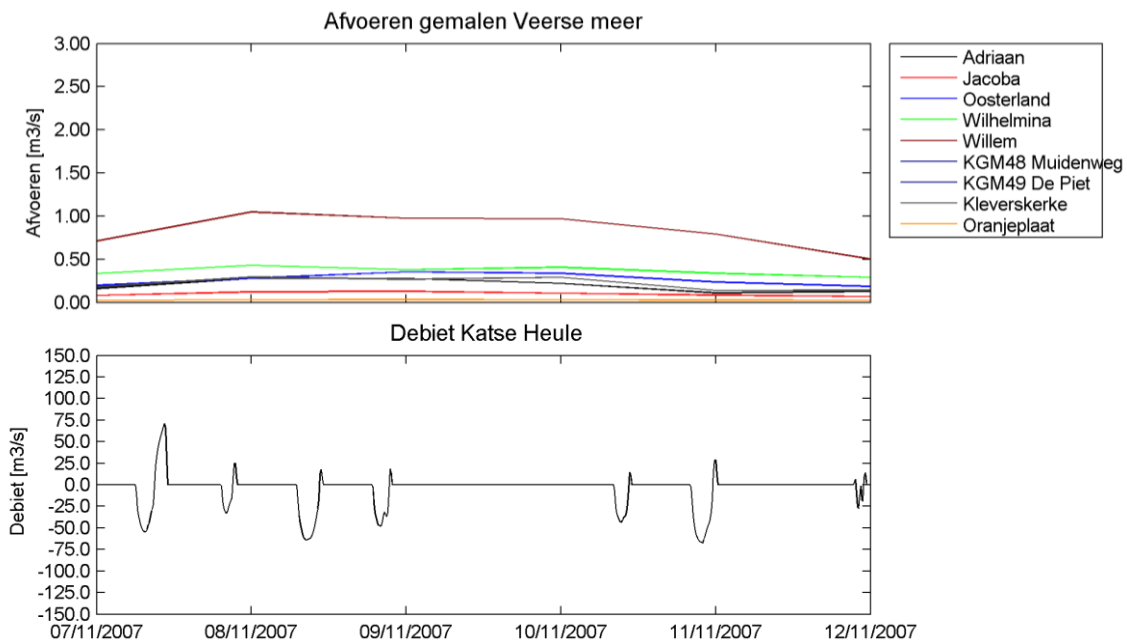
4.5.2 Lateralen

Vergelijkbaar met vijfde generatie WAQUA Oosterschelde model worden er in het zesde generatie D-HYDRO model van de Oosterschelde geen lateralen (lozingen/onttrekkingen) opgelegd.

Het Veerse Meer model bevat wel lateralen, omdat hier wel sprake is van een significante invloed op de gemodelleerde waterstanden (en het zoutgehalte): Het in en uitstromen van Oosterschelde-water via Katse Heule en de debieten van de gemalen Adriaan, Jacoba, Oosterland, Wilhelmina, Willem, Muidenweg, de Piet, Kleverskerke, Oranjeplaat, Aalvanger, Oostwatering en Stuwsluis Jacoba (gepresenteerd voor 2007 Figuur 4.5). Deze data is aangeleverd door RWS. De locaties worden weergegeven in Figuur 4.4.



Figuur 4.4 Locaties van de gemalen en Katse Heul in het Veerse Meer.



Figuur 4.5 Debieten van de gemalen (boven) en afvoer bij Katse Heule (beneden) voor 2007.

Omdat voor deze tweede periode sprake was van een sluitfout in de waterbalans, is een aanvullende lozing opgelegd op het D-HYDRO model van het Veerse Meer. Deze sluitterm is afgeleid op basis van de hierboven weergegeven debieten en de gemeten waterstanden (zie Bijlage H, voor een nadere toelichting).

4.5.3 Meteorologie

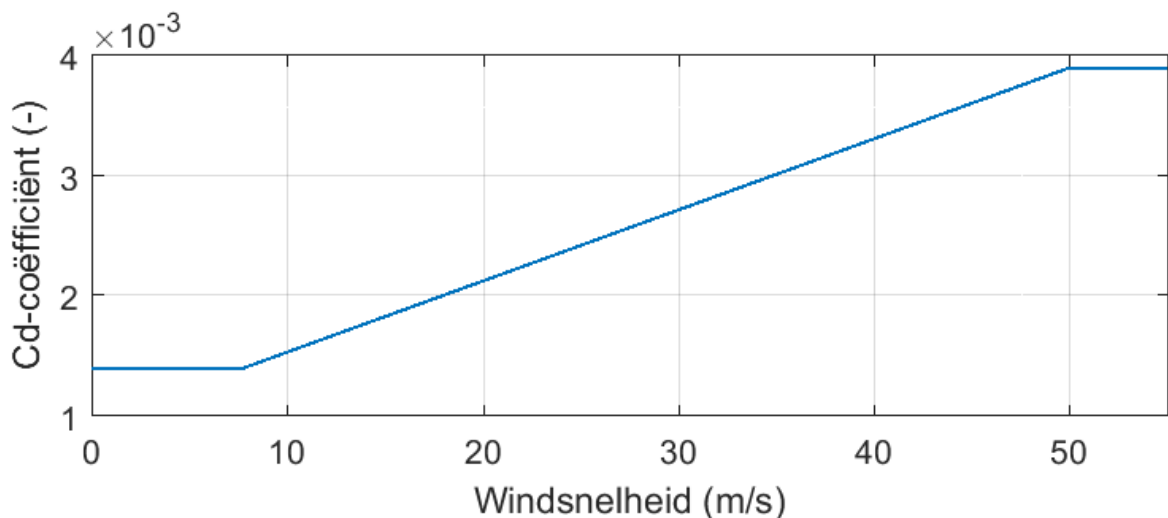
Oosterschelde

Op basis van een gevoeligheidsonderzoek naar windfocering bij de ontwikkeling van het vijfde generatie model is in overleg met RWS besloten voor het gebruik van ruimtelijk uniforme windforcering op basis van een vaste meetlocatie. In de huidige simulaties wordt gebruik gemaakt van een tijdserie van windsnelheden en –richtingen afkomstig van de meetlocatie BG2⁴ zoals ook gebruikt voor IMPLIC.

Voor de windwrijving is gekozen om de instellingen direct over te nemen uit het vijfde generatie Oosterscheldemodel⁵. De windgegevens bij meetlocatie BG2 worden gebruikt als invoer. Hierbij wordt de conventionele Cd-coëfficiënt formulering gebruikt. Deze keuze sluit beter aan op de in WBI kader vaak gebruikte manier van forceren en Cd-coëfficiënt formulering. De precieze instellingen in D-HYDRO zijn als volgt:

```
Cdbreakpoints = 0.0014 0.0039 # Wind drag coefficient break points
Windspeedbreakpoints= 7.8 50.0 # Wind speed break points (m/s)
```

Figuur 4.6 geeft deze instellingen visueel weer.



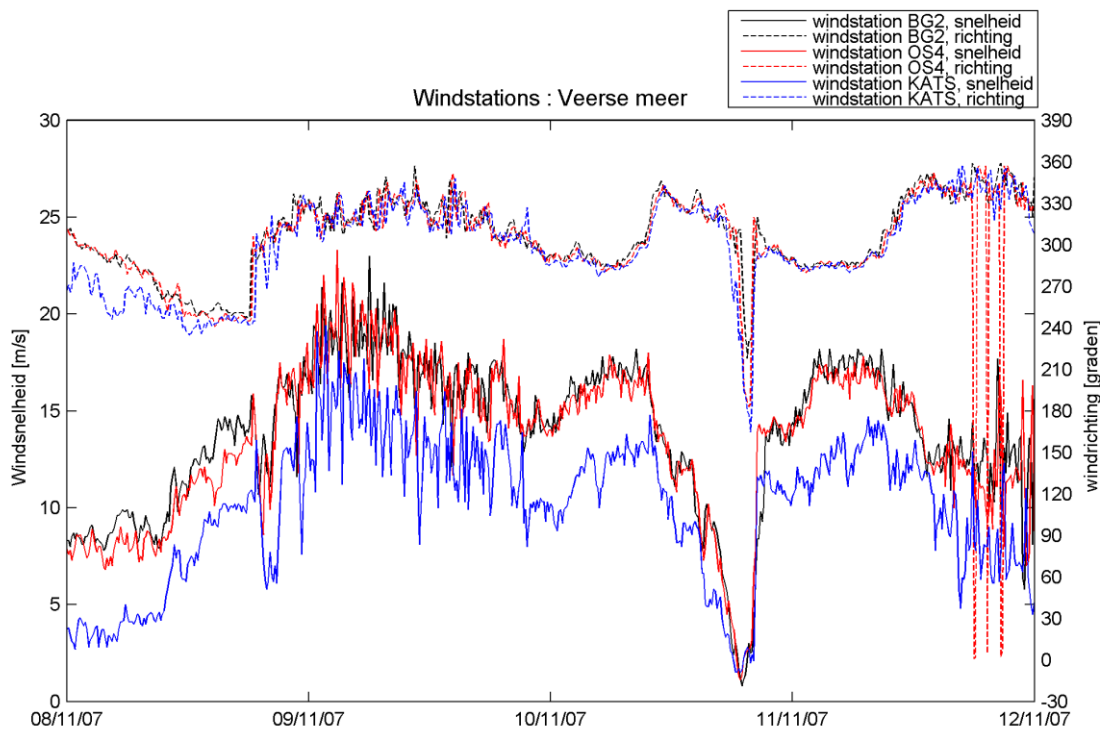
Figuur 4.7 Cd-coëfficiënt als functie van de windsnelheid

Veerse Meer

Voor het Veerse Meer model werden windgegevens van drie verschillende meetlocaties getest: Brouwershavense Gat 2, Oosterschelde 4 en KATS (Figuur 4.7). Na een gevoeligheidsonderzoek is gekozen voor het gebruik van meetlocaties KATS.

⁴ Binnen de D-HYDRO software is het niet mogelijk gebleken om ruimtelijk variërende Cd-coëfficiënten of “wind shielding” op te leggen. Een alternatieve beschrijving voor windforcering zou nog wel het gebruik van ruimtelijk variërende windfocering zijn (bijvoorbeeld HIRLAM) met Charnock formulering ??te gebruiken??, als in de toekomst de wens bestaat de windfocering voor het Oosterschelde-model gelijk te gaan trekken met bijvoorbeeld D-HYDRO RMM.

⁵ Waar mogelijk wordt gebruik gemaakt van instellingen zoals die zijn gebruikt bij het vijfde generatie model. Hiervan is afgeweken voor de modelrand (en randvoorwaarden) omdat daar op verzoek van RWS gebruik is gemaakt van het vierde generatie model.



Figuur 4.7 Gemeten windsnelheden en -richtingen bij de stations Brouwershavense Gat 2 (BG2), Oosterschelde 4 (OS4) en Kats (KATS) welke gebruikt zijn voor validatie van het D-HYDRO model van het Veerse Meer.

4.5.4 Initiële condities

Oosterschelde

De simulatie start met een ruimtelijk uniforme, initiële waterstand van 0m en geen initiële stroomsnelheden. Er wordt een inspeel duur van 7 dagen aangehouden. Voor de beoogde toepassingen van het model is dit voldoende. Omdat het model een relatief klein gebied dekt en geen zout simuleert gaat de initialisatie vrij snel.

Veerse Meer

Hier wordt als initiële waterstand de gemeten waterstand bij de start van de simulatie opgelegd. Daarnaast worden er geen initiële stroomsnelheden opgelegd. Omdat in dit systeem geen sprake is van significant getij, wordt hier geen inspeelperiode in acht genomen. Het model simuleert geen zout.

4.6 Schematisatie kunstwerken

In de monding van de Oosterschelde ligt de Oosterscheldekering, kortweg OSK. Deze kering, bestaat uit in totaal 62 schuiven die 62 stroomgaten af kunnen sluiten in geval van een stormvloed. De basis-instellingen staan beschreven in paragraaf 4.6.1. De kering heeft een grote invloed op het gehele hydrodynamische gedrag van de Oosterschelde. De doorstroomoppervlakken van de stroomgaten zijn aanmerkelijk kleiner dan de doorstroomoppervlakken van de oorspronkelijke getijgeulen. Dit betekent lokaal hoge stroomsnelheden, ook in geopende toestand, en een verkleining van de getijslag in het gehele estuarium. Deze kunstwerken zijn in D-HYDRO gemodelleerd met een barrier-formulering, welke in D-HYDRO ingesteld wordt middels de "Barrier Advection=1" instelling.

4.6.1 Barriers

De Oosterscheldekering is in de D-HYDRO schematisatie opgenomen als een “general structure”, i.e. een combinatie van een drempel en een schuif waarbij water ook nog over de bovenkant van de sluisdeur kan overstorten. Deze structure is in opzet gelijkwaardig met de in WAQUA mogelijke “Dubbele barrier”, zoals die werd gebruikt in het vijfde generatie WAQUA model van Oosterschelde voor WBI doeleinden.

In totaal worden er 62 general structures gebruikt om de Oosterscheldekering te modelleren. Hierbij wordt elke schuif als een aparte general structure beschreven (16 voor de Schaar, 31 voor Roompot en 15 voor Hammen). Voor iedere general structure worden de volgende eigenschappen opgegeven:

- De breedte van de schuif of “crest width”. Deze is voor iedere schuif gelijk (39.5m)
- De hoogte van de schuif of “gate lower edge level”. Deze is variabel in de tijd en wordt als tijdreeks opgegeven. Deze gegevens worden door RWS aangeleverd.
 - o In “gesloten” toestand wordt het lekverlies⁶ hierin verdisconteerd.
 - o In “gesloten” toestand kan ook sprake zijn van overstort over de “bovenbalk” hetgeen wordt meegenomen door schuif-specifieke “gate height” op te geven. Hierdoor is overstort mogelijk bij waterhoogtes groter dan +5.6m NAP voor Hammen en +5.8m NAO voor Schaar en Roompot (voor Schaar 1 is dit + 6m NAP).
 - o In “open” toestand wordt de onderkant van de “bovenbalk” aangehouden (Hammen: +0.8m NAP, Schaar en Roompot: +1m NAP)
- Zowel in het IMPLIC-model van de Oosterschelde als het 5^e generatie WAQUA-model van de Oosterschelde worden verschillende waarden voor verliescoëfficiënten voor vloedstroming (naar binnen gericht) als eb-stroming (naar buiten gericht) gehanteerd. Dit is noodzakelijk gebleken om waterstanden in het Oosterschelde estuarium goed te kunnen representeren. De verliescoëfficiënten voor vloed- respectievelijk ebstroming zijn gelijk gekozen aan de waarden zoals gebruikt in zowel het IMPLIC-model als in het vijfde generatie WAQUA-model van de Oosterschelde, te weten 1.03 en 0.93, respectievelijk (Kaaij, 2015).

⁶ De Oosterscheldekering laat ook in gesloten toestand tot een kleine hoeveelheid water door, via ruimte tussen de verschillende delen van de kering. In de gemodelleerde kering worden deze lekkages beschreven door de kering niet volledig te sluiten waardoor een kleine opening blijft bestaan. De door RWS-ZD aangeleverde schuifstanden zijn hiervoor reeds gecorrigeerd en zijn 1-op-1 overgenomen.

Name: roompot_25

Structure type General structure

Sill

			Time Series	Upstream 1	Upstream 2	Downstream 1	Downstream 2
Crest level	<input type="text" value="-8.53"/>	m AD	<input type="checkbox"/>	<input type="text" value="-8.53"/>	<input type="text" value="-8.53"/>	<input type="text" value="-8.53"/>	<input type="text" value="-8.53"/>
Crest width	<input type="text" value="39.5"/>	m		<input type="text" value="39.5"/>	<input type="text" value="39.5"/>	<input type="text" value="39.5"/>	<input type="text" value="39.5"/>

Gate

		Time Series
Gate lower edge level	Time series	<input checked="" type="checkbox"/>
Gate opening height	<input type="text" value="8.53"/>	m
Gate height	<input type="text" value="14.04"/>	m
Horizontal opening width	<input type="text" value="0"/>	m <input type="checkbox"/>
Horizontal opening direction	Symmetric	

Coefficients

	Positive	Negative
Free gate flow	<input type="text" value="1.03"/>	<input type="text" value="0.93"/>
Drowned gate flow	<input type="text" value="1.03"/>	<input type="text" value="0.93"/>
Free weir flow	<input type="text" value="1.03"/>	<input type="text" value="0.93"/>
Drowned weir flow	<input type="text" value="1.03"/>	<input type="text" value="0.93"/>
Contraction coefficient	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="1"/>

Extra Resistance

Extra Resistance

Figuur 4.8 Model opzet van een schuif van de Oosterscheldekering (Roompot 25) in het D-HYDRO Oosterschelde model.

4.7 Overige numerieke instellingen

De instellingen voor het D-HYDRO Oosterschelde en Veerse Meer model zijn gebaseerd op de generieke instellingen voor D-HYDRO modellen (Spruyt et al., 2017) zoals weergegeven wordt in Bijlage C. De modelkalibratie van D-HYDRO Oosterschelde wordt in Hoofdstuk 5 beschreven, waarbij voor het zomerbed de ruimtelijke uniforme fysische ruwheidswaarde uit het vijfde generatie als uitgangspunt zijn overgenomen. In Hoofdstuk 6 wordt aan de hand van verschillende windstations het Veerse Meer model gevalideerd. Voor de overige numerieke instellingen wordt verwezen naar de algemene instellingen, tenzij het nodig was om hier vanaf te wijken.

5 Kalibratie en validatie Oosterschelde

5.1 Kalibratiemethodiek

De kalibratiemethodiek stelt bepaalde eisen aan de kalibratiestappen (ten opzichte van kalibratie perioden, kalibratie en validatie parameters en model doelen) en de model nauwkeurigheid. Deze eisen vanuit RWS zijn beschreven in Bijlage E.

5.1.1 Kalibratieparameters

Om de modelresultaten nauwkeuriger te krijgen, worden twee parameters van het model nader bepaald op basis van een gevoeligheidsanalyse, de keringsformulering en de ruimtelijk uniforme bodemruwheid in het zomerbed.

De keringsformulering bepaalt de afhandeling van de advectietermen direct op de kering. In de D-HYDRO software kan deze worden ingesteld via een zogenoemde keringsformulering (D-HYDRO keyword: BarrierAdvection). De standaardinstelling (BarrierAdvection = 1) in D-HYDRO neemt de hoge stroomsnelheden direct op de kering (kleine waterdiepte) mee in de advectieafhandeling in het numerieke schema. Een afhandeling van de advectietermen zoals dit voorheen ook in WAQUA gebeurde (het niet meenemen van de hoge stroomsnelheden direct op de kering in de advectieafhandeling in het numerieke schema), is in te stellen via BarrierAdvection=3.

5.1.2 Kalibratieprocedure

Om het effect van de keringsformulering op de resultaten te bepalen is een som met BarrierAdvection = 1 en BarrierAdvection = 3 gedraaid om de verschillen in stroomsnelheden en waterstanden te analyseren. De stromingsresultaten daarvan zijn daarna vergeleken met de metingen nabij de Oosterschelde kering (visueel op basis van richting en grootte). Er wordt ook gekeken naar het getijfase verschil over de kering (kwantitatief op basis van Goodness of Fit criteria (GoF)).

Zoals in het vijfde generatie model wordt ook in het zesde generatie model een ruimtelijk uniforme ruwheidsparameter opgelegd. De kalibratie op ruwheidsparameter is gedaan door een aantal sommen te draaien met verschillende Manning ruwheidscoëfficiënt: 0.026, 0.027, 0.028, 0.029 en 0.030 $\text{sm}^{-1/3}$. De nauwkeurigheden van de verschillende sommen worden bepaald t.o.v. waterstandsmetingen in termen van GoF en met elkaar vergeleken.

5.1.3 Goodness-of-fit criteria

Bij de beoordeling van de goodness-of-fit criteria, zullen de standaard statistische parameters worden gebruikt (bias, RMSE en standaard deviatie) van het model-meting verschil (zie Bijlage D).

5.2 Kalibratie- en validatieperiod(en)

De kalibratie is gedaan aan de hand van simulatie over de gehele periode van 2016. Eerst is de meest geschikte keringsformulering bepaald op basis van de vergelijking van het stromingspatroon nabij de kering met de beschikbaar gestelde metingen. Daarna is de optimale ruwheid bepaald op basis van vergelijking tussen berekende en gemeten waterstanden bij 10 meetlocaties. (OS14, OS4, Roompot Buiten, Roompot Binnen, Stavenisse, Krammersluizen, Laagbekken, Yerseke, Bergsediepsuis West en Marollegat).

Het gekalibreerde model is daarna gevalideerd op basis van stroomsnelheden over de andere in 2016 gemeten 6 raaien binnen Oosterschelde. Hier wordt zowel naar stromingspatroon als

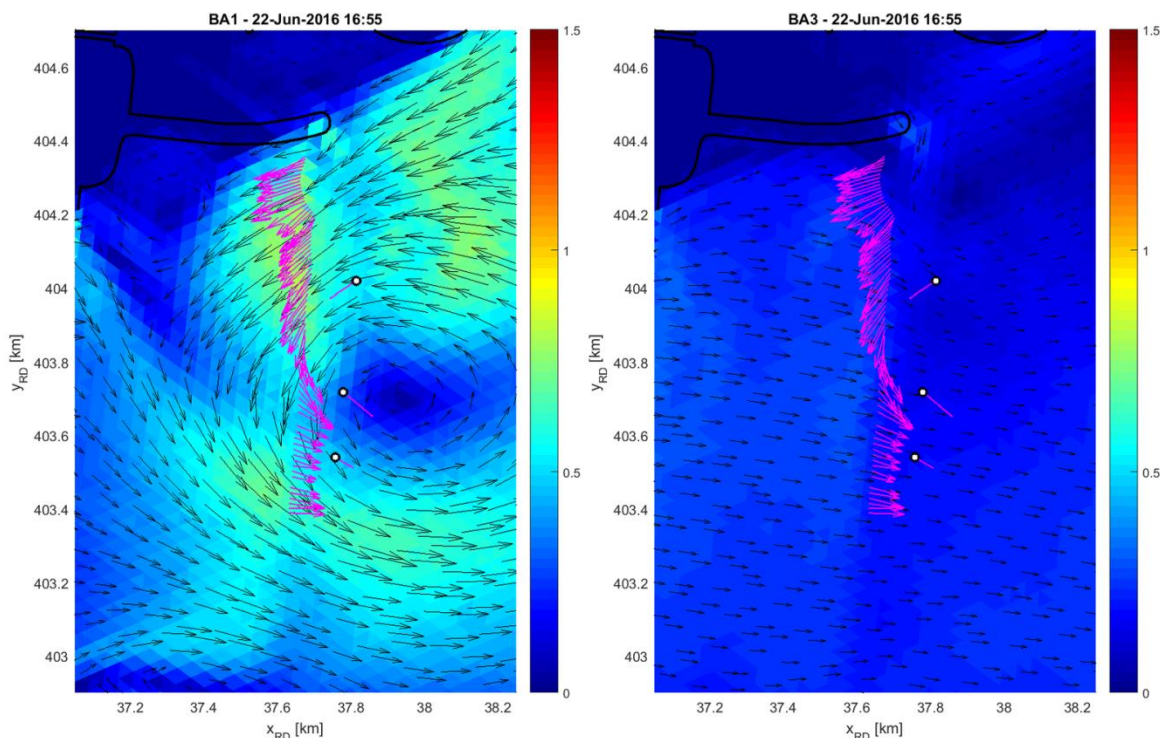
debietrijdsreeks gekeken. Daarnaast wordt ook gekeken naar de waterstanden bij alle beschikbare meetstations gedurende 2013. Hier is vooral naar de Sinterklaasstorm in december 2013 gekeken, waarin ook een sluiting van de Oosterscheldekering plaatsvond.

In 2019 is het model verder gevalideerd op basis van waterstanden in 2007 en 1990 en stroomsnelheden in de periode november 2014.

5.3 Resultaten kalibratie

5.3.1 Keringsformulering

Figuur 5.1 toont voor hetzelfde tijdstip een vergelijking van de modelresultaten met BarrierAdvection = 1⁷ (nieuwe D-HYDRO implementatie) en BarrierAdvection = 3 (vergelijkbaar met WAQUA-implementatie). In onderstaand figuur geven de zwarte pijlen de berekende snelheidsvectoren weer, met als achtergrondkleur de magnitude van de stroomsnelheid. De roze pijlen zijn gemeten stroomsnelheden. De drie zwart omcirkelde witte stippen geven de locatie van meetboeien weer. Resultaten voor andere tijdstippen worden in Bijlage F.1 weergegeven.

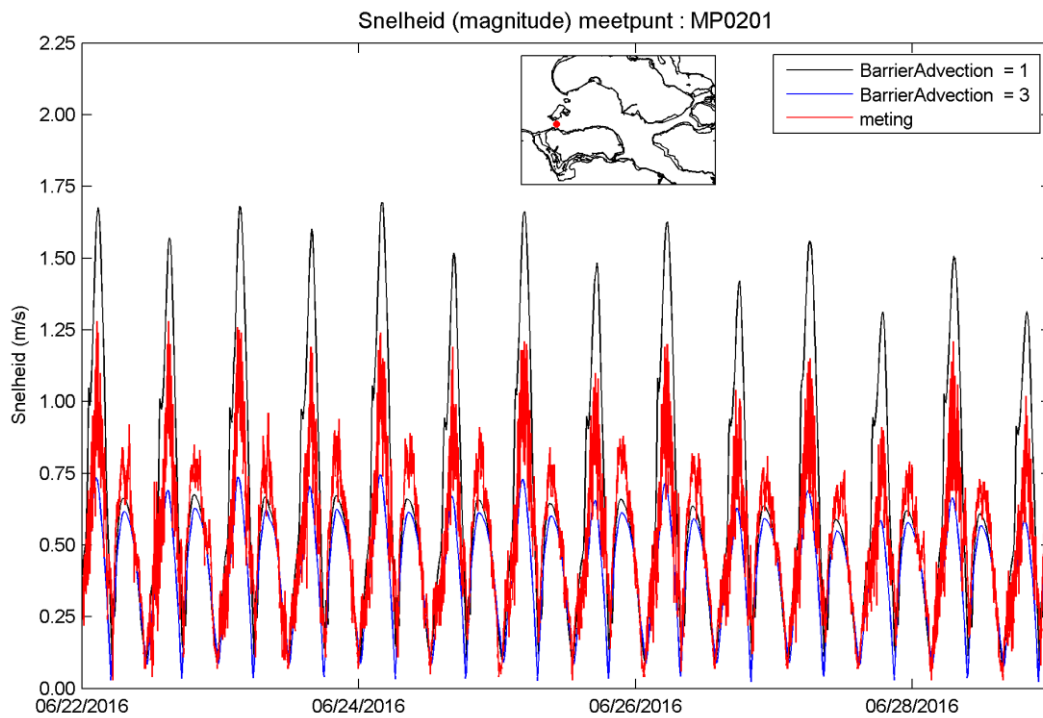


Figuur 5.1 Stromingspatroon nabij de kering voor BarrierAdvection=1 en 3 op 22-06-2016 16:55. Zwarte pijlen zijn modeluitvoer (snelheidsvector) en roze pijlen zijn metingen (varende ADCP). De achtergrondkleuren geven de magnitude van de modelstroomsnelheid aan.

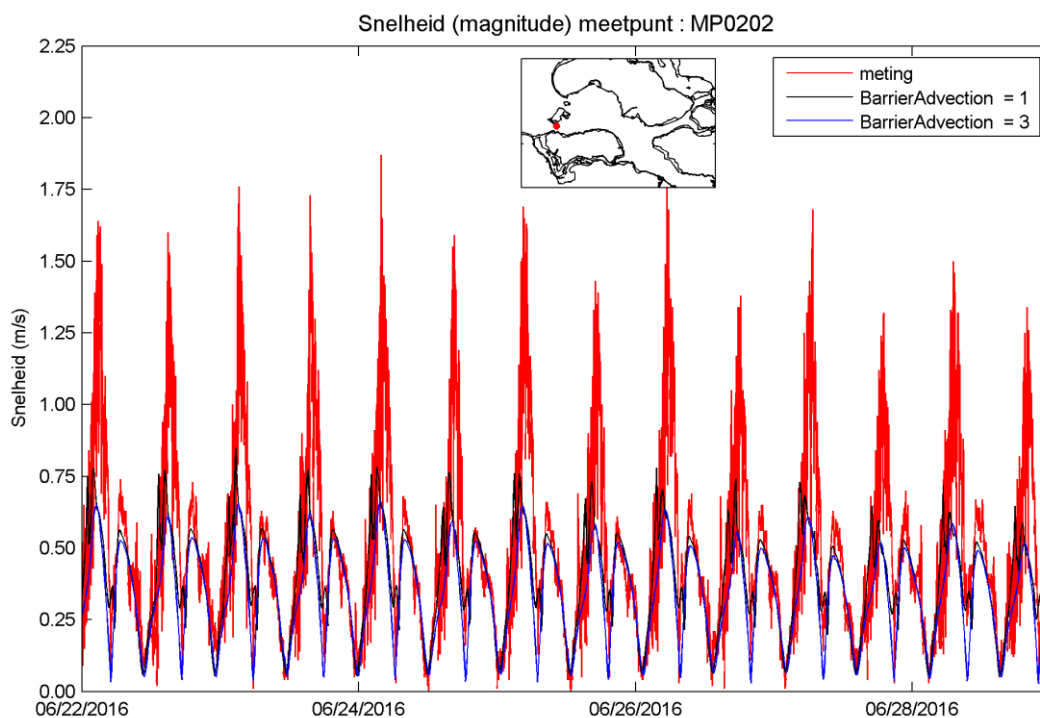
Uit bovenstaand figuur is duidelijk te zien dat bij BarrierAdvection = 1 de neervorming veel sterker in de modelresultaten aanwezig is dan bij BarrierAdvection = 3 en ook de richting beter overeenstemt met de gemeten richting. De resultaten bij keringsformulering BarrierAdvection = 1 komen daarmee veel beter overeen met de stromingspatronen uit de metingen.

⁷ Naar aanleiding van het hieronder beschreven onderzoek is besloten om de keuze voor BarrierAdvection uit de modelinvoer te halen. In D-HYDRO wordt in de recentste software (DIMR: 2.08.06_63317_sobek_3_7_18_delft3dfm_2020_01) automatisch gebruik gemaakt van BarrierAdvection=1.

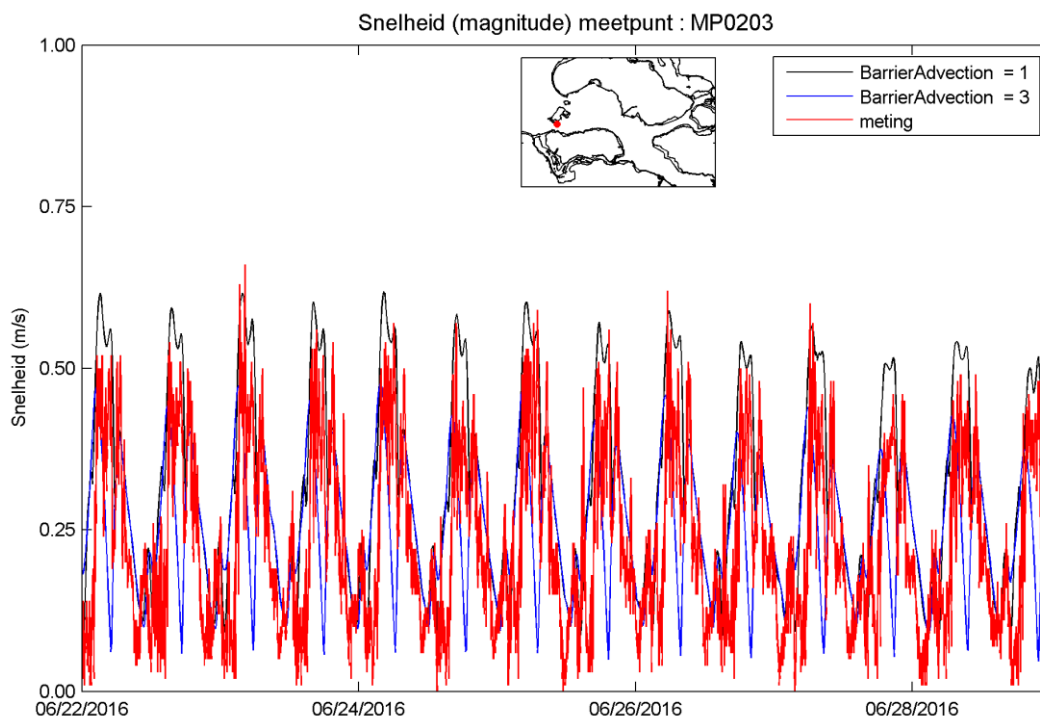
In Figuur 5.2 - Figuur 5.4 worden de tijdreeksen van stroomsnelheden bij de drie vaste ADCP stations weergegeven. Hoewel er onderschattingen of overschattingen zichtbaar zijn in de berekende stroomsnelheden, komen de resultaten bij BarrierAdvection = 1 beter overeen met metingen. BarrierAdvection = 3 lijkt de meting vaker te onderschatten.



Figuur 5.2 Magnitude van stroomsnelheden bij ADCP locatie MP0201



Figuur 5.3 Magnitude van stroomsnelheden bij ADCP locatie MP0202



Figuur 5.4 Magnitude van stroomsnelheden bij ADCP locatie MP0203

Om de stromingspatronen nabij de Oosterscheldekering realistisch te kunnen modelleren in het D-HYDRO Oosterscheldemodel, wordt op basis van de hierboven beschreven resultaten besloten de BarrierAdvection op 1 in te stellen.

Keringsformulering: Amplitude- en faseverschil tussen Roompot Binnen en Roompot Buiten

Naast verschil in stromingspatronen, is ook gekeken naar het effect van de keringsformulering op het verloop van het getij over de kering heen. Hiervoor is het amplitude- en faseverschil tussen Roompot Binnen en Roompot Buiten BarrierAdvection = 1 en 3 bepaald. Aangezien het verschil in waterstand tussen Roompot Buiten en Roompot Binnen grotendeels wordt veroorzaakt door de waterbeweging door de Oosterscheldekering (Roompot-deel), zijn deze twee stations gebruikt om het effect van de keringsformulering op de gemodelleerde waterstandsverschillen nader te onderzoeken. In Tabel 5.1 zijn de gemeten en gemodelleerde M2 amplitude- en faseverschillen tussen Roompot Binnen en Roompot Buiten voor jaarsom 2016 samengevat:

Tabel 5.1 Gemeten en gemodelleerde M2 amplitude- en faseverschillen tussen Roompot Binnen en Roompot Buiten voor jaarsom 2016 met Mannings-waarden van $0,027 \text{ sm}^{-1/3}$

Barrier Advection	Roompot Binnen – Roompot Buiten		Roompot Binnen – Roompot Buiten	
	Amplitudeverschil M2 (cm)	Faseverschil M2 (graden)	Amplitudeverschil M2 (cm) (Prd – Obs)	Faseverschil M2 (graden) (Prd – Obs)
Meting	-16,6	21,5		
BA1	-16,9	21,5	-0,3	0,0
BA3	-21,4	21,4	4,6	4,9

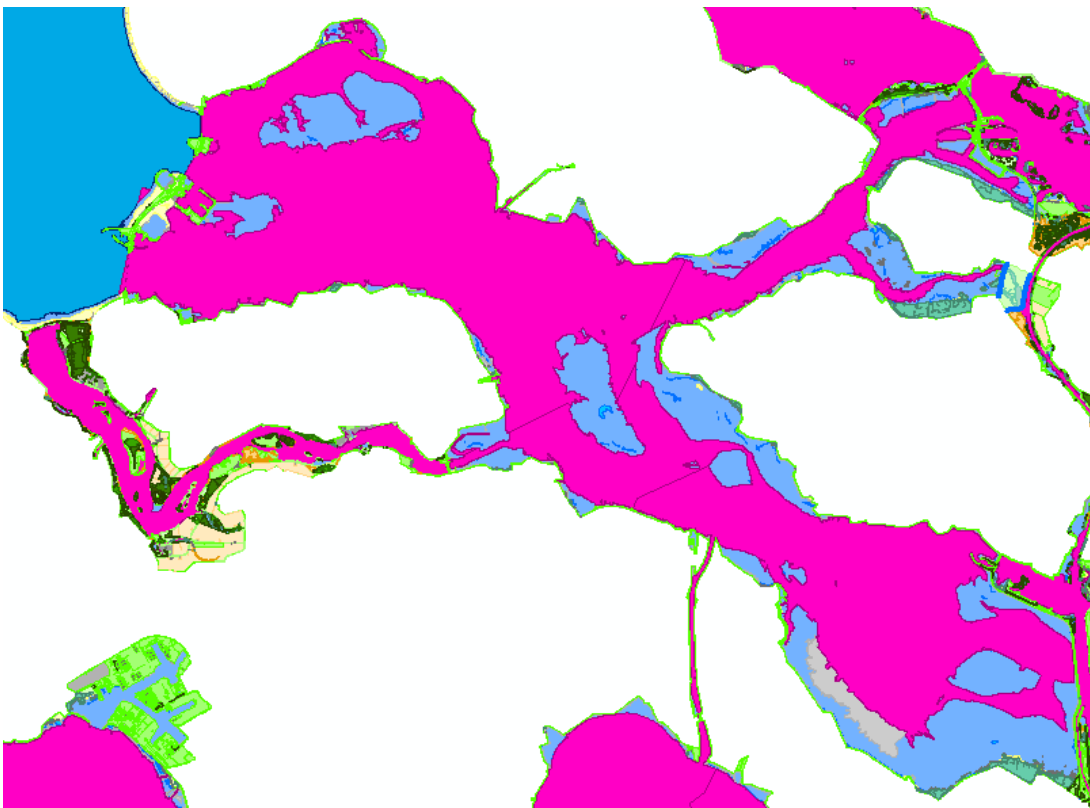
Zowel het amplitude- als het faseverschil tussen Roompot Buiten en Roompot Binnen is zeer vergelijkbaar met het gemeten verschil bij instelling BarrierAdvection = 1. De verschillen tussen de gemeten en berekende waarden met instelling BarrierAdvection = 3 geven minder goede resultaten.

Naast dat BarrierAdvection = 1 leidt tot een betere beschrijving van de stroomsnelheden, leidt deze instelling ook tot de beste waterstandsrepresentatie. Hier moet wel bij vermeld worden dat de waterstandsverschillen tussen Roompot Buiten en Roompot Binnen ook beïnvloed worden door andere instellingen en modelkeuzes (zoals verliescoëfficiënten op de kering en de gekozen Mannings-waarde voor de ruwheid (hier toegepast: $0,027 \text{ sm}^{-1/3}$). Het model wordt in de volgende paragraaf hierop gekalibreerd).

5.3.2 Ruwheid

De met D-HYDRO gemodelleerde bodemruwheid is opgebouwd uit twee delen: De ruwheidswaarde voor het winterbed die uit Baseline voortkomt, welke is gebaseerd op de fysische eigenschappen van het gebied, en een kalibratie-factor voor het zomerbed.

In Baseline wordt voor het “winterbed” een ruwheid bepaald op basis van de lokale eigenschappen, zoals begroeiing en bebouwing. Voor het “zomerbed” wordt echter geen ruwheidswaarde in Baseline opgelegd. In de Oosterschelde is er eigenlijk geen onderscheid tussen zomerbed en winterbed, maar zijn de droog liggende kustzones onderaan de dijk en enkele platen op basis van een in Baseline beschikbare “winterbed”-ruwheid vastgelegd. Het overgrote (en voor de waterbeweging meest relevante delen) zijn echter gedefinieerd als “zomerbed”.



Figuur 5.5 Bodemruwheids-karakterisering volgens Baseline (j19). De roze gebieden zijn gedefinieerd als "zomerbed", de overige delen zijn verschillende typen "winterbed", zoals grasland (licht groen) en bos (donker groen) en platen (paars).

Voor het "zomerbed" is in principe de wens om een op fysische eigenschappen gebaseerde ruwheid af te leiden. De bodemruwheid is afhankelijk van de korrelgrootte, de bodemvormen en nog overige factoren. Met name dit laatste punt kan relevant zijn, omdat in de Oosterschelde sprake is van mossel- en oesterpercelen. Deze percelen hebben naar verwachting een aanzienlijk verruwend effect, maar doordat deze percelen en de aanwezigheid van oesters en mosselen niet permanent zijn, is het niet wenselijk deze effecten "permanent" in het model op te nemen als bodemruwheid en is het in het verleden ook lastig gebleken om hiervoor een waarde vast te stellen. Voor de Oosterschelde is besloten hiervoor een ruimtelijke uniforme fysische ruwheidswaarde aan te nemen die gelijk is aan de ruwheid zoals die is gehanteerd in het 5^e generatie WAQUA model (Manningwaarde van $0.022 \text{ sm}^{-1/3}$, Kaaij, 2015).

Voor de Oosterschelde is op basis van gevoeligheidsonderzoek uitgevoerd bij het opstellen van het 5^e generatie WAQUA model van de Oosterschelde besloten voor het gehele modeldomein van het D-HYDRO model één ruimtelijk uniforme bodemruwheid te hanteren. De kalibratiefactor wordt dan ook ruimtelijk uniform toegepast.

Het model (met BarrierAdvection = 1) is gekalibreerd door simulaties met verschillende (ruimtelijk uniforme) kalibratiefactoren uit te voeren en het effect hiervan op verschillende parameters gerelateerd aan waterstanden te bekijken. Deze kalibratie-factor bepaalt in combinatie met de fysische bodemruwheid de in het model gehanteerde bodemruwheid.

In onderstaande tabel, Tabel 5.2, is voor verschillende in het model gehanteerde ruwheidswaardes (voor het zomerbed) onder andere de gemiddelde en de RMS amplitude- en fasefout van de M2-component opgenomen. Een hogere ruwheidswaarde zorgt meestal voor

een grotere M2-amplitude en in dit geval neemt daardoor de gemiddelde M2-amplitude fout af en is het kleinst met een Manning-waarde van $0,029 \text{ sm}^{-1/3}$. De fase fout is het kleinst met een Manning-waarde van $0,026 \text{ sm}^{-1/3}$. Op basis van de uitgevoerde kalibratie van het M2 getijsignaal wordt geconcludeerd dat afhankelijk van de voorkeur qua nauwkeurigheid een andere bodemruwheid gehanteerd moet worden. In dit rapport wordt een ruwheid met een Manning-waarde van $0,027 \text{ sm}^{-1/3}$ gehanteerd omdat dit tot een acceptabele fout in zowel de amplitude als de fase leidt. Dit betekent dat er sprake is van een ruimtelijke uniforme fysische bodemruwheid van $0,022 \text{ sm}^{-1/3}$ (Manning) en een ruimtelijke uniforme kalibratiefactor van 1.23 (1.227273).

Tabel 5.2 Kalibratie van gemodelleerde M2 getij component op basis van variërende in het model gehanteerde ruwheden voor de jaarsom 2016

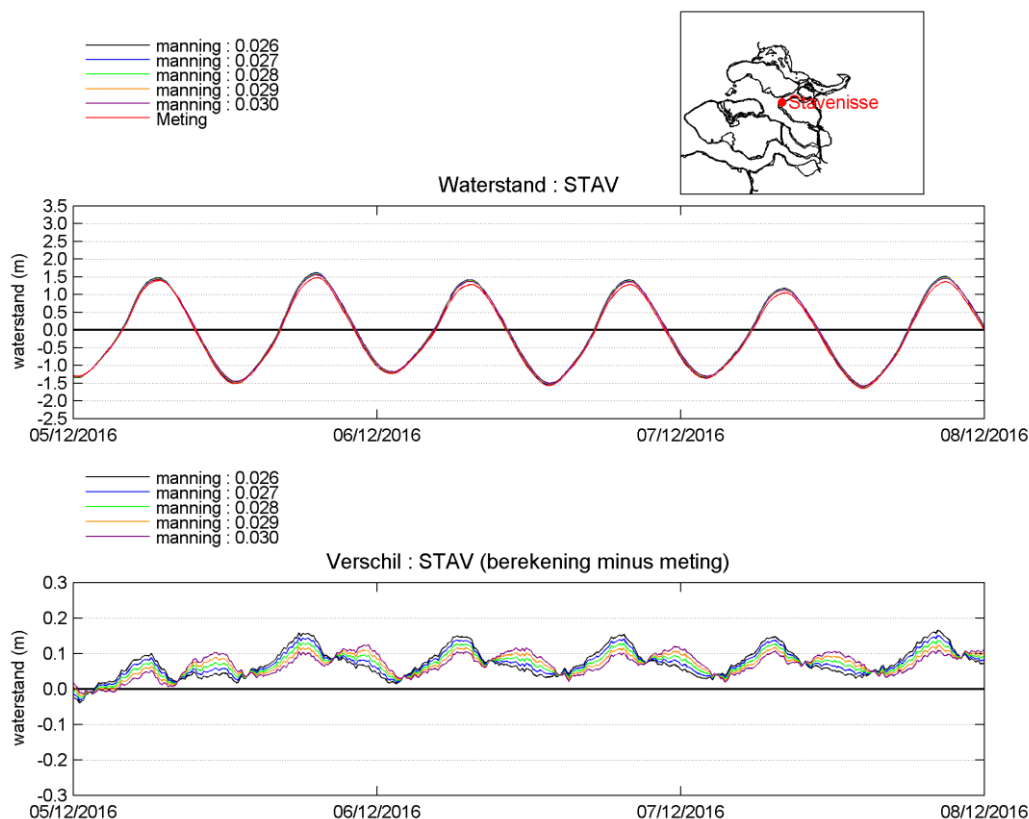
Manning-waarde ($\text{sm}^{-1/3}$)	Gemiddelde M2 ampl. Error/Bias (cm)	RMSE M2 ampl. error (cm)	Gemiddelde M2 fase error/bias (°)	RMSE M2 fase error (°)
0,026	2,3	2,8	-0,1	0,4
0,027	1,6	2,1	0,3	0,6
0,028	0,9	1,5	0,7	0,9
0,029	0,2	1,1	1,1	1,4
0,030	-0,6	1,2	1,5	1,9

In Bijlage F.2 worden figuren van waterstandsmetingen en modeluitvoer op alle meetlocaties en met alle ruwheden gepresenteerd.

In de Tabel hieronder is ook de ruimtelijke variatie van de waterstand fouten per station opgenomen. Hieruit blijkt dat het model beter met de metingen overeenkomt aan de zeezijde van de Oosterschelde dan binnen de Oosterschelde.

Tabel 5.3 Kalibratie van gemodelleerde waterstanden op de meetstations met voor het zomerbed een Manning ruwheidswaarde van $0,027 \text{ sm}^{-1/3}$ voor jaarsom 2016. (Tussen haakjes wordt de STD over de meetstations weergegeven.)

FM-Oosterschelde	Bias [m]	RMSE [m]	Std [m]
OS14	-0,010	0,040	0,038
OS4	-0,024	0,040	0,032
Roompot Buiten	-0,008	0,031	0,030
Roompot Binnen	0,020	0,034	0,027
Stavenisse	0,041	0,058	0,040
Krammersluizen Laagbekken	0,029	0,055	0,047
Yerseke	0,035	0,053	0,040
Bergsediepsluis West	0,060	0,083	0,057
Marrollegat	0,028	0,053	0,046
Gemiddeld	0,019	0,050 (+/- 0,015)	0,040
Gemiddeld Buiten	-0,014	0,037 (+/- 0,020)	0,033
Gemiddeld Binnen	0,036	0,056 (+/- 0,016)	0,043



Figuur 5.6 Model-meting waterstandsvergelijking van D-HYDRO Oosterschelde model bij Stavenisse voor verschillende waarden van de zomerbedruwheid (periode: 5-12-2016 – 8-12-2016).

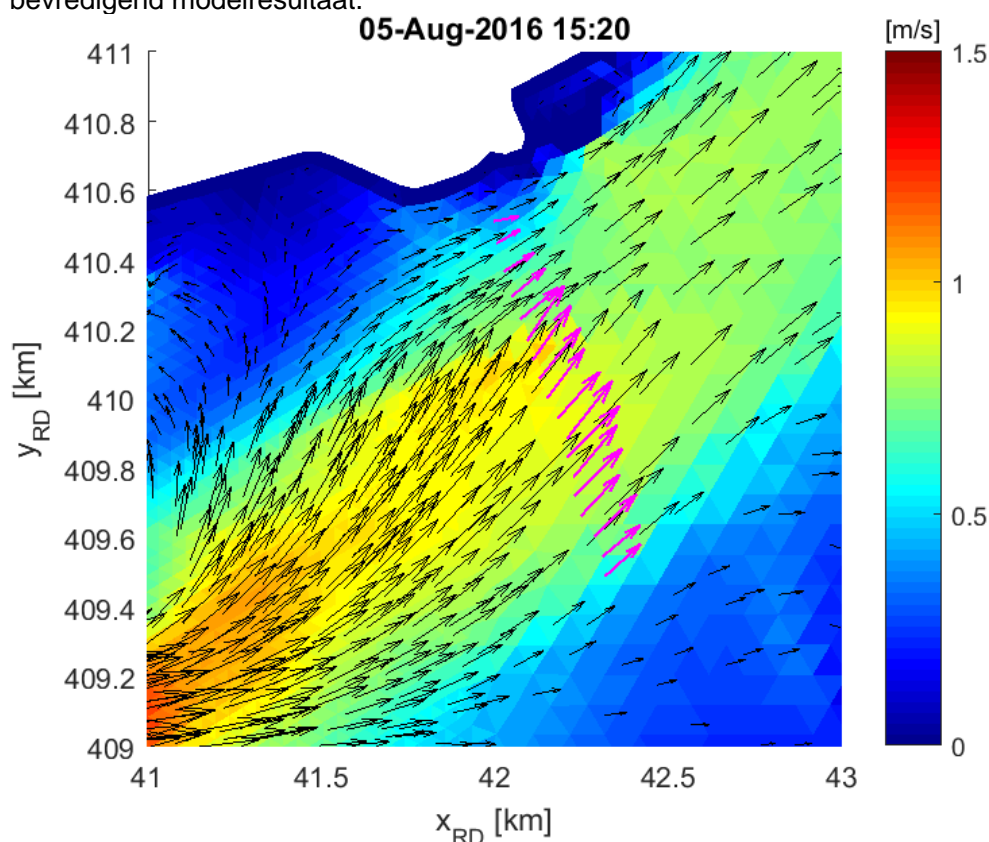
5.4 Resultaten validatie

5.4.1 Stroomsnelheden en debiet (2016 en 2014)

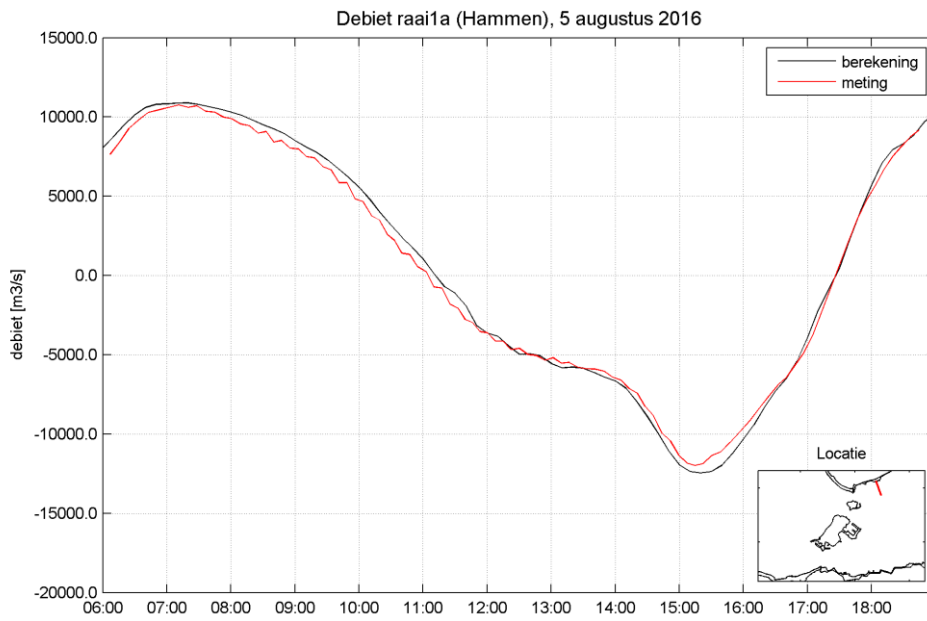
Meetgegevens van stroomsnelheden en debieten zijn beschikbaar voor dit project in de periode van augustus 2016 voor de vijf raaien. Daarnaast zijn er in 2016 ook nog aanvullende metingen uitgevoerd aan oostzijde van de Oosterscheldekering, deze zijn gebruikt voor de kalibratie van de Barrier Advection (beschreven in paragraaf 5.3.1) en zullen hier buiten beschouwing worden gelaten. In 2014 zijn vergelijkbare metingen aan zeezijde van de Oosterscheldekering (Roompot) gedaan, deze staan wel in deze paragraaf beschreven.

Figuur 5.7 toont het stromingspatroon rond de raai Hammen op 5 augustus 2016 om 15:20. Resultaten voor de andere raaien staat weergegeven in Bijlage F.1. In Figuur 5.8 wordt de gemeten en berekende modeldebiet tijdreeks voor de raai Hammen weergegeven. De resultaten laten zien dat het D-HYDRO model de gemeten stroomsnelheden en debieten bij de vijf raaien goed kan reproduceren.

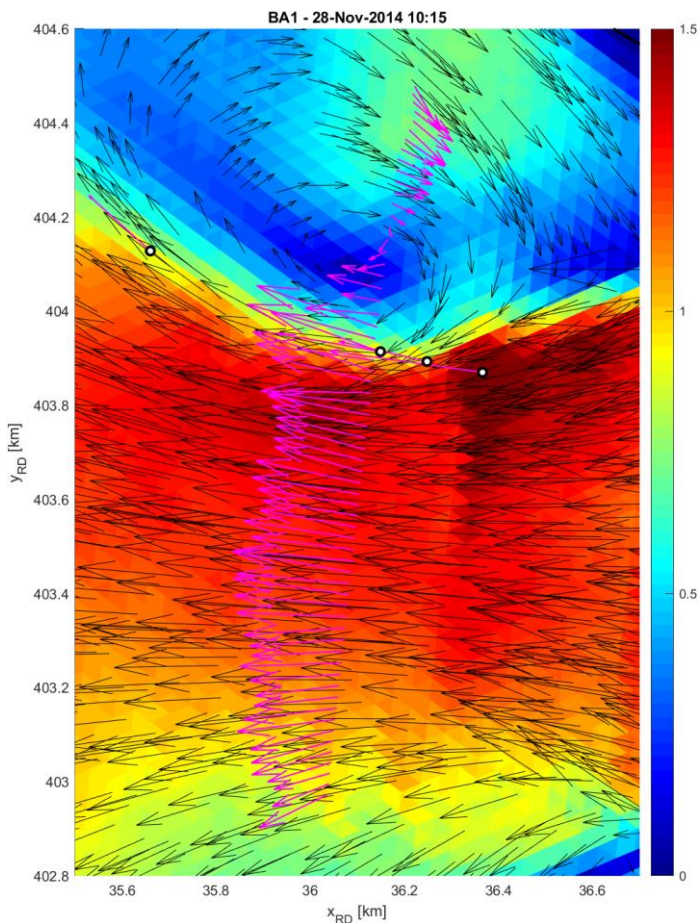
Daarnaast is op 28 november 2014 aan de zeezijde van de Oosterscheldekering (Roompot) ook de stroomsnelheid gemeten. Een vergelijking tussen de gemodelleerde en gemeten stroomsnelheden laat zien (Figuur 5.9 en Bijlage G.2) dat het model ook aan zeezijde van de kering de uitgaande stroming goed weergeeft, inclusief de neervorming en de werveling aan de noordzijde. Ook hier kan worden geconcludeerd dat er sprake is van een kwalitatief bevredigend modelresultaat.



Figuur 5.7 Stromingspatroon rond de raai Hammen. Zwarte pijlen zijn modeluitvoer (snelheidsvector) en roze pijlen zijn metingen (varende ADCP). De achtergrondkleuren geven de magnitude aan van de modelstroomsnelheid.



Figuur 5.8 Gemeten en gemodelleerde debietrijdsreeks bij raai Hammen (1a)



Figuur 5.9 Stromingspatroon nabij de kering voor BarrierAdvection=1 op 28-11-2014 10:15. Zwarte pijlen zijn modeluitvoer (snelheidsvector) en roze pijlen zijn metingen (varende ADCP). De achtergrondkleuren geven de magnitude van de modelstroomsnelheid aan.

5.4.2 Waterstanden (2013)

Jaarsom 2013

Deze paragraaf beschrijft de validatie van het D-HYDRO Oosterschelde model aan de hand van waterstanden over de periode van 2013.

Om inzicht te krijgen over de prestatie van het D-HYDRO Oosterschelde model t.o.v. het vierde generatie WAQUA ScalOost model worden in Tabel 5.4 de nauwkeurigheden van de twee modellen gepresenteerd. De statistieken zijn berekend over het hele jaar 2013. De resultaten laten zien dat het D-HYDRO Oosterscheldemodel beter presteert dan het WAQUA ScalOost model bij alle locaties, behalve OS4. Gemiddeld over alle locaties is het D-HYDRO Oosterschelde model iets nauwkeuriger dan het WAQUA ScalOost model.

Tabel 5.4 Model-meting waterstandsverschilstatistieken van D-HYDRO Oosterschelde en WAQUA ScalOost model voor geheel 2013. (Tussen haakjes wordt de STD over de meetstations weergegeven.)

	FM-Oosterschelde			WAQUA ScalOost		
	Bias [m]	RMSE [m]	Std [m]	Bias [m]	RMSE [m]	Std [m]
OS14	0,016	0,042	0,038	0,036	0,057	0,044
OS4	0,014	0,041	0,039	0,024	0,039	0,031
Roompot Buiten	0,007	0,03	0,029	0,018	0,04	0,035
Roompot Binnen	0,032	0,04	0,024	0,035	0,047	0,031
Stavenisse	0,041	0,05	0,028	0,039	0,058	0,043
Krammersluizen Laagbekken	0,031	0,05	0,04	0,029	0,059	0,051
Yerseke	0,034	0,05	0,036	0,034	0,061	0,051
Bergsedieppluis West	0,037	0,053	0,038	0,035	0,067	0,057
Marollegat	0,041	0,06	0,044	0,04	0,071	0,059
Gemiddeld	0,028	0,046 (+/- 0,008)	0,035	0,032	0,055 (+/- 0,011)	0,045
Gemiddeld Buiten	0,013	0,038 (+/- 0,012)	0,035	0,026	0,045 (+/- 0,015)	0,037
Gemiddeld Binnen	0,036	0,051 (+/- 0,009)	0,035	0,035	0,061 (+/- 0,012)	0,049

In beide modellen is er een gemiddelde bias van ca. 3 cm met grotere bias op uitvoerlocaties binnen de Oosterschelde dan buiten. Ook geldt dat voor de RMSE en de STD er sprake is van een lichte afname in de nauwkeurigheid waarmee het model de waterstanden kan berekenen in het binnengebied. Onderzoek tijdens de ontwikkeling van het 5^e generatie WAQUA model - in combinatie met het gebruik van OpenDA - gaf echter aan dat het toepassen van ruimtelijk variërende ruwheden niet leidt tot een substantiële verbetering van de modelnauwkeurigheid.

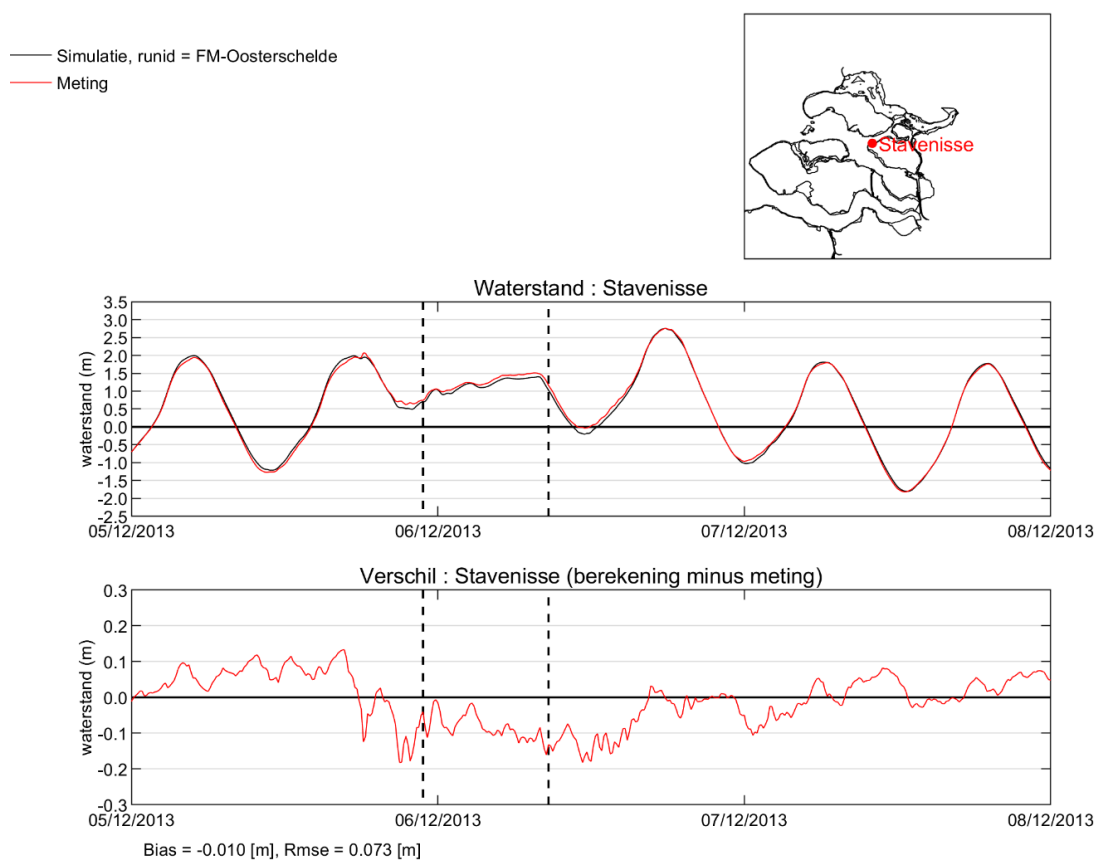
Sinterklaasstorm 2013

In deze paragraaf wordt ingezoomd om de stormachtige periode van 4 tot 7 december 2013, de zogenoemde Sinterklaasstorm. Dit is een periode waarin de Oosterscheldekering ook is gesloten.

Tabel 5.5 Model-meting waterstandsverschilstatistieken van D-HYDRO Oosterschelde en WAQUA ScalOost model voor de periode van de Sinterklaasstorm (5 december 2013 – 8 december 2013)

	FM-Oosterschelde			WAQUA ScalOost		
	Bias [m]	RMSE [m]	Std [m]	Bias [m]	RMSE [m]	Std [m]
OS14	-0,076	0,112	0,081	-0,083	0,122	0,09
OS4	-0,059	0,094	0,073	-0,021	0,074	0,071
Roompot Buiten	-0,041	0,078	0,066	-0,044	0,078	0,064
Roompot Binnen	-0,031	0,071	0,063	-0,046	0,088	0,076
Stavenisse	-0,01	0,073	0,072	-0,025	0,087	0,083
Krammersluizen Laagbekken	-0,013	0,091	0,09	-0,023	0,098	0,096
Yerseke	-0,003	0,082	0,081	-0,014	0,088	0,087
Bergsediepsluis West	0,013	0,087	0,086	0,003	0,089	0,089
Marollegat	0,016	0,099	0,098	0,01	0,097	0,097
Gemiddeld	-0,023	0,087 (+/- 0,012)	0,079	-0,027	0,091 (+/- 0,013)	0,084
Gemiddeld Buiten	-0,059	0,094 (+/- 0,014)	0,074	-0,049	0,091 (+/- 0,013)	0,075
Gemiddeld Binnen	-0,005	0,084 (+/- 0,013)	0,082	-0,016	0,091 (+/- 0,013)	0,088

In Tabel 5.5 worden de kentallen voor beide modellen weergegeven. Te zien is dat de RMSE voor deze extremere condities aanzienlijk toeneemt in vergelijking met de over 2013 jaargemiddelde waarden: Waar de RSME voor een geheel jaar voornamelijk worden bepaald door de getijweergave, wordt als alleen naar een storm wordt gekeken de modelfout in de wind-gedreven stormopzet ook meegenomen. Daarnaast geldt bij deze storm dat ook nog de kering sloot, wat de model-fout verder vergroot. Een vergelijking tussen WAQUA ScalOost en het nieuwe D-HYDRO model laat zien dat het D-HYDRO het veelal lichtelijk beter doet en de bias binnen de Oosterschelde minder groot is, maar dat voor enkele stations ScalOost het beter doet (OS4, Marollegat, Bergsediepsluis West).



Figuur 5.10 Model-meting waterstandsvergelijking van D-HYDRO Oosterschelde model bij Stavenisse voor de Sinterklaasstorm (5-12-2013) inclusief keringssluiting.

In Figuur 5.10 en Bijlage G.3 worden figuren van waterstandsmetingen en modeluitvoer van de gekalibreerde versie gepresenteerd voor de periode van 05-12-2013 t/m 08-12-2013 (Sinterklaasstorm).

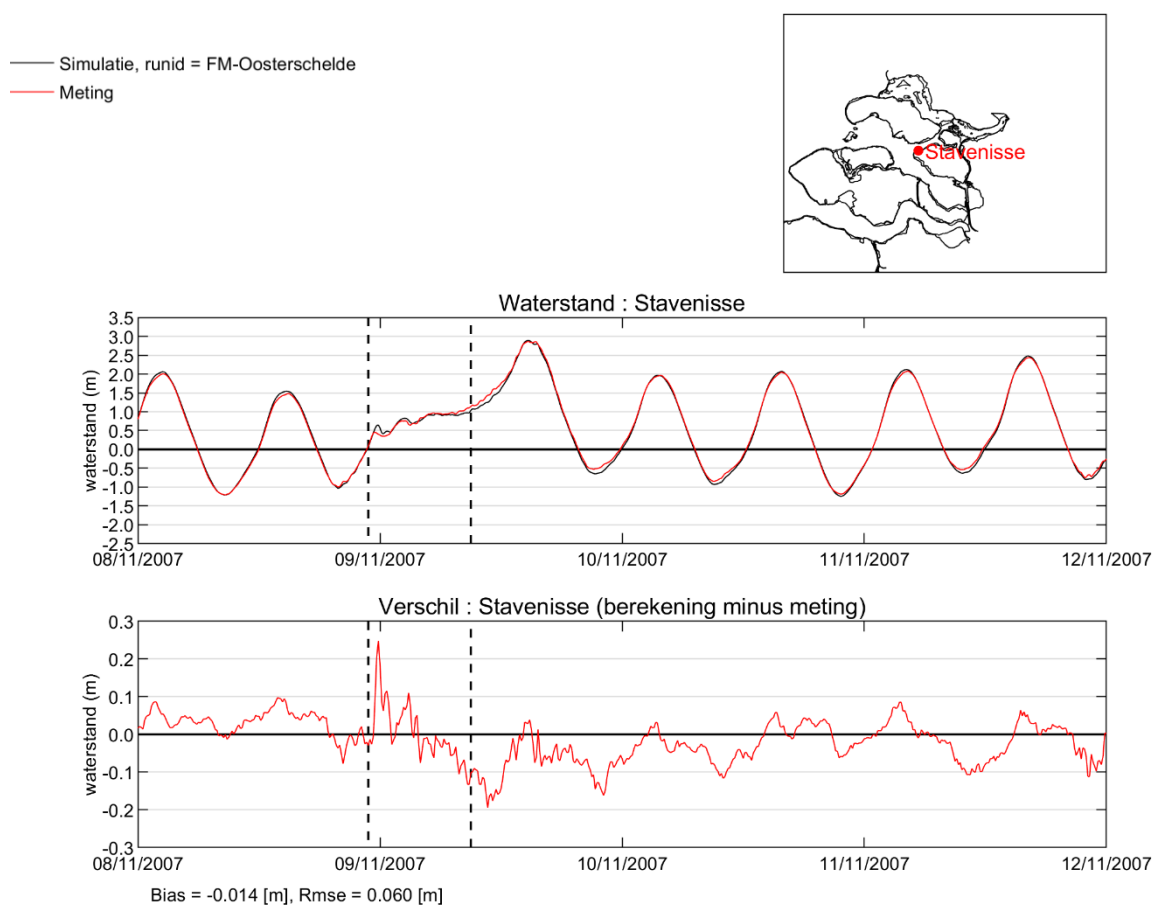
5.4.3 Waterstanden (2007)

De prestatie van het D-HYDRO Oosterschelde voor het geheel van 2007 wordt in Tabel 5.6 getoond. De statistieken zijn berekend over het hele jaar 2007 en vergeleken met IMPLIC resultaten. Duidelijk is dat het D-HYDRO model gelijk of beter presteert dan IMPLIC en dat dit met name het geval is voor meer landinwaarts gelegen stations.

Tabel 5.6 Model-meting waterstandsverschilstatistieken van D-HYDRO Oosterschelde model voor de jaarsom 2007

	FM-Oosterschelde			IMPLIC			ScalOost		
	Bias [m]	RMSE [m]	Std [m]	Bias [m]	RMSE [m]	Std [m]	Bias [m]	RMSE [m]	Std [m]
OS14	-0,009	0,031	0,030						
OS4	0,016	0,037	0,034	0,030	0,045	0,034	0,024	0,046	0,039
Roompot Buiten	0,007	0,034	0,033	0,032	0,046	0,033	0,017	0,043	0,040
Roompot Binnen	0,027	0,039	0,028	0,041	0,060	0,044	0,030	0,045	0,034
Stavenisse	0,034	0,048	0,033	0,043	0,067	0,052	0,037	0,056	0,042
Krammersluizen Laagbekken	0,025	0,053	0,047	0,035	0,077	0,068	0,030	0,063	0,055
Yerseke	0,026	0,043	0,035	0,054	0,082	0,062	0,030	0,060	0,052
Bergsediepsluis West	0,035	0,055	0,043	0,052	0,101	0,086	0,038	0,069	0,058
Marollegat	0,031	0,051	0,041	0,056	0,110	0,059	0,037	0,067	0,057
Gemiddeld	0,021	0,044 (+/- 0,008)	0,036	0,043	0,074 (+/- 0,037)	0,055	0,030	0,056 (+/- 0,010)	0,047
Gemiddeld Buiten	0,005	0,034 (+/- 0,012)	0,032	0,031	0,046 (+/- 0,045)	0,034	0,020	0,044 (+/- 0,015)	0,020
Gemiddeld Binnen	0,030	0,048 (+/- 0,009)	0,038	0,047	0,083 (+/- 0,034)	0,062	0,033	0,060 (+/- 0,010)	0,050

Verder wordt de modeluitvoer hieronder visueel met metingen vergeleken voor de specifieke periode van 08-11-2007 t/m 12-11-2007. Andere periodes en stations worden in Bijlage G.4.2 weergegeven.



Figuur 5.11 Model-meeting waterstandsvergelijking van D-HYDRO Oosterschelde model bij Stavenisse voor de keringsluiting op 09-11-2007.

5.4.4 Waterstanden (1990)

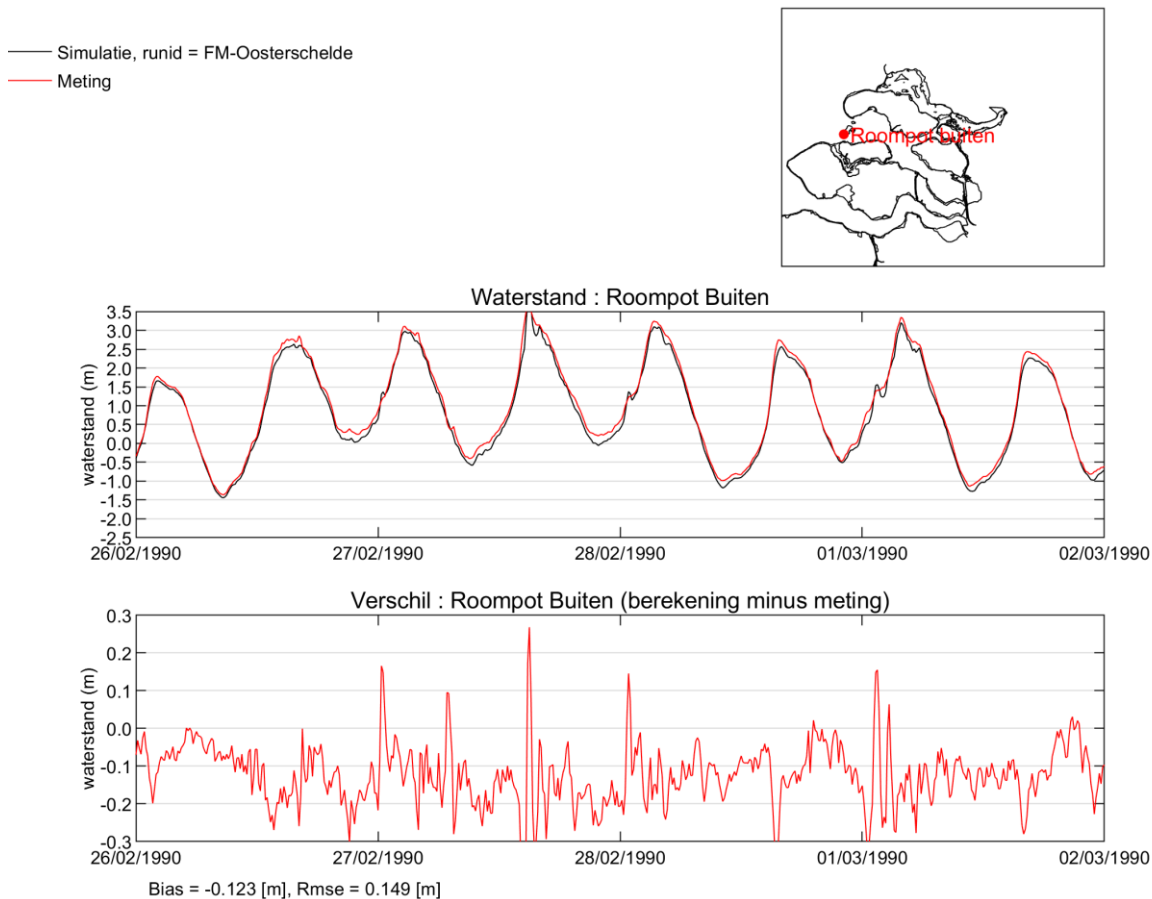
Deze paragraaf beschrijft de validatie van het D-HYDRO Oosterschelde model aan de hand van waterstanden over het jaar 1990 en de openingen van de Oosterscheldekering in vier verschillende periodes.

De prestatie van het D-HYDRO Oosterschelde voor het geheel van 1990 wordt in Tabel 5.7 getoond. De statistieken zijn berekend over het hele jaar 1990.

Tabel 5.7 Model-meeting waterstandsverschilstatistieken van D-HYDRO Oosterschelde model voor de jaarsom 1990

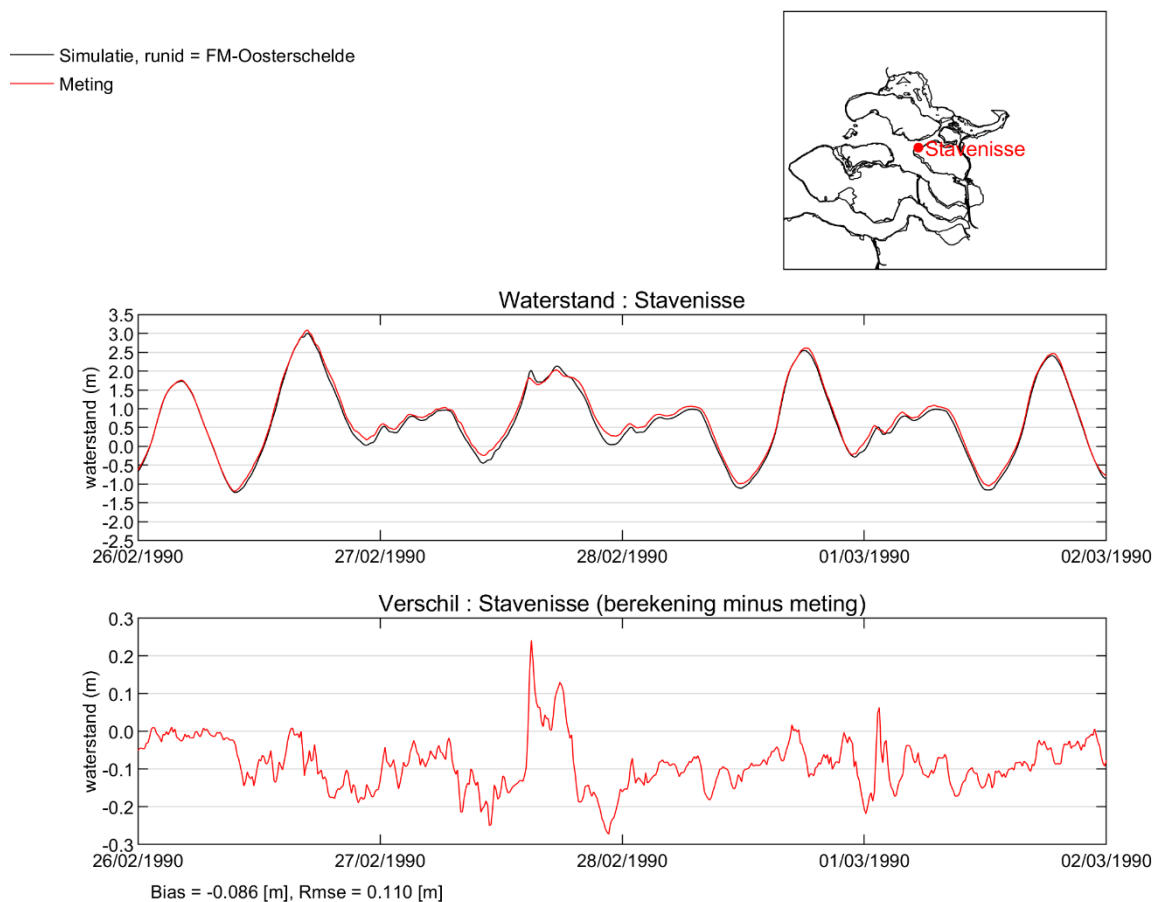
FM-Oosterschelde	Bias [m]	RMSE [m]	Std [m]
OS14	-0,022	0,046	0,040
OS4	0,004	0,040	0,040
Roompot Buiten	-0,019	0,043	0,039
Roompot Binnen	0,003	0,035	0,035
Stavenisse	0,006	0,037	0,036
Gemiddeld	-0,006	0,040 (+/- 0,003)	0,038

Verder wordt de modeluitvoer hieronder visueel met metingen vergeleken voor periodes waarin de Oosterscheldekering gesloten werd. Bepalend voor de sluiting zijn de waterstanden bij Roompot buiten (Figuur 5.12).



Figuur 5.12 Model-meting waterstandsvergelijking van D-HYDRO Oosterschelde model bij Roomport buiten voor de keringsluitingen tussen 26-02-1990 en 02-03-1990.

Zowel bij Roomport Buiten als ook binnen de Oosterschelde (bijv. Stavenisse, Figuur 5.13) onderschat het model de waterstanden. Andere periodes en stations worden in Bijlage G.5 weergegeven. Opgemerkt moet worden dat de schematisatie niet is gecorrigeerd om de 1990 situatie weer te geven, er wordt hier gerekend met Baseline data van 2019 (Baseline-zwd-j19_6-w4).



Figuur 5.13 Model-meeting waterstandsvergelijking van D-HYDRO Oosterschelde model bij Stavenisse voor de keringssluitingen tussen 26-02-1990 en 02-03-1990.

5.5 Conclusies

- De neervorming in het stromingsveld nabij de OSK/Oosterschelde kering bij BarrierAdvection = 1 komt beter overeen met metingen dan die bij BarrierAdvection = 3.
- Op basis van de kalibratie is een ruimtelijk uniforme modelruwheid voor het zomerbed afgeleid met Manning ruwheidscoëfficiënt van $0.027 \text{ sm}^{-1/3}$. Dit wordt gerealiseerd door in het model gebruik te maken van een fysische ruwheidswaarde van $0.022 \text{ sm}^{-1/3}$ in combinatie met een ruimtelijk uniforme kalibratiefactor van 1.23.
- Het D-HYDRO Oosterschelde model laat goede resultaten zien voor de waterstandsreproductie, ook in vergelijking met WAQUA ScalOost en IMPLIC.
- Het D-HYDRO Oosterschelde model kan de stroomsnelheden en debietijdreeksen goed reproduceren zoals blijkt bij de validatie van raaimetingen en ook in relatie tot de positie van neren.

6 Kalibratie en validatie Veerse Meer

De 2D toepassing van het D-HYDRO Veerse Meer model richt zich in eerste instantie alleen op het reproduceren van de lokale waterstandsverschillen als gevolg van windgedreven op- en afwaaiing. Hiervoor zijn twee periodes geselecteerd:

- November 2007
- December 2013 (Sinterklaasstorm)

De eerste storm zal worden gebruikt voor het afleiden van de meest geschikte windforcering, terwijl de tweede storm een aanvullende toets vormt voor de gekozen instellingen.

6.1 Kalibratie

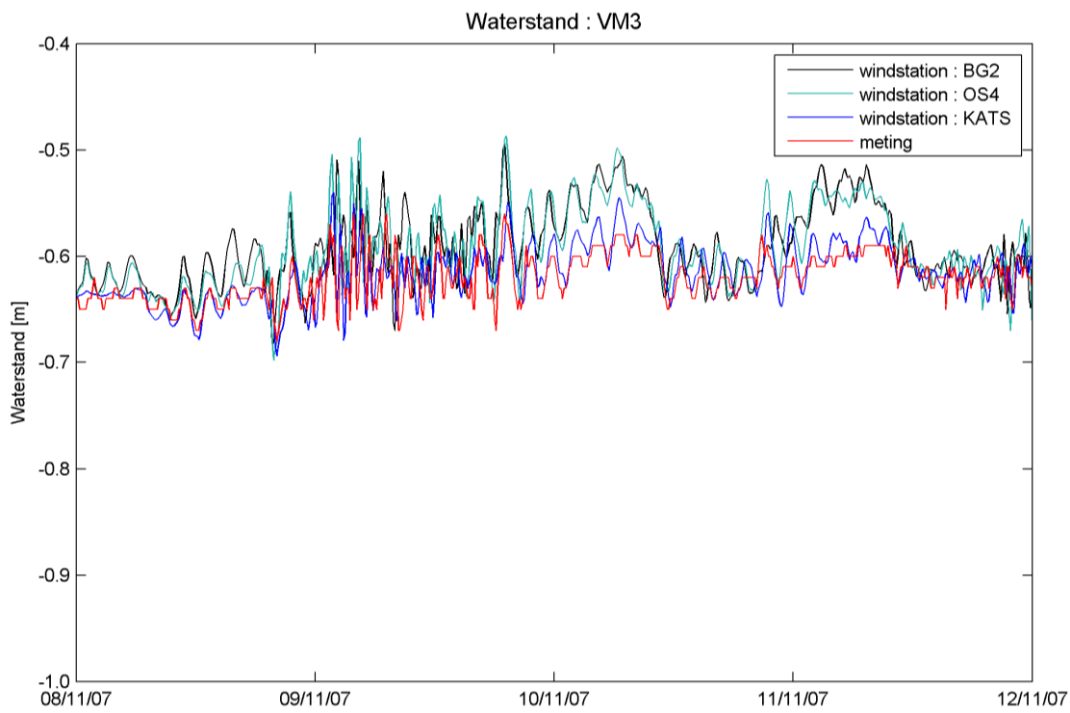
6.1.1 November 2007 Storm: Kalibratie windforcering

Voor het Veerse Meer model zijn dezelfde instellingen en ruwheidswaarden toegepast als in het Oosterschelde model. In de kalibratie van het model is alleen gekeken naar de windforcering. Er zijn drie verschillende wind stations beschikbaar rond het Veerse Meer: Brouwershavense Gat 2 (BG2), Oosterschelde 4 (OS4) en Zandkeek (KATS) welke voor deze kalibratie zijn gebruikt.

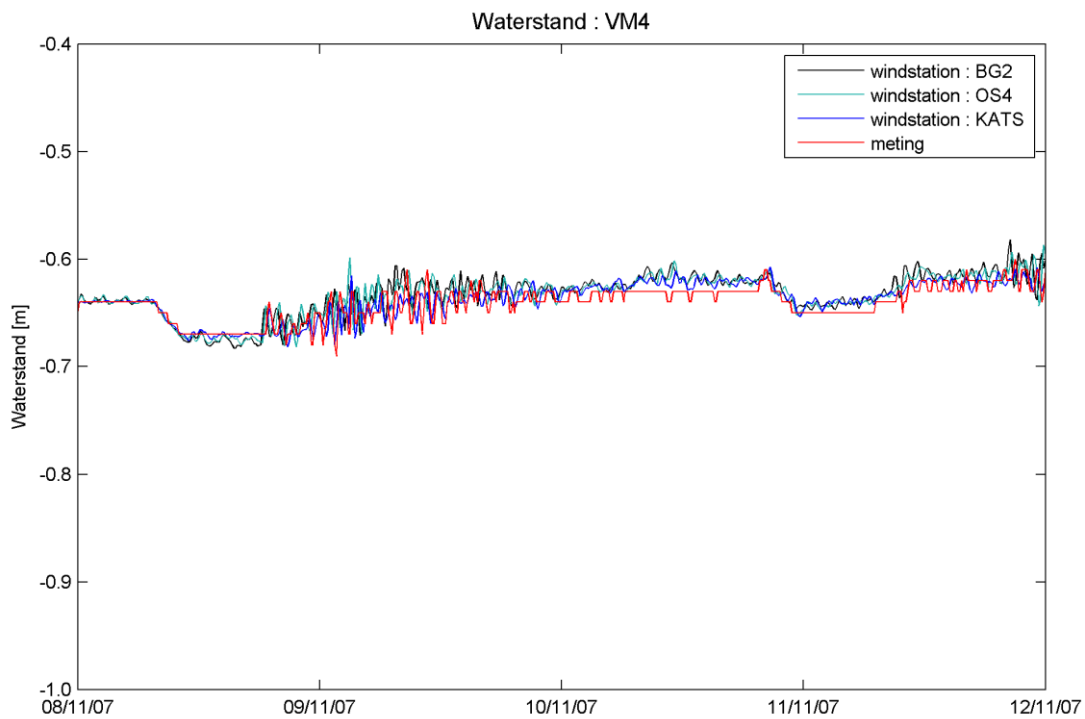
Een vergelijking van de waterstanden met deze verschillende windforceringen met metingen (Tabel 6.1) bij Katse Heule (Figuur 6.1) laat zien dat de windgegevens afkomstig van BG2 (zoals toegepast bij D-HYDRO Oosterschelde) tot een minder goede waterstandsrepresentatie leiden dan gebruikmakend van windgegevens van meetstation KATS. Dit geldt niet alleen voor de waterstanden in de buurt van Katse Heule (VM3) maar ook voor locaties in het midden en het westen van het Veerse Meer (VM4: Figuur 6.2 en VM5: Figuur 6.3). Op basis hiervan wordt daarom aanbevolen om voor berekeningen van de lokale waterstandsverschillen in het Veerse Meer gebruik te maken van windgegevens van meetstation KATS.

Tabel 6.1 Model-meting waterstandsverschilstatistieken van D-HYDRO Veerse Meer model voor de november 2007 storm bij windforcering van verschillende meetstations (OS4, BG2 en KATS)

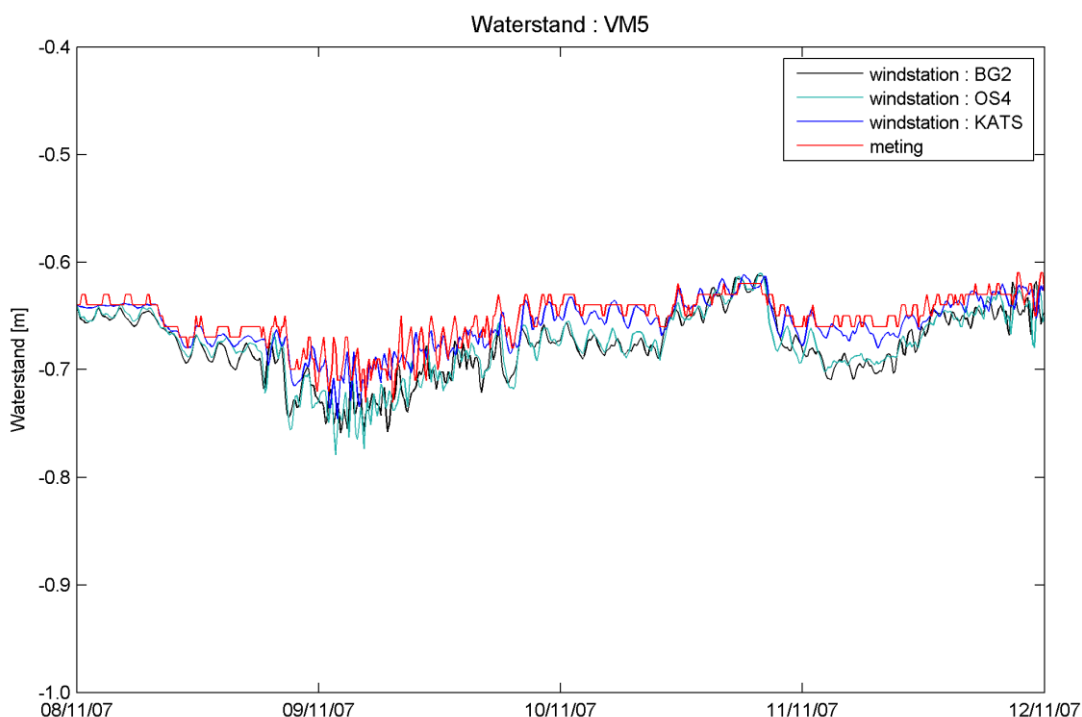
	OS4			BG2			KATS		
	Bias [m]	RMSE [m]	Std [m]	Bias [m]	RMSE [m]	Std [m]	Bias [m]	RMSE [m]	Std [m]
VM3	0,032	0,042	0,027	0,033	0,046	0,031	0,008	0,020	0,018
VM4	0,010	0,015	0,012	0,010	0,017	0,013	0,006	0,011	0,010
VM5	-0,019	0,025	0,016	-0,021	0,027	0,017	-0,003	0,011	0,011
Gemiddeld	0,007	0,028	0,019	0,008	0,030	0,020	0,004	0,014	0,013



Figuur 6.1 Vergelijking van gemeten waterstanden bij VM3 (Katse Heule) met modelresultaten met windforcering van station BG2, OS4 en KATS.



Figuur 6.2 Vergelijking van gemeten waterstanden bij VM4 (Oranjeplaat) met modelresultaten met windforcering van station BG2, OS4 en KATS.



Figuur 6.3 Vergelijking van gemeten waterstanden bij VM5 (Schotsman/Ruiteplaat) met modelresultaten met windforcering van station BG2, OS4 en KATS.

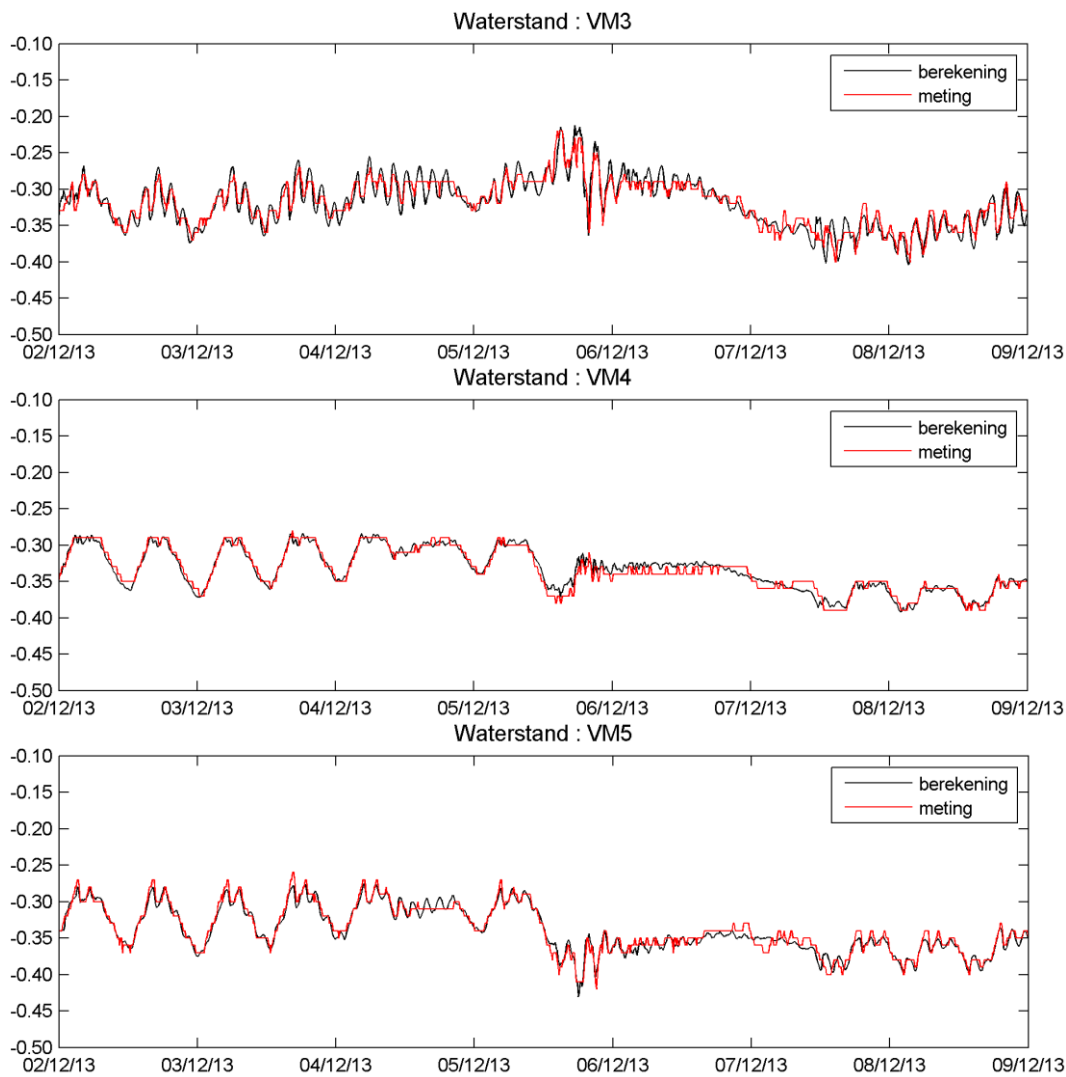
6.2 Sinterklaasstorm 2013: Toetsing lokale waterstandsofzet

Gebruikmakend van windforcering van locatie KATS (Zandkreek) in combinatie met een aangepaste waterbalans (zie Bijlage H) is de lokale op- en afwaaiing gemodelleerd voor de Sinterklaasstorm 2013 en vergeleken met metingen. In Figuur 6.4 wordt het gemeten en gemodelleerde waterstandsverloop tijdens de Sinterklaasstorm weergegeven (de meetlocaties worden weergegeven in Figuur 6.4).

De resultaten laten op kwantitatieve (Tabel 6.2) en kwalitatieve wijze (Figuur 6.4) zien dat het model tijdens de stormperiode in de nacht van 5-6 december de lokale opwaaiing bij VM3 en afwaaiing bij VM5 goed weet te reproduceren.

Tabel 6.2 Model-meting waterstandsverschilstatistieken van D-HYDRO Veerse Meer model voor de Sinterklaasstorm (2013).

	Bias [m]	RMSE [m]	Std [m]
VM3	-0,001	0,012	0,012
VM4	0,001	0,007	0,007
VM5	-0,002	0,008	0,007
Gemiddeld	0,000	0,009	0,009



Figuur 6.4 Waterstandsverloop voor de drie meetlocaties in het Veerse Meer in de periode rondom de Sinterklaasstorm 2013 (forcing met wind KATS).

6.3 Conclusies

Het D-HYDRO Veerse Meer model kan, gebruikmakend van windgegevens van meetstation KATS en een sluitende waterbalans, zeer redelijk de lokale waterstandvariatie reproduceren.

7 Modeltoepassing

7.1 Toetsing voor gebruikstoepassingen

De beoogde toepassing van D-HYDRO Oosterschelde en D-HYDRO Veerse Meer modellen is in eerste instantie het beschrijven van waterstanden en stromingen in 2D.

Stroomsnelheden (magnitude en richting) en debiet in Oosterschelde worden goed door het D-HYDRO Oosterschelde model gereproduceerd (zie Hoofdstuk 5). Neervorming nabij de kering wordt ook goed beschreven. Daarnaast is de waterstandsbeschrijving voor de getoetste periodes in 2016, 2013, 2007 en 1990 zeer vergelijkbaar met gemeten, en veelal beter dan gemodelleerd met WAQUA ScalOost of IMPLIC.

Op basis van simulaties met het D-HYDRO Veerse Meer model (zie Hoofdstuk 6) van een storm in november 2007 en de Sinterklaasstorm 2013 kan worden geconcludeerd dat het model de lokale op- en afwaaiing als gevolg van stormen goed weet te reproduceren, waarbij opgemerkt dient te worden dat gebruik gemaakt is van windforcering op basis van locatie KATS..

7.2 Rekentijden en parallelisatie

Hieronder wordt een overzicht van de rekestijden gepresenteerd van de vijfde en zesde generatie Oosterschelde modellen. In die tests zijn de modellen gedraaid op 2 nodes met elk 4 processoren (in totaal 8 processoren/partities) op het Deltares rekencluster H6. Machine specificaties: Intel(R) Xeon(R) CPU E3-1276 v3 @ 3.60GHz (4 cores + hyperthreading) met 32GB geheugen.

Tabel 7.1 Overzicht van rekestijden (jaarsom) van het vijfde generatie WAQUA model en het D-HYDRO Oosterscheldemodel⁸

Model	Gemiddelde tijdstap [sec]	Rekestijd [uur/jaar]
WAQUA (vijfde generatie)	15	28
D-HYDRO	10.2	39

Voor het Veerse Meer zijn slechts twee korte periodes doorgerekend (4 dagen voor een storm in november 2007 en 7 dagen voor de Sinterklaasstorm 2013), hierdoor is er geen eenduidige tijdstap en rekestijd te bepalen. De hier weergegeven getallen beschrijven de sommen zoals die staan beschreven in Hoofdstuk 6. Beide berekeningen zijn gedraaid op 1 node met 4 processoren (in totaal 4 processoren/partities) op het Deltares rekencluster H6.

Tabel 7.2 Overzicht van rekestijden van D-HYDRO Veerse Meermodel

Model	Gemiddelde tijdstap [sec]	Rekestijd [uur/jaar]
D-HYDRO	11.0 – 28.2	5 – 12

⁸ In dit project is niet gekeken naar 3D berekeningen en rekestijden. Een grove schatting voor 3D rekestijden is dat een model met 10 (sigma) lagen ongeveer 7 keer zo lang over een simulatie doet dan een 2D model. Daarnaast is het niet onwaarschijnlijk dat bij berekeningen in 3D slechts een deel van de Oosterschelde zal worden gesimuleerd, bijvoorbeeld nabij de Krammersluizen waar alleen lokaal sprake is van verticale gelaagdheid.

8 Conclusies en aanbevelingen

Het doel van deze studie is het ontwikkelen van zesde generatie D-HYDRO modellen voor de Oosterschelde en het Veerse Meer. Beide modellen zijn opgezet in 2D en zijn met name bedoeld voor de beschrijving van waterstanden en stroomsnelheden. Daarnaast zijn er nog aanvullende beoogde toepassingen (met name in 3D) waarvoor de huidige aanpak en opzet als basis kan worden gebruikt.

De modelopzet van de zesde generatie D-HYDRO modellen van de Oosterschelde en het Veerse Meer gebruiken een vergelijkbare opzet welke is gebaseerd op de generieke, technische en functionele specificaties beschreven in Spruyt et al. (2017) + update hiervan. Vergeleken met bestaande modellen van de Oosterschelde heeft het D-HYDRO model een hoge resolutie. Daarnaast bevatten de roosters voor de Oosterschelde en het Veerse Meer nog aanvullende verfijningen nabij havens en sluizen om de lokale details (zoals havenhoofden) beter te beschrijven en ook in havens waterstanden te kunnen berekenen ten behoeven van scheepvaart en havenautoriteiten. Het rekenrooster is daarnaast uitgelijnd met de normtrajectenlijn en belangrijke keringen. Het netwerk bestaat uit zoveel mogelijk regelmatige driehoeken, gebieden met variërende resolutie of oriëntatie zijn aan elkaar verboden door middel van onregelmatige driehoeken.

8.1 Conclusies

Oosterschelde

Het D-HYDRO Oosterschelde model is gekalibreerd aan de hand van de jaarsom van 2016 op de volgende parameters: BarrierAdvection en Manning ruwheidscoëfficiënt. De beste instellingen zijn BarrierAdvection = 1 en een uniforme ruwheid coëfficiënt = $0.027 \text{ sm}^{-1/3}$. BarrierAdvection = 1 betekent dat de hoge stroomsnelheden direct op de kering in de advectiontermen worden meegenomen. De stroomsnelheden en neervorming nabij de kering worden (kwalitatief) goed door het D-HYDRO model Oosterschelde beschreven. Het D-HYDRO Oosterschelde model kan het stromingspatroon nabij meetraaien en nabij de Oosterschelde kering en de debietijdreeksen goed reproduceren voor 2014 en 2016. De waterstandsverwachtingen van het model voor 2016, 2013, 2007 en 1990 laten een goede overeenkomst zien met de gemeten waardes (RMSE in Oosterschelde voor jaarsom 2016: 0.056m, 2013: 0,051m, 2007: 0,048m, 1990: 0,040m (alle meetlocaties) welke veelal beter is dan WAQUA ScalOost (2013: 0,061m) en IMPLIC (2007: 0,083m).

De rekentijd van het D-HYDRO Oosterschelde model is een factor 1.4 groter dan die van het vijfde generatie WAQUA Oosterschelde model. Dit komt onder andere doordat het D-HYDRO Oosterscheldemodel voor grote delen van het gebied een fijnere resolutie hanteert en met een kleinere tijdstap (gemiddeld 10,2 seconde) draait dan het vijfde generatie WAQUA Oosterschelde model (15 seconde).

Veerse Meer

Het D-HYDRO model van het Veerse Meer is opgezet volgens dezelfde specificaties als het D-HYDRO Oosterschelde model. Het model is alleen gebruikt voor het beschrijven van de windgedreven lokale op- en afwaaiing. Een storm in november 2007 is gebruikt om een gevoeligheidsonderzoek uit te voeren naar de opgelegde windforcering. Het model bleek de gemeten waterstanden het beste te beschrijven, gebruikmakend van windgegevens van meetstation KATS, welke het dichtst bij het meer lag. Aanvullend is het model getoetst aan de hand van gegevens van de Sinterklaasstorm 2013. Nadat een sluitende waterbalans was opgelegd, bleek het model de lokale wind-gedreven waterstandsverschillen goed te kunnen reproduceren.

8.2 Aanbevelingen

8.2.1 Huidige studie in 2D, maar deel toepassingen in 3D

De binnen dit onderzoek uitgevoerde en gepresenteerde simulaties richten zich voorlopig alleen op 2D hydrodynamica. Beide modellen hebben een bredere beoogde toepassing (Oosterschelde: Morfologie en Waterkwaliteit; Veerse Meer: Waterkwaliteit) die ook 3D simulaties vereisen. De modelopzet houdt de optie voor 3D berekeningen open, maar een aanvullende validatie zal moeten worden uitgevoerd op bijvoorbeeld de stratificatie en verspreidingspatronen verder te toetsen.

8.2.2 Gebruik HIRLAM windforcering

Voor het nu in ontwikkeling zijnde zesde generatie RMM model wordt gebruik gemaakt van ruimtelijk variërende HIRLAM wind. Alhoewel de huidige resultaten (voor Oosterschelde) geen directe aanleiding geven voor het opleggen van gemeten windcondities van BG2, geldt voor het Veerse Meer al dat de windgedreven op- en afwaaiing daar aanzienlijk beter wordt beschreven gebruikmakend van lokale wind van een andere locatie. Bij het koppelen van schematisaties kan het daarom wenselijk zijn om ruimtelijk variërende wind op te leggen uit een meteorologisch model – hierbij kan gedacht worden aan HIRLAM of aan HARMONIE.

8.2.3 Ruimtelijk gekoppelde kunstwerken

In de huidige aanpak van D-HYDRO Oosterschelde en D-HYDRO Veerse Meer worden op de Oosterscheldekering na geen kunstwerken in het modeldomein gebruikt. Wanneer verschillende gebiedsschematisaties aan elkaar gekoppeld moeten worden zullen er aanvullende verbindingen naar omliggende gebieden moeten worden geïmplementeerd via kunstwerken, is de software daarvoor nog in ontwikkeling. Hierbij speelt mee dat het rooster veelal te grof is om bijvoorbeeld specifieke sluiscolken te modelleren en dat geeft bij een bodemprojectie vanuit Baseline daardoor veelal onrealistische (hoge) bodemhoogtes op deze overgangen. Op dit moment wordt nog gewerkt aan de implementatie in de software van ruimtelijk gekoppelde kunstwerken die over meerdere rekencellen heen kunnen liggen. Deze kunstwerken hebben specifiek tot doel sluizen, duikers en overige lang gerekte kunstwerken te kunnen beschrijven.

8.2.4 Waterbalans

Voor het Veerse Meer is gebleken dat er voor sommige periodes een sluitfout lijkt te zijn in de opgelegde waterbalans. Hiervoor is binnen deze studie, op basis van gemeten waterstanden en debieten, een sluitpost opgelegd. Er wordt op dit moment aan een eerste inventarisatie en omschrijving voor het opstellen van waterbalansen voor D-HYDRO modellen gewerkt, welke uiteindelijk in de generieke specificaties voor D-HYDRO-modellen zal worden opgenomen. Er wordt aanbevolen om, wanneer het D-HYDRO Veerse Meermodel operationeel gedraaid gaat worden, aan te sluiten bij deze generieke methode voor zesde generatie modellen.

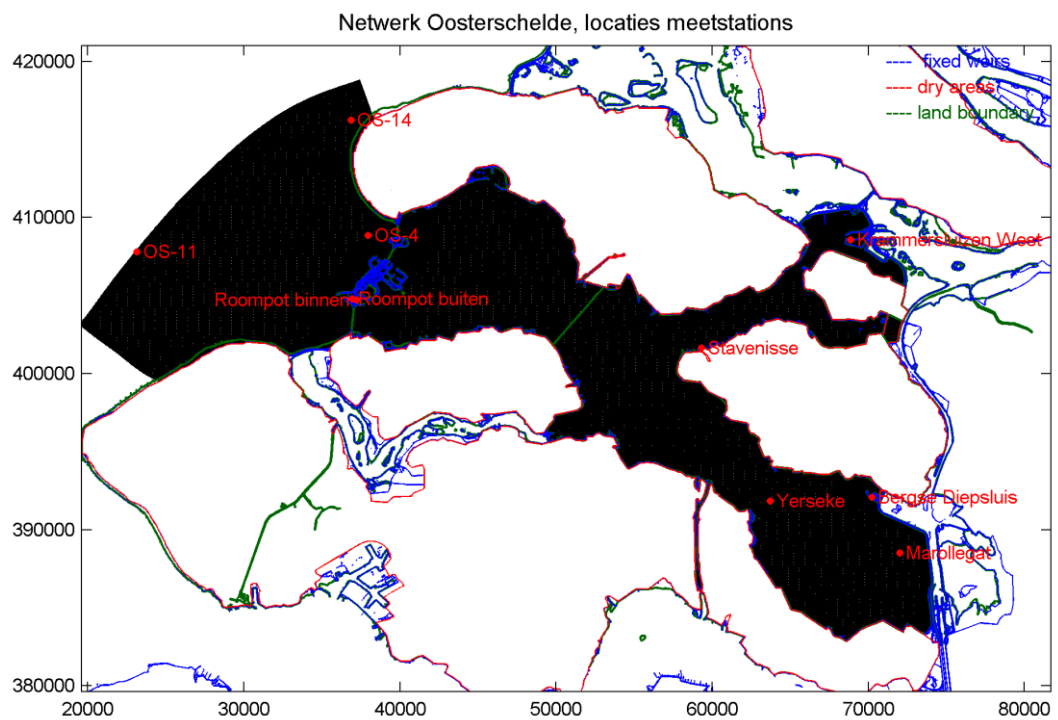
9 Referenties

- Broekema, Y. (2016). *Meeplan ADCP metingen Roompot Oost*. TU Delft
- van Doornik, W. (2019) *Actualisatie Baseline Zuid Westelijke Delta 2019*, Lieveense, documentnummer: WAB008629_RAP001
- Groenenboom, J. (2017) *Data-inventarisatie Veerse Meer*. Deltares, memo.
- Groenenboom, J., & M. Tiessen (2018). *Oosterschelde: Effect van rekenroosters op stroompatronen*. Deltares, memo 11202221-008-ZKS-0003
- Groenenboom, J., (2019). *Modelontwikkeling D-HYDRO Grevelingen; Een zesde-generatie Rijkswaterstaatmodel*. Deltares, rapport 11203715-006-ZKS-0002
- Minns, T., Spruyt, A., & Kerkhoven, D. (2019) *Specificaties zesde-generatie modellen met D-HYDRO*. Deltares, rapport 11203714-013-ZWS-0001.
- Nolte, A., Vatvani, D., Verploegh, D. (2004). *Het Veerse Meer tijdens en na opening van het doorlaatmiddel in 2004; Validatie van het Veerse Meer model & vooruitblik naar het Volkerak-Zoommeer*. WL|Delft Hydraulics raport Z3885.
- Paarlberg, A., Kaaij, T. v., Stijnen, J., & Gautier, C. (2016). *Oosterschelde WTI 2023*. Lelystad, Delft: HKV, Lijn in Water; Deltares.
- Prins, T.C., Vergouwen, S.A. (2015). *Bekkenrapport Veerse Meer 2000-2014; ten behoeve van de Evaluatie Peilbesluit*. Deltares, rapport 1220248-000-ZKS-0010.
- Spruyt, A., Minns, T., Zijl, F. , Genseberger, M.,Yossef, M., van der Kaaij, Th., de Goede, E. (2017). *Ontwikkeling zesde-generatie modellen met D-HYDRO - Generieke technische en functionele specificaties*. Deltares, rapport 11200569-000-ZWS-0028.
- Tiessen, M., Goede de, E., Groenenboom, J., Zijl, F., Winter, G., Kranenburg, W. (2018). *Onderzoek naar nauwkeurigheid voor zoutindringing met D-HYDRO; Modelsimulaties in 3D op verschillende roosters*. Deltares, rapport 11202219-006-DSC-0008.
- Tiessen, M. (2017). *Memo: Wensen WBI, Morfologie en Waterkwaliteit met betrekking tot modelontwikkeling 6e generatie Oosterschelde model*. Deltares, memo.
- Tiessen, M.C.H. (2018). *D-Hydro Oosterschelde Roostervarianten en planning*. Deltares, verslag 180206_11202221-008-ZKS-0001-v0.2.
- Tiessen, M.C.H. (2019). *Ontwikkeling 6gen D-HYDRO model Oosterschelde en Veerse Meer: Stand van zaken, rooster en plannen*. Deltares, verslag 1202221-010-ZKS-0001
- van der Kaaij, Th. (2015). *Oosterschelde WAQUA model 5e generatie; Modelopzet, kalibratie en validatie*. Deltares, rapport 1220073-006.

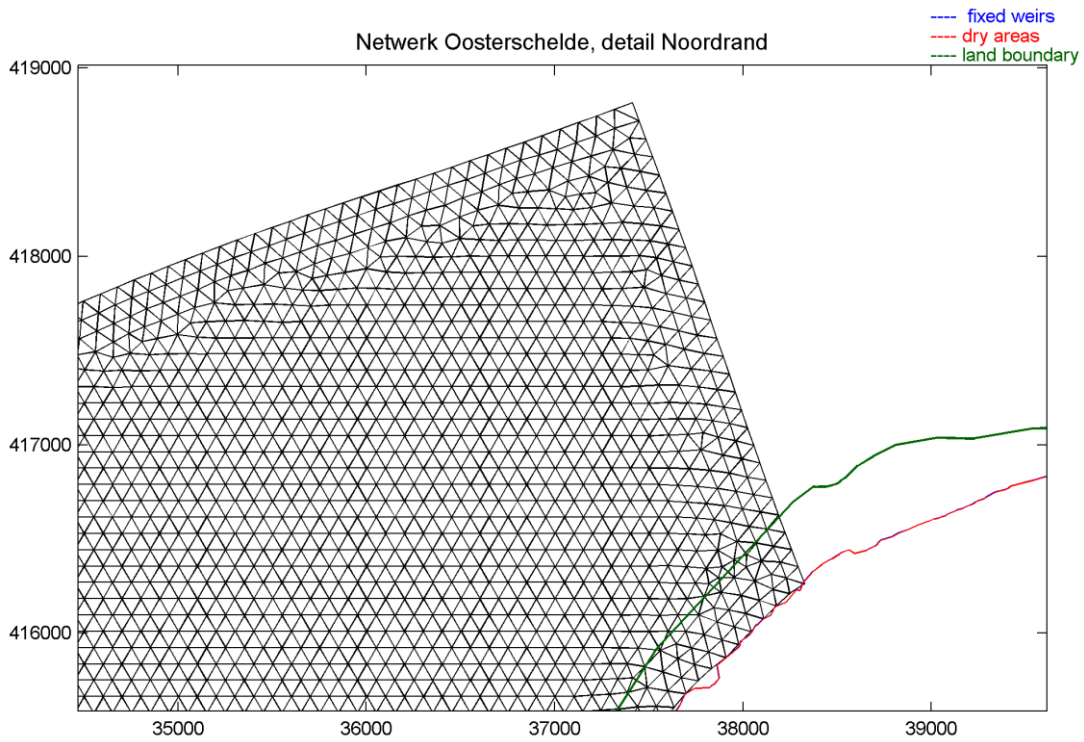
Vatvani D., van der Kaaij, Th. (2017). *Ontwikkeling zesde-generatie Oosterschelde-model; Modelbouw en verificatie*. Deltares, rapport 11200570-009.

A Bijlage: Roostergeneratie

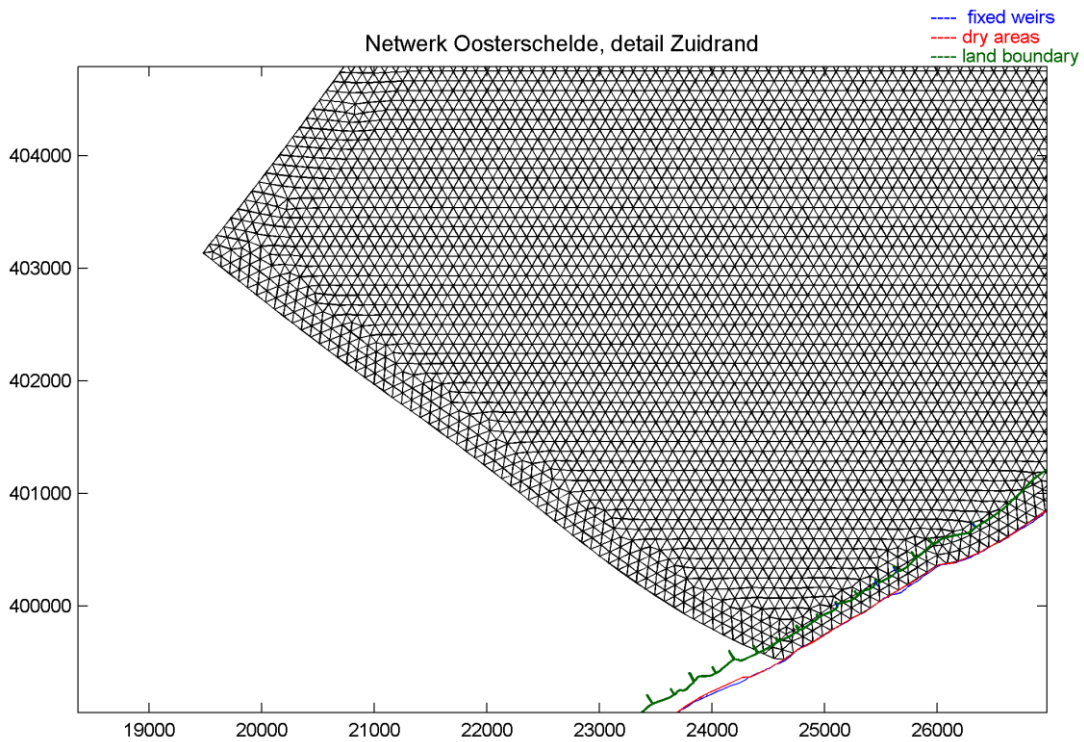
A.1 Oosterschelde



Figuur A.1 Overzicht D-HYDRO Oosterschelde netwerk en locaties van waterstandsmetstations



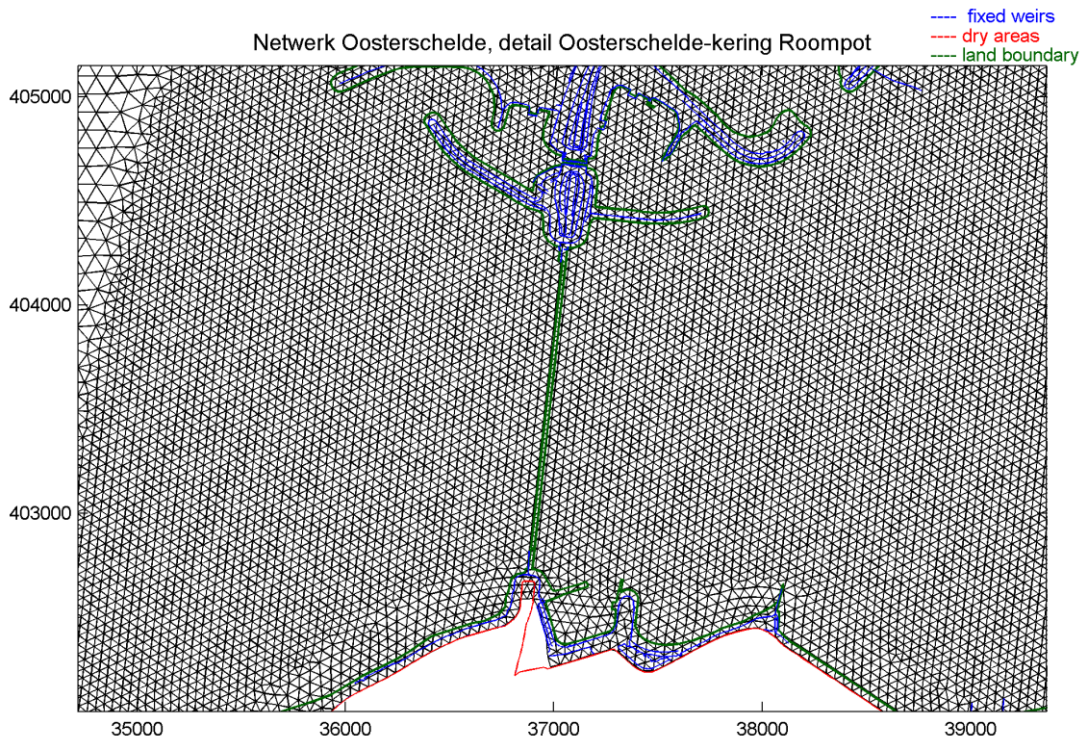
Figuur A.2 D-HYDRO Oosterschelde netwerk: detail Noordrand



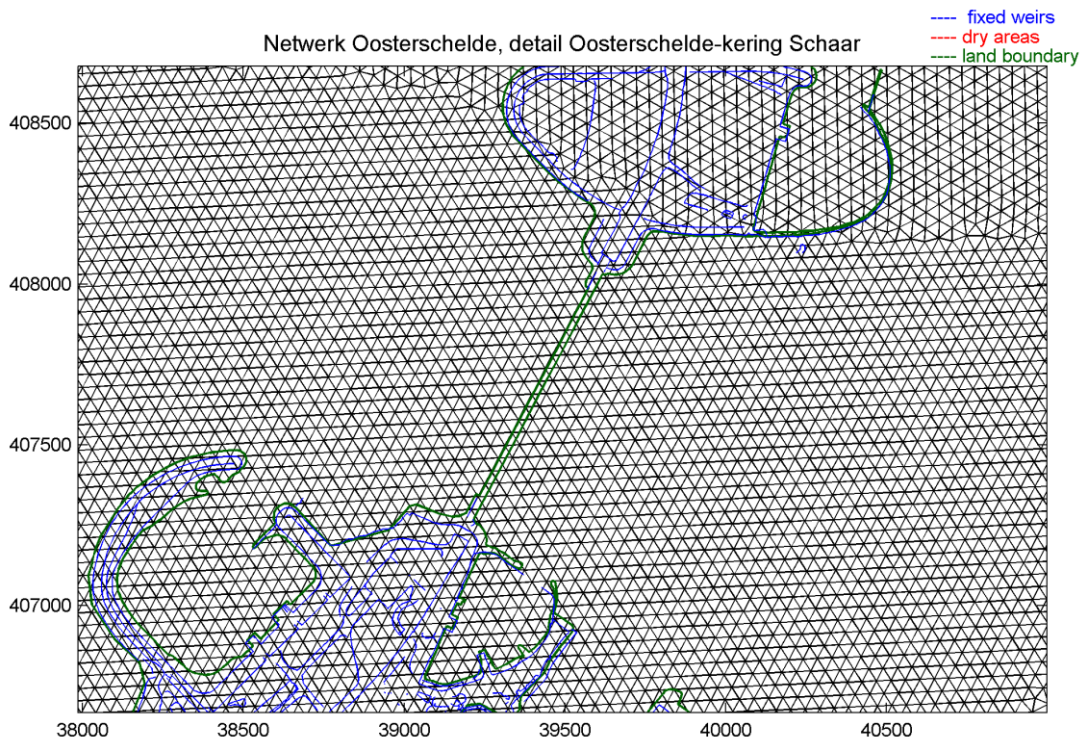
Figuur A.3 D-HYDRO Oosterschelde netwerk: detail Zuidrand



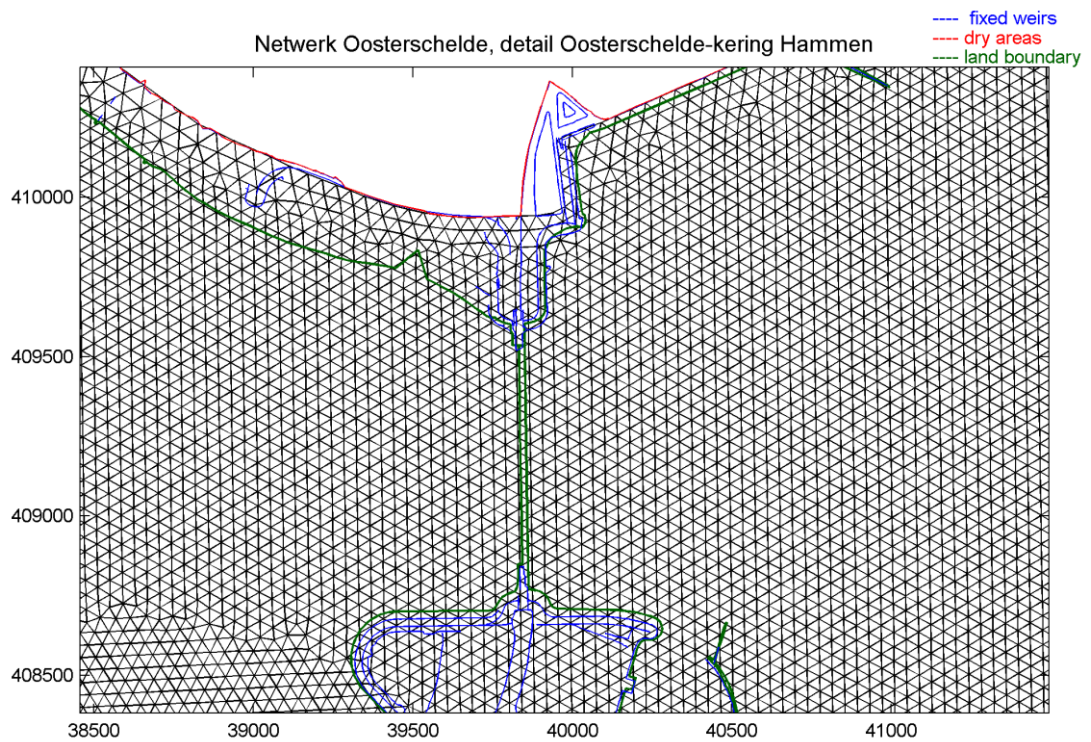
Figuur A.4 D-HYDRO Oosterschelde netwerk: Oosterschelde-kering



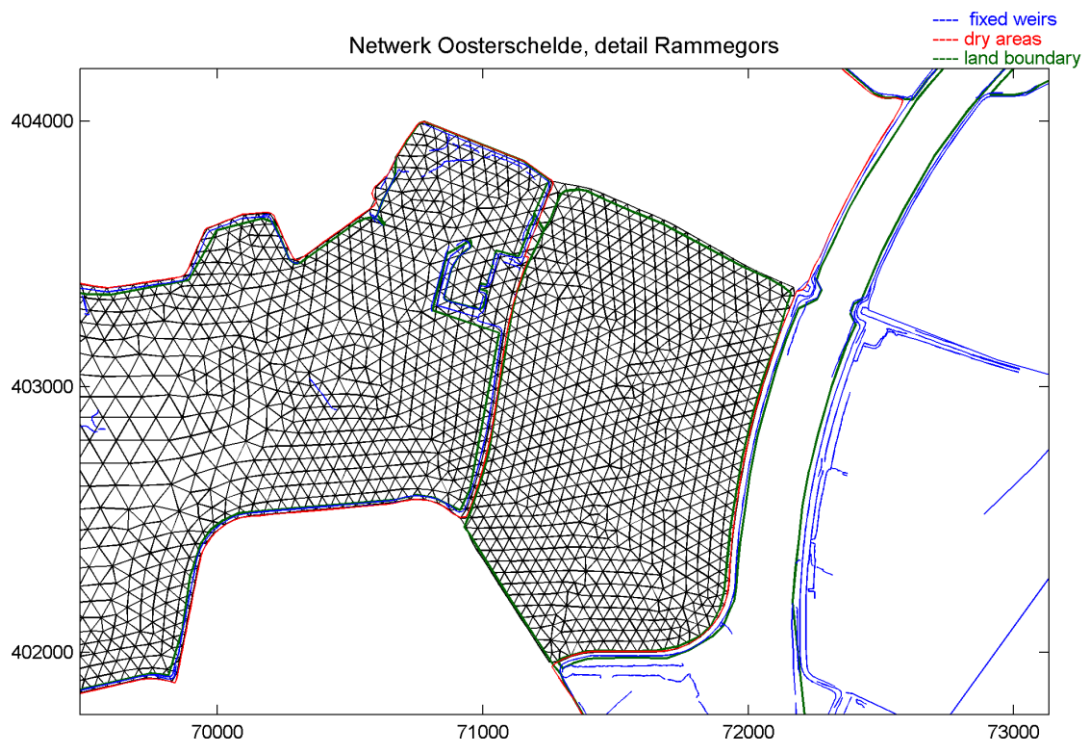
Figuur A.5 D-HYDRO Oosterschelde netwerk: detail Oosterschelde-kering, Roompot



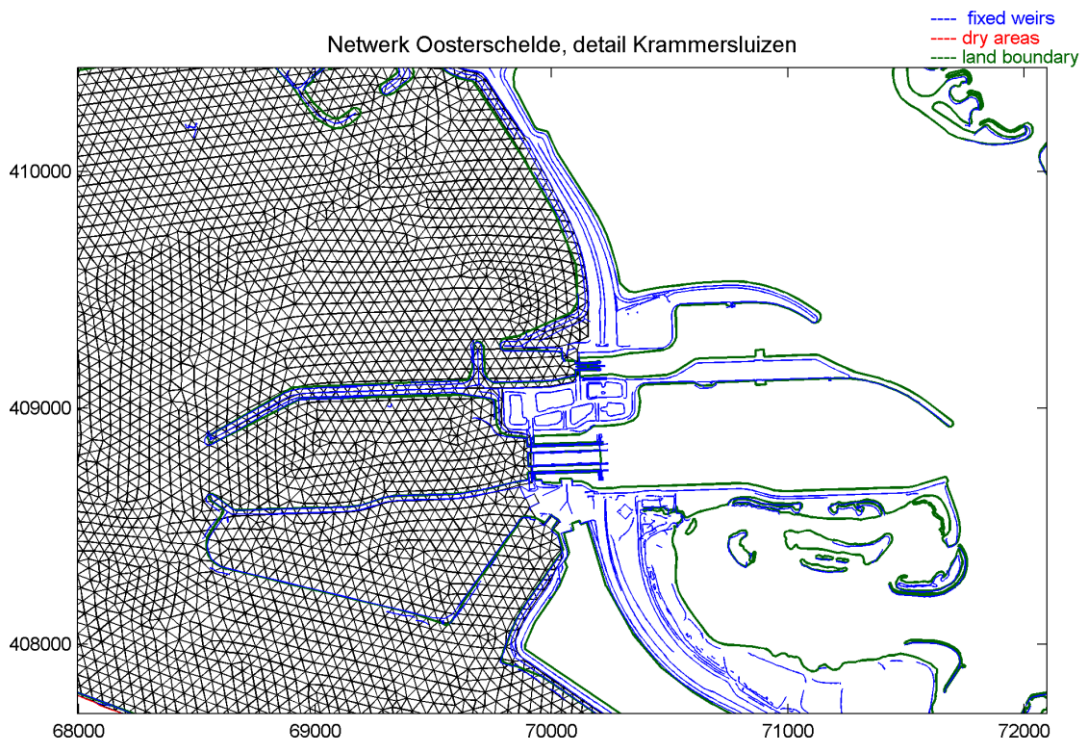
Figuur A.6 D-HYDRO Oosterschelde netwerk: detail Oosterschelde-kering, Schaar



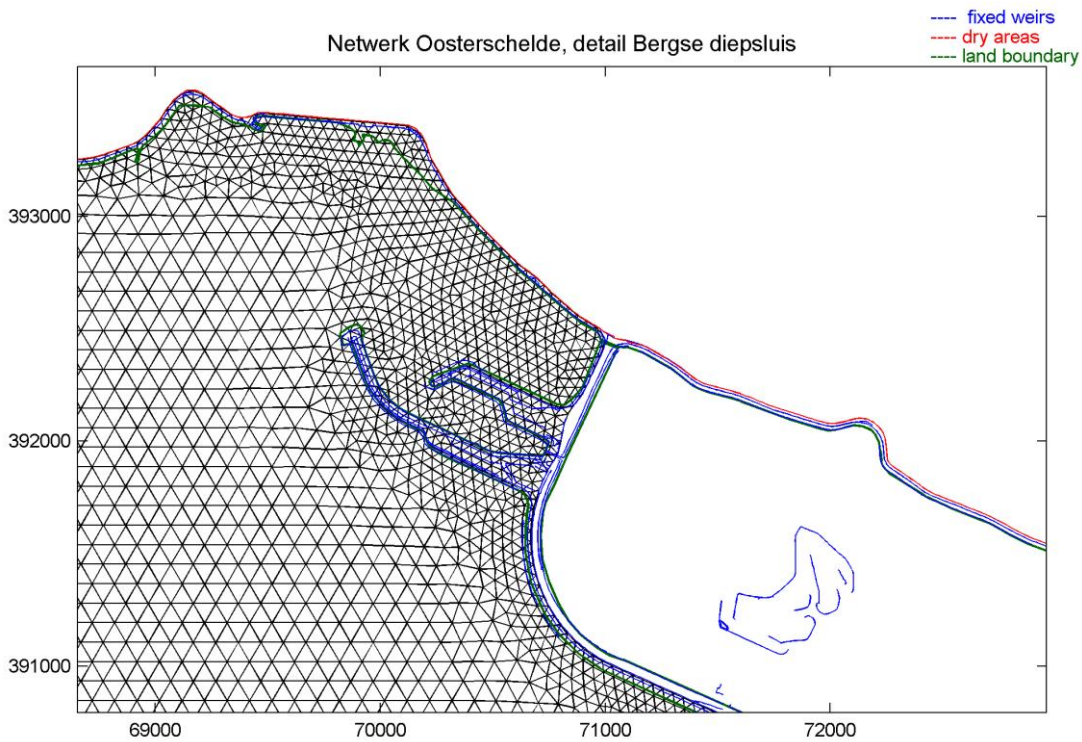
Figuur A.7 D-HYDRO Oosterschelde netwerk: detail Oosterschelde-kering, Hammen



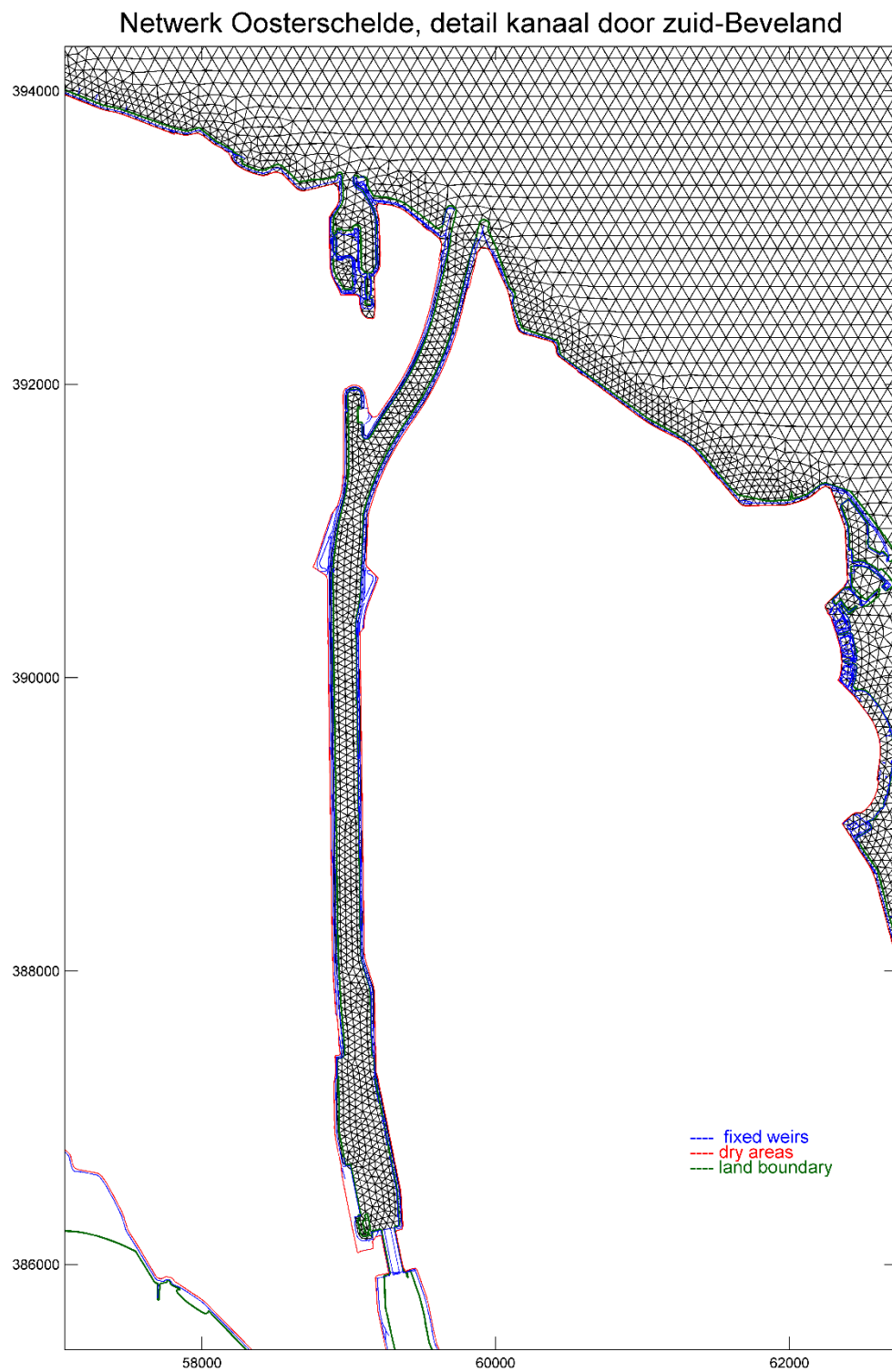
Figuur A.8 D-HYDRO Oosterschelde netwerk: detail Rammegors



Figuur A.9 D-HYDRO Oosterschelde netwerk: detail Krammersluizen



Figuur A.10 D-HYDRO Oosterschelde netwerk: detail Bergse diepsluis

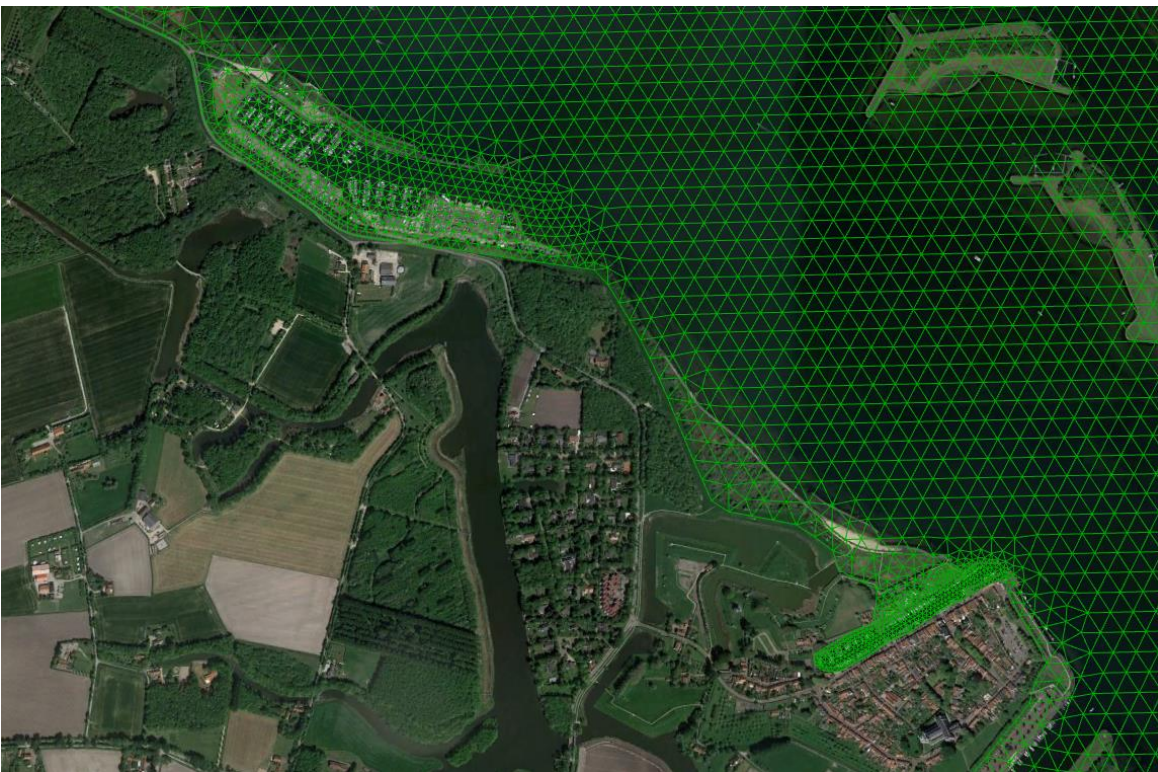


Figuur A.11 D-HYDRO Oosterschelde netwerk: detail Kanaal door Zuid-Beveland

A.2 Veerse Meer

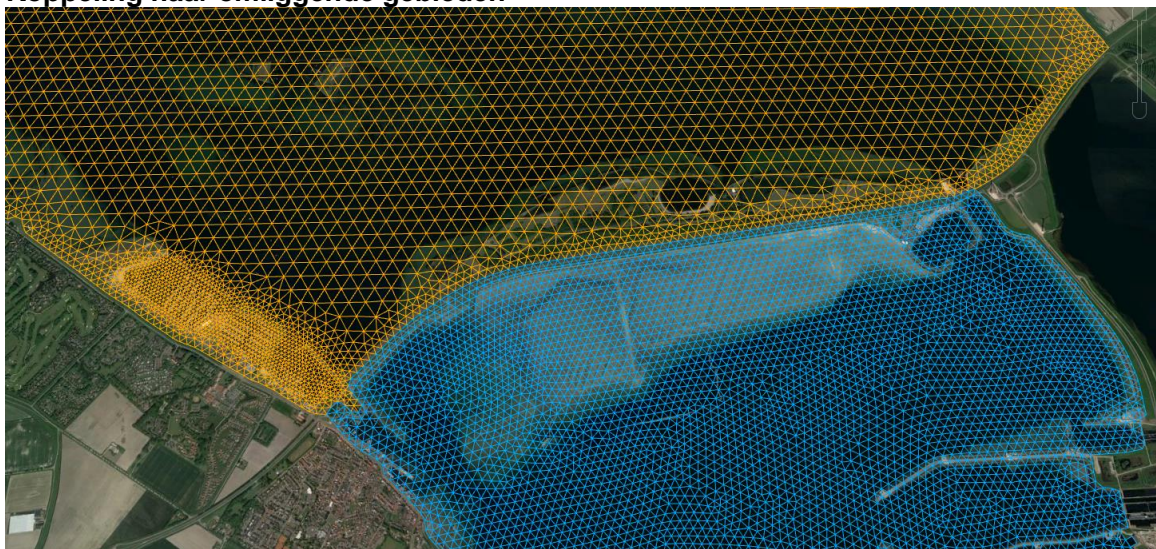


Figuur A.12 D-HYDRO Veerse Meer netwerk

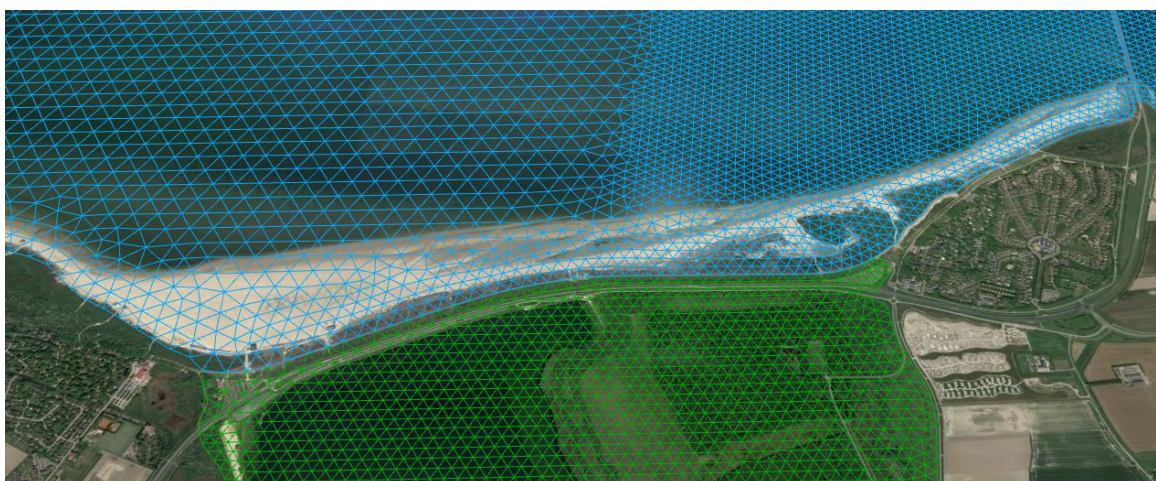


Figuur A.13 D-HYDRO Veerse Meer netwerk: Verfijning in havens rondom Veere.

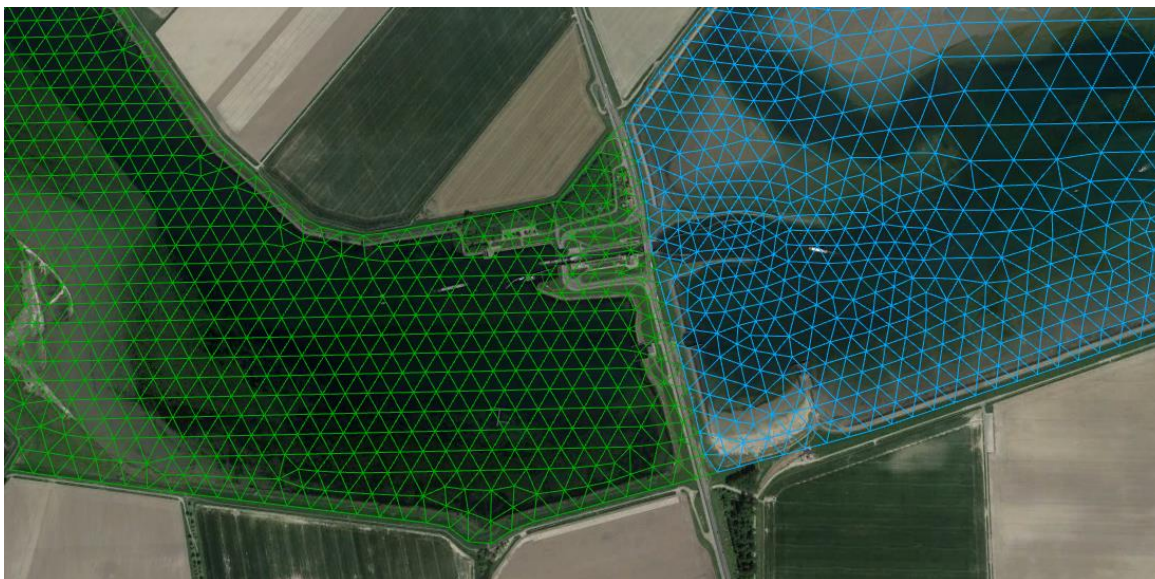
A.3 Koppeling naar omliggende gebieden



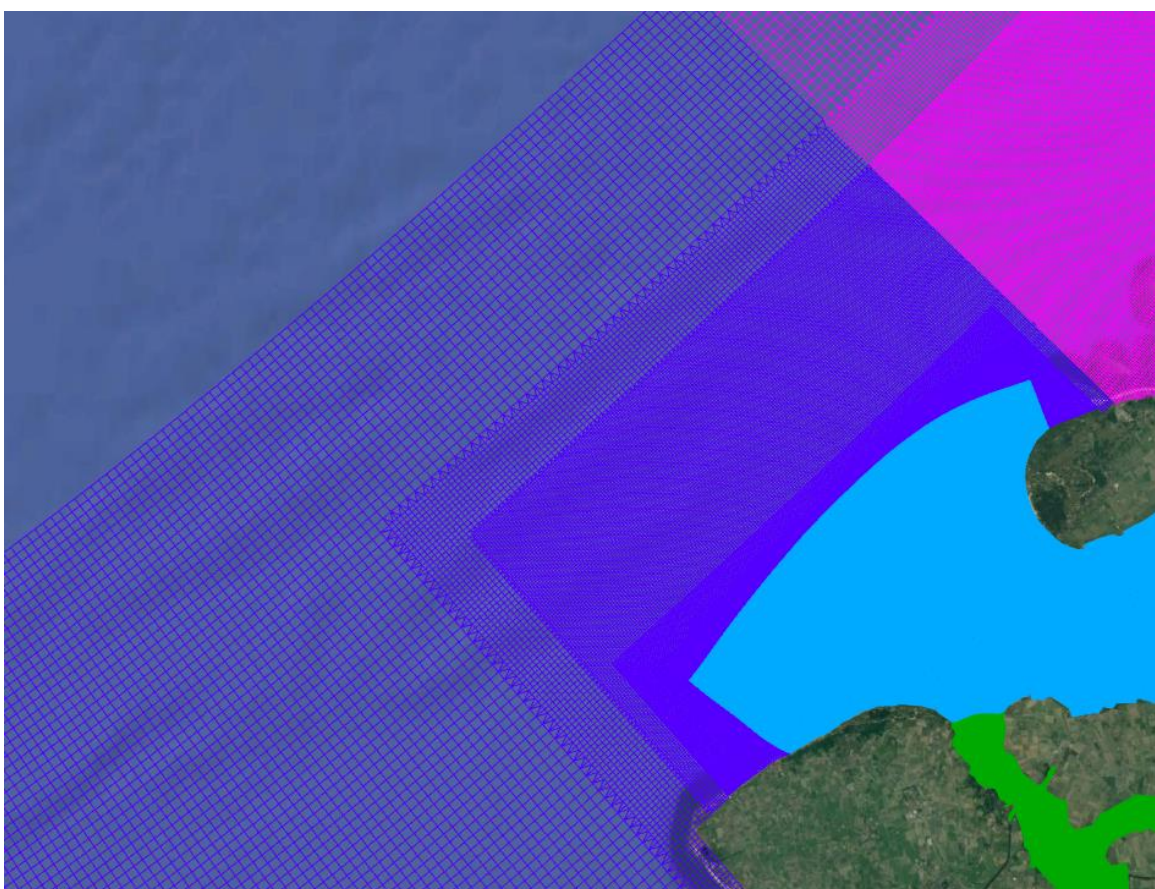
Figuur A.14 Rooster van het D-HYDRO Grevelingen model (oranje) en het D-HYDRO Oosterschelde model (blauw) ter hoogte van de Grevelingendam



Figuur A.15 Rooster van het D-HYDRO Veerse Meermodel (groen) en het D-HYDRO Oosterschelde model (blauw) ter hoogte van de Veerse Gatdam.



Figuur A.16 Rooster van het D-HYDRO Veerse Meermodel (groen) en het D-HYDRO Oosterschelde model (blauw) ter hoogte van de Zandkreekdijk.

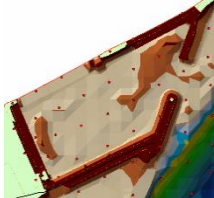
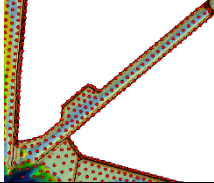
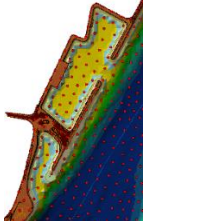
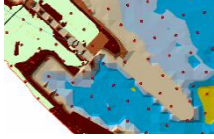
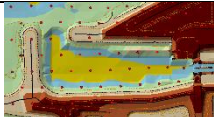

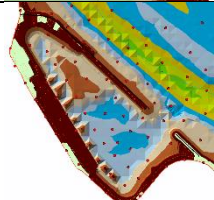


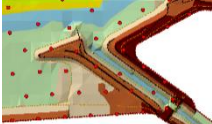
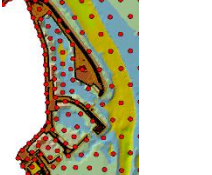
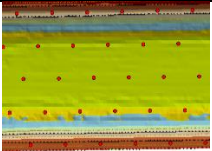
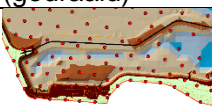
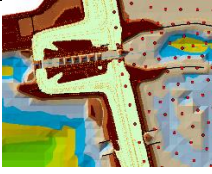
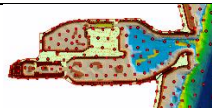
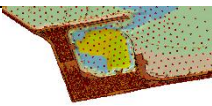
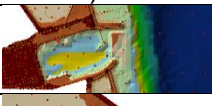
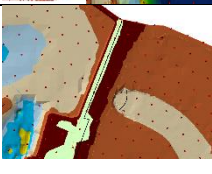
Figuur A.17 Rooster van het D-HYDRO Oosterschelde model (lichtblauw) tot de locatie van de modelrand (randpalenlijn) en de koppeling naar een D-HYDRO schematisatie voor de kustzone (donkerblauw) en de aansluiting met het zeedeel van het RMM model (roze). Dit rooster zal in de toekomst ook aansluiten op het nog te ontwikkelen model van de Westerschelde.

B Bijlage: roosterpunten en bodemhoogte nabij havens en kanaalmondingen

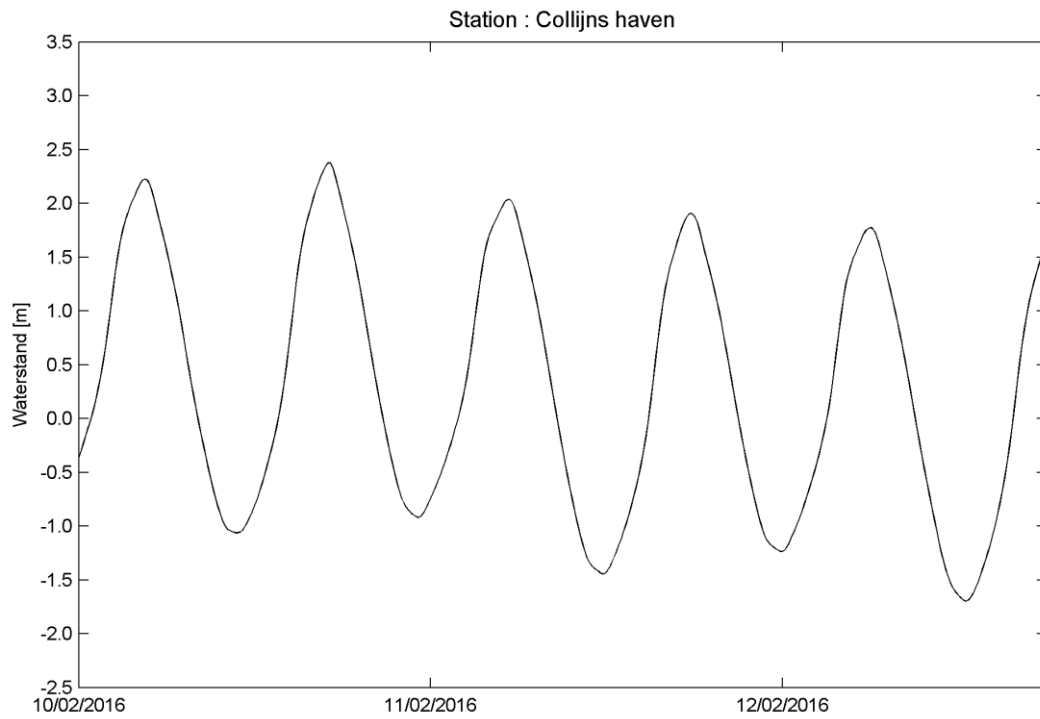
B.1 Overzicht van havens en kanaal mondingen in de Oosterschelde

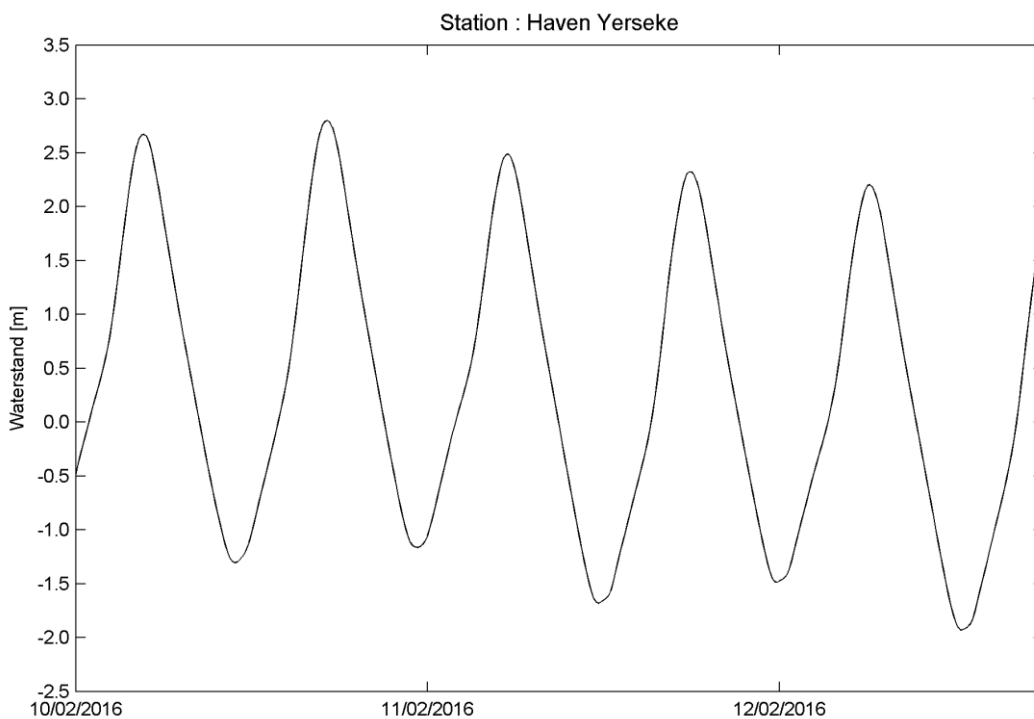
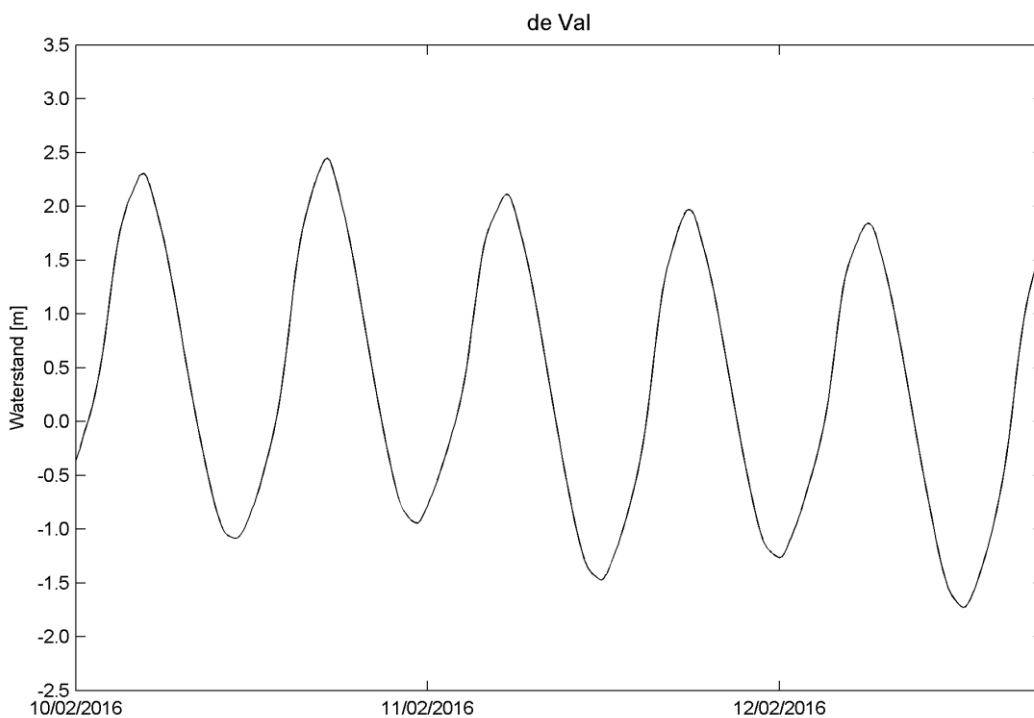
Hieronder wordt het overzicht weergegeven van de bediscussieerde havens en kanaalmondingen in de Oosterschelde, in combinatie met de in overleg met RWS (15 januari 2019) besloten aanpassingen aan het rekenrooster.

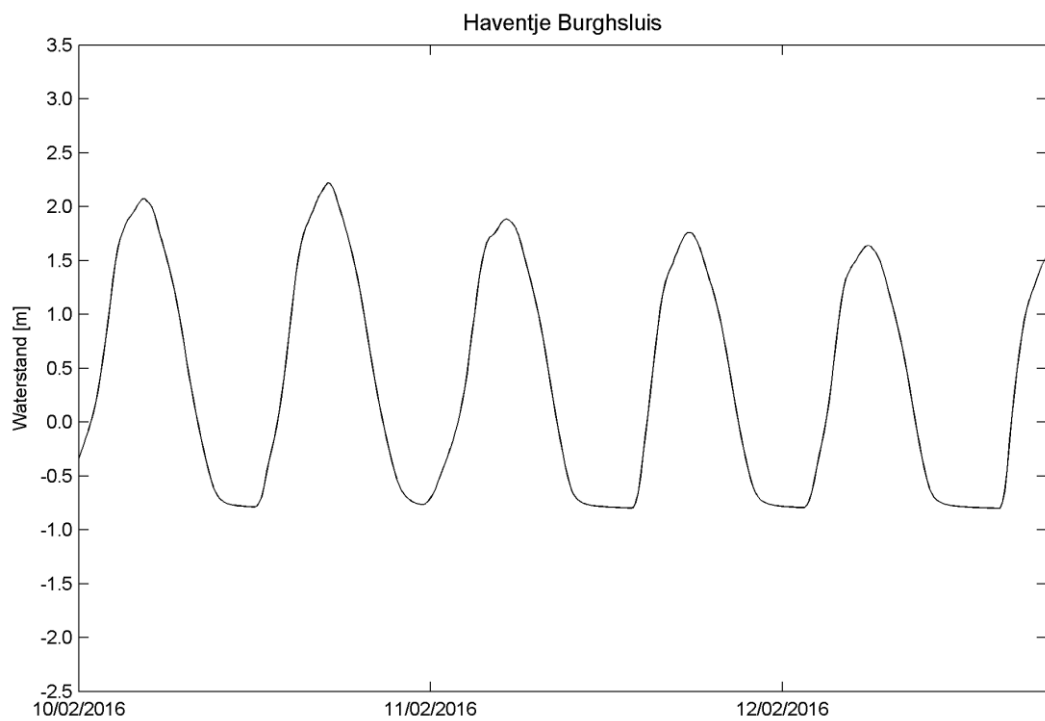
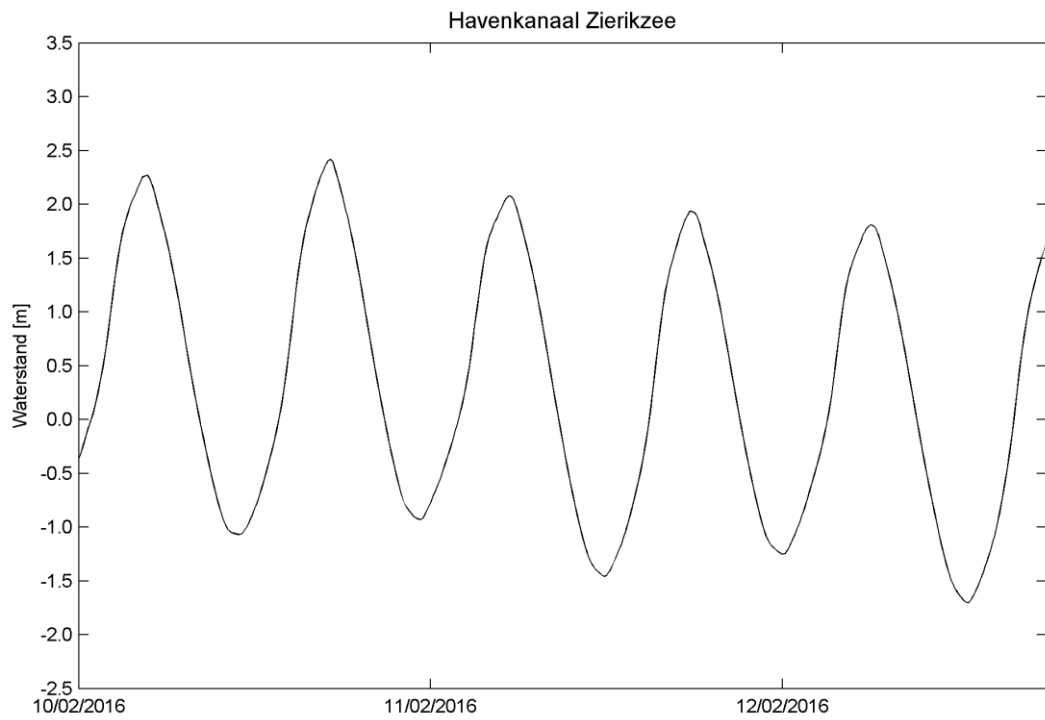
Locatie	Bodemhoogte (baseline) en originele roosterpunten	Gemodelleerde getij-sigitaal	Aanpassing
Invaarhaven Burgsluis		> +0.5m NAP	1: Bodemhoogte glad trekken in haven, zodat ondieptes weg gaan. 2: Twee roosterpunten in havenmonding.
Havenkanaal Zierikzee		Volledig signaal	Geen aanpassing nodig voor het verkrijgen van waterstandvoorspellingen.
Ingang Vluchthaven Bruinisse		Volledig signaal	Geen aanpassing nodig voor het verkrijgen van waterstandvoorspellingen.
Invaart sluis bij Bruinisse naar Grevelingen		Onbekend (was nog niet opgenomen)	Mogelijk 1: Bodemhoogte glad trekken zodat ondieptes weg gaan. Waarschijnlijk niet nodig om rooster aan te passen.
Krammer pleziervaart sluis		Volledig signaal	Geen aanpassing nodig voor het verkrijgen van waterstandvoorspellingen.
Haven Hotel Oosterschelde (Anna Jacobapolder)		> +0.8m NAP	Geen. Locatie onbelangrijk. WL kan ook voor haven worden bepaald.
Ingang haven St-Annaland		> +0.3m NAP	1: Bodemhoogte glad trekken in haven, zodat ondieptes weg gaan. 2: Twee roosterpunten in havenmonding. In haven staat een druksensor.

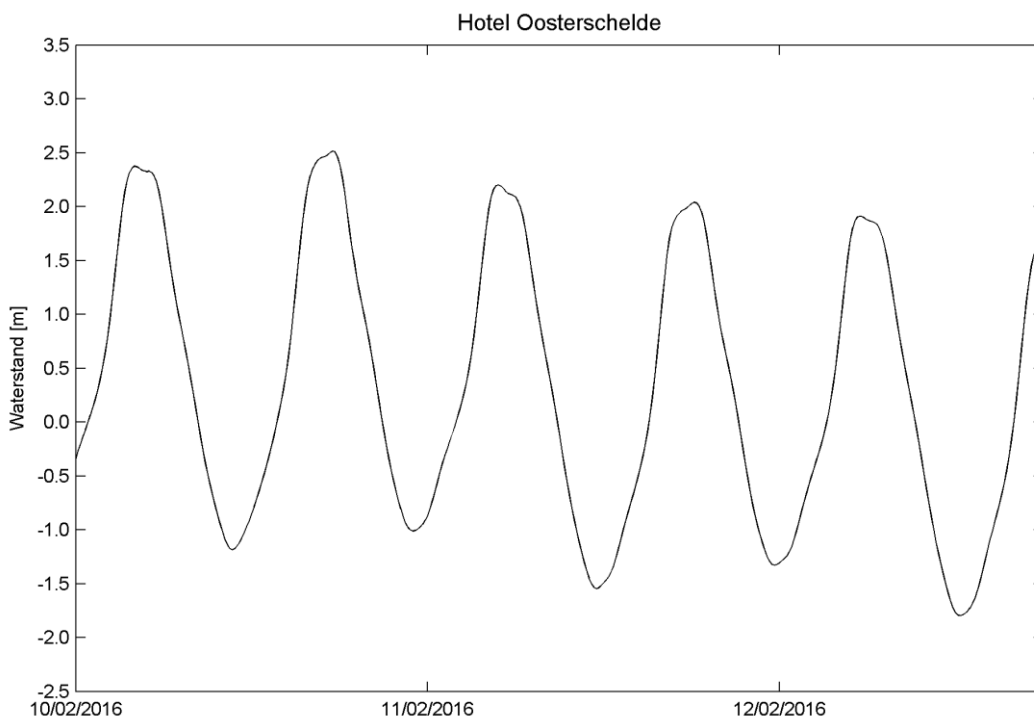
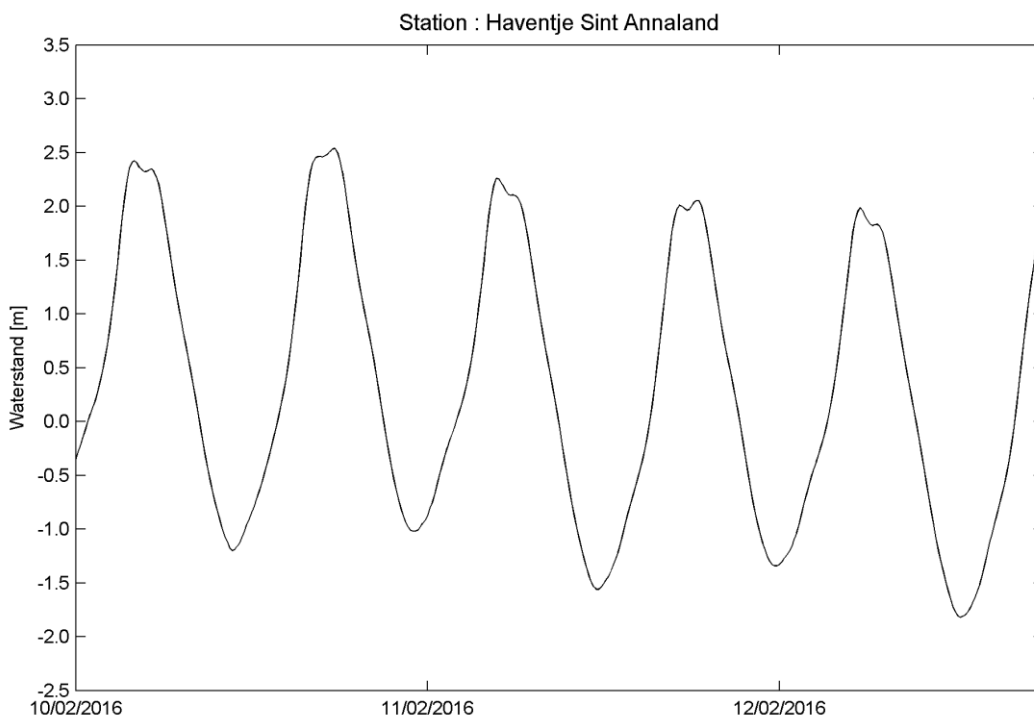
Ingang haven Stavenisse		Geen enkel getijsignaal	Geen. Kanaal te klein om te modelleren.
Strook Yerseke en haven		> +0.5m NAP	Geen, locatie onbelangrijk. Geen vraag naar.
Kanaal door Zuid-Beveland	 (gedraaid)	Volledig signaal	Geen aanpassing nodig voor het verkrijgen van waterstandvoorspellingen.
Ingang haventje Colijnsplaat		> +1.5m NAP	1: Bodemhoogte glad trekken in haven, zodat ondieptes weg gaan. 2: Twee roosterpunten in havenmonding.
Ingang Veerse Meer (Katse Heule)		> -0.8m NAP	1: Bodemhoogte glad trekken, zowel Katse Heule (Spui) als Zandkreeksluis (zie ook volgende punt over uitlijning mogelijke verfijning rooster over kunstwerken op rand modeldomein). Geen 2: Rooster in principe gedetailleerd genoeg.
Ingang haven Wemeldinge	 (gedraaid)	> +0.7m NAP	1: Bodem hoogtes aanpassen om ondieptes in haven weg te krijgen. Geen 2 (roosterpunten aanpassen): Havens achter sluizen niet meenemen (rooster te grof om sluizen te beschrijven).
Beachresort	 (dit is al het aangepaste rooster)	Volledig signaal	Geen aanpassing nodig voor het verkrijgen van waterstandvoorspellingen.
Haventje Kats		> -0.6m NAP	Geen, locatie onbelangrijk.
Rammegors		Onbekend (was nog niet opgenomen)	1: Bodemhoogte aanpassen. Geen bodemaanpassing, zie ook volgende punt over uitlijning en mogelijke verfijning rooster over kunstwerken op rand modeldomein

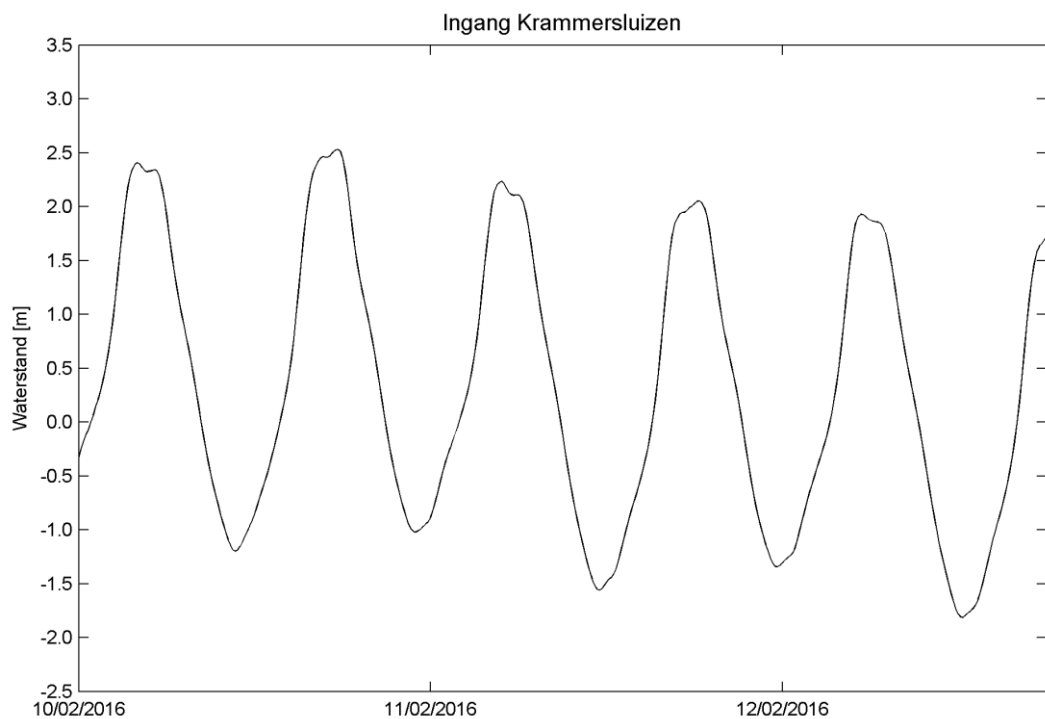
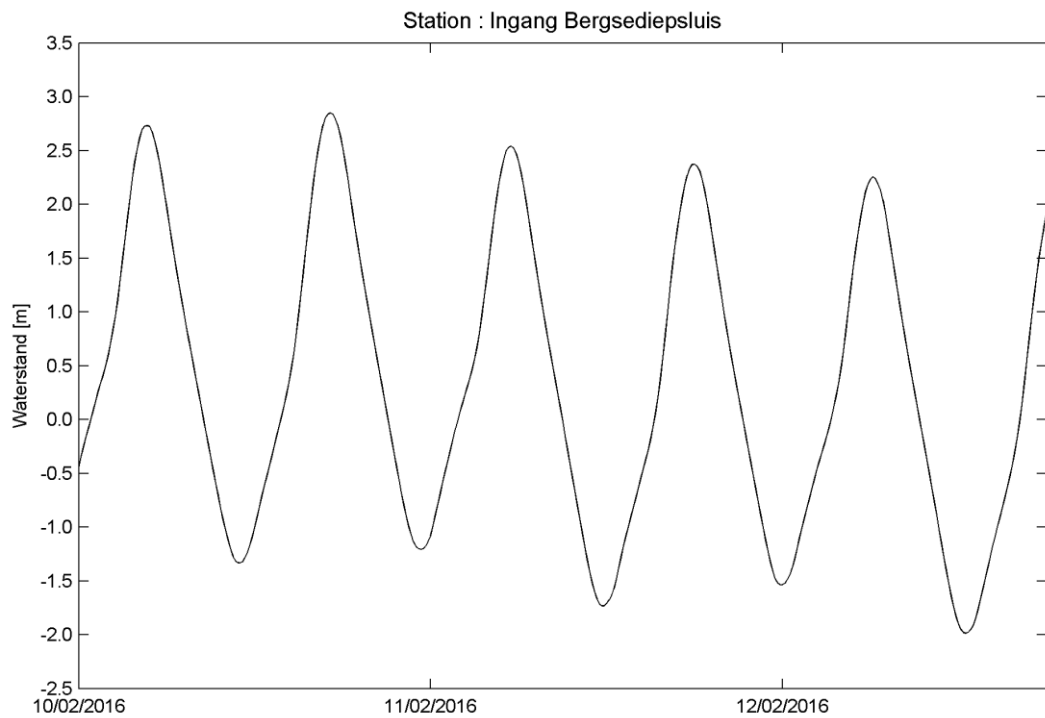
B.2 Waterstanden in de havens na aanpassing rekenrooster en Baseline bodem

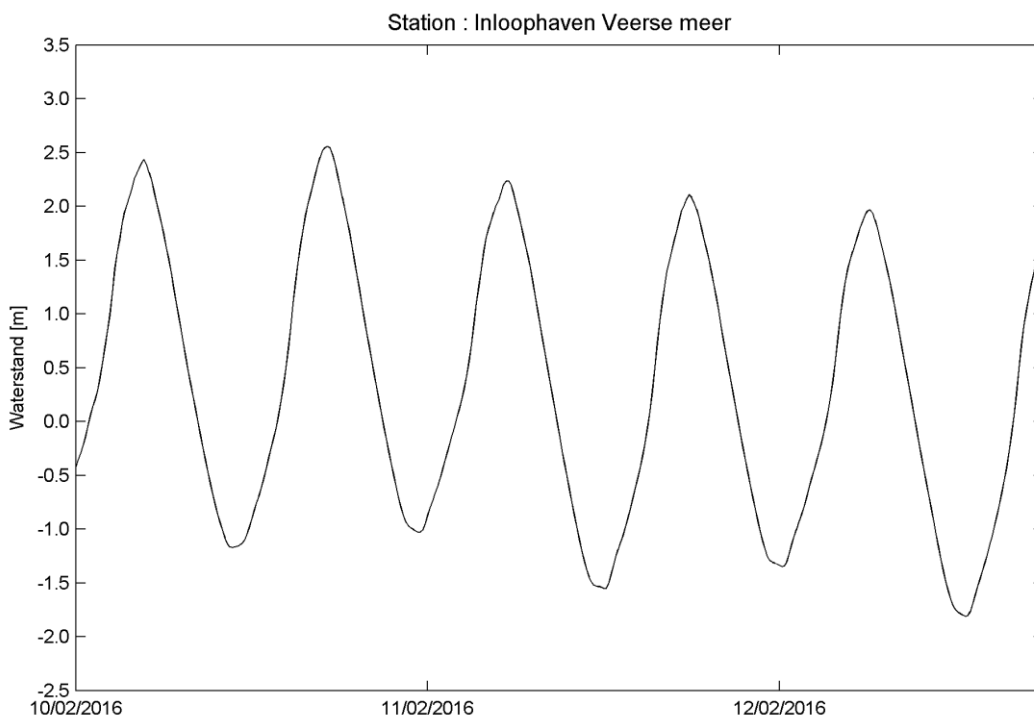




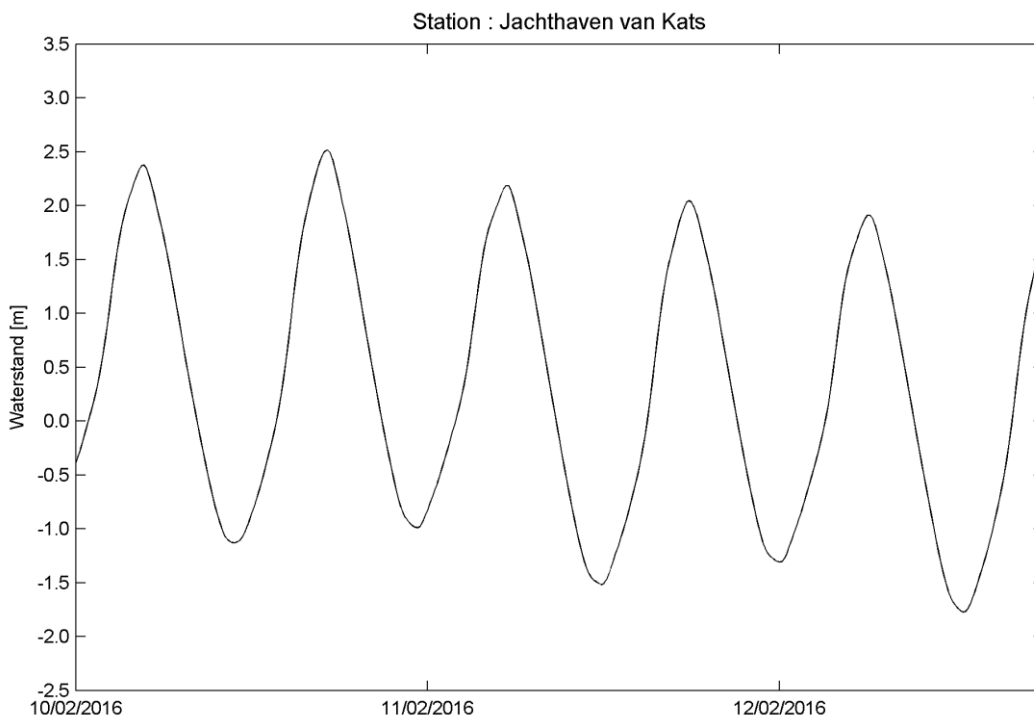


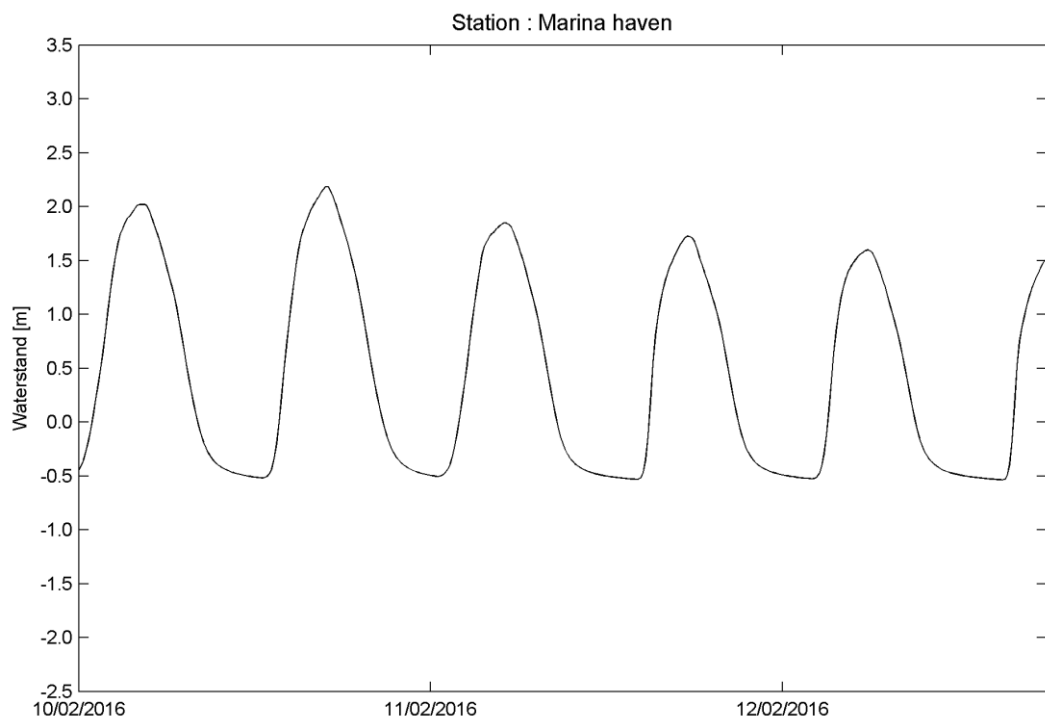
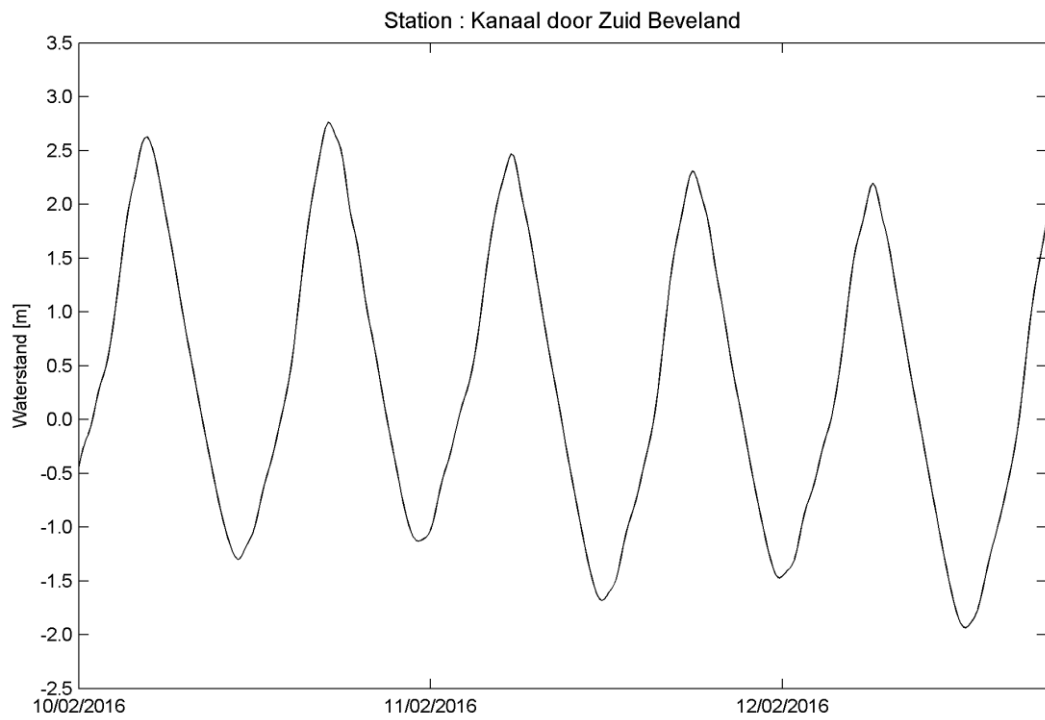


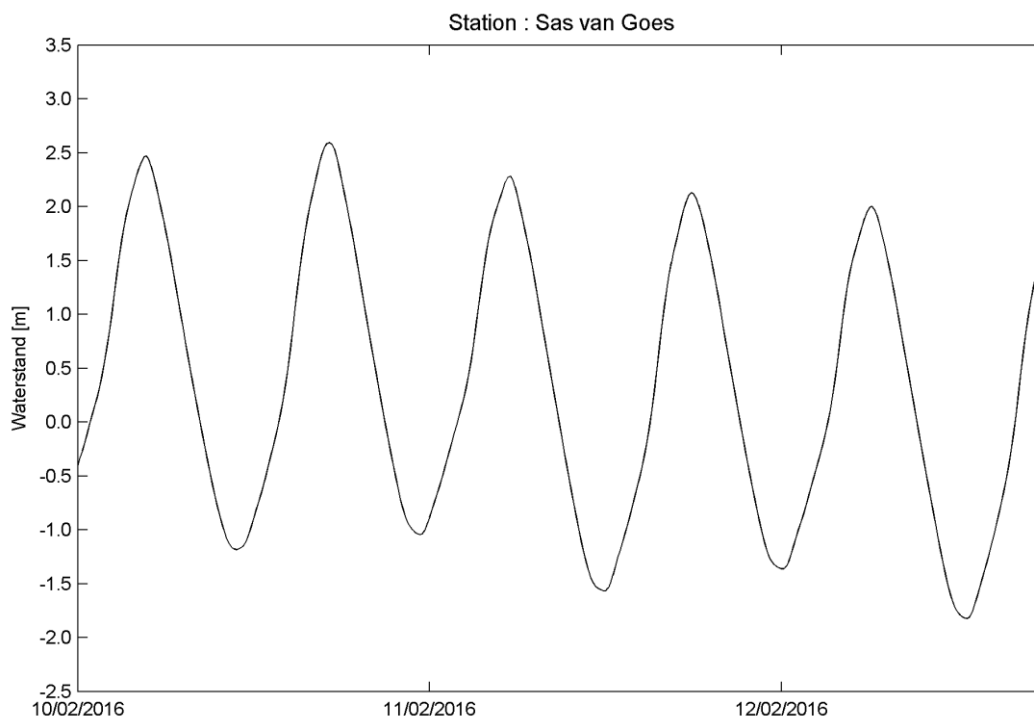
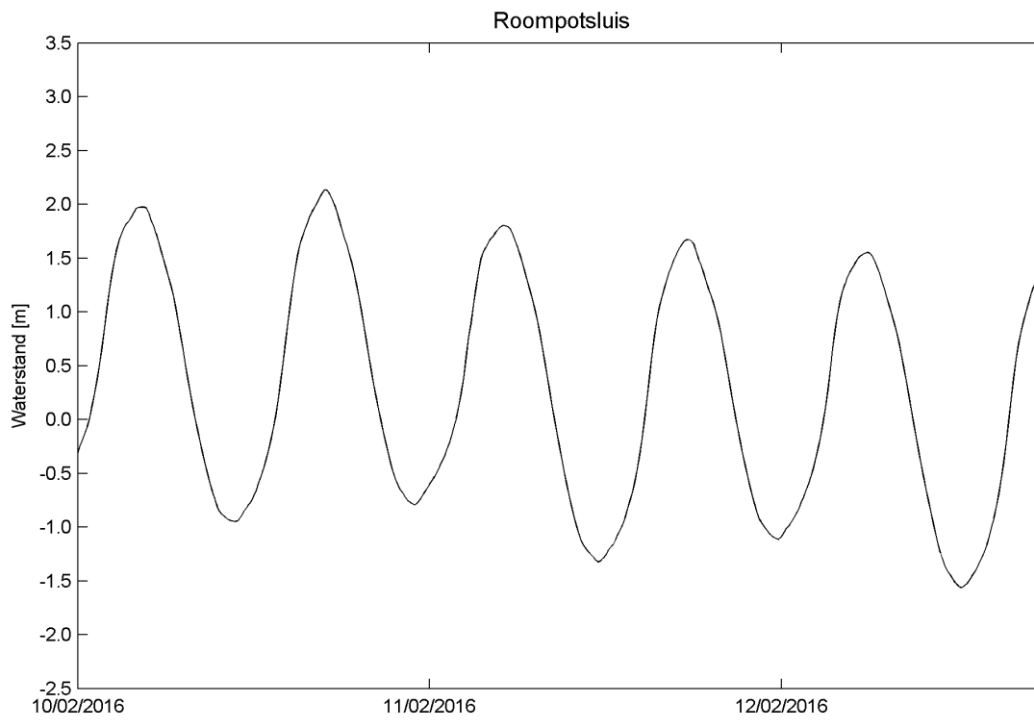


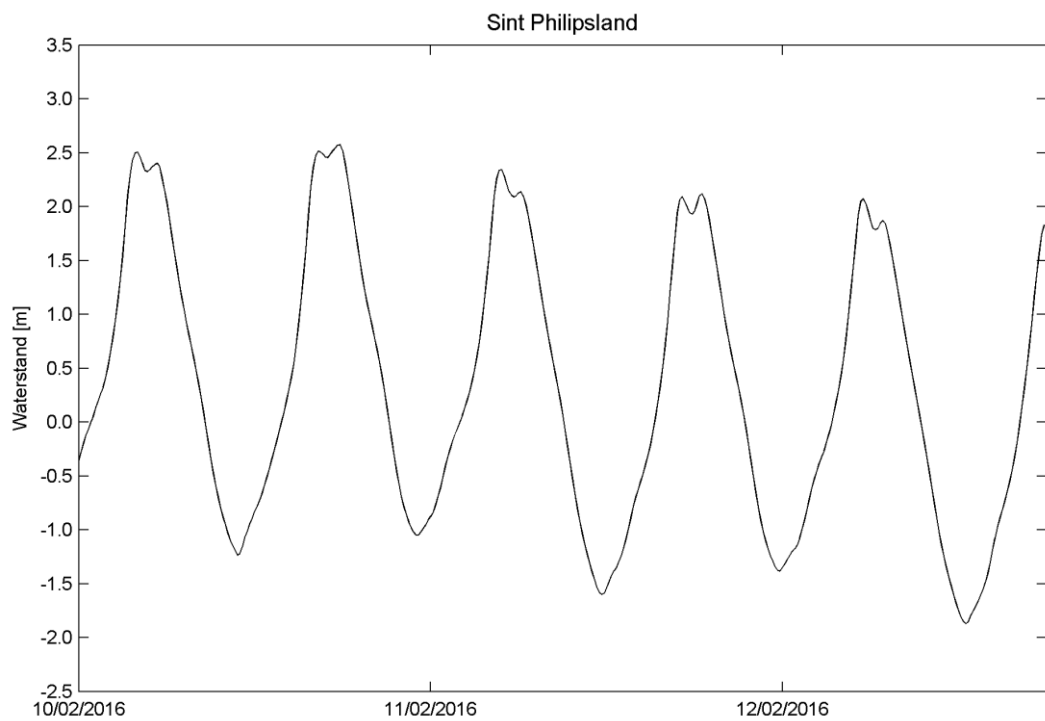
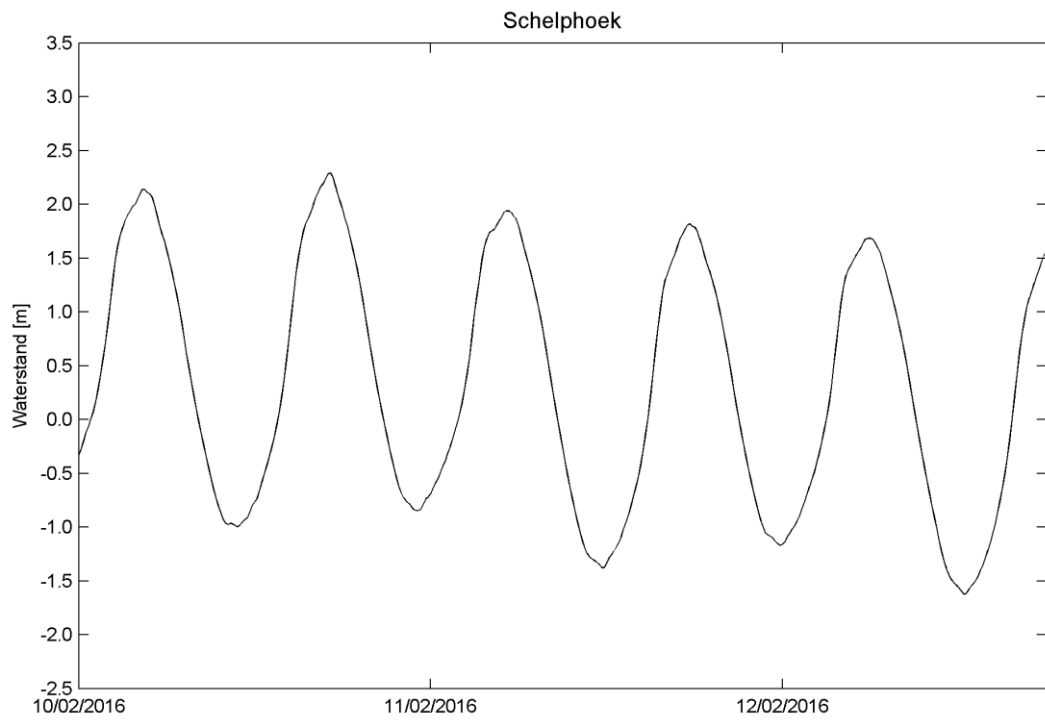


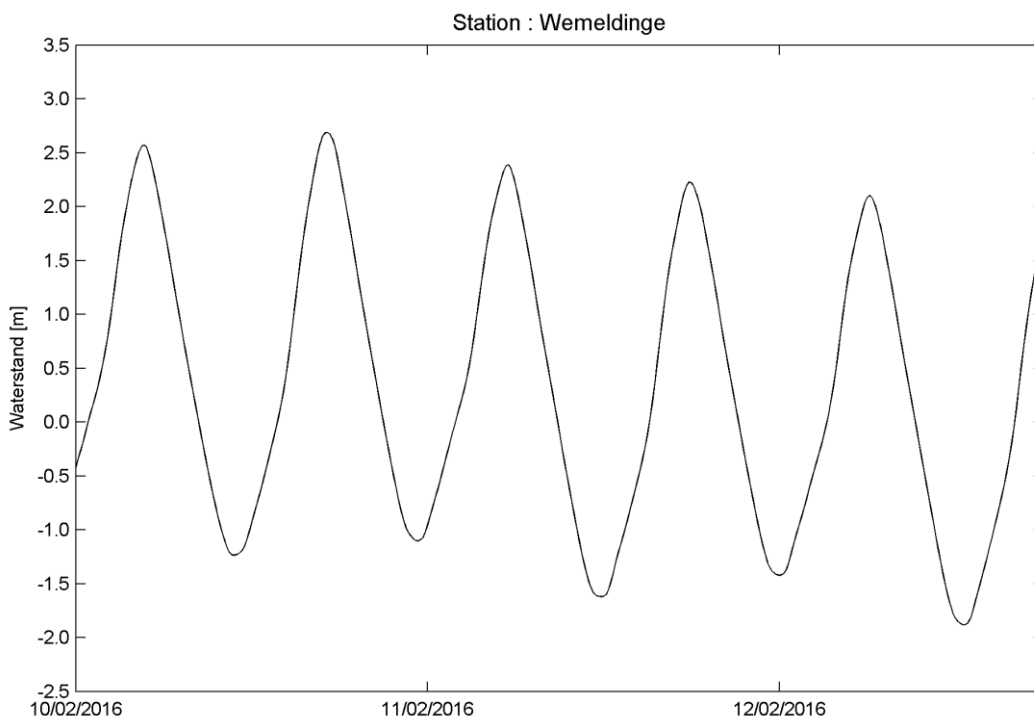
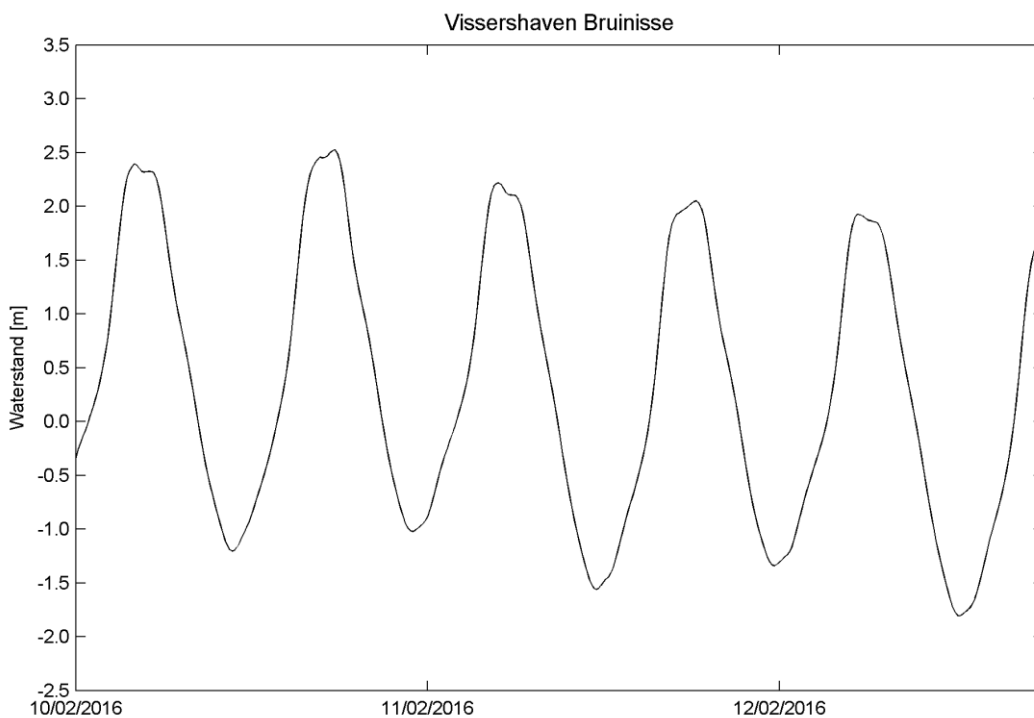
Deze locatie staat in de tabel in Bijlage B.1 aangeduid als "Ingang Veerse Meer (Katse Heule)".











C Bijlage: Lijst gebruikte numerieke instellingen

In de D-Flow Flexible Mesh modelschematisaties worden voor de zesde-generatie modellering basisinstellingen gebruikt. Dit betreft zowel numerieke als fysische parameters. Alleen met goede argumentatie mag hiervan afgeweken worden bij het opzetten van D-Flow Flexible Mesh modelschematisaties voor de zesde generatie. Afwijkingen worden zo veel mogelijk beperkt. Hierdoor zal er een zo groot mogelijke consistentie in modelinvoer tussen de verschillende D-Flow Flexible Mesh modelschematisaties zijn. Bovendien is de doelstelling om één landsdekkend model als uitgangspunt te hebben, wat een (bijna) volledige uniformiteit van de modelinvoer vereist. Tevens wordt getracht de basisinstellingen van de zesde-generatie modelschematisaties zo veel mogelijk identiek te laten zijn aan de default waarden van de D-Flow Flexible Mesh software. Dit zijn default waarden in de software die (hopelijk) overal ter wereld toegepast worden, terwijl de basisinstellingen voor de zesde-generatie modelschematisaties specifiek voor Nederland zijn. Ter illustratie, de default waarde voor de breedtegraad in D-Flow Flexible Mesh (Anglat) is 0.0° , wat correspondeert met de evenaar. Voor de zesde-generatie modelschematisaties wordt als basisinstelling 52.0° toegepast.

De lijst in deze bijlage heeft alleen betrekking op 2D modellering. De basisinstellingen bestaan uit voornamelijk fysische en numerieke parameters. De basisinstellingen voor de fysische parameters (dichtheid van lucht, referentiedichtheid van water, ...) zijn overgenomen uit Simona en Delft3D 4. De basisinstellingen voor de numerieke parameters (drempel voor droogval/onderlopen, advectionschema voor impulsvergelijkingen, ...) zijn bepaald op basis van de ervaringen die in de afgelopen jaren met de D-Flow FM software is opgedaan. Zo wijken deze parameters niet of nauwelijks af van de toegepaste parameters in het NGHS-project.

Het verleden met Simona en Delft3D 4 heeft aangetoond dat het gebruik van basisinstellingen zeer goed werkt. In de praktijk blijken de basisinstellingen vrijwel nooit aangepast te worden. Uitzondering daarop zijn de bodemruwheid en de windforcering. Per applicatie blijkt hiervoor vaak een andere instelling nodig te zijn. Dit is ook geconstateerd bij de zesde-generatiemodellering. Daarnaast zijn er detailverschillen zoals het al dan niet toepassen van getijopwekkende krachten en een inverse barometercorrectie.

No.	MduGroup	MduName	Caption	Type	Default	Veerse meer	Oosterschelde	Description
1	model	Program		String	D-Flow FM	D-Flow FM	D-Flow FM	Program name
2	model	Version		String				FM kernel Version
3	model	MDUFormatVersion		String	1,02	1,05	1,05	File format version (do not edit this)
4	model	GuiVersion		String				DeltaShell FM suite version
5	model	AutoStart	AutoStart: 0 1 2	0 1 2	0	0	0	Autostart simulation after loading MDU (0: no, 1: autostart, 2: autostartstop)
6	geometry	NetFile		FileName				Unstructured grid file *_net.nc
7	geometry	BathymetryFile		FileName				Bathymetry points file *.xyb
8	geometry	DryPointsFile		FileName				Dry points file *.xyz (third column dummy z values), or dry areas polygon file *.pol (third column 1/-1: inside/outside)
9	geometry	WaterLevIniFile		FileName				Initial water levels sample file *.xyz
10	geometry	LandBoundaryFile		FileName				Land boundaries file *.ldb, used for visualization
11	geometry	ThinDamFile		FileName				Polyline file *_thd.pli, containing thin dams
12	geometry	FixedWeirFile		FileName				Polyline file *_fxw.pliz, containing fixed weirs with rows x, y, crest level, left ground level, right ground level
13	geometry	StructureFile		FileName				File *.ini containing list of structures (pumps, weirs, gates and general structures)
14	geometry	VertplizFile		FileName				Vertical layering file *_vlay.pliz with rows x, y, Z, first Z, nr of layers, second Z, layer type
15	geometry	ProflocFile		FileName				Channel profile location file *_proflocation.xyz with rows x, y, z, profile number ref
16	geometry	ProfdefFile		FileName				Channel profile definition file *_profdefinition.def with definition for all profile numbers
17	geometry	ProfdefxyzFile		FileName				Channel profile definition file *_profdefinition.def with definition for all profile numbers
18	geometry	Uniformwidth1D	Default 1D channel width	Double	2	2	2	Uniform width for channel profiles not specified by profloc
19	geometry	ManholeFile		FileName				File *.ini containing manholes

20	geometry	WaterLevIni	Initial water level	Double	0	-0, 64	0	Initial water level at missing s0 values
21	geometry	Bedlevuni	Uniform bed level	Double	-5	-5	5	Uniform bed level used at missing z values if BedlevType > 2
22	geometry	Bedslope	Bed slope	Double	0	0	0	Bed slope inclination if BedlevType > 2
23	geometry	BedlevType	Bed level locations: cells faces nodes/ MeanLev nodes/ MinLev nodes/ MaxLev nodes/ MaxLevAtFaces	1 2 3 4 5 6	3	3	3	Bathymetry specification (1: at cell centers (from BathymetryFile), 2: at faces (from BathymetryFile), 3: at nodes, face levels mean of node values, 4: at nodes, face levels min. of node values, 5: at nodes, face levels max. of node values, 6: at nodes, face levels max. of cell center values)
24	geometry	Blmeanbelow		Double	-999	-999	-999	If not -999d0, below this level the cell center bed level is the mean of surrounding net nodes
25	geometry	Blminabove		Double	-999	-999	-999	If not -999d0, above this level the cell center bed level is the min. of surrounding net nodes
26	geometry	PartitionFile		FileName				Domain partition polygon file *_part.pol for parallel run
27	geometry	AngLat	Angle of latitude	Double	0	52	52	Angle of latitude S-N (deg), 0: no Coriolis
28	geometry	AngLon	Angle of longitude	Double	0	0	0	Angle of longitude E-W (deg), 0: Greenwich
29	geometry	Conveyance2D	Conveyance-2D type: R=HU R=H R=A/P K=analytic-1D conv K=analytic-2D conv	-1 0 1 2 3	-1	-1	-1	-1: R,HU,0: R,H, 1: R,A/P, 2: K,analytic-1D conv, 3: K,analytic-2D conv
30	geometry	Nonlin2D		0 1	0	geen	0	Non-linear 2D volumes, only used if ibedlevtype=3 and Conveyance2D>=1
31	geometry	Sillheightmin	Weir treatment threshold	Double	0	0	0, 5	Weir treatment only if both sills larger than this value (m)
32	geometry	Makeorthocenters	From circum- to orthocentres?	0 1	0	0	0	Switch from circumcentres to orthocentres in geominit (1: yes, 0: no)
33	geometry	Dcenterinside	Limit cell center	Double	1	1	1	Limit cell center (1.0: in cell, 0.0: on c/g)
34	geometry	Bamin		Double	1.d-6	1.d-6	1.d-6	Minimum grid cell area, in combination with cut cells

35	geometry	OpenBoundaryTolerance		Double	3	3	3	Search tolerance factor between boundary polyline and grid cells, in cell size units
36	geometry	RenumberFlowNodes	Renumber Flow Nodes?	0 1	1	1	1	Renumber the flow nodes (1: yes, 0: no)
37	geometry	Kmx	Max nr of vertical layers	Integer	0	0	0	Maximum number of vertical layers
38	geometry	Layertype	Layer type: Sigma Z Mixed	1 2 3	1	1	1	Vertical layer type (1: all sigma, 2: all z, 3: use VertplizFile)
39	geometry	Numtopsig	Nr of sigma layers in Z top layer	Integer	0	0	0	Number of sigma layers in top of z-layer model
40	geometry	SigmaGrowthFactor	Layer thickness growth factor	Double	1	1	1	Layer thickness growth factor from bed up
41	numerics	CFLMax	Max Courant nr	Double	0,7	0,7	0,7	Maximum Courant number for 2D modelling
42	numerics	AdvecType	Advection type: None Wenneker Wenneker/q(uiou) Perot q(uiou) Perot q(uiu)-without itself Perot q(uiou) accelerated	0 1 2 3 4 5 33	33	33	33	Advection type (0: none, 1: Wenneker, 2: Wenneker q(uiou),
43	numerics	TimeStepType	Time step type: Transport Transport+vel.update full impl. step reduce Step Jacobi explicit	0 1 2 3 4				3: Perot q(uiou), 4: Perot q(uiu), 5: Perot q(uiu) without itself, 33: scheme 3 accelerated
43	numerics	TimeStepType	Time step type: Transport Transport+vel.update full impl. step reduce Step Jacobi explicit	0 1 2 3 4	2	2	2	Time step handling (0: only transport, 1: transport + velocity update, 2: full implicit step-reduce, 3: step-Jacobi, 4: explicit)

44	numerics	Limtypphu	Water depth limiter type: None MinMod Van Leer Kooren Monotone Central	0 1 2 3 4	0	0	0	Limiter type for waterdepth in continuity eqn. (0: none, 1: minmod, 2: van Leer, 3: Kooren, 4: monotone central)
45	numerics	Limtypmom	Advection velocity limiter type: None MinMod Van Leer Kooren Monotone Central	0 1 2 3 4	4	4	4	Limiter type for cell center advection velocity (0: none, 1: minmod, 2: van Leer, 3: Kooren, 4: monotone central)
46	numerics	Limtypsa	Salinity transport limiter type: None MinMod Van Leer Kooren Monotone Central	0 1 2 3 4	4	4	4	Limiter type for salinity transport (0: none, 1: minmod, 2: van Leer, 3: Kooren, 4: monotone central)
47	numerics	TransportMethod		0 1	1	1	1	Transport method (0: Herman's method, 1: Sander's method)
48	numerics	Vertadvtypsal	Vertical salinity advection: None Upwexpl Centralexp Upwimpl Centralimpl Centralimpl/U pwimpl-neg. higher order expl	0 1 2 3 4 5 6	5	5	5	Vertical advection type for salinity (0: none, 1: upwind explicit, 2: central explicit, 3: upwind implicit, 4: central implicit, 5: central implicit but upwind for neg. stratif., 6: higher order explicit, no Forester)
49	numerics	Icgsolver	Solver type: sobekGS_OMP sobekGS_OMPthreadsafe sobekGS sobekGS + Saadilud parallel/Uniform	1 2 3 4 5 6 7	4, 6, 7			Solver type (1: sobekGS_OMP, 2: sobekGS_OMPthreadsafe, 3: sobekGS, 4: sobekGS + Saadilud, 5: parallel/global Saad, 6: parallel/Petsc, 7: parallel/GS)

			Saad parallel/Petsc parallel/GS					
51	numerics	FixedWeirScheme	Fixed weir scheme: None Scheme1 Scheme2 Scheme3 Scheme4 Scheme5 Scheme6 Scheme8 Scheme9	0 1 2 3 4 5 6 8 9		6	6	4=default voor sequentieel, 6=default voor parallel op Linux en 7=default voor parallel op Windows, omdat Petsc niet op Windows beschikbaar is.)
50	numerics	Maxdegree	Max degree in Gauss elimination	Integer	6	6	6	Maximum degree in Gauss elimination
51	numerics	FixedWeirScheme	Fixed weir scheme: None Scheme1 Scheme2 Scheme3 Scheme4 Scheme5 Scheme6 Scheme8 Scheme9	0 1 2 3 4 5 6 8 9	9	9	9	Fixed weir scheme (0: none, 1: compact stencil, 2: whole tile lifted, full subgrid weir + factor, 6: semi-subgrid scheme, 8: tabellenboek, 9. Villemonte)
52	numerics	FixedWeirContraction	Fixed weir contraction	Double	1	1	1	Fixed weir flow width contraction factor
53	numerics	FixedWeirfrictionScheme	Fixed weir friction scheme: hu Subgrid Weir	0 1	1	1	1	Fixed weir friction scheme (0: friction based on hu, 1: friction based on subgrid weir friction scheme)
54	numerics	Fixedweirtopwidth	Fixed weir top width	Double	3	3	3	Uniform width of the groyne part of fixed weirs
55	numerics	FixedweirtopfrictionCoefficient	Fixed weir top friction	Double	-999	-999	-999	Uniform friction coefficient of the groyne part of fixed weirs
56	numerics	Fixedweirtalud	Fixed weir talud	Double	0,25	0,25	0,25	Uniform talud slope of fixed weirs
57	numerics	Izbandpos	Position of z boundary: D3Dflow On net boundary On specified polyline	0 1 2	0	0	0	Position of z boundary (0: D3Dflow, 1: on net boundary, 2: on specified polyline)

58	numerics	Tlfsmo	Boundary smoothing time	Double	3600	3600	3600	Fourier smoothing time (s) on water level boundaries
59	numerics	Slopedrop2D	Drop losses threshold	Double	0	0	0	Apply drop losses only if local bed slope > Slopedrop2D, (<=0: no drop losses)
60	numerics	Chkadvd	Advection checks depth	Double	0,1	0,1	0,1	Check advection terms if depth < chkadvdp, => less setbacks
61	numerics	Teta0	Time integration theta	Double	0,55	0,55	0,55	Theta of time integration (0.5 < theta < 1)
62	numerics	Qhrelax	Relaxation on h(Q) boundaries	Double	1.d-2	1.d-2	1.d-2	Relaxation on Q-h open boundaries
63	numerics	Jbasqbnndownwindhs	Downwind cell h on Q-boundaries?	0 1	0	0	0	Water depth scheme at discharge boundaries (0: original hu, 1: downwind hs)
64	numerics	cstbnd	Use Delft-3D velocity handling	0 1	0	0	0	Delft-3D type velocity treatment near boundaries for small coastal models (1: yes, 0: no)
65	numerics	Maxitverticalfores tersal	Max vertical Forester iterations for salinity	Integer	0	0	0	Forester iterations for salinity (0: no vertical filter for salinity, > 0: max nr of iterations)
66	numerics	Maxitverticalfores tertem	Max vertical Forester iterations for temperature	Integer	0	0	0	Forester iterations for temperature (0: no vertical filter for temperature, > 0: max nr of iterations)
67	numerics	Jaorgsethu	Velocity reconstruction order	0 1	1	1	1	Velocity reconstruction scheme (0 : setumod, sethu, setau sequence, 1 : sethu, setau, setumod sequence (standard))
68	numerics	Turbulencemodel	Turbulence model: None Constant Algebraic k-eps k-tau	0 1 2 3 4	3	3	3	Turbulence model (0: none, 1: constant, 2: algebraic, 3: k-epsilon, 4: k-tau)
69	numerics	Turbulenceadvection	Turbulence advection: None horizontall	0 3	3	3	3	Turbulence advection (0: none, 3: horizontally explicit and vertically implicit)

			y explicit and vertically implicit					
70	numerics	AntiCreep	Use anti-creep	0 1	0	0	0	Include anti-creep calculation (0: no, 1: yes)
71	numerics	Maxwaterleveldiff	Water level threshold	Double	0	0	0	Upper bound (in m) on water level changes (<=0: no bounds)
72	numerics	Maxvelocitydiff	Velocity threshold	Double	0	0	0	Upper bound (in m/s) on velocity changes (<=0: no bounds)
73	numerics	Epshu	Dry cell threshold	Double	1.d-4	1.d-4	1.d-4	Threshold water depth for wet and dry cells
74	numerics	SobekDFM_umin	Sobek-DFM umin	Double	0	0	0	Minimal velocity treshold for weir losses in Sobek-DFM coupling.
75	physics	UnifFrictCoef	Uniform friction coefficient	Double	2.3d-2	2.3d-2	0,028	Uniform friction coefficient (0: no friction)
76	physics	UnifFrictType	Uniform friction type: Chezy Manning WhiteColeBrook Z0	0 1 2 3	1	1	1	Uniform friction type (0: Chezy, 1: Manning, 2: White-Colebrook, 3: idem, WAQUA style)
77	physics	UnifFrictCoef1D	Uniform 1D friction coefficient	Double	2.3d-2	2.3d-2	0,025	Uniform friction coefficient in 1D links (0: no friction)
78	physics	UnifFrictCoefLin	Uniform linear friction coefficient	Double	0	0	0	Uniform linear friction coefficient for ocean models (m/s) (0: no friction)
79	physics	Umodlin	Linear friction Umod	Double	0	0	0	Linear friction umod, for ifrctyp=4,5,6
80	physics	Vicouv	Uniform horizontal eddy viscosity	Double	1	0,1	0,1	Uniform horizontal eddy viscosity (m2/s)
81	physics	Dicouv	Uniform horizontal eddy diffusivity	Double	1	1	1	Uniform horizontal eddy diffusivity (m2/s)
82	physics	Vicoww	Uniform vertical eddy viscosity	Double	5.d-5	5.d-5	5.d-5	Uniform vertical eddy viscosity (m2/s)

83	physics	Dicoww	Uniform vertical eddy diffusivity	Double	0	0	0	Uniform vertical eddy diffusivity (m2/s)
84	physics	Vicwminb	Minimum buoyancy viscosity	Double	0	0	0	Minimum viscosity in prod and buoyancy term (m2/s)
85	physics	Smagorinsky	Smagorinsky factor	Double	0	0,2	0,2	Smagorinsky factor in horizontal turbulence
86	physics	Elder	Elder factor	Double	0	0	0	Elder factor in horizontal turbulence
87	physics	irov	Wall behaviour: Free Slip Partial Slip No slip	0 1 2	0	0	0	Wall roughness type (0: free slip, 1: partial slip using wall_ks)
88	physics	wall_ks	Wall ks for partial slip	Double	0	0	0	Nikuradse roughness for side walls
89	physics	Rhomean	Default water density	Double	1000	1023	1023	Average water density (kg/m3)
90	physics	Idensform	Density formula: Uniform Eckhart Unesco Baroclinic	0 1 2 3	1	1	1	Density calculation (0: uniform, 1: Eckard, 2: Unesco, 3: baroclinic case)
91	physics	Ag	Gravity	Double	9,813	9,813	9,813	Gravitational acceleration
92	physics	TidalForcing	Tide generating forces	0 1	0	0	0	Tidal forcing, if jsferic = 1 (0: no, 1: yes)
93	physics	Doodsonstart	Doodson start	Double	55,565	55,565	55,565	TRIWAQ: 55.565, D3D: 57.555
94	physics	Doodsonstop	Doodson stop	Double	375,575	375,575	375,575	TRIWAQ: 375.575, D3D: 275.555
95	physics	Doodsoneps	Doodson epsilon	Double	0	0	0	TRIWAQ = 0.0 400 cm/s , D3D = 0.03 60 cm/s
96	physics	Salinity	Salinity	0 1	0	0	0	Include salinity, (0: no, 1: yes)
97	physics	InitialSalinity	Initial salinity	Double	0	0	0	Uniform initial salinity concentration (ppt)
98	physics	Sal0abovezlev	Salt water level threshold	Double	-999	-999	-999	Vertical level (m) above which salinity is set 0 for testcases
99	physics	DeltaSalinity	TODO	Double	-999	-999	-999	for testcases
100	physics	Backgroundsalinity	Background salinity	Double	30	30	30	Background salinity for eqn. of state (ppt)

101	physics	Temperature	Heat flux model: None Transport only Excess temperature Composite model	0 1 3 5	0	0	0	Include temperature (0: no, 1: only transport, 3: excess model of D3D, 5: composite (ocean) model)
102	physics	InitialTemperature	Initial temperature	Double	6	6	6	Uniform initial water temperature (degC)
103	physics	Secchidepth	Secchi depth	Double	2	2	2	Water clarity parameter (m)
104	physics	Stanton	Stanton number	Double	0,0013	1.3d-3	1.3d-3	Coefficient for convective heat flux
105	physics	Dalton	Dalton number	Double	0,0013	1.3d-3	1.3d-3	Coefficient for evaporative heat flux
106	physics	Backgroundwatertemperature	Background temperature	Double	6	6	6	Background water temperature for eqn. of state (deg C)
107	physics	SecondaryFlow	Secondary flow	0 1	0	0	0	Secondary flow (0: no, 1: yes)
108	physics	EffectSpiral	Spiral flow effect factor	Double	0	0	0	Weight factor of the spiral flow intensity on transport angle
109	physics	BetaSpiral	Spiral flow beta factor	Double	0	0	0	Weight factor of the spiral flow intensity on flow dispersion stresses
110	wind	ICdtyp	Wind drag coefficient type: Constant Smith & Banks (2 break points) Smith & Banke (3 break points) Charnock 1955 Whang 2005	1 2 3 4 5 6 7	2	2	2	Wind drag coefficient type (1: constant, 2: S&B 2 breakpoints, 3: S&B 3 breakpoints, 4: Charnock constant, 5: Whang,6:Wuest, 7:Hersbach)
111	wind	Cdbreakpoints	Break points wind drag coefficient	DoubleArray	6.3d-4 7.23d-3	0.0014 0.0039	0.0014 0.0039	Wind drag coefficient break points
112	wind	Windspeedbreakpoints	Break points wind speed	DoubleArray	0. 100.	7.8 50.0	7.8 50.0	Wind speed break points (m/s)
113	wind	Rhoair	Air density	Double	1,205	1,205	1,205	Air density (kg/m3)
114	wind	PavBnd	Average air pressure on bounds	Double	0	0	0	Average air pressure on open boundaries (N/m2) (only applied if > 0)

115	wind	PavIni	Average initial air pressure	Double	0	0	0	Average air pressure for initial water level correction (N/m2) (only applied if > 0)
116	waves	Wavemodelnr	Wave model: None Fetch/depth limited hurdlestive Young-Verhagen SWAN Wave group forcing	0 1 2 3 4	0	0	0	Wave model nr. (0: none, 1: fetch/depth limited hurdlestive, 2: Young-Verhagen, 3: SWAN, 4: wave group forcing)
117	waves	WaveNikuradse	Wave friction Nikuradse ks coefficient	Double	0,01	0,01	0,01	Wave friction Nikuradse ks coefficient (m), used in Krone-Swart
118	waves	Rouwav	Friction model for wave stress: None FredsÅ_e (1984) Myrhaug and Slaattelid (1990) Huynh-Thanh and Temperville (1991) Grant and Madsen (1979) Davies et al. (1988) Bijker (1967) Christoffersen and Jonsson (1985) O`Connor and Yoo (1988) Van Rijn et al. (2004)	No FR84 MS90 HT91 GM79 DS88 BK67 CJ85 OY88 VR04	FR84	FR84	FR84	Friction model for wave induced shear stress
119	waves	Gamax	Max. wave/depth ratio	Double	1	1	1	Maximum wave height/water depth ratio
120	time	RefDate	Reference date	DateTime	20010101	19980101	19980101	Reference date (yyyymmdd)
121	time	Tzone	Time zone	Double	0	0	0	Time zone assigned to input time series
122	time	DtUser	User time step	Interval	300	300	300	Time interval (s) for external forcing update

123	time	DtNodal	Nodal update interval	Interval	0	0	0	Time interval (s) for updating nodal factors in astronomical boundary conditions
124	time	DtMax	Max. time step (s)	Double	30	60	30	Maximal computation timestep (s)
125	time	DtInit	Initial time step (s)	Double	1	12	1	Initial computation timestep (s)
126	time	Tunit	Time unit: hours minutes seconds	H M S	S	S	S	Time unit for start/stop times (H, M or S)
127	time	TStart	Start time	Double	0	626486400	883612800	Start time w.r.t. RefDate (in TUnit)
128	time	TStop	Stop time	Double	86400	626832000	915148800	Stop time w.r.t. RefDate (in TUnit)
129	restart	RestartFile		FileName				Restart netcdf-file, either *_rst.nc or *_map.nc
130	restart	RestartDateTime	Restart Time	DateTime				Restart date and time (YYYYMMDDHHMMSS) when restarting from *_map.nc
131	external forcing	ExtForceFile		FileName				Old format for external forcings file *.ext, link with tim/cmp-format boundary conditions specification
132	external forcing	ExtForceFileNew		FileName				New format for external forcings file *.ext, link with bc-format boundary conditions specification
133	trachytopes	TrtRou	Include trachytopes?: Yes (Y) No (N)	Y N	N		y	Include alluvial and vegetation roughness (trachytopes) (Y: yes, N: no)
134	trachytopes	TrtDef		FileName				File (*.ttf) containing trachytopes definitions
135	trachytopes	TrtL		FileName				File (*.arl) containing distribution of trachytopes definitions
136	trachytopes	TrtDt		Double	60		60	Trachytopes roughness update time interval (s)
137	****							
138	*							
139	GUIOnly	StartTime	Start Time	DateTime				Begin of simulation period

140	GUIOnly	StopTime	Stop Time	DateTime				End of simulation period
141	GUIOnly	UseTemperature	Temperature	0 1	0	0	0	Include temperature
142	*							
143	GUIOnly	WriteHisFile	Write His File	0 1	0	0	0	Write a history file
144	GUIOnly	HisOutputDeltaT	His output Interval	Interval				Interval for writing His Output
145	GUIOnly	SpecifyHisStart	Specify His output start time	0 1	0	0	0	Start writing his output later then start of simulation
146	GUIOnly	HisOutputStartTime	His output start time	DateTime				No his output will be written before this time stamp
147	GUIOnly	SpecifyHisStop	Specify His output stop time	0 1	0	0	0	Stop writing his output before of simulation
148	GUIOnly	HisOutputStopTime	His output stop time	DateTime				No his output will be written after this time stamp
149	*							
150	GUIOnly	WriteMapFile	Write Map file	0 1	0	0	0	Write a map file
151	GUIOnly	MapOutputDeltaT	Map output interval	Interval				Interval for writing Map Output
152	GUIOnly	SpecifyMapStart	Specify Map output start time	0 1	0	0	0	Start writing map output later then start of simulation
153	GUIOnly	MapOutputStartTime	Map output start time	DateTime				No map output will be written before this time stamp
154	GUIOnly	SpecifyMapStop	Specify Map output stop time	0 1	0	0	0	Stop writing map output before of simulation
155	GUIOnly	MapOutputStopTime	Map output stop time	DateTime				No map output will be written after this time stamp
156	*							
157	GUIOnly	WriteRstFile	Write Rst file	0 1	0	0	0	Write restart files
158	GUIOnly	RstOutputDeltaT	Rst output interval	Interval				Interval for writing Rst Output
159	GUIOnly	SpecifyRstStart	Specify Rst output start time	0 1	0	0	0	Start writing restart files later then start of simulation

160	GUIOnly	RstOutputStartTime	Rst output start time	DateTime				No restart files will be written before this time stamp
161	GUIOnly	SpecifyRstStop	Specify Rst output stop time	0 1	0	0	0	Stop writing restart files before of simulation
162	GUIOnly	RstOutputStopTime	Rst output stop time	DateTime				No restart files will be written after this time stamp
163	*							
164	output	OutputDir	Output directory	String				Output directory of map-, his-, rst-, dat- and timings-files, default: DFM_OUTPUT_<modelname>. Set to . for current dir.
165	output	FlowGeomFile		FileName				Flow geometry NetCDF *_flowgeom.nc
166	output	ObsFile		FileName				Points file *.xyn with observation stations with rows x, y, station name
167	output	CrsFile		FileName				Polyline file *_crs.pli defining observation cross sections
168	output	HisFile		FileName				History output file *_his.nc in NetCDF format
169	output	HisInterval	His output interval	DoubleArray	300	300	300	History output times, given as 'interval' 'start period' 'end period' (s)
170	output	XLSInterval	XLS output interval	Interval	0	0	0	Interval (s) between XLS history
171	output	MapFile		FileName				Map file output file *_map.nc in NetCDF format
172	output	MapInterval	Map output interval	DoubleArray	1200	1200	1200	Map file output times, given as 'interval' 'start period' 'end period' (s)
173	output	RstInterval	Restart output interval	DoubleArray	86400	86400	86400	Restart file output times, given as 'interval' 'start period' 'end period' (s)
174	output	Slincinterval		Interval	0	0	0	Interval (m) in incremental file for water levels s1
175	output	WaqInterval	WAQ output interval	Interval	0	0	0	Interval (in s) between DELWAQ file outputs
176	output	StatsInterval	Statistics output interval	Interval	0	0	0	Interval (in s) between simulation statistics output
177	output	Writebalancefile	Write water balance file	0 1	0	0	0	Write balance file (1: yes, 0: no)

178	output	TimingsInterval	Timing statistics output interval	Interval	0	0	0	Timings statistics output interval
0	*output	TimeSplitInterval	Time splitting interval	Interval	0X	0X	0X	Time splitting interval, after which a new output file is started. value+unit, e.g. '1 M', valid units: Y,M,D,h,m,s.
180	output	MapFormat	Map file output format: NetCDF Tecplot Both UGRID(beta)	1 2 3 4	1	1	1	Map file format (1: NetCDF, 2: Tecplot, 3: NetCDF and Tecplot)
181	output	Wrihis_balance	Write mass balance totals	0 1	1	1	1	Write mass balance totals to his file (1: yes, 0: no)
182	output	Wrihis_structure_general	Write general structure parameters	0 1	1	1	1	Write general structure parameters to his file (1: yes, 0: no)
183	output	Wrihis_structure_dam	Write dam parameters	0 1	1	1	1	Write dam parameters to his file (1: yes, 0: no)
184	output	Wrihis_structure_pump	Write pump parameters	0 1	1	1	1	Write pump parameters to his file (1: yes, 0: no)
185	output	Wrihis_structure_gate	Write gate parameters	0 1	1	1	1	Write gate parameters to his file (1: yes, 0: no)
186	output	Wrimap_waterlevel_s0	Write water levels for previous time step	0 1	1	1	1	Write water levels for previous time step to map file (1: yes, 0: no)
187	output	Wrimap_waterlevel_s1	Write water levels	0 1	1	1	1	Write water levels to map file (1: yes, 0: no)
188	output	Wrimap_velocity_component_u0	Write velocity component for previous time step	0 1	1	1	1	Write velocity component for previous time step to map file (1: yes, 0: no)
189	output	Wrimap_velocity_component_u1	Write velocity component	0 1	1	1	1	Write velocity component to map file (1: yes, 0: no)
190	output	Wrimap_velocity_vector	Write cell-center velocity vectors	0 1	1	1	1	Write cell-center velocity vectors to map file (1: yes, 0: no)

191	output	Wrimap_upward_velocity_component	Write upward velocity component	0 1	0	0	0	Write upward velocity component on cell interfaces (1: yes, 0: no)
192	output	Wrimap_density_rho	Write flow density	0 1	1	1	1	Write flow density to map file (1: yes, 0: no)
193	output	Wrimap_horizontal_viscosity_viu	Write horizontal viscosity	0 1	1	1	1	Write horizontal viscosity to map file (1: yes, 0: no)
194	output	Wrimap_horizontal_diffusivity_diu	Write horizontal diffusivity	0 1	1	1	1	Write horizontal diffusivity to map file (1: yes, 0: no)
195	output	Wrimap_flow_flux_q1	Write flow flux	0 1	1	1	1	Write flow flux to map file (1: yes, 0: no)
196	output	Wrimap_spiral_flow	Write spiral flow	0 1	1	1	1	Write spiral flow to map file (1: yes, 0: no)
197	output	Wrimap_numlimdt	Write the number of times a cell was Courant limiting	0 1	1	1	1	Write the number times a cell was Courant limiting to map file (1: yes, 0: no)
198	output	Wrimap_taucurrent	Write the shear stress	0 1	1	1	1	Write the shear stress to map file (1: yes, 0: no)
199	output	Wrimap_chezy	Write the chezy roughness	0 1	1	1	1	Write the chezy roughness to map file (1: yes, 0: no)
200	output	Wrimap_turbulence	Write vicww k and eps	0 1	1	1	1	Write vicww, k and eps to map-file (1: yes, 0: no)
201	output	Wrimap_wind	Write wind velocities	0 1	1	1	1	Write wind velocities to map file (1: yes, 0: no)
202	output	Wrimap_heat_fluxes	Write heat fluxes	0 1	0	0	0	Write heat fluxes to map file (1: yes, 0: no)
203	output	Richardsononoutput	Write Richardson numbers?	0 1	1	1	1	Write Richardson numbers (1: yes, 0: no)
204	output	MapOutputTimeVector	Specific Map output times	FileName				File (*.mpt) containing fixed map output times (s) w.r.t. RefDate
205	output	FullGridOutput	Full grid output	0 1	0	0	0	Full grid output mode (0: compact, 1: full time-varying grid data)
206	output	EulerVelocities	Full grid output	0 1	0	0	0	Euler velocities output (0: GLM, 1: Euler velocities)

D Bijlage: Definities modelbeoordeling

D.1 Achtergrond

In het kader van de ontwikkeling van de zesde-generatie modellen voor RWS wordt gestreefd naar een uniforme aanpak voor heel Nederland. In deze bijlage wordt een aantal definities voor de beoordeling van de modellen vastgelegd die voor alle modellen toegepast gaan worden en als bijlage aan de verschillende rapportages zullen worden toegevoegd.

D.2 Definities

Voor het beoordelen van modelschematisaties worden de termen kalibratie, validatie en verificatie gebruikt en hier wordt het volgende onder verstaan:

D.2.1 Kalibratie

De kalibratie bestaat uit het afregelen van onzekere of meest bepalende parameters, zodat modelresultaten overeenkomen met gemeten data. Kalibratie vindt doorgaans plaats onder (een aantal) representatieve omstandigheden (storm, hoog water, laag water, hoge afvoer, lage afvoer, etc.), maar het kunnen ook dagelijkse omstandigheden zijn (getij, gemiddelde afvoer, etc) waarvoor gekalibreerd wordt. De mate van overeenkomst tussen modelresultaten en data wordt weergegeven door de Goodness-of-fit criteria. Uit de kalibratie volgt een set gekalibreerde parameters.

D.2.2 Validatie

De validatie bestaat uit het toetsen van de gekalibreerde parameters in een andere situatie dan tijdens de kalibratie gebruikte periode. Een succesvolle validatie geeft vertrouwen in de mate waarin de gekalibreerde parameters ook goede resultaten geven in andere situaties. Validatie is een wezenlijk onderdeel van het kalibratieproces. Er kunnen namelijk meerdere parametersets aan de kalibratiecriteria voldoen. De beste set is dan degene die tijdens de validatie het beste presteert. Na de validatie wordt bepaald of het model geschikt is voor de toepassing. Validatie kan ook plaatsvinden in dezelfde periode als de kalibratie, maar op andere locaties of op andere grootheden. Bijvoorbeeld op tussenliggende meetpunten, of op stroomsnelheden i.p.v. waterstanden.

D.2.3 Verificatie

Tijdens de verificatie wordt nagegaan of het geoperationaliseerde model nog steeds consistente uitkomsten geeft. Het model wordt beoordeeld op de resultaten van de eerder gekalibreerde en gevalideerde parameters.

D.3 Goodness-of-fit criteria

Een goodness-of-fit (GOF) criterium is een maat voor de overeenkomst van twee dataseries. Voor het beoordelen van de resultaten worden verschillende criteria gebruikt. Deze worden in de volgende paragrafen weergegeven. Hierbij zijn de eerste drie: bias, standaardafwijking en RMSE, de belangrijkste.

Deze kunnen op een groot aantal verschillende (bewerkte/gefilterde) grootheden worden toegepast, zoals:

- waterstand,
- snelheid,
- debiet,
- zoutgehalte,
- watertemperatuur,
- timing en hoogte van hoogwaters
- timing en hoogte van laagwaters
- getijamplitude en fase (per component),
- scheve opzet,
- etc.

D.3.1 Bias

De absolute bias wordt ook wel gemiddeld verschil (GV) genoemd:

$$bias = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n y_{sim,k} - y_{ref,k}$$

met n het totaal aantal datapunten in de periode waarover de bias berekend wordt, y_{sim} de gesimuleerde eenheid en y_{ref} de referentiewaarden (meestal metingen).

De bias is een maat om aan te geven of de resultaten systematisch worden overschat of onderschat. Alleen een kleine bias is echter nog geen garantie dat de overeenkomst van de datasets groot is. Als er grote schommelingen rond het gemiddelde plaatsvinden, levert dit een lage bias op, terwijl de fout lokaal wel groot kan zijn.

D.3.2 Standaardafwijking

De standaardafwijking of σ (*StDev*) van de fout

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n ((y_{sim,k} - y_{ref,k}) - bias)^2}$$

Dit is een maat voor de afwijking van de resultaten vanaf de bias. Hierbij worden grotere afwijkingen zwaarder meegewogen dan kleinere. Alleen een kleine standaardafwijking is echter nog geen garantie dat de overeenkomst van de datasets groot is. De resultaten kunnen dan namelijk nog systematisch worden overschat of onderschat.

D.3.3 Root Mean Square Error (RMSE)

De RMSE is een maat die zowel de bias als de standaardafwijking combineert:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (y_{sim,k} - y_{ref,k})^2} \approx \sqrt{\sigma^2 + bias^2}$$

Als er geen bias is, is de RMSE gelijk aan de standaardafwijking. En andersom is de RMSE gelijk aan de bias indien de standaardafwijking gelijk aan nul is. Een RMSE van nul is een garantie dat twee datasets exact met elkaar overeenkomen.

D.3.4 Relatieve bias

Naast de absolute bias kan er ook worden gekeken naar de relatieve bias, wanneer het grote en onderling sterk verschillende waarden betreft:

$$\text{Relatieve Bias} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \frac{y_{sim,k} - y_{ref,k}}{y_{ref,k}}$$

D.3.5 Variatiecoëfficiënt

Naast de standaardafwijking kan er ook worden gekeken naar de variatiecoëfficiënt (coefficient of variation, CV), wanneer het grote en onderling sterk verschillende waarden betreft:

$$CV = \frac{\sigma}{\text{gemiddelde}}$$

De variatiecoëfficiënt is een relatieve spreidingsmaat, wat inhoudt dat de spreiding gemeten wordt ten opzichte van het gemiddelde.

D.3.6 Verschil in waarden rond extremen

Dit is een maat om aan te geven in hoeverre extreme waarden goed worden gerepresenteerd. Hierbij wordt vaak niet gekeken naar één enkele waarde, maar naar bijvoorbeeld een gemiddelde over waardes rond de piek (om zo toevallige uitschieters uit te sluiten). Dit kan zowel de maximale waarde zijn ($\Delta\zeta_{max}$) of de minimale waarde ($\Delta\zeta_{min}$):

$$\begin{aligned}\Delta\zeta_{max} &= \max(y_{sim,k}) - \max(y_{ref,k}) \\ \Delta\zeta_{min} &= \min(y_{sim,k}) - \min(y_{ref,k})\end{aligned}$$

Deze maat kan o.a. worden gebruikt voor de amplitude van de getijbeweging, afvoergolven en bij stormpieken.

D.3.7 Verschil in tijdstip van extremen

Dit is een maat om aan te geven in hoeverre de timing van de extreme waarden van verschillende datasets met elkaar overeenkomen. Er wordt dan gekeken naar het tijdstip waarop de maximale (t_{max}) of minimale (t_{min}) waarde voorkomt:

$$\begin{aligned}\Delta t_{max} &= t_{max}(y_{sim,k}) - t_{max}(y_{ref,k}) \\ \Delta t_{min} &= t_{min}(y_{sim,k}) - t_{min}(y_{ref,k})\end{aligned}$$

Deze maat kan worden gebruikt om te bepalen hoe groot de faseverschuiving is.

D.3.8 Overschrijdingsduur

Naast bias, RMSE en standaarddeviatie kan ook worden gekeken naar de duur van een bepaalde normoverschrijding of het aantal overschrijdingen. Dit geldt met name voor grootheden zoals saliniteit.

D.3.9 Gemiddelde over stations

Naast waarden per afzonderlijk (meet)station kunnen de statistieken ook worden samengevat in zowel een gemiddelde over een aantal stations en het RMS (Root Mean Square)-gemiddelde. Voor dit laatste wordt de volgende formulering gebruikt:

$$\text{Mean}_{stations} = \frac{\Sigma (\text{Statistiek per station})}{\text{Aantal stations}}$$

$$\text{RMS}_{stations} = \sqrt{\frac{\Sigma (\text{Statistiek per station}^2)}{\text{Aantal stations}}}$$

Het gebruik van RMS heeft als voordeel dat fouten niet tegen elkaar uitgemiddeld worden.

D.4 Middelingsduur variabelen

Van te voren moet goed worden afgesproken welke middelingsduur er wordt toegepast voor zowel de in- als uitvoervariabelen. Hanteer je bijvoorbeeld 10-minuutgemiddelden voor wind/waterstand, uurgemiddelden, 2-/3-/4-/6-uurgemiddelden,...

Dit hangt sterk af van de specifieke toepassing en beschikbare data. Meteomodellen kunnen bijvoorbeeld fenomenen met tijdschalen kleiner dan een uur niet goed oppakken en dan is het ook niet te verwachten dat het waterstandsmodel schommelingen van deze tijdschaal (of kleiner) wel goed weergeeft. Hetzelfde geldt als voor historische afvoerreeksen alleen uurwaarden (of soms alleen dagwaarden) beschikbaar zijn. Anderzijds moet de middelingsduur niet te groot worden gekozen in verband met het goed kunnen weergeven van de nodige fysische processen (zoals getij).

Algemeen kan worden gezegd dat je voor de middeling de kleinste tijdschaal wilt gebruiken die op basis van de data nog verantwoord is.

D.5 Nauwkeurigheidscriterium

Het nauwkeurigheidscriterium bepaalt welke waarde voor de goodness-of-fit criteria gehaald moet worden om te kunnen spreken van een geslaagde kalibratie of validatie. Afhankelijk van het model, toepassing, grootte en periode kan er worden gekeken naar de GOF-criteria voor verschillende situaties, zoals:

- Stormpiek
- Hoge afvoer
- Lage afvoer
- Gemiddeld getij
- Springvloed
- Hoogwater seizoen
- Heel jaar

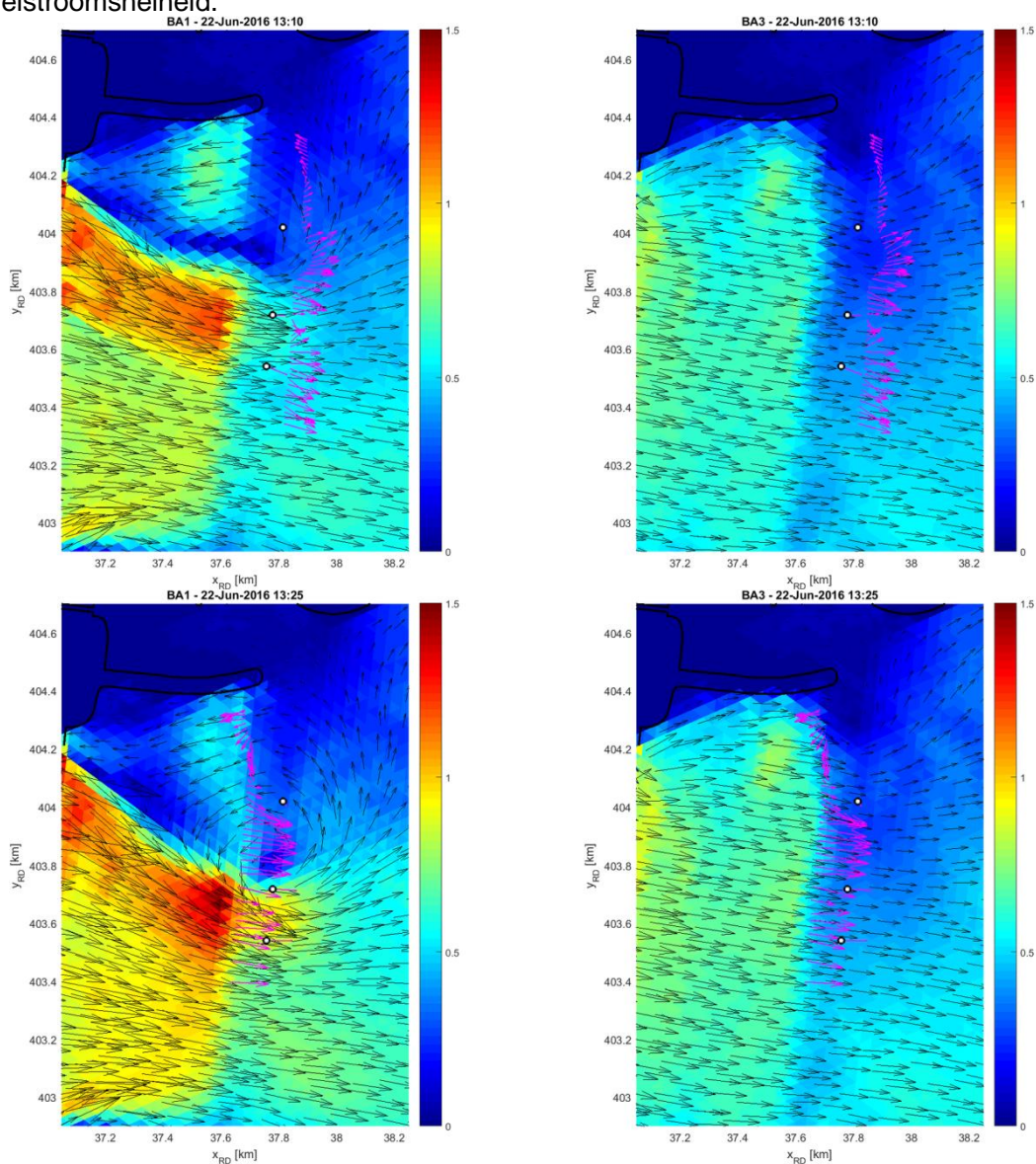
E Kalibratiemethodiek

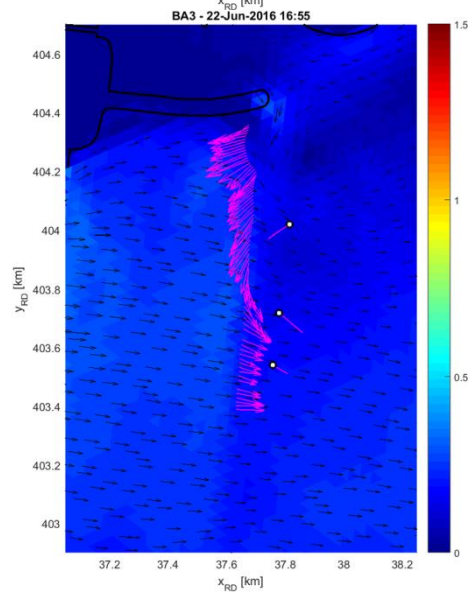
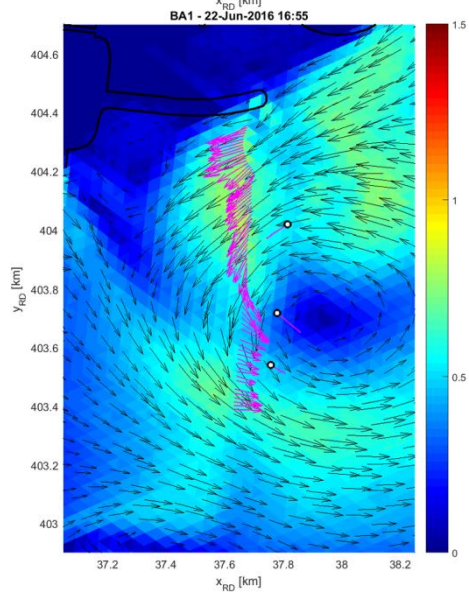
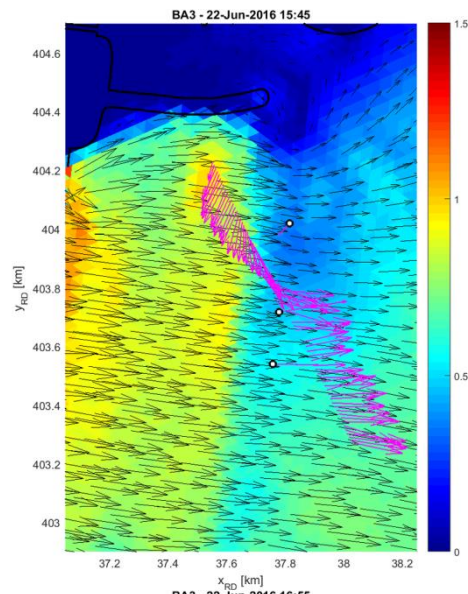
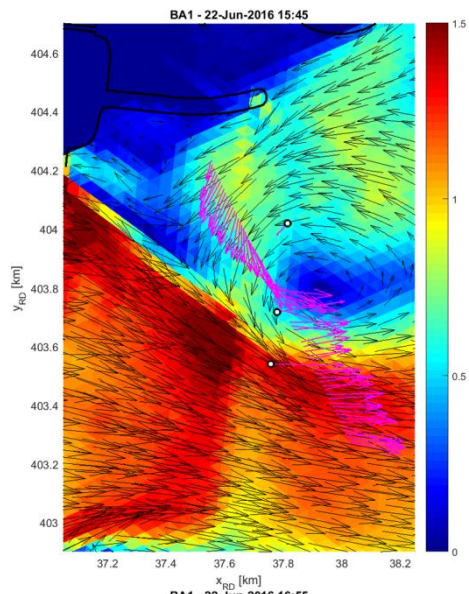
Onderwerp	Eisen
Kalibratieperioden	<ul style="list-style-type: none"> • Zo recent mogelijke perioden • Zo veel mogelijk rekening houden met, dezelfde, perioden in andere gebieden • In ieder geval de Sinterklaasstorm van december 2013 • Een periode met een sluiting van de Oosterscheldekering • Oostenwind is ook relevant, WBI
Kalibratie	<ul style="list-style-type: none"> • Eerst noodzakelijk debiet zo goed mogelijk op orde brengen (denk ook aan zoet water) • Reststroom (kalibreren op richting en ordegrootte) • Kalibratie van het getij • Kalibratie van lekopening • Waterstanden kalibreren op basis van een kalibratiefactor over de ruwheden van delen van het gebied. Nog vaststellen welke delen dat zijn • Kalibreren op verschillende omstandigheden. • Als eerste de gemiddelde afwijking per station van de waterstand in de te beschouwen periode tussen -0,05 en 0,05 m. • Na eventuele aanpassingen van de gekalibreerde factoren de gemiddelde afwijking per station van de waterstand in de te beschouwen periode tussen -0,05 en 0,05 m. • Wens: gelijkmatig verloop van kalibratiefactoren
Validatie	<ul style="list-style-type: none"> • Eerst noodzakelijk debiet zo goed mogelijk op orde brengen (denk ook aan zoet water) • Een gemiddelde afwijking per station van 0,05 meter is heel goed, 0,10 meter is goed. • Een gemiddelde afwijking over alle stations van 0,05 meter is heel goed, 0,10 meter is goed. • Validatie getij • Validatie stormen • Validatie stroomsnelheden • Validatie laag water • Validatie sluiting
Berekening	<ul style="list-style-type: none"> • Actueel, robuust en nauwkeurig zijn van belang boven rekensnelheid
Overig	<ul style="list-style-type: none"> • geschikt voor 3d toepassingen door middel van hetzelfde rooster waaraan het benodigde aantal lagen worden toegevoegd • geschikt voor temperatuur • geschikt voor koppeling met golven • geschikt voor koppeling morfologie • geschikt voor koppeling met stofverspreiding • geschikt voor koppeling waterkwaliteit

F Bijlage: Kalibratie

F.1 Stromingspatronen 2016

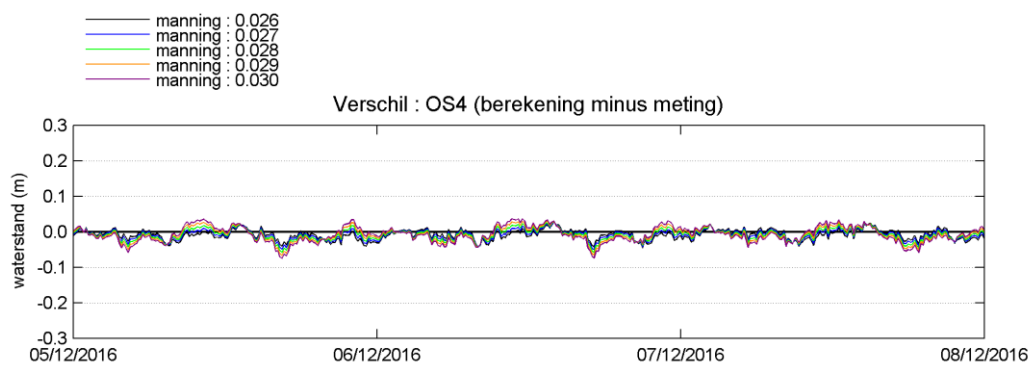
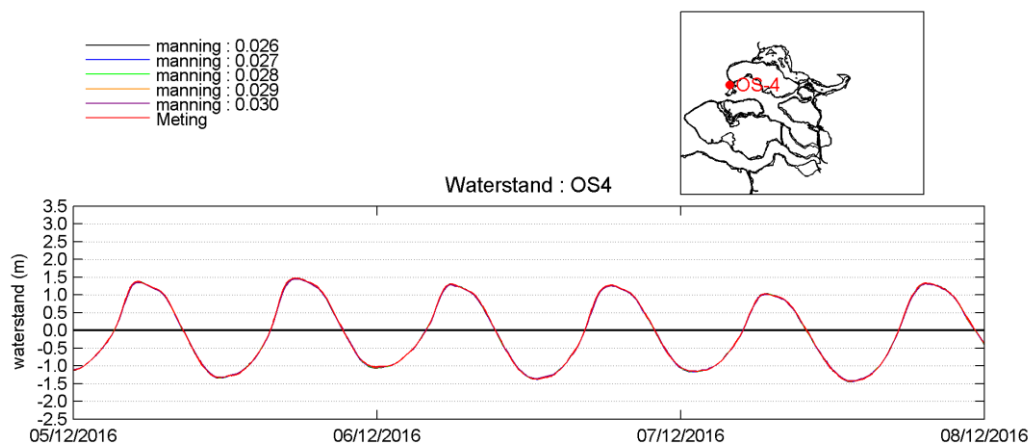
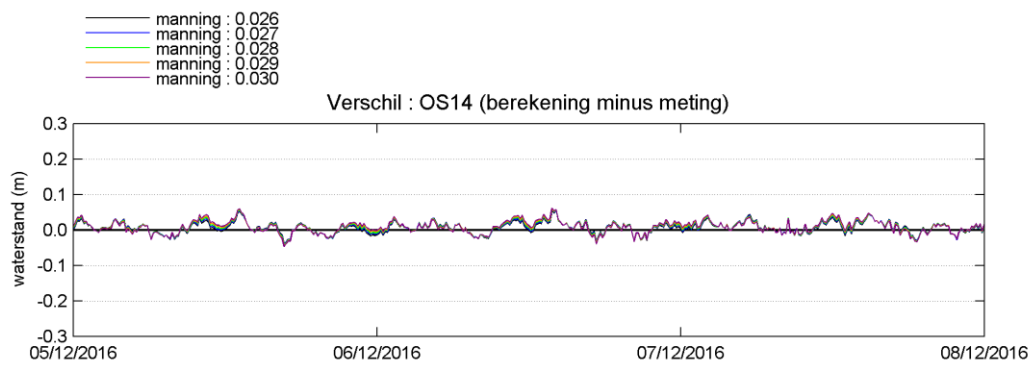
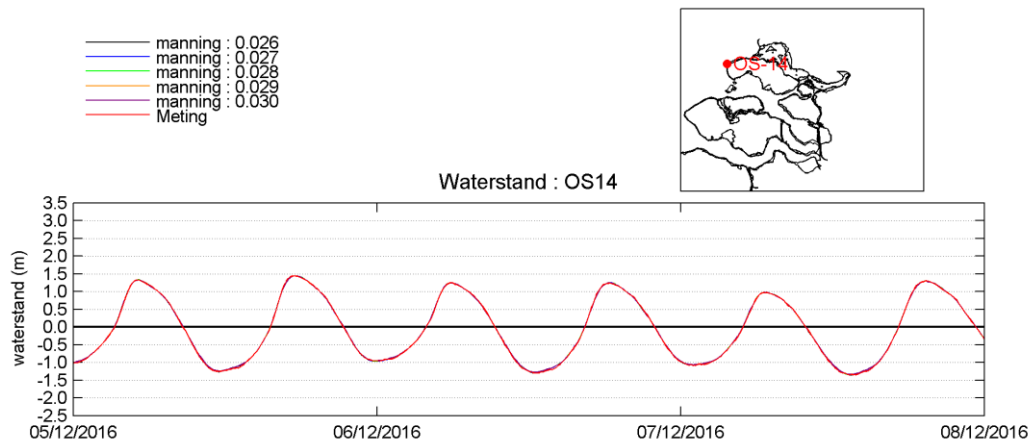
Onderstaande figuren geven de stromingspatronen weer nabij de kering voor BarrierAdvection=1 en 3 op verschillende tijdstippen (tijdstippen worden aangegeven op de titel van elke figuur). Zwarte pijlen zijn modeluitvoer (snelheidsvector) en roze pijlen zijn metingen (varende ADCP). De achtergrondkleuren geven de magnitude aan van de modelstroomsnelheid.

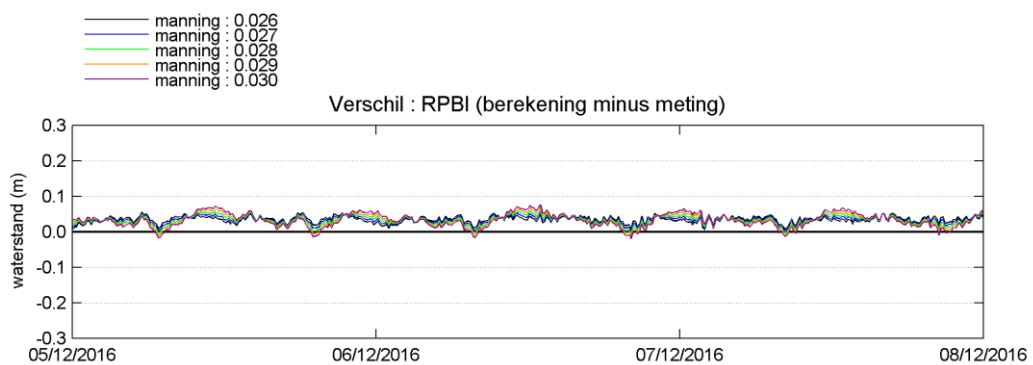
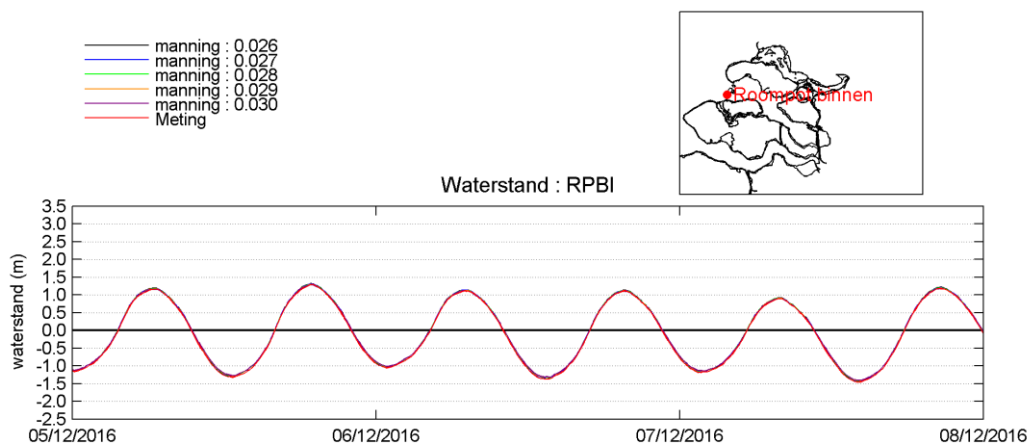
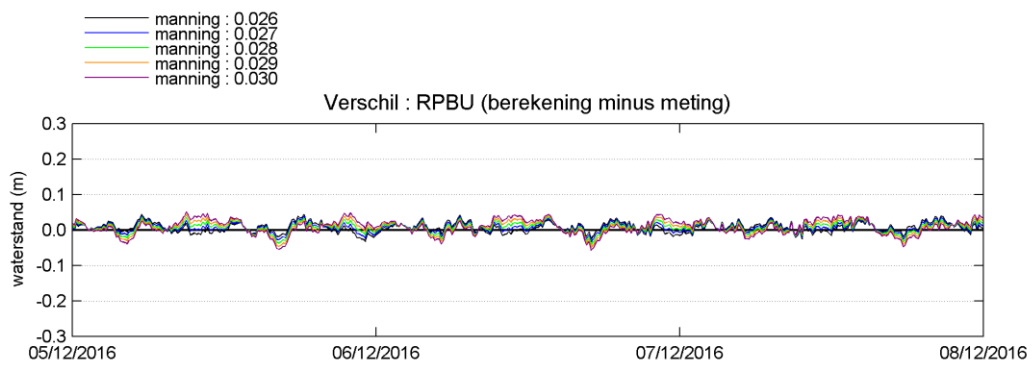
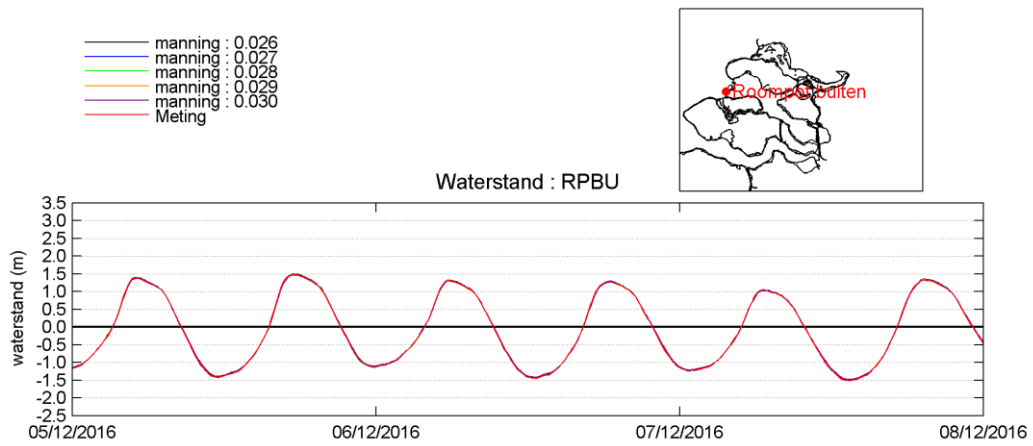


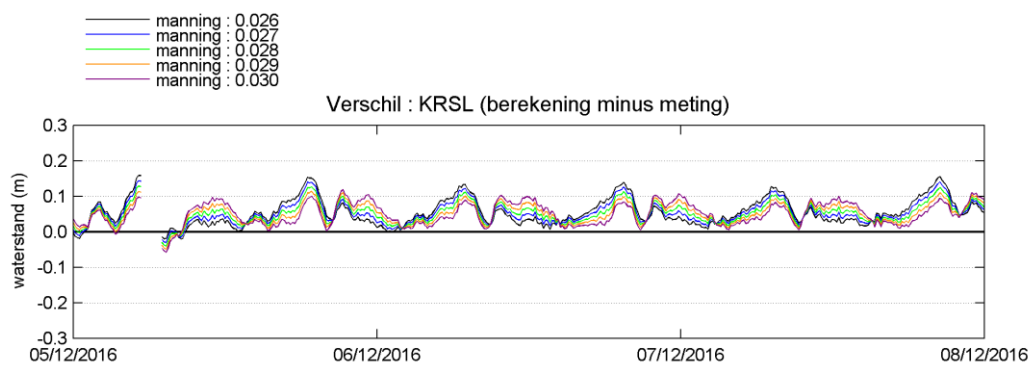
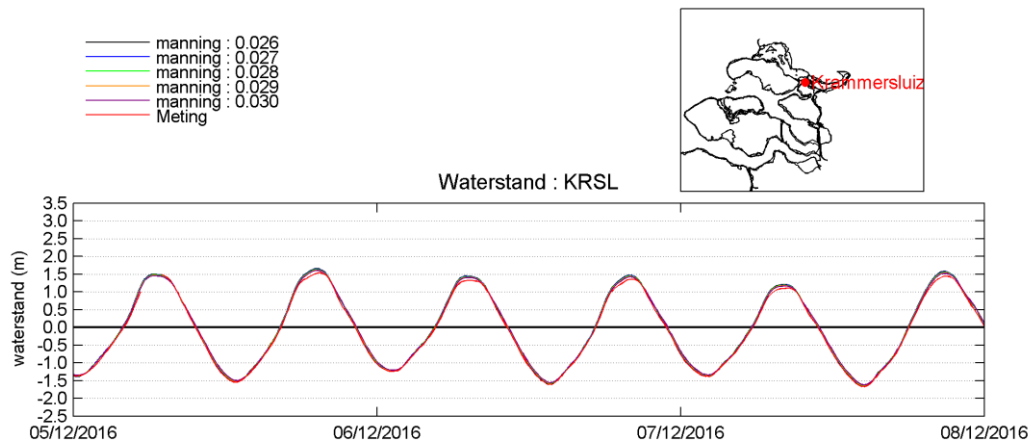
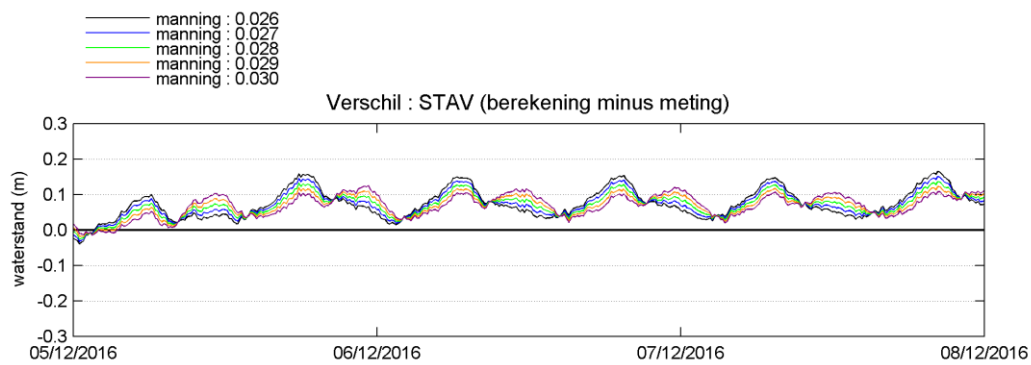
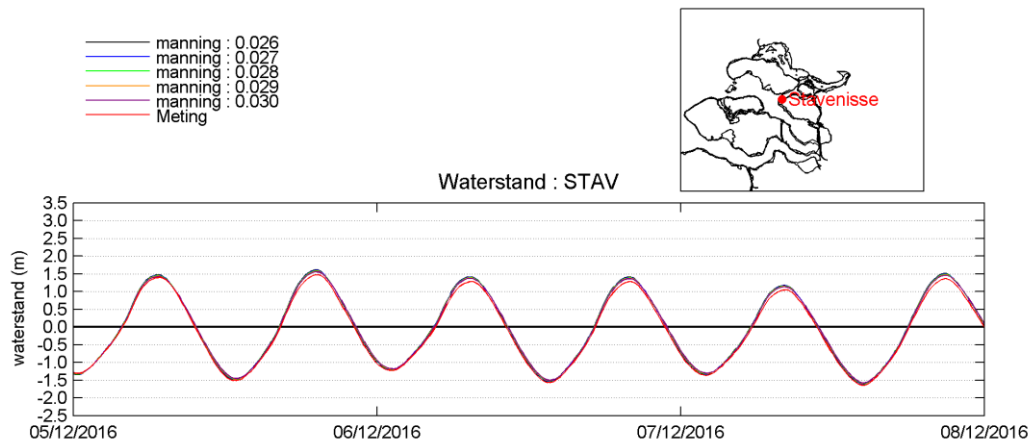


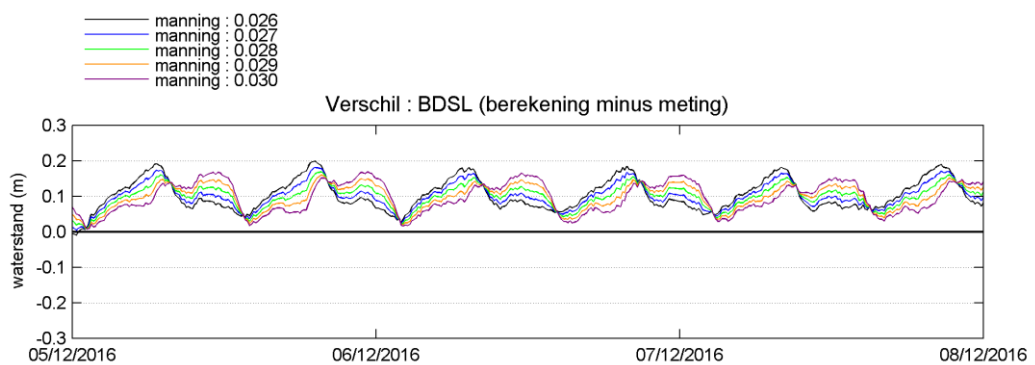
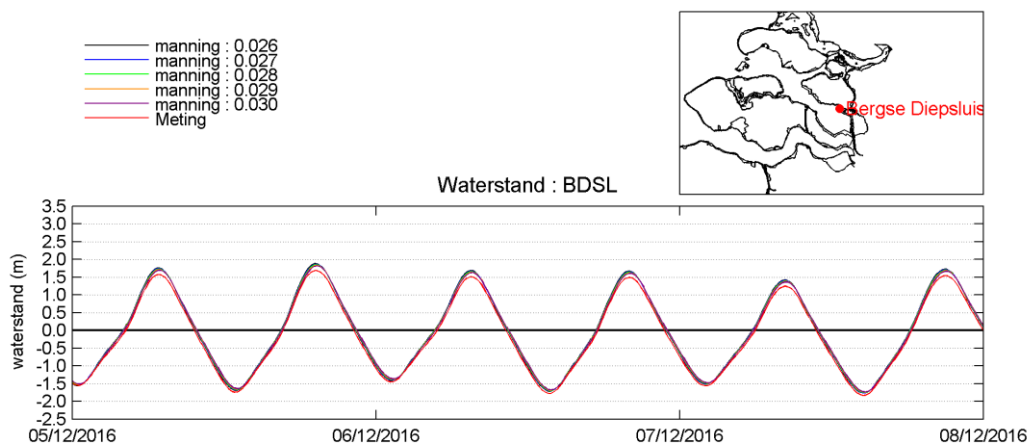
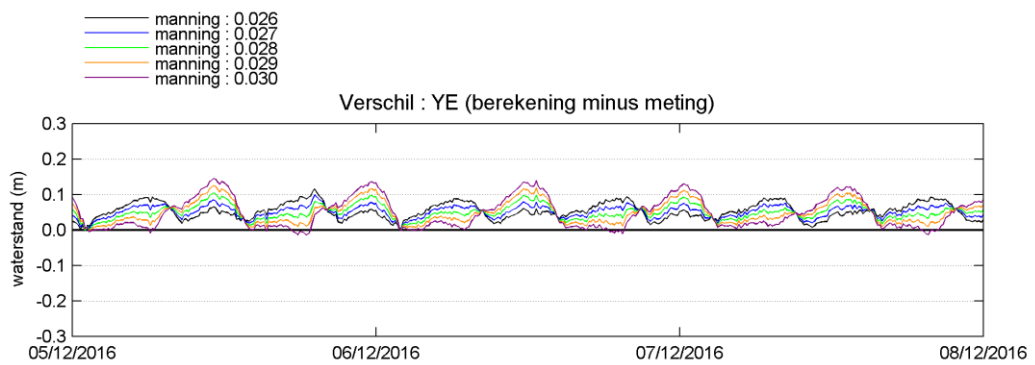
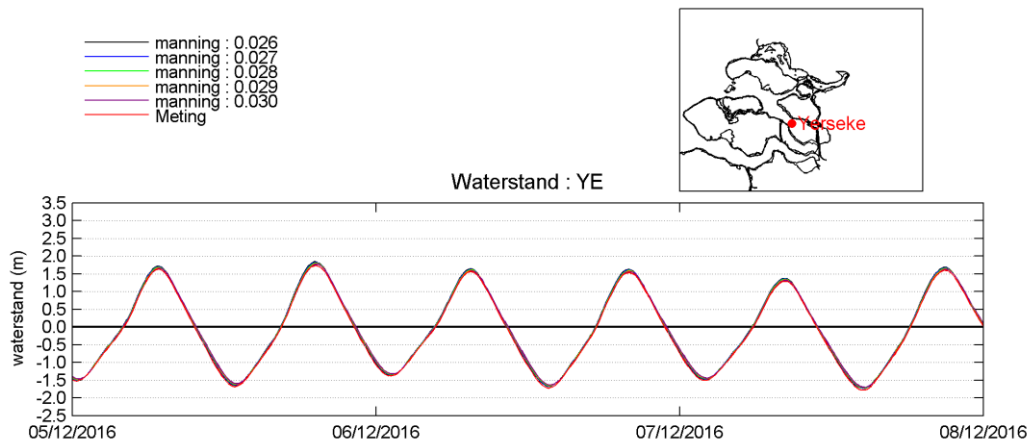
F.2 Waterstanden 2016

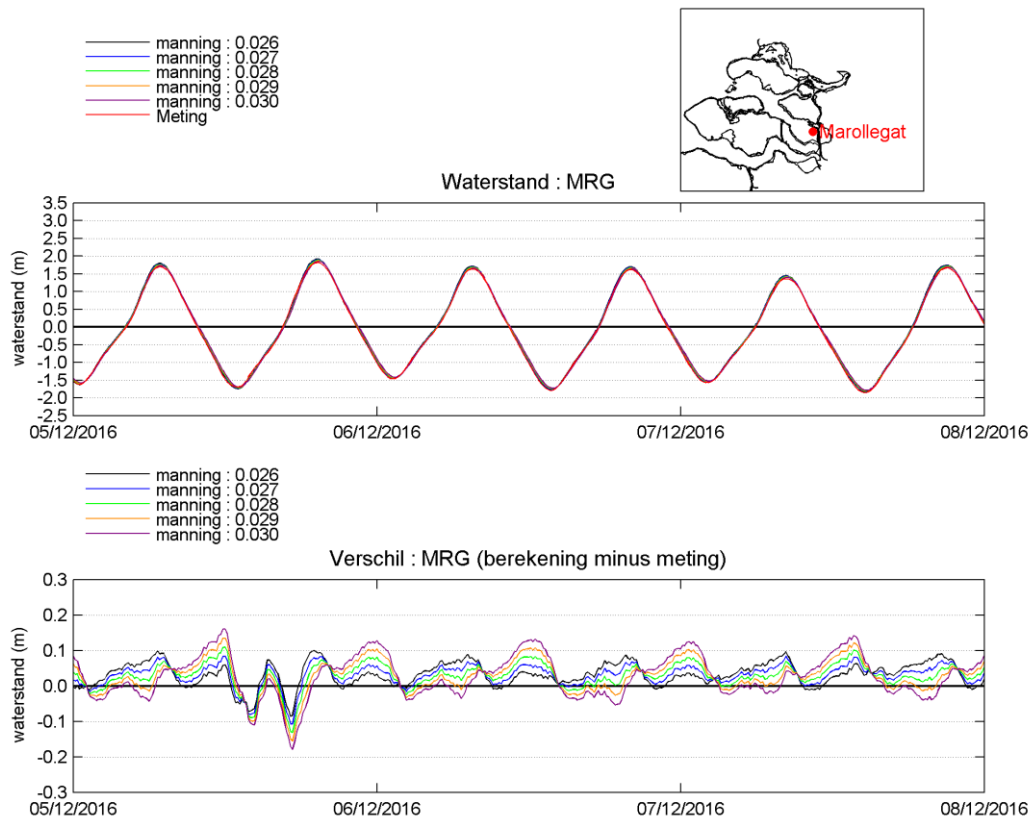
Hieronder worden waterstandsmetingen en modeluitvoer bij de 10 stations gepresenteerd van het D-HYDRO Oosterschelde model met de geteste Manning ruwheidscoëfficiënt tussen 0.026 en 0.030 $\text{sm}^{-1/3}$.







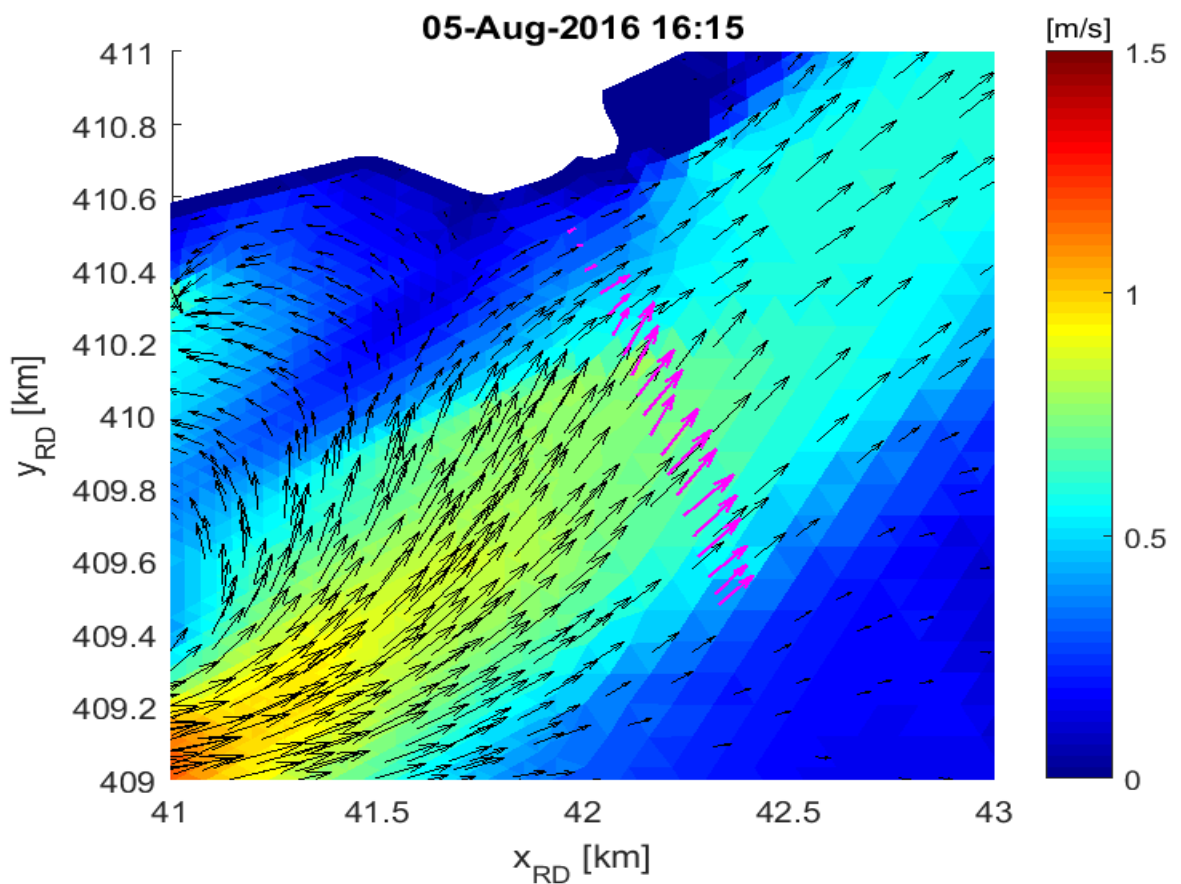




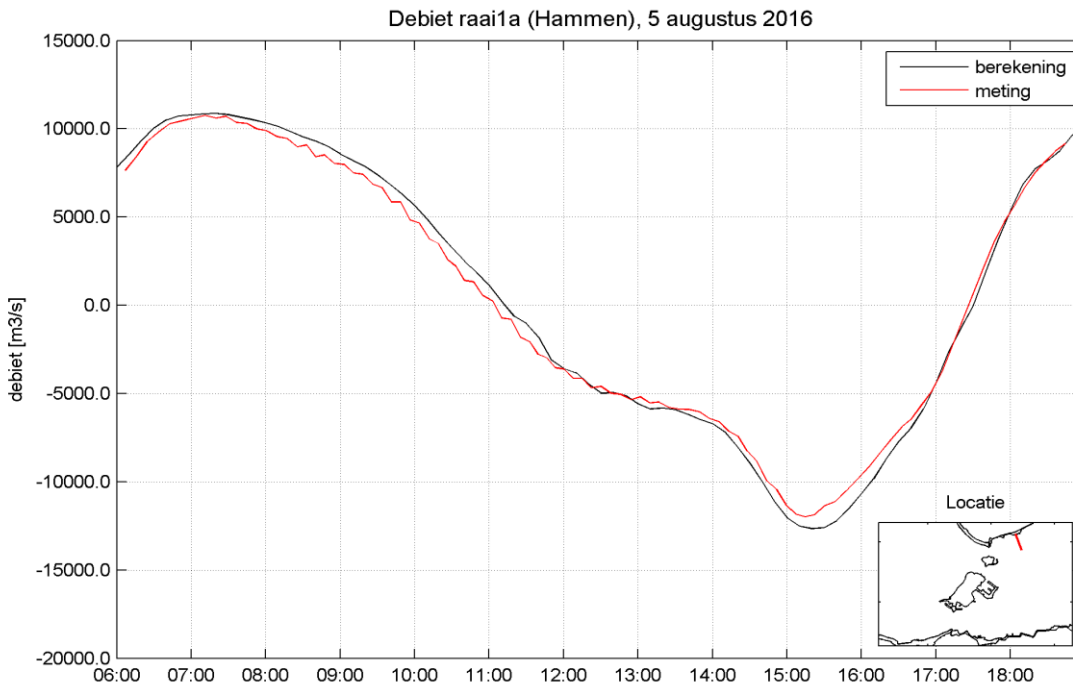
G Bijlage: Validatie

G.1 Debietraaien 2016

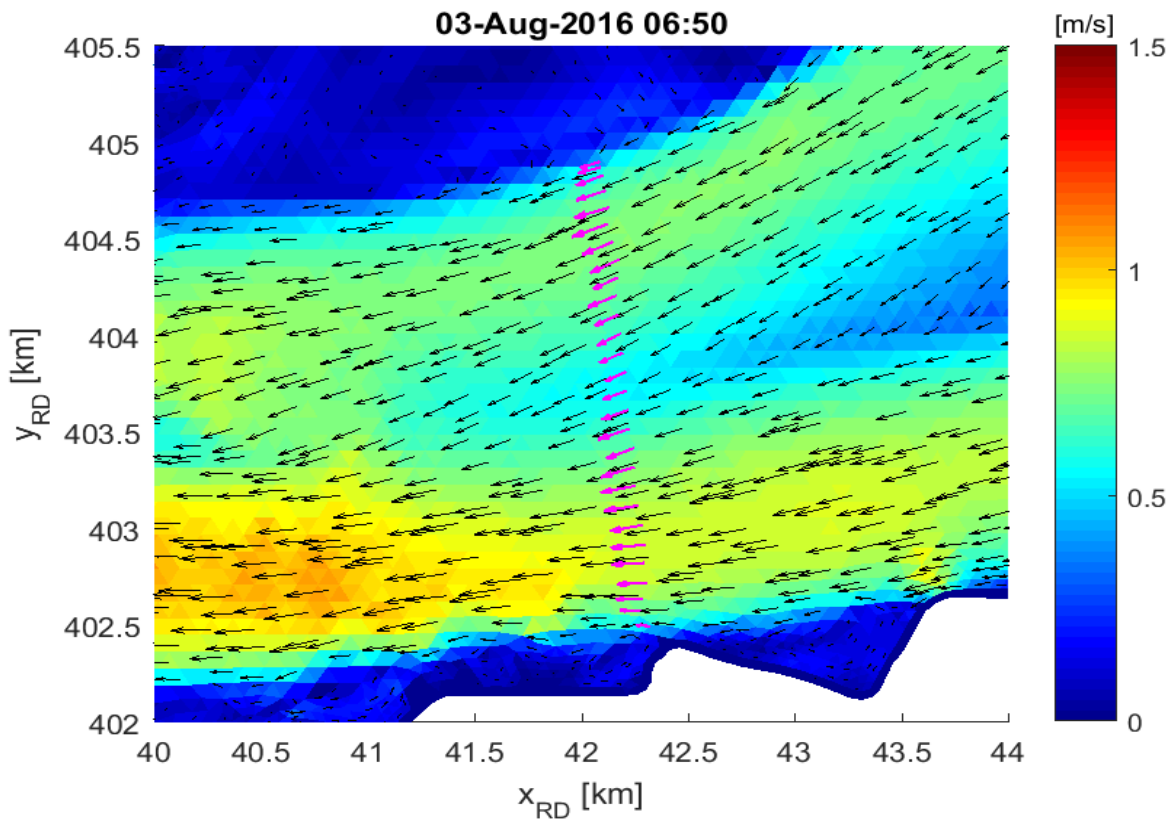
Voor Raai 1b (Schaar) waren geen debietraai gegevens geleverd. Deze wordt daarom niet in dit overzicht opgenomen.



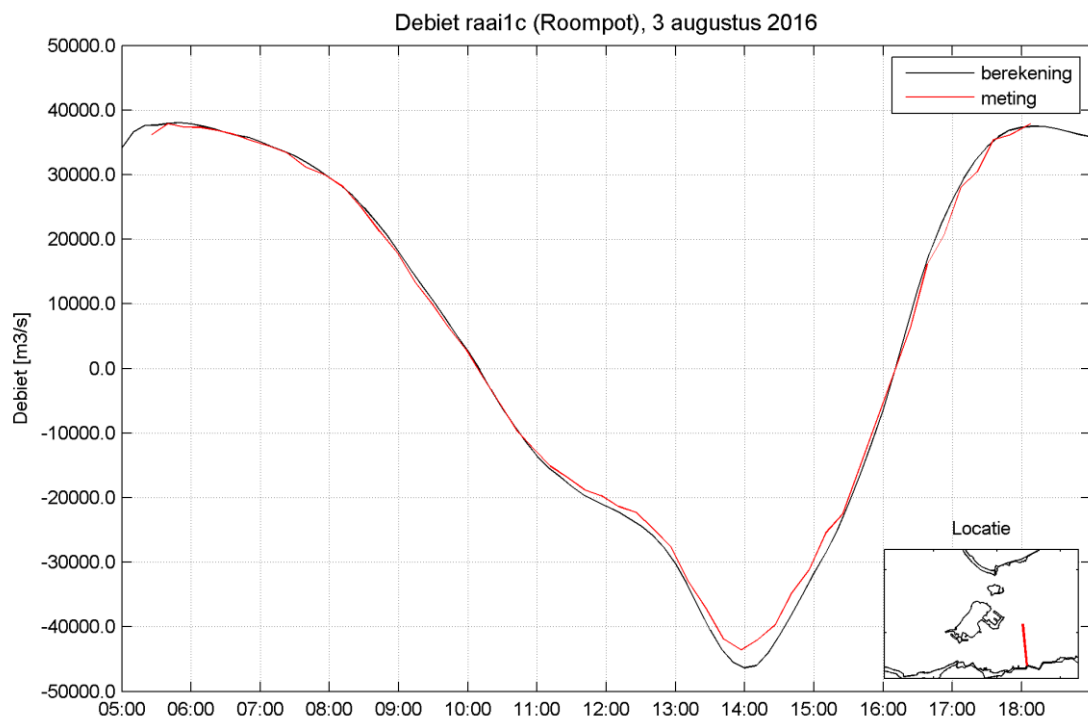
Figuur G.1 Stromingspatroon rond de raai Hammen. Zwarte pijlen zijn modeluitvoer (snelheidsvector) en roze pijlen zijn metingen (varende ADCP). De achtergrondkleuren geven de magnitude aan van de modelstroomsnelheid.



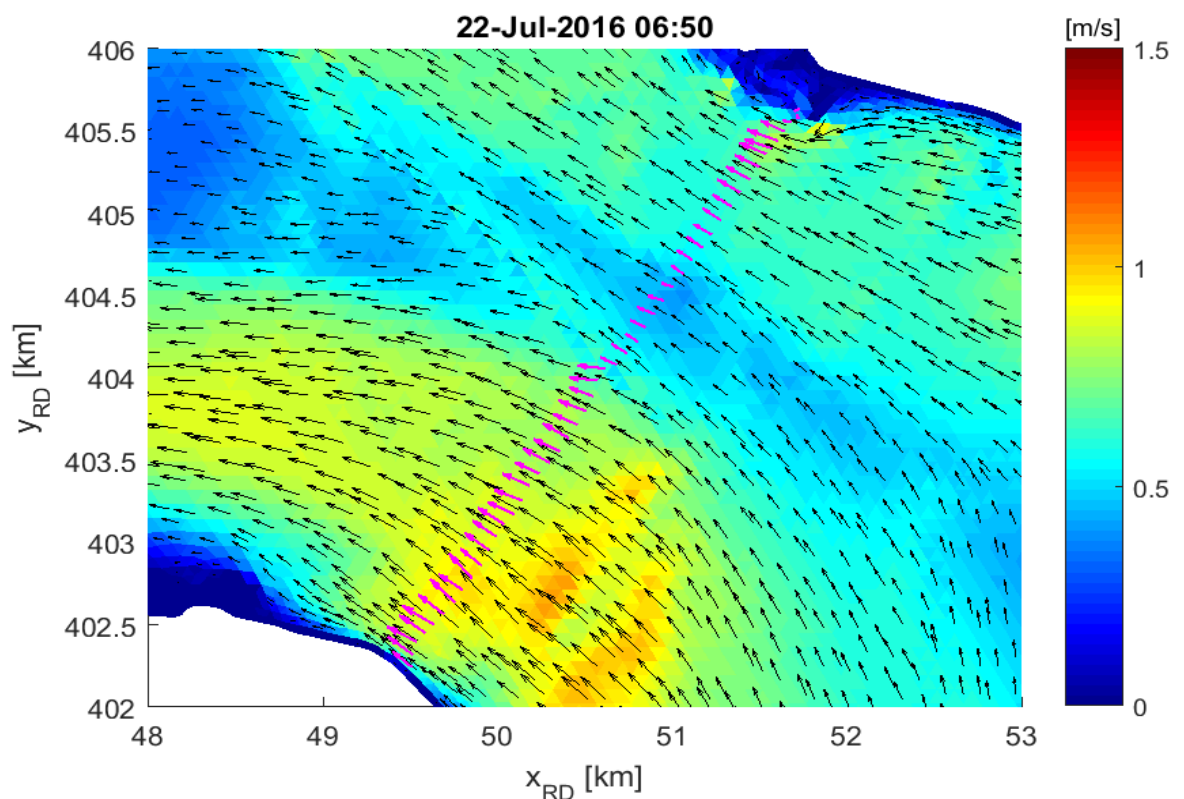
Figuur G.2 Debiettijdsreeks bij raai Hammen



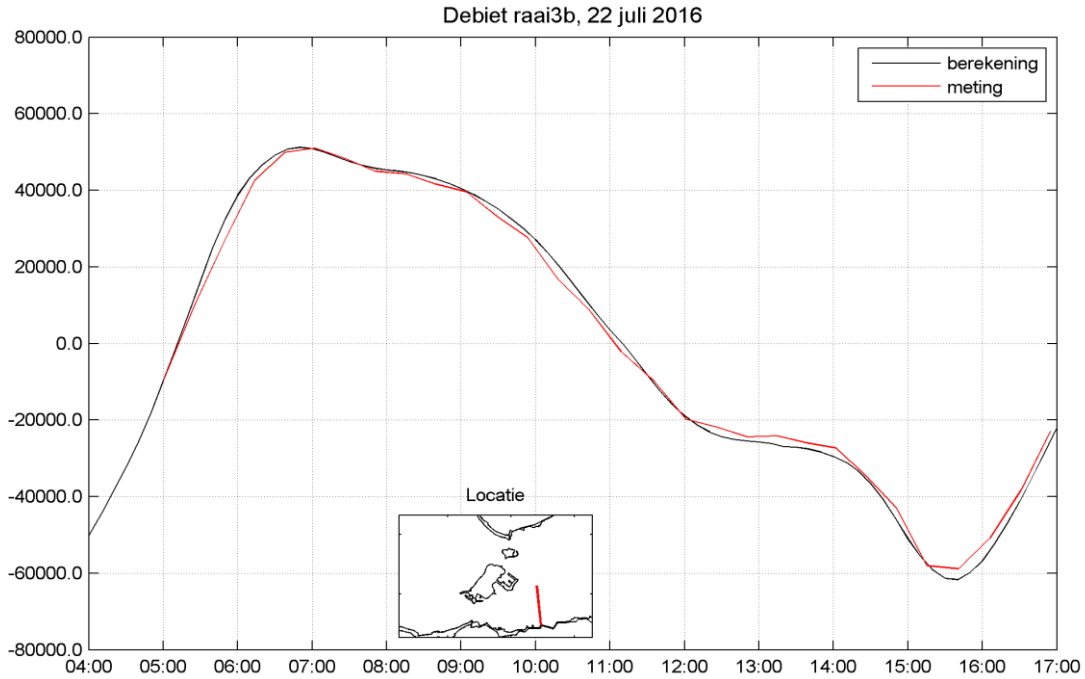
Figuur G.3 Stromingspatroon rond de raai Roopot. Zwarte pijlen zijn modeluitvoer (snelheidsvector) en roze pijlen zijn metingen (varende ADCP). De achtergrondkleuren geven de magnitude aan van de modelstroomsnelheid.



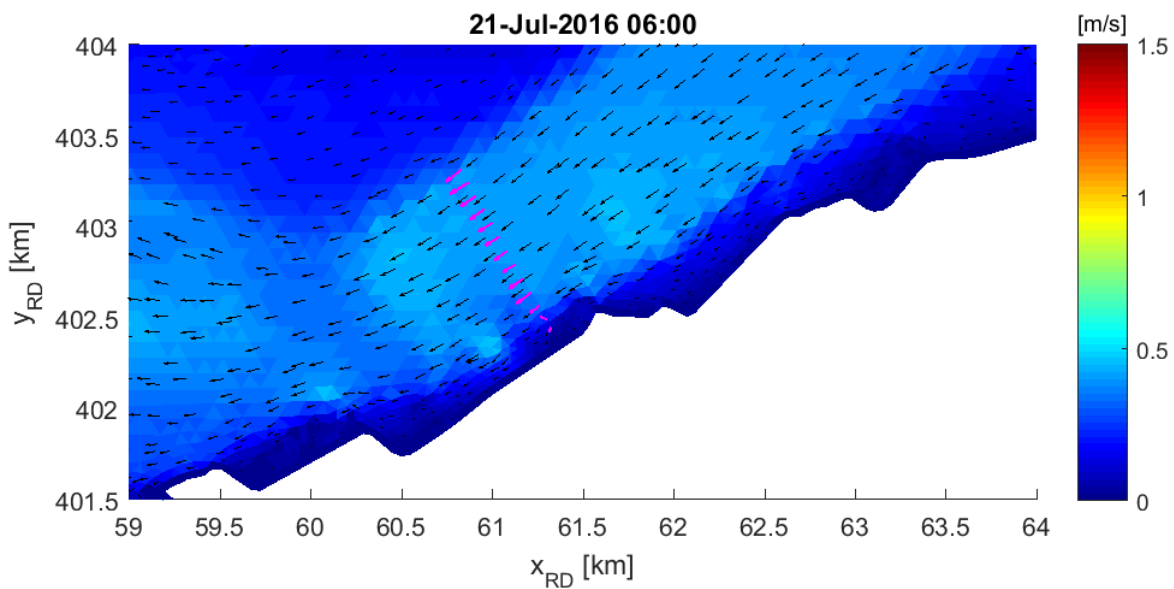
Figuur G.4 Debiettijdsreeks bij raai Roompot



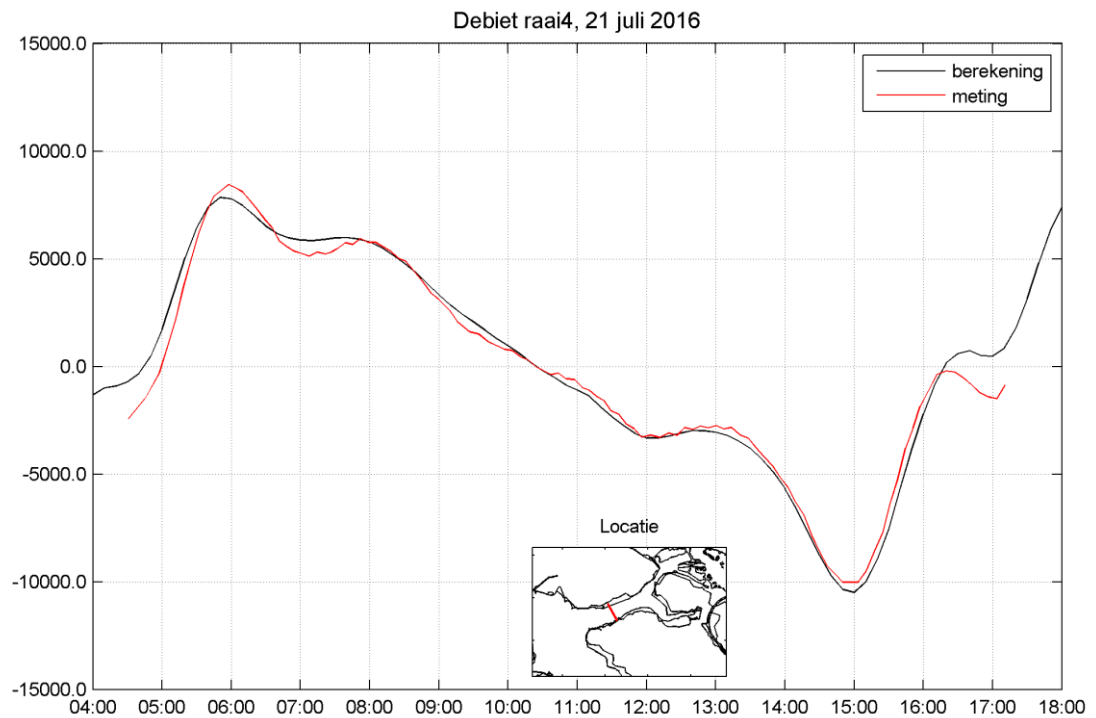
Figuur G.5 Stromingspatroon rond de raai 3b. Zwarte pijlen zijn modeluitvoer (snelheidsvector) en roze pijlen zijn metingen (varende ADCP). De achtergrondkleuren geven de magnitude aan van de modelstroomsnelheid.



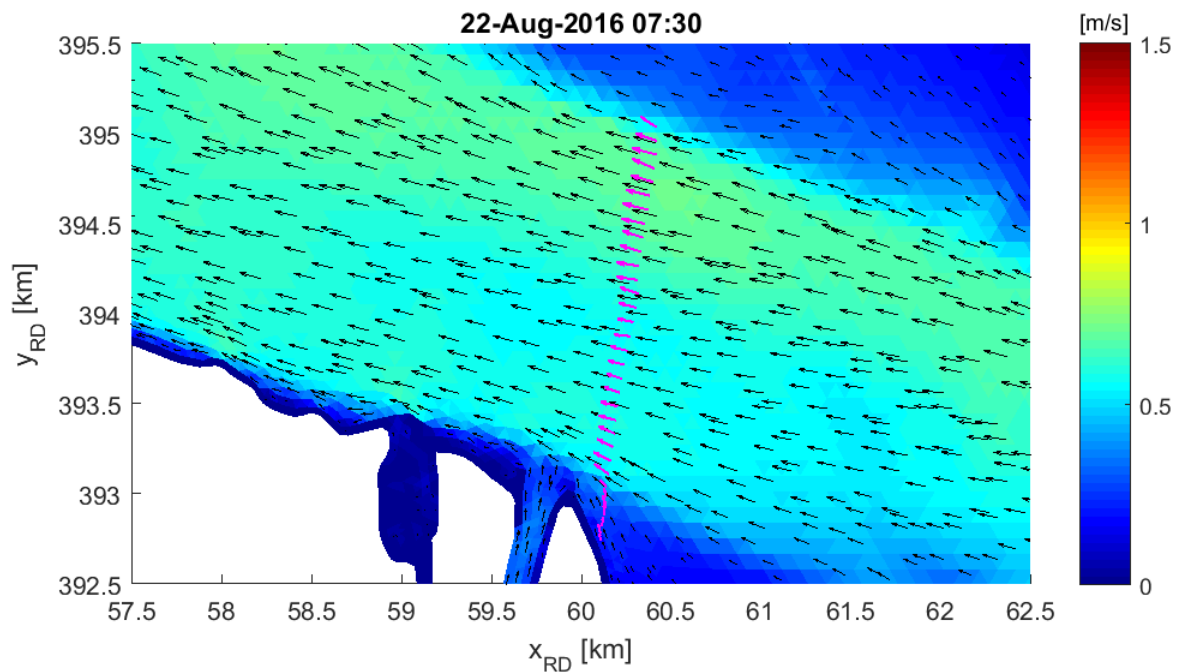
Figuur G.6 Debiettijdsreeks bij raai 3b



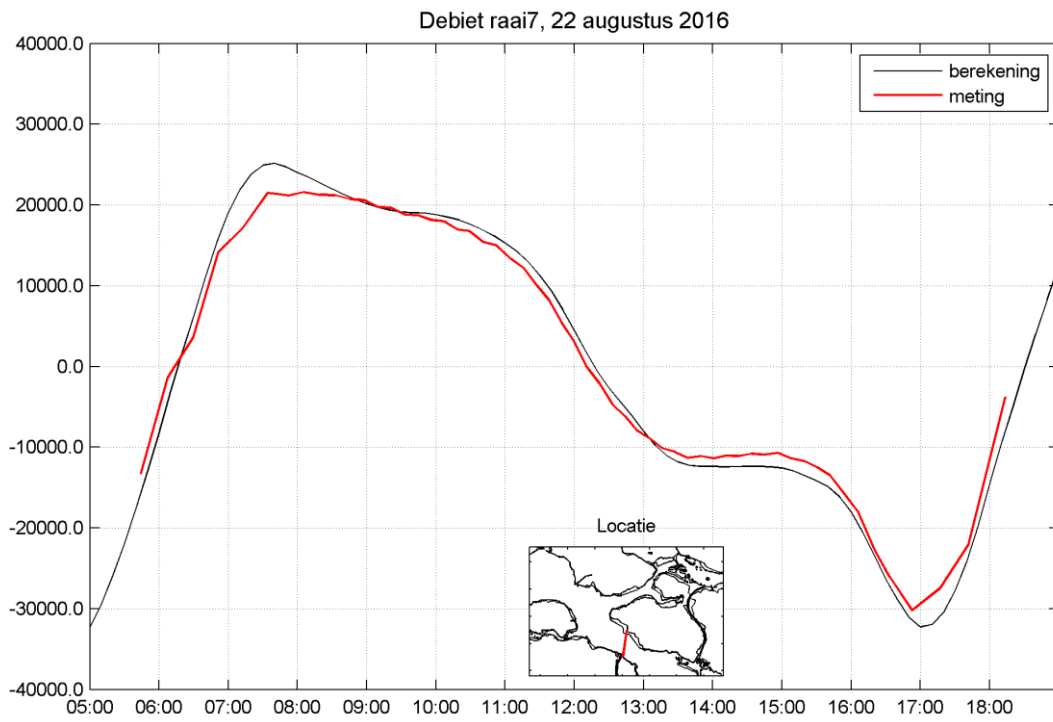
Figuur G.7 Stromingspatroon rond de raai 4. Zwarte pijlen zijn modeluitvoer (snelheidsvector) en roze pijlen zijn metingen (varende ADCP). De achtergrondkleuren geven de magnitude aan van de modelstroomsnelheid.



Figuur G.8 Debietjiddreeks bij raai 4

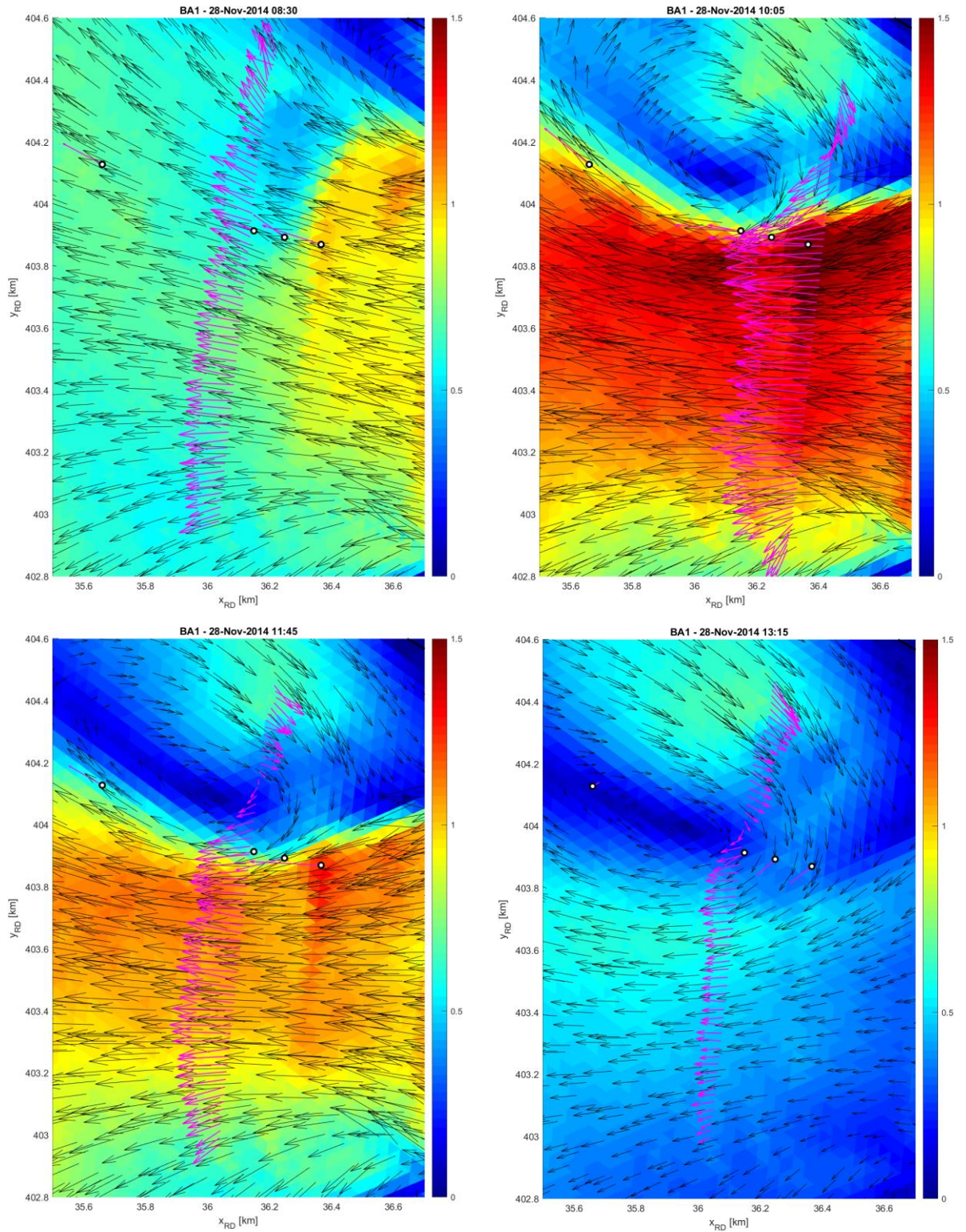


Figuur G.9 Stromingspatroon rond de raai 7. Zwarte pijlen zijn modeluitvoer (snelheidsvector) en roze pijlen zijn metingen (varende ADCP). De achtergrondkleuren geven de magnitude aan van de modelstroomsnelheid.



Figuur G.10 Debiettijdsreeks bij raai 7

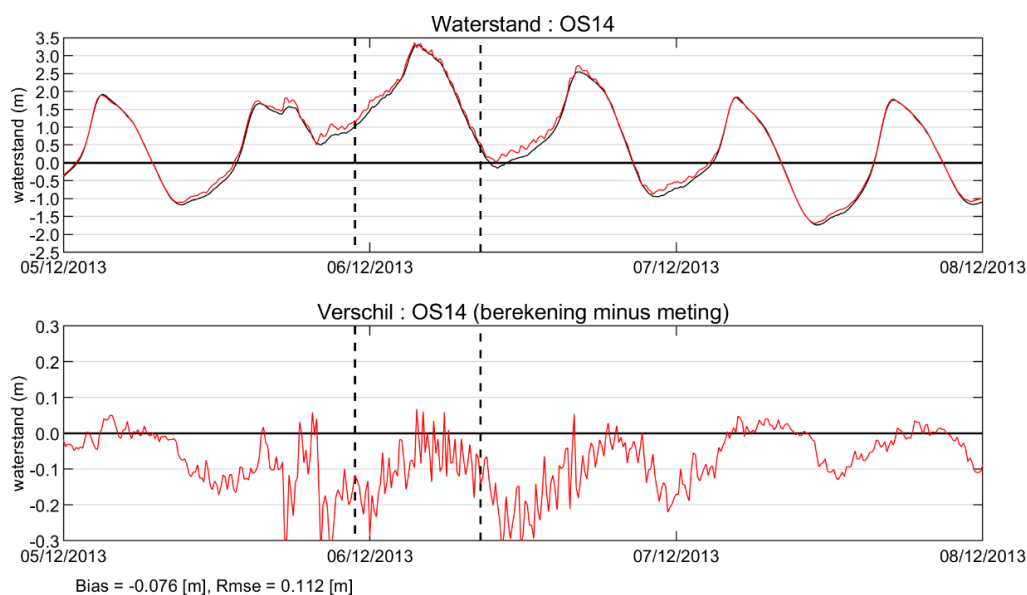
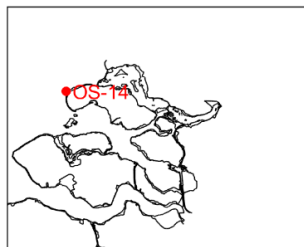
G.2 Stroomsnelheden 2014

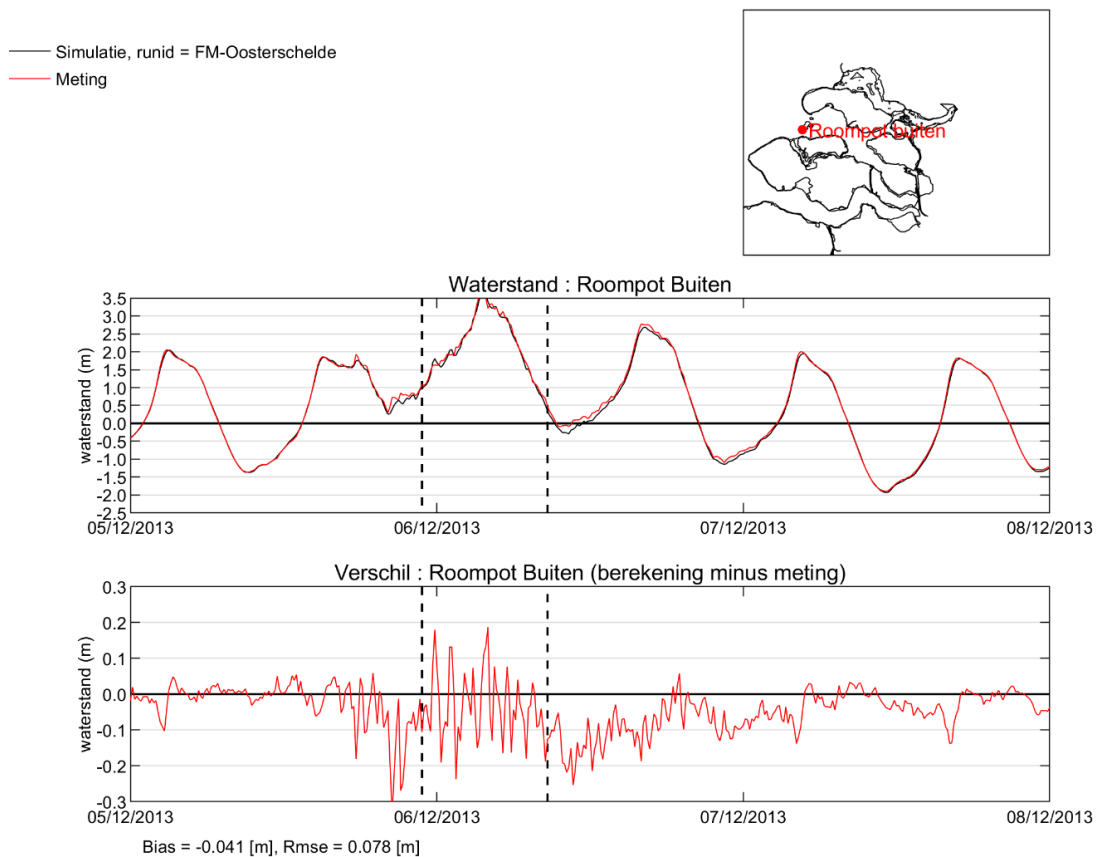
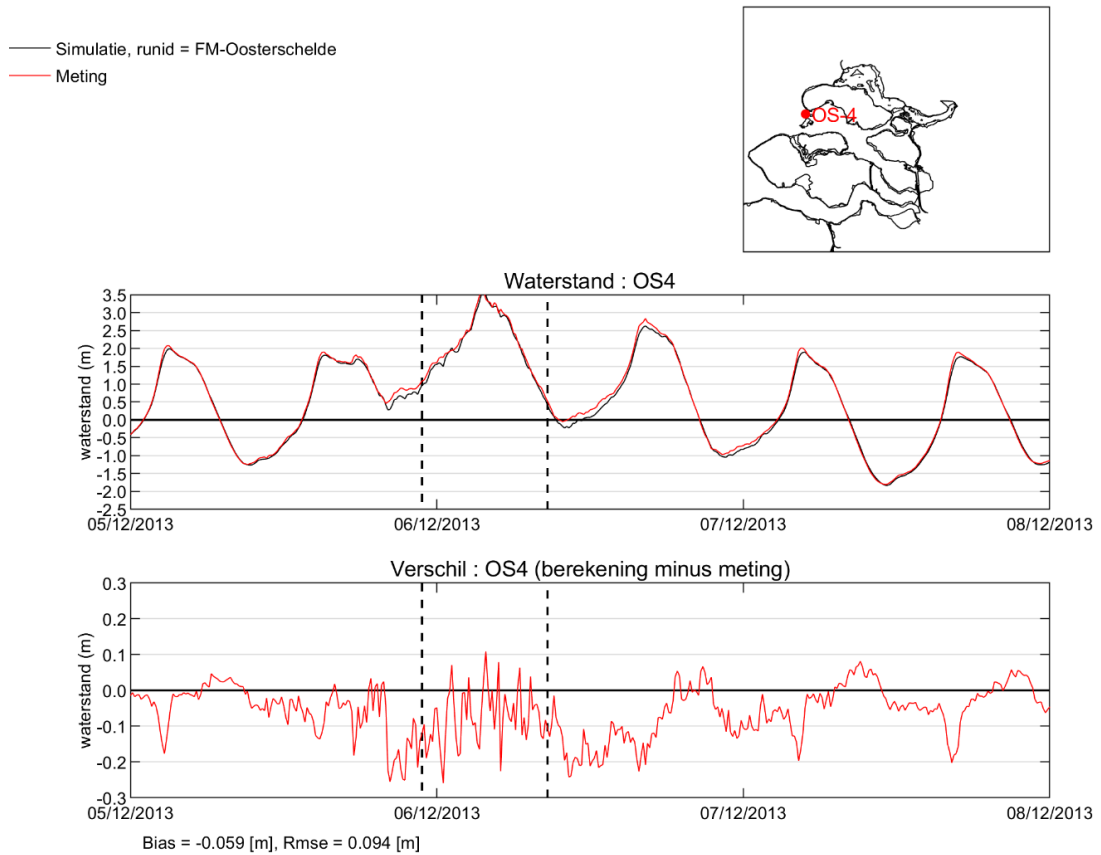


G.3 Waterstand Sinterklasstorm 2013

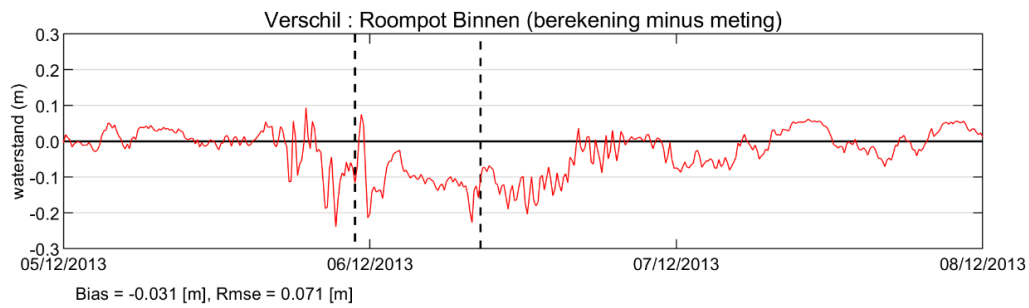
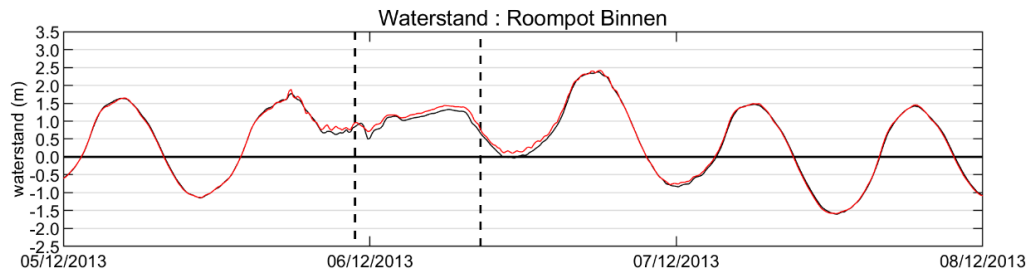
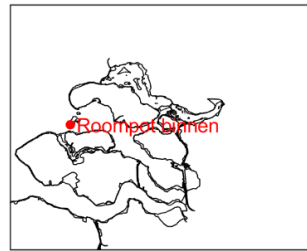
G.3.1 D-HYDRO Oosterschelde

— Simulatie, runid = FM-Oosterschelde
 — Meting

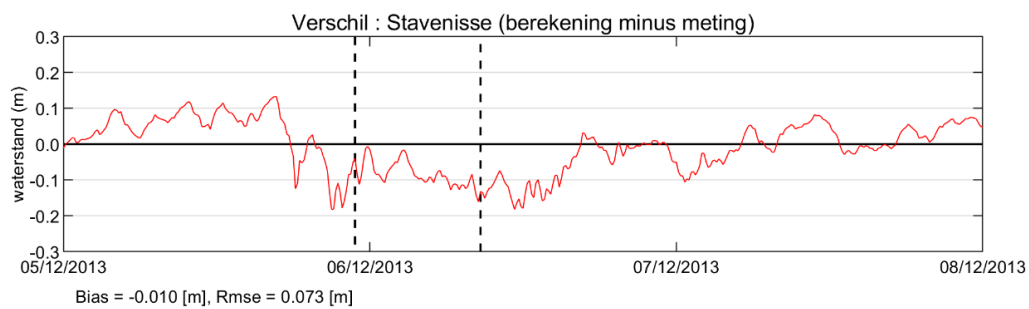
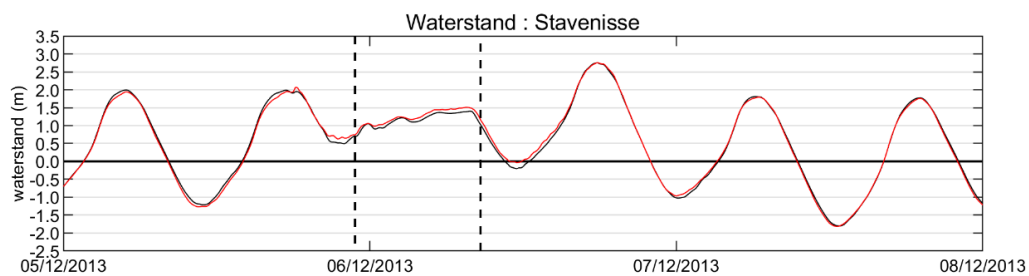
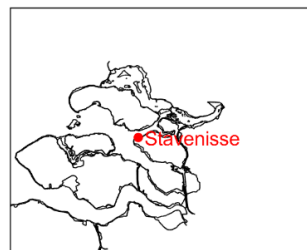


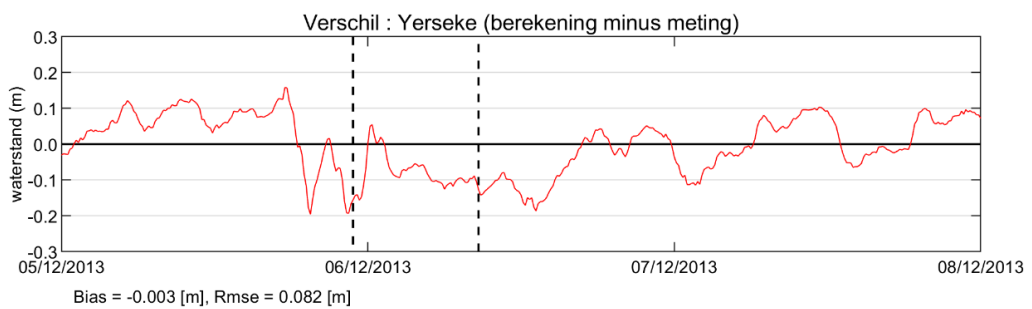
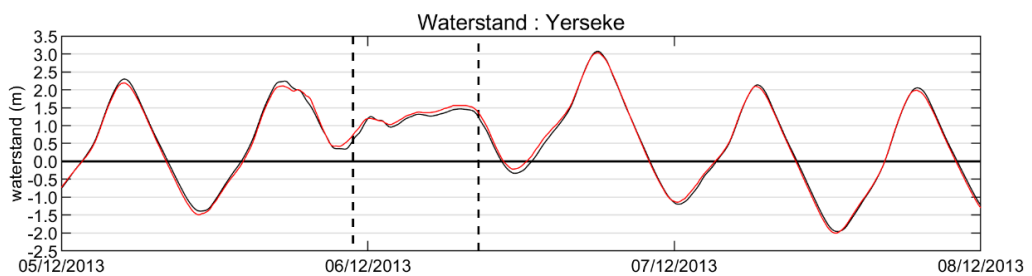
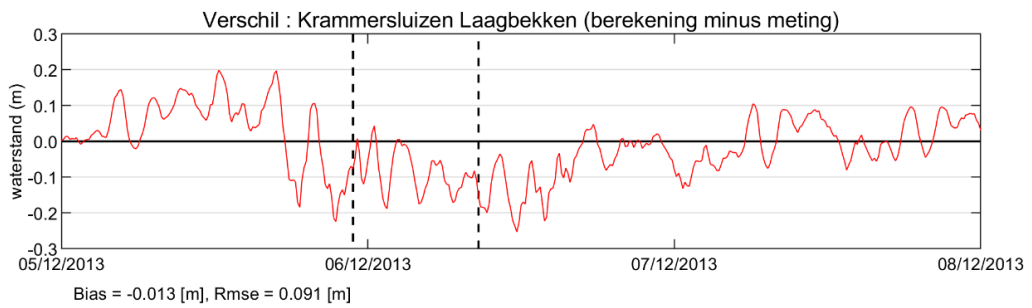
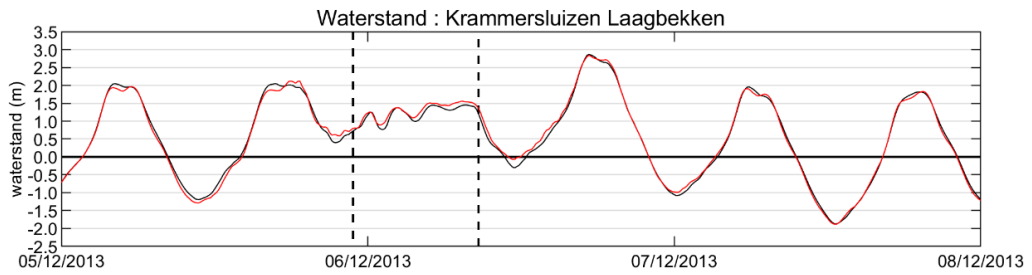


— Simulatie, runid = FM-Oosterschelde
 — Meting

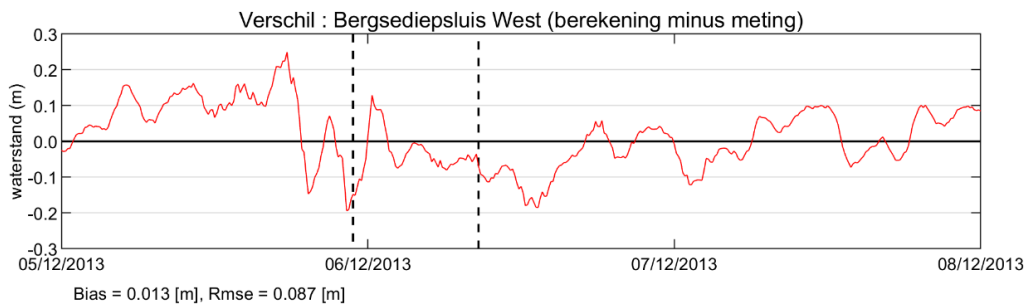
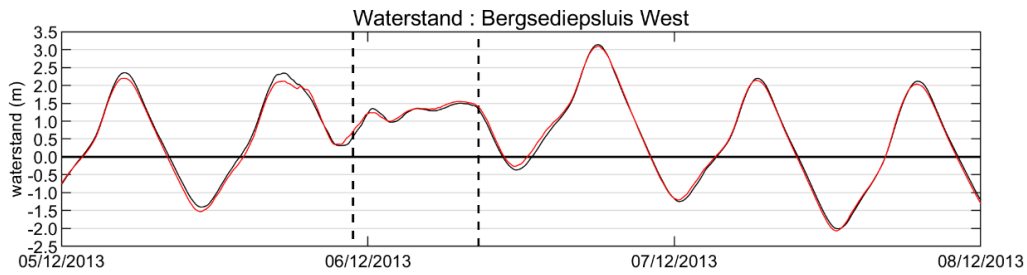
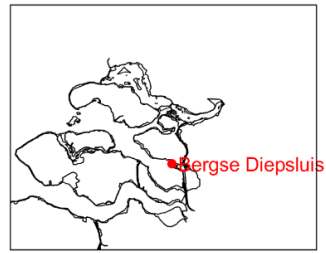


— Simulatie, runid = FM-Oosterschelde
 — Meting

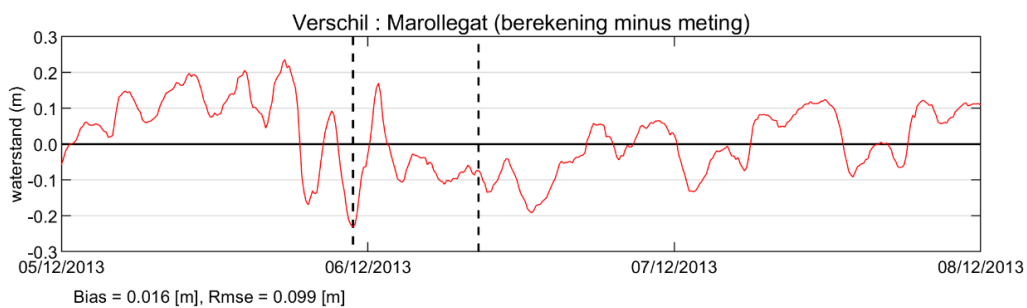
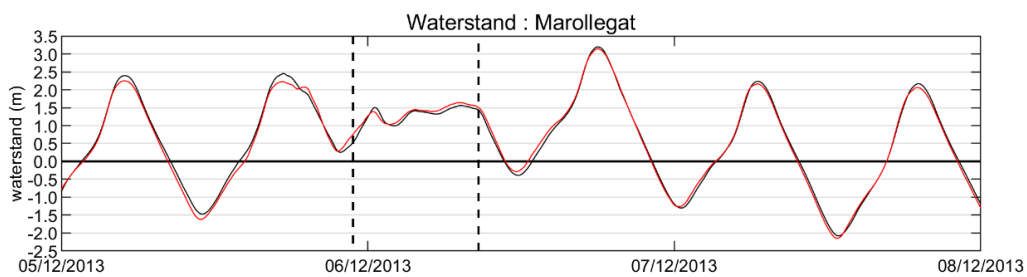
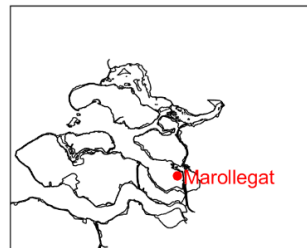




— Simulatie, runid = FM-Oosterschelde
 — Meting

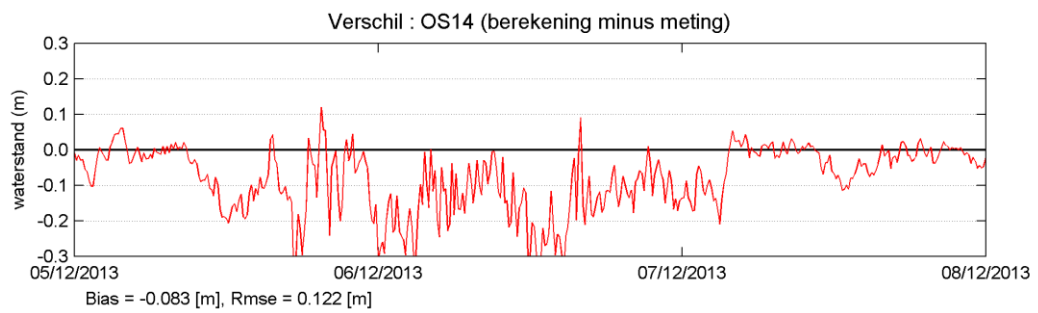
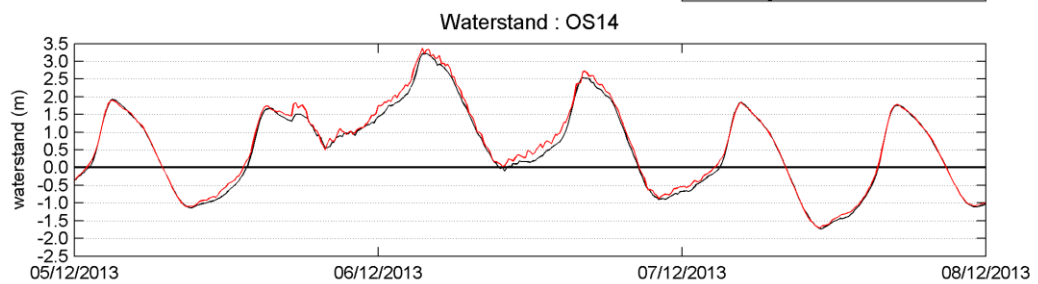
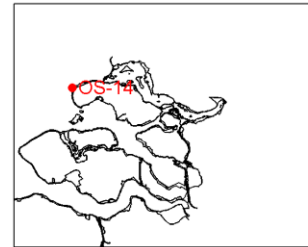


— Simulatie, runid = FM-Oosterschelde
 — Meting

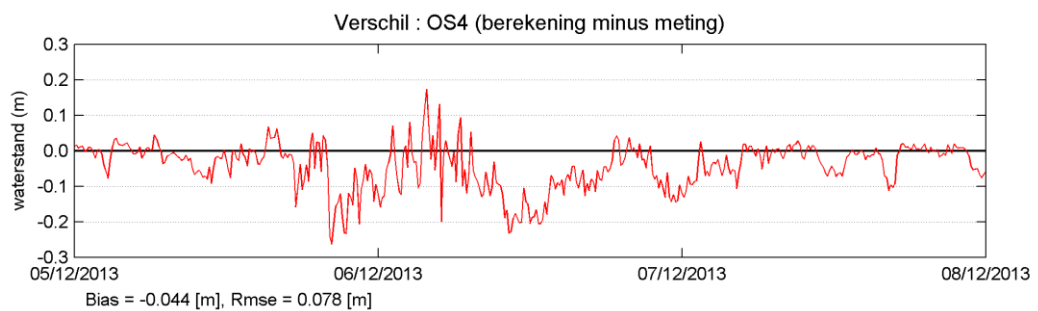
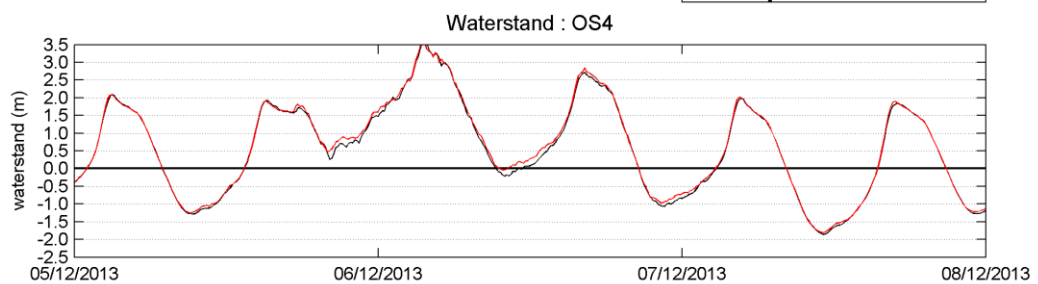
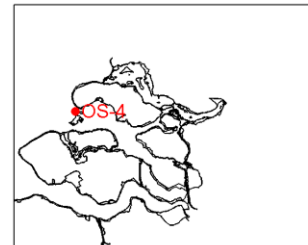


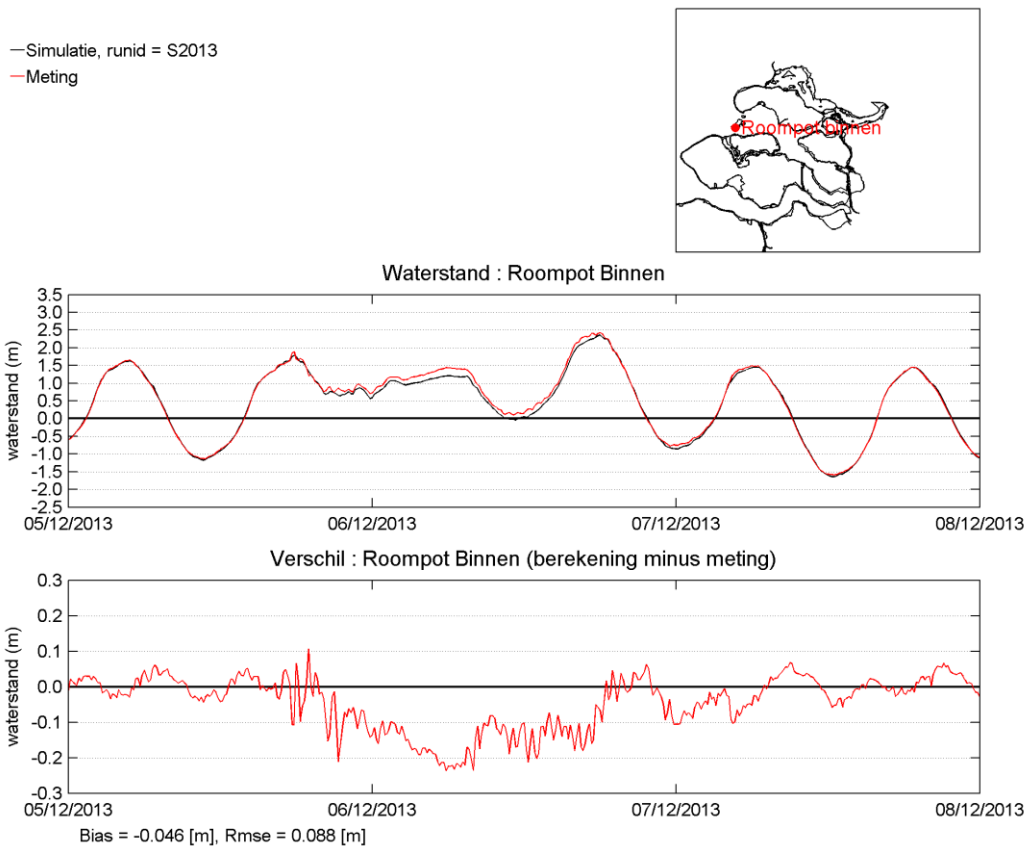
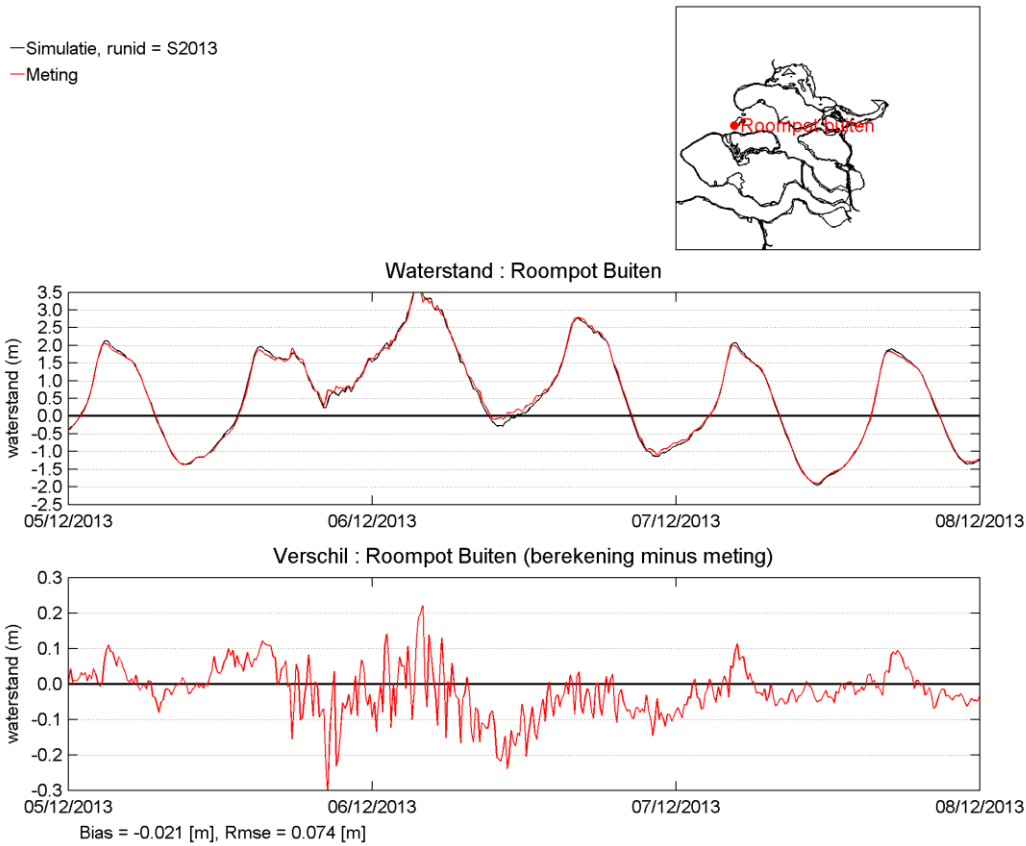
G.3.2 WAQUA ScalOost

— Simulatie, runid = S2013
 — Meting

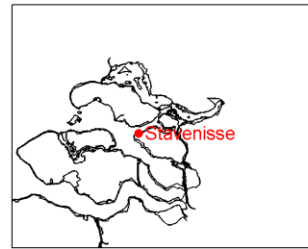


— Simulatie, runid = S2013
 — Meting

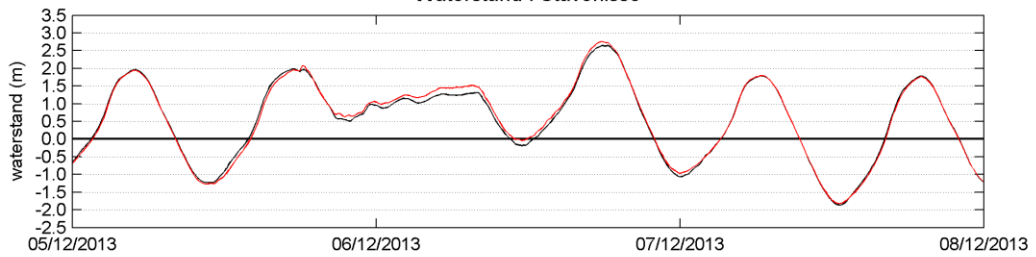




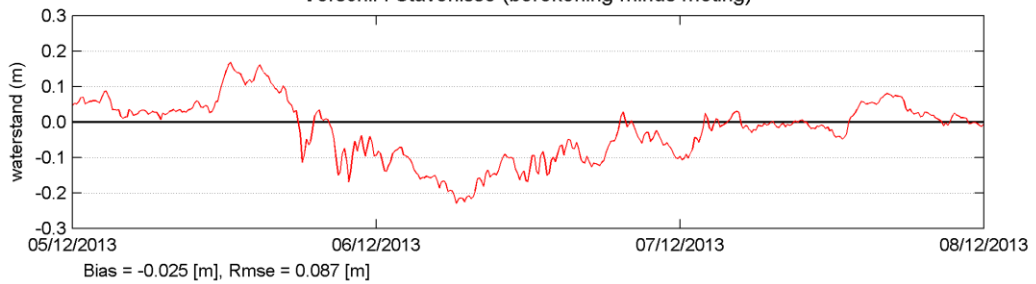
— Simulatie, runid = S2013
 — Meting



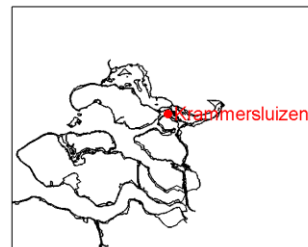
Waterstand : Stavenisse



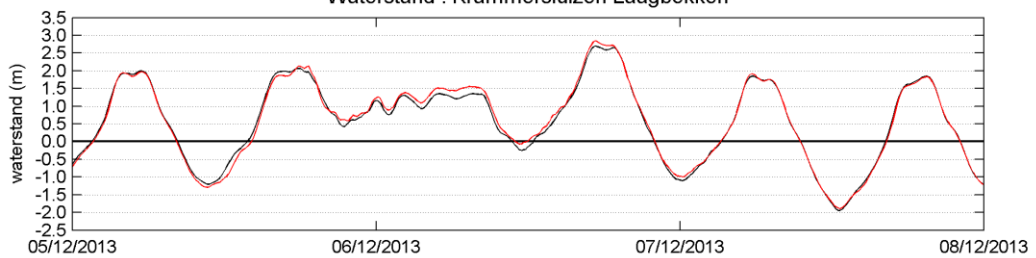
Vershil : Stavenisse (berekening minus meting)



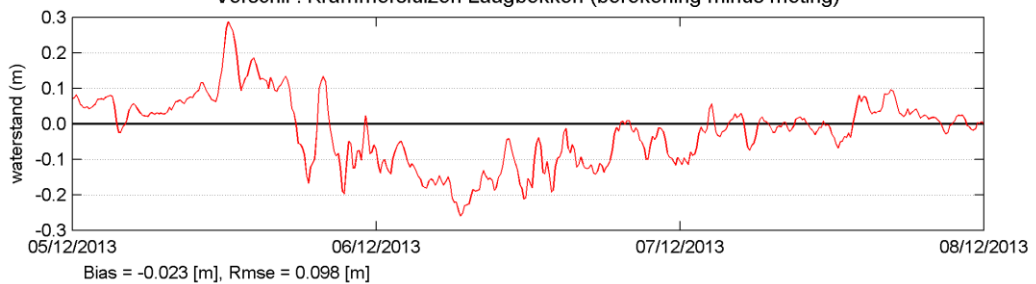
— Simulatie, runid = S2013
 — Meting

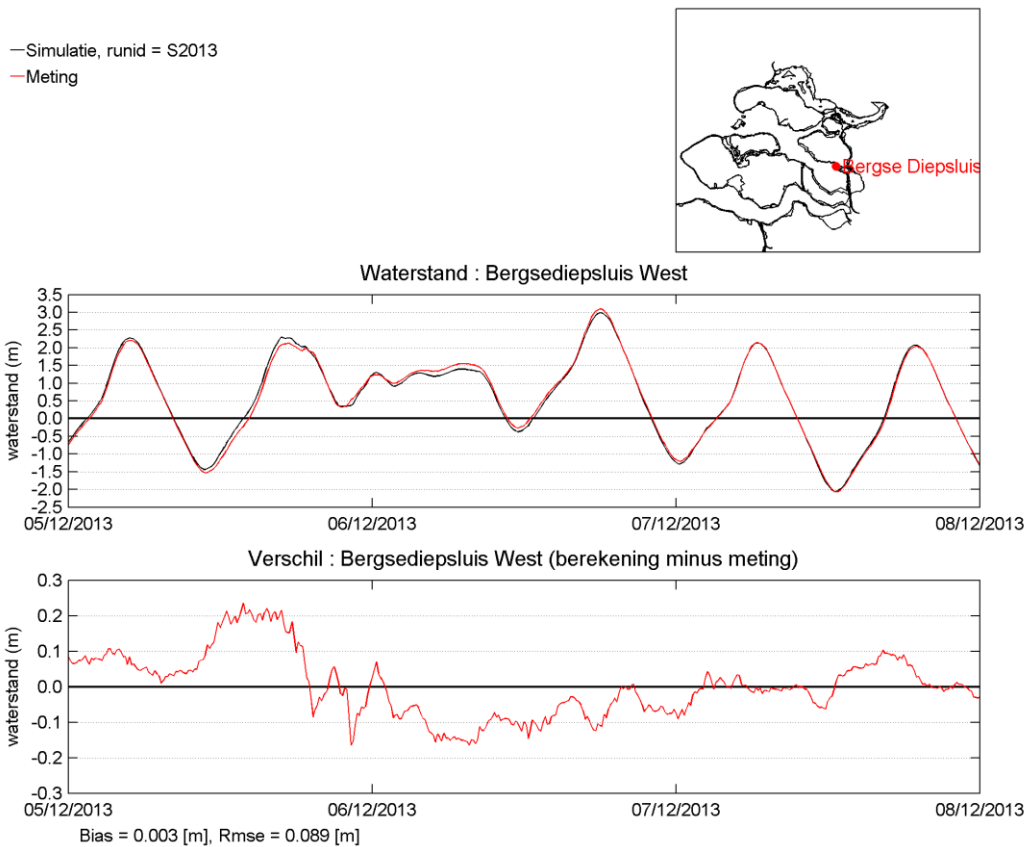
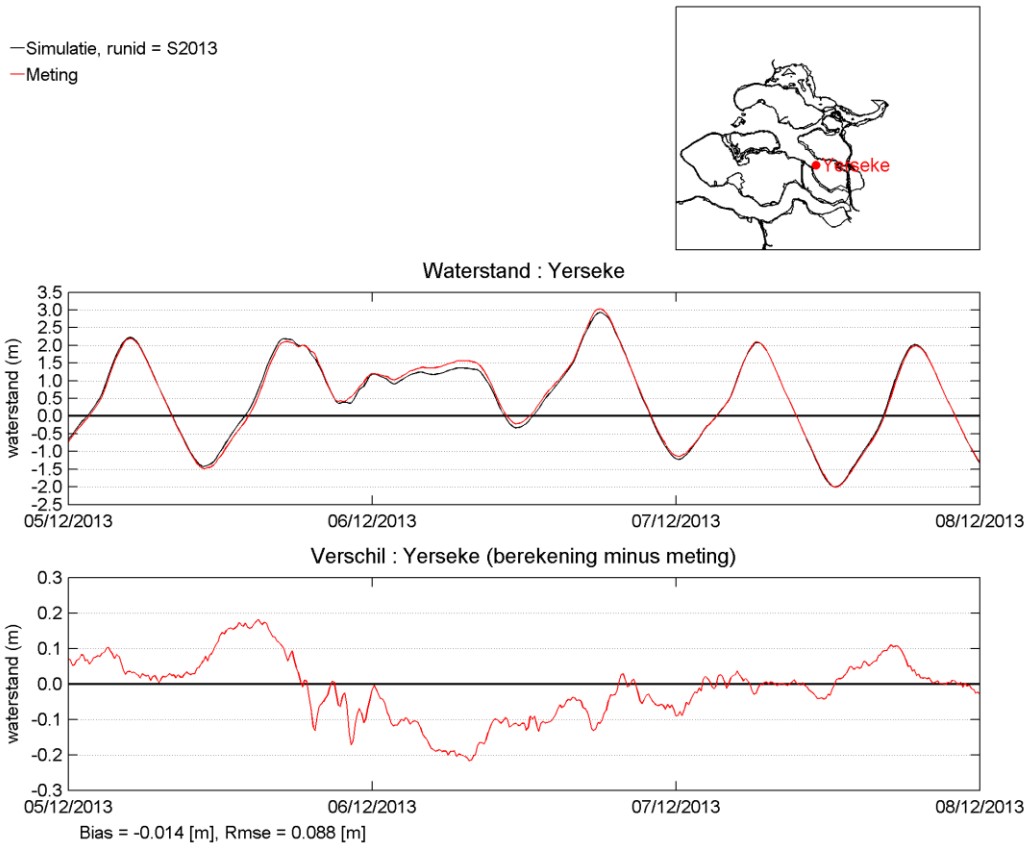


Waterstand : Krammersluizen Laagbekken

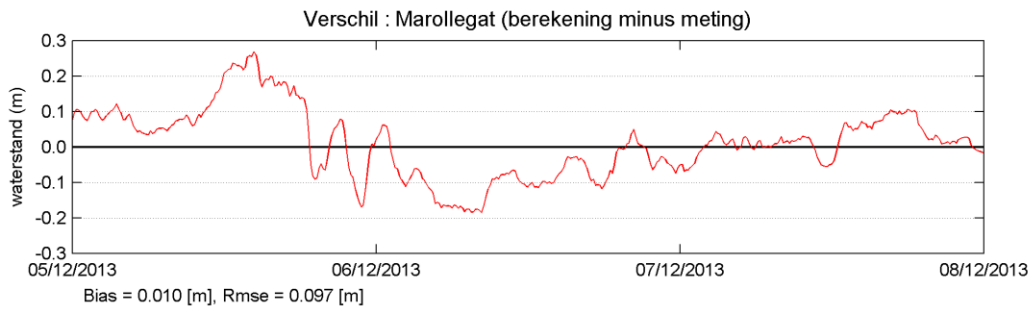
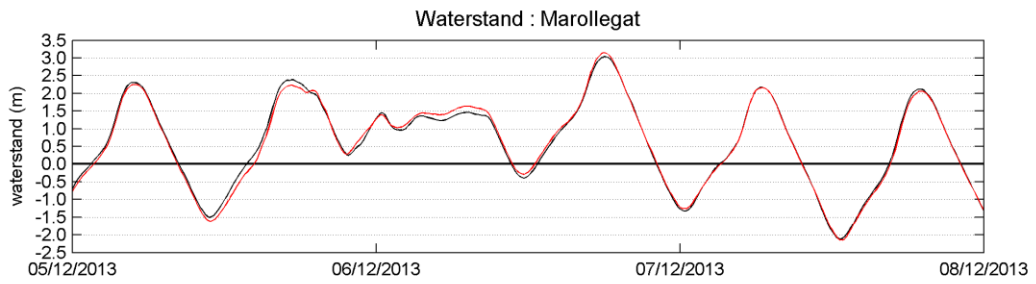
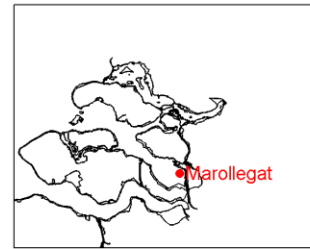


Vershil : Krammersluizen Laagbekken (berekening minus meting)





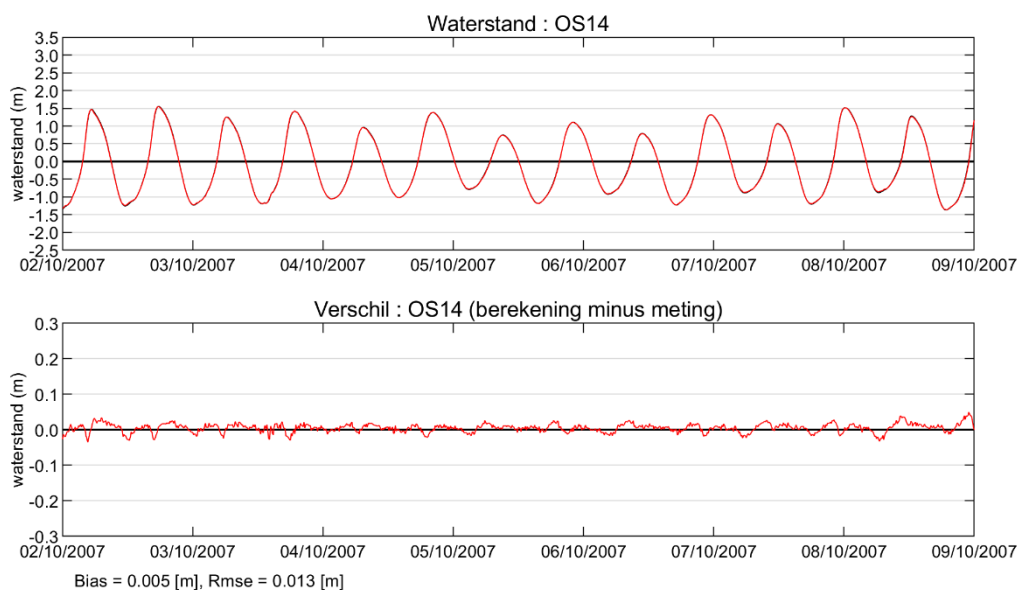
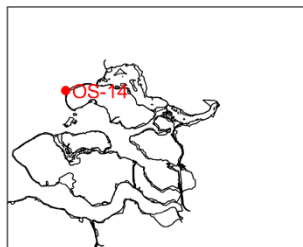
— Simulatie, runid = S2013
— Meting



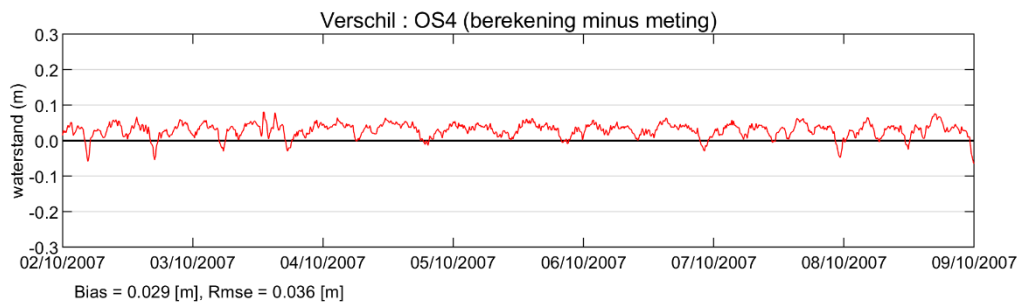
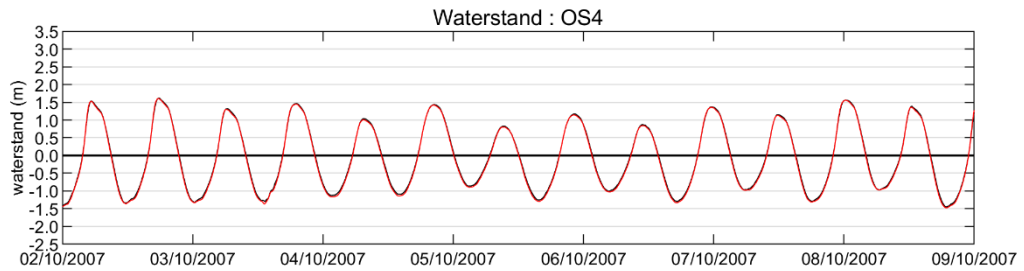
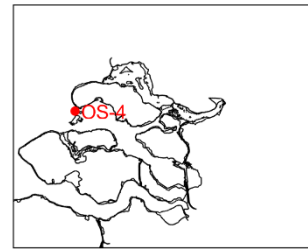
G.4 Waterstanden 2007

G.4.1 Periode 02-10-2007 t/m 09-10-2007

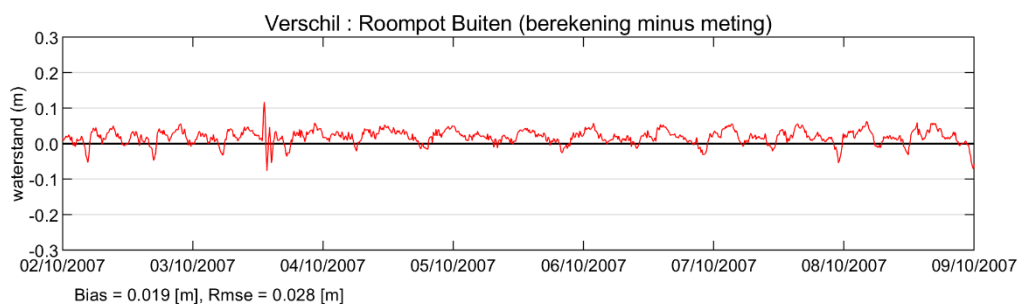
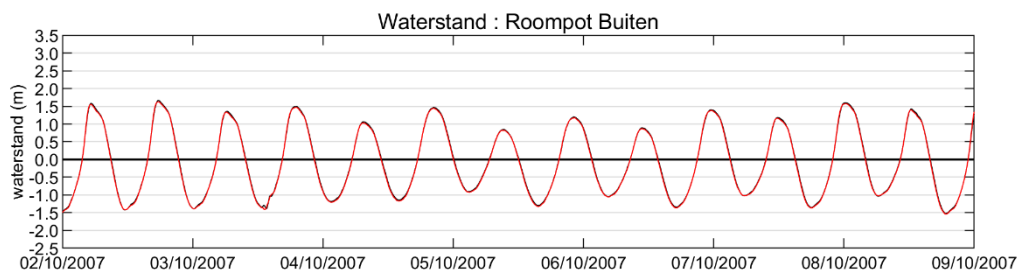
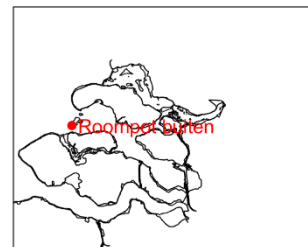
mulatie, runid = FM-Oosterschelde
eting



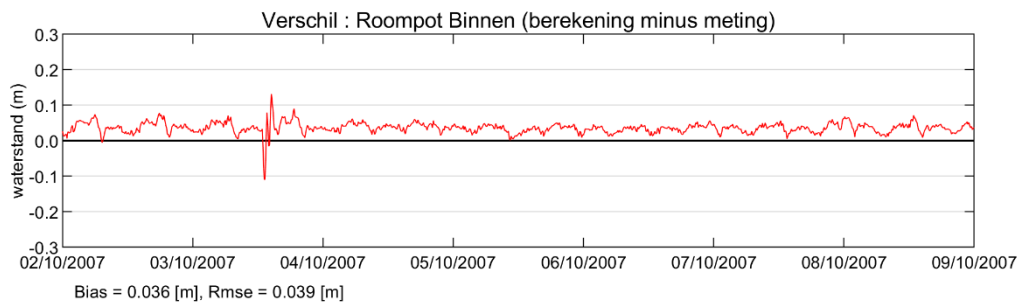
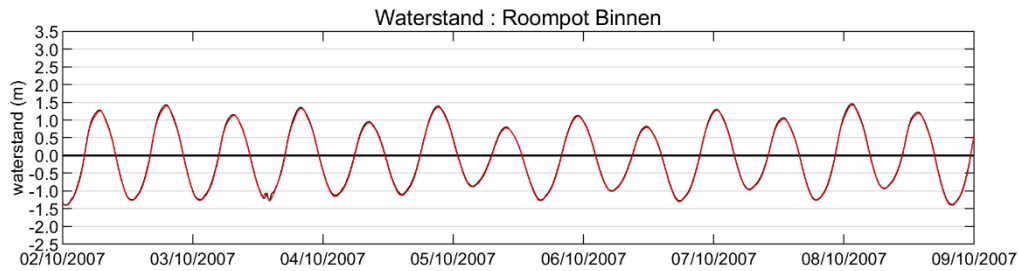
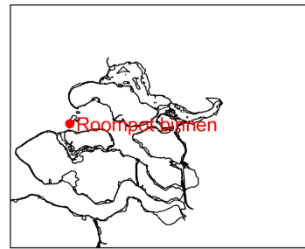
mulatie, runid = FM-Oosterschelde
 eting



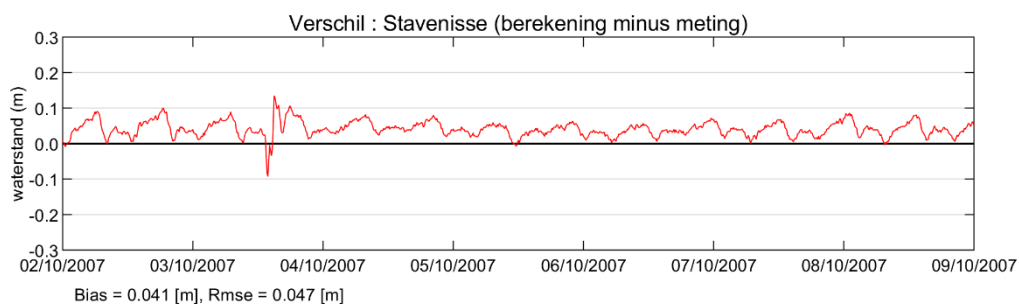
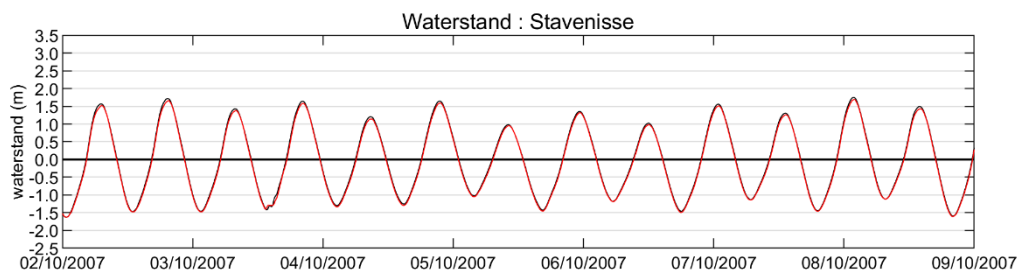
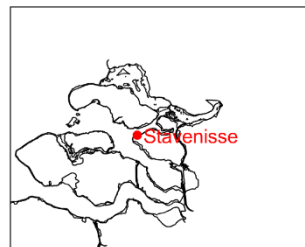
mulatie, runid = FM-Oosterschelde
 eting



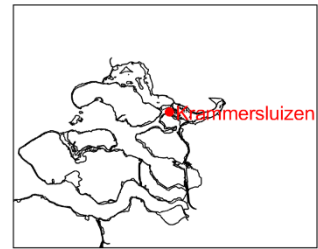
mulatie, runid = FM-Oosterschelde
eting



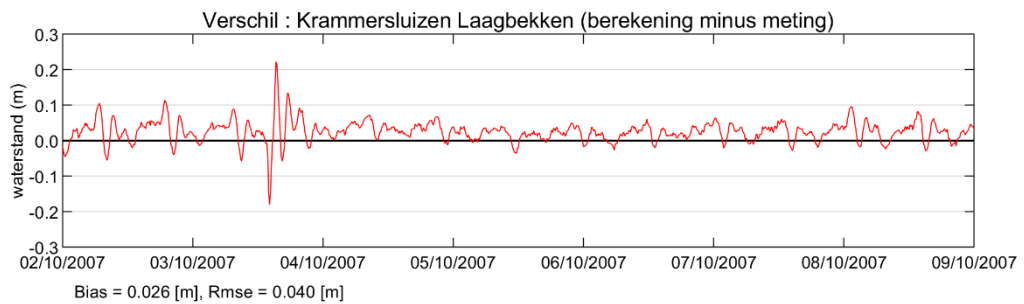
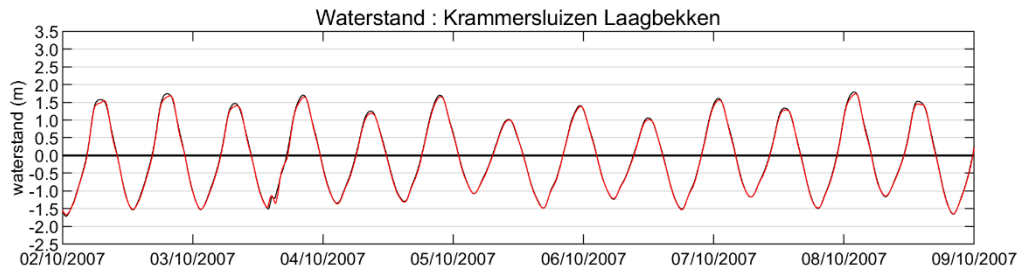
mulatie, runid = FM-Oosterschelde
eting



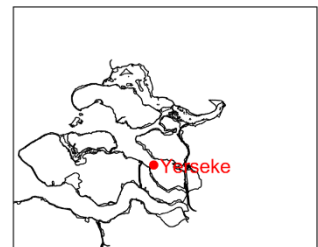
mulatie, runid = FM-Oosterschelde
 eting



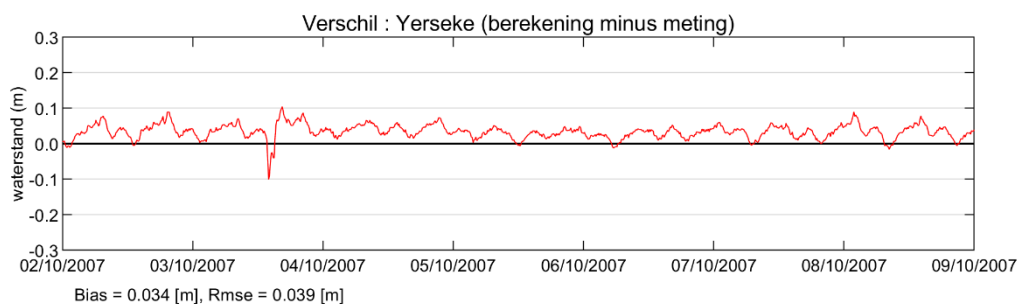
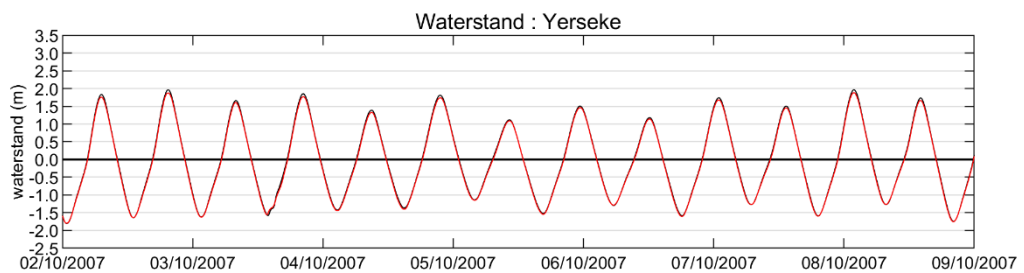
Krammersluizen West



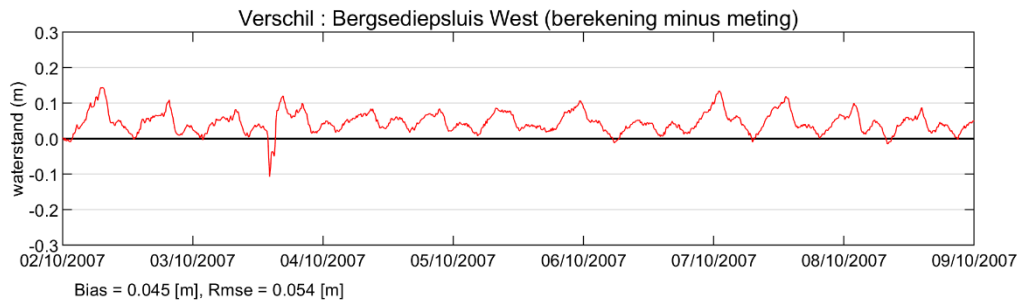
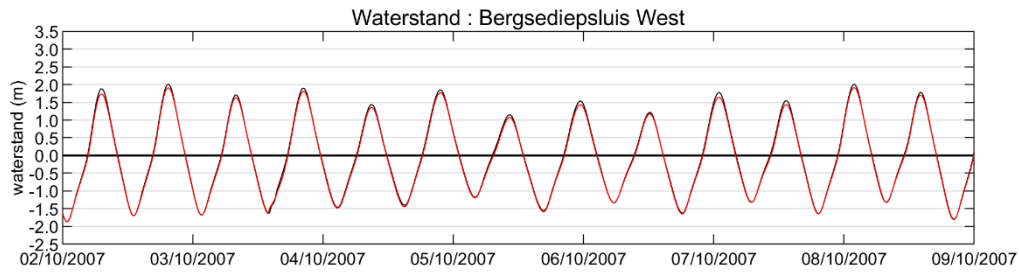
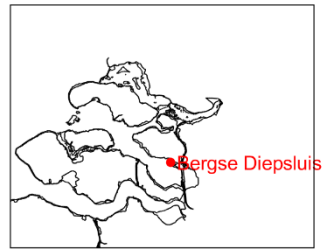
mulatie, runid = FM-Oosterschelde
 eting



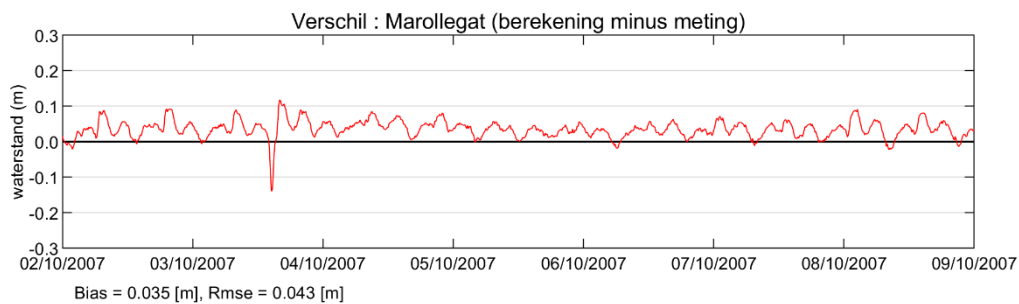
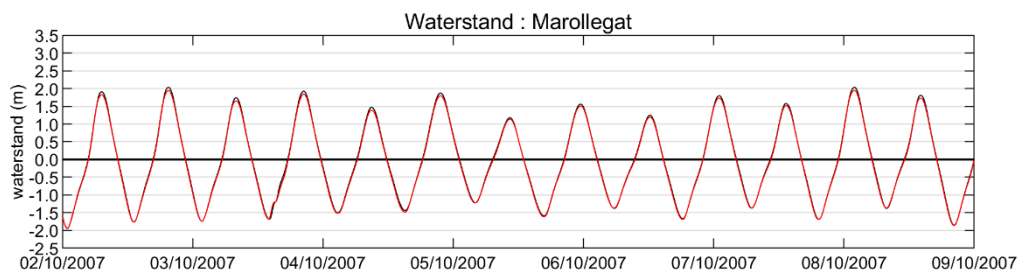
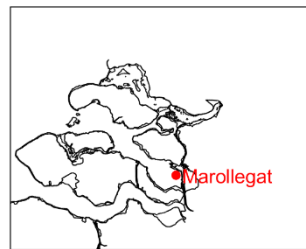
Yerseke



mulatie, runid = FM-Oosterschelde
eting

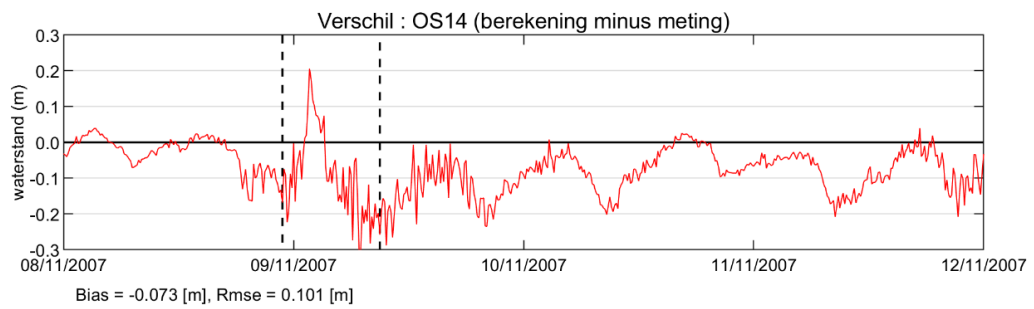
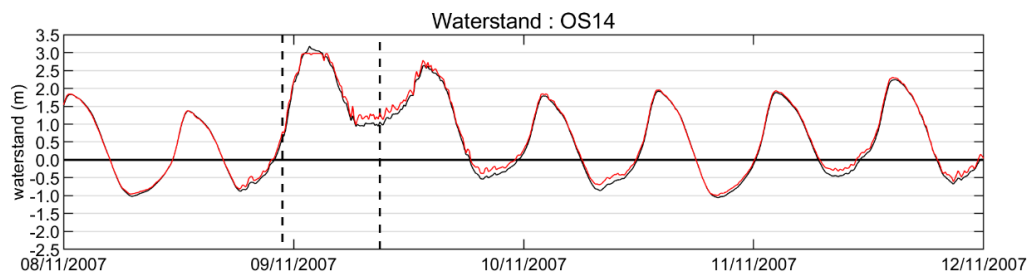
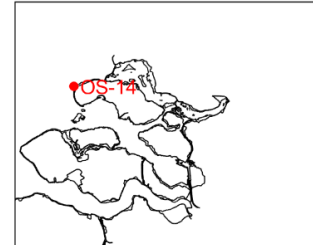


mulatie, runid = FM-Oosterschelde
eting

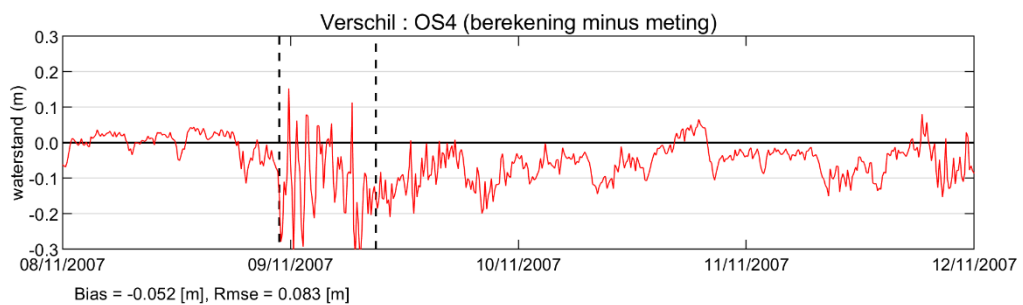
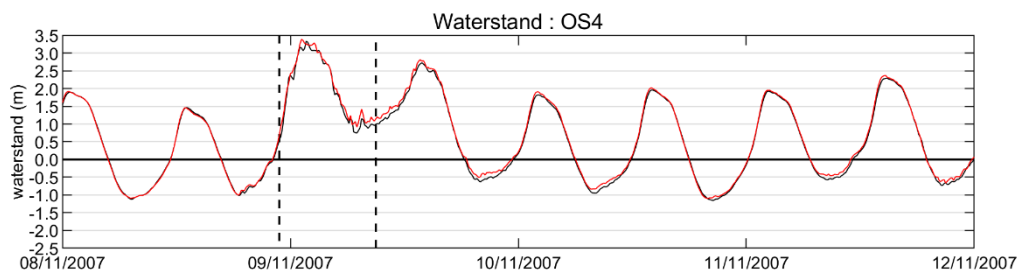
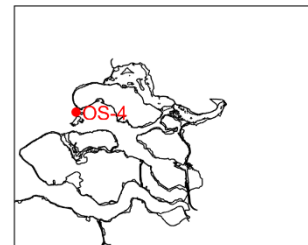


G.4.2 Periode 08-11-2007 t/m 11-12-2007

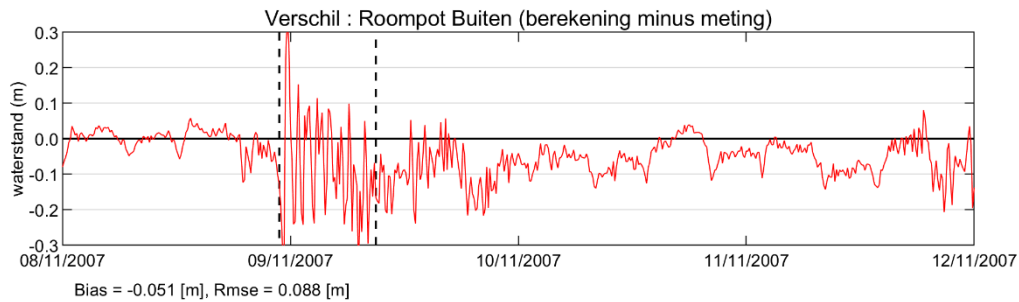
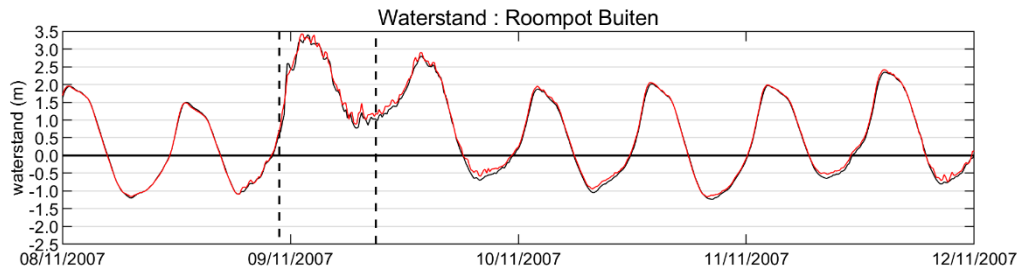
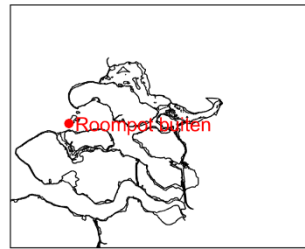
mulatie, runid = FM-Oosterschelde
eting



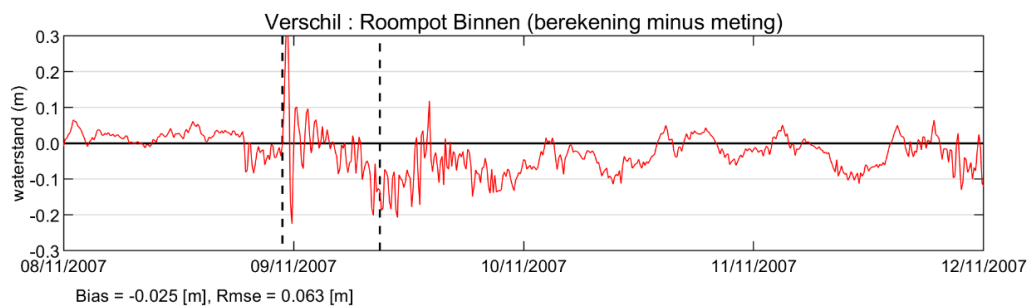
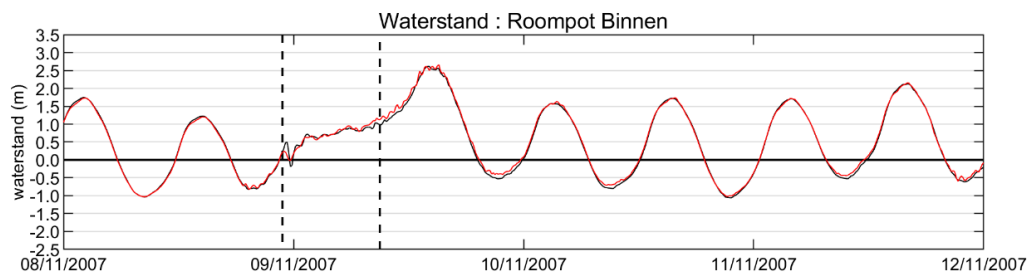
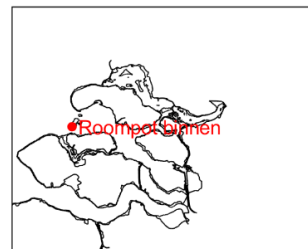
mulatie, runid = FM-Oosterschelde
eting



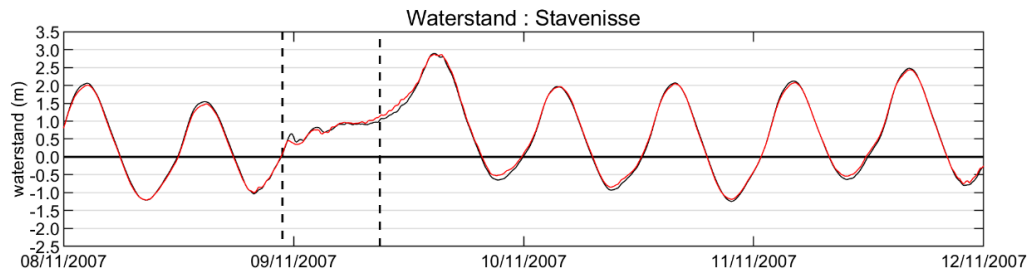
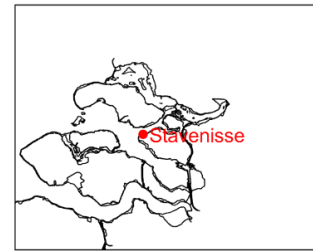
mulatie, runid = FM-Oosterschelde
eting



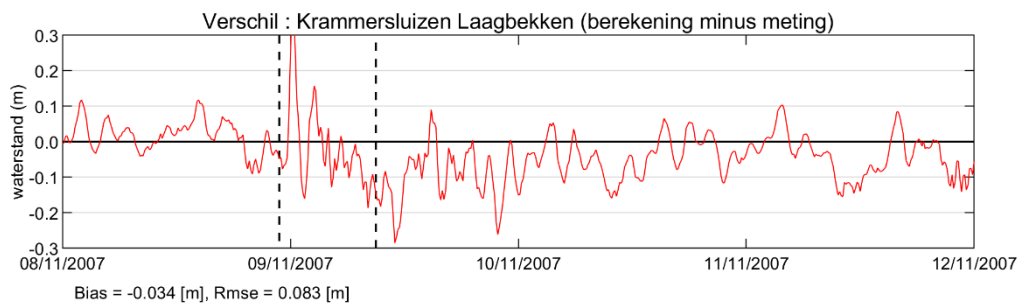
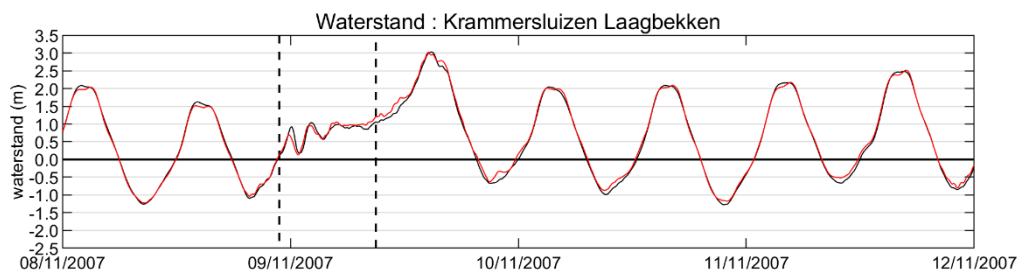
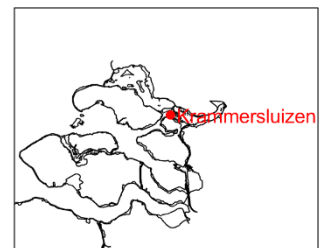
mulatie, runid = FM-Oosterschelde
eting



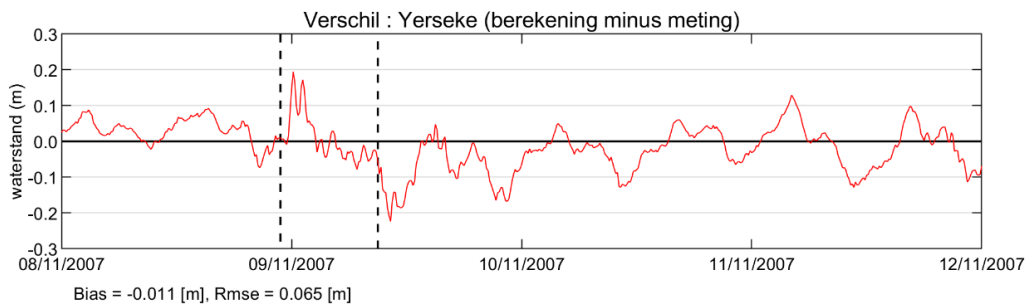
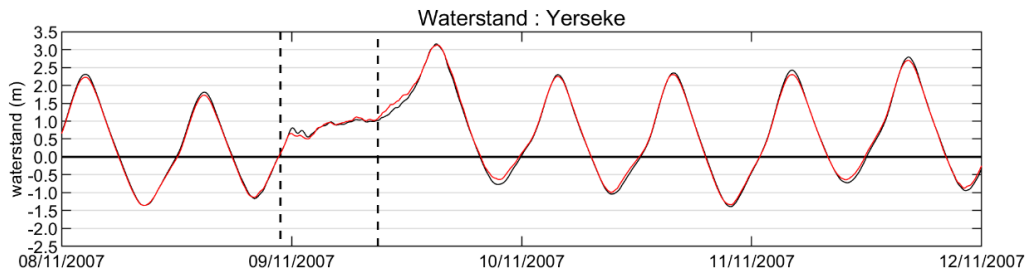
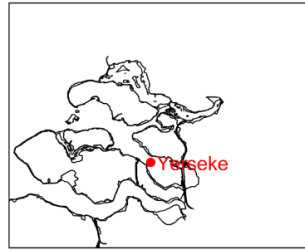
mulatie, runid = FM-Oosterschelde
 eting



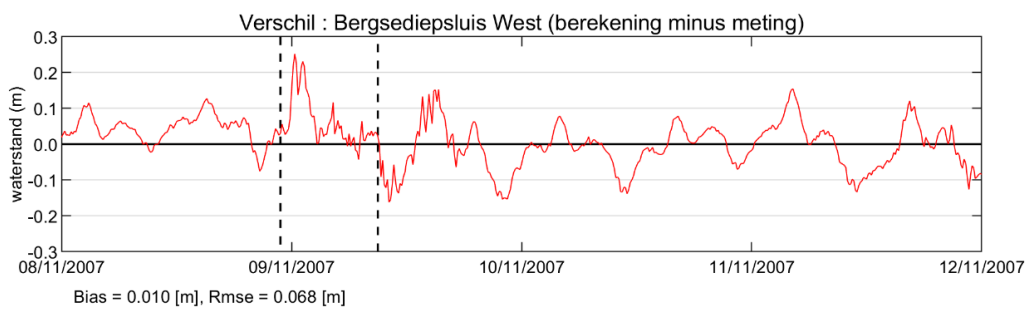
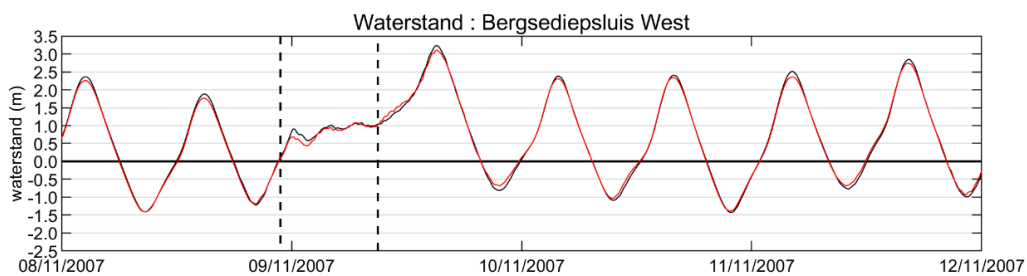
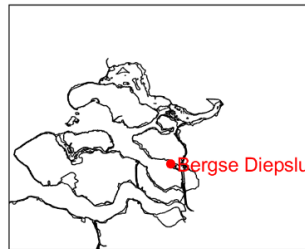
mulatie, runid = FM-Oosterschelde
 eting



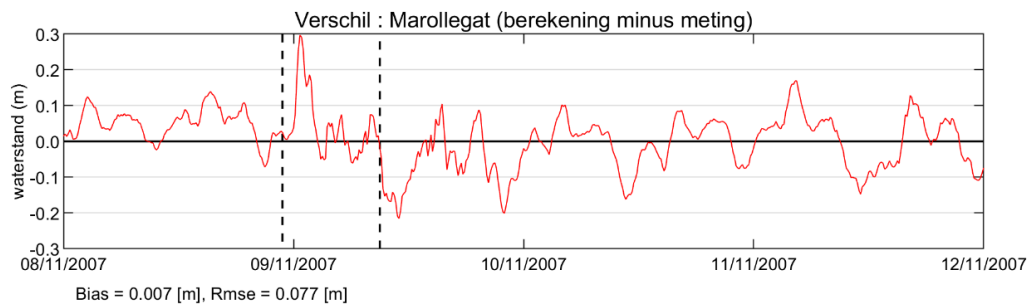
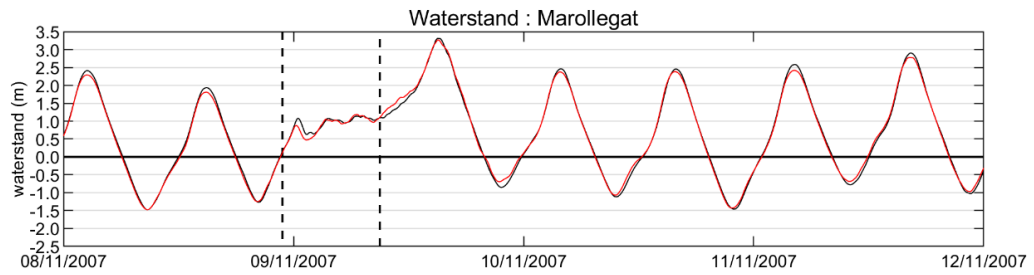
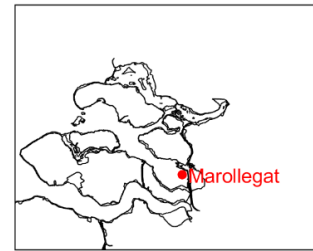
mulatie, runid = FM-Oosterschelde
eting



mulatie, runid = FM-Oosterschelde
eting

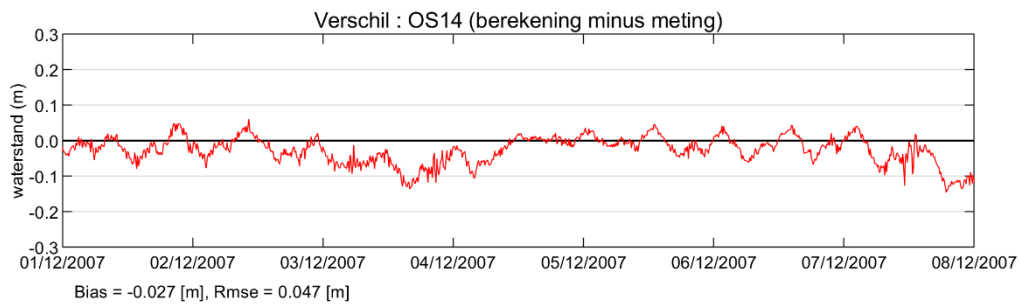
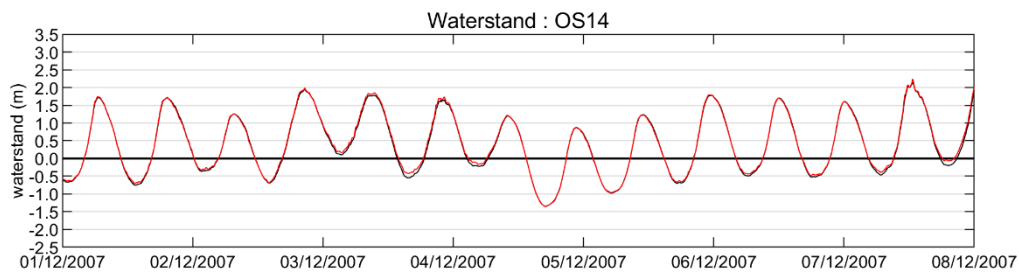
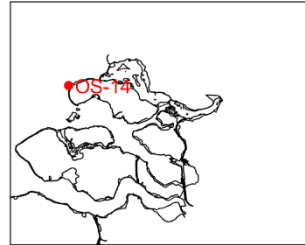


mulatie, runid = FM-Oosterschelde
eting

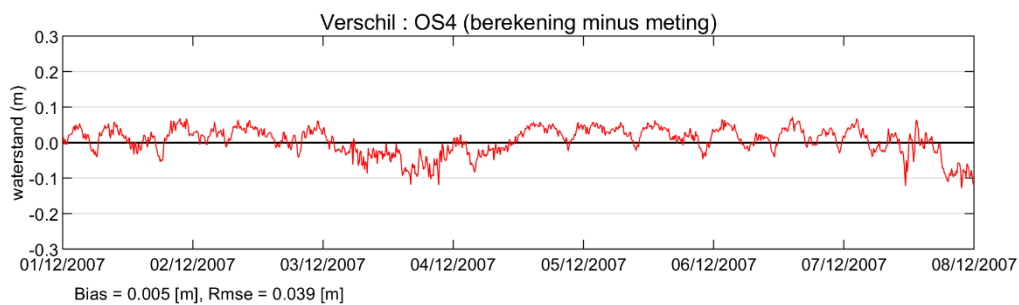
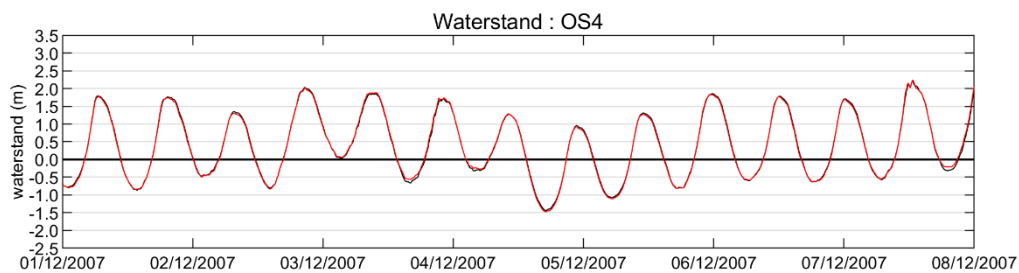
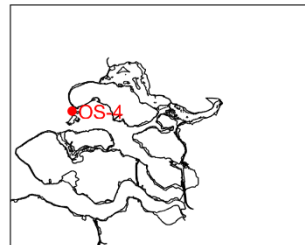


G.4.3 Periode 01-12-2007 t/m 08-12-2007

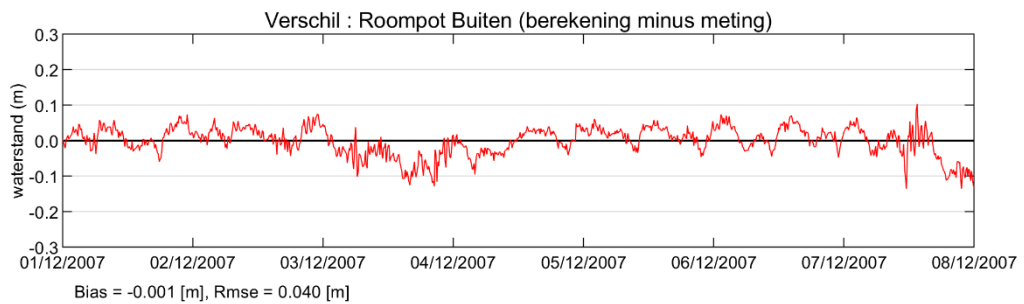
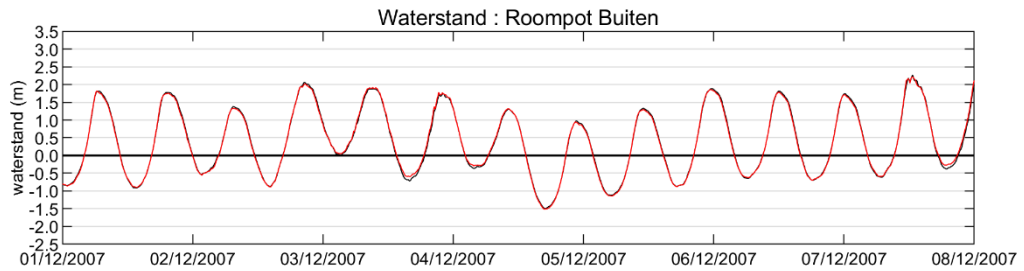
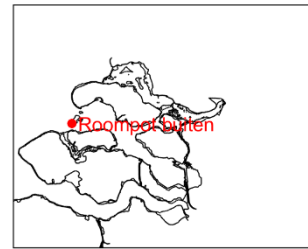
mulatie, runid = FM-Oosterschelde
eting



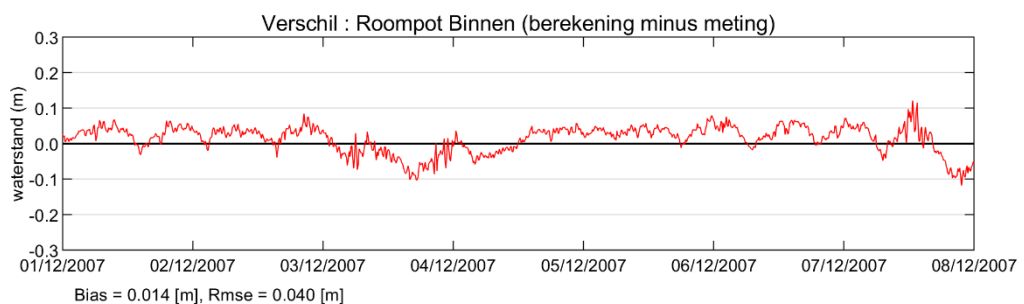
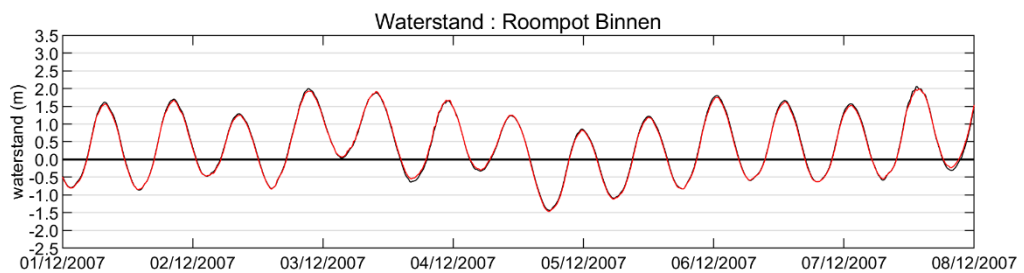
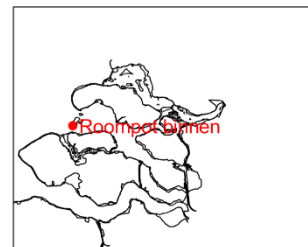
mulatie, runid = FM-Oosterschelde
eting



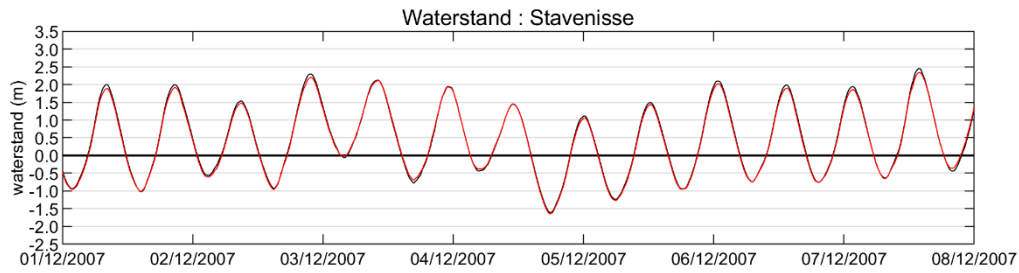
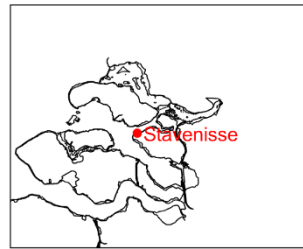
mulatie, runid = FM-Oosterschelde
 eting



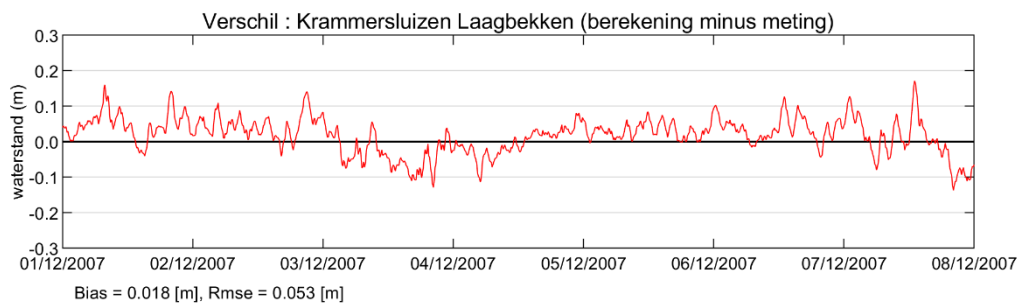
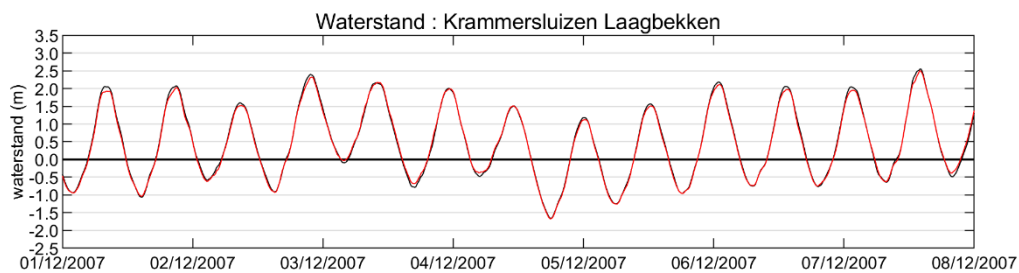
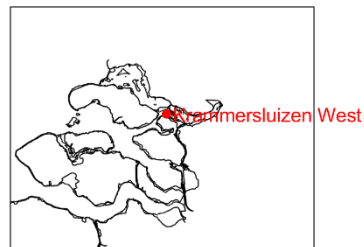
mulatie, runid = FM-Oosterschelde
 eting



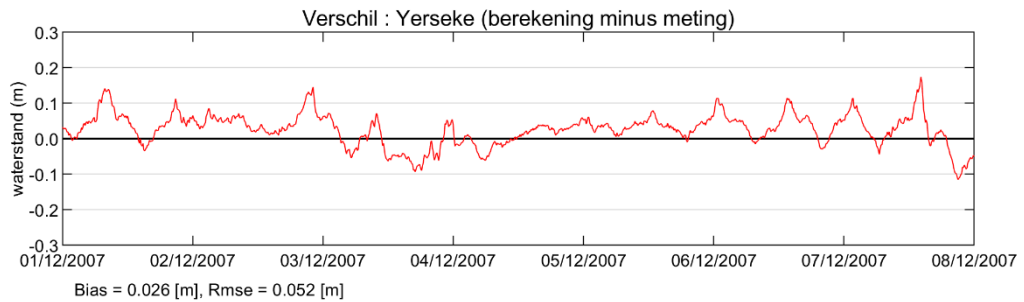
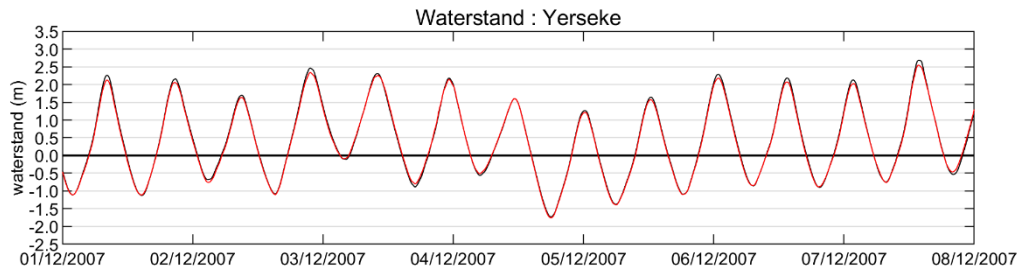
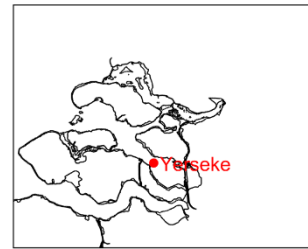
mulatie, runid = FM-Oosterschelde
eting



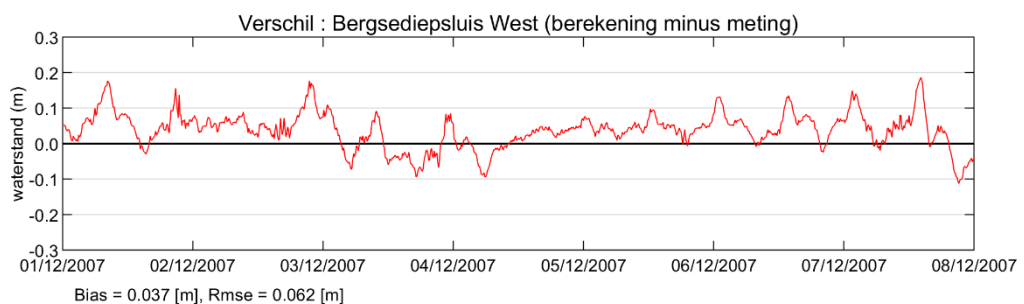
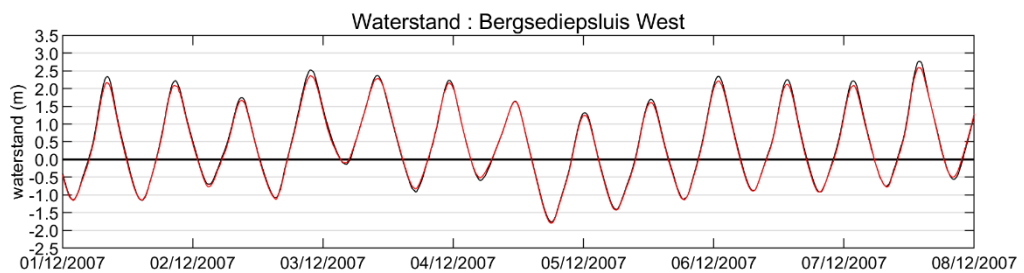
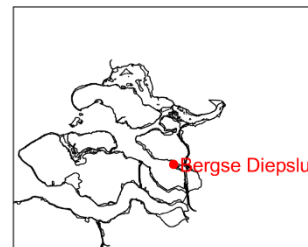
mulatie, runid = FM-Oosterschelde
eting



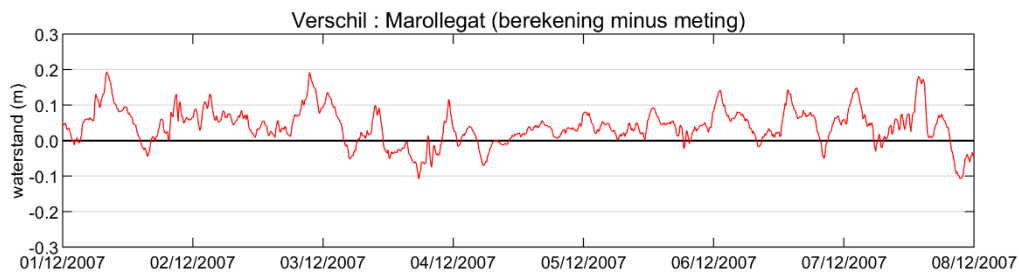
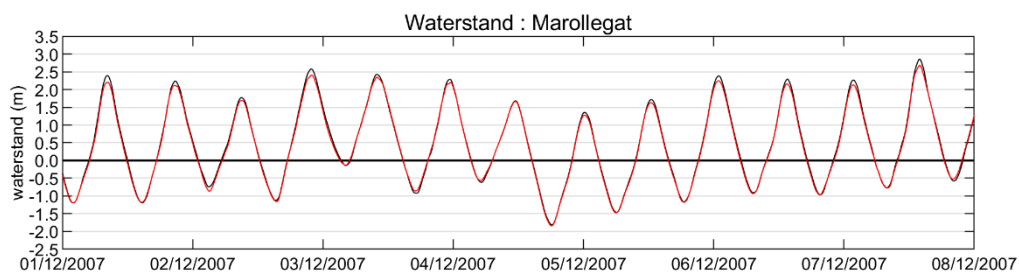
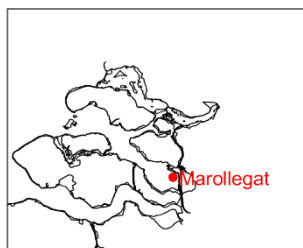
mulatie, runid = FM-Oosterschelde
 eting



mulatie, runid = FM-Oosterschelde
 eting



mulatie, runid = FM-Oosterschelde
eting

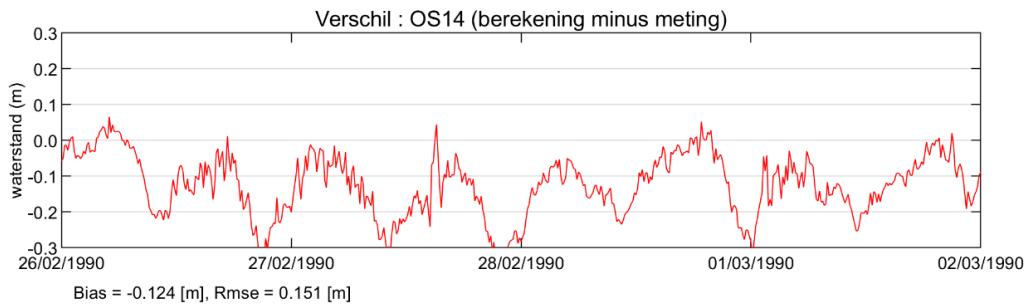
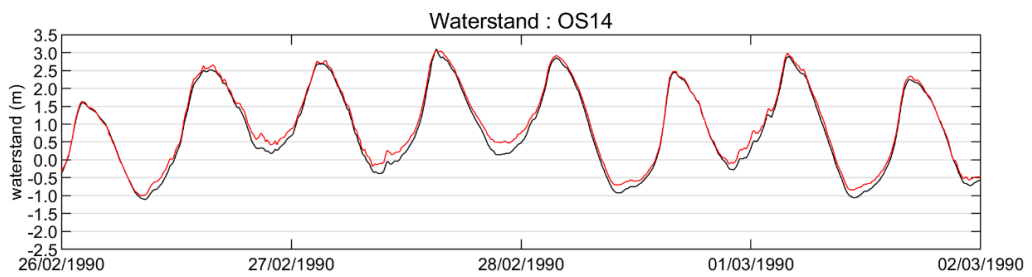
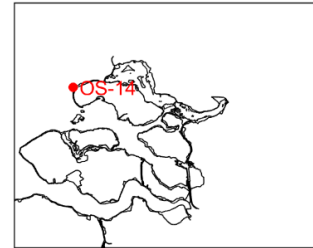


Bias = 0.040 [m], Rmse = 0.064 [m]

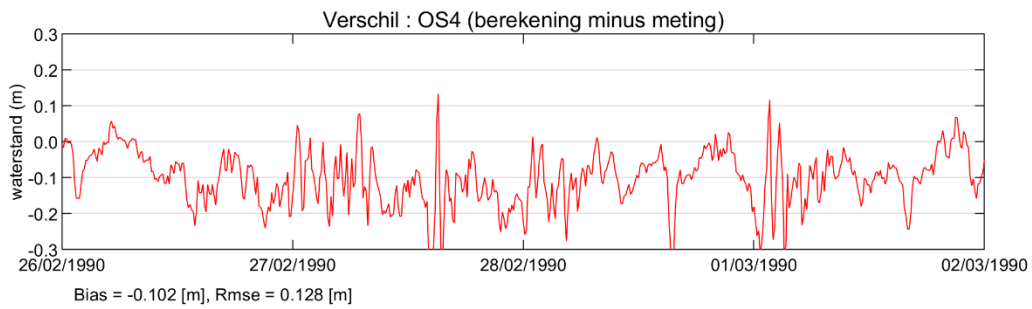
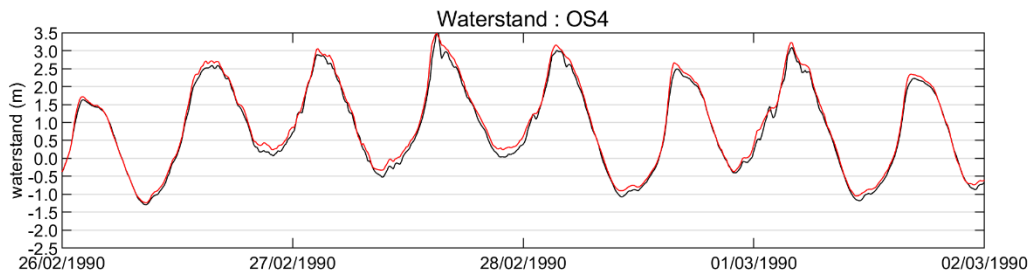
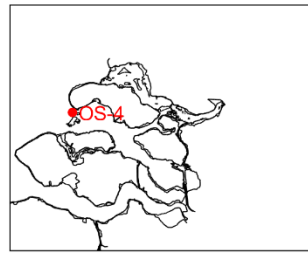
G.5 Waterstanden keringsluitingen 1990

G.5.1 Periode 26-02-1990 t/m 03-02-1990

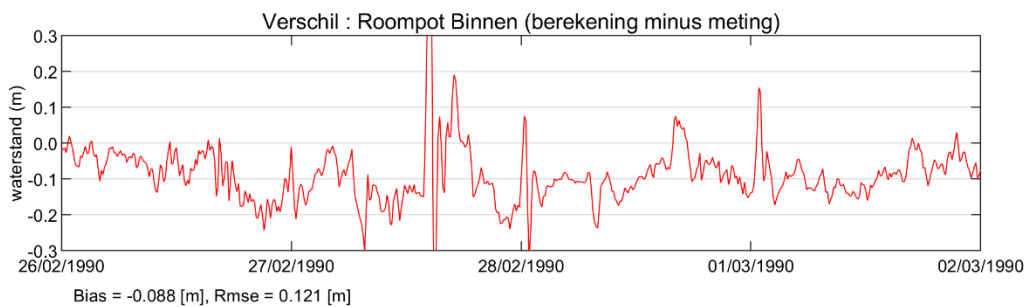
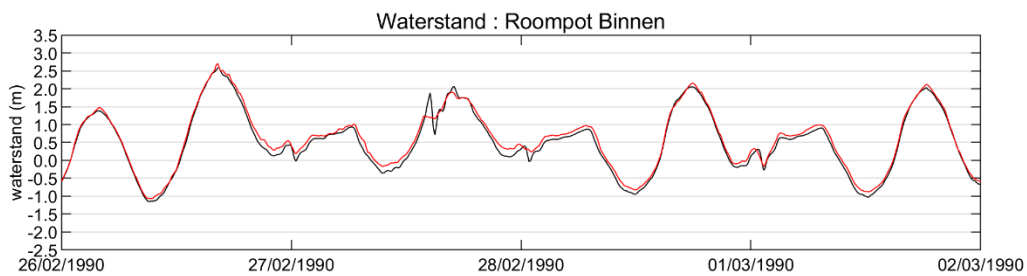
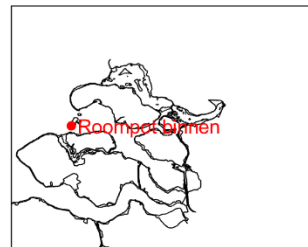
— Simulatie, runid = FM-Oosterschelde
 — Meting



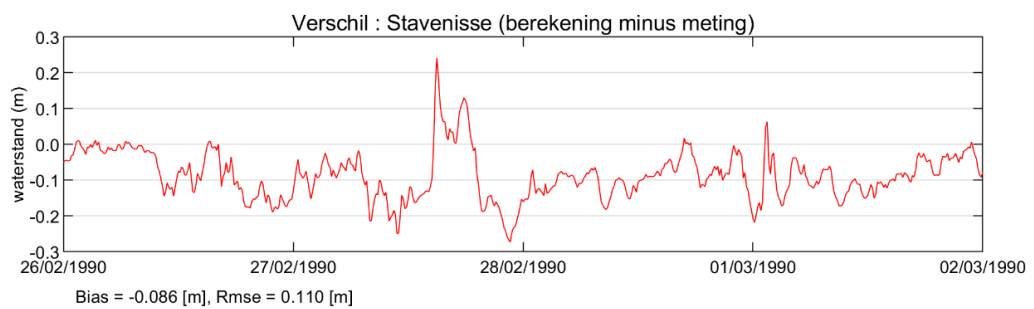
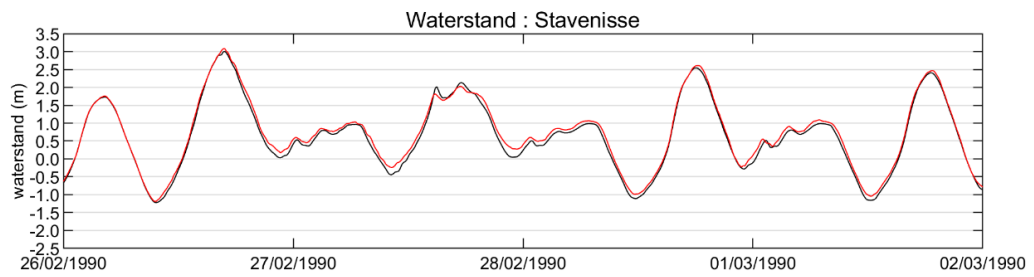
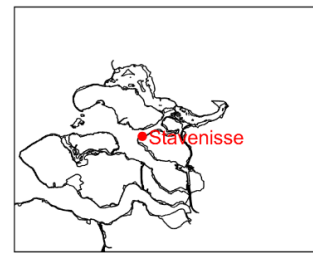
— Simulatie, runid = FM-Oosterschelde
 — Meting



— Simulatie, runid = FM-Oosterschelde
 — Meting

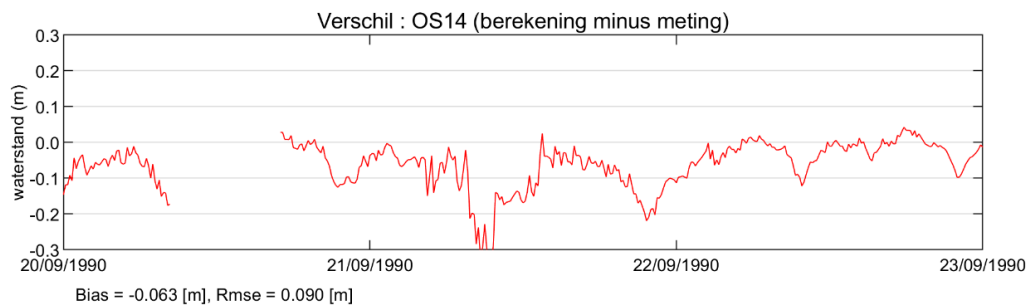
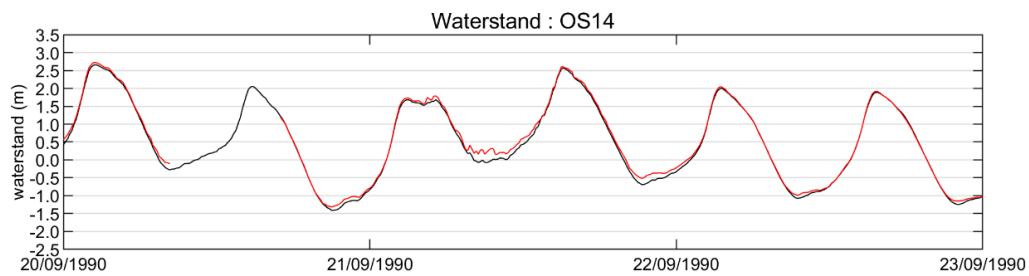
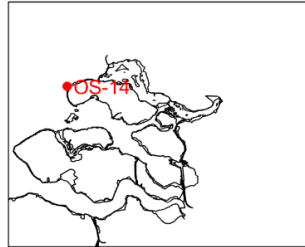


— Simulatie, runid = FM-Oosterschelde
— Meting

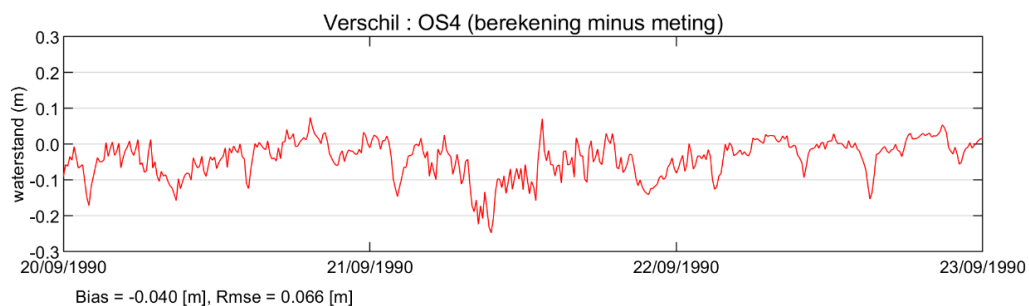
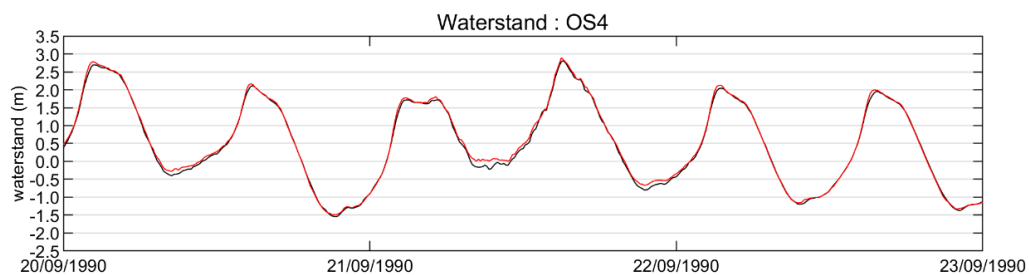
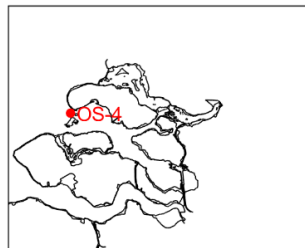


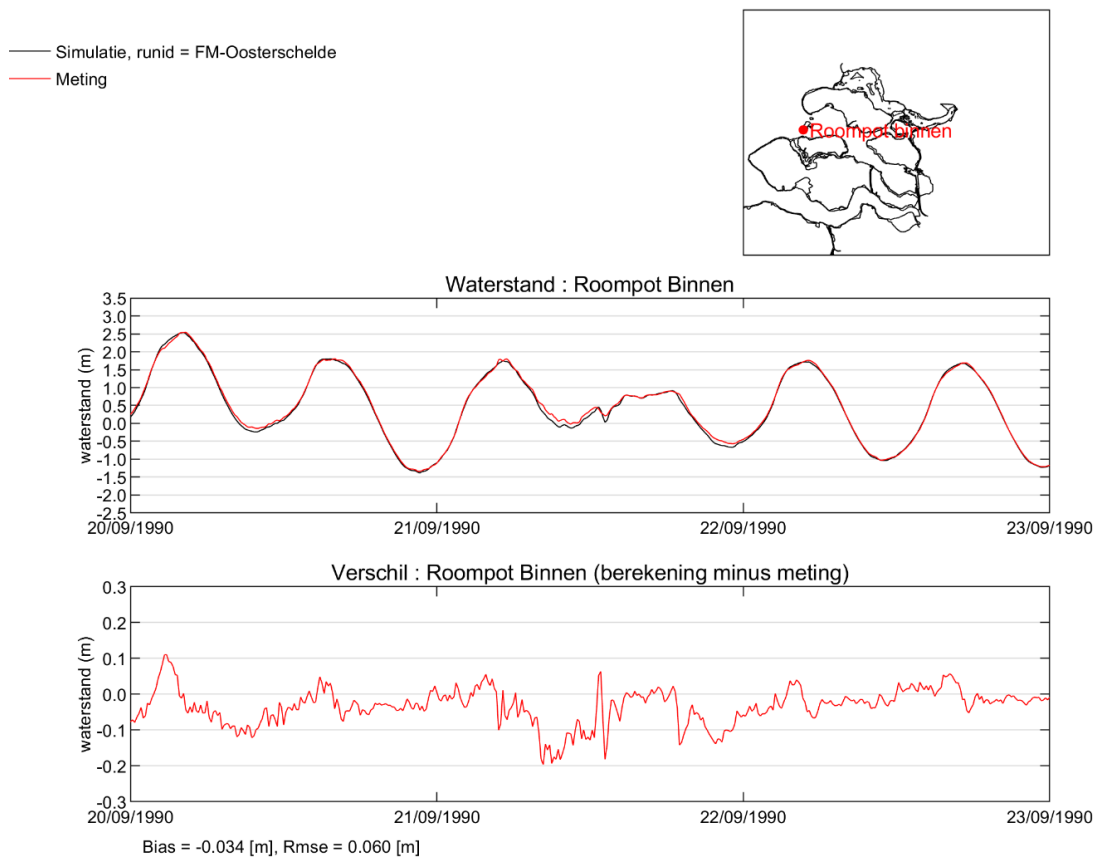
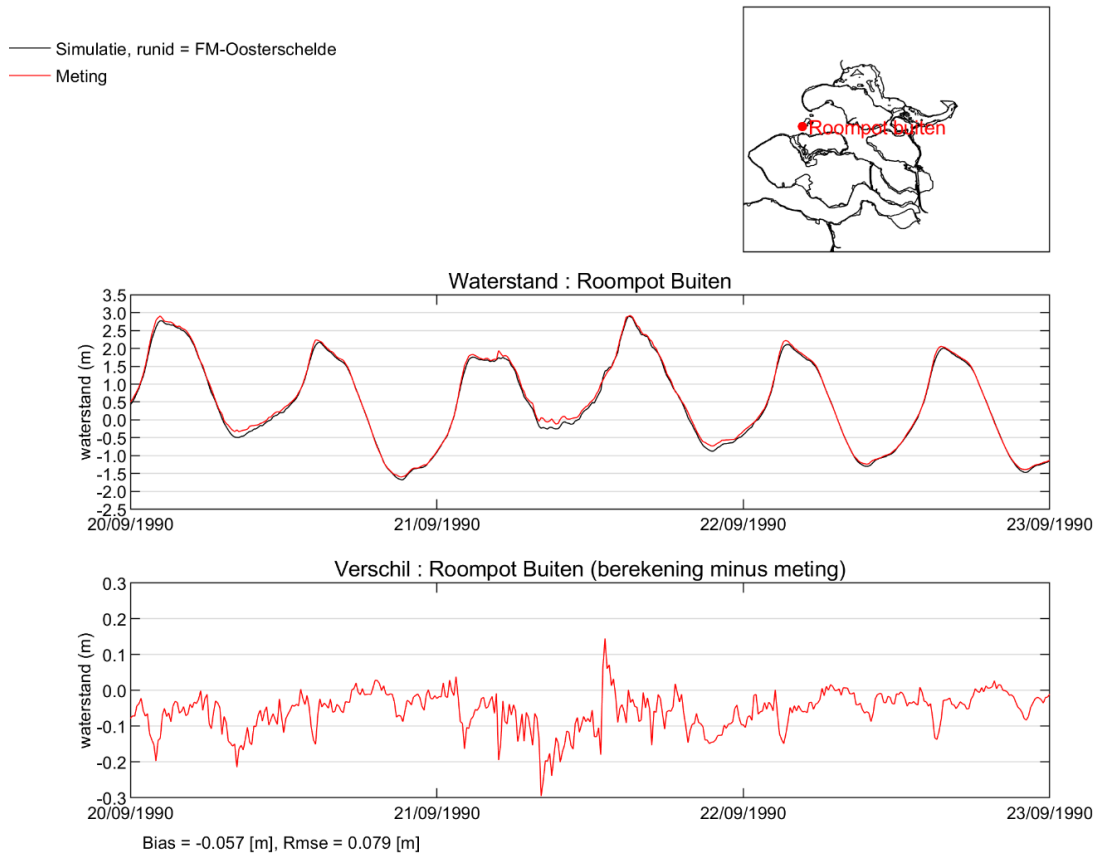
G.5.2 Periode 20-09-1990 t/m 23-09-1990

— Simulatie, runid = FM-Oosterschelde
 — Meting

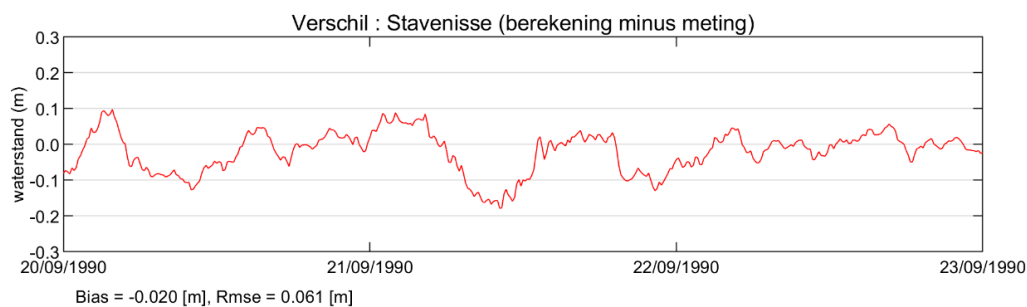
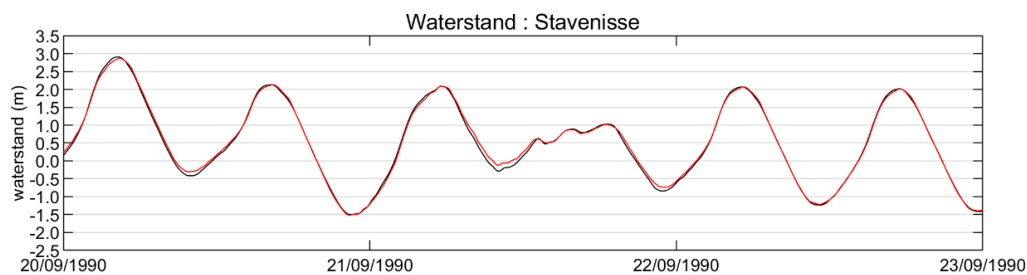
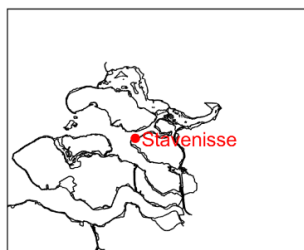


— Simulatie, runid = FM-Oosterschelde
 — Meting



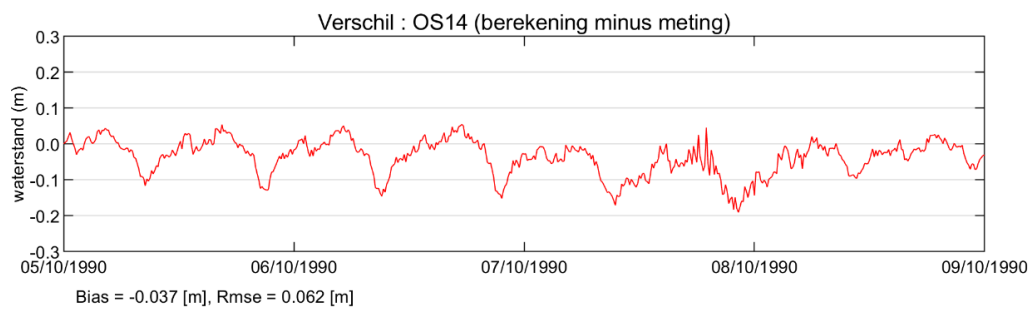
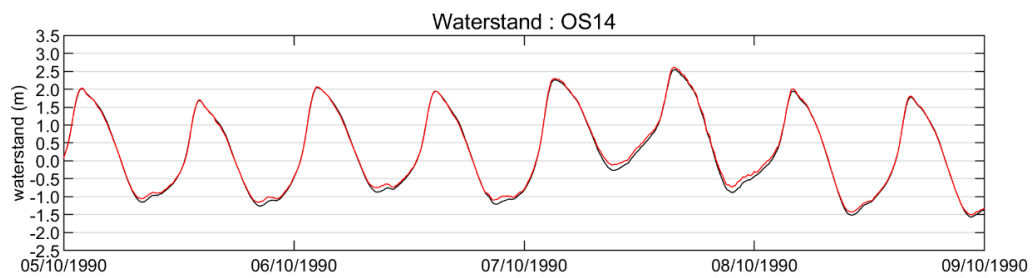
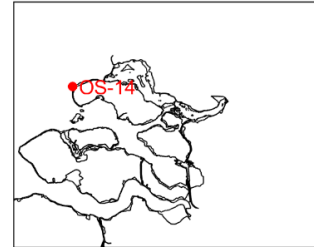


— Simulatie, runid = FM-Oosterschelde
— Meting

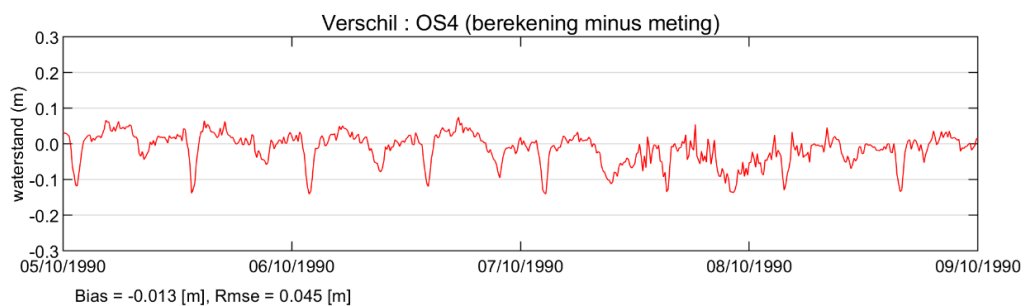
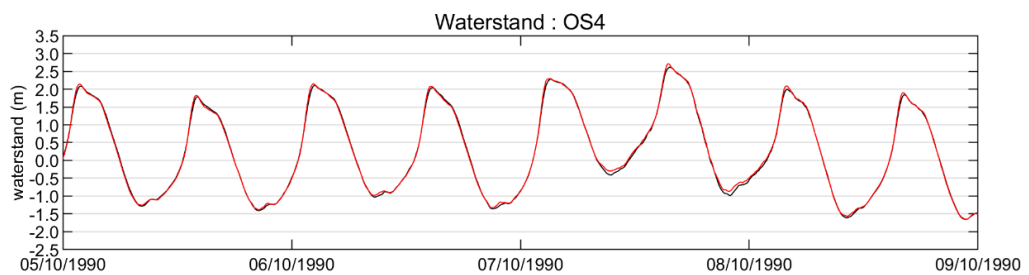
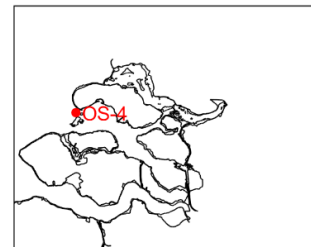


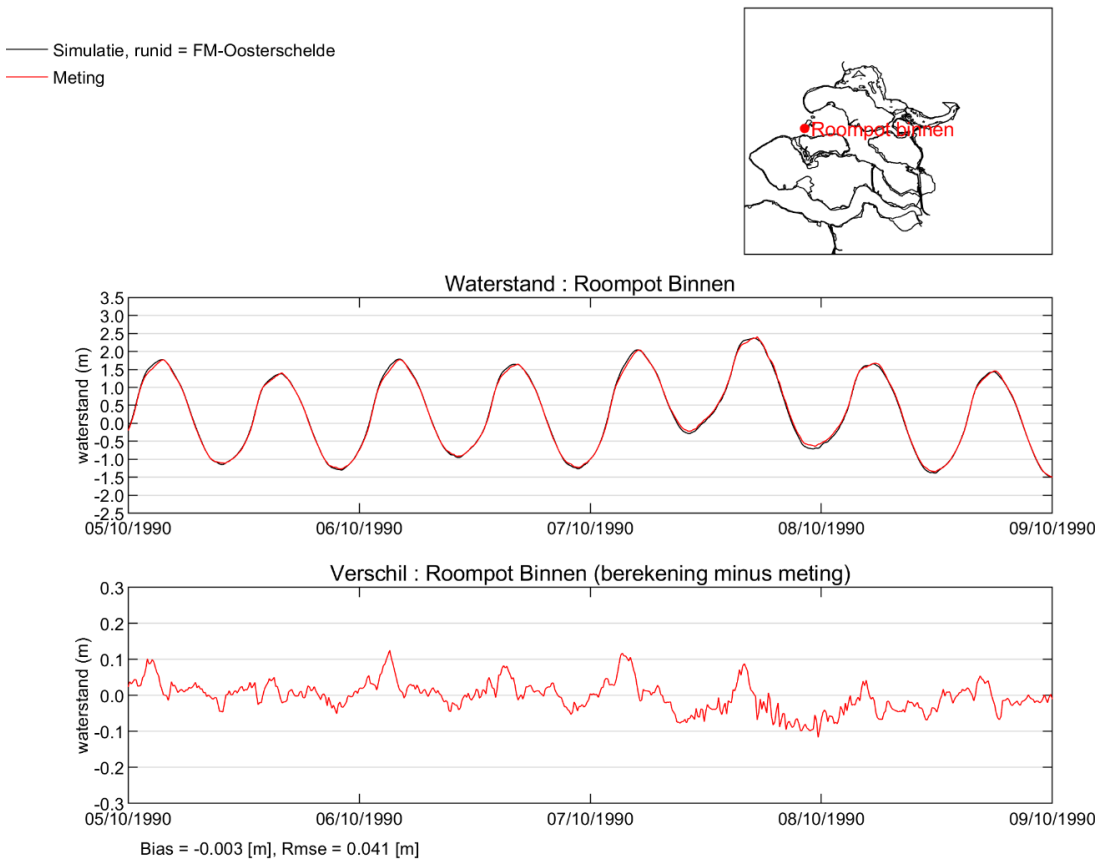
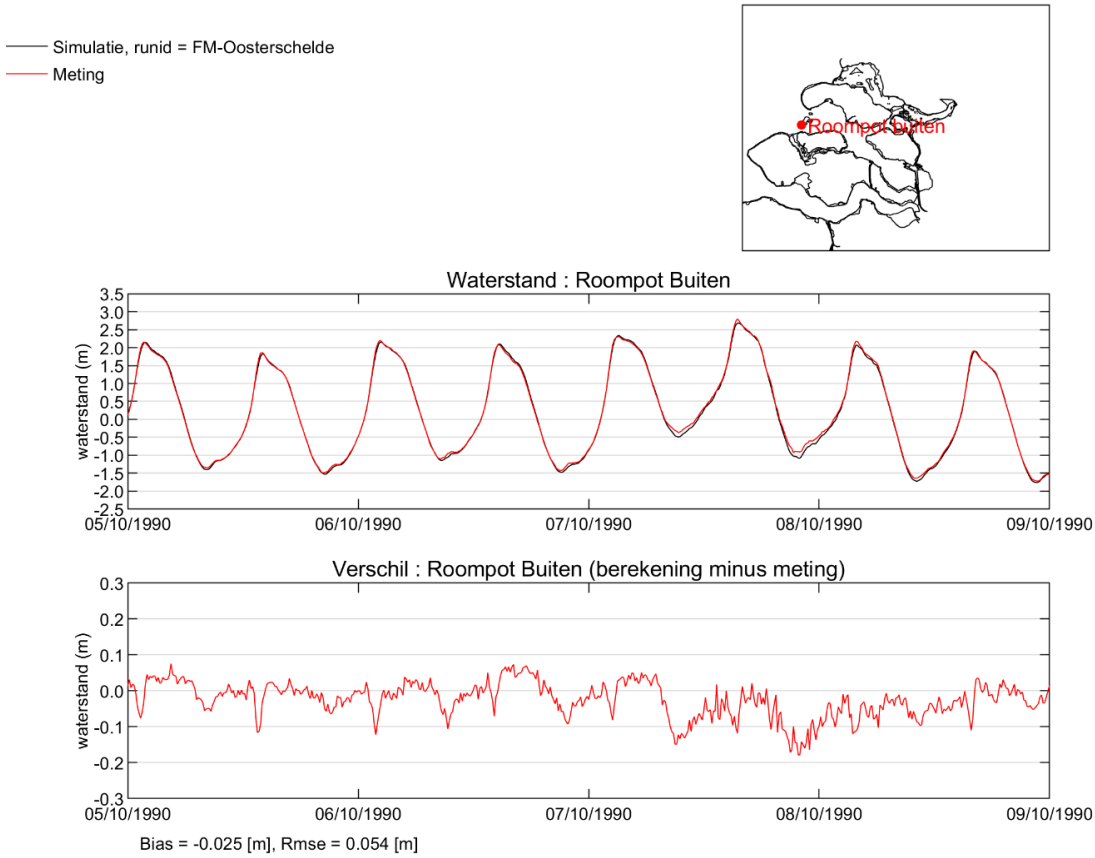
G.5.3 Periode 05-10-1990 t/m 09-10-1990

— Simulatie, runid = FM-Oosterschelde
 — Meting

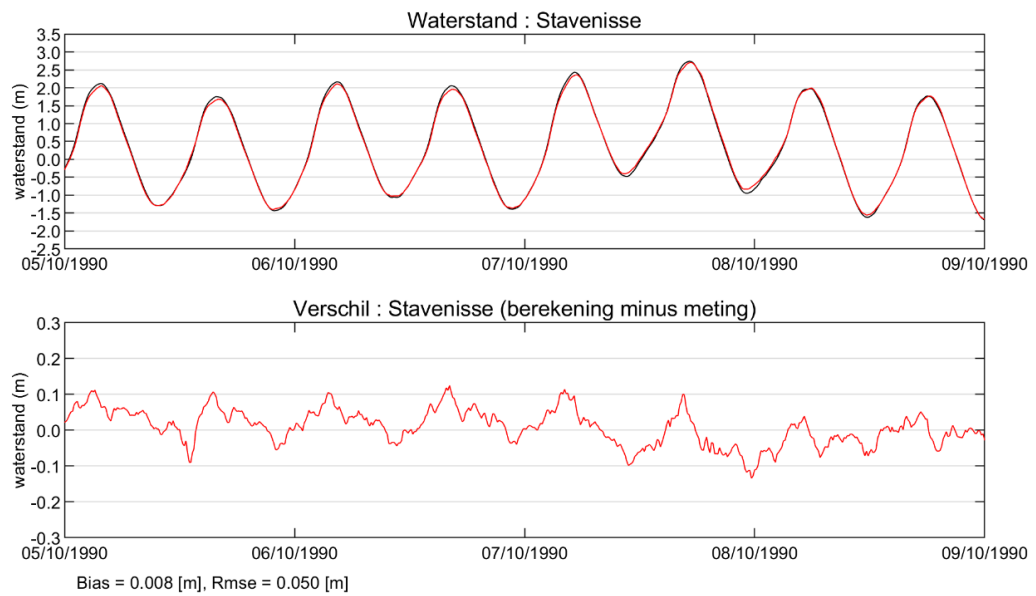
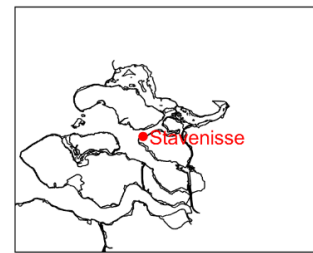


— Simulatie, runid = FM-Oosterschelde
 — Meting



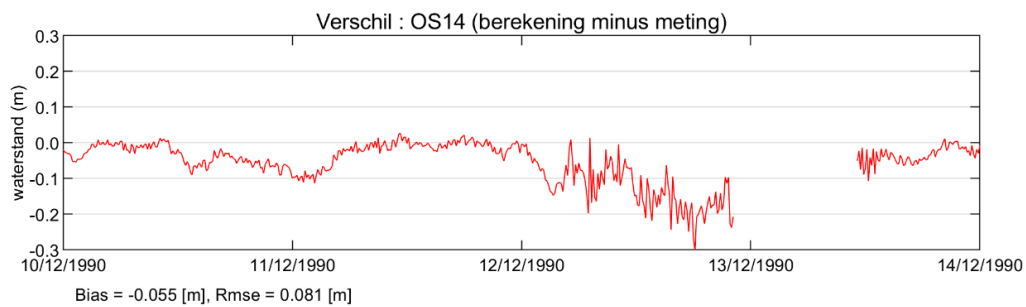
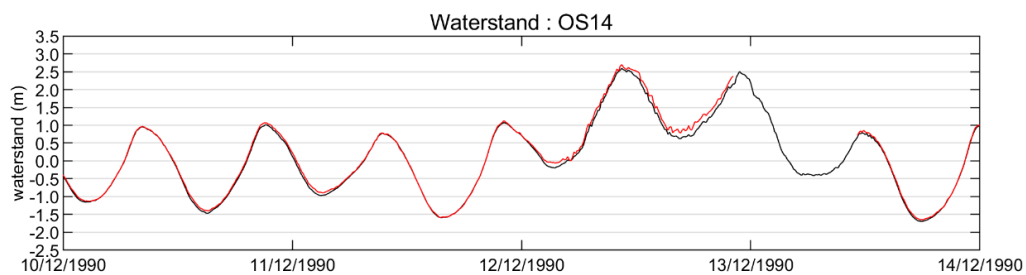
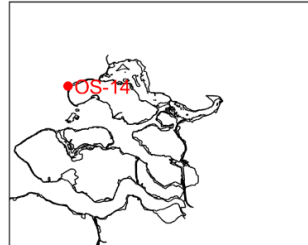


— Simulatie, runid = FM-Oosterschelde
— Meting

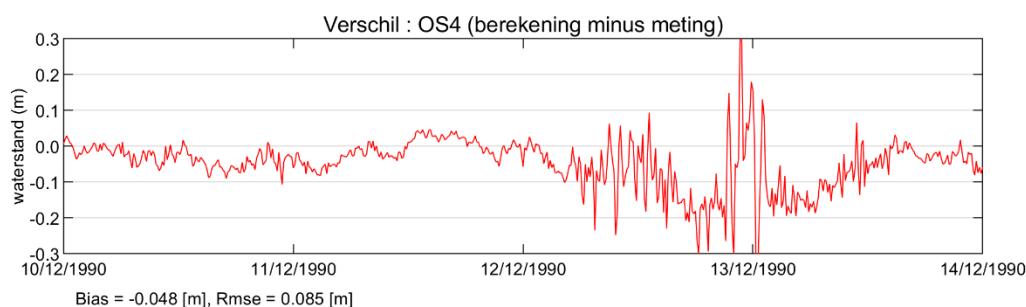
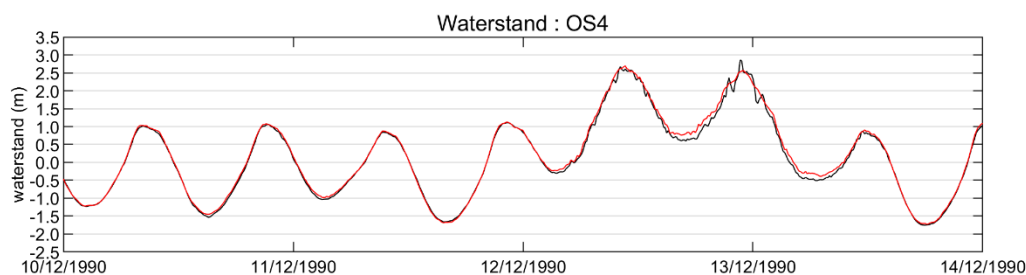
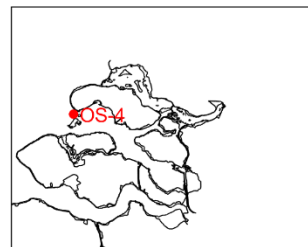


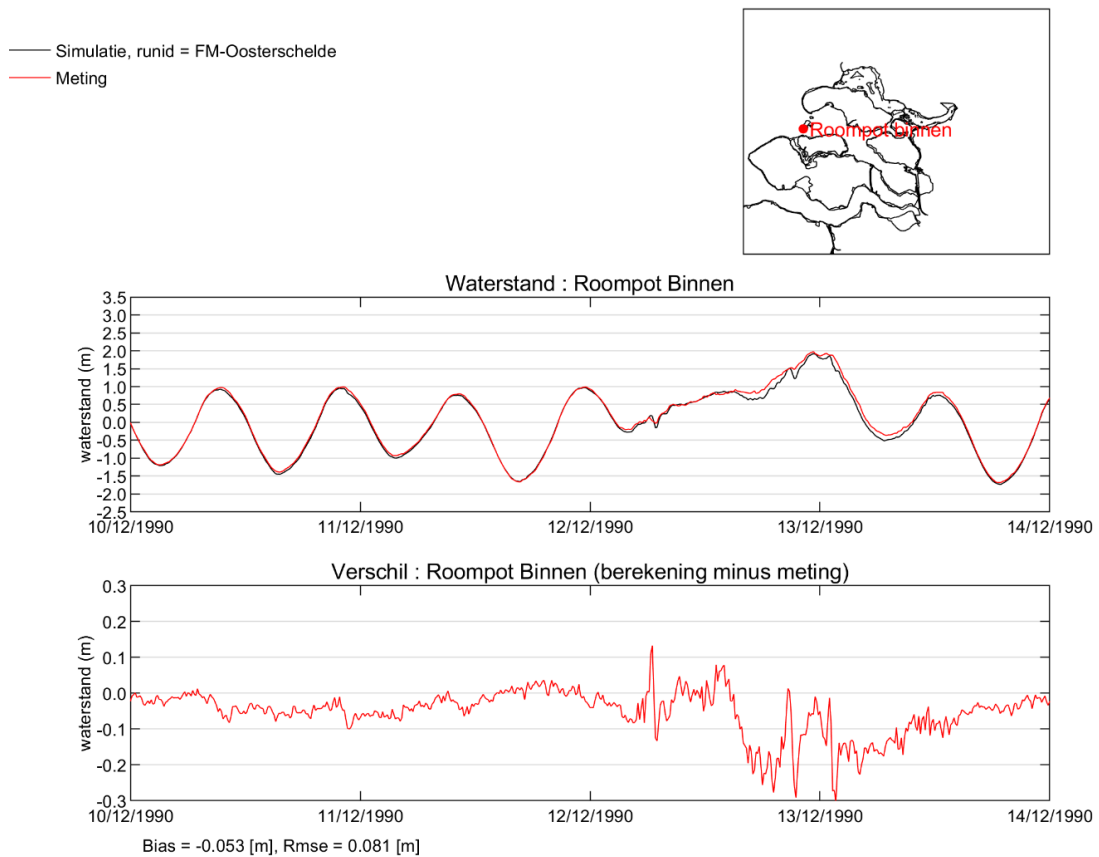
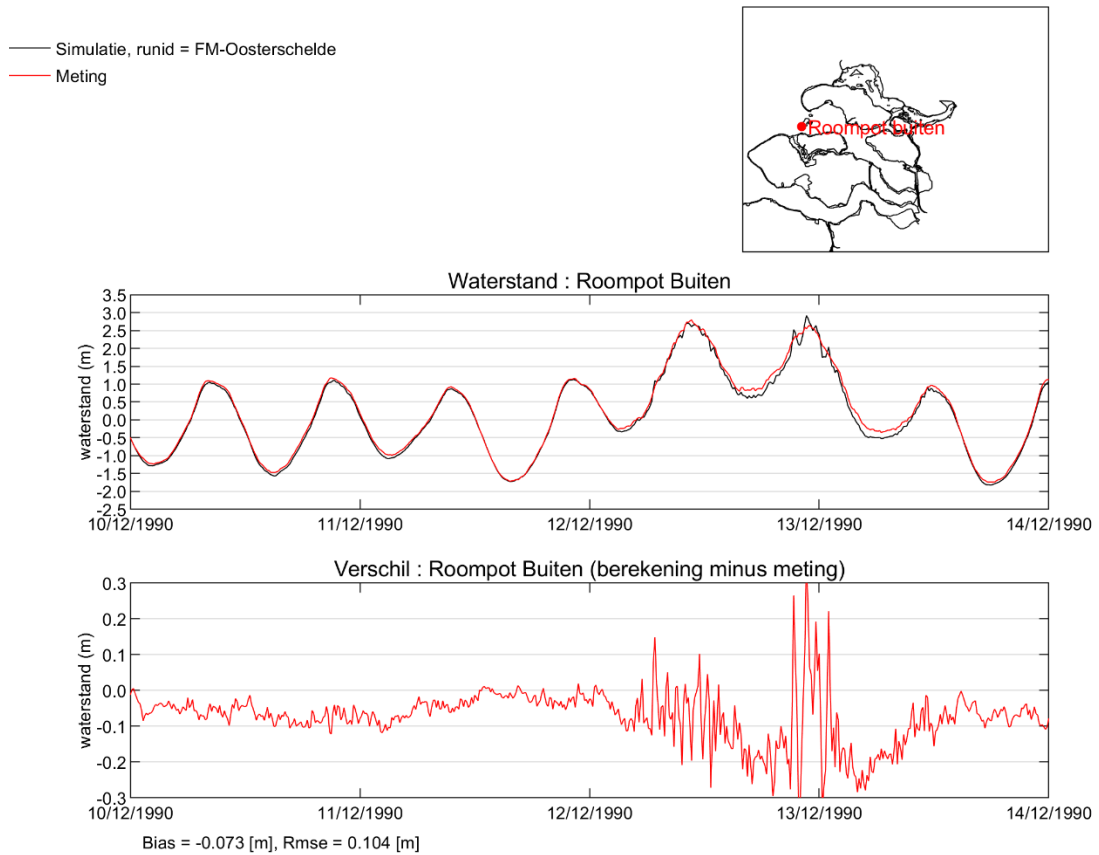
G.5.4 Periode 10-12-1990 t/m 14-12-1990

— Simulatie, runid = FM-Oosterschelde
 — Meting

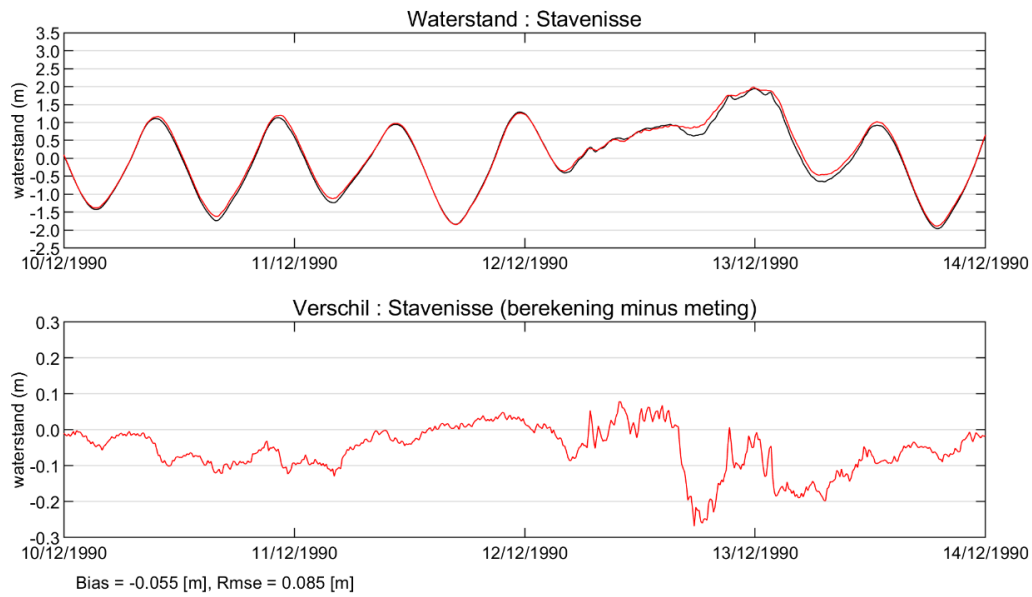
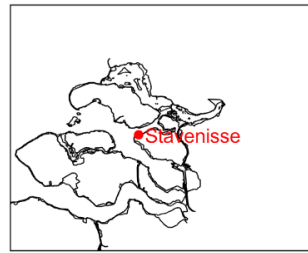


— Simulatie, runid = FM-Oosterschelde
 — Meting





— Simulatie, runid = FM-Oosterschelde
— Meting

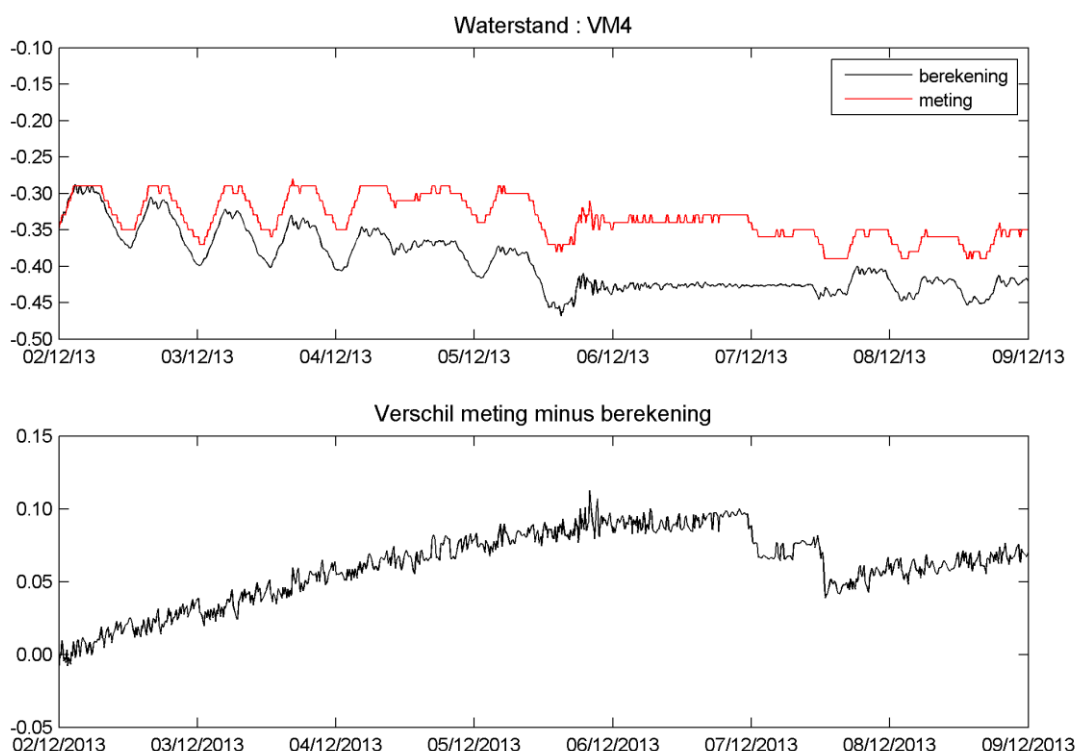


H Bijlage: Waterbalans Veerse Meer tijdens Sinterklaasstorm (2013)

H.1 Aanleiding

Bij de ontwikkeling van het nieuwe zesde generatie D-HYDRO model voor het Veerse Meer wordt een vergelijking tussen het opgetreden en gemodelleerde waterstandverloop tijdens verschillende storm-periodes gemaakt. Het doel van deze vergelijking is om te kijken of het model de lokale op- en afwaaiing goed gereproduceerd.

Er zijn hiervoor een tweetal periodes vergeleken: Een stormperiode in het najaar van 2007 en een stormperiode van 2 tot 9 december 2013 (de zogenoemde Sinterklaasstorm). Voor de 2007-storm liggen de resultaten van de modelberekening redelijk dicht bij de gemeten waterstanden. De modelresultaten tijdens de Sinterklaasstorm laten een ander verloop van het waargenomen meerpeil zien. In Figuur H.1 is dat weergegeven voor een enkele meetlocatie (VM4). Het gemeten meerpeil is voor andere locaties te zien in Figuur H.2.



Figuur H.1 Gemeten en gemodelleerd meerpeil in Veerse Meer tijdens Sinterklaasstorm 2013.

Dit is mogelijk het gevolg van een verschil in de waterbalans van in- en uitkomende debieten en het peilverloop of als gevolg van de modelopzet. Hieronder worden mogelijke oorzaken behandeld:

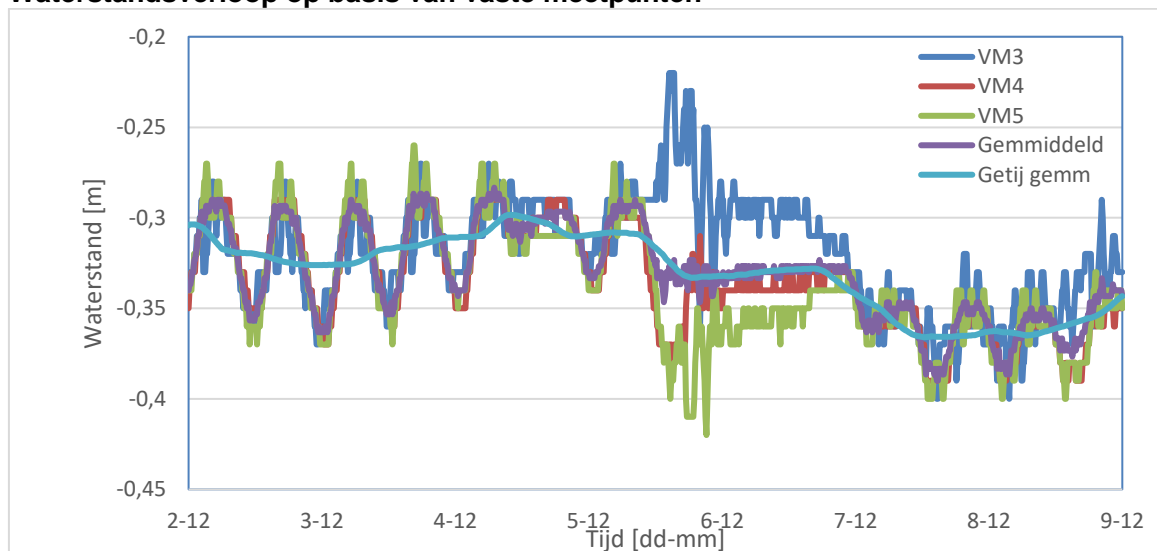
- Gemeten debieten van gemalen en spuien: Het debiet door de Katse Heule wordt bepaald op basis van waterstanden aan beide zijden van het kunstwerk. Door RWS is

aangegeven dat voor deze periode geen aanleiding was om de geleverde debieten te betwijfelen.

- Gemeten waterstandsstations: Alle drie de waterstandsmeeetstations laten een vergelijkbaar verschil tussen gemeten en gemodelleerde waterstanden zien. Naar verwachting zijn deze dus ook correct.
- Geen verdamping in het model: De waterbalans bevat geen verdampingsgegevens. Deze term is naar verwachting tijdens de geselecteerde periodes te verwaarlozen (herfst & storm). Daarnaast valt het gemodelleerde peil ook zonder deze term al lager uit dan gemeten.
- Gemodelleerde neerslag: Neerslag wordt in het model opgelegd op een drietal punten in het meer. Deze term is daarmee grof geschematiseerd. Echter, de meetgegevens van de neerslag suggereren dat er in de periode tot 5 december geen sprake is van neerslag, terwijl tijdens deze periode juist de gemeten en gemodelleerde waterstand het snelst uit elkaar lopen.
- Initiële condities: Het initiële peil van het meer is gekozen op basis van de gemeten waterstand. Bij de start van de modelsom is dus sprake van een gelijke uitgangssituatie.

Hieruit valt op te maken dat niet eenvoudig is aan te wijzen wat de oorzaak van het verschil in gemodelleerde en gemeten waterstanden is. Omdat het doel van de modelsimulaties specifiek de lokale op- en afwaaiing is (en niet het peilverloop in het gehele meer), wordt voor deze simulaties een praktische oplossing uitgewerkt, waarbij op basis van de geleverde debieten en waterpeilen een schatting is gemaakt van een kunstmatige bronterm. Dit extra debiet heeft als doel om het in het model via lozingen en onttrekkingen opgelegde peil in het meer in lijn met het getij-gemiddelde gemiddelde meerpeil te trekken (welke kan worden bepaald op basis van de gemeten waterstanden). Hierdoor kan een vergelijking tussen gemeten en gemodelleerde waterstanden zich richten op de lokale waterstandsverschillen.

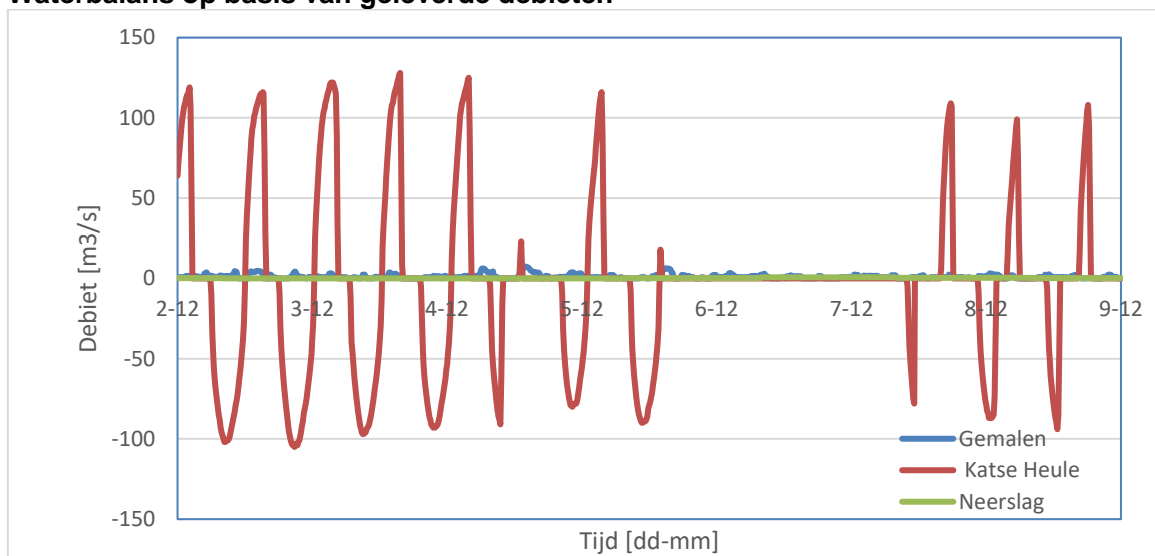
H.2 Waterstandsverloop op basis van vaste meetpunten



Figuur H.2 Gemeten meerpeil voor de drie meetsensoren in het Veerse Meer in combinatie met het gemiddeld meerpeil en een getij-gemiddeld gemiddeld peil.

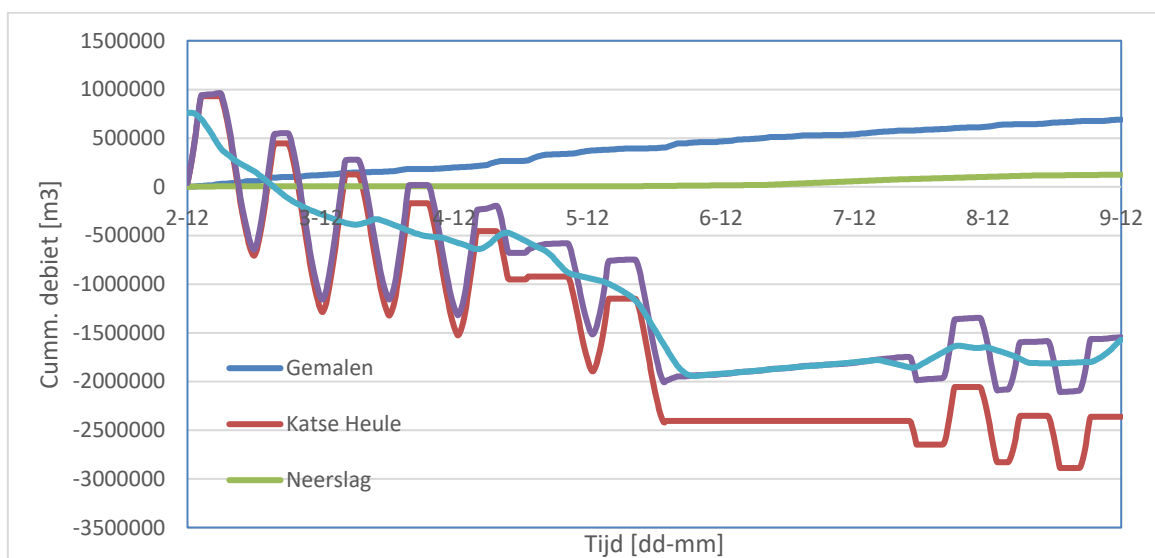
In Figuur H.2 is de waterstand in de drie vaste meetpunten (VM3, VM4 en VM5) weergegeven. Daarnaast wordt het gemiddelde van deze drie waterstandsmetingen getoond en is ook het getij-gemiddelde waterstandsverloop weergegeven. De hierdoor verkregen meerpeil-variatie zou overeen moeten komen met de som van de getijgemiddelde debieten.

H.3 Waterbalans op basis van geleverde debieten



Figuur H.3 In en uitgaande debieten, op basis van door RWS bepaalde en geleverde tijdreeksen.

Voor de stormperiode zijn de verschillende lozingen en onttrekkingen in Figuur H.3 weergegeven. De belangrijkste term daarin is het doorlaatmiddel Katse Heule. Op basis van deze gegevens is het cumulatieve debiet bepaald, zowel voor iedere tijdstap (10min) als getijgemiddeld:



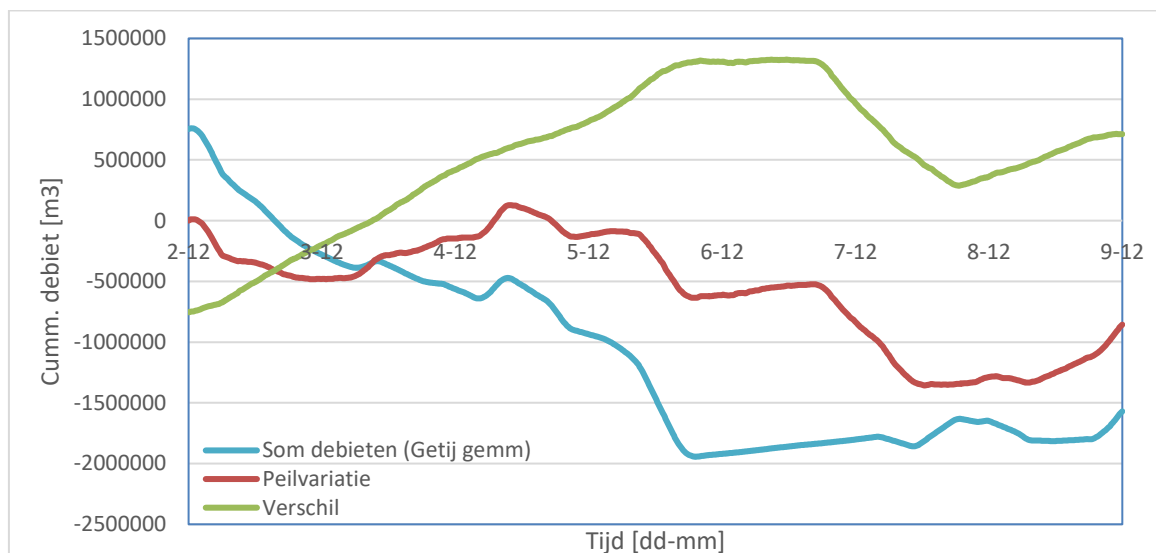
Figuur H.4 Cumulatieve debieten, in combinatie met de som van de debieten en een getij gemiddelde som van de debieten.

In Figuur H.4 is te zien dat aan het einde van de periode netto ongeveer 1,5 miljoen m³ water minder in het meer aanwezig is.

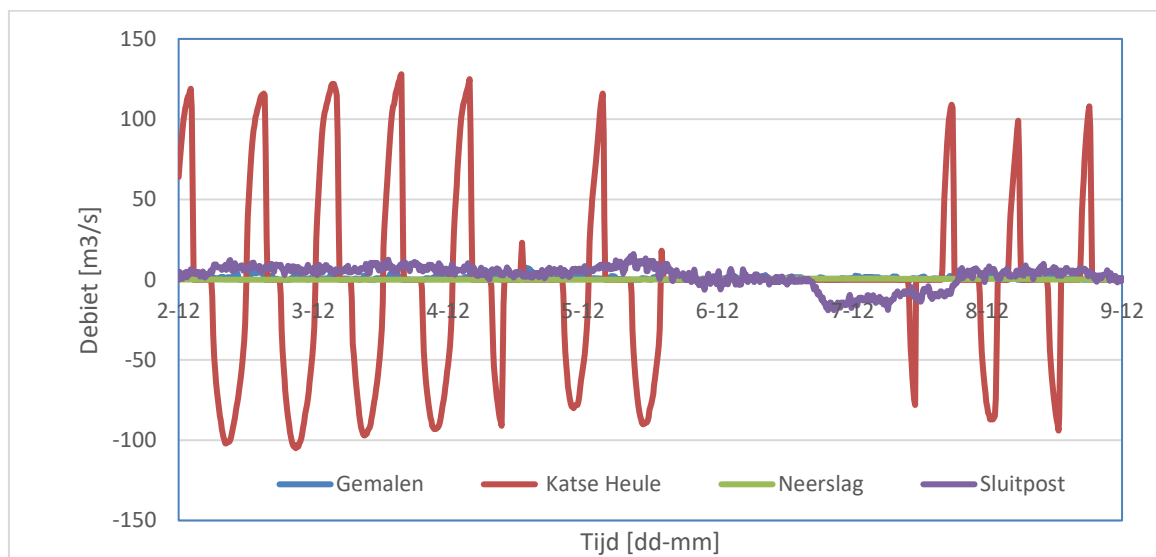
H.4 Berekening sluitpost waterbalans

Om tot een additionele bronterm te komen om de waterbalans te sluiten, wordt op basis van een wateroppervlakte (bij een peil van -0,3m NAP) van 2195 ha (Prins en Verghouwen, 2015, *Bekkenrapportage Veerse Meer 2000-2014*. Deltares rapport, 1220248-000-ZKS-0010) het over de meetlocaties gemiddelde getijgemiddelde peilverloop omgerekend naar een

cumulatief verloop van een netto debiet dat het Veerse Meer in- en uitstroomt (in het figuur is dit aangeduid als "Peilvariatie"). Het verschil tussen dit debiet en de som van de getijgemiddelde debieten volgens de waterbalans is uiteindelijk opgelegd als bronterm (Figuur H.5 en Figuur H.6):



Figuur H.5 Relatie tussen het cumulatieve gemiddelde getijgemiddelde debiet, het op basis van peil variatie bepaalde in en uitgaande debiet en het verschil tussen beide.

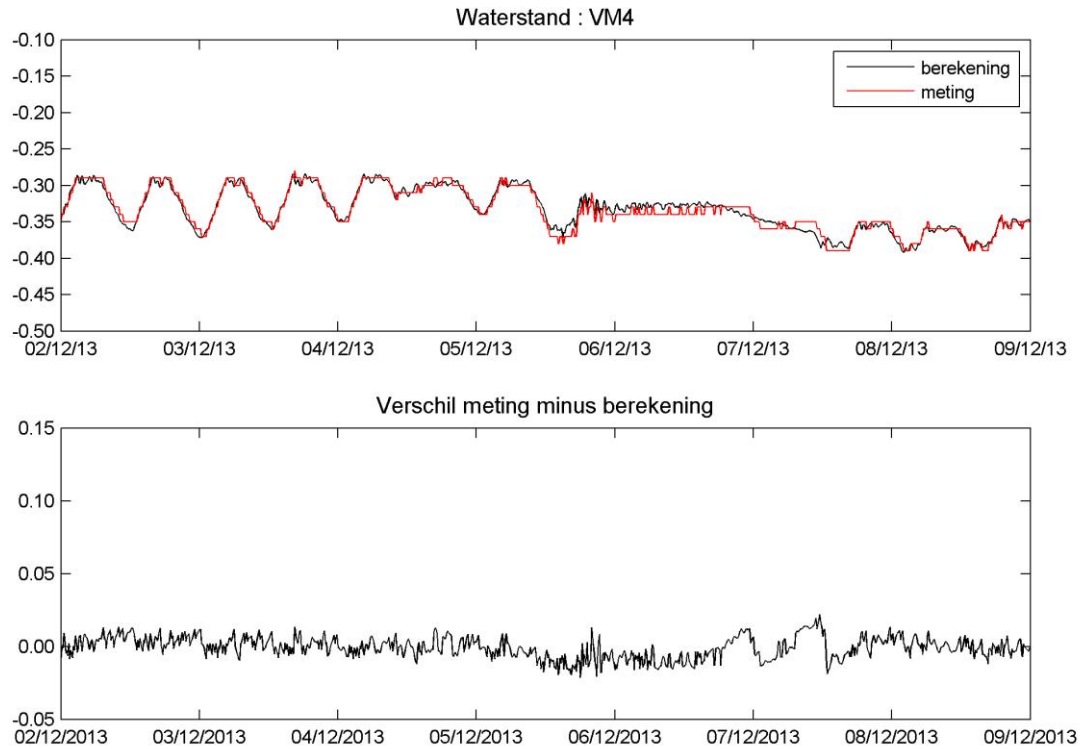


Figuur H.6 De opgelegde debieten in combinatie met een sluitpost gebaseerd op het verschil tussen de opgelegde debieten en de peilvariatie.

Deze sluitpost op de waterbalans is bepaald aan de hand van de getijgemiddelde gemeten waterstanden en aangeleverde debieten. Over deze periode varieert de hier berekende sluitpost, maar gemiddeld is dit 2,42 m³/s.

De hierboven berekende sluitpost voor de waterbalans ligt zeer redelijk in lijn met het verschil in de gemeten en gemodelleerde waterstanden. Het verschil in gemeten en gemodelleerde waterstand is na 7 dagen ongeveer 7 cm, dit komt neer op een gemiddeld debiet van 2,5 m³/s.

Een modelberekening waarbij deze sluitpost is toegevoegd als additioneel lozingspunt leidt tot een meerpeil dat over de simulatieperiode nagenoeg gelijk blijft aan het gemeten meerpeil (Figuur H.7)



Figuur H.7 Gemeten meerpeil in Veerse Meer tijdens Sinterklaasstorm 2013 in combinatie met het gemodelleerde meerpeil waarbij een additionele sluitpost is toegevoegd om een sluitende waterbalans te krijgen.

I Bijlage: Maatregellijst(en)

N. v. t.

J Bijlage: Dataoverzicht

N. v. t.

K Bijlage: Toetsing

N.v.t.