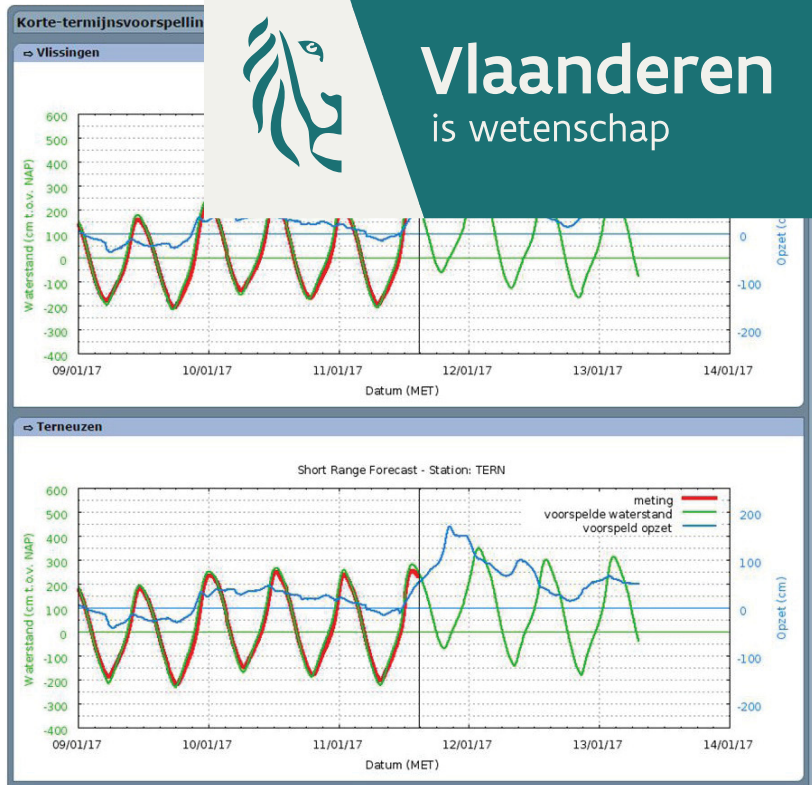
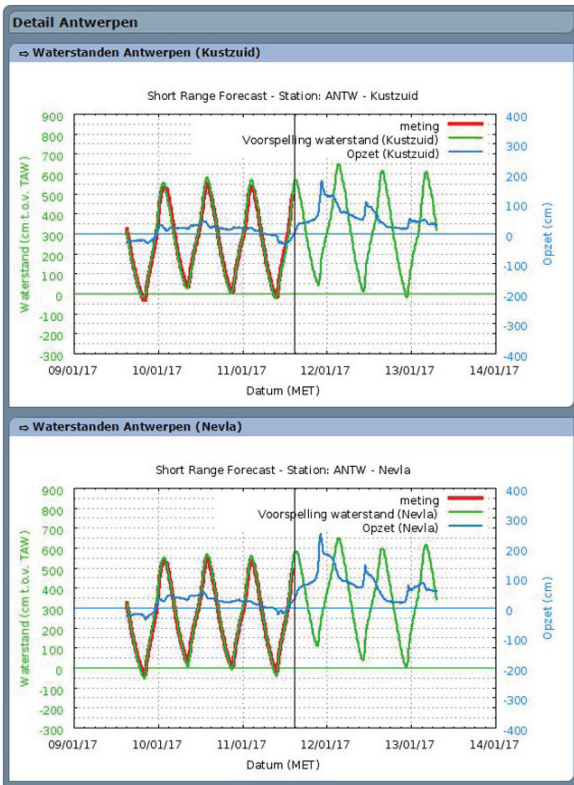




Vlaanderen
is wetenschap



16_016_3
WL rapporten

Model-en data-analyse ten behoeve van betere tij-verwachtingen

Deelrapport 3 – Model-Analyse

Model-en data-analyse ten behoeve van betere tij-verwachtingen

Deelrapport 3 – Model-analyse

Deschamps, M.; Coen, L.; Chu, K.; Verwaest, T.; Mostaert, F.

Juridische kennisgeving

Het Waterbouwkundig Laboratorium is van mening dat de informatie en standpunten in dit rapport onderbouwd worden door de op het moment van schrijven beschikbare gegevens en kennis.
 De standpunten in deze publicatie zijn deze van het Waterbouwkundig Laboratorium en geven niet noodzakelijk de mening weer van de Vlaamse overheid of één van haar instellingen.
 Het Waterbouwkundig Laboratorium noch iedere persoon of bedrijf optredend namens het Waterbouwkundig Laboratorium is aansprakelijk voor het gebruik dat gemaakt wordt van de informatie uit dit rapport of voor verlies of schade die eruit voortvloeit.

Copyright en wijze van citeren

© Vlaamse overheid, Departement Mobiliteit en Openbare Werken, Waterbouwkundig Laboratorium 2017
 D/2017/3241/14

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Deschamps, M.; Coen, L.; Chu, K.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2017). Model-en data-analyse ten behoeve van betere tij-verwachtingen: Deelrapport 3 – Model-analyse. Versie 4.0. WL Rapporten, 16_016_3. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

Overname uit en verwijzingen naar deze publicatie worden aangemoedigd, mits correcte bronvermelding.

Documentidentificatie


Opdrachtgever:	Waterbouwkundig Laboratorium	Ref.:	WL2017R16_016_3
Keywords (3-5):	Modellen, Voorspellingen, Analyse		
Tekst (p.):	18	Bijlagen (p.):	/
Vertrouwelijk:	<input checked="" type="checkbox"/> Nee	<input checked="" type="checkbox"/> Online beschikbaar	

Auteur(s):	Deschamps, M.; Coen, L.; Chu, K.
------------	----------------------------------

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Verwaest, T.; Vanlede J.	
Projectleider:	Deschamps, M.	

Goedkeuring

Verantwoordelijke (Steunpunt) HIC:	Deschamps, M.	
Coördinator onderzoeksgroep:	Verwaest, T.	
Afdelingshoofd:	Mostaert, F.	

Abstract

In het stormseizoen 2015-2016 werden 2 stormevents te laag verwacht door de permanentiedienst van het HIC. Om dit in de toekomst te vermijden werd een project opgestart waarin zowel de data (metingen, voorspellingen) als de modellen zelf grondig geanalyseerd werden. In dit rapport wordt de model-analyse samengevat. Het is een samenvatting van 2 deelrapporten, 1 deelrapport rond de 1D-modellen en 1 deelrapport rond de 2D-modellen.

In dit rapport wordt de kwaliteit van beide type modellen toegelicht. Ook werd een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd naar wind voor beide modeltypes. Voor de 2D-modellen werden naast wind ook heel wat andere invloedsfactoren bekeken.

Dit leert ons dat modellen sowieso modellen blijven en een vereenvoudiging van de werkelijkheid. In sommige situaties presteren ze uitermate goed, in andere specifieke situaties kunnen ze afwijken. Dit is onder meer afhankelijk van op welke parameters het model gecalibreerd werd en welke periode. Sommige stormen worden goed gemodelleerd, andere minder goed. Het is aan diegene die de modelresultaten moet interpreteren om hiermee rekening te houden. Het idee dat de modellen altijd juist zijn dient dus bijgesteld te worden. Ze hebben inherent onzekerheid in zich, zo ook hebben de invoergegevens (voorspelde wind, voorspelde afvoeren) van de modellen een bepaalde onzekerheid, en daar moet mee rekening gehouden worden. De modellen blijven echter een heel belangrijke input om de tijverwachtingen op te stellen.

Inhoudstafel

Abstract	III
Inhoudstafel.....	V
Lijst van de tabellen.....	VI
Lijst van de figuren	VII
1 Inleiding	1
2 Model-Analyses	2
3 Resultaten.....	3
3.1 1D model	3
3.1.1 Resultaat herberekening stormevents met metingen	3
3.1.2 Conclusies 1D-model-analyse.....	5
3.2 2D-model	6
3.2.1 Resultaten 2D NEVLA-model via de operationele modeltrein	6
3.2.2 Kwaliteit invoergegevens	8
3.2.3 Vergelijking met andere modellen	10
3.2.4 Gevoeligheidsanalyse	13
3.2.5 Conclusie 2D-model-analyse	16
4 Eindconclusies	17
5 Referenties	18

Lijst van de tabellen

Tabel 1 Opdrachten in projectplan 16_016.....	1
Tabel 2 Resultaten (Hoogwaterstanden in m TAW) verschillende modelruns voorspellingsmodel november 2015.....	5
Tabel 3 Resultaten verschillende modelruns voorspellingsmodel januari 2016.....	5
Tabel 4 Resultaten nieuw gecalibreerd studiemodel voor stormevents in november 2015 en januari 2016..	6

Lijst van de figuren

Figuur 1 Modelgebied 1D operationeel model	3
Figuur 2 Windmetingen te Vlissingen en Hansweert tijdens storm november 2015.	4
Figuur 3 Gemodelleerde (modelhindcast) en gemeten (measurement) waterstand te Antwerpen voor de 2 stormen	7
Figuur 4 De afwijking bij hoogwater voor de hele periode	7
Figuur 5 Afwijking voor alle data voor de hele periode.	8
Figuur 6 Windvoorspelling en –meting ter hoogte van Vlake van de Raan voor de novemberstorm.....	9
Figuur 7 Voorspelde en gemeten bovenafvoeren aan de opwaartse randen van het 2D-model.....	9
Figuur 8 Vergelijking van afwijking, RMSE en RMSE0 voor hoogwater van het Nevla 2D model en het Nevla 3D model (simG146).....	10
Figuur 9 Voorspellingen door 1D-model voor beide stormen.	11
Figuur 10 Voorspelde hoogwaters versus gemeten hoogwaters te Antwerpen (periode 1/3/2015 - 1/3/2016).....	12
Figuur 11 Modelresultaten met 2D Nevla model met verschillende configuratie voor stormevents in november 2015 en januari 2016	13
Figuur 12 Resultaten van de astro-correctie reeks voor de 2 stormen.....	14
Figuur 13 Impact van zout in modelberekening 2D Nevla model voor storm van november 2015 en januari 2016.....	15
Figuur 14 Impact van gebruik van gemeten bovenafvoer op gemodelleerde waterstanden.....	15
Figuur 15 Impact van gebruik van gemeten bovenafvoer op gemodelleerde laagwaterstanden.	16

1 Inleiding

Reeds vele jaren worden dagelijks door het HIC verwachtingen opgesteld voor het gebied van de Schelde. Dit ter ondersteuning van de stormtijprocedure waar Waterwegen en Zeekanaal voor verantwoordelijk is. De samenwerking verloopt prima en er werden tot nu toe altijd tijdig waarschuwingen verstuurd om de stormtijprocedure te activeren. Echter in de stormperiode 2015-2016 werd het HIC twee maal verrast met hogere (hoog)waterstanden op de Zeeschelde dan verwacht. Voor beide events werd een stormrapport opgemaakt. Daarnaast werd ook een project opgestart om de diepere oorzaken van deze foute verwachtingen te onderzoeken. In het project, 16_016 Model- en data analyse ten behoeve van betere tij-verwachtingen, werden heel wat acties gedefinieerd. Concreet werd enerzijds een analyse gemaakt op basis van de data (metingen, voorspellingen en verwachtingen), anderzijds van de operationeel gebruikte modellen. Een stormtij gaat heel vaak gepaard met GOG-werking. Daarom werd ook de analyse van GOG-werking mee in het project opgenomen. Finaal resulteert dit project in vier deelrapporten:

1. Deelrapport 1 = Data-Analyse
2. Deelrapport 2 = GOG-werking
3. Deelrapport 3 = Samenvatting Model-Analyse
4. Deelrapport 4 = Technische rapportage 2D berekeningen

De rapporten moeten resulteren in een beter begrip van hetgeen gebeurd is in de stormperiode 2015-2016 en ook bijdragen tot een beter inzicht in het systeem en de beschikbare tools met betrekking tot metingen en voorspellingen. Zo wil het HIC zijn rol als waarschuwingdienst voor stormtij ten behoeve van Waterwegen en Zeekanaal in de toekomst kwalitatief uitvoeren met goede tijverwachtingen.

In dit rapport, deelrapport 3, worden de belangrijkste zaken samengevat uit deelopdracht 2.2 Analyse beschikbare (studie-) modellen voor (selectie van) hoge hoogwaters. Deze analyse werd zowel uitgevoerd voor de 1D als de 2D modellen. De analyse voor de 1D modellen is beschikbaar in de memo WL2016M16_016_1_hindcast_1D_voorspellingsmodel (Coen, 2016), de analyse voor de 2D modellen is beschikbaar via het Engelstalige rapport WL2016R16_016_4_Hindcast_2D_Voorspellingsmodel (Chu, 2016).

Tabel 1 Opdrachten in projectplan 16_016

1.1 Stormrapport 15/1
1.2 Verbanden tussen hoge hoogwaters Oostende, Vlissingen en Antwerpen in functie van de wind
1.3 Verbanden tussen alle hoogwaters Oostende, Vlissingen en Antwerpen
1.4 Hernieuwen van de formules voor de YAMI
1.5 Analyse GOG-werking
1.6 Analyse kwaliteit verwachtingen Vlissingen/Oostende/Antwerpen
2.1 Analyse huidige operationele modellen voor 2 events
2.2 Analyse beschikbare (studie-) modellen voor (selectie van) hoge hoogwaters
2.3 Resultaten operationele modellen tijdens 2 events verder bekijken

2 Model-Analyses

Voor het gebied van de Schelde zijn verschillende modellen beschikbaar. Tegelijk zijn er ook 2 operationele systemen. Het éne operationeel systeem gebruikt een **1D-numeriek model**. Dit 1D-numeriek model werd opgebouwd naar aanleiding van het geactualiseerd sigmaplan om scenario-analyses mee uit te voeren. Een vereenvoudigde versie van dit model, het hoofdwaterlopenmodel, draait sinds 2005 operationeel als voorspellingsmodel. Het andere operationeel systeem gebruikt **2D-numerieke modellen**. Dit systeem is een kopie van het Nederlandse voorspellingssysteem en gebruikt een modellentrein. Dit wil zeggen dat er verschillende modellen gekoppeld draaien (het éne model geeft input aan het andere model). Concreet is het meest nauwkeurige model van deze modellentrein het NEVLA-model (NEderlands VLAams scheldemodel).

Beide modellen werden apart van dichtbij bekeken waarbij het de bedoeling was om te kwantificeren welke resultaten de modellen voor de 2 stormevents konden bereiken met ideale randvoorwaarden. Dit wil zeggen met het gebruik van metingen waar dat kan. In de realiteit draaien de modellen met een combinatie van metingen en voorspelde of verwachte randvoorwaarden. Concreet voor het 1D model wil dit zeggen een verwachte afwaartse waterstandsrand te Vlissingen (die wordt ontvangen vanuit Nederland) en voorspelde windcondities van 1 puntlocatie (Hansweert) toegepast op alle modeltakken in de Westerschelde. Daarnaast worden ook voorspelde bovenafvoeren ontvangen via opwaarts beschikbare hydrodynamische modellen. Gemeten waterstanden worden tot slot gebruikt om het model te corrigeren via data-assimilatie (zie verder). Voor de 2D modellen worden voorspelde windvelden, afkomstig van een meteorologische model (Hirlam), gebruikt. Daarnaast worden aan de bovenranden, net zoals bij het 1D-numeriek model, voorspelde afvoeren gebruikt van de opwaartse modellen. Ook metingen worden gebruikt om het model te corrigeren (vergelijkbaar met data-assimilatie), hier via een kalmanfilter.

3 Resultaten

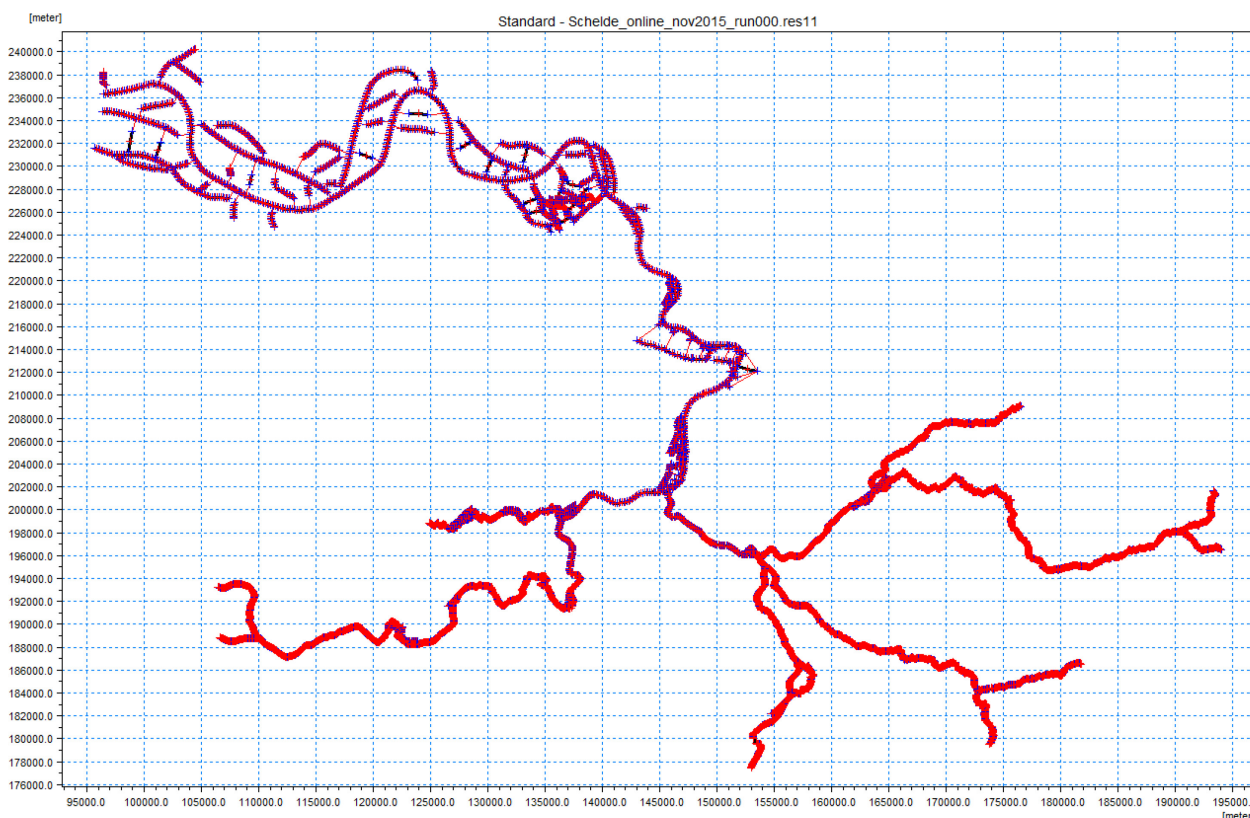
In dit hoofdstuk zullen de belangrijkste resultaten van de twee rapporten samengevat worden. In het eerste deel worden de resultaten van het 1D-model besproken, in het tweede deel deze van het 2D-model.

3.1 1D model

3.1.1 Resultaat herberekening stormevents met metingen

Om de resultaten van de voorspellingsmodellen te kennen voor deze 2 stormen wordt verwezen naar de 2 stormrapporten (referenties). Voor de herberekening van de 2 stormevents met metingen (28 november 2015 en 15 januari 2016) werd, zoals reeds vermeld, het hoofdwaterlopenmodel gebruikt. Dit wordt hieronder weergegeven.

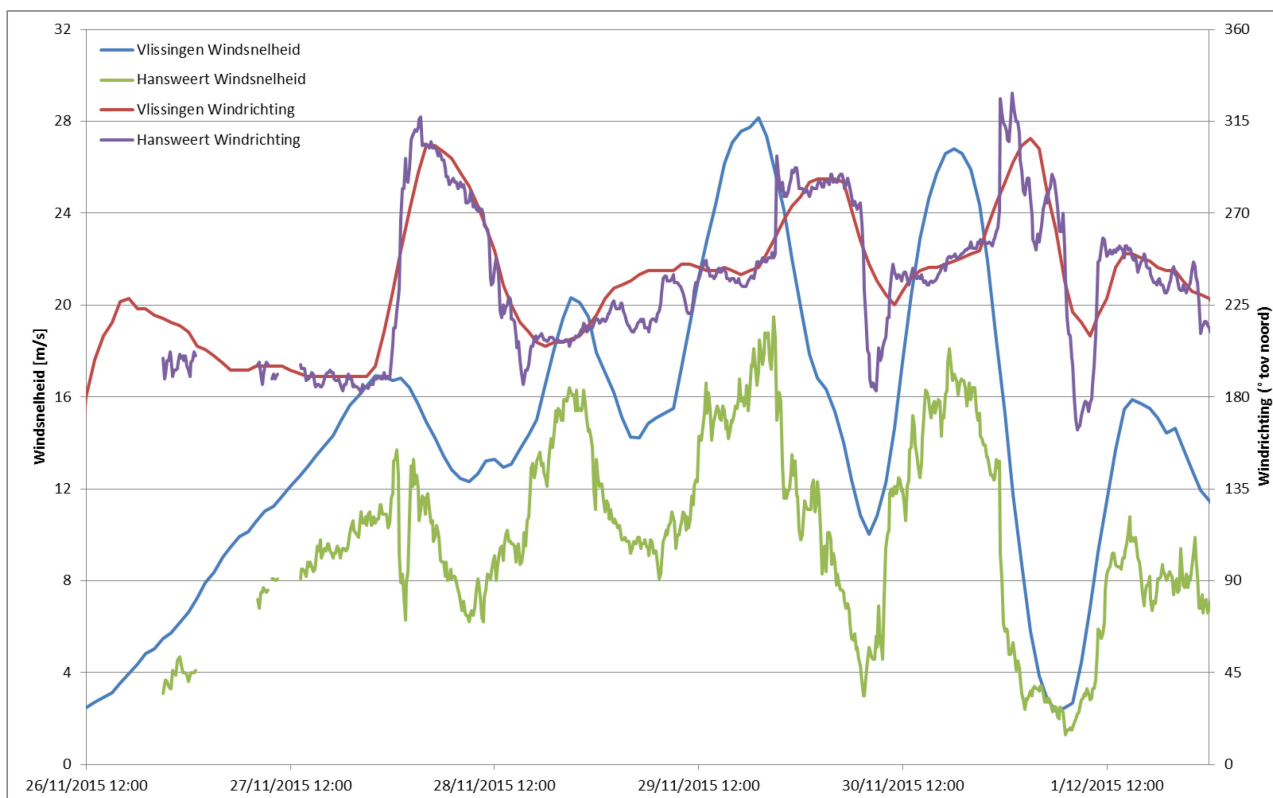
Figuur 1 Modelgebied 1D operationeel model



Voor de berekeningen werden 3 verschillende configuraties gebruikt in functie van gebruikte windgegevens en windparameters die de windinvloed in het model bepalen. Het oorspronkelijk (sigma) model werd gecalibreerd met windgegevens te Vlissingen, echter op deze locatie zijn geen windvoorspellingen beschikbaar. Windvoorspellingen zijn wel beschikbaar te Hansweert en Vlake van de Raan. Daar het modelgebied start in Vlissingen en het vooral de windinvloed boven de Westerschelde is die in het model wordt geschematiseerd, werd beslist de windvoorspellingen te Hansweert te gebruiken. De wind te

Hansweert is echter minder sterk dan die in Vlissingen (zie Figuur 2) waardoor de impact van de wind diende verhoogd in het model. Dit door het verhogen van de a-parameter (= windfactor) die bepaalt in welke mate de wind zorgt voor een verhoging van de waterstand. Zo ontstonden er 2 parametersets, de oorspronkelijke parameterset en deze gebruikt in het voorspellingsmodel. Uiteindelijk werden 3 configuraties (zie Tabel 2) behouden die een combinatie zijn van gebruikte wind (Hansweert of Vlissingen) en parameterset (oorsponkelijk model versus voorspellingsmodel). Voor de rest zijn de 3 configuraties niet verschillend, ze gebruiken hetzelfde model met dezelfde gemeten invoerdebielen aan de opwaartse randen, zelfde gemeten afwaartse rand te Vlissingen, zelfde bathymetrie,.... In operationele modus zijn de gemeten randvoorwaarden niet beschikbaar voor de toekomst en wordt gewerkt met voorspelde bovenafvoeren. Via data-assimilatie kan het model wel gecorrigeerd worden.

Figuur 2 Windmetingen te Vlissingen en Hansweert tijdens storm november 2015.



Hieronder worden de resultaten weergegeven voor een aantal meetlocaties in het tijgebied van de Schelde in functie van de verschillende configuraties. Als we vooreerst focussen op Antwerpen, de locatie op basis waarvan beslist wordt of een stormtijwaarschuwing wordt uitgezonden, zien we dat de verschillende configuraties dicht in de buurt komen van de metingen voor de storm van november 2015. De oorspronkelijke configuratie (Vlissingen/windfactor offline) scoort het best (geen afwijking van meting), de huidige configuratie (Hansweert/windfactor online) geeft een afwijking van 2cm, wat heel beperkt is. De configuratie (Hansweert/windfactor offline) geeft zoals verwacht minder goede resultaten (6cm afwijking).

Voor de storm van januari 2016 is het echter een ander verhaal. Daar zijn alle gemodelleerde waterstanden te Antwerpen te laag. Het beste resultaat geeft nog steeds een onderschatting van 12 cm te Antwerpen. Als we meer opwaarts de resultaten bekijken zien we dat de afwijkingen wijzigen van een onderschatting tot een serieuze overschatting te Melle (60 cm). Dit fenomeen is ook aanwezig bij de storm van november maar minder sterk (in Melle tot 26 cm). Bij de storm in november was de daggemiddelde gemeten bovenafvoer in Melle ongeveer 40 - 50 m³/s, in januari was dit 110 - 120m³/s.

Tabel 2 Resultaten (Hoogwaterstanden in m TAW) verschillende modelruns voorspellingsmodel november 2015

Locatie	RUN000 : Wind Hansweert /windfactor online	RUN001 : Wind Hansweert /windfactor offline	RUN002 : Wind Vlissingen /windfactor offline	METINGEN NOV 2015	Vershil RUN000- meting (cm)	Vershil RUN001- meting (cm)	Vershil RUN002- meting (cm)
Vlissingen	5,66	5,66	5,66	5,66	0	0	0
Hansweert	6,15	6,15	6,19	6,10	4	5	9
Prosperpolder	6,68	6,65	6,71	6,57	11	7	14
Antwerpen	6,75	6,71	6,77	6,77	-2	-6	0
Hemiksem	6,70	6,65	6,71	6,79	-9	-14	-8
Temse	6,81	6,77	6,83	6,88	-7	-11	-5
Dendermonde	6,58	6,54	6,60	6,48	10	6	12
Melle	6,14	6,11	6,17	5,91	23	20	26

Tabel 3 Resultaten verschillende modelruns voorspellingsmodel januari 2016

Locatie	RUN000 : Wind Hansweert /windfactor online	RUN001 : Wind Hansweert /windfactor offline	RUN002 : Wind Vlissingen /windfactor offline	METINGEN JAN 2016	Vershil RUN000- meting (cm)	Vershil RUN001- meting (cm)	Vershil RUN002- meting (cm)
Vlissingen	5,54	5,54	5,54	5,54	0	0	0
Hansweert	5,93	5,92	5,98	6,05	-12	-13	-7.2
Prosperpolder	6,43	6,38	6,46	6,45	-2	-7	1.1
Antwerpen	6,59	6,53	6,6	6,72	-13	-19	-12
Hemiksem	6,64	6,58	6,65	6,74	-10	-16	-9.1
Temse	6,77	6,71	6,79	6.81	-4	-10	-2.2
Dendermonde	6,87	6,82	6,88	6,79	9	3	9.3
Melle	7,01	6,99	7,01	6,42	59	57	59.2

3.1.2 Conclusies 1D-model-analyse

Wanneer het voorspellingsmodel opnieuw wordt gedraaid met gemeten waterstanden zijn de gemodelleerde resultaten te Antwerpen goed voor de storm van november 2015. Voor de storm van januari 2016 blijft er een onderschatting van de hoogwaterstand. Meer naar opwaarts toe gaan de onderschattingen over in overschattingen, dit voor beide stormen. Te Melle nemen de afwijkingen toe tot 26 cm voor de storm van november en tot 60 cm voor de storm van januari.

Eén van de belangrijkste aanpassingen die diende te gebeuren was een update van de bathymetrie in het operationeel model. Deze is immers verouderd. Het offline (studie) model werd in 2016 gehercalibreerd en geeft onderstaande resultaten voor de 2 stormen, zie Tabel 4.

Daaruit leren we dat het studiemodel nog steeds afwijkingen geeft voor deze 2 specifieke stormen, ondanks dat het model op basis van een controle van langere tijdreeksen een pak beter presteert (zie rapport calibratie Zeescheldemodel (Coen, L. 2016)).

Het is belangrijk hieraan toe te voegen dat bij de operationele modellen ook data-assimilatie wordt uitgevoerd. Dit is een aanpassing van het modelresultaat aan de meting voor zover deze beschikbaar is. Op basis van het verschil tussen de origineel gemodelleerde waterstand en de meting worden de modelresultaten gecorrigeerd. Dus finaal zal het resultaat van het operationeel model beter zijn. In een

operationele omgeving worden echter voorspellingen gebruikt (waterstandsvoorspelling te Vlissingen, windvoorspellingen te Hansweert) waardoor de onzekerheid opnieuw toeneemt. De resultaten van het 1D voorspellingsmodel zijn dus een middel om de verwachtingen te ondersteunen maar hebben zelf nog altijd een onzekerheid, hoe goed het model ook is afgeijkt. In sommige situaties zullen de voorspellingen prima zijn, in andere minder goed. Vooral bij de hoge hoogwaterstanden kunnen de afwijkingen groot zijn (zie verder bij 3.2.3 Vergelijking met andere modellen). Het is aan de voorspeller van dienst om de goede interpretatie te maken en de nodige marges in te bouwen.

Tabel 4 Resultaten nieuw gecalibreerd studiemodel voor stormevents in november 2015 en januari 2016

Locatie	Nieuw model <i>november</i> 2015	METINGEN november 2015	Vershil model – meting (cm)	Nieuw model <i>januari</i> 2016	METINGEN januari 2016	Vershil model – meting (cm)
Vlissingen	5,66	5,66	0	5,54	5,54	0
Hansweert	6,09	6,1	-1	6,00	6,05	-5
Prosperpolder	6,57	6,57	0	6,46	6,45	1
Antwerpen	6,63	6,77	-14	6,61	6,72	-11
Hemiksem	6,65	6,79	-14	6,68	6,74	-6
Temse	6,75	6,88	-13	6,79	6,81	-2
Dendermonde	6,58	6,48	10	6,73	6,79	-6
Melle	6,45	5,91	54	6,74	6,42	32

3.2 2D-model

In het rapport Chu et al, 2016 (WL2016R16_016_4_Hindcast_2D_Voorspellingsmodel) wordt een uitgebreide controle uitgevoerd van het 2D-voorspellingsstelsel. Er wordt gefocust op de twee stormevents, maar ook de algemene kwaliteit van het 2D NEVLA-model wordt bekeken. Dit is het NEVLA 2D model inclusief de actieve gecontroleerde overstromingsgebieden. De periode die werd geanalyseerd start op 1 november 2015 en eindigt op 31 januari 2016. Daarnaast werd een uitgebreide gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Het rapport zal hieronder worden samengevat in functie van toepasbaarheid om betere verwachtingen op te stellen. Of nog, om beter te kunnen inschatten wat kan verwacht worden van het 2D-model en hoe het presteert in functie van een aantal parameters.

3.2.1 Resultaten 2D NEVLA-model via de operationele modeltrein

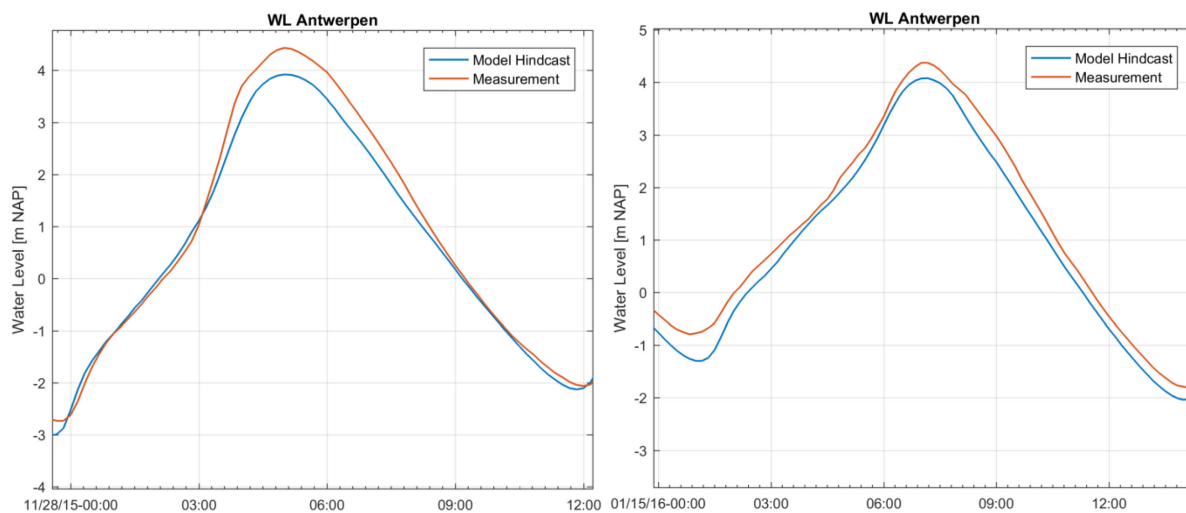
Onderstaande Figuur 3 toont de gemodelleerde en gemeten waterstand door het 2D NEVLA-model voor de twee stormen. Het is duidelijk dat via het gebruik van de modellentrein de waterstand te Antwerpen flink onderschat wordt. Respectievelijk 50 cm voor de storm in november en 30 cm voor de storm in januari. Merk op dat hier de configuratie wordt toegepast als in het huidige voorspellingsstelsel. Dit wil zeggen met voorspelde windvelden (van meteorologisch model Hirlam (KNMI), verschillende modellen (modellentrein), voorspelde bovenafvoeren en gemeten waterstanden om Kalmanfiltering toe te passen. In de gevoeligheidsanalyse zal aangetoond worden waar het model/systeem aan gevoelig is en dus hoe de voorspellingen kunnen verbeterd worden.

In Figuur 4 zien we de afwijking van het modelresultaat bij hoogwater voor de hele periode (begin november tot eind januari) van Westkapelle tot Melle. Het is duidelijk dat het model de hoogwaters algemeen onderschat met 10 – 15 cm met enkel uitschieters tot 25 cm te Schoonaarde en Sint-Amands.

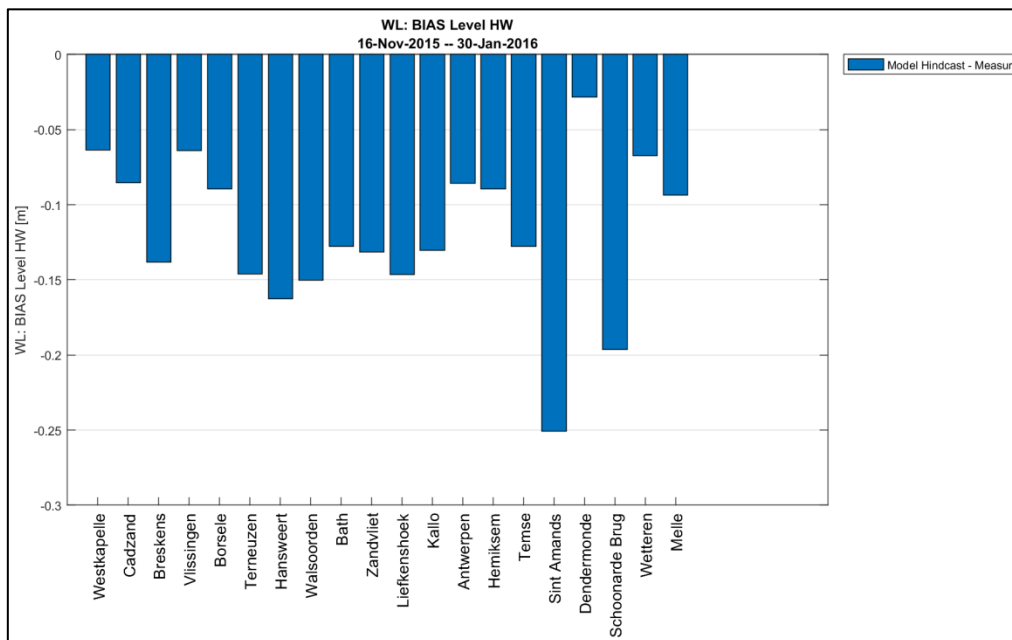
In Figuur 5 zien we de afwijking van het modelresultaat voor de volledige tijdreeks. Opnieuw van afwaarts naar opwaarts. De afwijking schommelt gemiddeld rond 10 cm, opwaarts Dendermonde zijn de

gemodelleerde waterstanden te hoog, in Melle tot 50 cm. Er zit een algemene tendens van onderschatting van de waterstanden afwaarts Dendermonde, opwaarts van Dendermonde overschat het model de waterstanden.

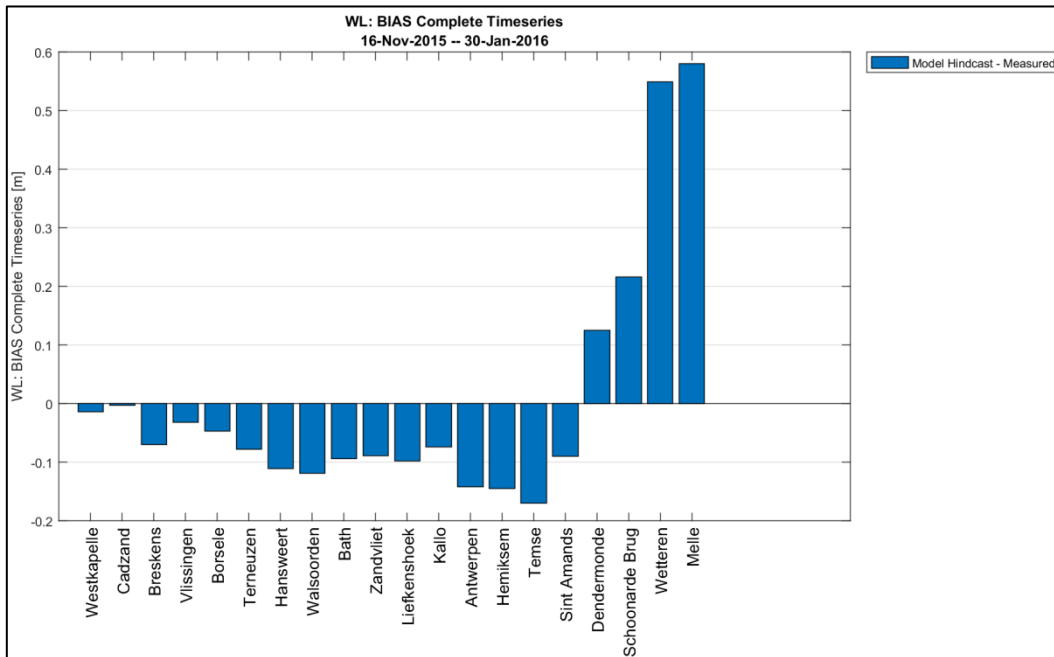
Figuur 3 Gemodelleerde (modelhindcast) en gemeten (measurement) waterstand te Antwerpen voor de 2 stormen



Figuur 4 De afwijking bij hoogwater voor de hele periode



Figuur 5 Afwijking voor alle data voor de hele periode.



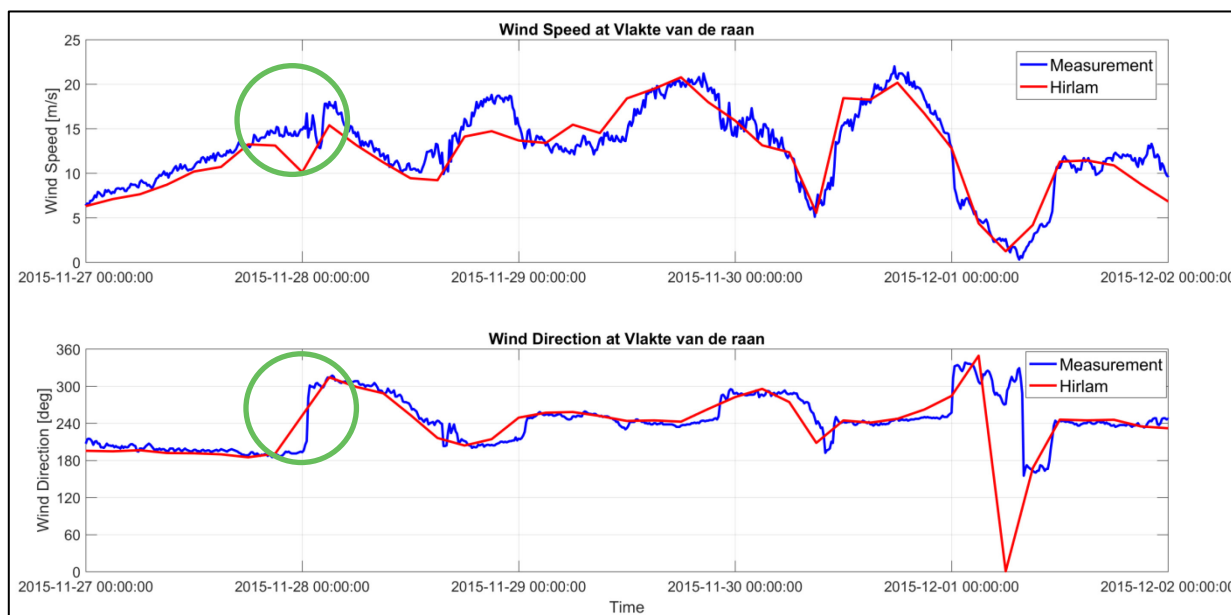
3.2.2 Kwaliteit invoergegevens

HIRLAM Wind

De HIRLAM windvelden worden 4x per dag ontvangen, aangeleverd door het KNMI. De windvelden werden vergeleken met de windmetingen ter hoogte van Vlake van de Raan. In het algemeen onderschatten de HIRLAM-windvoorspellingen de gemeten windsnelheden, vooral net voor de storm (zie Figuur 6, in groen omcirkeld). Daarnaast veranderen de windrichtingen sneller dan door het model aangeboden, dit door de grotere tijdstap van het meteorologisch model. Maar in het algemeen zijn de voorspelde windrichtingen wel goed. Tot slot werd ook vastgesteld dat de windvoorspellingen niet altijd beter worden hoe dichterbij het tijdstip van de storm. Dit wil zeggen dat de meest recente voorspelling niet altijd de beste voorspelling is.

In Figuur 6 zien we de voorspelde en gemeten wind ter hoogte van Vlake van de Raan voor de novemberstorm.

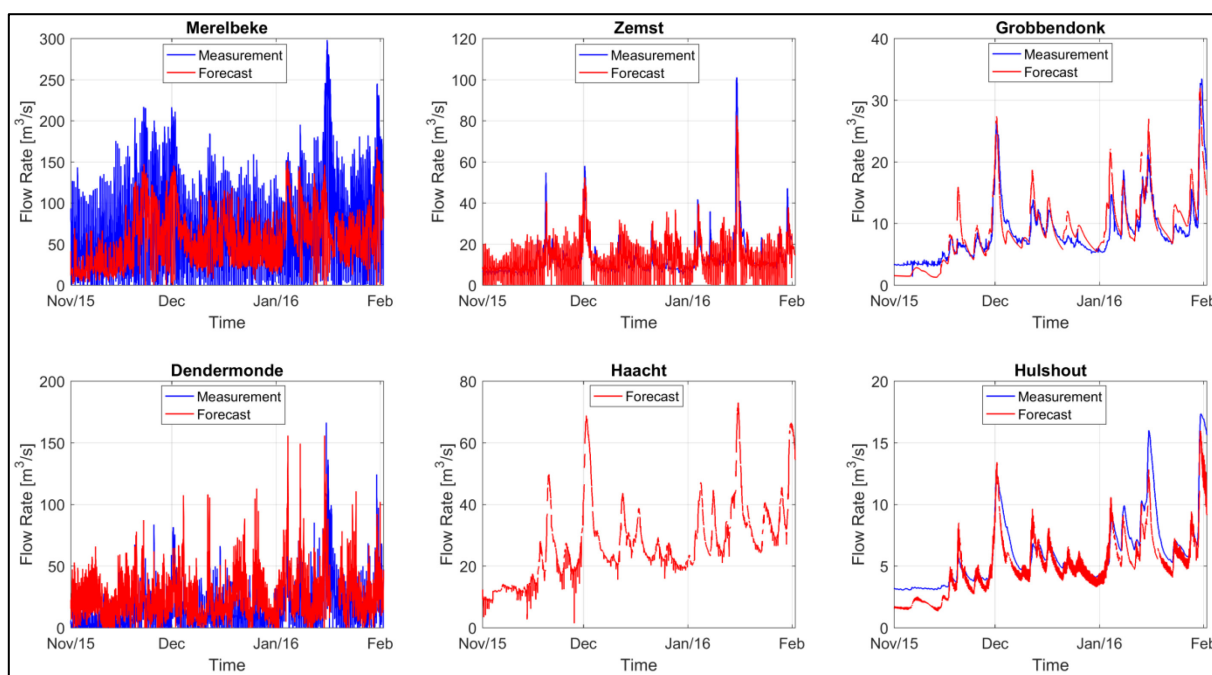
Figuur 6 Windvoorspelling en –meting ter hoogte van Vlakte van de Raan voor de novemberstorm.



Bovenafvoer

In Figuur 7 zien we de voorspelde en gemeten afvoeren aan de belangrijkste opwaartse invoerranden van het model. De modelvoorspellingen komen in de buurt van hetgeen gemeten wordt. Enkel te Merelbeke wordt de gemeten bovenafvoer door het Leie-Bovenschede model vrij sterk onderschat. Het is immers het Leie-Bovenschede model dat de voorspelde bovenafvoer berekend te Merelbeke.

Figuur 7 Voorspelde en gemeten bovenafvoeren aan de opwaartse randen van het 2D-model.



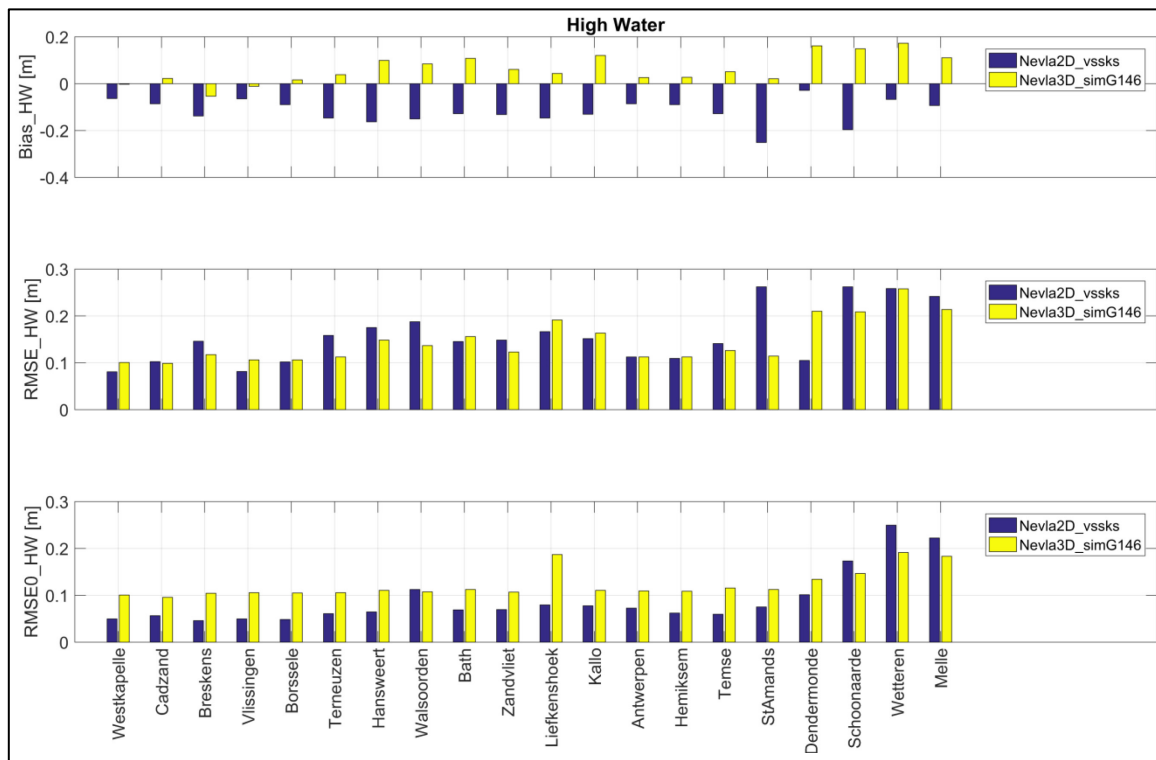
Voor Zemst wordt de meting te Epepegem gebruikt, de bron van de afvoervoorspelling te Zemst is het 1D operationeel model, zo ook te Grobbendonk en Hulshout. Het Dendermodel is de bron van de afvoervoorspelling te Dendermonde.

3.2.3 Vergelijking met andere modellen

3D model

Op het WL zijn verschillende modellen ter beschikking. Zoals reeds vermeld zijn er verschillende operationele modellen, maar daarnaast zijn er ook verschillende studiemodellen voor het tijgebied van de Schelde. Eén van deze modellen is het 3D NEVLA-model. In Figuur 6 worden een aantal statistische parameters weergegeven voor hoogwater. Het 3D NEVLA-model vertoont een lichte overschatting van de hoogwaterstanden maar is in het algemeen beter dan de ruimere onderschatting van de hoogwaterstanden door het 2D NEVLA-model. De standaardafwijking is niet verschillend tussen de 2 modellen. Het feit dat het 3D model iets beter scoort is normaal daar het door de extra dimensie meer processen kan modelleren. Maar al bij al zijn de verschillen niet zo heel groot en presteert het 2D NEVLA-model vrij goed. De vergelijking was niet op basis van dezelfde periodes, er werd verondersteld dat de kwaliteit over een langere periode vergeleken kan worden, ook al zijn de periodes verschillend.

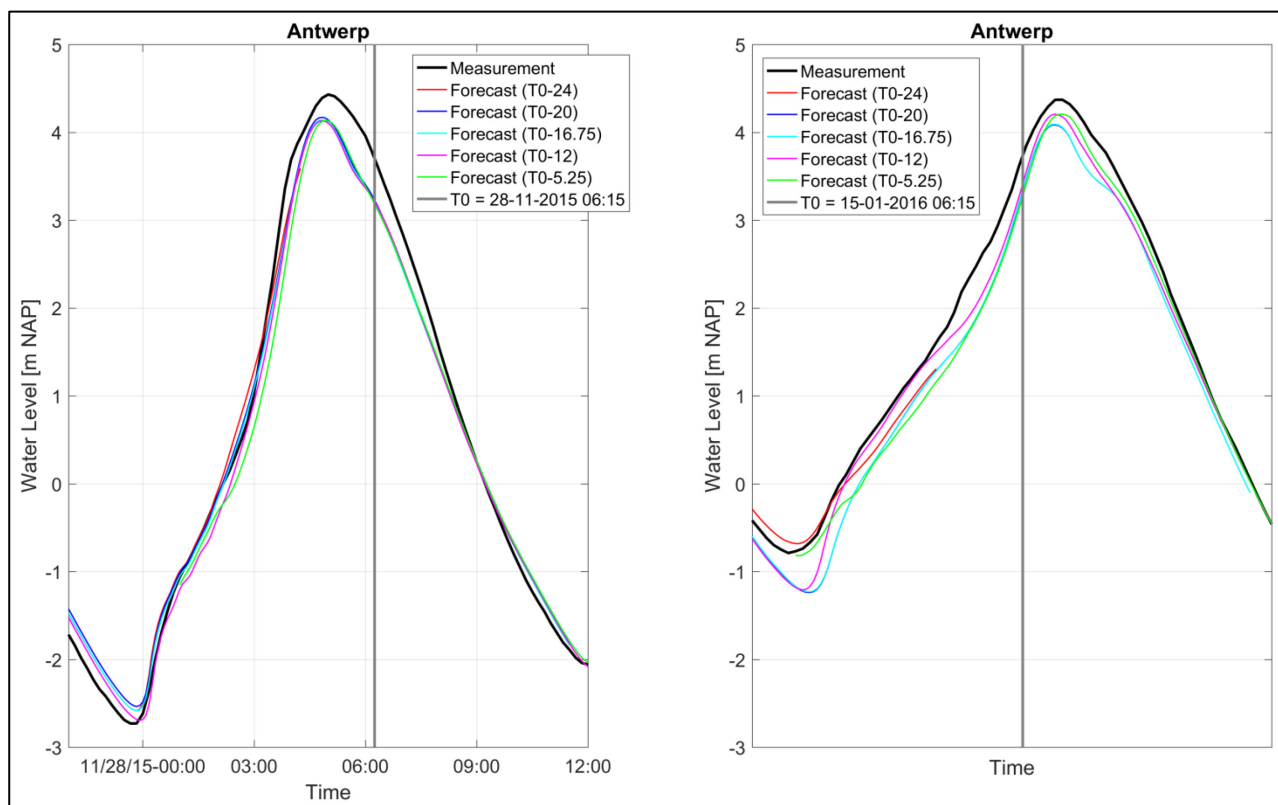
Figuur 8 Vergelijking van afwijking, RMSE en RMSE0 voor hoogwater van het Nevla 2D model en het Nevla 3D model (simG146).



1D model

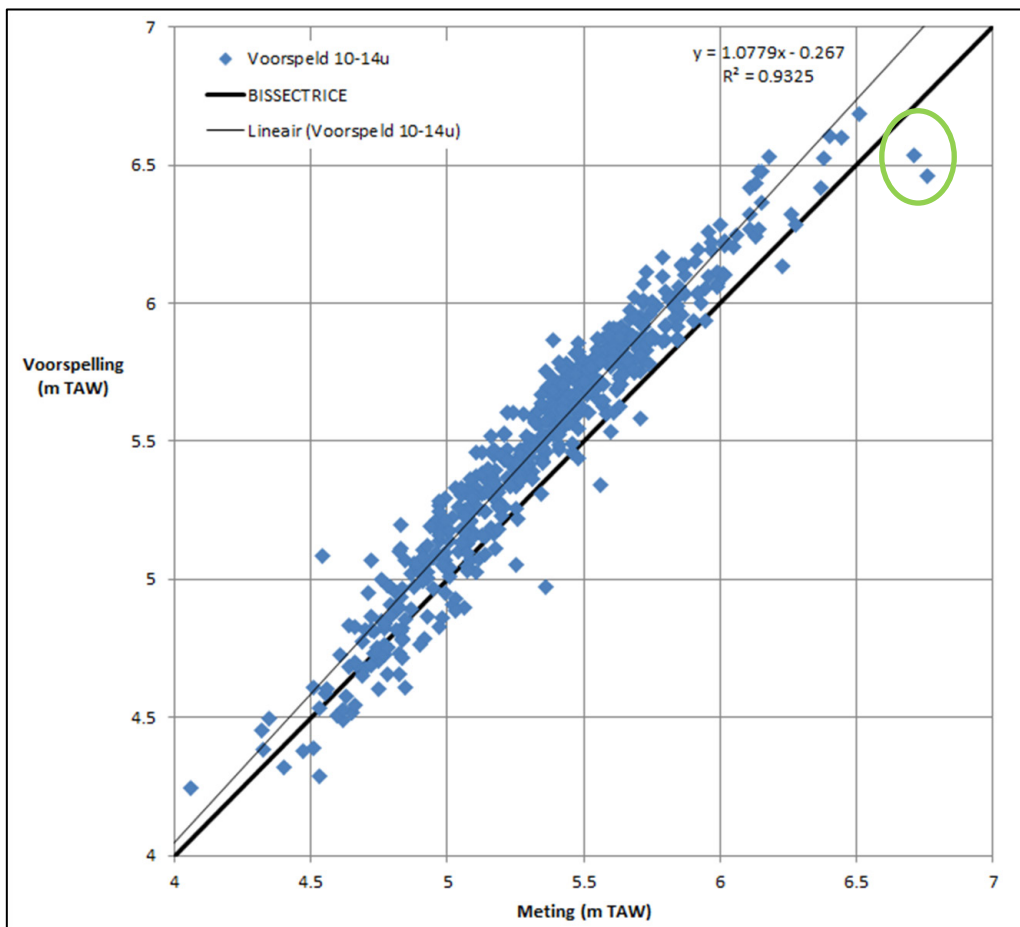
Wanneer de voorspellingen van het 1D-model voor beide stormen worden vergeleken, zie Figuur 9, wordt duidelijk dat dit model de stormen sterk onderschatte te Antwerpen. Namelijk ongeveer 30 cm voor de novemberstorm, en 20cm voor de januaristorm. Dat is beter dan het 2D model dat respectievelijk 50 en 30 cm het hoogwater onderschatte (zie ook hoger).

Figuur 9 Voorspellingen door 1D-model voor beide stormen.



Wanneer echter de 1D hoogwatervoorspellingen over een langere periode worden geëvalueerd te Antwerpen (zie Figuur 10) zien we dat de hoe hoger de gemeten hoogwaters, hoe meer het model overschat. De 2 stormevents (november 2015 en januari 2016) zijn 2 uitzondering hierop, zie in het groen omcirkeld op Figuur 10.

Figuur 10 Voorspelde hoogwaters versus gemeten hoogwaters te Antwerpen (periode 1/3/2015 - 1/3/2016)

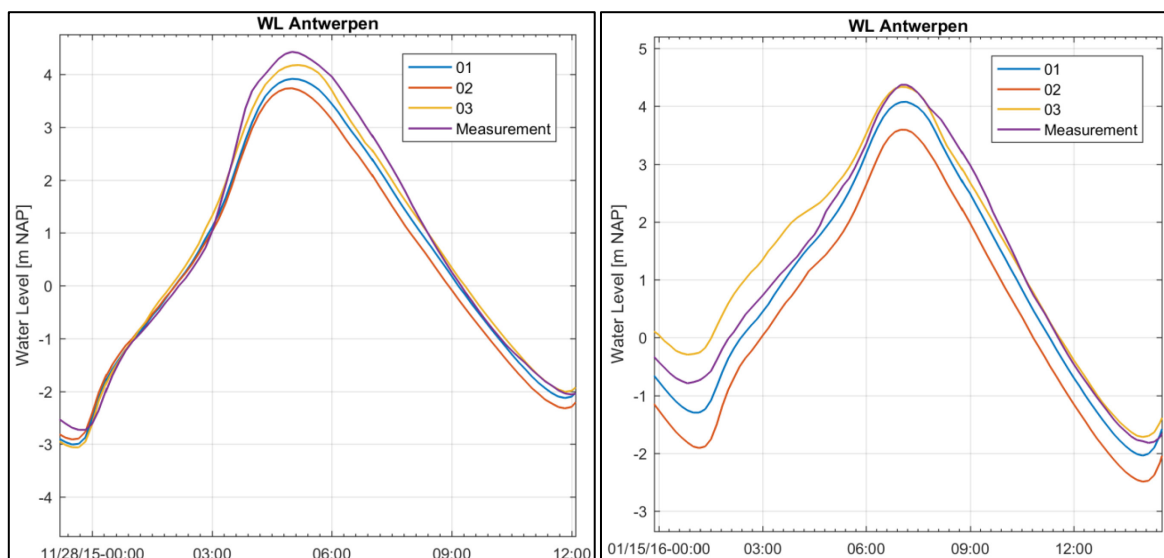


3.2.4 Gevoeligheidsanalyse

Wind

De kwaliteit van de windvoorspellingen werd reeds gecontroleerd en hoger beschreven. Er werd echter ook getest of de modelberekeningen konden verbeterd worden door gemeten wind te gebruiken. Dit was, zoals in het begin reeds vermeld, de belangrijkste doelstelling van de model-analyse. Hieronder worden de resultaten weergegeven van het 2D NEVLA-model met 3 verschillende configuraties (01 : originele configuratie – 02 : zonder wind – 03 : met gemeten wind te Vlakte van de Raan). Het is duidelijk dat het gebruik van gemeten wind de resultaten van het model gevoelig verbeterd. Voor de storm van november is het verschil wel nog 10cm onderschatting (origineel 50cm!), voor de storm in januari is het modelresultaat 2cm te hoog (dus quasi perfect). Het gebruik van de juiste windgegevens is dus heel belangrijk om goede modelresultaten/voorspellingen te verkrijgen. Het model is ook gevoelig aan deze wind. Wanneer er geen wind wordt gebruikt zijn de gemodelleerde hoogwaterstanden een pak lager; voor de hele periode 3-4cm (1/11/2015 – 31/1/2016) maar voor het stormevent in januari tot 40cm lager!

Figuur 11 Modelresultaten met 2D Nevla model met verschillende configuratie voor stormevents in november 2015 en januari 2016



Voorspelhorizon

Dagelijks worden meerdere voorspellingen gegenereerd. Een kwaliteitscontrole van de verschillende voorspellingen leert dat het niet noodzakelijk zo is dat de laatste voorspelling de beste is (zie ook stormrapporten van januari 2015 (Boeckx, 2016) en November 2016 (Nossent, 2016)). Dit is ook in lijn met de windvoorspellingen waarvoor ook al werd vastgesteld dat de meest recente windvoorspelling niet noodzakelijk de beste is. Het is dus niet altijd de beste optie om volledig te vertrouwen op de laatste voorspelling bij het opstellen van tijverwachtingen.

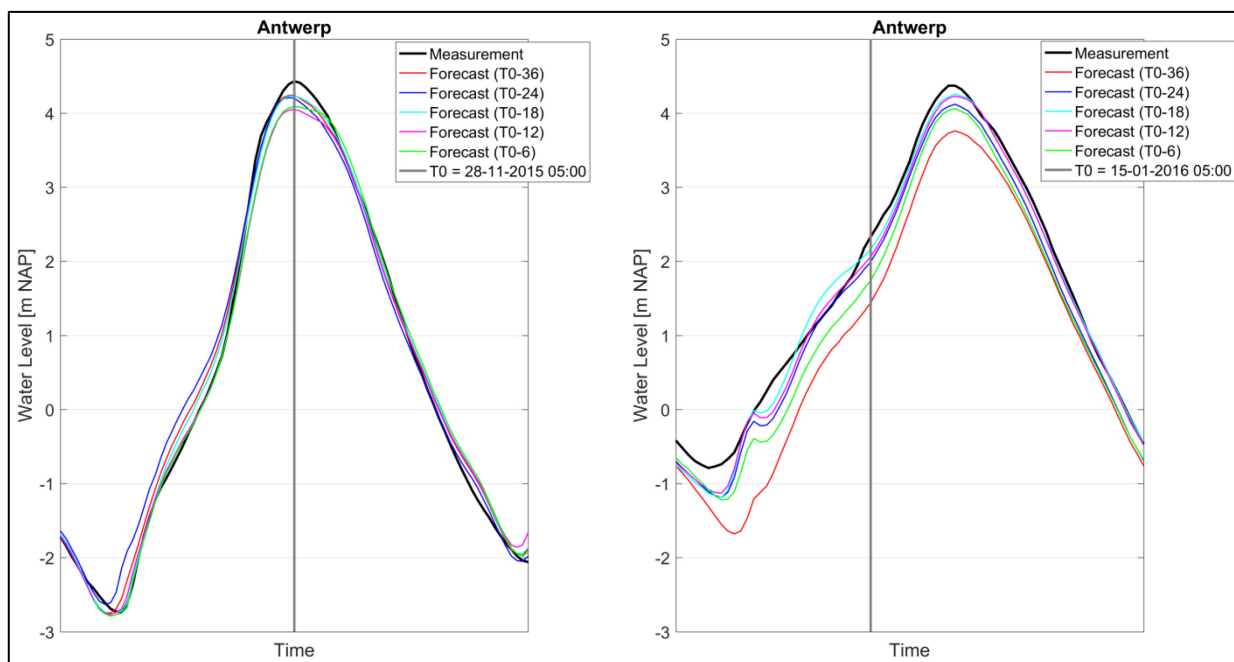
Astro correctie

Astrocorrectie is een techniek die gebruikt wordt om voorspellingen te maken. Daarbij wordt een verschilreeks op één locatie opgemaakt door het model te laten draaien met en zonder wind. Het verschil is een maat voor de impact van wind op de gemodelleerde waterstanden. Dit verschil wordt opgeteld bij de astronomisch voorspelde reeks. Via deze techniek zijn astro-correctiereeksen beschikbaar voor alle locaties waar astronomische voorspellingen berekend werden. Vanaf 2016 zijn op alle meetlocaties in het gebied

van de Schelde astronomische voorspellingen beschikbaar. Deze techniek wordt vooral gebruikt omdat de vorm van de astronomisch voorspelde reeks beter overeenkomt met de meting (ze is daar immers uit afgeleid), een combinatie met de windimpactreeks, zou dan de beste voorspelling genereren. Anno 2016 is er echter een evolutie naar steeds betere modellen waardoor ook de vorm van de curves steeds beter gemodelleerd wordt. Daardoor zou de astro-correctiereeks minder noodzakelijk worden.

Het gebruik van astro-correctie blijkt de voorspellingen voor de 2 stormperiodes gevoelig te verbeteren. Voor de storm van november 2015 met 20cm en voor de storm van januari 2016 met 10cm. Dit wordt weergegeven in Figuur 11. Kortom, voor de 2 stormperiodes hebben de astro-correctiereeksen nog steeds een meerwaarde.

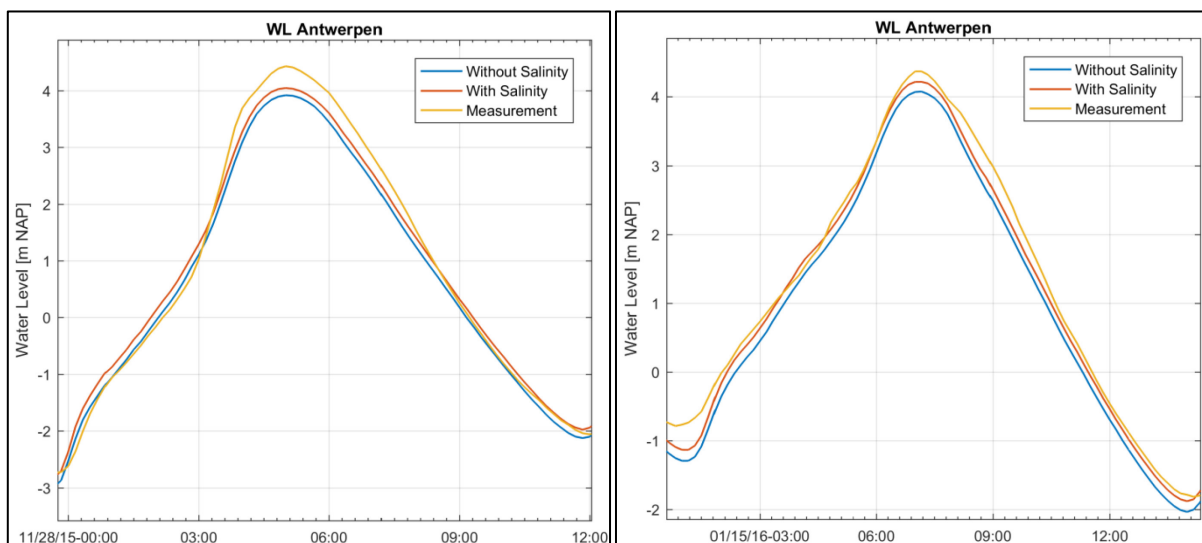
Figuur 12 Resultaten van de astro-correctie reeks voor de 2 stormen



Zout

In het huidig operationeel 2D NEVLA-model wordt zout niet in acht genomen. Zout water is echter zwaarder dan zoet water en heeft op die manier impact op stromingen en waterstanden. Het is ook algemeen geweten dat er een zout-zoet gradiënt is wanneer we van de zoute(re) Westerschelde gaan richting de zoete(re) Boven-Zeeschelde. Wanneer in het 2D NEVLA-model de zoutconcentratie mee in acht wordt genomen, zoals weergegeven in Figuur 13, verhogen de gemodelleerde waterstanden. Om deze berekeningen uit te voeren moest een initiële zout-kaart opgesteld worden, deze is gebaseerd op een interpolatie van zoutgegevens op 7 meetlocaties. Daarnaast werd geen calibratie uitgevoerd van het model met zoutberekening. De resultaten werden enkel gegenereerd in het kader van de gevoeligheidsanalyse. En die leert ons dus dat zout een niet te negeren factor is in de modellering van waterstanden in dit gebied. In de modellen zonder zoutberekening wordt dit opgelost via calibratie (aanpassen van ruwheden).

Figuur 13 Impact van zout in modelberekening 2D Nevla model voor storm van november 2015 en januari 2016

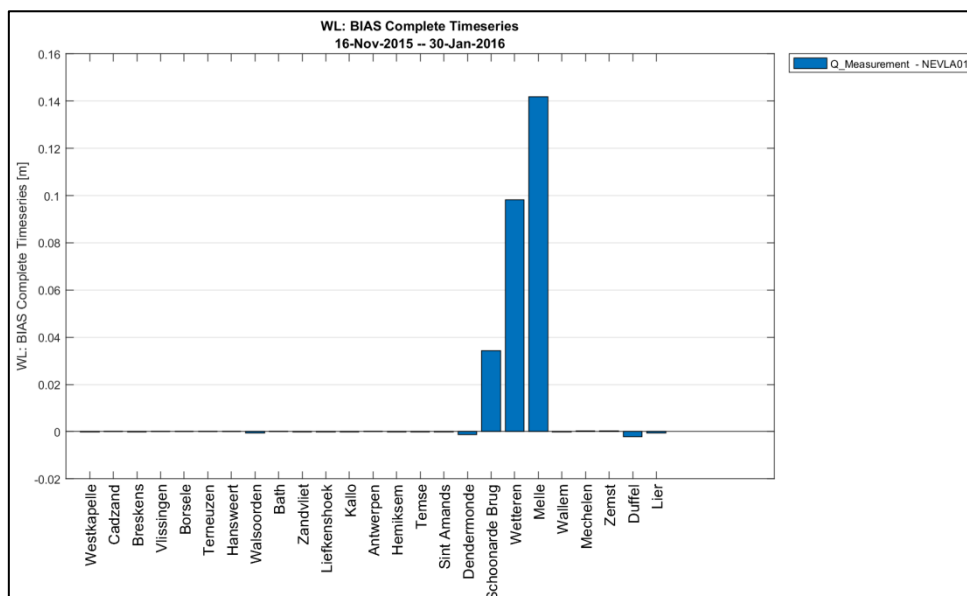


Bovenafvoer

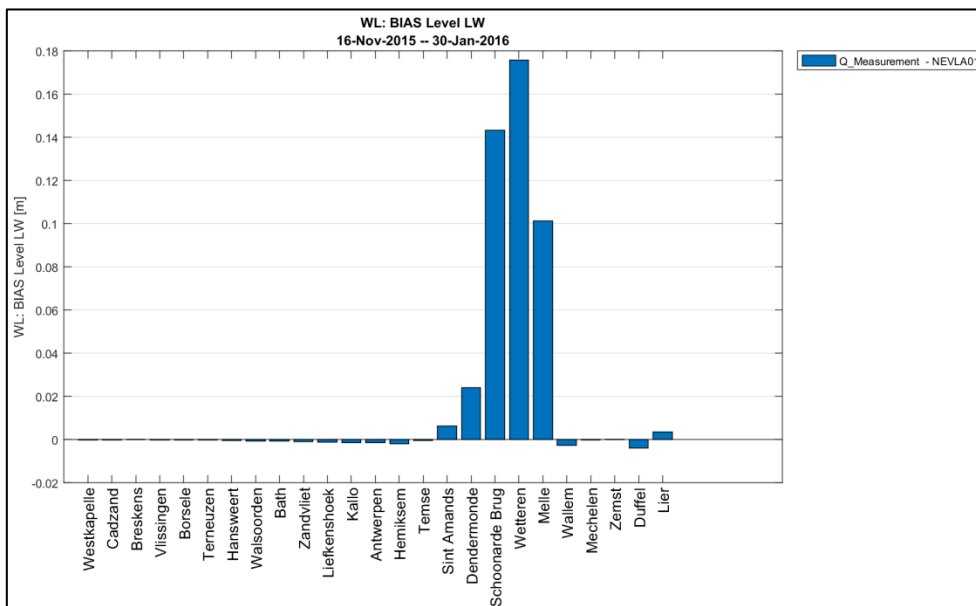
Voor de gevoeligheidsanalyse werden de gemodelleerde bovenafvoeren aangepast met gemeten bovenafvoeren. Hoger werd reeds gemeld dat de gemodelleerde bovenafvoeren vrij correct zijn, behalve te Merelbeke waar de gemodelleerde bovenafvoer de gemeten bovenafvoer onderschat.

Wanneer gemeten bovenafvoeren worden gebruikt is de impact op de gemodelleerde waterstanden beperkt, zeker afwaarts van Dendermonde. In Figuur 14 wordt voor de periode 16 november 2015 tot 31 januari 2016 de invloed op de gemodelleerde waterstanden weergegeven. Het is duidelijk dat de impact van het gebruik van gemeten bovenafvoer zich vooral doet voelen opwaarts Dendermonde. Er is ten eerste een algemene verhoging van de waterstanden. Daarnaast is de impact het grootst op de gemodelleerde laagwaterstanden, zelfs tot voorbij Dendermonde (Sint-Amands), zie Figuur 15.

Figuur 14 Impact van gebruik van gemeten bovenafvoer op gemodelleerde waterstanden.



Figuur 15 Impact van gebruik van gemeten bovenafvoer op gemodelleerde laagwaterstanden.



3.2.5 Conclusie 2D-model-analyse

Het 2D NEVLA-model vertoonde grote afwijkingen van de gemeten hoogwaterstanden bij de 2 stormevents. Er werd een uitgebreide gevoeligheidsanalyse uitgevoerd van alle factoren die de gemodelleerde waterstanden beïnvloeden. Het is duidelijk dat het model heel gevoelig is aan de gebruikte wind en de gebruikte bovenafvoer (vooral dan in het gebied tussen Dendermonde en Melle).

Het gebruiken van een 3D model en het meenemen van zout in de modellering hebben een meerwaarde voor de kwaliteit van de gemodelleerde waterstanden. Nadeel is dat de rekentijden toenemen en dat wat betreft zout een nieuwe calibratie van het 2D NEVLA-model nodig is.

Wanneer de voorspelde wind wordt vervangen door gemeten wind ter hoogte van Vlakte van de Raan worden de gemodelleerde hoogwaterstanden een pak beter. De storm in januari 2016 wordt dan quasi juist gemodelleerd. De storm in november 2015 blijft echter afwijkingen vertonen (onderschatting van de hoogwaterstand te Antwerpen met 10cm).

4 Eindconclusies

Het **huidig 1D operationeel model** presteert goed wanneer gemeten randvoorwaarden worden gebruikt voor het modelleren van de storm in november 2015. Voor de storm in januari 2016 blijft het model de gemeten hoogwaterstanden onderschatten.

De gemodelleerde waterstanden van het 1D model blijken opwaarts Dendermonde sterker af te wijken van de metingen, dit vooral onder invloed van de bovenafvoer.

Het **nieuw gecalibreerd 1D studiemodel** presteert voor de storm van januari 2016 gelijkaardig aan het 1D operationeel model. Voor de storm van november 2015 presteert het minder goed.

Het **2D NEVLA-model** presteert goed wanneer gemeten randvoorwaarden worden gebruikt voor het modelleren van de storm in januari 2016. Voor de storm in november 2015 blijft het model de gemeten hoogwaterstanden onderschatten. Dit is het omgekeerde gedrag van het 1D operationeel model.

Het **1D operationeel model** geeft in het algemeen de neiging de hoogwaterstanden te overschatten. Vooral de hogere hoogwaterstanden worden overschat.

Het **2D NEVLA-model** heeft in het algemeen de neiging de hoogwaterstanden te onderschatten met 10 - 15 cm.

Het gebruik van de **astro-correctie reeksen** voor de 2D-modellentrein heeft een meerwaarde, voor beide stormen waren de hoogwaterstanden beter dan het pure 2D NEVLA-modelresultaat.

Hirlam-windvoorspellingen zijn zowel wat betreft richting als snelheid vrij goed. Ze kunnen de gemeten windsnelheid licht onderschatten en ook de variabiliteit in windrichting kan iets kleiner zijn dan hetgeen gemeten wordt. Het is niet zo dat de laatst beschikbare voorspelling altijd de beste is.

Gelinkt met bovenstaande conclusie; het is niet noodzakelijk de beste optie om volledig te vertrouwen op de laatste voorspelling bij het opstellen van tijverwachtingen. Neem altijd meerdere voorspellingen in acht.

Het gebruik van gemeten wind ter hoogte van Vlake van de Raan verbetert de gemodelleerde hoogwaterstanden voor zowel het 1D operationeel model als voor het 2D NEVLA-model.

Nog uit te voeren acties:

Bekijken van modelresultaten voor verschillende stormevents. Specifiek met focus op hoge hoogwaters (boven 6,3 m TAW te Antwerpen).

Zoeken naar een optimale configuratie wat betreft het gebruik van windlocatie en modelparameters in het de operationele voorspellingsmodellen.

Uitvoeren van een specifieke calibratie en validatie van de operationele voorspellingsmodellen in functie van stormen (boven 6,3 m TAW te Antwerpen).

5 Referenties

Chu, K.; Vanlede, J.; Maximova, T.; Deschamps, M.; Decrop, B.; Mostaert, F. (2016). Model- en data-analyse ten behoeve van betere tij-verwachtingen.: Sub report 4 – Hindcast with 2D NEVLA. Version 1.0. FHR Reports, 16_016. Flanders Hydraulics Research & IMDC: Antwerp, Belgium.

Coen, L. (2016). Hindcast stormen nov2015 en jan2016 met online 1D-voorspellingsmodel. Memo WL2016M16_016_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen. 35pp.

Coen, L.; Vanderkimpen, P.; Vanlede, J.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2016). Integraal plan Boven-Zeeschelde – Veiligheidstoets B-&C-alternatieven: Deelrapport 1 – Kalibratie Zeescheldemodel. Versie 4.0. WL Rapporten, 14_176_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

Nossent, J.; Viaene, P.; Boeckx, L.; Deschamps, M.; Peeters, P.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2016). Stormrapport: hoogwaterperiode januari 2016. versie 3.0. WL Rapporten, 00_119. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen. IV, 20 + 7 p. appendices pp.

Boeckx, L.; Coen, L.; Deschamps, M.; Peeters, P.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2016). Stormperiode 28-30 november 2015. Versie 3.0. WL Rapporten, 00_119. Waterbouwkundig Laboratorium, Antwerpen, België.

DEPARTEMENT **MOBILITEIT & OPENBARE WERKEN**
Waterbouwkundig Laboratorium

Berchemlei 115, 2140 Antwerpen

T +32 (0)3 224 60 35

F +32 (0)3 224 60 36

waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be

www.waterbouwkundiglaboratorium.be