



**Vlaanderen**  
is wetenschap

22\_069\_1  
WL rapporten

# Representatie stijgsnelheid en verhang Terneuzen-Hansweert in numerieke modellen

Verkennde kalibratieoefening met NeVla model

DEPARTEMENT  
MOBILITEIT &  
OPENBARE  
WERKEN

[waterbouwkundiglaboratorium.be](http://waterbouwkundiglaboratorium.be)

# Representatie stijgsnelheid en verhang Terneuzen-Hansweert in numerieke modellen

Verkennde kalibratieoefening met NeVla model

Stark, J.; Plancke, Y.

### 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 2023  
D/2023/3241/077

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

**Stark, J.; Plancke, Y.** (2023). Representatie stijgsnelheid en verhang Terneuzen-Hansweert in numerieke modellen: Verkennende kalibratieoefening met NeVla model. Versie 3.0. WL Rapporten, 22\_069\_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

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

### Documentidentificatie

Opdrachtgever:	Waterbouwkundig Laboratorium	Ref.:	WL2023R22_069_1
Trefwoorden (3-5):	Westerschelde; Dwarsstroming; Platen van Ossensisse; Delft3D; NeVla		
Kennisdomeinen:	Hydraulica en sediment > Hydrodynamica > Waterstanden > Numerieke modellering		
Tekst (p.):	23	Bijlagen (p.):	/
Vertrouwelijk:	<input checked="" type="checkbox"/> Nee	<input checked="" type="checkbox"/> Online beschikbaar	

Auteur(s):	Stark, J.
------------	-----------

### Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Plancke, Y.	Getekend door: Yves Plancke (Signature) Getekend op: 2023-06-12 16:44:44 +02:0 Reden: ik keur dit document goed <i>Yves Plancke</i>
Projectleider:	Stark, J.	Getekend door: Jeroen Stark (Signature) Getekend op: 2023-06-13 14:29:46 +02:0 Reden: ik keur dit document goed <i>Jeroen Stark</i>

### Goedkeuring

Afdelingshoofd:	Bellafkih, K.	Getekend door: Abdelkarim Bellafkih (Sig) Getekend op: 2023-06-09 09:21:26 +02:0 Reden: ik keur dit document goed <i>Abdelkarim Bellafkih</i>
-----------------	---------------	--



## Abstract

In dit rapport wordt een kalibratieoefening gepresenteerd voor het (Delft3D) NeVla model waarin getracht wordt om door middel van aanpassingen in het bodemruweidsveld de representatie van de belangrijkste indicatoren voor de sterkte van de dwarsstroming, i.e., het maximale verhang tussen Terneuzen en Hansweert en de maximale stijgsnelheid te Hansweert, te verbeteren. Uit een eerdere validatieoefening is namelijk gebleken dat het NeVla voorspelmodel zowel de sterkte van de dwarsstromingen zelf alsmede de waterstandsindicatoren niet goed representeert voor de hoogste springtijden.

De huidige kalibratieoefening toont aan dat het inderdaad mogelijk is de representatie van deze parameters te verbeteren door de ruwheid in de hoofdgeul (i.e., Gat van Ossensisse) en nevengeul (i.e., Middelgat) tussen Terneuzen en Hansweert te verlagen. De gemiddelde afwijking voor het maximale verhang tussen Terneuzen en Hansweert neemt dan af van 23 cm in de huidige NeVla configuratie naar 3-4 cm in enkele kalibratieruns en de afwijking van de maximale stijgsnelheid te Hansweert neemt af van  $0,29 \text{ cm}\cdot\text{min}^{-1}$  naar minder dan  $0,05 \text{ cm}\cdot\text{min}^{-1}$  in de meest optimale kalibratieruns. Een verlaging van de bodemruwheid in dit gebied leidt echter tot een overschatting van de getijslag verder opwaarts in het estuarium, waardoor extra aanpassingen aan het ruweidsveld noodzakelijk zijn om de algehele modelprestatie op peil te houden.



# Inhoudstafel

Abstract .....	III
Inhoudstafel.....	V
Lijst van de tabellen.....	VI
Lijst van de figuren .....	VII
1 Inleiding .....	1
1.1 Achtergrond.....	1
1.2 Doelstelling.....	1
2 Methodiek .....	2
2.1 Algemene modelopzet .....	2
2.1.1 Bathymetrische data .....	2
2.1.2 Randvoorwaarden .....	2
2.1.3 Bodemruwheid .....	3
2.1.4 Overige modelinstellingen.....	3
2.2 Opzet kalibratieruns .....	4
2.3 Postprocessing en analyse.....	6
3 Resultaten.....	8
3.1 Invloed op indicatoren voor dwarsstroming .....	8
3.2 Invloed op algehele representatie verticaal getij.....	15
4 Conclusies en aanbevelingen .....	21
Referenties .....	23

## Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Opwaartse randvoorwaarden.....	2
Tabel 2 – Basisinstellingen Delft3D-NeVla model .....	4
Tabel 3 – Overzicht kalibratierun: Manning ruwheidscoëfficiënt tussen Terneuzen en Hansweert.....	6
Tabel 4 – Overzicht BIAS- en RMSE-waarden voor hoogwaterniveau Hansweert, maximaal verhang Terneuzen-Hansweert en maximale stijgsnelheid Hansweert.....	9

## Lijst van de figuren

Figuur 1 – Geïmplementeerd waterstandsverloop aan afwaartse rand voor langdurige simulatie.....	3
Figuur 2 – Manning’s ruwheidsveld zoals gekalibreerd bij de afregeling van het 2D NeVla model.....	3
Figuur 3 – Polygonen voor aanpassing bodemruwheid tussen Terneuzen en Hansweert.....	5
Figuur 4 – Huidig ruwheidsveld voor het NeVla model in de zone Terneuzen-Hansweert.....	5
Figuur 5 – Gesimuleerd en geobserveerd hoogwater te Hansweert (linksboven), maximale stijgsnelheid te Hansweert (rechtsboven) en maximaal verhang tussen Terneuzen en Hansweert (linksonder) voor Delft3D run01 met ruwheidsveld uit operationeel model.....	10
Figuur 6 – Gesimuleerd en geobserveerd hoogwater te Hansweert (linksboven), maximale stijgsnelheid te Hansweert (rechtsboven) en maximaal verhang tussen Terneuzen en Hansweert (linksonder) voor Delft3D run08.....	11
Figuur 7 – Gesimuleerd en geobserveerd hoogwater te Hansweert (linksboven), maximale stijgsnelheid te Hansweert (rechtsboven) en maximaal verhang tussen Terneuzen en Hansweert (linksonder) voor Delft3D run14.....	12
Figuur 8 – Gesimuleerd en geobserveerd hoogwater te Hansweert (linksboven), maximale stijgsnelheid te Hansweert (rechtsboven) en maximaal verhang tussen Terneuzen en Hansweert (linksonder) voor Delft3D run15.....	13
Figuur 9 – Gesimuleerd en geobserveerd hoogwater te Hansweert (linksboven), maximale stijgsnelheid te Hansweert (rechtsboven) en maximaal verhang tussen Terneuzen en Hansweert (linksonder) voor Delft3D run18.....	14
Figuur 10 – BIAS voor het gemodelleerde waterstandsverloop langs de Schelde voor geselecteerde kalibratieruns.....	16
Figuur 11 – RMSE voor het gemodelleerde waterstandsverloop langs de Schelde voor geselecteerde kalibratieruns.....	16
Figuur 12 – BIAS voor de gemodelleerde hoogwaterstanden langs de Schelde voor geselecteerde kalibratieruns.....	17
Figuur 13 – RMSE voor de gemodelleerde hoogwaterstanden langs de Schelde voor geselecteerde kalibratieruns.....	17
Figuur 14 – BIAS voor de gemodelleerde laagwaterstanden langs de Schelde voor geselecteerde kalibratieruns.....	18
Figuur 15 – RMSE voor de gemodelleerde laagwaterstanden langs de Schelde voor geselecteerde kalibratieruns.....	18
Figuur 16 – BIAS voor de gemodelleerde tijdstippen van de hoogwaters langs de Schelde voor geselecteerde kalibratieruns.....	19
Figuur 17 – RMSE voor de gemodelleerde tijdstippen van de hoogwaters langs de Schelde voor geselecteerde kalibratieruns.....	19
Figuur 18 – BIAS voor de gemodelleerde tijdstippen van de laagwaters langs de Schelde voor geselecteerde kalibratieruns.....	20



Figuur 19 – RMSE voor de gemodelleerde tijdstippen van de laagwaters langs de Schelde voor geselecteerde kalibratieruns..... 20

Figuur 20 – Maximale dwarsstromingen ten opzichte van maximale stijgsnelheid Hansweert voor Delft3D run met ruwheidsveld uit operationeel model (links) en voor kalibratierun run014..... 22

# 1 Inleiding

## 1.1 Achtergrond

Binnen de studie *“Haalbaarheid voorspelling dwarsstroming”* werd een validatieoefening uitgevoerd voor het NeVla voorspelmodel om de representatie van de dwarsstromingen ten oosten van de Platen van Ossensisse in dit model te onderzoeken (Stark *et al.*, 2022). Hierbij werd ook de representatie van de indicatoren voor de sterkte van de dwarsstroming op basis van het waterstandsverloop in Hansweert en Terneuzen beschouwd. Uit deze validatieoefening is gebleken dat het NeVla voorspelmodel zowel de sterkte van de dwarsstromingen zelf alsmede de belangrijkste indicatoren voor de sterkte van de dwarsstroming, i.e., het maximale verhang tussen Terneuzen en Hansweert en de maximale stijgsnelheid te Hansweert, niet goed representeert voor de hoogste springtij. Juist de sterkste dwarsstromen worden daardoor onderschat. De maximale stijgsnelheid in Hansweert wordt, met name tijdens springtij, eveneens onderschat. Het maximum verhang tussen Terneuzen en Hansweert, dat momenteel door Rijkswaterstaat wordt gebruikt om voorwaarschuwingen voor de dwarsstroming op te baseren, wordt in het operationele NeVla model in algemene zin overschat. Een van de aanbevelingen in het validatierapport was dan ook om bij een volgende modelkalibratie de stijgsnelheid en het verhang expliciet mee te nemen.

## 1.2 Doelstelling

In de huidige modeloefening wordt een kalibratieoefening uitgevoerd door middel van aanpassingen in het bodemruweheidsveld met als doel om de representatie van de waterstandsindicatoren voor de sterkte van de dwarsstroming (stijgsnelheid Hansweert en verhang Terneuzen-Hansweert) te verbeteren. Er wordt in eerste instantie enkel aandacht besteed aan deze waterstandsparameters. De invloed van dergelijke wijzigingen op het gemodelleerde waterstandsverloop elders in het estuarium wordt vervolgens beknopt onderzocht voor de meest veelbelovende kalibratieruns.

Wellicht zijn extra aanpassingen aan het ruweheidsveld nodig om de modelprestatie in opwaartse richting op peil te houden. Een meer uitgebreide kalibratieoefening valt echter buiten scope van deze modeloefening. Bij een succesvol resultaat kan uiteindelijk ook de invloed van het aangepaste ruweheidsveld op de representatie van de dwarsstromingen zelf worden bestudeerd. Een dergelijke validatieoefening valt eveneens buiten scope.

## 2 Methodiek

### 2.1 Algemene modelopzet

De kalibratieruns worden uitgevoerd met het tweedimensionale Delft3D-NeVla model van het Schelde-estuarium (Vanlede *et al.*, 2009). De Delft3D simulaties worden uitgevoerd in de modelconfiguratie zoals Stark *et al.* (2022) werd getest in de validatieoefening met betrekking tot de representatie van de dwarsstromingen bij de Platen van Ossensisse.

Hieronder wordt de belangrijkste modelinvoer besproken.

#### 2.1.1 Bathymetrische data

De geïmplementeerde bathymetrische data voor de Westerschelde is afkomstig uit het jaar 2019. De implementatie van bathymetrische data is gedaan in QUICKIN middels triangulatie. Elders in het estuarium wordt de bathymetrie van het meest recente gevalideerde 2D NeVla model geïmplementeerd (Jespers *et al.*, 2014). Dit betekent dat de bodemligging in de Zeeschelde en de bovenlopen afkomstig is uit de periode 2009-2011.

#### 2.1.2 Randvoorwaarden

##### Opwaartse randvoorwaarden

Aan de opwaartse rand worden P50-waarden voor de bovenafvoer opgelegd zoals opgesomd in Tabel 1. De data is verkregen vanuit het HIC Hydrologisch Jaarboek 2019 (Vandenbruwaene *et al.*, 2020). Aangezien het interessegebied hier voornamelijk de Westerschelde is, beïnvloeden de opwaartse randvoorwaarden de resultaten nauwelijks.

---

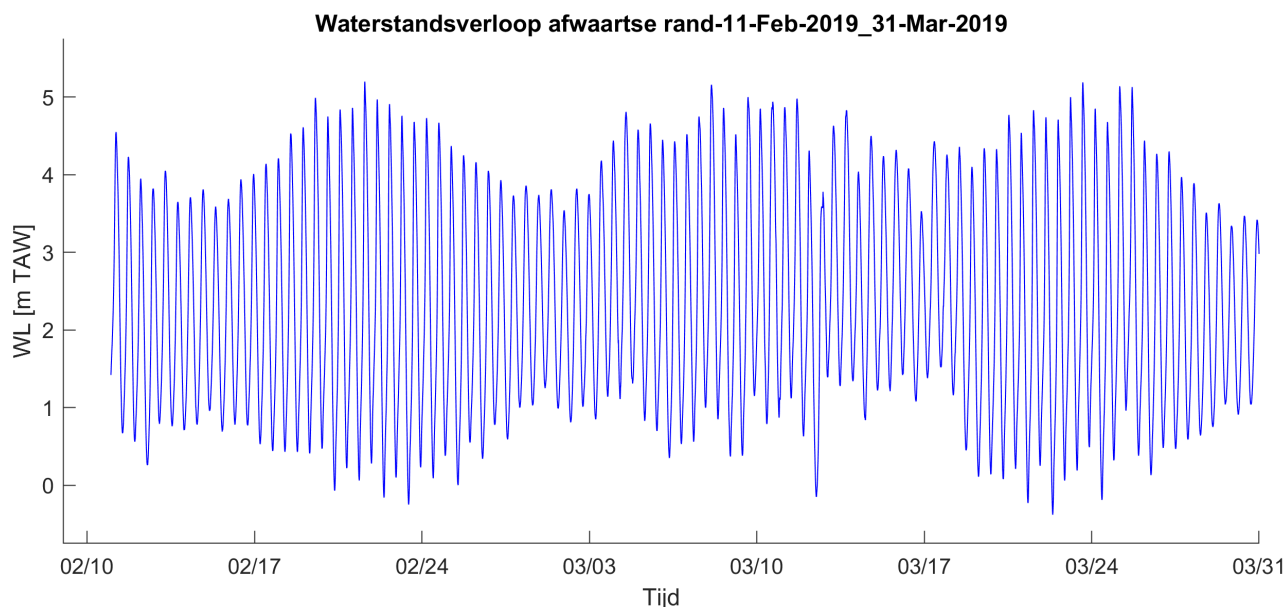
Tabel 1 – Opwaartse randvoorwaarden.

---

Locatie	Debiet [m <sup>3</sup> /s]
Boven-Zeeschelde	30,9
Dender	9,8
Zenne	10,0
Dijle	19,8
Grote Nete	4,0
Kleine Nete	5,3

##### Afwaartse randvoorwaarden

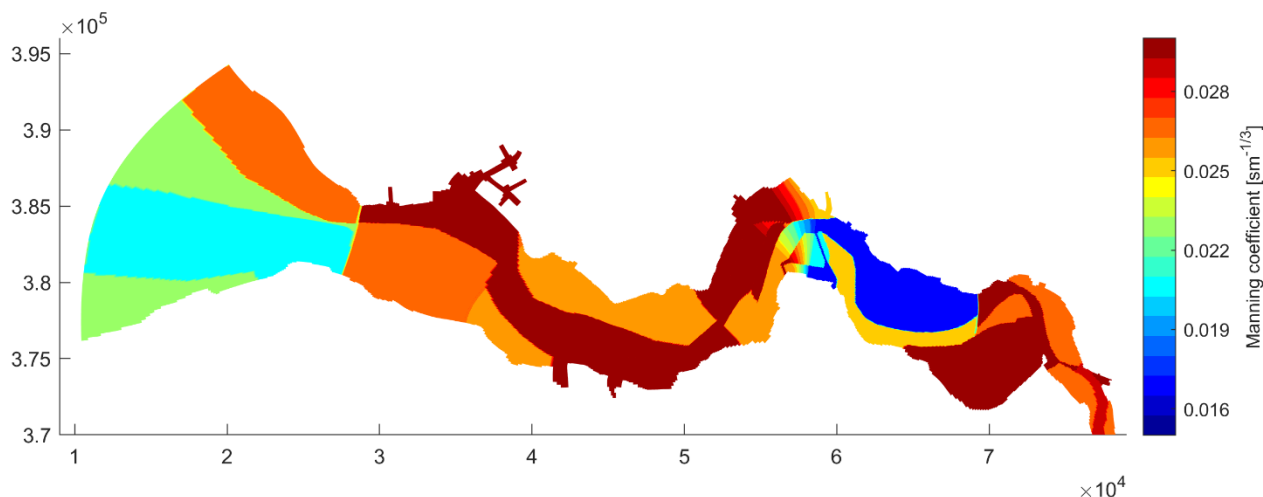
De afwaartse rand wordt afgeknipt langs de lijn Westkapelle-Cadzand zodat geobserveerde waterstandsreeksen kunnen worden geïmplementeerd. Om de springtij-doodtij-variantie van de dwarsstroming te analyseren worden langdurige simulaties gestart. De simulatieperiode voor de runs loopt van 11-02-2019 tot en met 31-03-2019. Figuur 1 toont het geïmplementeerd waterstandsverloop aan de afwaartse rand (i.e., voor Cadzand) voor deze simulatieperiode.



Figuur 1 – Geïmplementeerd waterstandsverloop aan afwaartse rand voor langdurige simulatie.

### 2.1.3 Bodemruwheid

Figuur 2 toont het ruwheidsveld zoals dat werd gekalibreerd door (Vanlede *et al.*, 2009) voor het 2D NeVla model. Dit ruwheidsveld vormt de basis voor de kalibratieruns. In de zone Terneuzen-Hansweert zal de bodemruwheid tijdens deze kalibratieoefening worden gewijzigd om de maximum stijgsnelheid te Hansweert en het maximum verhang tussen Terneuzen en Hansweert beter te kunnen reproduceren (zie: §2.2).



Figuur 2 – Manning's ruwheidsveld zoals gekalibreerd bij de afregeling van het 2D NeVla model.

### 2.1.4 Overige modelinstellingen

De overige modelinstellingen voor het tweedimensionale Delft3D-NeVla model zijn opgesomd in Tabel 2.

Tabel 2 – Basisinstellingen Delft3D-NeVla model

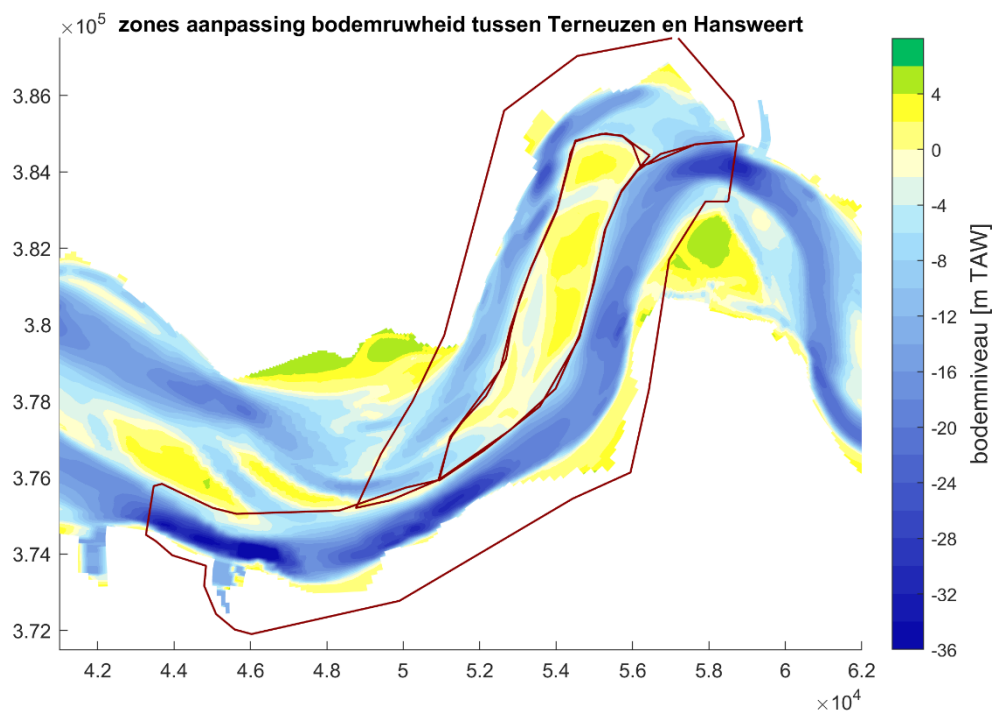
Parameter	Waarde
Time step	0,05 min
Salinity	True
Sediment	False
Secondary Flow	True
Feedback of secondary flow onto main flow	False
Reflection parameter	100 s <sup>2</sup>
Gravity	9,81 m/s <sup>2</sup>
Water density	1023 kg/m <sup>3</sup>
Air density	1 kg/m <sup>3</sup>
Temperature	15 °C
Wall roughness	Free
Horizontal eddy viscosity	0,1 m <sup>2</sup> /s
Horizontal eddy diffusivity	1,0 m <sup>2</sup> /s
Drying and flooding	Centres and faces
Depth specified at	Grid cell corners
Depth at centre	Max
Depth at faces	Mor
Threshold depth	0,05 m
Marginal depth	0,05 m
Smoothing time	120 min
Advection scheme for momentum	cyclic
Advection scheme for Transport	cyclic
Horizontal Forester filter	True
Map results Interval	10 min
History output interval	10 min

## 2.2 Opzet kalibratieruns

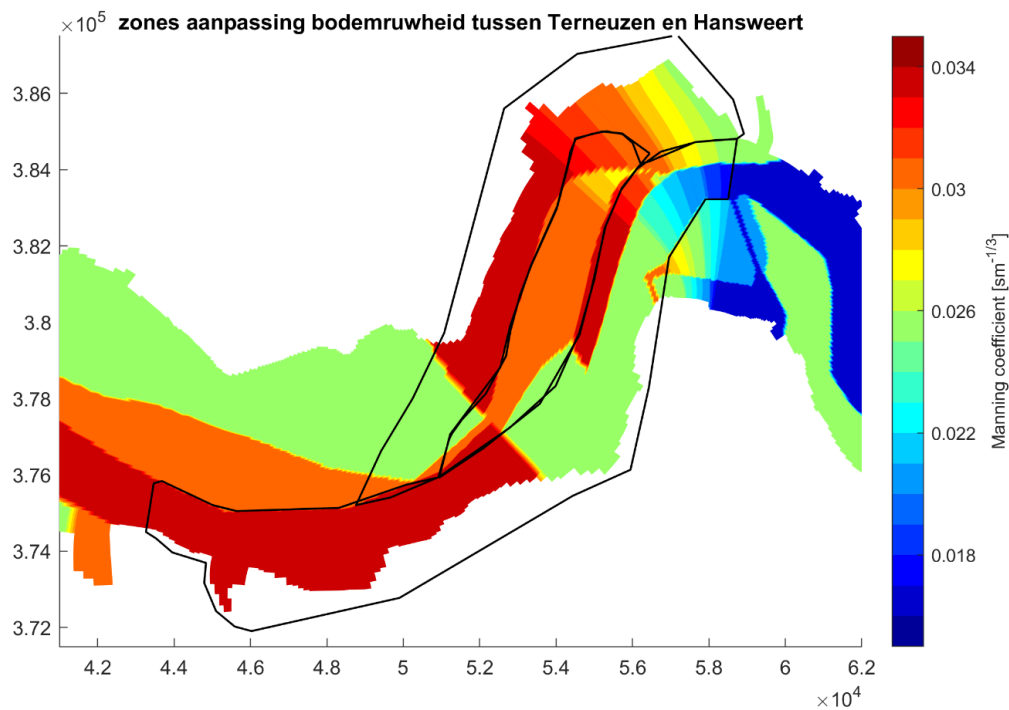
In de kalibratieruns wordt het bodemruweidheidsveld aangepast in de zone Terneuzen-Hansweert met als doel de getijvoortplanting in dit gebied te versnellen en zo een betere representatie van de maximum stijgsnelheid te Hansweert en het maximum verhang tussen Terneuzen en Hansweert te verkrijgen.

De aanpassingen in het ruweidheidsveld worden opgesplitst in drie deelzones (Figuur 3): de hoofdgeul (Gat van Ossensse tot Overloop van Hansweert), de nevengeul (Middelgat) en de plaat (Rug van Baarland en Molenplaat). Voor elk van de deelzones worden verschillende Manning's ruweidheidscoëfficiënten getest. In de hoofd- en nevengeul gaat het voornamelijk om verlagingen van de ruweidheid ten opzichte van het huidige ruweidheidsveld (Figuur 4) om de voortplanting van de getijgolf te versnellen:  $n = 0,012/0,016/0,020$  s·m<sup>-1/3</sup> voor de hoofdgeul en  $n = 0,012/0,016/0,020/0,024$  s·m<sup>-1/3</sup> voor de nevengeul. Op de plaat wordt een hoge en een lage ruweidheidscoëfficiënt getest:  $n = 0,016/0,030$  s·m<sup>-1/3</sup>. Er worden 24 kalibratieruns (en één referentierun) gestart om alle verschillende combinaties van ruweidheidscoëfficiënten te testen.

Tabel 3 geeft een overzicht van de geïmplementeerde ruweidheidscoëfficiënten in de kalibratieruns.



Figuur 3 – Polygonen voor aanpassing bodemruwheid tussen Terneuzen en Hansweert.



Figuur 4 – Huidig ruwheidsveld voor het NeVla model in de zone Terneuzen-Hansweert.

Tabel 3 – Overzicht kalibratierun: Manning ruwheidscoëfficiënt tussen Terneuzen en Hansweert.

Simulatie	<i>Gat van Ossensisse</i>	<i>Middelgat</i>	<i>Rug van Baarland / Molenplaat</i>
<b>run01 (ref)</b>	0,025-0,033 (zie Figuur 4)	0,033 (zie Figuur 4)	0,029 (zie Figuur 4)
<b>run02</b>	0,020	0,024	0,030
<b>run03</b>	0,020	0,024	0,016
<b>run04</b>	0,020	0,020	0,030
<b>run05</b>	0,020	0,020	0,016
<b>run06</b>	0,020	0,016	0,030
<b>run07</b>	0,020	0,016	0,016
<b>run08</b>	0,020	0,012	0,030
<b>run09</b>	0,020	0,012	0,016
<b>run10</b>	0,016	0,024	0,030
<b>run11</b>	0,016	0,024	0,016
<b>run12</b>	0,016	0,020	0,030
<b>run13</b>	0,016	0,020	0,016
<b>run14</b>	0,016	0,016	0,030
<b>run15</b>	0,016	0,016	0,016
<b>run16</b>	0,016	0,012	0,030
<b>run17</b>	0,016	0,012	0,016
<b>run18</b>	0,012	0,024	0,030
<b>run19</b>	0,012	0,024	0,016
<b>run20</b>	0,012	0,020	0,030
<b>run21</b>	0,012	0,020	0,016
<b>run22</b>	0,012	0,016	0,030
<b>run23</b>	0,012	0,016	0,016
<b>run24</b>	0,012	0,012	0,030
<b>run25</b>	0,012	0,012	0,016

## 2.3 Postprocessing en analyse

### Kalibratieparameters

Uit de modelresultaten worden op basis van de gemodelleerde waterstandsreeksen in Terneuzen en Hansweert voor elk individueel getij onderstaande parameters berekend:

- Hoogwaterniveau te Hansweert [m]
- Maximale stijgsnelheid te Hansweert [ $\text{cm}\cdot\text{min}^{-1}$ ]
- Maximaal verhang tussen Terneuzen en Hansweert [m]

Vervolgens worden deze vergeleken met waarden op basis van geobserveerde waterstandsreeksen door middel van het berekenen van een gemiddelde afwijking (BIAS) en RMSE.

Om de prestatie van de kalibratieruns onderling te vergelijken wordt per simulatie een gemiddelde score berekend van alle BIAS- en RMSE-waarden. De kalibratierun met de laagste gemiddelde score geeft de beste gecombineerde representatie van het hoogwaterniveau, het verhang en de stijgsnelheid.

### Analyse invloed op algehele modelprestatie

Voor de kalibratieruns die de beste resultaten geven wordt met behulp van de VIMM toolbox (Vanlede *et al.*, 2020) ook de invloed op de representatie van het verticaal getij verder opwaarts in het estuarium onderzocht. Zo kan worden ingeschat of na de aanpassingen van het bodemruwheidsveld in de zone Terneuzen-Hansweert de algehele modelprestatie op peil blijft, of dat er verdere aanpassingen elders nodig zijn om de modelprestatie op peil te houden.



## 3 Resultaten

### 3.1 Invloed op indicatoren voor dwarsstroming

Tabel 4 geeft een overzicht van de modelprestatie voor de verschillende kalibratierun en voor de referentierun. De tabel weergeeft de BIAS- en RMSE-waarden voor het hoogwater te Hansweert, de maximale stijgsnelheid te Hansweert en voor het maximale verhang tussen Terneuzen en Hansweert, alsmede een gemiddelde waarde voor alle parameters.

De referentierun run01 met het huidige bodemruweheidsveld geeft een goede representatie van de hoogwaters in Hansweert met een BIAS van -0,08m en een RMSE-waarde <0,10 m, maar de representatie van het maximum verhang (+0,23 m) en de maximale stijgsnelheid (-0,29 cm·min<sup>-1</sup>) is slecht.

Een verlaging van de ruweheidscoëfficiënt in de geulen geeft in alle kalibratieruns een verbeterde representatie voor beide indicatoren voor de dwarsstroming bij de Platen van Ossensisse. In algemene zin is de representatie van het maximum verhang beter voor kalibratieruns met een lage bodemruweheid van  $n = 0,012-0,016 \text{ s}\cdot\text{m}^{-1/3}$  in de hoofdgeul. Echter, een te lage ruweheidscoëfficiënt van  $n = 0,012 \text{ s}\cdot\text{m}^{-1/3}$  in de hoofdgeul leidt tot een verminderde representatie van de maximum stijgsnelheid te Hansweert in vergelijking met de kalibratieruns waarin de hoofdgeul een ruweheidscoëfficiënt van  $n = 0,016-0,020 \text{ s}\cdot\text{m}^{-1/3}$  heeft. Ook het hoogwaterniveau in Hansweert wordt iets minder goed weergegeven als de ruweheidscoëfficiënt in het Gat van Ossensisse wordt verlaagd tot  $n = 0,012 \text{ s}\cdot\text{m}^{-1/3}$ .

De invloed van de ruweheidscoëfficiënt op de Rug van Baarland en de Molenplaat is beperkt, maar in alle gevallen geeft de kalibratierun met een hoge ruweheidscoëfficiënt van  $n = 0,030 \text{ s}\cdot\text{m}^{-1/3}$  een iets beter resultaat dan de runs met een lagere coëfficiënt van  $n = 0,016 \text{ s}\cdot\text{m}^{-1/3}$  op de plaat.

In enkele kalibratieruns wordt de BIAS voor het verhang verminderd tot slechts 0,03 m met een RMSE-waarde van 0,04 m. De stijgsnelheid wordt in een enkele simulatie (run18) zelfs gerepresenteerd met een verwaarloosbare BIAS van 0,002 cm·min<sup>-1</sup> en een RMSE van 0,16 cm·min<sup>-1</sup>.

#### Selectie van veelbelovende kalibratieruns

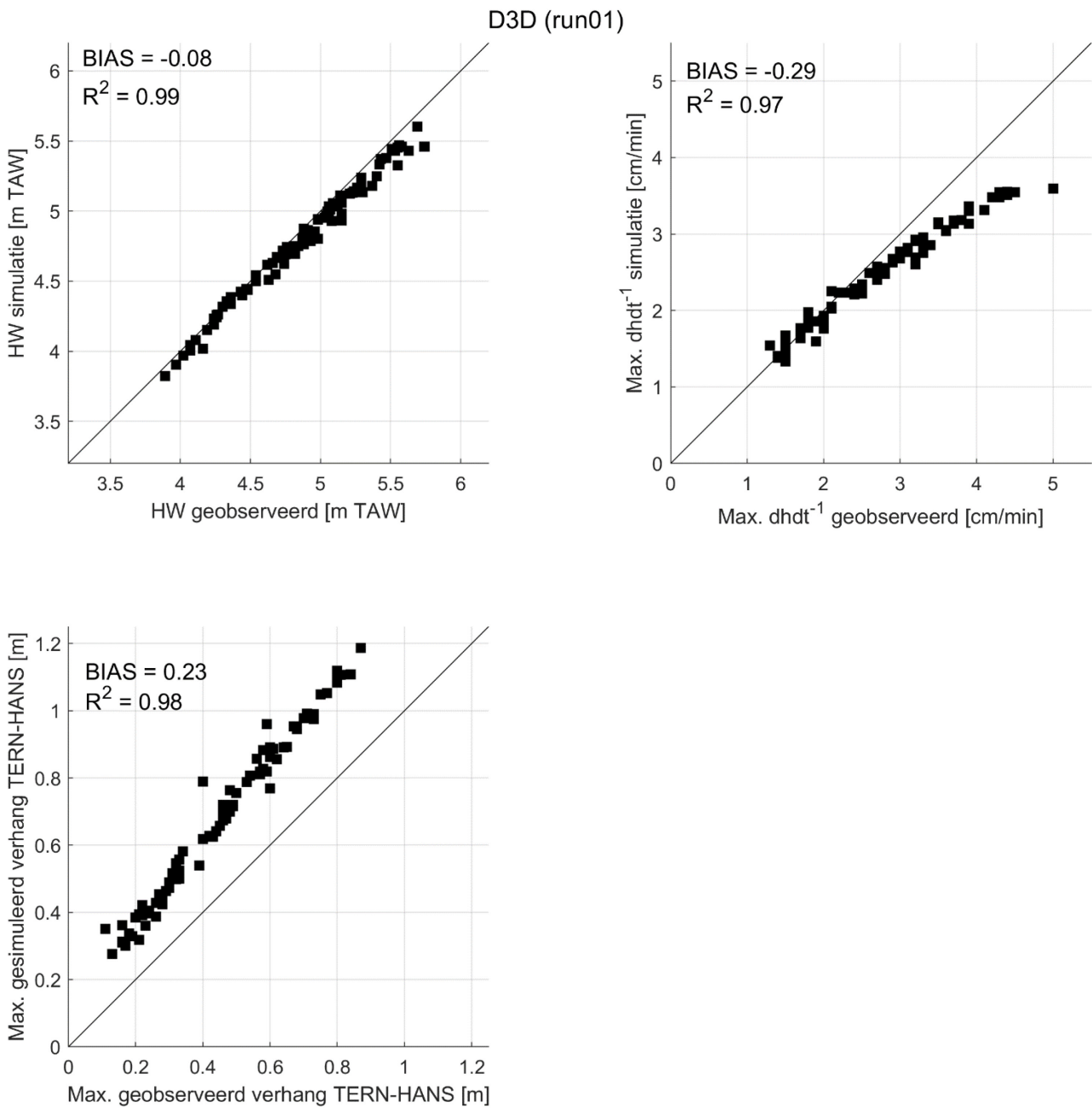
De beste gecombineerde modelprestatie op basis van de drie kalibratieparameters wordt behaald in run08, run14, run15 en run18. In run14 en run15 is de ruweheidscoëfficiënt in de hoofdgeul en nevengeul gelijk aan  $n = 0,016 \text{ s}\cdot\text{m}^{-1/3}$ . In run18 is de ruweheidscoëfficiënt in de hoofdgeul met  $n = 0,012 \text{ s}\cdot\text{m}^{-1/3}$  iets lager en in de nevengeul iets hoger met  $n = 0,024 \text{ s}\cdot\text{m}^{-1/3}$ . In run08 is de ruweheidscoëfficiënt in de hoofdgeul juist hoger met  $n = 0,020 \text{ s}\cdot\text{m}^{-1/3}$  dan in de nevengeul met  $n = 0,012 \text{ s}\cdot\text{m}^{-1/3}$ .

Voor deze runs en voor de referentierun worden de gemodelleerde maximum stijgsnelheid, maximum verhang en de hoogwaters tegen de geobserveerde waarden afgezet in Figuur 5 – Figuur 9. In deze figuren valt op dat de stijgsnelheid in de referentierun juist voor de hoogste getijden wordt onderschat. Deze onderschatting neemt weliswaar af in de geselecteerde kalibratieruns, maar voor de hogere waarden van  $dh\cdot dt^{-1}$  blijft de gemodelleerde maximum stijgsnelheid steeds lager dan de geobserveerde waarden.

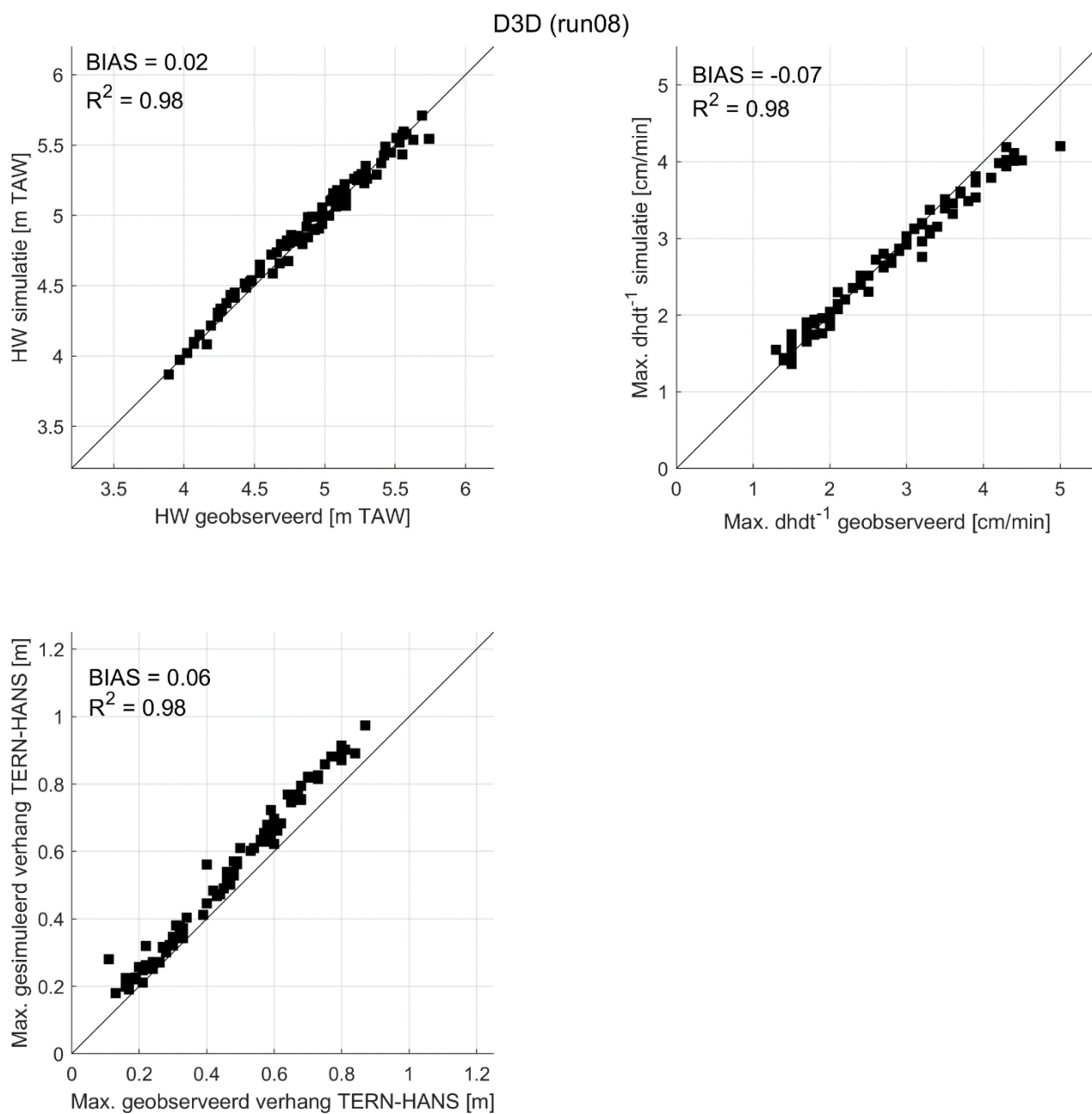
Deze runs zullen in de volgende paragraaf verder worden beoordeeld op de representatie van het verticaal getij in het gehele estuarium.

Tabel 4 – Overzicht BIAS- en RMSE-waarden voor hoogwaterniveau Hansweert, maximaal verhang Terneuzen-Hansweert en maximale stijgsnelheid Hansweert.

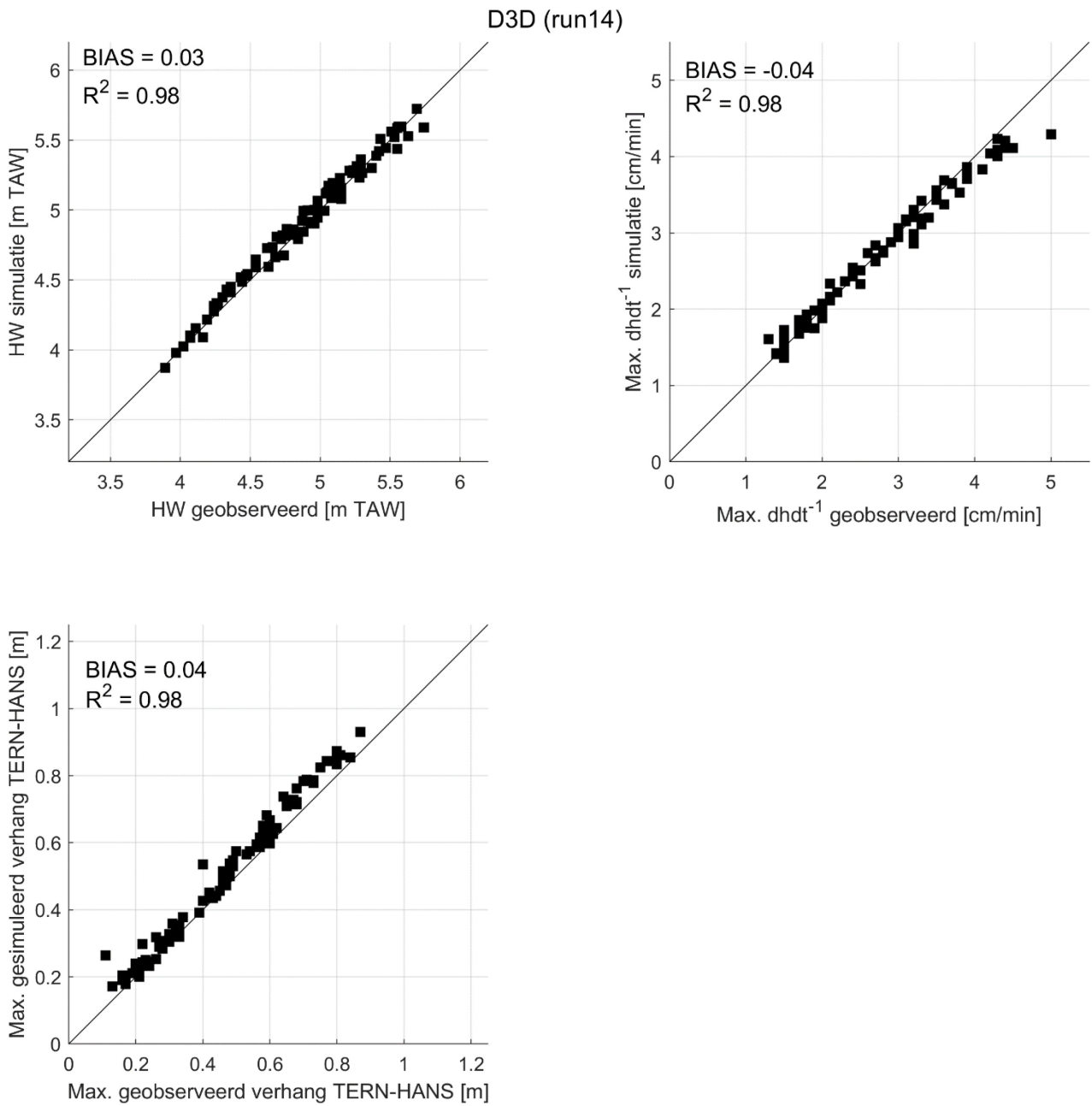
Simulatie	Gemiddelde score	HW Hansweert [m]		Verhang TERN-HANS [m]		dhdt <sup>-1</sup> HANS [cm·min <sup>-1</sup> ]	
		BIAS	RMSE	BIAS	RMSE	BIAS	RMSE
<i>run01 (ref)</i>	0.224	-0.077	0.097	0.225	0.232	-0.288	0.423
<i>run02</i>	0.109	0.055	0.084	0.162	0.175	0.029	0.152
<i>run03</i>	0.109	0.065	0.090	0.146	0.158	0.045	0.152
<i>run04</i>	0.110	0.071	0.096	0.143	0.155	0.043	0.153
<i>run05</i>	0.110	0.079	0.103	0.127	0.139	0.056	0.155
<i>run06</i>	0.111	0.085	0.108	0.125	0.137	0.056	0.155
<i>run07</i>	0.113	0.097	0.118	0.105	0.116	0.079	0.165
<i>run08</i>	0.080	0.024	0.063	0.065	0.073	-0.069	0.188
<i>run09</i>	0.117	0.107	0.127	0.090	0.101	0.098	0.177
<i>run10</i>	0.111	0.074	0.097	0.112	0.123	0.094	0.169
<i>run11</i>	0.112	0.084	0.108	0.097	0.108	0.104	0.175
<i>run12</i>	0.111	0.089	0.111	0.095	0.106	0.098	0.167
<i>run13</i>	0.111	0.096	0.118	0.081	0.092	0.109	0.171
<i>run14</i>	0.063	0.031	0.065	0.038	0.048	-0.036	0.159
<i>run15</i>	0.060	0.016	0.062	0.031	0.044	-0.043	0.164
<i>run16</i>	0.115	0.119	0.139	0.065	0.077	0.114	0.176
<i>run17</i>	0.116	0.122	0.143	0.053	0.065	0.126	0.189
<i>run18</i>	0.052	0.021	0.060	0.028	0.042	-0.002	0.159
<i>run19</i>	0.126	0.118	0.148	0.056	0.070	0.159	0.208
<i>run20</i>	0.119	0.108	0.130	0.055	0.069	0.151	0.201
<i>run21</i>	0.125	0.122	0.149	0.042	0.058	0.161	0.218
<i>run22</i>	0.120	0.116	0.137	0.042	0.058	0.158	0.212
<i>run23</i>	0.121	0.123	0.145	0.030	0.048	0.160	0.219
<i>run24</i>	0.119	0.131	0.150	0.028	0.046	0.153	0.207
<i>run25</i>	0.124	0.133	0.154	0.018	0.040	0.175	0.222



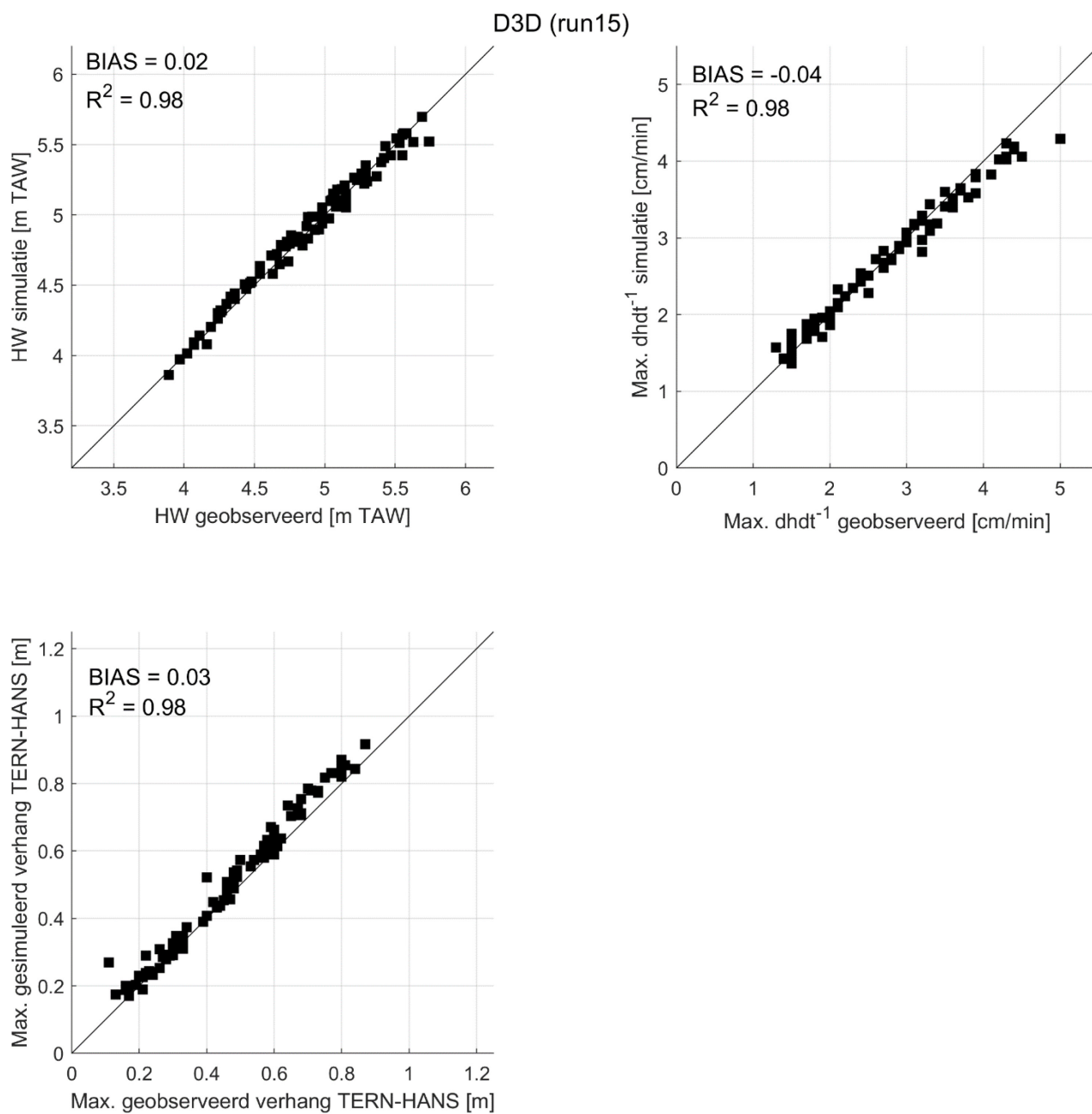
Figuur 5 – Gesimuleerd en geobserveerd hoogwater te Hansweert (linksboven), maximale stijgsnelheid te Hansweert (rechtsboven) en maximaal verhang tussen Terneuzen en Hansweert (linksonder) voor Delft3D run01 met ruwheidsveld uit operationeel model.



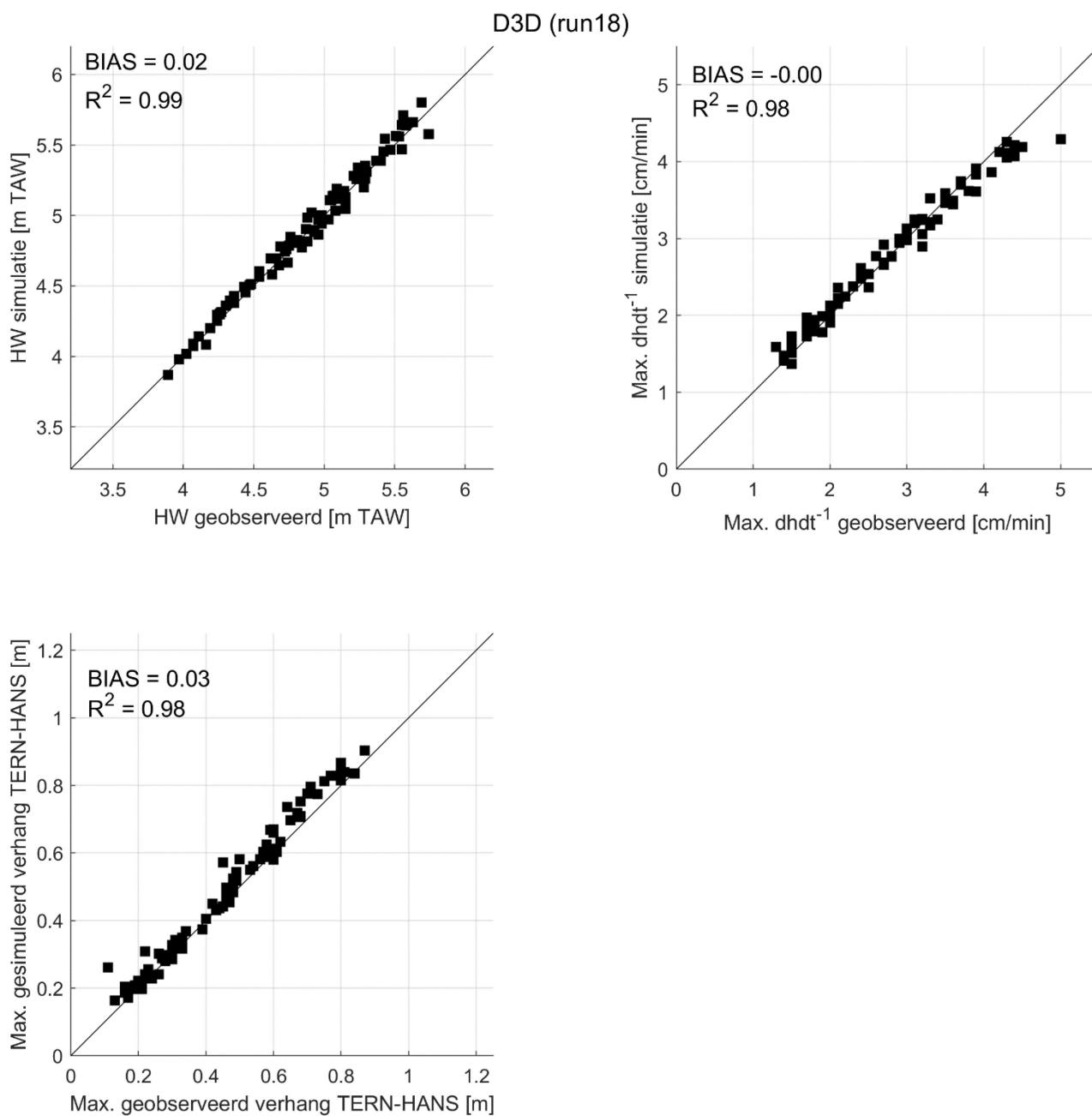
Figuur 6 – Gesimuleerd en geobserveerd hoogwater te Hansweert (linksboven), maximale stijgsnelheid te Hansweert (rechtsboven) en maximaal verhang tussen Terneuzen en Hansweert (linksonder) voor Delft3D run08.



Figuur 7 – Gesimuleerd en geobserveerd hoogwater te Hansweert (linksboven), maximale stijgsnelheid te Hansweert (rechtsboven) en maximaal verhang tussen Terneuzen en Hansweert (linksonder) voor Delft3D run14.



Figuur 8 – Gesimuleerd en geobserveerd hoogwater te Hansweert (linksboven), maximale stijgsnelheid te Hansweert (rechtsboven) en maximaal verhang tussen Terneuzen en Hansweert (linksonder) voor Delft3D run15.



Figuur 9 – Gesimuleerd en geobserveerd hoogwater te Hansweert (linksboven), maximale stijgsnelheid te Hansweert (rechtsboven) en maximaal verhang tussen Terneuzen en Hansweert (linksonder) voor Delft3D run18.

## 3.2 Invloed op algehele representatie verticaal getij

Onderstaande figuren geven een overzicht van de verificatie van de modelprestatie aangaande de representatie van het verticaal getij voor de geselecteerde kalibratieruns. Figuur 10 en Figuur 11 tonen de BIAS en RMSE voor het volledige waterstandsverloop. Figuur 12 - Figuur 15 tonen de BIAS en RMSE voor respectievelijk de hoogwaters en de laagwaters. In Figuur 16 – Figuur 19 worden de BIAS en RMSE getoond voor de tijdstippen van de hoog- en laagwaters.

### Volledige waterstandsverloop

Voor wat betreft het volledige waterstandsverloop blijkt dat de geselecteerde simulaties met een lagere bodemruwheid tussen Terneuzen en Hansweert (i.e., run08, run14, run15 en run18) in het algemeen lagere waterstanden produceren dan de referentierun. Omdat de waterstanden in de Westerschelde al werden onderschat leidt dit tot een verslechtering van de modelprestatie. In de Beneden-Zeeschelde werden de waterstanden bij Prosperpolder en Kallo echter overschat in de referentierun, waardoor de verlaging van de waterstanden in de kalibratieruns juist een verbetering betekent. Op basis van de RMSE-waarden kan eenzelfde conclusie worden getrokken. Deze zijn hoger dan de referentierun in de Westerschelde (uitgezonderd Vlissingen en Terneuzen). In de Beneden-Zeeschelde zijn de RMSE-waarden juist lager voor de geselecteerde kalibratieruns.

Als de geselecteerde runs onderling worden vergeleken valt op dat de representatie van het volledige waterstandsverloop voor nagenoeg alle stations iets beter is in run08 en run15 dan in run14 en run18. De verschillen tussen deze runs zijn echter minimaal (i.e., < 0,01 m).

### Hoog- en laagwaters

De wijzigingen in het bodemruwheidsveld in de geselecteerde kalibratieruns hebben ook een grote invloed op de gemodelleerde hoog- en laagwaters in het estuarium.

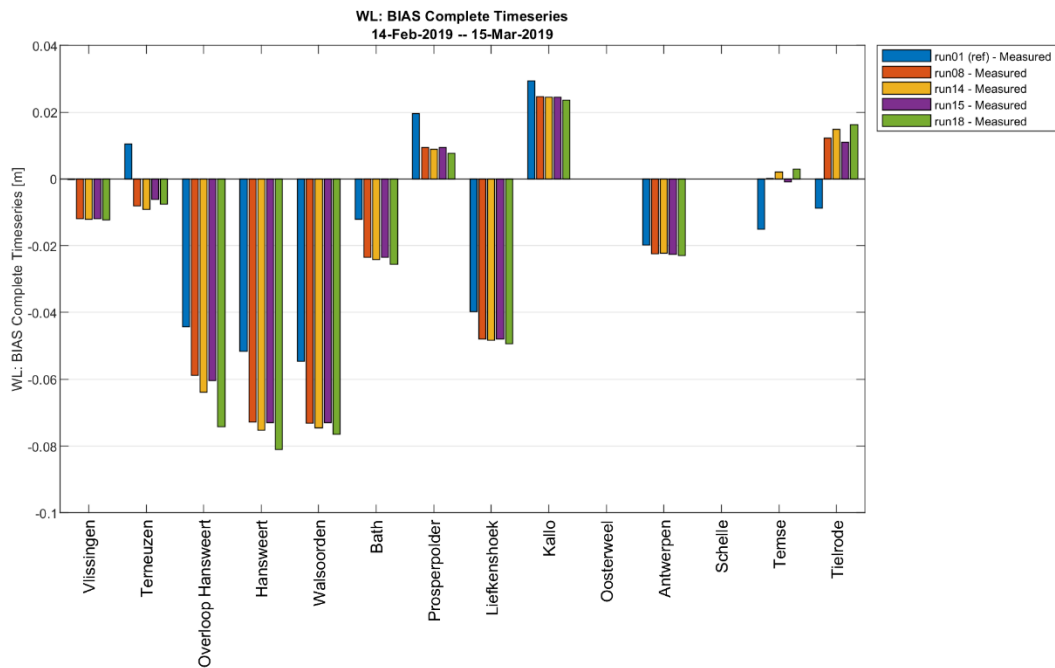
Voor de hoogwaters geldt dat de onderschatting van de hoogwaters tussen Hansweert en Antwerpen in de referentierun verandert in een overschatting in de kalibratieruns. Per saldo blijft de absolute waarde van de gemiddelde afwijking of BIAS voor de meeste stations echter gelijkaardig. Enkel in de Boven-Zeeschelde is sprake van een significante verslechtering omdat daar de hoogwaters al overschat werden in de huidige referentierun. De hogere hoogwaterniveaus in de kalibratieruns leiden daardoor tot een zeer sterke afwijking van de hoogwaterniveaus opwaarts. De invloed op de laagwaters is omgekeerd. Deze worden in de referentierun licht overschat en in de geselecteerde kalibratieruns juist onderschat. Ook hier geldt dat de afwijking significant toeneemt in de Boven-Zeeschelde.

Waar de onderschatting van de hoogwaters en de overschatting van de laagwaters in de referentierun duidt op een onderschatting van de getijslag in grote delen van de Westerschelde en Beneden-Zeeschelde, duiden de overschatting van de hoogwaters en onderschatting van de laagwaters in de geselecteerde kalibratieruns op een overschatting van de getijslag.

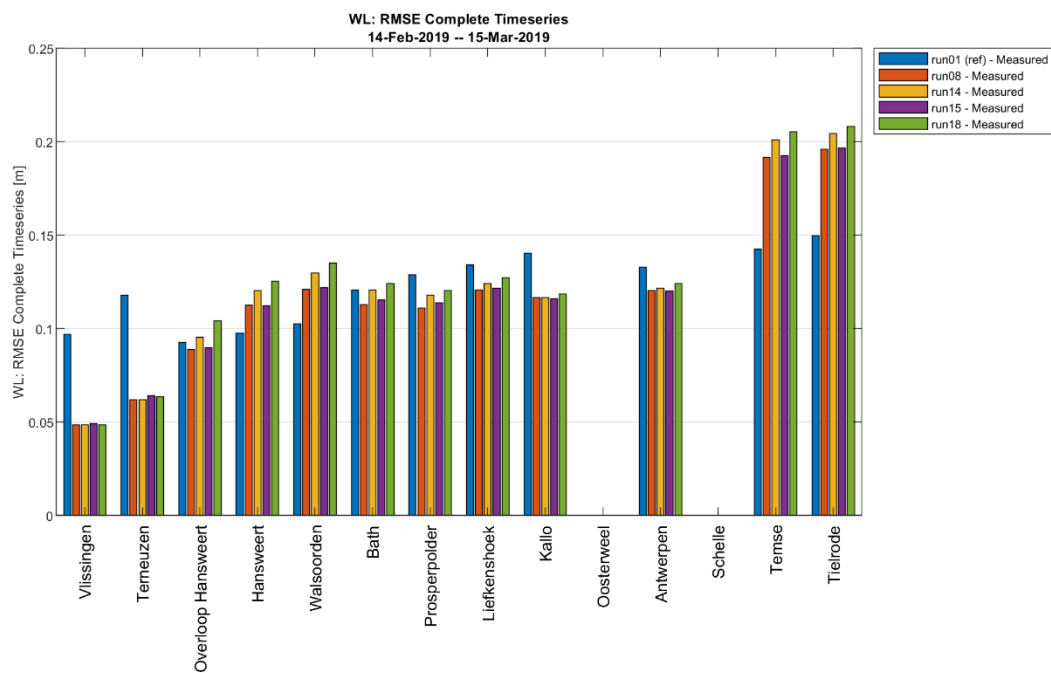
De RMSE-waarden voor de hoog- en laagwaters nemen voor de meeste stations toe in de kalibratieruns, duidend op een mindere modelprestatie. Uitzonderingen zijn de RMSE te Liefkenshoek, Antwerpen en OVHA voor de hoogwaters en Terneuzen, Prosperpolder en Kallo voor de laagwaters.

Als de geselecteerde kalibratieruns onderling worden vergeleken blijkt dat de representatie van de hoog- en laagwaters wederom iets beter is in run08 en run15 dan in run14 en run18.

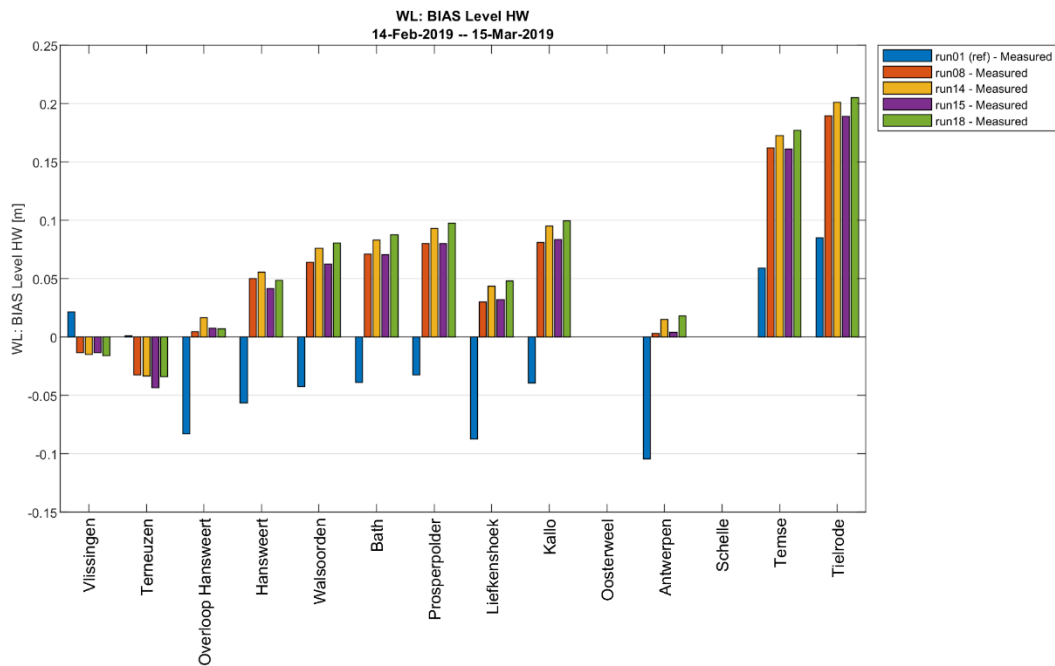




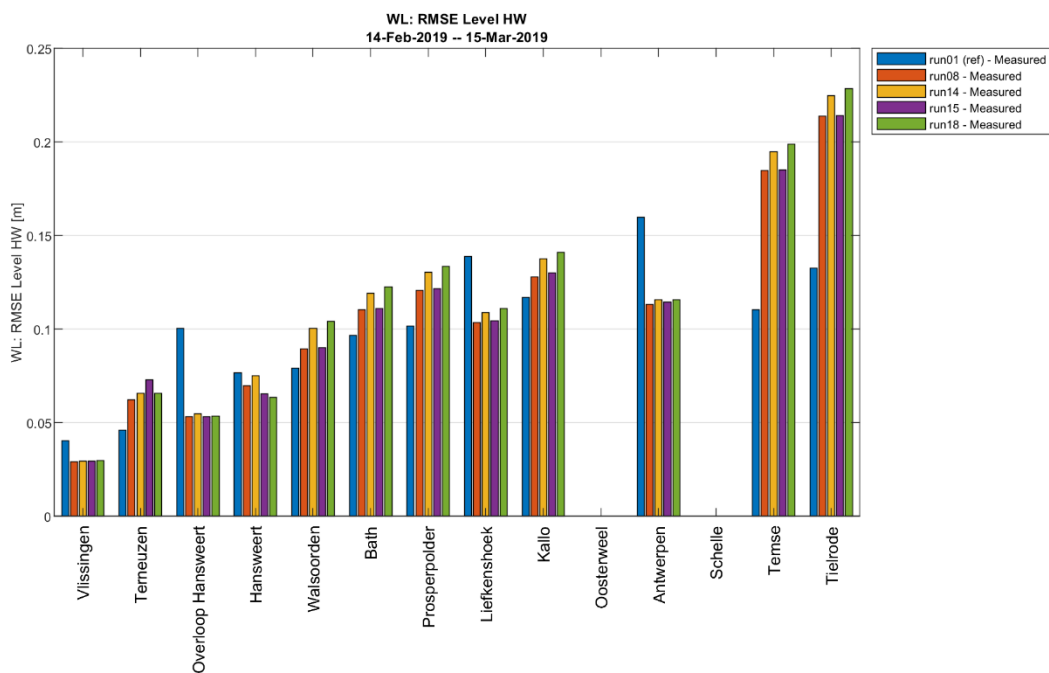
Figuur 10 – BIAS voor het gemodelleerde waterstandsverloop langs de Schelde voor geselecteerde kalibratieruns.



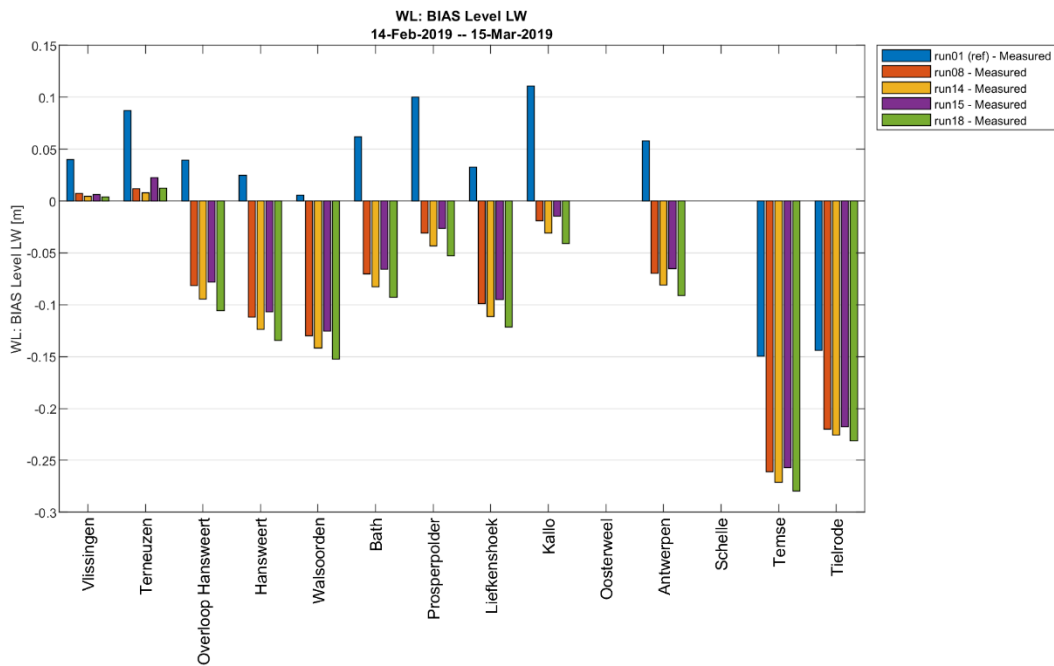
Figuur 11 – RMSE voor het gemodelleerde waterstandsverloop langs de Schelde voor geselecteerde kalibratieruns.



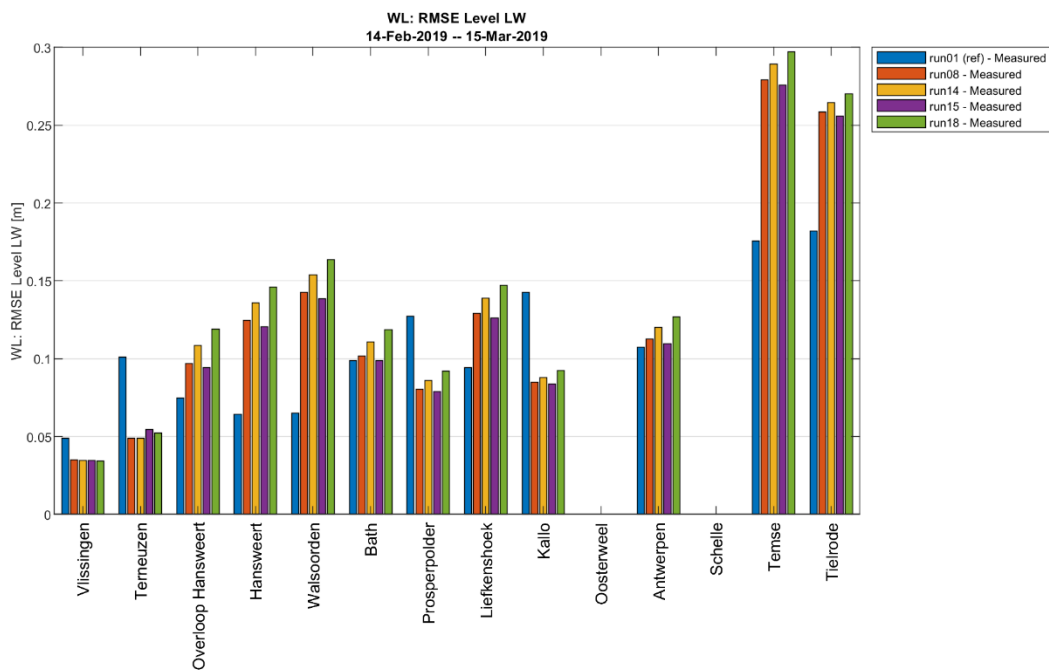
Figuur 12 – BIAS voor de gemodelleerde hoogwaterstanden langs de Schelde voor geselecteerde kalibratieruns.



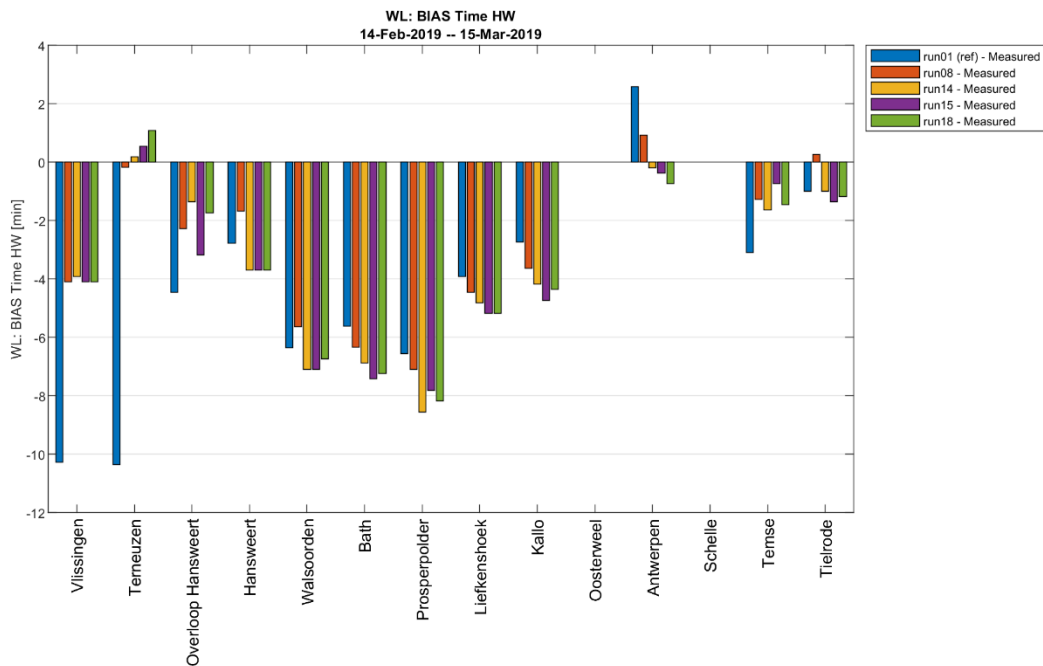
Figuur 13 – RMSE voor de gemodelleerde hoogwaterstanden langs de Schelde voor geselecteerde kalibratieruns.



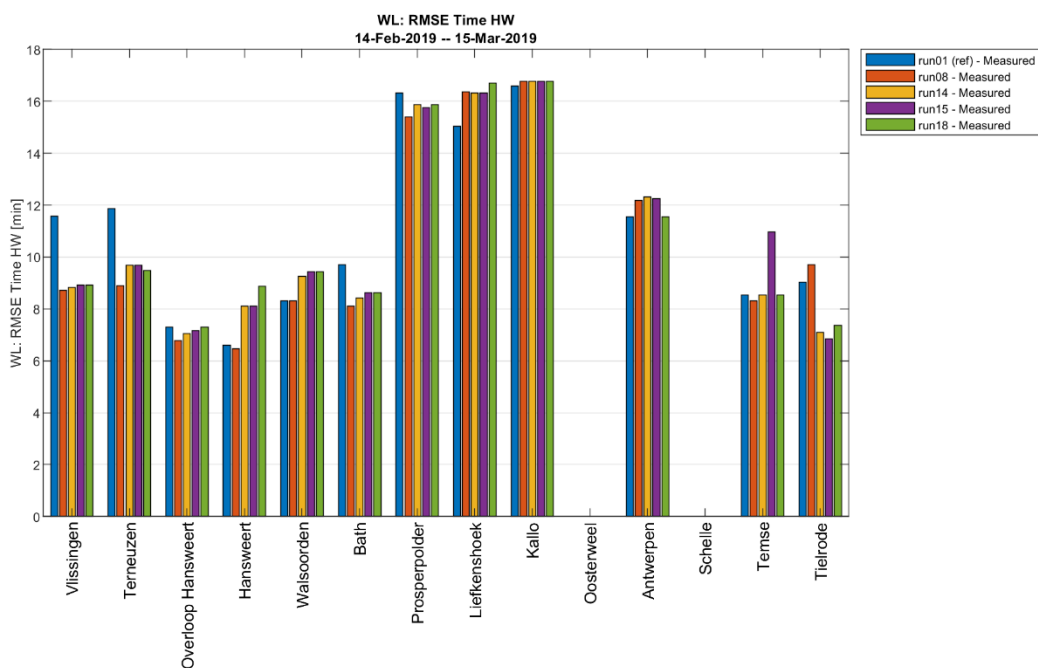
Figuur 14 – BIAS voor de gemodelleerde laagwaterstanden langs de Schelde voor geselecteerde kalibratieruns.



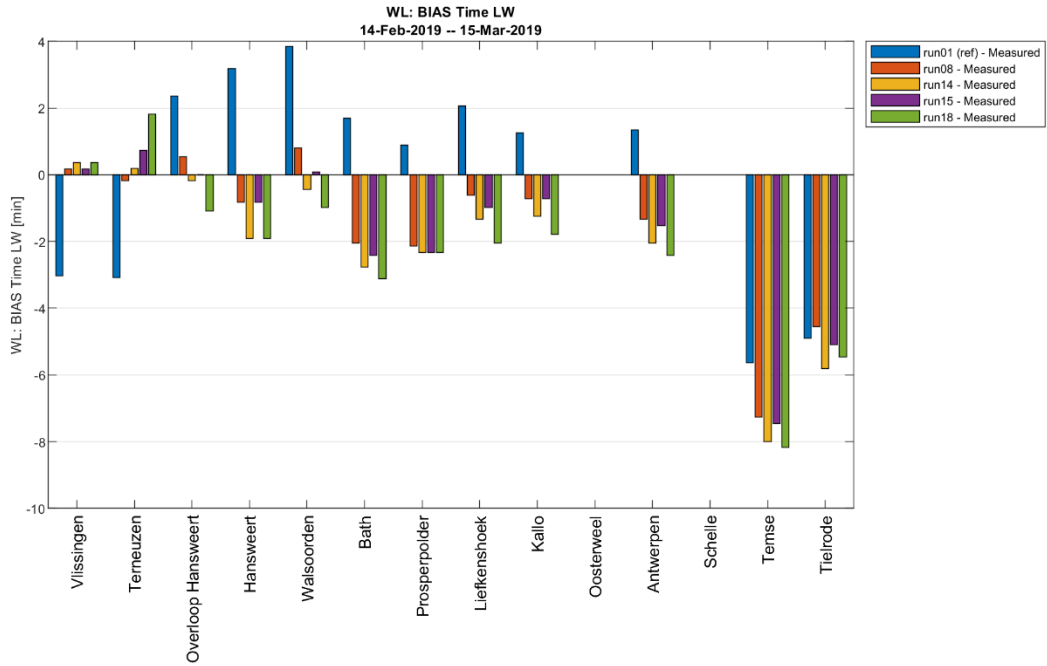
Figuur 15 – RMSE voor de gemodelleerde laagwaterstanden langs de Schelde voor geselecteerde kalibratieruns.



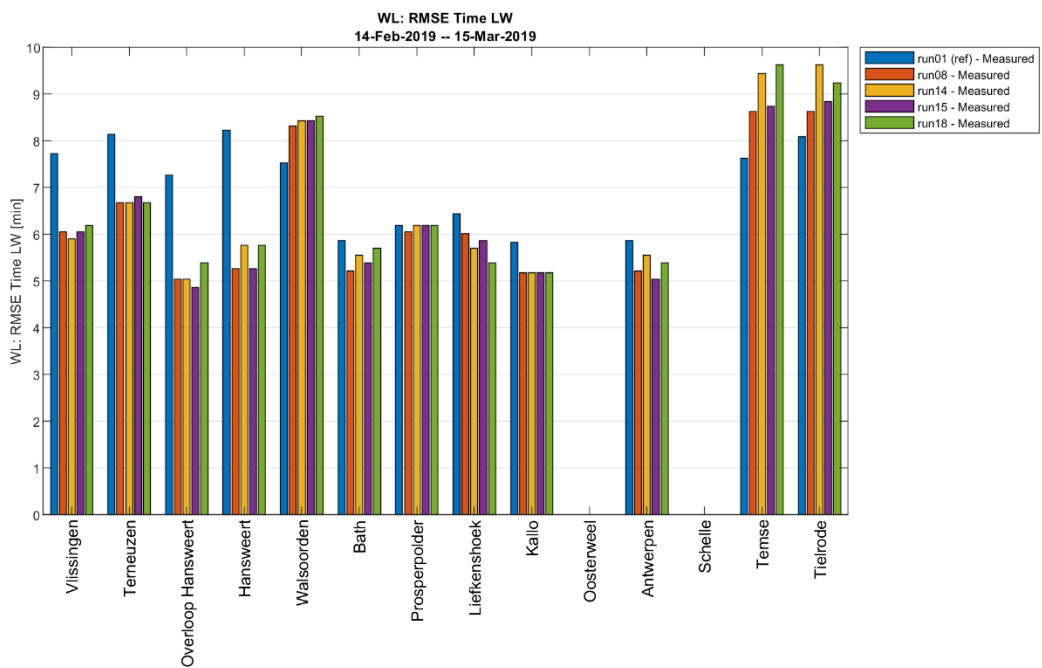
Figuur 16 – BIAS voor de gemodelleerde tijdstippen van de hoogwaters langs de Schelde voor geselecteerde kalibratieruns.



Figuur 17 – RMSE voor de gemodelleerde tijdstippen van de hoogwaters langs de Schelde voor geselecteerde kalibratieruns.



Figuur 18 – BIAS voor de gemodelleerde tijdstippen van de laagwaters langs de Schelde voor geselecteerde kalibratieruns.



Figuur 19 – RMSE voor de gemodelleerde tijdstippen van de laagwaters langs de Schelde voor geselecteerde kalibratieruns.

## 4 Conclusies en aanbevelingen

Er is een lokale kalibratie van het NeVla model uitgevoerd om de representatie van de belangrijkste indicatoren voor de dwarsstroming bij de Platen van Ossensisse te verbeteren, i.e., de maximale stijgsnelheid te Hansweert en het maximale verhang tussen Terneuzen en Hansweert. In de reguliere versie van het (Delft3D) NeVla model is de representatie van beide parameters namelijk ondermaats met een gemiddelde afwijking van +23 cm voor het maximum verhang en -0,29 cm·min<sup>-1</sup> voor de maximale stijgsnelheid.

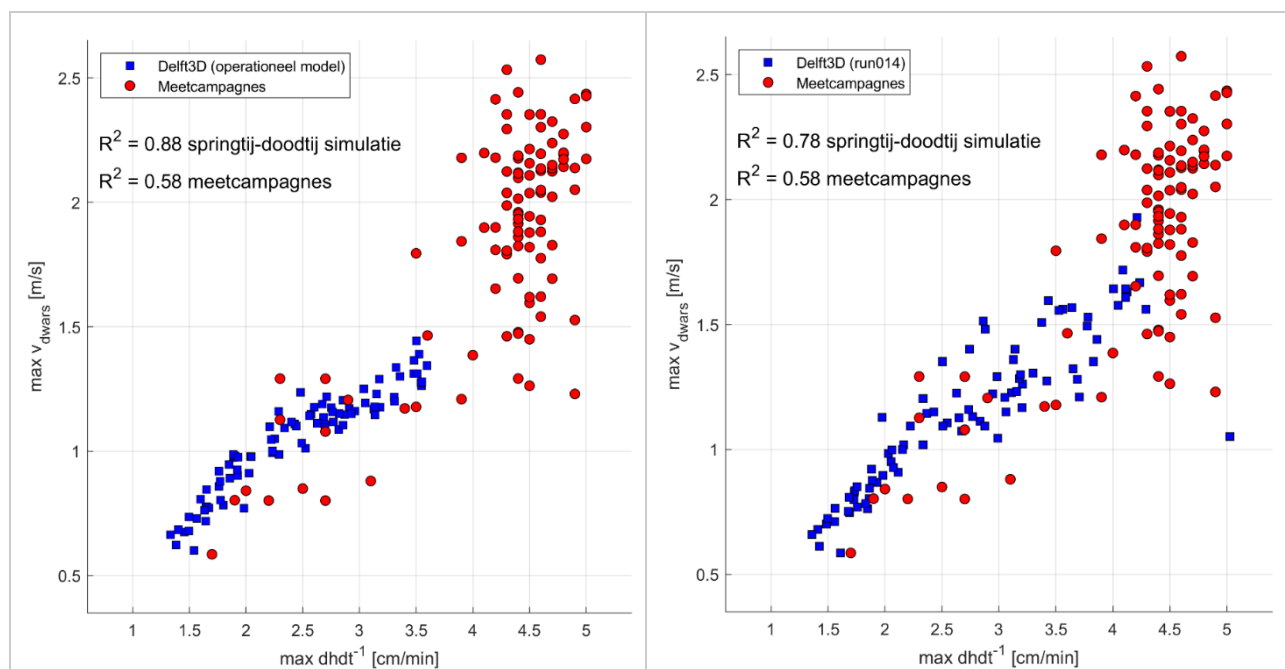
Uit de kalibratieoefening volgt dat het inderdaad mogelijk is de representatie van deze parameters te verbeteren door de ruwheid in de hoofdgeul (i.e., Gat van Ossensisse) en nevengeul (i.e., Middelgat) tussen Terneuzen en Hansweert te verlagen. Een Manning's ruwheidscoëfficiënt van  $n = 0,016 \text{ s} \cdot \text{m}^{-1/3}$  in beide geulen geeft het beste resultaat, al leiden ook andere configuraties mogelijk met een iets hogere coëfficiënt in de hoofdgeul en een iets lagere coëfficiënt in de nevengeul of omgekeerd tot goede resultaten. De gemiddelde afwijking voor het maximale verhang tussen Terneuzen en Hansweert neemt dan af van 23 cm met het huidige ruwheidsveld van het NeVla model naar 3-4 cm in de best presterende kalibratieruns. Voor de maximale stijgsnelheid te Hansweert neemt de gemiddelde afwijking af van 0,29 cm·min<sup>-1</sup> in de referentierun naar slechts 0-0,05 cm·min<sup>-1</sup> in de desbetreffende kalibratieruns.

Een lokale wijziging van de bodemruwheid tussen Terneuzen en Hansweert heeft echter niet te verwaarlozen effecten op de representatie van het getij elders in het estuarium. De verlaging van de bodemruwheid in dit gebied leidt bijvoorbeeld tot een significante overschatting van de getijslag verder opwaarts. Hierdoor zijn extra aanpassingen aan het ruwheidsveld noodzakelijk om de algehele modelprestatie op peil te houden.

### Aanbevelingen

De resultaten van deze kalibratieoefening kunnen worden toegepast bij vervolgonderzoek naar de dwarsstromingen bij de Platen van Ossensisse. Uit de springtij-doodtij variatie voor de meest veelbelovende kalibratieruns volgt al dat de verlaging van de bodemruwheid niet alleen leidt tot een hogere stijgsnelheid bij de hoogste springtijden, maar ook voor sterkere dwarsstromingen (Figuur 20). Hierdoor lijken de gemodelleerde dwarsstromingen ook beter in overeenstemming met de observaties. Er wordt echter aanbevolen om voor de simulatie met de meest optimale instellingen nog een validatie voor de dwarsstroming zelf uit te voeren, zoals door Stark *et al.* (2022) werd gedaan voor de operationele versie van het NeVla model.

Daarnaast dienen de resultaten als input voor de aanstaande ontwikkeling van een nieuw Scheldemodel in D-Flow FM. Voor de ontwikkeling van dit model wordt sowieso aanbevolen om de stijgsnelheid te Hansweert en het verhang tussen Terneuzen en Hansweert als kalibratieparameters mee te nemen of het model zelfs ook te kalibreren op de representatie van de dwarsstromingen zelf.



Figuur 20 – Maximale dwarsstromingen ten opzichte van maximale stijgsnelheid Hansweert voor Delft3D run met ruwheidsveld uit operationeel model (links) en voor kalibratierun run014.

## Referenties

**Jespers, N.; Depreiter, D.; Deschamps, M.; Verwaest, T.; Mostaert, F.** (2014). Ondersteuning en verbetering voorspellingscluster: actualisatie van de bodem in het 2d Nevla model. *WL Rapporten*, 00\_044. Waterbouwkundig Laboratorium/IMDC: Antwerpen

**Stark, J.; Vanlede, J.; Plancke, Y.** (2022). Operationele voorspelling dwarsstroming: Validatie NeVla model in Simona/Waqua en Delft3D voor representatie dwarsstromingen Ossensisse. Versie 1.0. *WL Rapporten*, 20\_060\_3.: Antwerpen. 47 pp.

**Vandenbruwaene, W.; Michielsen, S.; Hertoghs, R.; Boeckx, L.; Vereecken, H.; Deschamps, M.; Mostaert, F.** (2020). Hydrologie bevaarbare waterlopen in Vlaanderen: jaar 2019. Versie 4.0. *WL Rapporten*, PA026\_3. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

**Vanlede, J.; Chu, K.; Fonias, E.** (2020). Introducing the VIMM toolbox for the (re)calibration of the SCALDIS model, *in*: (2020). *Online proceedings of the papers submitted to the 2020 TELEMAC-MASCARET User Conference*. IMDC. ISBN 9789464207194. pp.153–158.

**Vanlede, J.; De Clercq, B.; Decrop, B.; Ides, S.; van Holland, G.; De Mulder, T.; Mostaert, F.** (2009). Verbetering randvoorwaardenmodel: deelrapport 2. Afregelen van het 2D Scheldemodel. *WL Rapporten*, 753\_09. Waterbouwkundig Laboratorium/IMDC: Antwerpen



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](mailto:waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be)

[www.waterbouwkundiglaboratorium.be](http://www.waterbouwkundiglaboratorium.be)