

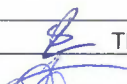




## Memo

Aan  
de heer M. Scholten

<b>Datum</b>	<b>Aantal pagina's</b>	
3 februari 2020	16	
<b>Contactpersoon</b>	<b>Doorkiesnummer</b>	<b>E-mail</b>
Stendert Laan en Firmijn Zijl	+31(0)88 335 7976	Stendert.Laan@deltares.nl

**Onderwerp**  
Stromingsvalidatie dieptegemiddelde Noordzee modellen

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
v0.1	Dec. 2019	Stendert Laan		-			
		Firmijn Zijl					
v1.0	Feb. 2020	Stendert Laan		Theo van der Kaaij		Toon Segeren	
		Firmijn Zijl					

## 1 Methodiek

### 1.1 Inleiding

Vanuit het operationele gebruik bij Rijkswaterstaat (HMC) is de wens geuit om beter inzicht te hebben in de kwaliteit van de stromingen berekend met de operationele WAQUA-modellen voor de Noordzee (vijfde generatie) in het gebied voor de haven van IJmuiden. Hoewel ontwikkeld voor een nauwkeurige voorspelling van de waterstanden, worden deze modellen door Rijkswaterstaat namelijk ook toegepast voor voorspelling van dieptegemiddelde stroming. In dit memo wordt daarom een vergelijking gemaakt tussen gemeten en met een hindcast berekende stroming. Omdat er momenteel ook gewerkt wordt aan de zesde generatie D-HYDRO-modellen voor de Noordzee, zijn deze modellen – zover reeds voltooid – eveneens meegenomen in deze validatie.

### 1.2 Meetgegevens

Voor de validatie van dieptegemiddelde stromingen zijn de volgende stromingsmetingen gebruikt:

#### IJgeul (RWS)

Rijkswaterstaat heeft van najaar 2016 tot het begin van zomer 2017 metingen uitgevoerd rond de IJgeul bij IJmuiden. Van deze meetcampagne zijn de volgende locaties met de beschikbare meetperiodes vergeleken:

Locatie naam	Meetperiode	Tijdzone	Coördinaten
IJgeul Meetpunt 17 (IJGL MP17)	17-10-2016 tot 16-03-2017	UTC+01:00	52°28'01,7"N;4°31'44,0"O
IJgeul Meetpunt 18 (IJGL MP18)	16-03-2017 tot 22-03-2017	UTC+01:00	52°28'25,6"N;4°27'50,8"O
IJgeul Meetpunt 19 (IJGL MP19)	22-03-2017 tot 08-06-2017	UTC+01:00	52°28'06,2"N;4°27'51,2"O

Deze metingen zijn voor deze studie aangeleverd door Jan-Rolf Hendriks van RWS-WVL. Meetpunt 18 betreft een foutieve plaatsing van de ADCP. Gezien de zeer korte meetperiode van 6 dagen zijn de meetgegevens van deze locatie niet meegenomen in deze studie.

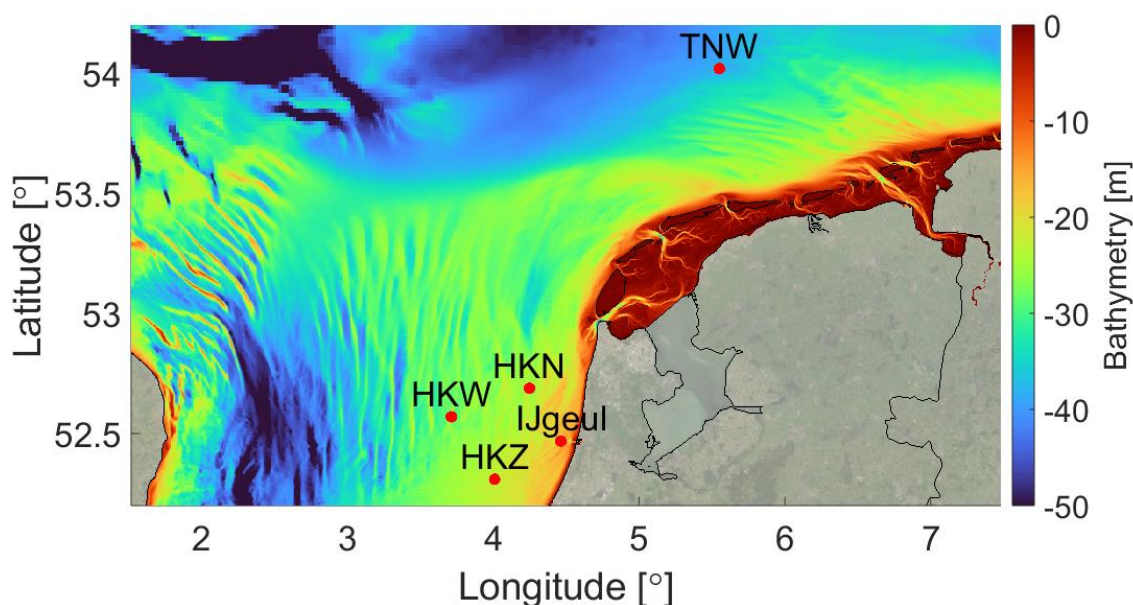
RVO

In de afgelopen jaren zijn verder veel meetgegevens publiekelijk beschikbaar gesteld door de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO) in het kader van de ontwikkeling van windturbineparken op zee. De meetcampagnes zijn uitgevoerd door Fugro en de gegevens zijn gevalideerd door Deltares (Caires en Pathirana, 2019). Deze metingen zijn voor deze studie opgehaald van <https://offshorewind.rvo.nl/>.

De volgende locaties met de beschikbare meetperiodes zijn gebruikt in de vergelijking:

Locatie naam	Meetperiode	Coördinaten
Hollandse Kust Noord, meetboei A (HKNA)	10-04-2017 tot 11-04-2019	52°41'16,5"N;04°14'57,5"O
Hollandse Kust Noord, meetboei B (HKNB)	10-04-2017 tot 11-04-2019	52°41'13,5"N;04°14'31,9"O
Hollandse Kust Zuid, meetboei A (HKZA)	05-06-2016 tot 06-06-2018	52°18'34,4"N;04°00'38,2"O
Hollandse Kust Zuid, meetboei B (HKZB)	05-06-2016 tot 06-06-2018	52°17'25,1"N;04°00'35,2"O
Hollandse Kust West, meetboei A (HKWA)	01-02-2019 tot 01-08-2019	52°34'10,1"N;03°42'51,4"O
Hollandse Kust West, meetboei B (HKWB)	01-02-2019 tot 01-08-2019	52°34'10,5"N;03°44'17,4"O
Ten Noorden van de Wadden, meetboei A (TNWA)	19-06-2019 tot 01-10-2019	54°01'06,0"N;05°33'05,2"O
Ten Noorden van de Wadden, meetboei B (TNWB)	19-06-2019 tot 01-10-2019	54°01'19,6"N;05°33'02,9"O

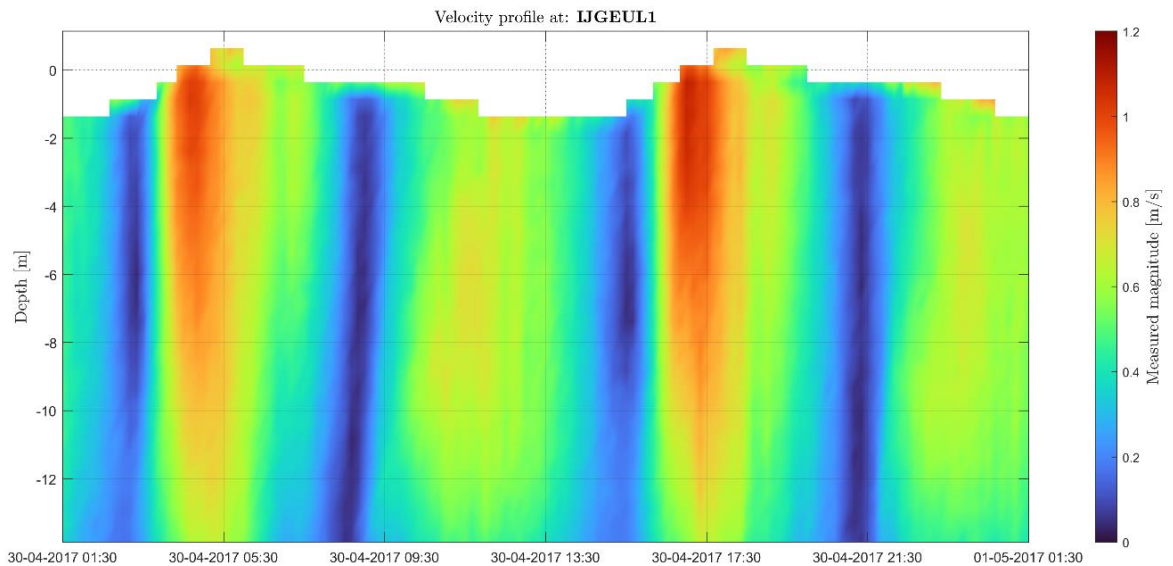
Een overzicht van de locaties van de genoemde metingen is gegeven in Figuur 1.1. De vergelijking van de modellen met de meetgegevens is gedaan voor de periode juni 2016 tot oktober 2019. De exacte validatieperiode verschilt echter per meetlocatie en volgt de periode van de beschikbare meetgegevens.



Figuur 1.1

Overzicht van gebruikte meetlocaties in combinatie met DCSM-FM 100m modelbathymetrie

Alle geanalyseerde metingen zijn uitgevoerd met Acoustic Doppler Current Profilers (ADCPs) en hebben stromingsgegevens opgeleverd op verschillende waterdieptes, zoals voor IJgeul Meetpunt 19 weergegeven in Figuur 1.2. Voor gebruik in de validatie is van deze gegevens het gemiddelde over de diepte genomen.



Figuur 1.2 Gemeten stromingsprofiel over twee getijdencycli voor meetlocatie IJgeul Meetpunt 19

### 1.3 Modellen

De stromingsvalidatie is uitgevoerd voor de volgende WAQUA- en D-HYDRO-modellen:

- DCSMv6 (waqua-dcsmv6-j17-v1)
- DCSMv6-ZUNOV4 (waqua-dcsmv6\_zunov4-j17-v1)
- DCSM-FM 0.5nm (dflowfm2d-noordzee\_0\_5nm-j17\_6-v1)
- DCSM-FM 100m (voorlopige versie; model is nog in ontwikkeling)

Alle hydrodynamische modellen zijn aangestuurd met wind en luchtdruk uit het Hirlam7.2 meteorologisch model.

#### Roosterresolutie

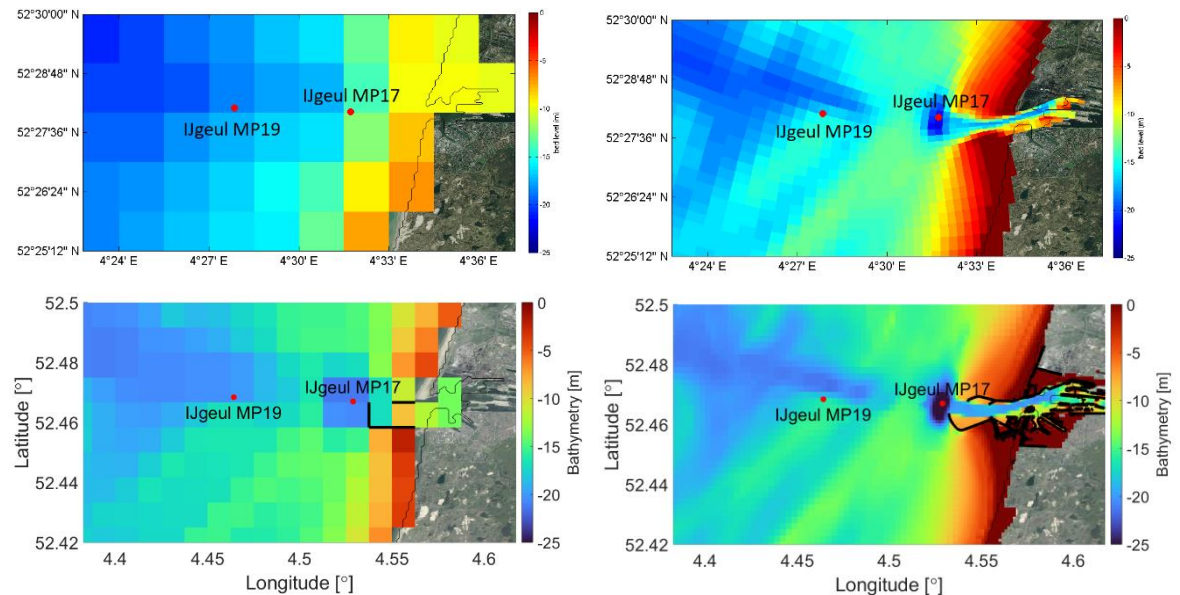
De modellen DCSMv6 en DCSM-FM 0.5nm hebben in de Nederlandse kustwateren een uniforme resolutie van respectievelijk ~1 nm (nautische mijl) en ~0.5nm. Bij de modellen DCSMv6-ZUNOV4 en DCSM-FM 100m neemt de resolutie richting de Nederlandse kust toe. In Tabel 1.1 is een overzicht gegeven van de lokale modelresolutie rondom de geanalyseerde meetlocaties. Hierbij valt op dat op al deze locaties DCSM-FM 0.5nm een hogere resolutie heeft dan DCSMv6. Dit geldt ook voor DCSM-FM 100m in vergelijking met DCSMv6-ZUNOV4.

Tabel 1.1 Overzicht van modelresoluties rond de geanalyseerde meetlocaties

Model ↘	Resolutie →	Hollandse Kust	TNW	IJgeul MP17	IJgeul MP19
<b>DCSMv6</b>		1850m	1850m	1850m	1850m
<b>DCSMv6-ZUNOV4</b>		1100m	1240m	245m	400m
<b>DCSM-FM 0.5nm</b>		925m	925m	925m	925m
<b>DCSM-FM 100m</b>		450m	925m	100m	200m

Opgemerkt dient te worden dat de verschillen tussen de modellen niet enkel in het gebruikte rooster zitten. Zo zijn er lokaal ook verschillen in de gebruikte bodemgegevens en toegepaste bodemruwheid en wordt de kwaliteit van de stromingsberekening ook bepaald door o.a. de nauwkeurigheid waarmee de getijpropagatie in het model gerepresenteerd wordt.

Figuur 1.3 geeft een detailbeeld van de bathymetrie rond de meetlocaties nabij de IJgeul, voor de vier te valideren modellen.



Figuur 1.3 Bathymetrie en meetpunten rond de IJgeul in DCSMv6 (linksboven), DCSMv6-ZUNOV4 (rechtsboven), DCSM-FM 0.5nm (linksonder) en 100m (rechtsonder)

## 1.4 Analysemethode

Per bestudeerd model is een vergelijking met de meetgegevens gemaakt. De resultaten bestaan uit tijdseries en scatterplots. In de laatstgenoemde weergave zijn statistische karakteristieken opgenomen: de correlatiecoëfficiënt, bias, standaarddeviatie, RMSE (root-mean-square error) en het aantal vergeleken datapunten. Voor richtingsstatistieken is een drempelwaarde van 10 cm/s gehanteerd, waaronder meetgegevens uit de statistische analyse weggelaten zijn. De statistische karakteristieken zijn verder weergegeven in tabellen. Deze waarden zijn gebaseerd op een analyse van de volledige beschikbare meetperiode.

De resultaten zijn verder uitgesplitst door middel van een harmonische analyse aan de hand van de `t_tide`-module in MATLAB van de stroomsnelheid in beide horizontale richtingen. Hiermee wordt het getij signaal dat bijdraagt aan de totale stroomsnelheid bepaald. Het resterende niet-getijde deel van de stroming kan gezien worden als het equivalent van de 'opzet' bij opsplitsing van waterstanden. Dit deel van het signaal is niet periodiek en kan veroorzaakt worden door bijvoorbeeld wind en variaties in zoutconcentratie.



## 2 Resultaten

Correlatieplots per meetlocatie zijn gegeven in de bijlage, sectie 4.1. Een algeheel overzicht van de statistieken is gegeven in de tabellen in de bijlage, sectie 4.2. Hieronder volgt een beschouwing van de resultaten per meetlocatie.

### 2.1 Metingen: IJgeul

Meetpunt 17 bevindt zich in de diepe put voor de havenmond van IJmuiden (zie ook Figuur 1.3 – rechtsonder). Meetpunt 19 ligt verder zeewaarts op de zuidflank van de IJgeul. Figuur 1.3 laat zien dat de ruimtelijke details op deze punten fors verschillen per model. De gevolgen hiervan vallen ook waar te nemen in de hieronder gepresenteerde resultaten van de stromingsvalidatie.

De statistiek van resultaten voor de IJgeul over de twee meetperiodes van Meetpunt 17 en Meetpunt 19 voor de vier modellen worden gepresenteerd in Tabel 2.1. Alle vier de modellen laten een grote en qua omvang vergelijkbare fout zien voor Meetpunt 17, bij de havenmond. Dit kan te maken hebben met lokale effecten rond de golfbrekers of met de in de modellen ontbrekende grote afvoeren van Rijksgemaal IJmuiden en de naastliggende spuisluis van tot wel 960 m<sup>3</sup>/s, die er vermoedelijk ook voor zorgen dat de stroming een 3D karakter heeft. Een tijdserie van de resultaten uit DCSM-FM 100m voor Meetpunt 17 is gegeven in Figuur 2.1. Hierin geeft het bovenste figuur het volledige signaal weer, het middelste het getijdesignaal en het onderste het niet-getijdesignaal. Er is te zien dat vooral het niet-getij deel van het signaal slecht gerepresenteerd wordt.

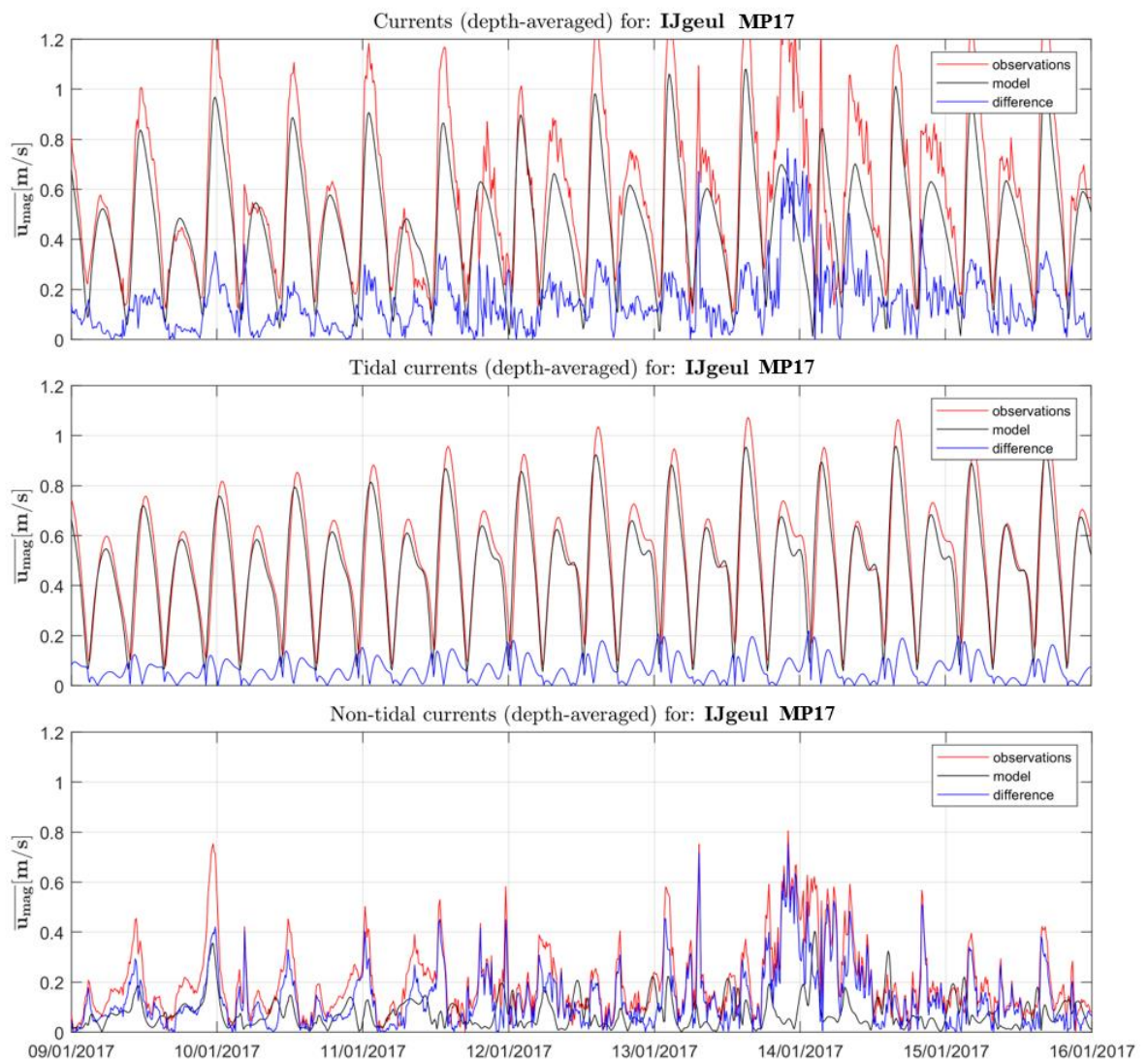
Bij Meetpunt 19, op de flank van de IJgeul, geeft DCSM-FM 0.5nm de grootste onnauwkeurigheid voor het volledige signaal met een RMSE van tegen de 8 cm/s, waar de andere modellen vergelijkbare resultaten opleveren met een RMSE van ongeveer 5 tot 6 cm/s. Een analyse van alleen het getijdesignaal laat een grote fasefout zien voor DCSM-FM 0.5nm. Het getijdesignaal geeft de laagste RMSE voor DCSM-FM 100m, maar geeft ook een goed resultaat voor de vijfde generatie modellen, die lokaal een twee tot vijf keer grovere resolutie hebben ten opzichte van DCSM-FM 100m. Resultaten voor stromingsrichtingen zijn voor de 4 modellen vergelijkbaar.

Een tijdserie van de resultaten uit DCSM-FM 100m voor Meetpunt 19 is gegeven in Figuur 2.2. Hierin geeft het bovenste figuur het volledige signaal weer, het middelste het getijdesignaal en het onderste het niet-getijdesignaal. De nauwkeurige weergave van het getijdesignaal is hier duidelijk zichtbaar. Verder valt op dat de grote pieken in het niet-getijdesignaal grotendeels worden meegenomen door het model. Dit is duidelijk te zien op bijvoorbeeld 9 en 10 april 2017 om 12:00u en 11 april 2017 om 1:00u. De piek op 13 april 2017 om 14:00u zit echter minder sterk in het model.

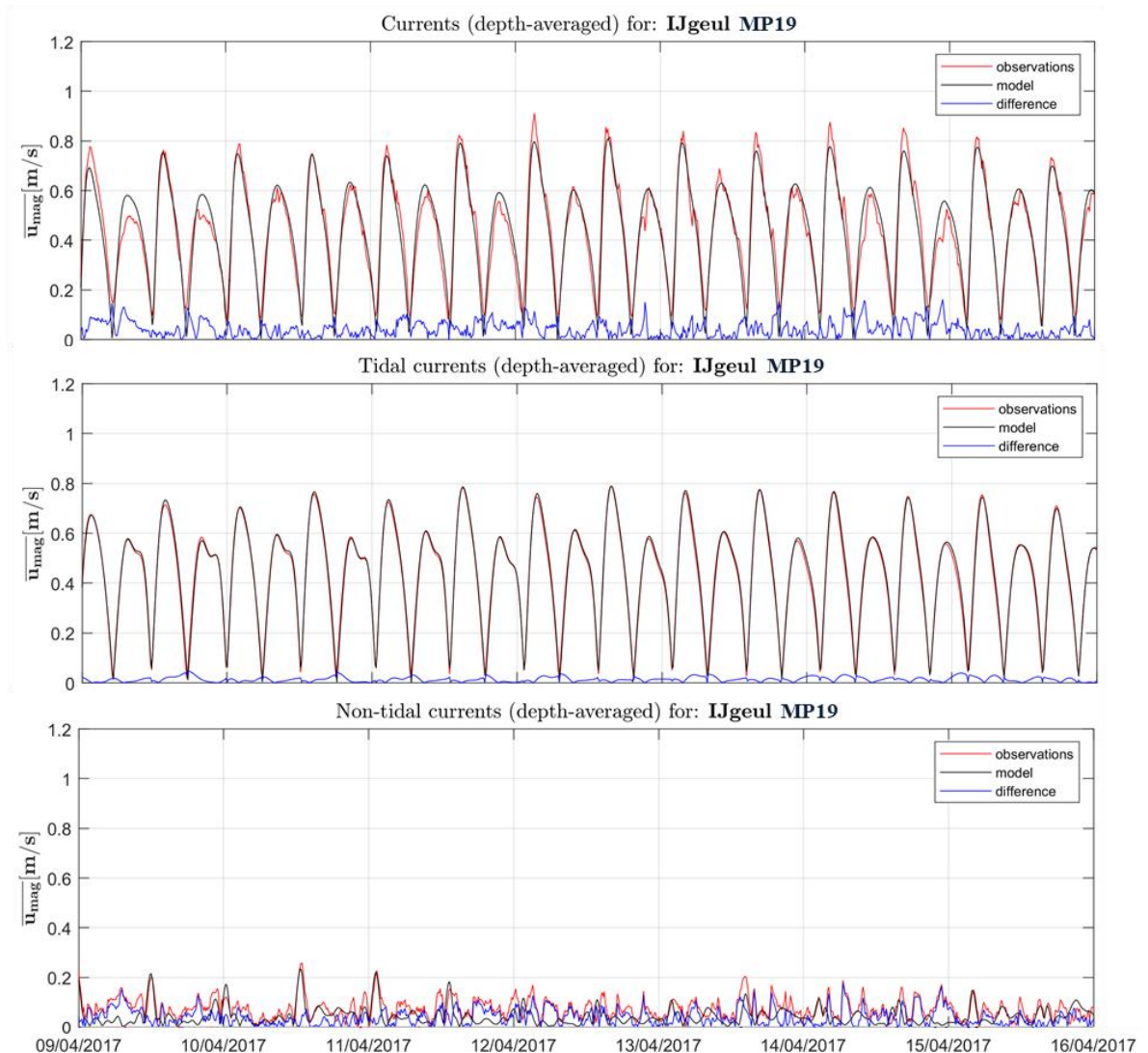
Tabel 2.1 Statistieken voor de magnitude [cm/s] en richting [°] van het volledige, getijde- en niet-getijdesignaal van de twee ADCP's bij de IJgeul over de twee volledige meetperiodes van Meetpunt 17 en 19

Model* →	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Locatie ↓	<b>bias</b>				<b>σ</b>				<b>RMSE</b>			
17 (mag, volledig)	-17.4	-6.0	-9.4	-7.3	20.0	19.8	18.3	17.3	26.5	20.7	20.6	18.7
17 (mag, getij)	-13.7	-1.9	-5.8	-3.6	9.5	12.5	7.7	7.0	16.7	12.6	9.6	7.9
17 (mag, niet-getij)	-13.1	-7.9	-10.7	-10.0	13.0	12.9	12.6	12.7	18.5	15.1	16.6	16.1
17 (richt, volledig)	-6.9	-6.9	3.2	-4.7	25.3	27.1	25.2	26.0	31.2	32.5	29.5	31.1
17 (richt, getij)	-4.1	-4.2	5.1	-1.6	12.9	15.7	10.0	9.7	14.0	17.3	11.6	10.2
17 (richt, niet-getij)	-9.4	6.9	-4.1	3.5	53.5	45.1	49.9	46.4	76.7	64.5	70.3	67.2
19 (mag, volledig)	-3.5	-3.1	-4.3	-1.2	5.1	4.7	6.3	5.0	6.1	5.7	7.6	5.1
19 (mag, getij)	-1.8	-1.4	-2.7	0.4	3.0	2.1	5.1	2.0	3.5	2.5	5.7	2.0
19 (mag, niet-getij)	-2.9	-2.7	-2.6	-2.3	3.4	3.4	3.5	3.6	4.5	4.4	4.3	4.2
19 (richt, volledig)	-6.9	-6.9	3.2	-4.7	25.3	27.1	25.2	26.0	31.2	32.5	29.5	31.1
19 (richt, getij)	10.5	9.8	9.3	8.5	2.6	2.5	2.8	2.6	10.8	10.1	9.7	8.9
19 (richt, niet-getij)	13.3	12.1	11.9	10.4	15.3	15.0	16.5	16.1	20.4	19.4	20.6	19.4

\* 1: DCSMv6, 2: DCSMv6ZUNOV4, 3: DCSM-FM 0.5nm, 4: DCSM-FM 100m



Figuur 2.1 Tijdsree voor IJgeul Meetpunt 17 (rood: gemeten, zwart: DCSM-FM 100m) voor het volledige signaal (boven), het getijdesignaal (midden) en het niet-getijdesignaal (onder)



Figuur 2.2 Tijdsree voor IJgeul Meetpunt 19 (rood: gemeten, zwart: DCSM-FM 100m) voor het volledige signaal (boven), het getijdesignaal (midden) en het niet-getijdesignaal (onder)

## 2.2 Metingen: windturbineparken op zee

### Hollandse Kust Noord

De statistiek van resultaten voor de Hollandse Kust Noord op de meetlocaties A en B voor de vier modellen worden gepresenteerd in Tabel 2.2.

De RMSE van de volledige stromingsmagnitudo is voor DCSM-FM 0.5nm vergelijkbaar met die voor DCSMv6. Voor DCSM-FM 100m ten opzichte van DCSMv6-ZUNOV4 ligt deze RMSE ruim 1 cm/s lager. Voor beide DCSM-FM varianten ligt met name de RMSE van de magnitudo van het getijdesignaal lager dan DCSMv6 en DCMSv6-ZUNOV4. Een grote afname van de bias voor het volledige signaal en het getijdesignaal is zichtbaar voor de DCSM-FM varianten, terwijl de standaarddeviatie vergelijkbaar blijft met DCSMv6 en DCMSv6-ZUNOV4.

Voor richtingen is een kleine verbetering zichtbaar voor de DCSM-FM varianten. Over het algemeen is de nauwkeurigheid van de stromingsrichting in alle vier de modellen vergelijkbaar.

Tabel 2.2 Statistieken voor de magnitude [cm/s] en richting [°] van het volledige, getijde- en niet-getijdesignaal van de twee ADCP's over de volledige meetperiode te Hollandse Kust Noord

Model* →	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Locatie ↓	bias				σ				RMSE			
<b>A (mag, volledig)</b>	1.4	3.5	0.1	-0.7	6.6	6.7	6.8	6.2	6.7	7.5	6.8	6.3
<b>A (mag, getij)</b>	2.8	4.7	1.3	0.6	3.3	3.7	3.2	2.6	4.3	6.0	3.4	2.6
<b>A (mag, niet-getij)</b>	-3.8	-3.1	-2.4	-3.4	4.9	5.0	5.3	5.0	6.2	5.9	5.8	6.0
<b>A (richt, volledig)</b>	0.8	3.3	0.0	1.1	12.4	12.4	11.3	11.8	13.1	13.4	11.7	12.3
<b>A (richt, getij)</b>	-0.3	2.2	-0.7	0.0	3.8	3.6	3.9	3.7	3.8	4.2	4.0	3.7
<b>A (richt, niet-getij)</b>	-8.0	-4.2	-6.8	-6.0	22.4	23.4	24.4	22.7	24.4	24.5	26.1	24.2
<b>B (mag, volledig)</b>	2.1	4.1	0.9	0.2	7.2	7.4	7.4	7.0	7.5	8.4	7.4	7.0
<b>B (mag, getij)</b>	2.9	4.8	1.5	0.9	3.6	4.0	3.5	3.0	4.6	6.2	3.8	3.1
<b>B (mag, niet-getij)</b>	-3.5	-2.9	-2.1	-3.1	5.3	5.5	5.8	5.6	6.4	6.2	6.2	6.3
<b>B (richt, volledig)</b>	2.2	4.7	1.5	3.2	11.9	12.1	11.0	11.6	12.7	13.6	11.5	12.6
<b>B (richt, getij)</b>	1.3	3.8	0.8	2.2	4.9	4.7	4.8	4.7	5.1	6.0	4.9	5.2
<b>B (richt, niet-getij)</b>	-3.5	-0.1	-2.1	-1.2	20.7	21.8	22.4	21.1	21.7	22.5	23.4	21.9

\* 1: DCSMv6, 2: DCSMv6ZUNOV4, 3: DCSM-FM 0.5nm, 4: DCSM-FM 100m

### Hollandse Kust Zuid

De statistiek van resultaten voor de Hollandse Kust Zuid op de meetlocaties A en B voor de vier modellen worden gepresenteerd in Tabel 2.3.

De verschillen in nauwkeurigheid tussen de modellen is hier minimaal. Op het eerste gezicht lijkt de verbetering voor de DCSM-FM varianten beperkt. De RMSE van de stromingsmagnitude voor het volledige signaal als voor het getijdesignaal is voor de 100m resolutie iets lager dan voor de andere drie modellen, waar de RMSE van de stromingsrichting geen grote verschillen laat zien. Ook voor de stromingsrichting zijn de verschillen tussen de modellen zeer beperkt. Wel is voor de zesde generatie modellen weer een kleine verbetering in de RMSE van de magnitude van het getijdesignaal zichtbaar.

Tabel 2.3 Statistieken voor de magnitude [cm/s] en richting [°] van het volledige, getijde- en niet-getijdesignaal van de twee ADCP's over de volledige meetperiode te Hollandse Kust Zuid

Model* →	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Locatie ↓	bias				σ				RMSE			
<b>A (mag, volledig)</b>	4.7	4.8	4.1	3.6	6.9	6.2	6.8	6.0	8.3	7.9	8.0	7.0
<b>A (mag, getij)</b>	5.8	5.9	5.2	4.8	4.6	3.8	4.4	3.4	7.4	7.0	6.8	5.8
<b>A (mag, niet-getij)</b>	-2.9	-2.8	-2.4	-2.7	4.5	4.5	4.6	4.5	5.3	5.3	5.2	5.2
<b>A (richt, volledig)</b>	0.8	2.4	2.3	1.5	11.3	11.8	11.9	11.6	11.7	12.5	12.4	12.0
<b>A (richt, getij)</b>	0.4	2.2	1.7	1.0	4.4	5.3	6.6	5.1	4.4	5.8	6.9	5.2
<b>A (richt, niet-getij)</b>	-2.7	3.5	2.4	0.1	24.0	23.1	24.3	23.8	24.9	24.2	25.3	24.6
<b>B (mag, volledig)</b>	3.5	3.4	3.0	2.7	6.8	6.1	6.6	6.0	7.6	7.0	7.3	6.6
<b>B (mag, getij)</b>	4.6	4.5	4.1	3.8	4.1	3.1	3.9	2.8	6.2	5.5	5.6	4.8
<b>B (mag, niet-getij)</b>	-2.9	-2.9	-2.5	-2.8	4.7	4.7	4.8	4.7	5.6	5.5	5.4	5.4
<b>B (richt, volledig)</b>	2.4	4.3	4.1	3.1	11.2	11.8	11.5	11.2	11.9	13.2	12.6	12.1
<b>B (richt, getij)</b>	2.3	4.2	3.8	2.9	4.0	4.4	5.5	4.3	4.6	6.1	6.7	5.2
<b>B (richt, niet-getij)</b>	3.2	8.9	6.9	4.8	23.1	22.8	23.3	22.9	24.3	25.6	25.4	24.4

\* 1: DCSMv6, 2: DCSMv6ZUNOV4, 3: DCSM-FM 0.5nm, 4: DCSM-FM 100m

### Hollandse Kust West

De statistiek van resultaten voor de Hollandse Kust West op de meetlocaties A en B voor de vier modellen worden gepresenteerd in Tabel 2.4.

DCSMv6 laat een grote fasefout zien in de stromingsmagnitude, die leidt tot een RMSE van circa 10 cm/s voor het volledige signaal. Bij de andere drie modellen is deze fout ook terug te zien in het getijdesignaal, maar is deze minder significant. De RMSE van het volledige signaal ligt daar rond 5-6 cm/s, waarbij de DCSM-FM varianten iets nauwkeuriger zijn. Voor stromingsrichtingen



laten de drie modellen een vergelijkbaar beeld zien. Het totaalbeeld laat een kleine verbetering voor de nauwkeurigheid van stromingsmagnitude en -richting zien bij de zesde generatie modellen, met name met betrekking tot het getijdesignaal.

Tabel 2.4 Statistieken voor de magnitude [cm/s] en richting [°] van het volledige, getijde- en niet-getijdesignaal van de twee ADCP's over de volledige meetperiode te Hollandse Kust West

Model* →	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Locatie ↓	bias				σ				RMSE			
<b>A (mag, volledig)</b>	-3.5	-0.2	-0.5	-0.3	9.1	5.7	4.3	4.7	9.7	5.7	4.3	4.7
<b>A (mag, getij)</b>	-3.0	0.2	-0.2	0.0	8.4	4.3	3.0	3.6	8.9	4.3	3.0	3.6
<b>A (mag, niet-getij)</b>	-2.4	-2.0	-1.5	-1.3	3.9	3.7	3.3	3.4	4.6	4.2	3.6	3.6
<b>A (richt, volledig)</b>	2.9	0.8	3.3	4.8	15.2	11.7	10.0	10.6	16.5	12.2	10.9	12.0
<b>A (richt, getij)</b>	2.0	0.1	2.6	4.2	11.4	8.2	5.5	6.2	12.1	8.3	6.1	7.5
<b>A (richt, niet-getij)</b>	4.9	5.1	8.4	7.1	14.2	14.7	14.8	14.6	15.4	15.9	17.2	16.4
<b>B (mag, volledig)</b>	-4.5	2.6	-2.1	-2.1	9.2	5.5	4.7	4.9	10.2	6.0	5.2	5.3
<b>B (mag, getij)</b>	-4.1	2.9	-1.7	-1.7	7.6	3.6	2.6	2.9	8.6	4.6	3.1	3.4
<b>B (mag, niet-getij)</b>	-1.9	-1.4	-2.0	-2.0	5.2	4.2	4.2	4.3	5.5	4.4	4.7	4.7
<b>B (richt, volledig)</b>	1.7	0.4	2.0	2.5	13.1	8.9	9.1	9.5	14.0	9.1	9.5	10.0
<b>B (richt, getij)</b>	0.7	0.0	1.2	1.7	8.2	6.0	4.3	4.7	8.5	6.1	4.5	5.0
<b>B (richt, niet-getij)</b>	1.7	0.0	3.5	1.5	17.2	16.7	16.3	16.6	17.6	17.2	17.0	16.9

\* 1: DCSMv6, 2: DCSMv6ZUNOV4, 3: DCSM-FM 0.5nm, 4: DCSM-FM 100m

### Ten Noorden van de Wadden

De statistiek van resultaten voor het gebied ten Noorden van de Wadden op de meetlocaties A en B voor de vier modellen worden gepresenteerd in Tabel 2.5.

De twee DCSM-FM varianten geven een vergelijkbaar resultaat met een vrijwel identieke nauwkeurigheid. Ook DCSMv6 en DCSMv6-ZUNOV4 laten een vergelijkbaar resultaat zien. Deze modellen hebben een iets lagere RMSE voor het volledige signaal dan de DCSM-FM varianten. De RMSE van de magnitude van het getijdesignaal is voor de vier modellen vrij vergelijkbaar, waarbij de DCSM-FM varianten een lagere bias hebben. De stromingsrichting voor het volledige signaal zit iets beter in de twee vijfde generatie modellen.

Tabel 2.5 Statistieken voor de magnitude [cm/s] en richting [°] van het volledige, getijde- en niet-getijdesignaal van de twee ADCP's over de volledige meetperiode te Ten Noorden van de Wadden

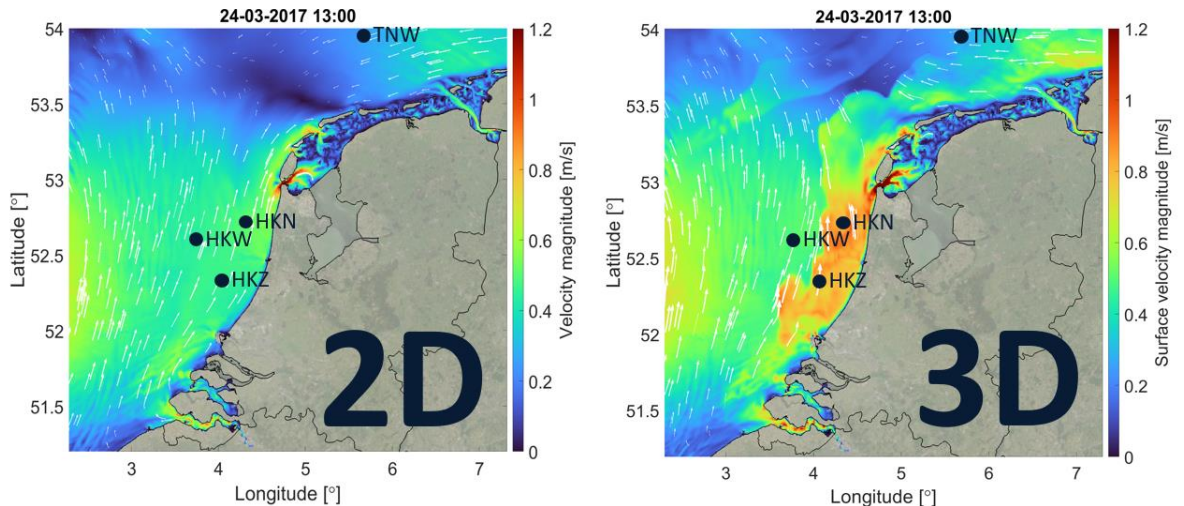
Model* →	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Locatie ↓	bias				σ				RMSE			
<b>A (mag, volledig)</b>	1.4	0.2	-1.0	-1.3	5.7	5.3	6.1	6.3	5.8	5.3	6.2	6.4
<b>A (mag, getij)</b>	2.8	1.6	0.6	0.3	2.9	3.0	3.5	3.8	4.1	3.4	3.5	3.8
<b>A (mag, niet-getij)</b>	-1.8	-1.9	-2.6	-2.8	3.8	3.6	4.3	4.4	4.1	4.1	5.0	5.2
<b>A (richt, volledig)</b>	0.8	-0.3	-0.6	-0.3	9.9	9.3	10.7	11.3	10.2	9.6	11.2	11.9
<b>A (richt, getij)</b>	1.4	0.3	0.4	0.8	3.8	2.6	2.9	3.2	4.1	2.6	2.9	3.3
<b>A (richt, niet-getij)</b>	9.7	5.1	5.1	7.7	12.2	11.9	12.1	12.7	15.8	13.1	13.3	15.0
<b>B (mag, volledig)</b>	1.8	0.6	-0.6	-1.0	5.6	5.1	5.8	6.0	5.8	5.1	5.9	6.1
<b>B (mag, getij)</b>	3.2	2.0	0.9	0.6	2.4	2.1	2.5	2.8	4.0	2.9	2.7	2.9
<b>B (mag, niet-getij)</b>	-1.8	-2.0	-2.7	-2.8	3.7	3.6	4.3	4.4	4.2	4.1	5.1	5.2
<b>B (richt, volledig)</b>	3.4	2.4	2.0	2.4	9.9	9.0	10.4	11.0	10.6	9.4	10.8	11.5
<b>B (richt, getij)</b>	3.8	2.8	2.9	3.3	4.3	2.6	3.0	3.4	5.7	3.9	4.2	4.7
<b>B (richt, niet-getij)</b>	12.9	8.3	8.4	10.9	13.2	13.0	14.4	14.7	18.6	15.6	16.9	18.5

\* 1: DCSMv6, 2: DCSMv6ZUNOV4, 3: DCSM-FM 0.5nm, 4: DCSM-FM 100m

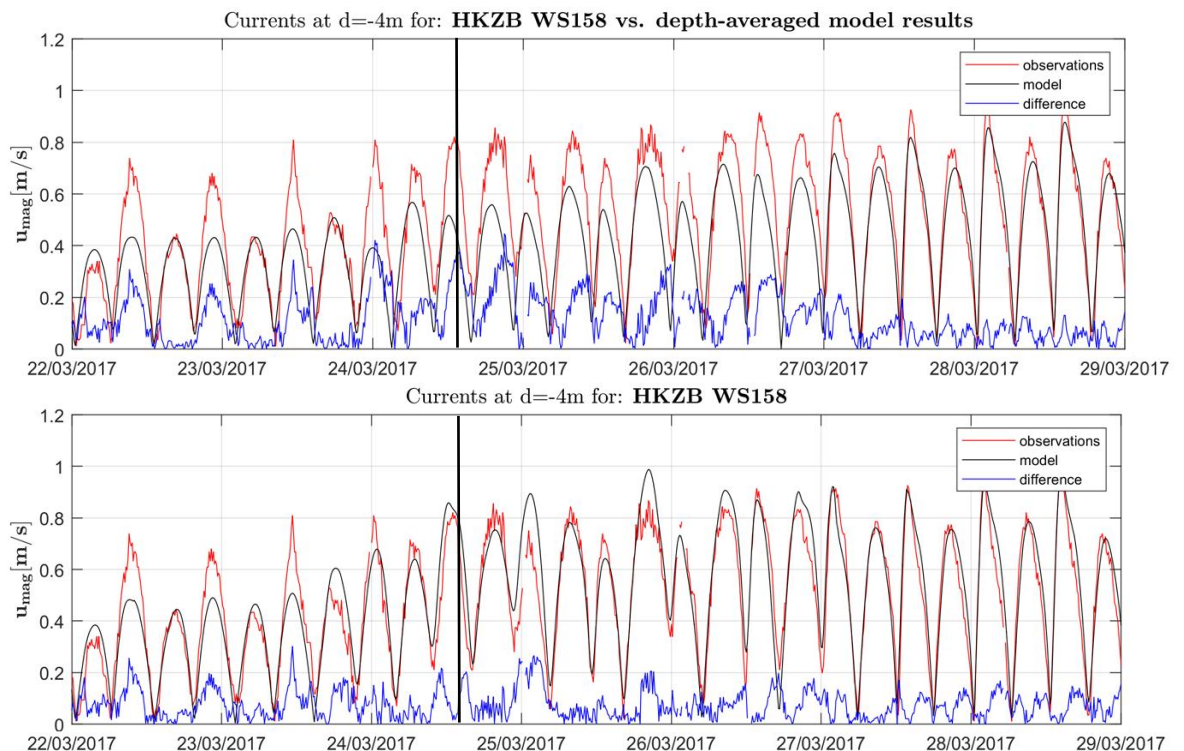
## 2.3 Verschillen tussen dieptegemiddelde en oppervlaktestroming

Om tot een nauwkeurig resultaat voor de oppervlaktestroming te komen zijn de 2D-modellen niet geschikt. Figuur 2.3 geeft een ruimtelijk stromingsbeeld van dieptegemiddelde stroming uit een 2D versie en de berekende oppervlaktestroming uit een 3D versie van DCSM-FM 0.5nm weer. Hierin is duidelijk te zien dat er momenten voorkomen waarop de berekende dieptegemiddelde

stroming sterk van de berekende oppervlactestroming kan afwijken. Een dergelijk fenomeen kan optreden bij een zeewaartse beweging van zoeter water in de Rijn-ROFI onder invloed van de wind. In Figuur 2.4 zijn de modelresultaten van de 3D versie van DCSM-FM 0.5nm tegen de metingen uit de bovenste bin uitgezet. Dit laat zien dat deze oppervlactestromingen in een 3D-model nauwkeurig gereproduceerd kunnen worden, waar een 2D-model dit niet oppakt.



Figuur 2.3 Gemodelleerde dieptegemiddelde en oppervlactestroming in 2D DCSM-FM 0.5nm en 3D DCSM-FM 0.5nm voor 25 maart 2017



Figuur 2.4 Gemeten oppervlactestroming Hollandse Kust Zuid, meetboei B (rood), berekende stroming uit 3D DCSM-FM 0.5nm (Bovenste figuur zwarte lijn = berekende dieptegemiddelde stroming; Onderste figuur zwarte lijn = berekende stroming aan oppervlakte), verschil (blauw), momentopname uit Figuur 2.3 (zwarte verticale lijn)

### 3 Conclusie

In dit memo zijn de diepte-gemiddelde stromingen van de vijfde en zesde generatie modellen van de Noordzee vergeleken met metingen op een tiental locaties in de IJgeul en langs de Nederlandse kust. Hieruit kan het volgende worden geconcludeerd:

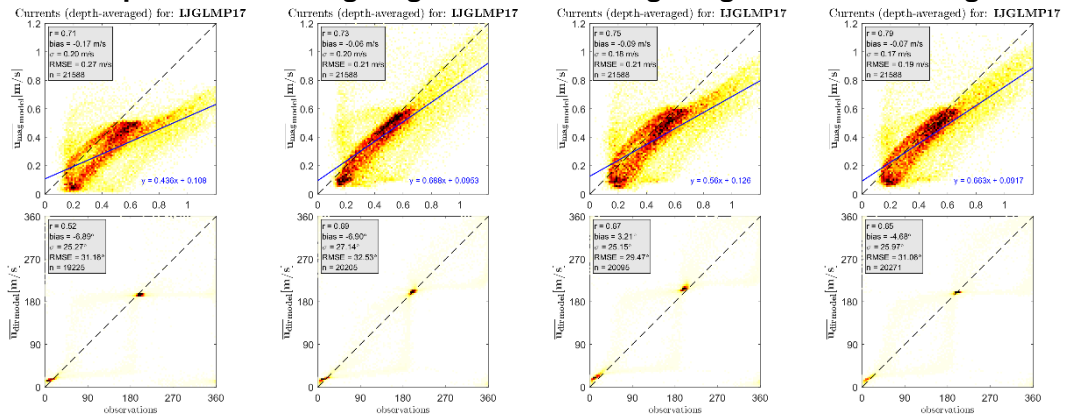
- Met een RMSE van de stromingsmagnitude tussen de 18,7 en 26,5 cm/s is geen van de hier beschouwde modellen in staat om de stroming dicht bij de havenmond van IJmuiden (*IJgeul Meetpunt 17*) nauwkeurig te berekenen.
- Iets verder van de kust (*IJgeul Meetpunt 19*) zijn alle modellen beter in staat om de gemeten diepte-gemiddelde stroming te representeren. Hier geldt een RMSE van de stromingsmagnitude tussen de 5,1 en 7,6 cm/s. Wel valt op dat met name DCSM-FM 0.5nm een grotere onnauwkeurigheid in de stromingsmagnitude geeft dan de andere drie modellen. Dit komt met name door een grotere fasefout in het getijdesignaal. Het beste resultaat met een RMSE van minder dan 2 cm/s voor getij wordt bereikt door DCSM-FM 100m, hoewel de verschillen met de vijfde generatie modellen voor het volledige signaal beperkt zijn.
- Op zee (RVO meetlocaties) zijn alle modellen in staat om met een nauwkeurigheid van 6-10 cm/s (RMSE) de diepte-gemiddelde stromingsmagnitude te beschrijven. Over het algemeen presteert DCSM-FM 100m het beste en DCSMv6 het minste.
- Hoewel de resultaten voor de diepte-gemiddelde stroming op de meeste locaties goed zijn, zijn de hier beschouwde 2D modellen niet geschikt om de oppervlaktestroming te beschrijven.

#### 3.1 Aanbevelingen

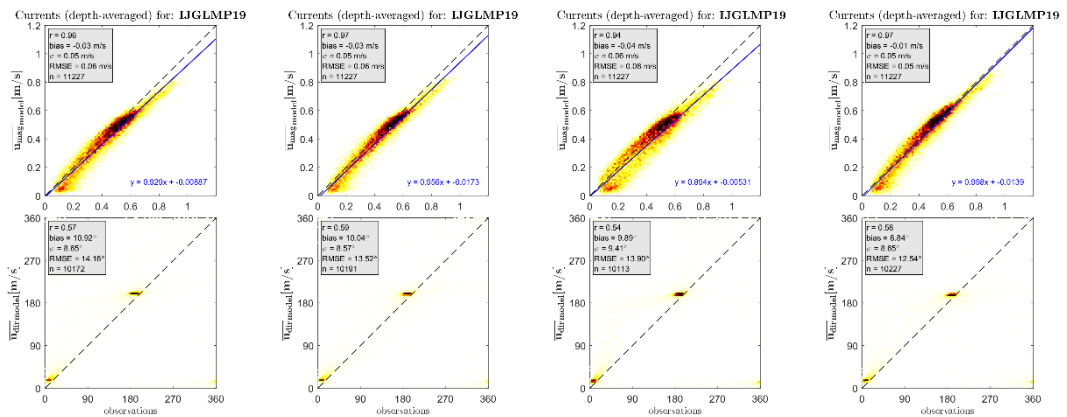
- Voor een betere modelrepresentatie van stromingen in de havenmond van IJmuiden lijkt het noodzakelijk om de afvoeren van het Rijksgemaal IJmuiden in het model op te nemen.
- Voor een nauwkeurige representatie van oppervlaktestroming is het aan te bevelen om 3D-modellen te gebruiken waarin ook de effecten van dichtheidsgradiënten op de stroming worden meegenomen. Met name langs de kust speelt dit een rol.
- De gebruikte meetgegevens zijn zeer waardevol om de prestatie van dergelijke 3D-modellen in detail te analyseren.

## 4 Bijlage: Figuren

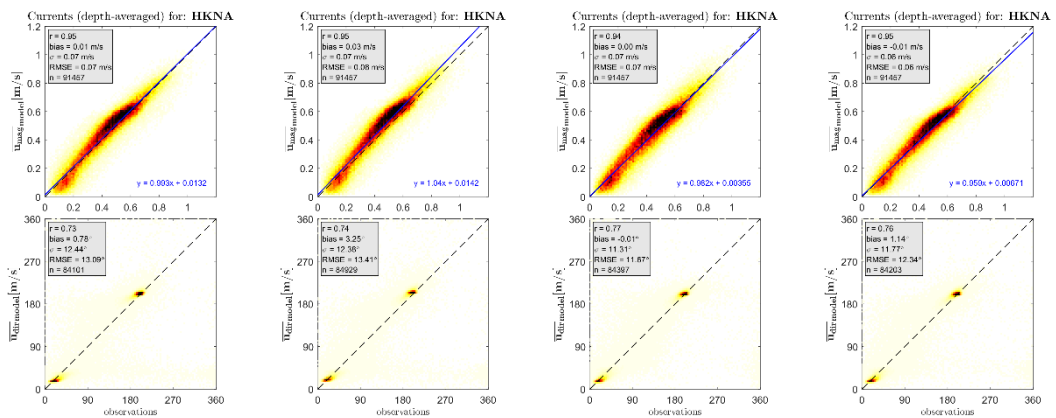
### 4.1 Correlatieplots van volledige signaal van stromingsmagnitude en -richting



Figuur 4.1 Correlatieplots voor volledige stromingssignaal van IJgeul MP17 voor (v.l.n.r.): DCSMv6, DCSMv6-ZUNov4, 2D DCSM-FM 0.5nm, 2D DCSM-FM 100m



Figuur 4.2 Correlatieplots voor volledige stromingssignaal van IJgeul MP19 voor (v.l.n.r.): DCSMv6, DCSMv6-ZUNov4, 2D DCSM-FM 0.5nm, 2D DCSM-FM 100m

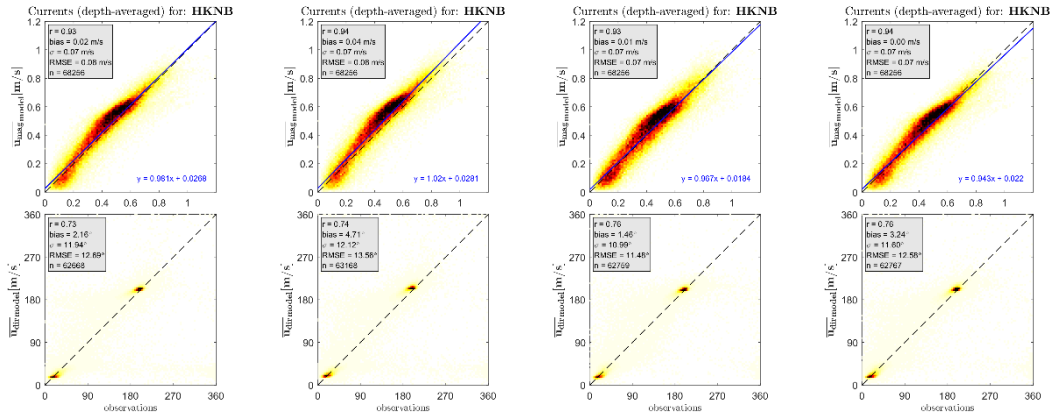


Figuur 4.3 Correlatieplots voor volledige stromingssignaal van HKNA voor (v.l.n.r.): DCSMv6, DCSMv6-ZUNov4, 2D DCSM-FM 0.5nm, 2D DCSM-FM 100m

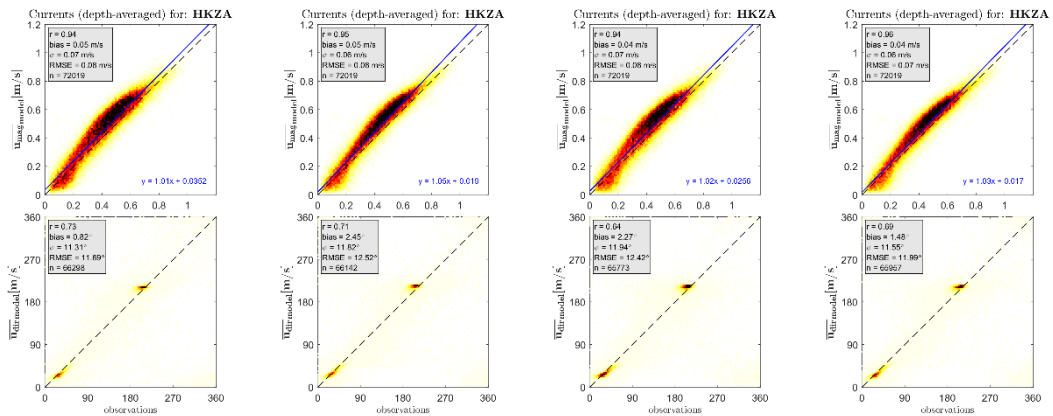


Datum  
3 februari 2020

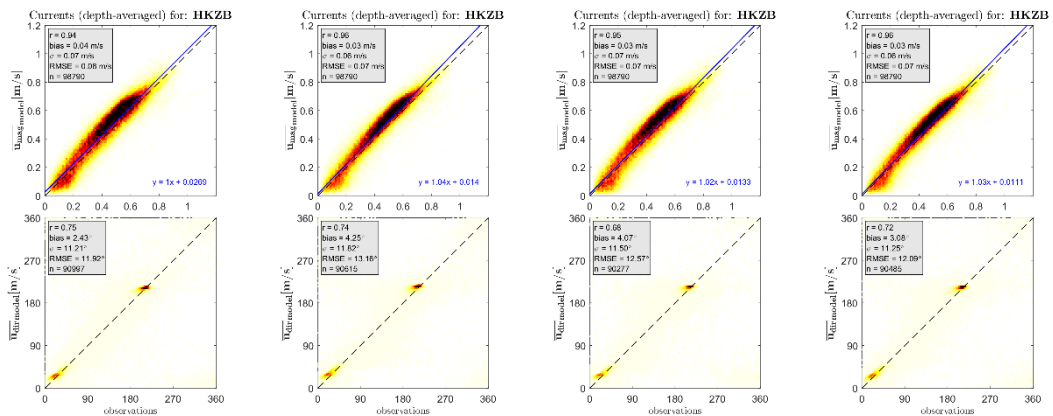
Pagina  
13 van 16



Figuur 4.4 Correlatieplots voor volledige stromingssignaal van HKNB voor (v.l.n.r.): DCSMv6, DCSMv6-ZUNOV4, 2D DCSM-FM 0.5nm, 2D DCSM-FM 100m



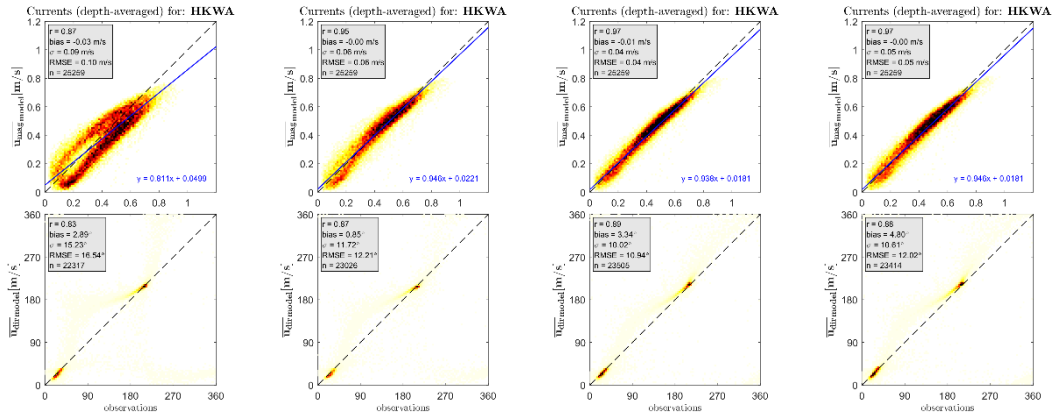
Figuur 4.5 Correlatieplots voor volledige stromingssignaal van HKZA voor (v.l.n.r.): DCSMv6, DCSMv6-ZUNOV4, 2D DCSM-FM 0.5nm, 2D DCSM-FM 100m



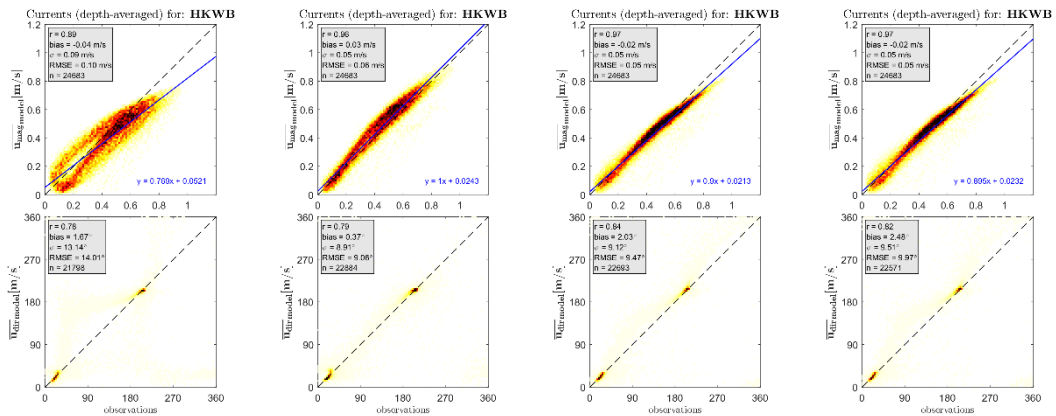
Figuur 4.6 Correlatieplots voor volledige stromingssignaal van HKZB voor (v.l.n.r.): DCSMv6, DCSMv6-ZUNOV4, 2D DCSM-FM 0.5nm, 2D DCSM-FM 100m

Datum  
3 februari 2020

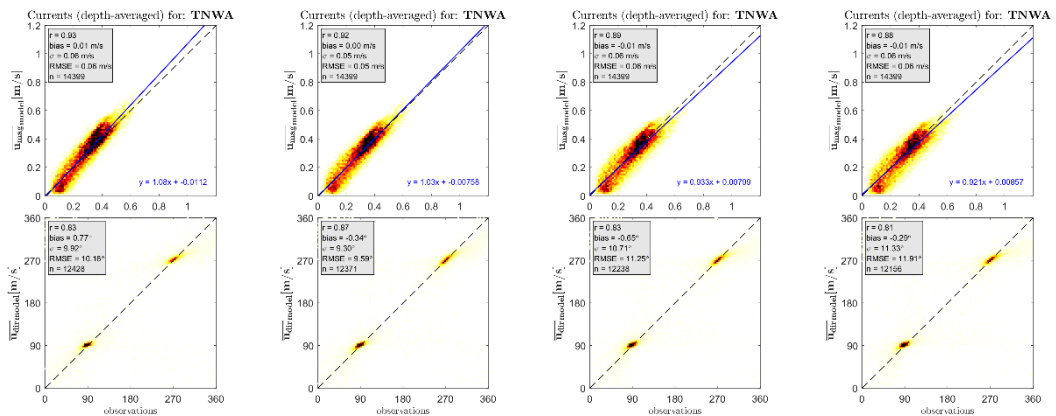
Pagina  
14 van 16



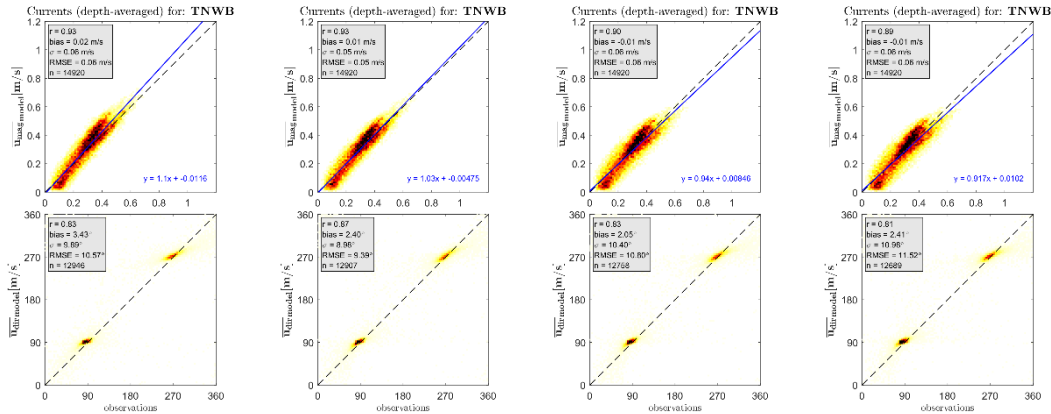
Figuur 4.7 Correlatieplots voor volledige stromingssignaal van HKWA voor (v.l.n.r.): DCSMv6, DCSMv6-ZUNov4, 2D DCSM-FM 0.5nm, 2D DCSM-FM 100m



Figuur 4.8 Correlatieplots voor volledige stromingssignaal van HKWB voor (v.l.n.r.): DCSMv6, DCSMv6-ZUNov4, 2D DCSM-FM 0.5nm, 2D DCSM-FM 100m



Figuur 4.9 Correlatieplots voor volledige stromingssignaal van TNWA voor (v.l.n.r.): DCSMv6, DCSMv6-ZUNov4, 2D DCSM-FM 0.5nm, 2D DCSM-FM 100m



Figuur 4.10 Correlatieplots voor volledige stromingssignaal van TNWB voor (v.l.n.r.): DCSMv6, DCSMv6-ZUNOV4, 2D DCSM-FM 0.5nm, 2D DCSM-FM 100m

## 4.2 Overzichtstabellen

Tabel 4.1 en Tabel 4.2 geven de bias, standaarddeviatie en RMSE van de stromingsmagnitude en -richting van het volledige signaal weer voor de geanalyseerde meetlocaties in de vier verschillende modellen. Tabel 4.3 en Tabel 4.4 geven hetzelfde weer voor het getijdesignaal.

Tabel 4.1 Bias, standaarddeviatie en RMSE voor volledige stromingsmagnitude per meetlocatie en per model

Model* →	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Locatie ↓	bias [cm/s]				σ [cm/s]				RMSE [cm/s]			
IJGL MP17	-17.4	-6.0	-9.4	-7.3	20.0	19.8	18.3	17.3	26.5	20.7	20.6	18.7
IJGL MP19	-3.5	-3.1	-4.3	-1.2	5.1	4.7	6.3	5.0	6.1	5.7	7.6	5.1
HKNA	1.4	3.5	0.1	-0.7	6.6	6.7	6.8	6.2	6.7	7.5	6.8	6.3
HKNB	2.1	4.1	0.9	0.2	7.2	7.4	7.4	7.0	7.5	8.4	7.4	7.0
HKZA	4.7	4.8	4.1	3.6	6.9	6.2	6.8	6.0	8.3	7.9	8.0	7.0
HKZB	3.5	3.4	3.0	2.7	6.8	6.1	6.6	6.0	7.6	7.0	7.3	6.6
HKWA	-3.5	-0.2	-0.5	-0.3	9.1	5.7	4.3	4.7	9.7	5.7	4.3	4.7
HKWB	-4.5	2.6	-2.1	-2.1	9.2	5.5	4.7	4.9	10.2	6.0	5.2	5.3
TNWA	1.4	0.2	-1.0	-1.3	5.7	5.3	6.1	6.3	5.8	5.3	6.2	6.4
TNWB	1.8	0.6	-0.6	-1.0	5.6	5.1	5.8	6.0	5.8	5.1	5.9	6.1

\* 1: DCSMv6, 2: DCSMv6ZUNOV4, 3: DCSM-FM 0.5nm, 4: DCSM-FM 100m

Tabel 4.2 Bias, standaarddeviatie en RMSE voor volledige stromingsrichting per meetlocatie en per model

Model* →	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Locatie ↓	bias [°]				σ [°]				RMSE [°]			
IJGL MP17	-6.9	-6.9	3.2	-4.7	25.3	27.1	25.2	26.0	31.2	32.5	29.5	31.1
IJGL MP19	10.9	10.0	9.9	8.8	8.7	8.6	9.4	8.6	14.2	13.5	13.9	12.5
HKNA	0.8	3.3	0.0	1.1	12.4	12.4	11.3	11.8	13.1	13.4	11.7	12.3
HKNB	2.2	4.7	1.5	3.2	11.9	12.1	11.0	11.6	12.7	13.6	11.5	12.6
HKZA	0.8	2.4	2.3	1.5	11.3	11.8	11.9	11.6	11.7	12.5	12.4	12.0
HKZB	2.4	4.3	4.1	3.1	11.2	11.8	11.5	11.2	11.9	13.2	12.6	12.1
HKWA	2.9	0.8	3.3	4.8	15.2	11.7	10.0	10.6	16.5	12.2	10.9	12.0
HKWB	1.7	0.4	2.0	2.5	13.1	8.9	9.1	9.5	14.0	9.1	9.5	10.0
TNWA	0.8	-0.3	-0.6	-0.3	9.9	9.3	10.7	11.3	10.2	9.6	11.2	11.9
TNWB	3.4	2.4	2.0	2.4	9.9	9.0	10.4	11.0	10.6	9.4	10.8	11.5

\* 1: DCSMv6, 2: DCSMv6ZUNOV4, 3: DCSM-FM 0.5nm, 4: DCSM-FM 100m

Tabel 4.3 Bias, standaarddeviatie en RMSE voor getijdestromingsmagnitude per meetlocatie en per model

Model* →	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Locatie ↓	<b>bias [cm/s]</b>				<b>σ [cm/s]</b>				<b>RMSE [cm/s]</b>			
IJGL MP17	-13.7	-1.9	-5.8	-3.6	9.5	12.5	7.7	7.0	16.7	12.6	9.6	7.9
IJGL MP19	-1.8	-1.4	-2.7	0.4	3.0	2.1	5.1	2.0	3.5	2.5	5.7	2.0
HKNA	2.8	4.7	1.3	0.6	3.3	3.7	3.2	2.6	4.3	6.0	3.4	2.6
HKNB	2.9	4.8	1.5	0.9	3.6	4.0	3.5	3.0	4.6	6.2	3.8	3.1
HKZA	5.8	5.9	5.2	4.8	4.6	3.8	4.4	3.4	7.4	7.0	6.8	5.8
HKZB	4.6	4.5	4.1	3.8	4.1	3.1	3.9	2.8	6.2	5.5	5.6	4.8
HKWA	-3.0	0.2	-0.2	0.0	8.4	4.3	3.0	3.6	8.9	4.3	3.0	3.6
HKWB	-4.1	2.9	-1.7	-1.7	7.6	3.6	2.6	2.9	8.6	4.6	3.1	3.4
TNWA	2.8	1.6	0.6	0.3	2.9	3.0	3.5	3.8	4.1	3.4	3.5	3.8
TNWB	3.2	2.0	0.9	0.6	2.4	2.1	2.5	2.8	4.0	2.9	2.7	2.9

\* 1: DCSMv6, 2: DCSMv6ZUNOV4, 3: DCSM-FM 0.5nm, 4: DCSM-FM 100m

Tabel 4.4 Bias, standaarddeviatie en RMSE voor getijdestromingsrichting per meetlocatie en per model

Model* →	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Locatie ↓	<b>bias [°]</b>				<b>σ [°]</b>				<b>RMSE [°]</b>			
IJGL MP17	-4.1	-4.2	5.1	-1.6	12.9	15.7	10.0	9.7	14.0	17.3	11.6	10.2
IJGL MP19	10.5	9.8	9.3	8.5	2.6	2.5	2.8	2.6	10.8	10.1	9.7	8.9
HKNA	-0.3	2.2	-0.7	0.0	3.8	3.6	3.9	3.7	3.8	4.2	4.0	3.7
HKNB	1.3	3.8	0.8	2.2	4.9	4.7	4.8	4.7	5.1	6.0	4.9	5.2
HKZA	0.4	2.2	1.7	1.0	4.4	5.3	6.6	5.1	4.4	5.8	6.9	5.2
HKZB	2.3	4.2	3.8	2.9	4.0	4.4	5.5	4.3	4.6	6.1	6.7	5.2
HKWA	2.0	0.1	2.6	4.2	11.4	8.2	5.5	6.2	12.1	8.3	6.1	7.5
HKWB	0.7	0.0	1.2	1.7	8.2	6.0	4.3	4.7	8.5	6.1	4.5	5.0
TNWA	1.4	0.3	0.4	0.8	3.8	2.6	2.9	3.2	4.1	2.6	2.9	3.3
TNWB	3.8	2.8	2.9	3.3	4.3	2.6	3.0	3.4	5.7	3.9	4.2	4.7

\* 1: DCSMv6, 2: DCSMv6ZUNOV4, 3: DCSM-FM 0.5nm, 4: DCSM-FM 100m

Tabel 4.5 Bias, standaarddeviatie en RMSE voor niet-getijdestromingsmagnitude per meetlocatie en per model

Model* →	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Locatie ↓	<b>bias [cm/s]</b>				<b>σ [cm/s]</b>				<b>RMSE [cm/s]</b>			
IJGL MP17	-13.1	-7.9	-10.7	-10.0	13.0	12.9	12.6	12.7	18.5	15.1	16.6	16.1
IJGL MP19	-2.9	-2.7	-2.6	-2.3	3.4	3.4	3.5	3.6	4.5	4.4	4.3	4.2
HKNA	-3.8	-3.1	-2.4	-3.4	4.9	5.0	5.3	5.0	6.2	5.9	5.8	6.0
HKNB	-3.5	-2.9	-2.1	-3.1	5.3	5.5	5.8	5.6	6.4	6.2	6.2	6.3
HKZA	-2.9	-2.8	-2.4	-2.7	4.5	4.5	4.6	4.5	5.3	5.3	5.2	5.2
HKZB	-2.9	-2.9	-2.5	-2.8	4.7	4.7	4.8	4.7	5.6	5.5	5.4	5.4
HKWA	-2.4	-2.0	-1.5	-1.3	3.9	3.7	3.3	3.4	4.6	4.2	3.6	3.6
HKWB	-1.9	-1.4	-2.0	-2.0	5.2	4.2	4.2	4.3	5.5	4.4	4.7	4.7
TNWA	-1.8	-1.9	-2.6	-2.8	3.8	3.6	4.3	4.4	4.1	4.1	5.0	5.2
TNWB	-1.8	-2.0	-2.7	-2.8	3.7	3.6	4.3	4.4	4.2	4.1	5.1	5.2

\* 1: DCSMv6, 2: DCSMv6ZUNOV4, 3: DCSM-FM 0.5nm, 4: DCSM-FM 100m

Tabel 4.6 Bias, standaarddeviatie en RMSE voor niet-getijdestromingsrichting per meetlocatie en per model

Model* →	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Locatie ↓	<b>bias [°]</b>				<b>σ [°]</b>				<b>RMSE [°]</b>			
IJGL MP17	-9.4	6.9	-4.1	3.5	53.5	45.1	49.9	46.4	76.7	64.5	70.3	67.2
IJGL MP19	13.3	12.1	11.9	10.4	15.3	15.0	16.5	16.1	20.4	19.4	20.6	19.4
HKNA	-8.0	-4.2	-6.8	-6.0	22.4	23.4	24.4	22.7	24.4	24.5	26.1	24.2
HKNB	-3.5	-0.1	-2.1	-1.2	20.7	21.8	22.4	21.1	21.7	22.5	23.4	21.9
HKZA	-2.7	3.5	2.4	0.1	24.0	23.1	24.3	23.8	24.9	24.2	25.3	24.6
HKZB	3.2	8.9	6.9	4.8	23.1	22.8	23.3	22.9	24.3	25.6	25.4	24.4
HKWA	4.9	5.1	8.4	7.1	14.2	14.7	14.8	14.6	15.4	15.9	17.2	16.4
HKWB	1.7	0.0	3.5	1.5	17.2	16.7	16.3	16.6	17.6	17.2	17.0	16.9
TNWA	9.7	5.1	5.1	7.7	12.2	11.9	12.1	12.7	15.8	13.1	13.3	15.0
TNWB	12.9	8.3	8.4	10.9	13.2	13.0	14.4	14.7	18.6	15.6	16.9	18.5

\* 1: DCSMv6, 2: DCSMv6ZUNOV4, 3: DCSM-FM 0.5nm, 4: DCSM-FM 100m